



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ:**  
**Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση Κατασκευών**

Στατική και δυναμική ανάλυση της επάρκειας του παλιού καθολικού ναού  
της ιεράς μονής  
Αγίας Τριάδας στις Πλαταιές, Ν. Βοιωτίας  
με χρήση πεπερασμένων στοιχείων.



Καραμπάτσου Μαρία-Πολυξένη  
Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια  
Ελισάβετ Βιντζηλαίου

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2019**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς μιας δομής από φέρουσα τοιχοποιία και τον καθορισμό των μέτρων στατικής του αποκατάστασης. Πρόκειται για το παλιό καθολικό ναό της Ιεράς Μονής Αγίας Τριάδος Πλαταιών στον ν.Βοιωτία. Παλαιότερα είχε προηγηθεί η αρχιτεκτονική αποτύπωση του ναού από τον αρχιτέκτονα κ. Σταυρό Μαμαλούκο η οποία συνέβαλε σημαντικά στη παρούσα εργασία με την ευκολότερη καταγραφή βλαβών εσωτερικά και εξωτερικά του ναού.

Η έλλειψη πληροφοριών για την ιστορική εξέλιξη της μονής και ως εκ τούτου για τις επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν στην πάροδο του χρόνου οδήγησε στην ανάγκη προσεκτικής διερεύνησης της υφιστάμενης κατάστασης του ναού. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ρωγμών, οι ανεπίχριστες περιοχές λόγω φθοράς της λιθοδομής, η διερεύνηση του πάχους της δομής με ειδική ενδοσκοπική κάμερα και προφορικές μαρτυρίες αποτέλεσαν σημαντικά κριτήρια λήψης δεδομένων για την προσομοίωση του ναού και τα μέτρα επέμβασης. Ύστερα από την καταγραφή των χαρακτηριστικών ρωγμών του ναού και των οικοδομικών λεπτομερειών με τις αντίστοιχες φωτογραφικές τεκμηριώσεις στο Παράρτημα Σχεδίων, ακολούθησαν πειραματικές δοκιμές σε δείγματα κονιαμάτων του ναού και σε λιθόσωμα στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος του ΕΜΠ. Με τα αποτελέσματα από τις πειραματικές διατάξεις υπολογίστηκε η αντοχή του ναού. Αφού συγκεντρώθηκαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα ακολούθησε η προσομοίωση του ναού, η οποία πραγματοποιήθηκε με χρήση πεπερασμένων στοιχείων όγκου και κελύφους στο υπολογιστικό πρόγραμμα SAP 2000. Με τη προσομοίωση του ναού εξετάστηκε η ταύτιση των μέγιστων εντάσεων με τις περιοχές βλαβών του ναού. Ακολούθησε έλεγχος σε διάτμηση και σε εκτός επιπέδου κάμψη σε πεσσούς και υπέρθυρα. Όλα τα παραπάνω συναποτέλεσαν καθοριστικοί παράγοντες για την λήψη μέτρων αποκατάστασης που θα μπορούσουν να επαναφέρουν ως ένα σημαντικό βαθμό την στατικότητα του και την λειτουργία του μετά από 40 χρόνια.

## Abstract

The aim of this postgraduate academic project is the evaluation of the behavior of a masonry structure and the ways of its restoration. More specifically this structure is the oldest cathedral church of the monastery Agia Triada near the village Plataies of the prefecture Boiotia in Greece. Before 20 years the architect Mr. Stavros Mamaloukos had completed the architectural drawings on which I based in order to design the damages of the structure.

Because of the few information about the construction of the church and the interventions that carried out in the passage of the years, it was necessary to take attention of the characteristics of the damages. The geometrical characteristics of the cracks, the unrendered areas of the walls, and the use of an endoscopic camera in order to take details about the thickness of the walls, contributed to take selection of some data for the church. After the recording of some cracks and the design of building details which are included in the appendix of drawings, it was necessary to carry out experiments on some assumption of mortar and stone in order to take results about the strength of masonry wall. The experiments were carried out on the Laboratory of Concrete on NTUA. After the concentration of all data, the church was simulated to the computer program SAP2000. The method of simulation based on finite solid and shell elements. The results of the analysis were checked in maximum normal stresses, in shearing and in out of plane bending. All the above played important role to the decision of some intervention which should be carried out in order to ensure the static adequacy of the church and its reoperation after 40 years.



## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1. Ιστορικά στοιχεία του ναού.....	7
1.2. Φωτογραφικό Υλικό-Όψεις κτιρίου.....	12
1.3. Τεκμηρίωση των κατασκευαστικών φάσεων.....	14
1.4. Σεισμικότητα του νομού Βοιωτίας.....	17
2. ΠΕΡΙΓΑΦΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΔΟΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ.....	19
2.1. Υλικά δόμησης και πάχος λιθοδομής.....	19
2.2. Τεκμηρίωση του φέροντα οργανισμού.....	24
2.3 Χαρακτηρισμός υλικών και προσδιορισμός των ιδιοτήτων τους.....	34
2.3.1 Εργαστηριακές δοκιμές σε λιθωμάτα και κονιάματα.....	34
2.3.2 Υπολογισμός της αντοχής της τοιχοποιίας.....	42
3.ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ.....	44
3.1 Εισαγωγή.....	44
3.2 Σχέδια απεικόνισης των όψεων και της παθολογίας τους.....	44
4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΣΤΟ SAP2000.....	60
4.1 Εισαγωγή.....	60
4.2 Μέθοδοι ανάλυσης.....	67
4.3 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης.....	68
4.4 Σύγκριση των κύριων εφελκυστικών τάσεων με τις υφιστάμενες ρωγμές.....	73
4.5 Έλεγχοι για την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς του ναού.....	113
4.6 Συμπεράσματα.....	144
5. ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	146
5.1 Εισαγωγή.....	146
5.2 Έλεγχοι και σύγκριση των αποτελεσμάτων πριν και μετά την αποκατάσταση.....	150
5.3 Αποτελέσματα ιδιομορφική ανάλυσης μετά την εισαγωγή ενεμάτων και της λιθοσυρραφής.....	202
5.4 Προσθήκη και διαστασιολόγηση ελκυστήρων.....	205
5.5 Έλεγχος διαφραγματικής λειτουργίας των θόλων του ναού.....	215
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	223
6.1 Σχόλια και Παρατηρήσεις για τα τελικά μέτρα αποκατάστασης.....	223
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	225



## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Ιστορικά στοιχεία του ναού

Η Ιερά Μονή Αγίας Τριάδας ανήκει στο νομό Βοιωτίας. Συγκεκριμένα βρίσκεται στις βόρειες πλαγιές του όρους Κιθαιρώνα και απέχει 5χλμ νοτιοδυτικά από το χωριό Πλαταιές και 67 χλμ από την περιοχή της Αθήνας. Οι Πλαταιές είναι κοντά στα σύνορα του νομού Αττικής και της Βοιωτίας, βόρεια του Κιθαιρώνα και δυτικά των αρχαίων Ερυθρών. Τα πανάρχαια ερείπια των μνημείων της μαρτυρούν την μεγάλη ιστορικότητα της περιοχής φέροντας συνάμα στην μνήμη την μεγάλη μάχη των Πλαταιών και την ήττα των Περσών.



1. 1 Χάρτης



1. 2 Ο χώρος της Μονής-Λήψη από ψηλά

Τα ιστορικά στοιχεία για την μονή της Αγίας Τριάδος είναι σχεδόν ανύπαρκτα. Σε αυτό συντέλεσαν δύο λόγοι. Πρώτος χρονολογικά είναι ο εμφύλιος πόλεμος κατά την διάρκεια του οποίου καταστράφηκαν πολλά αρχεία και κειμήλια της μονής. Δεύτερος λόγος είναι η εσπευσμένη κατάρρευση των κελιών μετά τον ισχυρό σεισμό του 1981 και η αδυναμία επομένως να ληφθούν πολύτιμα στοιχεία για την αρχιτεκτονική του οικοδομικού συγκροτήματος.

Μερικά ιστορικά στοιχεία τα οποία σώζονται διατίθενται από το βιβλίο του Αντωνίου Βασιλείου 'Η Ιερά Μονή Αγίας Τριάδος Πλαταιών και ιστορήματα της περιοχής', έτος έκδοσης του 1970. Στο εν λόγω βιβλίο περιέχονται φωτογραφίες του παλιότερου οικοδομικού συγκροτήματος και ιστορικά στοιχεία του τόπου και της μονής χωρίς όμως να λείπουν και ορισμένες παρανοήσεις σχετικά με την δομή του ναού. Επιπρόσθετες πηγές ιστορικών στοιχείων είναι οι επιγραφές που υπάρχουν πάνω στο ναό, αυτές που βρίσκονταν εντοιχισμένα στα παλαιότερα κελιά τα οποία σήμερα φυλάσσονται στην μονή, καθώς και προφορικές αναφορές από το ίδιο το μοναστήρι το οποίο και λειτουργεί ως γυναικείο ησυχαστήριο από το 1930.

Αρχιτεκτονικά στοιχεία και ορισμένες επιγραφές εντοιχισμένα στο ναό ή σε παλαιότερες δομές του ναού αναδεικνύουν την ύπαρξη της θέσης της μονής από τον 12<sup>ο</sup> αιώνα (Εικόνα 1.3-1.5).



1. 3 Μαρτυρία τοιχογραφίας χρονολογημένη στον 12<sup>ο</sup> αιώνα. Απαιτούνται ακόμη εργαστήρια για να πιστοποιηθεί



1. 5 Επιγραφή που απεικονίζει ένα ζευγάρι λιονταριών. Εδώ φαίνεται μόνο το ένα. Είναι συμβολισμός που ανήκει στην εποχή των Σταυροφόρων.



1. 4 Δίλοβο πλαίσιο ανοίγματος. Χαρακτηριστική μορφή της ιπποτικής περιόδου. και πιο δεξιά μεσαιωνικός σταυρός που προέρχεται ενδεχομένως από το παλιό τέμπλο του ναού





1. 6 ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΘΗ ΚΑΙ ΑΝΙΣΤΟ//ΡΙΘ Ο ΘΕΙΟΣ ΚΑΙ ΠΑΝΣΕΠΤΟΣ//ΝΑΟΣ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΤΗΣ ΑΓΙΑΣ ΤΡΙ//ΑΔΟΣ ΑΠΟ ΚΟΣΜΟΥ ΕΤΟΣ//ΖΡΝΕ (Z.P.N.E.=7155->1647μ.Χ.)

Η αμέσως επόμενη χρονολογικά και εν τέλει σημαντικότερη επιγραφή που χαρακτηρίζει την α' φάση κατασκευής του ναού είναι εντοιχισμένη στην δυτική όψη του ναού δεξιά της κύριας εισόδου (Εικόνα 1.6).

Δεν είναι σαφές αν το 1647 έγινε επισκευή προϋπάρχοντος ναού ή εκ βάθρων ανέγερση του. Αν ισχύει η πρώτη υπόθεση τότε ενδεχομένως οι επισκευές και οι επεμβάσεις της εποχής εκείνης να είναι αρκετά σημαντικές ώστε να ενταχθεί όλος ο ναός του 17<sup>ου</sup> αιώνα στην α' κατασκευαστική φάση. Στην ίδια εποχή σύμφωνα με ειδικούς μελετητές φαίνεται να χρονολογείται και η πρώτη φάση της τοιχογράφησης του ναού, για το λόγο αυτό και ο χαρακτηρισμός 'ανιστορήθει' στην εν λόγω επιγραφή.

Επόμενος σταθμός εκτεταμένων εργασιών σε όλη τη μονή σημειώνονται τον 19<sup>ο</sup> αιώνα. Οι παρακάτω επιγραφές (Εικόνα 1.7 και 1.8) αναφέρονται σ' αυτόν τον αιώνα.



1. 7 Εντοιχισμένο στην παλαιά πύλη της Μονής. Ανάγλυφος Σταυρός με την επιγραφή IC/ΧΡ//ΝΙ/ΚΑ // ΙΟΥ /30 // 18/76



1.8. ΙΣΩΣ να είχε τοποθετηθεί πάνω από μία επιγραφή που αναφέρει την χρονολογία του 1842 -Εντοιχισμένο στα κελιά /Πηγή στο βιβλίο του κ. Βασιλείου

Αξιοσημείωτο είναι ότι στον 19<sup>ο</sup> αιώνα χρονολογούνται αρκετές αναδιατάξεις και προσθήκες στο χώρο της μονής. Σύμφωνα με ειδικούς μελετητές εντάσσεται και η χρονολόγηση της δεύτερης στρώσης της τοιχογραφήσεως η οποία ταιριάζει με την τεχνοτροπία των τοιχογραφιών με εκείνες του ναού Αναλήψεως Πλαταιών του 1843. Στον αιώνα αυτόν επομένως ανήκει και η κατασκευή των δύο κογχών και δύο παραβημάτων που είναι αγιογραφημένα μόνο με την δεύτερη φάση τοιχογραφήσεως.

Στον 19ο αιώνα και συγκεκριμένα το 1864μ.Χ. ανήκει και η κατασκευή του κωδωνοστασίου από σκυρόδεμα (Εικόνα 1.10), σύμφωνα με επιγραφή πάνω στην καμπάνα «Μ22 1864 ΧΑΛΚΗΣ Ο ΙΩ Α Π ΔΙΜΟΣ ΠΛΑΤΙ ΚΟΔΟΝ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΠΛΑΤΑΙΩΝ» (Εικόνα 1.9).



1. 9 Επιγραφή πάνω στην καμπάνα



1. 10 Θέση κωδωνοστασίου

Αναφορές περιγράφουν ότι υπήρχε μία ακόμη επιγραφή η οποία όμως δεν έχει διασωθεί, εντοιχισμένη στα παλιά κελιά και ήταν χαραγμένη ως έτος οικοδόμησής τους το 1872. Από τα παραπάνω στοιχεία και από προφορικές μαρτυρίες προκύπτει ότι τα παλιά κελιά που βρίσκονταν στο περίγυρο της μονής κατασκευάστηκαν δύο αιώνες αργότερα από την κατασκευή του καθολικού της μονής και την ίδια χρονική περίοδο με την β' κατασκευαστική φάση του ναού.

Το 1930 η μονή μετατράπηκε για πρώτη φορά σε γυναικείο ησυχαστήριο (Α. Βασιλείου σελ.77). Την περίοδο εκείνη πραγματοποιήθηκαν πολλές εργασίες αναμόρφωσης των όψεων του καθολικού της μονής. Ακολούθησαν όμως μεγάλες καταστροφές στον Β' Παγκόσμιο πόλεμο και στον Εμφύλιο Πόλεμο. Μάλιστα στον εμφύλιο πόλεμο εγκαταστάθηκαν σώματα ανταρτών προκαλώντας ανεπανόρθωτες απώλειες στο χώρο της μονής. Αμέσως μετά τον πόλεμο πραγματοποιήθηκαν πολλές επισκευές στο καθολικό της μονής όπως και μαρτυρά η επιγραφή στην δυτική όψη της μονής αριστερά της κεντρικής εισόδου (Εικόνα 1.11) «ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΑΓΙΑΣ ΤΡΙΑΔΟΣ//+//ΕΙΣ ΜΝΗΜΟΝΣΥΝΟΝ ΑΙΩΝΙΟΝ // ΤΩΝ // ΜΕΓΑΛΩΝ ΤΗΣ ΙΕΡΑΣ ΤΑΥΤΗΣ ΜΟΝΗΣ // ΕΥΕΡΓΕΤΩΝ // ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ & ΕΥΑΓΓΕΛΙΑΣ ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ // ΕΤΟΣ 1946 ΜΑΙΟΥ 17».

Το 1960 έως το 1970 έγιναν αρκετές επεμβάσεις στη μονή όπως και η πλήρης ανακαίνιση της στέγης. Οι επεμβάσεις αυτές ήταν και οι τελευταίες καθώς σε σύντομο χρονικό διάστημα, το 1981,

συνέβει καταστροφικός σεισμός προκαλώντας ανεπανόρθωτες βλάβες που οδήγησαν εν τέλει στην ανάγκη άμεσης κατεδάφισης των κελιών και στην διακοπή λειτουργίας του ναού.

Στη πάροδο του χρόνου χάρη στις προσπάθειες της αδελφότητας οικοδομήθηκε νέος ναός και πτέρυγα κελιών ενώ απομένει ακόμη η αποκατάσταση εκτεταμένων βλαβών που υφίσταται το παλιό καθολικό της μονής και απειλούν την στατικότητα του.



1. 11 Επιγραφή αριστερά της κεντρικής εισόδου. Θέτει ως σημαντικό σημείο αναφοράς επεμβάσεων στην μονή το έτος 1946.

## 1.2. Φωτογραφικό Υλικό-Όψεις κτιρίου

Στην παρακάτω ενότητα παρατίθενται γενικές εικόνες εξωτερικά και εσωτερικά του ναού με σκοπό την διευκόλυνση του αναγνώστη να κατανοήσει το χώρο του ναού.

- Εξωτερικά του ναού



1. 12 Δυτική όψη



1. 13 Ανατολική Όψη



1. 14 Βόρεια Όψη



1. 15 Νότια Όψη

- Εσωτερικά του ναού



1. 16: Τέμπλο του ναού



1. 17 Τμήμα δυτικής και νότιας όψης



1. 18: Τμήμα δυτικής και βόρειας όψης

### 1.3. Τεκμηρίωση των κατασκευαστικών φάσεων

Η εκτίμηση των κατασκευαστικών φάσεων μίας δομής βασίζεται κυρίως στα ιστορικά του στοιχεία. Στην περίπτωση όμως της Μονής Αγίας Τριάδος Πλαταιών τα ιστορικά γεγονότα είναι αρκετά ανεπαρκή και εν ολίγοις αναξιόπιστα (βλ. εν.1.1). Επομένως η κυριότερη πηγή πληροφοριών βρίσκεται στην ίδια την κατασκευή η οποία με την πάροδο του χρόνου εξαιτίας των σεισμικών δονήσεων άφησε να φανούν οι κατασκευαστικοί του αρμοί και να φανερωθούν τα όρια των κατασκευαστικών του φάσεων.

Επιγραφές που είχαν διασωθεί από τις κατεδαφισμένες πτέρυγες της μονής εξαιτίας του ισχυρού σεισμού υποψιάζουν για τις χρονολογικές περιόδους που υπήρξαν σημαντικοί σταθμοί για την εξέλιξη της μονής. Η παλαιότερη από αυτές ανήκει στον 12<sup>ο</sup> αιώνα. Η σημαντικότερη όμως, που σχετίζεται άμεσα με την ανέγερση του ναού ενδεχομένως σε λείψανα του παλαιότερου, είναι η επιγραφή στα δεξιά της εισόδου που αναφέρεται στην χρονολογία 1647μ.Χ.. Στο έτος αυτό σύμφωνα με την επιγραφή είχε πραγματοποιηθεί ενδεχομένως αν όχι σε ολόκληρο, στο μεγαλύτερο ποσοστό του σημαντική ανακαίνιση. Για το λόγο αυτό εκτιμάται ότι ο 17<sup>ος</sup> αιώνας αποτελεί την α' κατασκευαστική φάση. Στην ίδια περίοδο σύμφωνα με σχετική τεχνική έκθεση συντήρησης ανήκει και η πρώτη στρώση αιογράφησης του ναού.

Επόμενος σταθμός, καθοριστικός για την σημερινή μορφή του ναού είναι ο 19<sup>ος</sup> αιώνας. Μαζί με τις νέες πτέρυγες που είχαν χτιστεί προστέθηκαν στο καθολικό ναό της μονής οι δύο κόγχες και τα δύο παραβήματα δεξιά και αριστερά του ιερού. Βασικότερη ένδειξη των διαφόρων κατασκευαστικών φάσεων της μονής είναι η παρουσία αρμών που τις συνδέουν. Οι αρμοί αυτοί μαρτυρούν την β' κατασκευαστική φάση και αποκαλύπτουν ότι ο ναός παλαιότερα ήταν μονόκλιτος και όχι εγγεγραμμένος σταυροειδής όπως φαίνεται σήμερα. Οι δύο κόγχες και τα παραβήματα στην βόρεια και στην νότια όψη του ιερού μετά το σεισμό του 1981 έχουν αποκολληθεί σε σημαντικό βαθμό από το υπόλοιπο τμήμα του ναού όπως κυρίως δηλώνεται από το βάθος και το εύρος ρωγμών στις περιοχές των αρμών. Στην Εικόνα 1.19 παρατίθεται η αποτύπωση της κάτοψης στην οποία φαίνεται η α' και η β' κατασκευαστική φάση σε αντιστοιχία με τις φωτογραφίες του ναού εξωτερικά και εσωτερικά που απεικονίζουν τους αρμούς σύνδεσης τους. Στην περιοχή [1] φαίνεται πιο καθαρά από οποιαδήποτε άλλη περιοχή αρμού με την μορφή κατακόρυφης διαμερούς ρωγμής ότι η σύνδεση της νέας δεν αλληλοεμπλέκεται ορθά με της παλαιότερης φάσης η οποία φαίνεται να διατηρεί τους λαξευμένους ακρογωνιαίους λίθους του προηγούμενου μονόκλιτου ναού. Η αντίστοιχη περιοχή [2] του παραβήματος στην βόρεια όψη δεν παρουσιάζει την ίδια μορφή με την [1]. Οι ρωγμές στην περιοχή αυτή είναι λοξές δίνοντας δύο ενδεχόμενα ή η αλληλεμπλοκή να έχει γίνει ορθότερη σε αντίθεση με την περιοχή [1] ή η σεισμική φόρτιση του 1981 να μην επηρέασε τον αρμό με τον ίδιο τρόπο όπως στην [1]. Στην περιοχή [3] στο ανώτερο τμήμα της σύνδεσης των δύο κατακόρυφων φάσεων παρατηρείται μια σχετική αποκόλληση μεταξύ τους με την μορφή κατακόρυφης ρωγμής. Εσωτερικά φαίνεται περισσότερο αισθητή η αποκόλληση της νεότερης φάσης από την παλαιότερη λόγω του μεγάλου εύρους και βάθους ρωγμής μεταξύ του συνόρου του τόξου και της θολωτής οροφής της βόρειας και νότιας κόγχης. Παρομοίως και εσωτερικά της περιοχής [4], η οροφή της κόγχης έχει αποκολληθεί περιμετρικά από το τόξο σε μεγάλο βαθμό ενώ κοντά στο πεσσό φαίνεται να είναι συνδεδεμένο καλύτερα. Εξωτερικά της περιοχής [4] φαίνεται η αποκόλληση του αρμού από την μέση του ύψους του τοίχου και προς τον γείσο.

Επιπρόσθετες διαφορές των δύο κατασκευαστικών φάσεων παρατηρούνται και στην ίδια την λιθοδομή. Στη λιθοδομή της α' κατασκευαστικής φάσης συμμετέχει σε σημαντικότερο ποσοστό κεραμίδι ενώ ακόμη το χρώμα του κονιάματος είναι περισσότερο ροζ. Επιπλέον το πάχος της λιθοδομής κυμαίνεται σε διαφορετικό εύρος στην α' και β' κατασκευαστική φάση. Αναλυτικότερα στην α' αντιστοιχεί από 75 έως 85 cm και στην β' κατασκευαστική από 55 έως 70 cm. Τέλος οι τοιχογραφίες που φαίνονται στους τοίχους πάνω από το νότιο και βόρειο τόξο ανήκουν στην πρώτη στρώση της

τοιχογραφήσεως δηλαδή στον 17<sup>ο</sup> αιώνα όπως επίσης σύμφωνα και με σχετική μελέτη στην ίδια εποχή ανήκει μια μικρή αγιογράφηση που βρίσκεται στο κιονόκρανο του νοτιοδυτικού πεσσού. Ως εκ τούτου το υπόλοιπο τμήμα του ναού πέρα από τα παραβήματα και τις κόγχες ανήκουν στον 17<sup>ο</sup> αιώνα.

Συνολικά τέσσερις διαφορές τεκμηριώνουν σε αρκετά αξιόπιστο βαθμό το διαχωρισμό του ναού σε δύο κατασκευαστικές φάσεις. Στο Παράρτημα (Μέρος-Γ) και στην Εικόνα 1.19 περιγράφονται οι διαφορές και σχεδιαστικά.

Υπόμνημα της Εικόνας 1.19:

- α - αρμός στην ανατολική όψη εξωτερικά του νότιου παραβήματος
- β - αρμός στην ανατολική όψη εσωτερικά του βόρειου παραβήματος
- γ - αρμός στην νότια όψη εσωτερικά του ναού στα οριζόντια στοιχεία
- δ-αρμός στην νότια όψη εξωτερικά του ναού στο άνω τμήμα των κατακόρυφων στοιχείων
- ε- λοξή ρωγμή στην ανατολική όψη εξωτερικά του βόρειου παραβήματος
- στ'-αρμός στην βόρεια όψη στα κατακόρυφα στοιχεία εξωτερικά του ναού
- η- αρμός στην βόρεια όψη στα κατακόρυφα στοιχεία εσωτερικά του ναού



α



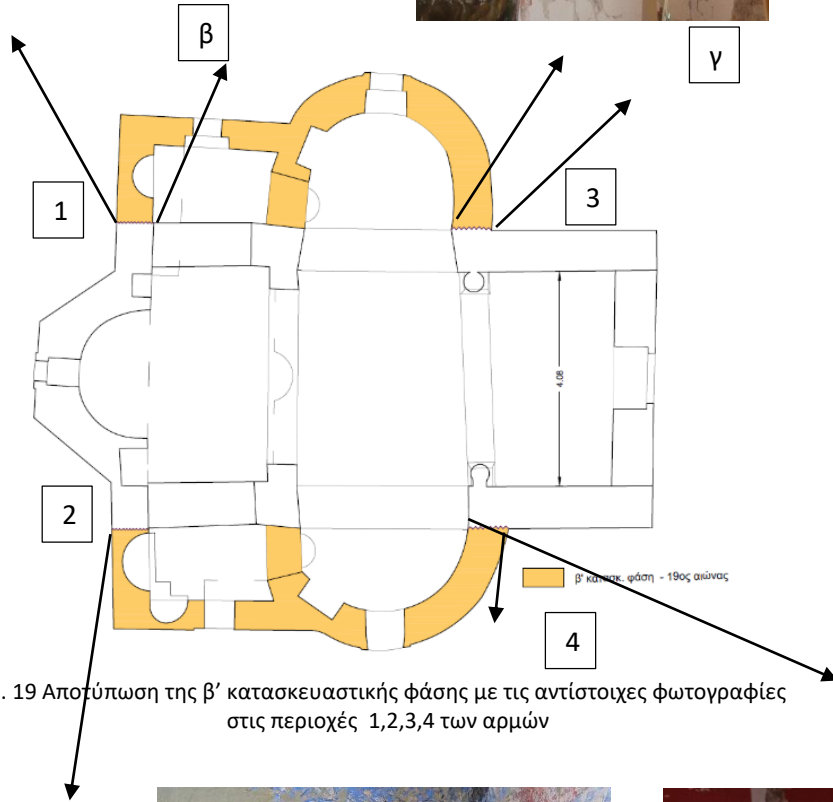
β



γ



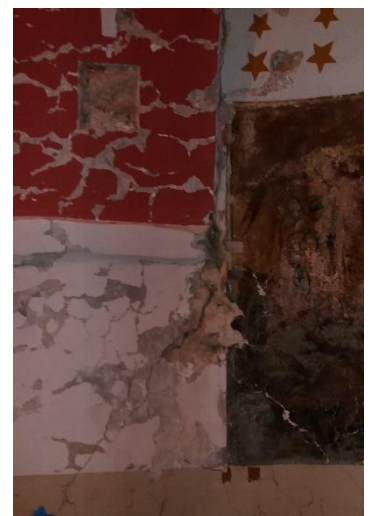
δ



ε



στ'

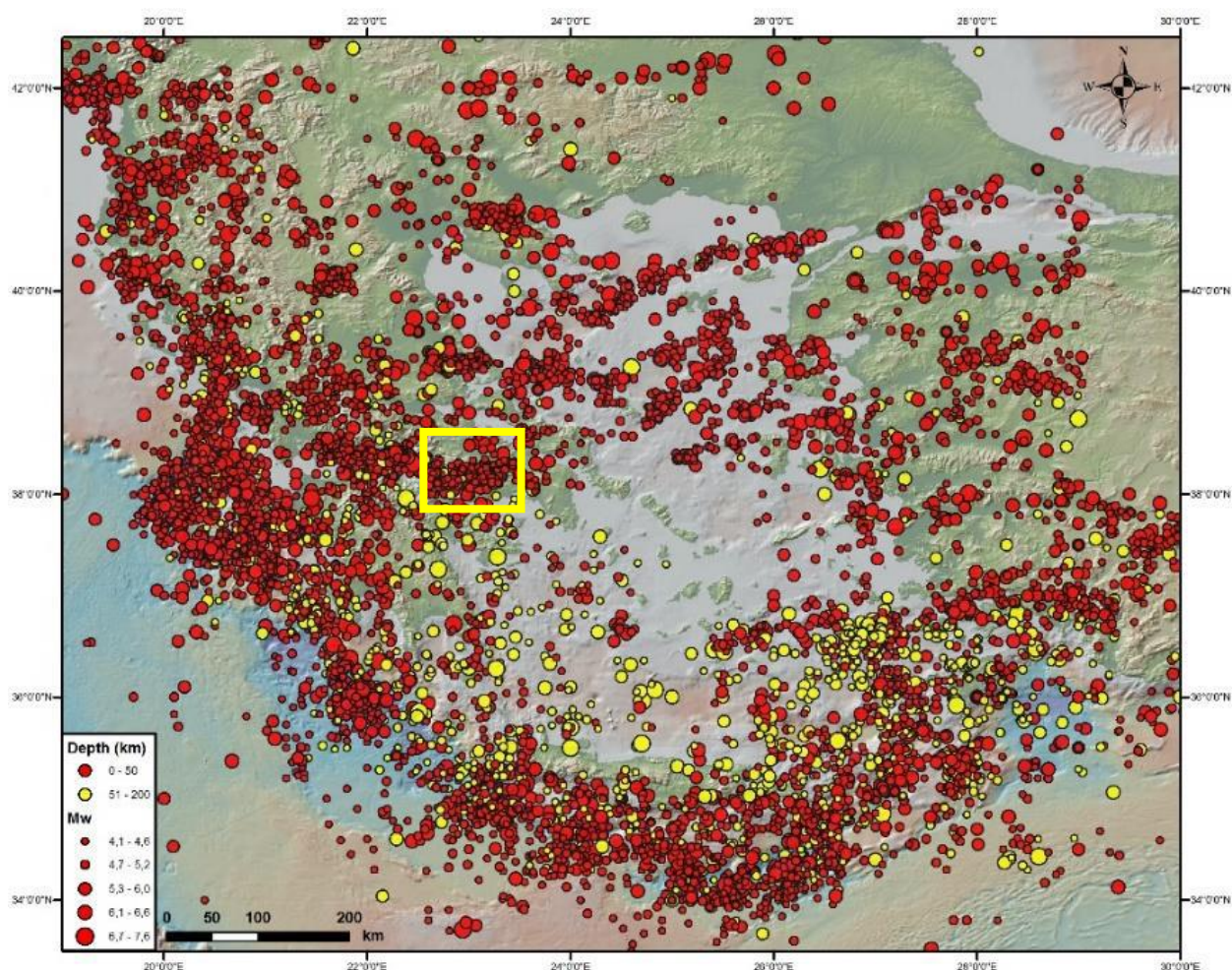


η



## 1.4. Σεισμικότητα του νομού Βοιωτίας

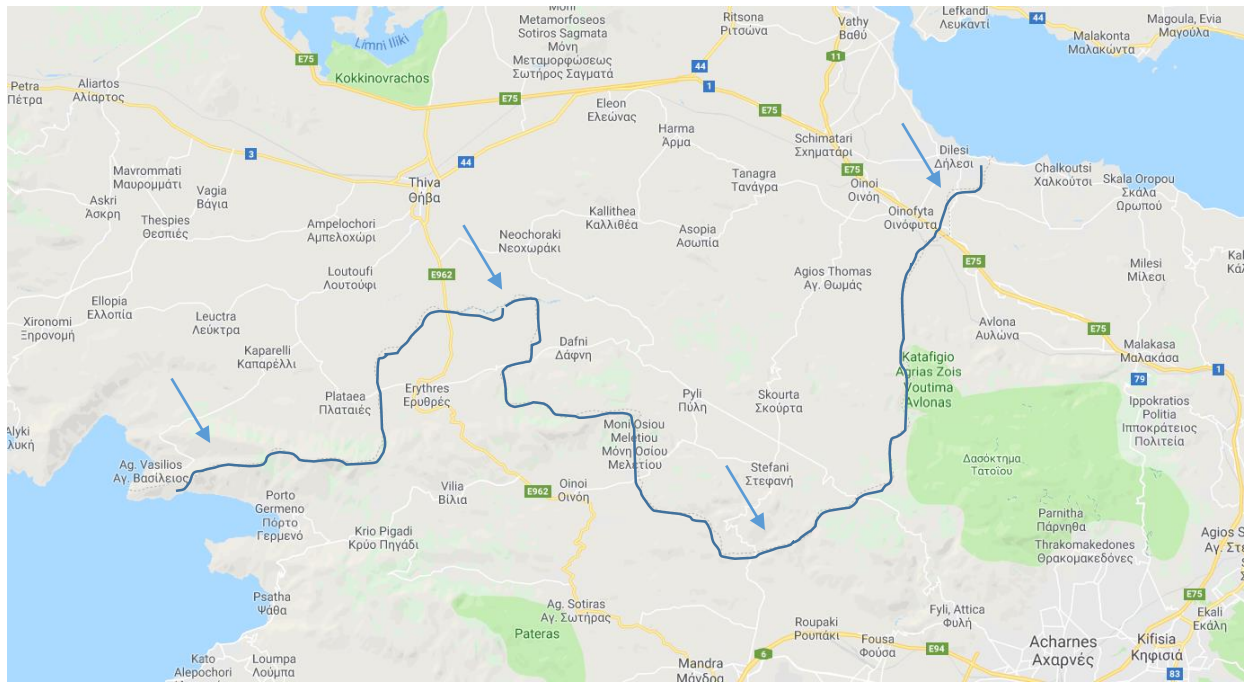
Η Ελλάδα βρίσκεται στο όριο επαφής και σύγκλισης της Αφρικανικής και Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας. Πρόκειται για μία αρκετά σεισμογενής χώρα.



1. 20 Σεισμικότητα ευρύτερου Ελλαδικού χώρου (1909-2009) και επισήμανση του νομού Βοιωτίας στο κίτρινο πλαίσιο

Συγκεκριμένα η Βοιωτία διακρίνεται για τα εξής ρήγματα: το ρήγμα Λεοντάρι, ρήγμα Τανάγρας, ρήγμα Ασώπου και το ρήγμα Καπαρελλίου στο οποίο βρίσκεται και πιο κοντά η περιοχή των Πλαταίων. Τα προαναφερόμενα ρήγματα είναι ενεργά με εξαίρεση το ρήγμα της Τανάγρας.

Το ρήγμα του Καπαρελλίου που έχει μήκος 17,00km και πιθανό μέγεθος σεισμού 6,6 βρίσκεται αρκετά κοντά στην μονή Αγία Τριάδος. Μετρήσεις και έρευνες παλαιοσεισμολόγων απέδειξαν ότι το ρήγμα του Καπαρελλίου πριν το μεγάλο σεισμό του 1981 ήταν ανενεργό για περίπου 10000 χρόνια και παρόλα αυτά ήταν ικανό να παράγει σεισμό μεγέθους 6-7. Ο σεισμός στις 24 Φεβρουαρίου ήταν ο δεύτερος στην σειρά που συνέβει στην ίδιο έτος με επίκεντρο τη νήσο των Αλκυονίδων και ήταν ο πιο ισχυρός σεισμός των τελευταίων δεκαετιών στην περιοχή γύρο από τις Αλκυονίδες (Αττική και Βοιωτία) προκαλώντας αρκετούς θανάτους, τραυματισμούς και υλικές ζημιές σε πολλά κτίρια. Αυτός ο σεισμός ήταν που σήμανε την διακοπή λειτουργίας του καθολικού της μονής εξαιτίας των δυσμενών βλαβών που προκάλεσε και που οδήγησε στην κατάρρευση των παλιών κελιών της μονής εκτός από δύο, τα οποία αυτά όπως και ο ναός αναμένουν από τότε την πλήρη στατική τους αποκατάσταση.



1. 21 Ρηξιγενές ρήγμα Καπαρελλίου-Ερυθρών και Ωρωπού

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΔΟΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

### 2.1. Υλικά δόμησης και πάχος λιθοδομής

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται τα υλικά δόμησης που αποτελούν το ναό. Στο πέρασμα των χρόνων έχουν πραγματοποιηθεί πολλές επεμβάσεις οι οποίες πρόσθεσαν νέα υλικά. Παρακάτω αναφέρονται όλα όσα παρατηρήθηκαν και στην επιφάνεια της τοιχοποιίας και στο πάχος τους για χάρη πληρότητας.

#### Λιθοδομή

Τα λιθωσώματα είναι χονδρολαξευμένα κυρίως από ασβεστόλιθο. Στην α' φάση τοιχοποιίας συμπεριλαμβάνονται περισσότερα είδη λιθωσμάτων με επικρατέστερο να είναι ο ασβεστόλιθος. Άλλα είδη λιθωσμάτων είναι το κεραμίδι, κροκαλοπαγείς λίθοι, μικρότερες κροκάλες και πωρόλιθοι. Στην β' κατασκευαστική φάση περιλαμβάνονται κυρίως ασβεστολιθικά λιθωσώματα και σε μικρότερο ποσοστό απ' ότι στην α' κατασκευαστική φάση, κεραμίδι.



2. 2 α' φάση-πωρόλιθος



2. 1 α' φάση ασβεστόλιθοι, κροκάλες και κεραμίδι



2. 3 β' φάση ασβεστόλιθοι

Ξύλινα Στοιχεία

Γενικότερα ένας από τους βασικότερους τρόπους ενίσχυσης των κτισμάτων από λιθοδομή αποτελεί το ξύλινο στοιχείο. Στο ναό της Αγίας Τριάδος λόγω των παρεμβάσεων στο πέρασμα των χρόνων τα περισσότερα ξύλινα στοιχεία που παρατηρήθηκαν έχουν χάσει την φέρουσα ικανότητα τους είτε λόγω γήρανσης του υλικού είτε λόγω παρέμβασης και αλλαγών σε τοπικά σημεία του ναού.

Το βασικότερο ξύλινο στοιχείο που παίζει το μεγαλύτερο ενισχυτικό ρόλο στην λιθοδομή είναι στην βάση του υψηλότερου ημικυλινδρικού θόλου. Συγκεκριμένα σε ύψος 4,85m διακρίνεται ένα ίχνος πάχους περίπου 10 cm στους επιχρισμένους κατακόρυφους τοίχους. Τα ξύλινα στοιχεία ενισχύουν περιμετρικά την σύνδεση των εγκάρσιων κατακόρυφων τοίχων. (Εικόνες 2.4-2.7).

Επιπροσθέτως ο ναός διαθέτει δύο θύρες μία της κεντρικής εισόδου (Εικόνα 2.10) και μία του παραβήματος στην νότια όψη τα οποία διαθέτουν ξύλινο ανώφλι σε όλο το πλάτος και πάχος του ανοίγματος. Ειδικότερα το ξύλινο ανώφλι της νότιας θύρας έχει χάσει την φέρουσα ικανότητα του λόγω γήρανσης του υλικού.

Επιπλέον ξύλινα στοιχεία παρατηρούνται στα κουφώματα των ανοιγμάτων της βόρειας και νότιας κόγχης (Εικόνα 2.12) και στις γωνίες των ανοιγμάτων της νότιας κόγχης (Εικόνα 2.8) και του παραβήματος στην βόρεια όψη (Εικόνα 2.9). Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις το υλικό φαίνεται πλήρως αποσαθρωμένο. Στην δεύτερη περίπτωση μάλιστα φαίνεται ότι αποτελεί κατάλοιπο παρέμβασης στη περιοχή του κατακόρυφου τοίχου καθώς το νέο άνοιγμα έχει μετατεθεί κατά 20 cm πιο δεξιά.

Τέλος υπάρχουν δύο ακόμη ξύλινα στοιχεία. Υπάρχει σε ύψος 1.75cm στον βορειοανατολικό πεσσό του τέμπλου το οποίο δεν δείχνει να συνεχίζεται περιμετρικά του πεσσού οπότε δεν αποτελεί φέρον στοιχείο και δεξιά στο πάχος του ανοίγματος της κεντρικής θύρας κατά την είσοδο στο ναό που δεν φαίνεται όμως να συνεχίζει περιμετρικά του ναού καθώς δεν διακρίνεται κανένα ίχνος της συνέχειας του (Εικόνα 2.11).



