

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

Πρακτικά του Διεθνούς
Επιστημονικού Συνεδρίου

15 χρόνια

έρχων αποκατάστασης

στη Μεσαιωνική

Πύλη της Ρόδου

ΑΝΑΤΥΠΟ

ΑΘΗΝΑ 2007



ΚΥΡΙΑΖΗΣ ΠΙΤΙΛΑΚΗΣ

Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΣΕΞΤΟΣ

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

ΚΑΤΕΡΙΝΑ ΜΑΝΟΥΣΟΥ-ΝΤΕΛΛΑ

Αρχιτέκτων 4ης Ε.Β.Α.

ΙΩΑΝΝΑ ΓΑΛΑΖΟΥΛΑ

Πολιτικός Μηχανικός MSc.

Η αποκατάσταση της ιπποτικής οπλοθήκης De Milly στη μεσαιωνική πόλη της Ρόδου

Α. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΝΗΜΕΙΟΥ. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το ημικυκλικό ιπποτικό κτίσμα με τον μεγάλο οξυκόρυφο θόλο, που βρίσκεται σε επαφή με τη μεσαιωνική οχύρωση στη βορειοανατολική γωνία της, ακριβώς στα δυτικά του πύργου του Αποστόλου Παύλου (πίν. 194), είναι το παλαιότερο σωζόμενο από τα κτίρια του ναυστάθμου ή «οπλοστασίου» των ιπποτών, που αναπτυσσόταν στην ευρύτερη αυτή περιοχή της τειχιωμένης πόλης, μεταξύ του εμπορικού «μεγάλου λιμένας» και του «μικρού λιμένας» του Μανδρακίου¹. Η χωροθέτησή του μαρτυρείται τουλάχιστον από το 1420, σύμφωνα με την περιγραφή της ιπποτικής πόλης στο χειρόγραφο του Buondelmonti².

Η αρχική οικοδόμηση της οπλοθήκης («θόλαρου») ανάγεται στην εποχή του μεγάλου μαγίστρου De Milly (1454-1461), του οποίου το οικόσημο σώζεται ενταγμένο στη δυτική, κύρια όψη του κτιρίου. Πιθανότατα συνδέεται με την αναδιοργάνωση της περιοχής του «οπλοστασίου», μετά τις μεγάλες καταστροφές που υπέστη

κατά την πολιορκία των Αράβων το 1444.

Κατά την περίοδο που ακολούθησε, επί μεγάλων μαγίστρων De Lastic έως το 1454 και De Milly (1454-1461), αναθεωρήθηκε η αρχική αντίληψη της διατήρησης της βυζαντινής οχυρωματικής γραμμής, με την προσθήκη πρώιμων πύργων για την ενίσχυσή της σε κρίσιμα σημεία. Χαρακτηριστικής μορφής πύργοι του 14ου αιώνα με τα οικόσημα του μεγάλου μαγίστρου Heredia (1377-1396) υπήρχαν στη βορειοανατολική περιοχή της οχύρωσης του Κολλάκιου, όπως οι πλευρικοί πύργοι της πύλης του Ταρσανά, οι πύργοι που πιθανότατα κάλυπταν πύλη της πρώιμης οχύρωσης προς τον μικρό λιμένα του Μανδρακίου και τον μόλο, όπου βρισκόταν η παλιά βυζαντινή εκκλησία του Αγίου Νικολάου και ο πύργος που ενίσχυσε τη βυζαντινή πύλη της θάλασσας, στα νότια της βυζαντινής μητρόπολης, της Παναγίας του Κάστρου³.

Φαίνεται ότι επί μεγάλου μαγίστρου de Milly ξεκίνησε η αναδιοργάνωση του βορειοανατολικού άκρου της οχύρωσης του Κολλάκιου, που είχε πληγεί από τους σφοδρούς βομβαρδισμούς των Αράβων, οι οποίοι εγκατέστησαν το πυροβολικό τους στον ανοχύρωτο ως τότε

1. A. Gabriel, *La cité de Rhodes, Architecture militaire*, τόμ. I, Paris 1923, σ. 11 και Κ. Μανούσου-Ντέλλα, «Ρόδος. Στοιχεία πολεοδομικής ανάλυσης μιας μεσαιωνικής οχυρωμένης πόλης», ΔΧΑΕ ΚΑ΄ (2000), σ. 27-42.

2. G. Gerola, *Le tredici sporadi nel codice classense di Cristoforo Buondelmonti*, Bologna 1914, σ. 14-15.

3. Κ. Μανούσου-Ντέλλα, «Η πρώιμη μεσαιωνική οχύρωση της πόλης της Ρόδου», στην παρούσα έκδοση.

μόλο του Αγίου Νικολάου⁴, και ολοκληρώθηκε με την εκτεταμένη επέμβαση του D'Aubusson, που συχνά αναφέρεται στα έγγραφα του αρχείου των Ιωαννιτών⁵ του γ' τέταρτου του 15ου αιώνα.

Ο πρώιμος προμαχώνας του Αποστόλου Παύλου διαμορφώθηκε την εποχή του μεγάλου μαγίστρου De Milly, ενώ ο προμαχώνας του αποστόλου Πέτρου είναι πρώιμο έργο του μεγάλου μαγίστρου Zacosta (1461-1467) και φέρει ορατές επεμβάσεις για την αναπροσαρμογή του, πιθανότατα επί μ.μ. D'Aubusson, μετά την ολοκλήρωση της πρώτης οικοδομικής φάσης του φρουρίου του Αγίου Νικολάου.

Η πολεοδομική οργάνωση της περιοχής του «οπλοστασίου», που οριοθετείται από τους δύο προμαχώνες που προαναφέρθηκαν, χαρακτηρίζεται από την ένταξη ενός μεγάλου συγκροτήματος θολωτών κατασκευών με εξωτερικές διαστάσεις περίπου 40 x 50 μ. Για την κατασκευή του, που είναι σύγχρονη με το τείχος και τους πύργους του Heredia, έγινε μετατόπιση της ευθείας της οχυρωματικής γραμμής στα βορειοανατολικά του, ώστε το κτίσμα να τοποθετηθεί στον άξονα της «πύλης του Ταρσανά», που πιθανότατα προσδιορίζει και τη χρήση του.

Το συγκρότημα του Ταρσανά παρουσιάζει στοιχεία τυπολογίας ανάλογης με αντίστοιχα παραδείγματα της εποχής του⁶ και εντάχθηκε σε μία περιοχή σταδιακής επέκτασης της οχύρωσης ανατολικότερα κατά τον 14ο αιώνα σε σχέση με τους προϋπάρχοντες ελληνιστικό και βυζαντινό οχυρωματικό περίβολο (πίν. 194). Η ύπαρξη σημαντικών συγκροτημάτων ελληνιστικών και ρωμαϊκών οικοδομημάτων, όπως ο ναός της Αφροδίτης και το ρωμαϊκό τετράπυλο πάνω στα αρχαία νεώρια, στη θέση που είχε κατά την τουρκοκρατία την ονομασία «Egri Liman», δηλαδή καμπύλο ή στραβό λιμάνι⁷, απαιτούν πρόσθετη μελλοντική έρευνα και πα-

ραπέμπουν σε ιπποτικό έγγραφο που αναφέρεται σε συστηματική λατόμηση (πιθανώς σε αρχαία ερείπια) στην περιοχή «κοντά στις καμάρες του Ταρσανά»⁸.

Το αρχικό κτίριο της οπλοθήκης είχε απλούστερη μορφή από το σημερινό, ανάλογη με αυτήν που διαπιστώνεται σε ισόγεια κτίσματα με χρήση αποθηκών ή εργαστηρίων κατά μήκος της κεντρικής πλατείας –«της αγοράς»– της ιπποτικής πόλης (πίν. 195). Χαρακτηριζόταν από το μεγάλο ανοίγματος (8 μ. περίπου) οξυκόρυφο θόλο, ο οποίος εφαπτόταν με απλή επένδυση, πάχους 25 εκ. περίπου, με το παλαιότερο κυρίως τείχος του 14ου αιώνα. Ο θόλος αυτός ήταν ορατός εξωτερικά χωρίς επίχωση και είχε μικρό πάχος θολίτη (25 cm περίπου).

Η διαμόρφωση των δύο στενών όψεων του κτιρίου περιελάμβανε προς τα άνω αετωματική απόληξη, ενώ χαρακτηριστική ήταν η απότμηση της νοτιοδυτικής γωνίας του, χωρίς αυτό να επηρεάζει την εσωτερική μορφή του «θόλαρου», προφανώς για να διευκολύνεται η μεταφορά μεγάλου μήκους αντικειμένων, όπως κατάρτια πλοίων κλπ., από την πύλη του Ταρσανά μέχρι την είσοδό του (πίν. 196).

Μία δεύτερη οικοδομική φάση του μνημείου, στο β' μισό του 15ου αιώνα, φέρει τα στοιχεία του μεγάλου μαγίστρου Orsini (1467-1476) και προφανώς σχετίζεται με την ευρύτερη αναδιοργάνωση της περιοχής του οπλοστασίου από τον τότε υπεύθυνο για τις οχυρώσεις και μετέπειτα μεγάλο μαγίστρο Pierre d'Aubusson.

Κατά την ίδια αυτή περίοδο ανοικοδομήθηκε ο κεντρικός πύργος του προμαχώνα του Αποστόλου Παύλου, που φέρει το οικόσημο του Pierre d'Aubusson (1476-1501), και ενισχύθηκε η οχυρωματική γραμμή σε σχέση με το αρχικό –βυζαντινό– τείχος και το προτείχισμα.

Ευρύτερης κλίμακας ανακατασκευή του ανατολικού σκέλους της οχύρωσης στην περιο-

4. A. Gabriel, ό.π. (σημ. 1), σ. 79.

5. A. Gabriel, ό.π. (σημ. 1), Pieces justificatives, σ. 143-149.

6. Χρ. Τζομπανάκη, *Η θαλασσινή τριλογία του Χάνδακα*, Ηράκλειο 1997, σ. 121-125 και 177.

7. D.J. Blackman, «Οι λιμένες της αρχαίας Ρόδου», στο *Ρόδος 2.400 χρόνια. Η πόλη της Ρόδου από την ίδρυσή της*

μέχρι την κατάληψη από τους Τούρκους (1523), Πρακτικά, τόμ. Α' (1999), σ. 43.

8. Ζ. Τσιριπανλής, *Ανέκδοτα έγγραφα για τη Ρόδο και τις Νότιες Σποράδες από το αρχείο των Ιωαννιτών Ιπποτών (1421-1453)*, Ρόδος 1995, σ. 403, έγγραφο αρ. 127.

χή της παλιάς πύλης του Ταρσανά, μετά την κατάρρευση μεγάλου τμήματός της κατά τον κατακλυσμό του 1476, τεκμηριώνεται εξάλλου από τη μελέτη γραπτών πηγών του τάγματος⁹.

Το τμήμα του βόρειου τείχους «του Ταρσανά» μεταξύ των δύο πύργων του Heredia κατασκευάστηκε με χρήση παλαιού οικοδομικού υλικού και περιέλαβε δευτερεύουσα πυλίδα προς το προτείχισμα, στη θέση του σημερινού ιταλικού ανοίγματος (πίν. 197α).

Το μεγάλο συγκρότημα οξυκόρυφων θολωτών κτισμάτων, πιθανότατα νεωρίων, που απεικονίζονται στη μικρογραφία του χειρόγραφου κώδικα του Caoursin το 1480-1481, κατασκευάστηκε ως συμφύες με το τείχος, γεγονός που το επιβάρυνε στατικά και οδήγησε προφανώς στην τελική κατάρρευσή του.

Ο «θόλαρος» στη νέα μορφή του επιχώθηκε, προφανώς για να αντιμετωπίσει τη νέα πολεμική τεχνική με γενίκευση της χρήσης των κανονιών κατά το β' μισό του 15ου αιώνα.

Το πάχος του οξυκόρυφου θόλου διπλασιάστηκε με την προσθήκη δεύτερης στρώσης λίθων εξωτερικά, προκειμένου να αντέξει το βάρος του επιχώματος. Οι παλιές τριγωνικές απολήξεις των στενών πλευρών του ενσωματώθηκαν στη νέα κατασκευή ογκώδους περιμετρικού μετώπου, που διαχώριζε συνεχής διακοσμητική ταινία («cordone»), και η παλιά γωνιακή απότμηση καταργήθηκε.

Στη φάση αυτή προστέθηκαν πέτρινες υδρορροές ελεύθερης ροής στη στάθμη του δώματος για την απορροή των ομβρίων υδάτων κατά μήκος της νότιας μακράς πλευράς του, οι

οποίες αργότερα μεταφέρθηκαν ψηλότερα εξαιτίας της σταδιακής υπερύψωσης, που τεκμηριώνεται από τη μελέτη της στρωματογραφίας στην τομή της επίκωσης (πίν. 197β).

Το χαρακτηριστικό αυτό για την κατανόηση της πολεοδομικής εξέλιξης της περιοχής κτίσμα, ήδη επιβαρημένο από την άμεση γειτνίασή του με τις ογκώδεις οχυρωματικές κατασκευές στα βόρεια¹⁰, που σε περίπτωση σεισμικής καταπόνησης είναι ιδιαίτερα δυσμενείς για την ευστάθεια του «θόλαρου», μας παραδίδεται σήμερα σε πολύ κακή κατάσταση διατήρησης.

Σημαντικό στοιχείο για την κατανόηση της οικοδομικής ιστορίας της μνημειακής κατασκευής είναι η φωτογραφία που δημοσίευσε ο B. de Belabre το 1908¹¹, στην οποία διακρίνεται καθαρά η νοτιοδυτική γωνία της οπλοθήκης, στην μορφή που είχε τουλάχιστον στο τέλος της περιόδου της τουρκοκρατίας, οπότε είχαν προστεθεί ογκώδεις πέτρινες αντηρίδες χαρακτηριστικής μορφής («arcs-boutants») σε κανονικές αποστάσεις καθόλο το μήκος της νότιας πλευράς της (πίν. 198α).

Οι αντηρίδες αυτές, που υποδηλώνουν προφανώς την εκδήλωση σοβαρών στατικών προβλημάτων της κατασκευής σε απροσδιόριστη ακόμη χρονική στιγμή στη διάρκεια της ιπποτοκρατίας ή της τουρκοκρατίας, αφαιρέθηκαν από τους Ιταλούς κατά τις εργασίες ριζικής ανάπλασης της περιοχής της «Piazza del Armeria»¹².

Την ίδια εποχή αφαιρέθηκαν και όλες οι νεότερες προσθήκες του τουρκικού περιβόλου με την επιγραφή¹³, η οποία μνημονεύει τη ριζική

9. Α. Τσοπανιάκης, «Στο περιθώριο του κατακλυσμού του 1476 στην Ρόδο», *Ροδωνία*, τόμ. Β', Ρέθυμνο 1994.

10. Η κατάσταση αυτή επιδεινώθηκε από τη σταδιακή πάχυνση του παλαιού βυζαντινού τείχους, στα ανατολικά του πύργου του Heredia, το μέτωπο του οποίου φέρει οικόσημο του μεγάλου μαγίστρου D'Aubusson. Η μεταγενέστερη εξάλλου επίκωση του προτειχίσματος μέχρι τη στάθμη των επάλξεων συνετέλεσε στην αύξηση των προβλημάτων του «θόλαρου».

11. Baron de Belabre, *Rhodes of the Knights*, Oxford 1908, σ. 135, εικ. 126.

12. M. Livadiotti - G. Rocco, *La presenza italiana nel*

Dodecaneso tra il 1912 e il 1948. La ricerca archeologica, la conservazione, le scelte progettuali, Atene 1997, σ. 28-33.

13. Η επιγραφή έχει την ημερομηνία 1859-60 και την υπογραφή του σουλτάνου Abdulmecial I (1839-61). «Η επιγραφή (KITABE) δηλώνει ότι ο Σουλτάνος Αμπντούλ Μετζίτ Χαν Α' πρόσταξε την επισκευή των οχυρώσεων και έκτισε αυτό το οπλοστάσιο καλύτερο από το προηγούμενο. Μια εκρηκτική αστραπή έπληξε το προηγούμενο οπλοστάσιο από ατύχημα και το κατέστρεψε. Ο σουλτάνος έχει προσευχηθεί τέτοιο πράγμα να μη συμβεί ξανά».

επέμβαση επισκευής του κτιρίου μετά την μεγάλη καταστροφή που υπέστη το 1856¹⁴, οπότε και επισκευάστηκε το περιμετρικό στηθαίο από το οποίο αφαιρέθηκε τμήμα του ύψους του.

Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν μεταλλικοί ελκυστήρες, οι οποίοι όμως αφαιρέθηκαν αργότερα, όταν στο μνημείο λειτουργούσε τμήμα του ηλεκτρικού σταθμού της πόλης, με ογκώδεις εγκαταστάσεις και δονήσεις, που πιθανότατα επιβάρυναν ακόμη περισσότερο την κατάσταση του «θόλαρου».

Στη νέα μορφή του πολεοδομικού ιστού της περιοχής, μετά τη διάνοιξη της νέας πύλης της Ελευθερίας, ώστε να εξυπηρετηθεί η περιφερειακή κίνηση τροχοφόρων γύρω από την τειχισμένη πόλη, η οπλοθήκη στέκει σε επαφή με την οχύρωση ως μεμονωμένο απομεινάρι του ιπποτικού οπλοστασίου, αποκομμένο από τον πολυσύχναστο πλέον δρόμο, που διασχίζει την πύλη του Ταρσανά, με μεγάλη κίνηση ογκωδών οχημάτων και τουριστικών λεωφορείων κατευθυνόμενα προς το λιμάνι (πίν. 198β).

ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΦΘΟΡΩΝ

Το κτίριο της οπλοθήκης De Milly, στην κατάσταση που μας παραδόθηκε κατά τη δεκαετία του 1990, παρουσίαζε έντονα προβλήματα:

1) Εγκατάλειψης και φθοράς του οικοδομικού υλικού λόγω ανεπαρκούς συντήρησης και διάβρωσης των λίθων στα σημεία που διαπιστώνεται τυρβώδης ροή του ανέμου.

2) Ανθρώπινων επεμβάσεων και διανοίξεων νέων ανουγμάτων, που, ιδιαίτερα στην ανατολική στενή πλευρά του κτίσματος, συνετέλεσαν στη σημαντική αποδυνάμωση της τοιχοποιίας.

3) Στατικής επιβάρυνσης, η οποία είναι ορατή στην παραμόρφωση του μεγάλου οξυκόρφου θόλου και φθάνει στα όρια της αποδιοργάνωσης με άμεσο κίνδυνο κατάρρευσης, ιδιαίτερα στο μέσον του μήκους του.

Πλήρης ανάλυση της στατικής συμπεριφοράς του «θόλαρου» σε σχέση με τις οχρωματικές κατασκευές και σε συγκεκριμένα μοντέλα σεισμικής καταπόνησης έχει γίνει σε μελέτη του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης¹⁵.

4) Ανεπαρκούς στεγάνωσης και διευθέτησης της άνω στάθμης του επίπεδου δώματος του κτιρίου, με αποτέλεσμα να εισρέουν όμβρια ύδατα στο ογκώδες επίχωμα του «θόλαρου», τα οποία επιβαρύνουν ακόμη περισσότερο την ήδη εύθραυστη ισορροπία του μνημείου.

Στη διάρκεια του 1999 και του 2000 ολοκληρώθηκε μία πρώτη φάση επεμβάσεων στο κτίσμα, που περιέλαβε την σχεδιαστική τεκμηρίωση - αποτύπωση της υπάρχουσας κατάστασής του, την εφαρμογή επειγόντων κατασκευών και του περιβάλλοντος χώρου τους.

Αφού ολοκληρώθηκε η αποτύπωση με πλήρη τεκμηρίωση των παραμορφώσεων του μνημείου σε έξι (6) εγκάρσιες τομές¹⁶, προχώρησε η πλήρης υποστύλωση του οξυκόρφου θόλου με επιτόπου κατασκευή ξύλινου δικτυώματος¹⁷. Η κατασκευή ακολουθεί την παραμόρφωση του «θόλαρου» και προβλέπεται να χρησιμεύσει ως «καλούπι/ για την αποκατάσταση του μνημείου, με τμηματική ανακατασκευή του παραμορφωμένου τμήματος στα σημεία που έχει διαταραχθεί η καμπυλότητά του και δεν είναι δυνατή η μεταφορά των πλάγιων ωθήσεων.

Στη συνέχεια, σύμφωνα με προκαταρκτική μελέτη και εκτίμηση της στατικής συμπεριφοράς της οπλοθήκης¹⁸, αφαιρέθηκε πλήρως το

14. Πιθανότατα πρόκειται για την καταστροφή από την έκρηξη της πυρίτιδας στα υπόγεια του ναού του αγίου Ιωάννη το 1856. Μ. Gehlhoff-Βολανάκη, «Ο σεισμός και η έκρηξη της πυρίτιδας στη Ρόδο το έτος 1856 κατά τον Hedenborg», *Ο Δρόμος* 13-14 (1982), σ. 52-59.

15. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Εργαστήριο Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων, *Οπλοθήκη De Milly» (Θόλαρος). Αποτίμηση των βλαβών. Στατική και σεισμική μελέτη αποκατάστασης*, Θεσσαλονίκη, Ιούνιος

2000.

16. Η τεκμηρίωση προχώρησε με ανάθεση στο αρχιτεκτονικό γραφείο Σ. Μαμαλούκου - Α. Καμπόλη και ολοκληρώθηκε το Σεπτέμβριο του 1997.

17. Σύμφωνα με μελέτη του πολιτικού μηχανικού Μ. Χρονόπουλου για την υποστύλωση - αντιστήριξη του «θόλαρου» το Δεκέμβριο του 1997.

18. Μ. Χρονόπουλος, *Δομητική μελέτη οπλοθήκης De Milly - «θόλαρος» - προκαταρκτική έκθεση*, 2 Απριλίου 1999.

επίχωμα από την ανώτερη ζώνη του κτίσματος, αφού προηγήθηκε η μελέτη της στρωματογραφίας στην τομή του, η οποία έδωσε πολύτιμα στοιχεία για την οικοδομική εξέλιξη της κατασκευής.

Στη φάση αυτή συμπληρώθηκε η αρχική σειρά σχεδίων τεκμηρίωσης του μνημείου με λεπτομερειακά στοιχεία της κατασκευής και διάγνωση των φθορών και των παραμορφώσεων που παρουσιάζει¹⁹. Επιμέρους ερευνητικές τομές στο εσωτερικό των τμημάτων των τοιχοποιιών και του θόλου οδήγησαν σε σημαντικές παρατηρήσεις και στη διάκριση των παλαιότερων οικοδομικών φάσεων του μνημείου.

Έτσι, η λίθινη κατασκευή στο πάχος του θόλου, που είναι σήμερα πάνω από 50 cm, αναλύθηκε στο αρχικό πάχος θολίτη 25 cm της πρώτης φάσης του και της μεταγενέστερης πάχυνσης για ενίσχυσή του, προκειμένου να δεχτεί το βάρος του επιχώματος. Ανάμεσα στις δύο αυτές στρώσεις παρεμβάλλεται η αρχική επικάλυψη - στεγάνωση με υδραυλικό κονίαμα (κουρασάνι).

Ο συνδυασμός των στοιχείων που προκύπτουν από την ανάλυση της ίδιας της κατασκευής με αυτά που προκύπτουν από τα αρχεία, την έρευνα και τις δημοσιευμένες ή μη φωτογραφικές απόψεις των αρχών του 20ού αιώνα, οδήγησαν στη γραφική αποκατάσταση των διαδοχικών οικοδομικών φάσεων του κτιρίου σε σχέση και με την πολεοδομική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής του οπλοστασίου, στην οποία εντάσσεται.

Το πρώτο αυτό στάδιο επέμβασης στο μνημείο ολοκληρώθηκε με τη διενέργεια διερευνητικών (ανασκαφικών) τομών σε τρεις περιοχές της οπλοθήκης, με στόχο την αποκάλυψη των συνθηκών έδρασης των μεσαιωνικών τοιχοποιιών και της σχέσης του προς μελέτη κτίσματος με τις περιβάλλουσες βυζαντινές οχυρωματικές κατασκευές.

Ανασκαφικές τομές²⁰ προχώρησαν τόσο στην περιοχή της βορειοδυτικής γωνίας του κτιρίου, όσο και κατά μήκος της ανατολικής στενής πλευράς του, και ιδιαίτερα στο βορειοανατολικό άκρο της.

Από την έρευνα αυτή προέκυψε ότι ο «θόλαρος» φέρεται από το παλιό κυρίως τείχος της οχύρωσης, πιθανότατα του 14ου αιώνα, το οποίο, όπως και το προτείχισμα, εδράζεται σε στρώση φυσικού ψαμμίτη σε βάθος -2,30 M. από τη σημερινή στάθμη του εδάφους.

Ο νότιος τοίχος του, συνολικού πάχους 2 μ., θεμελιώνεται σε αργιλώδες χαλαρό έδαφος²¹ και σε βάθος -1,90 μ.

Τέλος, η λήψη επειγόντων σωστικών μέτρων για την εξασφάλιση του μεσαιωνικού μνημείου μέχρι την οριστική επέμβαση ολοκληρώθηκε με την τοποθέτηση προσωρινού μεταλλικού στεγάστρου για την ομαλή απορροή των ομβρίων υδάτων.

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ

Η συζήτηση επί των γενικών αρχών που πρέπει να διατυπωθούν για την επέμβαση στο προβληματικό τμήμα μιας μεσαιωνικής κατασκευής, προκειμένου να αποδοθεί με ασφάλεια στην επόμενη γενιά, επικεντρώθηκε στη χρήση δύο διαφορετικών μεθόδων αναστρέψιμης επέμβασης στο μνημείο:

1) Στην τοποθέτηση εμφανών μεταλλικών ελκυστήρων με πυκνή διάταξη (ανά 1 μ.), σε στάθμη που αντιστοιχεί στο 1/3 του συνολικού ύψους του οξυκόρυφου θόλου (πίν. 199α), και

2) στην κατασκευή τεσσάρων (4) εξωτερικών εμφανών αντηρίδων από τοιχοποιία απλουστευμένης μορφής και διαστάσεων τέτοιων που δεν συναγωνίζονται την αυθεντική όψη και δομή του κτιρίου (πίν. 199β).

19. Στο στάδιο αυτό η ολοκλήρωση της αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης και η γραφική αποκατάσταση του μνημείου προχώρησε με τη συνεργασία του αρχιτέκτονα Κυριάκου Μάγου.

20. Υπεύθυνη για την παρακολούθηση της ανασκαφικής έρευνας στην ευρύτερη περιοχή του «θόλαρου» είναι η

αρχαιολόγος της 4ης Ε.Β.Α. Άννα-Μαρία Κάσδαγλη.

21. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Εργαστήριο Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων, *Στερεωτικά προβλήματα της θεμελίωσης της οχύρωσης της μεσαιωνικής πόλης της Ρόδου*, Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 1998.

Μετά από τρισδιάστατη σχεδιαστική απεικόνιση και των δύο πιο πάνω εναλλακτικών προτάσεων²², η Επιτροπή Παρακολούθησης Έργων στα Μνημεία της Μεσαιωνικής Πόλης της Ρόδου του Τ.Δ.Π.Ε.Α.Ε. γνωμοδότησε ομόφωνα υπέρ της λύσης των αντηριδών, ως κατασκευής που είναι απόλυτα συμβατή με τα αυθεντικά στοιχεία της οπλοθήκης, τεκμηριώνεται ιστορικά ως προϋπάρχουσα της πρόσφατης ιταλικής επέμβασης στο κτίριο και προκαλεί την μικρότερη αισθητική ζημιά στο μνημείο, εξασφαλίζοντας συγχρόνως την εύκολη διάκριση των στοιχείων της σύγχρονης επέμβασης αποκατάστασής του.

Η τελική απόφαση για την έγκριση του τρόπου επέμβασης για τη στερέωση του «θόλαρου» θα οδηγήσει στην ολοκλήρωση της στατικής μελέτης με την πλήρη διαστασιολόγηση των επεμβάσεων αλλά και της αρχιτεκτονικής μελέτης για την αποκατάσταση - ανάδειξή του και τη λειτουργική επανένταξή του στο μεσαιωνικό πολεοδομικό ιστό και τη ζωή της σύγχρονης πόλης της Ρόδου.

Β. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ – ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ – ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ

Φέρον οργανισμός

Το στατικό σύστημα της κατασκευής είναι ένας θόλος αποτελούμενος από το αρχικό (φέρον) τόξο, ύψους 3,50 μ. στη γένεσή του, το οποίο φέρει υπερκείμενη στρώση κουρασσανίου και επιπρόσθετη (μη φέρουσα), μικρού πάχους, «φλούδα» λιθοδομής, ενώ κατά το παρελθόν έχει επιχωθεί με αργιλικό υλικό. Όπως φαίνεται στην τομή του πίν. 199γ, η στήριξη του θόλου επιτυγχάνεται μονολιθικά στη νότια (εξω-

τερική) πλευρά με τον πάχους 2 μ. εξωτερικό τοίχο και στη βόρεια απόληξή του (εσωτερικά) εμπλέκεται και στηρίζεται κατασκευαστικά από μεγάλο όγκο υπολείμματος του μεσαιωνικού τείχους. Τα φορτία που μεταφέρει ο θόλος (κατακόρυφα και σεισμικά-οριζόντια) μεταβιβάζονται στους τρεις εξωτερικούς τοίχους από φέρουσα λιθοδομή, καθώς και σε τμήμα του τείχους της εξωτερικής οχύρωσης (βορείως). Το γεγονός, που αποτελούσε μία καλή και οικονομική λύση για τη μεταφορά φορτίων βαρύτητας, για τη σεισμική συμπεριφορά του θόλου κρίνεται ιδιαίτερος δυσμενές, διότι ο θόλος, όπως αποδεικνύεται παρακάτω, ήταν αναγκασμένος να δέχεται μεγάλα οριζόντια αδρανειακά φορτία από την ταλάντωση του τείχους, τα οποία εντέλει μεταφέρονται μέσω μηχανισμού τόξου προς τον εξωτερικό (νότιο) τοίχο. Για το λόγο αυτό, και εξαιτίας της διακινδύνευσης απώλειας της συνολικής στατικής ευστάθειας του μνημείου, απαιτήθηκε άμεση εσωτερική υποστήλωση και εξωτερική υποστήριξη, η οποία πραγματοποιήθηκε μέχρι την οριστικοποίηση της αποτίμησης της υφισταμένης κατάστασης, την τελική επιλογή της μεθόδου αποκατάστασης και την οριστική στερέωση του μνημείου.

Από την άλλη, από άποψη συνοχής και ακεραιότητας των επιμέρους στοιχείων (εξωτερικών τοίχων) από φέρουσα λιθοδομή που συνθέτουν το «θόλαρο», δεν παρατηρούνται ιδιαίτερος σημαντικά προβλήματα. Επίσης, δεν παρατηρείται υπέρβαση της θλιπτικής τους αντοχής, καθώς απουσιάζουν οι κατακόρυφες ρηγματώσεις στο σώμα των τοίχων, που θα συνηγορούσαν στην ύπαρξη μηχανισμού ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων στη μοναξονικά (υπό κατακόρυφα φορτία) θλιβόμενη λιθοδομή αυτών. Από τα παραπάνω, καθώς και από το γεγονός ότι δεν παρατηρείται πρόβλημα διαφορικής βράχυνσης στο σώμα των τριών τοίχων, προκύπτει ότι τα κατακόρυφα φορτία ιδίου βάρους, συνεκτιμώντας τα φορτία που μεταφέρονται

22. Την τρισδιάστατη απεικόνιση των προτάσεων απέδωσε ο αρχιτέκτων του τεχνικού γραφείου του Τ.Δ.Π.Ε.Α.Ε. Π. Χατζηγιάννου και στην τελική παρουσίαση του φα-

κέλου συνεργάστηκε ο αρχιτέκτων του τεχνικού γραφείου του Τ.Δ.Π.Ε.Α.Ε. Μ. Γρύλλης.

από το θόλο και το υλικό παλαιότερης επίχωσης, παραλαμβάνονται με ικανοποιητική ασφάλεια από το σύστημα των τριών τοίχων και μεταφέρονται στο έδαφος μέσω της θεμελίωσης.

Στήριξη θόλου – Αποκόλληση νότιου τοίχου – Ρηγματώσεις (πίν. 200α, 200β, 200γ, 200δ, 200ε, 200στ)

Η ανεπαρκής ανάπτυξη μηχανισμού μεταφοράς ωθήσεων από το θόλο προς τον εξωτερικό (νότιο) τοίχο και η συνακόλουθη ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στο σώμα του θόλου έχουν προκαλέσει την αποκόλληση του νοτίου τοίχου και την απόκλιση από την κατακόρυφο κατά 4-6 cm Παράλληλα παρατηρούνται ρηγματώσεις εύρους έως 8 εκ. στους εγκάρσιους (ανατολικό και δυτικό) τοίχους, και ειδικότερα στο σημείο συναρμογής αυτών με το νότιο τοίχο, οι οποίες αναπτύσσονται καθ' ύψος, υπερβαίνοντας το επίπεδο του θόλου. Απόρροια του μηχανισμού αυτού είναι και η ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων και η συνακόλουθη εμφάνιση ρηγματώσεων σε συγκεκριμένες θέσεις κατά τη διαμήκη έννοια του θόλου, τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ίνα. Ο νότιος τοίχος, συνεπώς, αποτελεί πρακτικά έναν πρόβολο από λιθοδομή, ο οποίος εμφανίζεται ιδιαίτερα ασθενής έναντι σεισμικής ώθησης κάθετα προς το επίπεδό του, καθώς αντιστέκεται στις αδρανειακές δυνάμεις όχι τόσο με τη (σχετικά μικρή) καμπτική αντοχή της βάσης του, αλλά κυρίως με το ίδιο βάρος του, το οποίο είναι σημαντικό λόγω του περίπου 2 μ. πλάτους του. Δεδομένου ότι η διεύθυνση της σεισμικής δράσης είναι τυχαυματική, το φέρον σύστημα των τριών τοίχων έχει αναπόφευκτα καταπονηθεί στο παρελθόν και εντός επιπέδου. Εντούτοις δεν παρατηρούνται μορφές αστοχίας (διατμητικής, καμπτικής ή ολίσθησης) εξαιτίας της σημαντικά μεγαλύτερης αντίστασης των τοίχων εντός επιπέδου μέσω της λειτουργίας δίσκου. Η περίπτωση όμως απώλειας της στατικής ισορροπίας του θόλου ως στερεού σώματος, λόγω της απόκλισης από την κατακόρυφο του φέροντος νότιου τοίχου, θα πρέπει επίσης να εξεταστεί.

Λιθοδομή

Γενικά, η λιθοδομή του «θόλαρου» κρίνεται ότι βρίσκεται σε μέτρια έως ικανοποιητική τοπικά κατάσταση. Ο τρόπος δόμησης είναι αρκετά πυκνός, γεγονός που αποτελεί πλεονέκτημα, αφού, έως έναν βαθμό, οι αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις μοιράζονται σε πολλούς αρμούς, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ανάπτυξη υψηλού τοπικού ελκυσμού και η συνακόλουθη ρηγματώση στους εγκάρσιους τοίχους. Οι ρηγματώσεις που παρατηρούνται στις γωνίες των εγκάρσιων τοίχων οφείλονται στην παραμόρφωση του νότιου τοίχου υπό την επίδραση των σημαντικότερων αδρανειακών σεισμικών φορτίων από το μεσαιωνικό τείχος και τη μερική αδυναμία της θεμελίωσης. Η μεγαλύτερη φθορά των λίθων στις γωνίες οφείλεται, μεταξύ άλλων, στη δυσμενή δράση του ανέμου, σε συνδυασμό με τη διάβρωση της λιθοδομής λόγω υγρασίας και γειννίασης με το θαλάσσιο περιβάλλον. Επίσης δεν είναι καθόλου αμελητέα και η επιβάρυνση του μνημείου από τον έντονο κυκλοφοριακό φόρτο πάσης φύσεως οχημάτων.

