

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΠΡΩΗΝ ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**  
**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: "ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ"**

---

**ΙΣΤΟΡΙΚΗ, ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ**  
**ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ**  
**'ΚΥΚΛΙΚΟΥ (ΓΕΝΟΒΕΖΙΚΟΥ) ΠΥΡΓΟΥ' ΣΤΗ ΠΑΛΙΑ ΠΟΛΗ**  
**ΧΑΝΙΩΝ, ΑΝΑΓΚΗ ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ**

**Επιβλέπουσα: Μ. Σταυρουλάκη, Επ. Καθηγήτρια**

**Τσιτωνάκη Άννα / 2010040288**

**Χανιά , Απρίλιος 2015**





---

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Η πόλη των Χανίων, στη Δυτική Κρήτη, έχει κτιστεί με πυρήνα την ενετική "Παλιά Πόλη", που αποτελεί μέχρι τις μέρες μας, μια ζωντανή απόδειξη της μακραίωνης ιστορίας της.

Σήμερα στη παλιά πόλη σώζονται αξιόλογα δείγματα της ενετικής στρατιωτικής, κοσμικής και θρησκευτικής αρχιτεκτονικής, με πιο χαρακτηριστικά τα φρουριακά έργα, τη διαμόρφωση του λιμανιού και τις λιμενικές εγκαταστάσεις ειδικών απαιτήσεων.

Στη παρούσα διπλωματική διατριβή, εξετάζεται ο ερειπωμένος κυκλικός πύργος στο δυτικό τμήμα των ενετικών τειχών, ο οποίος παρουσιάζει εκτεταμένη διαμπερή ρωγμή στο μέσον του εναπομείναντος τμήματός του.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να καταδείξει την ανάγκη μιας διεπιστημονικής προσέγγισης στα θέματα αποκατάστασης των μνημείων της πολιτιστικής μας κληρονομιάς, για την ασφαλή και επιστημονικά τεκμηριωμένη μεθοδολογία αποκατάστασής τους. Για το λόγο αυτό γίνεται ειδική αναφορά στα απαραίτητα μεθοδολογικά εργαλεία της έρευνας των μνημείων.

Στο πλαίσιο των γνώσεων ενός ατόμου και στο βαθμό των απαιτήσεων για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας συνδυάζονται τρεις διαφορετικές ειδικότητες, της ιστορικής- θεωρητικής κατεύθυνσης, της αρχιτεκτονικής και του πολιτικού μηχανικού, για την εξαγωγή των συμπερασμάτων, που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην κατά το δυνατόν πληρέστερη κατανόηση του προς μελέτη αντικειμένου.

Έτσι την ιστορική τεκμηρίωση διαδέχεται η αρχιτεκτονική αποτύπωση και παθολογία, οπότε και ακολουθεί ανάλυση στατική και ιδιομορφική, με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, προσομοιάζοντας το μοντέλο σε πέντε διαφορετικές φάσεις της ιστορίας του. Ο συνδυασμός των ευρημάτων όλων των στοιχείων οδηγεί σε συμπεράσματα που ορίζουν εν τέλει και την επιλογή της μεθόδου αποκατάστασης του μνημείου.

Μια σαφής σειρά μελετών καθώς και η συνεισφορά όλων των αναγκαίων ειδικοτήτων στα έργα αποκατάστασης των μνημείων, είναι αναπόσπαστο κομμάτι στη διαδικασία της έρευνας και τεκμηρίωσης, και δεν πρέπει να θεωρείται δευτερεύον θέμα. Οφείλουν, όλοι όσοι είναι ευαισθητοποιημένοι στο τομέα αυτό, να διεκδικήσουν και να εγκαθιδρύσουν ένα νέο καθεστώς στην μεθοδολογία της έρευνας και της αποκατάστασης των μνημείων, εν είδει αδιάβλητου και απαράβατου νόμου, αντάξιου των ίδιων των κληροδοτημάτων, της σύγχρονης εποχής και των πλούσιων γνώσεων που αυτή παρέχει.

Κλείνοντας το σημείωμα αυτό, θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στην επιβλέπουσα Επίκουρη Καθηγήτρια του Π.Κ. κα Μαρία Σταυρουλάκη, γιατί χωρίς την στήριξη της και την άψογη συνεννόηση που παρείχε, δεν θα ήταν δυνατόν να ολοκληρωθεί τούτο το πόνημα. Ευχαριστίες εκφράζονται και στον

Καθηγητή του Π.Κ. κ. Κωνσταντίνο Προβιδάκη για τη βοήθειά του κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Να σημειωθεί ότι βήμα για το θέμα της μελέτης αποτέλεσε η παρότρυνση του κ. Νικόλαου Σκουτέλη, Καθηγητή της Αρχιτεκτονικής σχολής του Π.Κ., όταν πιστέψαμε κι οι δύο ότι μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική μελέτη θα μπορούσε να συνοδεύσει αυτή την εργασία. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω αφενός γιατί πίστεψε σε μένα και κυρίως γιατί αποτελεί πάντα για μένα έναν πολύ καλό δάσκαλο.

Επίσης, δεν θα πρέπει να αγνοήσω την πολύτιμη βοήθεια του κ. Φίλιππα Τσαγάκη (αρχιτέκτων), της κας Ειρήνης Βλαζάκη (αρχιτέκτων), της κας Παναγιώτας Τσουμελέα (σχεδιάστρια), και του κ. Χαράλαμπου Σκαράκη (τοπογράφος), συμβασιούχους στο γραφείο τειχών, με τους οποίους συνεργαστήκαμε το 2013, στο πλαίσιο της τότε σύμβασής μου, για την λεπτομερή αποτύπωση και πρόταση αποκατάστασης του κυκλικού Πύργου.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες εκφράζονται σε όλους όσους συνετέλεσαν στην ολοκλήρωση αυτού του κύκλου σπουδών, σε όλους τους καθηγητές και συμφοιτητές μου, όπου η συνεργασία μαζί τους κατέστησε σαφή την έννοια και την αναγκαιότητα της διεπιστημονικής συνεργασίας και κυρίως εμπλούτισε τις γνώσεις μου στον τομέα της μηχανικής των υλικών και των κατασκευών.

Άννα Τσιτωνάκη  
Χανιά, 5 Δεκεμβρίου 2014

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Η αποκατάσταση μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς έχει συζητηθεί και μελετηθεί επισταμένως από όλες τις εμπλεκόμενες ειδικότητες, Αρχαιολόγους, Αρχιτέκτονες, Πολιτικούς Μηχανικούς, Χημικούς Μηχανικούς, Γεωλόγους κ.ο.κ.

Η εφαρμογή στη πράξη της συνεργασίας των διαφόρων ειδικοτήτων και της επεξεργασίας μεταξύ αυτών, των διαφόρων και διαφορετικών τους επιστημονικών ευρημάτων, παρότι θεωρείται απαραίτητη, δεν είναι αυτονόητη.

Στόχος εδώ είναι μέσω της ιστορικής ανασκόπησης, της αρχιτεκτονικής αποτύπωσης και τεκμηρίωσης και της στατικής ανάλυσης, να καταφανεί η αναγκαιότητα αυτής της συνεργασίας, η απουσία της οποίας μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά λάθη μεθοδολογίας και εφαρμογής στη πράξη αυθαίρετων κατ' ουσία μεθόδων αποκατάστασης.

Για το λόγο αυτό παρουσιάζεται το ιστορικό πλαίσιο της ευρύτερης περιοχής μελέτης, το πλαίσιο προστασίας των μνημείων, από την ίδρυση του Ελληνικού κράτους μέχρι σήμερα όπου καθιστά σαφή την σημερινή εικόνα της πόλης, καθώς και το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο προστασίας, μέσα από το οποίο φανερώνονται τα κενά της σύγχρονης προσέγγισης στις μελέτες και εργασίες αποκατάστασης των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Με αφορμή τα παραπάνω λόγος γίνεται στις σύγχρονες αρχές για την ανάλυση και αποκατάσταση των κατασκευών της πολιτιστικής μας κληρονομιάς, ως έργο διεπιστημονικής συνεργασίας όπως έχουν διαμορφωθεί από τη τεχνική επιτροπή του Icomos, Iscarsah<sup>1</sup>.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται και αναλύεται ως παράδειγμα ο κυκλικός πύργος, στο δυτικό τμήμα των ενετικών οχυρώσεων, ο οποίος στεκόταν μεταξύ του Φρουρίου Φιρκά και του προμαχώνα San Salvatore, και που σήμερα μας παραδίδεται κατακερματισμένος.

Από ιστορικής σκοπιάς εξετάζεται η προέλευσή του και αμφισβητείται η ονομασία "Γενοβέζικος Πύργος" με την οποία είναι γνωστός σήμερα. Αναλύονται οι οικοδομικές του φάσεις στο πέρασμα των αιώνων και τοποθετείται στο σήμερα.

Από αρχιτεκτονικής σκοπιάς παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική μελέτη αποτύπωσης, όπου και αναλύονται οι φθορές που υφίστανται στο μνημείο, ενώ γίνεται μια σύντομη αναφορά στην πρόσφατη μελέτη αποκατάστασης που προτάθηκε στο πλαίσιο της ένταξης του μνημείου στο ευρύτερο έργο της αποκατάστασης του Φρουρίου του Φιρκά από το Υπουργείο Πολιτισμού.

Τέλος από μηχανικής σκοπιάς, επιλέχθηκε να αναλυθεί στατικά και ιδιομορφικά με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων τόσο η υφιστάμενη κατάσταση

---

<sup>1</sup> International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage (ISCARSAH) είναι η επιστημονική τεχνική επιτροπή του International Council on Monuments and Sites (ICOMOS).

όσο και οι προγενέστερες οικοδομικές φάσεις του μνημείου όπως τεκμηριώθηκαν κατά την ιστορική ανάλυση και την αρχιτεκτονική αποτύπωση.

Συμπεράσματα προκύπτουν κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των τριών σταδίων, τα οποία και οδηγούν στην επίλυση του προβλήματος της αποκατάστασής του. Είναι όμως σωστή? Χρειάζεται και τη συνδρομή των γνώσεων κι άλλων ειδικοτήτων? Και γιατί.

# **Historical, architectural documentation and Finite Element analysis of "Cyclic (Genoese) Tower" in Old Town, Chania, need of interdisciplinary approach.**

---

## **SUMMARY**

---

Restoration of historical buildings has been studied and discussed thoroughly, from a vary of involved expertise, like archeologists, architects, civil engineers, chemical engineers, geologists etc.

In practice, the collaboration between the different specialists is essential, as long as the elaboration of their different and various scientific conclusions in every level of the analysis. But it is not obvious in Greek practice, yet.

The main goal in this survey, is to underline the aforementioned need of collaboration, through the historical analysis, the architectural surveying and documentation and the static analysis of the medieval circular tower in north west venetian fortification in Canea, Crete, Greece. The presentation of these three stages of analysis aims to make clear that the absence of one of the above or the omission of extra analysis by other expertise, could lead to many and serious methodology mistakes or arbitrary methods of restoration.

The first step in order to achieve this main goal, is to present the historical frame of the broader area of its interest, and in particular the historical frame of monument protection at the city of Canea. Also, it seems important the investigation of the legal frame of historical heritage protection in Greece, since the foundation of the country, and the current legal frame of the analysis and drawing up of the projects concerning restoration of cultural heritage in Greece. This case study aims to make clear the present image of the city and the deepest problems that are aroused by these facts.

In response to the Greek reality, it is presented in brief, the work of the International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage, written at the ICOMOS documentation center, which refers to the contemporary principles and recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage, in the context of a multidisciplinary approach.

The second step is the analysis of the remained part of the circular tower. From the historical point of view, its historical frame is examined and the name with which is well known today, is questioned. Its construction phases are analyzed through the centuries, till the present day. Its importance as a monument is depicted.

From the architectural point of view, the analytical survey designs are presented, as long as the construction, form, and material decay of the monument are analyzed. A brief reference is available here concerning the

documentation of the recent formal decisions of the Archeological Council, related to the same project.

Finally, from the civil engineers' point of view, using the application of the finite element method, the static and eigenmode analysis is presented. In this particular state, the monument is examined in all its historical phases, as they have been formed by the previous historical and architectural analysis.

Conclusions then are documented by the comparison of the three stages analysis, which lead to the solution of the problems that restoration requires to be answered. Are they valid though? Is there obvious that the need of the collaboration and the knowledge of other scientific expertise is required?

---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	xiii
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Η ιστορία της πόλης και η προστασία της μνήμης .....	3
1.2 Ιστορία του θεσμικού πλαισίου προστασίας των μνημείων .....	8
1.3 Ισχύον νομοθετικό πλαίσιο για τη σύνταξη μελετών αποκατάστασης μνημείων και συνόλων .....	12
<b>2 ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ.....</b>	<b>15</b>
2.1 Αρχές ανάλυσης και αποκατάστασης [11].....	16
2.1.1 Γενικά κριτήρια .....	16
2.1.2 Έρευνα και διάγνωση .....	16
2.1.3 Διαρθρωτικά μέτρα και έλεγχοι .....	17
2.2 Κατευθυντήριες γραμμές [11].....	19
2.2.1 Γενικά κριτήρια .....	19
2.2.2 Προσανατολισμός κατευθυντήριων γραμμών .....	20
2.2.3 Κτίρια από τοιχοποιία.....	20
2.2.4 Επεμβάσεις σε κτίρια από τοιχοποιία .....	26
<b>3 ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΣΤΗ ΠΑΛΙΑ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ ....</b>	<b>31</b>
3.1 Ιστορική Τεκμηρίωση .....	31
3.2 Μορφολογικά στοιχεία, υλικά κατασκευής και τρόπος δομής του Πύργου .....	38
3.3 Οικοδομικές Φάσεις και Αρχιτεκτονική Αποτύπωση .....	43
3.4 Παθολογία.....	49
<b>4 ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ .....</b>	<b>57</b>
4.1 Περιγραφή του προβλήματος .....	59
4.1.1 Πιθανοί μηχανισμοί κατάρρευσης .....	59
4.1.2 Διερεύνηση μεταβολών μορφολογίας και γήρανσης .....	63
4.2 Εισαγωγή γεωμετρίας φορέα και διακριτοποίηση του σε πεπερασμένα στοιχεία (finite elements) .....	64
4.3 Ιδιότητες υλικών .....	67
4.4 Φορτίσεις – Μετακινήσεις, Καθορισμός Συνοριακών Συνθηκών (BC) .....	72

<b>4.5</b>	<b>Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης.....</b>	<b>74</b>
4.5.1	Συνολική Μετατόπιση.....	74
4.5.2	Μέγιστες κύριες τάσεις .....	77
4.5.3	Ισοδύναμες τάσεις .....	81
4.5.4	Ισοδύναμη συνολική παραμόρφωση .....	85
4.5.5	Σύγκριση αποτελεσμάτων μέσω γραφημάτων .....	88
4.5.6	Εκτίμηση αποτελεσμάτων .....	93
<b>4.6</b>	<b>Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης.....</b>	<b>94</b>
<b>5</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>121</b>
5.1	Συμπεράσματα .....	121
5.2	Προτάσεις.....	122
<b>6</b>	<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>127</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>129</b>



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Χάρτης - Οδηγός αναγνώρισης των οχυρώσεων της παλιάς πόλης Χανίων. Το στοιχείο 'α', αποτελεί το σημείο της περιοχής μελέτης. ....	2
Εικόνα 1.2: Χάρτης G. Corner, 1625. Από το αρχείο της Ε.Ε.Α.Ο.Ε.Κ. ....	4
Εικόνα 1.3: Τμήμα Ορθοφωτοχάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, έτος 1939. Πηγή: Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών Νομαρχίας Χανίων.....	5
Εικόνα 1.4: Τμήμα Ορθοφωτοχάρτη ΓΥΣ, 1945. Από το αρχείο της Ε.Ε.Α.Ο.Ε.Κ. .	6
Εικόνα 1.5: Ρυμοτομικό σχέδιο Παλιάς Πόλης Χανίων, 1946. <a href="http://gis.chania.gr/">http://gis.chania.gr/</a> .....	6
Εικόνα 2.1: Κατάρρευση εξωτερικής στρώσης τοιχοποιίας (Fortezza Χανίων).24	
Εικόνα 2.2: Σχηματική απεικόνιση αστοχίας τοιχοποιίας σε εκτός επιπέδου φόρτιση.....	25
Εικόνα 2.3: Βαθύ αρμολόγημα σε αργολιθοδομή. (Παλιά Πόλη, Χανιά 2013) ..	27
Εικόνα 3.1: Pierre Vander, 1729. Χαλκογραφία. Συλλογή Θ. & Β Μασσέλου. Από το αρχείο της Ε.Ε.Α.Ο.Ε.Κ. ....	32
Εικόνα 3.2: Ανώνυμος, 18ος αι [17].....	33
Εικόνα 3.3: Άποψη του Λιμανιού, όπου φαίνεται ο Πύργος πίσω από το φρούριο του Φιρκά πριν το 1899. Ιστορικό Αρχείο Κρήτης.....	33
Εικόνα 3.4: Εργασίες διαμόρφωσης κρηπιδώματος, 1899. Αρχείο Μ. Μανούσακα. ....	34
Εικόνα 3.5 : Λεπτομέρεια της εικόνας 1.2 (χάρτης Corner). ....	35
Εικόνα 3.6 : Βορειοανατολική όψη κυκλικού Πύργου. Ιστορικό αρχείο Κρήτης. 35	
Εικόνα 3.7: Αρχές του 20ου αι. S. Curuni. Από το αρχείο της Ε.Ε.Α.Ο.Ε.Κ. ....	36
Εικόνα 3.8: Δεκαετία του '60. Από το αρχείο της Ε.Λ.Ι.Α.....	36
Εικόνα 3.9: Αρχές της δεκαετίας του '70. Λήψη από το κατεδαφισμένο σήμερα Ξενοδοχείο Ξενία. Από το αρχείο του Μιχ. Ναλετάκη.....	36
Εικόνα 3.10: Νοτιοδυτική όψη. Λήψη 5/2013.....	37
Εικόνα 3.11: Βορειοανατολική όψη σήμερα. Λήψη 5/2013. ....	37
Εικόνα 3.12: Το στηθαίο στη κορυφή και το πέτρινο παραπέτο με τα φουρούσια. ....	39
Εικόνα 3.13: Ορατή τομή. Scarpa σημείου χαμηλότερης θεμελίωσης στο βράχο. ....	40
Εικόνα 3.14: Ορατή κανονιοθυρίδα στην "εξωτερική" πλευρά, Βορειοανατολική όψη. ....	41
Εικόνα 3.15: Τοξωτό άνοιγμα ή άλλη διαμόρφωση στη ΝΑ πλευρά του "εσωτερικού". ....	41
Εικόνα 3.16: Ισόδομο σύστημα στο εναπομείναν κεκλιμένο τμήμα της τοιχοποιίας.....	42
Εικόνα 3.17: Άποψη της κορυφογραμμής του πύργου στη ΒΑ όψη. Διακρίνονται οι θέσεις των οικοσμήμων και η διαφοροποίηση της λιθοδομής του στηθαίου.....	43
Εικόνα 3.18: Άποψη της Βορειοανατολικής όψης.....	49
Εικόνα 3.19: Σημειακή διάρρηξη υλικού και συνοχής βράχου-τοιχοποιίας. ....	50
Εικόνα 3.20: Διαμπερή ρωγμή εξωτερικά και εσωτερικά. ....	50

Εικόνα 3.21: α), β) μαύρες (ξηρές) περιοχές βιολογικής δραστηριότητας, ανάπτυξη ανώτερων φυτών, γ) κυψελώσεις, δ) ολική αποσάθρωση υλικού (κονιάματος και λίθου), ε) κρυστάλλωση αλάτων, ζ) απώλεια υλικού, οπές. ...	51
Εικόνα 3.1: Σύγκριση αποτελεσμάτων τρίτης και τέταρτης κρούσης πειράματος G. Minke.....	60
Εικόνα 3.2: Ανάλυση μηχανισμού κατάρρευσης κυκλικού δοκιμίου από πλίνθους. ....	60
Εικόνα 3.3: Εφαρμογή επιτάχυνσης 0,888PGA. ....	61
Εικόνα 0.4 Ετρουσκικός θόλος με λαξευτούς θολίτες και αναπαράσταση της γραμμής ώθησης.....	62
Εικόνα 3.5 Ημικυκλικός θόλος υπό το ίδιο βάρος του. α) Ελάχιστη ώθηση, β) μέγιστη ώθηση. Η γραμμή εξαρτάται από το ρόλο της βάσης στήριξης.....	62
Εικόνα 3.6 Κατάρρευση ημικυκλικού θόλου υπό σημειακή φόρτιση. ....	63
Εικόνα 3.7: Σχηματική απεικόνιση των περιοχών λήψης των δεδομένων .....	88

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Οργανόγραμμα μελέτης ΤΕΕ για το πλαίσιο, τα στάδια και τους στόχους που προτείνονται στις μελέτες Μνημείων. ....	13
Σχήμα 2.1: Μηχανισμός κατάρρευσης ως αποτέλεσμα της έλλειψης ασυνέχειας των τοιχοποιιών στις διάφορες ιστορικές φάσεις. ....	21
Σχήμα 2.2: Μηχανισμοί κατάρρευσης ανάλογα με τη θέση και τη γεωμετρία του κτιρίου. ....	22
Σχήμα 2.3: Ανάπτυξη κατακόρυφων ρωγμών κατά την επιβολή θλιπτικών τάσεων σε λιθοδομή. ....	23
Σχήμα 2.4: Σεισμική συμπεριφορά κτιρίων από τοιχοποιία. Επίδραση των συνδέσμων και των διαφραγμάτων α) κτίριο με ξύλινα πατώματα και χωρίς συνδέσμους, β) κτίριο με ξύλινα πατώματα και συνδέσμους, γ) κτίριο με συμπαγή πατώματα και δοκάρια. [13].....	23
Σχήμα 2.5: Τοιχοποιία που έχει υποβληθεί σε εντός και εκτός επιπέδου δυνάμεις διαδοχικά: α) φόρτιση εντός επιπέδου, β) ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης εκτός επιπέδου, γ) απεικόνιση τρισδιάστατη των φθορών σε εκτός επιπέδου φόρτιση. ....	25
Σχήμα 2.6: Εφαρμογή ενεμάτων σε λιθοδομή. Υπόδειγμα ΕΤΕΠ 14-02-04-00.....	28
Σχήμα 2.7: Τομή αβαθούς υποθεμελίωσης σε υφιστάμενη τοιχοποιία. ....	29
Σχήμα 3.1: Φάση Α'.....	44
Σχήμα 3.2: Φάση Β'.....	44
Σχήμα 3.3: Φάση Ε'.....	45
Σχήμα 3.4: Κάτοψη / τοπογραφικό.....	46
Σχήμα 3.5: Οψοτομή Α-Α' (Νοτιοδυτική όψη).....	47
Σχήμα 3.6 Οψοτομή Β-Β' (Βορειοανατολική όψη).....	48
Σχήμα 3.7: Νότιοδυτική όψη.....	55
Σχήμα 3.8: Βορειοανατολική όψη.....	56
Σχήμα 4.1: Αναπαράσταση ιδιοτεροτήτων φορέα: α.-β. κανονιοθυρίδες με μειούμενο άνοιγμα προς την εξωτερική πλευρά του τείχους. γ. Τοξωτή διαμόρφωση -άνοιγμα κάτω από τον περίβολο και δ. scarpa.....	58
Σχήμα 4.2: Στοιχείο 7 με 8 κόμβους και 8 σημεία ολοκλήρωσης. ....	65
Σχήμα 4.3.....	66
Σχήμα 4.4.....	67
Σχήμα 4.5 Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων τοιχοποιίας κατά τον Ευρωκώδικα 6.....	69
Σχήμα 4.6: Νοτιοανατολική όψη. Περιγραφή φθορών μέσω των ιδιοτήτων των υλικών.....	70
Σχήμα 4.7: Βορειοδυτική όψη.....	71
Σχήμα 4.8: Συνοριακές συνθήκες φάσης α. ....	72
Σχήμα 4.9: Συνοριακές συνθήκες φάσης β. ....	73
Σχήμα 4.10: Συνοριακές συνθήκες περίπτωσης δ. ....	73
Σχήμα 4.11: Συνοριακές συνθήκες περίπτωσης ε. ....	74
Σχήμα 4.12: Μοντέλο α (1477-1601).....	75
Σχήμα 4.13: Μοντέλο β (1601-1805).....	75
Σχήμα 4.14: Μοντέλο γ (1805-1899).....	76
Σχήμα 4.15: Μοντέλο δ (1899-1970).....	76

Σχήμα 4.16: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	77
Σχήμα 4.17: Μοντέλο α (1477-1601) .....	78
Σχήμα 4.18: Μοντέλο β (1601-1805) .....	79
Σχήμα 4.19: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	79
Σχήμα 4.20: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	80
Σχήμα 4.21: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	80
Σχήμα 4.22: Μοντέλο α (1477-1601) .....	82
Σχήμα 4.23: Μοντέλο β (1601-1805) .....	83
Σχήμα 4.24: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	83
Σχήμα 4.25: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	84
Σχήμα 4.26: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	84
Σχήμα 4.27: Μοντέλο α (1477-1601) .....	85
Σχήμα 4.28: Μοντέλο β (1601-1805) .....	86
Σχήμα 4.29: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	86
Σχήμα 4.30: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	87
Σχήμα 4.31: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	87
Σχήμα 4.32: Μετατόπιση .....	89
Σχήμα 4.33: Ισοδύναμη Συνολική Παραμόρφωση .....	89
Σχήμα 4.34: Ισοδύναμες Τάσεις .....	90
Σχήμα 4.35: Κύριες Μέγιστες Τάσεις .....	90
Σχήμα 4.36: Μετατοπίσεις .....	91
Σχήμα 4.37: Ισοδύναμη Συνολική Παραμόρφωση .....	92
Σχήμα 4.38: Ισοδύναμες Τάσεις .....	92
Σχήμα 4.39: Μέγιστες κύριες τάσεις .....	93
Σχήμα 4.40: Μοντέλο α (1477-1601) .....	96
Σχήμα 4.41: Μοντέλο β (1601-1805) .....	96
Σχήμα 4.42: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	97
Σχήμα 4.43: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	97
Σχήμα 4.44: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	98
Σχήμα 4.45: Μοντέλο α (1477-1601) .....	98
Σχήμα 4.46: Μοντέλο β (1601-1805) .....	99
Σχήμα 4.47: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	99
Σχήμα 4.48: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	100
Σχήμα 4.49: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	100
Σχήμα 4.50: Μοντέλο α (1477-1601) .....	101
Σχήμα 4.51: Μοντέλο β (1601-1805) .....	101
Σχήμα 4.52: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	102
Σχήμα 4.53: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	102
Σχήμα 4.54: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	103
Σχήμα 4.55: Μοντέλο α (1477-1601) .....	103
Σχήμα 4.56: Μοντέλο β (1601-1805) .....	104
Σχήμα 4.57: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	104
Σχήμα 4.58: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	105
Σχήμα 4.59: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	105
Σχήμα 4.60: Μοντέλο α (1477-1601) .....	106
Σχήμα 4.61: Μοντέλο β (1601-1805) .....	106
Σχήμα 4.62: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	107
Σχήμα 4.63: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	107
Σχήμα 4.64: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	108

Σχήμα 4.65: Μοντέλο α (1477-1601) .....	108
Σχήμα 4.66: Μοντέλο β (1601-1805) .....	109
Σχήμα 4.67: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	109
Σχήμα 4.68: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	110
Σχήμα 4.69: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	110
Σχήμα 4.70: Μοντέλο α (1477-1601) .....	111
Σχήμα 4.71: Μοντέλο β (1601-1805) .....	111
Σχήμα 4.72: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	112
Σχήμα 4.73: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	112
Σχήμα 4.74: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	113
Σχήμα 4.75: Μοντέλο α (1477-1601) .....	113
Σχήμα 4.76: Μοντέλο β (1601-1805) .....	114
Σχήμα 4.77: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	114
Σχήμα 4.78: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	115
Σχήμα 4.79: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	115
Σχήμα 4.80: Μοντέλο α (1477-1601) .....	116
Σχήμα 4.81: Μοντέλο β (1601-1805) .....	116
Σχήμα 4.82: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	117
Σχήμα 4.83: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	117
Σχήμα 4.84: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	118
Σχήμα 4.85: Μοντέλο α (1477-1601) .....	118
Σχήμα 4.86: Μοντέλο β (1601-1805) .....	119
Σχήμα 4.87: Μοντέλο γ (1805-1899) .....	119
Σχήμα 4.88: Μοντέλο δ (1899-1970) .....	120
Σχήμα 4.89: Μοντέλο ε (1970-2015) .....	120



---

# 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Η πόλη των Χανίων στη σημερινή της μορφή, αποτελεί ένα αμάλγαμα πολιτισμών που πάτησαν στη κρητική γη από την αρχαιότητα μέχρι και τους σύγχρονους χρόνους. Η χαρακτηριστική όμως μορφή του κέντρου της πόλης είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένη με την περίοδο της ενετοκρατίας (1252- 1669), που μας κληροδότησε μια σειρά από σημαντικά μνημεία, έργα υποδομής εκείνης της περιόδου, κοσμικά, στρατιωτικά και θρησκευτικά κτίρια (εικόνα 1.1).

Δεν είναι τυχαίο άλλωστε, ότι μιλώντας σήμερα κανείς για τα Χανιά, αντιλαμβάνεται κυρίως το μεσαιωνικό λιμάνι με τα στενά σοκάκια, δημιούργημα των ενετών, που αποτελεί το πιο γραφικό μέρος της πόλης και το πιο ζωντανό κομμάτι της ιστορίας της.

Η πολύπαθη ιστορία που την διατρέχει, ωστόσο, δε συνάδει με τον πλούτο των ιστορικών μνημείων που συγκεντρώνονται μέσα στο περίγραμμα των οχυρώσεών της.

Ταυτόχρονα το ίδιο ιστορικό πλαίσιο, καθιστά το εγχείρημα της ανάδειξης αυτού του μνημειακού συνόλου εξαιρετικά δύσκολο, σε αντίθεση με άλλα παραδείγματα του ευρωπαϊκού χώρου, όπου η προστασία, η ανάδειξη και η ένταξη των μνημείων στο σύγχρονο χώρο θεωρείται αυτονόητη.

Η δυσκολία αυτή, η οποία γίνεται σαφής στη συνέχεια μέσα από το παράδειγμα και το ξετύλιγμα της ιστορίας της πόλης των Χανίων, καθιστά επιπλέον πολύ δύσκολη και την πρωτοπόρα εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων μελέτης και αποκατάστασης, η οποία είναι διαθέσιμη με τα συναφή επιστημονικά εργαλεία στα χέρια των διαφόρων ειδικοτήτων.

Δεν είναι αντικείμενο εδώ η κριτική της ελληνικής πρακτικής στην αποκατάσταση εν γένει, γιατί θα περιπέσουμε στο σφάλμα να καταδικάσουμε γενικώς το έργο της ανάδειξης των μνημείων μας, όταν μέσα σ' αυτό υπάρχουν σαφώς αξιόλογες εργασίες και μελέτες.

Αντίθετα, μέσω ενός πραγματικού έργου, επιχειρείται να παρουσιασθεί πρωτίστως μια ορθή διαδρομή για το πρώτο στάδιο της διαδικασίας αποκατάστασης, αυτό **της μελέτης του έργου με διεπιστημονική συνεργασία**.

Επομένως, εκφράζονται περισσότερο προσδοκίες για την εκπόνηση μελετών στη σωστή κατεύθυνση και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το παράδειγμα του "Κυκλικού Πύργου", που αποτελεί τμήμα ερειπωμένο των ενετικών τειχών

της Παλιάς Πόλης Χανίων, η μελέτη αποκατάστασης<sup>2</sup> του οποίου εγκρίθηκε με απόφαση του Κεντρικού Αρχαιολογικού Συμβουλίου στις 22/09/2014<sup>3</sup>.

Εικόνα 1.1: Χάρτης - Οδηγός αναγνώρισης των οχυρώσεων της παλιάς πόλης Χανίων. Το στοιχείο 'α', αποτελεί το σημείο της περιοχής μελέτης<sup>4</sup>.



- ΒΥΖΑΝΤΙΝΟ ΤΕΙΧΟΣ
- ΕΝΕΤΙΚΟ ΤΕΙΧΟΣ
- ΛΟΦΟΣ ΚΑΣΤΕΛΛΙΟΥ
- ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΑΛΙΑΣ ΠΟΛΗΣ
- ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΟΛΗ
- ΑΚΤΙΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ (αναχώματα, παραπέτα, τάφροι κτλ)

- Α. ΠΡΟΜΑΧΩΝΑΣ SAN SALVATORE ή GRITTI ή VENIER
- Β. ΠΡΟΜΑΧΩΝΑΣ SCHIAVO ή SAN DIMITRI ή LANDO
- Γ. ΡΙΑΤΤΑΦΟΡΜΑ ή ΠΡΟΜΑΧΩΝΑΣ RETTIMIOTO ή SAN GIOVANNI MIGERICORDIA
- Δ. ΠΡΟΜΑΧΩΝΑΣ SANTA LUCIA
- Ε. ΠΡΟΜΑΧΩΝΑΣ SABBIONARA
- Ζ. ΗΜΙΠΡΟΜΑΧΩΝΑΣ MOCENIGO ή MALIPIERO
- Η. ΗΜΙΠΡΟΜΑΧΩΝΑΣ SAN NICOLO
- Θ. ΗΜΙΠΡΟΜΑΧΩΝΑΣ SAN SALVATORE ή ΦΡΟΥΡΙΟ ΦΙΡΚΑ

- α. Γενοβέζικος Πύργος
- β. Επιπρομαχώνας Santa Caterina ή San Marco ή Santa Marina
- γ. Επιπρομαχώνας San Nicolo ή Priuli ή San Anastasio
- δ. Επιπρομαχώνας Schiavo ή Lando ή San Dimitri
- ε. Δυτική Τάφρος
- ζ. Πόρτα Rettimiota
- η. Επιπρομαχώνας Santa Lucia
- θ. Πόρτα Sabbionara
- ι. Ανατολική Τάφρος
- κ. Ανολοκλήρωτα Νεώρια Moro ή Arsenali Nuovi
- λ. Φάρος

<sup>2</sup> Στη συγκεκριμένη μελέτη ο πύργος ονομάζεται Γενοβέζικος (κυκλικός) πύργος στο φρούριο Φιρκά Χανίων.

<sup>3</sup> Αριθμ. Πρωτ.: ΥΠΠΟΑ/ΓΔΑΜΤΕ/ΔΑΒΜΜ/241457/ 27221/5392, κωδικός καταχώρησης στη διαύγεια ΑΔΑ: 66ΟΚΓ-9ΕΩ.

<sup>4</sup> Ο χάρτης αποτελεί εξέλιξη του χάρτη που είχε δημιουργηθεί από τη συντάξασα στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας για την απόκτηση του διπλώματος της Αρχιτέκτονος Μηχανικού. Οι συμπληρώσεις- διορθώσεις έγιναν σε συνεργασία με τη συνάδελφο Βλαζάκη Ειρήνη.



## 1.1 Η ιστορία της πόλης και η προστασία της μνήμης

---

Οι πρώτες ενδείξεις κατοίκησης μέσα από τις ανασκαφικές έρευνες που έχουν γίνει στη πόλη των Χανίων, χρονολογούνται ήδη από την 4η χιλιετία π.Χ. Η κατοίκηση στο χώρο αυτό φαίνεται να είναι συνεχιζόμενη μέχρι τα μινωικά χρόνια, με την ονομασία Ku-do-ni-ja, όπου μετέπειτα στους ιστορικούς χρόνους αναπτύχθηκε η μεγάλη πόλη Κυδωνία.

Η Κυδωνία καταλήφθηκε από τους Ρωμαίους το 69π.Χ. και κατά τους παλαιοχριστιανικούς χρόνους έγινε η έδρα της ομώνυμης παλαιοχριστιανικής Επισκοπής. Το γεγονός ότι η πόλη ήταν σημαντική στην αρχαιότητα υποστηρίζεται από την εποχή του Ομήρου, ενώ αρχαίοι συγγραφείς θεωρούν τη Κυδωνία «μητέρα» των άλλων κρητικών πόλεων [1].

Το 823μ.Χ. καταλήφθηκε και καταστράφηκε από τους Σαρακηνούς και απελευθερώθηκε το 961μ.Χ. από τον Νικηφόρο Φωκά. Μετά την εκδίωξη των Αράβων ο οικισμός ξανακτίσθηκε, αλλά παρέμεινε μικρή και ασήμαντη πόλη. Η πόλη αυτή κτίστηκε πάνω σε φυσικό οχυρό λόφο, τον οποίο αργότερα οι Βυζαντινοί μετέτρεψαν σε φρούριο. Στην επέμβαση αυτή των Βυζαντινών, πιθανότατα οφείλεται και η σημερινή του ονομασία «Καστέλι» [2]. (Λείψανα οχυρού τείχους, έχουν εντοπιστεί στην ίδια θέση και υπάγονται στην ελληνιστική περίοδο) [1].

Μετά την Τέταρτη Σταυροφορία και τη διανομή των εδαφών της Βυζαντινής αυτοκρατορίας το 1204, η Κρήτη δίδεται στον Ιταλό Βονιφάτιο, Μαρκήσιο του Μομφερά, ο οποίος στις 12 Αυγούστου του ίδιου έτους, υπέγραψε στην Αδριανούπολη συμφωνία αγοραπωλησίας με την Ενετική Δημοκρατία, με αντίτιμο 75.000 χρυσά φράγκα<sup>5</sup> [3]. Μεσολαβούν αγώνες κατά του Κόμη της Μάλτας Ερρίκου Πεσκατόρε και τους συμμάχους τους Γενουάτες, που διεκδικούσαν το νησί. Τελικά η Κρήτη περιέρχεται στα χέρια των Ενετών το 1212, ενώ η κατάληψη των Χανίων οριστικοποιείται στα 1252, όταν οι Ενετοί κατόρθωσαν να καταπνίξουν τις επαναστάσεις των ντόπιων κατοίκων [1].

Μετά την οριστικοποίηση της κατάκτησης της πόλης των Χανίων, οι Ενετοί αποφάσισαν, προκειμένου να διασφαλιστεί η κυριαρχία τους στην Δυτική Κρήτη, να ανοικοδομήσουν και να περιτείχισουν νέα πόλη στα Χανιά. Η πόλη αυτή κτίστηκε στη θέση του Βυζαντινού Καστελιού και προοριζόταν να στεγάσει δημόσιες και στρατιωτικές λειτουργίες.

Στα μέσα του 15ου αι. το νησί, υπό την κυριαρχία των ενετών, ακμάζει με τα Χανιά να είναι η δεύτερη σε σημασία πόλη.

Στις αρχές του 16ου αιώνα, η αύξηση του πληθυσμού και η τουρκική απειλή οδήγησαν στην κατασκευή εξωτερικού πιο ισχυρού τείχους το οποίο ολοκληρώθηκε το 1590 [2]. Η πόλη την εποχή αυτή έχει αποτυπωθεί με μεγαλύτερη αξιοπιστία στο χάρτη του G. Corner (εικ. 1.2).

---

<sup>5</sup> Στη βιβλιογραφία υπάρχει σύγχυση όσον αφορά το ποσό της αγοραπωλησίας. Εδώ παρουσιάζεται ό,τι αναφέρει σχετικά ο Ι. Τσιβής, *Χανιά 1252-1940*, σελ 31.



Εικόνα 1.2: Χάρτης G. Corner, 1625. Από το αρχείο της Ε.Ε.Α.Ο.Ε.Κ.

Οι Τούρκοι που εποφθαλμιούσαν καιρό την κυριαρχία του νησιού, επιχειρούν απόβαση στα Χανιά στα 1645, και ύστερα από δίμηνη σκληρή πολιορκία, κατέλαβαν την πόλη απ' όπου και συνέχισαν για την κατάληψη ολόκληρου του νησιού.

Οι Τούρκοι θα παραμείνουν στη Κρήτη ως το 1898, οπότε και ιδρύεται η ημιαυτόνομη «Κρητική Πολιτεία» που θα διατηρηθεί ως το 1913 με την επίσημη ένωση της Κρήτης με την Ελλάδα [1].

Η χρονολογία απελευθέρωσης της Κρήτης, δηλαδή το 1898, σηματοδοτεί και την αφετηρία καταγραφής των γεγονότων που αφορούν στην προστασία ή μη, των μνημείων της πόλης των Χανίων.

Ένα πρώτο σημαντικό γεγονός είναι ο νόμος 474/1903 της Κρητικής Πολιτείας [4], όπου τα τείχη και οι τάφροι της πόλης παραχωρήθηκαν στο Δήμο Χανίων, για την ανάπτυξη και εξυγίανση των περιοχών αυτών. Για το σκοπό αυτό αποφασίζεται η κατεδάφιση μέρους των τειχών για την ενοποίηση της παλιάς με τη νέα πόλη που ήδη είχε αρχίσει να επεκτείνεται εκτός του φρουρίου. Μια τέτοια ενέργεια συνοδευόταν με οφέλη όπως τον εκσυγχρονισμό, την εξάλειψη του αισθήματος καταπίεσης που προκαλούσαν οι πρόσφατες μνήμες της τουρκικής κατοχής αλλά και την εκμετάλλευση των μεγάλων εκτάσεων που θα απελευθερώνονταν από αυτή την ενέργεια για δημόσιο και ιδιωτικό όφελος.

Η μεγαλύτερη επέμβαση, ήταν η οικοδόμηση το 1908 της σταυρόσχημης Δημοτικής αγοράς, πάνω στο μεγάλο προμαχώνα Piatta Forma, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ως βάση θεμελίωσης, αφού κατεδαφίστηκαν οι δύο επιπρομαχώνες και τα προϊόντα χρησιμοποιήθηκαν για την επιχωμάτωση της τάφρου. Συνεχίστηκε η διάνοιξη ρηγμάτων για την επικοινωνία με τη νέα πόλη σε διάφορα σημεία των τειχών και κυρίως στις περιοχές όπου υπήρχαν οι πύλες του φρουρίου. Ένα τέτοιο σημείο είναι και η Portella di San Salvatore (ή

porta del rivellino serrata ή porta del Levande) η οποία βρισκόταν ακριβώς δίπλα στον κυκλικό πύργο και οδηγούσε στην σημερινή οδό Θεοτοκοπούλου.

Παρόλα αυτά, η ισχυρή κατασκευή των τειχών δεν επέτρεψε την πλήρη καταστροφή τους, με αποτέλεσμα να σώζεται σήμερα ορατό ή σε κατάχωση το 85% των οχυρώσεων. Στην εικόνα 1.3 μπορεί κανείς να διακρίνει τις ελεύθερες εκτάσεις των σωζόμενων τάφρων και οχυρώσεων και την ανάπτυξη της πόλης εκτός των τειχών το έτος 1939.



Εικόνα 1.3: Τμήμα Ορθοφωτοχάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, έτος 1939. Πηγή: Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών Νομαρχίας Χανίων.

Το 1941 η Παλιά Πόλη βομβαρδίστηκε από τα Γερμανικά αεροπλάνα, με αποτέλεσμα να υποστεί σημαντικές καταστροφές (εικ. 1.4). Ο βομβαρδισμός έδωσε την αφορμή για μια ακόμη απόπειρα εκσυγχρονισμού της Παλιάς Πόλης και υλοποίησης του παλιού στόχου της ενοποίησης με τη νέα. Έτσι το 1947 συντάχθηκε νέο ρυμοτομικό σχέδιο(εικ. 1.5), κατά το "ίπποδάμειο" σύστημα υπό του γενικού διευθυντή ανοικοδομήσεως Κ. Δοξιάδη, όπου προτείνονται ρυμοτομήσεις, διαπλατύνσεις δρόμων, και αστικός αναδασμός [5].





Εικόνα 1.4: Τμήμα Ορθοφωτοχάρτη ΓΥΣ, 1945. Από το αρχείο της Ε.Ε.Α.Ο.Ε.Κ.



Εικόνα 1.5: Ρυμοτομικό σχέδιο Παλιάς Πόλης Χανίων, 1946. <http://gis.chania.gr/>

Το 1965 η Παλιά Πόλη Χανίων χαρακτηρίστηκε με Βασιλικό διάταγμα ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο<sup>6</sup>, όμως οι ουσιαστική του προστασία τοποθετείται στις αρχές του 1990, καθώς τα χρόνια που μεσολάβησαν, τα αντικρουόμενα συμφέροντα και η άγνοια του πλούτου του μνημείου από τη πλευρά των πολιτικών δυνάμεων, δεν οδήγησαν παρά μόνο σε εσφαλμένες ενέργειες κατά του μνημείου [5].

Η δεκαετία του 1990 είναι η εποχή που επιτυγχάνεται συναίνεση μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, δηλαδή του ΥΠΠΟ, του ΥΠΕΧΩΔΕ, του Δήμου Χανίων και άλλων τοπικών φορέων. Η σύναψη προγραμματικής Σύμβασης και η

---

<sup>6</sup> ΦΕΚ 523/Β' / 16-8-1965

δημιουργία του Γραφείου Παλιάς Πόλης, το οποίο σε συνεργασία με τις υπηρεσίες του ΥΠΠΟ αναλάμβανε τη σύνταξη μελετών και την εκτέλεση των έργων, προϋπέθετε ότι όλα τα σχετικά με την προστασία του οικισμού θέματα, γίνονται αντικείμενο συζήτησης και σοβαρής αντιμετώπισης.

Το 1994-95 συντάσσεται το "Σχέδιο Προστασίας και αναδείξεως Μεσαιωνικής Πόλεως Χανίων" από τους Αρχιτέκτονες πολεοδόμους Α.Σ. Καλλιγά και Α.Γ. Ρωμανό, το οποίο δεν έχει υλοποιηθεί.

Το 1992<sup>7</sup> ιδρύθηκε το «Ταμείο Διαχείρισης Πιστώσεων για την Εκτέλεση Αρχαιολογικών Έργων» (Τ.Δ.Π.Ε.Α.Ε.), ως Ν.Π.Ι.Δ. με έδρα την Αθήνα, για την εκτέλεση των μεγάλων και σημαντικότερων έργων της χώρας (Ν. 2021/1992 ΦΕΚ 36Α'), όμως έργα για τη παλιά πόλη των Χανίων, δεν προβλέπονταν. Μόνο το 2003 συγκροτήθηκε Επιστημονική Επιτροπή Ανάδειξης Αρχαιολογικών Έργων Κρήτης με πρόεδρο τον κ. Μ. Ανδριανάκη, υπό την εποπτεία του ανωτέρω φορέα, και με συμμετοχή διακεκριμένων επιστημόνων όλων των σχετικών ειδικοτήτων. Για την υποστήριξη του έργου της Επιστημονικής Επιτροπής ιδρύθηκε το ίδιο έτος το Γραφείο Τειχών Χανίων το οποίο λειτουργεί μέχρι σήμερα, οπότε και ξεκίνησε η μελέτη και το έργο της αποκατάστασης των οχυρώσεων της παλιάς πόλης<sup>8</sup>, τόσο στο Βυζαντινό όσο και στο Ενετικό τείχος.

Όμως με τις διατάξεις του άρθρου 3 του Ν. 4109/2013 (ΦΕΚ/Α/16/23-01-2013) «Κατάργηση και συγχώνευση νομικών προσώπων του δημοσίου και του ευρύτερου δημόσιου τομέα - Σύσταση Γενικής Γραμματείας για το συντονισμό του κυβερνητικού έργου και άλλες διατάξεις», καταργείται Το Τ.Δ.Π.Ε.Α.Ε. στις 31-03-2013, ενώ στην παράγραφο 7 του ίδιου άρθρου ορίζεται ότι: "Υφιστάμενες Επιστημονικές Επιτροπές μελέτης και εκτέλεσης αρχαιολογικών έργων καταργούνται μετά την παραλαβή των έργων που τους έχουν ανατεθεί".

---

<sup>7</sup> Νωρίτερα, με το Π.Δ 941/1977 (ΦΕΚ 320/Α'/17-10-1977), επιχειρείται αναδιοργάνωση και ανασύσταση της διάρθρωσης του τότε Υπουργείου Πολιτισμού και Επιστημών, και των εποπτευόμενων φορέων, ενώ συστήνονται επιστημονικές επιτροπές για τη συντήρηση των σημαντικότερων τότε μνημείων της χώρας κυρίως της κλασσικής περιόδου. Μια πλήρης ομάδα επιστημόνων συστήνεται με το άρθρο 95 για τη συντήρηση των μνημείων της Ακροπόλεως Αθηνών. Τα έργα αυτά, μετά το Ν.2021/1992 εποπτεύονταν από το Τ.Δ.Π.Ε.Α.Ε. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με το Π.Δ. 941/77, έργο των επιστημονικών επιτροπών ήταν ο προγραμματισμός, η κατεύθυνση και εποπτεία των προς συντήρηση μνημείων.

<sup>8</sup> Όπως αναφέρει στην εισήγησή του στην ημερίδα με τίτλο "Οχυρωμένες Πόλεις" για το έργο του Γραφείου τειχών: "Αρχικά πραγματοποιήθηκαν εκτεταμένες εργασίες καθαρισμού, έρευνας πεδίου και αρχείου για τη διευκρίνιση αρχαιολογικών και άλλων θεμάτων. Στην έρευνα σημαντική ήταν η βοήθεια των τοπικών αρχών της Βενετίας με την παροχή στοιχείων από τα πλούσια αρχεία της. Στα πλαίσια του προγράμματος Culture 2000 υπήρξε συνεργασία με το Πολυτεχνείο Θεσσαλονίκης για τη φωτογραμμετρική αποτύπωση του βορειοδυτικού τμήματος των οχυρώσεων. Πραγματοποιήθηκε ακόμη από το Κέντρο Λίθου του ΥΠΠΟ έρευνα για τα υλικά δομής του Βυζαντινού τείχους και άλλη από το Πολυτεχνείο Κρήτης για τον εντοπισμό της πορείας του καταχωμένου αντισεισμικού των Βενετσιάνικων οχυρώσεων. Παράλληλα διεξήχθη έρευνα στα αρχεία του Δημοτικού Συμβουλίου Χανίων και τον τοπικό Τύπο για τις επεμβάσεις στις οχυρώσεις στα νεότερα χρόνια και το ιδιόρρυθμο ιδιοκτησιακό καθεστώς. Μελέτες με τη διαδικασία της αυτεπιστασίας προετοιμάζονται από το επιστημονικό προσωπικό του Γραφείου για άλλα τμήματα του μνημείου ενόψει της επικείμενης χρηματοδότησης στα πλαίσια του ΕΣΠΑ."

## 1.2 Ιστορία του θεσμικού πλαισίου προστασίας των μνημείων

---

Οι αρχές για την προστασία και διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι συνυφασμένη με τις αξίες της κοινωνίας που καλείται να τα αναγνωρίσει. Παρότι τα ευρωπαϊκά παραδείγματα διέπονται από μια ουσιαστική εκτίμηση των πολιτιστικών τους αγαθών, στην Ελλάδα η ιδιότυπη ιστορική της διαδρομή συνετέλεσε σε αξιοσημείωτη καθυστέρηση αυτής της στάσης.

Παρόλο που μια προσπάθεια λήψης μέτρων για τη διάσωση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς είχε ξεκινήσει ήδη από τις πρώτες δεκαετίες του 19ου αι., η ουσιαστική προστασία της είναι εξίσου ιδιόζουσα όσο και τα πολιτικά και ιστορικά γεγονότα που διατρέχουν τους δύο περίπου αιώνες ζωής του νέου Ελληνικού Κράτους, όπως γίνεται αντιληπτό από το παρακάτω ξεδίπλωμα των θεσμών και των γεγονότων.

Στις αρχές του 18ου αι. το αυξανόμενο συλλεκτικό πάθος των ηγεμόνων και ευγενών της Ευρώπης οδήγησε σε αποστολές προς την Ελλάδα, που με ή χωρίς την ερευνητική δικαιολογία είχε ως αποτέλεσμα αρπαγές και λεηλασίες των πολιτιστικών της θησαυρών. Μέχρι και τις αρχές του 20ου αι. τα μεγάλα μουσεία της δυτικής Ευρώπης εμπλουτίζονταν με μνημεία της Ελλάδας και στις αρχές του 20ου αι. προστίθενται και τα μουσεία των ΗΠΑ.

Το 1807, ο Αδαμάντιος Κοραής οργισμένος από την σύληση των χειρογράφων της Πάτμου και άλλων νησιών του Αιγαίου, από τον Άγγλο περιηγητή Ed. Clarke, διατύπωσε δεκατρείς προτάσεις-μέτρα σε υπόμνημά του προς το Οικουμενικό Πατριαρχείο όπου προτείνει μέτρα για την καταγραφή των μνημείων και των αρχαιοτήτων από τις κατά τόπους εκκλησιαστικές αρχές στην Οθωμανική Αυτοκρατορία.

Το 1826 με διάταγμα του Γ. Κουντουριώτη, γίνεται μια προσπάθεια να περισωθούν και να αναδειχθούν ακίνητα πολιτιστικά αγαθά τα οποία κινδύνευαν από την ακατάστατη και κακή διατήρηση των γειτνιαζόντων οικοδομών και τον αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς.

Το τελευταίο επίσημο μέτρο της περιόδου της Ελληνικής Επανάστασης, είναι η διαταγή στο ΙΗ' άρθρο της Γ' Εθνοσυνέλευσης στη Τροιζήνα, για τη φροντίδα της Διοίκησης κατά της πώλησης και διακίνησης των αρχαιοτήτων.

Ο Ιωάννης Καποδίστριας, λαμβάνει τα ίδια μέτρα λίγο πριν την επίσημη ίδρυση του Ελληνικού Κράτους με διαταγή (αριθ.2400/12.5.1828) που απαγορεύει την εξαγωγή των αρχαιοτήτων και ιδρύει το Εθνικό Μουσείο της Αίγινας με Έφορο τον Ανδρέα Μουστοξύδη, στον οποίο οφείλεται η εγκύκλιος αριθ.953/23.6.1829 για τις αρχαιότητες (8 άρθρα), το οποίο είναι στην ουσία προσχέδιο αρχαιολογικού νόμου.

Με την έλευση της βασιλείας του Όθωνα, ψηφίζεται ο πρώτος αρχαιολογικός νόμος 10/22.5.1834. Ο νόμος αυτός ορίζει τα θέματα ιδιοκτησίας των αρχαιοτήτων υπό του Κράτους, την υποχρέωση δήλωσης τους, όρους διαχείρισης, διάθεσης, χρήσης, αρμοδιότητες εφόρων αρχαιοτήτων και το χρονικό όριο της προστασίας στο τέλος του Μεσαίωνα, το οποίο δικαστικώς τοποθετήθηκε στο έτος 1453.

Το 1899 ψηφίζεται νέος αρχαιολογικός νόμος Ν.ΒΧΜΣ(2646), τον οποίο υιοθέτησε και η νεοσύστατη Κρητική Πολιτεία στα πρώτα της νομοθετήματα. Με το νόμο αυτό εισήχθη η πλήρης ιδιοκτησία του κράτους επί όλων ανεξαιρέτως των αρχαιοτήτων και το δικαίωμα του να αφαιρεί αναγκαστικά έναντι αμοιβής την κατοχή οποιουδήποτε σημαντικού αρχαίου.

Η προστασία των ακίνητων μνημείων της περιόδου 1453-1830 θεσμοθετήθηκε με νόμο αρκετά αργότερα, το 1921.

Το 1932 (κωδικοποιημένος νόμος 5351/1932) έγινε η τρίτη σημαντική μεταβολή στην αρχαιολογική νομοθεσία, κυρίως λόγω των παρεμβάσεων των συλλεκτών στην τότε κυβέρνηση. Οι βασικές διατάξεις του νόμου του 1899 παρέμειναν, όμως αναγκαστική απόκτηση δηλουμένων αρχαίων από το Κράτος έναντι αποζημιώσεως επιτρεπόταν μόνον σε περίπτωση δηλώσεως από εμπόρους αρχαιοτήτων. Προσετέθησαν όμως σημαντικές διατάξεις για την προστασία των αρχαιοτήτων και διευθετήθηκαν τα θέματα των ανασκαφών από όλους τους φορείς. Η έμφαση στα μνημεία της κλασικής αρχαιότητας είναι έκδηλη στο νόμο αυτό.

Μεταπολεμικά, με τον νόμο 1469/1950 τέθηκαν υπό κρατική προστασία τα πολιτιστικά αγαθά, κινητά και ακίνητα, μεταγενέστερα του 1830, τα οποία χαρακτηρίζονταν με υπουργική απόφαση ως μνημεία ή ως έργα τέχνης που χρειάζονται ειδική κρατική προστασία [6].

Ο κωδικοποιημένος νόμος 5351/1932 ίσχυσε μέχρι το 2002, οπότε αντικαταστάθηκε από τον νόμο 3028/2002 “για την προστασία των αρχαιοτήτων και της πολιτιστικής κληρονομιάς εν γένει”. Ο τέταρτος αυτός αρχαιολογικός νόμος της χώρας καλύπτει το σύνολο της πολιτιστικής κληρονομιάς, από αρχαιοτάτων χρόνων μέχρι σήμερα, με εσωτερικές χρονολογικές διακρίσεις που διαφοροποιούν και τον βαθμό της προστασίας.

Όπως γίνεται σαφές μέσα από τη εξέλιξη των νομοθετημάτων, η περίοδος της Τουρκοκρατίας, υποτιμάται για σχεδόν ένα αιώνα από την ίδρυση του Ελληνικού Κράτους. Την ίδια στιγμή θαυμάζεται δυσανάλογα κάθε τι που ανήκει στην ελληνική αρχαιότητα, ενώ τα Βυζαντινά δεν χαίρουν της ίδιας εκτίμησης, πιθανόν λόγω του νεοκλασικισμού που επικρατούσε στην Ευρώπη [7]. Επιπλέον ο αρχαιολογικός νόμος παραμένει ίδιος για εβδομήντα χρόνια, φανερώνοντας την απουσία ωρίμανσης γύρω από τα θέματα προστασίας της πολιτιστικής μας κληρονομιάς

Από την πλευρά της εφαρμογής των νόμων και κυρίως της πρακτικής της αποκατάστασης των μνημείων, κατά τον 19ο αι. χαρακτηρίζεται από εμπειρισμό, σε ολόκληρη την Ευρώπη. Η σύγχρονη αρχιτεκτονική της εποχής ήταν πολύ κοντά στα ιστορικά πρότυπα και την οικοδομική των παλαιότερων εποχών, επομένως η αποκατάσταση είχε τεχνικό και καλλιτεχνικό χαρακτήρα. Η συζήτηση γύρω από θέματα δεοντολογίας στο τομέα αυτό, ξεκίνησε πρώτα στην Αγγλία με τον J. Ruskin και τον William Morris στα μέσα του 19ου αι. [8]

Η συζήτηση αυτή λιγότερο θα απασχολήσει την μεθοδολογία αποκατάστασης στην Ελλάδα, η οποία μέχρι και το τέλος του 19ου αι. είναι εμπειρική και αφορά κυρίως σε έργα της κλασικής περιόδου. Μόνο στις αρχές του 19ου αι. είχε αρχίσει συνεχώς να αυξάνεται το ενδιαφέρον των μελετητών για τα Βυζαντινά,

Μεταβυζαντινά μνημεία και τα έργα του λαϊκού πολιτισμού (Γ. Σωτηρίου, Α. Ζάχος, Φ. Κόντογλου, Δ. Πικιώνης, Α. Ορλάνδος) [7].

Την ίδια περίοδο, η εμφάνιση και επικράτηση του μοντέρνου κινήματος, η χρήση νέων υλικών, και η πλήρης εγκατάλειψη των ιστορικών αρχιτεκτονικών μορφών, εμπνέει έναν αποστασιοποιημένο σεβασμό και ταυτόχρονα εισάγει την ανάγκη δημιουργίας ειδικών επιστημονικών σπουδών αποκατάστασης. Η ανάγκη αυτή γίνεται επιτακτικότερη μετά τις μεγάλες καταστροφές του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Κι ενώ στην Ευρώπη η εμπειρία και η συζήτηση στον τομέα της αποκατάστασης βοήθησε πολύ στο να αποφευχθούν σοβαρά λάθη, στην Ελλάδα επικρατούσε ακόμη το έργο του Ορλάνδου ως και τη δεκαετία του '60, ο οποίος ακολουθούσε τις καλλιτεχνικές και αισθητικές αξίες θυσιάζοντας επιστημονικές μαρτυρίες κτλ.

Ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος και η προβληματική που αναπτύχθηκε μέσα από τα λάθη που έγιναν από την εκτέλεση ασύλληπτου αριθμού έργων αποκατάστασης, οδήγησε το 1964 στη δημιουργία του πρώτου καταστατικού χάρτη για την αποκατάσταση, ο οποίος συντάχθηκε με πρωτοβουλία του διεθνούς οργανισμού I.C.O.M.O.S, γνωστός ως "Χάρτης της Βενετίας" [8]. Πρόκειται για ένα πλαίσιο αρχών, σεβασμού όλων των αξιών (καλλιτεχνικών, ιστορικών, επιστημονικών, χρηστικών, συναισθηματικών, συμβολικών, περιβαλλοντικών) που αναγνωρίζουμε στα αρχιτεκτονικά μνημεία και τα ιστορικά σύνολα, και αποκλείει τις ανακατασκευές. Ο Χάρτης κωδικοποιεί διάφορες παλαιότερες οδηγίες και γίνεται έκτοτε διεθνώς αποδεκτός. Η Ελλάδα τον προσυπέγραψε, χωρίς αυτό να σημαίνει άμεση μεταβολή στα εδώ κρατούντα.

Γύρω στο 1970 δόθηκε διεθνώς μεγάλη σημασία αφ' ενός στις χρηστικές αξίες των παλαιών κτηρίων και στην εγκατάσταση νέων χρήσεων σε παλαιά κελύφη και αφ' ετέρου στην ολοκληρωμένη αποκατάσταση κυρίως υποβαθμισμένων πολεοδομικών συνόλων. Στην Ελλάδα υπήρξε κάποιος θεωρητικός προβληματισμός, οι εφαρμογές όμως των ιδεών αυτών έγιναν μετά το 1975 και σε μικρή σχετικώς κλίμακα.

Ουσιαστικές αλλαγές πραγματοποιήθηκαν στην Ελλάδα μετά την μεταπολίτευση του 1974, όταν το μορφωτικό και πολιτιστικό υπόβαθρο της ελληνικής κοινωνίας είχε αναβαθμιστεί συνεπικουρούμενο με τις συνεχώς αυξανόμενες σχέσεις με τις Ευρωπαϊκές χώρες. Είναι η πρώτη φορά που συστάθηκαν και χρηματοδοτήθηκαν πολυεπιστημονικές επιτροπές για τη μελέτη και εκτέλεση των εργασιών, ενώ παράλληλα ενισχύθηκε το νομοθετικό πλαίσιο προστασίας των μνημείων<sup>9</sup>.

Οι αρχές που έγιναν δεκτές στις Επιτροπές εκτελέσεως αρχαιολογικών έργων (αρχικώς στα μνημεία της Ακροπόλεως και αργότερα σε 39 μνημεία ή σύνολα σε όλη την Ελλάδα) συνοψίζονται στα εξής:

---

<sup>9</sup> Για πρώτη φορά εντάσσονται στο Σύνταγμα της Ελληνικής Δημοκρατίας το 1975 ειδικοί όροι ιδιοκτησίας και διαθέσεως για τους αρχαιολογικούς χώρους και τους αρχαιολογικούς θησαυρούς (άρθρο 18 § 1) ενώ τα μνημεία, οι παραδοσιακές περιοχές και τα παραδοσιακά στοιχεία τίθενται υπό την προστασία του Κράτους. Επίσης καθορίζεται ο τρόπος και το είδος της αποζημιώσεως των πολιτών για τους περιορισμούς που η προστασία αυτή συνεπάγεται (άρθρο 24 § 6).