2. 4. Το ίχνος της ξυλοδεσιάς πάνω από το τέμπλο του ναού



2. 5. Ίχνος της ξυλοδεσιάς στο κατακόρυφο στοιχείο που χωρίζει τον νάρθηκα από το κύριο κλίτος



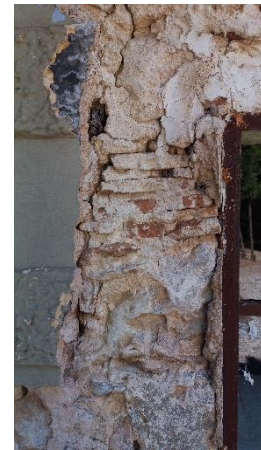
2. 6. Ίχνος της ξυλοδεσιάς στο τύμπανο της νότιας όψης



2. 7. Ίχνος της ξυλοδεσιάς στο τύμπανο της βόρειας όψης



2. 8. Ξύλινο στοιχείο στο άκρο του ανοίγματος της νότιας κόγχης



2. 9. Ξύλινο στοιχείο στο παράβλημα της βόρειας όψης κατάλοιπο του παλαιότερου ανοίγματος



2. 10. Ξύλινο στοιχείο στο ανώφλι της κεντρικής θύρας



2. 11 Ξύλινο στοιχείο στην μία πλευρά του βόρειου πεσσού αριστερά του τέμπλου του πεσσού



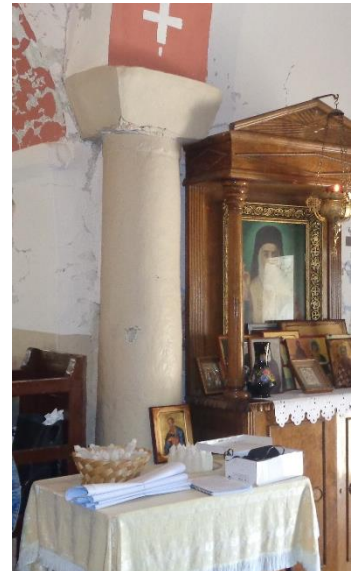
2. 12. Ξύλινο στοιχείο στο πλάτος της θύρας

### Μονολιθικά στοιχεία

Στο ναό διακρίνεται ως επιπρόσθετο φέρον στοιχείο εκτός της λιθοδομής και τα μονολιθικά στοιχεία. Οι κίονες και τα κιονόκρανα είναι μονολιθικά στοιχεία. Ενδεχομένως από μάρμαρο. Άλλα μονολιθικά στοιχεία από μάρμαρο είναι το ανώφλι της δυτικής θύρας που ίσως παλαιότερα να αποτελούσε τμήμα του παλαιότερου τέμπλου (πηγή το βιβλίο του κ. Αντωνίου) και τα στοιχεία που περιβάλλουν τα ανοίγματα της βόρειας και νότιας κόγχης. Στη τελευταία περίπτωση τα μονολιθικά στοιχεία έχουν πάχος 10cm.



2. 13. Μονολιθικά στοιχεία περιβάλλουν τα ανοίγματα της βόρειας και νότιας κόγχης



2. 14. Μονολιθικός κίονας



2. 15. Μονολιθικό στοιχείο στο ανώφλι του ανοίγματος της θύρας

## Κονίαμα

Απαραίτητη κρίνεται η περιγραφή και η εξέταση του κονιάματος της λιθοδομής καθώς παίζει σημαντικό ρόλο στην αντοχή της. Το κονίαμα της α' φάσης είναι λίγο πιο ροζ από αυτό της β' φάσης. Αυτό ενδεχομένως γιατί περιέχει τριμμένο κεραμίδι. Το πάχος του κονιάματος και στις δύο φάσεις μεταβάλλεται από 0,5cm έως 4cm.

Το πάχος της λιθοδομής μεταβάλλεται από τον ένα κατακόρυφο τοίχο στον άλλον και διαφέρει από την μία φάση στην άλλη. Ενδεικτικά έγιναν δύο μετρήσεις πάχους στην πρώτη φάση και μία για την δεύτερη. Οι παραπάνω μετρήσεις επιβεβαίωσαν τις μετρήσεις που είχαν προηγηθεί παλαιότερα από την αρχιτεκτονική ομάδα του κ. Μαμαλούκου.

## Πάχος λιθοδομής

Σχετικά με την δομή του πάχους στην λιθοδομή έγινε διερεύνηση σε δύο περιοχές του ναού. Πιο συγκεκριμένα μία περιοχή για την α' φάση και μία για την β' όπως προτρέπει με παραπομπή στα αντίστοιχα σχέδια:

### Πάχος λιθοδομής α' φάσης (βλ. Σχέδιο ΣΤ.1)

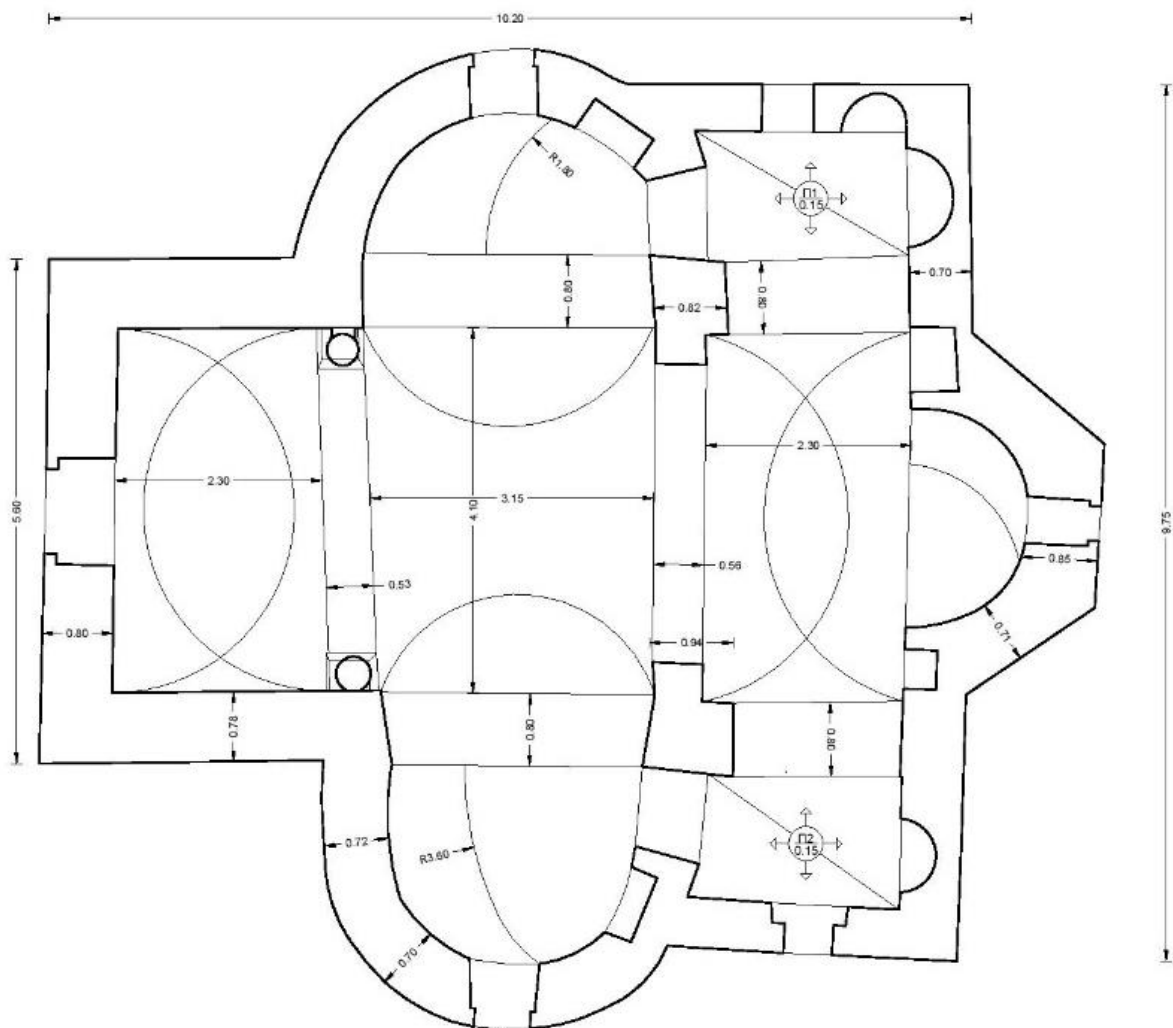
Κυμαίνεται από 70 έως 85cm. 1<sup>ο</sup> σημείο Π.Λ.1: Με χρήση κατάλληλου ενδοσκοπίου τύπου 'Bosch Universal Inspect' ελέγχθηκε το πάχος της λιθοδομής εξωτερικά της νότιας όψης στην πλευρά του νάρθηκα βλ. κάτοψη αρ.σχ.Γ.1 και όψη αρ.σχ.Γ.8. και διαπιστώθηκε ότι η εξωτερική στρώση κυμαίνεται από 27 έως 30cm. Η χρήση ενδοσκοπίου σε τμήματα των εσωτερικών τοίχων του νάρθηκα ΠΛ2 και ΠΛ3 (βλ.αρ.σχ.Γ.1, Γ.7, Γ.9) απέδειξε για τρεις λίθους με όψη ~30×15cm να έχουν βάθος 15cm με τον αμέσως επόμενο λίθο να κυμαίνεται στην ίδια περίπου διάσταση. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα ότι η εσωτερική παρειά αποτελεί μία αργολιθοδομή από μόνη της.

### Πάχος λιθοδομής β' φάσης (βλ. Σχέδιο ΣΤ.2)

Κυμαίνεται από 53 έως 70cm. Με χρήση ειδικού ενδοσκοπίου τύπου 'Bosch Universal Inspect' εξετάστηκε περιοχή της β' φάσης κοντά στο ανώφλι της θύρας της νότιας όψης που πρόκειται για περιοχή αρκετά διαταραγμένη λόγω της νεωτερικής πρόχειρης διάνοιξης μεγαλύτερου ανοίγματος. Η ενδοσκόπηση έγινε στην τομή της νέας διάνοιξης με αυτό της παλαιότερης και το λιθόσωμα που ανήκει στην παλαιότερη έχει βάθος διάσταση ~24cm (19<sup>ο</sup> αιώνας) ενώ αυτό της νεότερης ~10cm (20<sup>ο</sup> αιώνα) με μία πλακοειδή μορφή. Το λιθόσωμα του 19<sup>ο</sup> αιώνα με ύψος 12cm έχει βάθος 25cm επομένως κατά προσέγγιση και κατά παραδοχή λαμβάνεται υπόψη ότι όλα τα λιθόσωμα με διάσταση στην όψη όπως και του εν λόγω λιθόσωματος έχουν παρόμοιο βάθος. Απομένει να δικαιολογηθούν τα υπόλοιπα 28cm. Εσωτερικά για ένα πάχος 9cm δεν είναι εφικτό να φανεί λίθος ενδεχομένως λόγω διαταραγμένης περιοχής της τοιχοποιίας. Το τμήμα που απομένει για να συμπληρώσει το υπόλοιπο τμήμα της τοιχοποιίας είναι περίπου 16cm το οποίο μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο λιθόσωμα. (βλ.αρ.σχ.Γ.1, Γ.8).

## 2.2. Τεκμηρίωση του φέροντα οργανισμού

Η κατανόηση της λειτουργίας του φέροντος οργανισμού αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή ανάλυση του φορέα στο υπολογιστικό πρόγραμμα και επομένως στον κατάλληλο τρόπο αποκατάστασης της δομής. Στο εν λόγω έργο τα στοιχεία που αποτελούν τον φορέα είναι η εξωτερική περιμετρική λιθοδομή, οι δύο κίονες, οι δύο εσωτερικοί πεσσοί, οι τοξωτοί διαχωριστικοί τοίχοι που χωρίζουν τον νάρθηκα από το κύριο κλίτος, το κύριο κλίτος από το ιερό και το ιερό από τα παραβήματα, οι θολωτές οροφές και οι δύο πλάκες σκυροδέματος.



2. 16. Ξυλότυπος ναού

Ο σημερινός ναός είναι αποτέλεσμα δύο κατασκευαστικών φάσεων με διαφορά δύο αιώνων μεταξύ τους. Στην α' κατασκευαστική φάση εντάσσεται το ορθογωνικό τμήμα του ναού με διαστάσεις 10.20x5.60 και περιλαμβάνει εξ' ολοκλήρου το νάρθηκα και το μεγαλύτερο τμήμα του κυρίου ναού, του ιερού και της αψίδας του ιερού. Στην β' κατασκευαστική φάση εντάσσονται οι δύο κόγχες και τα δύο παραβήματα του ιερού. Οι κόγχες εκτείνονται στην βόρεια και νότια όψη. Τα δύο παραβήματα



αποτελούν το υπόλοιπο τμήμα του κυρίου ναού και του ιερού. Επιπροσθέτως ο ναός είναι συμμετρικός ως προς την διεύθυνση Ανατολή-Δύση.

Το κέλυφος του ναού στα κατακόρυφα του στοιχεία και κατά μήκος της τοιχοποιίας είναι χτισμένο από χονδρολαξευμένα λιθασώματα ενώ στις γωνίες σύνδεσης των κατακόρυφων τοιχίων της β' μόνο κατασκευαστικής φάσης χρησιμοποιήθηκαν λαξευμένοι λίθοι. Το κέλυφος της οροφής του ναού δεν είναι σε καμία εξωτερική περιοχή του εμφανές καθώς είναι επικαλυμμένη με άοπλο σκυρόδεμα και έπειτα κεραμοσκεπή. Οι μόνες ορατές περιοχές είναι εσωτερικά του, που αποκαλύπτεται η γεωμετρία της θολοδομίας μαζί με κάποιες μαρτυρίες στα τόξα στα οποία καταλήγουν οι θολοδομίες. Αξιοσημείωτο είναι ότι η μόνη χρήση ξύλινου στοιχείου που υπάρχει, ντύνει εσωτερικά και περιμετρικά τους κατακόρυφους τοίχους σε ύψος 4.85m. Η ξυλοδεσιά αυτή συμβάλλει στην καλύτερη συνεργασία των εγκάρσιων τοίχων και στην αποδοτικότερη ανάληψη των φορτίων του υψηλότερου ημικυλινδρικού θόλου .

Τέλος αξίζει να σημειωθούν ότι αρκετές περιοχές του ναού έρχονται αντιμέτωποι με την ανερχόμενη υγρασία αφήνοντας σε μεγάλο βαθμό τα αποτυπώματα της στους κατακόρυφους τοίχους. Επίσης συνεχόμενες διάσπαρτες ρωγμές κατακλύζουν κάθε τμήμα του τοίχων τόσο κατά μήκος όσο και κατά το πάχος τους. Και οι δύο αυτοί παράγοντες υποβαθμίζουν σε μεγάλο βαθμό την αντοχή τους.

#### ΟΡΟΦΗ

Η οροφή σε όλες τις διαφορετικές στάθμες της στέγης είναι θολωτές είτε αυτή ανήκει σε δίρριχτη στέγη είτε σε μονόρριχτη (βλ. Σχέδια Αποτύπωσης) εκτός από την οροφή των παραβημάτων.

Πιο συγκεκριμένα:

- Νάρθηκα: ημικυλινδρικός θόλος που στηρίζεται σε τμήμα κατακόρυφων τοίχων της βόρειας και νότιας όψης με μέγιστο ύψος 4.35m. Το ύψος των γενέσεων είναι 2.35m και το άνοιγμα 4.10m.
- Τρούλος: ημικυλινδρικός θόλος που μεταφέρει φορτία σε δύο αντικριστά τόξα, τα οποία με την σειρά τους μεταφέρουν φορτία δυτικά σε δύο συμπαγή μονολιθικούς κίονες και ανατολικά στους δύο πεσσούς. Έχει μέγιστο ύψος 6.35m. Έχει ημιελλειπτική διατομή και οι γενέσεις του βρίσκονται σε ύψος 4.85m. Το άνοιγμα του θόλου είναι 3.10m.
- Ιερό: ημικυλινδρική θολοδομία που μεταφέρει φορτία σε δύο τόξα και αυτά με την σειρά τους στους δύο πεσσούς αντίστοιχα και στα δύο κατακόρυφα τοιχεία της ανατολικής όψης. Έχει μέγιστο ύψος 4.10m. Το ύψος των γενήσεων είναι 2.50m και το άνοιγμα 4.10m
- Αψίδα ιερού: θολωτό με μέγιστο ύψος 3.45m, ύψος γενέσεων 2.50m και άνοιγμα 2.45m.
- Αψίδα κόγχης στην βόρεια όψη: θολωτό-τεταρτοκύκλιο με μέγιστο ύψος 3.50m, ύψος γενέσεων 2.25m και άνοιγμα 2.95m.
- Αψίδα κόγχης στην νότια όψη: θολωτό-τεταρτοκύκλιο με μέγιστο ύψος 3.38m, ύψος γενέσεων 2.30m και άνοιγμα θόλου 2.75m

Η οροφή του ναού είναι επιχρισμένη και στο μεγαλύτερο τμήμα της αγιογραφημένη. Ως εκ τούτου δεν είναι γνωστή η γεωμετρία του υλικού δόμησης της από εσωτερική άποψη του ναού.

ΣΤΕΓΗ

Εξωτερικά ο ναός είναι επικαλυμμένη με άοπλο σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται ως βάση για την κεραμοσκεπή. Τα κεραμίδια της στέγης είναι τύπου 'βυζαντινά κολυμβητά'. Επομένως ούτε από εξωτερικά είναι εφικτή η εξακρίβωση του πάχους της οροφής και της γεωμετρίας των υλικών δόμησης της.

Για την γεωμετρία της κεραμοσκεπής τίθενται αναφορικά τα παρακάτω:

- Η στέγη του νάρθηκα έχει το ψηλότερο σημείο της σε 4,75m πάνω από την γραμμή εδάφους με υψόμετρο '0'. Στο Σχ.2.17 απεικονίζεται το όριο λιθοδομής με το πάχος του γείσου και της κεραμοσκεπής. Η κλίση μεταβάλλεται από 18° σε 23° .
- Η στέγη της ημικυλινδρικής οροφής του τρούλου είναι δίρριχτη και βρίσκεται πάνω από το κεντρικό κλίτος. Το ψηλότερο σημείο της αγγίζει τα 6.93 m .
- Ο θόλος του ιερού στεγάζεται από δίρριχτη στέγη κλίση 23° . Βρίσκεται σε υψόμετρο 4.80 από την γραμμή εδάφους.
- Η στέγη της κόγχης του ιερού είναι μονόρριχτη. Το ψηλότερο σημείο αντιστοιχεί σε ύψος 3.65m
- Η κλίση της στέγης της βόρειας κόγχης μεταβάλλεται από 26° σε 10° και 5° προς τα αριστερά και δεξιά αντίστοιχα ενώ της νότια κόγχης από 19° σε 12° και 13°. Το ψηλότερο σημείο της βόρειας κόγχης είναι κατά 10 cm πιο χαμηλά από αυτό της νότια κόγχης.  $h_{\nu\tau}= 3.72\text{m}$  και  $h_{\beta\rho}=3.63\text{m}$ .



2. 17. Δυτική άποψη της δίρριχτης στέγης του νάρθηκα



2. 18. Άποψη της στέγης της βόρειας κόγχης



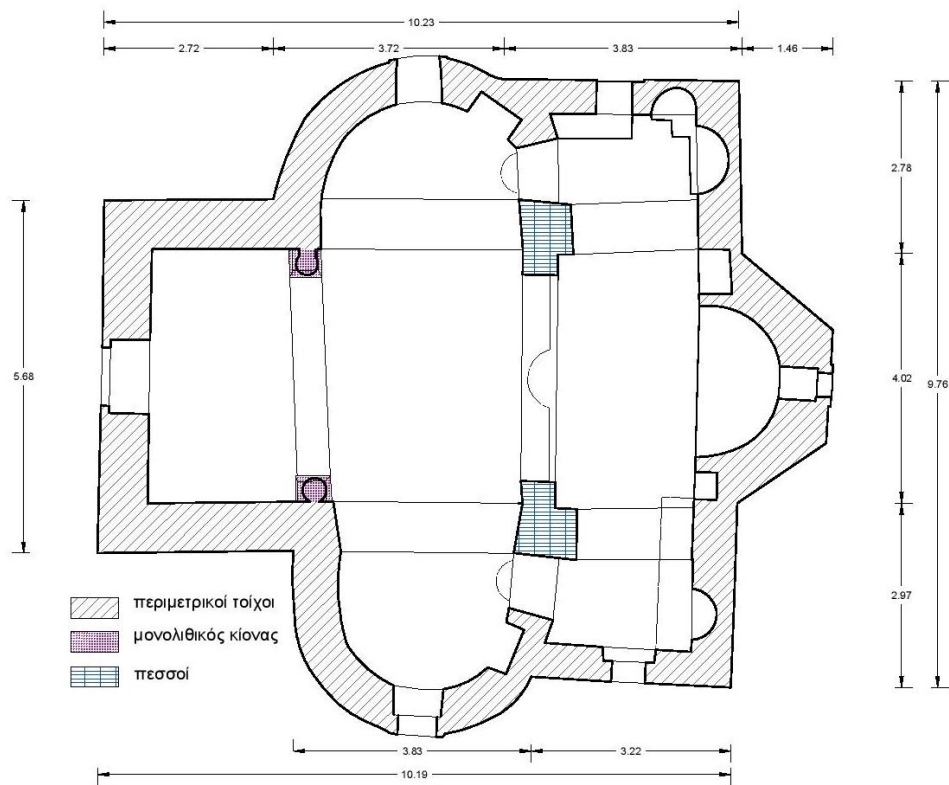
2. 19 Άποψη της στέγης της νότια κόγχης



2. 20. Άποψη της στέγης του θόλου του ιερού και της αψίδα τους ιερού

ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ-ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι περιμετρικοί τοίχοι του ναού, οι δύο πεσσοί δεξιά και αριστερά του τέμπλου καθώς και οι δύο κίονες στην βόρεια και νότια εσωτερική όψη αποτελούν τα φέροντα στοιχεία του ναού. (βλ. Σχήμα 2.21). Πρόκειται για τρίστρωτη αργολιθοδομή με χονδρολαξευμένους λίθους. Το πάχος της τοιχοποιίας μεταβάλλεται από 55cm έως 80cm με επικρατέστερο να είναι το πάχος των 75cm. Στις γωνίες ο τρόπος σύνδεσης είναι κυρίως μέσω λαξευμένων ακρογωνιαίων λίθων (Εικόνα 2.22-2.24) με διαμόρφωση όπως φαίνεται στα 'Σχέδια Κατασκευαστικών Λεπτομερειών'. Δεν είναι επιτυχημένος όμως αυτός ο τρόπος σύνδεσης σε όλες τις γωνίες το ίδιο. Καθώς σε κάποια σημεία είτε δεν είναι συνδεδεμένοι οι λίθοι με τον ορθό τρόπο όπως συμβαίνει στην Εικόνα 2.26 είτε δεν είναι αρκετά λαξευμένοι οι λίθοι Εικόνα 2.28. Αξιοπρόσεχτο είναι ότι οι τοίχοι της δεύτερης κατασκευαστικής φάσης είναι ορθότερα συνδεδεμένοι μεταξύ τους.



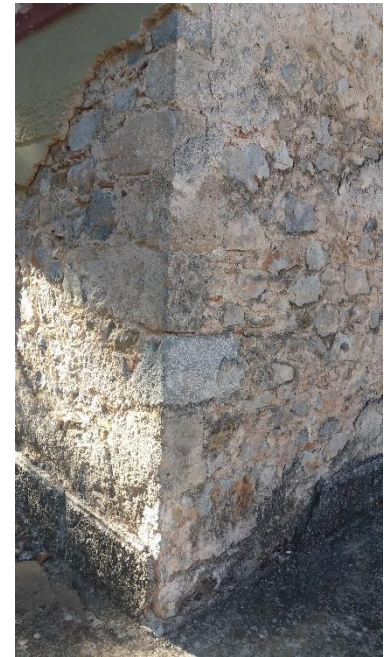
2. 21. Φέροντα κατακόρυφα στοιχεία του ναού



2. 23 Αρμός α' και β' κατασκευαστικής φάσης στην Ανατολική όψη .



2. 24 Ανατολική Όψη-Ορθή γωνία σύνδεσης-Τοίχος της κεντρικής κόγχης του ιερού



2. 22 Νοτιοανατολική άποψη- Γωνία σύνδεσης τοίχων της β' κατασκευαστικής φάσης



2. 26 Γωνία σύνδεσης βόρειας και δυτικής όψης. Κακώς λαξευμένοι λίθοι μικρών διαστάσεων



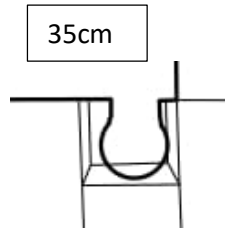
2. 25 Γωνία κοντά στο έδαφος βορειοανατολική άποψη, ορθώς συνδεδεμένη- β' κατασκευαστική φάση



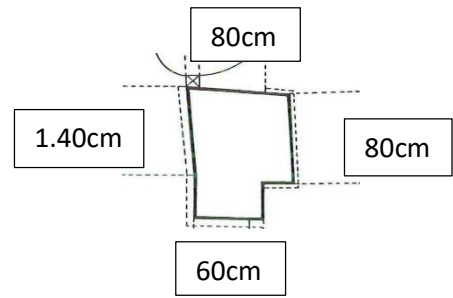
2. 27 Γωνία σύνδεσης νότιας και δυτικής όψης. Κακώς λαξευμένοι λίθοι μικρών διαστάσεων



2. 28 Περιοχή σύνδεσης της βόρειας και δυτικής όψης. Αποκάλυψη μη λαξευμένου λίθου στην περιοχή της ρωγμής Δ1

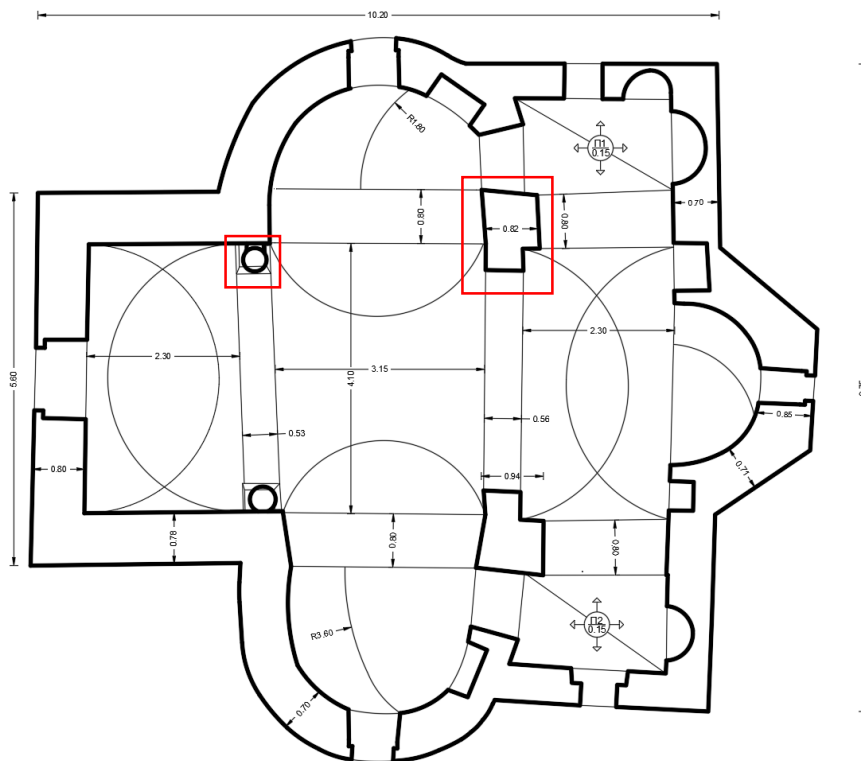


2. 29 Μονολιθικός κίονας  
διαμέτρου 35cm



2. 30 Πεσσός αριστερά του τέμπλου

Οι εσωτερικοί πεσσοί έχουν σχήμα 'Γ' και διαστάσεις όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.30. Οι δύο μονολιθικοί κίονες έχουν μέση διάμετρο 35cm.



2. 31. Κάτοψη ναού και επισήμανση σε αυτόν τις θέσεις του ενός κίονα και του πεσσού

- Σύνδεση του κίονα με τους κατακόρυφους τοίχους του νάρθηκα

Οι δύο μονολιθικοί κίονες με κυκλική διάμετρο μεταβάλλεται με το ύψος. Ξεκινάει από το δάπεδο με διάμετρο (38cm) και καταλήγει σε ύψος 2.25m με διάμετρο (33cm). Σε κάθε κυκλικό μονολιθικό κίονα στηρίζεται κιονόκρανο με διαστάσεις (45×40cm) στο οποίο εν τέλει καταλήγουν τα φορτία του υψηλότερου θόλου του κεντρικού κλίτους. Από την Εικόνα 2.32 φαίνεται ότι ο κίονας δεν συνδέεται με τον κατακόρυφο τοίχο όσο η διάμετρος του είναι κυκλική. Το τμήμα που ακουμπάει με τον κατακόρυφο τοίχο του είναι το κιονόκρανο και το πιο πιθανό είναι, η σύνδεση τους να είναι επιφανειακή. Αυτό μαρτυρείται από την ανυπαρξία ρωγμών που θα αναμενόταν να υπήρχαν ως περιοχή εκτόνωσης τμημάτων κατασκευής διαφορετικής συνάφειας, αν η αλληλοεμπλοκή τους ήταν σε μεγαλύτερο βάθος στο πάχος του κατακόρυφου τοίχου.



2. 32: Ένωση κίονα με το κατακόρυφο περιμετρικό τοίχο

- Ανοίγματα

Συνολικά το πλήθος των ανοιγμάτων είναι επτά, δύο θύρες και πέντε παράθυρα. Στην βόρεια όψη υπάρχει ένα μικρό άνοιγμα διαστάσεων 60cm × 38cm, στην δυτική όψη βρίσκεται η πόρτα της κεντρικής εισόδου που έχει ύψος 1,80m και άνοιγμα 89cm καθώς και ένα δίλοβο άνοιγμα 60×1,30cm. Στην βόρεια και νότια όψη υπάρχει ένα άνοιγμα στο μέσο κατά μήκος της όψης, στο τμήμα της κόγχης με διαστάσεις 65cm× 90 cm και στην βόρεια όψη υπάρχει ένα ακόμη παράθυρο από την αντίστοιχη πλευρά του ιερού 60×75cm, στα τύμπανα του υψηλότερου ημικυλινδρικού τρούλου 2×(25×70cm) και στην νότια όψη μία θύρα με διαστάσεις 1,60×60 cm.

Συνοψίζοντας, τα ανοίγματα της τοιχοποιίας αποτελούν στην βόρεια όψη το 3%, στην νότια όψη το 4,5% , στην δυτική το 10% και στην ανατολική το 0,6%.

- Θεμέλια

Η μορφή και το βάθος θεμελίωσης είναι γενικά άγνωστα. Το πάχος του τοίχου κοντά στο έδαφος παραμένει ίδιο.

- Δάπεδο

Το δάπεδο του ναού δεν αποτελεί φέρον στοιχείο απλά αναφέρεται για λόγους πληρότητας. Τομή σε τμήμα δαπέδου αποκάλυψαν ότι κάτω από τα ασπρόμαυρα μαρμάρινα πλακάκια υπάρχει μία στρώση από ασβεστοκονίαμα με ίχνη από κεραμικές πλάκες που ενδεχομένως να αποτελούσαν το παλιό δάπεδο και βαθύτερα μία στρώση από κροκάλες. Μεταξύ του ασβεστοκονιάματος και των κροκάλων υπάρχουν μπάζα.



2. 33 Τομή δαπέδου

<sup>1</sup> Φωτογραφία από την Έκθεση της Μελέτης Αποκατάστασης Τοιχογραφιών της Ι.Μ. Αγίας Τριάδας Πλαταιών,



- Πρόσθετες επεμβάσεις στα φέροντα στοιχεία στην πάροδο του χρόνου

Ειδικότερη αναφορά χρειάζεται να γίνει στις παρεμβάσεις που προστέθηκαν στην εποχή του 20<sup>ου</sup> αιώνα καθώς οι επιπτώσεις αυτών των παρεμβάσεων είχαν αρνητικό αντίκτυπο στην στατικότητα του ναού.

Στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα πραγματοποιήθηκαν πρόχειρες διανοίξεις στα κατακόρυφα στοιχεία της βόρειας και νότιας όψης των παραβημάτων. Συγκεκριμένα στην βόρεια όψη, στόχο είχαν να αυξήσουν τις διαστάσεις του ήδη υπάρχοντος ανοίγματος και μάλιστα έγινε μία μετακίνηση του ανοίγματος κατά 20 cm πιο κοντά στην βόρεια κόγχη. Στην νότια όψη πραγματοποιήθηκε πάλι πρόχειρη διάνοιξη του ανοίγματος στην θέση τη οποίας διαμορφώθηκε μια θύρα διαστάσεων (180cm×85cm) και ένα μικρό άνοιγμα διαστάσεων 40×50cm πάνω από την θύρα. Οι παραπάνω διανοίξεις εκτιμώνται αποτυχείς λόγω της ανύπαρκτης αλληλοεμπλοκής της νέας λιθοδομής με την αρχική και ως εκ τούτου την αναμενόμενη αποσύνδεση του νέου τμήματος από τον υπόλοιπο φορέα.



2. 34. Πρόχειρη διάνοιξη στην βόρεια όψη του παραβήματος του ιερού



2. 35. Πρόχειρη διάνοιξη της θύρας στη νότια όψη του παραβήματος του ιερού

## 2.3 Χαρακτηρισμός υλικών και προσδιορισμός των ιδιοτήτων τους

### 2.3.1 Εργαστηριακές δοκιμές σε λιθοσώματα και κονιάματα

Στο εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου πραγματοποιήθηκαν δοκιμές προσδιορισμού της αντοχής λιθοσώματος και κονιαμάτων που ελήφθησαν από τα εναπομείναντα κελιά στο περίγυρο του ναού και από το ναό, αντίστοιχα. Στην Εικόνα 2.35 παρατίθενται όλες οι περιοχές του ναού που λήφθηκαν τα δείγματα του κονιάματος. Όσον αφορά τη δοκιμή του λιθοσώματος επειδή δεν ήταν εφικτή η αφαίρεση του, από το ναό, λήφθηκε δείγμα από τα παλαιά κελιά που υπάρχουν εξωτερικά του ναού. Η περιοχή των Πλαταιών και συγκεκριμένα ο χώρος στην μονή είναι αρκετά βραχύδης και ως εκ τούτου κατά πάσα πιθανότητα χρησιμοποιούσαν υλικά από την ίδια την περιοχή στις οικοδομικές τους κατασκευές. Επομένως η επιλογή λίθου από τα κελιά θεωρήθηκε αρκετά αντιπροσωπευτική και για το ναό.



1. Δείγμα λίθου απο τα κελιά



2. (1.1-1.4)



3. (2.1-2.2)



4. (4)



5. (5)



6. (6.1-6.2)



7. (8)



8. (9)



9. (10)

2. 36 Περιοχές λήψης δειγμάτων με τους αντίστοιχους κωδικούς οι οποίοι τεκμηριώνονται στον Πίνακα 2.1

Πίνακας 2. 1 :Περιγραφή των δειγμάτων κονιάματος του ναού

1.1	Κονίαμα που εμφανίζει ξεκάθαρα μια μικρορωγμή στην επιφάνεια του, έχει χρώμα ανοιχτό ροζ. Περιέχει ελάχιστα τεμάχια ασβέστου. Εμφανίζει λεπτόκοκκα αδρανή.
1.2	Περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή, τεμάχια ασβέστου, χρώμα, ροζ χρώμα και πολλές σποραδικές ρωγμές.
1.3	Περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή και ένα χονδρόκοκκο, μικροπόρους, τεμάχια ασβέστου, χρώμα, ροζ χρώμα και πολλές σποραδικές ρωγμές.
1.4	Περιέχει διάσπαρτες μικρορωγμές, λεπτόκοκκα αδρανή, μία διχρωμία (ροζ-άσπρο),
2.1	Περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή, τεμάχια ασβέστου, χρώμα, ροζ χρώμα και πολλές σποραδικές ρωγμές, ένα μικρό απανθρακωμένο ξύλο τάξης χιλιοστού
2.2	Περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή, τεμάχια ασβέστου, χρώμα, ροζ χρώμα και πολλές σποραδικές ρωγμές
4	Περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή, τεμάχια ασβέστου, χρώμα, ροζ χρώμα, έχει μια ξεκάθαρη ρωγμή στην μέση
5	Περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή, τεμάχια ασβέστου, χρώμα, έχει πιο λευκό χρώμα προφανώς επειδή είναι εσωτερικού χώρου και πολύ λίγες μικρορωγμές.
6.1	Περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή, συμπαγή, τεμάχια ασβέστου, λευκό χρώμα
6.2	Περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή, συμπαγή, τεμάχια ασβέστου, λευκό χρώμα
8	Περιέχει χονδρόκοκκα αδρανή με διάμετρο έως και 1.5cm και λεπτόκοκκα αδρανή, τεμάχια ασβέστου, ροζ χρώμα
9	Περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή, τεμάχια ασβέστου, χρώμα, ροζ χρώμα, έχει μια ξεκάθαρη ρωγμή στην μέση
10	Περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή, μία μικρορωγμή αρκετά καθοριστική για την αντοχή του, διακρίνεται μια διχρωμία (ροζ-λευκό)

Δεδομένου τις παρατηρήσεις στα χαρακτηριστικά κάθε δείγματος, προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα πιο αξιόπιστα δείγματα αποτελούν αυτά τα οποία δεν έχουν κάποια καθοριστική ρωγμή στην μάζα τους. Επομένως πιο αξιόπιστα αποτελέσματα θεωρούνται οι περιπτώσεις 1.2, 1.4, 2.1, 2.2, 5, 6.1, 6.2.

### Δοκιμή θλίψης λίθου

Το δείγμα του λιθοσώματος κόπηκε στο εργαστήριο στις επιθυμητές διαστάσεις σε ειδικά κοπτήρια. Ύστερα δοκιμάστηκε σε θλίψη μέσω υδραυλικής πρέσας σε μηχάνημα TONIPACT 3000 και προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:



2. 37. Ειδικά κοπτήρια



2. 39 Μηχάνημα TONIPACT



2. 38. Δοκιμή σε θλίψη

Πίνακας 2. 2: Υπολογισμός θλιπτικής αντοχής του λιθοσώματος

Μέση διάσταση πλευράς δοκιμίου	46.8mm
Εμβαδό	0.002189m <sup>2</sup>
Μέτρηση της αντοχή σε θλίψη	161.8kN
Υπολογισμός της τάσης	73.91MPa

### Δοκιμή εφελκυσμού κονιαμάτων

Για την μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής των κονιαμάτων χρησιμοποιήθηκε η πειραματική διάταξη του άμεσου εφελκυσμού (Katsaragakis 1987). Χρησιμοποιήθηκαν δυο ταφ από σκυρόδεμα ως υπόβαθρα τοποθέτησης του επιθυμητού δείγματος. Το δείγμα επικολλήθηκε ανάμεσα στα δύο ταφ με σιδηρόστοκο και για να μειωθούν όσο γίνεται δυνατό οι εκκεντρότητες που θα μπορούσε να οφείλονται οι γεωμετρικές των σύνθετων δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν γωνίες καθετότητας. Μετά την στεγάνωση, στα δοκίμια τοποθετήθηκαν τριαρθρωτές μεταλλικές πλάκες και φορτίστηκαν μέσω υδραυλικής πρέσας (μέγιστου φορτίου 300kN). Μια δυναμοκυψέλη στερεώθηκε στην πρέσα και συνδέθηκε με ηλεκτρονικό υπολογιστή στον οποίο μεταφέρονταν οι μετρήσεις του επιβαλλόμενου φορτίου. Τα αποτελέσματα λήφθηκαν σε φορτία τη και παρουσιάζονται αναλυτικά με τους υπολογισμούς (συμπεριλαμβανομένου και του βάρους του) στον Πίνακα 2.3.