Θεμελίωση

Από τη διερευνητική τομή που πραγματοποιήθηκε στο επίπεδο της θεμελίωσης αλλά και από τη γενικότερη εμπειρία περί των μεθόδων κατασκευής μεσαιωνικών κτισμάτων, προκύπτει ότι η θεμελίωση ειδικά του νότιου τοίχου αποτελεί απλώς μια συνέχεια της δόμησης με λιθοδομή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (με μικρή διαπλάτυνση), χωρίς ειδικότερη γεωμετρία ή εξυγιαντικές στρώσεις. Ο βαθμός επάρκειας της θεμελίωσης καθώς και η φέρουσα ικανότητα του εδάφους εξετάζονται αναλυτικά, προκειμένου να προταθεί στο πλαίσιο της συνολικής στερέωσης του μνημείου και η παράλληλη ενίσχυση της θεμελίωσης.

Μικρού βαθμού διαφορική καθίζηση παρατηρείται στη άθετη διεύθυνση στο διαμήκη άξονα του «θόλαρου» λόγω της θεμελίωσης του νότιου τοίχου σε μαλακότερο έδαφος σε σχέση με το μεσαιωνικό τείχος, το οποίο εδράζεται επί επιφανειακής έξαρσης ασβεστολίθου. Σε μικρό-

τερο βαθμό το φαινόμενο αυτό είναι δυνατό να έχει επιδεινωθεί και από τα μεγάλα φορτία κυκλοφορίας, που επιβαρύνουν τον παρακείμενο δρόμο. Η επιρροή της διαφορικής αυτής καθίζησης στη συνολική μορφή παραμόρφωσης του φορέα αποτιμάται μέσω στατικής και δυναμικής ανάλυσης, σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους μηχανισμούς που αναπτύσσονται.

Αρχική εκτίμηση αιτιών αστοχίας

Για τον προσδιορισμό των αιτιών που προκάλεσαν τις συγκεκριμένες παραμορφώσεις απαιτήθηκε εκτεταμένη ανάδρομη στατική και δυναμική ανάλυση για διαφορετικούς συνδυασμούς φορτιστικών καταστάσεων (υποχώρηση στήριξης, σεισμική δράση, επίχωση θόλου) και καταναγκασμών (διαφορική καθίζηση θεμελίωσης), οι οποίοι θεωρήθηκαν πιθανοί κατά την επιτόπου αποτίμηση της κατασκευής.

Από τα παραπάνω σενάρια -και σε συνδυασμό με μια σειρά από ελέγχους ευαισθησίας στις τιμές των εισαγόμενων τιμών μηχανικών ιδιοτήτων αλλά και επί των υιοθετημένων παραδοχών- εξετάστηκαν πιθανοί συνδυασμοί μεταξύ των σχετικών παραμέτρων (διαφορετικές τιμές μέτρου ελαστικότητας για τη λιθοδομή, ύπαρξη ή μη επιχώματος στη στέγη του θόλου, συνθήκες άκαμπτης/ελαστικής έδρασης του νότιου τοίχου, αλληλεπίδραση «θόλαρου» - διπλανού κτίσματος, σεισμοί διαφορετικού συχνοτικού περιεχομένου και διάρκειας), οδηγώντας τελικά στη σύνθεση 252 διαφορετικών υποθέσεων φόρτισης και καταναγκασμών.

ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ

Η λιθοδομή είναι ένα σύμμεικτο υλικό, του οποίου η αντοχή είναι συνάρτηση των επιμέρους συστατικών της, εν προκειμένω των λίθων και του κονιάματος. Οι τιμές αυτές μηχανικών ιδιοτήτων έχουν προσδιοριστεί εργαστηριακά στο Ε.Μ.Π., στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος για τη μεσαιωνική πόλη Ρόδου και αναφέρονται στην αντοχή του πωρόλιθου του λατομείου Σφουγγαριών Αρχαγγέλου Ρόδου. Η

λιθοδομή του «θόλαρου» δεν είναι απαραίτητο να σχετίζεται με το συγκεκριμένο λατομείο, γι' αυτό και οι τιμές που τελικά χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη λαμβάνονται συντηρητικές. Σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 6 και δεδομένης της αντοχής λίθων και κονιάματος (Πίνακας 1), η αντοχή της λιθοδομής σε θλίψη προκύπτει ίση προς $f_{wk} = 1,80 \text{ MPa}$, σε διάτμηση ίση προς $f_{vk} = f_{vko} + 0,4\sigma_d \text{ [MPa]}$ και σε εφελκυσμό σε περίπου ίση με το 10% της αντίστοιχης θλιπτικής αντοχής, δηλαδή ίση προς $0,18 \text{ MPa}$. Αντίστοιχα το μέτρο ελαστικότητας της λιθοδομής προσδιορίζεται ίσο προς $E = 1000f_w = 1800 \text{ MPa}$, και ο λόγος του Poisson, $\nu = 0,25$.

Πληροφορίες για το έδαφος στη θέση της κατασκευής υπάρχουν διαθέσιμες από προγενέστερη Μικροζωνική Μελέτη, η οποία εκπονήθηκε από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Εργαστήριο Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων, 1996) για την ευρύτερη περιοχή των μεσαιωνικών οχυρώσεων και συνοδεύεται από επιτόπου δοκιμές (γεωτρήσεις και σεισμικές διασκοπήσεις) (πίν. 201α). Ένα ζεύγος εξ αυτών πραγματοποιήθηκε σε πολύ μικρή απόσταση από το «θόλαρο». Αυτές οι επιτόπου έρευνες συμπληρώνονται από αναλυτικές εργαστηριακές δοκιμές, οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί στο Α.Π.Θ. στο πλαίσιο του ανωτέρω προγράμματος, παρέχοντας έτσι λεπτομερειακά και αξιόπιστα γεωτεχνικά δεδομένα. Από τις ανωτέρω γεωτεχνικές μελέτες που έχουν γίνει στο υπέδαφος της περιοχής του «θόλαρου», αλλά και από ερευνητικά σκάμματα που έγιναν περιμετρικά, προκύπτει ότι η νότια πλευρά του είναι θεμελιωμένη σε μαλακό χαλαρό έδαφος (αμμοίλυ), ενώ η βόρεια σε βράχο και εδράζεται επάνω στο τείχος. Ο υπόγειος ορίζοντας βρίσκεται ψηλά, σχεδόν στην επιφάνεια του εδάφους, εξαιτίας της γειτνίασης με τη θάλασσα.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Από την μελέτη των αποτελεσμάτων των διεξοδικών αναλύσεων αποτίμησης του μηχανι-

ΕΔΑΦΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη	$q_u = 134 \text{ kN/m}^2$
Φυσική υγρασία	$W = 37\%$
Κορεσμένο ειδικό βάρος	$\gamma_d = 18,4 \text{ kN/m}^3$
Βυθισμένο ειδικό βάρος	$\gamma_{\text{βυθ}} = 8,4 \text{ kN/m}^3$
Γωνία τριβής στην επιφανειακή στρώση του εδάφους	$\varphi = 30^\circ$
Συνοχή στην επιφανειακή στρώση του εδάφους	$c = 7 \text{ kPa}$
Δείκτης συμπίεσιότητας	$C_c = 0,356$
Δείκτης πόρων	$e_o = 1,375$
Μέση ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων σε όλο το εδαφικό προφίλ	$V_s = 420 \text{ m/sec}$
Μέση ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στην επιφανειακή στρώση εδάφους	$V_s = 250 \text{ m/sec}$

ΛΙΘΟΙ

Ειδικό βάρος	$\gamma_d = 22,0 \text{ kN/m}^3$
Μέτρο ελαστικότητας	1800 MPa
Μέση θλιπτική αντοχή	7,08 MPa
Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή	3,50 MPa

ΚΟΝΙΑΜΑ

Θλιπτική αντοχή	2,20 MPa
Διατμητική αντοχή κονιάματος χωρίς κάθετη θλίβουσα δύναμη	0,45 MPa

ΛΙΘΟΔΟΜΗ

Θλιπτική αντοχή	1,80 MPa
Διατμητική αντοχή (EC6)	0,55 MPa
Εφελκυστική αντοχή (EC6)	0,18 MPa
Συντελεστής ασφαλείας υλικού (EC6)	$\gamma_M = 1,0$ (αποτίμηση)
Μέτρο ελαστικότητας	1800 MPa
Απόσβεση	3%

Πίνακας 1 Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών.

Σεισμός	Ημερομηνία	Μέγεθος mb	R	Αριθμός βημάτων	Βήμα ολοκλήρωσης	PGA (g)	PSA (g)
Καλαμάτα	13-09-1986	5,8	8 Km	6016	0,005	0,24	0,79
Αθήνα	07-09-1999	5,9	9 Km	7816	0,005	0,30	1,67
Λευκάδα	27-05-1981	4,9	15 Km	2668	0,01	0,22	0,54
Ρόδος	05-10-1987	5,1	6 Km	1863	0,01	0,23	1,56
Irpinia				7379	0,002	0,24	0,93
Kobe				4001	0,01	0,21	0,54
Tabas	16-09-1978	6,5	5 Km	6357	0,01	0,25	0,84

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά χρονοϊστοριών επιτάχυνσης, που χρησιμοποιήθηκαν για τη σεισμική διέγερση της κατασκευής στο πεδίο του χρόνου.

σμού αστοχίας προκύπτει ότι η υφιστάμενη κατάσταση του φορέα αποτελεί πράγματι συνάθροιση μιας σειράς παραγόντων, οι οποίοι έδρασαν κατά τη διάρκεια ζωής του κτίσματος, όπως η επανειλημμένη σεισμική καταπόνηση, η εξ επαφής μεταφορά αδρανειακών (σεισμικών) δυνάμεων από το παρακείμενο τείχος, η κατά περιόδους επίχωση του θόλου, η διαφορική καθίζηση της θεμελίωσης του νότιου τοίχου ως προς το (εδραζόμενο σε έξαρση επιφανειακού ασβεστόλιθου) βόρειο τείχος, καθώς και η φυσική φθορά της λιθοδομής, αποτέλεσμα της αποδιοργανωτικής επιρροής του χρόνου και του διαβρωτικού περιβάλλοντος, φαινόμενα που οδήγησαν στην ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων μεγαλύτερων της διαθέσιμης αντοχής στο σώμα της λιθοδομής.

Η διαφορική καθίζηση του μνημείου είναι αποτέλεσμα της έδρασης του νότιου τοίχου στην επίστρωση σχετικά χαλαρής αμμοίλυος, καθώς και της υψηλής στάθμης του υπογείου οριζόντια, καθώς σε περίπτωση ισχυρού σεισμού οδηγεί στην αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων, στην ταυτόχρονη μείωση των ενεργών τάσεων και τη συνακόλουθη απομείωση της φέρουσας ικανότητας, με συνέπεια την αύ-

ξηση των καθιζήσεων. Στον πίν. 201β είναι φανερή η τάση του νότιου τοίχου να αποκολληθεί από τον υπόλοιπο φορέα, χωρίς όμως κίνδυνο ανατροπής, κύρια λόγω του μεγάλου πλάτους και ιδίου βάρους του. Η μέγιστη απόκλιση του νότιου τοίχου από την κατακόρυφο βρέθηκε ίση με περίπου 6 cm, τιμή που επαληθεύει τις μετρηθείσες τιμές μετακίνησης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ

Έχοντας αποσαφηνίσει το μηχανισμό αστοχίας της κατασκευής, επιδιώχθηκε η διερεύνηση του βαθμού αποτελεσματικότητας διαφορετικών μεθόδων και τεχνικών αποκατάστασης και ενίσχυσης, προκειμένου να προσδιοριστεί, σε συνεργασία με την Υπηρεσία, ο βέλτιστος τρόπος επέμβασης από άποψη συντελεστή ασφαλείας έναντι απώλειας στατικής ισορροπίας ευστάθειας, μείωσης των αναπτυσσόμενων εφελκυστικών τάσεων αλλά και σεβασμού των αρχιτεκτονικών και ιστορικών ιδιαιτεροτήτων του μνημείου. Οι μέθοδοι στερέωσης που εξετάστη-

καν παρουσιάζονται παρακάτω. Σε όλες τις περιπτώσεις γίνεται η θεώρηση ότι, παράλληλα με την επέμβαση επί του φορέα, έχει αφαιρεθεί το υπερκείμενο του θόλου εδαφικό επίχωμα, ενώ η περιοχή της συναρμογής του θόλου με τους εγκάρσιους τοίχους έχει ανακατασκευασθεί μέσω αρομολογήματος, με χρήση κονιαμάτων υψηλής αντοχής. Επίσης, θεωρείται πως η υπάρχουσα θεμελίωση έχει ενισχυθεί κατάλληλα.

Εναλλακτική λύση 1: Χρήση ελκυστήρων

Επιδιώκεται η διερεύνηση της δυνατότητας παραλαβής των αδρανειακών δυνάμεων και των ωθήσεων εκ της λειτουργίας τόξου του θόλου από πρόσθετους μεταλλικούς ελκυστήρες και όχι από το σώμα του νότιου τοίχου και του θόλου.

Εναλλακτική λύση 2: Χρήση αντηρίδων

Αφορά πλευρική αντιστήριξη με κατάλληλες αντηρίδες, των οποίων οι διαστάσεις συνάδουν μορφολογικά με προγενέστερη ιστορική φάση (επί τουρκοκρατίας), κατά την οποία αποτελούσαν δομικό μέρος του «θόλαρου». Οι αξονικές αποστάσεις των αντηρίδων, καθώς και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά, καθορίστηκαν σε συνεργασία με την Υπηρεσία ως ακολούθως: ύψος 4,50 μ., βάση μικρή 0,50 μ., βάση μεγάλη 1,00 μ., αξονική απόσταση 5,50 μ., πάχος 0,80 μ. Η λύση συνδυάζεται με επέκταση της θεμελίωσης προς τα έξω κατά 1,00 μ., προκειμένου να επιτευχθεί η βελτίωση της φέρουσας ικανότητας της θεμελίωσης υπό στραγγισμένες ή αστραγγιστες συνθήκες.

Εναλλακτική λύση 3: Τοπική επέμβαση / ραφή στη θέση εμφάνισης της ρηγμάτωσης

Δύναται να πραγματοποιηθεί με τη χρήση συνδέσμων συρραφής και -παρά τις εγγενείς κατασκευαστικές δυσκολίες και αβεβαιότητες- στοχεύει στην επαύξηση της μονολιθικότητας του φορέα και την αύξηση της εφελκυστικής αντοχής της λιθοδομής.

Από τη μελέτη της επιρροής των εναλλακτι-

κών μεθόδων επέμβασης στις αναπτυσσόμενες οριζόντιες και κατακόρυφες τάσεις του «θόλαρου» προκύπτει πως και οι τρεις μέθοδοι επέμβασης (χρήση ελκυστήρων, εξωτερικών αντηρίδων, εκτεταμένης συρραφής) είναι καταρχήν αποδεκτές από άποψη αποτελεσματικότητας, προσφέροντας βεβαίως διαφορετικό βαθμό αύξησης του συντελεστή ασφαλείας. Ειδικότερα θα πρέπει να επισημανθεί ότι:

- Η επιλογή της τοποθέτησης εμφανών ελκυστήρων, ως μεθόδου επέμβασης, κρίνεται ικανοποιητική, αφού συνδυάζει την ευκολία στην κατασκευή με την ταυτόχρονη μείωση των εφελκυστικών τάσεων έως και κατά 50% (πίν. 202α). Η πρόσφυση των ράβδων στους τοίχους επιτυγχάνεται με χρήση κονιαμάτων υψηλής αντοχής, καθώς και με την πιθανή χρήση τσιμεντενέσεων. Μειονέκτημα αποτελεί η αισθητική αλλαγή στο εσωτερικό του μνημείου.

- Η επιλογή της χρήσης αντηρίδων υπολείπεται σε κάποιο βαθμό σε αποτελεσματικότητα έναντι της προηγούμενης λύσης, χωρίς όμως να θεωρείται ανεπαρκής. Συνδυάζει την ευκολία κατασκευής, μια και πρόκειται για εξωτερική επέμβαση, και τη μείωση των εφελκυστικών τάσεων του υπάρχοντος φορέα σε ικανοποιητικό επίπεδο (έως 30%).