- Πολυεπιστημονική σύνθεση.
- Τήρηση των αρχών του Χάρτη της Βενετίας.
- Σύνταξη λεπτομερών μελετών για κάθε επέμβαση.
- Καθιέρωση διαδικασίας αξιολογήσεως και ελέγχου των μελετών.
- Πλήρης τεκμηρίωση προ, κατά το διάστημα και μετά την επέμβαση.
- Διαφάνεια και ενημέρωση.
- Δημοσιεύσεις.
- Διαχείριση και συντήρηση μετά την ολοκλήρωση των έργων.

Ειδικώς για τα μνημεία της κλασικής αρχαιότητας, τα οποία είναι δομημένα εν ξηρώ, τηρούνται πέραν του Χάρτη της Βενετίας και οι ακόλουθες αρχές:

- Το αναστρέψιμο των επεμβάσεων, το οποίο επιτυγχάνεται με συγκεκριμένους τρόπους τεκμηριώσεως και εργασίας.
- Η διατήρηση της αυτοτέλειας των αρχιτεκτονικών μελών.
- Ο περιορισμός των επεμβάσεων στις απολύτως απαραίτητες.

Από το 1975 και εφεξής παρατηρείται η πιο σημαντική πρόοδος, η οποία και οφείλεται στην εξειδίκευση και κατάρτιση διαφόρων επιστημονικών κλάδων στους τομείς της συντηρήσεως, αποκαταστάσεως και διαχείρισης μνημείων και συνόλων, κατάρτιση που παρέχεται κυρίως από πανεπιστημιακά ιδρύματα της Ευρώπης.

Το επιστημονικό δυναμικό της χώρας θα ενισχυθεί από τα Εθνικά της ιδρύματα πολύ αργότερα, το 1998, με την ίδρυση του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών για την Προστασία των Μνημείων, στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Επιπλέον, στις αρχές της επόμενης δεκαετίας κατέστη δυνατή με τις χρηματοδοτήσεις από την Ευρωπαϊκή Ένωση και η ανάπτυξη μεγάλων έργων αποκατάστασης, με αυστηρούς κανονισμούς και ελέγχους και τήρηση των αρχών του Χάρτη της Βενετίας.

Ταυτόχρονα η συμμετοχή της Ελλάδας σε διεθνείς οργανισμούς (UNESCO, Συμβούλιο της Ευρώπης, ICOMOS, ICOM, Europa Nostra) έβγαλε την χώρα από την απομόνωση σε αυτά τα θέματα, στην οποία βρισκόταν άλλοτε. Μια σειρά οδηγιών ή διεθνώς αποδεκτών αρχών υιοθετήθηκε επισήμως ή επηρέασε εμμέσως τις αποφάσεις και εξελίξεις:

- Η διακήρυξη του Amsterdam (1975) για τις σχέσεις με τον πολεοδομικό και χωροταξικό σχεδιασμό καθώς και για την ολοκληρωμένη διατήρηση.
- Οι οδηγίες του Nairobi (1976) για την προστασία ιστορικών τόπων.
- Η σύμβαση της Granada (1985) για την αρχιτεκτονική κληρονομιά της Ευρώπης.
- Ο Χάρτης του ICOMOS (1990) για τα αρχαιολογικά ευρήματα.

- The Nara Document (1994) επί της αυθεντικότητας των μνημείων.
- Η διακήρυξη του San Antonio (1996) επίσης επι της αυθεντικότητας.

Αυτά τα τελευταία πενήντα χρόνια περίπου εμπειρίας στα θέματα αποκατάστασης, είναι ικανά για να δώσουν την αφορμή μιας επί της ουσίας συζήτησης πάνω στις αδυναμίες που υπάρχουν, αλλά και στην εφαρμογή των καινοτομιών που έχουν αναπτυχθεί στις μελέτες και το έργο της αποκατάστασης των μνημείων.

Ο κατάλογος των μνημείων δεν είναι στατικός, ούτε και οι αρχές που διέπουν τις επεμβάσεις μας σε αυτά. Το πιο ουσιαστικό θέμα που ανακύπτει και πρέπει συνεχώς να απαντάται, είναι η κριτική για τους τρόπους με τους οποίους το παρελθόν θα παραδοθεί στο μέλλον [9].

### 1.3 Ισχύον νομοθετικό πλαίσιο για τη σύνταξη μελετών αποκατάστασης μνημείων και συνόλων

---

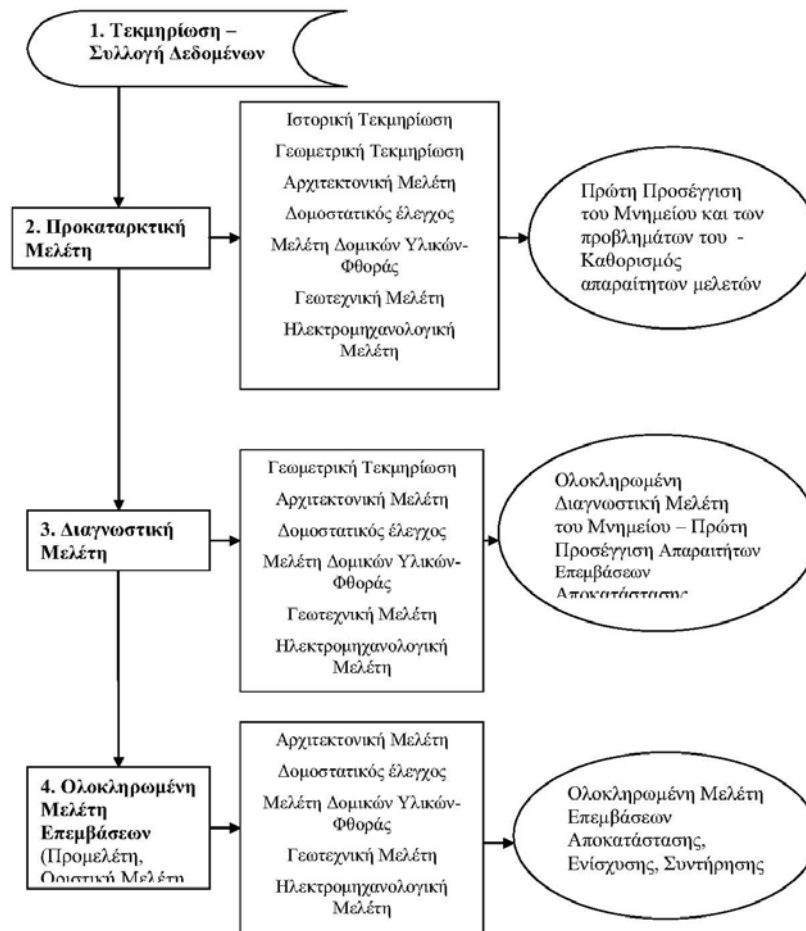
Το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο για τον καθορισμό του πλαισίου σύνταξης μελετών για ακίνητα μνημεία, ορίζεται στο άρθρο 40 "Εργασίες σε ακίνητα μνημεία", παράγραφος 4 του Ν.3028 (ΦΕΚ 153/Α'/28-06-2002) ως εξής:

"Με απόφαση του Υπουργού Πολιτισμού τίθενται οι ειδικότεροι κανόνες που διέπουν την εκπόνηση των μελετών και την εκτέλεση των εργασιών, οι οποίες εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του παρόντος άρθρου. Αυτό αφορά ιδίως την καταγραφή, αποτύπωση, τεκμηρίωση, τοπογράφηση των μνημείων, την κατάρτιση των σχετικών αρχιτεκτονικών, δομοστατικών και διαγνωστικών μελετών, τις μελέτες συντήρησης, προστασίας, αναστήλωσης, ανάδειξης, διαχείρισης και ολοκληρωμένης χρήσης των μνημείων, την εφαρμογή συστημάτων ποιοτικού ελέγχου στα έργα συντήρησης και αναστήλωσης και κάθε άλλο συναφές ζήτημα".

Όμως η τάση της κοινωνίας για απλοποίηση και υπέρβαση των δεσμεύσεων, όταν ειδικά το νομοθετικό πλαίσιο χαρακτηρίζεται από ασάφειες και γενικές διατυπώσεις, οδηγεί δικαιολογημένα στην εφαρμογή μη πλήρων ή και κακής ποιότητας μελετών για την αποκατάσταση των μνημείων.

Με αφορμή την δημοσίευση του Νόμου 3028/2002, το ΤΕΕ συγκρότησε ομάδα μελέτης με απόφαση της Διοικούσας Επιτροπής στις 16-03-2004, όπου εργάστηκε στη σύνταξη ολοκληρωμένης διεπιστημονικής πρότασης για τη Διαγνωστική Μελέτη και τη Μελέτη Σχεδιασμού Συμβατών Επεμβάσεων Αποκατάστασης σε μνημεία και σε Ιστορικά και Παραδοσιακά κτίρια, την οποία παρέδωσε το Μάιο του 2005. Η μελέτη αυτή συμπύκνωσε τα πορίσματά της σε σχέδιο προτάσεων για τη σύνταξη των εν λόγω μελετών, προκειμένου να προχωρήσει το Υπουργείο Πολιτισμού σε έκδοση σχετικής Υπουργικής Απόφασης ή κανονιστικού πλαισίου συμπληρωματικού του άρθρου 40, παρ. 4 του Ν. 3028/2002.

Πρόκειται για το μοναδικό δημόσιο έγγραφο<sup>10</sup>, το οποίο συγκεντρώνει τη μεθοδολογία της έρευνας με διεπιστημονική συνεργασία (σχ. 1.1), στις μελέτες αποκατάστασης μνημείων και συνόλων σε επίπεδο σχεδίου για την θεσμοθέτησή του, το οποίο όμως δεν έχει θεσμοθετηθεί μέχρι σήμερα.



Σχήμα 1.1: Οργανόγραμμα μελέτης ΤΕΕ για το πλαίσιο, τα στάδια και τους στόχους που προτείνονται στις μελέτες Μνημείων.

<sup>10</sup>Η μελέτη είναι διαθέσιμη στην ηλεκτρονική βιβλιοθήκη του ΤΕΕ με κωδικό αριθμό m2199 στην ιστοσελίδα [library.tee.gr](http://library.tee.gr)



---

# 2

## **ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ**

---

Η επισκευή ή η ενίσχυση μιας ιστορικής κατασκευής, είναι μια δύσκολη διαδικασία, η οποία απαιτεί υψηλό βαθμό εξειδίκευσης και εμπειρίας από τις εμπλεκόμενες ειδικότητες.

Πέρα από τα θέματα που σχετίζονται με την ιστορική πορεία ενός μνημείου, πρέπει να απαντώνται και τα ερωτήματα σχετικά με τη συντήρηση και ανάδειξή του, σε άμεση σχέση με το σύγχρονο και μελλοντικό περιβάλλον, τις οικονομικές παραμέτρους και τη δεοντολογία λειτουργικών δεσμεύσεων, στιλιστικών απαιτήσεων (μορφή) και κατασκευαστικών δυνατοτήτων, συνυφασμένων με τις διάφορες επεμβάσεις που αποσκοπούν στην επιβίωσή του.

Αντίστοιχα η πολιτιστική αξία μιας κατασκευής και η απαίτηση να διατηρηθεί στο μέλλον για τις επόμενες γενεές, προϋποθέτει επεμβάσεις που στόχο έχουν να παράσχουν υψηλή προστασία απέναντι σε κάθε πιθανή μελλοντική βλάβη ή καταστροφή, που θα μπορούσε να επέλθει από διάφορες δράσεις, συμπεριλαμβανομένου του σεισμού.

Πρόκειται λοιπόν για μια πολύπλοκη διαδικασία, με πλήθος ερωτημάτων που τίθενται για να απαντηθούν, πολλές φορές συνδυαστικά με άλλα ερωτήματα. Για να διασφαλιστεί μια λογική μεθοδολογία ανάλυσης και επέμβασης στα μνημεία αρχιτεκτονικής κληρονομιάς η ISCARSAH συνέταξε ένα κείμενο συστάσεων σε επίπεδο αρχών και κατευθυντήριων γραμμών, χρήσιμων για όλους τους εμπλεκόμενους σε θέματα συντήρησης και αποκατάστασης μνημείων [10]. Το διεθνές συμβούλιο για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς ICOMOS, έχει αναγνωρίσει και εντάξει στο πλαίσιο των προγραμματικών του αρχών μόνο τις αρχές ανάλυσης και αποκατάστασης, τις οποίες και αναφέρονται παρακάτω. Το πλαίσιο των κατευθυντήριων γραμμών δεν έχει τύχει της ίδιας αναγνώρισης, λόγω της πολυπλοκότητας των θεμάτων αποκατάστασης, της υψηλής εξειδίκευσης αλλά και της ιδιαίτερως ετερόκλητης φύσης των μνημειακών κατασκευών. Για το λόγο αυτό, όσον αφορά στις κατευθυντήριες γραμμές, αναφέρονται εδώ μόνο οι γενικές κατευθύνσεις, ο κύριος προσανατολισμός των κατευθύνσεων και η γενική ανάλυση των ιδιοτεροτήτων των φερουσών τοιχοποιιών, στο βαθμό που ενδιαφέρει και τη παρούσα μελέτη.

Με αφορμή την αναφορά στις ιδιαιτερότητες των φερουσών τοιχοποιιών γίνεται συνοπτική επισκόπηση στη συνέχεια της ορολογίας των επεμβάσεων και των επικρατέστερων μεθόδων επέμβασης και ενίσχυσής τους.

## 2.1 Αρχές ανάλυσης και αποκατάστασης [11]

---

### 2.1.1 Γενικά κριτήρια

---

- i. Η συντήρηση, ενίσχυση και αποκατάσταση των έργων αρχιτεκτονικής κληρονομιάς απαιτεί πολυ-επιστημονική προσέγγιση.
- ii. Η αξία και αυθεντικότητα του έργου εκτιμάται βάσει του πολιτιστικού πλαισίου στο οποίο εμπίπτει.
- iii. Η αξία κάθε ιστορικού κτιρίου δεν αφορά μόνο την εμφάνισή του, αλλά εκτιμάται στο σύνολο του ως ενιαίο προϊόν της συγκεκριμένης τεχνολογίας της εποχής του.
- iv. Πιθανές αλλαγές χρήσης πρέπει να λαμβάνουν υπόψη, όλες τις παραμέτρους αποκατάστασης και ασφάλειας.
- v. Κάθε παρέμβαση σε ιστορική κατασκευή πρέπει να θεωρείται στο πλαίσιο της αποκατάστασης και της συντήρησης ολόκληρου του κτιρίου.
- vi. Η ιδιαιτερότητα των ιστορικών κατασκευών, με πολύπλοκο ιστορικό πλαίσιο, απαιτούν οργάνωση των μελετών και αναλύσεων σε στάδια, παρόμοιων με αυτά που χρησιμοποιούνται στη παραγωγή φαρμάκων. Ανάμνηση, διάγνωση, θεραπεία, και έλεγχος, για την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασής τους, ανάγνωση των αιτιών σε βλάβες και φθορές, επιλογή διαρθρωτικών μέτρων και έλεγχος της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων. Για να είναι και οικονομικά αποτελεσματικό και για να διασφαλίζονται οι λιγότερες επιπτώσεις στην αρχιτεκτονική κληρονομιά θα πρέπει να επαναλαμβάνονται τα παραπάνω βήματα.
- vii. Καμία ενέργεια δεν θα πρέπει να αναλαμβάνεται χωρίς προηγουμένως να έχουν διατυπωθεί τα πιθανά οφέλη ή οι βλάβες στο έργο. Σε περίπτωση επειγόντων μέτρων διασφάλισης μιας επικείμενης κατάρρευσης, θα πρέπει να αποφεύγονται και οι ελάχιστες μόνιμες αλλαγές.

### 2.1.2 Έρευνα και διάγνωση

---

- i. Συνήθως μια πολυεπιστημονική ομάδα, επιλεγμένη ανάλογα με τον τύπο και την κλίμακα του προβλήματος, συνεργάζεται από την αρχή, π.χ. από την αρχική έρευνα πεδίου και την προετοιμασία του προγράμματος έρευνας.
- ii. Αρχικά πρέπει να αναλύονται δεδομένα και πληροφορίες, άμεσα διαθέσιμες.
- iii. Μια πλήρης κατανόηση της συμπεριφοράς της κατασκευής και των χαρακτηριστικών των υλικών της, είναι απαραίτητη για την αποκατάσταση και συντήρηση του έργου. Είναι κρίσιμο να διερευνηθεί η αρχική κατάσταση της κατασκευής στο αρχικό και πρώιμο στάδιο της, ως προς τις τεχνικές και κατασκευαστικές μεθόδους που είχαν χρησιμοποιηθεί, οι

αλλαγές και τα φαινόμενα που προέκυψαν από μεταγενέστερες επεμβάσεις, καθώς και η παρούσα του κατάσταση.

- iv. Αρχαιολογικοί χώροι που υπόκεινται σε ανασκαφή, αντιμετωπίζονται με ιδιαίτερη προσοχή και ειδικά μέτρα ή επί τόπου λύσεις αντιστηρίξεων.
- v. Η διάγνωση βασίζεται σε ιστορικές πληροφορίες και ποιοτικές και ποσοτικές προσεγγίσεις. Οι ποιοτικές προσεγγίσεις βασίζονται σε απευθείας παρατήρηση των φθορών της κατασκευής και της διάβρωσης των υλικών όσο και σε ιστορική και αρχαιολογική έρευνα, ενώ ποσοτικές προσεγγίσεις απαιτούν δοκιμές στα υλικά και στη κατασκευή, παρακολούθηση και δομική ανάλυση.
- vi. Πριν την οριστική απόφαση για τον τρόπο επέμβασης είναι απαραίτητο να έχουν προσδιοριστεί οι αιτίες των φθορών και της αποσύνθεσης, και στη συνέχεια να εκτιμηθούν τα υφιστάμενα επίπεδα ασφαλείας της κατασκευής.
- vii. Η εκτίμηση της ασφάλειας, η οποία ακολουθεί της διάγνωσης, είναι το σημείο όπου μπορεί να διαμορφωθούν αποφάσεις για πιθανές επεμβάσεις, και πρέπει να συνοδεύεται από ποιοτική και ποσοτική ανάλυση.
- viii. Διαφορετικές μέθοδοι τήρησης των απαιτούμενων μέτρων ασφαλείας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα κτήρια πολιτιστικής κληρονομιάς, τα οποία μπορεί να διαφέρουν από αυτά που εφαρμόζονται σε νέες κατασκευές. Οι μέθοδοι αυτές παρόλα αυτά θα πρέπει να προσδιορίζονται κατάλληλα.
- ix. Όλες οι απαραίτητες πληροφορίες, η διάγνωση, συμπεριλαμβανομένης της εκτίμησης ασφαλείας, και κάθε απόφαση επέμβασης, πρέπει να καθορίζεται πλήρως σε μια "ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ".

---

### 2.1.3 Διαρθρωτικά μέτρα και έλεγχοι

---

- i. Η θεραπεία θα πρέπει να αντιμετωπίζει βαθύτερες αιτίες και όχι τα συμπτώματα.
- ii. Επαρκής συντήρηση μπορεί να περιορίσει ή να αναβάλει την ανάγκη μετέπειτα παρέμβασης.
- iii. Εκτίμηση της ασφάλειας και κατανόηση της ιστορικής και πολιτιστικής αξίας της κατασκευής πρέπει να είναι η βάση των μέτρων για την συντήρηση και ενίσχυση.
- iv. Καμία ενέργεια δεν πρέπει να γίνεται χωρίς προηγουμένως να έχει αποδειχθεί ότι είναι απαραίτητες.
- v. Κάθε παρέμβαση πρέπει να είναι ανάλογη των στόχων για ασφάλεια, κρατώντας τα επίπεδα επέμβασης στα λιγότερα δυνατά ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια, η διάρκεια και με τη λιγότερη βλάβη στις αξίες της πολιτιστικής κληρονομιάς.

- vi. Ο σχεδιασμός κάθε επέμβασης θα πρέπει να βασίζεται στη πλήρη κατανόηση των ειδών δράσης (δυνάμεις, επιταχύνσεις, παραμορφώσεις κτλ) οι οποίες προκάλεσαν τις φθορές ή τις διαβρώσεις, αλλά και αυτών που θα δράσουν μελλοντικά.
- vii. Η επιλογή μεταξύ της παραδοσιακής και καινοτόμας τεχνικής θα πρέπει να ορίζεται ανάλογα με την περίπτωση, με προτίμηση στις λιγότερο επεμβατικές και στις πιο συμβατές με τις αξίες του έργου, συνυπολογιζομένων της ασφάλειας και της αντοχής.
- viii. Μερικές φορές η δυσκολία εκτίμησης τόσο των επιπέδων ασφαλείας όσο και τα πιθανά οφέλη των παρεμβάσεων, μπορεί να υπαγορεύουν μια "μέθοδο παρατήρησης", π.χ. μια σταδιακή προσέγγιση, που ξεκινά από ένα ελάχιστο επίπεδο παρέμβασης, με την πιθανή ενσωμάτωση μετέπειτα συμπληρωματικών ή διορθωτικών μέτρων.
- ix. Όποτε είναι δυνατό, κάθε μέτρο το οποίο υιοθετείται πρέπει να είναι "αναστρέψιμο" ώστε να μπορεί να αφαιρεθεί και να αντικατασταθεί με πιο κατάλληλα μέτρα, σε περίπτωση που νέα γνώση έχει προκύψει. Όταν δεν είναι εντελώς αναστρέψιμο, οι παρεμβάσεις δεν θα πρέπει να θέτουν σε κίνδυνο την ανάγκη μεταγενέστερων παρεμβάσεων.
- x. Τα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων υλικών αποκατάστασης (ειδικά τα νέα υλικά) και η συμβατότητα με τα υφιστάμενα υλικά θα πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένη. Αυτό θα πρέπει να περιλαμβάνει μακροπρόθεσμες επιπτώσεις, ώστε να αποφεύγονται ανεπιθύμητα αποτελέσματα στο έργο.
- xi. Οι ιδιαίτερες ποιότητες της κατασκευής και το περιβάλλον της, το οποίο προκύπτει από την αρχική του μορφή και των χαρακτηριστικών μετέπειτα αλλαγών, δεν πρέπει να καταστρέφονται.
- xii. Κάθε παρέμβαση πρέπει, όσο είναι δυνατόν, να σέβεται την αρχική σύλληψη και κατασκευαστική δομή, την ιστορική αξία της κατασκευής και της ιστορικής μαρτυρίας που εμπεριέχει.
- xiii. Οι επεμβάσεις, πρέπει να είναι αποτέλεσμα ενός ολοκληρωμένου σχεδίου, το οποίο δίνει μέσω της βαρύτητάς του, τις διαφορετικές οπτικές της αρχιτεκτονικής, της κατασκευής, της λειτουργίας και των εγκαταστάσεων.
- xiv. Η αφαίρεση ή η αλλοίωση οποιουδήποτε ιστορικού υλικού ή ιδιαίτερου αρχιτεκτονικού χαρακτηριστικού πρέπει να αποφεύγεται όποτε είναι δυνατόν.
- xv. Οι επισκευές είναι πάντα προτιμότερες από τις αντικαταστάσεις.
- xvi. Όταν οι ατέλειες και οι αλλαγές έχουν γίνει μέρος της ιστορίας της κατασκευής, πρέπει να διατηρούνται υπό την προϋπόθεση ότι δεν θέτουν σε κίνδυνο τις απαιτήσεις ασφαλείας.
- xvii. Αποσυναρμολόγηση και επανασυναρμολόγηση πρέπει να εφαρμόζεται μόνο όταν απαιτείται από τη φύση των υλικών και της κατασκευής και/ ή



όταν η συντήρηση με άλλους τρόπους μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες ζημιές.

- xviii. Μέτρα τα οποία είναι αδύνατον να ελεγχθούν κατά την εφαρμογή, δεν πρέπει να επιτρέπονται. Κάθε πρόταση επέμβασης πρέπει να συνοδεύεται από πρόγραμμα παρακολούθησης και ελέγχου, όσο το έργο είναι σε εξέλιξη.
- xix. Όλες οι δραστηριότητες ελέγχου και παρακολούθησης πρέπει να αρχειοθετούνται και να παραμένουν ως τμήμα της ιστορίας της κατασκευής.

## **2.2 Κατευθυντήριες γραμμές [11]**

---

### **2.2.1 Γενικά κριτήρια**

---

Ο συνδυασμός της επιστημονικής και πολιτιστικής γνώσης και εμπειρίας είναι απαραίτητος για την έρευνα και μελέτη όλων των έργων πολιτιστικής κληρονομιάς. Μόνο σε αυτό το πλαίσιο οι κατευθυντήριες γραμμές μπορούν να λειτουργήσουν βοηθητικά για την καλύτερη αποκατάσταση, ενίσχυση και συντήρηση των κτιρίων. Ο σκοπός όλων των μελετών, ερευνών και παρεμβάσεων είναι να διασφαλιστεί η πολιτιστική και ιστορική αξία των κτιρίων ως όλων και η μηχανική των κατασκευών είναι η επιστημονική υποστήριξη απαραίτητη για να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα.

Η επεμβάσεις σε ιστορικά κτίρια, συνήθως απαιτούν πολυεπιστημονική προσέγγιση, η οποία εμπεριέχει πλήθος επαγγελματιών και οργανισμών. Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές δημιουργήθηκαν για να βοηθήσουν αυτή τη δουλειά και να διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών.

Κάθε σχεδιασμός για την συντήρηση των κατασκευών, απαιτεί ποιοτικά δεδομένα, βασισμένα σε απευθείας παρατήρηση της φθοράς των υλικών και των ζημιών της κατασκευής, ιστορική έρευνα κτλ. και ποσοτικά δεδομένα βασισμένα σε ειδικές δοκιμές και μαθηματικά μοντέλα αντίστοιχα με αυτά που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη μηχανική.

Αυτός ο συνδυασμός για την προσέγγιση του θέματος, καθιστά πολύ δύσκολη την σύνταξη κανόνων και κωδικών. Παράλληλα η έλλειψη καθαρών κατευθυντήριων γραμμών, μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε ασάφειες και αυθαίρετες αποφάσεις, και κώδικες που είναι προορισμένοι να εφαρμόζονται σε σύγχρονες κατασκευές να εφαρμόζονται και σε ιστορικά κτίρια. Για παράδειγμα, η επιβολή σεισμικών και γεωτεχνικών κωδικών, μπορεί να οδηγήσει σε δραστικά και συχνά περιττά μέτρα, τα οποία δεν λαμβάνουν υπόψη τη πραγματική συμπεριφορά της κατασκευής.

Οι διαφορετικές και υποκειμενικές γνώμες που εμπλέκονται στη μελέτη, οι αβεβαιότητες στα εξαγόμενα συμπεράσματα, και οι δυσκολίες μιας ακριβούς εκτίμησης των φαινομένων, μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα αμφίβολης αξιοπιστίας. Είναι σημαντικό, ωστόσο, να γίνονται ξεκάθαρες όλες οι οπτικές, ειδικά όσον αφορά την μέριμνα που έχει ληφθεί κατά την εξέλιξη της μελέτης και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων σε μια Αιτιολογική Έκθεση. Αυτή η έκθεση

απαιτεί προσοχή και κριτική ανάλυση της ασφάλειας της κατασκευής, ώστε να συγκεκριμενοποιηθεί κάθε μέτρο παρέμβασης και να παράσχει μια τελική κρίση για την ασφάλεια της κατασκευής και της απόφασης που πρέπει να παρθεί.

Η εκτίμηση ενός κτιρίου συχνά απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση, αντιμετωπίζοντας το κτίριο σαν όλο περισσότερο παρά σαν μια συμβολή μεμονωμένων στοιχείων.

---

### 2.2.2 Προσανατολισμός κατευθυντήριων γραμμών

---

Στο κείμενο των κατευθυντήριων γραμμών της ISCARSAN επιχειρείται να διασαφηνιστούν το πλαίσιο, τα στάδια και οι στόχοι στις μελέτες αποκατάστασης Μνημείων. Γίνεται αναφορά στην διαδικασία από την απόκτηση των δεδομένων, μέσω διερεύνησης από την έρευνα πεδίου και τη διεξαγωγή εργαστηριακών ελέγχων (ποσοτικοί και ποιοτικοί έλεγχοι), έως την εκτίμηση των δεδομένων και την διαδικασία λήψης αποφάσεων για την επιλογή των μεθόδων αποκατάστασης.

Κύριο ρόλο στη διαδικασία αυτή διαδραματίζει ουσιαστικά μια ολόκληρη επιστημονική ομάδα η οποία θα πρέπει να παρουσιάζει ένα εύρος ικανοτήτων και γνώσεων, κατάλληλων ανάλογα με το υπό μελέτη έργο, η οποία θα πρέπει να διευθύνεται από πρόσωπο με αξιοσημείωτη εμπειρία.

Μεγάλη έμφαση δίδεται στις δυσκολίες και τους κινδύνους που ενέχονται κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων, με κύριο θέμα την προσεκτική χρήση των μαθηματικών μοντέλων για την ανάλυση του στατικού φορέα του μνημείου, αλλά και τον κίνδυνο από τη σύγχυση που προκαλείται μεταξύ της κατεκτημένης γνώσης στις νέες κατασκευές, τα δεδομένα της οποίας σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να συγχέονται με την πολυπλοκότητα των θεμάτων της αποκατάστασης των φθορών μιας παλαιάς κατασκευής.

Τέλος, επισημαίνεται ο ρόλος της διάγνωσης και της εκτίμησης ασφαλείας, διαδικασία η οποία είναι κρίσιμο να εκτελείται σωστά, καθώς από αυτές εξαρτώνται οι αποφάσεις για την μέθοδο αποκατάστασης που θα ακολουθηθεί. Τα πορίσματα της διαδικασίας αυτής συγκεντρώνονται σε αιτιολογική έκθεση, η οποία πρέπει να είναι ορθολογικά συνεπής όσον αφορά την εκτίμηση της ακρίβειας και των περιορισμών που εμπεριέχει κάθε απόφαση.

---

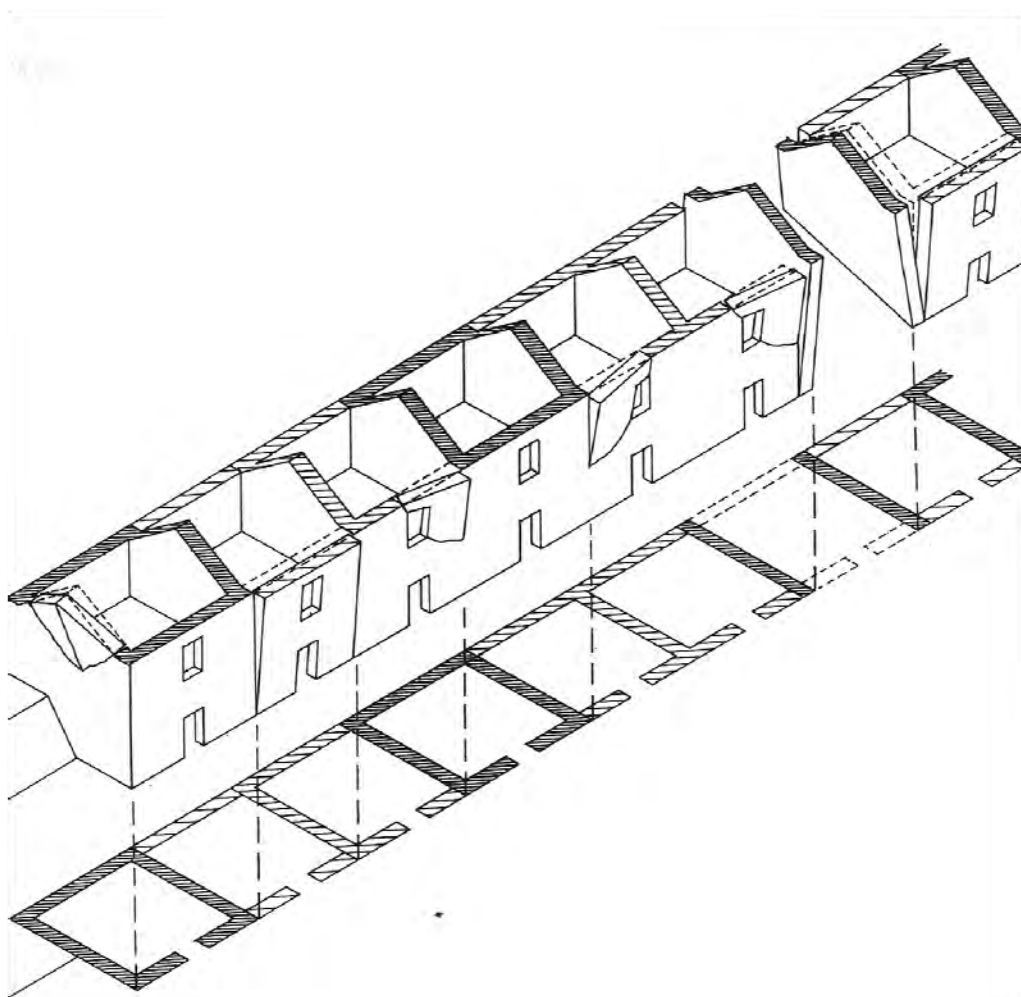
### 2.2.3 Κτίρια από τοιχοποιία

---

Με τον όρο κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία νοούνται κτίρια από πέτρα, τούβλα ή πηλοκατασκευές, π.χ. πατημένη γη (rammed earth) ή cobb. Οι κατασκευές είναι γενικά φτιαγμένες από υλικά που έχουν πολύ χαμηλή εφελκυστική αντοχή και παρουσιάζουν εύκολα ρωγμές ή αποκολλήσεις μεταξύ των στοιχείων. Αυτά τα σημάδια δεν είναι απαραίτητα μια ένδειξη κινδύνου καθώς οι φέρουσες τοιχοποιίες λειτουργούν καλύτερη σε θλίψη.

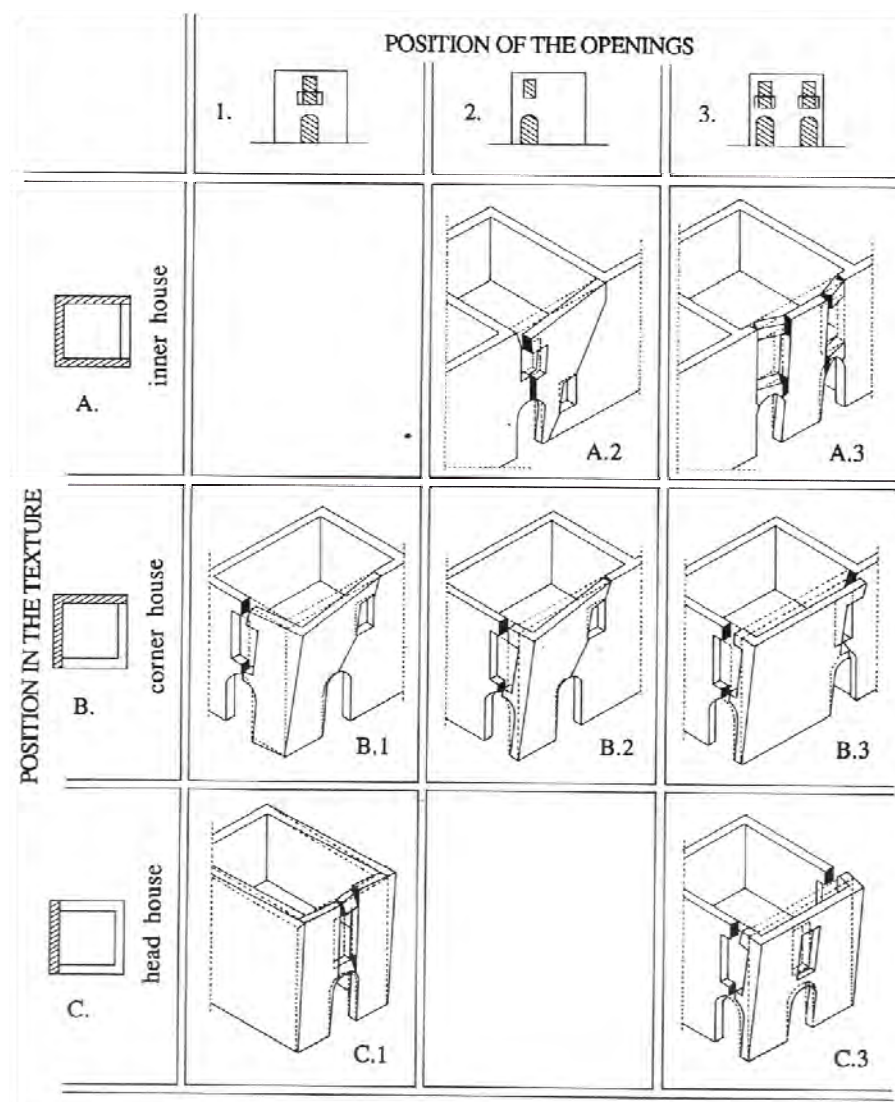
Η αρχική ανάλυση μιας τοιχοποιίας απαιτεί την αναγνώριση των χαρακτηριστικών των συστατικών της: τους λίθους (ασβεστόλιθος, ψαμμόλιθος κοκ.) ή των οπτόπλινθων (ψημένων σε φούρνο ή στον ήλιο κοκ.) και του τύπου του κονιάματος (τσιμέντο, ασβέστης κλπ). Είναι επίσης

Οι φέρουσες τοιχοποιίες συνήθως ισορροπούν όταν οι δράσεις των δαπέδων των ορόφων ή των στεγών διανέμουν τα φορτία τους στα πλευρικά στοιχεία, οπότε είναι σημαντικό να εξετάζεται η αποτελεσματική σύνδεσή τους. Πολύ σημαντική είναι και η εξέταση της σύνδεσης μεταξύ των τοίχων, ειδικά όταν υπάρχουν διαφορετικές ιστορικές φάσεις στη κατασκευή. Αν οι τοιχοποιίες απλώς παρατίθενται χωρίς να συνδεθούν, τότε υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να υποστούν μεγάλες φθορές, ειδικά σε περίπτωση σεισμού, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1 [12].



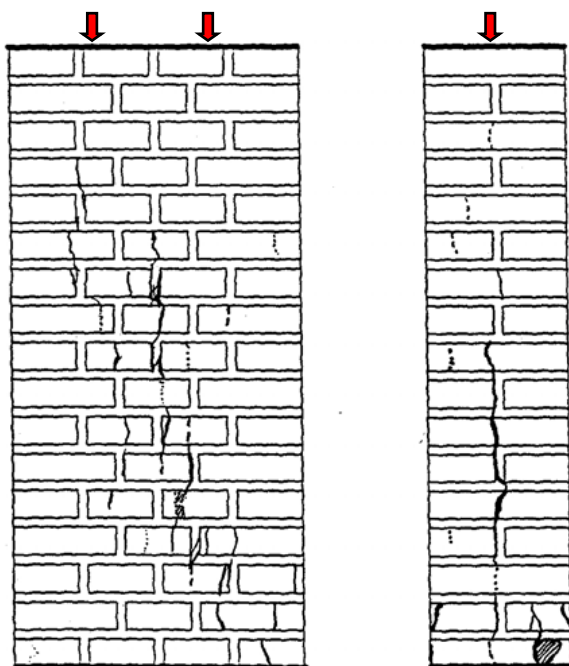
21

Είναι επίσης απαραίτητη η κατανόηση της αλληλουχίας των δυνάμεων που επενεργούν στο σύνολο της κατασκευής, διότι τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των υλικών και επεμβάσεων των διαφόρων περιόδων, μπορεί να επιδρούν στη συνολική της συμπεριφορά. Στην διαδικασία αυτή σημαντική είναι η κατανόηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών (σχήμα, μέγεθος και θέση ανοιγμάτων) της κατασκευής και η εξέταση της στο χώρο. Αν αυτή βρίσκεται σε ένα πυκνοδομημένο αστικό ιστό, η ύπαρξη γειτονικών κτιρίων και η σχέση της με αυτά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Δηλαδή οι δυνάμεις θα επενεργήσουν διαφορετικά σε ένα κτίριο γωνιακό, πλασιωμένο από τρεις πλευρές, κύριο με μία δεσμευμένη πλευρά, κοκ. Στο σχήμα 2.2, φαίνεται διαγραμματικά η επίδραση της γεωμετρίας και της θέσης σε περίπτωση δυναμικής φόρτισης κτιρίου που βρίσκεται σε αστικό ιστό [12].



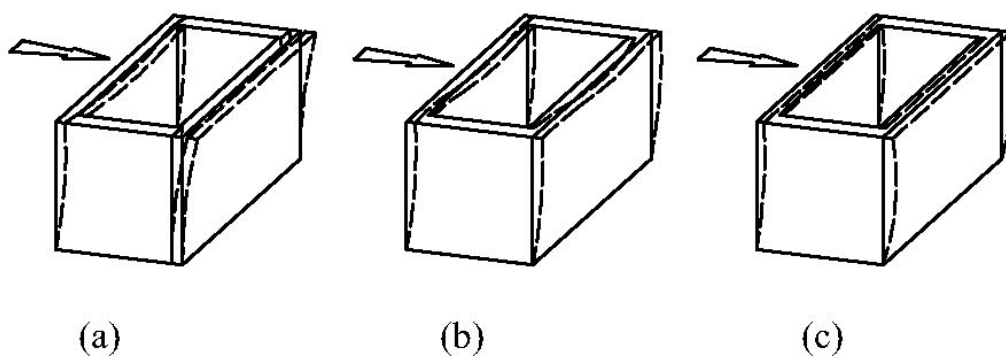
Σχήμα 2.2: Μηχανισμοί κατάρρευσης ανάλογα με τη θέση και τη γεωμετρία του κτιρίου

Οι κύριες αιτίες βλαβών ή κατάρρευσης είναι τα κατακόρυφα φορτία τα οποία προκαλούν θλίψη, λυγισμό, θραύση κλπ. Αυτές οι καταστάσεις είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες, επειδή συνήθως συμβαίνουν με μικρές παραμορφώσεις και μερικά ορατά σημάδια (σχ. 2.3).



Σχήμα 2.3: Ανάπτυξη κατακόρυφων ρωγμών κατά την επιβολή θλιπτικών τάσεων σε λιθοδομή.

Πολύ ευπαθείς είναι οι τοιχοποιίες και στις πλευρικές δυνάμεις, που όμως εμφανίζονται κυρίως σε σεισμογενείς περιοχές, σε ψηλές κατασκευές και όπου υπάρχει δυνατότητα μετακίνησης σε θόλους και καμάρες.



Σχήμα 2.4: Σεισμική συμπεριφορά κτιρίων από τοιχοποιία. Επίδραση των συνδέσμων και των διαφραγμάτων α) κτίριο με ξύλινα πατώματα και χωρίς συνδέσμους, β) κτίριο με ξύλινα πατώματα και συνδέσμους, γ) κτίριο με συμπαγή πατώματα και δοκάρια. [13]

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα τείχη με μεγάλο πάχος ειδικά αν είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά είδη υλικών, όπως π.χ. κοίλα τοιχώματα, τείχη με μπαζώματα ή πυρήνα κατασκευασμένο με διαφορετικό τρόπο δομής κοκ. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι εξωτερικές στρώσεις της τοιχοποιίας μπορεί να διαχωριστούν, οπότε είναι αναγκαίο να καθοριστεί αν η επένδυση και ο πυρήνας ενεργούν μαζί ή χωριστά (εικ. 2.1).





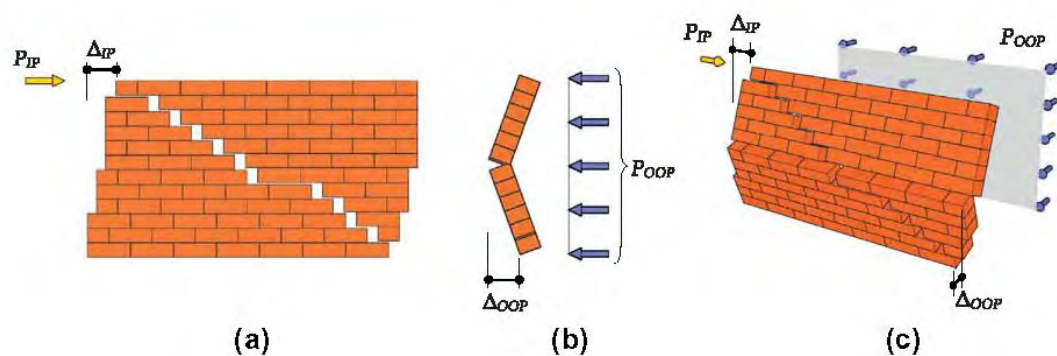
Εικόνα 2.1: Κατάρρευση εξωτερικής στρώσης τοιχοποιίας (Fortezza Χανίων).

Θλιπτικές τάσεις κοντά στα όρια αντοχής των υλικών, μπορεί να προκαλέσουν κατακόρυφες ρωγμές ως πρώτο σημάδι βλάβης που θα οδηγήσει τελικά σε μεγάλες παραμορφώσεις, θρυμματισμό κ.α. (σχ. 2.2). Ο βαθμός στον οποίο τα αποτελέσματα αυτά γίνονται ορατά εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υλικού και κυρίως την ευθραυστότητά του. Αυτές οι δράσεις μπορεί να αναπτύσσονται πολύ αργά ή και γρήγορα, αλλά αν βρίσκονται στα όρια υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης, ακόμη κι αν τα φορτία παραμένουν σταθερά.

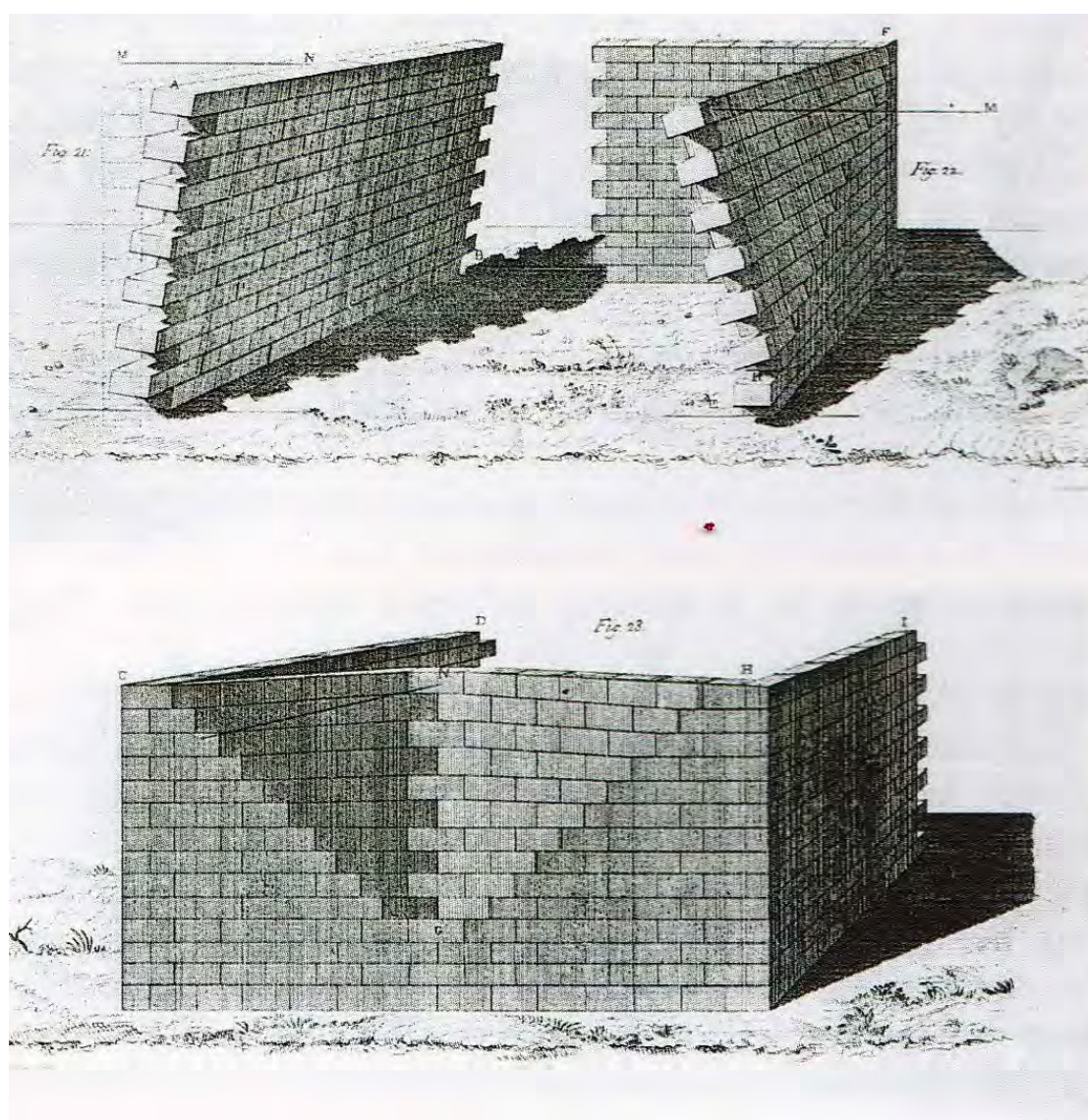
Μια ανάλυση της κατανομής των τάσεων είναι απαραίτητη για να προσδιοριστούν τα αίτια των φθορών. Για να γίνουν κατανοητά τα αίτια (διάγνωση) πρέπει να προσδιοριστούν αρχικά τα επίπεδα και η κατανομή των φορτίων, ακόμη και κατά προσέγγιση. Μια οπτική επιθεώρηση της μορφής και γεωμετρίας μιας ρωγμής, μπορεί να παρέχει μια ένδειξη των διαδρομών των φορτίων στη κατασκευή.

Όταν οι τάσεις σε σημαντικές περιοχές είναι κοντά στα όρια αντοχής, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν πιο ακριβείς αναλύσεις (έλεγχοι υπερήχων, υπέρυθρης θερμογραφίας, κτλ) για να παράσχουν μια πιο ακριβή εκτίμηση της αντοχής.

Εντός επιπέδου πλευρικά φορτία μπορούν να προκαλέσουν ρωγμές ή διαγώνια ολίσθηση. Εκτός επιπέδου ή έκκεντρα φορτία μπορεί να προκαλέσουν διαχωρισμό των στρωμάτων σε μια πολυστρωματική τοιχοποιία ή την περιστροφή ολόκληρου τοίχου από τη βάση του. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, εμφανίζονται οριζόντιες ρωγμές στη βάση, ως μια πρώτη ένδειξη (σχ. 2.5 και εικ. 2.2) [14].



Σχήμα 2.5: Τοιχοποιία που έχει υποβληθεί σε εντός και εκτός επιπέδου δυνάμεις διαδοχικά: α) φόρτιση εντός επιπέδου, β) ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης εκτός επιπέδου, γ) απεικόνιση τρισδιάστατη των φθορών σε εκτός επιπέδου φόρτιση.



Εικόνα 2.2: Σχηματική απεικόνιση αστοχίας τοιχοποιίας σε εκτός επιπέδου φόρτιση.



---

## 2.2.4 Επεμβάσεις σε κτίρια από τοιχοποιία

---

Οι κύριες κατευθύνσεις προστασίας των κατασκευών από τοιχοποιία, καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα επεμβάσεων και μεθοδολογίας. Οι έννοιες που συνοδεύουν τις κατευθύνσεις αυτές ως προς την μεθοδολογία της προστασίας και ανάδειξης μνημείων από τοιχοποιία είναι οι ακόλουθες:

Επέμβαση (intervention) είναι γενικότερος όρος και αναφέρεται ή υπονοεί οποιαδήποτε από τις παρακάτω έννοιες ή εργασίες [15].

Αναλυτική Προστασία - συντήρηση ορίζεται η πολλαπλότητα μορφολογικών και κατ' επέκταση χρονολογικών φάσεων σ' ένα κτίσμα. Η αναλυτική καταγραφή και ο σεβασμός των ιστορικών φάσεων ενός μνημείου αποτελεί κύριο οδηγό στη προστασία και συντήρηση. Η μερική και αποσπασματική ανάδειξη των ιστορικών φάσεων είναι θέμα το οποίο πρέπει να εξετάζεται πολύ προσεκτικά, κι όχι σε βάρος της συνολικής εικόνας του κτιρίου και κυρίως όχι σε βάρος της κατάστασης ισορροπίας του [9].

Αποκατάσταση (reconstruction) στη σύγχρονη προστασία των μνημείων, είναι η προσπάθεια επαναφοράς στην αρχική του κατάσταση, με προσανατολισμό κυρίως στην αντιμετώπιση φθορών χωρίς αυθαίρετες συμπληρώσεις. Η αποκατάσταση συμπεριλαμβάνει επισκευή ή και ενίσχυση των δομικών στοιχείων του κτίσματος, εφόσον απαιτείται πέραν των αρχιτεκτονικών ή καλλιτεχνικών του μορφών. [9].

Ανακατασκευή (anastylosis) ορίζεται η κατασκευή, στη θέση παλιού, ενός νέου δομικού στοιχείου ή κτίσματος, όμοιου με το παλιό, συμπεριλαμβανομένων των λεπτομερειών του. Στη κατηγορία αυτή ανήκει και η μερική ανακατασκευή κατεστραμμένων τμημάτων. Ο χάρτης της Βενετίας απορρίπτει αυτή τη πρακτική στην περίπτωση των μνημείων για ηθικούς λόγους.

Αναστήλωση (restoration) είναι έννοια συμφυής με την ανακατασκευή, με τη διαφορά ότι γίνεται με τα αυθεντικά υλικά τα οποία σώζονται και επαναχρησιμοποιούνται. Είναι όρος που χρησιμοποιείται συνήθως για επεμβάσεις σε μνημειακά κτίσματα όπου τα μέλη της κατασκευής μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν στην ίδια θέση με την αρχική.

Εξυγίανση (Sanitation) - εκσυγχρονισμός (modernisation) - ανανέωση (renovation) είναι συναφείς έννοιες και αφορούν στην εξονυχιστική διερεύνηση για της δυνατότητες των υφιστάμενων κτισμάτων να παραλάβουν νέα σύγχρονη χρήση [9]. Η επανάχρηση (rehabilitation), όμως απαιτεί διαρρύθμιση και μετατροπή ενός κτιρίου ώστε να εξυπηρετήσει νέες, σύγχρονες χρήσεις και λειτουργίες. Στην περίπτωση των μνημείων αυτό σημαίνει περιορισμένη κι εντός πλαισίου διαρρύθμιση και συμβατή χρήση.

Πέραν των παραπάνω εννοιών που συνοδεύουν την βασική γνώση των φορέων που επεμβαίνουν σε μνημεία, ως προς τις καθαρά δομοστατικές εργασίες που γίνονται σε υφιστάμενες τοιχοποιίες, υπάρχουν δύο κύριες κατευθύνσεις:

Η επισκευή (repairing) που ορίζεται ως η επαναφορά δομικού στοιχείου ή κτίσματος με βλάβη στην κατάσταση προ της βλάβης. Είναι φανερό ότι το ίδιο



ή ανάλογο αίτιο (π.χ. σεισμός) θα προκαλέσει κατά τεκμήριο την ίδια ή ανάλογη βλάβη. Έτσι σε περίπτωση εκτεταμένων ή σοβαρών βλαβών είναι φρόνιμο η επέμβαση να περιλαμβάνει και ενίσχυση της κατασκευής ενώ σε περιορισμένες ή μικρές βλάβες αρκεί συνήθως η επισκευή.

Η ενίσχυση (strengthening) που ορίζεται ως το σύνολο των μέτρων αναβάθμισης των μηχανικών χαρακτηριστικών (αντοχή, δυσκαμψία) δομικού στοιχείου ή κτίσματος μέχρις ενός επιθυμητού ή απαιτητού επιπέδου (π.χ. σεισμικές δράσεις σχεδιασμού που επιβάλλουν οι τρέχοντες κανονισμοί). Σημειώνεται ότι η ενίσχυση προχωρά πέραν της επισκευής τυχόν βλαβών, είναι όμως δυνατή και η προληπτική ενίσχυση χωρίς την παρουσία βλαβών. Το επίπεδο και τα μέτρα ενίσχυσης προσδιορίζονται από ειδική μελέτη [15].

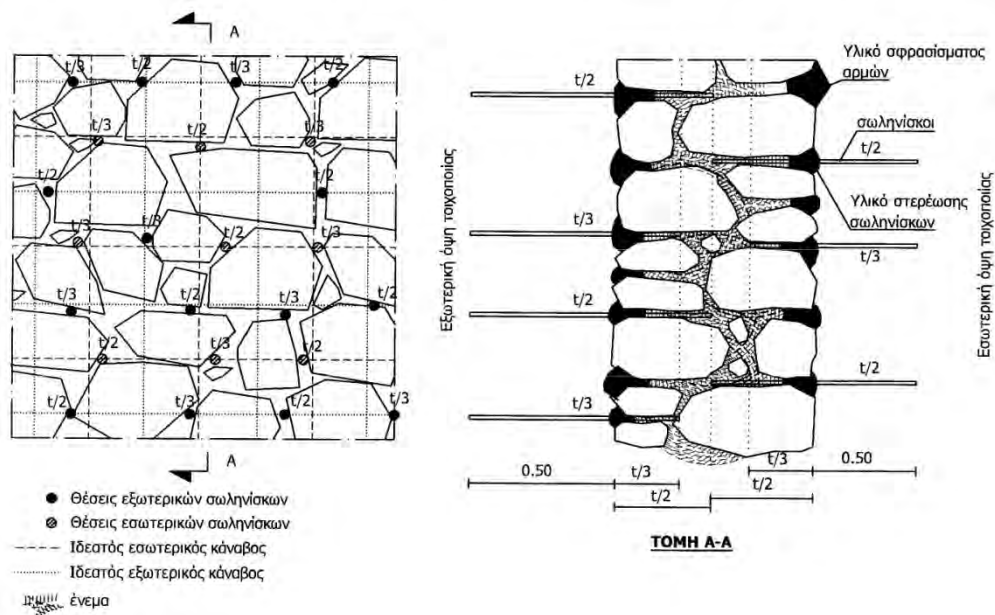
Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις επεμβάσεις επισκευών αφορούν σε [15]:

- Βαθύ αρμολόγημα. Συνιστάται για λιθοδομές μικρού πάχους ( $t < 300-400\text{mm}$ ) ή πλινθοδομές, που παρουσιάζουν ρωγμές μέχρι  $10\text{mm}$ . Η συνάφεια του κονιάματος με το παλιό αλλά και τους δόμους είναι ύψιστης σημασίας (εικ.2.3).



Εικόνα 2.3: Βαθύ αρμολόγημα σε αργολιθοδομή. (Παλιά Πόλη, Χανιά 2013)

- Καθαίρεση και τοπική ανακατασκευή. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται όταν η τοιχοποιία παρουσιάζει τοπική διόγκωση στη μια ή και στις δύο όψεις της. Επίσης εφαρμόζεται και στις περιπτώσεις γωνιών στο πάνω ή στο κάτω μέρος του τοίχου. Εφαρμόζεται σε μνημεία τα οποία δεν είναι κατασκευασμένα από αργολιθοδομή, ώστε να είναι δυνατή η αρίθμηση των δόμων και η τοποθέτησή τους στην ίδια θέση κατά την ανακατασκευή.
- Ενέματα σε ρωγμές. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που το εύρος των ρωγμών της τοιχοποιίας δεν υπερβαίνει τα  $10\text{mm}$ . Εφαρμόζεται και σε μεγαλύτερες ρωγμές σε τοιχοποιίες μεγάλου πάχους (σχ. 2.6).



Σχήμα 2.6: Εφαρμογή ενεμάτων σε λιθοδομή. Υπόδειγμα ΕΤΕΠ 14-02-04-00

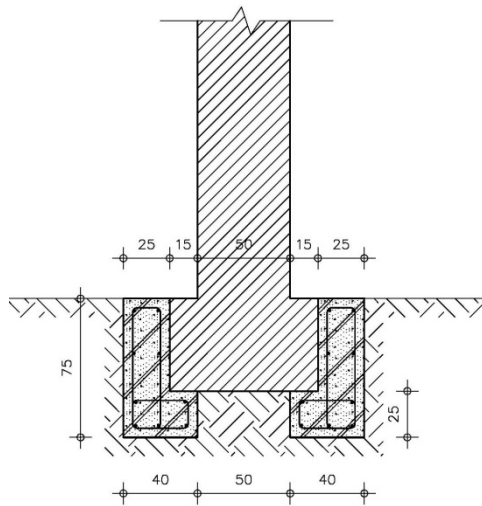
- Συρραφή μεγάλων ρωγμών. Εφαρμόζεται στις περιπτώσεις μεγάλων ρωγμών, δηλ. σε διαμπερείς ρωγμές που διακόπτουν τη συνέχεια της τοιχοποιίας καθώς και ρωγμές μεγάλου εύρους (>10mm) ή μεγάλου μήκους που εκτείνονται οριζόντια, κατακόρυφα ή διαγώνια στην επιφάνεια του τοίχου. Η επιλογή των υλικών συρραφής μπορεί να ποικίλει.
- Συρραφή αποκολλημένων τοίχων. Εφαρμόζεται όταν υπάρχει ρωγμή αποκόλλησης ή μερική κατάρρευση στη θέση ένωσης γωνιακών ή εσωτερικών τοίχων, κάθετων μεταξύ τους.
- Επισκευή και κατασκευή υπερθύρων. Εφαρμόζεται όπου έχουν επισημανθεί σημαντικές βλάβες στις θέσεις των ανοιγμάτων και εκτιμάται ότι η πρόκληση αυτών των βλαβών οφείλεται στη σχετική αδυναμία του υφιστάμενου συστήματος.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις επεμβάσεις ενίσχυσης αφορούν σε [15]:

- Οπλισμένο επίχρισμα. Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με τις τεχνικές επισκευής υπό την προϋπόθεση ότι δεν είναι απαιτητή η διατήρηση της όψης της λιθοδομής.
- Ομογενοποίηση μάζας. Με την τεχνική αυτή εισάγεται ένεμα στη μάζα της τοιχοποιίας, όχι μόνο για την πλήρωση ενδεχόμενων ρωγμών αλλά και όλων των κενών στο εσωτερικό της.
- Κατασκευή μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. Εφαρμόζεται σε περίπτωση εκτεταμένων ζημιών στους τοίχους όπου κρίνεται καθολική επέμβαση επισκευής - ενίσχυσής τους. Δεν χρησιμοποιείται σε μνημεία.
- Προσθήκη ριζοπλισμών. Οι ριζοπλισμοί εφαρμόζονται συνήθως σε παλιές λιθοδομές μεγάλου πάχους για βελτίωση της μάζας, τοπικές ενισχύσεις ή και καθολική ενίσχυση (βελτίωση της συμπεριφοράς ολόκληρου φατνώματος ή πεσσών, δημιουργία υψίκορμων δοκών κ.λ.π.). Δεν εφαρμόζεται σε μνημεία.
- Κατασκευή διαζωμάτων. Τα διαζώματα διασφαλίζουν και μάλιστα σε υψηλό βαθμό τη βελτίωση της συμπεριφοράς της κατασκευής έναντι

σεισμού. Επιπλέον επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων της στέγης με παράλληλη διόρθωση ενδογενών προβλημάτων της κατασκευής, όπως προβλήματα γωνιών και διασταυρώσεων τοίχων, έδρασης και αγκύρωσης δαπέδων και στεγών κ.λ.π. Δεν εφαρμόζεται σε μνημεία.

- Προσθήκη ελκυστήρων και τενόντων. Οι ελκυστήρες χρησιμοποιούνται σε περίπτωση αποκόλλησης διασταυρούμενων τοίχων ή αποδιοργάνωσης γωνιών τοίχου. Εφαρμόζονται επίσης για τη βελτίωση της συμπεριφοράς της κατασκευής συνδέοντας απέναντι τμήματα της, με την εφαρμογή ευνοϊκής χαμηλής πρόθλιψης.
- Αβαθής υποθεμελίωση. Είναι η πιο διαδεδομένη τεχνική υποθεμελίωσης στην πράξη, κυρίως για κτίρια μικρής σπουδαιότητας, λόγω του χαμηλού κόστους και της γρήγορης εφαρμογής της. Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνεται διαπλάτυνση του πέλματος του πέδιλου και έτσι μειώνεται η ανάπτυξη μετακινήσεων ή διαφορικών καθιζήσεων στο επίπεδο της θεμελίωσης.