2. 40 Υδραυλική πρέσα-Υπολογισμός εφελκυστικής αντοχής



2. 41 Υπολογισμός βάρους- Ψηφιακή ζυγαριά



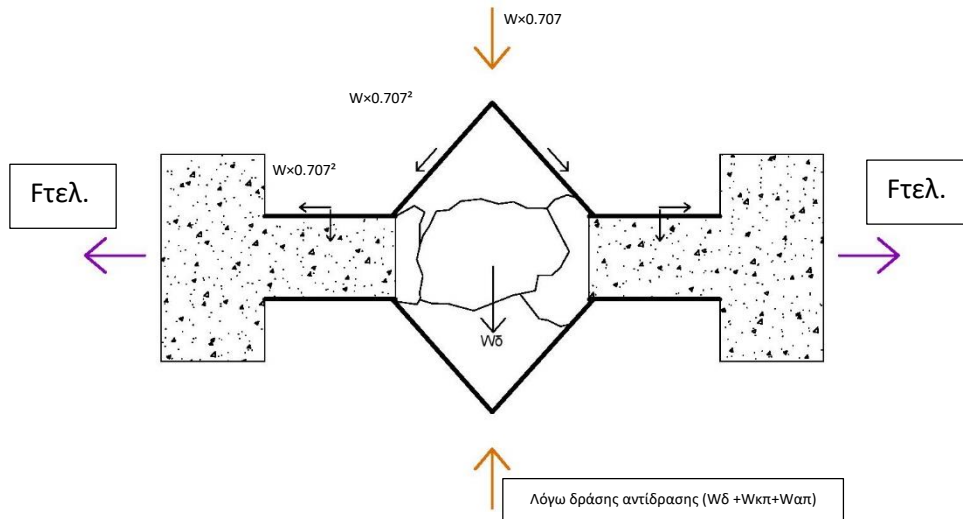
2. 42 Κατά την συγκόλληση των δειγμάτων σε δοκίμια ταφ



2. 43 Συγκόλληση των δειγμάτων και ταυτόχρονη ευθυγράμμιση τους



2. 44 Δοκίμια μετά την ρηγμάτωση-Μέτρηση των διαστάσεων των δειγμάτων και υπολογισμός του εμβαδού της ρηγματωμένης επιφάνειας



2. 45 Υπολογισμός της εφελκυστικής αντοχής λαμβάνοντας υπόψη τα βάρη της τριαρθρωτής πλάκας ( $W_{απ}$ ,  $W_{κπ}$ ), του δοκιμίου ( $W_{δ}$ ) και της καταγραφόμενης τιμής ( $W_{κ}$ ).

$$F_{τελ} = (W_{δ} + W_{κπ} + W_{απ}) \times 0,707^2 + \frac{W_{απ}}{4} \times 0,707^2 + 2 \times W_{κατ}$$

$$F_{τελ} = (W_{δ} + W_{κπ} + \frac{3W_{απ}}{8} \times 2) \times 0,707^2 + \frac{W_{απ}}{4} \times 0,707^2 + 2 \times W_{κατ} \times 0,707^2$$

$W_{δ}$ : βάρος δοκιμίου

$W_{κπ}$ : βάρος κάτω πλάκας

$W_{απ}$ : βάρος άνω πλάκας

$W_{κατ}$ : καταγραφόμενη τιμή

Πίνακας 2. 3. Αποτελέσματα των δειγμάτων και υπολογισμός της αντοχής τους

Όνομα	Θέση	Εμβαδό	Μ.Ο.Εμβ	γραμμάρια ι.β.(Wδ)	ι.β.κάτω μετ/κή πλάκα (γρ)(Wκπ)	ι.β. άνω μετ/κή πλάκα (γρ) (Wαπ)	Φορτίο (tn)	Φορτίο(gr)	Συνολικό φορτίο εφελκυσμού (gr)	Συνολική τάση (kPa)
1.1	α'φάση εσ	0,0006	0,0007	738	580	580	0,00608	6080	7028,713402	100,4102
		0,0008								
1.2	α'φάση εσ	0,0007	0,0006	851	580	580	0,00531	5310	6315,196339	105,2533
		0,0005								
1.3.	α'φάση εσ	0,0005	0,0007	783,5	580	580	0,00124	1240	2211,456532	31,59224
		0,0009								
1.4	α' φάση εσ	0,001	0,00095	783,5	580	580	0,005	5000	5971,456532	62,85744
		0,0009								
2.1.	α'φάση	0,0008	0,00075	875,3	580	580	0,02449	24490	25507,34267	340,0979
		0,0007								
2.2	α'φάση	0,0002	0,0002	817,1	580	580	0,003	3000	3988,251458	199,4126
		0,0002								
4	α'φάση εσ	0,0005	0,0005	803,5	580	580	0,00571	5710	6691,453512	133,8291
		0,0005								
5	β'φάση	0,0003	0,0003	783,5	580	580	0,00409	4090	5061,456532	168,7152
		0,0003								
6.1	β'φάση	0,0002	0,00035	776,63	580	580	0,00429	4290	5258,022569	150,2292
		0,0005								
6.2	β'φάση	0,0003	0,0003	783,5	580	580	0,00306	3060	4031,456532	134,3819
		0,0003								
8	β'φάση (πρόχειρη διάνοιξη)	0,0005	0,00055	717,34	580	580	0,0048	4800	5738,386522	104,3343
		0,0006								
9	β'φάση εσ	0,0004	0,00055	810,2	580	580	0,006	6000	6984,8025	126,9964
		0,0007								
10	β'φάση	0,0009	0,00085	783,5	580	580	0,00965	9650	10621,45653	124,9583
		0,0008								



Δείγματα λήφθηκαν και από την εσωτερική και εξωτερική παρειά. Στο τύπο όμως της αντοχής θα ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα από την εξωτερική παρειά του τοίχου. Με βάση τα αποτελέσματα των δειγμάτων προέκυψε ένα ευρύ φάσμα στις τιμές των αντοχών. Στην περίπτωση της α' φάσης οι τιμές των αντοχών κυμαίνονται από 32kPa έως και 340kPa. Πιο συγκεκριμένα στην εσωτερική στρώση υπάρχει φάσμα από 32kPa έως και 133kPa και στην εξωτερική όψη από 199kPa έως και 340kPa. Στην περίπτωση της β' φάσης η εσωτερική παρειά δίνει τιμή 127kPa και η εξωτερική παρειά αντιστοιχεί σε τιμές που κυμαίνονται από 124kPa έως και 168kPa. Οι τιμές των αντοχών που λαμβάνονται υπόψη στο τύπο που προτείνεται από το ΚΑΔΕΤ λαμβάνει υπόψη μόνο την αντοχή της εξωτερικής παρειάς. Επίσης αξιοσημείωτο είναι ότι το πάχος της εσωτερικής παρειάς έχει πολύ μικρότερη επίδραση σε αντίθεση με το πάχος της εξωτερικής παρειάς στην τελική αντοχή της τοιχοποιίας.

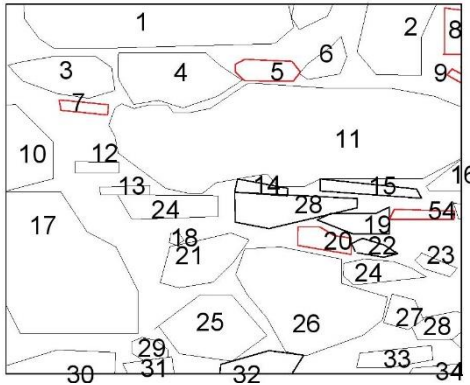
Η αντοχή του κονιάματος της α' φάσης δείχνει να είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτό της β' φάσης. Ωστόσο αυτό δεν ενδείκνυται ως έμπιστο αποτέλεσμα γιατί κατά την εξαγωγή δείγματος του κονιάματος από την δεύτερη φάση προέκυψε εν τέλει μια πιο διαταραγμένη επιφάνεια ενώ στην α' φάση λόγω ευκολότερης αφαίρεσης δείγματος είχε πιο ομαλή επιφάνεια. Αυτό δικαιολογείται και από την απόκλιση των αποτελεσμάτων στην α' και β' φάση. Στην α' φάση η απόκλιση των αποτελεσμάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της β' φάσης.

Εκτιμάται λοιπόν λαμβάνοντας υπόψη το μέσο όρο των αποτελεσμάτων και με βάση τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά και τους παραπάνω υπολογισμούς η αντοχή στην α' φάση αντιστοιχεί στην τιμή 270kPa και στην β' φάση αντιστοιχεί στην τιμή 151.11kPa

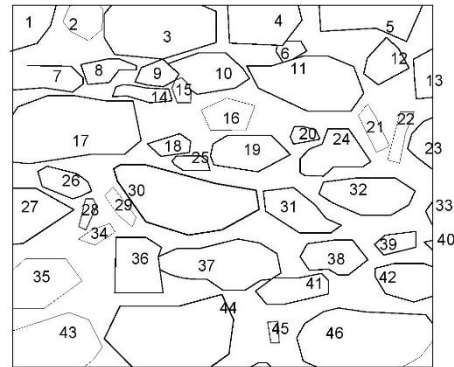
### 2.3.2 Υπολογισμός της αντοχής της τοιχοποιίας

Για τον υπολογισμό της αντοχής της τοιχοποιίας θα ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα που παράχθηκαν από τις εργαστηριακές δοκιμές του λιθοσώματος και του κονιάματος. Δηλαδή η θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος αντιστοιχεί σε τιμή 73.91MPa και η εφελκυστική αντοχή του κονιάματος αντιστοιχεί σε τιμή 270kPa στην περίπτωση της τοιχοποιίας της α' κατασκευαστικής φάσης και σε τιμή 151kPa στη περίπτωση της β' κατασκευαστικής φάσης.

Επίσης για τον υπολογισμό του όγκου κονιάματος προς τον ολικό όγκο χρησιμοποιήθηκε μία αποτύπωση της λιθοδομή σχεδιασμένη στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Autocad.



2. 47 Αλληλοεμπλοκή λίθων σε τμήμα τοιχοποιίας α' φάσης



2. 46 Αλληλοεμπλοκή λίθων σε τμήμα τοιχοποιίας β' φάσης

Από την επεξεργασία της εικόνας προκύπτει για την α' φάση ότι  $\frac{V_m}{V_w} = 0,353$  και για την

$$\beta' \text{ φάση } \frac{V_m}{V_w} = 0.397$$

( $V_m$ = όγκος κονιάματος και  $V_w$ = συνολικός όγκος)

Για τον υπολογισμό αντοχής της μονόστρωτης τοιχοποιίας χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$f_{wc} = \left( \frac{2}{3} \sqrt{f_{bc}} + k_1 \times f_{mc} - k_2 \right) / \left( 1 + 3.50 \left( \frac{V_m}{V_w} - 0.30 \right) \right)$$

$f_{bc}$ : θλιπτική αντοχή λιθοσώματος

$f_{mc}$ : θλιπτική αντοχή κονιάματος

$k_1=0.60$  για αργολιθοδομή /  $0,20$  για λιθοδομή με κανονικούς λίθους

$k_2=2.5$  για αργολιθοδομή /  $0,50$  για ημι-αργολιθοδομή /  $0$  για οπτόπλινθο ή για λιθοδομή με κανονικούς λίθους

Η θλιπτική αντοχή κονιάματος θεωρήθηκε ίση με την εξαπλάσια εφελκυστική του αντοχή

Για τον υπολογισμό της μεσαίας εσωτερικής στρώσης της τοιχοποιίας

$$f_{wc,i} = f_0 \times e^{-10n_i} \text{ (MPa)}$$

Όπου:

$f_0 = 35 \text{ MPa}$  (για κονιάματα υψηλής αντοχής  $\sim 10 \text{ MPa}$ )

$20 \text{ MPa}$  (για κονιάματα μέτριας αντοχής  $\sim 4 \text{ MPa}$ )

$10 \text{ MPa}$  (για κονιάματα χαμηλής αντοχής  $\sim 1 \text{ MPa}$ )

$n_i \approx 0.45 - 0.25$

Για τον υπολογισμό της τρίστρωτης τοιχοποιίας

$$f_{w0} = [(2 \times \delta \times \lambda e \times f_{wc,e}) + (\lambda i \times f_{wc,i})] / (1 + 2 \times \delta)$$

Όπου:

$\delta = t_e t_i$

$t_e$  : πάχος εξωτερικής στρώσης

$t_i$  : πάχος εσωτερικής στρώσης

$\lambda i = 1$

$\lambda e = 1 - 0.06 \times \zeta_e \times t_e \times h_w - 4/3, (t_e, h_w: \text{mm})$

$f_{wc,e}$  : θλιπτική αντοχή εξωτερικής στρώσης

$f_{wc,i}$  : θλιπτική αντοχή γεμίματος

$\zeta_e$  : 500 για αργολιθοδομή

1000 για οπτόπλινθο

Έχοντας όλα τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει η αντοχή της τοιχοποιίας της  $\alpha'$  και  $\beta'$  κατασκευαστικής φάσης. Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα απαραίτητα αποτελέσματα.

Πίνακας 1 : Αποτελέσματα αντοχής τοιχοποιίας

Τοιχοποιία	Θλιπτική αντοχή MPa	Μέτρο ελαστικότητας MPa
Τρίστρωτη $\alpha'$ φάση	1,29	776,11
Τρίστρωτη $\beta'$ φάση	1,45	870,50
Μονόστρωτη $\alpha'$ φάση	7,01	4207,42
Μονόστρωτη $\beta'$ φάση	6,98	4190,25

### 3. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

#### 3.1 Εισαγωγή

Δεδομένου του μεγέθους και της έκτασης των βλαβών του ναού της Αγίας Τριάδας, η κατάσταση του κρίνεται κρίσιμη και απειλεί καθημερινά με την σταδιακή αποσάθρωση της δομή του. Ο ναός αυτός έχει υποστεί πολλές επεμβάσεις και προσθήκες στην πάροδο του χρόνου διαταράσσοντας την λειτουργία του φέροντα οργανισμού. Στο σεισμό του 1981 γνωστός και ως σεισμός των Αλκυονίδων με επίκεντρο τον Κορινθιακό κόλπο προκλήθηκαν τεράστιες καταστροφές στην Αττική και στην Βοιωτία χωρίς να μείνει ανεπηρέαστη και η μονή της Αγίας Τριάδας. Ο σεισμός ισοπέδωσε τα κελιά που περιέβαλαν το καθολικό της μονής εκτός από τα δύο κελιά στην ανατολική όψη του ναού ενώ στον ναό άφησε σε επικίνδυνο βαθμό για την στατικότητα του, μεγάλες σε έκταση ρωγμές αποκαλύπτοντας ταυτόχρονα όλα τα αδύναμα σημεία του ναού.

Εστιάζοντας στις αδύναμες περιοχές της φέρουσας δομής του ναού, παρατηρείται ότι ταυτίζονται κυρίως με τις περιοχές που πραγματοποιήθηκαν προσθήκες και επεμβάσεις. Φυσικά δεν είναι οι μόνοι παράγοντες, η γήρανση του υλικού και η κακή δόμηση των λίθων σε ορισμένα χαρακτηριστικά σημεία των κατακόρυφων στοιχείων και ειδικώς σε ορισμένες γωνίες σύνδεσης επέτρεψαν την έκταση των ρωγμών και σε βάθος και εύρος. Αξιοσημείωτο είναι ότι μετά τον σεισμό του 1981, δηλαδή 38 χρόνια μετά, δεν έχει γίνει καμία συντήρηση στον φέροντα οργανισμό της μονής παρά είναι εκτεθειμένο στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες και σε μεταγενέστερους σεισμούς μεγεθύνοντας τις βλάβες και αφήνοντας χώρο για την ανάπτυξη φυτών και φωλιών διαφόρων ζωντανών οργανισμών όπως πουλιών, εντόμων και ερπετών αποδυναμώνοντας ακόμη περισσότερο την συνάφεια της λιθοδομής.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες από τις σημαντικότερες και πιο επικίνδυνες βλάβες του ναού που εξαιτίας τους απαγορεύτηκε η λειτουργία του ναού. Στην ανάλυση των βλαβών αυτών θα γίνει μια προσπάθεια ερμηνείας της κύριας αιτίας που προκλήθηκε, πράγμα δύσκολο καθώς σε αυτό μπορεί να συνέβαλε ένας συνδυασμός πλήθους παραγόντων. Στο Παράρτημα Σχεδίων συμπεριλαμβάνονται όλα τα Σχέδια Παθολογίας του ναού (Μέρος-Δ), στα οποία αποτυπώνονται το εύρος και το μήκος όλων των ρωγμών.

#### 3.2 Σχέδια απεικόνισης των όψεων και της παθολογίας τους

Παρακάτω παρουσιάζονται μια σειρά σχεδίων της παθολογίας του κτιρίου. Για κάθε εξωτερική όψη του κτιρίου παρουσιάζονται οι όψεις που απεικονίζονται μόνο οι ρωγμές και μετά από κάθε όψη απεικονίζεται το ίδιο σχέδιο με τις αντίστοιχες ρωγμές. Οι εσωτερικές όψεις των φερόντων στοιχείων απεικονίζονται σε τομές.

##### Στέγη και οροφή

Εξωτερικά στη στέγη εύκολα παρατηρείται η κακή της κατάσταση. Σπασμένα κεραμίδια ή κεραμίδια που έχουν ελαφρώς μετακινηθεί εκθέτουν το κονίαμα σύνδεσης τους σε διάβρωση ενθαρρύνοντας την ανάπτυξη φυτών (Εικόνα 3.1 και 3.2). Αυτά σε συνδυασμό με την διαβρωμένη στρώση άοπλου σκυροδέματος επιτρέπουν την διαρροή νερού στην οροφή εντείνοντας σε πολύ μεγάλο και εμφανή βαθμό τα σημάδια υγρασίας. Αρκετές περιοχές κυρίως του τοιχογραφημένου θόλου της οροφής της νότιας και βόρειας κόγχης έχουν παραμορφωθεί με την μορφή φυσαλίδων (Εικόνα 3.3-3.4). Επιπλέον οι στρώσεις των επιχρισμάτων έχουν αποκολληθεί τοπικά. Σε άλλες περιοχές της οροφής όπως αυτές των παραβημάτων του ιερού κοντά στα σημεία σύνδεσης τους με τα κατακόρυφα στοιχεία έχει σε μεγάλο βαθμό αναπτυχθεί μούχλα λόγω της υγρασίας (Εικόνα 3.4) ενώ

ακόμη στη οροφή των παραβημάτων το πάχος επικάλυψης της πλάκας του οπλισμένου σκυροδέματος έχει αποφλοιωθεί και ο εμφανής πλέον οπλισμός της έχει διαβρωθεί. (Εικ.3. 5)



3. 1 Ανάπτυξη φυτών στη στέγη της βόρειας κόγχης



3. 2 Σπασμένα κεραμίδια και διαβρωμένο κονίαμα

Μία επιπρόσθετη παρατήρηση είναι ότι η δίριχτη στέγη έχει παραμορφωθεί στις δυο κεκλιμένες πλευρές της σε παραβολικό βαθμό. Με άλλα λόγια διακρίνεται ελαφρώς μία καθίζηση (Εικόνα 3.2).



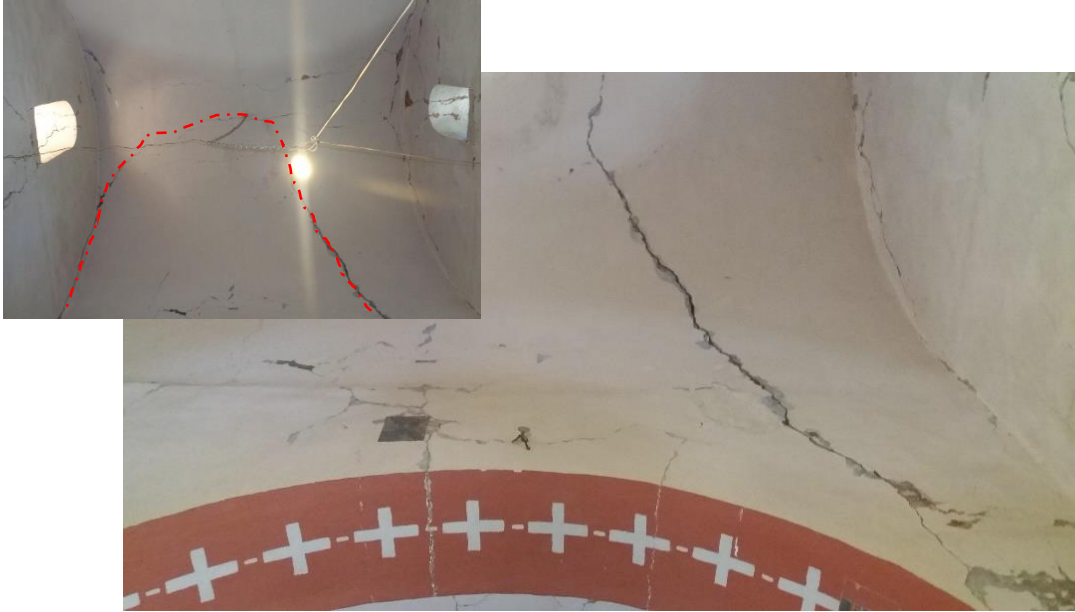
3. 3 Διάβρωση της οροφής στην βόρεια κόγχη



3. 4 Υγρασία-μούχλα στην αποφλοιωμένη πλέον επιφάνεια στο χώρο του νότιου παραβήματος



3. 5 Αποφλοιωμένη επιφάνεια επιχρίσματος και διαβρωμένος ο οπλισμός της οροφής του νότιου παραβήματος



3. 6 Συνεχής ρωγμή σε κατακόρυφο στοιχείο πάνω από το τόξο που χωρίζει το νάρθηκα από το κύριο κλίτος. Η ρωγμή συνεχίζει στο θόλο.

Η συνεχής ρωγμή στην Εικόνα 3.6 συνεχίζει να διαγράφει το μήκος της κορυφής του θόλου και έπειτα το σύνορο του τοίχου με το τύμπανό της νότιας όψης όπου καταλήγει στο ύψος του κιονόκρανου. Το τμήμα αυτό ενδεχομένως να υποδεικνύει μία τάση υποχώρησης του που ενθαρρύνει την περεταίρω καθίζηση του.

Ρωγμές υπάρχουν ακόμη στα κλειδιά όλων των τόξων του ναού (βλ. Εικόνα 3.6-3.7) κατά το πάχος τους. Επίσης στο σύνορο του τόξου της οροφής της κόγχης του ιερού υπάρχει καθίζηση του λιθοσώματος που σχηματίζει το τόξο κατά 2cm. (βλ. Εικόνα 3.8)



3. 7. Κάθετες ρωγμές στο πάχος του τόξου που χωρίζει το ιερό από το κύριο κλίτος



3. 8. Καθίζηση 2cm του λιθοσώματος στο σύνορο του τόξου της αψίδας τους θόλου

Αξιοπρόσεχτη είναι η εμφανή επίπτωση του κωδωνοστασίου από σκυρόδεμα ως πρόσθετο στοιχείο στο δυτικό κατακόρυφο τοίχο πάνω στην στέγη του νάρθηκα. Η προσθήκη έγινε στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Το επιπρόσθετο φορτίο για τον κατακόρυφο τοίχο της δυτικής όψης του ναού έχει εμφανή τις συνέπειες της εσωτερικά, στη περιοχή ένωσης της με την οροφή. Επίσης οι αρμοί σύνδεσης του με την στέγη ενθάρρυναν την διαρροή νερού στην οροφή. (Εικ. 3.9)



3. 9 Η επίδραση της υγρασίας στην οροφή που αντιστοιχεί εξωτερικά με την θέση του κωδωνοστασίου

## Ρωγμές στα κατακόρυφα στοιχεία

Σημαντικές ρωγμές εκτείνονται σε όλους τους περιμετρικούς κατακόρυφους τοίχους εξωτερικά και εσωτερικά του ναού κάποιες από τις οποίες επεκτείνονται σε μεγάλο βάθος στην λιθοδομή έως και σε ολόκληρο το πάχος του τοίχου-διαμπερείς ρωγμές ενώ άλλες έχουν περιορισμένο βάθος. Το εύρος των ρωγμών εκτείνεται ως 4cm. Εξωτερικά σε κάθε όψη υπάρχουν 12 έως 17 ρωγμές ενώ εσωτερικά 18 έως 23 ρωγμές. Εσωτερικά της ανατολικής όψης και στο ιερό φαίνεται να είναι λιγότερες αλλά εξίσου μεγάλης επικινδυνότητας. Ορισμένες ρωγμές είναι κατακόρυφες μαρτυρώντας είτε λανθασμένη σύνδεση στους αρμούς, είτε λόγω εκτός επιπέδου παραμορφώσεων, είτε κακής δόμησης στους τοίχους. Υπάρχουν πολλές λοξές σε υπέρθυρα και ποδιές αλλά και σε πεσσούς ως αποτέλεσμα διατμητικής αστοχίας. Οι οριζόντιες ρωγμές είναι λίγες και περιορίζονται στα σύνορα των λιθοδομών που σχηματίζουν τα τόξα με το υπόλοιπο τμήμα της λιθοδομής των κατακόρυφων στοιχείων. Ενδεικτικά παρουσιάζονται ορισμένες φωτογραφίες παρακάτω ενώ εκτενέστερα φαίνονται στο Παράστημα Σχεδίων Μέρος-Δ

- Διαμπερείς-κατακόρυφες ρωγμές



3. 10 Διαμπερής ρωγμή λόγω πρόχειρης διάνοιξης



3. 11 Διαμπερής ρωγμή λόγω αρμού μεταξύ των δύο φάσεων





3. 12: Αποκόλληση τμήματος της ένωση καμπύλου τμήματος με επίπεδο κοντά στην στέγη



3. 13: Κατακόρυφη περίξ των λιθοσωμάτων κοντά στο αρμό σύνδεσης μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων



3. 14. Λοξή ρωγμή στην Ανατολική όψη κοντά στον αρμό των δύο κατασκευαστικών φάσεων



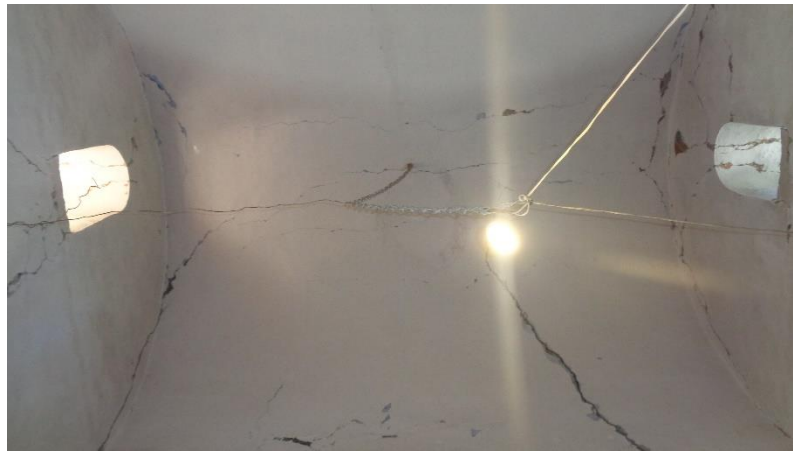
3. 15: Λοξή ρωγμή στην Δυτική όψη μεγάλου εύρους και βάθους (ενδεχομένως είναι χτισμένο πάνω σε λείψανα παλαιότερου τμήματος ναού)



3. 16 Λοξή ρωγμή στο υπέρθυρο της βόρειας κόγχης



3. 17 Λοξές ρωγμές στο υπέρθυρο της βόρειας όψη, κοντά στον άνοιγμα του βόρειου τυμπάνου



3. 18 Οριζόντιες ρωγμές κατά μήκος της κορυφής του θόλου

Συνηθισμένο σχήμα των συνεχών ρωγμών είναι η διαμόρφωση τριγωνικών τόξων



3. 19 Διατμητικές ρωγμές στο τύμπανο της βόρειας όψης



3. 21: Διατμητικές αστοχίες στην δυτική όψη του νάρθηκα



3. 20: Διατμητικές αστοχίες στο τύμπανο της νότιας όψης



3. 22: Διατμητική ρωγμή στην βόρεια όψη του νάρθηκα

Αξιοπρόσεχτο είναι ότι οι δύο πεσσοί δεξιά και αριστερά του τέμπλου έχουν και στις τέσσερις όψεις τους κατακόρυφες ρωγμές που εκτείνονται από το δάπεδο μέχρι και κει που αρχίζουν οι καμάρες των τόξων(Εικόνα 3.23-3.24). Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού υπερφόρτωσης των δύο πεσσών με ένα ποσοστό του φορτίου της οροφής της κόγχης, του ιερού και της ημικυλινδρικής οροφής καθώς και το φορτίο του βόρειου τυμπάνου σε συνδυασμό με την κακή δόμηση τους δεδομένο ότι υπάρχει το ενδεχόμενο να έχει χτιστεί σε τμήματα παλαιότερου ναού του 12<sup>ου</sup> αιώνα (βλ. Ενότητα 1.1).



3. 23 Κατακόρυφες ρωγμές και στις τέσσερις όψεις του νότιου πεσσού



3. 24 Κατακόρυφες ρωγμές και στις τέσσερις όψεις του νότιου πεσσού

## Χαλαρή δόμηση των τοίχων

Το σχήμα των λιθοσωμάτων στην φέρουσα τοιχοποιία παίζει σημαντικό ρόλο στην συνάφεια μεταξύ των υλικών που την αποτελούν και ως εκ τούτου στην αντοχή. Τα λιθοσώματα είναι ως επί το πλείστον ακατέργαστης μορφής ειδικώς στους τοίχους της α' φάσης ενώ ακόμη το κεραμίδι έχει μεγάλο ποσοστό συμμετοχής στην λιθοδομή συχνά περιβάλλοντας το χονδρολαξευμένο λιθόσωμα. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχουν αρκετά κενά απομειώνοντας την συνάφεια μεταξύ των λίθων και ενθαρρύνοντας την εισβολή ποικίλων έμβιων όντων. Στην απώλεια της απαραίτητης συνοχής συμβάλλει και η γήρανση του υλικού του κονιάματος το οποίο εκτεθειμένο στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες θραύεται εύκολα και έχει αρκετά χαμηλή αντοχή.



3. 25 Ακατέργαστο σχήμα λιθοσωμάτων- σημαντικό ποσοστό κεραμιδιών  
–πολλά κενά- Βόρεια όψη



3. 26 Ακατέργαστο σχήμα λιθοσωμάτων- σημαντικό ποσοστό κεραμιδιών  
–πολλά κενά- Νότια όψη



3. 27: Πρόχειρη διάνοιξη ανοίγματος –επέμβαση του 20ου αιώνα-Κακή αλληλοεμπλοκή με τον υπόλοιπο τμήμα του τοίχου- Βόρεια όψη



3. 28 Άποψη λιθοδομής από εσωτερικά του ναού-Καλύτερη κατάσταση του κονιάματος

## Επιχρίσματα

Όλες οι όψεις του κτιρίου έχουν υποστεί στην πάροδο του χρόνου πολλές στρώσεις επιχρίσματος και εξωτερικά και εσωτερικά.

### ➤ Εξωτερικά

Σύμφωνα με αναφορές στην δεκαετία του 1930 είχε γίνει αναμόρφωση των ανεπίχριστων έως τότε όψεων. Πάνω σ' ένα παχύ στρώμα ασβεστοκονιάματος έχουν διαμορφωθεί μορφολογικά στοιχεία τύπου rustiko η οποία εκτείνεται σε όλο το μήκος τους τοίχου-πρακτική που εφαρμοζόταν στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και ίσως λίγο αργότερα. Το πάχος τους επιχρίσματος είναι από 4 έως 5 cm. Επιπλέον στο διάβα του χρόνου έχουν γίνει και πολλά διαφορετικά βαψίματα. Τέλος ο τρούλος όπως και το κωδωνοστάσιο έχει επιχρισθεί με πεταχτό ασβεστοτσιμεντοκονίαμα.

### ➤ Εσωτερικά

Οι όψεις είναι επιχρισμένες με πολλές στρώσεις διαφόρων φάσεων με παλαιά επιχρίσματα από ασβεστοκονίαμα. Όλες οι όψεις φέρουν τοιχογραφίες του 17<sup>ου</sup> και 19<sup>ου</sup> αιώνα. Λόγω όμως μεγάλης υγρασίας και απουσία συντήρησης, είτε οι εξωτερικές στρώσεις έχουν αποφλοιωθεί, είτε ολόκληρο το πάχος του επιχρίσματος έχει "φουσκώσει" σε διάφορες περιοχές κυρίως κοντά στην οροφή του ναού.



3. 32: Τεχνική rustiko



3. 29: Αλληπαλληλες στρώσεις βαψιμάτων άσπρο-κόκκινο-μπλε



3. 31 Επίδραση της υγρασίας στα κατακόρυφα στοιχεία



3. 30 Αποφλοίωση εξωτερικών στρώσεων επιχρίσματος στον εσωτερικό χώρο του ναού

➤ Φθορές λόγω επιρροών του εξωτερικού περιβάλλοντος

Ο περιβάλλον χώρος του ναού εκτιμάται περίπου 35×40m περιλαμβάνοντας τις εκτάσεις που παλαιότερα, ολόγυρα του ναού, ήταν χτισμένα τα κελιά. Ορίζεται από έναν μανδρότοιχο αργολιθοδομής από την βόρεια όψη, από δυτικά ορίζεται από την νέα πτέρυγα κελιών και από νότια και ανατολικά δεν υπάρχουν συγκεκριμένα όρια. (βλ. Παράρτημα Μέρος-Α-Τοπογραφικά Σχέδια)

Ο περίβολος του ναού είναι πρόχειρα ασφαλτοστρωμένος και σε αρκετά καλή κατάσταση εκτός από τις περιοχές κοντά στα δέντρα, οι οποίες είναι ρηγματωμένες. Επίσης κοντά στο ναό από την δυτική άποψη υπάρχει διαμορφωμένο ένα καθιστικό πεζούλι μορφής 'Γ' και διαγώνια βορειοδυτικά σε απόσταση περίπου 10m υπάρχει μια πρόσφατη δεξαμενή από σκυρόδεμα.

Κοντά στο ναό δεσπόζουν δύο κυπαρίσσια ύψους περίπου 12m. Βρίσκονται στην βορειοανατολική άποψη του ναού, και όπως φαίνεται από την Εικόνα 3.34 σε αρκετά μικρή απόσταση από τα κατακόρυφα στοιχεία. (βλ. Παράρτημά Σχεδίων :Τοπογραφικά σχέδια). Επιπλέον πολύ κοντά στους τοίχους, παλιότερα είχαν αναπτυχθεί αρκετά τα δέντρα μιμόζα και συκιά. Έχουν γίνει πρόχειρες προσπάθειες στο παρελθόν να τις βγάλουν αλλά όχι επαρκείς για να αφαιρεθούν εξ' ολοκλήρου και οι ρίζες τους. Συνεπώς, έχουν ξανά αναπτυχθεί σε μικρό όμως βαθμό.



3. 33 Βορειοανατολική όψη στην οποία φαίνονται οι θέσεις των κυπαρισσιών.



Περισσότερες πληροφορίες για τα είδη δέντρων που έχουν φυτρώσει κοντά στον ναό:

- Κυπαρίσσι

Το κυπαρίσσι είναι γυμνόσπερμο, κωνοφόρο, αειθαλές φυτό και ανήκει στην οικογένεια των Κυπαρισσοειδών με 18 είδη που βρίσκονται στις περιοχές της Βορείου Αμερικής, στις χώρες της Μεσογείου και στην Δυτική Ασία. Το κυπαρίσσι μπορεί να έχει ύψος 15 έως 30 μέτρα.. Φυτεύεται σε διάφορα πάρκα, κατά μήκος των δρόμων, για τη δημιουργία αντιανεμικών φραγμάτων και σε αναδασώσεις.



3. 34. Ρίζα κυπαρισσιού στην βόρεια όψη

Τα φυτά ανάλογα με την μορφή της ρίζας του ταξινομούνται σε δύο ομάδες πασσαλώδη και θυσσανώδη. Η ρίζα του το κατατάσσει στην κατηγορία των πασσαλώδη ριζών όπως συμβαίνει και με τα περισσότερα δέντρα. Στην περίπτωση αυτή, η ρίζα του είναι προέκταση του κεντρικού του στελέχους και έχει την τάση να εκτείνεται αναλογικά περισσότερο σε βάθος απ' ότι στα πλάγια.

Οι ρίζες του κυπαρισσιού δεν φτάνουν σε μεγάλο βάθος, δεν είναι διεισδυτικές και ως εκ τούτου δεν προκαλούν πρόβλημα κοντά στον τοίχο. Γι' αυτό και συνήθως οι περισσότεροι τα φυτεύουν κοντά το ένα στο άλλο και κοντά σε τοιχία, δημιουργώντας φυσικούς ψηλούς φράχτες. Επιπλέον στο κυπαρίσσι αν το πότισμα του είναι σπάνιο διαμορφώνει το ριζικό του σύστημα έτσι ώστε να εκτείνεται σε βάθος ενώ ακόμη αυξάνει την αντοχή του σε περιόδους ξηρασίας.

Στην ανατολική πλευρά του μοναστηριού, το κυπαρίσσι έχει ύψος 12m, διάμετρο κορμού 60cm και απέχει απόσταση ~45cm από τοίχο του ναού. Στην βόρεια πλευρά έχει ύψος 11m, διάμετρο κορμού 40cm και απέχει απόσταση 25cm από τον τοίχο. Η περίπτωση του κυπαρισσιού στην βόρεια όψη έχει προκαλέσει μεγαλύτερες ρηγματώσεις στο έδαφος απ' ότι το κυπαρίσσι της ανατολικής πλευράς. Όπως προαναφέρθηκε οι ρίζες τους δεν είναι διεισδυτικές αλλά στην περίπτωση της Εικόνας 3.34 φαίνεται να έχουν αναπτυχθεί και στην επιφάνεια προμηνύοντας ενδεχομένως μελλοντικές διαταραχές στην συνάφεια της λιθοδομής του συνορευόντος τοίχου.

- Μιμόζα

Στην νοτιοδυτική άποψη του ναού έχει ανθίσει μία ρίζα από το φυτό μιμόζα. (Εικόνα 3.35)

Η μιμόζα είναι δένδρο αειθαλές με ύψος έως 6 m. Ανθίζει από Φεβρουάριο έως τις αρχές της Άνοιξης και το Φθινόπωρο με άνθη σφαιρικά κίτρινα . Είναι ευαίσθητο στο ψύχος και στους δυνατούς ανέμους γι' αυτό απαιτείται καλή στήριξη με πασσάλους κατά το φύτεμα. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της μιμόζα είναι ότι οι ρίζες του είναι αρκετά διεισδυτικές προκαλώντας προβλήματα στους πλησιέστερους τοίχους. Παράγει μεγάλη ποσότητα από σπόρους οι οποίοι παραμένουν βιώσιμοι για χρόνια. Τα δέντρα διακλαδίζουν παντού τις ρίζες τους και ακόμη και αν κοπούν, το ριζικό τους σύστημα μπορεί να αναπτυχθεί ξανά εύκολα, σχηματίζοντας καινούργιο βλαστάρι από το αρχικό δέντρο, και διαμορφώνοντας εν τέλει συστάδες δέντρων. Επιπλέον οι ρίζες του σε ένα πλήρη αναπτυγμένο δέντρο μπορεί να εκτείνονται από δύο έως και τρία μέτρα προκαλώντας προβλήματα σε οποιαδήποτε κατασκευή υπάρχει στο χώρο που το περιβάλλει. Ο καρπός του είναι και ο σπόρος του και εύκολα μεταφέρεται με το νερό ή τον αέρα σε παρακείμενα σημεία στην περιοχή.

Στην περίπτωση αυτή, η μιμόζα είναι στην γωνία που σχηματίζει στη νότια όψη, η κόγχη. Έχει μικρό ύψος, περίπου 25cm, διάμετρο 5,5cm και σε απόσταση από τα κατακόρυφα τοιχία περίπου 15cm. Δεν είναι μεγάλο ώστε να είναι απειλητικό αλλά εξαιτίας των διεισδυτικών ριζών του μπορεί μελλοντικά να προκαλέσει προβλήματα στα τοιχία του ναού. Μιμόζες είναι φυτρωμένες και σε άλλες



3. 35 Φυτό Μιμόζα

σημεία της αυλής και ενδεχομένως με το αέρα , σπόρος από τα ήδη αναπτυγμένα δέντρα να μεταφέρθηκε σε περιοχή πολύ κοντά στο ναό .