- Τέλος, η μέθοδος των συνδέσμων θεωρητικά απομειώνει τις εφελκυστικές τάσεις στον μέγιστο βαθμό, θα πρέπει όμως να επισημανθεί ότι η τοπική επέμβαση / ραφή στην περιοχή της ένωσης του τοίχου με τον θόλο είναι αρκετά δύσκολο να επιτευχθεί, καθώς ανακύπτουν ερωτηματικά αναφορικά με το ποσοστό επιτυχίας της μεθόδου.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά η Υπηρεσία αποφάνθηκε ότι η προσφορότερη μέθοδος στερέωσης είναι η χρήση αντηρίδων. Η λύση αυτή συνάδει με τις ιστορικές και αρχιτεκτονικές απαιτήσεις που τίθενται από τη φυσιογνωμία του μνημείου, διατηρεί τον χαρακτήρα του, αποφεύγοντας την εκτεταμένη χρήση πυκνών (και εμφανών) ελκυστήρων, ενώ παράλληλα πληροί την αρχή της αντιστρεψιμότητας των επεμβάσεων. Η λύση που προτείνεται και τελικά εφαρμόζεται συνοψίζεται στις εξής εργα-

σίες:

- Κατασκευή τεσσάρων εξωτερικών αντηρίδων.
- Αποκατάσταση της συνέχειας του θόλου, όπου έχει διαταραχθεί με καλή συρραφή και αρμολόγημα. Οριστικοποίηση της αφαίρεσης της επίχωσης.
- Αποκατάσταση των λιθοδομών των εγκάρσιων τοίχων και καλή σύνδεση αυτών με τον νότιο τοίχο. Ενίσχυση της σύνδεσης με την κατασκευή εσωτερικώς «κλειδιών σε πλέξη» από καλής ποιότητας λίθους.
- Διαπλάτυνση της θεμελίωσης με καλής ποιότητας λιθοδομή, καταλλήλως συνδεδεμένη με την υφιστάμενη.
- Κατασκευή περιμετρικής ζώνης αποστράγγισης σε ικανό βάθος για τη μείωση της πιθανής αύξησης της πίεσης των πόρων στη στάθμη θεμελίωσης στην περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού, με στόχο τη μείωση του κινδύνου απώλειας της διατμητικής αντοχής (και επομένως και της φέρουσας ικανότητας) του εδάφους θεμελίωσης. Ταυτόχρονα περιορίζεται και ο κίνδυνος πλευρικής μετακίνησης (lateral spreading) και εξασφαλίζεται η ανάπτυξη ικανών παθητικών ωθήσεων, ώστε η βάση του νότιου τοίχου να πληροί τις προϋποθέσεις «πάκτωσης».

ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ ΜΕΤΑ ΤΗ ΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΝΤΗΡΙΔΩΝ

Προσομοίωση σε δύο διαστάσεις (2D)

Η στατική και δυναμική μελέτη του μεσαιωνικού κτίσματος έγινε με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Sap 2000. Για τον σκοπό αυτό μορφώθηκε αρχικά ένα διδιάστατο προσομοίωμα, που αντιστοιχεί γεωμετρικά στην τομή του πίν. 6β. Επειδή στην προκειμένη περίπτωση του «θόλαρου» ο φέρων οργανισμός συνίσταται από λιθοδομή, ήταν απαραίτητη η θεώρηση επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων κελύφους (shell elements) επίπεδης παραμόρφωσης για την προσομοίωση της απόκρισης του συστήματος υπό κατακόρυφα και σεισμικά φορτία (Πίνακας 1).

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η συγκριτικά μεγάλη μάζα του μεσαιωνικού τείχους, στο οποίο στηρίζεται ο «θόλαρος», και η συνακόλουθη δυναμική αλληλεπίδραση (μεταφορά αδρανειακών δυνάμεων), που υπάρχει στη συμπεριφορά μεταξύ των δύο δομημάτων κατά τη διάρκεια σεισμικής δράσης, χρησιμοποιούνται στοιχεία N-Link τύπου Gap (μη-γραμμικοί σύνδεσμοι πρόσκρουσης). Σε αντίθεση με το τμήμα του τείχους, ο νότιος τοίχος του «θόλαρου» θεωρήθηκε εδραζόμενος επί ενδόσιμου εδαφικού στρώματος, η προσομοίωση του οποίου πραγματοποιήθηκε με γραμμικά ελατήρια δυσκαμψίας ίσης προς $Kz = 550000 \text{ KN/m}^2$ (από γεωτεχνικά δεδομένα παρακείμενης γεώτρησης).

Είναι φανερό πως η ενεργοποίηση μεγάλου αριθμού ιδιομορφών (απαιτήθηκαν 30 ιδιομορφές για την ενεργοποίηση του 90% της μάζας της κατασκευής), καθώς και η μονόπλευρη επαφή της βόρειας πλευράς του με το μεσαιωνικό τείχος, δεν επιτρέπουν τη μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής με την επιβολή ισοδύναμα στατικής αδρανειακής φόρτισης, με αποτέλεσμα η δυναμική ανάλυση της κατασκευής στο πεδίο των συχνοτήτων και του χρόνου να καθίσταται αναγκαία. Ο φορέας μελετήθηκε στη γραμμική ελαστικότητα.

Συνελπώς, η δυναμική ελαστική επίλυση του φορέα έγινε για επτά σεισμούς, με διαφορετικό συχνωτικό περιεχόμενο και διάρκεια, αξιοποιώντας και την προγενέστερη Μικροζωνική Μελέτη του Α.Π.Θ. για την περιοχή της Ρόδου. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση των σεισμικών αυτών κινήσεων ελήφθη ίση προς 0,24 g, τιμή που προδιαγράφει ο ΕΑΚ2000 για την περιοχή της Ρόδου, με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια. Από την ιδιομορφική ανάλυση του φορέα προκύπτει ότι ο «θόλαρος» στην υφιστάμενη κατάσταση έχει ιδιοπερίοδο $T = 0,105 \text{ sec}$, ενώ ο ενισχυμένος φορέας εμφανίζει περίοδο ίση με 0,098 sec, γεγονός που ήταν αναμενόμενο εξαιτίας της αύξησης της δυσκαμψίας, λόγω της τοποθέτησης των αντηρίδων.

Το τελικό αριθμητικό προσομοίωμα επιλύθηκε υπό κατακόρυφα φορτία, διαφορική καθίζηση (δια της ενδοσιμότητας του υποκείμενου

	Προσομοίωση 2D	Προσομοίωση 3D	Επιτρεπόμενο μέγεθος
Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος	0,098	0,094	-
Μέγιστες οριζόντιες εφελκυστικές τάσεις υπό κατακόρυφα φορτία	0,03 MPa	0,02 MPa	0,18 MPa
Μέγιστες οριζόντιες θλιπτικές τάσεις υπό κατακόρυφα φορτία	0,09 MPa	0,10 MPa	1,80 MPa
Μέγιστες κατακόρυφες εφελκυστικές τάσεις υπό κατακόρυφα φορτία	0,08 MPa	0,06 MPa	0,18 MPa
Μέγιστες κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις υπό κατακόρυφα φορτία	0,08 MPa	0,07 MPa	1,80 MPa
Μέση στον χώρο και στον χρόνο κατακόρυφη εφελκυστική τάση υπό κατακόρυφα φορτία, διαφορική καθίζηση και σεισμική δράση (σεισμοί Καλαμάτας, Ρόδου, Λευκάδας, Αθήνας)	0,22 MPa	0,32 MPa	0,18 MPa
Μέση στον χώρο και στον χρόνο κατακόρυφη θλιπτική τάση υπό κατακόρυφα φορτία, διαφορική καθίζηση και σεισμική δράση (σεισμοί Καλαμάτας, Ρόδου, Λευκάδας, Αθήνας)	0,19 MPa	0,30 MPa	1,80 MPa
Μέση στον χώρο και στον χρόνο οριζόντια εφελκυστική τάση υπό κατακόρυφα φορτία, διαφορική καθίζηση και σεισμική δράση (σεισμοί Καλαμάτας, Ρόδου, Λευκάδας, Αθήνας)	0,72 MPa	0,60 MP	0,18 MPa
Μέση στον χώρο και στον χρόνο οριζόντια θλιπτική τάση υπό κατακόρυφα φορτία, διαφορική καθίζηση και σεισμική δράση (σεισμοί Καλαμάτας, Ρόδου, Λευκάδας, Αθήνας)	0,62 MPa	0,24 MPa	1,80 MPa
Απόκλιση νοτίου τοίχου από την κατακόρυφο υπό κατακόρυφα φορτία, διαφορική καθίζηση και σεισμική δράση (Ρόδος)	0,06 cm	0,06 cm	0,00 cm

Πίνακας 3 Τελικά μεγέθη έντασης και παραμόρφωσης του πλευρικού.

του νότιου τοίχου εδάφους) και σεισμική δράση. Από τη γενική σύγκριση των εφελκυστικών τάσεων που αναπτύσσονται στο φορέα και της διαθέσιμης εφελκυστικής αντοχής (180 KN/m^2), παρατηρείται ότι, ενώ οι αναπτυσσόμενες εφελ-

κυστικές τάσεις είναι μικρότερες των επιτρεπόμενων υπό την επίδραση του ίδιου βάρους του φορέα, δηλαδή για στατικές συνθήκες, εντούτοις, σε μερικές περιπτώσεις, οι τιμές των τάσεων αυτών είναι μεγαλύτερες από την επιτρε-

πόμνη εφελκυστική αντοχή της λιθοδομής. Θα πρέπει όμως να τονιστεί πως οι τιμές αυτές δεν εκφράζουν τις μέσες αναπτυσσόμενες τάσεις, καθώς αφενός εμφανίζονται σε μικρές (σημειακές) περιοχές επάνω στον φορέα, αφετέρου δε παρατηρούνται σε μεμονωμένες χρονικές στιγμές της ιστορίας μεταβολής των εντατικών μεγεθών. Οι θλιπτικές τάσεις που αναπτύσσονται στον ενισχυμένο φορέα είναι, ακόμη και για την επίδραση του σεισμού, μικρότερες των επιτρεπομένων (Πίνακας 3).

Προσομοίωση σε τρεις διαστάσεις (3D)

Παράλληλα με την παραπάνω προσέγγιση προσομοίωσης, κρίθηκε σκόπιμο να διερευνηθεί η στατική και δυναμική απόκριση του «θόλαρου» εκτός του επιπέδου της τομής του πίν. 199β, προκειμένου να αναδειχθεί ο βαθμός κατά τον οποίο παρατηρείται συγκέντρωση τάσεων στα σημεία συναρμογής του νότιου τοίχου με τους εγκάρσιους, καθώς και το αυξημένο βέλος απόκλισης στο κέντρο της διαμήκους διάστασης της επιφάνειας του νότιου τοίχου, στοιχεία που δεν είναι δυνατό να μελετηθούν μέσω διδιάστατης προσομοίωσης. Για την επίλυση του τρισδιάστατου προσομοιώματος που μορφώθηκε για τον σκοπό αυτό (πίν. 199β, 202β), χρησιμοποιήθηκαν 2240 στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης. Ο φορέας θεωρήθηκε πακτωμένος στο βόρειο τμήμα του, ενώ το νότιο τμήμα εδράζεται πάνω στο φυσικό έδαφος με σειρά κατακόρυφων ελατηρίων. Στις γωνίες του φορέα γίνεται η παραδοχή μονολιθικής σύνδεσης, δεδομένης της πρότασης αρμολογήματος και της πλέξης των λιθοσωμάτων στη θέση συναρμογής των εγκάρσιων με το νότιο τοίχο.

Η ανάλυση σε τρεις διαστάσεις πραγματοποιήθηκε με την υπόθεση της διέγερσης κάθετα προς τον άξονα του «θόλαρου», δεδομένου ότι από την προμελέτη αναδείχθηκε ο μηχανισμός εγκάρσιας μεταφοράς αδρανειακών φορτίων από το τείχος προς το θόλο και, κατ' επέκταση, το νότιο τοίχο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του φορέα στις τρεις διαστάσεις είναι παρόμοια των αντίστοιχων διδιάστατων προσομοιώματων όσον αναφορά τα δυναμικά χαρακτη-

ριστικά και το μέγεθος και την περιοχή ανάπτυξης των τάσεων (Πίνακας 3). Παράλληλα επαληθεύεται ο μηχανισμός αποκόλλησης του νότιου τοίχου, ενώ επιπρόσθετα παρατηρείται αύξηση των βελών απόκλισης (και της αντίστοιχης έντασης) προς το κέντρο του τοίχου (πίν. 203).

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ – ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Από τις στατικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, προκύπτει πως η προτεινόμενη λύση κατασκευής των αντηρίδων, υπό κατακόρυφα φορτία (ιδίου βάρους με την παραδοχή της αποφόρτισης μέσω αφαίρεσης του επιχώματος) και υπό τη διαφορική καθίζηση του εδραζόμενου σε μαλακό έδαφος νότιου τοίχου, οδηγεί σε καταστάσεις φόρτισης, όπου το σώμα της λιθοδομής είναι σε θέση να φέρει με ασφάλεια τις αναπτυσσόμενες εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις, οι οποίες είναι ενγύνη μικρότερες της διαθέσιμης αντοχής του (Πίνακας 1). Η κατασκευή μάλιστα των αντηρίδων οδηγεί σε απομείωση έως και κατά 80% των εφελκυστικών τάσεων και 63% των θλιπτικών τάσεων σε σχέση με αυτές που αναπτύσσονται σήμερα στον υφιστάμενο φορέα (πίν. 204). Από την άλλη, για την περίπτωση σεισμικής δράσης είναι γεγονός πως, παρά τη μείωση των εφελκυστικών τάσεων κατά περίπου 20% σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις σεισμικής διέγερσης, οι αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις υπερβαίνουν την εφελκυστική αντοχή της λιθοδομής, η οποία έχει εκτιμηθεί προσεγγιστικά ίση προς 0,18 MPa, τιμή που κρίνεται αρκετά χαμηλή, θεωρήθηκε όμως ότι, ελλείψει ειδικών δοκιμών, είναι σκόπιμο να πραγματοποιείται γενικά συντηρητική εκτίμηση της αντοχής. Θα πρέπει όμως στο σημείο αυτό να τονιστεί πως, ήδη από τον πίν. 205, γίνεται φανερό ότι οι μέγιστες τάσεις που αναπτύσσονται, αντιστοιχούν σε μεμονωμένες χρονικές στιγμές της ιστορίας, ενώ πολλές φορές παρατηρούνται και σημειακά ως προς τον χώρο, δηλαδή δεν χαρακτηρίζουν ομοιόμορφα μια ευρύτερη περιοχή του

φορέα. Για τον λόγο αυτό και προκειμένου να είναι εφικτή η εξαγωγή μιας «δρῶσας» (effective) αναπτυσσόμενης τάσης, αρχικά λαμβάνεται μια μέση τιμή ίση προς το 50% της μέγιστης αναπτυσσόμενης εφελκυστικής τάσης σε κάθε θέση. Κατόπιν συνεκτιμώνται οι αντίστοιχα υπολογισμένες τιμές εφελκυστικής τάσης σε τρία γειτονικά σημεία της δυσμενέστερα εφελκυστικής περιοχής και τελικά λαμβάνεται η μέση τιμή που προκύπτει από την επανάληψη της διαδικασίας και για τους τέσσερις υπό εξέταση σεισμούς. Από την ολοκλήρωση της ανωτέρω εξομάλυνσης, προκύπτουν οι δρῶσες εφελκυστικές τάσεις που αναμένεται να αναπτυχθούν στο σώμα του «θόλαρου», τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Από τη σύγκριση των «μέσων» εφελκυστικών και θλιπτικών τάσεων με τη διαθέσιμη αντοχή της λιθοδομής τεκμαίρεται ότι υπό σεισμική φόρτιση ο φορέας αναμένεται να υποβληθεί, έστω στιγμιαία, σε επιπόνηση, η οποία υπερβαίνει σε ορισμένες θέσεις την αντοχή του και, συνεπώς, ένα ποσοστό βλάβης θα πρέπει να αναμένεται. Θα πρέπει όμως στο σημείο αυτό να τονιστεί πως η δυναμική ανάλυση επιδιώχθηκε να είναι αρκετά συντηρητική, καθώς πραγματοποιήθηκε υπό το πρίσμα εξίσου συντηρητικών παραδοχών, όπως τη θεώρηση μηδενικής απορρόφησης ενέργειας μέσω της χρήσης συντελεστή μεταλαστικής συμπεριφοράς ίσου προς 1 και σχετικά μικρής απόσβεσης (3%) του φορέα, ενώ δεν ελήφθησαν υπόψη στην ανάλυση πρόσθετες βελτιώσεις (τοπικές συρραφές, ενίσχυση).

Σε κάθε περίπτωση πάντως, θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι, με δεδομένους τους υφιστάμενους αρχιτεκτονικούς και ιστορικούς περιορισμούς (μη χρήση ελκυστήρων, χρήση υλικών συμβατών χωρίς τη χρήση οπλισμένου σκυροδέματος, δεδομένη απόσταση και γεωμετρία αντηρίδων), δεν είναι εφικτός στη μνημειακή αυτή κατασκευή ένας βαθμός ασφαλείας ο οποίος να αντιστοιχεί σε σύγχρονη φιλοσοφία αντισεισμικού σχεδιασμού καινούργιας κατασκευής από Ο/Σ, με βάση τις τρέχουσες διατάξεις του Αντισεισμικού Κανονισμού.