Σχήμα 2.7: Τομή αβαθούς υποθεμελίωσης σε υφιστάμενη τοιχοποιία.

- Βαθιά υποθεμελίωση με τη μέθοδο των μικροπασσάλων. Η τεχνική αυτή συνιστάται για τη βελτίωση της φέρουσας ικανότητας τόσο του εδάφους όσο και της θεμελίωσης. Εφαρμόζεται κυρίως στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η εφαρμογή των αβαθών υποθεμελιώσεων (π.χ. προβληματικά εδάφη, υψηλός υδροφόρος ορίζοντας κλπ.) (σχ. 2.7).
- Ενίσχυση εδάφους. Εφαρμόζεται με την εισαγωγή ενεμάτων υψηλής αντοχής όταν κρίνεται αναγκαία η βελτίωση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους θεμελίωσης (π.χ. εδάφη χαμηλής αρχικής φέρουσας ικανότητας, προσθήκη ορόφων η οποία αυξάνει τις τάσεις στο έδαφος θεμελίωσης ή ακόμη η περίπτωση εκσκαφής δίπλα από θεμέλια η οποία δημιουργεί σχετική αστάθεια του εδάφους κάτω από το επίπεδο της θεμελίωσης).



# 3

## ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΣΤΗ ΠΑΛΙΑ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ

### 3.1 Ιστορική Τεκμηρίωση

Παρά το πλούσιο ιστορικό αρχείο των Βενετών, λίγα είναι γνωστά για τα οχυρωματικά τους έργα, πριν γίνουν τα σχέδια των εξωτερικών οχυρώσεων από τον θεωρητικό του προμαχωνικού συστήματος Michelle Sanmichelli και άλλων σημαντικών μηχανικών της εποχής, μεταξύ των ετών 1538 και 1645.

Ένας ουσιαστικός οδηγός για την ανάγνωση της ιστορίας της πόλης την εποχή της Βενετοκρατίας είναι το Τρίτομο έργο του ιστορικού Giuseppe Gerola, με τίτλο *Monumenti Veneti nell' Isola di Creta*". Για το γνωστό σήμερα ως "Γενοβέζικο (κυκλικό) Πύργο", οι πληροφορίες που αντλούμε, είναι από τον πρώτο τόμο του έργου του [16].

Γράφει λοιπόν ότι τον Αύγουστο του 1266 ξεκίνησαν από τη Γένοβα είκοσι πέντε γαλέρες διοικούμενες από τον Obertino Doria. Σκοπό είχαν να φτάσουν στη Κρήτη και να αποβιβάσουν στα Χανιά για να πάρουν το νησί από τα χέρια των Βενετών. Η πόλη αν και είχε δυνατά τείχη, δεν ήταν βέβαιο αν θα τα κατάφερνε να αμυνθεί. Κι ενώ οι αμυνόμενοι έψαχναν τρόπους διαφυγής, ο Doria, αφού κατάφερε να μαζέψει μεγάλη λεία, έβαλε φωτιά στα σημαντικότερα κτίρια της πόλης: "*palatium dicte civitalis dirruit, et de turre aliquantulum, et igne appposito, ipsam totam tunc cremavit*".

Από τη πηγή αυτή ο ιστορικός, υποθέτει ότι η εντολή του Doria για επισκευή του παλατιού και μερικών πύργων, αναφερόταν και στον κυκλικό πύργο που βρισκόταν λίγο έξω από τη οχυρωμένη πόλη των Χανίων, δυτικά στη είσοδο του λιμανιού, ενός σημείου πολύ σημαντικού για την άμυνα της πόλης. Βασική του υπόθεση είναι ότι ο γενοβέζος αναλυτής -του οποίου και το λατινικό απόσπασμα- δεν θα απέδιδε την ονομασία *turre* αλλά *una ex turribus*.

Εδώ όμως ο ιστορικός παραβλέπει το γεγονός ότι ο πύργος στα λατινικά ονομάζεται *turris* και οι πύργοι *turres*, γεγονός που μας υποχρεώνει να αντιληφθούμε ότι πιθανόν πρόκειται για ορθογραφικό και ερμηνευτικό λάθος ώστε να αναφέρεται σε μερικούς πύργους στο λόφο Καστέλι. Όμως δεν είμαστε και πάλι σε θέση να εξάγουμε με σαφήνεια το συμπέρασμα ότι ο κυκλικός πύργος στην είσοδο του λιμανιού συμπεριλαμβάνεται σε αυτούς. Πάντως, θα μπορούσε κάλλιστα να υποστηρίξει κανείς, ότι θα έπρεπε να γράφει για ένα κυκλικό πύργο (*turris circularis*), εφόσον το σχήμα του ειδικά διέφερε από κάθε άλλο πύργο της πόλης εκείνη την εποχή.



Παρόλα αυτά ο ιστορικός αναφέρει μια ενδιαφέρουσα αντιπαραβολή με το λιμάνι του Ηρακλείου που στην είσοδό του διέθετε φρούριο το οποίο ήταν κατασκευασμένο με ιδιαίτερη φροντίδα. Οπότε και στα Χανιά δεν θα μπορούσε να μην υπάρχει αντίστοιχη προστασία, όταν μάλιστα οι κύριες οχυρώσεις της πόλης βρίσκονταν μακριά από αυτό το τόσο καίριο σημείο.

Μορφολογικά αναλύει ότι ο πύργος ήταν εξωτερικά κεκλιμένος (*scarpato*), πολύ πιο στιβαρός και παχύς προς τη πλευρά της εισόδου στο λιμάνι, ενώ από την άλλη όχι. Στο εσωτερικό του σε ύψος, υπήρχε ένας περίπατος- πατάρι, για την σκοπιά των στρατιωτών. Το εσωτερικό είχε κυκλικό σχήμα και ήταν κενό.

Στο Βορειανατολικό τμήμα του πύργου υπάρχει μια επιγραφή με χαραγμένη τη χρονολογία 1477, υποδεικνύοντας έτσι ότι η κατασκευή ή αποκατάσταση-ανακατασκευή, πραγματοποιήθηκε από τον ρέκτορα Bartolomeo Pesaro.

Δυστυχώς όμως, όπως σημειώνει και ο G. Gerola, η ακριβής χρονολογία κατασκευής του, είναι πολύ δύσκολο να απαντηθεί. Πράγματι, οι κανονιοθυρίδες που περιλαμβάνει και τα μορφολογικά και δομικά του στοιχεία, υποδεικνύουν ότι είναι κατασκευή της περιόδου της ενετοκρατίας. Είναι σίγουρο πάντως ότι προϋπήρχε της λοιπής εξωτερικής οχύρωσης.

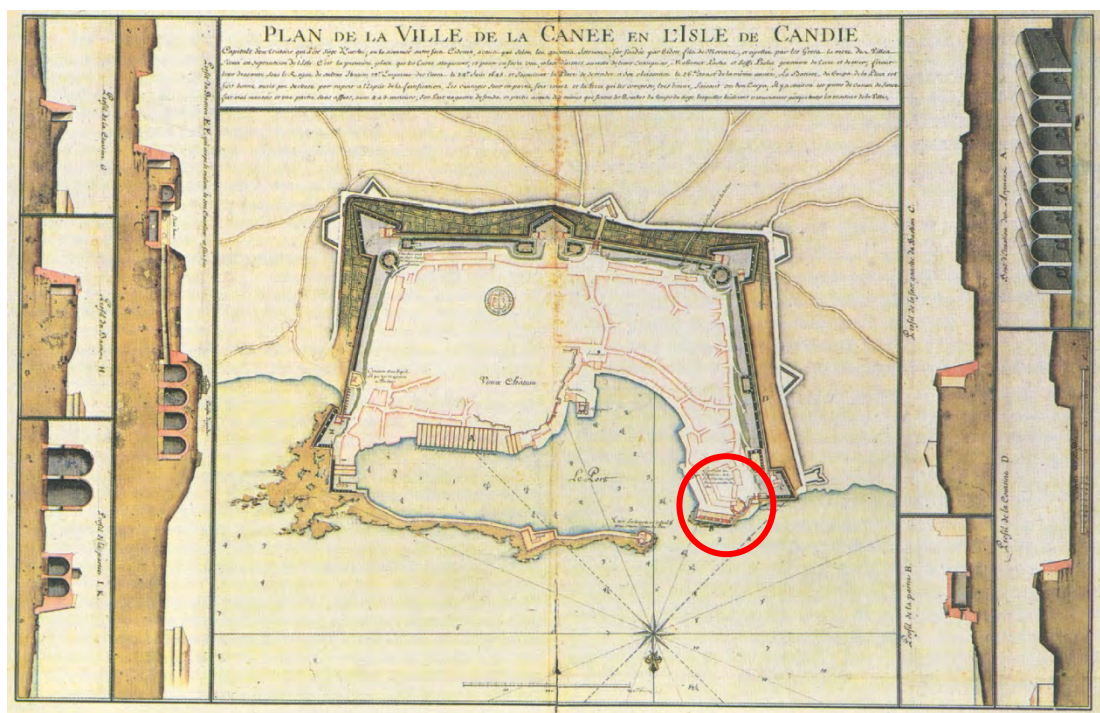


Εικόνα 3.1: Pierre Vander, 1729. Χαλκογραφία. Συλλογή Θ. & Β Μασσέλου. Από το αρχείο της Ε.Ε.Α.Ο.Ε.Κ.

Ο ίδιος ιστορικός αναφέρει, ότι τον Οκτώβριο του 1532, ο ναύαρχος Alessandro Contarini, πρότεινε την κατασκευή σ εκείνο το σημείο, δίπλα στο



στόμιο του λιμανιού, ένα ολόκληρο κάστρο, καθώς φαινόταν ότι η περιοχή δεν ήταν καλά προστατευμένη. Συμπεραίνει λοιπόν ότι το γεγονός αυτό θα μπορούσε να υποδεικνύει ότι μονάχα ο μικρός πύργος του 1477 για την άμυνα στο σημείο αυτό, δεν ήταν αρκετός χωρίς την υποστήριξη ενός συνολικού οχυρωματικού συστήματος.



Εικόνα 3.2: Ανώνυμος, 18ος αι [17].



Εικόνα 3.3: Άποψη του Λιμανιού, όπου φαίνεται ο Πύργος πίσω από το φρούριο του Φιρκά πριν το 1899. Ιστορικό Αρχείο Κρήτης

Έτσι δύο οχυρωματικά έργα συμπληρώθηκαν στη βόρεια και νότια πλευρά του πύργου ενσωματώνοντας τον σ' ένα ενιαίο φρουριακό σύστημα. Στη βόρεια πλευρά προσκολλήθηκε το Φρούριο του Λιμανιού (rivellino del Porto) γνωστό σήμερα ως φρούριο του Φιρκά και νότια ο προμαχώνας San Salvatore ή Gritti. Η κατασκευή του προμαχώνα San Salvatore ξεκίνησε στα 1538 και αποπερατώθηκε πολύ σύντομα. Το 1574 προτείνεται η επέκταση του μετώπου του προμαχώνα προς τη θάλασσα με τη δημιουργία του rivellino del porto (σήμερα Φρούριο Φιρκά). Το 1599 ο A. Gonzaga, προτείνει αναδιαμόρφωση των κανονιοθυρίδων του rivellino<sup>11</sup> και τακτοποίηση των παραπύργων του

<sup>11</sup> Rivellino ή mezzaluna (ravelin, demi-lune): α) μήνη, μηνίσκος. Σημαντικό εξωτερικό οχύρωμα, τριγωνικό προς τα έξω και ημικυκλικό προς την πλευρά του φρουρίου.

κυκλικού πυργίσκου οι οποίες πραγματοποιήθηκαν το 1601, οπότε και το έργο ολοκληρώνεται. Στις εικόνες 3.1, 3.2 και 3.3 παρουσιάζονται σε χάρτες του 18ου αι. το σύνολο των οχυρωματικών έργων των Βενετών και σημειώνεται με κόκκινο κύκλο η θέση του κυκλικού πύργου. Διακρίνεται επίσης, η σχέση του με το φρούριο του Φιρκά και τον προμαχώνα San Salvatore.

Μετά την κατάληψη της Κρήτης από τους Τούρκους το 1645, δεν πραγματοποιούνται επεμβάσεις στα τείχη, παρά μόνο ανακατασκευή των φθαρμένων τμημάτων τους.

Μετά την απελευθέρωση όμως, το φθινόπωρο του 1899 πραγματοποιείται η κατεδάφιση του τμήματος των τειχών που ενώνει τον προμαχώνα San Salvatore ή Gritti με το Revellino del Porto, στη σημερινή οδ. Θεοδοκοπούλου, και της μικρής στρατιωτικής πύλης που υπήρχε στην εσωτερική πλευρά του προμαχώνα. Τις εργασίες κατεδάφισης επέβλεψε ο Γάλλος υπολοχαγός Δουνδάνδ. Την ίδια περίοδο μπαζώνεται η βραχώδης έκταση μπροστά ακριβώς από το πύργο και το βορειοδυτικό τμήμα του φρουρίου Φιρκά, δημιουργώντας τη σημερινή πλατεία Τάλω (εικ. 3.4) [16].

Πριν την κατεδάφιση του 1899, καμία πηγή ή φωτογραφία δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα, που να δίνει πληροφορίες για τη συνολική μορφή του πύργου. Η μόνη πηγή που έχει ανευρεθεί είναι η εικόνα 3.6, φωτογραφία της βορειοανατολικής όψης μέσα από το rivellino (φρούριο του Φιρκά). Στη φωτογραφία αυτή διακρίνεται χωμάτινος όγκος στο εσωτερικό του πύργου και στο βάθος μια μικρότερη κατασκευή. Πιθανόν ήταν μπαζωμένος ήδη από την εποχή της ενετοκρατίας μετά τη συμπλήρωση του εξωτερικού τείχους και την κατάργηση των χαμηλών κανονιοθυρίδων. Η εικόνα αυτή δικαιολογεί τους ενετικούς χάρτες που αποδίδουν ύπαρξη κανονιών στον εσωτερικό περίβολο του πύργου και την ύπαρξη φυλακίου στη βόρεια κορυφή του (εικ. 3.5).



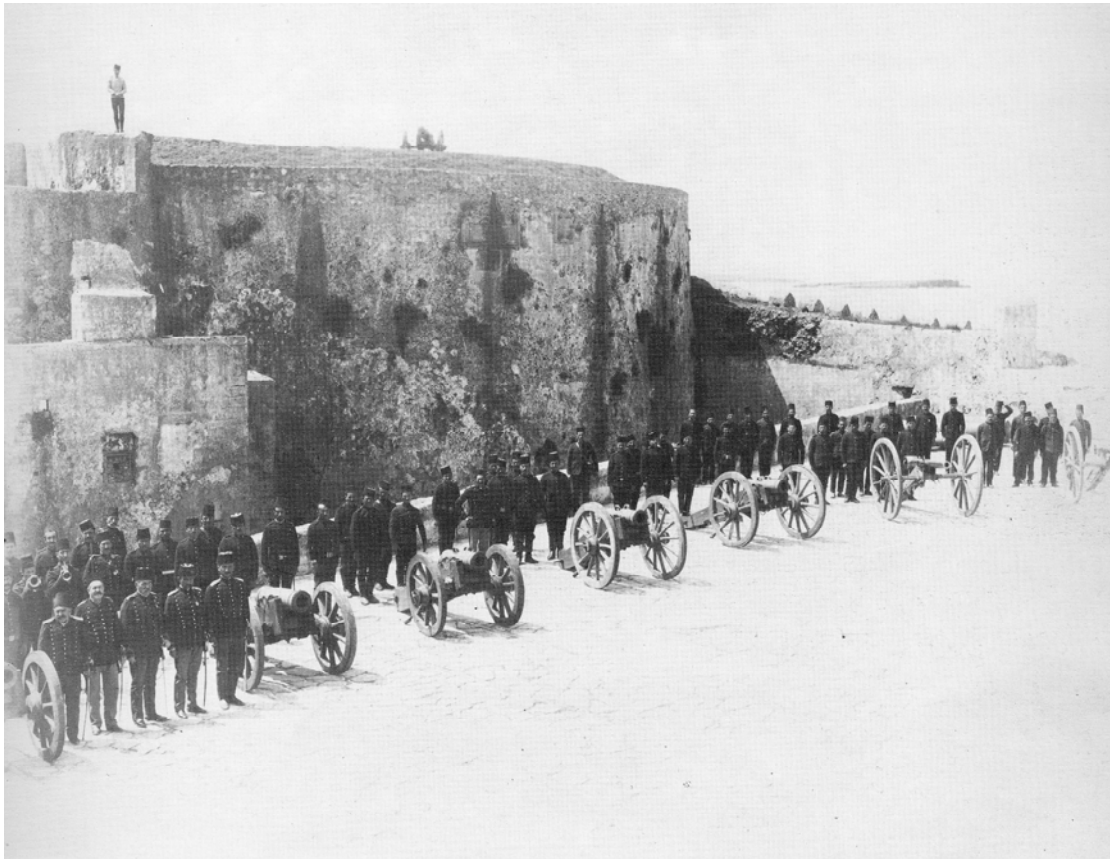
Εικόνα 3.4: Εργασίες διαμόρφωσης κρηπιδώματος, 1899. Αρχείο Μ. Μανούσκα.

Τοποθετείται μπροστά από τις αιχμές των προμαχών ή τα μέσα των cortine, ως πρώτη γραμμή άμυνας, για να καθυστερήσει την προσέγγιση του εχθρού και να δυσχεράνει τις προσπάθειές του για τη δημιουργία ρήγματος στο τείχος. β) πολυγωνικό ή ελλειψοειδές τμήμα του κυρίως οχυρού περιβόλου, που μοιάζει με εξωτερικό οχύρωμα ως προς τη λειτουργία, στο ότι δηλ. παρέχει χαμηλά πυρά. Απαντάται σε επάκτια οχυρά, εξαιτίας ακριβώς της παραπάνω ιδιότητας [19].





Εικόνα 3.5 : Λεπτομέρεια της εικόνας 1.2 (χάρτης Corner).



Εικόνα 3.6 : Βορειοανατολική όψη κυκλικού Πύργου. Ιστορικό αρχείο Κρήτης.

Από τις αρχές του αιώνα μέχρι σήμερα δεν έχουν πραγματοποιηθεί εργασίες στερεωτικές επί του μνημείου, πέραν κάποιων εργασιών καθαρισμού της βορειοανατολικής επιχρισμένης όψης εντός του φρουρίου Φιρκά. Όμως το περιβάλλον του συνεχώς αλλάζει κυρίως με τις διαμορφώσεις που έχει υποστεί η πλατεία Τάλω στο πέρασμα των δεκαετιών. Στις εικόνες 3.7 έως 3.11 απεικονίζεται το μνημείο και η σχέση με το περιβάλλοντα χώρο του, από τις αρχές του 20ου αιώνα μέχρι σήμερα.



Εικόνα 3.7: Αρχές του 20ου αι. S. Curuni. Από το αρχείο της Ε.Ε.Α.Ο.Ε.Κ.



Εικόνα 3.8: Δεκαετία του '60. Από το αρχείο της Ε.Λ.Ι.Α.



Εικόνα 3.9: Αρχές της δεκαετίας του '70. Λήψη από το κατεδαφισμένο σήμερα Ξενοδοχείο Ξενία. Από το αρχείο του Μιχ. Ναλετάκη.





Εικόνα 3.10: Νοτιοδυτική όψη. Λήψη 5/2013.



Εικόνα 3.11: Βορειοανατολική όψη σήμερα. Λήψη 5/2013.

Στις 22/09/2014 εγκρίθηκε μετά από παρατηρήσεις, η αρχιτεκτονική μελέτη αποκατάστασής του από το ΚΑΣ/ΥΠΠΟΤ και εντάχθηκε στο συνολικό έργο αποκατάστασης του φρουρίου Φιρκά, έργο το οποίο θα εκτελεστεί δι' αυτεπιστασίας από την Εφορεία Αρχαιοτήτων Χανίων.

Η μελέτη πρότεινε μεταξύ άλλων πρόσβαση ΑμΕΑ με δημιουργία ράμπας, συμπληρώσεις κατεστραμμένων τμημάτων και διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου του μνημείου. Οι παρατηρήσεις που υπέδειξε το Κεντρικό Αρχαιολογικό Συμβούλιο, μεταφέρονται αυτούσιες:

"Εγκρίνουμε την μελέτη στερεώσεων, διερευνητικών και ανασκαφικών εργασιών του Γενοβέζικου (κυκλικού) πύργου στο φρούριο του Φιρκά Χανίων, Περιφέρειας Κρήτης σύμφωνα με τις παρακάτω παρατηρήσεις:

1. Η οριστική πρόταση για την μορφολογική αποκατάσταση του Πύργου και την κατασκευή ράμπας πρόσβασης στο εσωτερικό του να διαμορφωθεί αφού ολοκληρωθούν όλες οι διερευνητικές εργασίες στον πύργο, και η μελέτη αφού συμπληρωθεί και τροποποιηθεί σύμφωνα με τα νέα δεδομένα (σχέδια αποτύπωσης και πρότασης) να υποβληθεί στις αρμόδιες Υπηρεσίες για την κατά Νόμο γνωμοδότηση του Κ.Α.Σ. Στην τελική πρόταση να ληφθεί υπ' όψιν ότι οι νέοι λίθοι που θα χρησιμοποιηθούν στις συμπληρώσεις και αναδομήσεις του μνημείου πρέπει να είναι ίδιας μορφής και σύστασης με τους αρχικούς, ακολουθώντας τον τρόπο δόμησης της αρχικής κατασκευής, και η διάκριση του παλαιού από το νέο τμήμα να γίνει με την παρεμβολή συνεχούς φύλλου μολύβδου.
2. Η απομάκρυνση της μεταγενέστερης κατασκευής στα δυτικά του Πύργου για την αποκάλυψη του ίχνους της περιμέτρου του να πραγματοποιηθεί με χειρωνακτικά μέσα και τις απαιτούμενες τοπικές αντιστηρίξεις, και όχι με χρήση μηχανημάτων, για την διαφύλαξη των σωζόμενων δομικών στοιχείων της αρχικής κατασκευής.
3. Η πλήρωση των μεγάλων αρμών να μην πραγματοποιηθεί με χαλικολόγημα, διότι δεν συνάδει με την αρχιτεκτονική του μνημείου, αλλά να αντιμετωπιστεί στο πλαίσιο του βαθέως αρμολογήματος.
4. Η σύνθεση των νέων κονιαμάτων (αρμολογήματα και ενέματα) να προκύψει μετά τις αναγκαίες εργαστηριακές έρευνες ανάλυσης των υπαρχόντων αρμολογημάτων, προκειμένου να είναι συμβατή με τα υφιστάμενα".

### **3.2 Μορφολογικά στοιχεία, υλικά κατασκευής και τρόπος δομής του Πύργου**

---

Ανεξάρτητα από την ακριβή χρονολογία κατασκευής του, μπορούμε βάσει της τυπολογίας του να υποθέσουμε ότι είναι έργο μεταγενέστερο του 13ου αι., εποχή που το κυκλικό σχήμα των πύργων εμφανίζεται στις κτήσεις κυρίως των Ιταλών στη Μεσόγειο. Μέχρι το 13ο αι. οι πύργοι που κατασκεύαζαν τόσο οι Ιταλοί όσο και οι Βυζαντινοί, ήταν κυρίως βίγλες ή πυργόσπιτα και είχαν τετράγωνη κάτοψη που δεν ξεπερνούσε τα 12μ.

Συνηγορώντας σε αυτό, επισημαίνεται από τον B.Clements, ερευνητή των Martello Towers<sup>12</sup>, ότι είναι πολύ δύσκολο να τοποθετηθούν με ακρίβεια στο χρόνο, όμως φαίνεται πως κυκλικού σχήματος πύργοι είχαν κτιστεί στη Νότια Ισπανία και στη Γρανάδα, ως βίγλες, μεταξύ του 1238 και 1492. Ως βίγλες, απαιτούσαν μικρή διάμετρο για τη διαμονή δύο βιγλατόρων. Η εμφάνιση των

---

<sup>12</sup> Με την ονομασία αυτή έγιναν γνωστοί οι κυκλικοί πύργοι με *scarpa*(κωνικοί), στην Αγγλική ορολογία.



αμυντικών κυκλικών πύργων με μεγαλύτερη διάμετρο, εμφανίστηκε αργότερα στη Μεσόγειο<sup>13</sup> [18].

Η αρχική διάμετρος του πύργου ήταν 27μ. και το ύψος του από τη στάθμη της θάλασσας ως την απόληξη του στηθαίου του περιβόλου, έφτανε τα 13,50μ. Ο δε περίβολος (παραπέτο) είναι διαμορφωμένος με προεξοχή 40εκ. προς το εσωτερικό διευρύνοντας το ωφέλιμο πλάτος του, όταν το υφιστάμενο στηθαίο έχει πάχος 40εκ. και ύψος 90εκ. Η προεξοχή του παραπέτου έχει ύψος 1μ., ξεκινάει δηλαδή από τη στάθμη των 12,50μ. και στηρίζεται σε λίθινα φουρούσια (εικ. 3.12).



Εικόνα 3.12: Το στηθαίο στη κορυφή και το πέτρινο παραπέτο με τα φουρούσια.

Ο πύργος μετά τη συμπλήρωση των τειχών στη βόρεια και νότια πλευρά του, απέκτησε στη βάση του τρεις στάθμες. Μία στάθμη εξωτερική, στη βραχώδη έκταση (η στάθμη αυτή σήμερα είναι στα 4,50μ. περίπου πάνω από το επίπεδο της θάλασσας αλλά δεν έχει γίνει ερευνητική τομή, ώστε να βρεθεί το βάθος της θεμελίωσής του), μία εσωτερική στο φρούριο του Φιρκά η οποία βρίσκεται ~2,50μ. πάνω από το επίπεδο της θάλασσας και μία στο εσωτερικό του ίδιου του πύργου και του προμαχώνα San Salvatore που βάσει της ορατής σήμερα κανονιοθυρίδας φαίνεται να ήταν στα 5,90μ. πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Μάλιστα, είναι προφανές ότι η στάθμη στο εσωτερικό του φρουρίου Φιρκά, όπου είναι ορατή η βορειοανατολική όψη του πύργου και το σημείο έδρασής του στο βράχο, περιλαμβάνει εκτός από το εμφανές σημείο του κτισμένου τμήματος του, λαξευμένο τμήμα της βραχώδους βάσης του ύψους 3,40μ. Η διαμόρφωση αυτή πιθανόν προέκυψε από την ανάγκη δημιουργίας των θολωτών χώρων βολής κάτω από τη πλατεία του rivellino).

Διαφορετικές ήταν οι στάθμες της περιμετρικής τοιχοποιίας και στην αρχική κατασκευή του πύργου, κι αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι δεν υπάρχει ομοιογένεια στο πάχος αλλά ούτε και στο ύψος της ορατής σήμερα

---

<sup>13</sup> Πιθανόν να εδραιώθηκαν μετά την επικράτηση των κανονιών στα οπικά συστήματα του μεσαίωνα, δηλαδή στα μέσα του 14ου αι. [41]

λιθοδομής. Θα πρέπει να φανταστούμε ότι στην αρχική του μορφή, ο πύργος κατασκευάστηκε σε βραχώδες ακρωτήριο, ύψους περίπου 5.90μ., όπου η βορειοδυτική και δυτική του πλευρά θεμελιώθηκε σε χαμηλότερη στάθμη, αγκαλιάζοντας το βράχο. Η περιοχή αυτή είναι διαμορφωμένη με κλίση (scarpa) όπου το πάχος της τοιχοποιίας στην ορατή σήμερα βάση είναι 3μ. και στην απόληξη του περιβόλου 1,80μ. (εικ. 3.13 και σχ. 3.4). Το υπόλοιπο τμήμα του πύργου έχει σταθερό πάχος 1,80μ. και όλη την εσωτερική τοιχοποιία κατακόρυφη.



Εικόνα 3.13: Ορατή τομή. Scarpa σημείου χαμηλότερης θεμελίωσης στο βράχο.

Δύο τοξωτά ανοίγματα σε ύψος 5,90μ., με μειούμενο ύψος (λαιμό) προς τα έξω (βόρεια), εσωτερικών διαστάσεων 2,20 σε πλάτος και 1,10μ σε ύψος, και εξωτερικών διαστάσεων 2,50μ. σε πλάτος και 0,50μ. σε ύψος, βρίσκονται στη βόρεια και βορειοανατολική πλευρά και εξυπηρετούσαν ως κανονιοθυρίδες. Το βόρειο έχει σφραγιστεί κατά το ήμισυ του βάθους του, από τη σύγκλιση του τείχους του rivellino, ενώ το βορειοανατολικό (εικ. 3.14) βρίσκεται στο εσωτερικό του φρουρίου και είναι επίσης σφραγισμένο εξωτερικά κατά το ήμισυ του βάθους του. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι το ύψος των θυρίδων σε χαμηλότερη στάθμη από την εσωτερική, δεν θα μπορούσε να εξυπηρετήσει τη χρήση των κανονιών, η οποία πιθανόν να βρίσκεται χαμηλότερα. Δοκιμαστικές τομές για την αναζήτηση της αρχικής εσωτερικής στάθμης δεν έχουν γίνει.





Εικόνα 3.14: Ορατή κανονιοθυρίδα στην "εξωτερική" πλευρά, Βορειοανατολική όψη.

Ένα υπόλειμμα τοξωτής διαμόρφωσης βρίσκεται στο εσωτερικό της Βορειοανατολικής τοιχοποιίας, κάτω ακριβώς από το σημείο που διαμορφώνονταν τα φουρούσια του περιβόλου. Η διαμόρφωση αυτή δεν είναι σίγουρο ότι υποδεικνύει κάποιο άνοιγμα, καθώς δεν είναι ευδιάκριτο κάποιο αντίστοιχο στοιχείο στην εξωτερική πλευρά της τοιχοποιίας. Θα μπορούσε ωστόσο να αφορά κάποια άλλη κατασκευή προσαρτημένη στην παρειά της τοιχοποιίας, είτε την υποστήριξη και κατάληξη στο σημείο αυτό του κλιμακωστασίου ανάβασης στο περίβολο ή ακόμη να αποτελεί υπόλειμμα του οικίσκου της φρουράς, τον οποίο συναντάμε σε αντίστοιχα έργα (εικόνα 3.15) [19].



Εικόνα 3.15: Τοξωτό άνοιγμα ή άλλη διαμόρφωση στη ΝΑ πλευρά του "εσωτερικού".

Τέλος, στο Βορειοανατολικό τμήμα του πύργου υπάρχουν τρεις θέσεις για οικόσημο σε απόσταση μεταξύ τους, σε δύο από τα οποία σώζονται τμήματα πλούσιας λαξευτής κορνίζας. Κάτω από το μεσαίο οικόσημο το οποίο έχει



τριπλάσιο πλάτος, σώζεται μια επιγραφή που αναγράφει το έτος 1477. Το άνω τμήμα των πλαισίων απουσιάζει και στη θέση τους έχει συμπληρωθεί μεταγενέστερη λιθοδομή.

Όσον αφορά στον τρόπο δομής, η τοιχοποιία του πύργου, είναι κατασκευασμένη από ημιλαξευτούς δόμους αλλά και μικρότερους αργούς λίθους, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως στο γέμισμα του μεγάλου πάχους της τοιχοποιίας. Τα κονιάματα είναι χαρακτηριστικού μπεζ χρώματος [19], αντίστοιχα της οικοδομικής περιόδου της ενετοκρατίας (σχ. 3.5).

Η εξωτερική τοιχοποιία παρουσιάζει τον ίδιο τρόπο δομής και φαίνεται να ήταν επιχρισμένη εφόσον δεν ήταν κατασκευασμένη από επιμελημένους ισόδομους λαξευτούς λίθους (σχ. 3.6). Τα υφιστάμενα επιχρίσματα είναι πιθανό να ανήκουν σε διάφορες ιστορικές φάσεις του μνημείου, ή και σε εργασίες της 28ης ΕΒΑ.

Διαφορετική εικόνα παρουσιάζει το μικρό εναπομείναν κεκλιμένο τμήμα (scarpato), το οποίο φέρει στην εξωτερική του επιφάνεια κανονικούς λαξευτούς λίθους και όμοιο τρόπο δομής με το γειτονικό φρούριο του Φιρκά (εικ. 3.16). Η διαφοροποίηση αυτή εγείρει ερώτημα σχετικά με το αν το κεκλιμένο τμήμα του πύργου υπήρχε στην αρχική φάση της κατασκευής του ή συμπληρώθηκε την περίοδο της προσθήκης της εξωτερικής οχύρωσης των Rivellino dell porto και San Salvatore. Αυτό θα μπορούσε να αιτιολογηθεί ως ενίσχυση του πύργου στο εκτεθειμένο εκτός των τειχών τμήμα του μετά τις εκτεταμένες οχυρωματικές επεμβάσεις του 16ου αι. αλλά και να δικαιολογήσει την ξαφνική αλλαγή της γεωμετρίας του. Φυσικά για να τεκμηριωθεί μια τέτοια υπόθεση απαιτούνται μελέτες μιας άλλης ειδικότητας, αυτής του αρχαιολόγου.



Εικόνα 3.16: Ισόδομο σύστημα στο εναπομείναν κεκλιμένο τμήμα της τοιχοποιίας.



Επίσης, το στηθαίο στην απόληξη του πύργου, φαίνεται να είναι μεταγενέστερη κατασκευή, όχι τόσο από την αλλαγή του τρόπου δομής, όσο από το γεγονός ότι έχει ακανόνιστη βάση και απουσιάζουν παντελώς στην εξωτερική παρειά τα επιχρίσματα που εμφανίζονται στο υπόλοιπο τείχος (εικ. 3.17). Σε αρκετά σημεία εμφανίζονται και μεταγενέστερες επεμβάσεις με τη χρήση μαύρου τσιμέντου σε κονιάματα.



Εικόνα 3.17: Άποψη της κορυφογραμμής του πύργου στη ΒΑ όψη. Διακρίνονται οι θέσεις των οικοσμήμων και η διαφοροποίηση της λιθοδομής του στηθαίου.

Τέλος η προέλευση των λίθων, όπως και όλων των κατασκευών των ενετών στη πόλη των Χανίων, είναι από τα τοπικά παραθαλάσσια λατομεία, του Σταυρού ή της Αγίας Κυριακής, όπου έβρισκαν τον μαλακό και εύκολα επεξεργάσιμο ψαμμόλιθο (βιοκλαστικός ασβεστόλιθος).

Συγκεκριμένα, ο ψαμμίτης λίθος ανήκει στη κατηγορία των κλαστικών ιζηματογενών πετρωμάτων και δημιουργείται με την απόθεση ανόργανου υλικού (προϊόν αποσάθρωσης άλλων πετρωμάτων ή εδαφικού υλικού κυρίως ασβετιτικής ή χαλαζιακής σύστασης), την κατακρήμνιση χημικού ιζήματος και την συσσώρευση οργανικής ύλης. Βάσει της ορυκτολογικής ανάλυσης των λίθων του μεσαιωνικού τείχους στο λόφο Καστέλλι που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της αποκατάστασης του το 2001, αποτελείται από μεγάλο αριθμό βιοκλαστικών απολιθωμάτων και πολλών κόκκων χαλαζία, συνδεδεμένων μεταξύ τους με ασβεστιτικό υλικό [20].

### **3.3 Οικοδομικές Φάσεις και Αρχιτεκτονική Αποτύπωση**

Βάσει της ιστορικής και μορφολογικής ανάλυσης που προηγήθηκε, μπορούμε να διακρίνουμε πέντε βασικές περιόδους στη διάρκεια της ζωής του μνημείου:

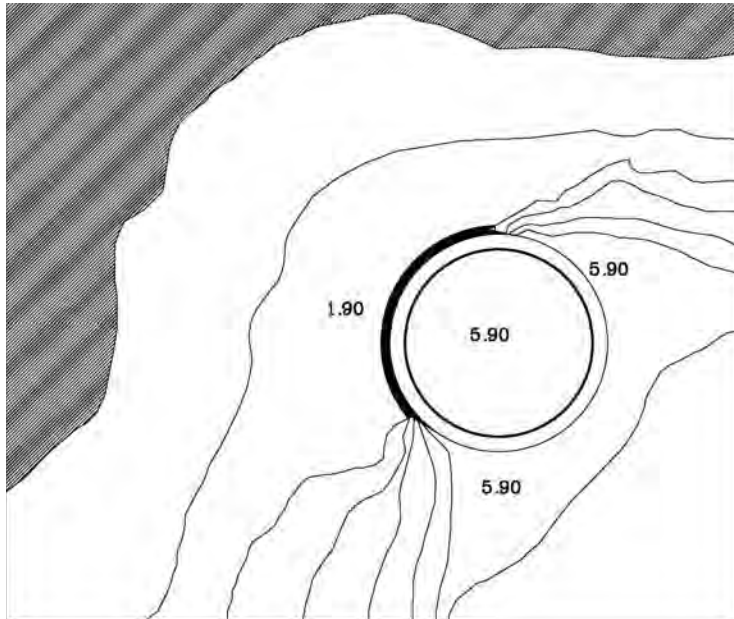
**α) 1477-1601.** Κατασκευή ως ανεξάρτητου αμυντικού πύργου που εξυπηρετούσε για την ρήψη χαμηλών πυρών στην είσοδο του λιμανιού. Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζεται σχηματικά η θέση του πύργου πάνω στον αρχικό βράχο. Η μαύρη ζώνη γύρω από τον πύργο υποδηλώνει τη σκάρπα, η οποία τοποθετείται για λόγους απουσίας τεκμηρίωσης του χρόνου κατασκευής της, σε αυτή τη περίοδο. Οι στάθμες είναι υποθετικές βασισμένες στα στοιχεία της μελέτης.

**β) 1601-1645.** Κατασκευή του νέου εξωτερικού τείχους και μπάζωμα του κυκλικού πύργου ώστε να εξυπηρετεί κανόνια στη κορυφή του. Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζεται σχηματικά η θέση των μεταγενέστερων οχυρώσεων και προσκτισμάτων που προσαρτήθηκαν στην εξωτερική τοιχοποιία του πύργου. Οι στάθμες είναι υποθετικές βασισμένες στα στοιχεία της μελέτης.

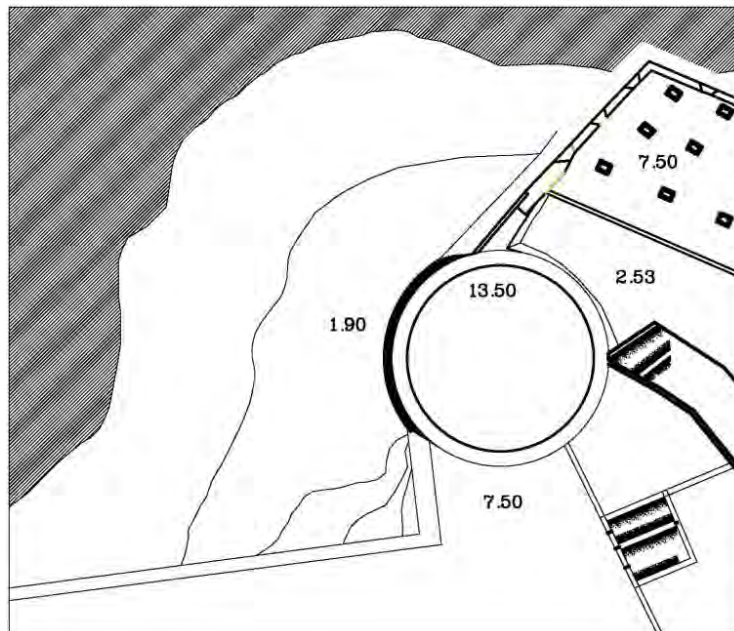
**γ) 1645-1899.** Περίοδος τουρκοκρατίας. Η τοιχοποιία δεν επιδέχεται φροντίδα και αφήνεται στη φθορά του χρόνου. Το 1805 μάλιστα αναφέρεται μεγάλος σεισμός στα Χανιά της τάξεως των 7,2R [21].

**δ) 1899-1970.** Γκρεμίζονται τα 2/3 του πύργου, αφαιρείται το μπάζωμα και τα προϊόντα κατεδαφίσεως χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κρηπιδώματος στα δυτικά. Η στάθμη εσωτερικά φτάνει ως τα 4,00μ ύψος από το επίπεδο της θάλασσας.

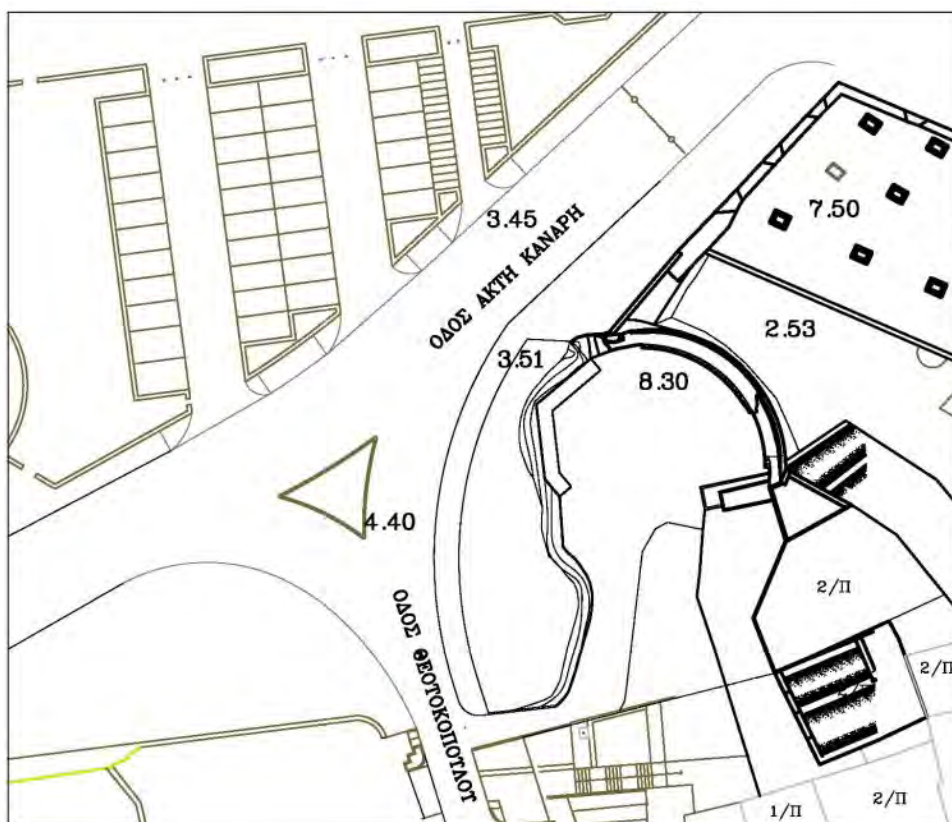
**ε) 1970-2015.** Σημειώνεται μπάζωμα εσωτερικά ύψους 2μ. περίπου. Έχουν πραγματοποιηθεί εργασίες καθαρισμού όχι όμως αποκατάσταση των φθορών της τοιχοποιίας(σχ. 3.3).



Σχήμα 3.1: Φαση Α'



Σχήμα 3.2: Φαση Β'



Σχήμα 3.3: Φάση Ε'

### **ΣΧΕΔΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ**

Η μελέτη της αρχιτεκτονικής αποτύπωσης είχε ανατεθεί στην συντάξασα τη παρούσα διπλωματική, στο πλαίσιο οκτάμηνης σύμβασης που είχε συνάψει με το ΤΔΠΕΑΕ και την Επιστημονική επιτροπή ανάδειξης οχυρωματικών έργων Κρήτης, την περίοδο Νοεμβρίου 2012- Ιουνίου 2013. Η εκπόνηση της μελέτης έγινε σε συνεργασία με τον τοπογράφο του γραφείου, Χαράλαμπο Σκαραντωνάκη και τη σχεδιάστρια Παναγιώτα Τσουμελέα.

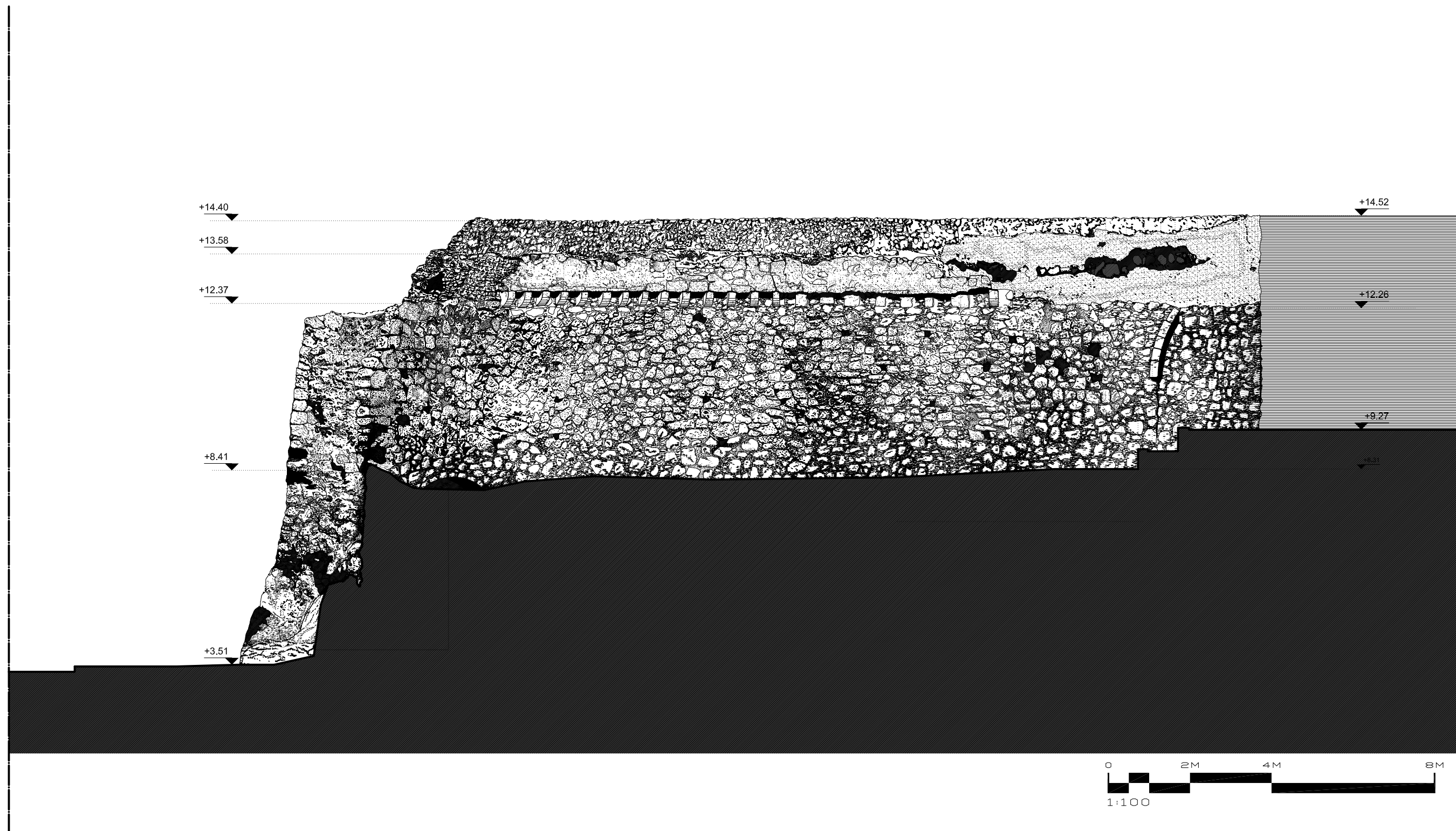
Τα σχέδια της παραπάνω μελέτης που παρουσιάζονται εδώ είναι τα εξής:

1. Κατοψη- Τοπογραφικό
2. Οψοτομή Α-Α' (Νοτιοανατολική όψη)
3. Οψοτομή Β-Β' (Βορειοδυτική όψη)



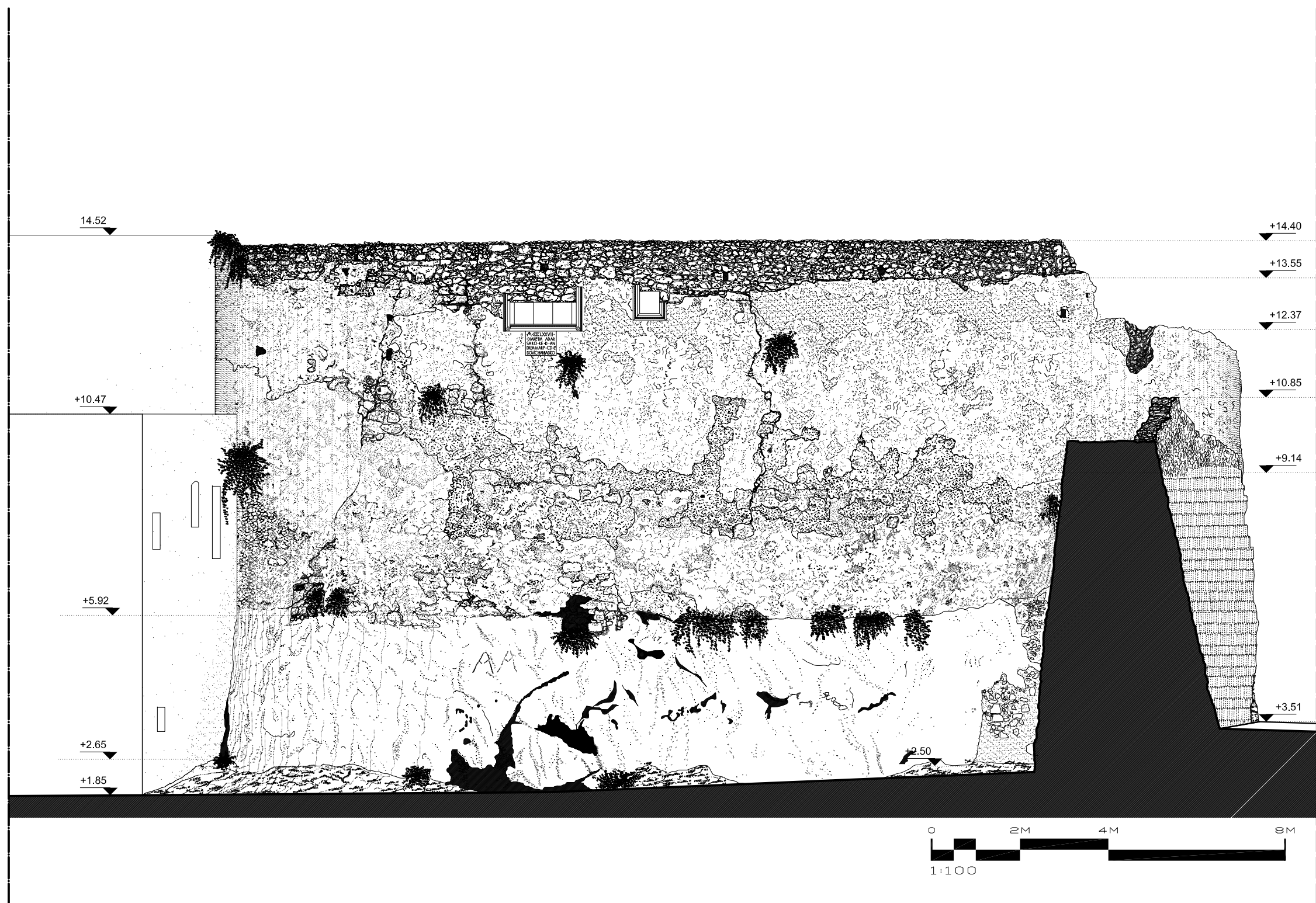


Σχήμα 3.4: Κάτοψη / τοπογραφικό



Σχήμα 3.5: Οψοτομή A-A' (Νοτιοδυτική όψη)





Σχήμα 3.6 Οψοτομή Β-Β' (Βορειοανατολική όψη)

### 3.4 Παθολογία

Κύριο χαρακτηριστικό της παθολογίας που εμφανίζεται στο μνημείο είναι η ετερόκλητη σχέση του ποσοστού διάβρωσης των δόμων στο "εσωτερικό" τμήμα (νοτιοδυτική όψη) σε σχέση με το "εξωτερικό" (βορειοανατολική όψη). Το γεγονός αυτό οφείλεται στη παρουσία επιχρισμάτων στην βορειοανατολική επιφάνεια, η οποία καθυστέρησε σημαντικά την επίδραση των επιβλαβών περιβαλλοντικών συνθηκών.



Εικόνα 3.18: Άποψη της Βορειοανατολικής όψης.

Στη βόρεια όψη (εικ. 3.17 και σχ. 3.8), οι φθορές συνοψίζονται κυρίως στη κρυστάλλωση αλάτων στην επιφάνεια των επιχρισμάτων και στην κατά τόπους ολική διάβρωση των επιχρισμάτων. Στα σημεία αυτά εντοπίζονται κυψελώσεις και στη λιθοδομή, χωρίς όμως εκτεταμένες φθορές. Η συνοχή λίθων και κονιάματος είναι σε πολύ καλή κατάσταση στο μεγαλύτερο μέρος της εξωτερικής τοιχοποιίας, εκτός από τα σημεία που παρουσιάζονται ρωγμές. Στα σημεία αυτά παρουσιάζεται βιολογική δραστηριότητα ως και ανάπτυξη ανώτερων φυτών και μικρών θάμνων. Έλλειψη συνοχής με αντίστοιχη δραστηριότητα, παρουσιάζεται και στο σημείο έδρασης της τοιχοποιίας στο συμπαγή βράχο, όπου σε μικρή έκταση παρατηρείται και απώλεια υλικού με εμφάνιση οπών, καθώς και οπές εν είδει μικρών ρωγμών στον ίδιο το βράχο (εικ. 3.18).

Στη νοτιοανατολική όψη αντίθετα παρατηρείται καθολική διάβρωση (σχ. 3.7 και εικ. 3.20), με απώλεια υλικού (3.20-ζ), κυψελώσεις (3.20-γ), κρυστάλλωση αλάτων (3.20-ε), βιολογική δραστηριότητα και έντονες χρωματικές αλλοιώσεις (από το αρχικό λευκό μπεζ χρώμα οι λίθοι είναι μαύροι ή καφεκόκκινοι) (3.20-α-β), αποσάθρωση υλικού με εμφάνιση φαιοκόκκινης σκόνης η οποία μπορεί να προέρχεται και από το εσωτερικό της λιθοδομής (3.20-δ), υποδεικνύοντας έτσι εν εξελίξει φαινόμενα συνεχούς διάβρωσης.



Τα περισσότερα από τα συνδετικά κονιάματα έχουν εκπλυθεί ή καταρρεύσει με τη μορφή λεπτής σκόνης, καθιστώντας την τοιχοποιία σε κατάσταση κακής διατήρησης. Σημειικά η αποσάθρωση των λίθων και των κονιαμάτων είναι τόσο έντονη, με αποτέλεσμα να έχουν δημιουργηθεί περιοχές με ερυθρωπή σκόνη και κατάρρευση των τμημάτων αποσαθρωμένων λίθων (εικόνα 3.20).



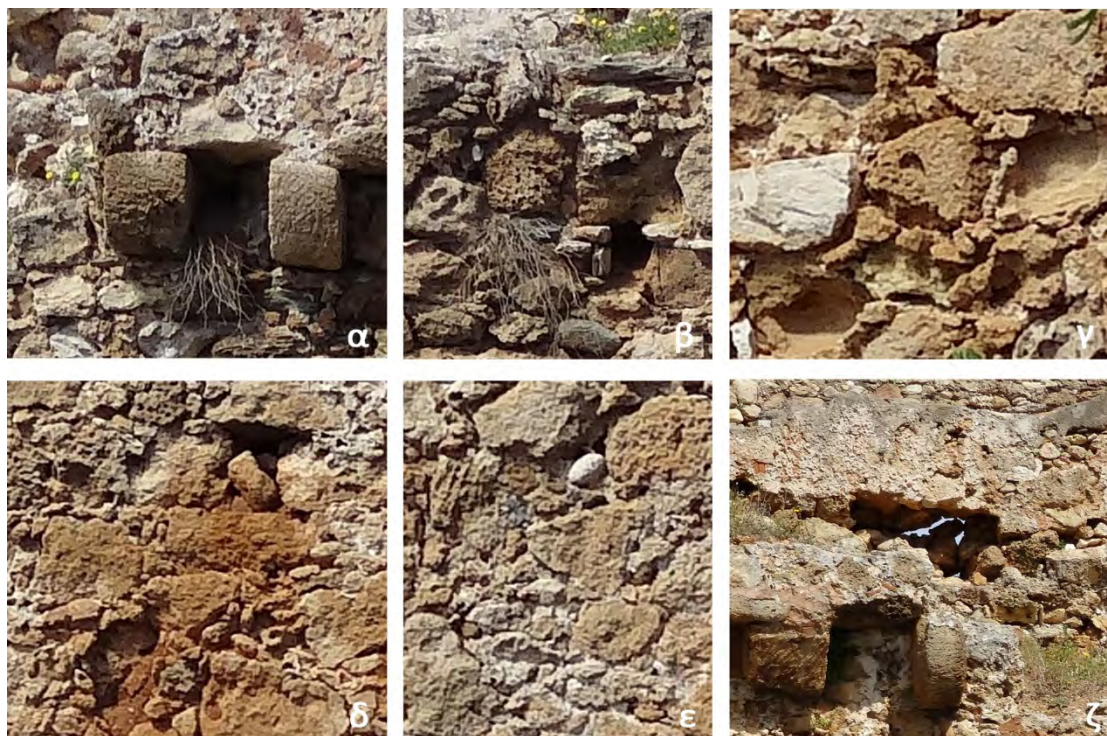
Εικόνα 3.19: Σημειική διάρρηξη υλικού και συνοχής βράχου-τοιχοποιίας.



Εικόνα 3.20: Διαμπερής ρωγμή εξωτερικά και εσωτερικά.



Σημαντικό στοιχείο της παθολογίας του μνημείου αποτελεί μια διαμπερή ρωγμή και μικρότερες σε βάθος ρωγμές που εντοπίζονται και στις δύο όψεις της τοιχοποιίας (εικ. 3.19 και σχήματα 3.7-3.8).



Εικόνα 3.21: α), β) μαύρες (ξηρές) περιοχές βιολογικής δραστηριότητας, ανάπτυξη ανώτερων φυτών, γ) κυψελώσεις, δ) ολική αποσάθρωση υλικού (κονιάματος και λίθου), ε) κρυστάλλωση αλάτων, ζ) απώλεια υλικού, οπές.

Όσον αφορά στις αιτίες των φθορών στο μνημείο, παρουσιάζονται ως αποτέλεσμα ενδογενών και εξωγενών παραγόντων. Οι πρώτοι σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του υλικού ενώ οι δεύτεροι αναφέρονται στο σύνολο των παραμέτρων που περιγράφουν το περιβάλλον του μνημείου.

### Μηχανικές αιτίες φθοράς

- Φθορές του τύπου της αμμοβολής από την μηχανική δράση του ανέμου που μεταφέρει κόκκους άμμου και χώματος. Εντείνει τις επικαθίσεις φερτών υλικών γαιωδών, βιολογικών ή ατμοσφαιρικών (άλατα, αιθάλη) [22].
- Μηχανική δράση από τα όμβρια ύδατα που προκαλούν μηχανικά μικρά ρυάκια διαλύοντας κόκκους της πέτρας και παρασύροντας προϊόντα απολεπίσεων από την επιφάνεια [20].
- Διάβρωση λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, όταν το εξωτερικό των λίθων θερμαίνεται πολύ περισσότερο από το εσωτερικό, δημιουργώντας δυνάμεις εσωτερική θραύσης. Η επανάληψη και η συχνότητα του φαινομένου δημιουργεί επιπλέον κόπωση στο υλικό, ειδικά στις εξωτερικές επιφάνειες, με την απόσπαση της μικροδομής του, δηλαδή διάρρηξη των κόκκων του πετρώματος [23].
- Μηχανικές καταπονήσεις από γεωλογικά αίτια, που στη προκειμένη περίπτωση πιθανόν περιορίζονται στην καθίζηση εδάφους ή/και σε

σεισμούς. Οι αιτίες αυτές πρέπει να διερευνηθούν ξεχωριστά, για το ρόλο που πιθανόν έχουν διαδραματίσει στην εμφάνιση των ρωγμών.

- Ρωγματώσεις και διασαλεύσεις δόμων πιθανόν από μεταγενέστερες επεμβάσεις, όπως πχ. οι προσθήκες και οι καθαιρέσεις.
- Σκόνη, αιθάλη και επικαθίσεις αιωρούμενων σωματιδίων.

### **Βιολογικές αιτίες φθοράς**

- Αρκετά τμήματα της επιφάνειας της νότιας κυρίως τοιχοποιίας, καλύπτονται από βιολογική κρούστα αποτελούμενη από συσώματα με άλγη, λειχήνες και πάσης φύσεως επικαθίσεις. Η ύπαρξη μικροοργανισμών και βακτηριακών αποικιών χρωματίζουν την επιφάνεια των λίθων με αποτέλεσμα να φαίνονται ως περιοχές μαύρες (ξηρές), καστανέρυθρες ή πράσινες(υγρασία),(εικ. 3.20α). Η έκκριση τους (νιτρικά άλατα, οργανικά οξέα), οδηγούν σταδιακά σε αποσάθρωση του υλικού καθώς αναπτύσσονται ρωγμές, αποφλοιώσεις και άλγη (φλύκταινες) [23].
- Σε σημεία που οι επικαθίσεις είναι εντονότερες και σε μεγαλύτερο βάθος ή πάχος, εμφανίζεται εκτεταμένη ανάπτυξη ανώτερων φυτών (εικόνα (εικ. 3.20α-β). Η ανάπτυξη μικρών θάμνων μπορεί να οδηγήσει και σε σημαντικές ρωγματώσεις, μέσω του ριζικού τους συστήματος. Η έκκριση οξέων για την ανάπτυξη του ριζικού τους συστήματος, διαβρώνει και αποσαθρώνει τη περιοχή εμφάνισής του [23].

### **Χημικές αιτίες φθοράς**

Βασικός παράγοντας για τις φθορές αυτής της κατηγορίας είναι η δράση του νερού, είτε όμβριο κατερχόμενο στην πρόσοψη είτε ανερχόμενο με το φαινόμενο των τριχοειδών, καθώς και από τις εκνεφώσεις του γειτνιάζοντος θαλασσινού νερού.

Ο τρόπος εκδήλωσης της φθοράς είναι χαρακτηριστικός και εμφανίζεται με την ακανόνιστη απόσπαση των κόκκων του υλικού και του σχηματισμού κοιλοτήτων και σπηλαιώσεων. Η επιφάνεια εμφανίζει αρχικά κρυστάλλωση αλάτων (εικ. 3.20-ε), εξαιτίας της οποίας οι κόκκοι του ψαμμίτη χάνουν τη συνοχή μεταξύ τους και τελικά αποκολλώνται. Κατά την εξέλιξη του φαινομένου, δημιουργούνται στην επιφάνεια του λίθου άνισα μέτωπα για να προκύψει στο τέλος η χαρακτηριστική κυψελοειδής μορφή [24].








Η μορφή αυτή στα αρχικά της στάδια εμφανίζεται με τον σχηματισμό βελονισμών στην επιφάνεια του λίθου (δενδριτική μορφή), που εξελίσσονται σε κοιλότητες με απρόβλεπτο σχήμα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανακρυστάλλωση ή κρυστάλλωση αλάτων (εξανθίσεις αλάτων) [22]. Σε πιο προχωρημένο στάδιο οι κοιλότητες διασυνδέονται, όπου τα τοιχώματά τους αποσαθρώνονται εντελώς. Τελευταία φάση της κυψελοειδούς διάβρωσης αποτελεί η κατάρρευση των διαχωριστικών τοιχωμάτων των κοιλοτήτων σε ολόκληρο το μέτωπο του λίθου (εικ. 3.20-γ). Το φαινόμενο αυτό εντείνεται με την ύπαρξη βιολογικής δραστηριότητας με την παραγωγή και διοχέτευση διαλυτών αλάτων στο εσωτερικό των πετρωμάτων [24].