- Συκιά

Η συκιά (*Ficus carica domestica*) είναι ένα ανθεκτικό δέντρο της οικογένειας Moraceae. Είναι φυλλοβόλο με μέτριο ως μεγάλο ύψος. Ευδοκμεί σε θερμά κλίματα και καλλιεργείται σ' όλη την Μεσόγειο.

Ευδοκμεί σε όλους σχεδόν τους τύπους εδάφους. Έχει την δυνατότητα να απλώνει τις ρίζες της σε μεγάλες αποστάσεις για να εξασφαλίσει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία. Το άνθος είναι αρσενικό ή θηλυκό. Τα μικρά σύκα (θηλυκά) γονιμοποιούνται όταν από την μικρή τρύπα που υπάρχει στην κορυφή τους, μπει ένα μικρό έντομο, ο ψήνας, ο οποίος μεταφέρει γύρη από ένα αγριόσυκο (ερινεός) που έχει αρσενικά άνθη. Τα μικρά όμως σύκα (θηλυκά) μπορεί να αναπτυχθούν πολλές φορές και χωρίς γονιμοποίηση (παρθενοκαρπία).

Με τον παραπάνω τρόπο ενδεχομένως να φύτεψε στο σημείο αυτό η συκιά της Εικόνας 3.36 μιας που δεν υπάρχουν ολόγυρα στο ναό άλλες συκιές. Βρίσκεται στην γωνία που σχηματίζει η βόρεια και η δυτική όψη. Έχει ύψος 11cm, και διάμετρο κορμού (3-5cm). Όπως προαναφέρθηκε, οι ρίζες του τείνουν να απλώνονται αρκετά για να απορροφάνε τα θρεπτικά τους συστατικά. Επομένως απαιτείται άμεσα να ξεριζωθεί προς προστασία του καθολικού της μονής.



3. 36 Φυτό συκιάς

## 4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΣΤΟ SAP2000

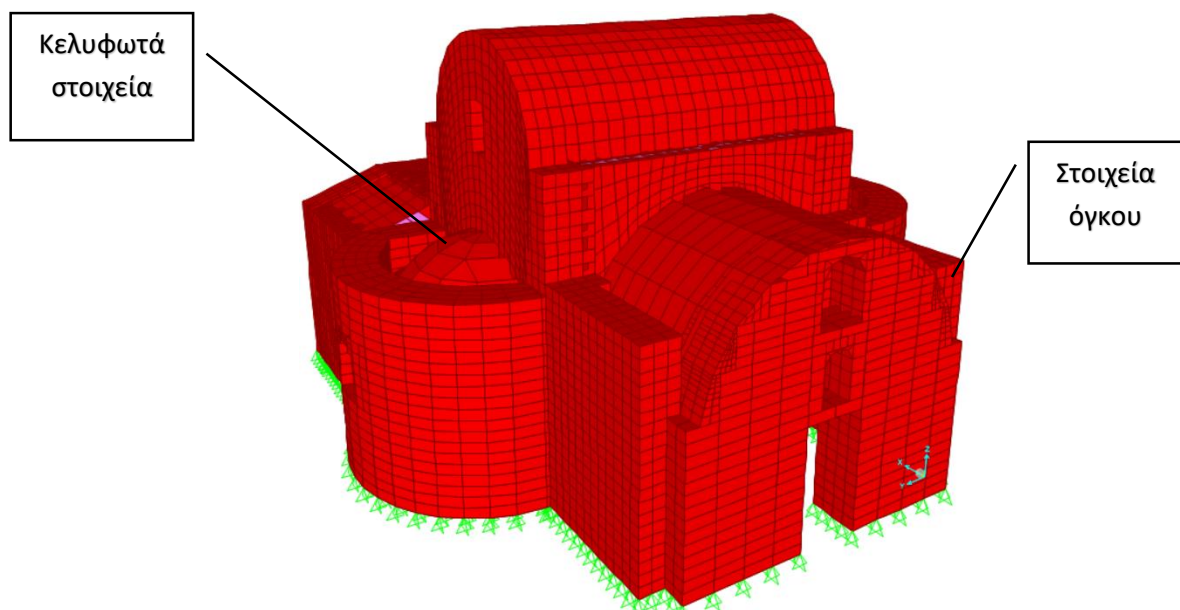
### 4.1 Εισαγωγή

Για την εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς του καθολικού ναού υπό την επιβολή σεισμικών φορτίων χρησιμοποιήθηκε το στατικό πρόγραμμα Sap 2000 version 20.0.0. Η ακρίβεια των παραδοχών και του σχεδιασμού του ναού στο πρόγραμμα παίζει καθοριστικό ρόλο στα αποτελέσματα που προκύπτουν. Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό του ναού.

#### Στοιχεία Προσομοίωσης

Για την προσομοίωση του ναού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method). Αν και η τοιχοποιία είναι ανισότροπο και ανομοιογενές, η προσομοίωση έγινε με ομοιογενή και ισότροπα στοιχεία όγκου και κελύφους. Η προσομοίωση του κτιρίου έγινε με τα εξής στοιχεία:

- Τα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία προσομοιώθηκαν με στοιχεία όγκου «Solid elements». Ορίστηκαν τέσσερις κατηγορίες διατομών με διαφορετικό πάχος για τις περιπτώσεις των κατακόρυφων στοιχείων. Στην α' κατασκευαστική φάση περιλαμβάνονται διατομές με πάχος 80cm και 70cm για την περίπτωση των εξωτερικών τοίχων και 55cm για την περίπτωση των δύο εσωτερικών τοίχων. Στην β' κατασκευαστική φάση περιλαμβάνονται διατομές με πάχος 70cm για τις διατομές των δύο κογχών και 55cm για τις διατομές των εξωτερικών κατακόρυφων τοίχων των παραβημάτων στην βόρεια και νότια όψη.
- Οι θόλοι προσομοιώθηκαν με κελυφωτά στοιχεία «Shell elements». Μετά από γεωμετρική ανάλυση στα σχέδια αποτύπωσης προέκυψε ότι το πάχος των θόλων αντιστοιχεί σε διάσταση κατά μέσο όρο 20cm εκτός της περίπτωσης της αψίδας του ιερού που αντιστοιχεί σε 15cm.

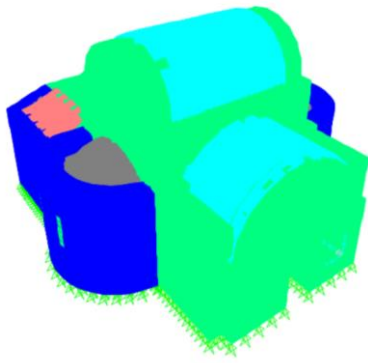


4. 1 Προσομοίωση του παλιού καθολικού της μονής Αγίας Τριάδας Πλαταιών στο SAP2000

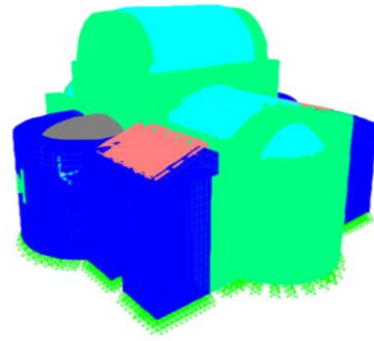
- Η πλάκα σκυροδέματος έχει προσομοιωθεί με κελυφωτά στοιχεία. Μετά από γεωμετρική διερεύνηση στα σχέδια αποτύπωσης προέκυψε συνολικά πάχος 15cm.
- Οι δύο μονολιθικοί κίνες προσομοιώθηκαν κατά παραδοχή με τις μηχανικές ιδιότητες που αντιστοιχούν σε μαρμάρινο στοιχείο και με χρήση στοιχείων όγκου που αντιπροσωπεύει συμπαγή διατομή διαμέτρου 36cm.
- Για την μόρφωση του φορέα, χρησιμοποιήθηκαν 2464 επιφανειακά στοιχεία και 27101 στοιχεία όγκου.

Η σχεδίαση του κτιρίου στο Sap2000 πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την μορφολογία, τις διαστάσεις, την γεωμετρία και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών που το απαρτίζουν.

Η προσομοίωση του κτιρίου έγινε με τα εξής στοιχεία:



(α)



(β)

4. 2 Μόρφωση του φορέα στο SAP-Παρουσίαση των διατομών του ναού α) βορειοδυτική άποψη, β) νοτιοανατολική άποψη

Πίνακας 4. 1: Υπόμνημα των υλικών για την Εικόνα 4.2

Χρώμα	Υλικό	Στοιχεία διατομής	Πάχος	Μέτρο ελαστικότητας (MPa)
Κίτρινο	Τοιχοποιία	α' κατασκευαστικής φάσης	55 έως 80cm	776
Μαύρο	Τοιχοποιία	β' κατασκευαστικής φάσης	55 έως 70cm	870
Κίτρινο	Τοιχοποιία	Οροφή τρούλου/νάρθηκα/ιερού/	20cm	4207
Μαύρο	Τοιχοποιία	Οροφή κογχών	20cm	4190
Κόκκινο	Πλάκα Σκυρόδ.	Οροφή παραβημάτων	15cm	27000

Ιδιότητες Υλικών Προσομοίωσης

Στον εξεταζόμενο φορέα συμμετέχουν τρία διαφορετικά υλικά τα οποία είτε υπολογίστηκαν με βάση τις εργαστηριακές δοκιμές είτε λήφθηκαν υπόψη κατά παραδοχή.

Πίνακας 4. 2:Μηχανικές ιδιότητες για τα υλικά της τοιχοποιίας

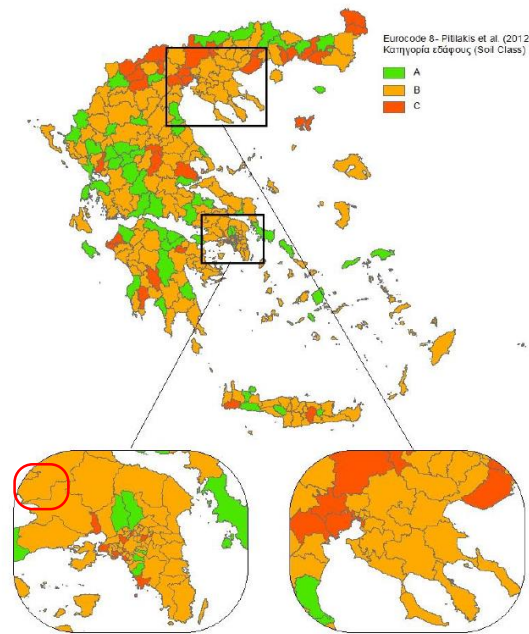
Υλικά	Ειδικό βάρος $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Λόγος Poisson ( $\nu$ )
Στοιχεία τρίστρωτης λιθοδομής α' φάσης	20	0,776	0,2
Στοιχεία τρίστρωτης λιθοδομής β' φάσης	20	0,870	0,2
Στοιχεία μονόστρωτης λιθοδομής α' φάσης	20	4,21	0,2
Στοιχεία μονόστρωτης λιθοδομής β' φάσης	20	4,19	0,2
Μονολιθικά στοιχεία	25	40	0,2
Στοιχεία σκυροδέματος	25	27	0,3

Παραδοχές που πραγματοποιήθηκαν

Η παλαιότερη καταγεγραμμένη ένδειξη ύπαρξης του ναού είναι του 17<sup>ο</sup> αιώνα χάρη στην εντοιχισμένη επιγραφή δεξιά της κεντρικής θύρας. Αυτό όμως δεν απορρίπτει την υπόθεση ο ναός να υπήρχε παλαιότερα και να έχει χτιστεί τουλάχιστον σε λείψανα παλαιότερου ναού. Τα γνωστά ιστορικά στοιχεία είναι ελάχιστα και αυτά από νεωτερικές παρατηρήσεις και προφορικές μαρτυρίες. Επομένως τα παραπάνω δεδομένα ως επί τον πλείστον είναι αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών και αποκαλύψεων του ίδιου του ναού χάρη στα χαρακτηριστικά των ρωγμών. Εξαιρούνται οι παρακάτω περιπτώσεις, οι οποίες λήφθηκαν με παραδοχές:

- Το υλικό των κίωνων. Τα χαρακτηριστικά των μονολιθικών στοιχείων στους δύο κίονες και στα κιονόκρανα αντιστοιχούν σε αυτά του μαρμάρου καθώς αποτελεί το συνηθέστερο υλικό το οποίο χρησιμοποιείται στις κατασκευές ως υποστυλώματα.
- Το πάχος των θόλων. Οι οροφές είναι επιχρισμένες και δεν είναι φανερή καμία διάσταση των λίθων που τοποθετήθηκαν.
- Τα γεμίσματα στο πάχος της οροφής. Το μέγεθος του χώρου μεταξύ της οροφής του θόλου και της επικάλυψης του σκυροδέματος κάτω από τα κεραμίδια δεν είναι σταθερό και δεν είναι γνωστό το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για γέμισμα. Ο χώρος λήφθηκε υπόψη σταθερό στο μήκος και πλάτος του θόλου και το φορτίο λήφθηκε σταθερό στην επιφάνεια του θόλου.
- Ο τύπος σκυροδέματος στις οροφές των παραβημάτων. Λήφθηκε υπόψη η περίπτωση της δυσμενέστερης περίπτωσης δηλαδή του τύπου σκυροδέματος C12/16 με την χαμηλότερη αντοχή.

- Στήριξη του φορέα. Δεν υπάρχουν στοιχεία για τα θεμέλια του ναού. Ούτε έχουν γίνει διερευνητικές τομές. Ως τρόπος στήριξης επιλέχθηκε η πάκτωση.
- Στα ανοίγματα τα οποία μεταβάλλουν τις διαστάσεις τους από έξω προς τα μέσα λήφθηκε υπόψη ως δυσμενέστερη περίπτωση η πλευρά με τις μεγαλύτερες διαστάσεις που ως επί των πλείστων είναι η εσωτερική τους πλευρά.
- Με βάση τον Ευρωκώδικα 8 και την μελέτη των Pitsikalis et al (2012) λήφθηκε υπόψη ότι το έδαφος θεμελίωσης είναι τύπου 'B' με αυξημένο τον συντελεστή εδάφους S κατά 0,01 από την προτεινόμενη του EC8.



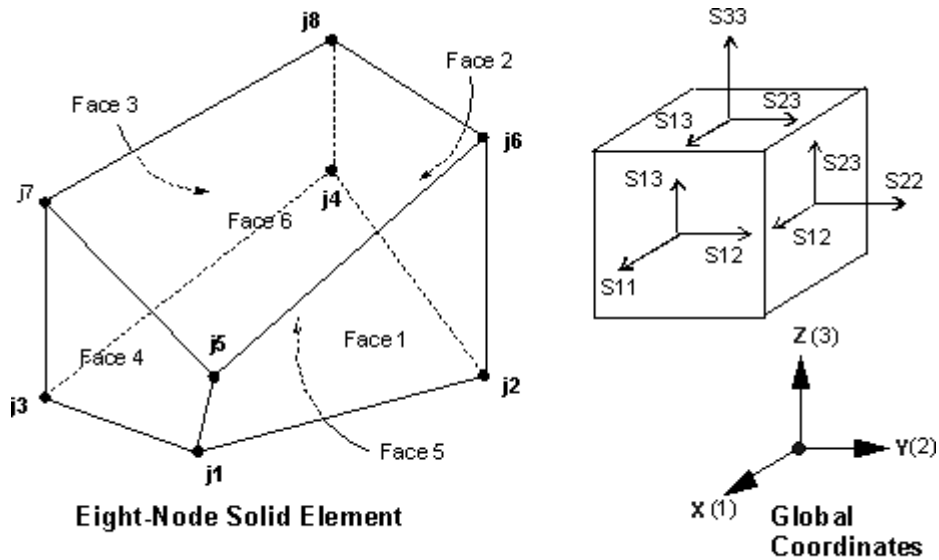
4. 3 Κατηγορίες εδαφών σύμφωνα με τον ΕΚ8 και τους Pitsikalis et al(2012)

Οι παραπάνω παραδοχές αποτελούν αφορμή για περαιτέρω έρευνα σε ορισμένα τμήματα του ναού ώστε να αποκαλυφθούν τα προαναφερόμενα ζητήματα που εκλείπουν είτε ως προς την γεωμετρία είτε ως προς το έδαφος είτε ως προς τα χαρακτηριστικά του υλικού που τα συνιστούν.

### Καθολικοί Άξονες

#### Καθολικοί άξονες (xyz)

Το καθολικό σύστημα αξόνων έχει καθοριστεί με αυτή την φορά ώστε το επίπεδο yz να περιλαμβάνει την μικρότερη πλευρά του φορέα, το επίπεδο xz να αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη πλευρά του ναού και το επίπεδο xy να συμπίπτει με την κάτοψη του φορέα. Όλα τα αποτελέσματα λήφθηκαν με την μέθοδο του 'Section Cut' στην οποία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με βάση τους καθολικούς άξονες, συγκεκριμένα ο αριθμός '1' αντιστοιχεί στην διεύθυνση x , ο αριθμός '2' αντιστοιχεί στην διεύθυνση y και ο αριθμός '3' αντιστοιχεί στην διεύθυνση z.



### Solid Element Stresses


4. 4 : Ονομασίες των κόμβων και των επιφανειών ενός στοιχείου όγκου στα πλαίσια του προγράμματος SAP2000 καθώς και οι ονομασίες των διευθύνσεων σε συνδυασμό με τα μεγέθη των τάσεων

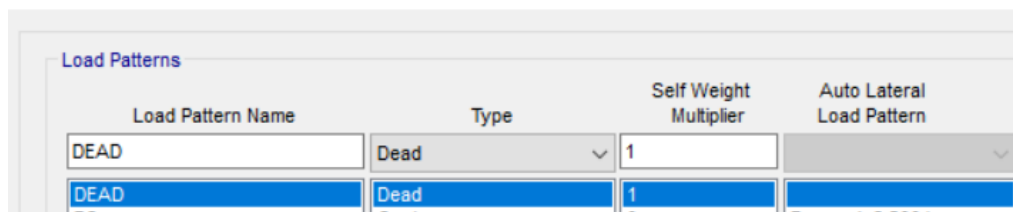
#### Φορτίσεις και συνδυασμοί φορτίσεων

Τα μόνιμα και τα κινητά φορτία ασκούνται ως κατακόρυφα επιφανειακά φορτία στους θόλους του ναού "Area loads -> Uniform(Shell)".

#### Μόνιμα Φορτία

- Ίδιο βάρος κατασκευής: Το βάρος της κατασκευής υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα συμπληρώνοντας το συντελεστή '1' στο κατάλληλο πεδίο του παράθυρου 'Define Load Pattern' (βλ. Εικόνα 4.5).

 Define Load Patterns



4. 5: Καθορισμός ίδιου βάρους ως φορτίου

- Φορτίο κεραμοσκεπής  
 Η στέγη είναι επικαλυμμένα με κεραμίδια βυζαντινά τύπου 'κολυμβητά'. Η στέγη με αυτά τα χαρακτηριστικά αντιστοιχεί σε φορτίο  $0,60\text{kN/m}^2$ .
- Φορτίο επικάλυψης σκυροδέματος  
 Στην δεκαετία 1960-1970 πραγματοποιήθηκε πλήρης ανακαίνιση στη κεραμοσκεπή του ναού αφού πρωτίστως μετά την αφαίρεση των κεραμιδιών επικαλύφθηκε πρώτα με άοπλο σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα έχει ειδικό βάρος  $25\text{kN/m}^3$ . Το πάχος κατά μέσο όρο ισοδυναμεί με 10cm. Επομένως το εν λόγω φορτίο αντιστοιχεί σε :  $25 \times 0.10 = 2.50\text{kN/m}^2$ .
- Φορτίο γεμίσματος  
 Το φορτίο γεμίσματος λήφθηκε υπόψη κατά παραδοχή  $0,4\text{kN/m}^3$ .



Κινητά φορτία

Ο ναός ανήκει στην κατηγορία C2 (EN1991-1-1, Πίνακας 6.1-Κατηγορίες χρήσης) στην οποία συμπεριλαμβάνονται χώροι που συναθροίζονται πολλά άτομα με σταθερά καθίσματα. Δεδομένου της κατηγορίας τα κινητά φορτία εκτιμώνται ως:

- Κινητό φορτίο για άβατη στέγη (q)  
Οι στέγες κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την προσβασιμότητα τους σύμφωνα με το (EN1991-1-1, Πίνακας 6.9-Κατηγοριοποίηση στεγών). Στην περίπτωση αυτή ο ναός ανήκει στην Κατηγορία 'H' καθώς η στέγη είναι μη-προσβάσιμη εκτός των περιπτώσεων συντήρησης και επισκευής.
- Χιόνι (s)  
Σύμφωνα με το (EN1991-1-1) ο υπολογισμός του φορτίου χιονιού εκτιμάται από τους παρακάτω υπολογισμούς:

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_{k,A}$$

$\mu_i$  : συντελεστής σχήματος του φορτίου χιονιού

$\mu_i = 0.8$  σε περιπτώσεις μονόκλινων στεγών από  $0^\circ < \alpha < 30^\circ$   
σε περιπτώσεις δίκλινων στεγών από  $0^\circ < \alpha < 30^\circ$

$C_e$  : συντελεστής εκθέσεως

$C_e = 1$  καθώς τα τοπογραφικά του χαρακτηριστικά θεωρούνται κανονικά δηλαδή ο ναός ανήκει σε περιοχή όπου δεν υπάρχει σημαντική μετακίνηση από τον άνεμο στις κατασκευές λόγω του φυσικού ανάγλυφου, των υψηλότερων κατασκευών ή των δέντρων.

$C_t$  : θερμικός συντελεστής

$C_t = 1$

$$s_{k,A} = s_{k,0} \left[ 1 + \left( \frac{A}{917} \right)^2 \right]$$

$s_{k,A}$  : Το χαρακτηριστικό φορτίο του χιονιού στο έδαφος της τοποθεσίας

$A$  : υψόμετρο της τοποθεσίας πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας

$A = 600\text{m}$

$s_{k,0}$  : είναι το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού που αντιστοιχεί στην ζώνη A δηλαδή στην στάθμη της θάλασσας

$s_{k,0} = 0.8$  αφού πρόκειται για Ζώνη B

$$s_{k,A} = s_{k,0} [1 + (A/917)^2] = 0.8 \times [1 + (600/917)^2] = 1.024 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k \qquad s = 0.8 \times 1 \times 1 \times 1.024 = 0.82 \text{ kN / m}^2$$

Συνδυασμοί φόρτισης

Η ανάλυση του κτιρίου έγινε για τους εξής συνδυασμούς φόρτισης, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8:

ΟΚΑ
1.35G +1.5q+1.5×0.5s
1.35G+1.5s+1.5×0.7q
Σεισμικός συνδυασμός
1×G+0.6×Q+E <sub>y</sub> +0.3×E <sub>x</sub>
1×G+0.6×Q+E <sub>y</sub> -0.3×E <sub>x</sub>
1×G+0.6×Q-E <sub>y</sub> +0.3×E <sub>x</sub>
1×G+0.6×Q-E <sub>y</sub> -0.3×E <sub>x</sub>
1×G+0.6×Q+0.3×E <sub>y</sub> +E <sub>x</sub>
1×G+0.6×Q+0.3×E <sub>y</sub> -E <sub>x</sub>
1×G+0.6×Q-0.3×E <sub>y</sub> +E <sub>x</sub>
1×G+0.6×Q-0.3×E <sub>y</sub> -E <sub>x</sub>

Όπου G->μόνιμα φορτία

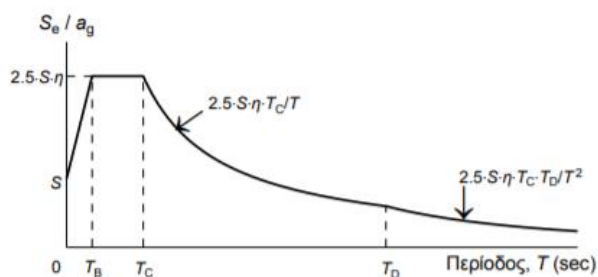
Q->κινητά φορτία

E<sub>x</sub>->σεισμικά φορτία που έχουν την διεύθυνση στον άξονα x

E<sub>y</sub>->σεισμικά φορτία που έχουν την διεύθυνση στον άξονα y

Σεισμική δράση (Ευρωκώδικας 8)

Ελαστικό φάσμα απόκρισης (S<sub>e</sub>=ελαστική φασματική επιτάχυνση)



Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2=0,24g

g=επιτάχυνση βαρύτητας

Κατηγορία σπουδαιότητας II , είναι μικρής επισκεψιμότητας , επομένως ανήκει στην κατηγορία C2

γ<sub>i</sub>=1

Κατηγορία εδάφους B οπότε T<sub>B</sub>=0,15, T<sub>C</sub>=0.50sec, T<sub>D</sub>=2.5sec, S=1.30 (λόγω θεωρίας του Pitilakis et al)

n: διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό απόσβεσης διαφορετικό από το 5%

$$n = \sqrt{7/(2 + \zeta)}, \text{ θεωρείται } \zeta=5\% \text{ οπότε } n=1$$

q: συντελεστής συμπεριφοράς και ισούται με '1' όπως και ορίζεται από το ΚΑΔΕΤ για άοπλη τοιχοποιία.

## 4.2 Μέθοδοι ανάλυσης

Εφαρμόστηκαν δύο μέθοδοι ανάλυσης στο μοντέλο της προσομοίωσης για την παραγωγή των απαραίτητων αποτελεσμάτων. Η ιδιομορφική ανάλυση φασματικής απόκρισης και η ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση.

Χάρη στην ιδιομορφική φασματική ανάλυση προκύπτουν οι θεμελιώδεις ιδιομορφές για την κάθε διεύθυνση του σεισμού και αντιστοίχως οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι. Οι τιμές των ιδιοπεριοδών χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της σεισμικής φόρτισης.

Στην ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση λαμβάνεται υπόψη μόνο η θεμελιώδης ιδιομορφή ταλάντωσης για κάθε διεύθυνση του σεισμικού φορτίου. Οι σεισμικές δυνάμεις έχουν την κατεύθυνση των κύριων διευθύνσεων του κτιρίου και δρουν σαν στατικά φορτία πάνω στην κατασκευή. Τα σεισμικά φορτία εφαρμόζονται σε όλο το ύψος της κατασκευής και όχι μονάχα στις στάθμες των ορόφων.

### Ιδιομορφική ανάλυση

Λαμβάνοντας υπόψη την μάζα της κατασκευής προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Η ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της μέγιστης απόκρισης ενός μεγέθους (μετακίνηση, τάση κ.λπ.). Η ανάλυση αυτή σύμφωνα με το ΚΑΔΕΤ λαμβάνει υπόψη την απόκριση όλων των ιδιομορφών ταλάντωσης που συμβάλλουν σημαντικά στην συνολική απόκριση. Αυτό συμβαίνει όταν μπορεί να αποδειχθεί οποιαδήποτε από τα ακόλουθα:

- 1) Το άθροισμα των δρώσων ιδιομορφικών μαζών για τις ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη είναι τουλάχιστον το 75% της συνολικής μάζας του φορέα.
- 2) Λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιομορφές με δρώσες ιδιομορφικές μάζες μεγαλύτερες από το 5% της συνολικής μάζας.

Στο χωρικό προσομοίωμα, οι παραπάνω συνθήκες πρέπει να ελέγχονται σε κάθε απαιτούμενη διεύθυνση.

Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η μέθοδος αυτή ως γραμμική που είναι, αδυνατεί να προβλέψει τις ανακατανομές της έντασης και γενικά τη μη-γραμμική συμπεριφορά που συνεπάγεται η ρηγμάτωση.

Μια προσθήκη στις δύο παραπάνω μεθόδους είναι η εισαγωγή στους υπολογισμούς του συντελεστή συμπεριφορά της κατασκευής ( $q$ ). Σύμφωνα με το ΕΑΚ 2000 ο συντελεστής συμπεριφοράς εκφράζει το λόγο της μέγιστης επιτάχυνσης που θα αναπτυσσόταν στην κατασκευή αν αυτή λειτουργούσε ελαστικά προς την μέγιστη επιτάχυνση που αναμένεται ότι τελικά θα αναπτύξει, η οποία θα είναι απομειωμένη λόγω βλαβών («πλαστικοποιήσεων»). Με άλλα λόγια αποτελεί ένας τρόπος που σκοπεύει να συμπυκνώσει την μετ-ελαστική συμπεριφορά του δομήματος και να εισάγεται ως υποκατάστατο των υπολογιστικά απαιτητικών και επίπονων μη γραμμικών αναλύσεων. Ωστόσο στη περίπτωση αυτή δεν προβλέπεται αυτή μετ-ελαστική συμπεριφορά και θεωρείται ότι  $q=1$  γεγονός που ορίζεται από τον αντισεισμικός κανονισμός για την περίπτωση άοπλης τοιχοποιίας και της απουσίας διαζωμάτων

### Ελαστική (Ισοδύναμη) στατική ανάλυση

Σύμφωνα με το ΚΑΔΕΤ η ανάλυση αυτή γίνεται για ισοδύναμα στατικά φορτία για τον υπολογισμό των δυνάμεων και των παραμορφώσεων. Μπορούν να θεωρηθούν δύο εναλλακτικές κατανομές των οριζόντιων σεισμικών φορτίων καθ' ύψος του δομήματος ( $\alpha$ ) η κατανομή με την ανεστραμμένη τριγωνική μορφή και ( $\beta$ ) ομοιόμορφη κατανομή οριζόντιων σεισμικών ωθήσεων στο ύψος του κτιρίου. Στην περίπτωση του ναού θα πραγματοποιηθεί η δεύτερη περίπτωση.

### 4.3 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης

Αξιοσημείωτο είναι ότι λόγω των ελλειπών στοιχείων στην σύνδεση μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων πραγματοποιήθηκαν δύο μοντέλα για το ναό με σκοπό την διερεύνηση των αποτελεσμάτων που ταυτίζονται περισσότερο. Στην πρώτη περίπτωση οι δύο φάσεις συνδέονται συνεχώς κατά το μήκος της ένωσης τους ενώ στην δεύτερη περίπτωση δεν συνδέονται, διατηρώντας αρμό μεταξύ των δύο φάσεων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και των δύο μοντέλων ξεχωριστά:

1<sup>η</sup> περίπτωση: Μοντέλο με αλληλοεμπλοκή των δύο φάσεων

Πίνακας 4. 3 : Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης-βασικές ιδιομορφές

TABLE: Modal Participating Mass Ratios											
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RZ	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0,096297	0,05443	0,57497	0,000007571	0,05443	0,57497	0,000007571	0,00758	0,00758
MODAL	Mode	2	0,094822	0,59779	0,05033	0,00169	0,65222	0,62529	0,00169	0,00122	0,00881
MODAL	Mode	3	0,069935	0,00114	0,00015	0,00048	0,65336	0,62544	0,00217	0,11555	0,12436
MODAL	Mode	4	0,06489	0,00301	0,00012	0,0119	0,65637	0,62556	0,01407	0,00034	0,1247
MODAL	Mode	5	0,059796	0,0373	0,00427	0,09429	0,69367	0,62983	0,10837	0,03521	0,15991
MODAL	Mode	6	0,058397	0,0017	0,00881	0,00415	0,69538	0,63864	0,11252	0,29551	0,45542
MODAL	Mode	7	0,053049	0,01404	0,0005	0,01549	0,70942	0,63915	0,12801	0,03691	0,49232
MODAL	Mode	8	0,052283	0,00259	0,05102	0,00515	0,712	0,69016	0,13316	0,06479	0,55711
MODAL	Mode	9	0,048157	0,00071	0,01489	0,14713	0,71271	0,70506	0,28029	0,00406	0,56117
MODAL	Mode	10	0,047731	0,00026	0,00554	0,01089	0,71298	0,7106	0,29117	0,00012	0,56129
MODAL	Mode	11	0,043466	0,00002698	0,05449	0,01462	0,713	0,76509	0,3058	0,02218	0,58347
MODAL	Mode	12	0,042192	0,00481	0,01684	0,00523	0,71781	0,78193	0,31102	0,10903	0,69249

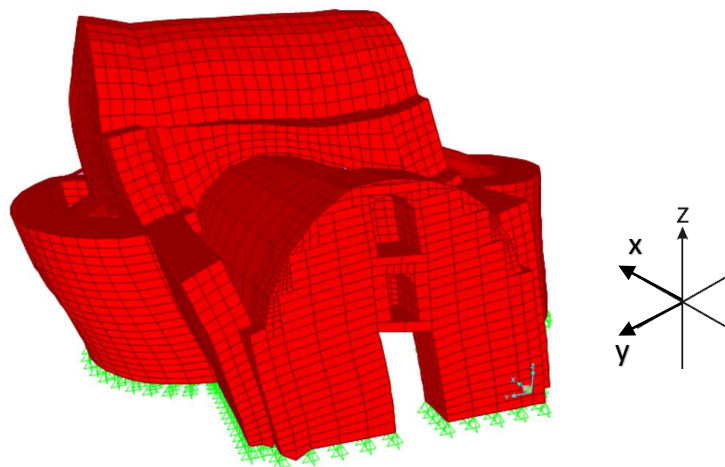
Με βάση τον παραπάνω πίνακα οι δύο βασικότερες ιδιομορφές είναι:

-για την διεύθυνση y, η 1<sup>η</sup> ιδιομορφή με ιδιοπερίοδο  $T_y=0.096\text{sec}$

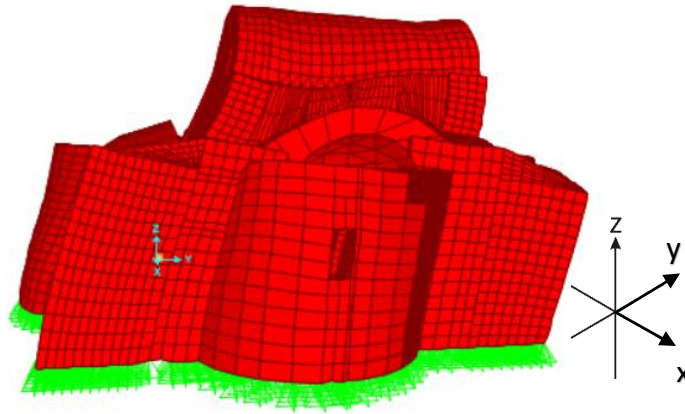
&

-για την διεύθυνση x, η 2<sup>η</sup> ιδιομορφή με ιδιοπερίοδο  $T_x= 0.095\text{sec}$

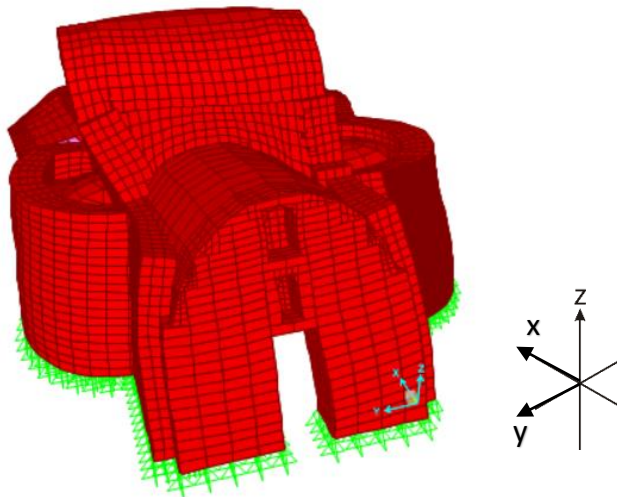
Επακολούθως παρουσιάζονται οι παραμορφώσεις του κτιρίου για την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή



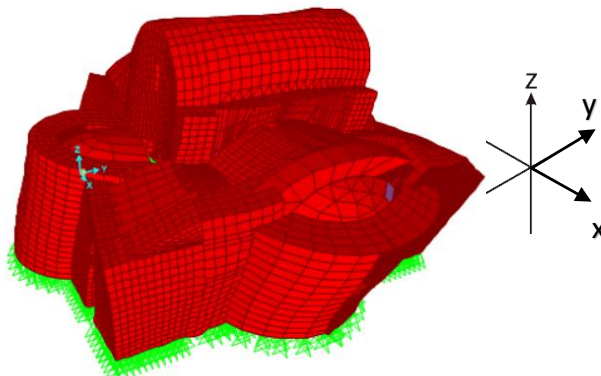
4. 6. Παραμορφώσεις λόγω της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής στην βορειοδυτική όψη- Sc .Fact.20



4. 7 Παραμορφώσεις λόγω της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής στην βορειοανατολική πλευρά Sc .Fact.20



4. 8 Παραμορφώσεις λόγω της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής στην βορειοδυτική πλευρά Sc .Fact.20



4. 9 Παραμορφώσεις λόγω της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής στην νοτιοανατολική πλευρά Sc .Fact.20

2<sup>η</sup> περίπτωση: Μοντέλο με αρμό μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων

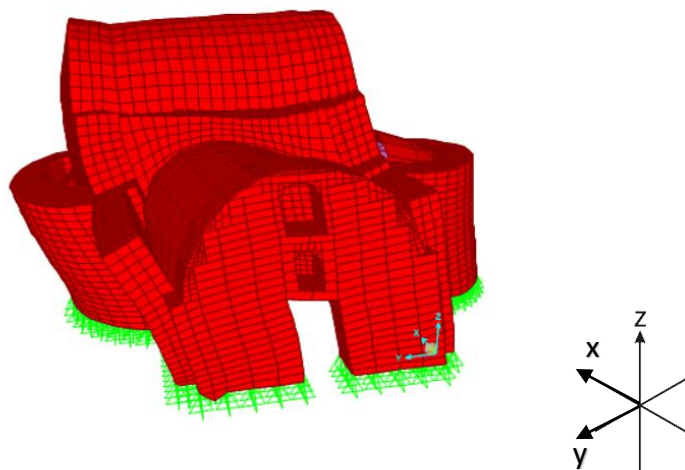
Πίνακας 4. 4. Πίνακας ιδιοπεριόδων που αντιστοιχούν στις 12 ιδιομορφές και τα αντίστοιχα ποσοστά μάζας

TABLE: Modal Participating Mass Ratios											
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RZ	SumRZ
Text	Text	Unitless	sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0,104544	0,0023	0,61626	0,00026	0,0023	0,61626	0,00026	0,0019	0,0019
MODAL	Mode	2	0,09928	0,63221	0,00201	0,00207	0,6345	0,61827	0,00233	5,511E-05	0,00196
MODAL	Mode	3	0,087777	0,00056	0,00011	5,47E-06	0,63506	0,61839	0,00233	0,00477	0,00673
MODAL	Mode	4	0,073838	0,00016	0,00022	0,00055	0,63522	0,61861	0,00288	0,14944	0,15617
MODAL	Mode	5	0,067344	0,00171	0,00123	0,01309	0,63694	0,61984	0,01597	0,00405	0,16021
MODAL	Mode	6	0,063242	0,01744	0,00455	0,01813	0,65438	0,62439	0,0341	0,21394	0,37415
MODAL	Mode	7	0,061771	0,02984	9,6E-05	0,05104	0,68422	0,62448	0,08514	0,0742	0,44836
MODAL	Mode	8	0,055535	0,01072	1,8E-05	0,02208	0,69494	0,6245	0,10722	0,00533	0,45369
MODAL	Mode	9	0,053742	0,00031	0,08347	0,0057	0,69525	0,70797	0,11292	0,06667	0,52036
MODAL	Mode	10	0,050063	0,00202	0,05024	0,00513	0,69726	0,75822	0,11805	0,03585	0,55621
MODAL	Mode	11	0,049421	0,00069	0,00569	0,14921	0,69795	0,76391	0,26726	0,0001	0,55631
MODAL	Mode	12	0,048234	1,2E-06	0,01797	0,03175	0,69796	0,78187	0,29902	0,10683	0,66314

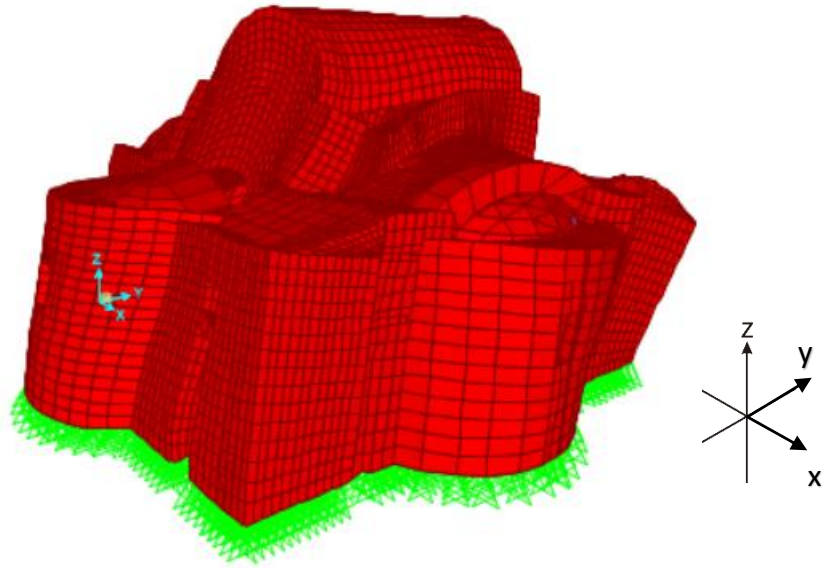
Με βάση τον παραπάνω πίνακα οι δύο βασικότερες ιδιομορφές είναι:

- για την διεύθυνση y, η 1<sup>η</sup> ιδιομορφή με ιδιοπερίοδο  $T_y=0.104\text{sec}$
- &
- για την διεύθυνση x, η 2<sup>η</sup> ιδιομορφή με ιδιοπερίοδο  $T_x= 0.099\text{sec}$

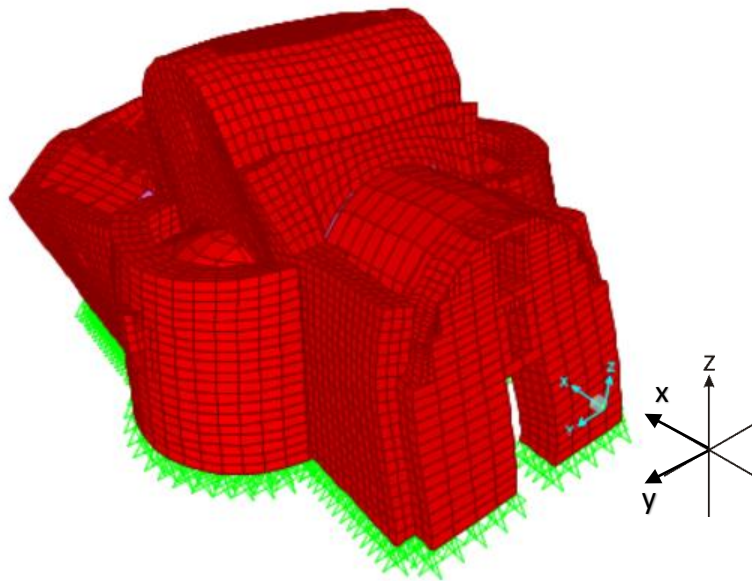
Επακολούθως παρουσιάζονται οι παραμορφώσεις του κτιρίου για την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή



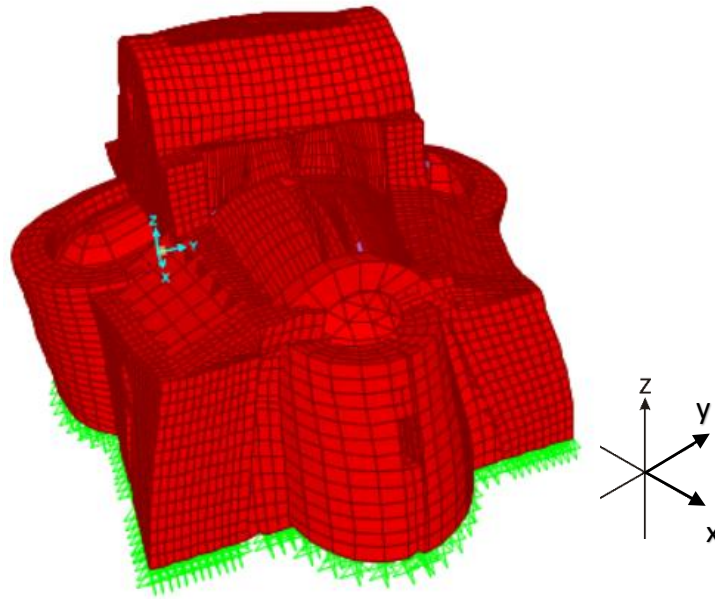
4. 10: Παραμορφώσεις λόγω της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής στην βορειοδυτική άποψη(Sc. Fact. 20)



4. 11: Παραμορφώσεις λόγω της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής στην νότιοανατολική άποψη (Sc. Fact. 20)



4. 12: Παραμορφώσεις λόγω της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής στην βορειοδυτική (Sc. Fact. 20)



4. 13: Παραμορφώσεις λόγω της 2<sup>ης</sup> ιδιόμορφής στην νοτιοανατολική άποψη (Sc. Fact. 20)



## 4.4 Σύγκριση των κύριων εφελκυστικών τάσεων με τις υφιστάμενες ρωγμές

Για κάθε όψη του ναού από εξωτερική και εσωτερική άποψη παρουσιάζεται η κατανομή των κυρίων τάσεων για διαφορετικούς συνδυασμούς φόρτισης και με εύρος τιμών [0,200kPa]. Για κάθε όψη επιλέχθηκε να παρουσιαστεί η κατανομή των κυρίων τάσεων από δύο έως τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς φόρτισης. Είναι ωστόσο πολύ πιθανόν να μην υπάρχουν αστοχίες σε περιοχές με αυξημένες τάσεις, αφού άλλωστε η υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής δεν σημαίνει κατ' ανάγκη και αστοχία της τοιχοποιίας. Σε γενικές γραμμές η ανάλυση είναι πιο συντηρητική σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση. Οι περισσότερες ρωγμές που υπάρχουν στον ναό εντοπίζονται από το πρόγραμμα. Για κάθε όψη των φερόντων τοίχων (εσωτερικά και εξωτερικά του ναού) γίνεται σύγκριση της παθολογίας του ναού με τις κύριες εφελκυστικές τάσεις.