Με άλλα λόγια, δεν θα πρέπει να αναμένεται κανείς ότι το μνημείο θα αποκριθεί στην ελαστική περιοχή και δεν θα παρουσιάσει τοπικού χαρακτήρα ρηγματώσεις και βλάβες, υπό οποιαδήποτε σεισμική φόρτιση, γεγονός που άλλωστε όχι απλά δεν αποκλείεται, αλλά πρακτικά γίνεται αποδεκτό από τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς και μάλιστα για όλες τις νεόδμητες κατασκευές μέσω της αποδοχής μεγαλύτερου της μονάδας συντελεστή μεταλαστικής συμπεριφοράς (άρα και βλάβης). Κρίνεται όμως ότι με την παρούσα επέμβαση επιτυγχάνεται η εξασφάλιση της ευστάθειας και στατικής επάρκειας του «θόλαρου» υπό συνθημισμένες συνθήκες κατακόρυφης και οριζόντιας (σεισμικής) φόρτισης. Για την περίπτωση του ακραίου σεισμικού συμβάντος εξασφαλίζεται, σύμφωνα με τις υποθέσεις της μελέτης και την προτεινόμενη λύση, ο προδιαγεγραμμένος από τον Αντισεισμικό Κανονισμό βαθμός ασφαλείας έναντι μη κατάρρευσης.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ – ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ (πίν. 206α, 206β)

Φέρον σύστημα – Πλευρική αντιστήριξη

Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες, προκύπτει ότι απαιτείται να κατασκευαστούν τέσσερις εξωτερικές αντηρίδες, των οποίων η γεωμετρία και αξονικές αποστάσεις συνάδουν με τις ιστορικές και αρχιτεκτονικές απαιτήσεις που τίθενται από τη φυσιογνωμία του μνημείου. Για την κατασκευή των αντηρίδων αυτών θα χρησιμοποιηθεί πωρόλιθος από το λατομείο Σφουγγαριών Αρχαγγέλου Ρόδου και ισχυρό κονίαμα με βάση την άσβεστο. Μεγάλη προσοχή θα πρέπει να δοθεί και σε αυτό το σημείο στη συναρμογή της αντηρίδας με τον αρχικό φορέα. Σκοπός της καλής συναρμογής είναι η λειτουργία του ενισχυμένου φορέα ως ένα σώμα. Σε συνδυασμό και με την ενίσχυση της θεμελίωσης, εξασφαλίζεται ότι ο κρίσιμος νότιος τοίχος του «θόλαρου», σε περίπτωση πολύ ισχυρού σεισμού, ακόμη και αν στιγμιαία απωλέσει την

επαφή του με τον θόλο λόγω της ανάπτυξης μεγάλων εφελκυστικών τάσεων, δεν θα παρουσιάσει μεγάλες μόνιμες παραμορφώσεις.

Βαθύ αρμολόγημα – Βελτίωση συναρμογής τοίχων – Συρραφή ρηγματώσεων

Η συστηματική στερεωτική επέμβαση επί της αποδιοργανωμένης λιθοδομής κρίνεται επιβεβλημένη. Στις θέσεις όπου παρατηρούνται σχετικά μικρού πάχους ρηγματώσεις, απαιτείται προσεκτικό αρμολόγημα (εσωτερικό και εξωτερικό), το οποίο θα πρέπει να συμπληρώνεται με αντικατάσταση ολόκληρων λίθων σε περίπτωση πλήρους αποδιοργάνωσής τους, όταν η βλάβη εκτείνεται σε βάθος, υπονομεύει το στατικό σύστημα ή εκτείνεται σε μεγάλη επιφάνεια. Τέλος, κρίνεται σκόπιμη και η βελτίωση του σώματος της λιθοδομής μέσω λιθοσυρραφών, όπως προβλέπεται και στην περίπτωση της συναρμογής των τοίχων του μνημείου.

Όπως αναφέρθηκε, προς την κατεύθυνση της αποκατάστασης της ένωσης αλλά και της ενίσχυσης του φορέα έναντι μελλοντικών φορτίσεων στη θέση συναρμογής του νότιου με τους εγκάρσιους τοίχους, προτείνεται κατάλληλο πλέξιμο νέων λίθων (λιθοσυρραφή), ικανών διαστάσεων, σε όλο το ύψος του τοίχου, η οποία θα πραγματοποιηθεί και στις δύο γωνίες. Η ραφή αυτή υλοποιείται στην εσωτερική πλευρά του «θόλαρου» κατόπιν αφαίρεσης λίθων και αντικατάστασης τους με λίθινα «κλειδιά». Σε κάθε περίπτωση πάντως, στις θέσεις αποκόλλησης του νότιου τοίχου, καθώς και σε όσες θέσεις το εύρος των ρηγματώσεων υπερβαίνει το 1 cm, η συρραφή των ρηγματώσεων θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση παρεμβαλλόμενων λίθινων κλειδιών, τα οποία τοποθετούνται κάθετα της ρωγμής, εισχωρώντας εκατέρωθεν στα αποσχισμένα μέλη της λιθοδομής.

Ενίσχυση θεμελίωσης (πίν. 206β)

Η ενίσχυση της θεμελίωσης κρίνεται ότι πρέπει να πραγματοποιηθεί, καθώς θα οδηγήσει στην ανάπτυξη τάσεων μικρότερων των επιτρεπομένων, τόσο για αστράγγιστες όσο και για συνθήκες στις οποίες δεν αναπτύσσονται υπερ-

πίεσεις. Προτείνεται εκσκαφή για την ενίσχυση (διαπλάτυνση) των υφισταμένων θεμελίων κατά 1,00 μ. Μεγάλη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στη συναρμογή της παλιάς με τη νέα θεμελίωση, η οποία θα επιτευχθεί με κατάλληλη πλέξη των λίθων μεταξύ τους μέσω δόμου-«κλειδιού», διαστάσεων 80x40x40 εκ., ο οποίος προβλέπεται να τοποθετείται ανά 80 εκ.

Παράλληλα, προτείνεται κατασκευή αποστραγγιστικής ζώνης, πλάτους τουλάχιστον 0,50 μ., η οποία θα αποτελείται από καλά διαβαθμισμένο και κυρίως συμπυκνωμένο αμμώδες υλικό υψηλής διαπερατότητας για την καλύτερη εκτόνωση των υπερπίεσεων. Η ζώνη θα περιβάλλεται από γεωϋφασμα, ενώ διακατάλληλας κεκλιμένων αποστραγγιστικών σωλήνων θα εξασφαλίζει την απορροή των υδάτων σε παρακείμενο φρεάτιο και από εκεί στη θάλασσα (εναλλακτικά θα μπορούσε η τελική απορροή να γίνει προς την τάφρο). Περιμετρικά του μνημείου, τέλος, πρέπει να προστεθεί κατάλληλο σύστημα επιφανειακής απορροής των ομβρίων (συμπεριλαμβανομένων και των προερχομένων από το θόλο) με την κατασκευή περιμετρικού καναλέτου με σχάρα σε απόσταση 1,00-1,50 μ. από το μνημείο. Στόχος του συστήματος αυτού είναι ο περιορισμός της κατείδυσης των ομβρίων στη θεμελίωση.

Ανακατασκευή θόλου

Κρίνεται πως δεν απαιτείται ανακατασκευή του θόλου, δεδομένου του ότι το πρόβλημα εστιάζεται στην έλλειψη πλευρικής αντιστήριξης, σε συνδυασμό με τη μεταφορά ωθήσεων από το τείχος της μεσαιωνικής οχύρωσης. Σκοπός των επισκευών που θα γίνουν είναι, με την κατάλληλη συμπλήρωση - αποκατάσταση και πλέξιμο των λίθων, η στέγη του θόλου να συμπεριφέρεται ως μία ενιαία στρώση, μονολιθικά συνδεδεμένη με τον βόρειο και τον νότιο τοίχο. Το επίχωμα στη στέγη θόλου έχει ήδη αφαιρεθεί προσεκτικά, με σκοπό την ανακούφιση του από το πρόσθετο φορτίο, ώστε να προκύψει περαιτέρω μείωση των τάσεων που αναπτύσσονται στο σύνολο του φορέα. Η ανακατασκευή της άνω προστατευτικής στρώσης λίθων, με πα-

ρεμβολή στρώσης κουρασάνιου, και η τελική στεγάνωση του θόλου με παραδοσιακό τρόπο είναι απαραίτητες. Η απορροή των ομβρίων πρέπει να γίνει με δύο σωλήνες στον ανατολικό εγκάρσιο τοίχο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν τεκμαίρεται ότι δια της στατικής και δυναμικής ανάλυσης είναι εφικτή η αποτί-

μηση της συμπεριφοράς και η ανάδειξη του μηχανισμού αστοχίας της μεσαιωνικής οπλοθήκης De Milly στη Ρόδο. Παράλληλα, πραγματοποιείται η αξιολόγηση εναλλακτικών τρόπων ενίσχυσης και αποκατάστασης των βλαβών και προτείνονται μέθοδοι επέμβασης, οι οποίοι επιλέχθηκαν με γνώμονα τον σεβασμό στον αρχιτεκτονικό και ιστορικό χαρακτήρα του μνημείου και την εξασφάλιση της μελλοντικής ευστάθειας της κατασκευής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Εργαστήριο Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων, *Μικροζωνική Μελέτη Ρόδου*, 1996.

ΕΑΚ 2000, *Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός. Εθνικό Κείμενο Εφαρμογής* (Ν.Α.Δ.).

Eurocode 6, «Design of masonry structures», *ENV 1996-1, General Rules*.

Eurocode 8, «Design provisions for earthquake

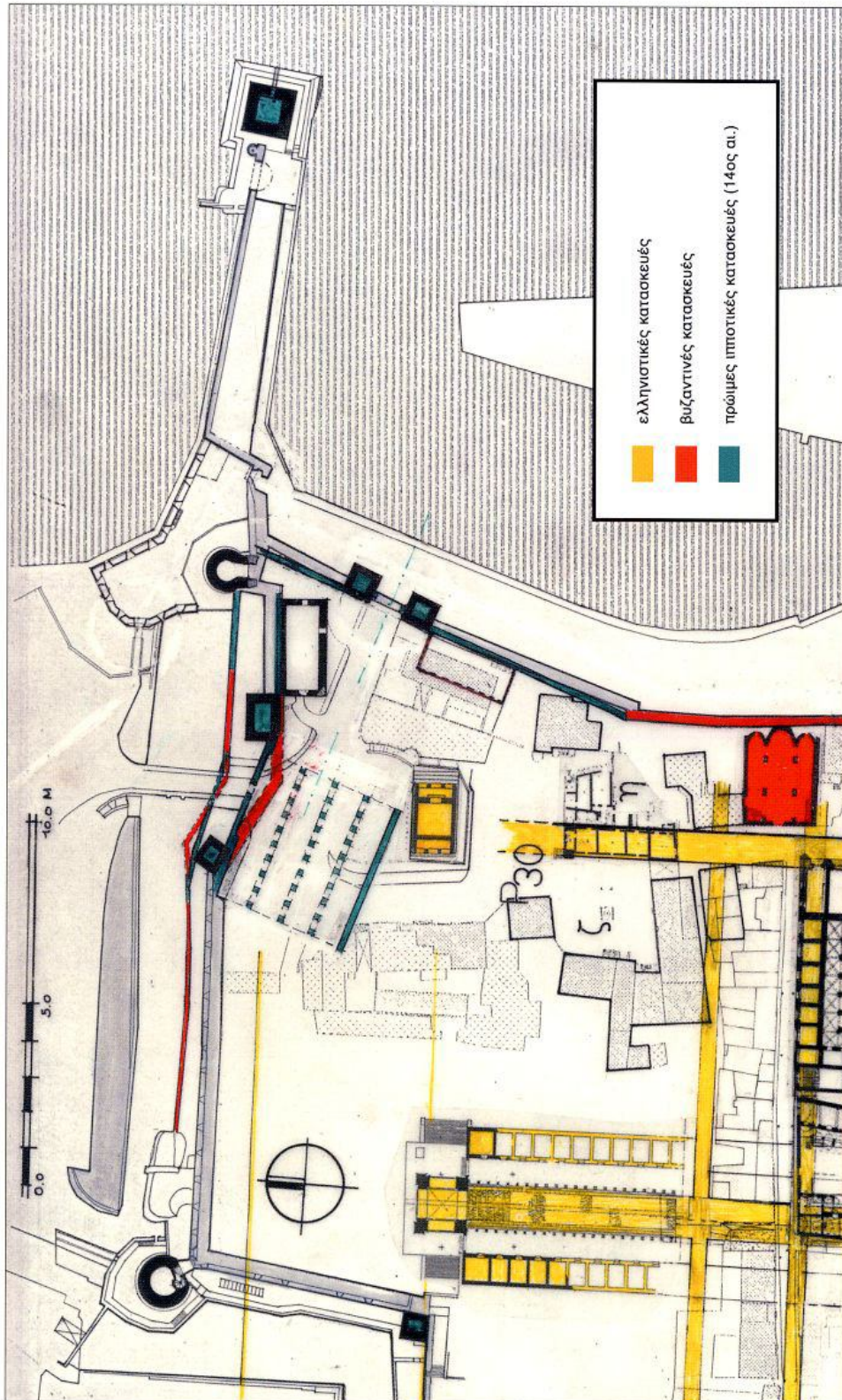
resistance of structures», *ENV 1998-1, General rules, seismic actions and rules for buildings*.

Πιτιλάκης Κ. - Σεξτός Α., «Ανάπτυξη λογισμικού για την αποτύπωση, κατηγοριοποίηση, αποτίμηση και ιεράρχηση των βλαβών στην Μεσαιωνική Πόλη της Ρόδου», στο *1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Επεμβάσεων σε Μνημεία*, Θεσσαλονίκη 2000, σ. 159-171.

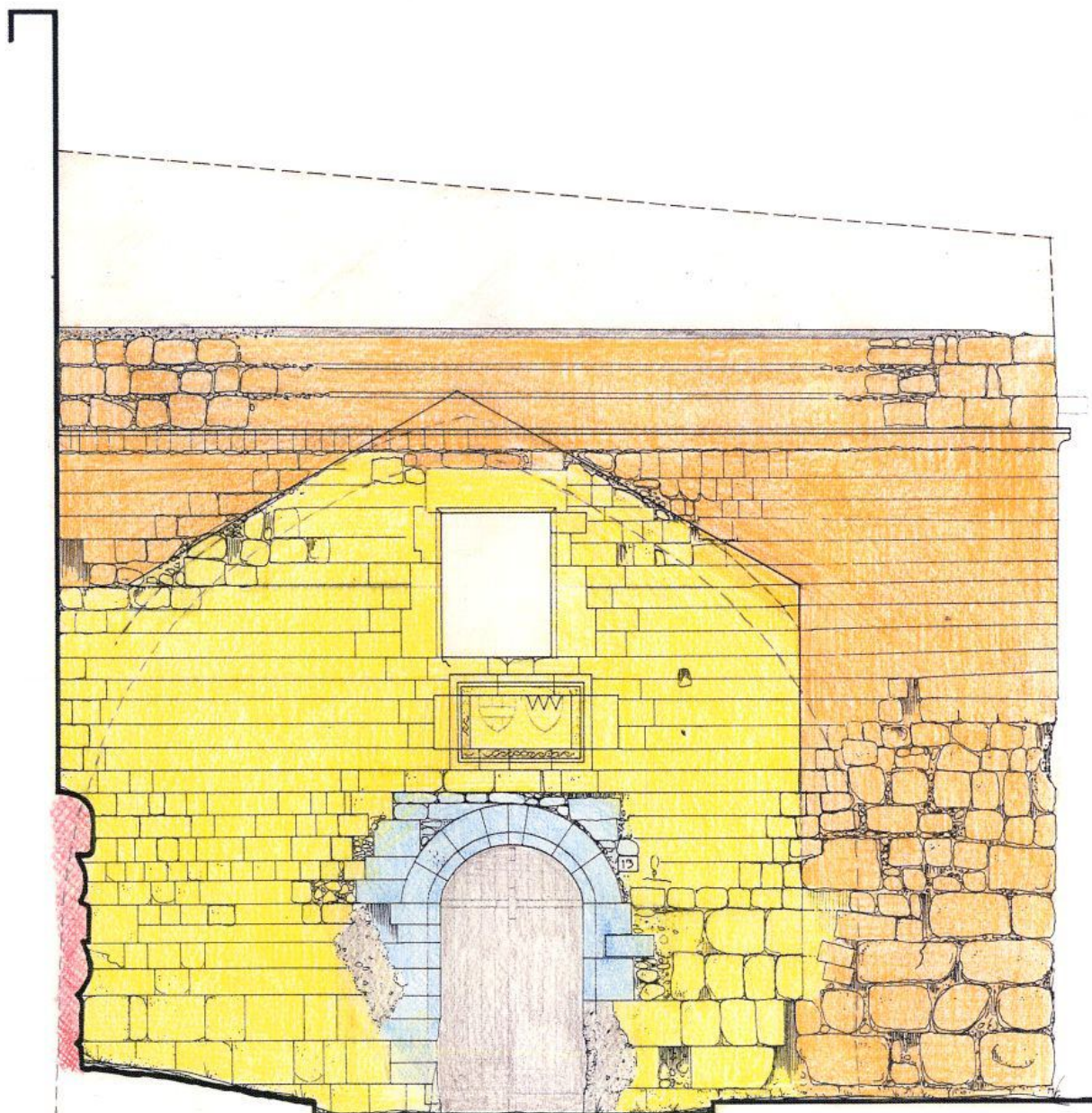
The restoration of the Hospitaller «Arsenal of De Milly» in the medieval town of Rhodes

Kiriazis Pitilakis, Anastassios Sextos, Katerina Manoussou-Della, Ioanna Galazoula

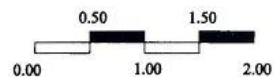
The paper presents the analysis of the loadbearing and dynamics properties of the medieval «Arsenal of De Milly» in Rhodes in order to a) interpret and evaluate damages and explore the dominant mechanism of its structural failure, b) consider alternative solutions for the consolidation of the building and the restoration of its stability in view of the ever-present earthquake hazard and (c) finally expound the solution best suited to the task, i.e. the construction of external buttresses together with the reinforcement of the foundations and the restoration of cracks in the masonry of the walls and vaulted ceiling, thus avoiding the demolition of parts of the original fabric.



Η ένταξη της οπλοθήκης De Milly στον περιβάλλοντα χώρο του Ταρσανά.