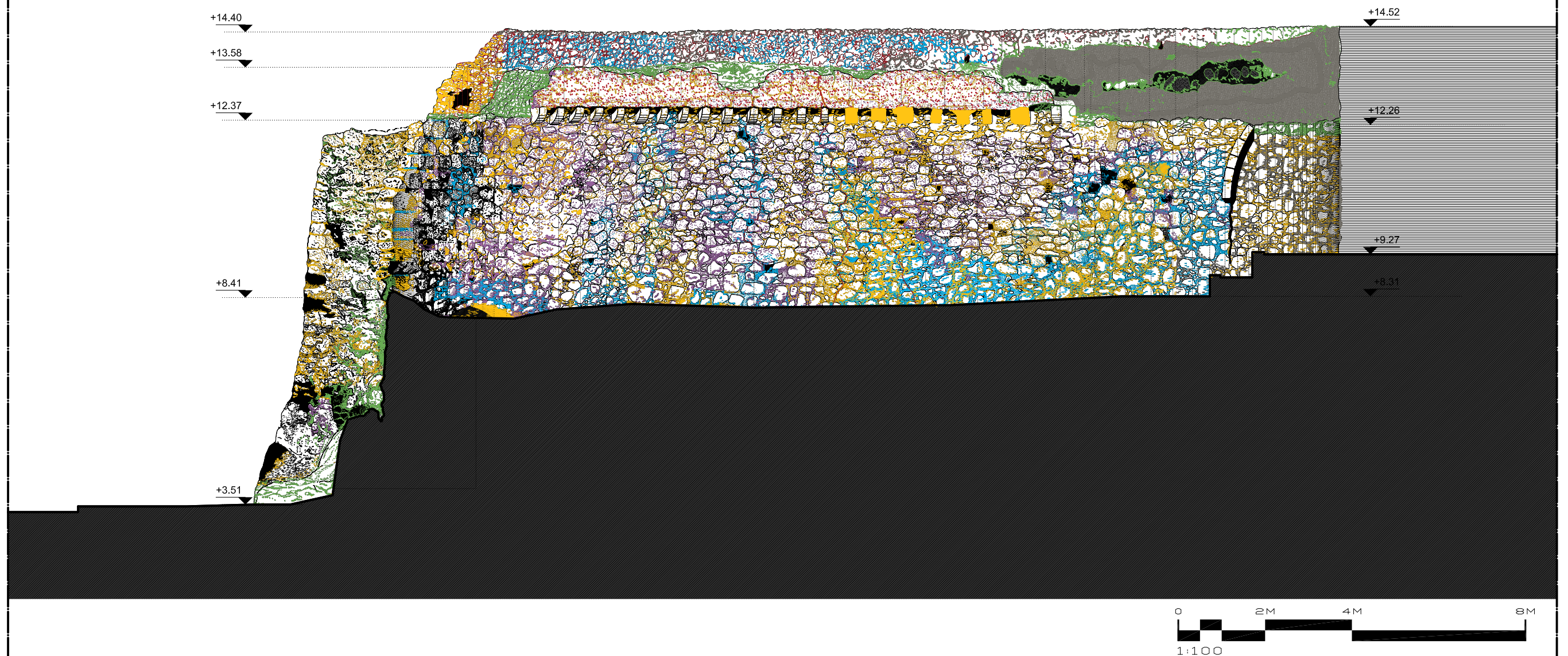
Όλες οι προηγούμενες δράσεις επιδρούν και στο συνδετικό κονίαμα και στο κονίαμα πλήρωσης. Για το λόγο αυτό στην νοτιοδυτική πλευρά του μνημείου τα επιφανειακά συνδετικά κονιάματα απουσιάζουν σε αρκετά μεγάλης επιφάνειας περιοχές, ενώ σε άλλες έχουν γεμίσει σκόνη, αποτελώντας ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη φυτών. Στη βορειοδυτική πλευρά όπως ήδη έχει αναφερθεί, η ύπαρξη επιχρισμάτων έχει συμβάλει κατά πολύ στην έλλειψη τόσο μεγάλων φθορών.





ΥΠΟΜΝΗΜΑ







	Βιολογικά- ανάπτυξη φυτών
	Ρωγμές/ Αλλαγή λίθων
	Κυψελώσεις
	Κρυστάλλωση Αλάτων επί επιφανειών λιθοδομής
	Αποσάθρωση κονιαμάτων
	Μεταγενέστερα τσιμεντιτικά κονιάματα/ επιχρίσματα
	Απώλεια υλικού/ οπες

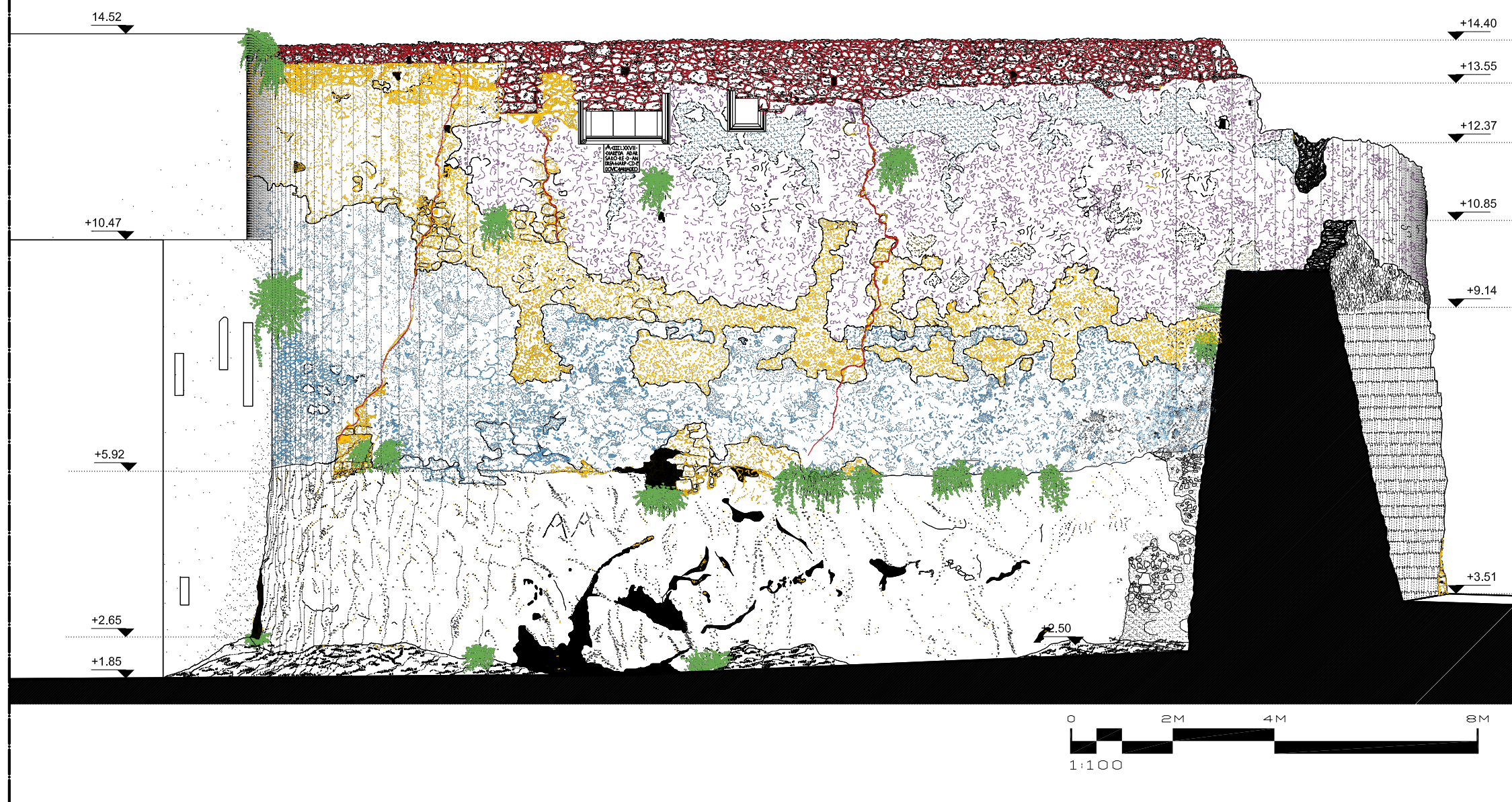


Σχήμα 3.7: Νότιοδυτική όψη



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	Βιολογικά - ανάπτυξη φυτών
	Ρωγμές/ Αλλαγή λίθων
	Κυψελώσεις
	Κρυστάλλωση Αλάτων επί επιφανειών λιθοδομής
	Κρυστάλλωση Αλάτων επί επιφανειών επιχρισμάτων
	Απωλεία υλικού/ οπες



Σχήμα 3.8: Βορειοανατολική όψη



---

# 4

## ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

---

Η ιδιομορφία του συγκεκριμένου δομικού συστήματος έγκειται στις τοιχοποιίες μεγάλου πάχους και την ανομοιογένεια της κατακόρυφης γεωμετρίας στην περίμετρό του. Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε ότι η επιλογή της μεθόδου ανάλυσης της κατασκευής με πεπερασμένα στοιχεία, είναι η καταλληλότερη, εφόσον σε καμία περίπτωση δεν θα μπορούσαμε να προσεγγίσουμε το πρόβλημα με προγράμματα πλαισιωτών φορέων, ενώ ακόμη πιο δύσκολο θα ήταν να το αναλύσουμε αριθμητικά.

Οι δομικές κατασκευές είναι συστήματα με άπειρους βαθμούς ελευθερίας γιατί παρουσιάζουν συνεχή κατανομή μάζας και ελαστικών χαρακτηριστικών. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων θεωρεί ότι η κίνηση του συστήματος περιγράφεται από έναν ορισμένο αριθμό παραμέτρων κίνησης, που αντιστοιχούν στις ελευθερίες κινήσεως των κόμβων, επιτρέποντας την ελαστική διακριτοποίηση. Ο αριθμός των παραμέτρων αυτών εξαρτάται από τη δομή του συστήματος, τον τρόπο διέγερσης και την επιδιωκόμενη ακρίβεια. Η επιλογή των παραμέτρων πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αποδίδει κατά το δυνατόν καλύτερα την πραγματική κίνηση του συστήματος.

Η κίνηση ενός ελαστικού φορέα εξαρτάται άμεσα από τις δύο βασικές φυσικές του ιδιότητες, την αδράνεια (μάζα) και την ελαστικότητά του. Εξαρτάται ακόμη και από τις διάφορες μορφές αντίστασης που αναπτύσσονται κατά την ταλάντωση της κατασκευής που αφαιρούν προοδευτικά μηχανική ενέργεια μετατρέποντάς την σε άλλες μορφές, οι οποίες εκφράζονται με την απόσβεση. Κάθε είδους εξωτερικά φορτία ή καταναγκασμοί, στα οποία υποβάλλεται ένας φορέας, ορίζονται με τον όρο διέγερσή και εκφράζεται ως περιοδική ή μη [25].

Η επίλυση ενός τέτοιου φορέα με εφαρμογή απλών κινήσεων ανεξάρτητων από την εξωτερική (σεισμική) διέγερση, ως ελεύθερη ταλάντωση με μηδενική απόσβεση κατά την αρχή μέτρησης του χρόνου, μας δίνει τις ιδιομορφές και τις ιδιοσυχνότητες της κατασκευής.

Οι ιδιομορφές μαζί με τις ιδιοσυχνότητες μιας κατασκευής αποτελούν εργαλείο διερεύνησης της παθολογίας της. Τα προγράμματα που χρησιμοποιούν πεπερασμένα στοιχεία έχουν τη δυνατότητα εύρεσης αυτών των ιδιομορφών και ιδιοσυχνοτήτων, σύμφωνα πάντα με τα θεωρητικά δεδομένα, τις παραδοχές και τις απλοποιήσεις που γίνονται.

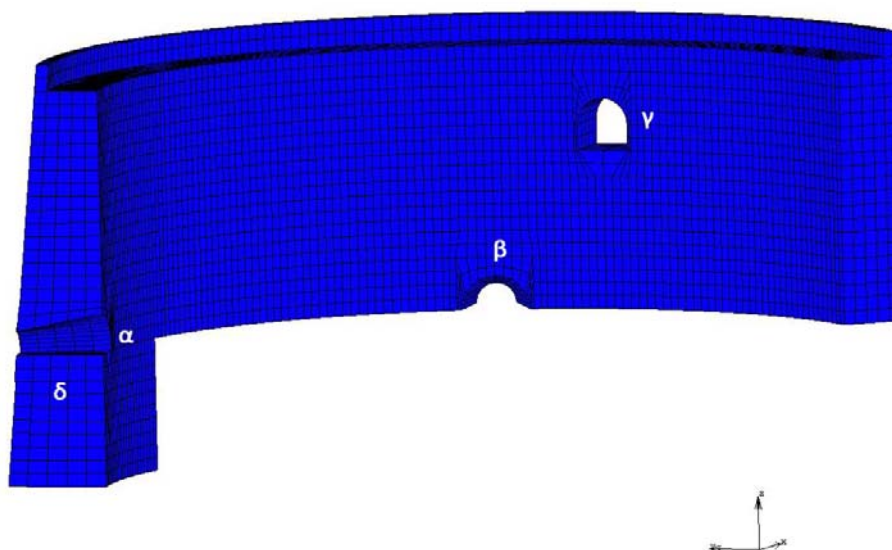
Παράλληλα η σύγκριση των ιδιομορφών και ιδιοσυχνοτήτων που προσδιορίζονται υπολογιστικά από το τριδιάστατο μοντέλο, με αυτά που προκύπτουν από την επεξεργασία των επιτόπου μετρήσεων, βοηθά στον έλεγχο της αξιοπιστίας της προσομοίωσης του φορέα, καθώς και στον εντοπισμό τοπικών αστοχιών του. Τα στοιχεία αυτά σε συνδυασμό με τη γνώση της παθολογίας του, οδηγούν στην επιλογή των επιτρεπτών μεθόδων ενίσχυσης του [26].

Η στατική προσέγγιση έγινε με ελαστικούς καταστατικούς νόμους υλικών με την προσομοίωση του φορέα στο πρόγραμμα γενικής εφαρμογής Marc- Mentat.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά τη διαδικασία ανάλυσης του φορέα ήταν αφενός η διασταύρωση δεδομένων μέσω διεθνούς και ελληνικής βιβλιογραφίας, και αφετέρου η κατανόηση της συμπεριφοράς του μέσα από τις ιστορικές του φάσεις.

Η διασταύρωση δεδομένων εφαρμόστηκε κυρίως στην ενσωμάτωση των βασικών μεγεθών που αφορούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών του μνημείου, δηλαδή την πυκνότητα, το μέτρο ελαστικότητας και το λόγο του Poisson. Στην διερεύνηση αυτή διασταυρώθηκαν πληροφορίες από δημοσιευμένες μελέτες όπως του Νεωρίου Μογο, στη Παλιά Πόλη Χανίων [25], του Μεσαιωνικού Νεωρίου Milly στη Ρόδο [27], η μελέτη ιστορικών κονιαμάτων [28], μελέτες μηχανικών χαρακτηριστικών του ψαμμόλιθου [29] [30] [31], ανάλυση λίθων και κονιαμάτων Βυζαντινού τείχους Χανίων [32].

Επίσης έγινε προσπάθεια να συνυπολογιστούν και να αναπαρασταθούν όλες οι γεωμετρικές ιδιαιτερότητες του πιστά, ενώ για τα άγνωστα δεδομένα να οριστούν με σαφήνεια οι παραδοχές που εντάχθηκαν στο μοντέλο (σχ. 4.1).



Σχήμα 4.1: Αναπαράσταση ιδιαιτεροτήτων φορέα: α.-β. κανονιοθυρίδες με μειούμενο άνοιγμα προς την εξωτερική πλευρά του τείχους. γ. Τοξωτή διαμόρφωση -άνοιγμα κάτω από τον περίβολο και δ. scarpa.

## 4.1 Περιγραφή του προβλήματος

### 4.1.1 Πιθανοί μηχανισμοί κατάρρευσης

Δυστυχώς οι πέτρινοι κυκλικοί πύργοι ή πέτρινα κυκλικά οικοδομήματα χωρίς διαφράγματα ή ανοίγματα, δεν έχουν μελετηθεί τόσο, ώστε να αντλήσουμε πληροφορίες για τους μηχανισμούς κατάρρευσης που μπορεί να ισχύουν στην επιβολή διαφόρων μορφών φόρτισης. Πληροφορίες μπορούμε να αντλήσουμε α) από συναφείς κατασκευές είτε κυκλικής κάτοψης αλλά διαφορετικού υλικού δομής, είτε β) από τις συναφείς θολωτές κατασκευές που έχουν μελετηθεί σε πλείστες μελέτες.

#### α) Κατασκευές κυκλικής κάτοψης

Μελέτες που αφορούν κατασκευές κυκλικής κάτοψης έχουν διεξαχθεί κυρίως για την διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς κατοικιών κυκλικής κάτοψης, κατασκευασμένων από πηλό. Ο πιο σημαντικός μελετητής των κατασκευών από πηλό του 20ου αι., ο Gernot Minke, αναφέρει ως το ιδανικό σχήμα κάτοψης σε σεισμογενείς περιοχές, το κυκλικό [33]. Οι πλευρικές ωθήσεις που μπορούν να προκληθούν από σεισμό, δεν μπορούν να είναι εκτός επιπέδου ή εντός επιπέδου σε ένα κυκλικού σχήματος κτίσμα. Επομένως δεν βρίσκουν αντιστάσεις από στοιχεία αντίθετης κατεύθυνσης από αυτή των ωθήσεων, γι' αυτό και παρουσιάζουν καλύτερη αντίσταση στο σεισμό.

Για την απόδειξη της παραπάνω παρατήρησης, ο μελετητής διεξήγαγε πείραμα κατασκευάζοντας δύο μοντέλα από πατημένη γη (rammed earth), σε κλίμακα 1:5. Το πρώτο μοντέλο κατασκευάστηκε με τετράγωνη κάτοψη και το δεύτερο με κυκλική. Στις υπό κλίμακα κατασκευές εφάρμοσε κρούση εκκρεμούς από ύψος 5.5μ. το οποίο έφερε βάρος 40kgf στην κατάληξή του, ώστε να προσομοιώσει σεισμικές δυνάμεις.

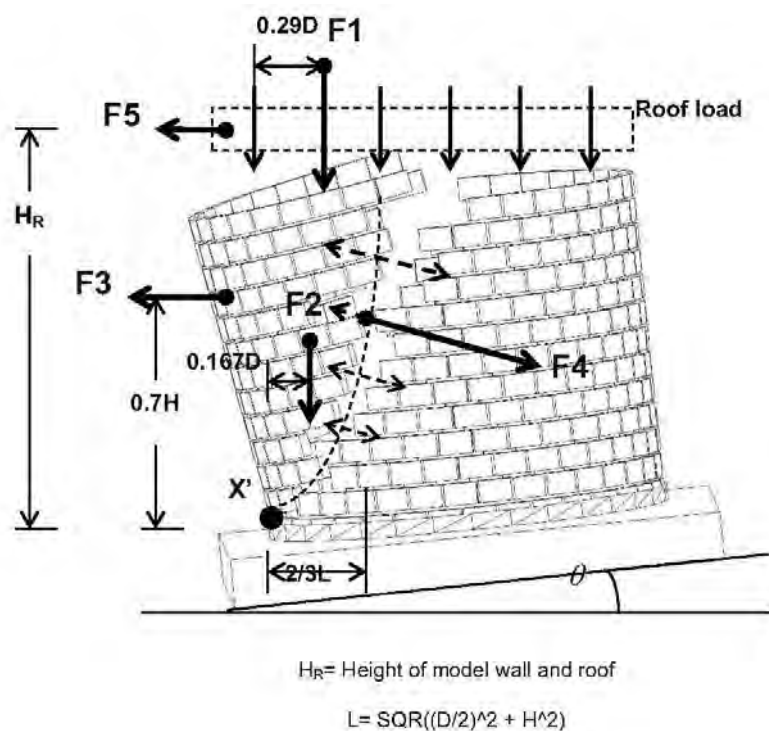
Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το πρώτο μοντέλο εμφάνισε τις πρώτες ρωγμές ήδη από το δεύτερο κτύπημα ενώ στο τέταρτο κτύπημα κατέρρευσε. Αντίθετα το δεύτερο μοντέλο εμφάνισε τις πρώτες ρωγμές μετά από το τρίτο κτύπημα, ενώ κατέρρευσε μετά από έξι εφαρμογές (εικόνα 4.1).





Εικόνα 4.1: Σύγκριση αποτελεσμάτων τρίτης και τέταρτης κρούσης πειράματος G. Minke.

Ενδιαφέροντα αποτελέσματα σε πείραμα ανατροπής βάσης και δονούμενης τράπεζας εξήγαγε και ο J. Watcharin [34], σε κυκλικό μοντέλο από πλίνθους. Στο πείραμα ανατροπής βάσης έδειξε ότι η αστοχία του μοντέλου ξεκινάει από την κορυφή του τοίχου και περιστρέφεται γύρω από το σημείο  $x'$  της βάσης αναπτύσσοντας διατμητικές δυνάμεις (εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2: Ανάλυση μηχανισμού κατάρρευσης κυκλικού δοκιμίου από πλίνθους.

Αντίστοιχα τα πειράματα δονούμενης τράπεζας έδειξαν ότι η κατασκευή αντέχει σε μεγάλες σεισμικές δονήσεις, ενώ οι ρωγμές λόγω ανάπτυξης διατμητικών τάσεων, δείχνουν ομοιότητες με το πείραμα ανατροπής της βάσης.



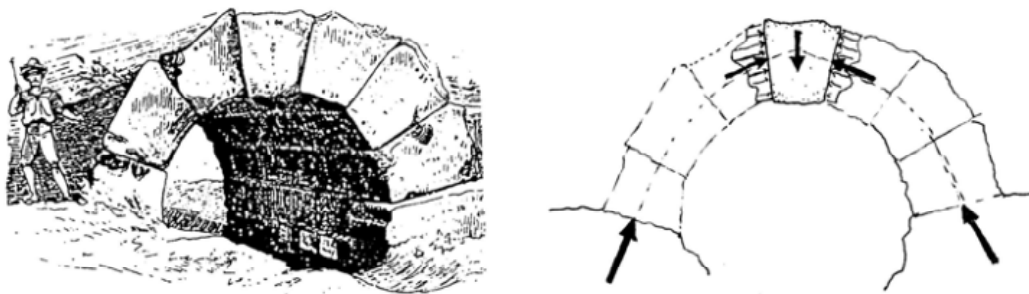
Εικόνα 4.3: Εφαρμογή επιτάχυνσης 0,888PGA.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ρωγμή του πειράματος του Watcharin, ομοιάζει πολύ με τη διαμπερή ρωγμή που εντοπίζεται στο εναπομείναν τμήμα του κυκλικού πύργου. Η ρωγμή φαίνεται να "σβήνει" κοντά στη βάση του πύργου και να εντείνεται στα ψηλότερα σημεία όπου εμφανίζεται, δηλώνοντας ομοίως διατμητικές τάσεις.

#### α) Λίθινες θολωτές κατασκευές

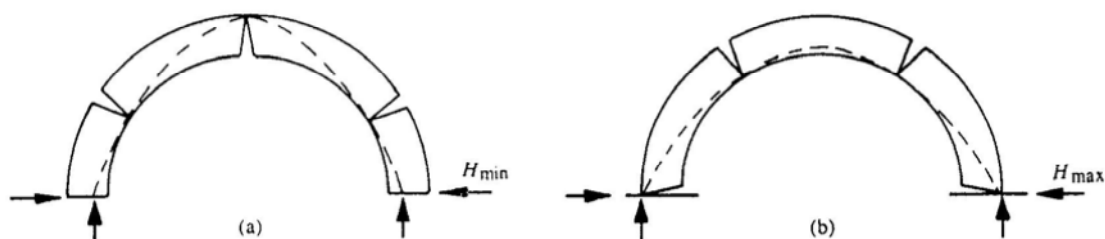
Οι μηχανισμοί κατάρρευσης των λίθινων θολωτών κατασκευών εξετάζεται διότι το εναπομείναν τμήμα του κυκλικού πύργου, θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί ως θολωτή κατασκευή, με αλλαγή του άξονα αναφοράς. Έτσι, όταν γίνεται ανάγνωση σε κατακόρυφα φορτία, στην προκειμένη περίπτωση λαμβάνονται υπόψη ως οριζόντια π.χ. σεισμικά φορτία. Αντίστοιχα τα στοιχεία στήριξης των θόλων τα οποία μεταφέρουν φορτία στη βάση, δεν απασχολούν τη προκειμένη περίπτωση.

Στη θεωρία των μηχανισμών κατάρρευσης των πέτρινων θολωτών κατασκευών, κεντρικό ρόλο διαδραματίζουν οι γραμμές ωθήσεων. Οι γραμμές ώθησης είναι αποτέλεσμα των θλιπτικών τάσεων που επενεργούν στις πλευρές μεταξύ των θολιτών ξεκινώντας από το κλειδί του θόλου και προχωρώντας ως τις γενέσεις του. Στις γενέσεις οι βάσεις/ στήριξεις του θόλου στη συνέχεια, πρέπει να έχουν τις κατάλληλες διαστάσεις, ώστε να παραλάβουν τις μεταφερόμενες ωθήσεις (εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4 Ετρουσκικός θόλος με λαξευτούς θολίτες και αναπαράσταση της γραμμής ώθησης.

Όμως επειδή οι γραμμές ωθήσεων μεταβάλλονται ανάλογα με τις φορτίσεις που μπορεί να επιβάλλονται, δεν μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια. Είναι όμως πιθανό να προσδιοριστούν μέσα σε συγκεκριμένα επιτρεπτά όρια. Υπάρχουν δύο ακραίες θέσεις της γραμμής ώθησης, οι οποίες αφορούν την ελάχιστη και τη μέγιστη ώθηση όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5. Στις ακραίες αυτές περιπτώσεις είναι ξεκάθαρο ότι όταν η γραμμή ώθησης αγγίζει τα άκρα τις τοιχοποιίας του θόλου, δημιουργείται άρθρωση η οποία επιτρέπει τη λειτουργία στρεπτικών δυνάμεων [35].

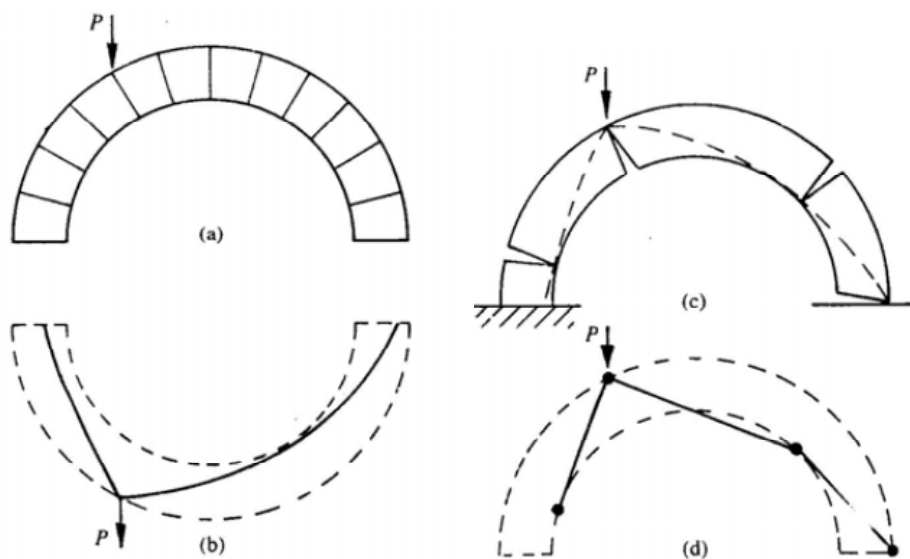


Εικόνα 4.5 Ημικυκλικός θόλος υπό το ίδιο βάρος του. α) Ελάχιστη ώθηση, β) μέγιστη ώθηση. Η γραμμή εξαρτάται από το ρόλο της βάσης στήριξης.

Επομένως, η γραμμή ωθήσεων ενός θόλου υπό οποιαδήποτε φόρτιση, πρέπει να εμπεριέχεται στο εσωτερικό του πάχους της τοιχοποιίας του, ώστε να μην εμφανίσει ρωγμές. Για το λόγο αυτό μεγιστοποιώντας την αναλογία μεταξύ της λεπτότερης δυνατής γεωμετρίας που μπορεί να περιλάβει τη γραμμή ωθήσεων και της πραγματικής γεωμετρίας του θόλου, αυξάνεται και ο γεωμετρικός συντελεστής ασφαλείας [36].

Κάθε θολωτή κατασκευή αποτελείται θεωρητικά από τρεις αρθρώσεις, δύο στη βάση και μία στο κλειδί του τόξου. Η επιβολή επιπλέον φορτίων ικανών να αλλάξουν σημαντικά τη γραμμή ώθησης και να δημιουργήσουν έστω και τέσσερις αρθρώσεις, μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση τη κατασκευή (εικόνα 4.6) [35].





Εικόνα 4.6 Κατάρρευση ημικυκλικού θόλου υπό σημειακή φόρτιση.

Στη περίπτωση του κυκλικού πύργου, το πάχος της τοιχοποιίας είναι αρκετό ώστε να παραλάβει στο εσωτερικό του τις γραμμές ώθησης πλευρικών φορτίσεων, οι οποίες είναι δυνατό να δημιουργηθούν σε περίπτωση σεισμού. Όμως οι μεταγενέστερες προσθήκες, πρέπει να υπολογιστούν ως νέες αρθρώσεις, δεδομένου ότι σε περίπτωση πλάγιων ωθήσεων, τα επιβαλλόμενα φορτία στα σημεία επαφής, θα είναι πολλαπλάσια σε σχέση με τα φορτία των ελεύθερων παρειών της λιθοδομής. Στη δυνατότητα μετακινήσεων της λιθοδομής θα πρέπει να συνυπολογιστεί το γεγονός ότι μετά την κατεδάφιση του μεγαλύτερου μέρους του πύργου, τα άκρα του τόξου παρέμειναν ελεύθερα.

#### 4.1.2 Διερεύνηση μεταβολών μορφολογίας και γήρανσης

Ο βασικός άξονας στη διερεύνηση της στατικής και ιδιομορφικής ανάλυσης του μνημείου, είναι το πως έχουν επενεργήσει οι αλλαγές που έχουν συντελεστεί κατά την ιστορική του διαδρομή.

Μελετάται λοιπόν σε τέσσερα διακριτά στάδια:

**α) περίοδος 1477-1601.** Την περίοδο αυτή, όπως αναλύθηκε στην ιστορική αναδρομή ο πύργος ήταν ανεξάρτητος από τα υπόλοιπα τείχη της πόλης που περιορίζονταν στο λόφο Καστέλι.

**β) περίοδος 1601-1805.** Κατά την περίοδο αυτή γνωρίζουμε ότι έχουν ήδη προστεθεί η νέα εξωτερική περιτείχιση, και στον πύργο προσκολλώνται δύο ισχυροί τοίχοι, βόρεια και νότια, ενώ μικρότερα προσκτίσματα προστίθενται στην ανατολική του πλευρά. Ο Πύργος εσωτερικά μπαζώνεται σ' όλο του το ύψος.

**γ) περίοδος 1805-1899.** Κατά την περίοδο αυτή γνωρίζουμε ότι έγινε ένας μεγάλος σεισμός στα Χανιά (7,2R), όπου προκλήθηκαν σοβαρές ζημιές στη

πόλη. Αναφορές για φθορές στο πύργο δεν υπάρχουν. Η φάση αυτή μελετάται ως προς την αποδυνάμωση του φορέα.

**δ) περίοδος 1899-1970.** Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από το γκρέμισμα τμήματος του πύργου και του νότιου τείχους του προμαχώνα San Salvatore και των προσκτισμάτων. Η εσωτερική στάθμη μειώνεται στα 5,90μ. περίπου.

**ε) περίοδος 1970-2015.** Δημιουργία μπαζώματος ~2,50μ εσωτερικά. Μετασχηματισμός της στάθμης από 5,90μ στα 8,30μ. Περίοδος μελέτης, καταγραφής φθορών.

Στόχος της εξέτασης των διαφόρων φάσεων της στατικής συμπεριφοράς και των ιδιομορφών του φορέα, είναι να διαφανούν αρχικά τα ευάλωτα σημεία της κατασκευής, σε επόμενο στάδιο να καταφανεί το κατά πόσο οι προσθήκες επιβαρύνουν το βασικό φορέα, και στη συνέχεια σε συνδυασμό με την αποδυνάμωση της κατασκευής, αν η καθαίρεση του μεγαλύτερου μέρους του, επέδρασε αρνητικά στη κατάσταση ισορροπίας του. Το τέταρτο αυτό στάδιο είναι κρίσιμο για να διερευνηθεί η αναγκαιότητα ή μη συμπλήρωσής του.

Τέλος, παρότι δεν αποτελεί κατ' ουσία συγκρίσιμο μέγεθος με τα υπόλοιπα στάδια, μελετάται στατικά η παρούσα κατάσταση του πύργου, με την εισαγωγή -μετά την λεπτομερή αποτύπωση και παθολογία- των κυριότερων φθορών που εντοπίζονται στη λιθοδομή, ώστε να διερευνηθεί το ενδεχόμενο ή μη κατάρρευσης και κατ' επέκταση η αναγκαιότητα ή μη άμεσης επέμβασης αποκατάστασης.

#### **4.2 Εισαγωγή γεωμετρίας φορέα και διακριτοποίηση του σε πεπερασμένα στοιχεία (finite elements)**

---

Για την δημιουργία του μοντέλου απαιτήθηκε προεργασία πολλών σταδίων και δοκιμών, ώστε να διασφαλιστεί η δημιουργία μιας αξιόπιστης αναπαράστασης, δεδομένης της ιδιαιτερότητας της γεωμετρίας του.

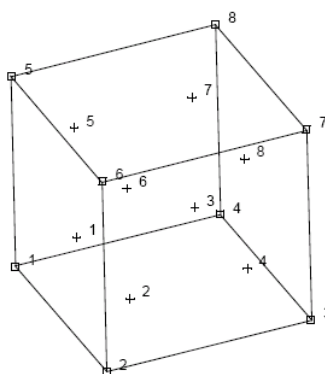
Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά προγράμματα εισαγωγής γεωμετρικών δεδομένων, ως εξής:

α) Βάσει της τοπογραφικής αποτύπωσης, η οποία είχε προηγηθεί και χωροθετηθεί στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος Autocad, έγινε τρισδιάστατη αναπαράσταση του πύργου για όλα τα στάδια της ιστορικής του εξέλιξης, στο πρόγραμμα 3d Studio Max.

β) Το τρισδιάστατο μοντέλο εισήχθη ως πλέγμα (mesh) στο πρόγραμμα Autocad, όπου έγινε προεργασία της βασικής γεωμετρικής σχέσης των επιμέρους στοιχείων του πλέγματος, συνυπολογίζοντας την αναγκαιότητα ύπαρξης αναλογίας διαστάσεων κοντά στη μονάδα στα τετράεδρα

επιφανειακά στοιχεία, ούτως ώστε να μειωθεί η πιθανότητα σφάλματος στα επόμενα στάδια της μελέτης<sup>14</sup>.

γ) Το πλέγμα εισήχθη στο πρόγραμμα marc-Mentat, ως διανυσματικά γραμμικά στοιχεία *cirves*, όπου και δημιουργήθηκε αρχικά το εξωτερικό κέλυφος του πύργου. Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν τα στοιχεία κελύφους σε ισοπαραμετρικά<sup>15</sup> εξαεδρικά, οκτάκομβα τρισδιάστατα στοιχεία<sup>16</sup>, τα οποία έχουν τρεις βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο. Η ακαμψία του στοιχείου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ολοκλήρωση οκτώ σημείων κατά Gauss και συναρτήσεις τριπλής γραμμικής παρεμβολής. Έτσι οι παραμορφώσεις τείνουν να είναι σταθερές σε όλο το στοιχείο, εμφανίζοντας μειωμένη διατμητική συμπεριφορά (σχ. 4.2).



Σχήμα 4.2: Στοιχείο 7 με 8 κόμβους και 8 σημεία ολοκλήρωσης.

Με το στοιχείο αυτό προσομοιώθηκε το πάχος της λιθοδομής και η διαφορετική γεωμετρία που έχει καθ' ύψος το εξωτερικό τμήμα της τοιχοποιίας σε σχέση με το εσωτερικό. Κατά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, το κάθε μοντέλο περιλάμβανε στοιχεία διαστάσεων 0,60x0,80x0,62, σε 11 και 16 σειρές καθ' ύψος και 3 σειρές σε πάχος.

Στη συνέχεια έγινε επιμερισμός και μεγαλύτερη διακριτοποίηση του φορέα, ώστε οι διαστάσεις των στοιχείων να προσομοιάζουν κατά μέσο όρο, τις διαστάσεις των μικρών λίθων της αργολιθοδομής, με διαστάσεις στοιχείων 0,39x0,30x0,37, σε 22 και 32 σειρές καθ' ύψος, 5 σειρές στο πάχος της τοιχοποιίας και συνολικό αριθμό 39.692.

Ο επιμερισμός έγινε με στόχο την περιγραφή όσο το δυνατόν πιο πιστά της πραγματικής κατασκευής, γνωρίζοντας ότι η χρήση μικρού αριθμού στοιχείων

<sup>14</sup> "Ένα στοιχείο τείνει να σκληρύνει και να χάσει την ακρίβειά του, όσο η αναλογία μορφής αυξάνεται και οι γωνίες της γίνονται χαρακτηριστικά διαφορετικές η μία από την άλλη". Από τις εισαγωγικές σημειώσεις του μαθήματος "Υπολογιστική μηχανική", Μαρία Σταυρουλάκη 2009-2010.

<sup>15</sup> Ο όρος ισοπαραμετρικό αναφέρεται στην χρήση της ίδιας συνάρτησης μορφής για την απόκτηση των πεδίων μετατοπίσεων αλλά και των συντεταγμένων των σημείων στο εσωτερικό κάθε στοιχείου. Για τα ισοπαραμετρικά στοιχεία λοιπόν η παρεμβολή των μετατοπίσεων των στοιχείων γίνεται κατά τον ίδιο τρόπο με τις παρεμβολές των συντεταγμένων των κόμβων [40].

<sup>16</sup> Τύπου 7 της βιβλιοθήκης του Marc, Three-dimensional Arbitrarily Distorted Brick. MARC, Analysis Research Corporation, *Theory and user information*, 2010.

μπορεί να οδηγήσει σε προσομοίωση κατασκευής πιο δύσκαμπτης από την πραγματική. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε επίλυση με διαδοχική πύκνωση του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων ελέγχοντας την σύγκλιση ή απόκλιση των αποτελεσμάτων για τον εντοπισμό του τελικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση. Θα ήταν επιπλέον εξαιρετικά χρήσιμο να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από μετρήσεις και πειράματα, όμως κάτι τέτοιο δε κατέστη εφικτό στη παρούσα φάση της έρευνας μιας και είναι κάτι που προτείνεται στην περίπτωση μελλοντικής έρευνας [37].

Ο τελικός αριθμός των στοιχείων και των κόμβων για τα τέσσερα διαφορετικά μοντέλα που προσομοιώθηκαν έχει ως εξής:

**α) Μοντέλο περιόδου 1477-1601 (Σχ. 4.3).**

- Αριθμός στοιχείων 39692.
- Αριθμός κόμβων 20444.

**β) Μοντέλο περιόδου 1601-1805.**

- Αριθμός στοιχείων 39692.
- Αριθμός κόμβων 20444.

**γ) Μοντέλο περιόδου 1805-1899.**

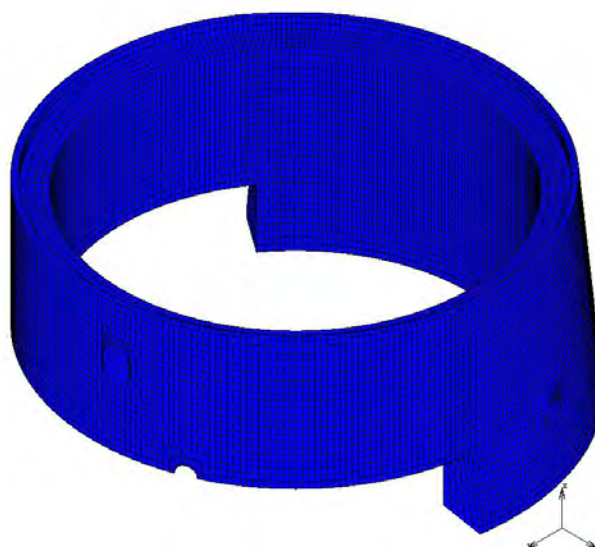
- Αριθμός στοιχείων 39692.
- Αριθμός κόμβων 20444.

**δ) Μοντέλο περιόδου 1899-1970.**

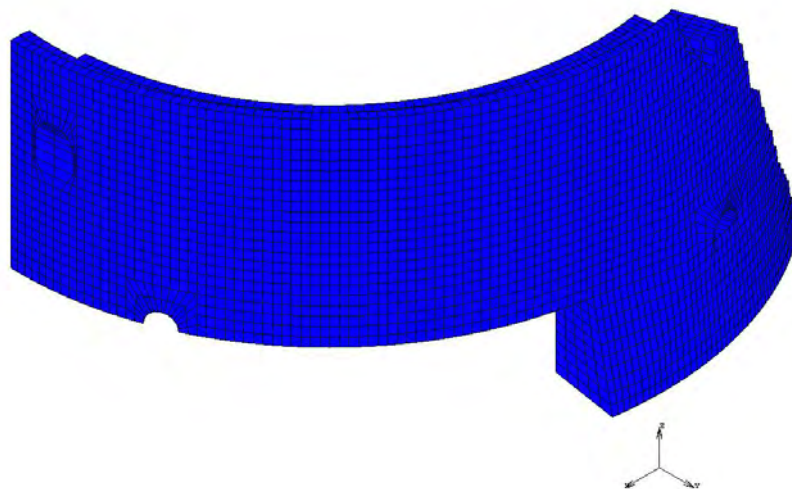
- Αριθμός στοιχείων 12175.
- Αριθμός κόμβων 6950.

**ε) Μοντέλο περιόδου 1970-2015 (Σχ. 4.4).**

- Αριθμός στοιχείων 12175.
- Αριθμός κόμβων 6950.



Σχήμα 4.3



Σχήμα 4.4

### 4.3 Ιδιότητες υλικών

Η αναζήτηση των ιδιοτήτων των υλικών υπήρξε το πιο κρίσιμο στάδιο κατά το σχεδιασμό, καθόσον δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα, τα οποία θα μπορούσαν με μεγαλύτερη ακρίβεια να περιγράψουν τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της λιθοδομής.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν και διασταυρώθηκαν δεδομένα από πλήθος εργασιών που έχουν συνταχθεί τόσο σε αντίστοιχα έργα στη Κρήτη όσο και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας και του εξωτερικού, όπου οι ιστορικές κατασκευές έχουν ως κύριο υλικό δομής τον ψαμμόλιθο.

Η αναζήτηση έγινε για τις εξής τιμές:

- Πυκνότητα λίθου
- Μέτρο ελαστικότητας λίθου και κονιάματος.
- Λόγος του Poisson λιθοδομής
- Θλιπτική αντοχή λίθου και κονιάματος.

Η μεγάλη απόκλιση των τιμών που εμφανίζεται στη βιβλιογραφία, έθεσε βασικά ερωτήματα για το κατά πόσο μπορούν να εφαρμόζονται σχετικές τιμές χωρίς πειραματικά δεδομένα. Για την εξυπηρέτηση όμως της παρούσας εργασίας εφαρμόστηκαν παραδοχές και υπολογισμοί, που θα πρέπει να επαληθευτούν με πειραματικές μεθόδους σε ενδεχόμενη επέκταση αυτής της μελέτης.

Ως προς τους λίθους γνωρίζουμε από τη βιβλιογραφία ότι ο ψαμμόλιθος έχει πυκνότητα  $2000-2600 \text{ kg/m}^3$  με πορώδες 2-20% [38]. Η αντοχή του λίθου σε θλίψη είναι 30-180MPa και η αντοχή σε κάμψη 3-18MPa.



Η πρώτη παραδοχή που έπρεπε να γίνει στο σημείο αυτό είναι η εκτίμηση της αρχικής κατάστασης των λίθων και του κονιάματος, προκειμένου να εξεταστεί το μοντέλο της αρχικής κατασκευής.

Για τους λίθους χρησιμοποιήθηκαν τιμές εντός του ως άνω πλαισίου, οι οποίες βασίστηκαν σε μελέτη που διεξήχθη για την εφαρμογή μεθόδων γήρανσης με κρυστάλλωση αλάτων σε υγιείς ψαμμόλιθους, προκειμένου να διερευνηθεί η συμπεριφορά αυτού του τύπου λίθων, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί σε πλείστες ιστορικές κατασκευές [30].

Τα δεδομένα λοιπόν που χρησιμοποιήθηκαν για τον υγιή ψαμμόλιθο έχουν ως εξής:

- Πυκνότητα μάζας 2180 kg/m<sup>3</sup>
- Αντοχή σε θλίψη 30.9 MPa,
- Αντοχή σε κάμψη 14,3 MPa και
- Μέτρο ελαστικότητας 3,3 GPa.

Όσον αφορά στα κονιάματα χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία της έρευνας της Μοροπούλου [28], όπου για τυπικά ασβεστίτικα κονιάματα με θραύσματα κεραμικών ορίζεται:

- Πυκνότητα: 1500-1900kg/m<sup>3</sup>
- Αντοχή σε κάμψη 5 MPa και
- Μέτρο ελαστικότητας 1,4 GPa

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα- παραδοχές, θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε το μέτρο ελαστικότητας της αρχικής κατασκευής στο σύνολο της τοιχοποιίας χρησιμοποιώντας την έκφραση 3.1, βάσει του Ευρωκώδικα 6 [39]:

$$E_w = (E_b E_m (1+a)) / (a E_b + E_m), \text{ όπου } a = t_m / t_b \quad (3.1)$$

όπου:

$E_w$ = μέτρο ελαστικότητας τοιχοποιίας

$E_b$ = Μέτρο ελαστικότητας λίθου

$E_m$ = Μέτρο ελαστικότητας κονιάματος

$t_b$ = ύψος λίθου

$t_m$ = πάχος αρμού

Όμως ο τύπος της δόμησης εφόσον πρόκειται για αργολιθοδομή, δεν επιτρέπει να δώσουμε ασφαλή συμπεράσματα για την γεωμετρία των επιμέρους στοιχείων της. Επομένως δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί.

Αναζητώντας στη βιβλιογραφία, παρατηρείται μεγάλη διασπορά τιμών για το μέτρο ελαστικότητας και το λόγο του Poisson τοιχοποιίας. Ενώ ενδείκνυται να προσδιορίζεται πειραματικά με υπερηχογραφήσεις.

Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες σχέσεις:

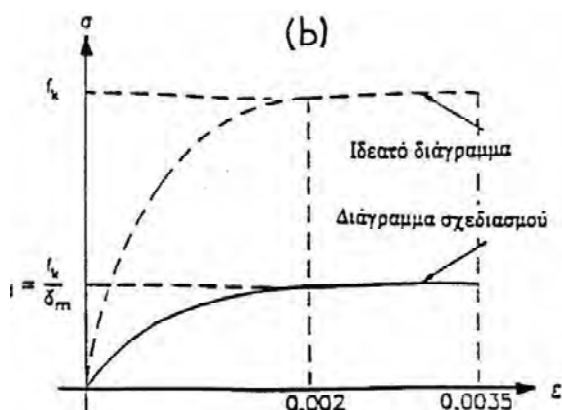
$$E_w = (400 \sim 1000) f_{wc} \quad (3.2)$$

$$E_w = K E_b \quad (K = 0.40 \sim 0.90 \text{ για αύξουσα αντοχή κονιάματος}) \quad (3.3)$$

$$\nu_w = 0.10 \text{ έως } 0.20 \quad (3.4)$$

Ο Ευρωκώδικας 6, υπό την προϋπόθεση της ύπαρξης στο σώμα της τοιχοποιίας ισχυρών οριζόντιων διαζωμάτων, δέχεται για το σχεδιασμό με τη μέθοδο οριακής αντοχής, το γνωστό από το σκυρόδεμα παραβολικό – ορθογωνικό διάγραμμα ( $\sigma - \epsilon$ ) (σχ. 4.5) με:

$$E_w = 1000 \cdot f_{wc} \text{ και } \nu_w = 0.20 \quad (3.5)$$



Σχήμα 4.5 Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων τοιχοποιίας κατά τον Ευρωκώδικα 6

Χρησιμοποιώντας τη σχέση λοιπόν 3.2, μπορούμε να προσεγγίσουμε το μέτρο ελαστικότητας της λιθοδομής χρησιμοποιώντας ως μέγεθος πολλαπλασιασμού τη μικρότερη τιμή, εφόσον πρόκειται για κατασκευή χωρίς οριζόντιες ενισχυτικές ζώνες.

Για την εύρεση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας χρησιμοποιήθηκε ο τύπος 3.6 όπως ορίζεται από τον Ευρωκώδικα 6, ο οποίος συνιστά τον πειραματικό προσδιορισμό της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας και προτείνει την ακόλουθη έκφραση:

$$f_{wc} = K \cdot f_{bc}^{0.65} \cdot f_{mc}^{0.25} \quad (3.6)$$

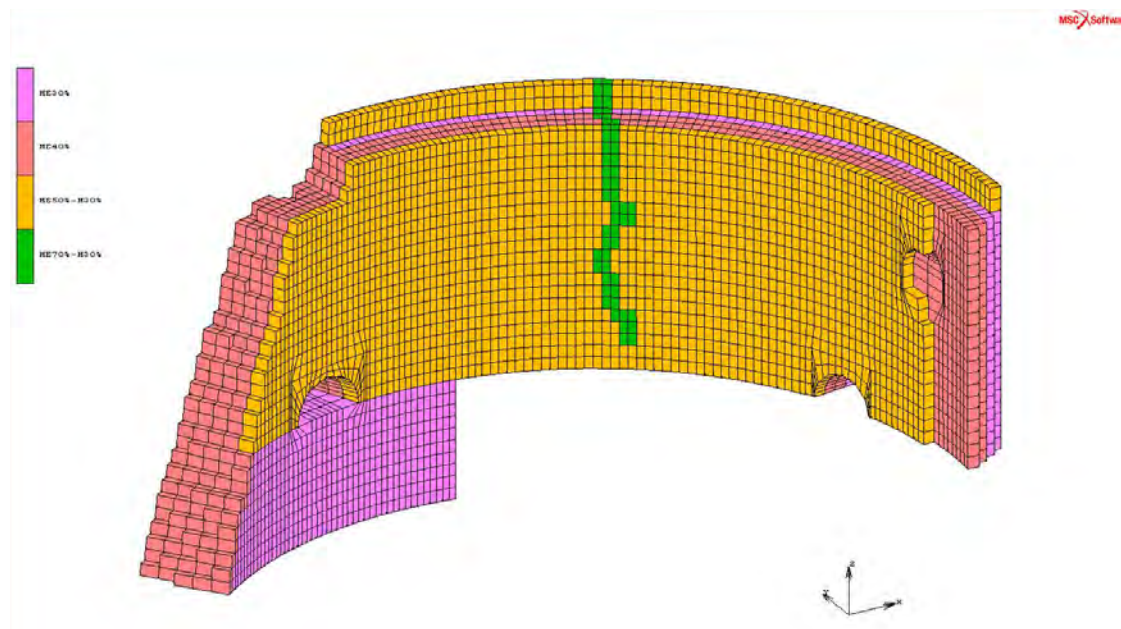
όπου  $K$ : συντελεστής που εξαρτάται από τον τύπο των πλίνθων (υλικό, ποσοστό και διαστάσεις κενών) και τον τύπο δόμησης της τοιχοποιίας. Παίρνει τιμές από 0.40 έως 0.60.

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις για την αρχική κατασκευή εφαρμόστηκαν στα μοντέλα **α** και **β** οι εξής τιμές:

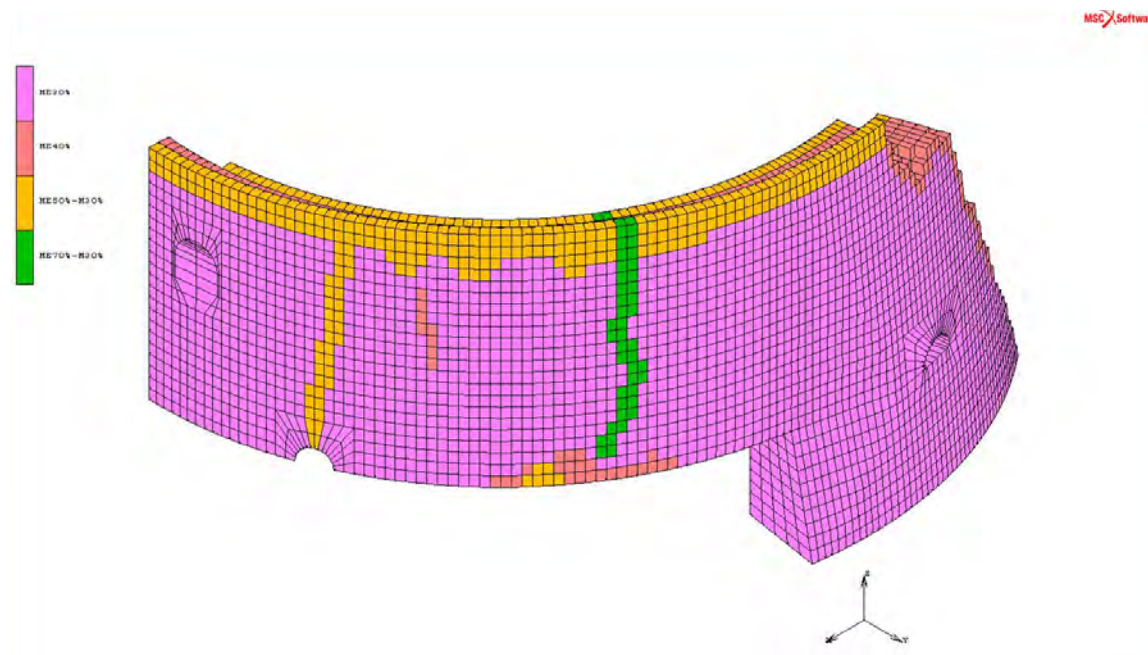
- Η πυκνότητα της λιθοδομής θεωρήθηκε στα  $2180 \text{ kg/m}^3$ , εφόσον δεν είναι δυνατόν να υπολογιστεί το ποσοστό συμμετοχής του κονιάματος δεδομένου ότι πρόκειται για αργολιθοδομή.
- Η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή της λιθοδομής βρέθηκε στα  $6.95 \text{ MPa}$ .
- Το μέτρο ελαστικότητας της λιθοδομής με  $E_w = 400 \cdot f_{wc} = 2.78 \text{ GPa}$
- Εκτιμώμενη εφελκυστική αντοχή αργολιθοδομής  $f_{tk} = f_{ck}/10 = 0,16 \text{ MPa}$ .
- Λόγος του Poisson  $\nu=0.2$

Για το μοντέλο **γ** και **δ** χρησιμοποιήθηκαν μειώσεις των παραπάνω τιμών σε ποσοστό 30% δεδομένης της φθοράς του χρόνου και του ισχυρού σεισμού που επενέργησε στο φορέα το 1805.

Για το μοντέλο **ε** χρησιμοποιήθηκαν επιμέρους μειώσεις του μέτρου ελαστικότητας στις περιοχές της διαμεπερούς ρωγμής της τάξεως του 70% και μείωση 30% της πυκνότητας του υλικού. Μικρότερη μείωση της τάξεως του 40% και 50% επιβλήθηκε στα διαδοχικά στοιχεία που διαμορφώνουν την νοτιοδυτική "εσωτερική" όψη ώστε να αποτυπωθεί η κακή κατάσταση διατήρησής της. Επίσης στην όψη αυτή μειώθηκε κατά ποσοστό 30% η πυκνότητα του υλικού, λόγω των κυψελώσεων και της αποσάθρωσης των κονιαμάτων. Η ιδιότητες του εξωτερικού στρώματος των στοιχείων που διαμορφώνουν την εσωτερική όψη, έλαβαν έτσι 30% μείωση της πυκνότητας και 50% μείωση του μέτρου ελαστικότητας. Οι ιδιότητες αυτές χρησιμοποιήθηκαν για να περιγραφούν και οι μικρότερες σε βάθος ρωγμές και στις δύο όψεις του πύργου αλλά και για να περιγραφεί το μεταγενέστερο υλικό της προσθήκης του στηθαίου του πύργου.



Σχήμα 4.6: Νοτιοδυτική όψη. Περιγραφή φθορών μέσω των ιδιοτήτων των υλικών



Σχήμα 4.7: Βορειοανατολική όψη.

Βάσει των προαναφερθέντων, οι ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα συνοψίζονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1

Ιδιότητες υλικού στη διάρκεια του χρόνου ζωής του πύργου			
Αρ. Μοντέλου	Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Λόγος Poisson
<b>α</b>	2180	2.78	0.20
<b>β</b>	2180	2.78	0.20
<b>γ</b>	2180	1.95 <sup>2</sup>	0.15 <sup>5</sup>
<b>δ</b>	2180	1.95 <sup>2</sup>	0.15 <sup>5</sup>
<b>ε</b>	2180 & 1526 <sup>1</sup>	1.95 <sup>2</sup> /0.83 <sup>3</sup> /1.67-1.39 <sup>4</sup>	0.15 <sup>5</sup>

<sup>1</sup> μείωση 30% της αρχικής πυκνότητας του υλικού στα εξωτερικά στοιχεία που συνθέτουν τη νότια όψη και στις περιοχές των ρωγμών

<sup>2</sup> μείωση 30% του αρχικού Μ.Ε. της λιθοδομής

<sup>3</sup> μείωση 70% του αρχικού Μ.Ε. των στοιχείων που συμμετέχουν στη διαμπερή ρωγμή και στις μικρότερες ρωγμές που εμφανίζονται στις δύο όψεις

<sup>4</sup> μείωση 40% και 50% του αρχικού Μ.Ε. στα διαδοχικά εξωτερικά στρώματα των στοιχείων που συνθέτουν τη νότια όψη.

#### 4.4 Φορτίσεις – Μετακινήσεις, Καθορισμός Συνοριακών Συνθηκών (BC)

Η διαδικασία ορισμού των φορτίσεων και μετακινήσεων της λιθοδομής ορίστηκε με την εφαρμογή παραδοχών, οι οποίες συνδέονται άμεσα με τη μελέτη επαναπροσδιορισμού της αρχικής φάσης του πύργου, και την δημιουργία των επόμενων φάσεων με την προσθήκη των εξωτερικών τειχών, και άλλων επεμβάσεων η οποία μελετήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Έτσι κάθε μοντέλο αντιμετωπίστηκε ξεχωριστά, με την εισαγωγή δεδομένων φορτίσεων και μετακινήσεων, τα οποία για το κάθε μοντέλο έχουν ως εξής:

α) Ο πύργος ως ανεξάρτητος από περιμετρικές κατασκευές (σχήμα 4.8).

-εφαρμόστηκε πάκτωση στο σύνολο της βάσης του προσομοιώματος, καθώς το μνημείο είναι θεμελιωμένο στο φυσικό βράχο.

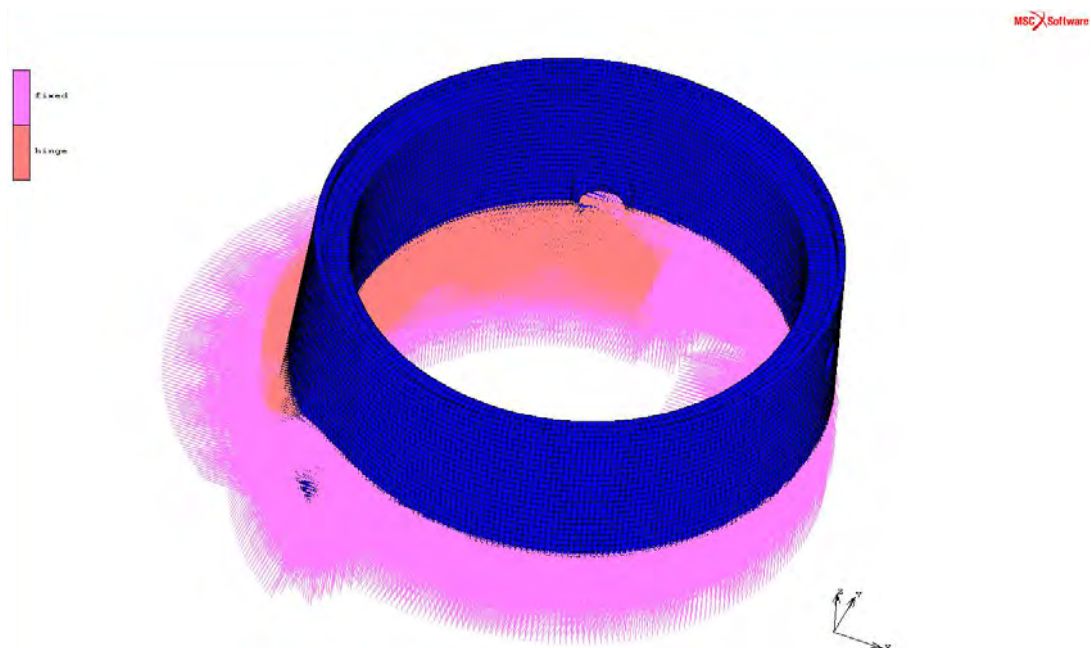
-εφαρμόστηκε κύλιση κάθετα στην επιφάνεια του εσωτερικού τοίχου στα σημεία που συνέκλινε με μπάζωμα ή βράχο.

-εφαρμόστηκε φορτίο λόγω του ίδιου βάρους της κατασκευής

β) Ο πύργος σε συνδυασμό με τα νέα εξωτερικά ενετικά τείχη (σχήμα 4.9).

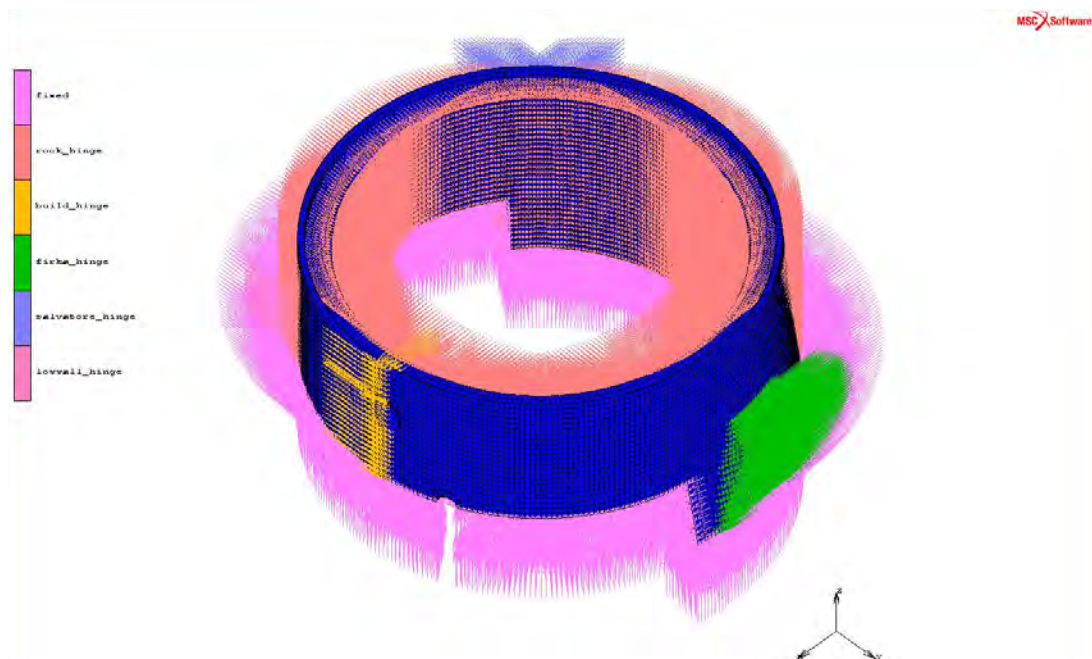
Εφαρμόστηκαν επιπλέον της περίπτωσης α:

- κυλίσεις κάθετα στην επιφάνεια της εξωτερικής τοιχοποιίας στα σημεία όπου συγκλίνει το τείχος του φρουρίου Φιρκά και στα σημεία όπου συνέκλιναν τόσο το τείχος της Portella del Levande, όσο και των επιμέρους προσκτισμάτων στην ανατολική εξωτερική πλευρά του τείχους.