Λόγω όμως της αβεβαιότητας που υπάρχει ως προς τα ιστορικά στοιχεία εξετάστηκαν δύο μοντέλα που διαφέρουν ως προς το χαρακτηριστικό σύνδεσης των δύο κατασκευαστικών φάσεων. Στο πρώτο μοντέλο έχει ρυθμιστεί η κατάλληλη αλληλοεμπλοκή μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων ενώ στο δεύτερο μοντέλο επιτρέπεται η ανεξαρτησία μεταξύ των δύο φάσεων.

Υπενθυμίζουμε:

ΟΚΑ:

1,35G+1.5q +1.5×0.5s

1.35G+1.5×0.7q+1.5×0.5s

Συνδυασμοί με επιρροή σεισμού:

Earth1:G+0.6×q+Ey+0.3×Ex

Earth2:G+0.6×q+Ey-0.3×Ex

Earth3:G+0.6×q-Ey+0.3×Ex

Earth4:G+0.6×q-Ey-0.3×Ex










Earth5:G+0.6×q+0.3×Ey+Ex

Earth6:G+0.6×q+0.3×Ey-Ex

Earth7:G+0.6×q-0.3×Ey+Ex

Earth8:G+0.6×q-0.3×Ey-Ex

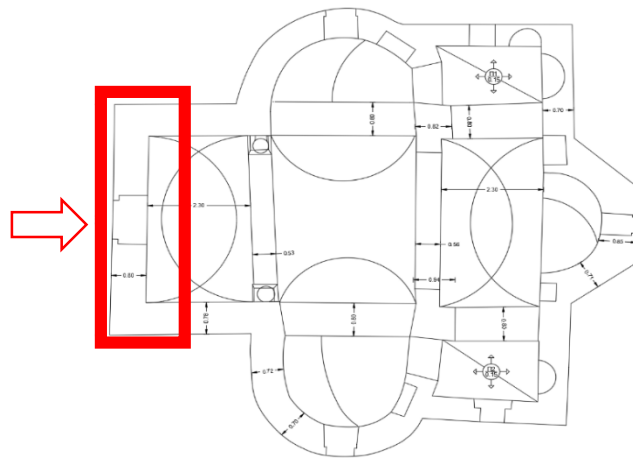
Συνδυασμοί με τα αντίστοιχα χρώματα

Earth 1 (Ey1)	
Earth 2 (Ey2)	
Earth 3 (Ey3)	
Earth 4 (Ey4)	
Earth 5 (Ex1)	
Earth 6 (Ex2)	
Earth 7 (Ex3)	
Earth 8 (Ex4)	
Ταύτιση με περ/ρους από 1 συνδυασμό(>1)	

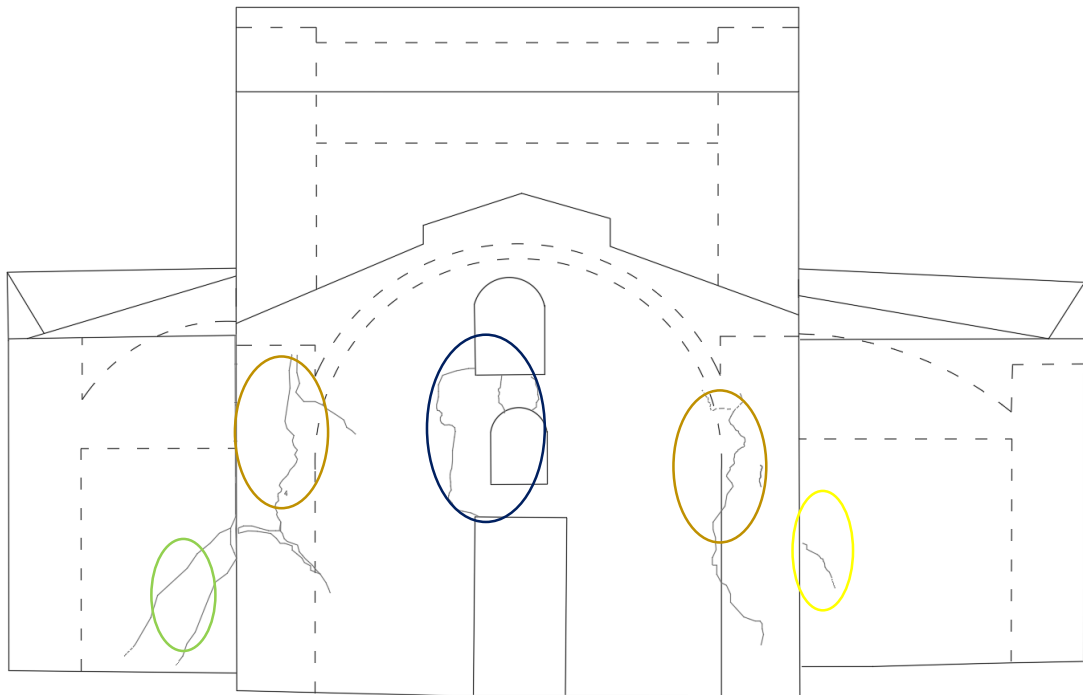
Στο παραπάνω πίνακα αναφέρονται τα χρώματα με τα οποία χάριν ευκολίας θα απεικονίζουν τον συνδυασμό από τον οποίο προέρχονται πάνω στο σχέδιο παθολογίας της κάθε όψης.

- Δυτική Όψη

Στην δυτική όψη περιλαμβάνονται λοξές και κατακόρυφες ρωγμές. Πιο αναλυτικότερα αυτή που ξεχωρίζει σε εύρος, βάθος και μήκος είναι αριστερά της δυτικής όψης (Ρωγμή: Δ1 βλ.Σχ.Παθ.Δ.2). Ωστόσο επειδή σε αυτή την ρωγμή συμπεριλαμβάνονται και άλλοι παράγοντες που το προκάλεσαν όπως η χρήση αλάξευτων λίθων, η κακή αλληλοεμπλοκή ή και ενδεχομένως να αποτελεί λείψανο παλαιότερου ναού, δεν αναμένεται να φανεί σε κάποιο από τους συνδυασμούς φόρτισης. Επιπλέον υπάρχουν οι δύο κατακόρυφες ρωγμές μεγάλου μήκους αλλά μικρού εύρους στην δυτική όψη οι οποίες γεωμετρικά βρίσκονται στην προέκταση των εγκάρσιων, ως προς την δυτική όψη, τοίχων που ανήκουν στην βόρεια και νότια όψη. Ακόμη κατακόρυφες και λοξές μικρορωγμές διασχίζουν τα υπέρθυρα της δυτικής όψης και τέλος λοξές ρωγμές έχουν σημειωθεί στις κόγχες του ναού με κλίση όπως φαίνεται στο Σχ. Παθ. Δ.2. Παρακάτω παρουσιάζεται η κατανομή των κυρίων τάσεων για τους συνδυασμούς Eγ1(κίτρινο), Eγ4 (πράσινο) και Eχ3(καφέ).

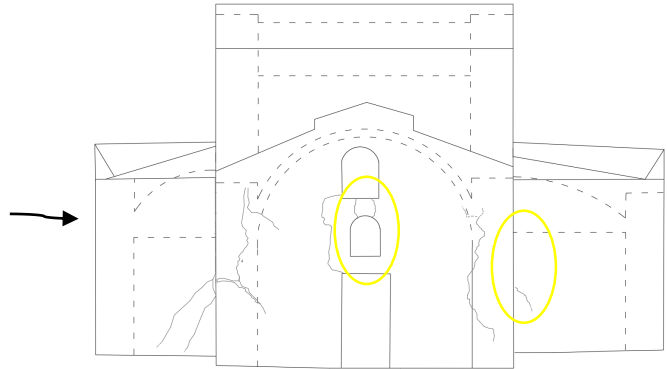
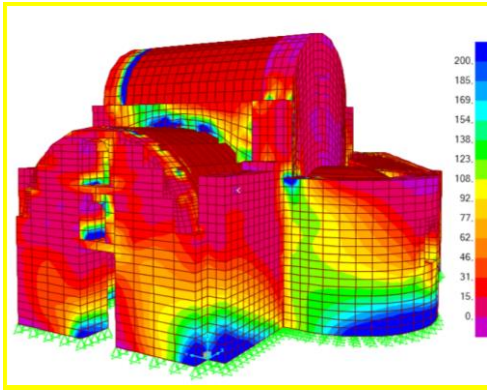


4. 14 Επισήμανση της εξεταζόμενης όψης- δυτική όψη

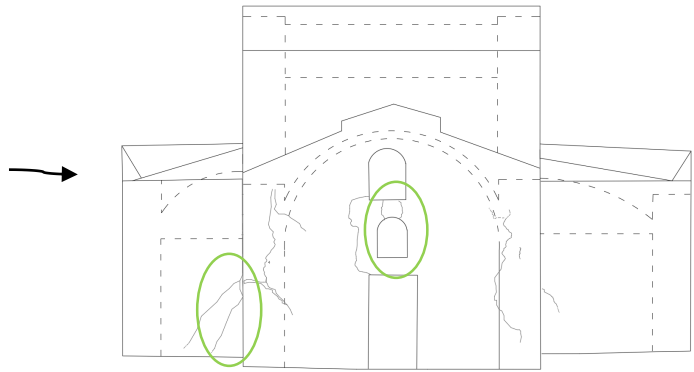
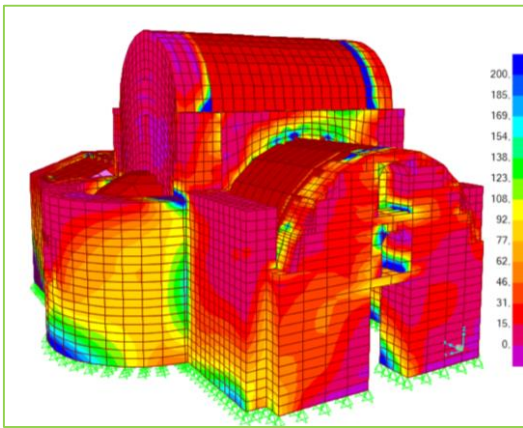


4. 15. Σχέδιο Παθολογίας Δυτική όψη (βλ.Αναλυτικότερα Σχ.Δ.2) με σημειωμένες τις περιοχές που δείχνουν να ταυτίζονται με την ροή των μεγίστων τάσεων

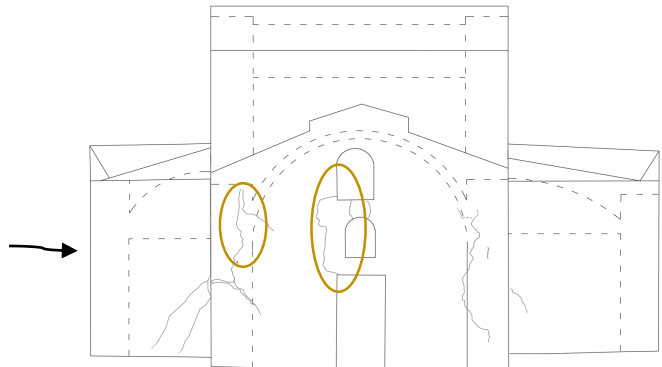
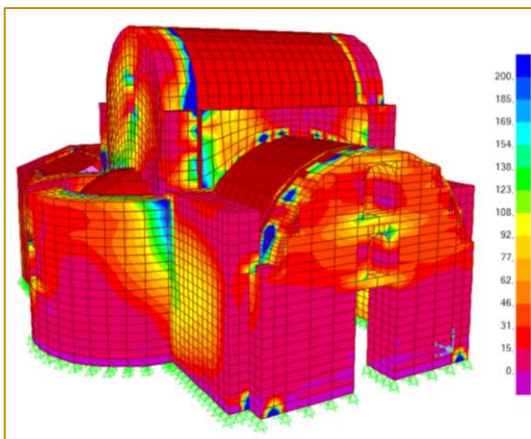
1<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με ορθή αλληλοεμπλοκή



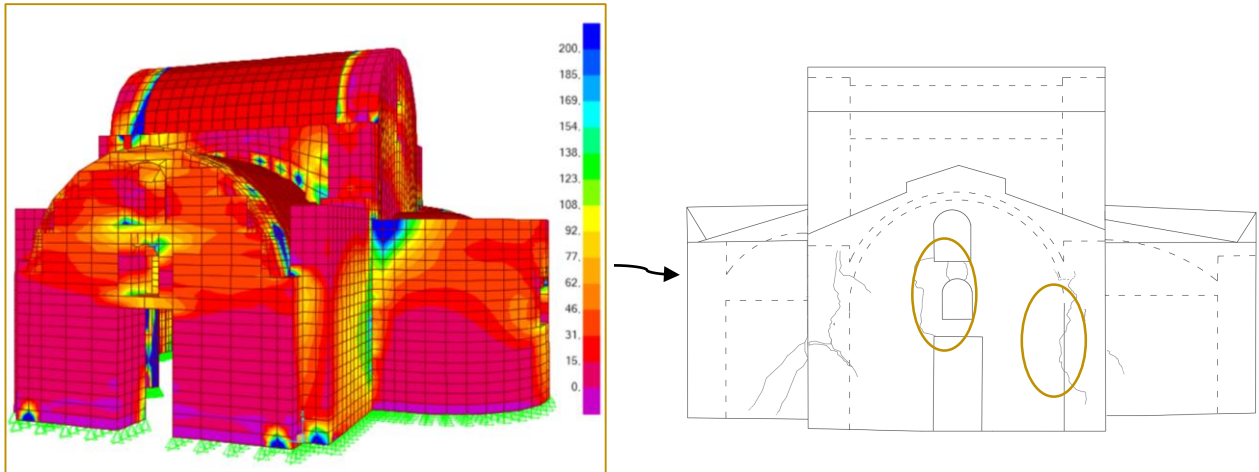
4.15 a Κατανομή των κυρίων τάσεων στην δυτική όψη με βάση τον συνδυασμό Eγ1



4.15 b Κατανομή των κυρίων τάσεων στην δυτική όψη με βάση τον συνδυασμό Eγ4

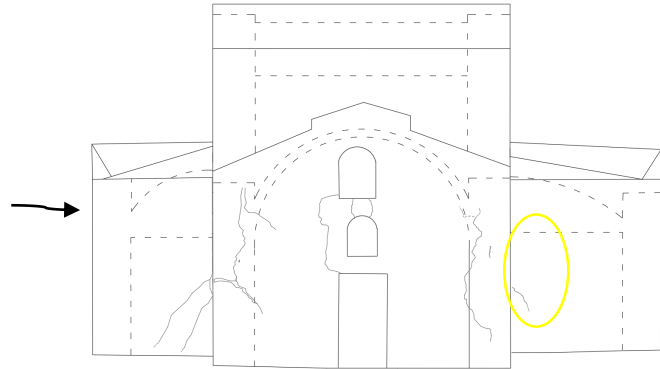
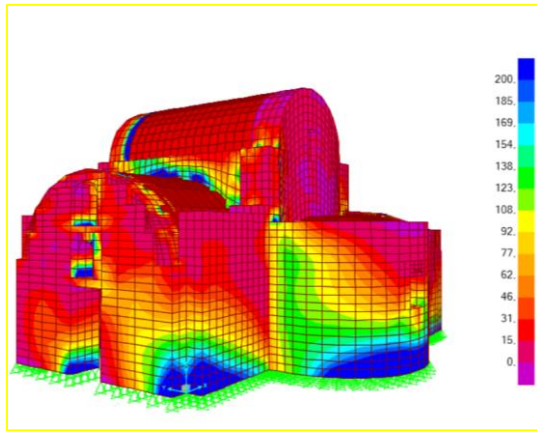


4.15 c Κατανομή των κυρίων τάσεων στην βορειοδυτική όψη με βάση τον συνδυασμό Eα3

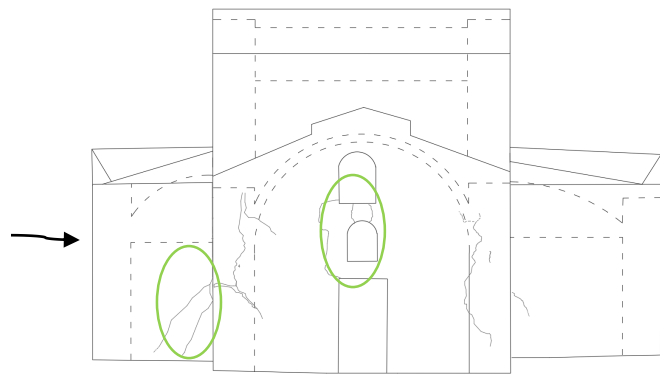
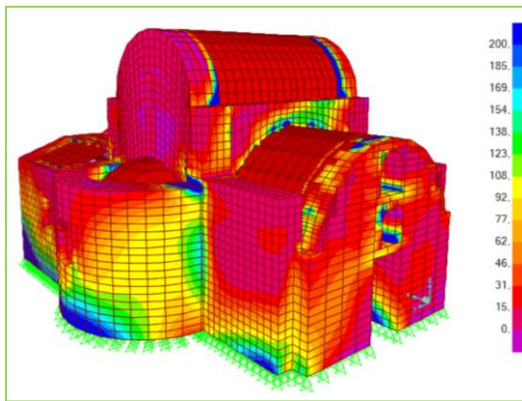


4.15 d Κατανομή των κυρίων τάσεων στην νοτιοδυτική όψη με βάση τον συνδυασμό Ex3

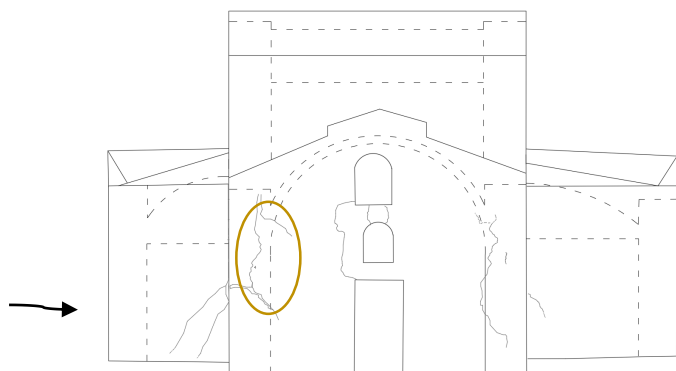
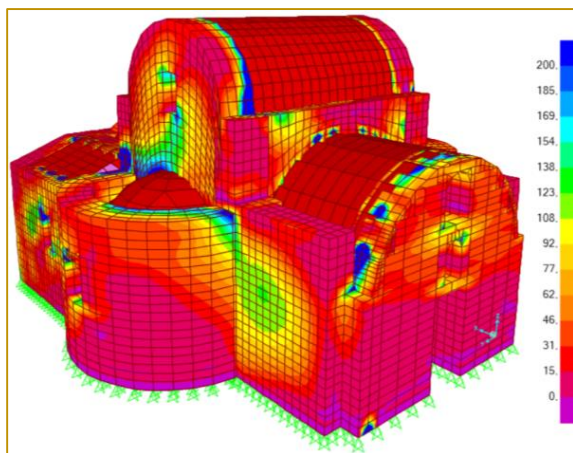
2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό αρμό



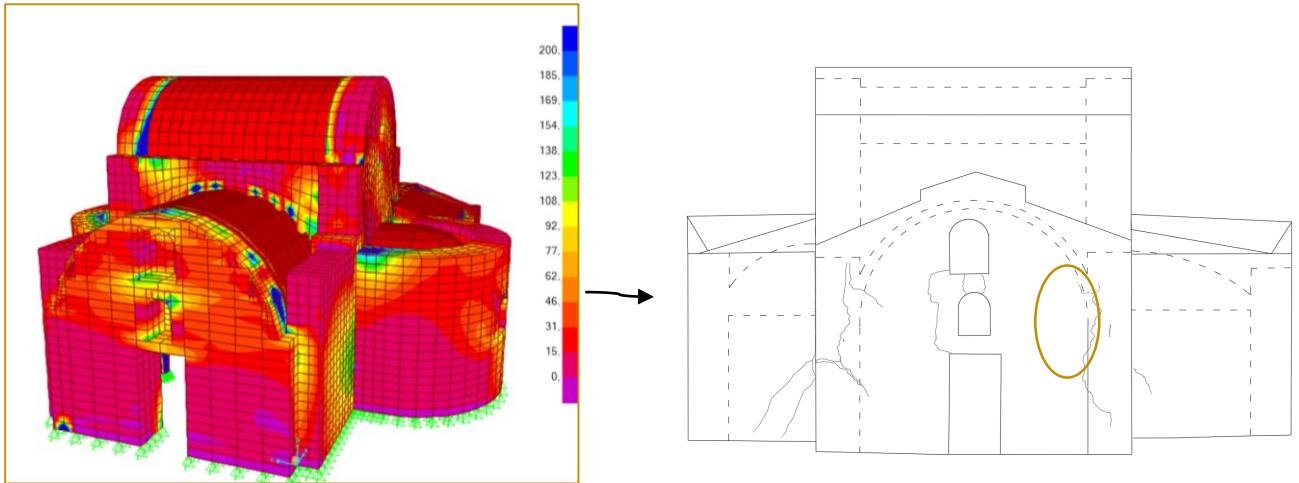
4.15 e Κατανομή των κυρίων τάσεων στην δυτική όψη με βάση τον συνδυασμό Eγ1



4.15 f Κατανομή των κυρίων τάσεων στην δυτική όψη με βάση τον συνδυασμό Eγ4



4.15 g Κατανομή των κυρίων τάσεων στην βορειοδυτική όψη με βάση τον συνδυασμό Eα3

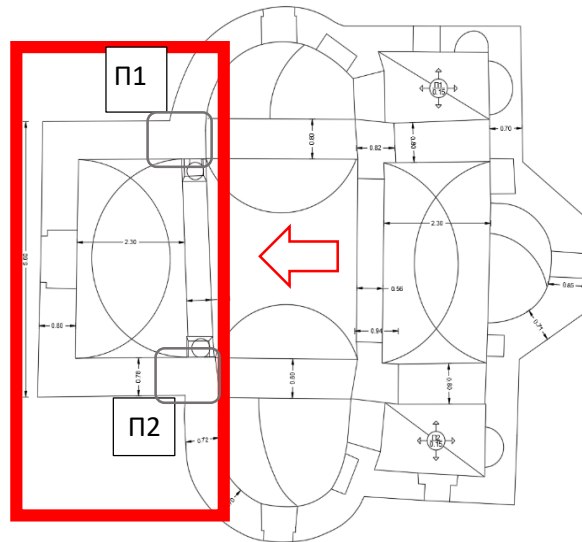


4.15 η Κατανομή των κυρίων τάσεων στην νοτιοδυτική όψη με βάση τον συνδυασμό Ex3

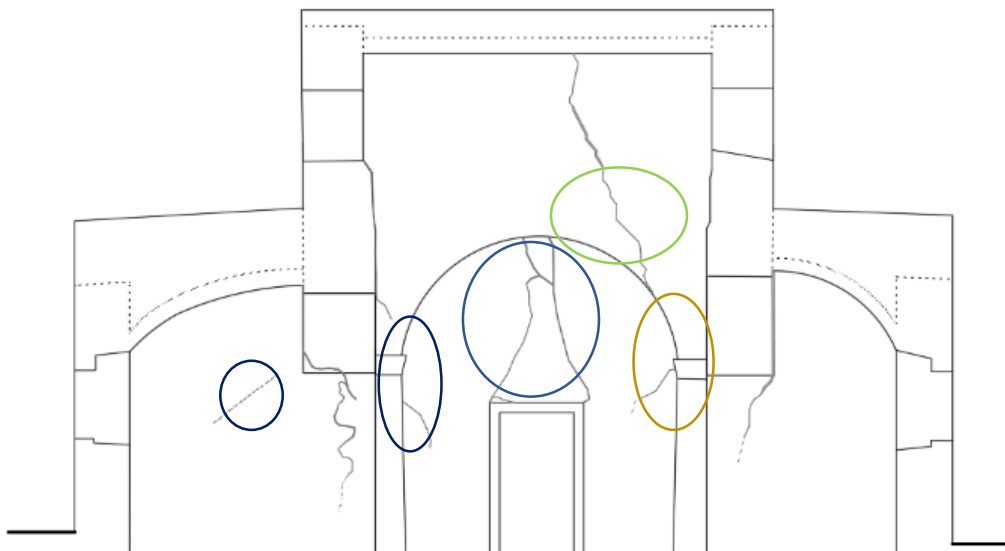
Παρατηρήσεις-Σχόλια: Από τις παραπάνω εικόνες διακρίνεται ότι η ταύτιση των ρωγμών είναι η ίδια και στα δύο μοντέλα αλλά στο δεύτερο μοντέλο που υπάρχει αρμός μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων εκδηλώνονται με μεγαλύτερη ένταση. Συγκεκριμένη αναφορά χρειάζεται να γίνει για τον σεισμικό συνδυασμό Ex3 καθώς υποδεικνύει μία ένταση στην σύνδεση της δυτικής όψης με τα εγκάρσια ως προς αυτήν κατακόρυφα στοιχεία ξεκινώντας από πάνω και μειώνοντας το εύρος επιρροής της προς τα κάτω

- Δυτική Όψη Εσωτερικά του ναού

Από την εσωτερική άποψη της δυτικής όψης εξετάζονται οι αναλύσεις από τους συνδυασμούς Eγ1(κίτρινο), Eγ3(κόκκινο), και Eκ3(καφέ). Εσωτερικά οι ρωγμές είναι περισσότερες και εκτείνονται σε μεγάλο μήκος. Αρκετά κρίσιμα είναι του μικρού εύρους άνοιγμα περιμετρικά της δυτικής όψης, συγκεκριμένα στο σύνορο του κατακόρυφου τοίχου με την οροφή. Λοξές ρωγμές διάτμησης παρατηρούνται σε τριγωνικό σχήμα στην επιφάνεια του κατακόρυφου τοίχου και στις περιοχές των κογχών που προβάλλονται στην τομή ΔΔ'. Κατακόρυφες ρωγμές παρατηρούνται και στους πεσσούς που σημειώνονται στην παρακάτω κάτοψη.



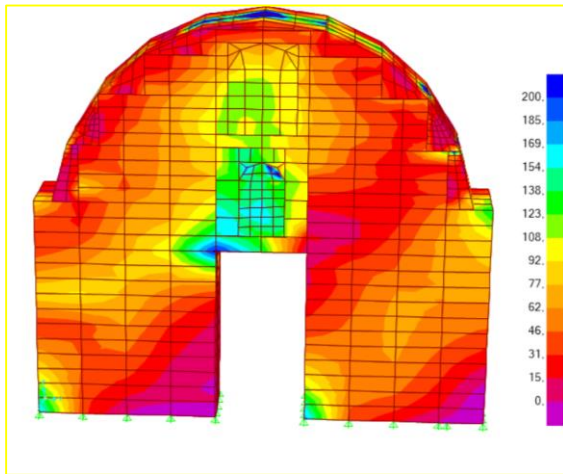
4. 16 Επισήμανση της εξεταζόμενης όψης-εσωτερική δυτική όψη



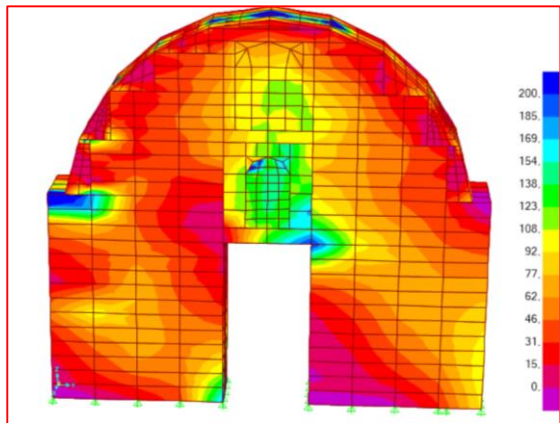
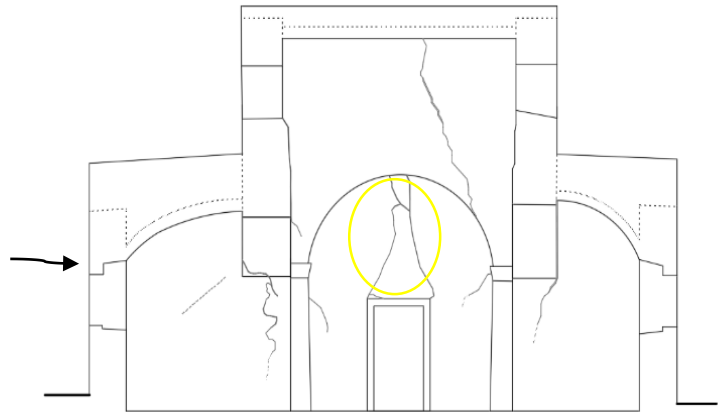
4. 17 Σχέδιο Παθολογίας Δυτική όψη (βλ.Αναλυτικότερα Σχ.Δ3) με σημειωμένες τις περιοχές που δείχνουν να ταυτίζονται με την ροή των μεγίστων τάσεων.



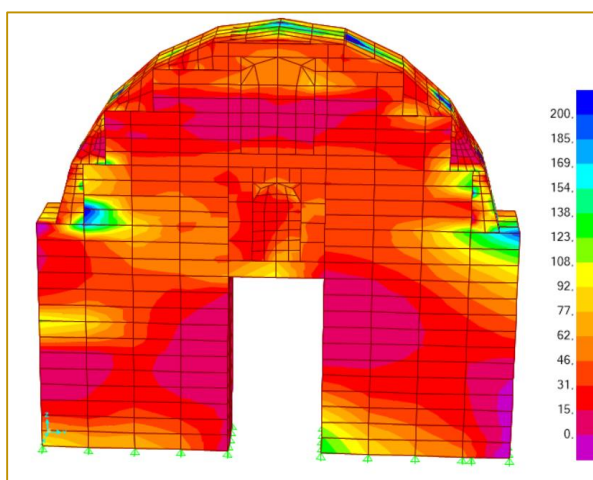
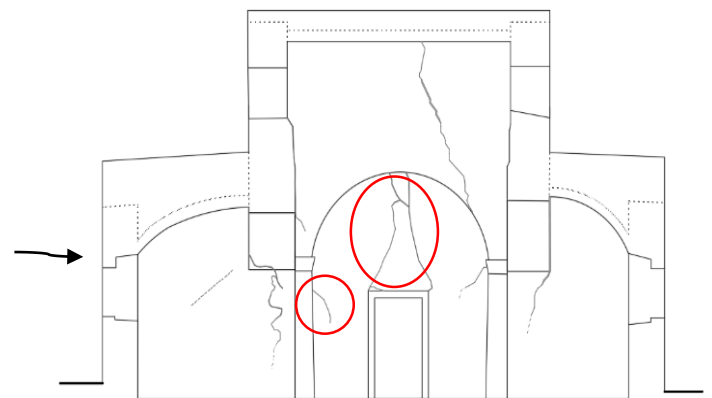
1<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με  
ορθή αλληλοεμπλοκή



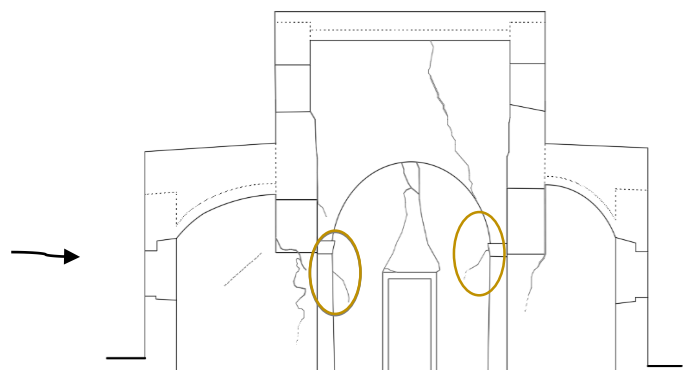
4.17 a Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ1



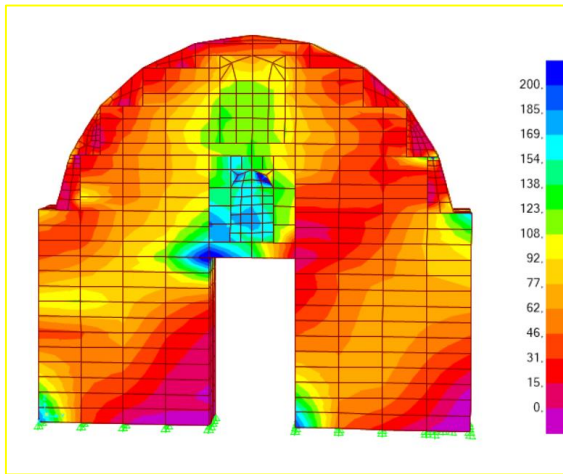
4.17 b Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ3



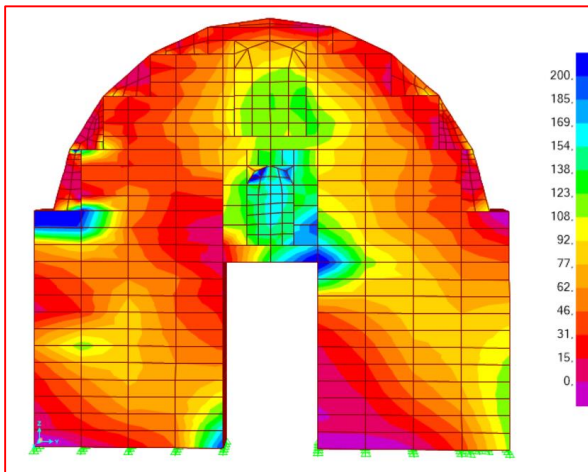
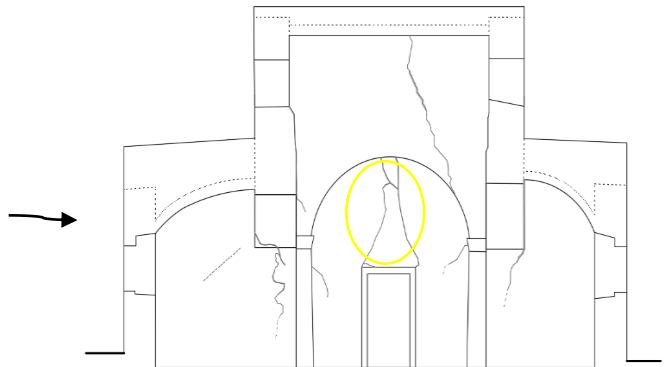
4.17 c Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eε3