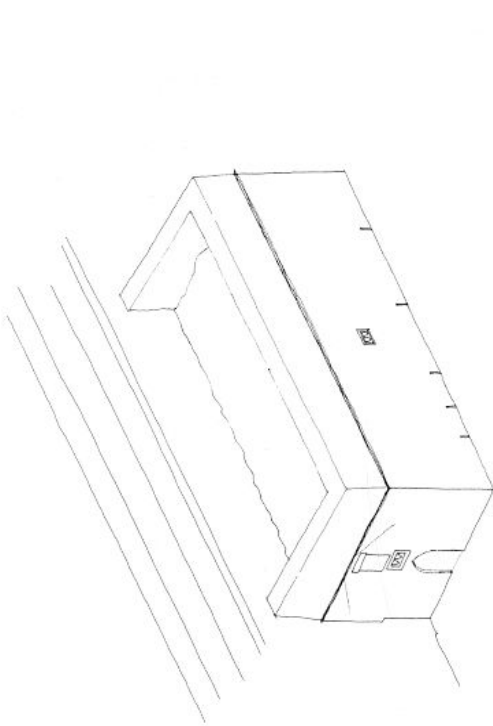


Δυτική όψη

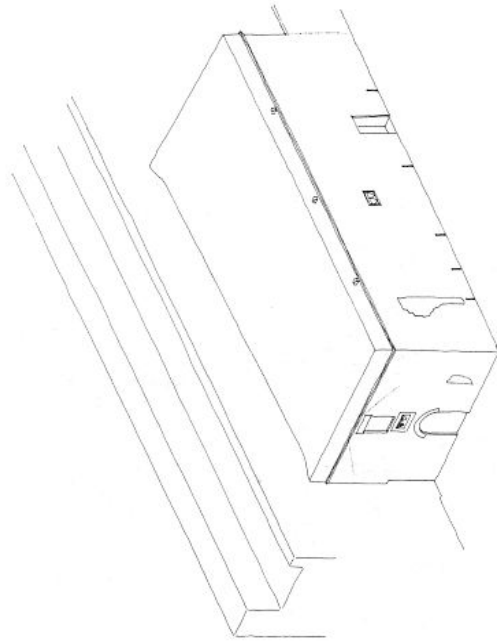


- 1^η ΦΑΣΗ - JACQUES DE MILLY (1454-1461)
- 2^η ΦΑΣΗ - GIOVANNI BATISTA DEGLI ORSINI (1467-1476)
- 3^η ΦΑΣΗ - ΤΟΥΡΚΟΚΡΑΤΙΑ
- 4^η ΦΑΣΗ - ΙΤΑΛΟΚΡΑΤΙΑ

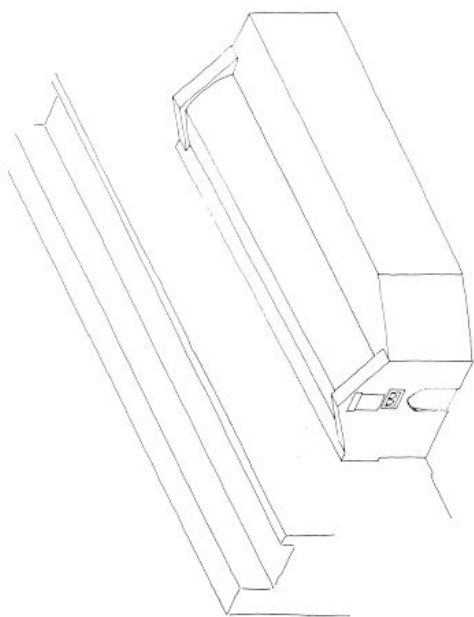
Οπλοθήκη De Milly. Δυτική όψη με διάκριση των οικοδομικών φάσεων.



2^η ΦΑΣΗ-
GIOVANNI BATTISTA DEGLI ORSINI
(1467-1476)

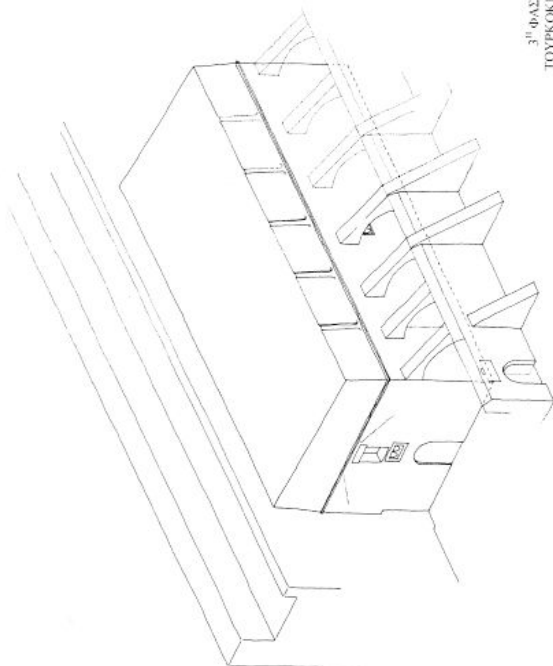


4^η ΦΑΣΗ-
ΠΑΛΑΚΡΑΤΙΑ



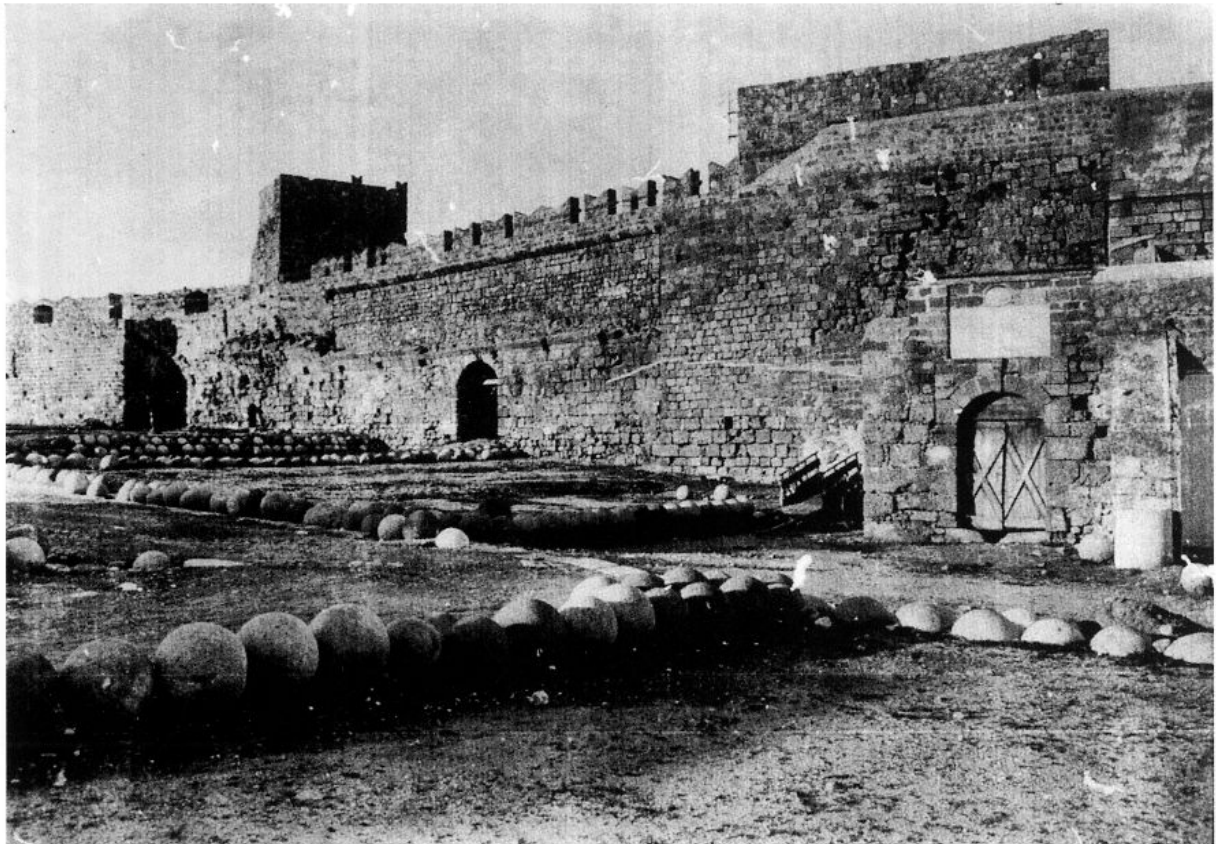
1^η ΦΑΣΗ-
JACQUES DE MILLY
(1454-1461)

Γραφική αποκατάσταση

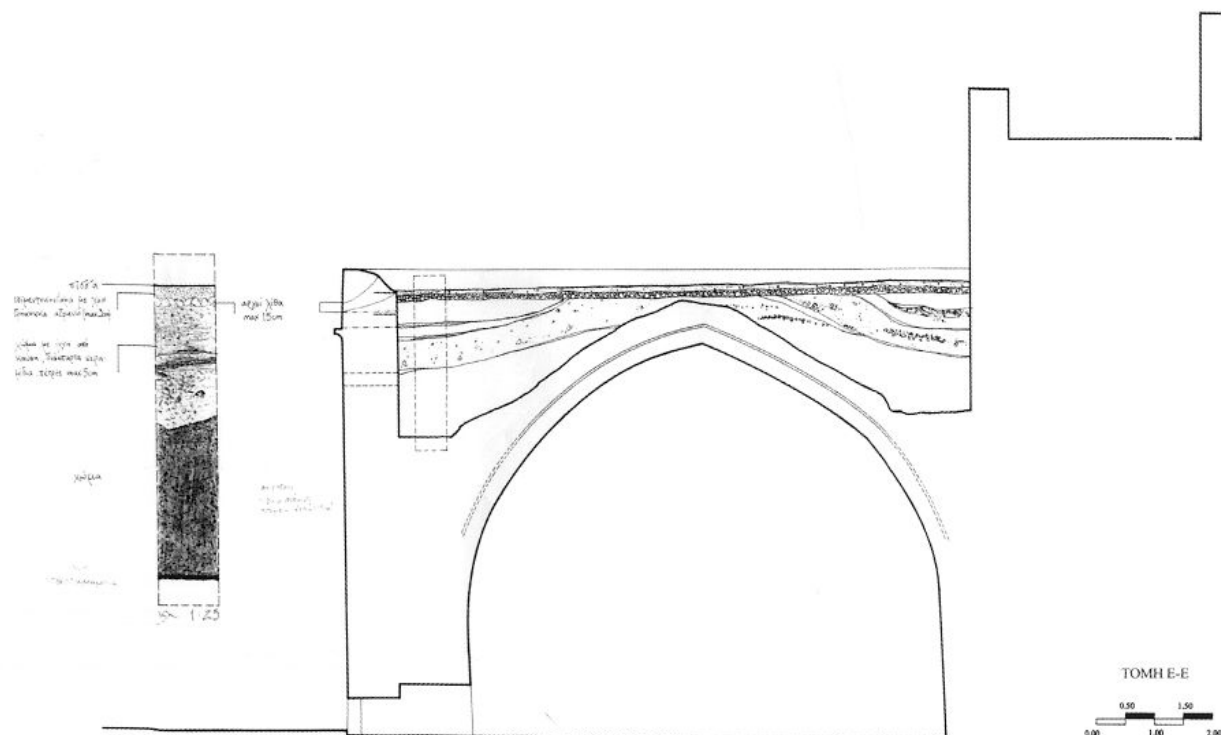


3^η ΦΑΣΗ-
ΤΟΥΡΚΟΚΡΑΤΙΑ

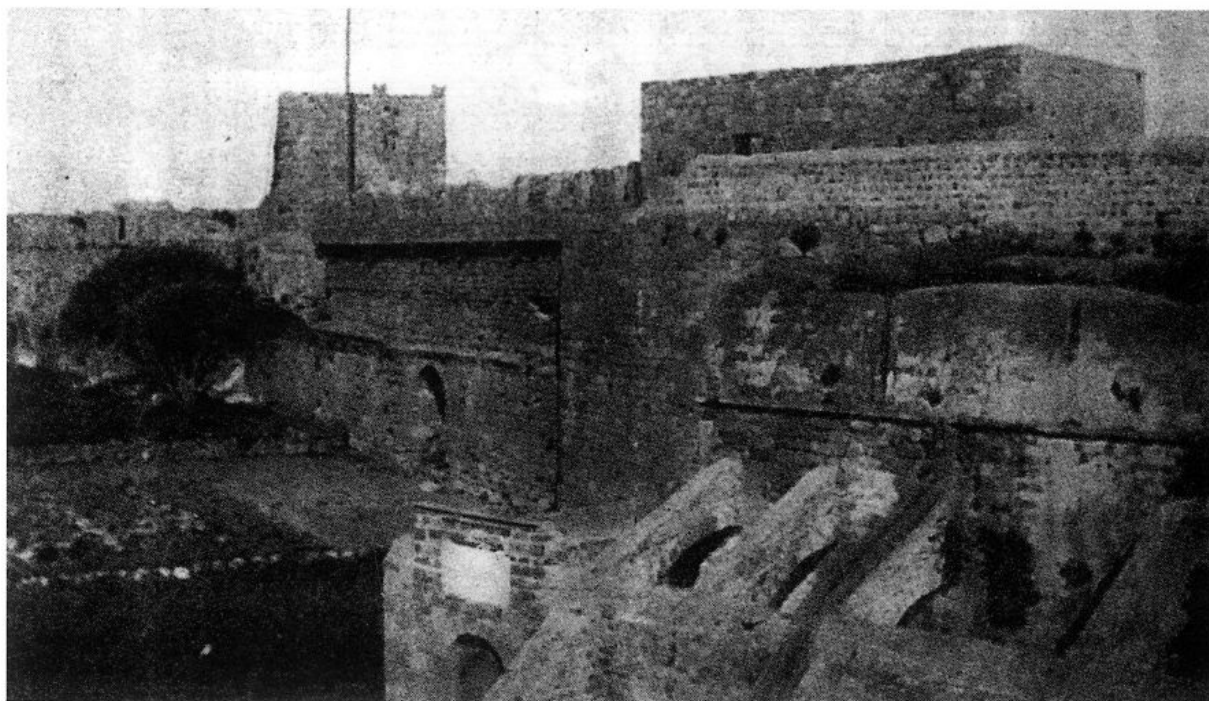
Οπλοθήκη De Milly. Γραφική αποκατάσταση των διαδοχικών οικοδομικών φάσεων.



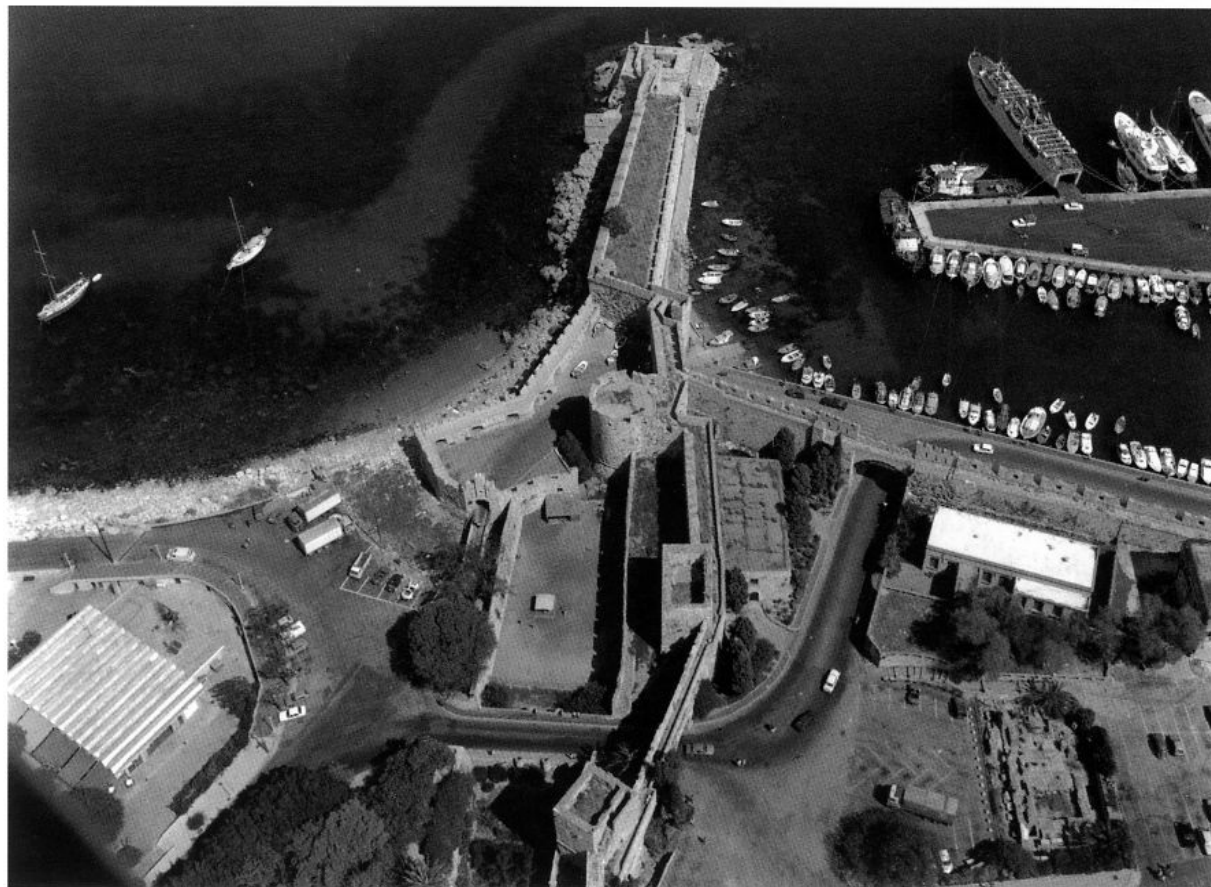
α) Μεσαιωνική πόλη Ρόδου. Γενική άποψη της περιοχής του ταρσανά πριν τη διάνοιξη της πύλης της Ελευθερίας στο τέλος του 19ου αιώνα (Baron de Belabre).



β) Οπλοθήκη De Milly. Εργάζοια τομή πριν την αφαίρεση του επιχώματος.