Σχήμα 4.8: Συνοριακές συνθήκες φάσης α.





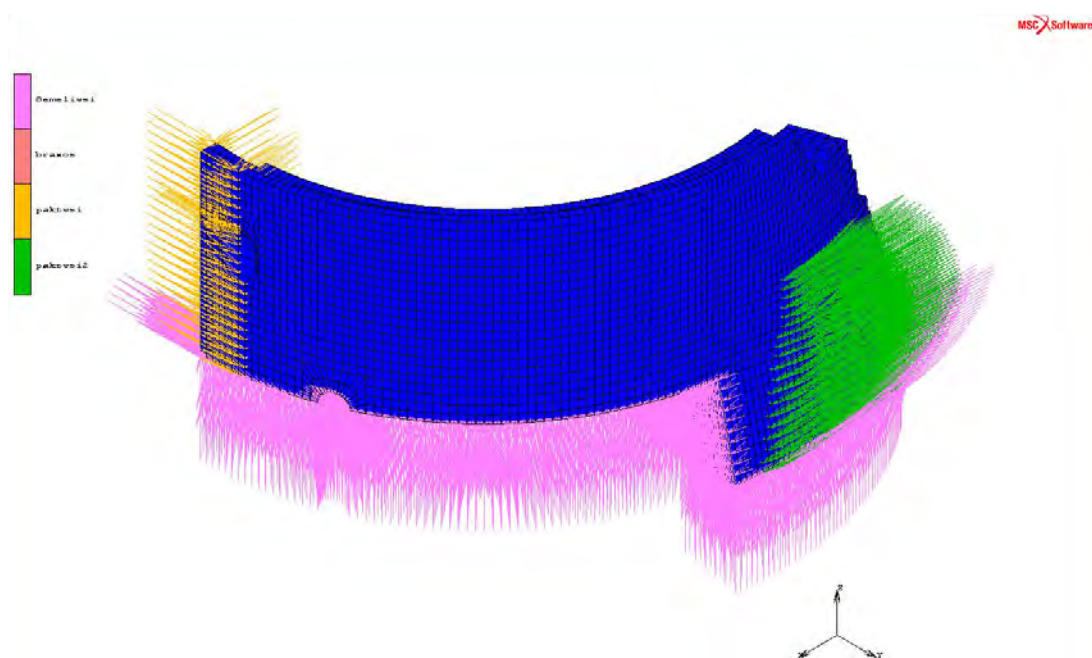
Σχήμα 4.9: Συνοριακές συνθήκες φάσης β.

γ) Ο πύργος στη φάση αυτή νοείται ότι έχει υποστεί μόνο φθορές στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες της τοιχοποιίας του και οι φορτίσεις παραμένουν ίδιες.

δ) Ο πύργος κατά την περίοδο της κατεδάφισης του μεγαλύτερου τμήματός του (σχήμα 4.10).

- απελευθερώνεται από τις επιβαλλόμενες φορτίσεις νότια και ανατολικά, μένουν οι ίδιες φορτίσεις από τα παρακείμενα τείχη του φρουρίου Φιρκά.

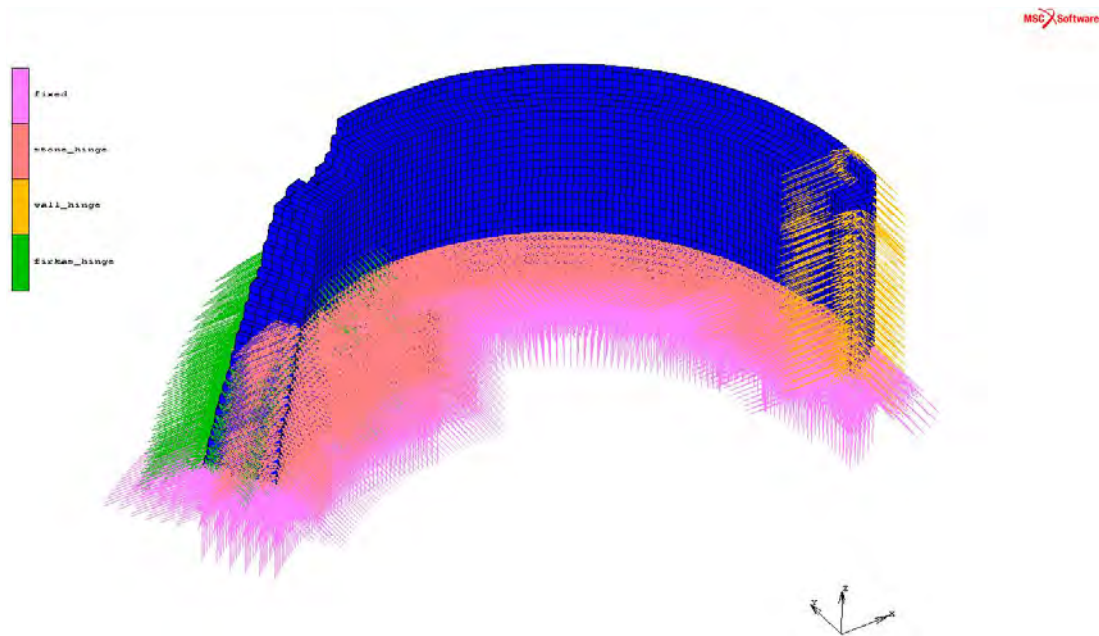
- δημιουργείται νέα στάθμη στο εσωτερικό του πύργου, όμοια με την αρχική.



Σχήμα 4.10: Συνοριακές συνθήκες περίπτωσης δ.

ε) Στο μοντέλο αυτό έχουν επιβληθεί οι ίδιες φορτίσεις με την φάση δ. Προστίθεται επιπλέον η στάθμη του νέου μπαζώματος και αυτή θεωρείται ως κύλιση στα σημεία επαφής με το πύργο στην εσωτερική νότια πλευρά.

Η περίπτωση αυτή μελετάται κυρίως ως προς τις φθορές που έχει υποστεί ο πύργος (σχήμα 4.11).



Σχήμα 4.11: Συνοριακές συνθήκες περίπτωσης ε.

## 4.5 Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των πέντε μοντέλων. Η ανάλυση αφορά τέσσερα ποσοτικά μεγέθη:

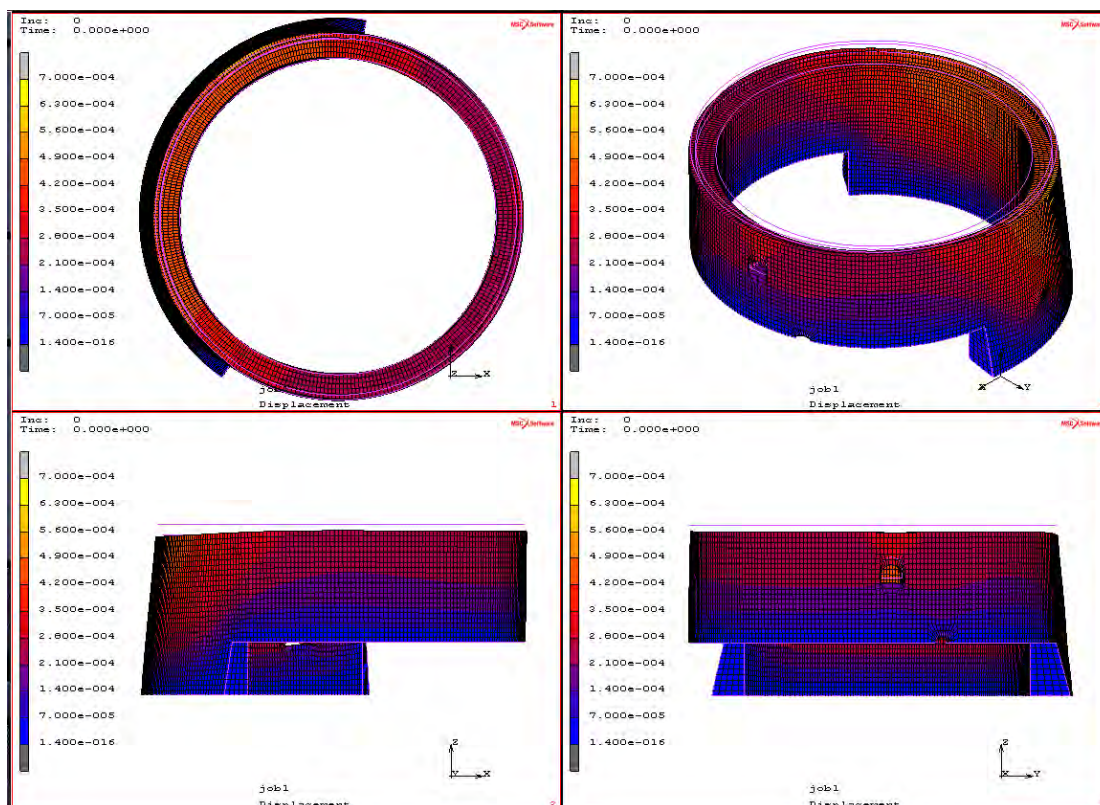
- Συνολική μετατόπιση
- Μέγιστες κύριες τάσεις
- Ισοδύναμη τάση
- Μέγιστη συνολική παραμόρφωση

Τα μεγέθη διατίθενται προς σύγκριση μέσω της κανονικοποίησης της κλίμακας των αποτελεσμάτων, οπότε είναι δυνατή στη συνέχεια η ποσοτική και ποιοτική σύγκριση των διαφορετικών προσομοιώσεων.

### 4.5.1 Συνολική Μετατόπιση

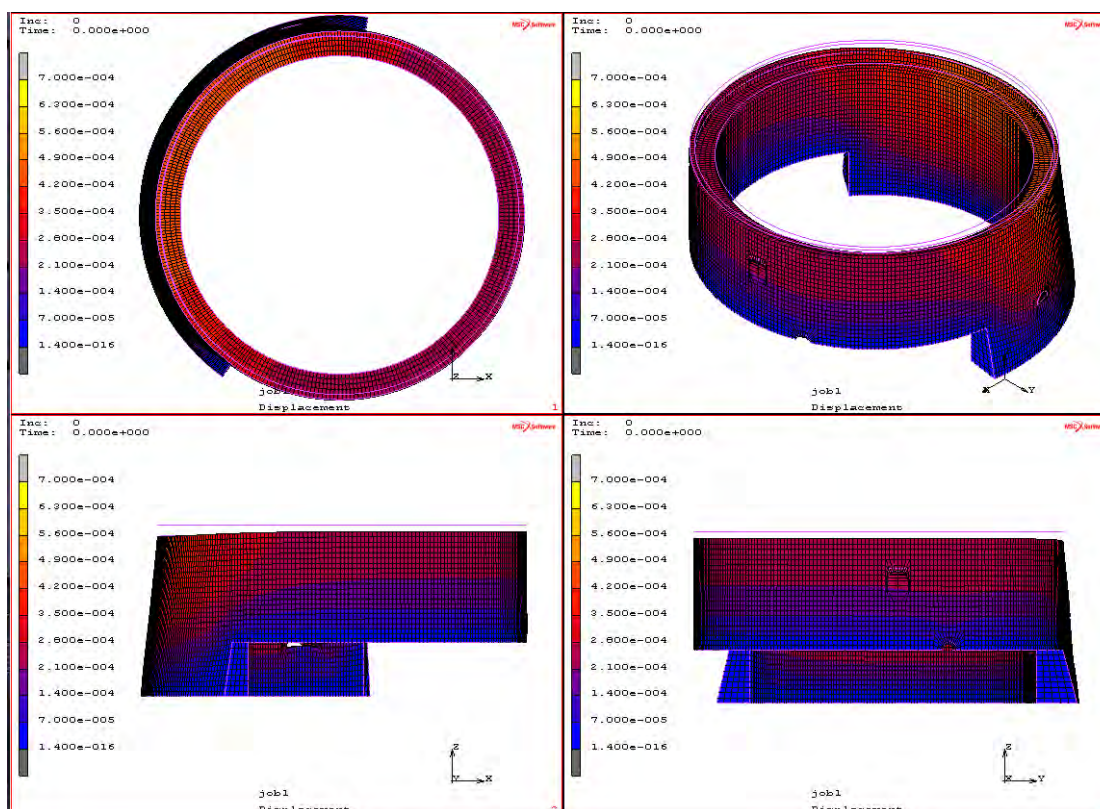
Στο σχήμα 4.12 διακρίνεται η σταθερότητα της βάσης και η συγκέντρωση των μέγιστων τιμών μετατοπίσεων στην περιοχή του κεκλιμένου τοίχου. Η μέγιστη τιμή μετατόπισης  $D_w=0,49\text{mm}$ .





Σχήμα 4.12: Μοντέλο α (1477-1601)

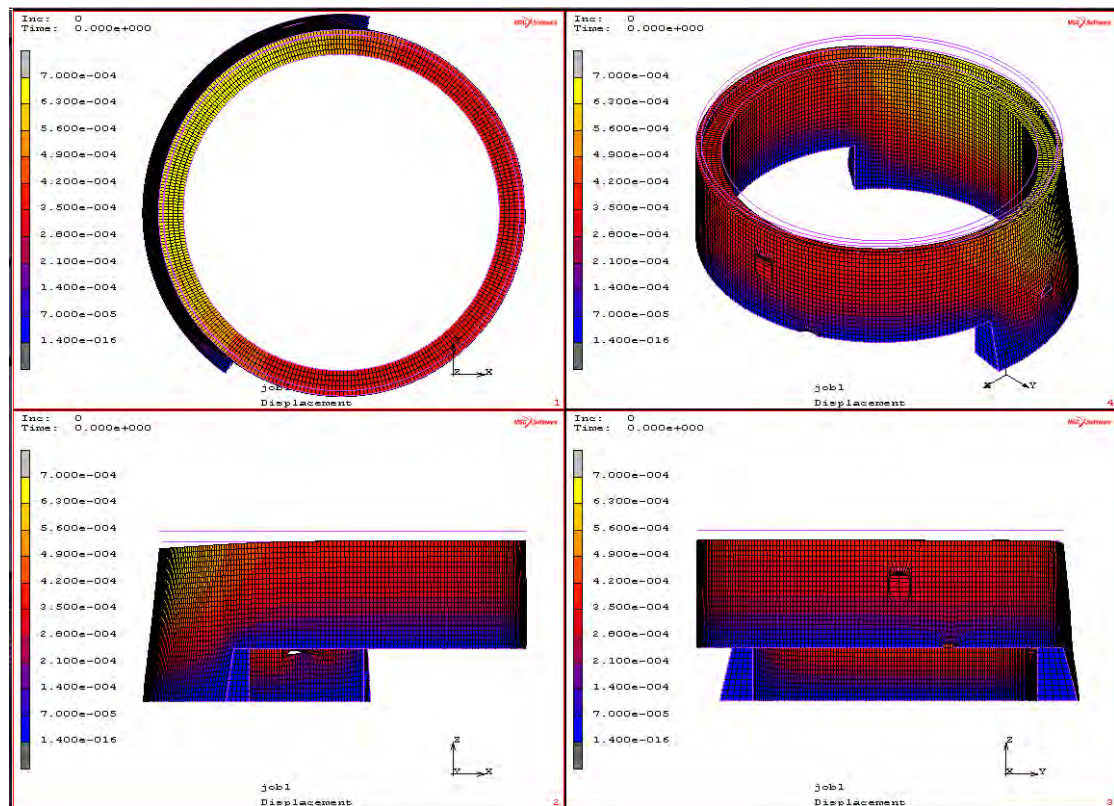
Στο σχήμα 4.13 δεν εντοπίζονται σημαντικές διαφορές παρά την προσθήκη των τειχών. Η μέγιστη τιμή μετατόπισης  $D_w=0,46\text{mm}$ .



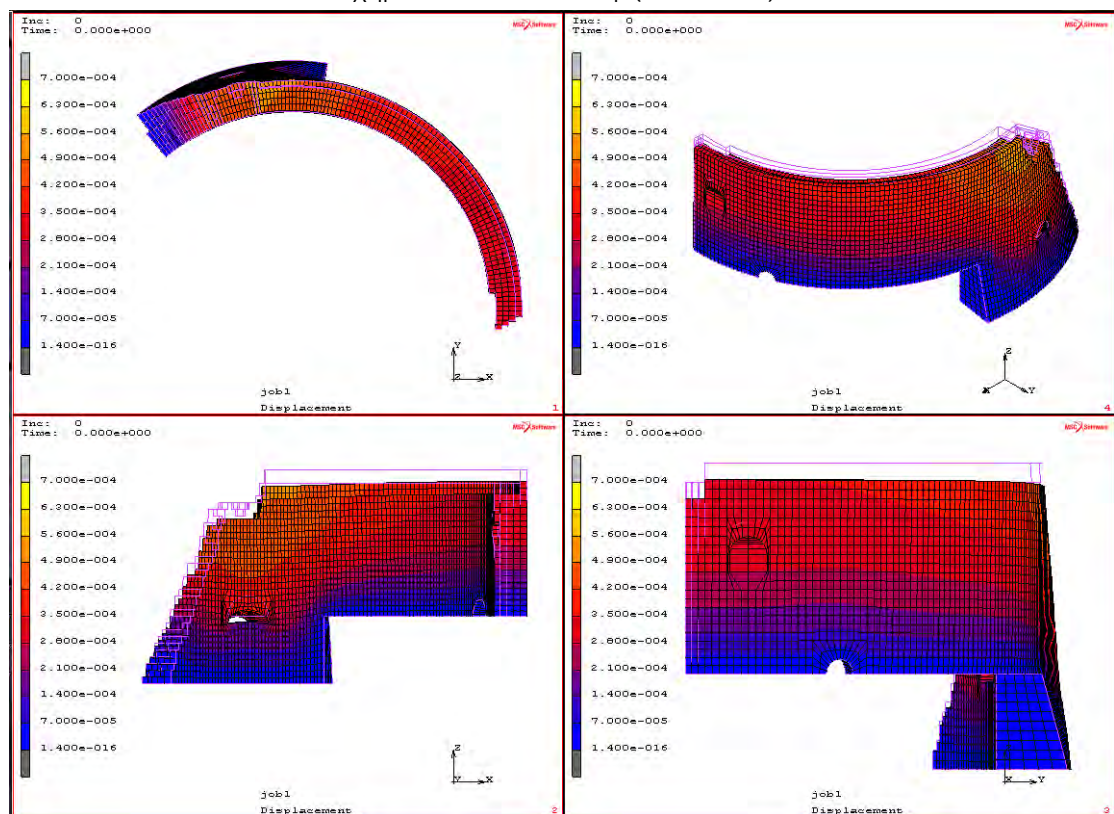
Σχήμα 4.13: Μοντέλο β (1601-1805)



Στο σχήμα 4.14 σημειώνεται μεγάλη αλλαγή με τη μείωση της αντοχής της λιθοδομής. Μέγιστη τιμή μετατόπισης  $D_w=0,67\text{mm}$ .



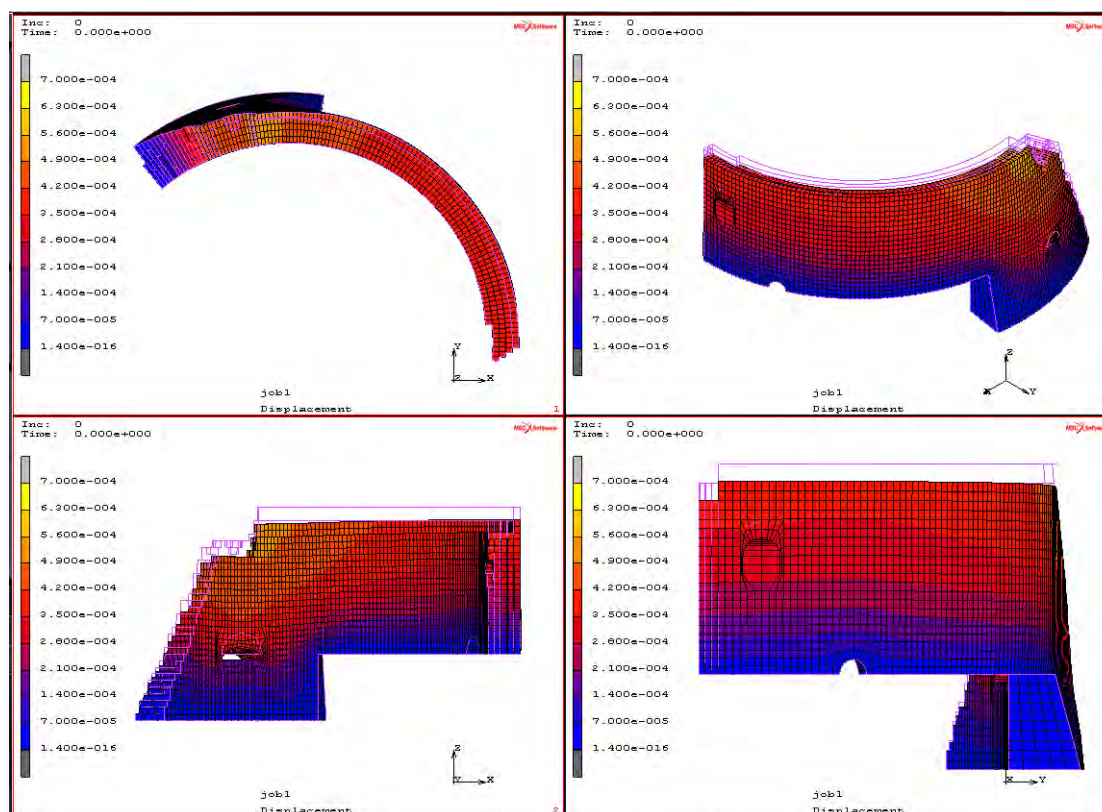
Σχήμα 4.14: Μοντέλο γ (1805-1899)



Σχήμα 4.15: Μοντέλο δ (1899-1970)



Στο σχήμα 4.15 η μέγιστη τιμή μετατόπισης είναι  $D_w=0,51\text{mm}$  (σημειώνεται ψηλά σε μικρό τμήμα του ΒΔ τοίχου). Τέλος στο σχήμα 4.16 παρά τη μείωση της αντοχής της λιθοδομής η μέγιστη τιμή μετατόπισης είναι  $D_w=0,51\text{mm}$



Σχήμα 4.16: Μοντέλο ε (1970-2015)

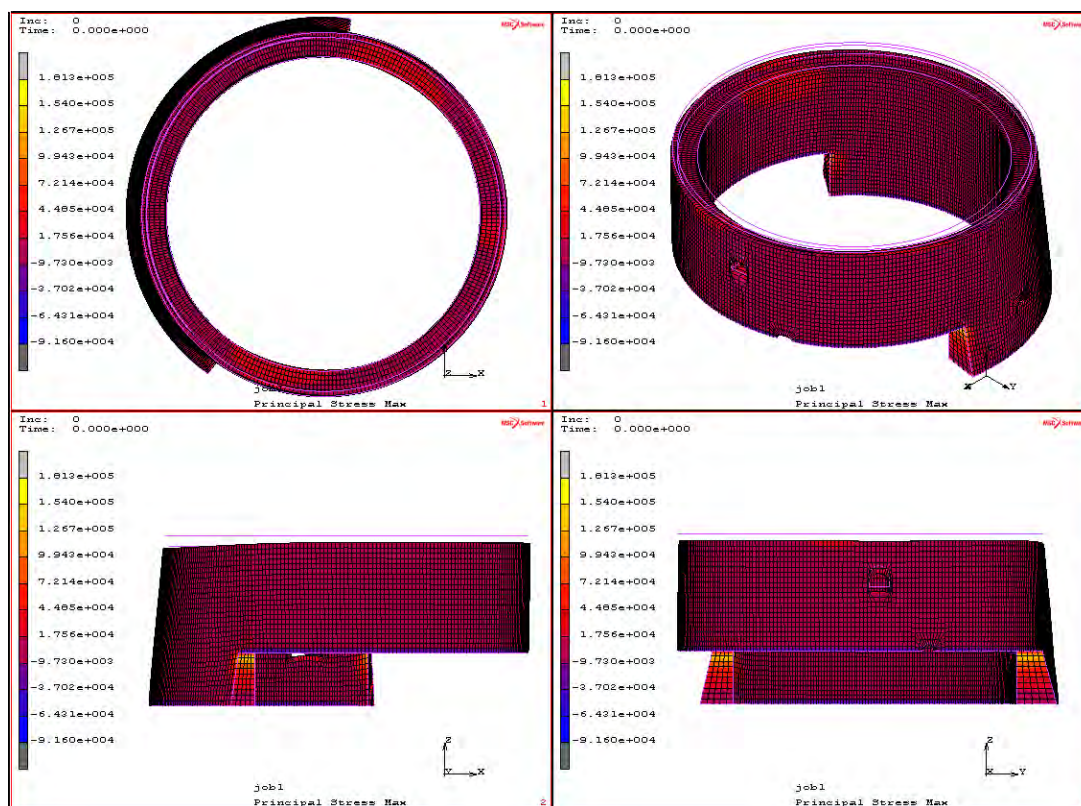
#### 4.5.2 Μέγιστες κύριες τάσεις

Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει τα διαγράμματα κατανομής ισοτασικών περιοχών των μέγιστων κύριων τάσεων, βάσει των οποίων μπορούμε να εκτιμήσουμε τις περιοχές όπου ο φορέας επιβαρύνεται με θλιπτικές ή εφελκυστικές τάσεις. Η σύγκριση των διαφορετικών μοντέλων στη κατανομή των μεγεθών, μπορεί να δείξει ευάλωτες περιοχές και πώς αυτές μεταβάλλονται με τις προσθήκες και αλλαγές των ιδιοτήτων των υλικών.

Στο σχήμα 4.17 ο φορέας εμφανίζει στο μεγαλύτερο μέρος του θλιπτικές τάσεις όπως ήταν αναμενόμενο. Η αλλαγή της μορφολογίας του φορέα στο δυτικό τμήμα του, φαίνεται να έχει επηρεάσει σε δύο καίρια σημεία τη κατανομή των εφελκυστικών τάσεων. Η πιο ογκώδης κι πιο ψηλή αυτή πλευρά, επιφέρει λόγω του μεγαλύτερου ίδιου βάρους εφελκυστικές τάσεις σε δύο σημεία: 1. στη κορυφή της γειτονικής τοιχοποιίας, όπου εμφανίζονται σε τρεις περιοχές, δηλ. εσωτερικά της τοιχοποιίας στα δύο άκρα και στο κέντρο και β)στη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των δύο διαφορετικών υψών της βάσης. Η δεύτερη αυτή περίπτωση, συγκεντρώνει και τις μεγαλύτερες τιμές εφελκυστικών τάσεων.

Η διάταξη των τάσεων στο διάγραμμα είναι απολύτως λογική με βάση τα δεδομένα που εισαγάγαμε. Θα είχε ενδιαφέρον να φανεί η κατανομή των

μεγεθών αυτών με της προσομοίωση της θεμελίωσης στο βράχο της δυτικής κεκλιμένης επιφάνειας, σε περίπτωση που γινόταν σαφές από ανασκαφές, εάν εσωτερικά πακτώθηκε στο βράχο ή κτίστηκε και μπαζώθηκε στη συνέχεια.



Σχήμα 4.17: Μοντέλο α (1477-1601)

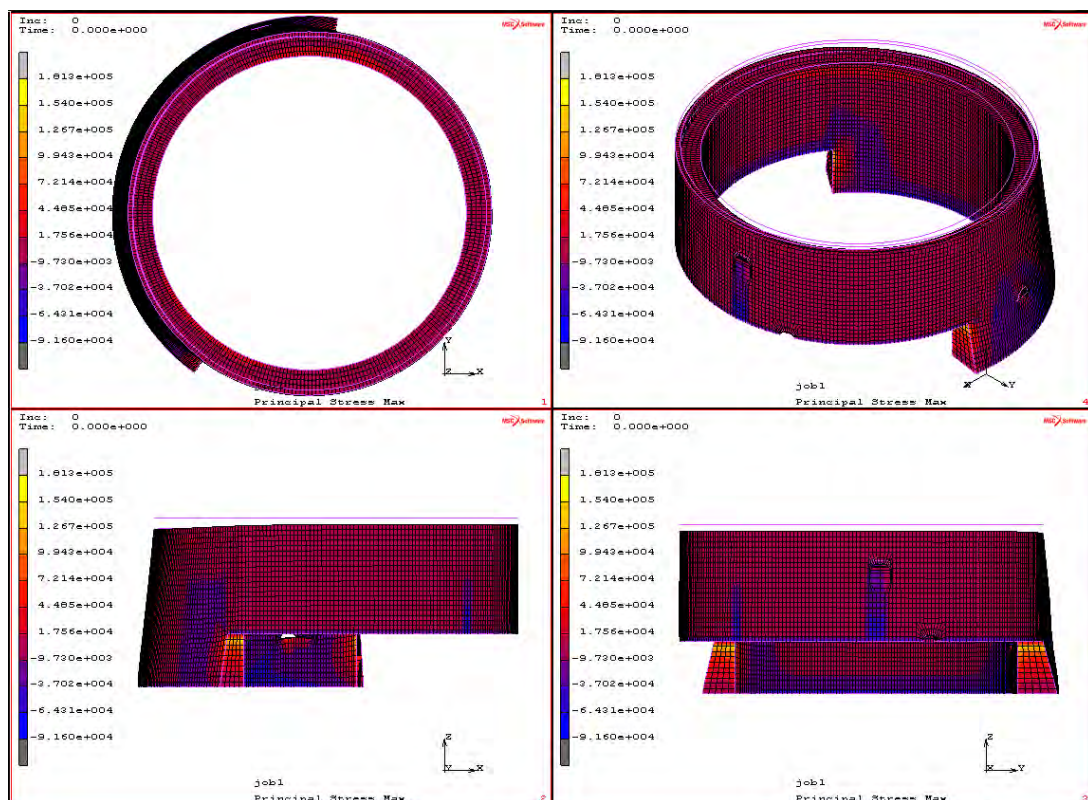
Εύρος τιμών: -55,62kN/m<sup>2</sup> (θλιπτικές) έως 158,42 kN/m<sup>2</sup> (εφελκυστικές).

Στο σχήμα 4.18, φαίνεται πως οι προσθήκες των τειχών και το εσωτερικό "μπάζωμα" το οποίο είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του ελεύθερου ύψους του τοίχου, έχουν επιδράσει στη μείωση των εφελκυστικών τάσεων στη κορυφή του πύργου. Παρόλα αυτά, εμφανίζονται μεγαλύτερες περιοχές θλιπτικών τάσεων στη βάση και στα σημεία επαφής των προσθηκών. Μικρή αύξηση των τιμών των εφελκυστικών τάσεων εντοπίζεται στη γωνία αλλαγής ύψους της βάσης.

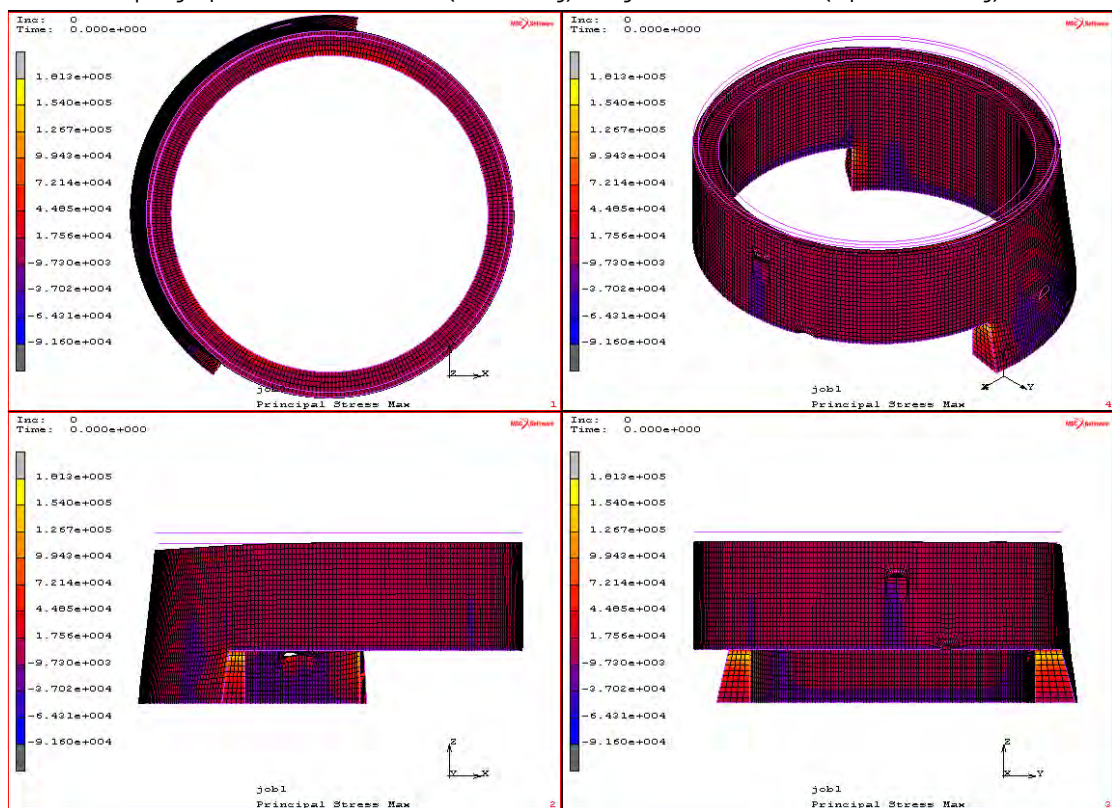
Στο σχήμα 4.19, όπου έχει εφαρμοστεί μείωση της αντοχής της λιθοδομής, δεν εμφανίζονται αλλαγές ουσιαστικές στη κατανομή των μεγεθών. Το εύρος των τιμών δείχνει αύξηση των θλιπτικών τάσεων σε σχέση με την προηγούμενη φάση, με ταυτόχρονη αύξηση των εφελκυστικών τάσεων. Φαίνεται πως η μείωση της αντοχής της λιθοδομής, δεν έχει αλλάξει σημαντικά τη συμπεριφορά του φορέα άρα και των προσδιορισμό των κρίσιμων περιοχών.

Και στις δύο περιπτώσεις θα είχε ενδιαφέρον να προσομοιωθεί το "μπάζωμα" εσωτερικά, εφαρμόζοντας όχι μόνο τις ωθήσεις αλλά και το συντελεστή εσωτερικής τριβής, ώστε να υποβληθεί ο φορέας και σε δυναμική ανάλυση. Φυσικά κάτι τέτοιο θα απαιτούσε και αλλαγή των καρτεσιανών συντεταγμένων σε κυκλικές. Τέτοιου είδους όμως, επεξεργασία ανήκει αποκλειστικά στο υπόβαθρο και πεδίο γνώσεων των συναδέλφων πολιτικών μηχανικών, και δεν αποτέλεσε στόχο της παρούσας εργασίας.

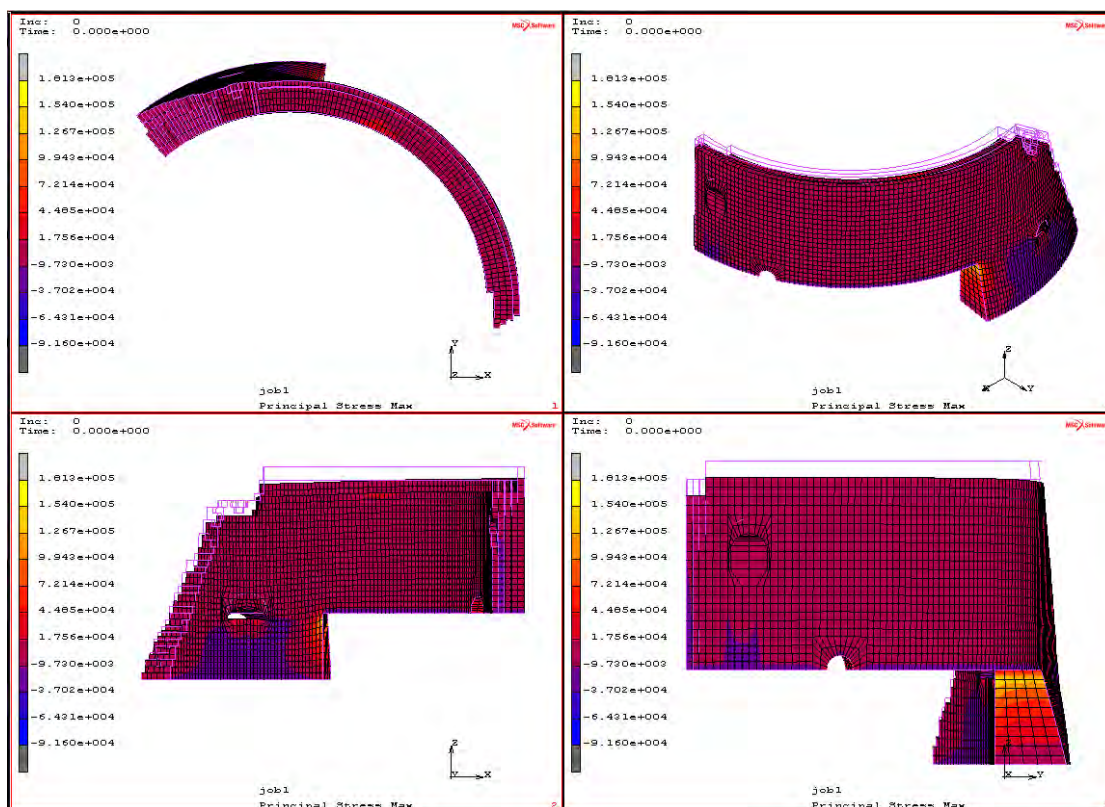




Σχήμα 4.18: Μοντέλο β (1601-1805).  
Εύρος τιμών: -91,61kN/m<sup>2</sup> (θλιπτικές) έως 168,32 kN/m<sup>2</sup> (εφελκυστικές).

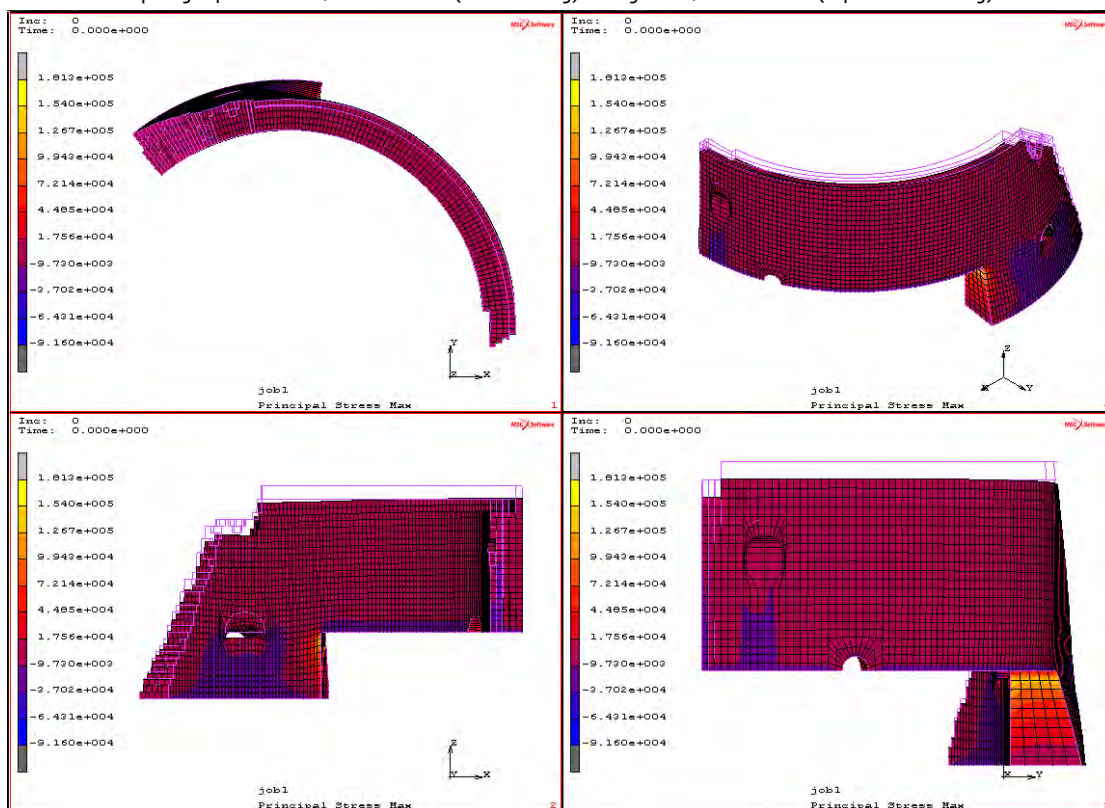


Σχήμα 4.19: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Εύρος τιμών: -67,27kN/m<sup>2</sup> (θλιπτικές) έως 181,28kN/m<sup>2</sup> (εφελκυστικές).



Σχήμα 4.20: Μοντέλο δ (1899-1970)

Εύρος τιμών: -52,89kN/m<sup>2</sup> (θλιπτικές) έως 173,76kN/m<sup>2</sup> (εφελκυστικές).



Σχήμα 4.21: Μοντέλο ε (1970-2015)

Εύρος τιμών: -53,28kN/m<sup>2</sup> (θλιπτικές) έως 154,20kN/m<sup>2</sup> (εφελκυστικές).



Στο σχήμα 4.20,, φαίνεται πως η καθαίρεση του μεγαλύτερου τμήματος του κεκλιμένου τοίχου και η αφαίρεση των περιορισμών του μπαζώματος στις εσωτερικές μετακινήσεις, επέδρασε τόσο στο εύρος των τιμών όσο και στην κατανομή των τάσεων.

Η κατανομή των θλιπτικών τάσεων στα σημεία επαφής των εξωτερικών τοίχων έχει μειωθεί αισθητά. Επίσης εμφανίζεται ξανά η περιοχή ανάπτυξης ελαφρών εφελκυστικών τάσεων στην κορυφή εσωτερικά της τοιχοποιίας, σημείο που είχαμε συναντήσει στο διάγραμμα 3.6. Προφανώς η επανεμφάνιση αυτή οφείλεται στην αφαίρεση των επιχωματώσεων και όχι στην καθαίρεση του τείχους. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη περιοχή αυτή εντοπίζουμε σήμερα τη διαμπερή ρωγμή.

Αντίθετα στο σχήμα 4.21, η προσομοίωση της περιοχής που εμφανίζεται η ρωγμή με την η μείωση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των στοιχείων που την απαρτίζουν, δίνει σαν αποτέλεσμα την αποφόρτιση της περιοχής από τις παραπάνω τάσεις.

Αντίθετα, παρουσιάζεται αύξηση στις περιοχές κατανομής των μέγιστων θλιπτικών τάσεων σε σχέση με το διάγραμμα 3.9, γεγονός που οφείλεται επίσης στη μείωση της αντοχής του φορέα συνολικά.

---

#### 4.5.3 Ισοδύναμες τάσεις

---

Στα σχήματα 4.22 και 4.23, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι στις διαφορετικές φάσεις της ζωής του φορέα, δεν υπάρχουν απότομες αλλαγές στην κατανομή των τάσεων. Υπάρχει μια πολύ λογική διάταξη στην ανάπτυξη των μέγιστων τάσεων στη βάση με μια συγκέντρωση στη γωνία αλλαγής του ύψους της, σε αντιστοιχία με τα αποτελέσματα και των προηγούμενων διαγραμμάτων.

Το ανακουφιστικό τρίγωνο πάνω από τα τόξα των κανονιοθυρίδων και του ανοίγματος της ανατολικής πλευράς, σε συνδυασμό με την μεταφορά των φορτίων στη βάση των τόξων, αποτελεί τον κανόνα σε τέτοιου είδους κατασκευές.

Διαφορετική εικόνα παρουσιάζει η κανονιοθυρίδα της ανατολικής πλευράς στα σχήματα 4.24 και 4.25, όπου παρουσιάζεται ανακατανομή των φορτίων στη κορυφή του τόξου. Η εικόνα αυτή παρουσιάζεται γιατί έχει επιβληθεί πάκτωση στους εξωτερικούς κόμβους των στοιχείων που τη συνθέτουν , καθώς η κατασκευή τοιχοποιίας για την προσομοίωση του κλεισίματος του τόξου του δεν έγινε με συμπλήρωση της διακριτοποίησης λόγω τεχνικών δυσκολιών. Ένα αναλυτικότερο μοντέλο θα εξομάλυνε λίγο τα μεγέθη στη περιοχή.

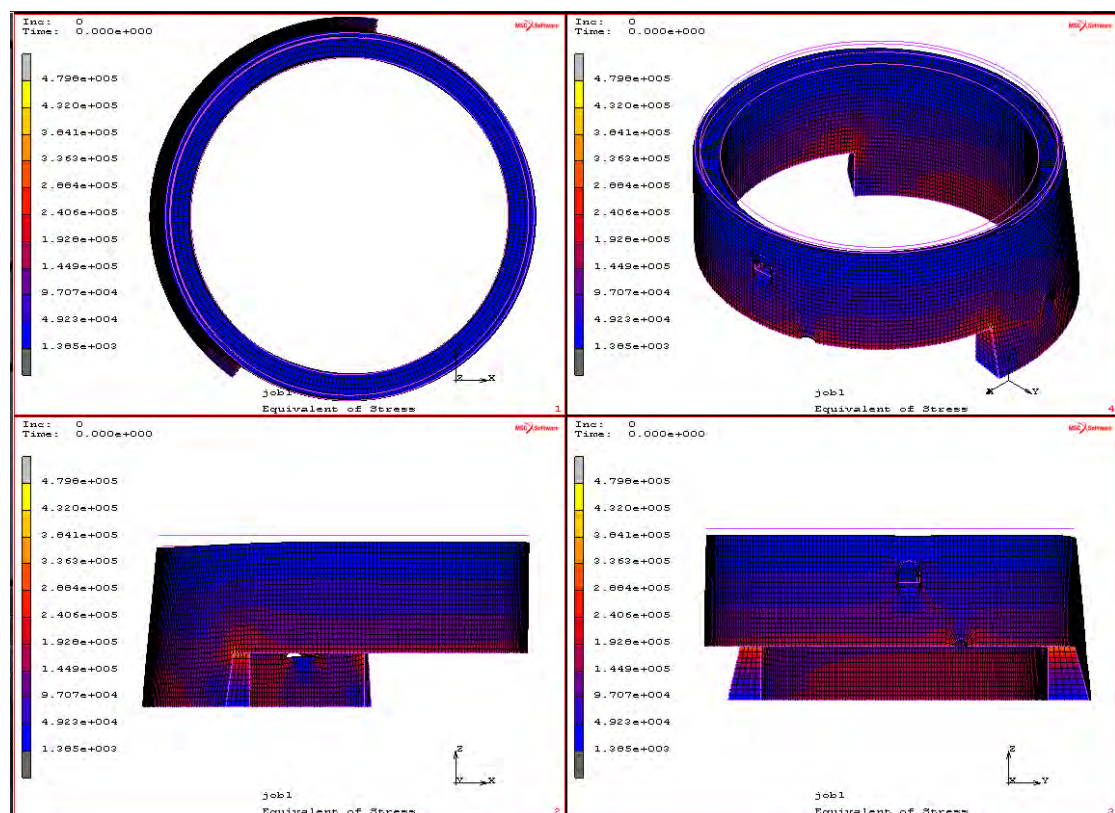
Μικρή διακύμανση εμφανίζεται και στις τιμές τριών πρώτων διαγραμμάτων. Με το στο σχήμα 4.24 να εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή μέγιστης θλιπτικής τάσης.

Στα σχήματα 4.25 και 4.26, οι τιμές των μέγιστων θλιπτικών τάσεων είναι εμφανώς μικρότερες. Αυτό οφείλεται κυρίως στην απουσία μετά της καθαίρεσης, του μεγάλου ογκώδους κεκλιμένου τοίχου στα δυτικά.

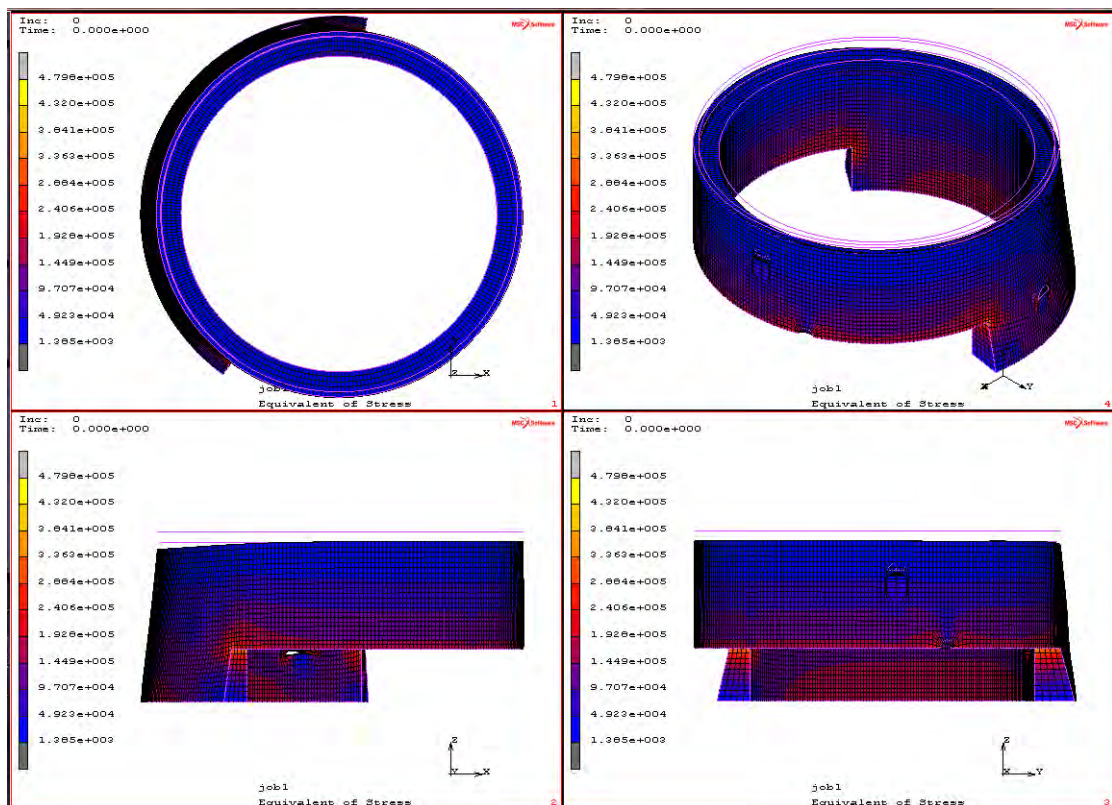
Τέλος στο σχήμα 4.26, με την επιβολή με μεγαλύτερη λεπτομέρεια των διαφορετικών φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων στα στοιχεία του μοντέλου "ε" εμφανίζεται και μια τελείως διαφορετική εικόνα στη κατανομή των τάσεων. Έτσι γίνονται σαφείς οι περιοχές ανάπτυξης των ρωγμών εφόσον έχει μειωθεί τόσο το βάρος όσο και το μέτρο ελαστικότητας των στοιχείων.

Από τα διαγράμματα αυτά, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η εμφάνιση των ρωγμών δεν έχει προκύψει από τη μεταβολή της γεωμετρίας και την υποβολή στη φθορά του χρόνου του φορέα, αλλά πιθανόν λόγω δυναμικών φορτίσεων.

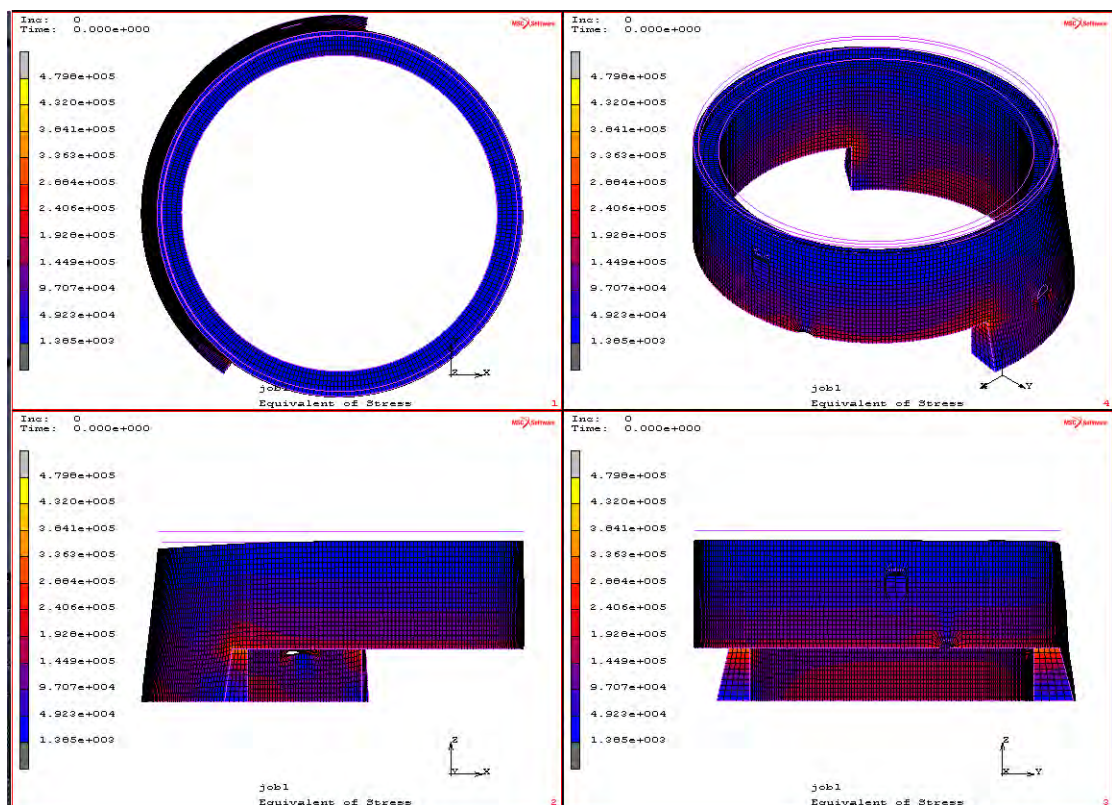
Χρήσιμο σε αυτή την κατεύθυνση είναι να εξεταστεί ο ρόλος των στηρίξεων και η μείωση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών της λιθοδομής μέσα από την υποβολή των διαφορετικών μοντέλων σε δυναμική ανάλυση, ώστε να είμαστε σε θέση να εξάγουμε πιο ασφαλή συμπεράσματα για τις αιτίες εμφάνισης των ρωγμών.



Σχήμα 4.22: Μοντέλο α (1477-1601)  
Εύρος τιμών: 2,78kN/m<sup>2</sup> έως 475,87kN/m<sup>2</sup>

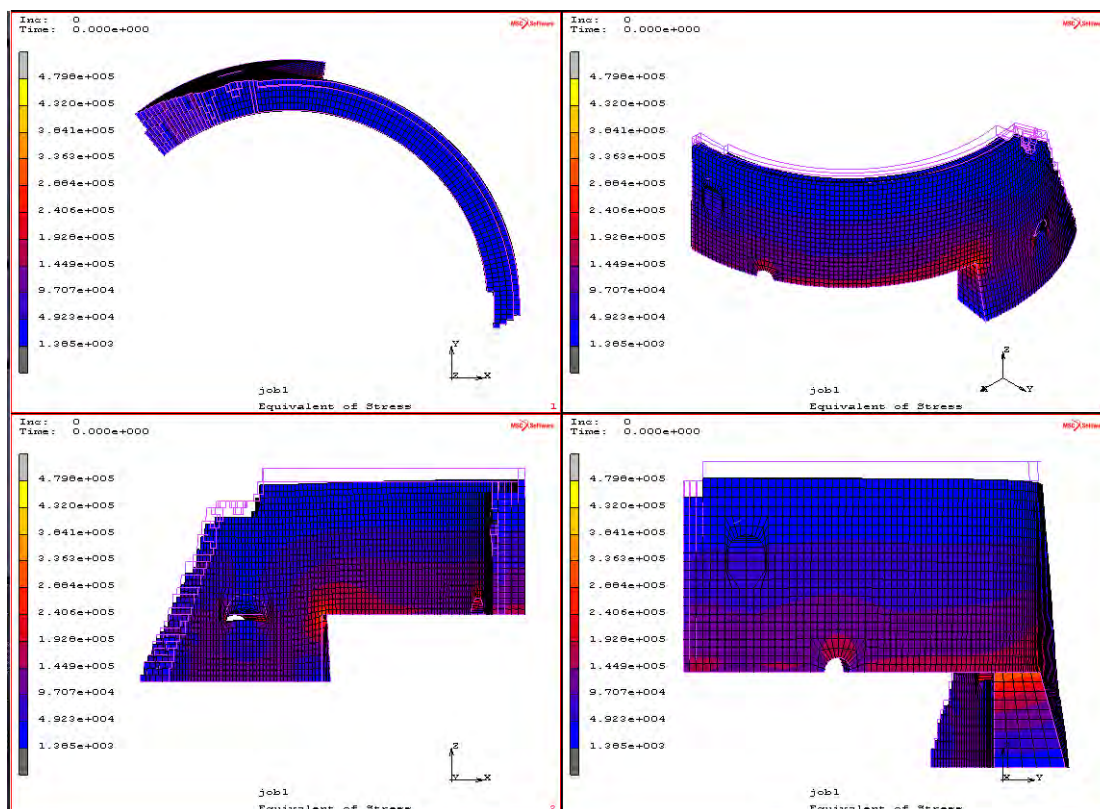


Σχήμα 4.23: Μοντέλο β (1601-1805)  
Εύρος τιμών: 2,55kN/m<sup>2</sup> έως 478,44kN/m<sup>2</sup>

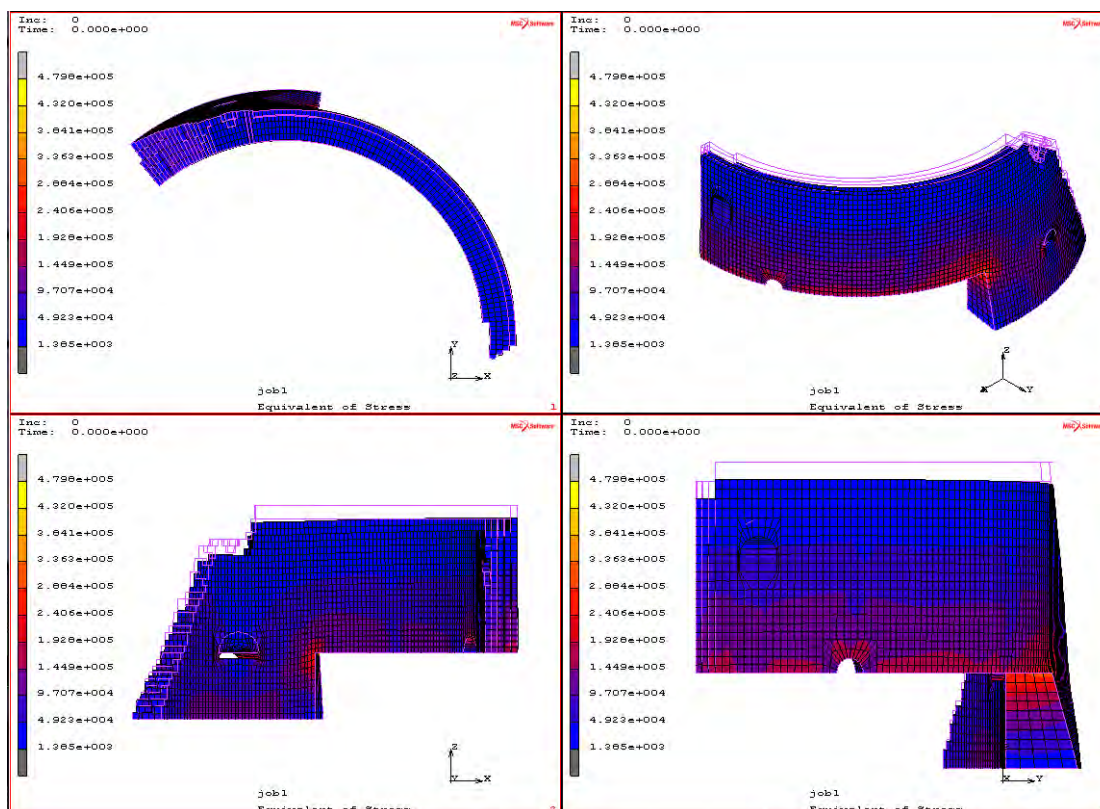


Σχήμα 4.24: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Εύρος τιμών: 2,71kN/m<sup>2</sup> έως 479,81kN/m<sup>2</sup>





Σχήμα 4.25: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Εύρος τιμών: 2,25kN/m<sup>2</sup> έως 341,63kN/m<sup>2</sup>



Σχήμα 4.26: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Εύρος τιμών: 1,38kN/m<sup>2</sup> έως 348,42kN/m<sup>2</sup>



#### 4.5.4 Ισοδύναμη συνολική παραμόρφωση

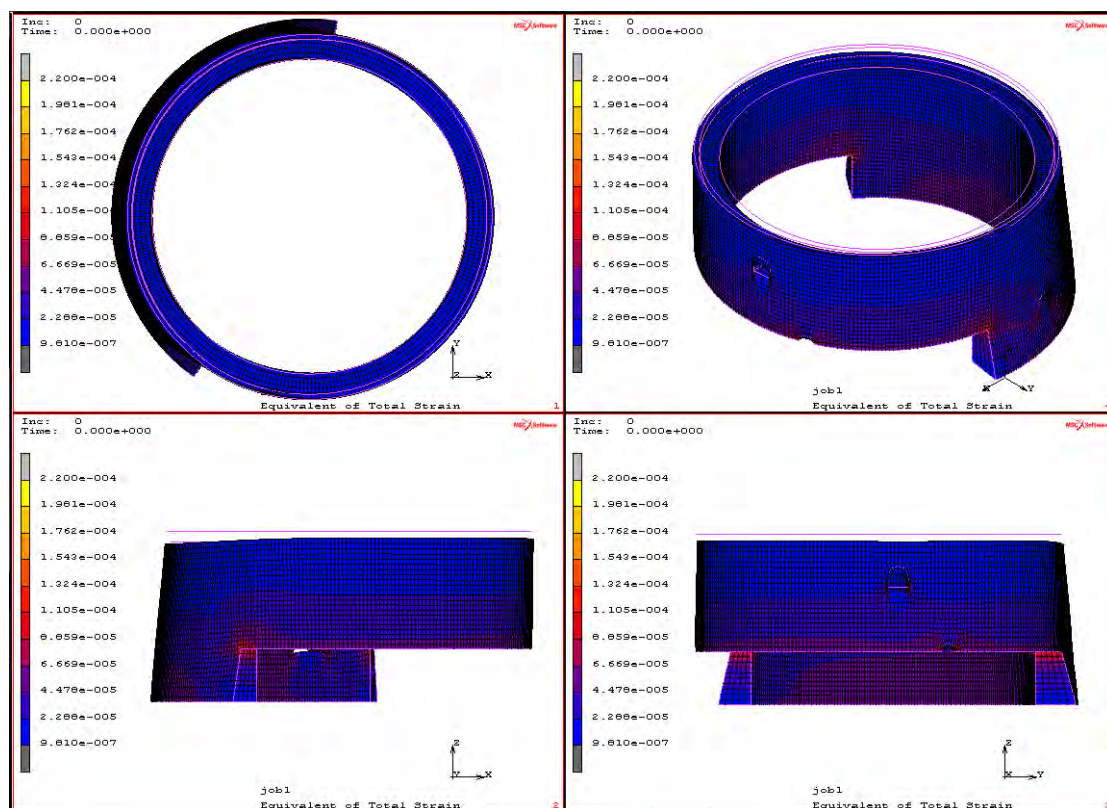
Με τη σειρά αυτή των διαγραμμάτων είμαστε σε θέση να παρακολουθήσουμε τις μεταβολές του φορέα στις διαφορετικές του φάσεις. Εδώ γίνεται εμφανής ο ρόλος της αποδυνάμωσης των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών της λιθοδομής, με κορύφωση των τιμών στο σχήμα 4.29.