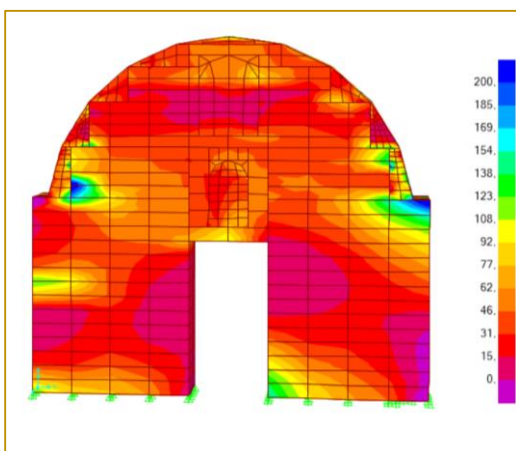
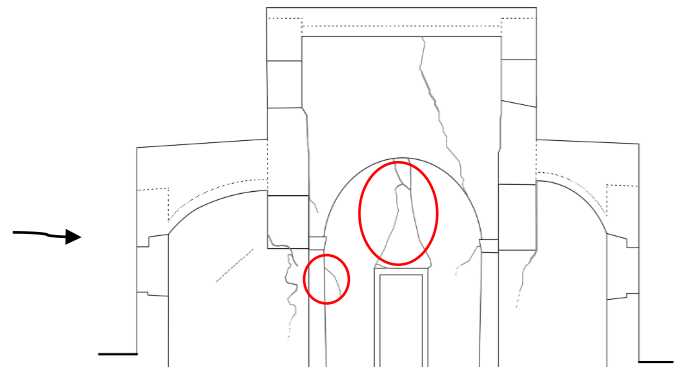
2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό αρμό



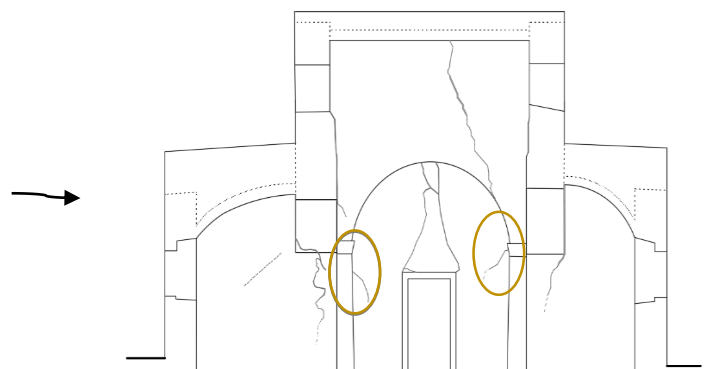
4.17 d Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ1



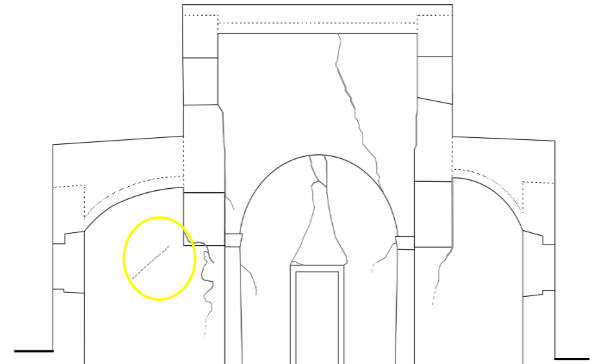
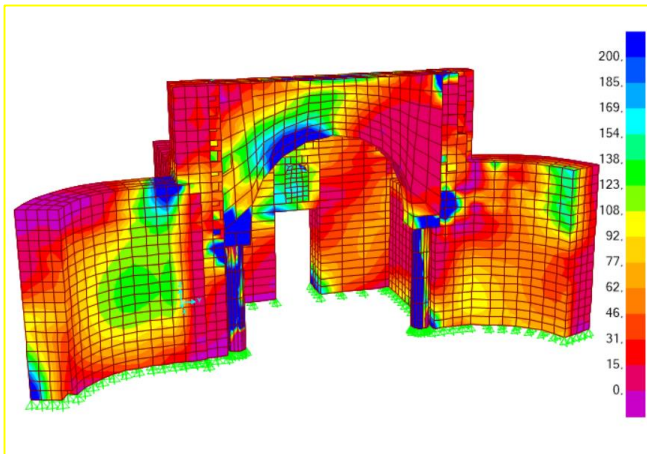
4.17 e Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ3



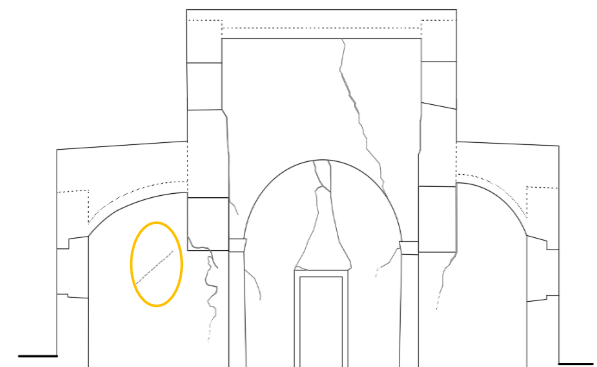
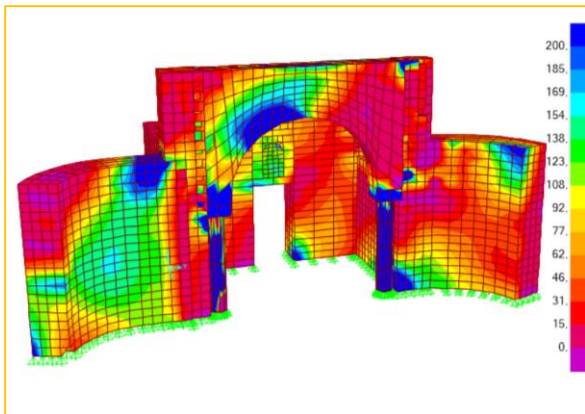
4.17 f Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eχ3



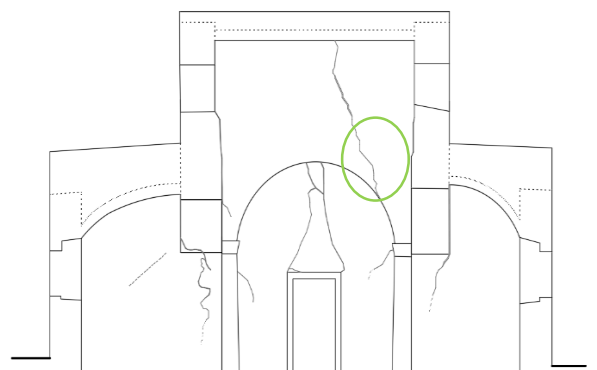
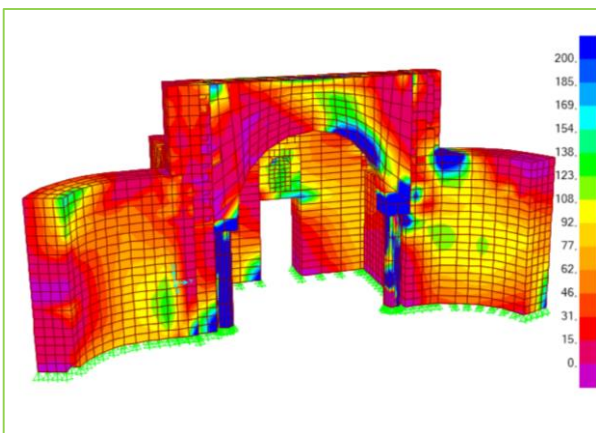
1ο μοντέλο προσομοίωσης με ορθή αλληλοεμπλοκή



4.17 g Κατανομή κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ1

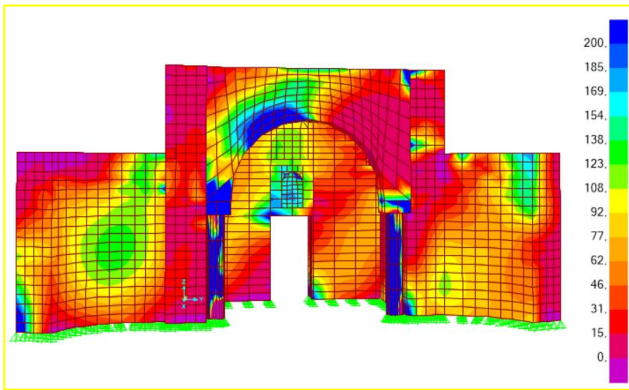


4.17 h Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ2

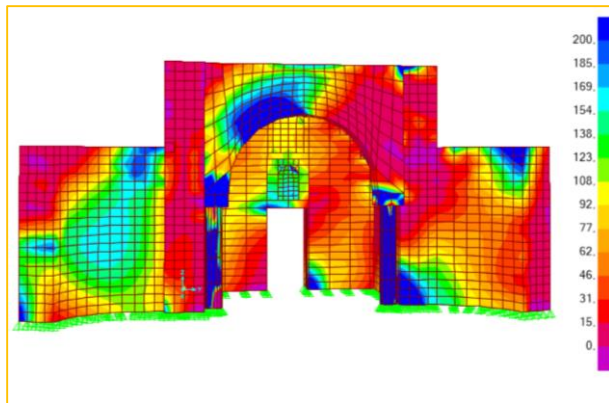
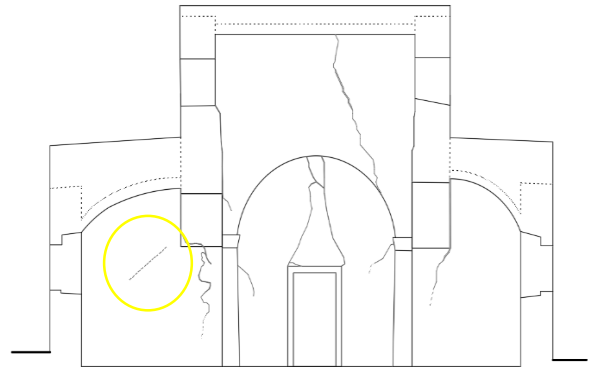


4.17 i Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ4

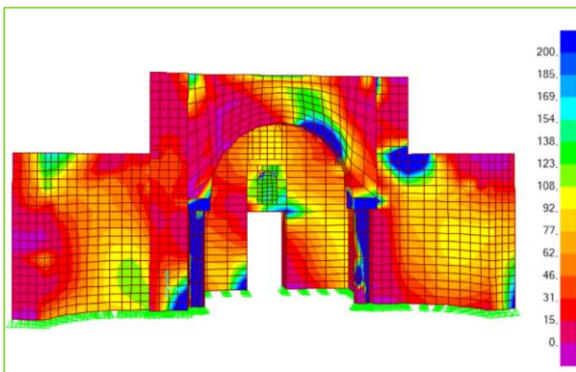
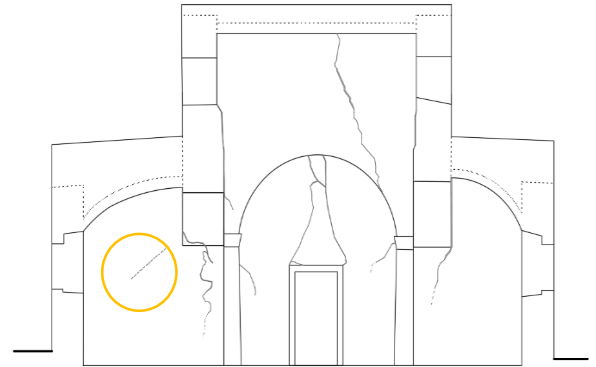
2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό αρμό



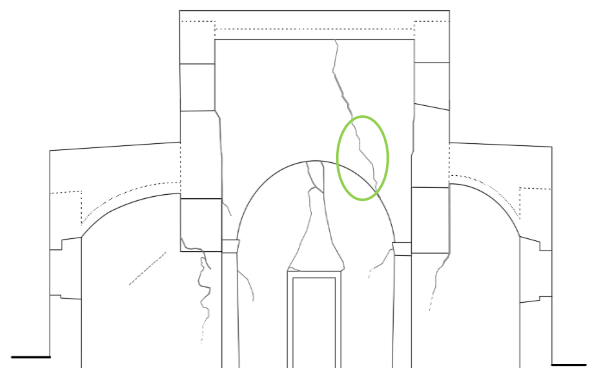
4.17 j Κατανομή κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ1



4.17 κ Κατανομή κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ2



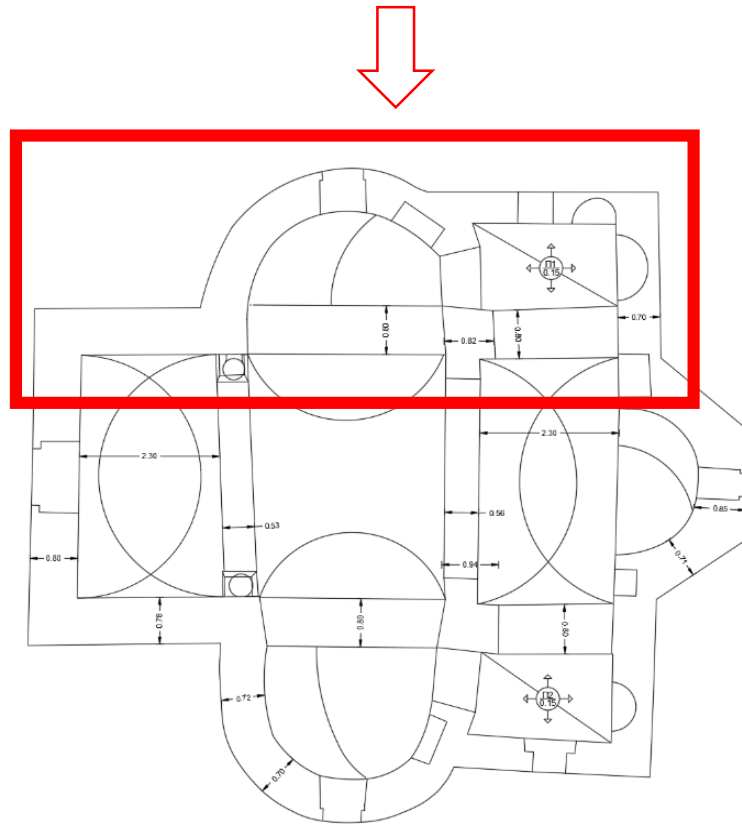
4.17 ι Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ4



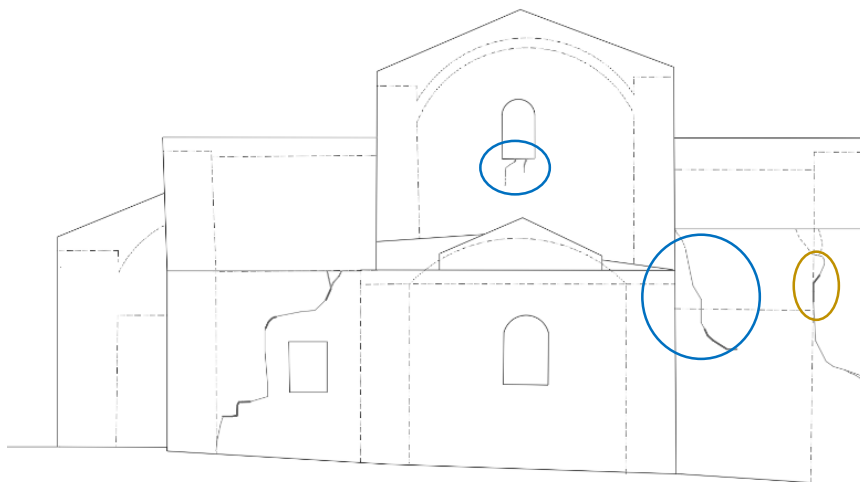
Παρατηρήσεις-Σχόλια: Παρομοίως και εσωτερικά της δυτικής όψης οι εντάσεις στο 1<sup>ο</sup> και στο 2<sup>ο</sup> μοντέλο είναι στις ίδιες περιοχές αλλά εκτείνονται σε μεγαλύτερο εύρος. Δεν εμφανίζονται όμως όλες οι ρωγμές. Η ρωγμή Δ2 που κινείται περιμετρικά των λιθοσωμάτων σύμφωνα με το Σχ. Παθολογίας Δ.3 ενδεχομένως να σημαίνει αποκόλληση των δύο παρειών επομένως δεν μπορεί να φανερώσει ένταση λόγω αυτής της βλάβης κατά το πάχος της λιθοδομής στο μοντέλο προσομοίωσης όταν αυτό αποτελείται από ομογενή ισότροπα στοιχεία όγκου. Επίσης δεν ενδείκνυται χαρακτηριστικά η ρωγμή Δ14 Σχ.Παθ. Δ.3 καθώς φαίνεται εν τέλει να αποτελεί απόρροια του αρμού μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων άρα δεν μπορεί να φανεί σαν βλάβη από το μοντέλο.

- ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ

Η βόρεια όψη παρουσιάζει κυρίως λοξές ρωγμές στα υπέρθυρα και στις ποδιές, μία λοξή ρωγμή στην περιοχή του νάρθηκα και μία κατακόρυφη ρωγμή στην προέκταση της οποίας συμπίπτει με το κατακόρυφο εγκάρσιο τοίχο της δυτικής όψης. Οι συνδυασμοί που θα εξεταστούν είναι Ex1 (γαλάζιο) και Ex3(καφέ).

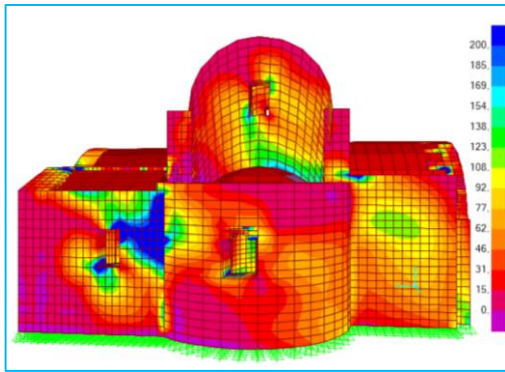


4. 18 Επίσημανση της εξεταζόμενης όψης-εσωτερική δυτική όψη

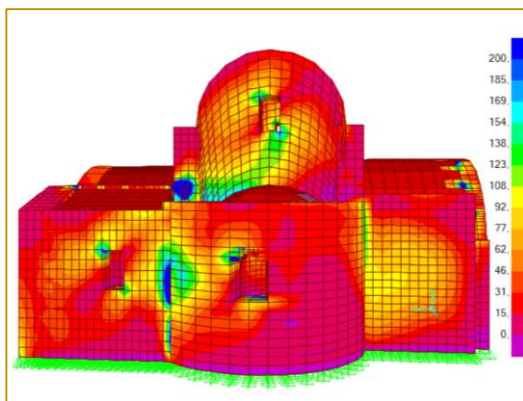
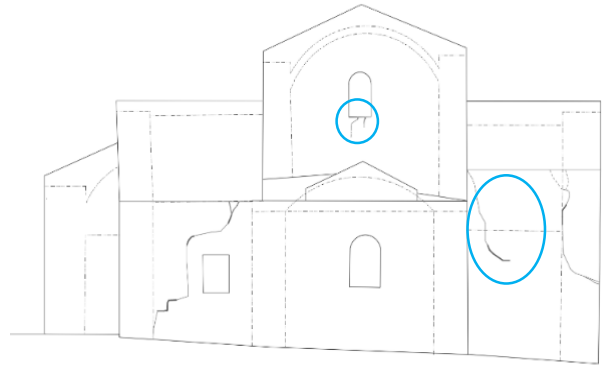


4. 19 Σχέδιο Παθολογίας Βόρεια όψη (βλ.Αναλυτικότερα Σχ.Δ.5) με σημειωμένες τις περιοχές που ακολουθούν την ροή των μεγίστων τάσεων

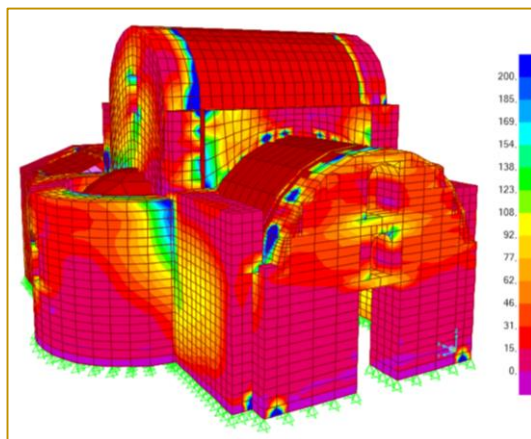
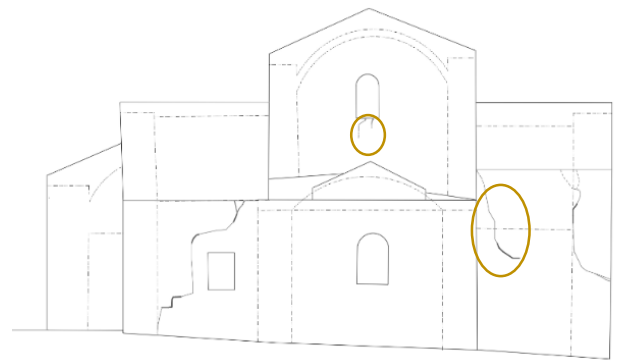
1<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με ορθή αλληλοεμπλοκή



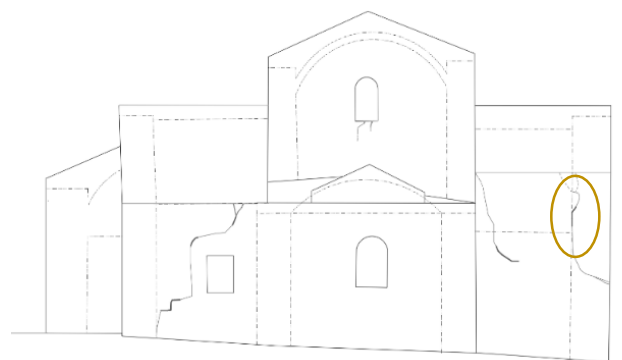
4.19 a Κατανομή κυρίων τάσεων με βάση την Ex1



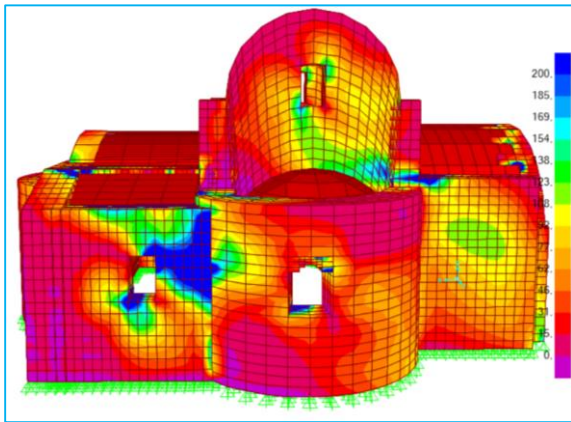
4.19 b Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex3



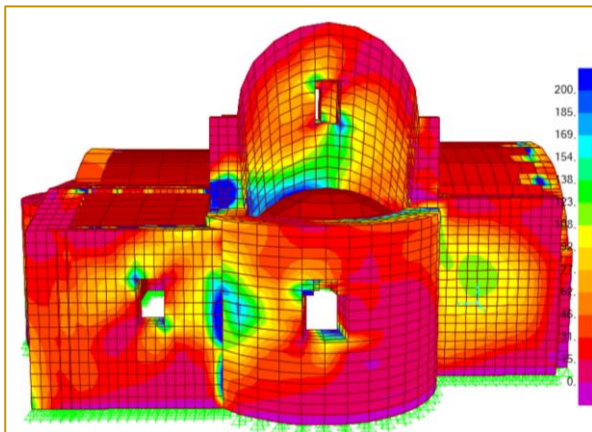
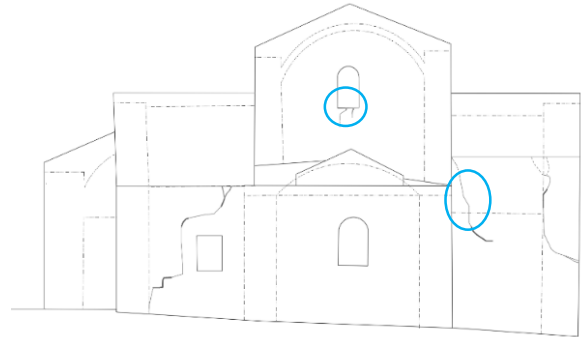
4.19 c Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex3-β  
βορειοδυτική άποψη



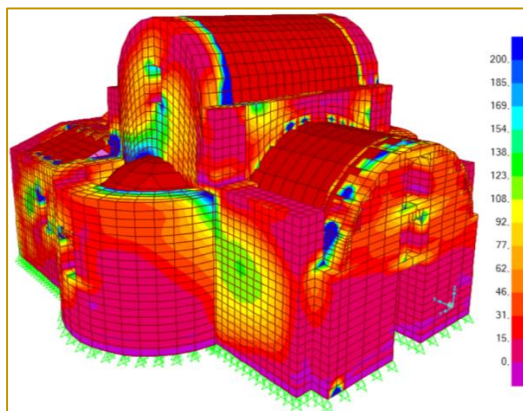
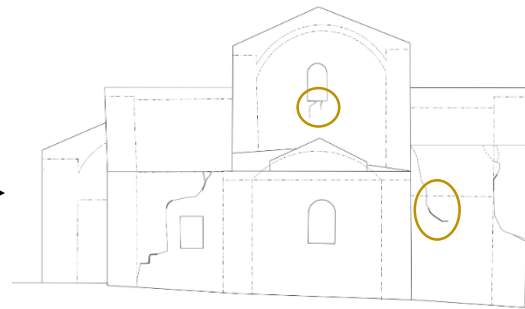
2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό  
αρθρό



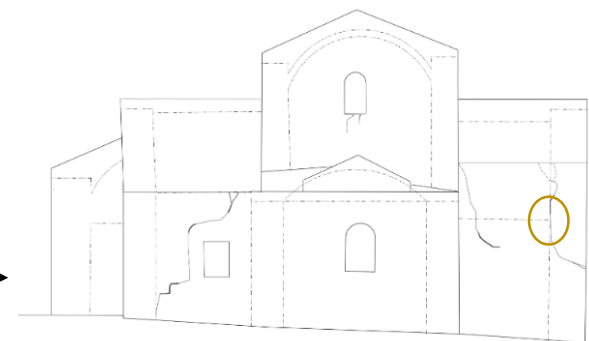
4.19 d Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex1



4.19 e Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex3



4.19 f Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex3-  
βορειοδυτική άποψη

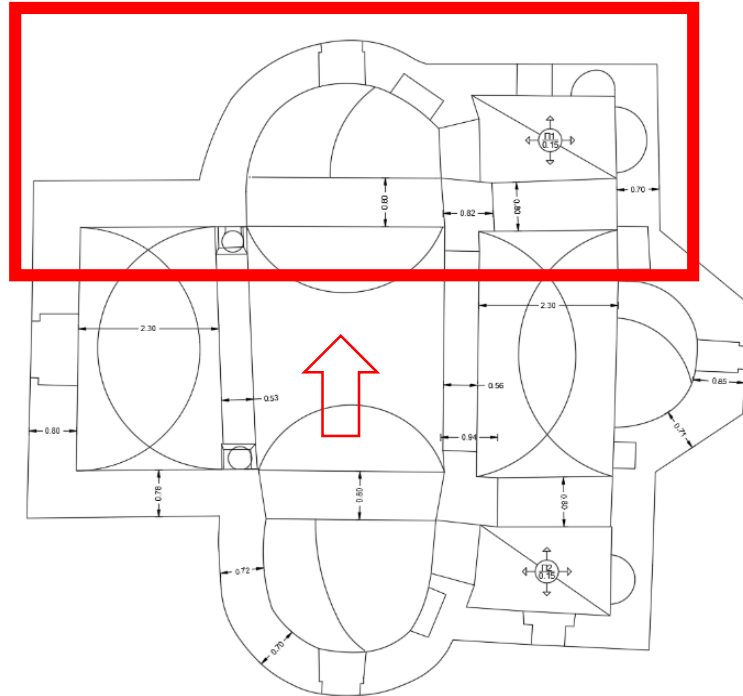


**Παρατηρήσεις-Σχόλια:** Από τις παραπάνω εικόνες διακρίνεται ότι η ταύτιση των ρωγμών είναι η ίδια αλλά στο δεύτερο μοντέλο που υπάρχει αρμός μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων εκδηλώνεται με μεγαλύτερη ένταση και σε μεγαλύτερο εύρος. Σχετικά με την ρωγμή Β3 βλ.Σχ. Παθ. Δ4 είναι απόρροια της πρόχειρης διάνοιξης του ανοίγματος στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα επομένως δεν αναμένεται να υπονοηθεί από τα αποτελέσματα κυρίων τάσεων του μοντέλου.

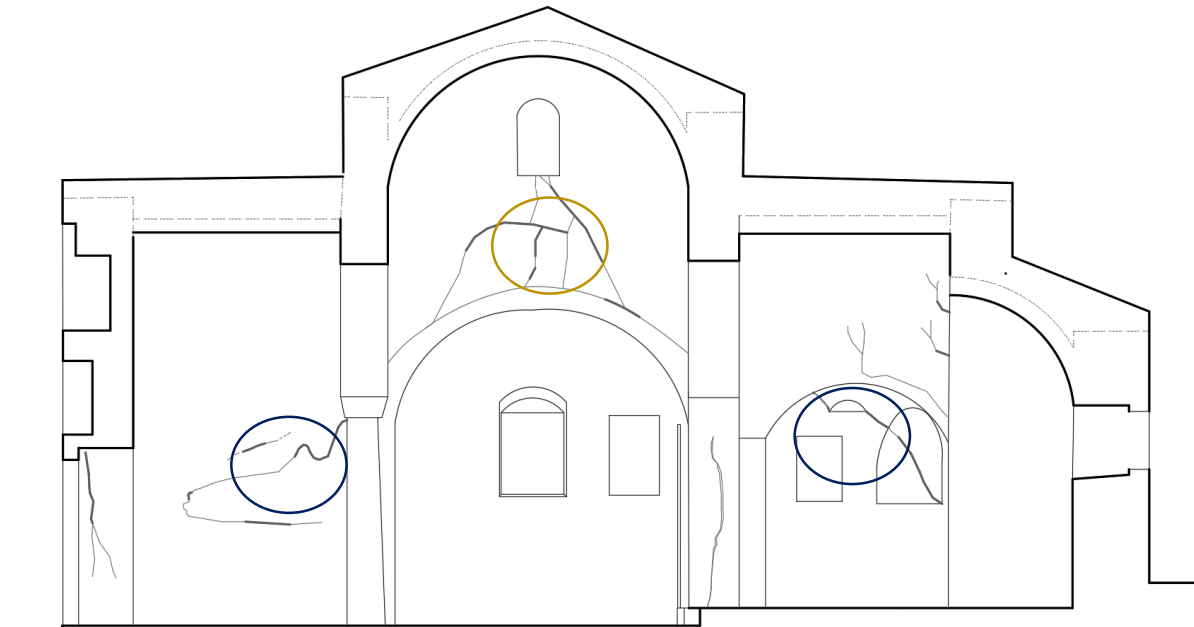


- Βόρεια όψη απο εσωτερική άποψη του ναού

Η βόρεια εσωτερική άποψη του ναού –Τομή ΒΒ΄ περιλαμβάνει κυρίως λοξές ρωγμές με εξαίρεση την κατακόρη ρωγμή στον πεσσο κόντά στο τέμπλο. Οι συνδυασμοί που εξεταστήκαν ως προς την κατανομή των κυρίων τάσεων είναι οι Ex1(γαλάζιο) και Ex2(γκρί).

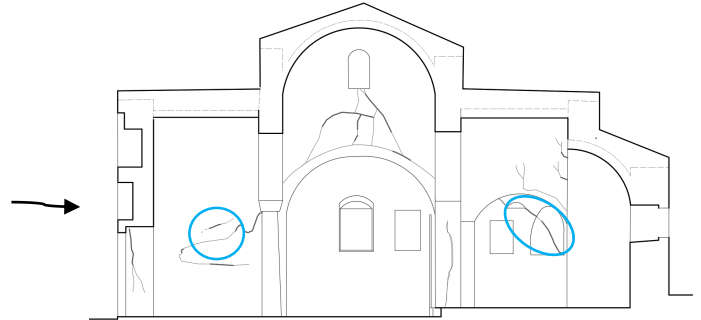
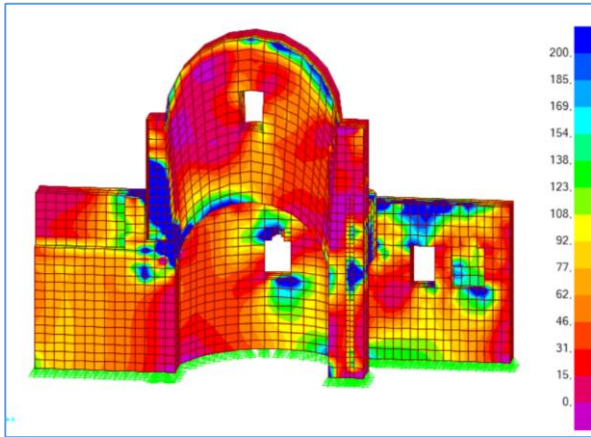


4. 20 Επισήμανση της τομής ΒΒ΄ στην κάτοψη του ναού

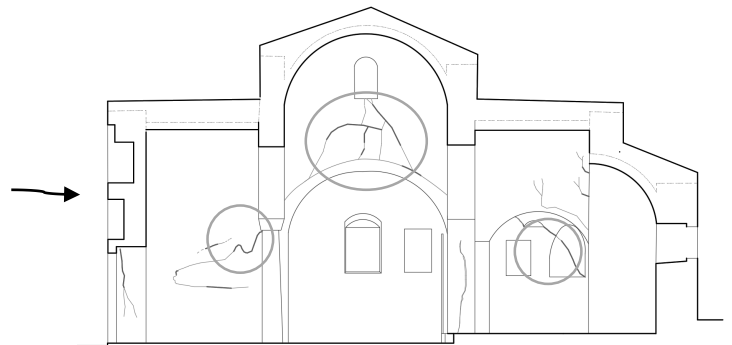
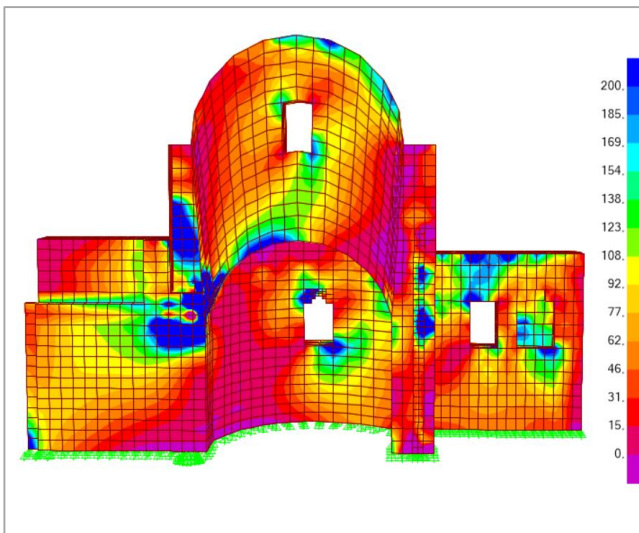


4. 21 Σχέδιο Παθολογίας Βόρεια όψη (βλ.Αναλυτικότερα Σχ.Δ.5) με τις σημειωμένες περιοχές να ταυτίζονται με αυτές των μεγίστων τάσεων

1ο μοντέλο προσομοίωσης με ορθή αλληλοεμπλοκή

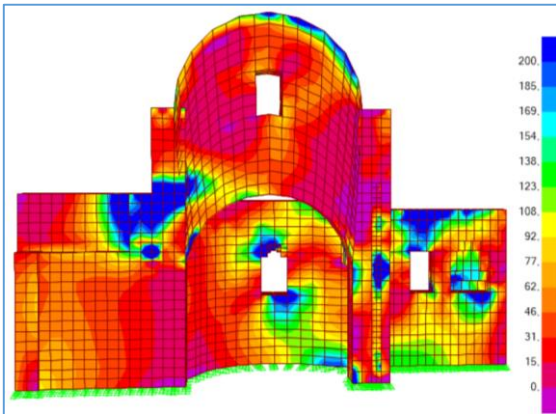


4.21 a Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex1

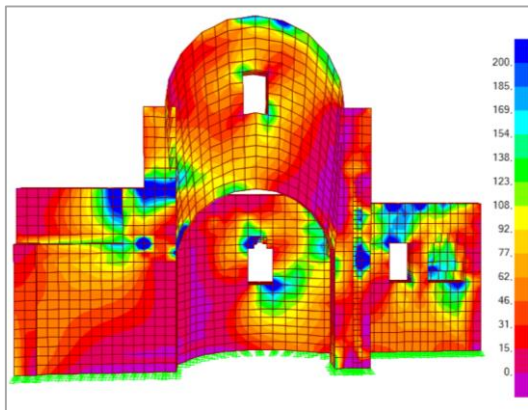
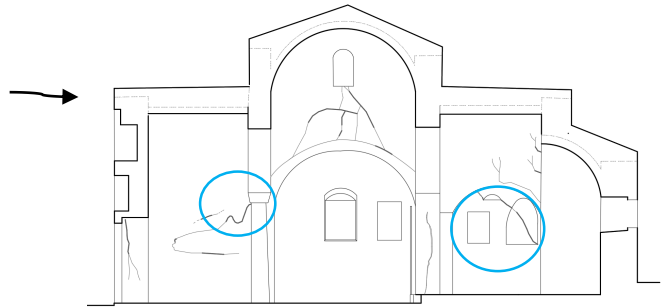


4.21 b Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex2

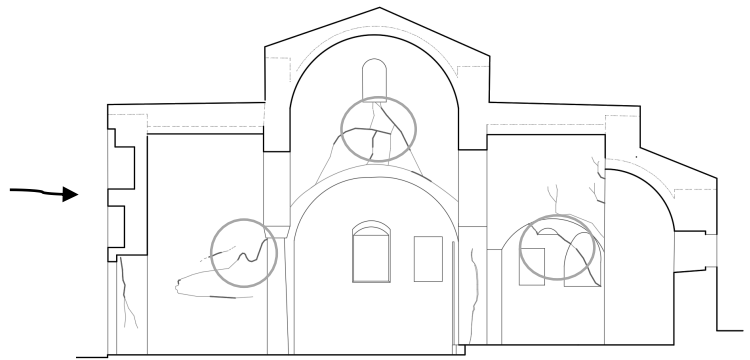
2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό αρμό



4.21 c Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex1



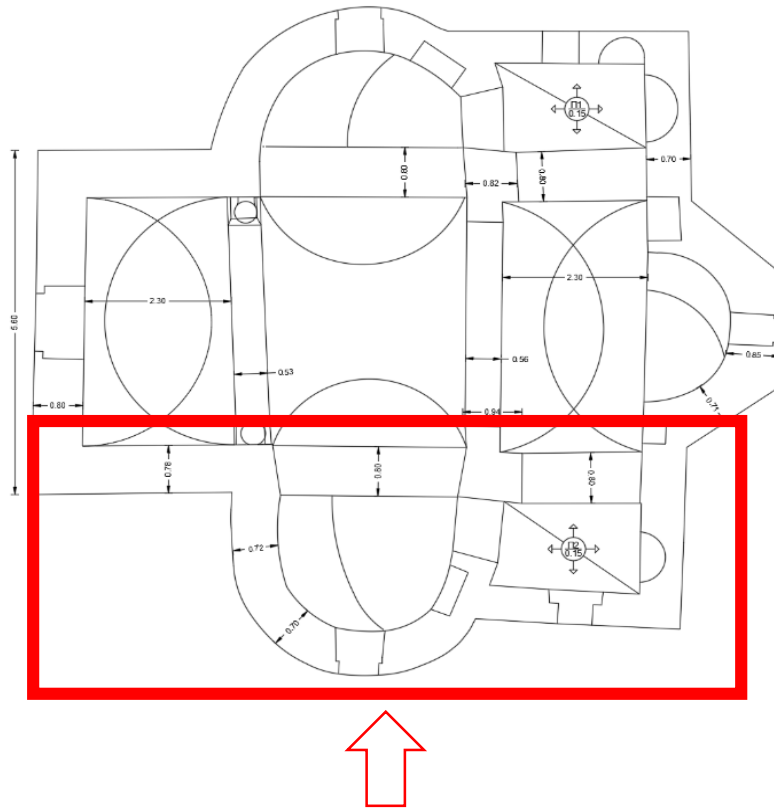
4.21 d Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex2



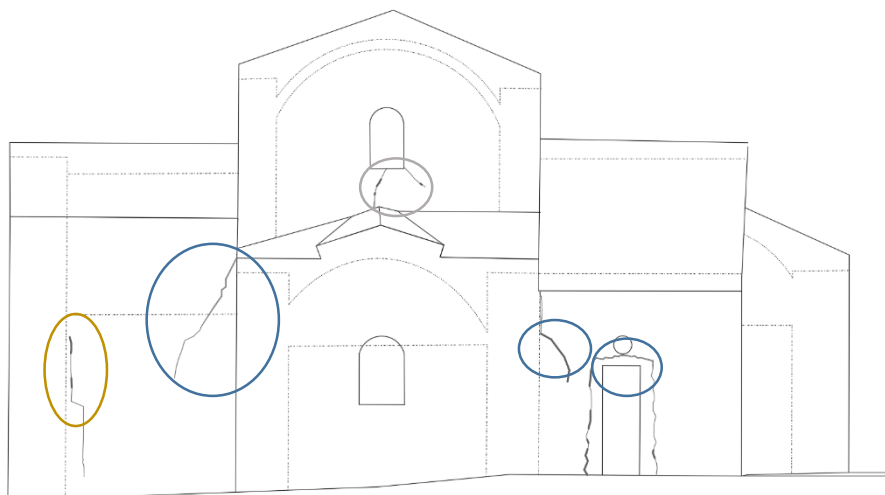
Παρατηρήσεις-Σχόλια: Από τις παραπάνω εικόνες διακρίνεται ότι η ταύτιση των ρωγμών είναι η ίδια αλλά στο δεύτερο μοντέλο που υπάρχει αρμός μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων οι κύριες τάσεις εκδηλώνεται με μεγαλύτερη ένταση και σε μεγαλύτερο εύρος.

- ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ

Η νότια όψη περιλαμβάνει κυρίως λοξές ρωγμές στα υπέρθυρα και στην περιοχή του νάρθηκα. Οι συνδυασμοί των οποίων θα εξεταστούν οι κύριες τάσεις είναι Ex1 (γαλάζιο), Ex2 (γκρί) και Ex3(καφέ). Όταν συμπίπτουν περισσότερες από μία περίπτωση συνδυασμού τότε σημειώνεται η αντίστοιχη περιοχή στο σχέδιο παθολογίας με μπλέ.

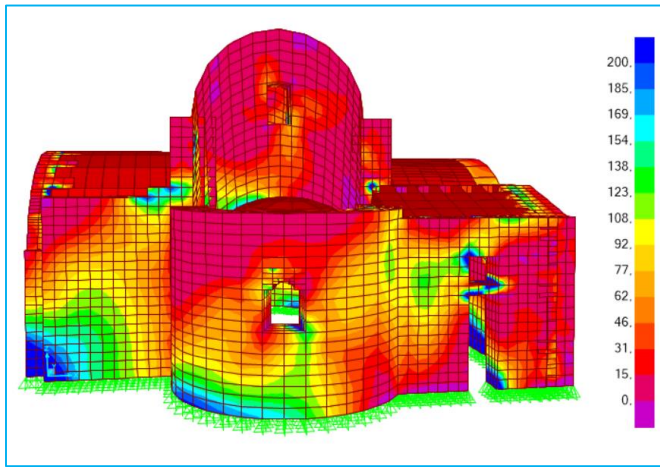


4. 22 Επισήμανση της εξεταζόμενης όψης- Νότια Όψη

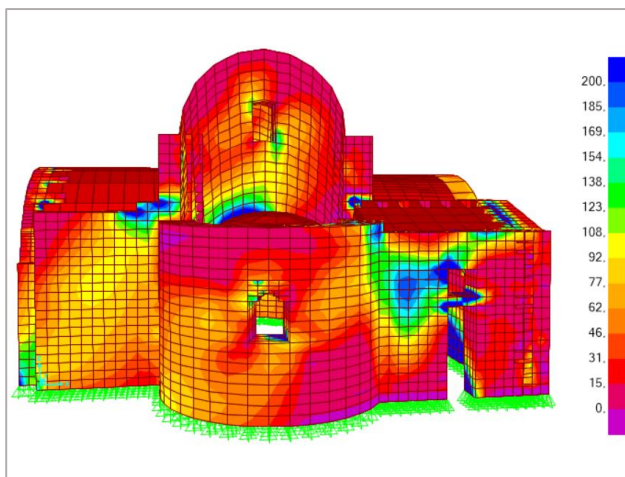
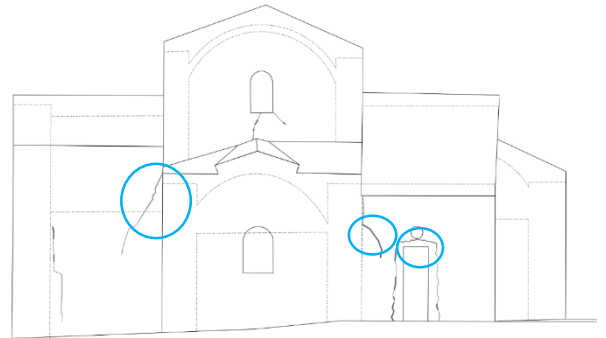


4. 23 Σχέδιο Παθολογίας Νότια Όψη (βλ. Αναλυτικότερα Σχ.Δ6) με τις σημειώμενες περιοχές να ταυτίζονται με αυτές των μεγίστων τάσεων

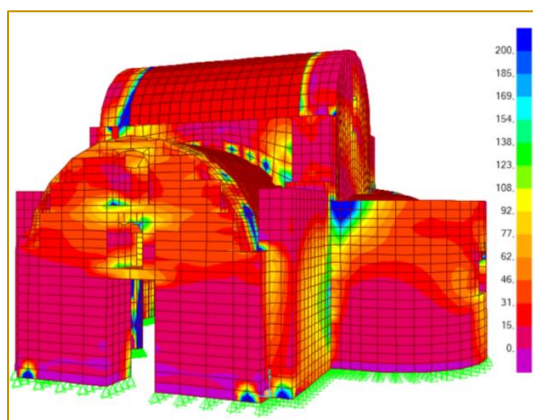
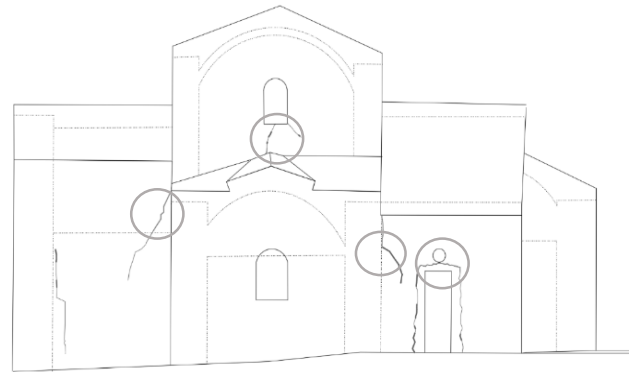
1<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με ορθή αλληλοεμπλοκή



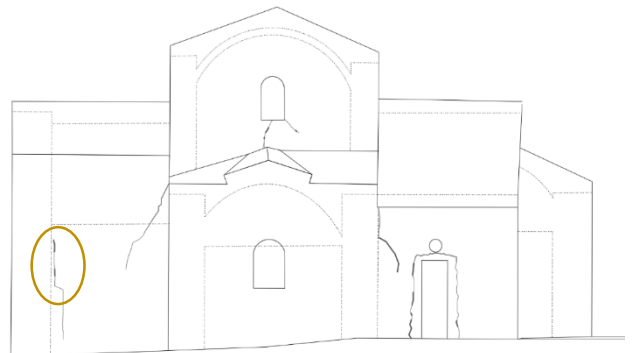
4.23 a Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex1



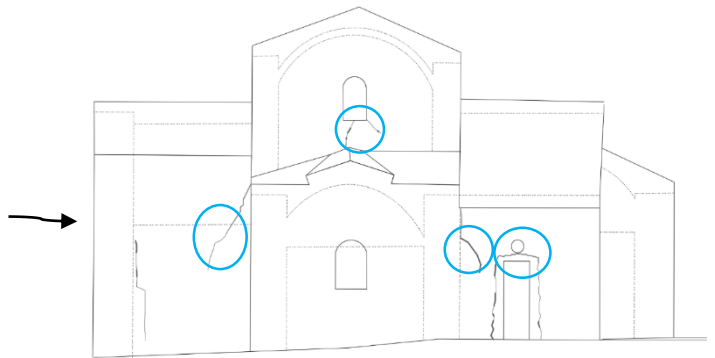
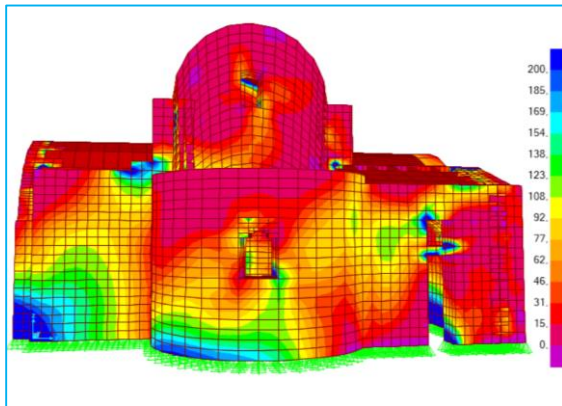
4.23 b Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex2



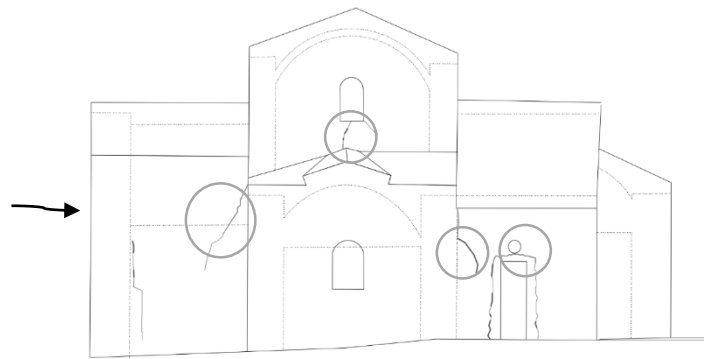
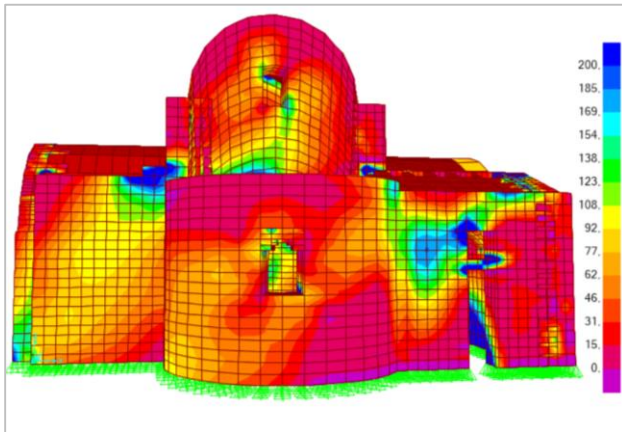
4.23 c Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex3



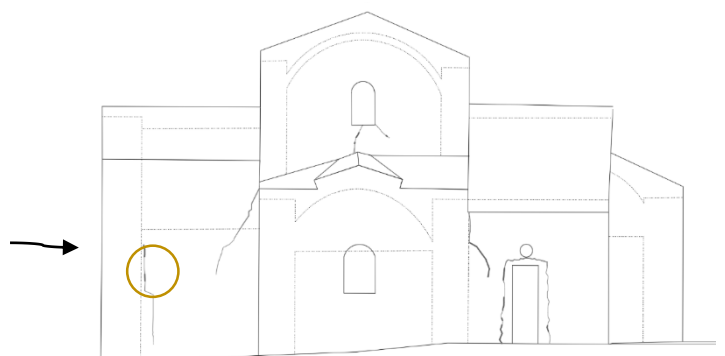
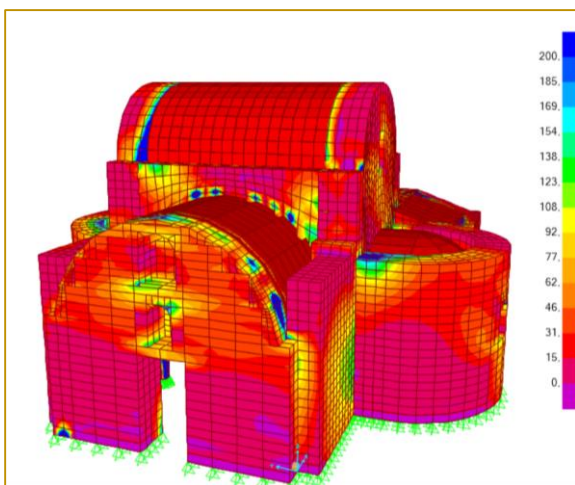
2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό  
αρθρό



4.23 d Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex1



4.23 e Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex2

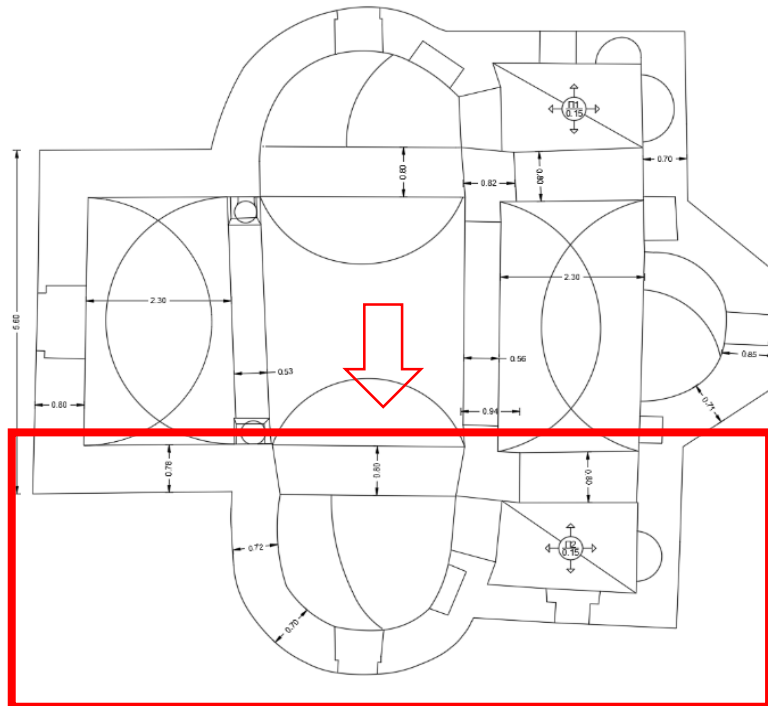


4.23 f Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex3

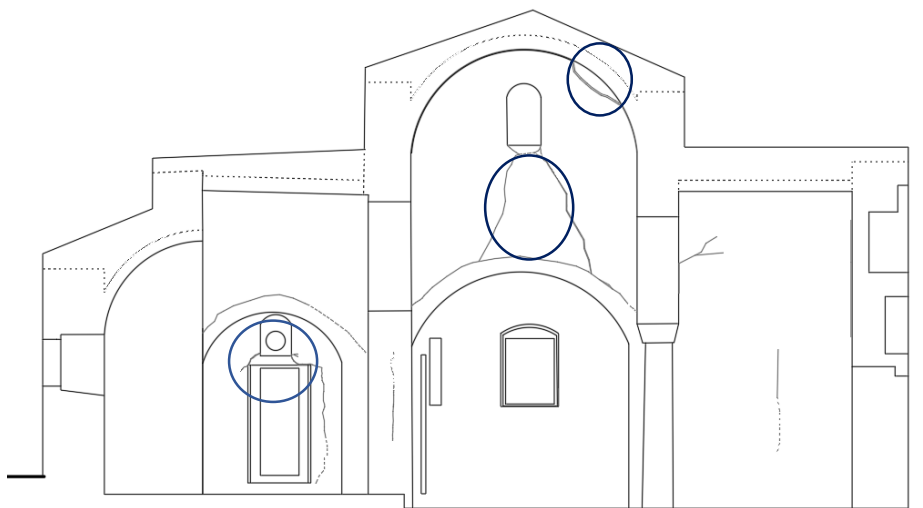
Παρατηρήσεις-Σχόλια: Από τις παραπάνω εικόνες διακρίνεται ότι η ταύτιση των ρωγμών είναι η ίδια αλλά στο δεύτερο μοντέλο που υπάρχει αρμός μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων, οι κύριες τάσεις εκδηλώνονται με μεγαλύτερη ένταση και σε μεγαλύτερο εύρος. Ως εκ τούτου στη περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου παρατηρείται ένταση ικανή να προκαλέσει και ρωγμές εκτός των άλλων στην ποδιά του ανοίγματος του νότιου τυμπάνου σε αντίθεση με την περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου που δεν δίνει πιθανότητα..

- Εσωτερική νότια όψη

Η τομή NN' όπως και υποδεικνύεται παρακάτω περιλαμβάνει κυρίως λοξές ρωγμές όπως συμβαίνει στον τοίχο πάνω από την νότια κόγχη. Υπάρχει ακόμη μία κατακόρυφη στη περιοχή του νάρθηκα το οποίο οφείλεται ενδεχομένως σε άλλους λόγους όπως η αποκόλληση των παρειών του κατακόρυφου στοιχείου και ρωγμές περιμετρικά της θύρας που οφείλονται στην πρόσφατη πρόχειρη διάνοιξη μεγαλύτερου ανοίγματος. Οι συνδυασμοί που προβάλλονται είναι οι Eγ1(γαλάζιο), Eγ3(καφέ) και οι Eκ4(μωβ).



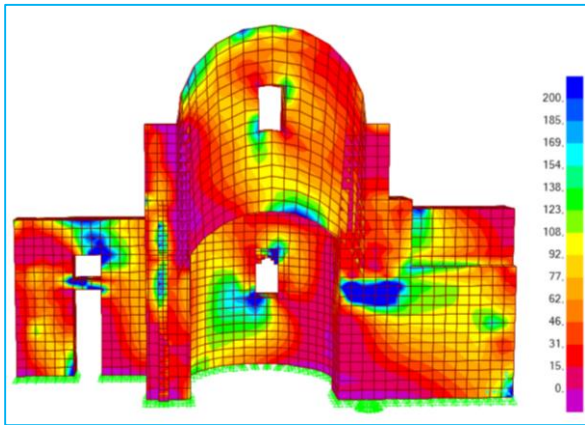
4. 24 Επισήμανση της εξεταζόμενης όψης- ΤΟΜΗ NN'



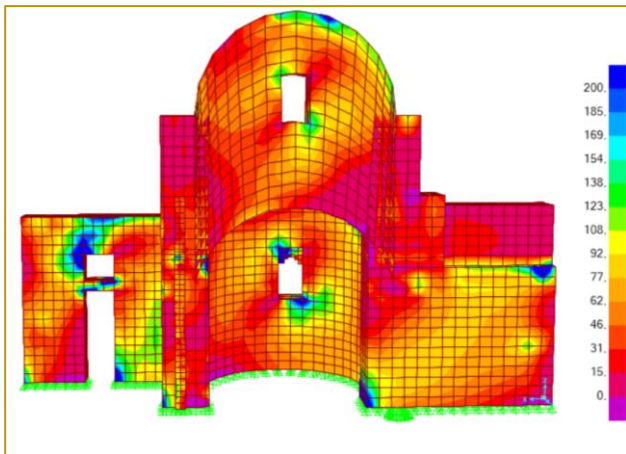
4. 25 NN' Σχέδιο Παθολογίας Τομή NN' (βλ. Αναλυτικότερα Σχ.Δ.7) με τις κυκλωμένες περιοχές να ταυτίζονται με τις περιοχές των μεγίστων τάσεων



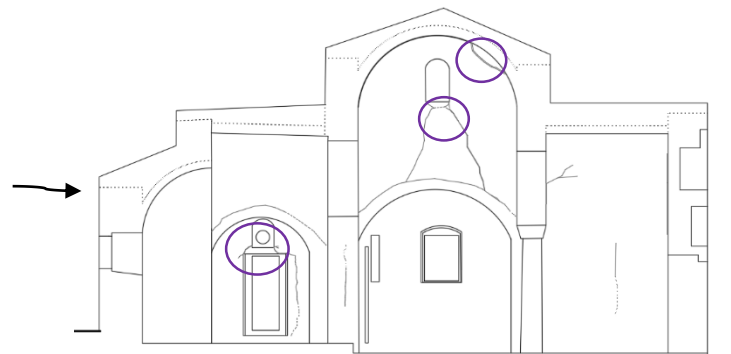
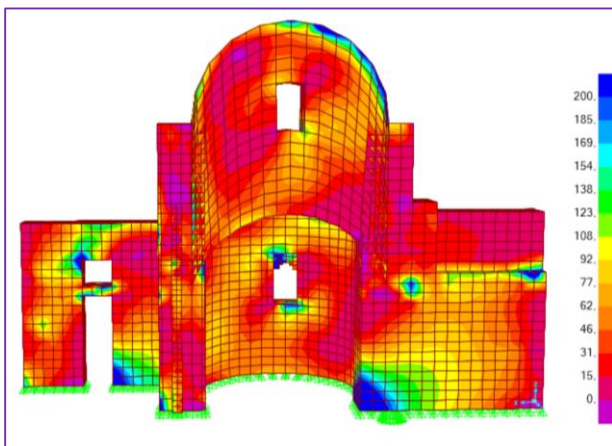
1<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με ορθή αλληλοεμπλοκή



4.25 a Κατανομή κυρίων τάσεων για την Ex1

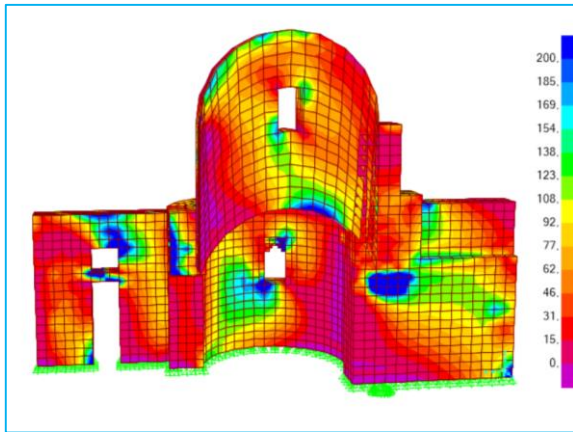


4.25 b Κατανομή κυρίων τάσεων για την Ex3

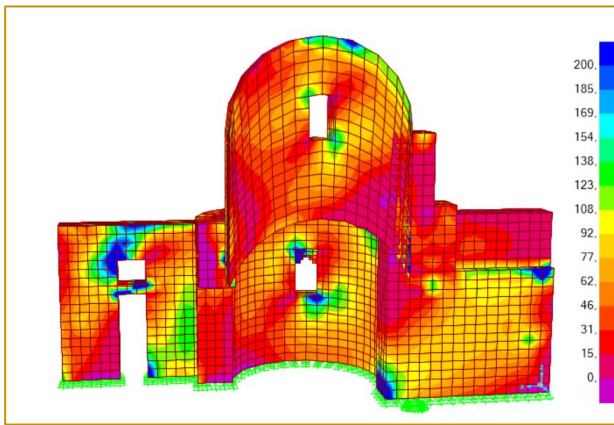
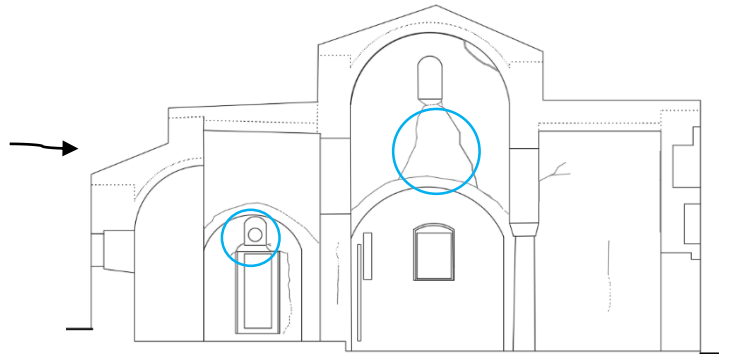


4.25 c Κατανομή κυρίων τάσεων για την Ex4

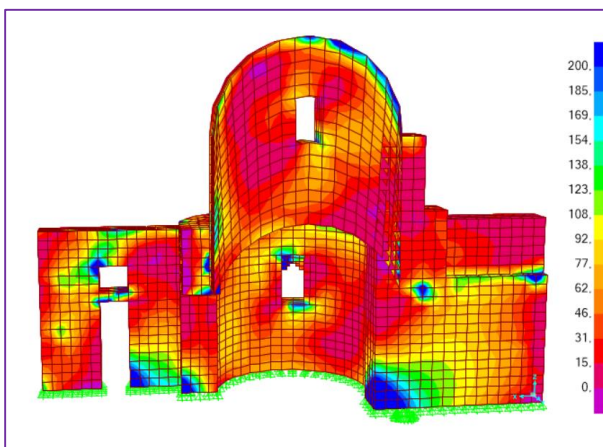
2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό αρμό



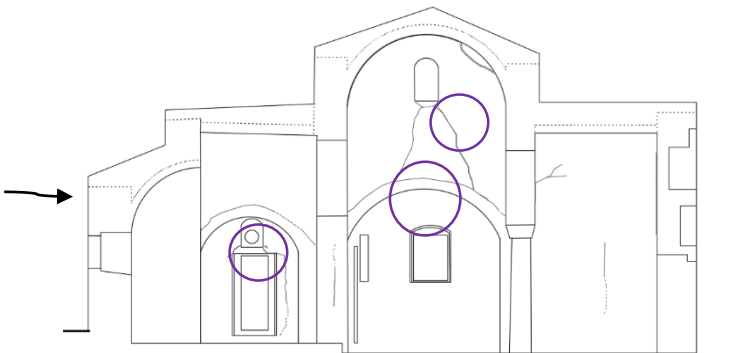
4.25 d Κατανομή κυρίων τάσεων για την Ex1



4.25 e Κατανομή κυρίων τάσεων για την Ex3



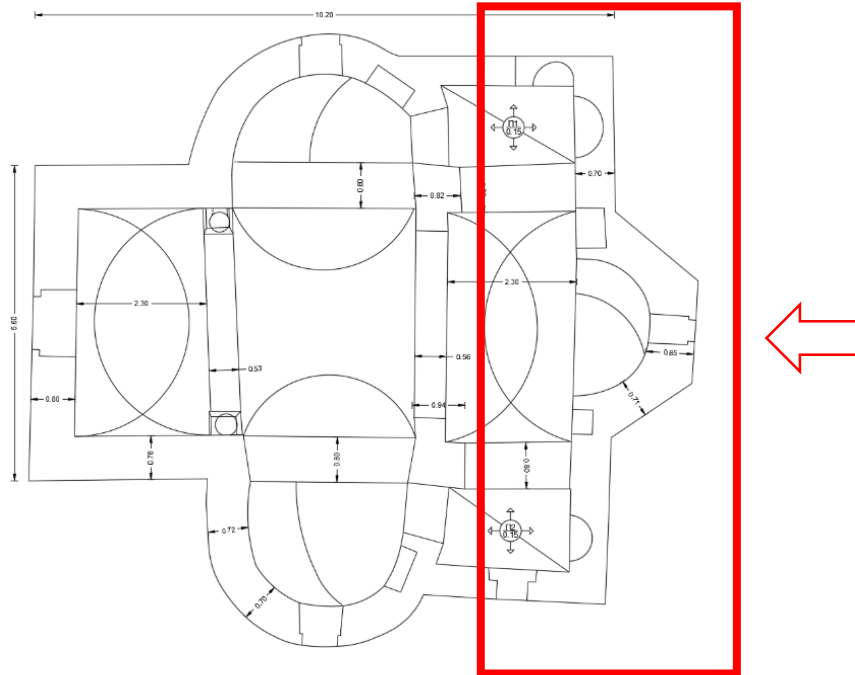
4.25 f Κατανομή κυρίων τάσεων για την Ex4



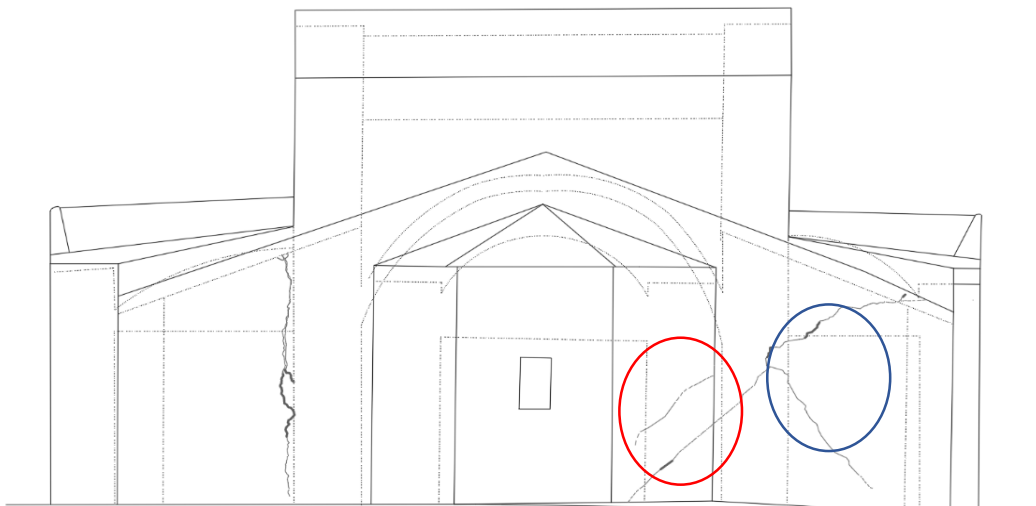
Παρατηρήσεις-Σχόλια: Από τις παραπάνω εικόνες διακρίνεται ότι η ταύτιση των ρωγμών είναι η ίδια αλλά στο δεύτερο μοντέλο που υπάρχει αρμός μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων, οι κύριες τάσεις εκδηλώνονται με μεγαλύτερη ένταση και σε μεγαλύτερο εύρος.

- Ανατολική όψη

Η Ανατολική όψη περιλαμβάνει κυρίως λοξές ρωγμές στο παράβλημα της βόρεια όψης και λίγες λοξές στην αψίδα του ιερού. Η κατακόρυφη ρωγμή που υπάρχει στην πλευρά του παραβήματος της νότιας όψης προέκυψε από τον αρμό των δύο κατασκευαστικών φάσεων οπότε δεν θα δοθεί αρκετά σημασία σε αυτή καθώς δεν πρόκειται για βλάβη. Οι συνδυασμοί που θα εξεταστούν είναι οι Eγ1 (κίτρινο) και Eγ3 (κόκκινο). Στις περιπτώσεις που συμπίπτουν περισσότεροι από έναν συνδυασμό, η εν λόγω ταύτιση με την κατανομή των τάσεων θα απεικονίζεται με μπλε.

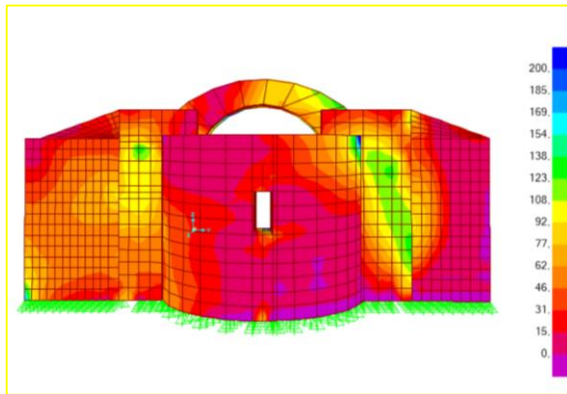


4. 26 Επισήμανση της Ανατολικής Όψης με στην κάτοψη του ναού

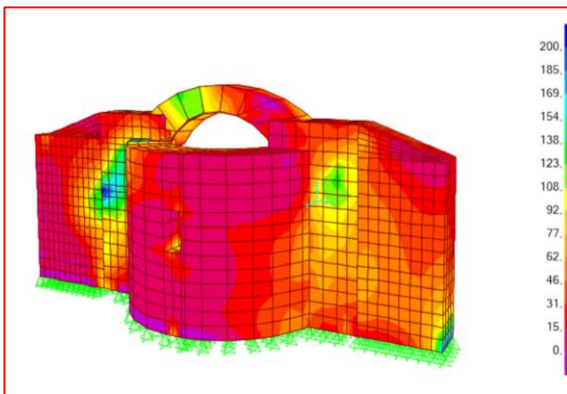
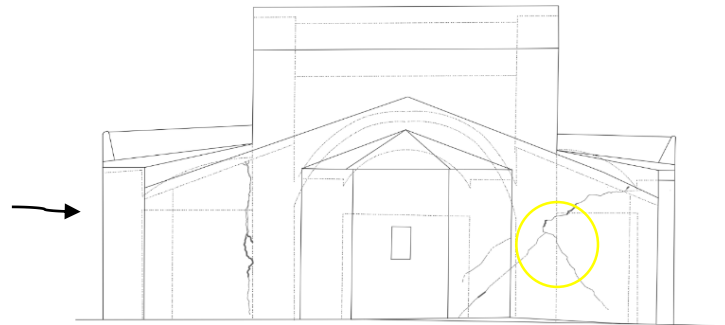


4. 27 Σχέδιο Παθολογίας της Ανατολικής Όψης(βλ. Αναλυτικότερα Σχ. Δ.8) με τις κυκλωμένες περιοχές να ταυτίζονται με αυτές των μεγίστων τάσεων

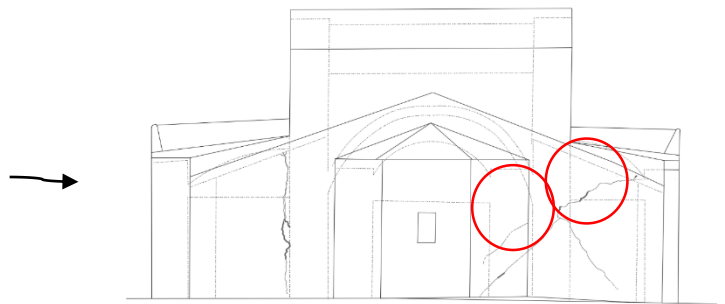
1<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με ορθή αλληλοεμπλοκή



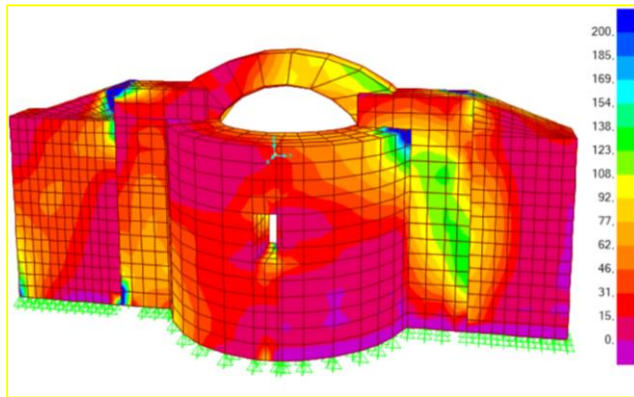
4.27 a Κατανομή κυρίων τάσεων με βάση την  $E_{y1}$



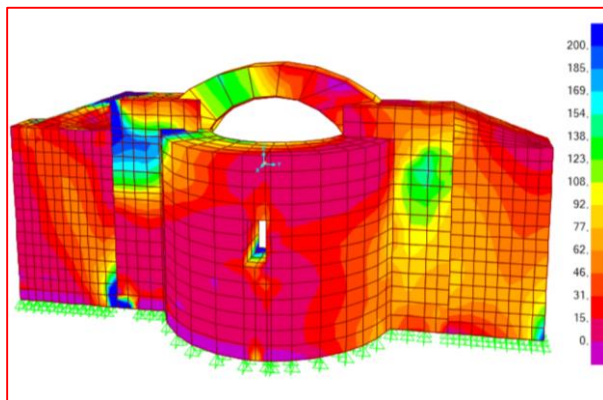
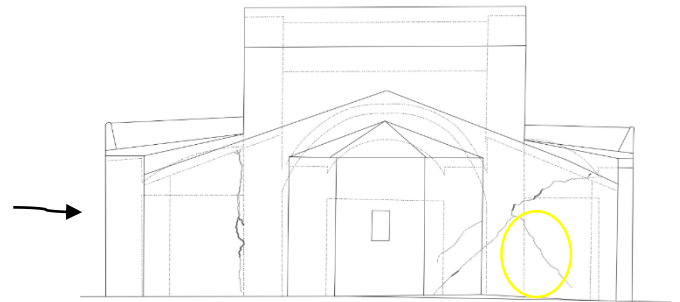
4.27 b Κατανομή κυρίων τάσεων με βάση την  $E_{y3}$



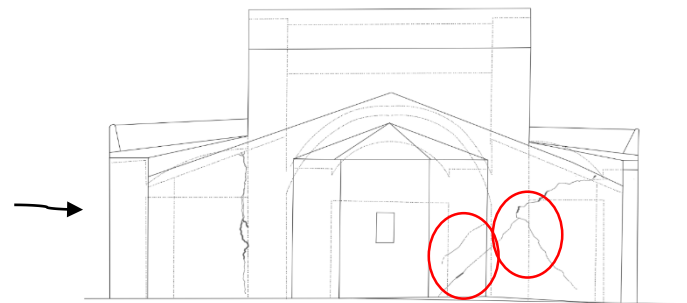
2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό αρμό



4.27 c Κατανομή κυρίων τάσεων με βάση την Eγ1



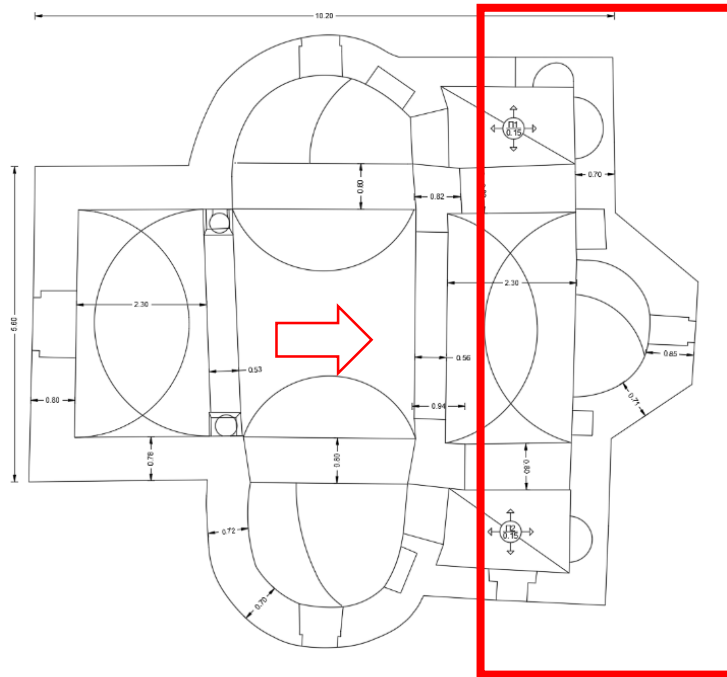
4.27 d Κατανομή κυρίων τάσεων με βάση την Eγ3



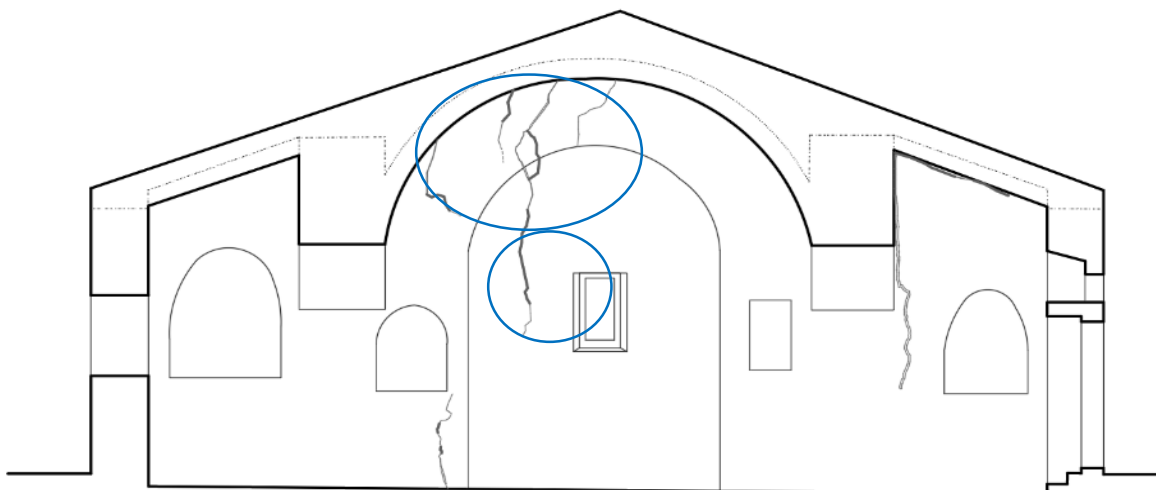
**Παρατηρήσεις-Σχόλια:** Από τις παραπάνω εικόνες διακρίνεται ότι η ταύτιση των ρωγμών είναι η ίδια αλλά στο δεύτερο μοντέλο που υπάρχει αρμός μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων, οι κύριες τάσεις εκδηλώνονται με μεγαλύτερη ένταση και σε μεγαλύτερο εύρος.