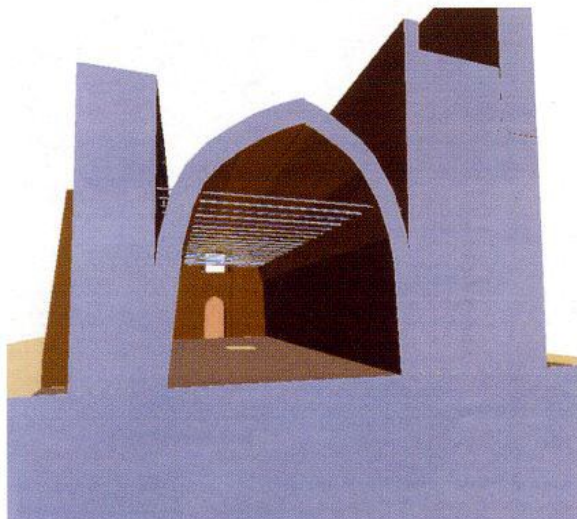


α) Άποψη της νοτιοδυτικής πλευράς της οπλοθήκης De Milly στο τέλος του 19ου αιώνα (Baron de Belabre).

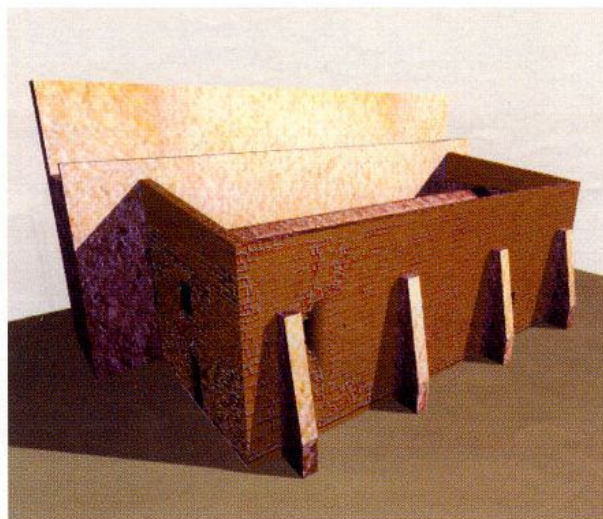


β) Αεροφωτογραφία της ευρύτερης περιοχής της οπλοθήκης De Milly (Σεπτέμβριος 1989, Νίκος Κασέρης).

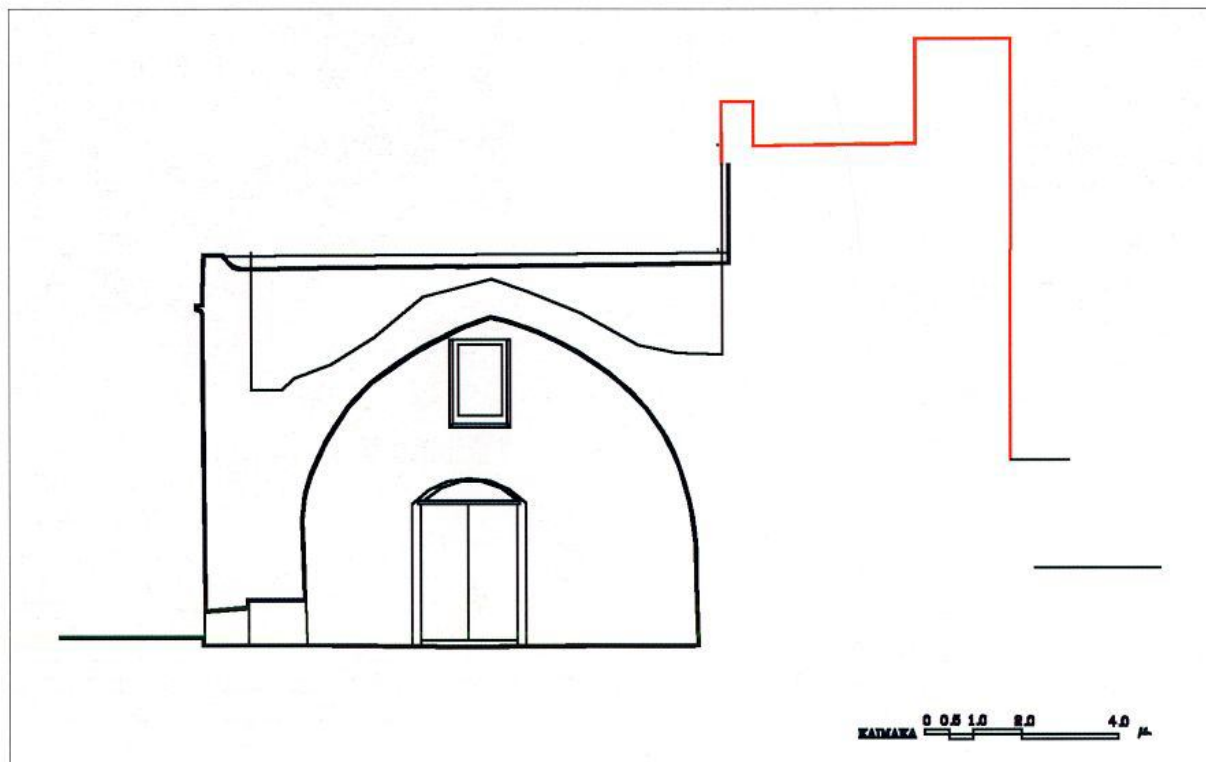
Εναλλακτικές προτάσεις στατικής ενίσχυσης του κτιρίου.



α) Πρόταση αποκατάστασης με χρήση εγκυρτήρων ανά 2 μ.



β) Πρόταση αποκατάστασης με χρήση αντηρίδων.



γ) Εγκάρσια τομή και ανατολική όψη του «θόλαρου».



α



β



γ



δ

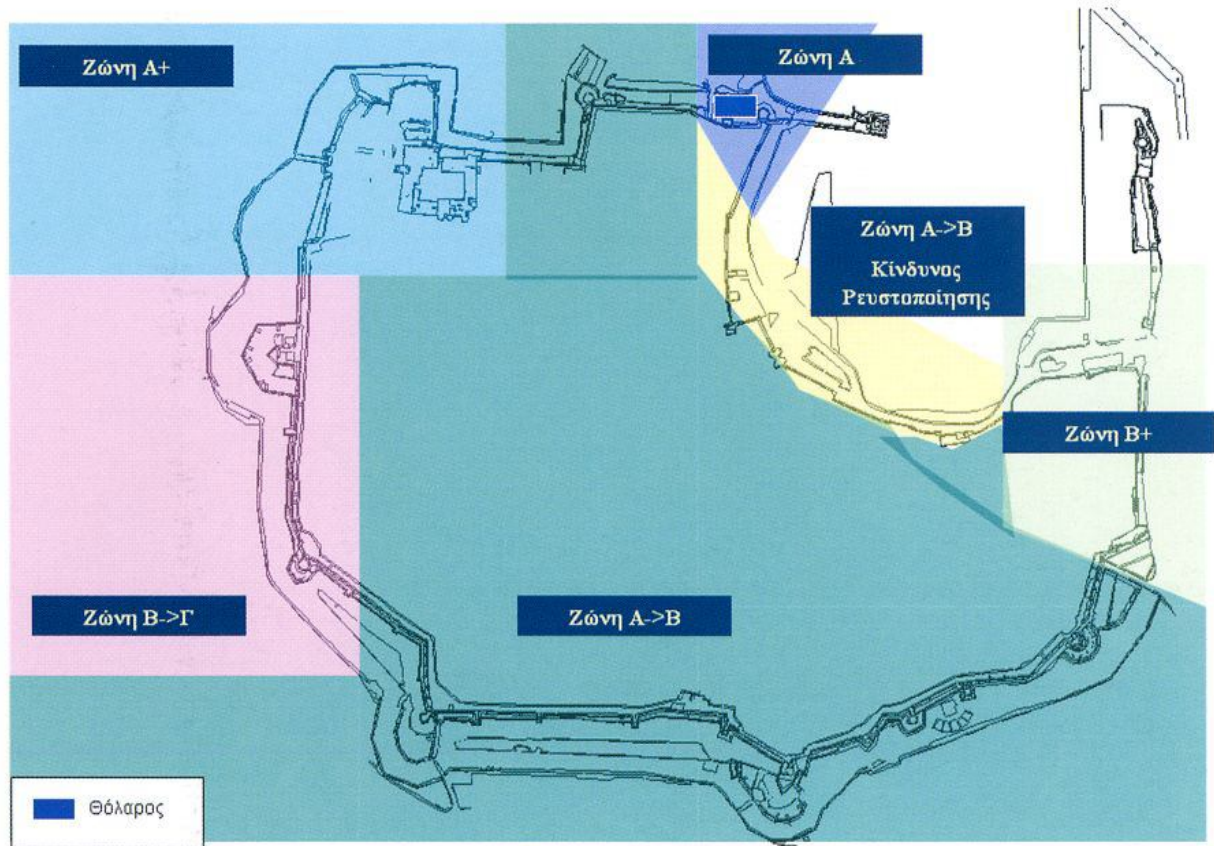


ε

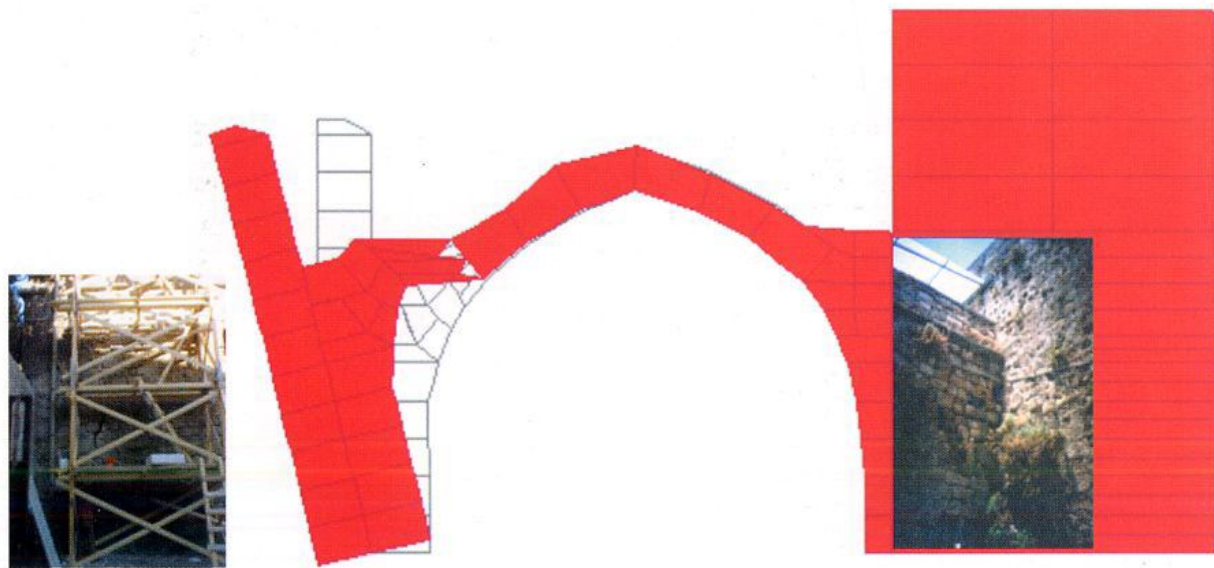


στ

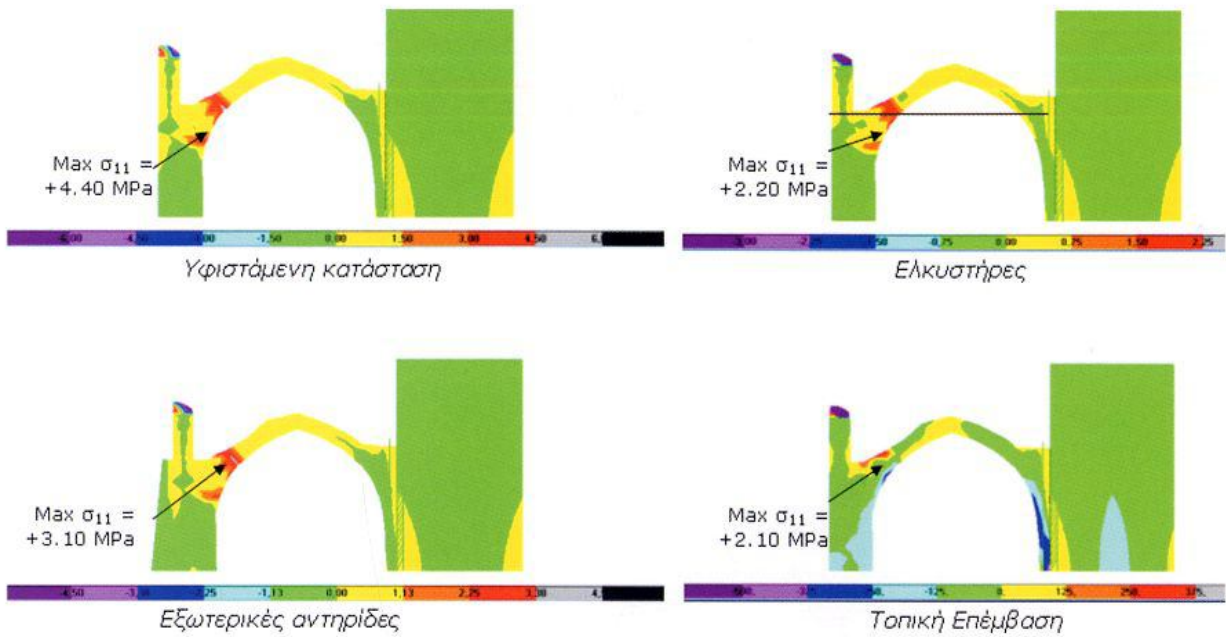
Μεσαιωνική πόλη Ρόδου. Γενική άποψη του «θόλαρου» (α, β). Εμφανείς ρηγματώσεις στον ανατολικό τοίχο (γ), εσωτερικά (δ) και στο επίπεδο του θόλου (ε, στ).



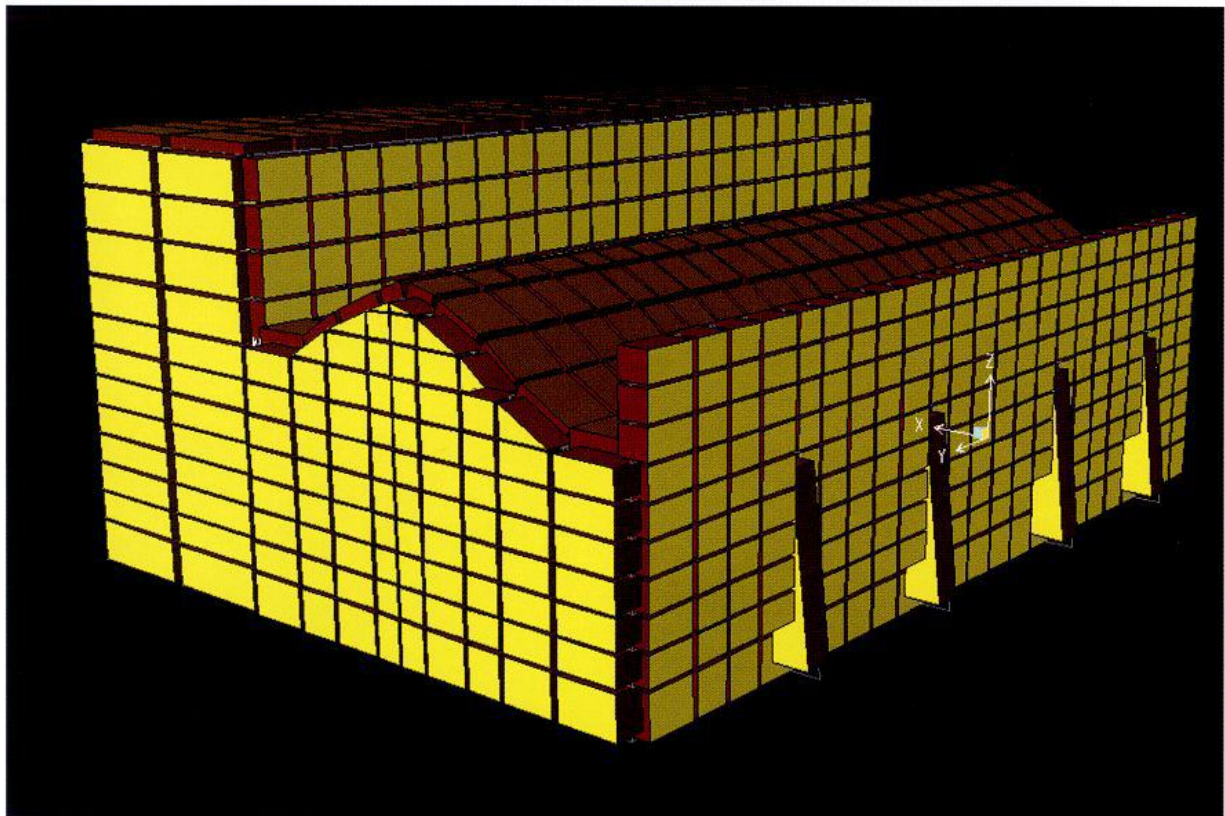
α) Γενική άποψη των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στις μεσαιωνικές οχυρώσεις με βάση τη Μικροζωνική Μελέτη της πόλης της Ρόδου (Εργαστήριο Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, 1996).