Στα δύο πρώτα σχήματα (4.27-4.28), τόσο η κατανομή των μεγεθών όσο και οι ίδιες τιμές δεν παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση. Οι μέγιστες τιμές είναι συγκεντρωμένες στη βάση της λιθοδομής.

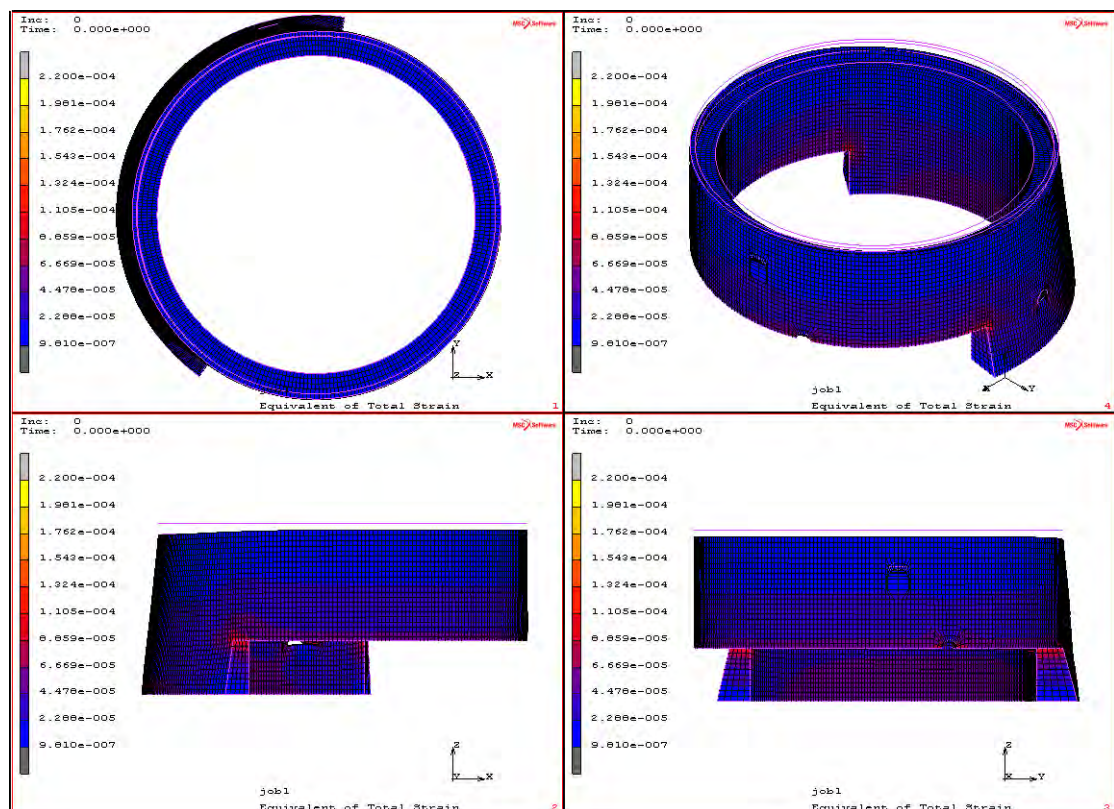
Στα δύο επόμενα σχήματα (4.29-4.30), ωστόσο διακρίνεται μια μεταβολή των συγκεντρωμένων ανώτερων μεγεθών της βάσης και διασπορά τους καθ' ύψος στη κατασκευή.

Στο σχήμα 4.31, είναι που εμφανίζονται μέγιστες τιμές παραμόρφωσης σε μεγαλύτερο εύρος στοιχείων της βάσης, γεγονός που δικαιολογείται από την αποδυνάμωση του φορέα.

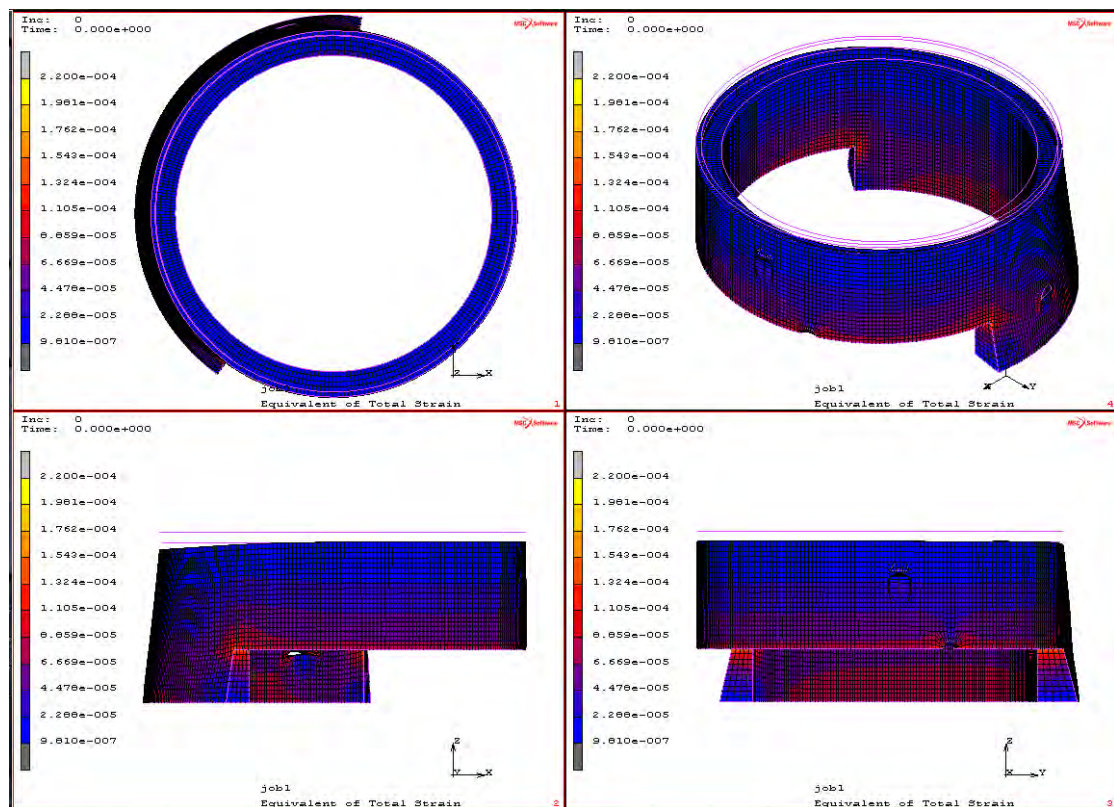
Στο σύνολο των διαγραμμάτων εξακολουθεί η γωνία αλλαγής ύψους της βάσης να συγκεντρώνει τις μέγιστες τιμές. Το σχήμα που εμφανίζεται η μεγαλύτερη τιμή είναι το 4.29, καθώς είναι το μοναδικό που συγκεντρώνει τον μεγαλύτερο όγκο σε συνδυασμό με αποδυνάμωση του φορέα.



Σχήμα 4.27: Μοντέλο α (1477-1601)  
Εύρος τιμών: 9,8·4mm έως 0,15mm

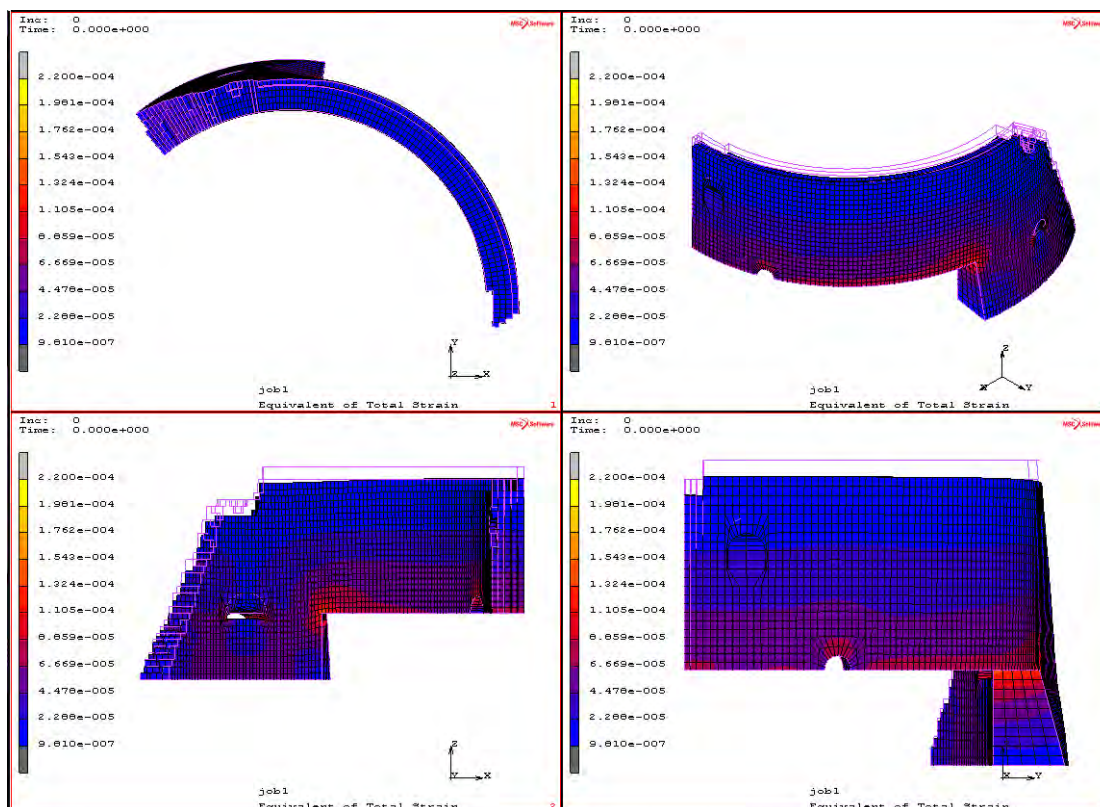


Σχήμα 4.28: Μοντέλο β (1601-1805)  
Εύρος τιμών:  $9,65 \cdot 10^{-4} \text{mm}$  έως  $0,15 \text{mm}$

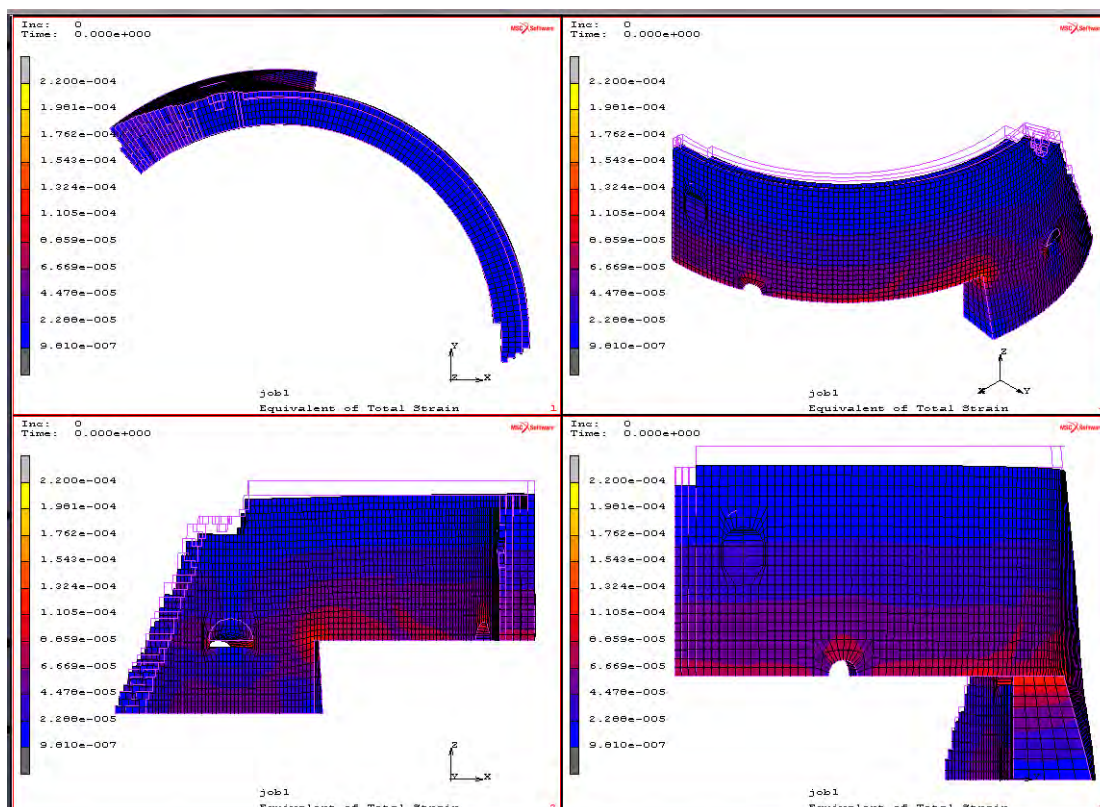


Σχήμα 4.29: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Εύρος τιμών:  $1,4 \cdot 10^{-3} \text{mm}$  έως  $0,22 \text{mm}$





Σχήμα 4.30: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Εύρος τιμών:  $1 \cdot 10^{-3} \text{mm}$  έως  $0,14 \text{mm}$

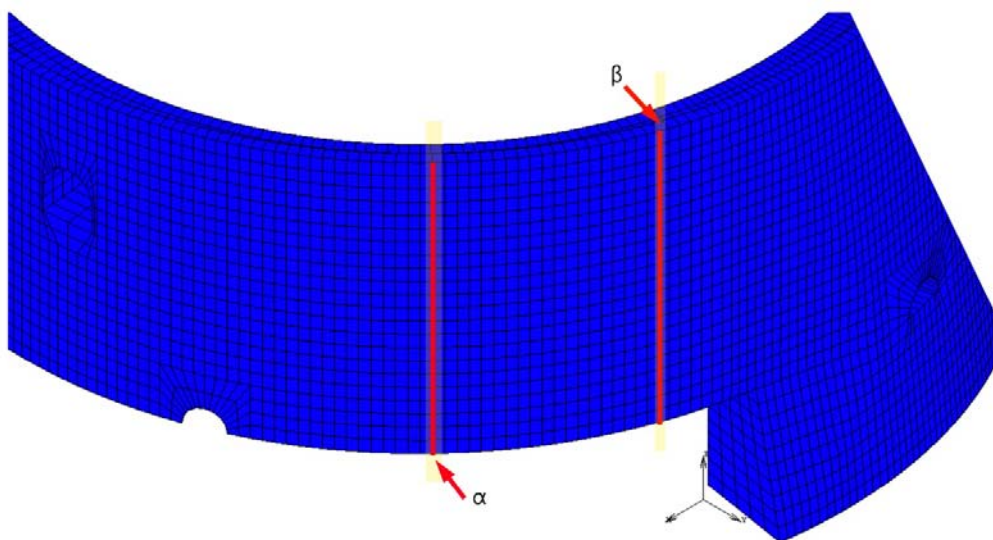


Σχήμα 4.31: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Εύρος τιμών:  $9,57 \cdot 10^{-4} \text{mm}$  έως  $0,14 \text{mm}$

#### 4.5.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων μέσω γραφημάτων

Για τη μελέτη συγκεκριμένων σημείων της κατασκευής επιλέχθηκαν δύο κατακόρυφες τομές, οι οποίες είναι ίδιες και στα πέντε μοντέλα. Η πρώτη τομή βρίσκεται στο μέσον περίπου του εναπομείναντος σήμερα τμήματος του πύργου και το δεύτερο βρίσκεται στο μέσον περίπου μεταξύ της διαμπερούς ρωγμής και του σημείου αλλαγής του ύψους της λιθοδομής, όπου και στα προηγούμενα διαγράμματα εντοπίσαμε τη συγκέντρωση των μεγαλύτερων τάσεων (εικόνα 4.7).

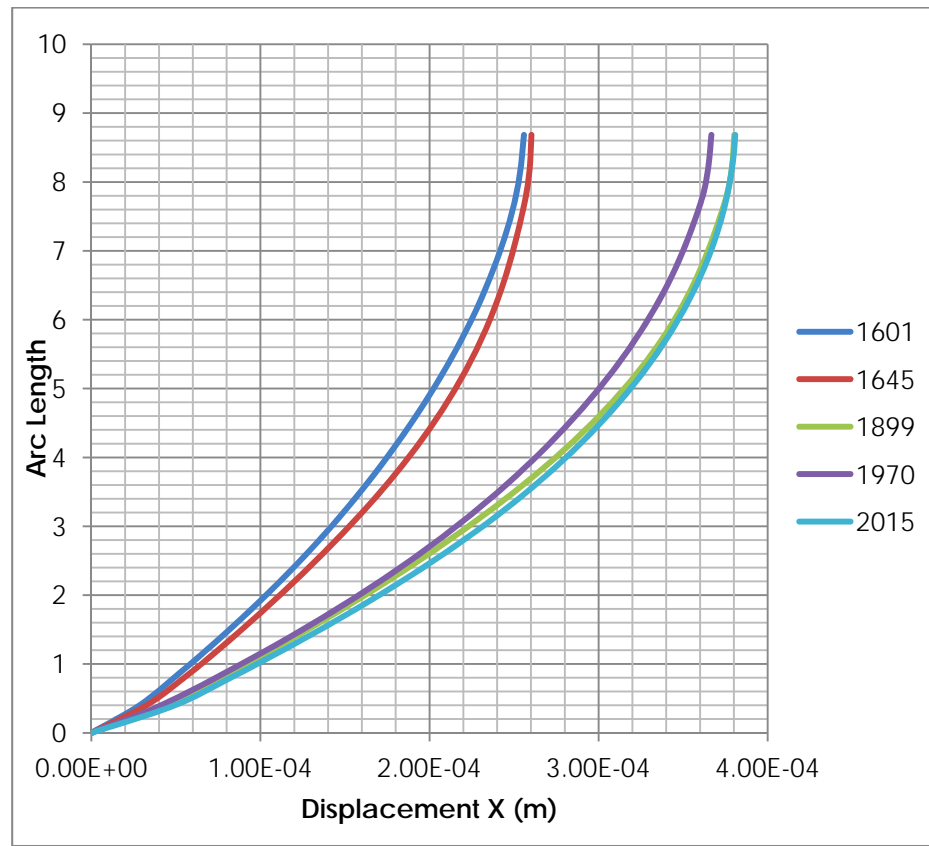
Από τη σύγκριση των δεδομένων μπορούμε αφενός να επαληθεύσουμε τα προηγούμενα συμπεράσματα και να εξάγουμε με μεγαλύτερη ασφάλεια νέα, αναφορικά με την εξέλιξη της στατικής συμπεριφοράς της λιθοδομής στις διάφορες φάσεις.



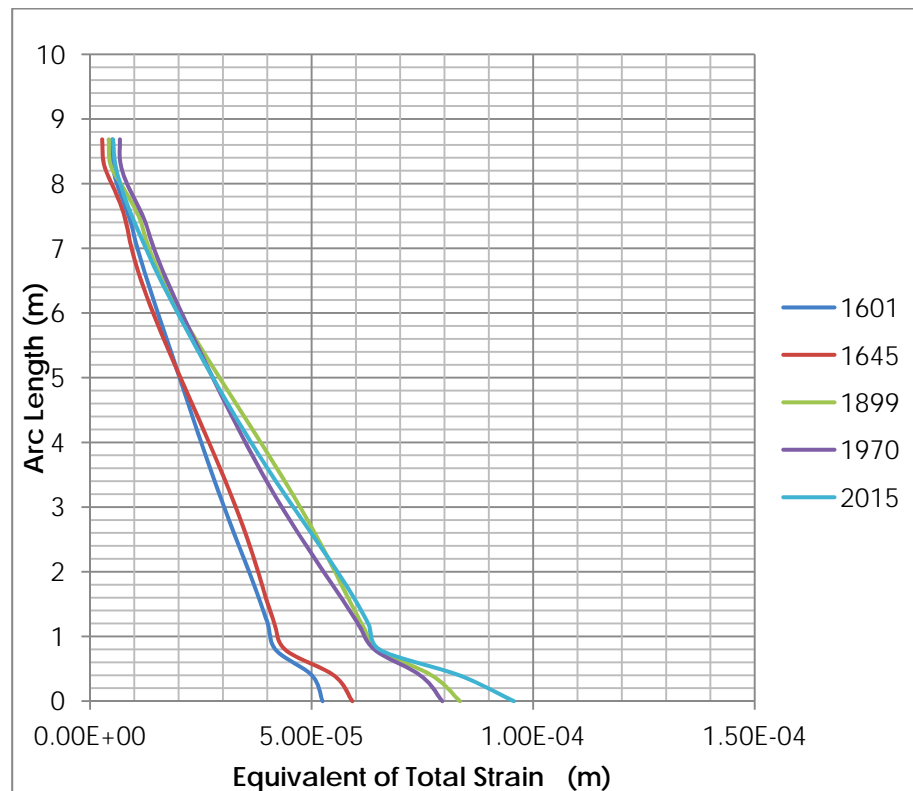
Εικόνα 4.7: Σχηματική απεικόνιση των περιοχών λήψης των δεδομένων



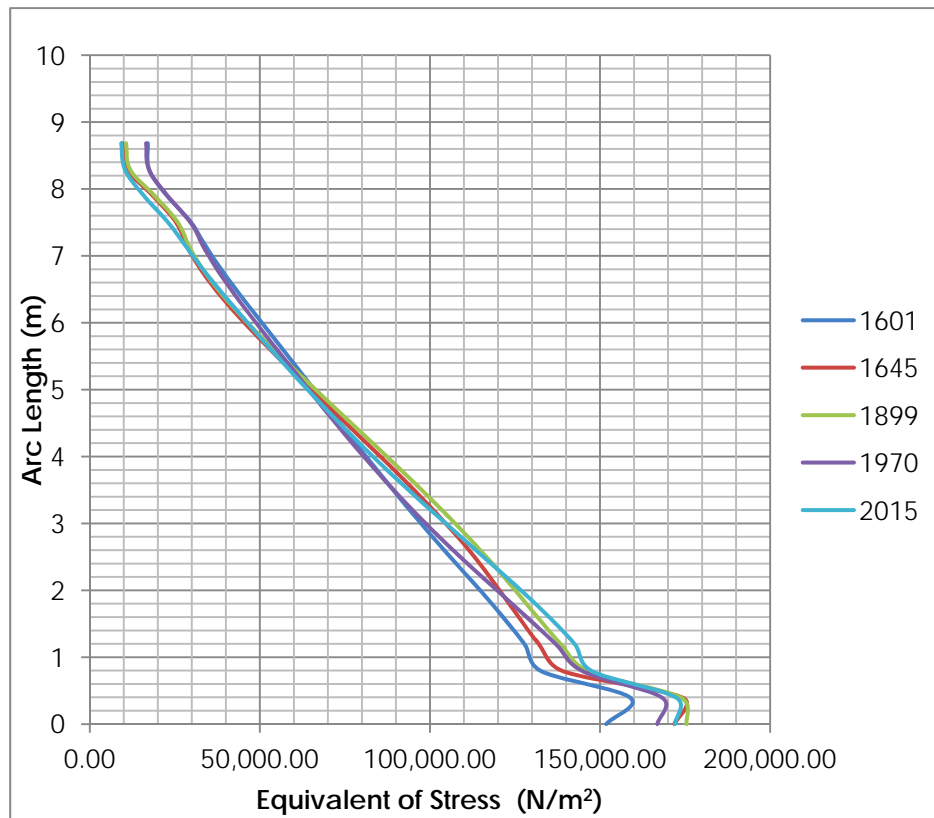
### Σειρά γραφημάτων α τομής



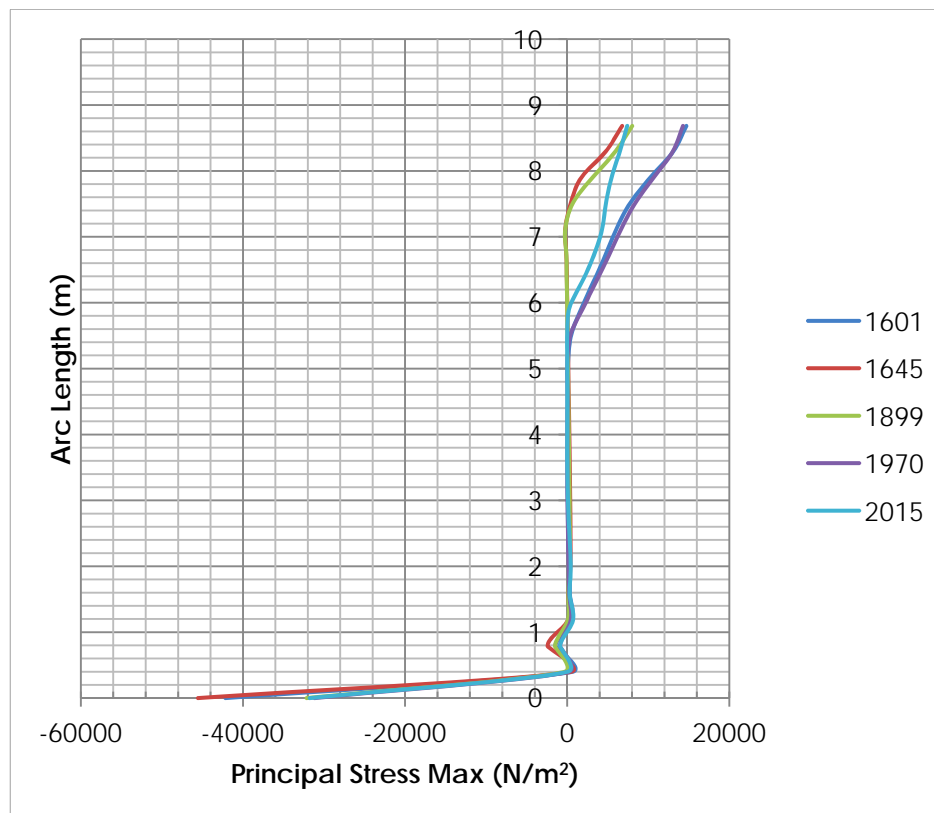
Σχήμα 4.32: Μετατόπιση



Σχήμα 4.33: Ισοδύναμη Συνολική Παραμόρφωση



Σχήμα 4.34: Ισοδύναμες Τάσεις



Σχήμα 4.35: Κύριες Μέγιστες Τάσεις

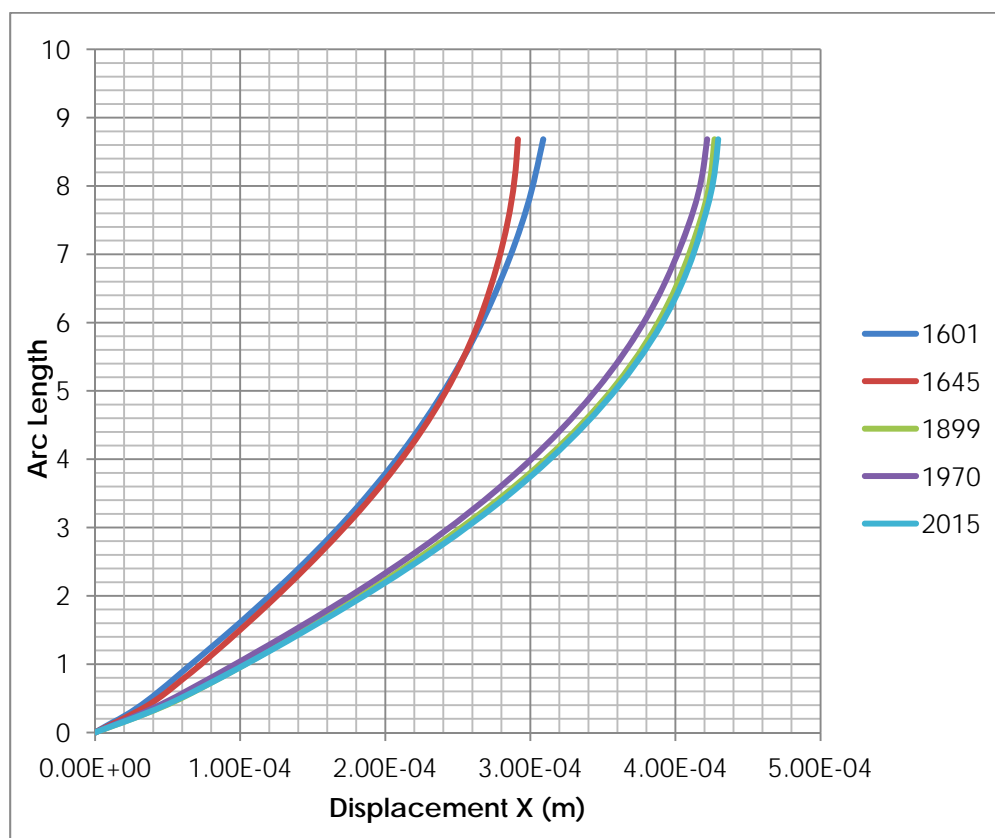
Από τα σχήματα 4.32 και 4.33 φαίνεται η σχέση μεταξύ των δύο πρώτων μοντέλων. Η προσθήκη των τειχών εξωτερικά δεν έχει επηρεάσει σημαντικά τις μετατοπίσεις και παραμορφώσεις.

Οι μετατοπίσεις μεγιστοποιούνται καθ' ύψος ενώ οι μέγιστες παραμορφώσεις εμφανίζονται στη βάση του φορέα. Οι τρεις επόμενες φάσεις βρίσκονται πολύ κοντά στις τιμές. Η μεγαλύτερη παραμόρφωση, αναπτύσσεται στη βάση, στο τέταρτο μοντέλο.

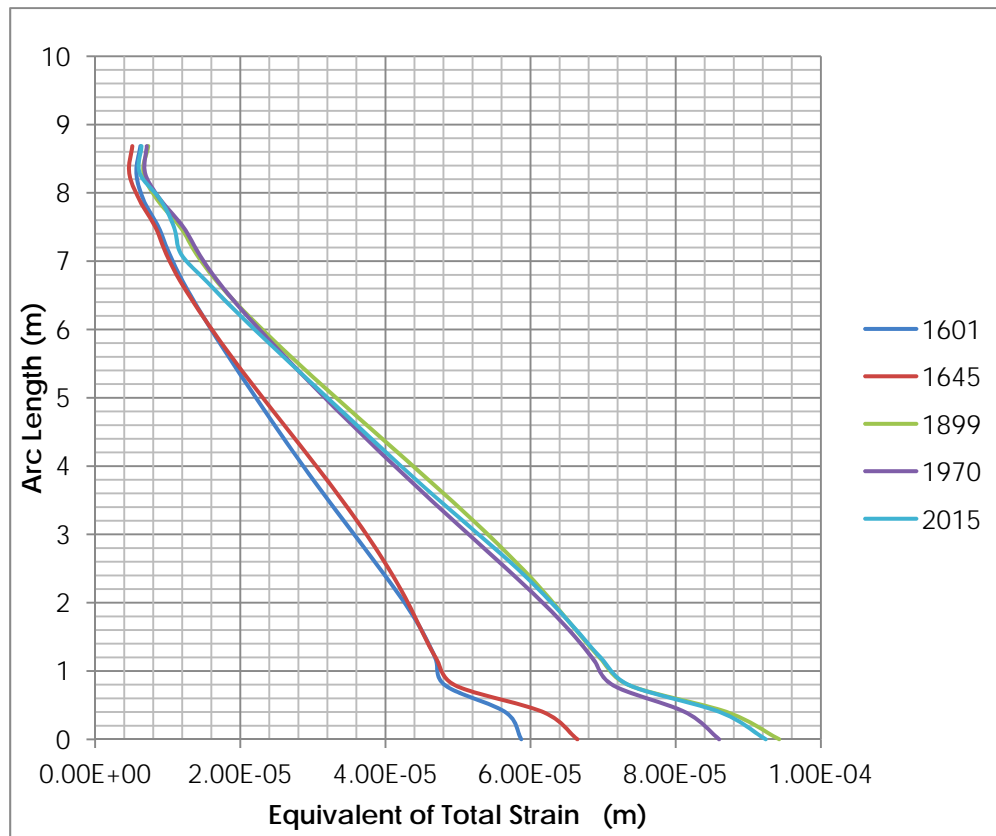
Στο σχήμα 4.34, γίνεται ευδιάκριτη η συγκέντρωση των θλιπτικών τάσεων στη βάση της λιθοδομής. Η άνω παρειά επηρεάζεται ελάχιστα. Ενδιαφέρον στοιχείο στο γράφημα αυτό αποτελεί το γεγονός της μικρής διαφοράς που εμφανίζεται στις τιμές των τάσεων. Παρά τις μεγάλες διαφορές των μοντέλων μεταξύ τους, οι τάσεις κυμαίνονται μεταξύ των 150-180kN/m<sup>2</sup>.

Στο σχήμα 4.35, αποδεικνύεται η σχέση των θλιπτικών τάσεων της βάσης με τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στη κορυφή της λιθοδομής. Αξιοσημείωτη είναι η μεταβολή της εφελκυστικής τάσης στο πέμπτο μοντέλο (γαλάζια γραμμή), που τείνει να επανέλθει στις αρχικές τιμές των δύο προηγούμενων μοντέλων (πράσινη και κόκκινη γραμμή).

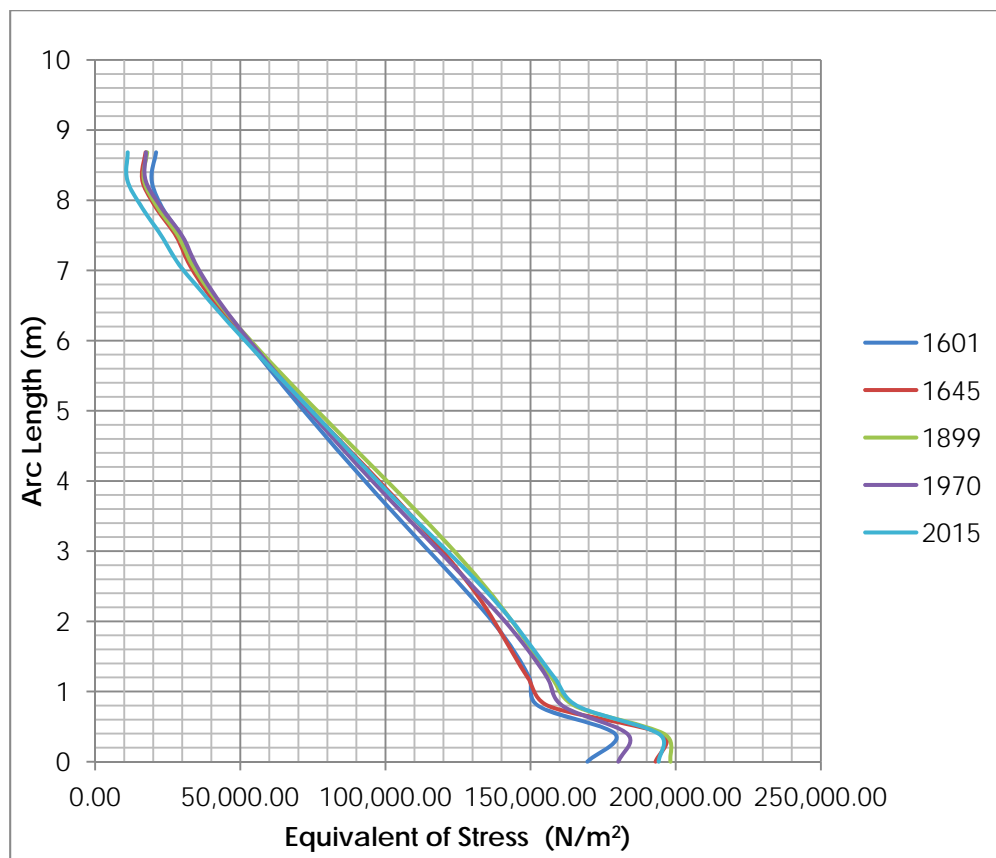
#### **Σειρά γραφημάτων β τομής**



Σχήμα 4.36: Μετατοπίσεις

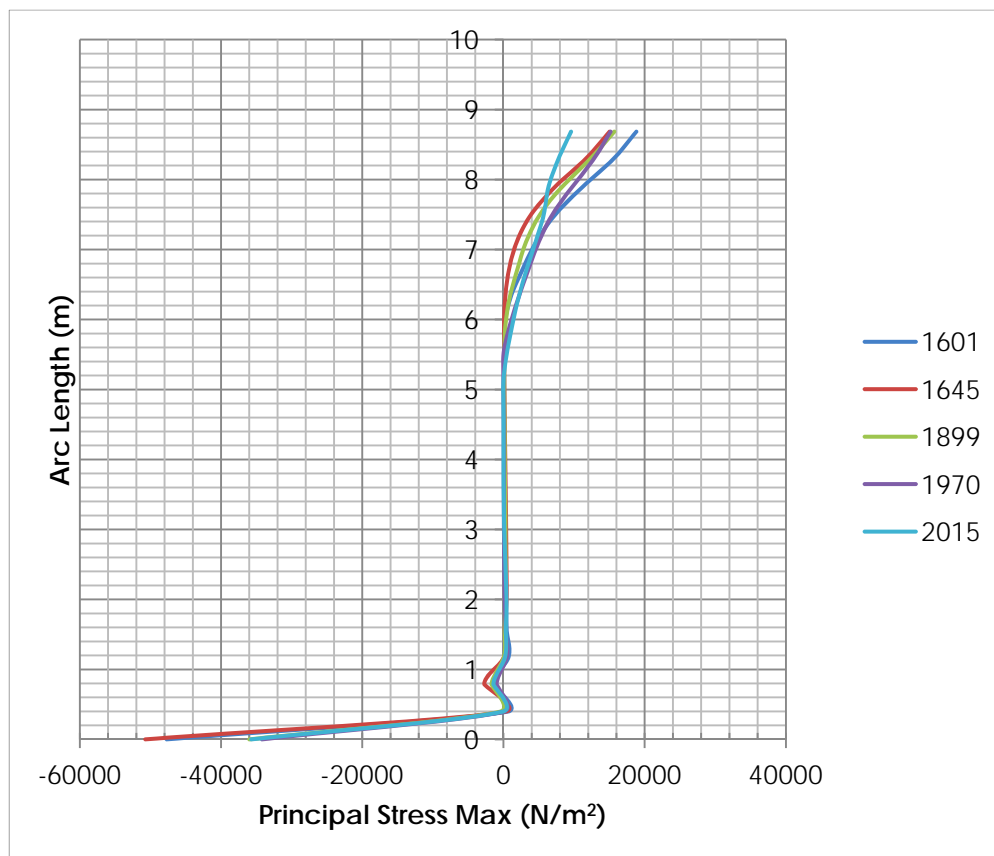


Σχήμα 4.37: Ισοδύναμη Συνολική Παραμόρφωση



Σχήμα 4.38: Ισοδύναμες Τάσεις





Σχήμα 4.39: Μέγιστες κύριες τάσεις

Την ίδια εικόνα παρουσιάζει και η επόμενη σειρά των μετρήσεων. Παρατηρώντας μόνο το γράφημα 4.39 διαπιστώνεται επιπλέον μείωση των εφελκυστικών τάσεων στην κορυφή. Η χαλάρωση της δομής εξαιτίας της παρουσίας της ρωγμής, δικαιολογεί αυτή την τάση.

#### 4.5.6 Εκτίμηση αποτελεσμάτων

Από την σύγκριση των σχημάτων 4.12-4.39 είμαστε σε θέση να διαπιστώσουμε τα εξής:

α) Οι μετατοπίσεις αυξάνονται με τη μείωση της αντοχής της λιθοδομής. Οι προσθήκες των εξωτερικών τοίχων, δεν έχουν επενεργήσει θετικά ή αρνητικά στη συμπεριφορά της λιθοδομής.

β) Η αποδυνάμωση της λιθοδομής φαίνεται κατ' αντιστοιχία να επηρεάζει και στα σχήματα 4.27-4.31, 4.33 και 4.37 τις παραμορφώσεις. Κι εδώ οι πρήσθηκες δεν φαίνεται να επηρεάζουν με κάποιο τρόπο.

Μεγάλη διαφοροποίηση εμφανίζεται στη τελευταία φάση της κατασκευής, όπου αποδυναμώθηκε ο φορέας και προσομοιώθηκαν οι φθορές που εντοπίζονται σήμερα. Μέγιστη τιμή παραμόρφωσης σημειώνεται στη βάση.

γ) Στα σχήματα 4.22-4.26, 4.34 και 4.38 των ισοδύναμων τάσεων δεν εμφανίζονται μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ των διαφορετικών φάσεων της λιθοδομής. Η ίδια εικόνα εμφανίζεται και στα γραφήματα.

Η συγκέντρωση των θλιπτικών τάσεων στη βάση είναι η αναμενόμενη, ενώ η δασπορά των τιμών από τη βάση ως και ύψος 5,5μ περίπου δεν είναι αξιοσημείωτη, ώστε να αποτελεί συγκρίσιμο μέγεθος μεταξύ των μοντέλων. Το ύψος πάντως των 5,5μ φαίνεται να είναι κρίσιμο στην κατάσταση της ισορροπίας της κατασκευής.

δ) Η ανάλυση των μέγιστων κύριων τάσεων στα σχήματα 4.35 και 4.39, φανερώνουν ξεκάθαρα τη συγκέντρωση θλιπτικών τάσεων στη βάση της λιθοδομής.

Με την ανάπτυξη των δύο γραφημάτων φανερώθηκαν οι εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στην κορυφή της λιθοδομής από το ύψος των 5,5-6,00μ. και πάνω και επιβεβαιώνεται ότι το εσωτερικό μπάζωμα, επενέργησε θετικά στη μείωση των εφελκυστικών τάσεων που εμφανίζονται στη κορυφή.

Η συμπεριφορά της λιθοδομής αλλάζει ουσιαστικά με τη "χαλάρωση" του φορέα και αφού εισαγάγαμε "συνθήκες" ρωγμών. Παρατηρείται λοιπόν μείωση των εφελκυστικών τάσεων στη κορυφή που προφανώς συνδέεται με την διάρρηξη της συνέχειας του φορέα.

#### **4.6 Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης**

---

Στόχος της ανάλυσης των ιδιομορφών των μοντέλων είναι η διερεύνηση της λειτουργίας των διαφορετικών συνοριακών συνθηκών και των φθορών που έχουν προσομοιωθεί, και του ρόλου τους στα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να διαγνώσουμε, αφενός τον ρόλο της μείωσης της αντοχής της λιθοδομής στη συμπεριφορά του φορέα και αφετέρου το ρόλο των διαφορετικών συνοριακών συνθηκών (μεταγενέστερες προσθήκες στην εξωτερική τοιχοποιία) ή της κατεδάφισης του μεγαλύτερου μέρους του πύργου.

Στον πίνακα 4.2, βρίσκονται συγκεντρωμένες οι δέκα πρώτες ιδιομορφές που αναλύθηκαν στα πέντε διαφορετικά μοντέλα. Η παράθεση των τιμών δίνει τη δυνατότητα να δει κανείς τις μεγάλες αλλαγές στις τιμές των συχνοτήτων διέγερσης, όχι τόσο λόγω της μείωσης της αντοχής των υλικών, αλλά κυρίως ανάμεσα στα μοντέλα που έχουν οριστεί διαφορετικές συνοριακές συνθήκες. Δηλαδή σχεδόν τριπλάσια αύξηση των τιμών των ιδιοσυχνοτήτων ανάμεσα στα μοντέλα α και β (η βασική διαφορά των μοντέλων εδώ έγκειται στις προσομοίωση των προσθηκών στο β μοντέλο σε αντίθεση με το α όπου ο πύργος είναι ανεξάρτητος στο χώρο) και αντίστοιχα διπλάσια σχεδόν μείωση των τιμών μεταξύ των μοντέλων γ και δ (η βασική διαφορά του μοντέλου δ από το γ είναι ότι έχουν αφαιρεθεί τα 2/3 της περιμέτρου για την προσομοίωση της κατεδάφισης του πύργου).

Πίνακας 4.2

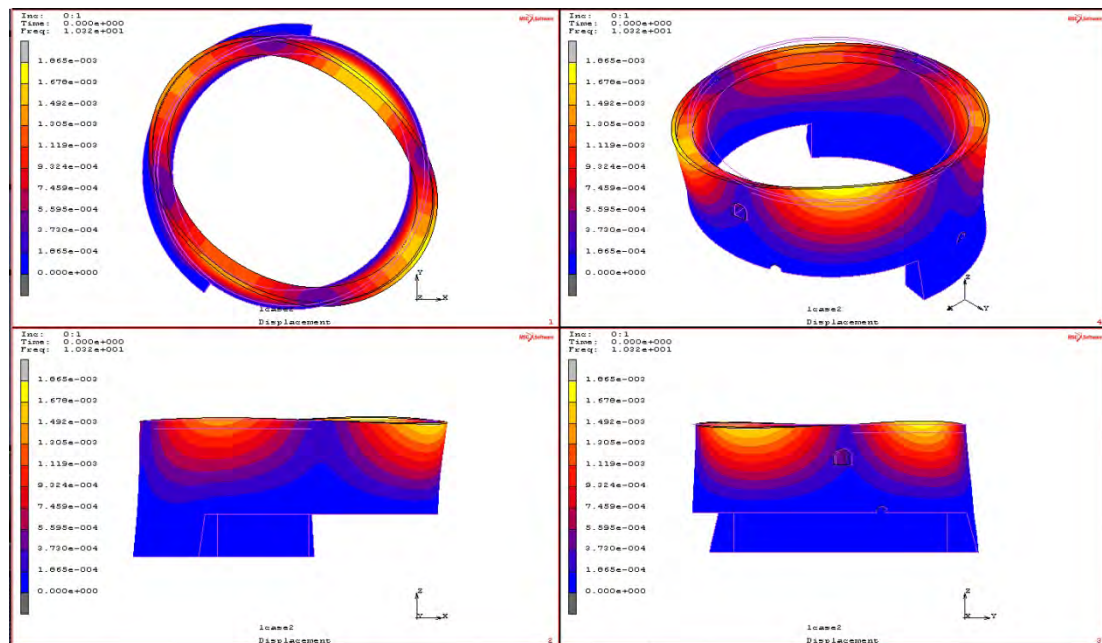
	Μοντέλο α	Μοντέλο β	Μοντέλο γ	Μοντέλο δ	Μοντέλο ε
a/a	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz
1	10.3195	27.5457	22.8628	9.98988	10.3597
2	10.3779	30.5486	25.4464	11.0652	11.478
3	10.711	34.6053	28.8898	15.2035	15.3425
4	10.8233	36.2159	30.1203	20.9317	21.0616
5	12.3616	37.1587	30.9583	22.9036	23.484
6	12.4416	40.1921	33.7352	26.0267	27.3248
7	13.3892	40.3558	33.8115	27.4271	28.1358
8	13.4205	44.8016	37.7506	28.554	30.2405
9	14.9005	45.4592	38.3208	29.6667	31.0093
10	17.6025	50.7876	42.9704	30.8944	31.3554

Στα σχήματα 4.40 έως 4.89 παρουσιάζονται για κάθε ιδιομορφή, οι περιοχές της κατασκευής που διεγείρονται και οι αντίστοιχες μέγιστες τιμές μετατόπισης, για τα πέντε μοντέλα.

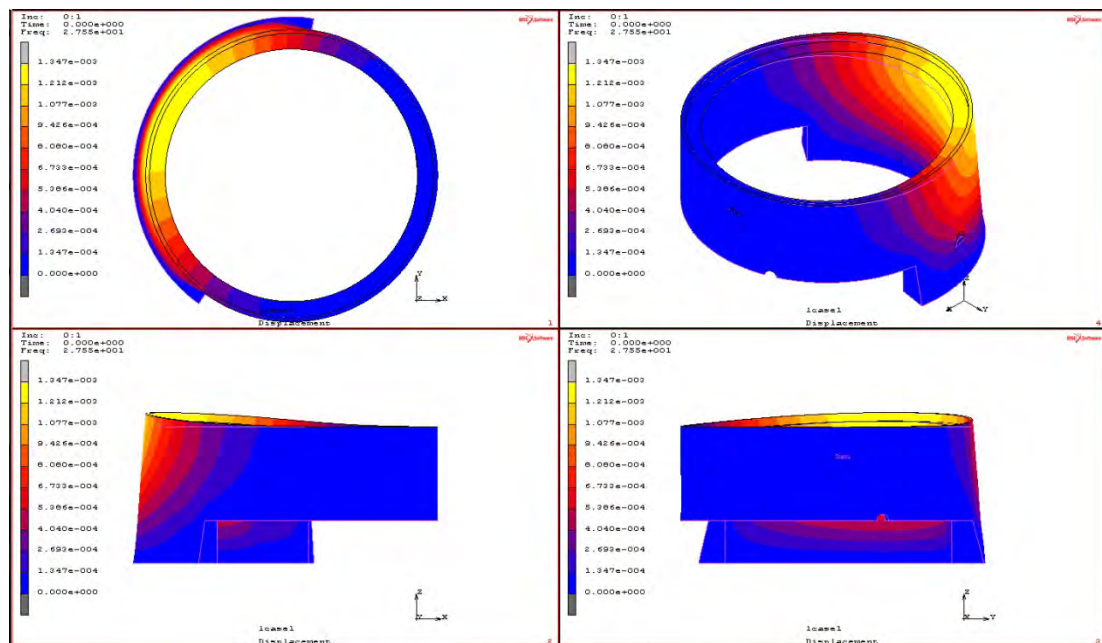
Όπως διαφαίνεται από τη σειρά των σχημάτων, οι μεταγενέστερες προσθήκες αλλά και η κατεδάφιση του μεγαλύτερου μέρους του πύργου, επηρεάζουν σημαντικά τις περιοχές διέγερσης του φορέα, μετατοπίζοντας τις περιοχές ταλάντωσης που αρχικά διανέμονται ισόποσα στη περίμετρό του (μοντέλο α, σχήματα 4.40, 4.45, 4.50, 4.55, 4.60, 4.65, 4.70, 4.75, 4.80, 4.85) προς τη περιοχή του εναπομείναντος τμήματος του πύργου, και ειδικότερα στη περιοχή όπου εμφανίζεται η διαμπερής ρωγμή.

Είναι σημαντικό επίσης να δει κανείς ότι στα μοντέλα δ και ε (σχήματα 4.43-44, 4.48-4.49, 4.53-4.54, 4.58-4.59, 4.63-4.64, 4.68-4.69, 4.73-4.74, 4.78-4.79, 4.83-4.84, 4.88-4.89) ακριβώς το σημείο αυτό, δηλαδή η περιοχής της υπάρχουσας ρωγμής, είναι που υπόκειται σε ταλαντώσεις και μετατοπίσεις, ξεκινώντας με τις μέγιστες τιμές στη κορυφή.

## I. 1<sup>η</sup> Ιδιομορφή

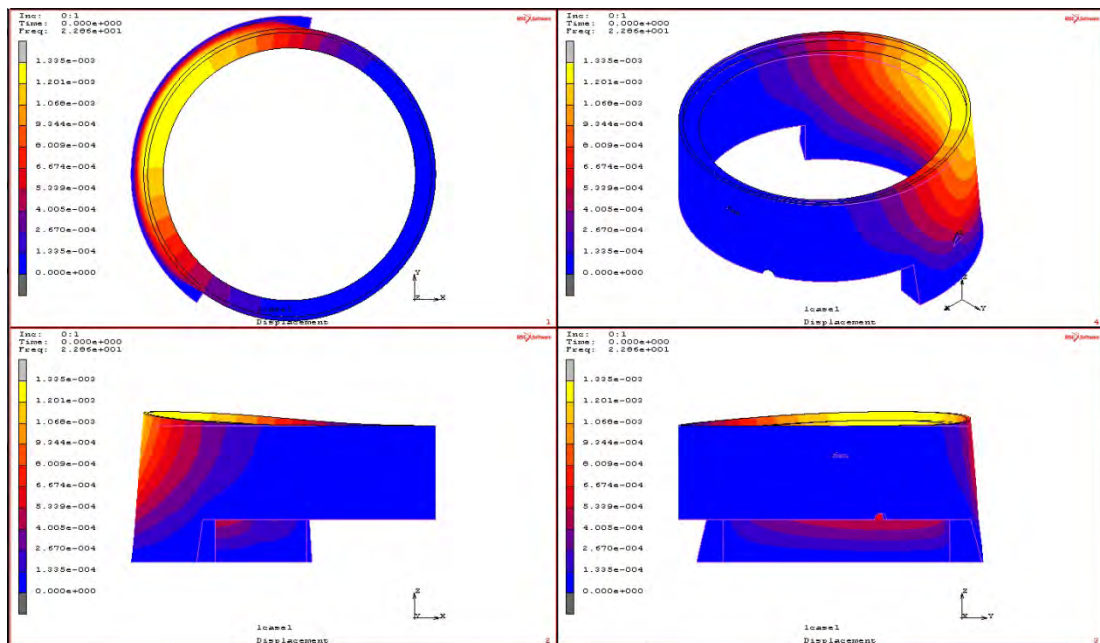


Σχήμα 4.40: Μοντέλο α (1477-1601)  
Συχνότητα ταλάντωσης 10.32Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.8mm.

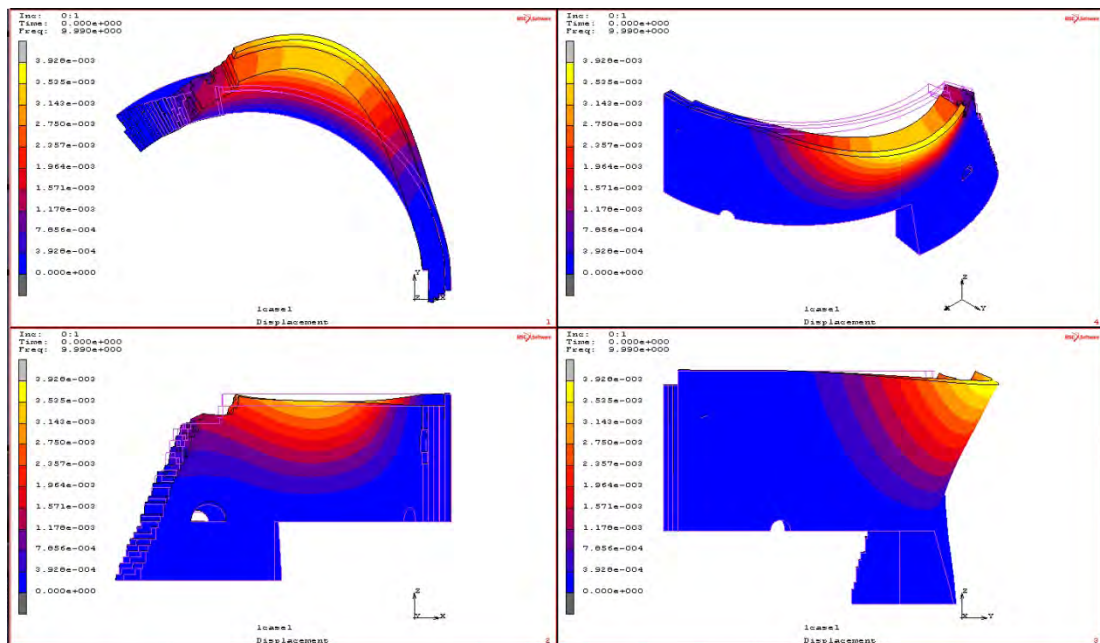


Σχήμα 4.41: Μοντέλο β (1601-1805)  
Συχνότητα ταλάντωσης 27.55Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.34mm.

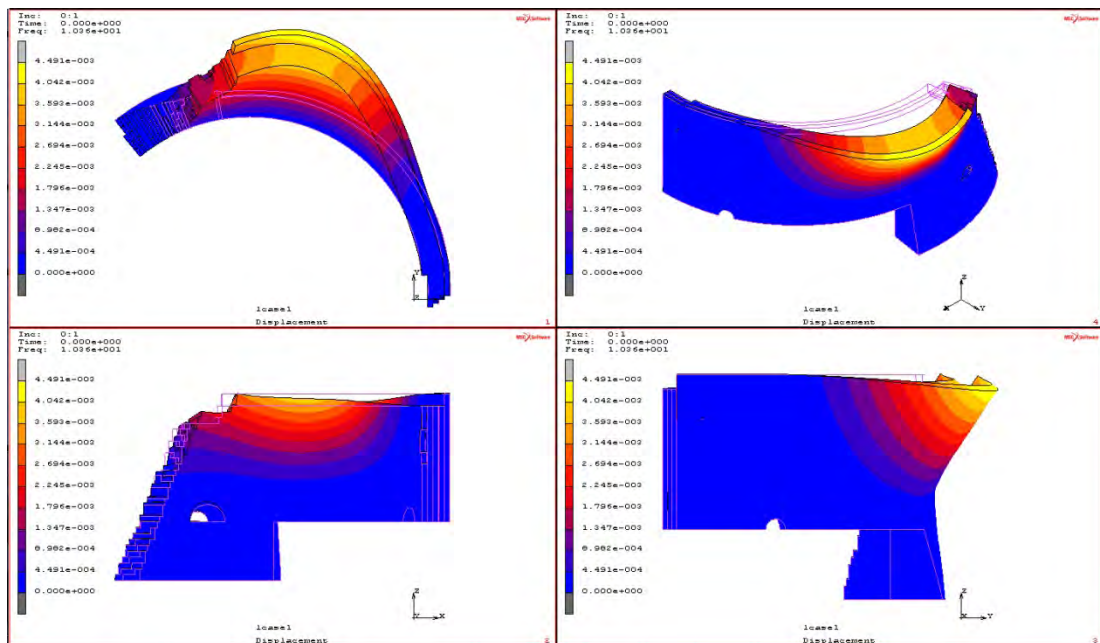




Σχήμα 4.42: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Συχνότητα ταλάντωσης 22.86Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.34mm.

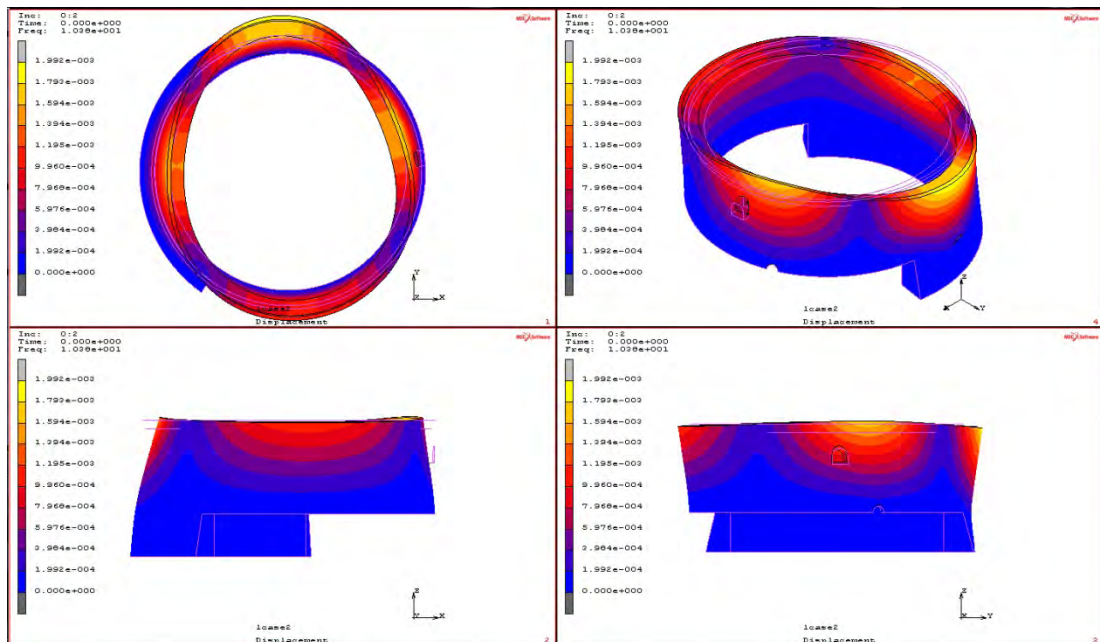


Σχήμα 4.43: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Συχνότητα ταλάντωσης 9.99Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 3.93mm.

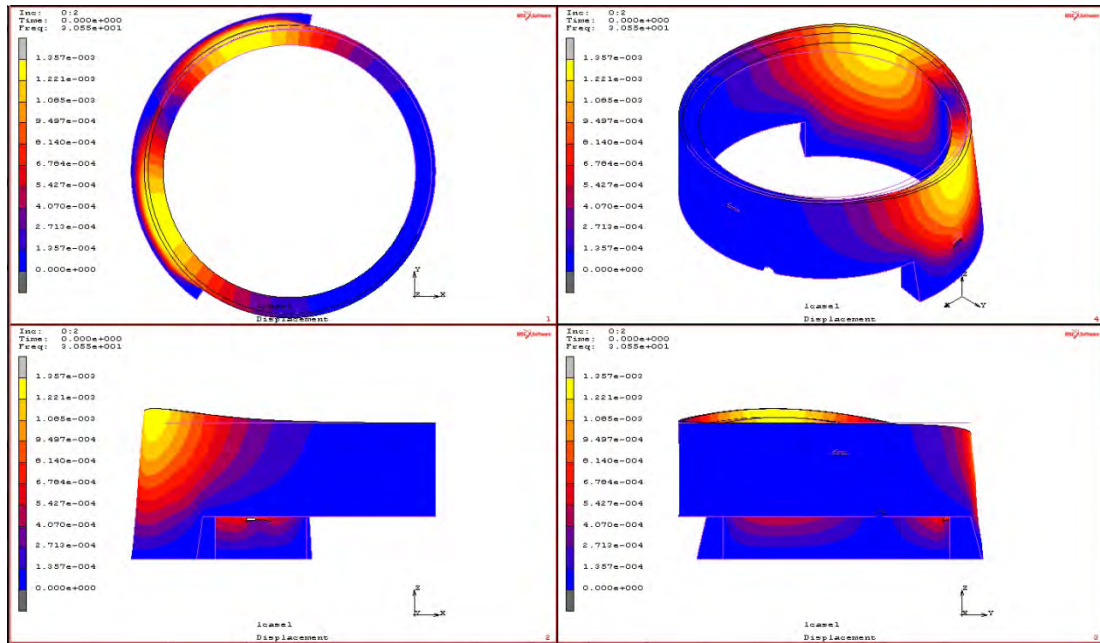


Σχήμα 4.44: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Συχνότητα ταλάντωσης 10.36Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 4.49mm.

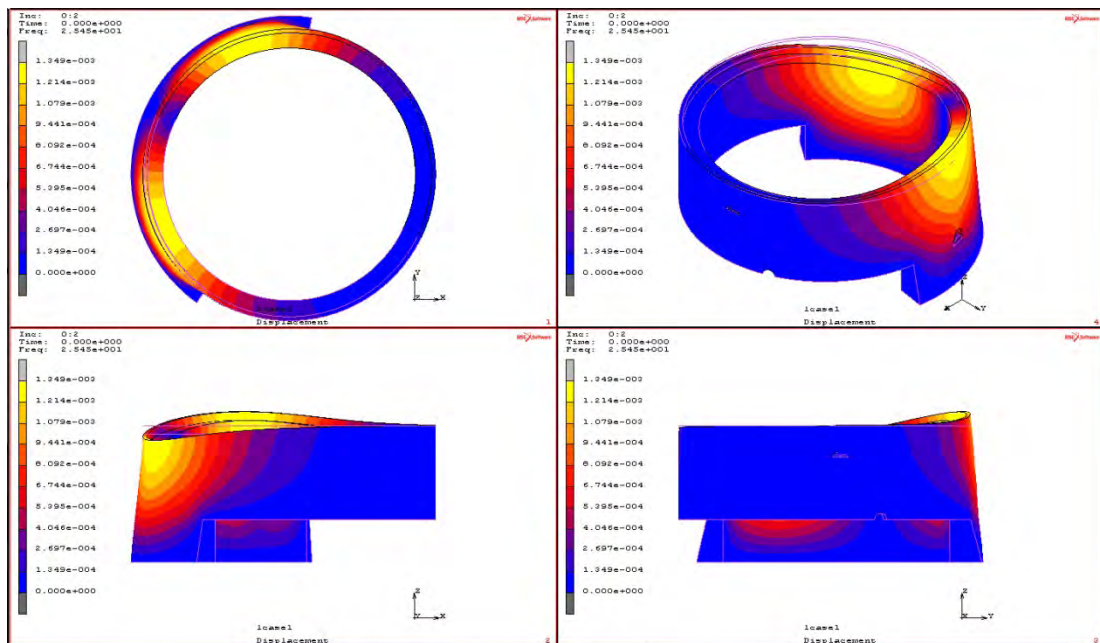
## II. 2<sup>η</sup> Ιδιομορφή



Σχήμα 4.45: Μοντέλο α (1477-1601)  
Συχνότητα ταλάντωσης 10.38Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 2.0mm.

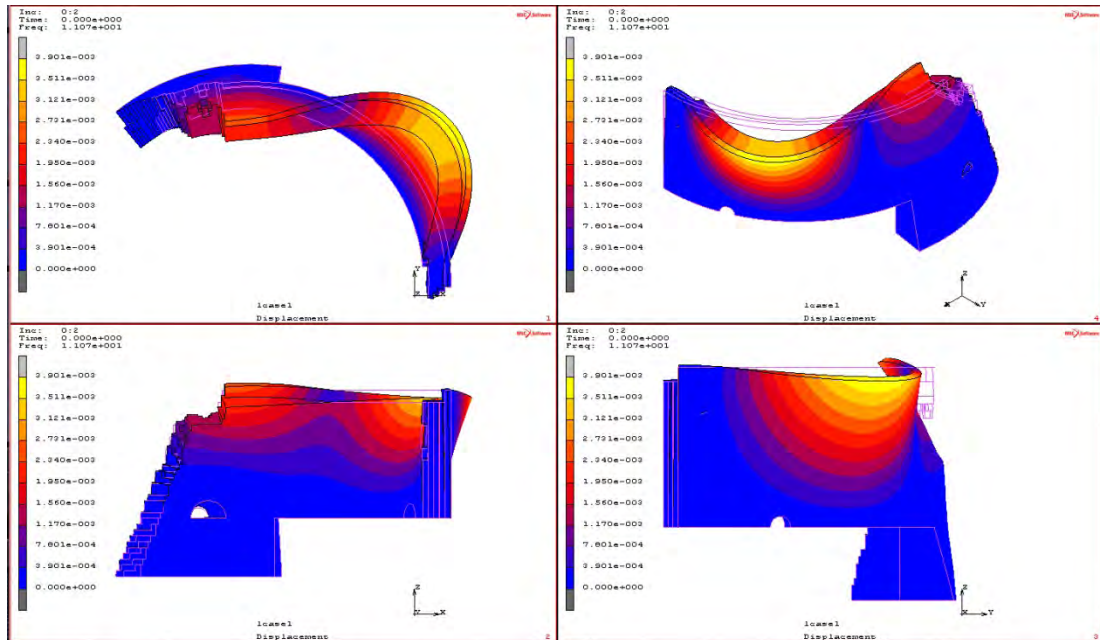


Σχήμα 4.46: Μοντέλο β (1601-1805)  
Συχνότητα ταλάντωσης 30.55Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.35mm.

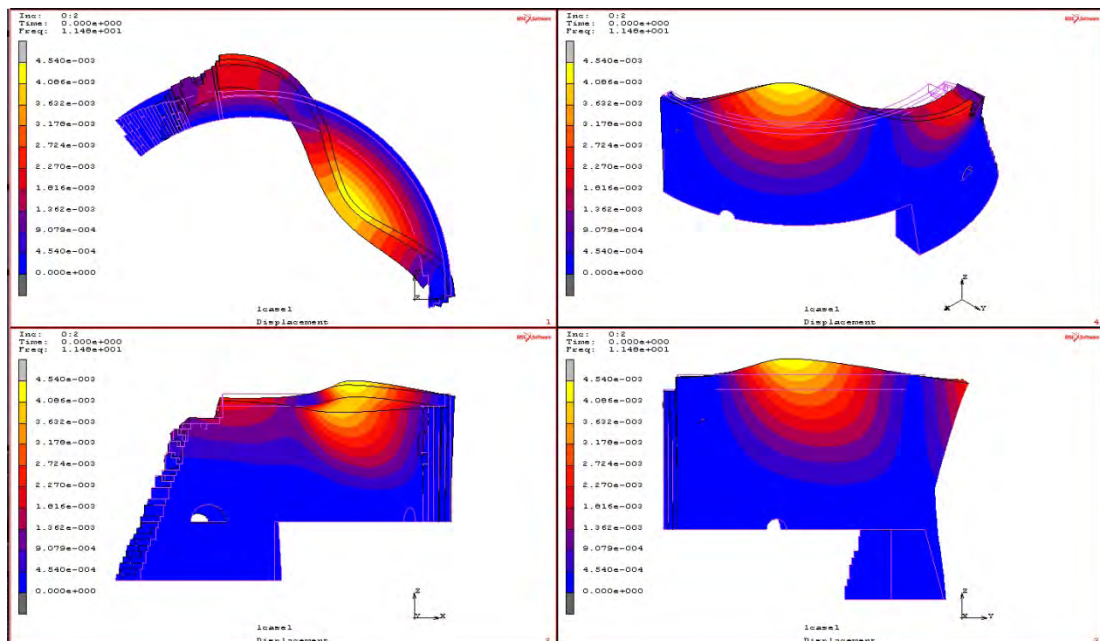


Σχήμα 4.47: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Συχνότητα ταλάντωσης 25.45Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.34mm.





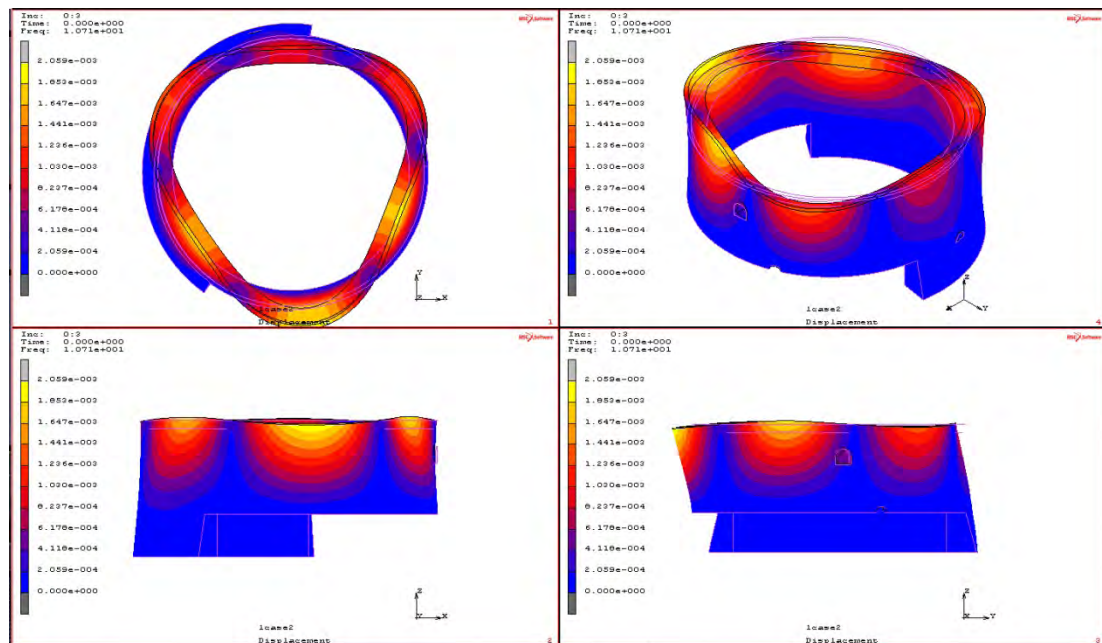
Σχήμα 4.48: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Συχνότητα ταλάντωσης 11.07Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 3.90mm.



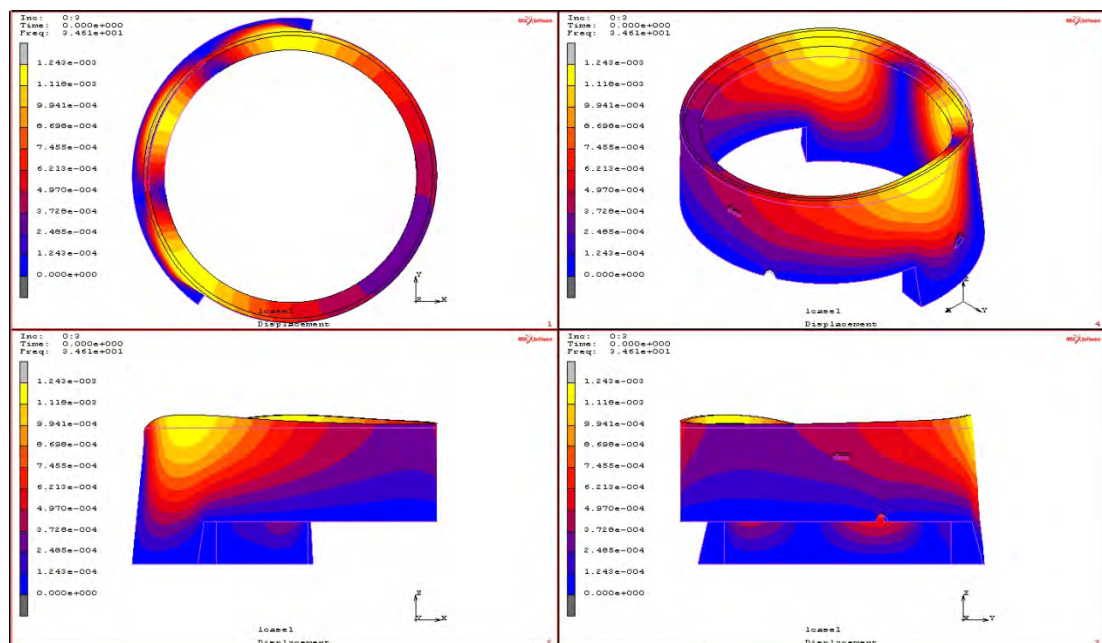
Σχήμα 4.49: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Συχνότητα ταλάντωσης 11.48Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 4.54mm.



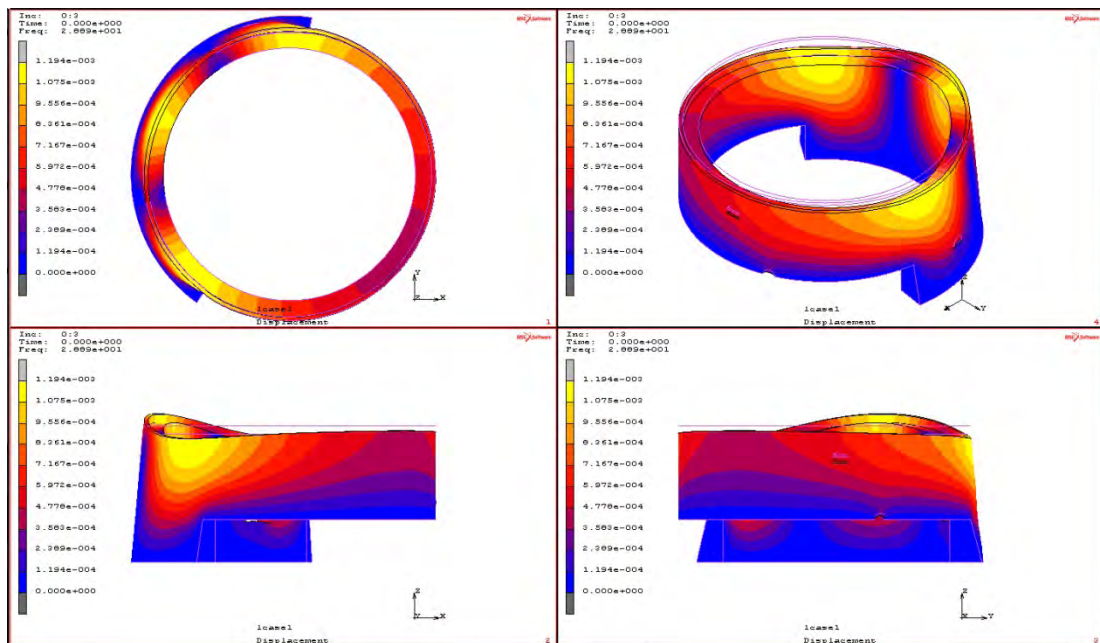
### III. 3<sup>η</sup> Ιδιομορφή



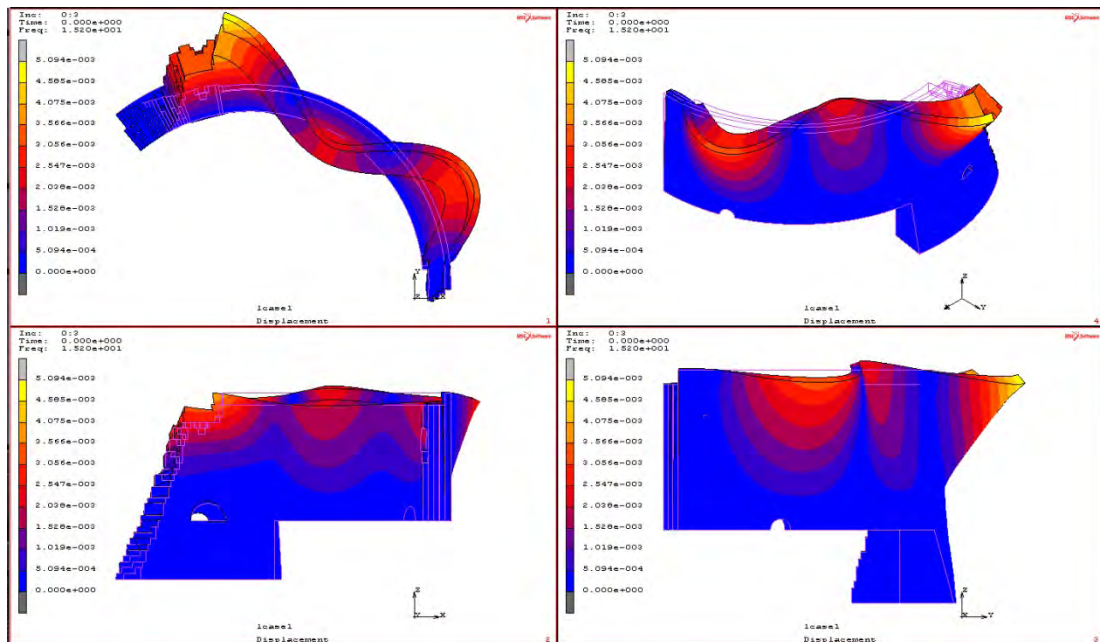
Σχήμα 4.50: Μοντέλο α (1477-1601)  
Συχνότητα ταλάντωσης 10.71Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 2.06mm.



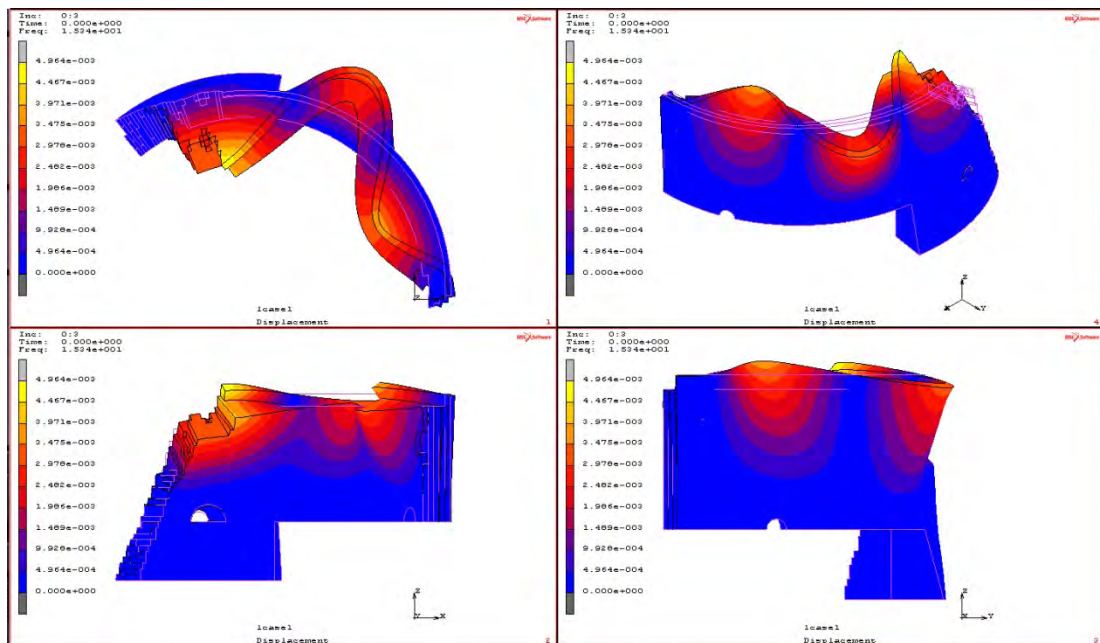
Σχήμα 4.51: Μοντέλο β (1601-1805)  
Συχνότητα ταλάντωσης 34.61Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.24mm.



Σχήμα 4.52: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Συχνότητα ταλάντωσης 28.89Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.19mm.

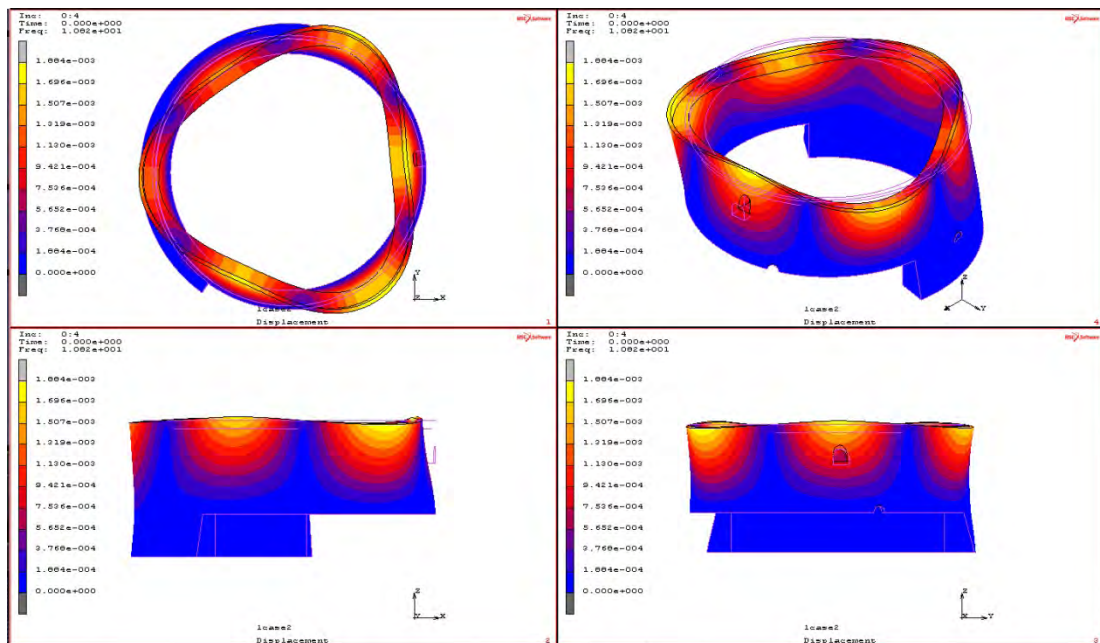


Σχήμα 4.53: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Συχνότητα ταλάντωσης 15.2Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 5.09mm.



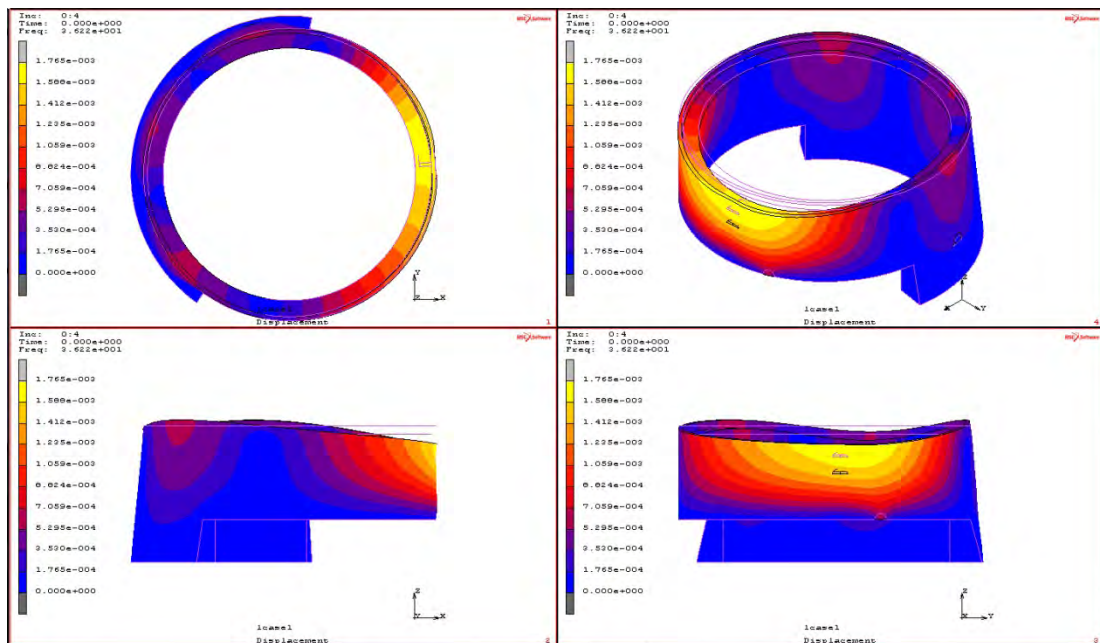
Σχήμα 4.54: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Συχνότητα ταλάντωσης 15.34Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 4.96mm.

#### IV. 4<sup>η</sup> Ιδιομορφή

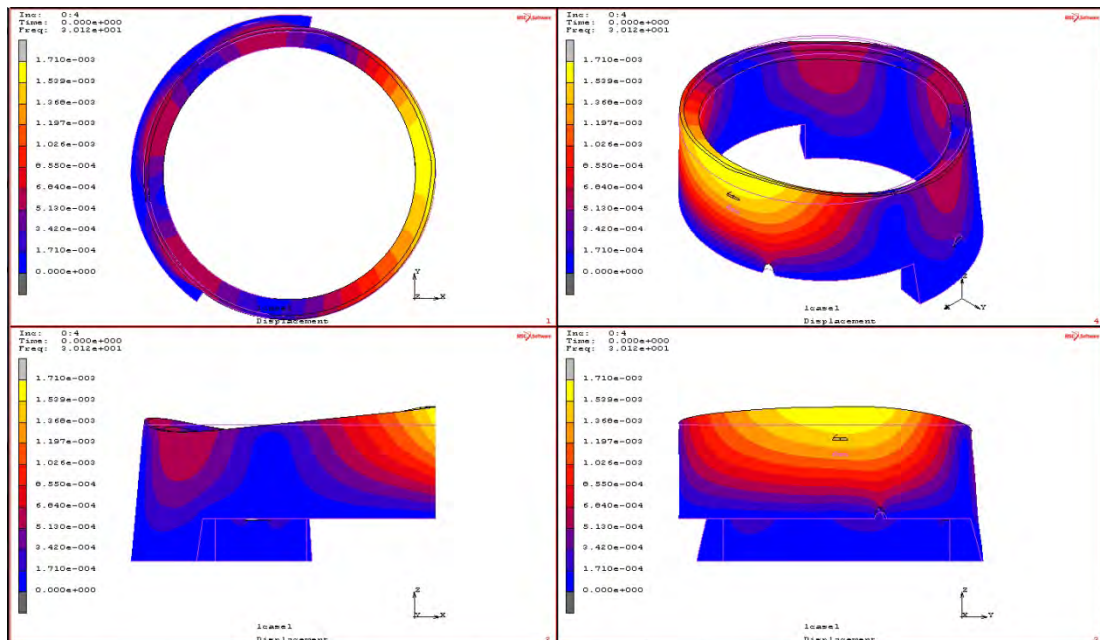


Σχήμα 4.55: Μοντέλο α (1477-1601)  
Συχνότητα ταλάντωσης 10.82Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.88mm.



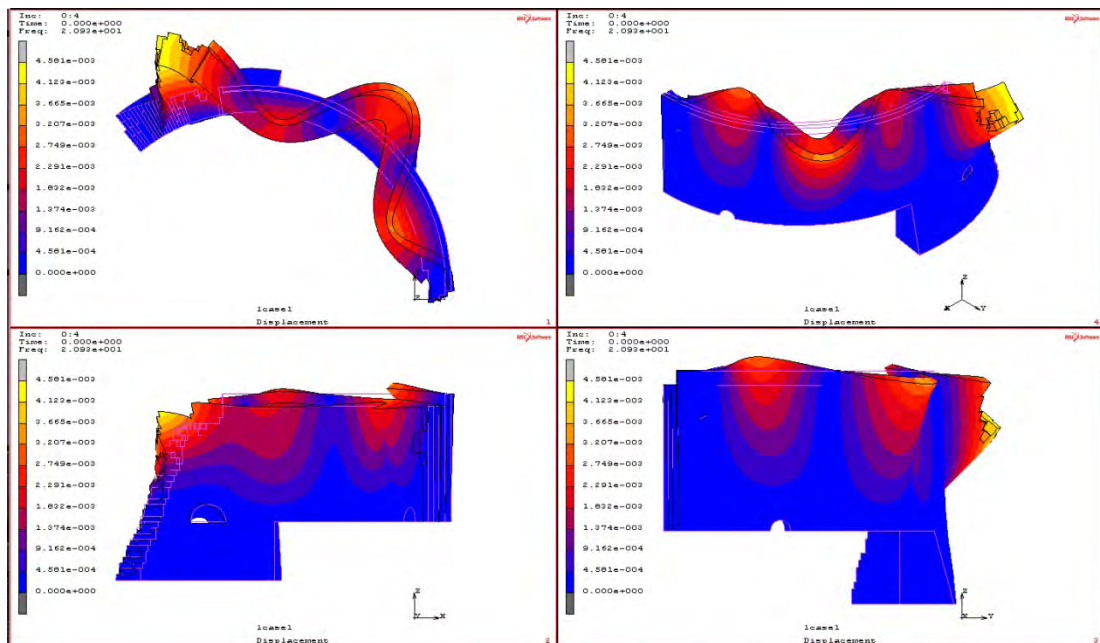


Σχήμα 4.56: Μοντέλο β (1601-1805)  
Συχνότητα ταλάντωσης 36.22Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.76mm.

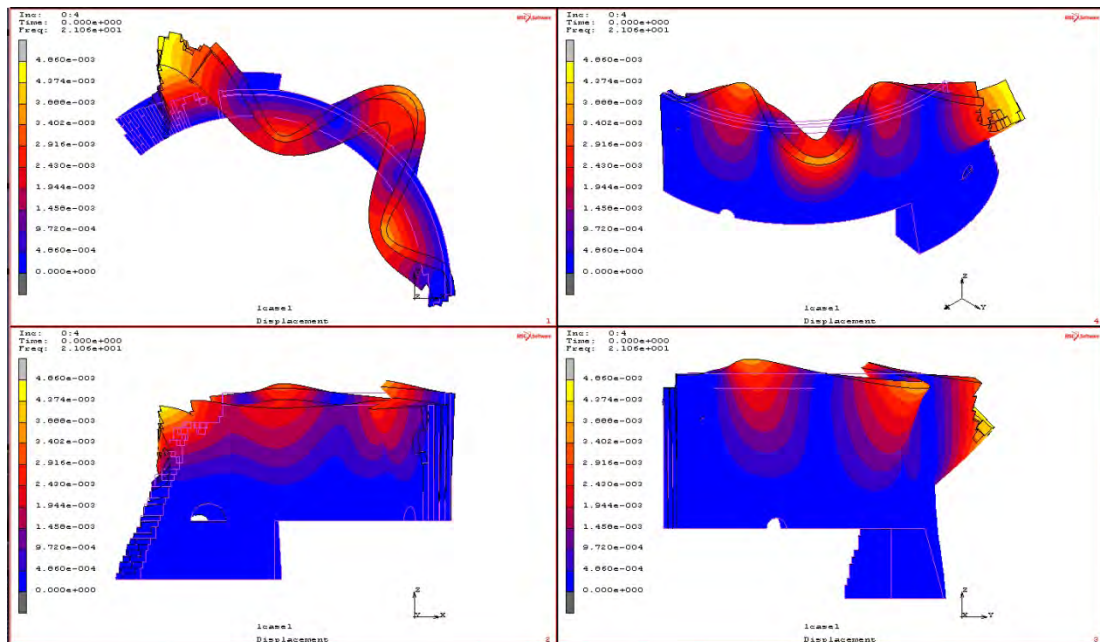


Σχήμα 4.57: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Συχνότητα ταλάντωσης 30.12Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.7mm.



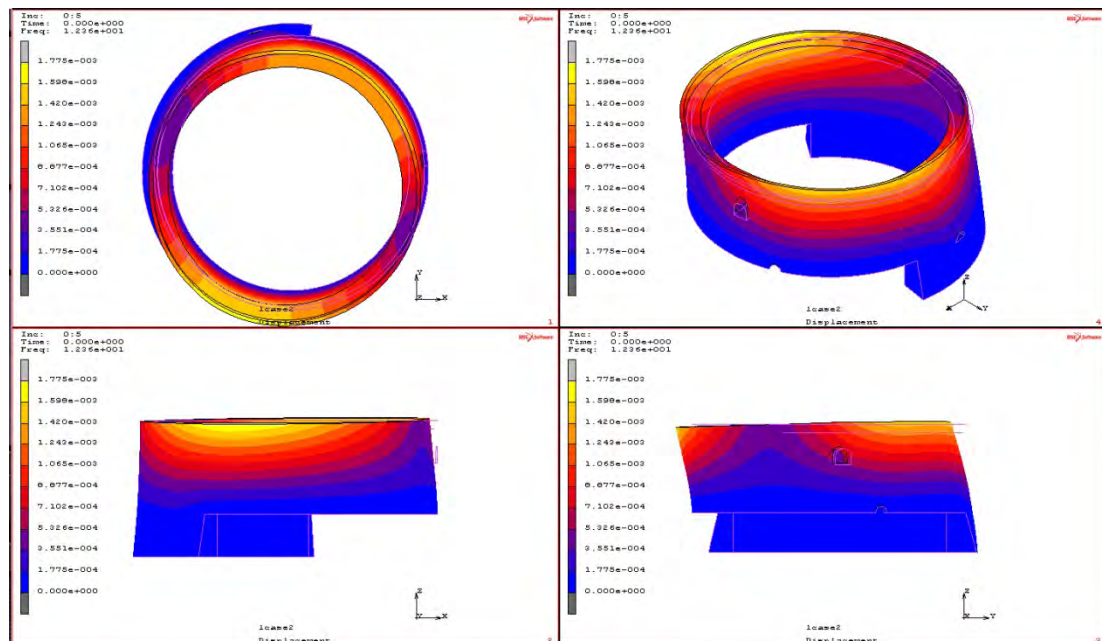


Σχήμα 4.58: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Συχνότητα ταλάντωσης 20.93Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 4.58mm.

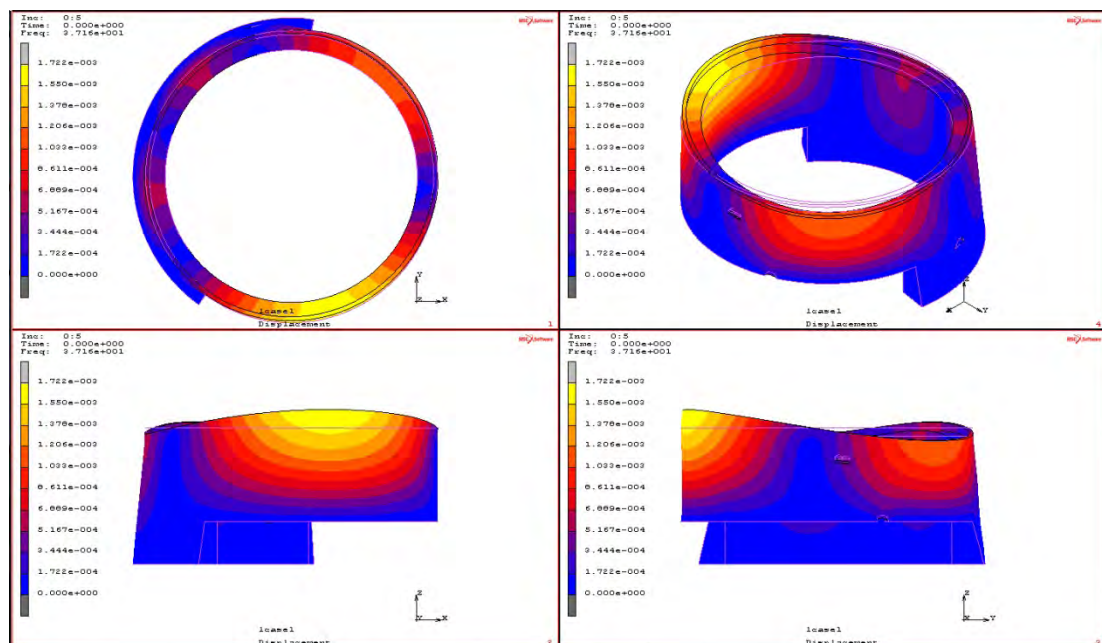


Σχήμα 4.59: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Συχνότητα ταλάντωσης 21.06Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 4.56mm.

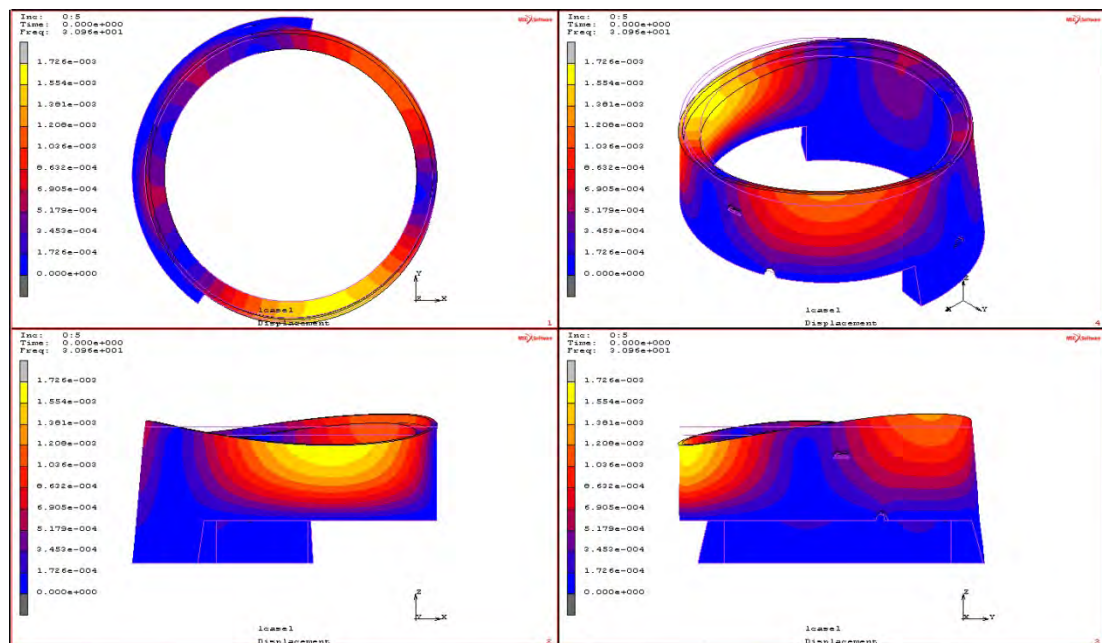
## V. 5η ιδιομορφή



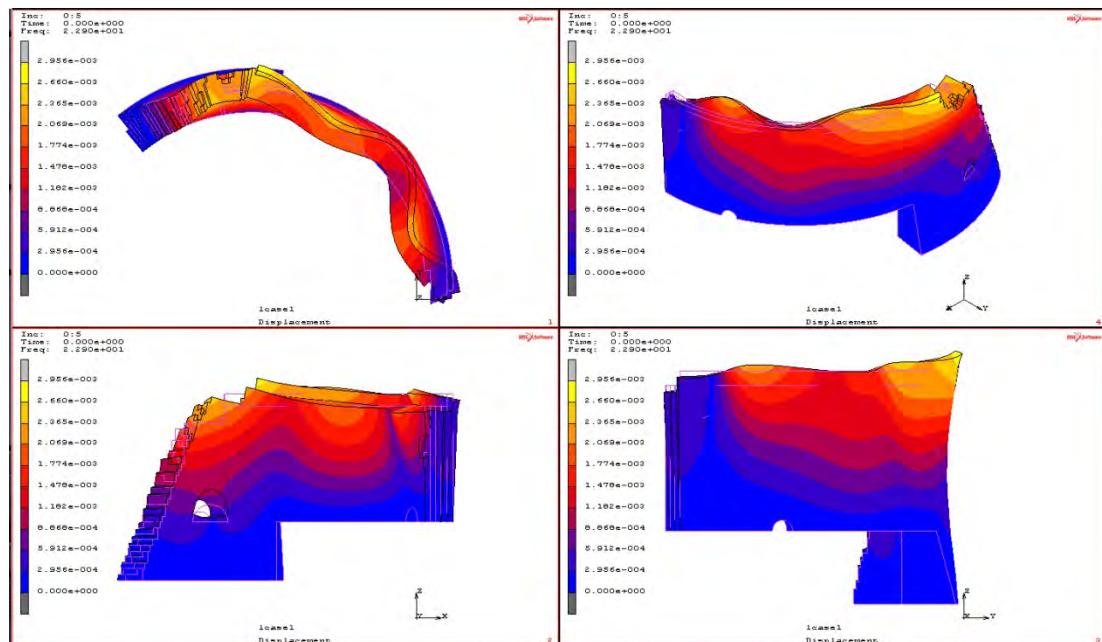
Σχήμα 4.60: Μοντέλο α (1477-1601)  
Συχνότητα ταλάντωσης 12.23Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.77mm.



Σχήμα 4.61: Μοντέλο β (1601-1805)  
Συχνότητα ταλάντωσης 37.16Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.72mm.

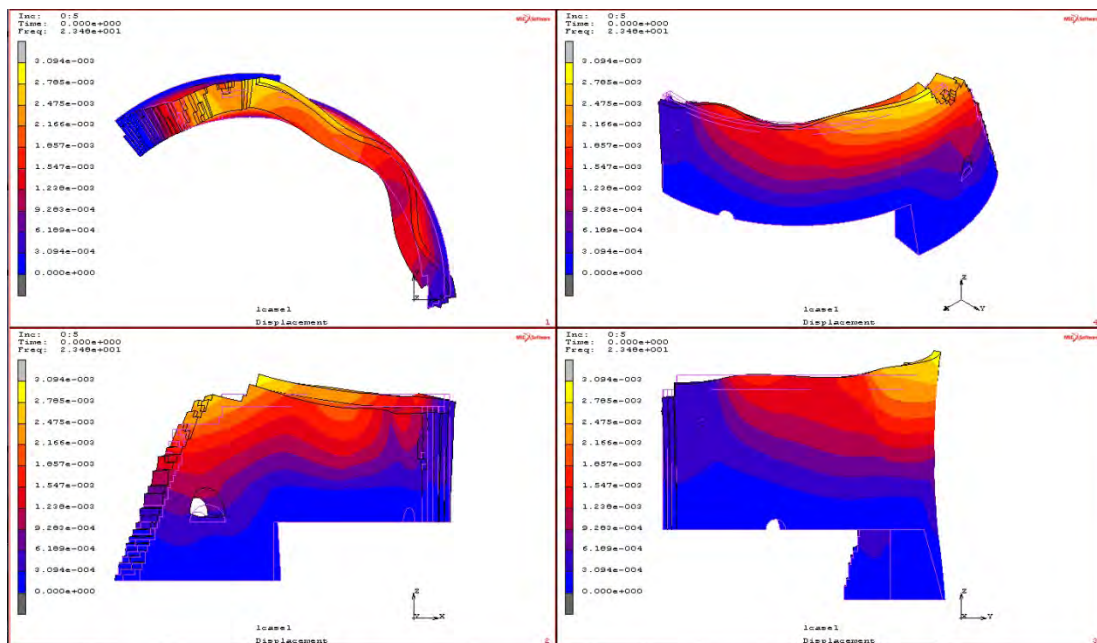


Σχήμα 4.62: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Συχνότητα ταλάντωσης 30.96Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.72mm.



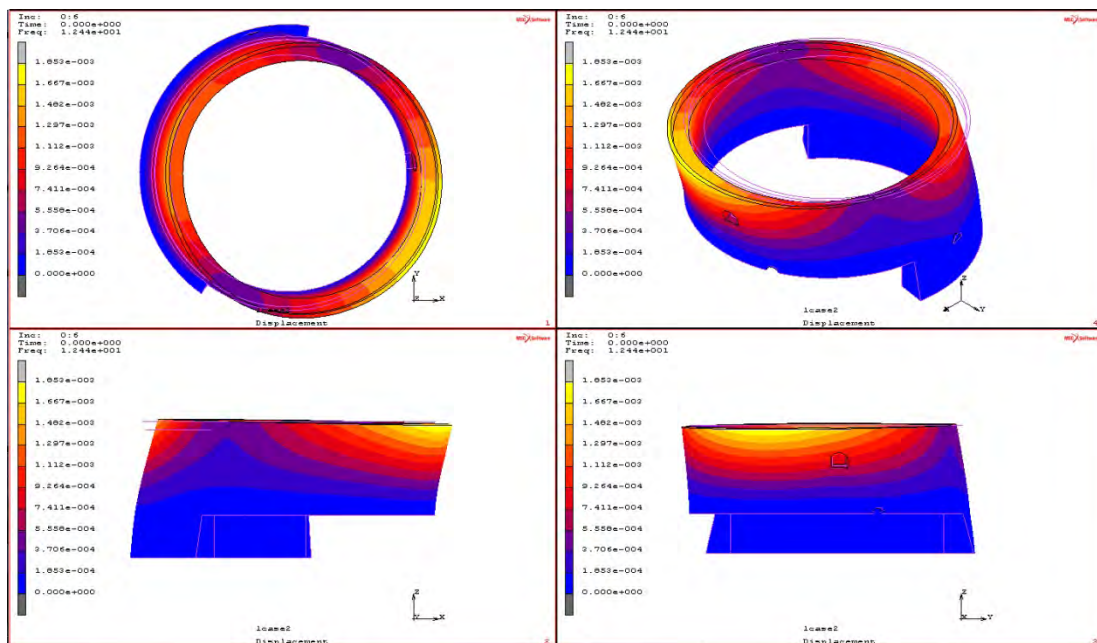
Σχήμα 4.63: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Συχνότητα ταλάντωσης 22.90Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 2.95mm.





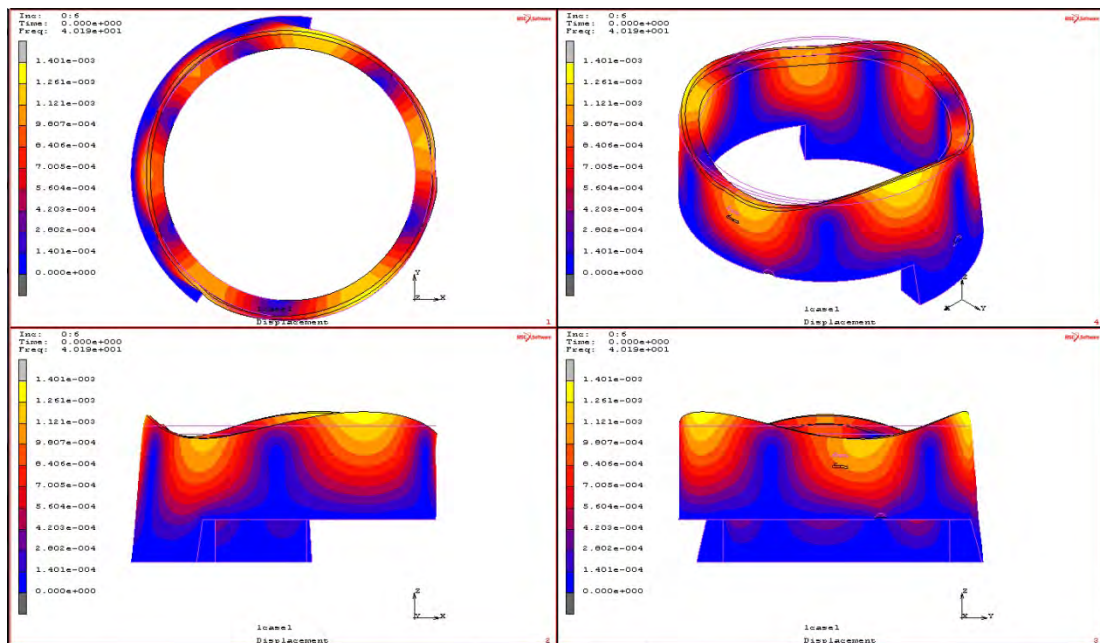
Σχήμα 4.64: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Συχνότητα ταλάντωσης 23.48Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 3.09mm.

## VI. 6<sup>η</sup> Ιδιομορφή

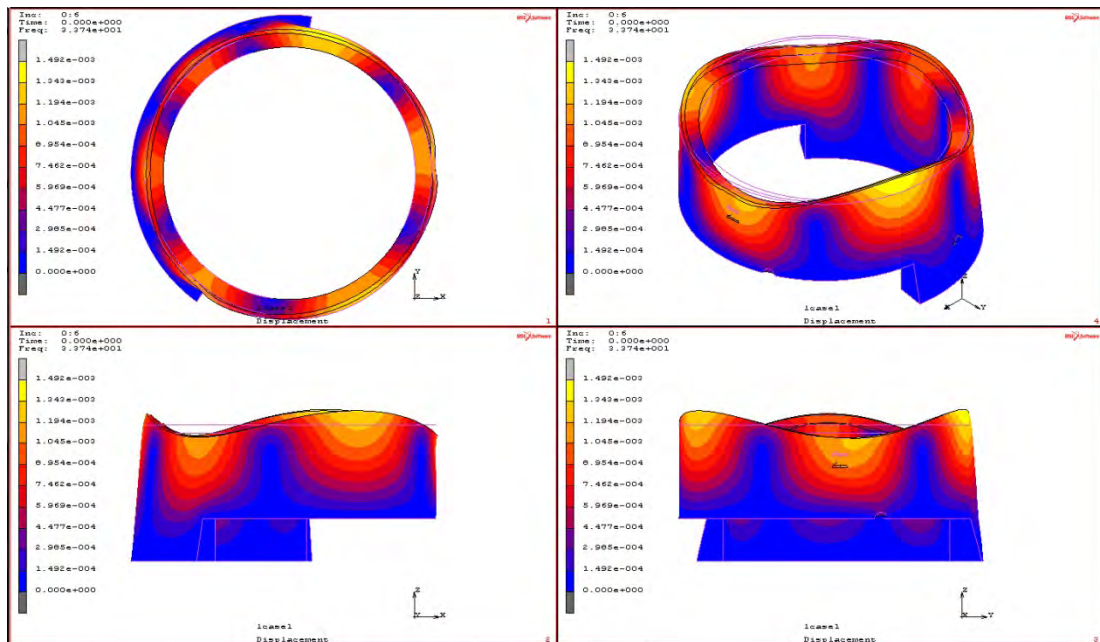


Σχήμα 4.65: Μοντέλο α (1477-1601)  
Συχνότητα ταλάντωσης 12.44Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.85mm.

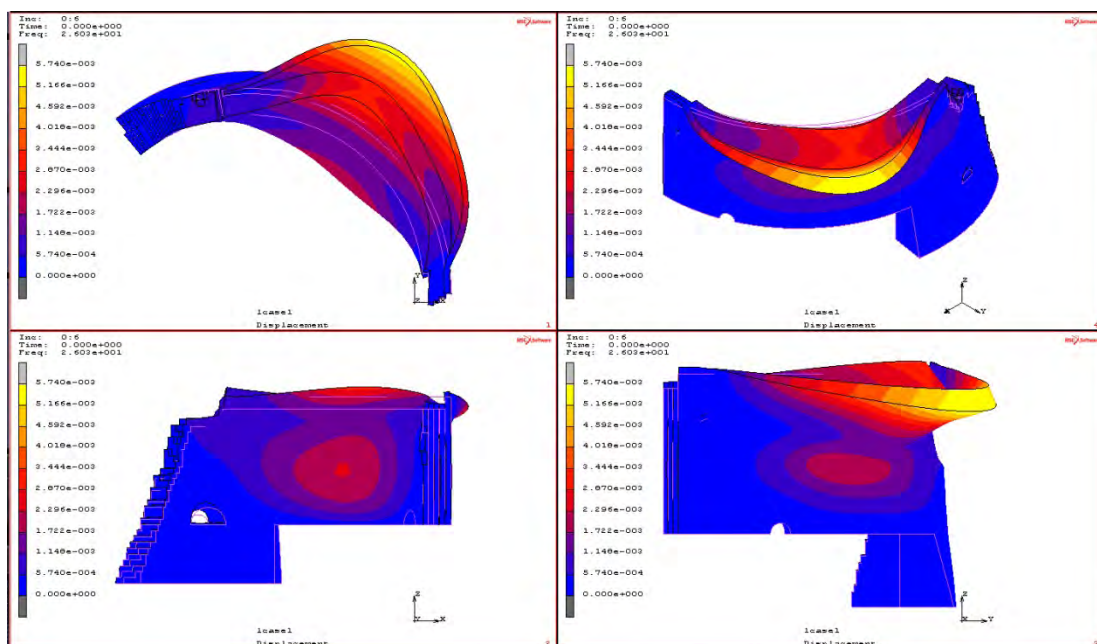




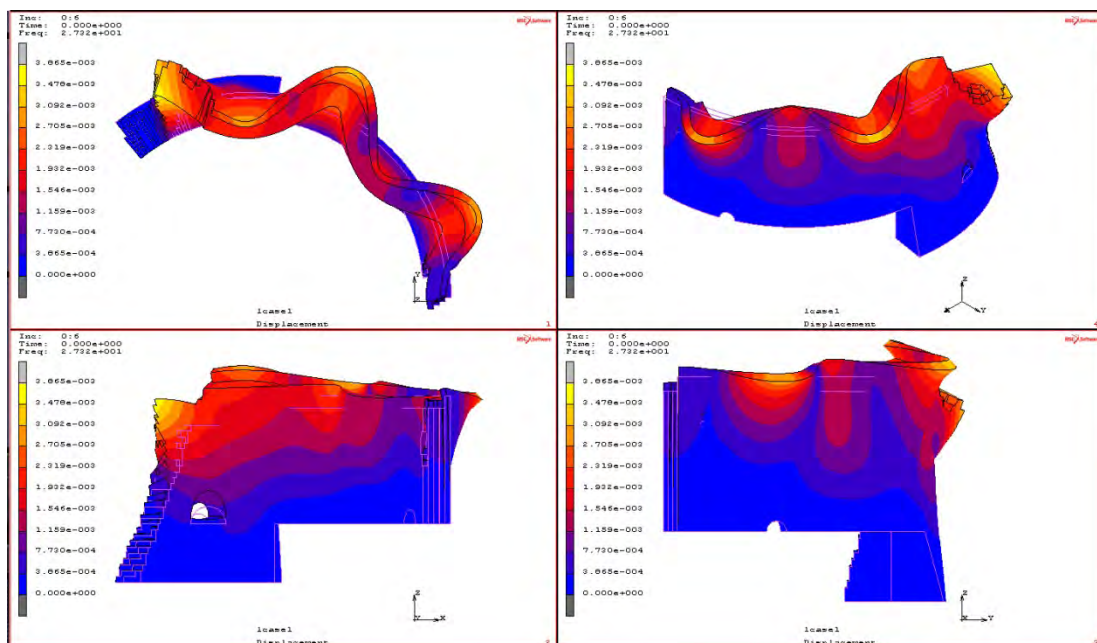
Σχήμα 4.66: Μοντέλο β (1601-1805)  
Συχνότητα ταλάντωσης 40.19Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.4mm.



Σχήμα 4.67: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Συχνότητα ταλάντωσης 33.74Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.49mm.

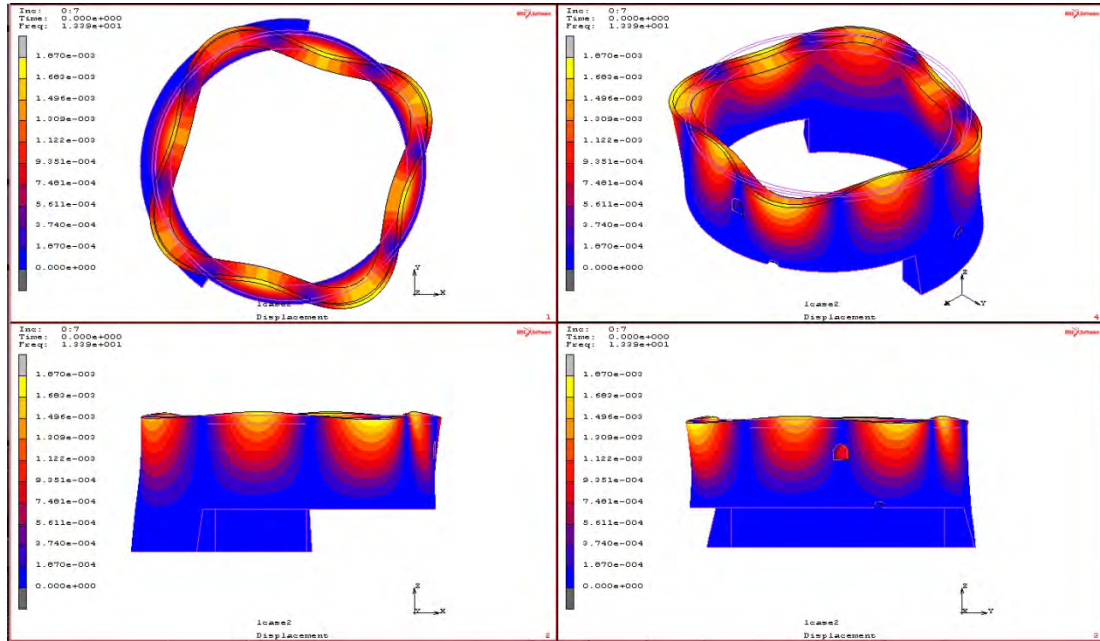


Σχήμα 4.68: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Συχνότητα ταλάντωσης 26.03Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 5.74mm.

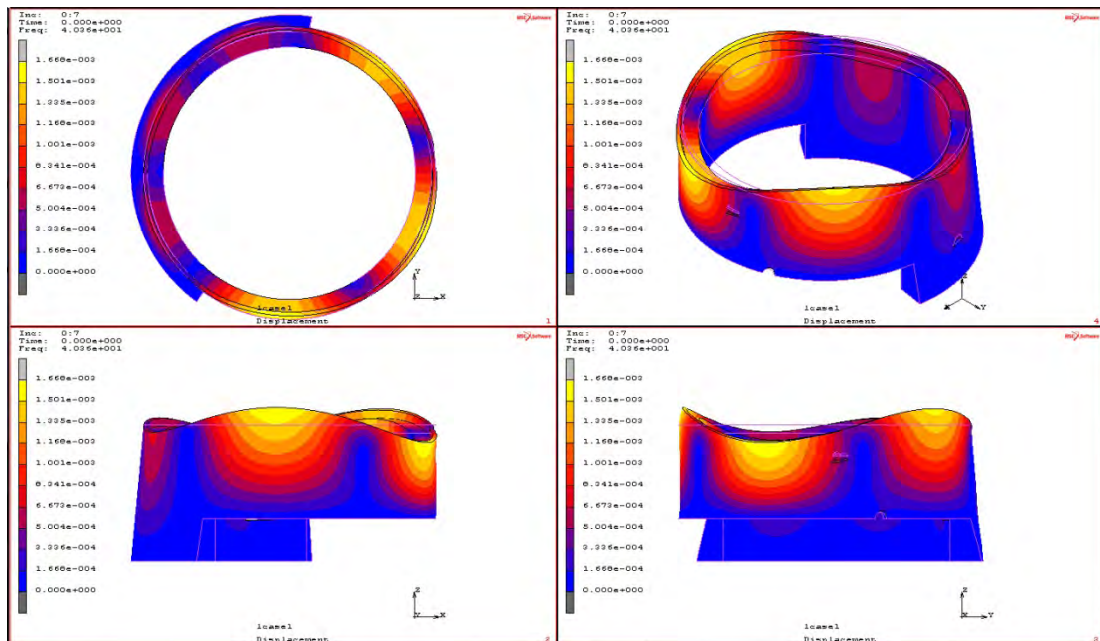


Σχήμα 4.69: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Συχνότητα ταλάντωσης 27.32Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 3.86mm.

## VII. 7<sup>η</sup> Ιδιομορφή

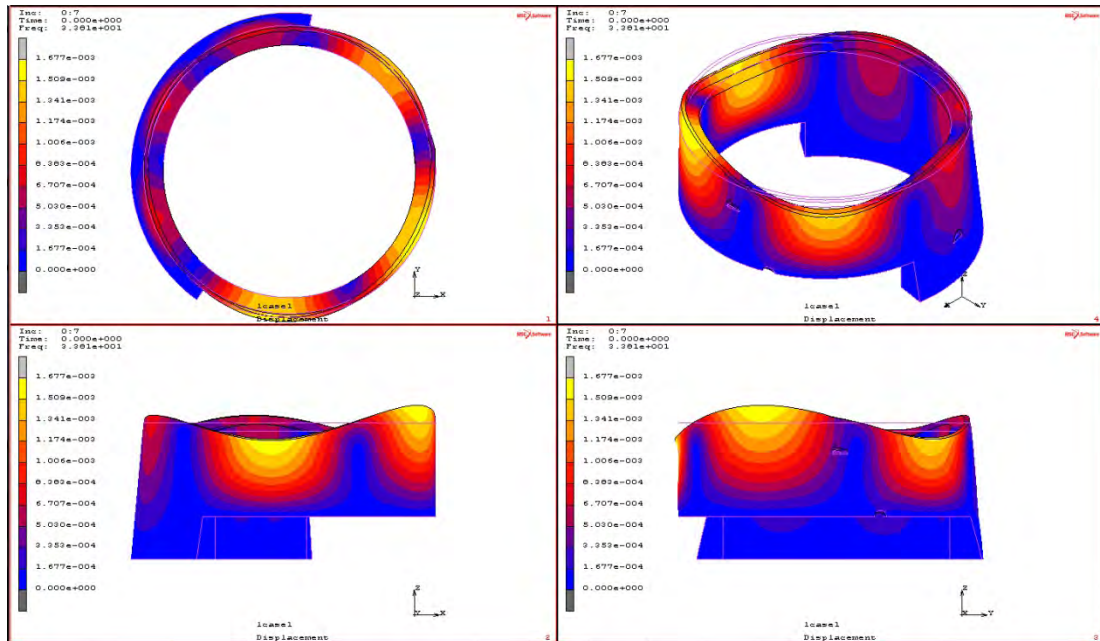


Σχήμα 4.70: Μοντέλο α (1477-1601)  
Συχνότητα ταλάντωσης 13.39Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.87mm.

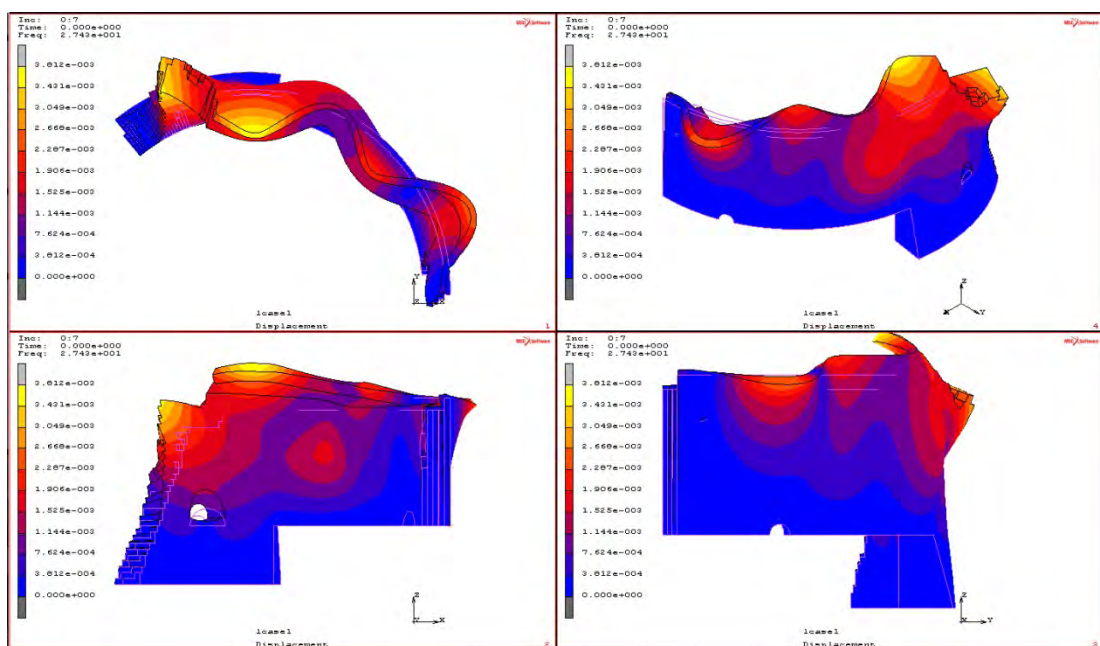


Σχήμα 4.71: Μοντέλο β (1601-1805)  
Συχνότητα ταλάντωσης 40.36Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.66mm.



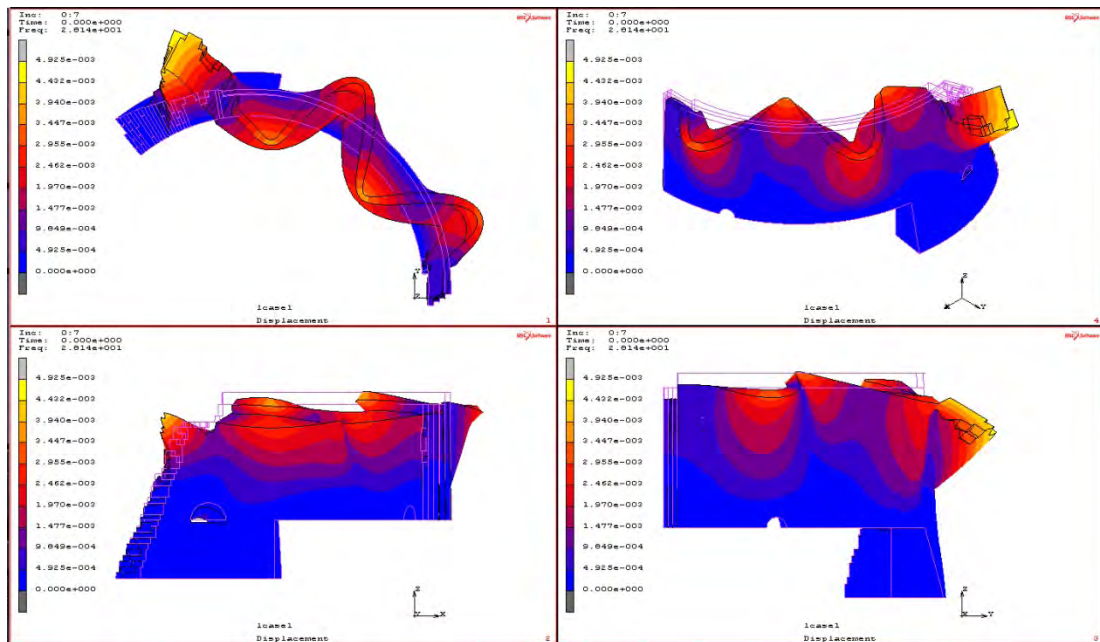


Σχήμα 4.72: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Συχνότητα ταλάντωσης 33.81Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.67mm.