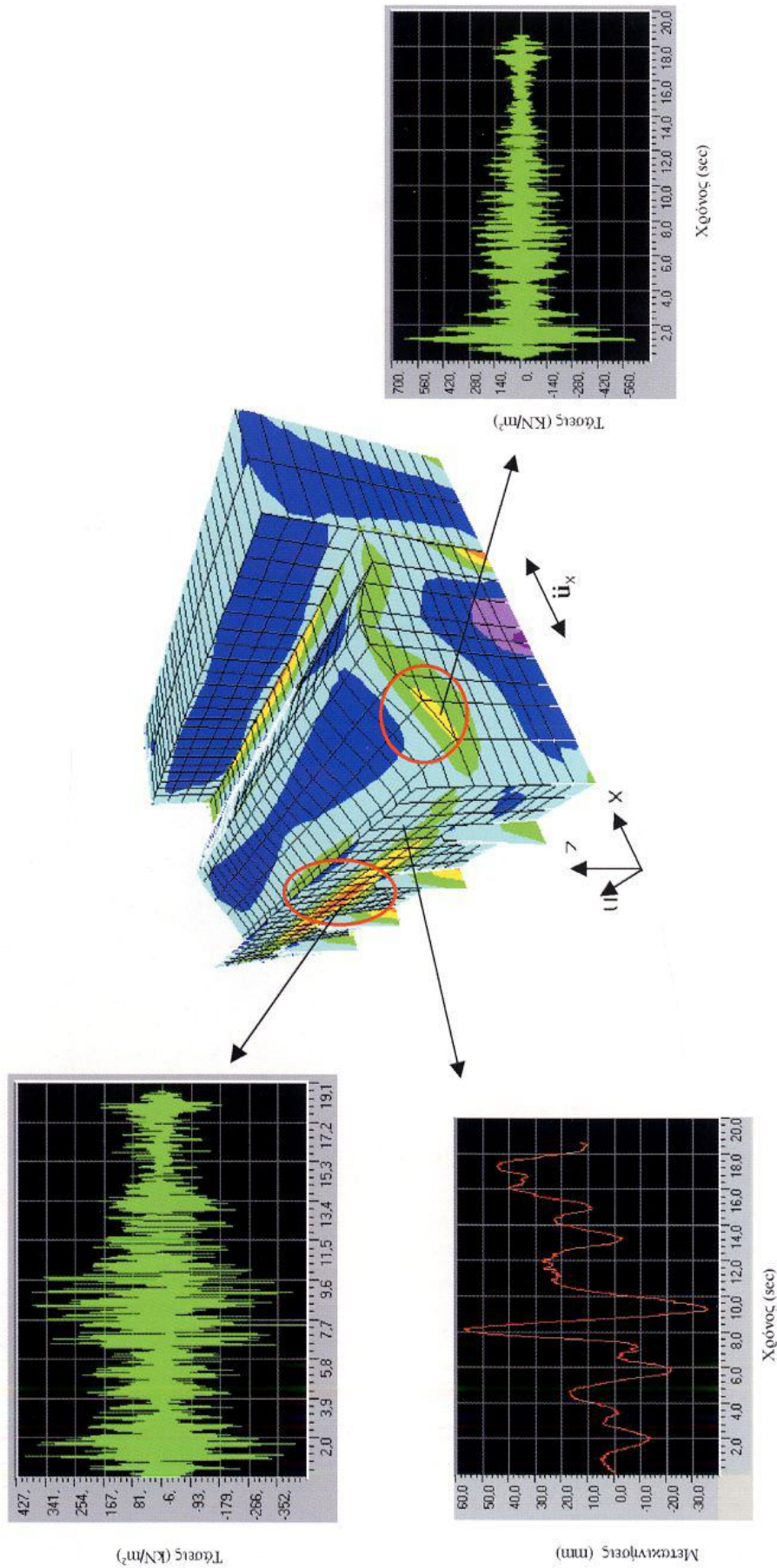
β) Παραμορφωμένος φορέας υπό την ταυτόχρονη επιρροή της σεισμικής δράσης και της ενδοσιμότητας του εδάφους θεμελίωσης του νότιου τοίχου.



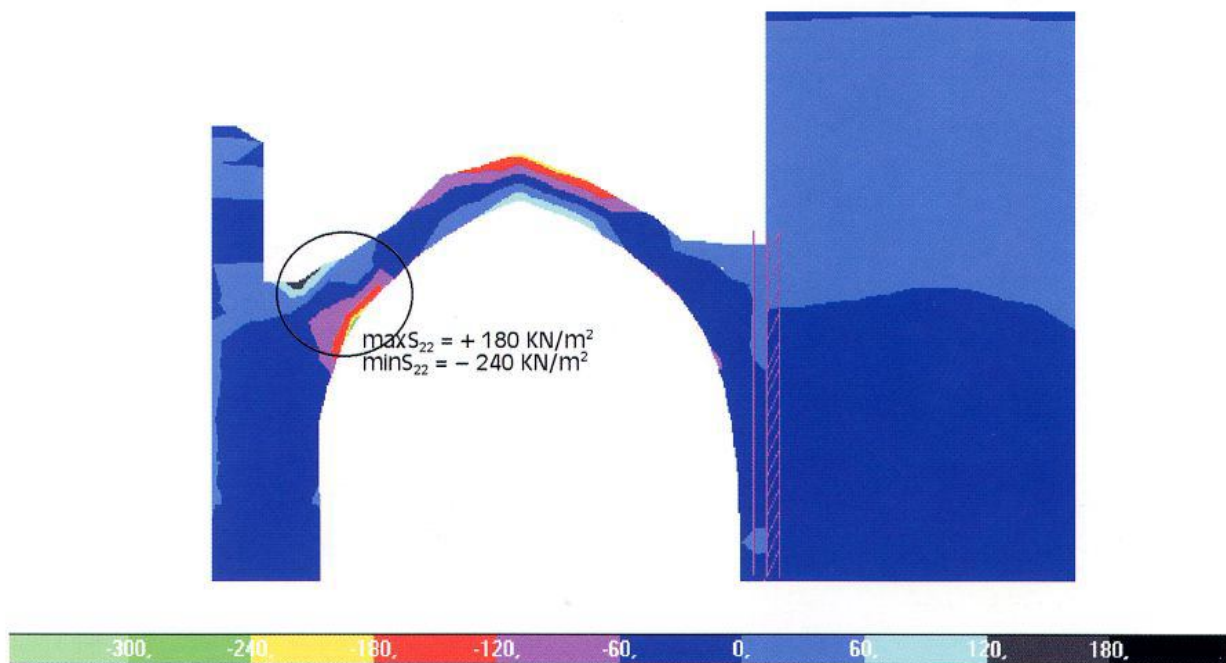
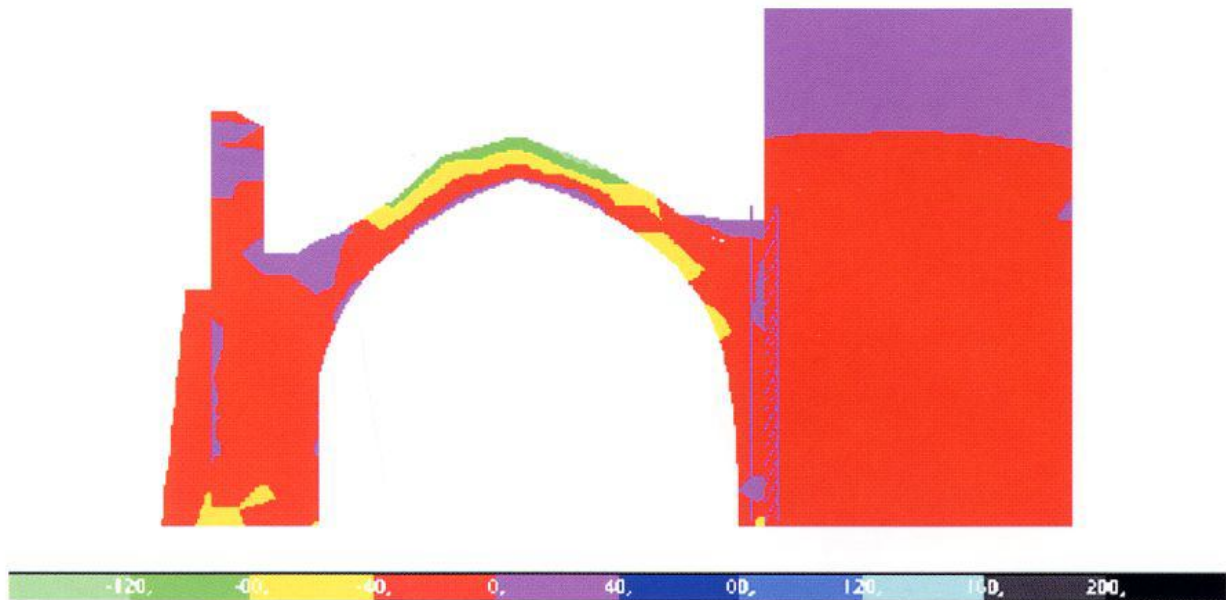
α) Αποτελεσματικότητα εναλλακτικών μεθόδων επέμβασης: Αναπτυσσόμενες κατακόρυφες τάσεις υπό κατακόρυφα φορτία (I.B.), διαφορική καθίζηση και σεισμική δράση.



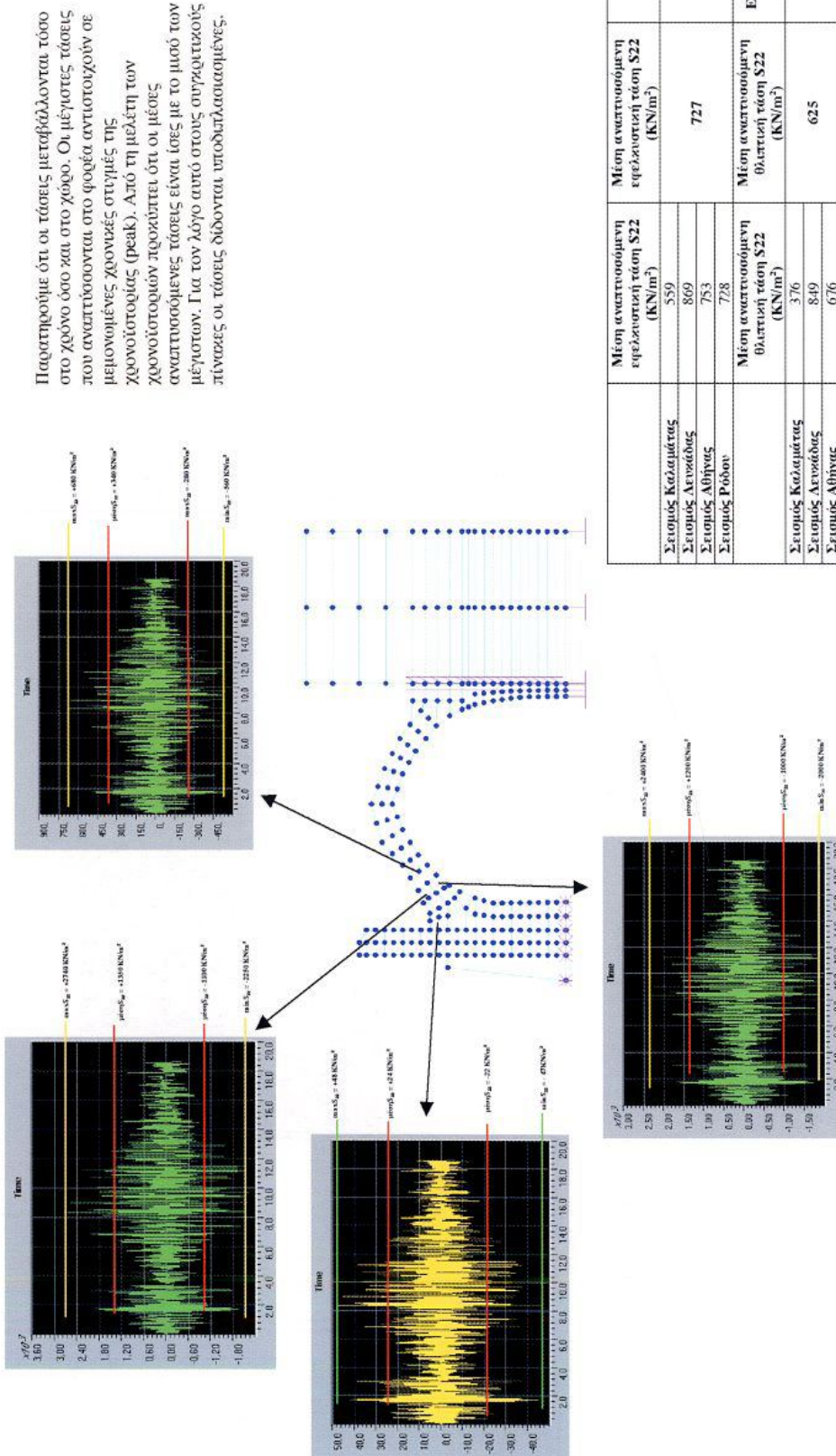
β) Τρισδιάστατος φορέας όπως προσομοιώθηκε με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.



Αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις (10^3 KN/m^2) (κέντρο), εκτός επιπέδου μετακινήσεις σε mm (κάτω αριστερά) στην περίπτωση σεισμικής δράσης και οριζόντιες τάσεις που αναπτύσσονται σε χαρρακτοριστικές περιοχές του φορέα (πάνω αριστερά και δεξιά).



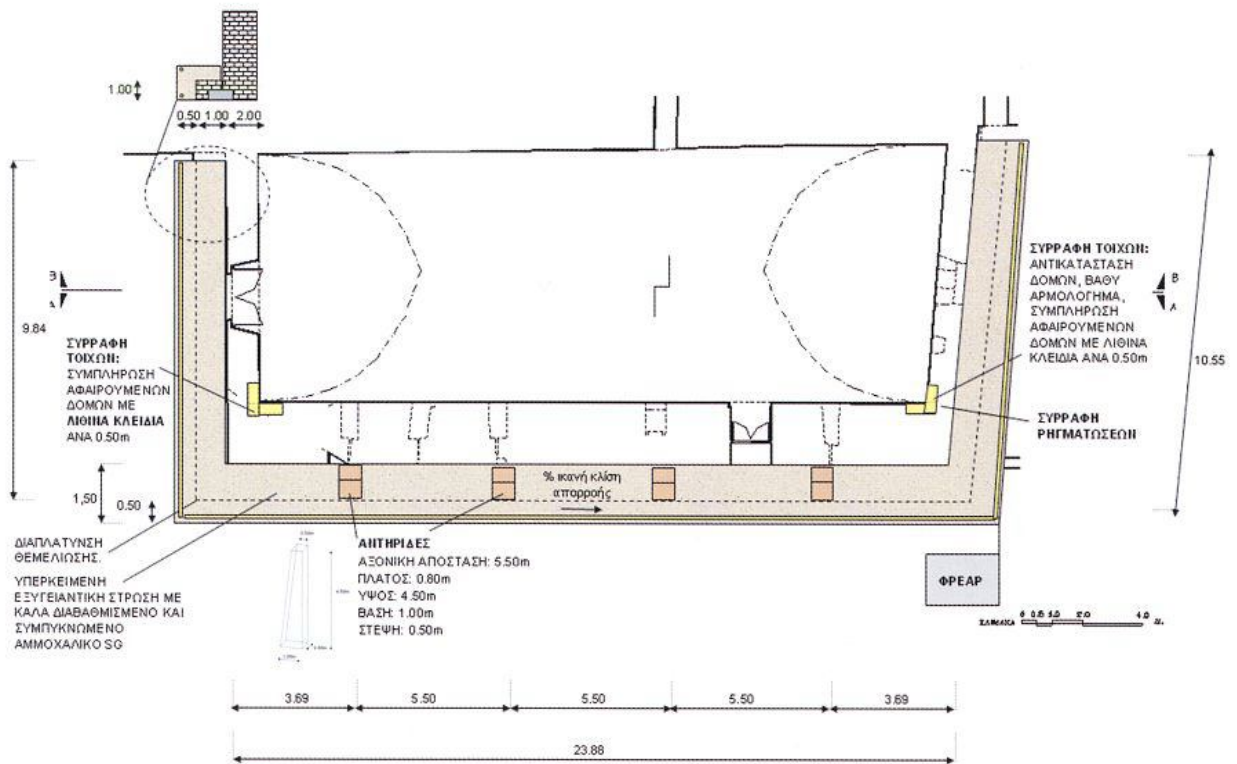
Αναπτυσσόμενες οριζόντιες τάσεις (KN/m^2) υπό κατακόρυφα φορτία και διαφορική καθίζηση, πριν (επάνω) και μετά (κάτω) την κατασκευή των αντηρίδων. Παρατηρείται μείωση των εφελκυστικών τάσεων κατά 80% και των θλιπτικών τάσεων κατά 62%.



Παρατηρούμε ότι οι τάσεις μεταβάλλονται τόσο στο χρόνο όσο και στο χώρο. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύσσονται στο φορέα αντιστοιχούν σε μεμονωμένες χρονικές στιγμές της χρονολοστοίας (peak). Από τη μελέτη των χρονολοστοριών προκύπτει ότι οι μέσες αναπτυσσόμενες τάσεις είναι ίσες με το μισό των μεγίστων. Για τον λόγο αυτό στους συρραγματοίους πύναξες οι τάσεις δίδονται υποδιπλασιασμένες.

	Μέση αναπτυσσόμενη εφελκυστική τάση S22 (KN/m ²)	Μέση αναπτυσσόμενη εφελκυστική τάση S22 (KN/m ²)	Επιτρεπόμενη εφελκυστική τάση (KN/m ²)
Στοιμός Καλαμάτας	559		
Στοιμός Αιγαίου	869		
Στοιμός Αθήνας	753	727	180
Στοιμός Ρόδου	728		
	Μέση αναπτυσσόμενη θλαπτική τάση S22 (KN/m ²)	Μέση αναπτυσσόμενη θλαπτική τάση S22 (KN/m ²)	Επιτρεπόμενη θλαπτική τάση (KN/m ²)
Στοιμός Καλαμάτας	376		
Στοιμός Αιγαίου	849	625	
Στοιμός Αθήνας	676		1800

Μεταβολή των αναπτυσσόμενων οριζόντιων τάσεων στον χρόνο σε διάφορες θέσεις του φορέα για τον σεισμό της Ρόδου.



α) Απεικόνιση σε κάτοψη των στερεωτικών εργασιών (αντηρίδες κλπ.) και της ενίσχυσης της θεμελίωσης.

β) Εγκάρσια τομή. Προτάσεις ενίσχυσης της θεμελίωσης.