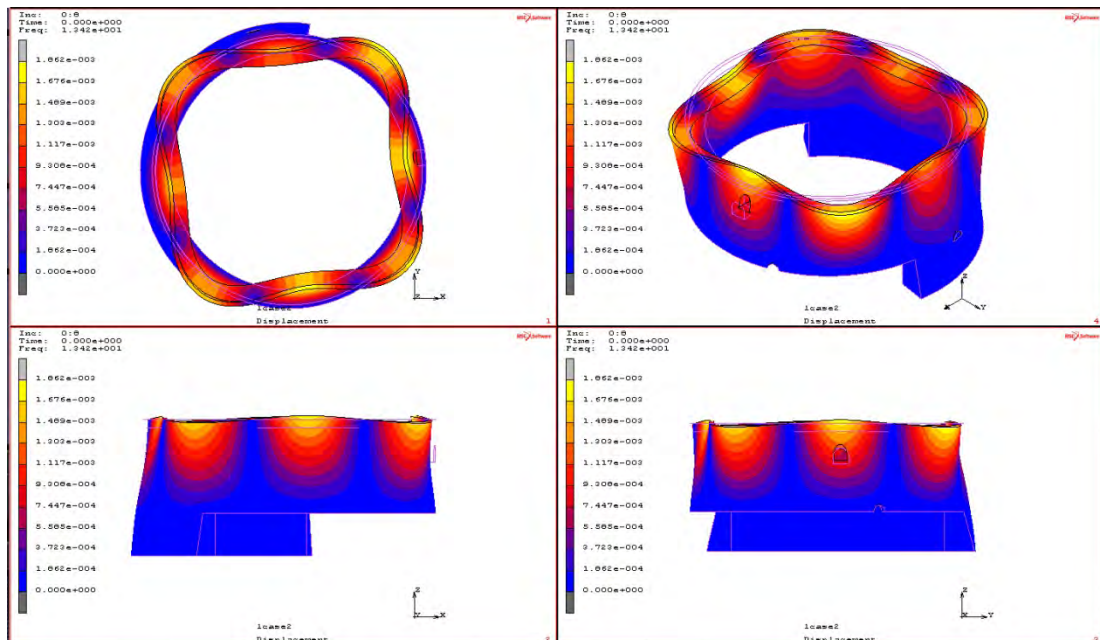
Σχήμα 4.73: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Συχνότητα ταλάντωσης 27.43Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 3.81mm.



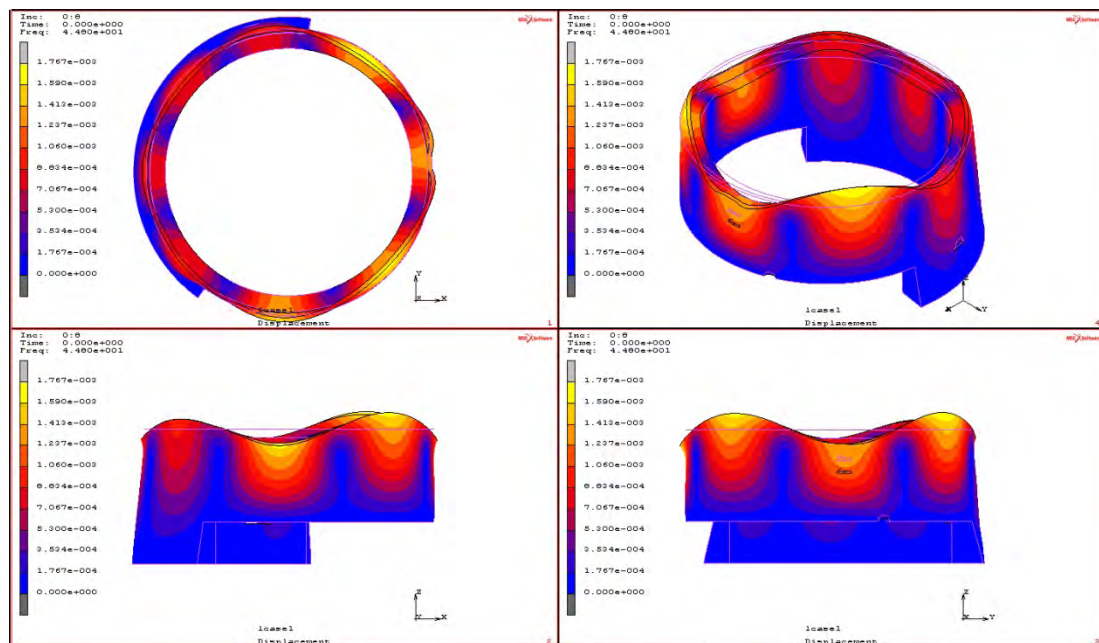


Σχήμα 4.74: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Συχνότητα ταλάντωσης 28.14Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 4.92mm.

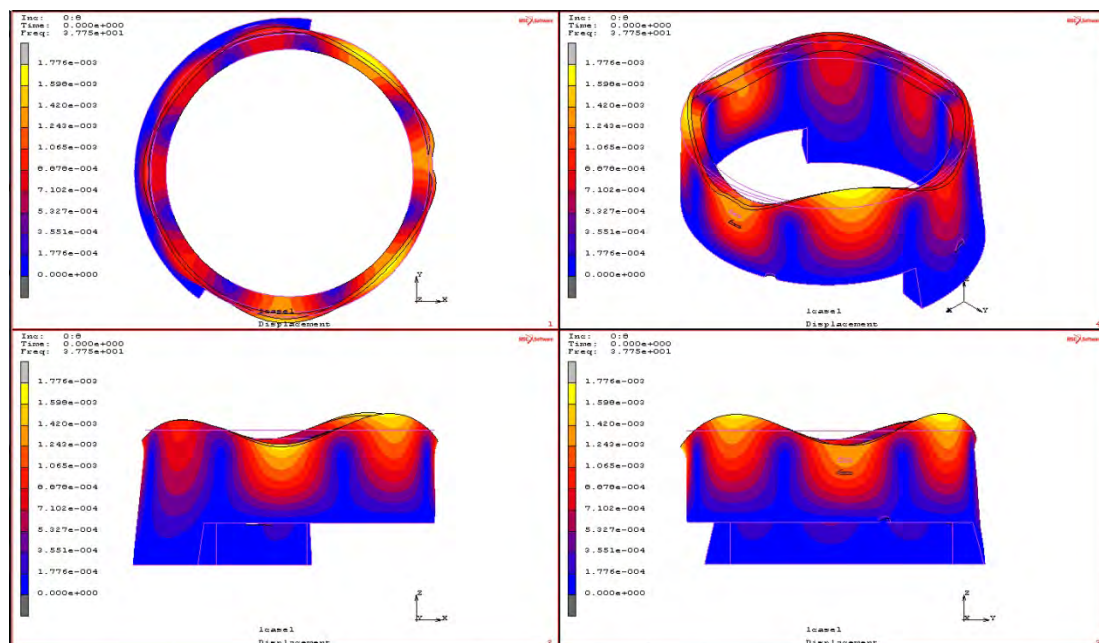
## VIII. 8η Ιδιομορφή



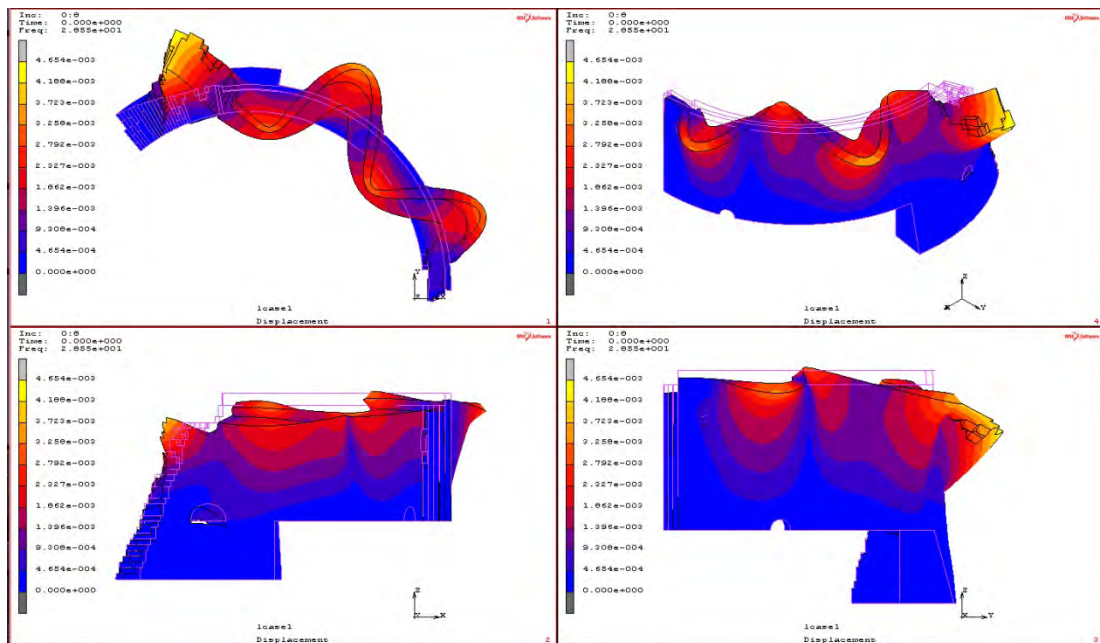
Σχήμα 4.75: Μοντέλο α (1477-1601)  
Συχνότητα ταλάντωσης 13.42Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.86mm.



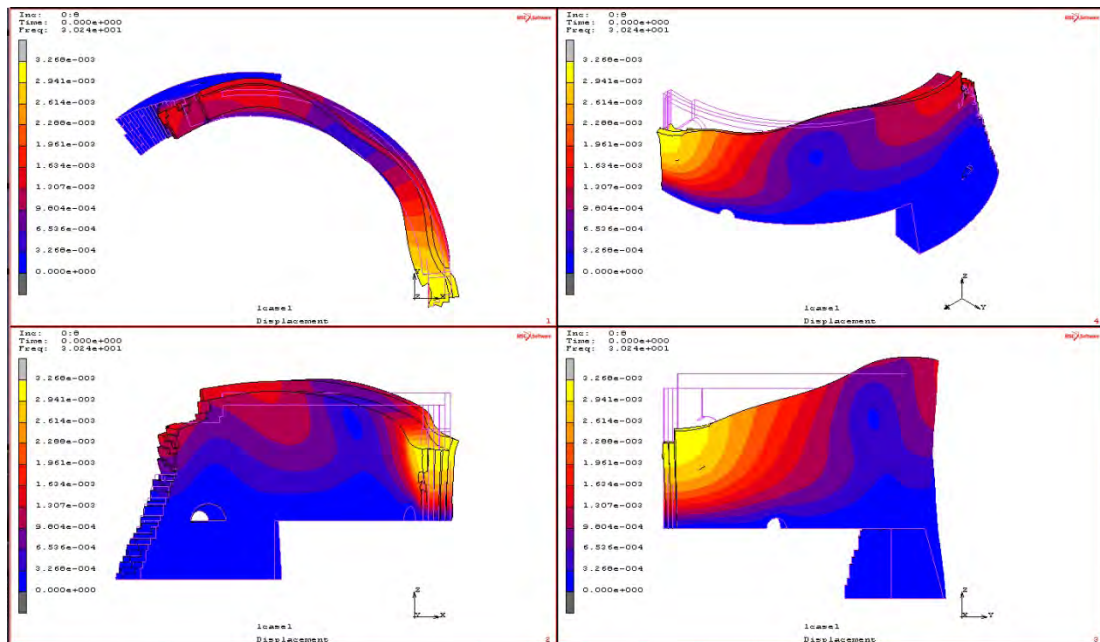
Σχήμα 4.76: Μοντέλο β (1601-1805)  
Συχνότητα ταλάντωσης 44.8Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.76mm.



Σχήμα 4.77: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Συχνότητα ταλάντωσης 37.75Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.77mm.



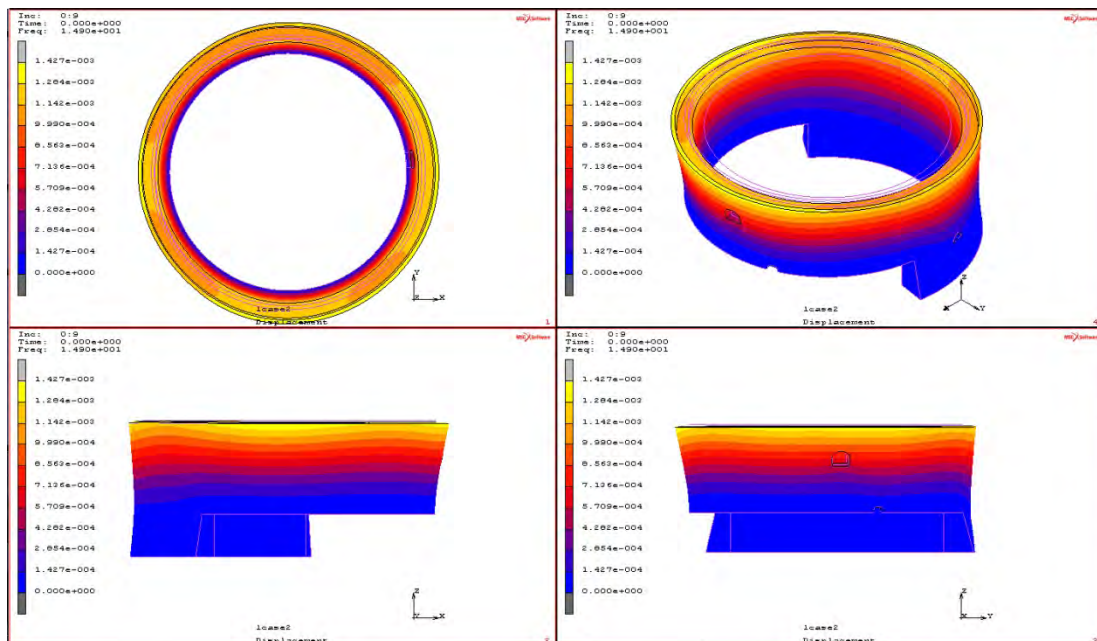
Σχήμα 4.78: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Συχνότητα ταλάντωσης 28.55Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 4.65mm.



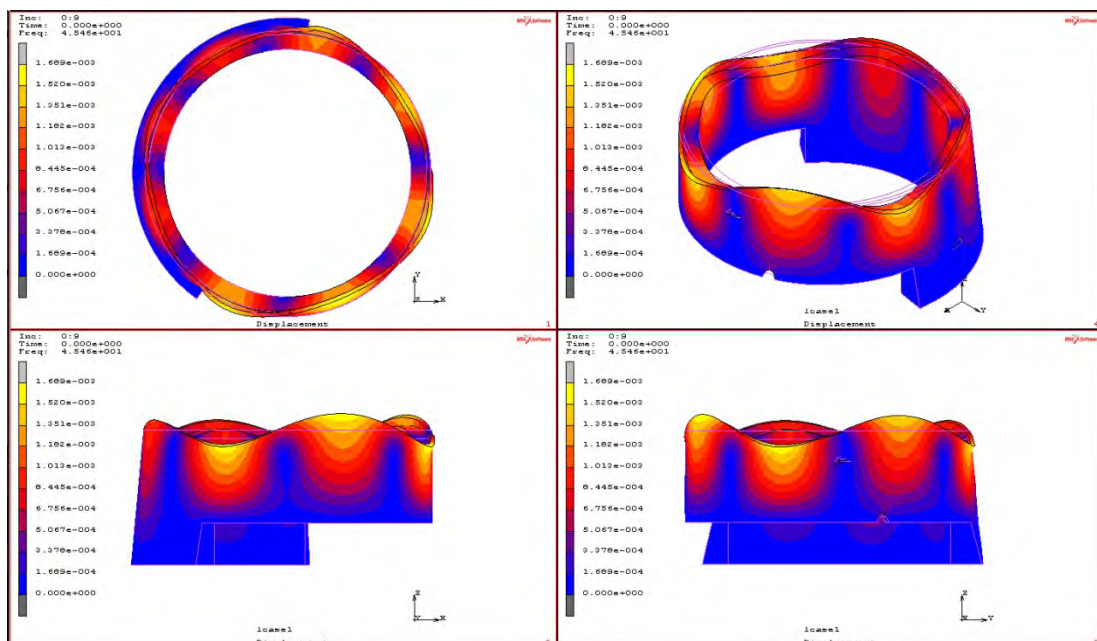
Σχήμα 4.79: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Συχνότητα ταλάντωσης 30.24Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 3.27mm.



## IX. 9η Ιδιομορφή

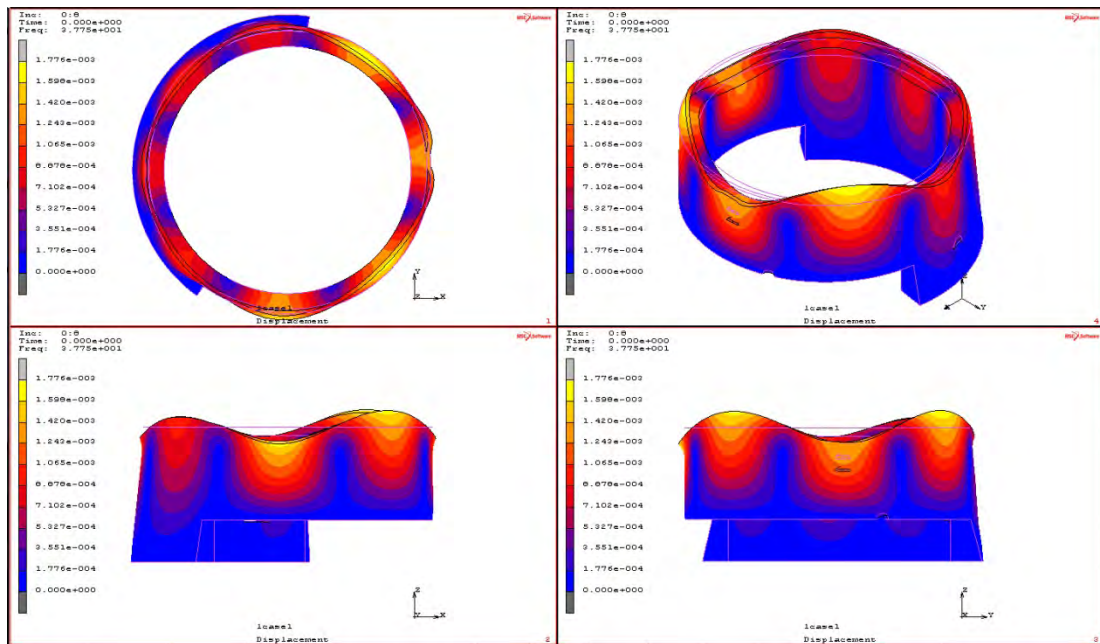


Σχήμα 4.80: Μοντέλο α (1477-1601)  
Συχνότητα ταλάντωσης 14.9Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 2.42mm.

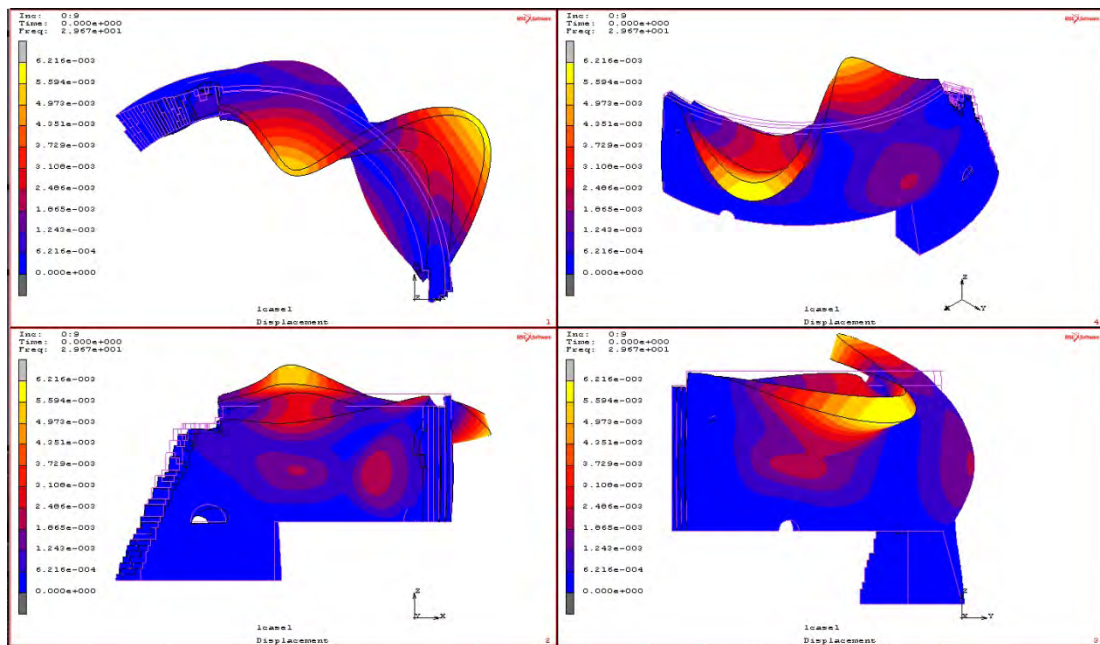


Σχήμα 4.81: Μοντέλο β (1601-1805)  
Συχνότητα ταλάντωσης 45.46Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.69mm.

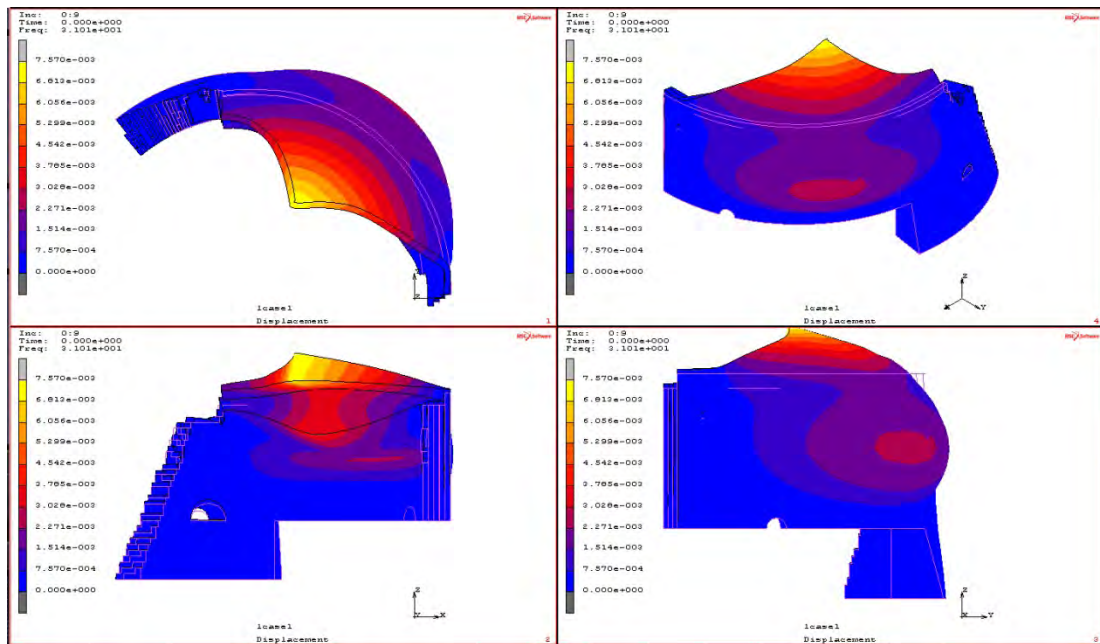




Σχήμα 4.82: Μοντέλο γ (1805-1899)  
Συχνότητα ταλάντωσης 38.32Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.71mm.

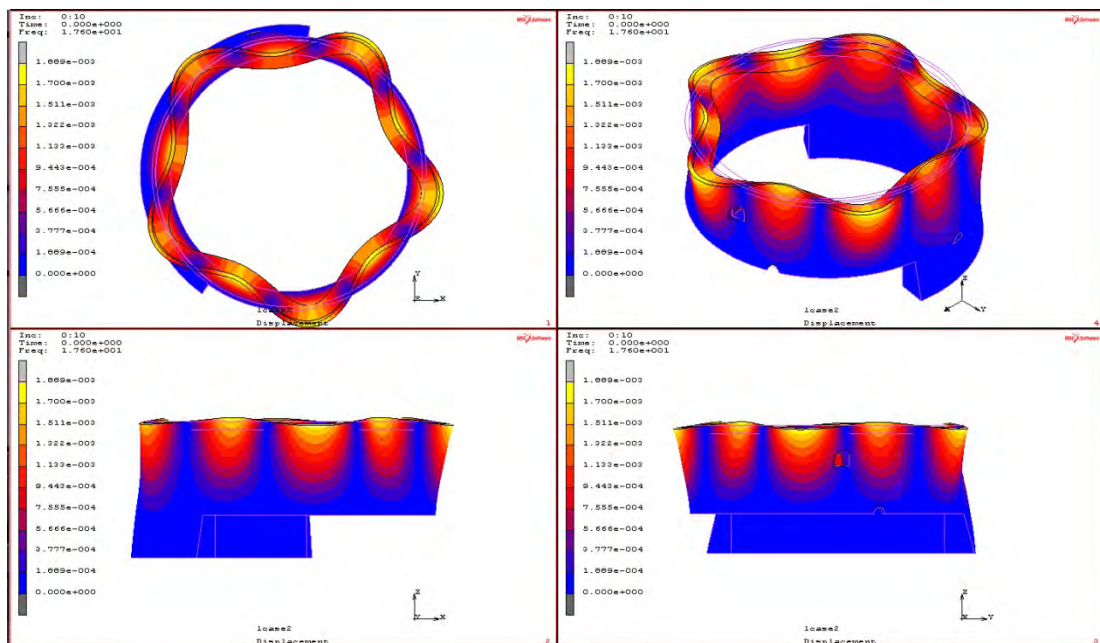


Σχήμα 4.83: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Συχνότητα ταλάντωσης 29.67Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 6.21mm.

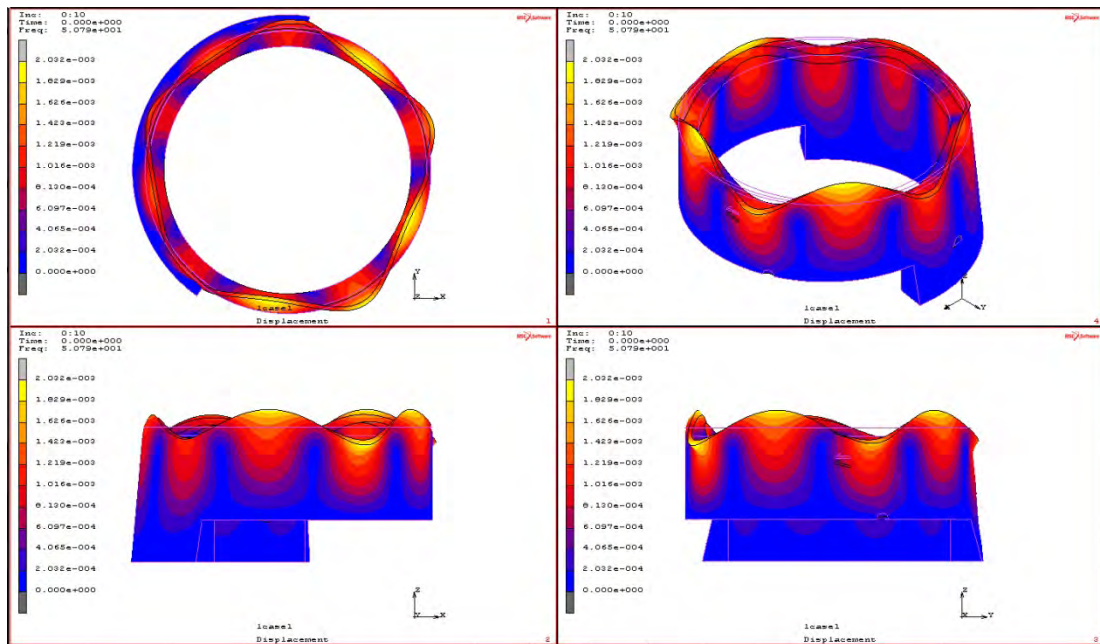


Σχήμα 4.84: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Συχνότητα ταλάντωσης 31.01Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 7.56mm.

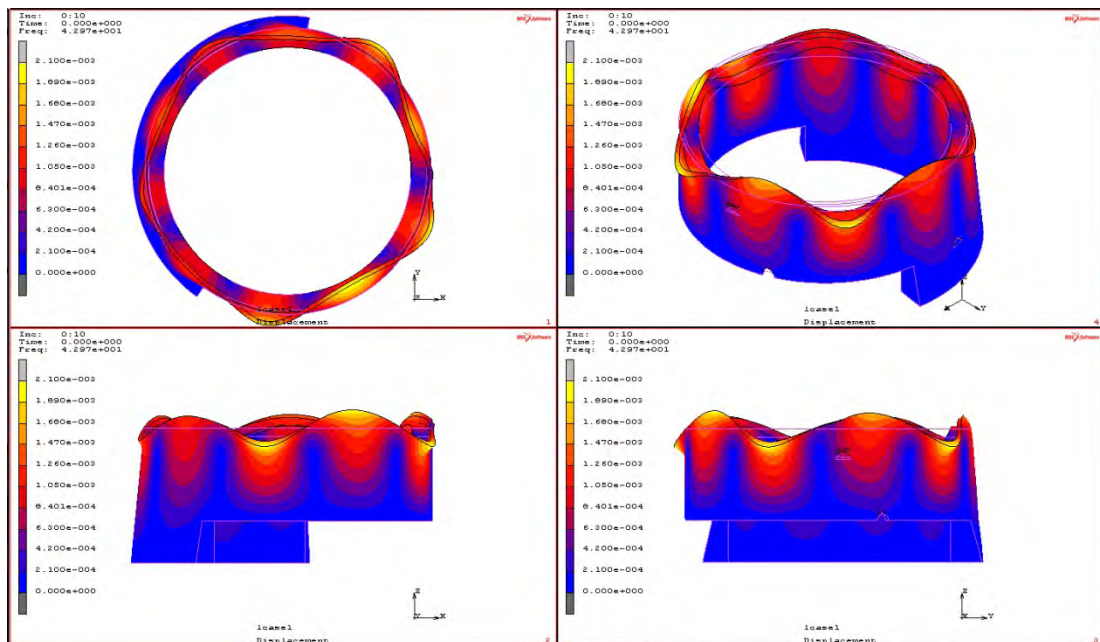
## Χ. 10<sup>η</sup> Ιδιομορφή



Σχήμα 4.85: Μοντέλο α (1477-1601)  
Συχνότητα ταλάντωσης 17.6Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 1.88mm.

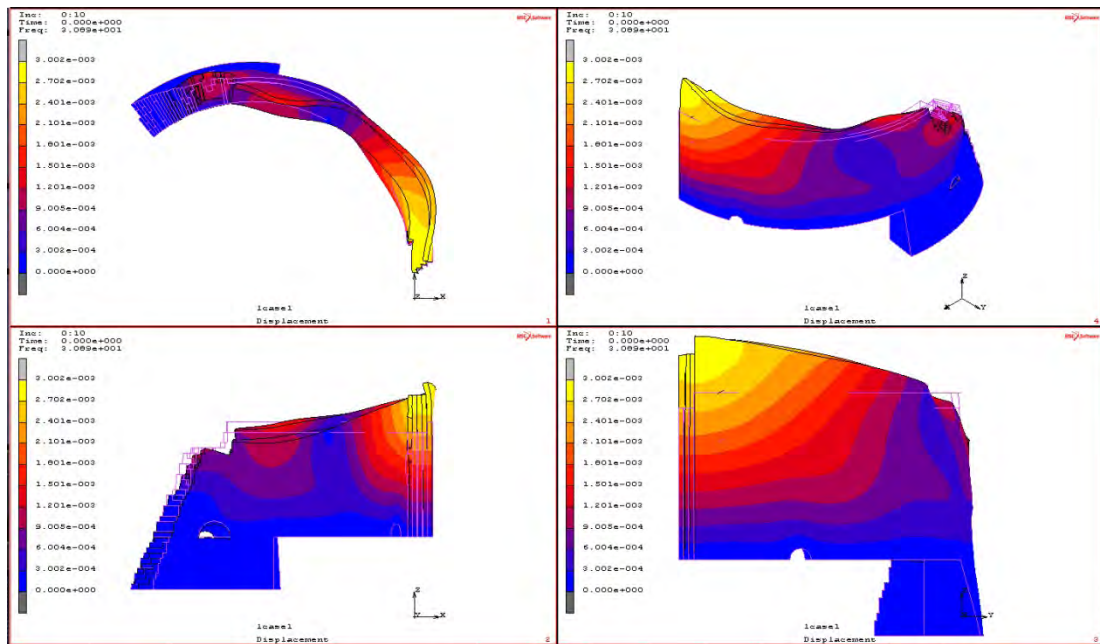


Σχήμα 4.86: Μοντέλο β (1601-1805)  
 Συχνότητα ταλάντωσης 50.79Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 2.03mm.

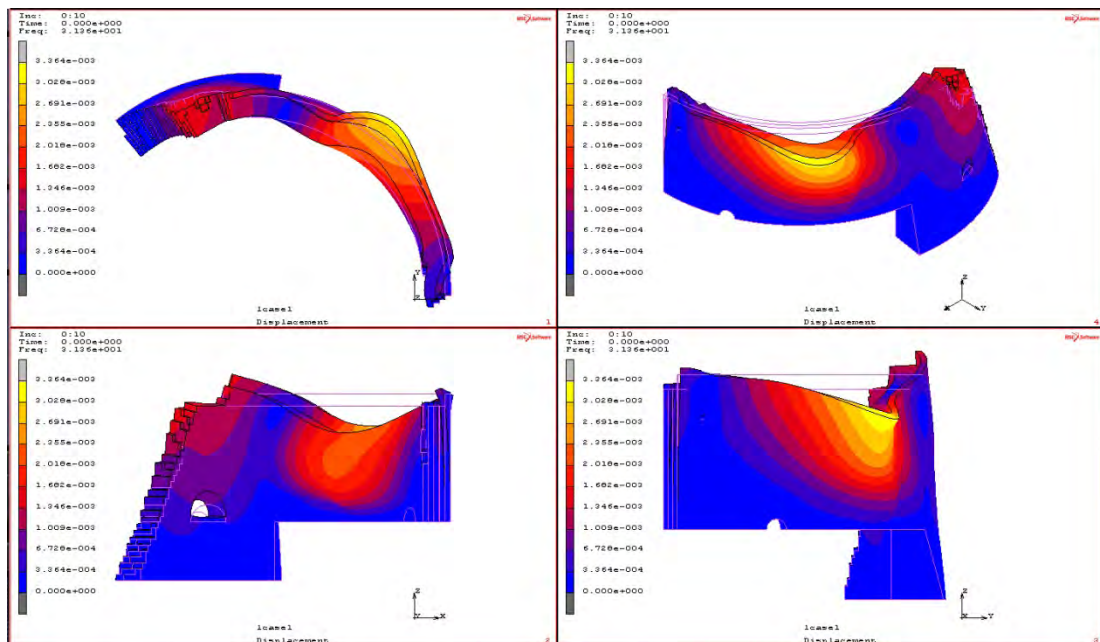


Σχήμα 4.87: Μοντέλο γ (1805-1899)  
 Συχνότητα ταλάντωσης 42.97Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 2.1mm.





Σχήμα 4.88: Μοντέλο δ (1899-1970)  
Συχνότητα ταλάντωσης 30.89Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 3.00mm.



Σχήμα 4.89: Μοντέλο ε (1970-2015)  
Συχνότητα ταλάντωσης 31.36Hz και μέγιστη τιμή μετατόπισης 3.36mm.



# 5

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 5.1 Συμπεράσματα

Με βάση τη προηγηθείσα στατική και ιδιομορφική ανάλυση είμαστε σε θέση να απαντήσουμε τα αρχικά ερωτήματα τα οποία αποτέλεσαν και το στόχο αυτής της μελέτης:

- α) αποσαφήνιση των ευάλωτων σημείων του φορέα
- β) σε ποιο βαθμό οι προσθήκες επιβάρυναν ή όχι το βασικό φορέα,
- γ) κατά πόσο η αποδυνάμωση της κατασκευής και η καθαίρεση του μεγαλύτερου μέρους της, επέδρασε αρνητικά στη κατάσταση ισορροπίας του και αν τίθεται ουσιαστικό ζήτημα συμπλήρωσής του.
- δ) αν συντρέχει λόγος άμεσης επέμβασης για την αποκατάστασή του.

Η στατική ανάλυση κατέδειξε τα εξής:

α) Ευάλωτα σημεία του φορέα είναι η ζώνη έδρασης και κυρίως τα σημεία αυτής όπου διαμορφώνεται η θεμελίωση σε δύο διαφορετικά υψόμετρα. Η γωνία που δημιουργείται στη βάση μεταξύ των δύο διαφορετικών επιπέδων συγκεντρώνει τις μέγιστες εφελκυστικές τάσεις, ενώ η κατανομή των θλιπτικών τάσεων αναπτύσσεται ομαλά κατά τον κατακόρυφο άξονα, με συγκέντρωση των μέγιστων τιμών στη βάση της θεμελίωσης.

β) Οι μεταγενέστερες προσθήκες δεν επηρεάζουν στατικά το φορέα.

γ) Η καθαίρεση του μεγαλύτερου τμήματος του πύργου δεν επηρεάζει τη στατικότητα του φορέα. Η κυκλική του κάτοψη και το μεγάλο πάχος της τοιχοποιίας βοηθά πολύ στην διατήρηση της κατάστασης ισορροπίας του.

Η στατική ανάλυση απέδειξε, ότι ο φορέας δεν βρίσκεται στα όρια της θλιπτικής αντοχής του. Παρουσιάζει όμως εφελκυστικές τάσεις τόσο στη κορυφή του φορέα, με οριακές τιμές στα μοντέλα α και β. Δηλαδή έως και  $142 \text{ kN/m}^2$  όταν το όριο της εφελκυστικής αντοχής βρέθηκε στα  $160 \text{ kN/m}^2$ .

δ) Όπως είδαμε και στην ανάλυση της τελευταίας φάσης (ε) του πύργου, οι εφελκυστικές τάσεις στη κορυφή έχουν αποφορτιστεί με τη διάρρηξη της συνέχειας του φορέα ( $90 \text{ kN/m}^2$ ), ενισχύοντας την εγκυρότητα της παραπάνω εκτίμησης.

Η ιδιομορφική ανάλυση κατέδειξε τα εξής:

α) Οι μεταγενέστερες προσθήκες επηρέασαν σημαντικά τη δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής, ιδιαίτερα μετά την καθαίρεση του μεγαλύτερου τμήματος του πύργου και του μπαζώματος στο εσωτερικό του.

β) Το μπαζώμα επενέργησε θετικά στη μείωση της ελεύθερης ταλάντωσης του φορέα, εφόσον μειώθηκε το ελεύθερο ύψος της κατασκευής.

β) Η κατάρρευση του μεγαλύτερου μέρους του πύργου συγκέντρωσε τη περιοχή διέγερσης του φορέα στο σημείο όπου σήμερα εμφανίζεται η ρωγμή.

Άρα, απαντώντας στα αρχικά ερωτήματα:

α) τα ευάλωτα σημεία του φορέα, εντοπίζονται κυρίως στη κορυφή του πύργου, λόγω του μεγάλου ελεύθερου ύψους της τοιχοποιίας, καθώς και στη περιοχή όπου έχει αποτυπωθεί η διαμπερής ρωγμή.

β) Οι προσθήκες επιβάρυναν ουσιαστικά τη δυναμική συμπεριφορά του φορέα γι' αυτό και απαιτείται περεταίρω δυναμική ανάλυση με προσομοίωση σεισμικής διέγερσης.

γ) Η καθαίρεση του μεγαλύτερου τμήματος του πύργου και η αφαίρεση του μπαζώματος, λειτούργησε αρνητικά μόνο στη δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής. Το ίδιο και η αποδυνάμωση του φορέα. Μερική συμπλήρωσή του δεν κρίνεται ουσιαστική. Αλλά και η επαναφορά της αρχικής του γεωμετρίας, συγκρούεται με τις διεθνείς συμβάσεις για την αποκατάσταση. Επομένως το θέμα αυτό χρήζει περεταίρω επεξεργασίας και ανάλυσης.

δ) Η στατική ανάλυση κατέδειξε ότι δεν συντρέχει λόγος άμεσης επέμβασης για την αποκατάστασή του. Ωστόσο κι εδώ απαιτείται δυναμική ανάλυση για να καταφανεί η κρισιμότητα της ευστάθειας του φορέα σε περίπτωση επικείμενου σεισμού.

## 5.2 Προτάσεις

---

Δεδομένων των ελλείψεων τεκμηρίωσης στοιχείων που αφορούν σε μελέτες άλλων ειδικότητων, όπως ανασκαφικές έρευνες, εργαστηριακοί έλεγχοι, δυναμική ανάλυση κ.ο.κ., δεν είμαστε σε θέση να προχωρήσουμε σε μια ολοκληρωμένη πρόταση μορφολογικής αποκατάστασης του μνημείου και του περιβάλλοντα χώρου του.

Είναι όμως σημαντικό βάσει των δεδομένων της παρούσας μελέτης, να σημειωθεί ότι τμηματικές ανακατασκευές θα πρέπει να εξεταστούν με μεγάλη φειδώ. Αφενός είναι μια πρακτική η οποία με την στενή έννοια του όρου αποκλείεται από το χάρτη της Βενετίας<sup>17</sup> και κυρίως δεν ενδείκνυνται στο

---

<sup>17</sup> Χάρτης της Βενετίας 1946, Άρθρο 9: "Η διαδικασία της αποκαταστάσεως είναι μια επέμβαση υψηλής εξειδίκευσης που επιβάλλεται να γίνεται κατ' εξαίρεση. Έχει σαν στόχο να διατηρήσει και να αποκαλύψει τις ιστορικές και αισθητικές αξίες του μνημείου και βασίζεται στον σεβασμό προς την αρχική του υπόσταση και τα αυθεντικά του στοιχεία.

συγκεκριμένο μνημείο λόγω της ιδιαιτερότητάς του ως φορέα. Είδαμε στη στατική και ιδιομορφική ανάλυση ότι οι μεταγενέστερες προσθήκες συνδυάστηκαν με εσωτερικό μπάζωμα του πύργου μειώνοντας το ελεύθερο ύψος της κατασκευής αλλά και της ελεύθερης ταλάντωσης του φορέα σε δυναμική φόρτιση. Το γεγονός ότι σήμερα μας αποδίδεται ως κατακόρυφος πρόβολος, χωρίς το μπάζωμα αλλά με τις αρθρώσεις των γειτονικών προσθηκών, εγείρει ένα μεγάλο ερώτημα στο κατά πόσο οποιαδήποτε ενέργεια συμπλήρωσης και αύξησης της περιμέτρου αυτού του προβόλου θα αποτελούσε σοφή ενέργεια για τη μακροβιότητά του. Σίγουρα μια δυναμική ανάλυση, θα μπορούσε να αποδείξει του λόγου το αληθές.

Επομένως, είναι απαραίτητο να ολοκληρωθεί η μελέτη, με την συνδρομή όλων των αναγκών ειδικοτήτων, να δοθούν απαντήσεις σε όλα τα ερωτήματα, και στη συνέχεια να γίνει μια ολοκληρωμένη πρόταση για την αποκατάσταση του πύργου και του περιβάλλοντος χώρου του.

Άρα το σχήμα της επέμβασης που είμαστε σε θέση να προτείνουμε στη φάση αυτή, αφορά μόνο σε επισκευή αστοχιών και ενίσχυση του φορέα. Πρόκειται δηλαδή για εργασίες δομοστατικού χαρακτήρα που στόχο έχουν:

- την επισκευή των βλαβών της τοιχοποιίας και την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητάς της
- τη βελτίωση της συμπεριφοράς της κατασκευής στο σύνολό της, σε στατικές και σεισμικές φορτίσεις
- την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας της θεμελίωσης ή του ίδιου του εδάφους.

Η ανάλυση που έχει προηγηθεί, έχει δείξει ότι πρέπει να γίνουν επεμβάσεις ενίσχυσης και επισκευών σημειακά και στο σύνολο της τοιχοποιίας, όμως μένουν σημαντικά ερωτήματα που αφορούν στη δυναμική συμπεριφορά του φορέα αλλά και στην φέρουσα ικανότητα της θεμελίωσης. Τα ερωτήματα αυτά

---

**Σταματάει στο σημείο που αρχίζουν να υπάρχουν υποθέσεις.** Πέρα από αυτό το σημείο, οποιαδήποτε εργασία που ενδεχομένως θα θεωρηθεί απαραίτητη για τεχνικούς ή αισθητικούς λόγους, θα πρέπει να διαχωρίζεται από την αρχική αρχιτεκτονική σύνθεση και να φέρνει την σφραγίδα της εποχής μας. Σε όλες τις περιπτώσεις η αρχαιολογική μελέτη θα προηγείται της αποκατάστασης και θα την ακολουθεί."

Άρθρο 13: "Οι προσθήκες δεν μπορεί να γίνουν ανεκτές παρά μόνο αν σέβονται όλα τα ενδιαφέροντα μέρη του κτιρίου, το παραδοσιακό του πλαίσιο, την ισορροπία της συνθέσεως του και τις σχέσεις του με τον περιβάλλοντα χώρο".

Άρθρο 15: Οι ανασκαφές πρέπει να γίνονται σύμφωνα με επιστημονικούς κανόνες και καθώς ορίζουν οι "συστάσεις για τους διεθνείς όρους που πρέπει να εφαρμόζονται στις αρχαιολογικές ανασκαφές", τις οποίες υιοθέτησε η UNESCO το 1956. Επιβάλλεται να γίνεται διευθέτηση των ερειπίων και να λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα για τη συντήρηση και τη μόνιμη προστασία των αρχιτεκτονικών στοιχείων και των ευρημάτων. Εξάλλου, θα είναι ευπρόσδεκτη κάθε πρωτοβουλία που θα διευκολύνει την κατανόηση του μνημείου χωρίς να παραμορφώνει τη σημασία του. Ωστόσο, **κάθε εργασία ανακατασκευής θα πρέπει να αποκλείεται εκ των προτέρων. Μόνο η αναστήλωση μπορεί να αντιμετωπισθεί, δηλαδή η ανασύνθεση μελών που σώθηκαν αλλά έχουν μετακινηθεί. Οι συμπληρώσεις όμως θα είναι πάντα αναγνωρίσιμες και θα αντιπροσωπεύουν το ελάχιστο που απαιτείται, για να εξασφαλιστούν οι συνθήκες συντήρησης του μνημείου και να αποκατασταθεί η μορφολογική συνέχεια.**

πρέπει να απαντηθούν σε νέα αναλυτική μελέτη, προκειμένου να διατυπωθούν ολοκληρωμένες προτάσεις αποκατάστασης. Επίσης επιβάλλεται να γίνει καθορισμός των χημικών και ορυκτολογικών ιδιοτήτων των αρχικών υλικών, τα οποία θα καθορίσουν και τις ιδιότητες (χημικές και μηχανικές) των υλικών των επεμβάσεων.

Για το λόγο αυτό δεν επιχειρείται εδώ αρχιτεκτονική πρόταση διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου του μνημείου ή σημειακής συμπλήρωσής του, όπως προτάθηκε στην εγκεκριμένη υπό παρατηρήσεις, μελέτη του 2014<sup>18</sup>. Είναι άλλωστε απαραίτητη η ανασκαφική έρευνα και οι διερευνητικές τομές, για να φανεί αν υπάρχουν ίχνη του πύργου σε κατάχωση, αλλά και το αρχικό του δάπεδο.

Στο βαθμό που μας επιτρέπει η παρούσα μελέτη, μπορούμε να διατυπώσουμε μερικές προτάσεις ενίσχυσης και επισκευών, που αφορούν στην άρση των φαινομένων της περεταίρω διάβρωσης και στην επανάκτηση της συνοχής της τοιχοποιίας.

Για την επίτευξη του στόχου της άρσης των φαινομένων της διάβρωσης θα πρέπει να γίνει πλήρης καθαρισμός του μνημείου με απομάκρυνση των επικαθήσεων, καθαίρεση των σαθρών επιχρισμάτων της βόρειας όψης, καθαρισμό των αρμών της λιθοδομής σε βάθος έως 15εκ. όπου αυτό επιτρέπεται, και πλύσιμο της τοιχοποιίας με νερό υπό πίεση. Η απομάκρυνση των βιολογικών επικαθήσεων θα πρέπει να γίνει με χημικά μέσα κατάλληλα και σύμφωνα με τις υποδείξεις σχετικής μελέτης η οποία πρέπει να συνταχθεί από συντηρητή μνημείων.

Κατά τη διαδικασία αυτή, θα πρέπει να γίνει εκτίμηση της αντοχής φθαρμένων λίθων, που είτε παρουσιάζουν μεγάλα ποσοστά διάβρωσης λόγω κυψελώσεων ή ρωγματώσεων. Η αντικατάστασή τους με νέους λίθους, όπως θα υποδεικνύεται από την μελέτη σύνθεσης των νέων λίθων και κονιαμάτων, κρίνεται σκόπιμη.

Μετά των καθαρισμό σε βάθος των κονιαμάτων, θα πρέπει γίνει βαθύ αρμολόγημα της τοιχοποιίας, με κονίαμα συναφές με τα υφιστάμενα υλικά όπως θα ορίζεται από τη σχετική μελέτη. Η επιφανειακή αυτή στερέωση πρέπει να προηγείται της λιθοσυρραφής των ρωγμών αλλά και της εφαρμογής των ενεμάτων ομογενοποίησης μάζας. Κατά την εφαρμογή του αρμολογήματος τοποθετούνται τα σωληνάκια εφαρμογής του ενέματος ομογενοποίησης μάζας που θα ακολουθήσει. Οι αρμοί και γενικότερα οπές διαφυγής του ενέματος σφραγίζονται σε αυτή τη φάση.

Η λιθοσυρραφή θα πρέπει να γίνει με καθαρισμό της ρωγμής σε βάθος των σαθρών κονιαμάτων και λίθων, και τα νέα λίθινα στοιχεία θα πρέπει να τοποθετηθούν σε επιλεγμένα σημεία απόστασης τουλάχιστον 80εκ. μεταξύ τους. Το μέγεθος και η σύσταση των λίθων συρραφής θα πρέπει να είναι σύμφωνο με τη σχετική μελέτη.

---

<sup>18</sup> Απόφαση ΚΑΣ με αρ. Πρωτ. ΥΠΠΟΑ/ΓΔΑΜΤΕ/ΔΑΒΜΜ/241457/27221/5392, στις 22/9/2014. βλ. σσ. 35-36



Μετά την ολοκλήρωση της λιθοσυρραφής, εφαρμόζονται τα ενέματα, η σύσταση και σύνθεση των οποίων πρέπει να είναι σύμφωνη με τη σχετική μελέτη. Η εφαρμογή του ενέματος θα πρέπει να γίνει με χαμηλή πίεση και σύμφωνα με προδιαγραφές οι οποίες πρέπει να οριστούν κατά την ολοκλήρωση της μελέτης των επεμβάσεων.

Ως προς τα επιχρίσματα της βόρειας όψης, η χημική τους σύνθεση μπορεί να δείξει τόσο τη παλαιότητά τους όσο και τη νέα σύνθεση τους. Στην κατεύθυνση αυτή και στο βαθμό που η τοιχοποιία δεν είναι εμφανής, δύναται να εξεταστεί η εφαρμογή οπλισμένου επιχρίσματος ή ινοπλισμένου επιχρίσματος με υλικά τα οποία είναι συμβατά όχι μόνο με το μνημείο αλλά και με το εξαιρετικά διαβρωτικό περιβάλλον του.

Όλες οι παραπάνω επεμβάσεις θα πρέπει να βρίσκονται στην κατεύθυνση της μη αλλοίωσης των χαρακτηριστικών του μνημείου και γενικότερα των αρχών που αναφέρονται στο χάρτη της Βενετίας.



---

# 6

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

---

Όπως έγινε σαφές στη παρούσα μελέτη, το πλαίσιο των αρχών επέμβασης αλλά και το πλαίσιο των αρχών για τις μελέτες αποκατάστασης των μνημείων που στις πλείστες περιπτώσεις πρόκειται για κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία, είναι καθορισμένο κυρίως σε διεθνείς χάρτες και συμβάσεις, τις οποίες οφείλουμε να ακολουθούμε.

Παρόλαυτά είναι σύνηθες στην χώρα μας, οι μελέτες και τα έργα αποκατάστασης, να περιλαμβάνουν απλοποιήσεις καθώς τόσο το νομικό πλαίσιο της χώρας όσο και η έλλειψη σαφών οριοθετήσεων και μεθοδολογίας, αφήνουν χώρο για ελλείψεις και ατεκμηρίωτες αποφάσεις επεμβάσεων.

Μέσω της ιστορικής και αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης και της στατικής και ιδιομορφικής ανάλυσης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, έγινε προσπάθεια να λυθούν μερικά από τα ερωτήματα για τη λειτουργία του φορέα, και μέσω των μελετών αυτών να παρουσιαστεί μια ολοκληρωμένη πρόταση αποκατάστασης. Η μελέτη αυτή όμως φάνηκε να μην είναι αρκετή. Υπήρξε έλλειψη στοιχείων για τη δυναμική συμπεριφορά του φορέα και επί τόπου μετρήσεις της μηχανικής αντοχής των υλικών του πύργου από ειδικευμένους πολιτικούς μηχανικούς, για την σύνθεση και αντοχή της θεμελίωσης από γεωτεχνικούς, έλλειψη δεδομένων ανασκαφικής έρευνας από αρχαιολόγους και μεθόδων για τον καθαρισμό των λίθων από συντηρητές.

Η αποκατάσταση επομένως ενός μνημείου, είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, η οποία εμπλέκει πολλές ειδικότητες. Η συνεργασία των διαφορετικών ειδικοτήτων θα πρέπει να είναι συνυφασμένη με τις επεμβάσεις σε υφιστάμενα κελύφη, πόσο μάλλον σε μνημεία. Ας μην ξεχνάμε ότι η τεχνογνωσία που απαιτούσε η κατασκευή λιθοδομών έχει παρέλθει εδώ και εξήντα χρόνια περίπου στην Ελλάδα και έκτοτε πολλά λάθη έχουν γίνει προσπαθώντας να παντρέψουμε τη νέα τεχνογνωσία με τη παλιά. Για τα μνημεία που απώτερος σκοπός είναι η παράδοση τους με ασφάλεια στο μέλλον, η θέση αυτή θα πρέπει να γίνει ευρύτερα συνείδηση σε όλα τα επίπεδα.





---

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] Μ. Ανδριανάκης και Μ. Ανδρεαδάκη-Βλαζάκη, *Η Παλιά Πόλη των Χανίων*, Χανιά: Αδάμ- Πέργαμος, 1997, π. 11.
- [2] Γ. Χρηστάκης, *Ιστορικά οχυρωματικά Μνημεία της Κρήτης (330πΧ-1898)*, Ηράκλειο: Κρητικά Γράμματα, 2004.
- [3] Γ. Τσιβής, *ΧΑΝΙΑ 1252-1940*, Αθήνα: Γνώση, 1993.
- [4] Έπίσημος Εφημερίς της Κρητικής Πολιτείας, "Περί παραχωρήσεως τμημάτων του φρουρίου Χανίων εις τόν Δήμον Χανίων", Τεύχος Α', Έν Χαλέπα τῇ 20 Ἰουνίου 1903.
- [5] Μ. Ανδριανάκης, «Η ανάκτηση και ανάδειξη των οχυρώσεων των Χανίων Κρήτης,» σε *Οχυρωμένες πόλεις, Παρελθόν, παρόν και μέλλον*, Αμμόχωστος, 2010.
- [6] Α. Χριστοφορίδου, «Το θεσμικό πλαίσιο του ΥΠΠΟ για την προστασία των μνημείων,» σε *10ο Πανελλήνιο Αρχιτεκτονικό Συνέδριο, Η αρχιτεκτονική και η ελληνική πόλη στον 21ο αιώνα*, Αθήνα, 1999.
- [7] Χ. Μπούρας, «Οι βασικές αρχές προστασίας της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς και η διαχρονική εξέλιξή τους στην Ελλάδα,» σε *Ελληνική Εταιρία για την προστασία του Περιβάλλοντος και της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*, Χίος, 2006.
- [8] Μ. Κορρές, «Πολιτιστική Κληρονομιά από τον 20ο έως τον 21ο αιώνα. Απολογισμός και προοπτικές,» σε *10ο Πανελλήνιο Αρχιτεκτονικό Συνέδριο, Η αρχιτεκτονική και η ελληνική πόλη στον 21ο αιώνα*, Αθήνα, 1999.
- [9] Γ. Λάβας, *Προστασία Μνημείων και Συνόλων*, Βασικές έννοιες, ιδεολογία και μεθοδολογία, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1984.
- [10] ICOMOS charter- principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage, Victoria Falls, Zimbabwe: ICOMOS 14th General Assembly, UNESCO-ICOMOS, Documentation Center, October 2003.
- [11] «Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage,» ICOMOS, International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage, Victoria Falls, 2003.

- [12] A. Giuffre και C. Carocci, «Statics and dynamics of historical masonry buildings,» σε *Η δομητική αναστήλωση ιστορικών κτηρίων και συνόλων*, Ηράκλειο, 1994.
- [13] G. Vasconcelos, «Experimental investigations on the mechanics of stone masonry : characterization of granites and behavior of ancient masonry shear walls,» University of Minho, Portugal, 2005.
- [14] P. Agnihotri, V. Singhal και R. C. Durgesh, «Effect of in-plane damage on out-of-plane strength of unreinforced,» *Engineering Structures, Elsevier*, τόμ. 57, 2013.
- [15] Μ. Δημοσθένους, «Μέθοδοι και υλικά αποκατάστασης και ενίσχυσης διατηρητέων κτηρίων από φέρουσα τοιχοποιία,» ΤΕΕ/Τ.Κ.Μ., Θεσσαλονίκη, 2009.
- [16] G. Gerola, *Monumenti Veneti nell' isola di Creta*, τόμ. Ι, Venezia: Lettere ed arti, 1908.
- [17] M. Redolfi, *Venezia e la difesa del Levante: da Lepanto a Candia, 1570-1670*, Italie: Arsenale, 1986.
- [18] C. Bill, *Martello towers worldwide*, G. Britain: Pen & Sword Military, 2011, pp. 9-11..
- [19] Μ. Αρακαδάκη, *Το Φρούριο της Σπιναλόγκας (1571-1715)*, Συμβολή στη μελέτη των επάκτιων και νησιωτικών οχυρών της Βενετικής Δημοκρατίας, τόμ. Τομος Α', Θεσσαλονίκη: Α.Π.Θ., 1996, p. 386.
- [20] Μ. Τρουλινός, «Μελέτη συντήρησης του Βυζαντινού Τείχους Χανίων,» ΥΠΠΟΤ 28η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων, Ρέθυμνο, 2010.
- [21] «Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας,» *Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων*.
- [22] Κ. Παπασταματίου, «Συντήρηση Λίθου, ορολογία φθορών, αντιστοίχιση επέμβασης, μέθοδοι επαρκούς τεκμηρίωσης,» ΥΠΠΟΤ, Διεύθυνση Συντήρησης Αρχαίων και Νεότερων Μνημείων, Αθήνα, 2007.
- [23] Α. Κρητικού, «Διερεύνηση των αιτιών διάβρωσης των λίθινων μνημείων του αρχαιολογικού χώρου της Ελευσίνας και προτάσεις για την αποκατάστασή τους,» Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών, Πάτρα, 2012.
- [24] Ν.-Α. Στεφανής, «Η επίδραση της εν ξηρώ απόθεσης των θαλάσσιων αερολυμάτων στους δομικούς λίθους των μνημείων,» ΕΑΔΔ/ ΕΚΤ, Μυτιλήνη, 2008.
- [25] Θ. Τσιναράκης, «Αποτίμηση φέροντος οργανισμού νότιου ενετικού νεωρίου Χανίων "Benedetto Moro" με ιδιομορφική ανάλυση

πεπερασμένων σημείων,» Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2011.

- [26] Μ. Σταυρουλάκη, «Βέλτιστος Σχεδιασμός επεμβάσεων ενίσχυσης σε δομικούς φορείς, εφαρμογή στη προέκταση,» Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 1996.
- [27] S. Cattari, A. Karatzetzou, S. Degli Abbatì, K. Gkotsi, D. Pitilakis και C. Negulescu, «Performance-based assessment of the arsenal de Milly of the medieval city of Rhodes,» 4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Κως, 2013.
- [28] Α. Μοροπούλου, «Συμβατά υλικά και επεμβάσεις συντήρησης σε ιστορικά κτίρια/μνημεία: προδιαγραφές- αποτίμηση διοργάνωση,» σε *Ημερίδα για την ενίσχυση κτιρίων με σύγχρονα υλικά, Συντήρηση ενίσχυση- αποκατάσταση ιστορικών κτιρίων*, Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2007.
- [29] P. Pells, «Substance and mass properties for the design of engineering structures in the Hawkesbury sandstone,» *Australian Geomechanics Vol 39*, Sydney, 2004.
- [30] M. Ludovico-Marques και C. Chastre, «Effect of salt crystallization ageing on the compressive behavior of sandstone blocks in historical buildings,» *Elsevier, Engineering Failure Analysis*, 2012.
- [31] M. Ludovico-Marques, C. Chastre και G. Vasconcelos, «Modelling the compressive mechanical behaviour of granite and sandstone historical building stones,» τόμ. 28, αρ. *Construction and Building Materials*, 2012.
- [32] Ι. Παπαγιάννη, «Έκθεση αξιολόγησης αποτελεσμάτων ανάλυσης λίθων-κονιαμάτων για το έργο: Στερέωση-αποκατάσταση Βυζαντινού τείχους Χναιών,» Α.Π.Θ. Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας των Κατασκευών, Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Θεσσαλονίκη, 2005.
- [33] G. Minke, *Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Boston: Birkhauser, 2006.
- [34] J. Watcharin, «A study into the earthquake resistance of circular adobe buildings,» University of Technology, Sydney, 2012.
- [35] S. Huerta, «Mechanics of masonry vaults: The equilibrium approach,» σε *Historical Constructions*, Guimarães, Portugal, 2001.
- [36] P. Block και L. Lachauer, «Three dimensional equilibrium analysis of gothic masonry vaults,» Taylor & Francis, *International Journal of Architectural Heritage*, Zurich, Switzerland, 2014.
- [37] Α. Πατεράκη, «Μελέτη ενίσχυσης κτιρίου φέρουσας τοιχοποιίας με πλαίσιακό φορέα οπλισμένου σκυροδέματος, υπό συνθήκες δυναμικής

φόρτισης,» Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2009.

[38] S. Zerbi, «Construction en pierre massive en Suisse,» École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, 2011.

[39] «Eurocode 6- Design of masonry structures EN 1996-1-1,» Technical Committee CEN/TC 250 "Structural Eurocodes", CEN/CENELEC Internal Regulations, 2005.

[40] Π. Καρύδης, «Υπολογιστικές μέθοδοι και εφαρμογές σε λεπτότοιχες κατασκευές,» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, τμήμας Θαλάσσιων κατασκευών, Αθήνα, Σημειώσεις μαθήματος σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.

[41] Λ. Πυρίτιδα, «<http://el.wikipedia.org>,» [Ηλεκτρονικό].