Εσωτερική Ανατολική Όψη

Η Ανατολική όψη εσωτερικά του ιερού περιλαμβάνει την μία όψη του κάθε παραβήματος την αψίδα του ιερού και ένα τόξο πάχους περίπου 55 cm που συνδέει το θόλο του ιερού με τον θόλο της αψίδας του ιερού. Οι ρωγμές είναι κυρίως κατακόρυφες και σχεδόν όλες συγκεντρωμένες στο κατακόρυφο τμήμα που συνδέει τους δύο θόλους. Οι συνδυασμοί που θα εξεταστούν για την κατανομή των κύριων τάσεων είναι οι Ex1(γαλάζιο) και Ex2 (γκρι). Στις περιπτώσεις που συγκλίνουν περισσότερο από έναν συνδυασμό, η ταύτιση απεικονίζεται με μπλε.

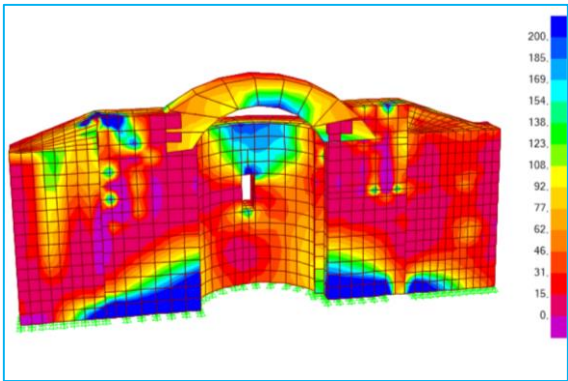


4. 28 Επισήμανση της εξεταζόμενης όψης- ΤΟΜΗ ΑΑ΄

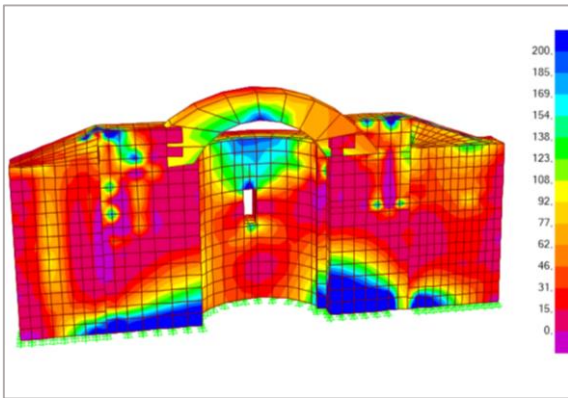
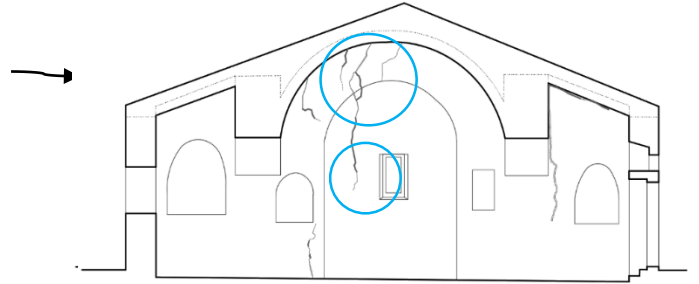


4. 29 Σχέδιο Παθολογίας της τομής ΑΑ΄ (βλ.Αναλυτικότερα Σχ.Δ.9) με κυκλωμένες τις περιοχές που ταυτίζονται με αυτές των μεγίστων τάσεων

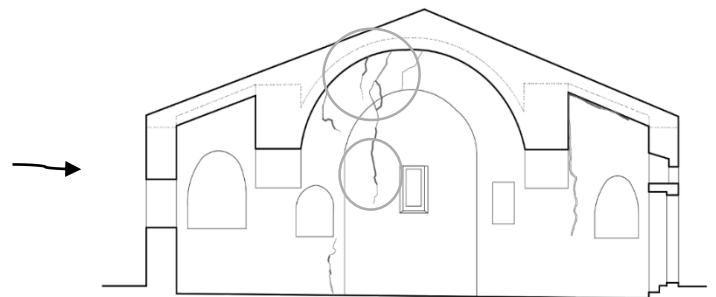
1<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με ορθή αλληλοεμπλοκή



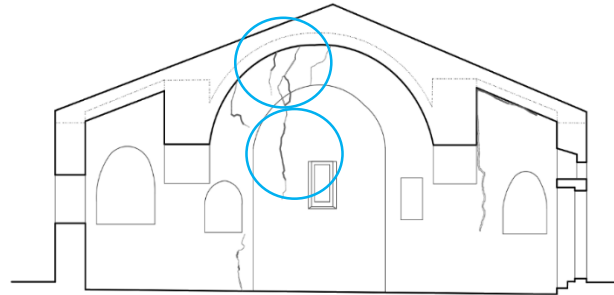
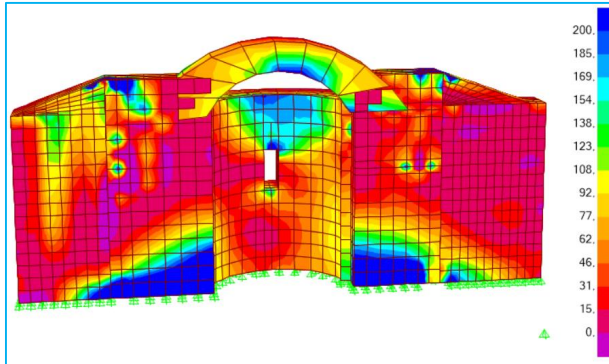
4.29 a Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex1



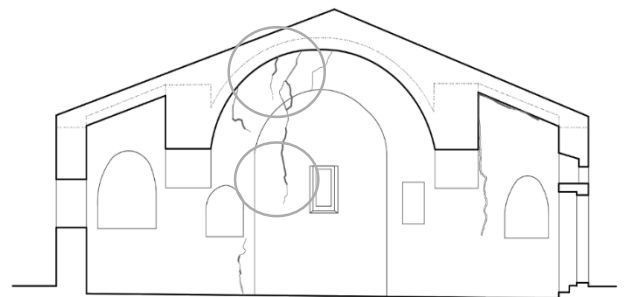
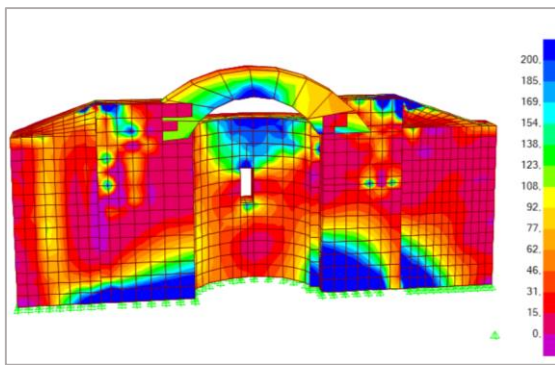
4.29 b Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex2



2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό αρμό



4.29 c Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex1



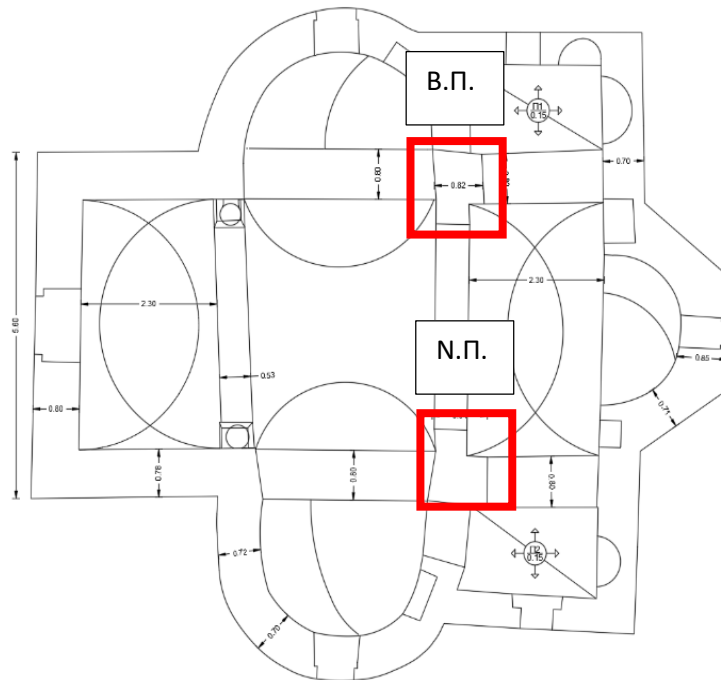
4.29 d Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση την Ex2

Παρατηρήσεις-Σχόλια: Από τις παραπάνω εικόνες διακρίνεται ότι η ταύτιση των ρωγμών είναι η ίδια αλλά στο δεύτερο μοντέλο που υπάρχει αρμός μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων εκδηλώνεται με μεγαλύτερη ένταση και σε μεγαλύτερο εύρος.

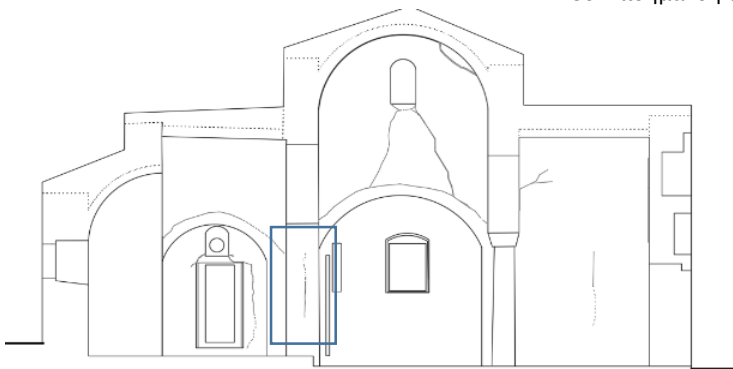


- Πεσσοί

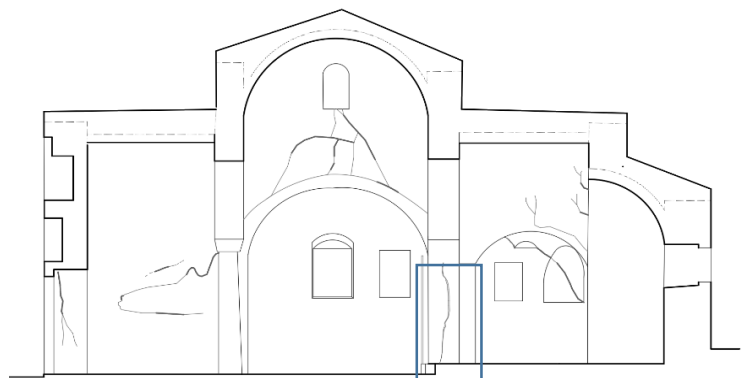
Οι πεσσοί που θα αναλυθούν στην συνέχεια έχουν σημειωθεί στην παρακάτω εικόνα. Τα δύο αυτά κατακόρυφα φέροντα στοιχεία διαθέτουν κατακόρυφες ρωγμές και στις τέσσερις πλευρές τους(βλ. Κεφάλαιο Παθολογίας). Ορισμένες από αυτές υποδεικνύονται στις κατανομές των τάσεων . Οι συνδυασμοί που είναι πλησιέστεροι με τα αποτελέσματα και θα παρουσιαστούν παρακάτω είναι οι Eγ3(κόκκινο), Eγ4(πράσινο) και Ex3(καφέ).



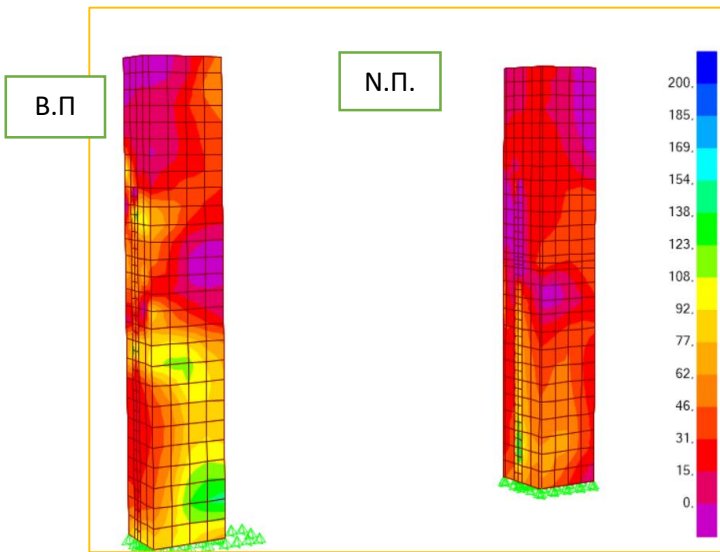
4. 30 Επισημάνση των εξεταζόμενων πεσσών



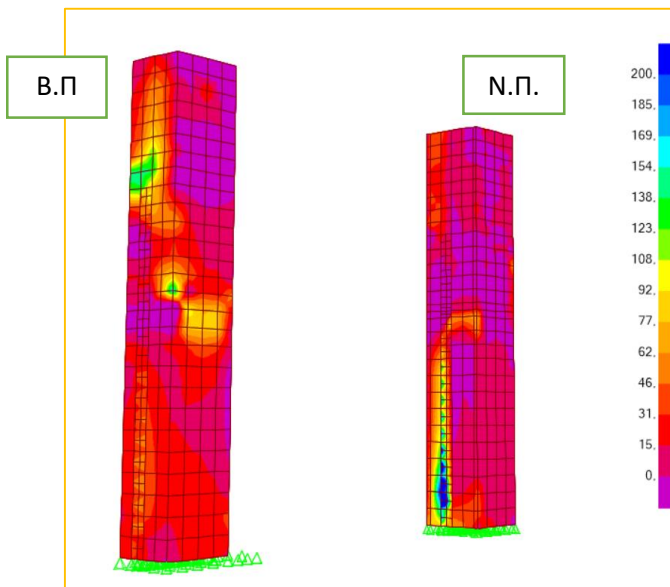
4. 31 Σχέδιο Παθολογίας Τομή BB (πάνω αριστερά) και Τομή NN' (κάτω δεξιά) (βλ.Αναλυτικότερα Σχ.33 &35 αντίστοιχα) με τις αντίστοιχες περιοχές που ξεπερνάνε το όριο το 100kPa να ταυτίζονται με τις περιοχές των ρωγμών



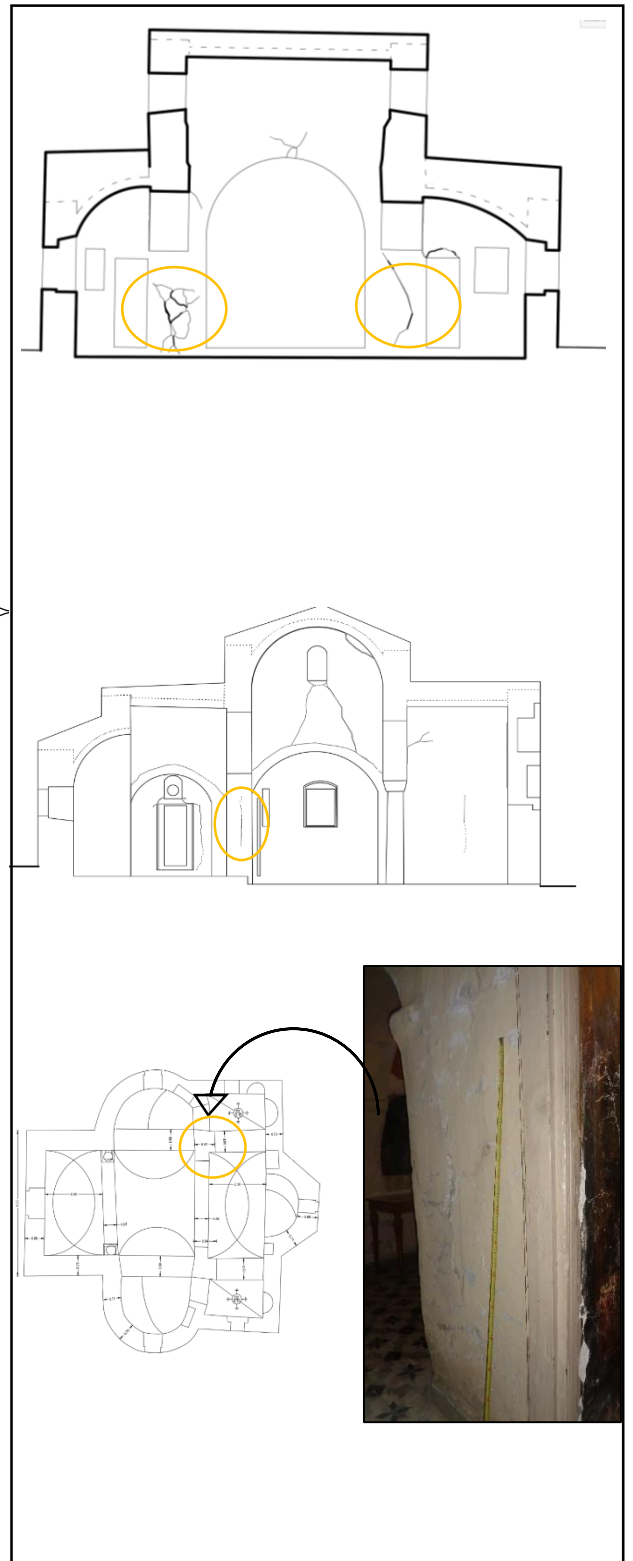
1<sup>ο</sup> μοντέλο με κατασκευαστικό αρμό



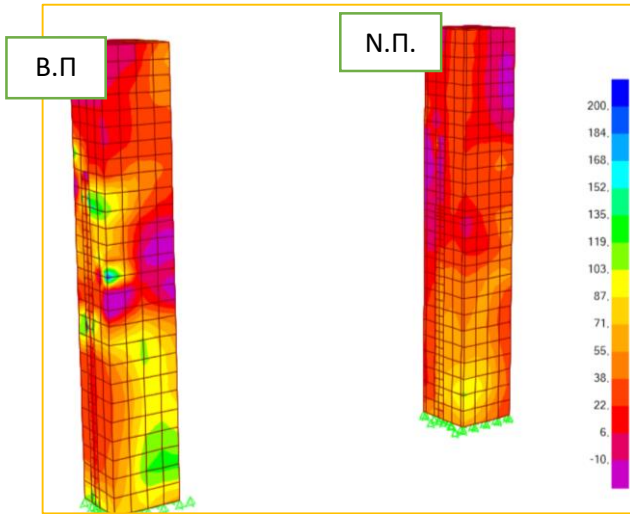
4.31 α Κατανομή των τάσεων S23 με βάση τον συνδυασμό Eγ2



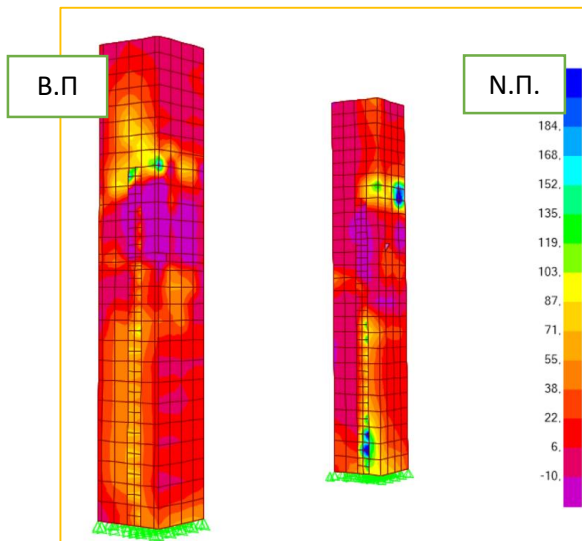
4.31 β Κατανομή των τάσεων S13 με βάση τον συνδυασμό Eγ2



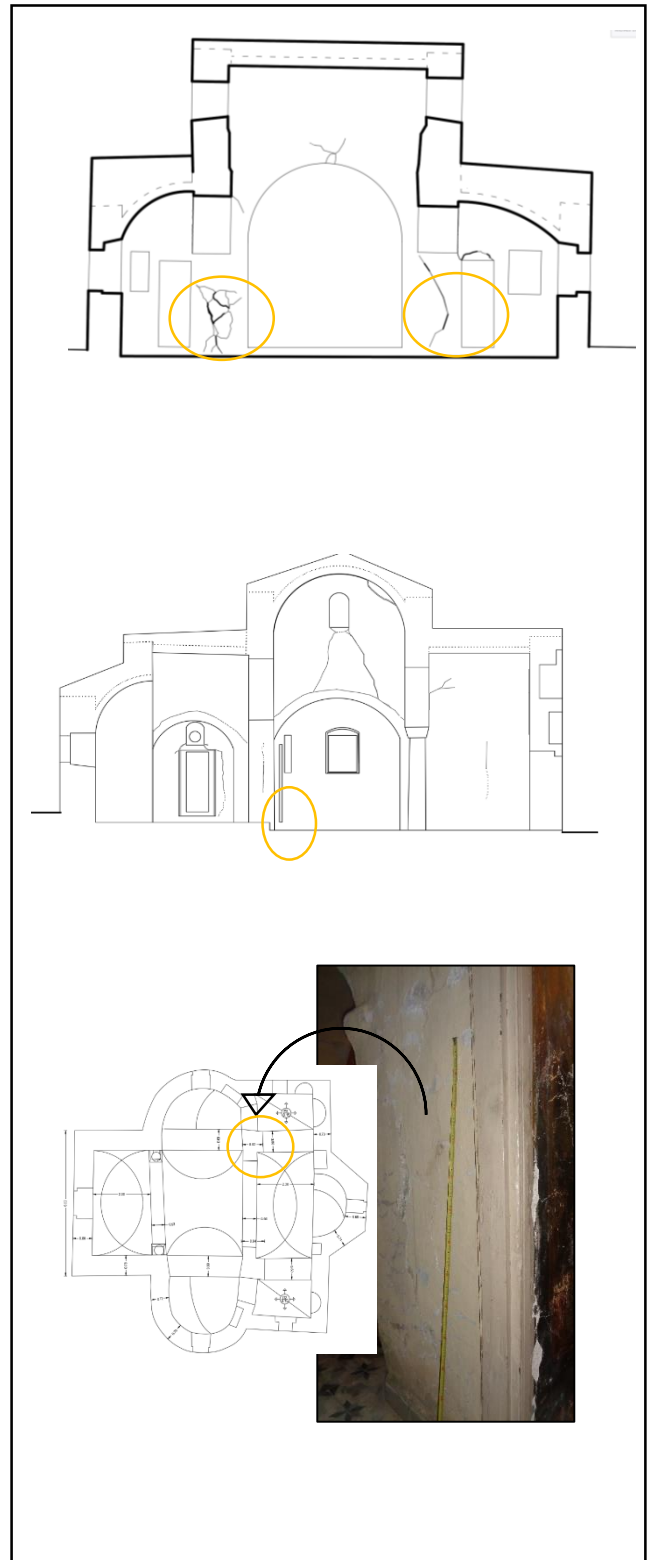
2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό αρμό



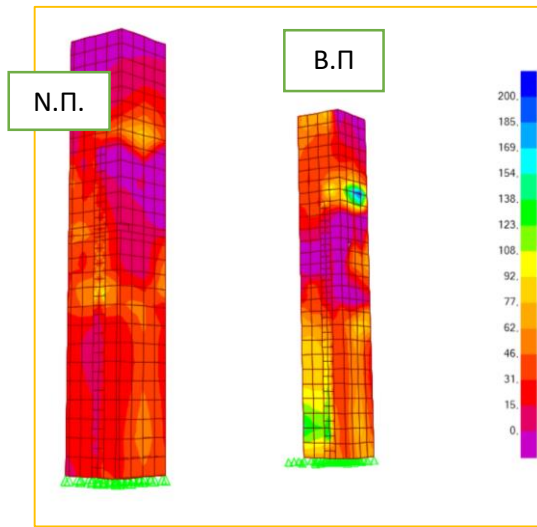
4.31 c Κατανομή των τάσεων S23 με βάση τον συνδυασμό Eγ2



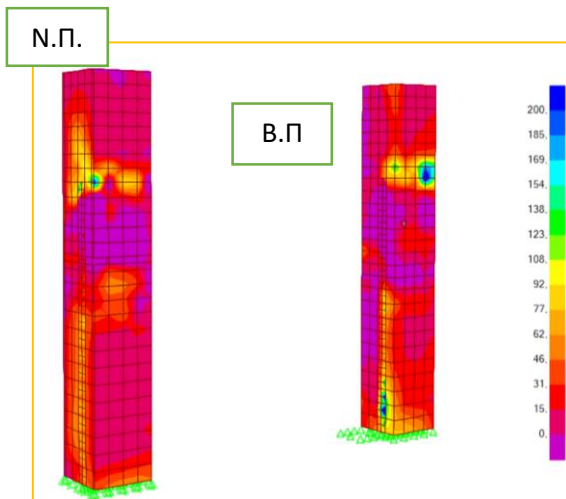
4.31 d Κατανομή των τάσεων S13 με βάση τον συνδυασμό Eγ2



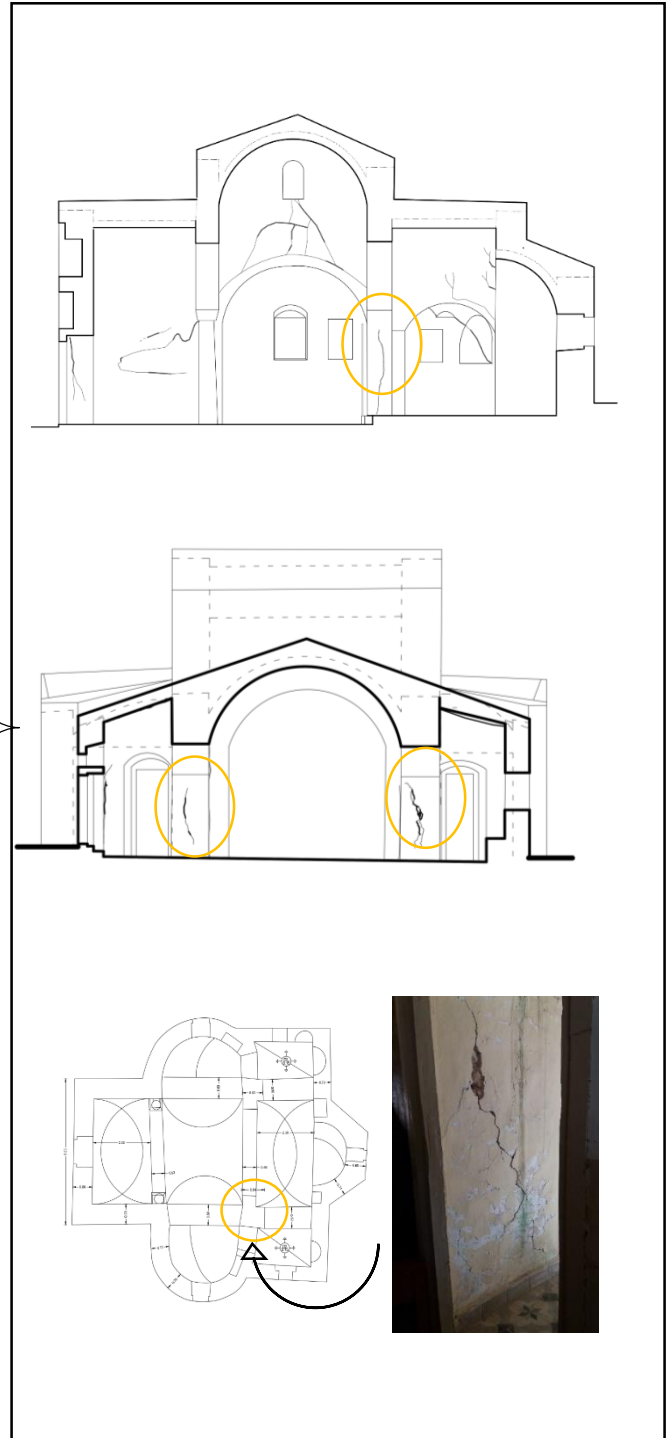
1<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με αλληλοεμπλοκή



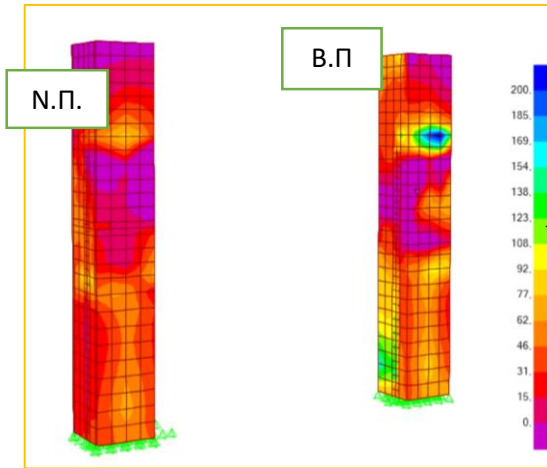
4.31 e Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Ex2



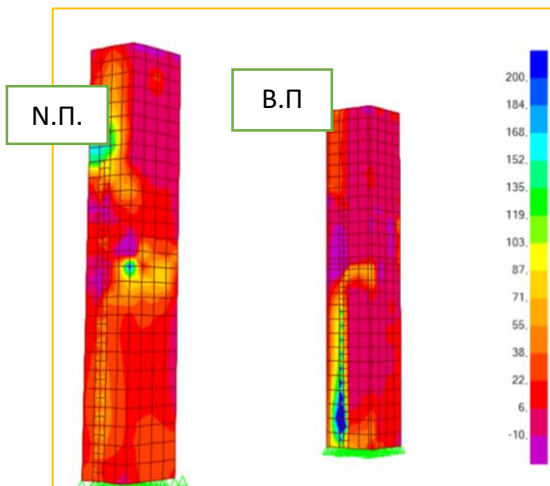
4.31 f Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Ex4



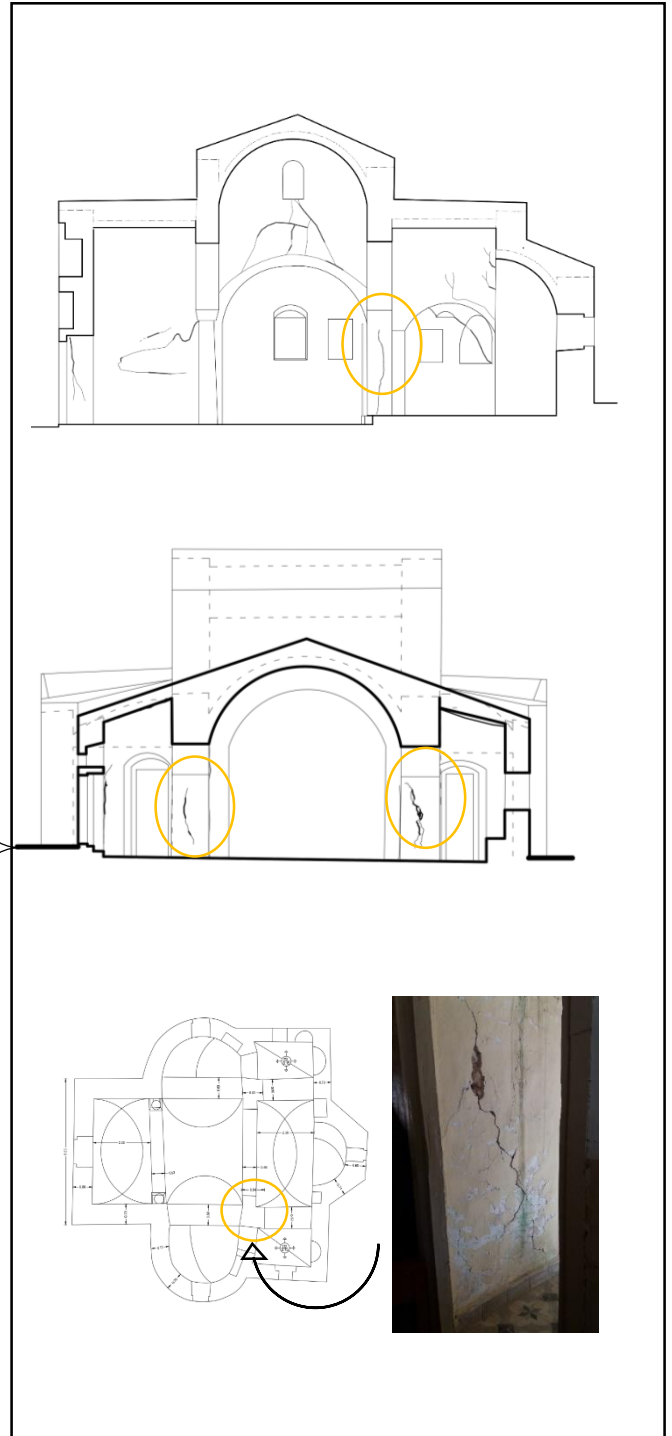
2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό αρμό



4.31 g Κατανομή των τάσεων S23 με βάση τον συνδυασμό Eγ2



4.31 h Κατανομή των τάσεων S13 με βάση τον συνδυασμό Eα2



Οροφή του ναού

Η οροφή του νάρθηκα έχει εμφανείς ρωγμές μεγάλου μήκους και εύρους και είναι σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους στην κορυφή του θόλου. Οι ρωγμές πληθαίνουν στα σύνορά με τους κατακόρυφους τοίχους. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ταυτίζονται ικανοποιητικώς με τις ρωγμές που ήδη έχουν σημειωθεί στο σχέδιο παθολογίας όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (βλ. Αναλυτικότερα Σχ.Παθ.26.)

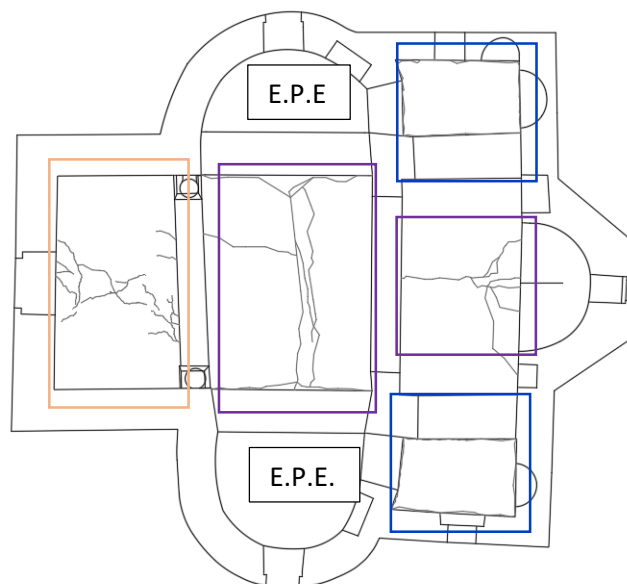
Η οροφή τρούλου όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζει ρωγμές οριζόντιες και παράλληλες μεταξύ τους σε όλο το μήκος της κορυφής του θόλου. Πλησιάζοντας στους κατακόρυφους εγκάρσιους τοίχους εκτείνονται σε μεγαλύτερο εύρος δημιουργώντας χαρακτηριστικό τριγωνικό σχήμα με αυτούς.

Ο θόλος του ιερού περιλαμβάνει οριζόντιες ρωγμές σε όλο το μήκος της κορυφής του θόλου. Όσο πλησιάζει στο σύνορο του με τα κατακόρυφα στοιχεία εκτείνεται σε μεγαλύτερο εύρος της οροφής δημιουργώντας ένα χαρακτηριστικό τρίγωνο όπως έχει καταγραφεί στη παρακάτω εικόνα.

Στις οροφές των θόλων και των δύο κόγχων διακρίνονται παρόμοια χαρακτηριστικά. Μικρορωγμές που εκτείνονται σε όλη την επιφάνεια του θόλου δυσχεραίνουν την ακριβή καταγραφή τους. Η κατάσταση τους επιδεινώνεται από την έντονη υγρασία που διατηρείται στο πάχος της στέγης με την οροφή.

Στην οροφή της αψίδας παρατηρούνται αρκετές μικρορηγματώσεις διάσπαρτες στην επιφάνεια της με μόνο μία ρωγή να ξεχωρίζει εξαιτίας του μήκους της, του εύρους και του βάθους της η οποία εκτείνεται από το θόλο και συνεχίζει σε μεγάλο μήκος στο κατακόρυφο στοιχείο της αψίδας του θόλου.

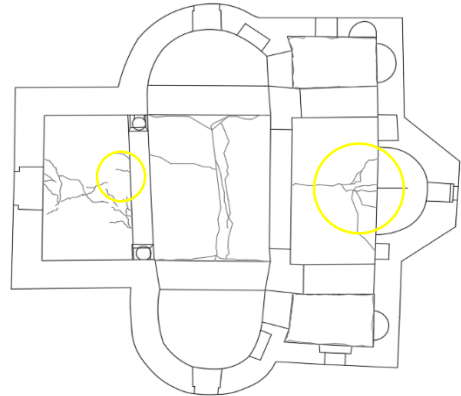
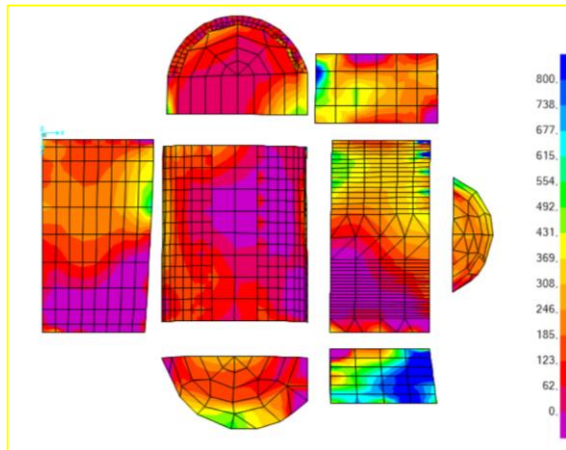
Οι δύο οροφές που απεικονίζονται στο μπλε πλαίσιο έχουν παρόμοιες βλάβες . Οι κυριότερες σχετίζονται με την αποκόλληση τους περιμετρικά από τα κατακόρυφα στοιχεία. Όλοι οι συνδυασμοί συμφωνούν με την υφιστάμενη κατάσταση. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τρεις από αυτούς τους συνδυασμούς η Eγ1(κίτρινο), Eγ4(πράσινο) και η Ex4 (μωβ).



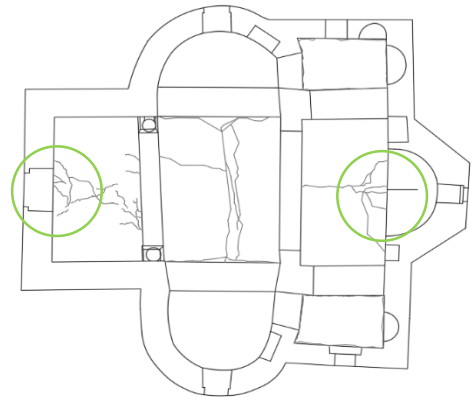
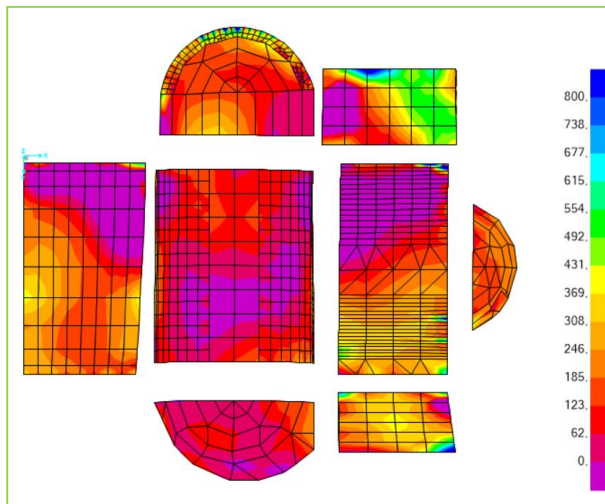
4. 32 Σχέδιο Παθολογίας της άνοψης του ναού –(βλ.Αναλυτικότερα Σχ.26) και επισήμανση των περιοχών που ταυτίζονται με τις κατανομές των κυρίων τάσεων

E.P.E → Επιχρισμένη ρηγματωμένη επιφάνεια

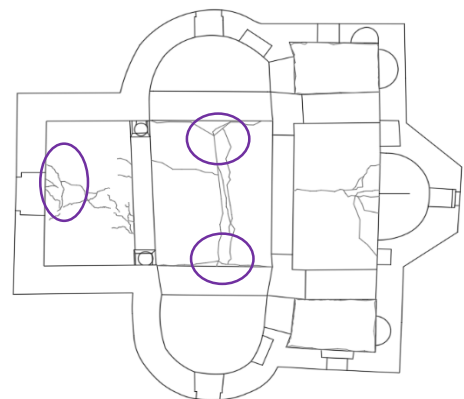
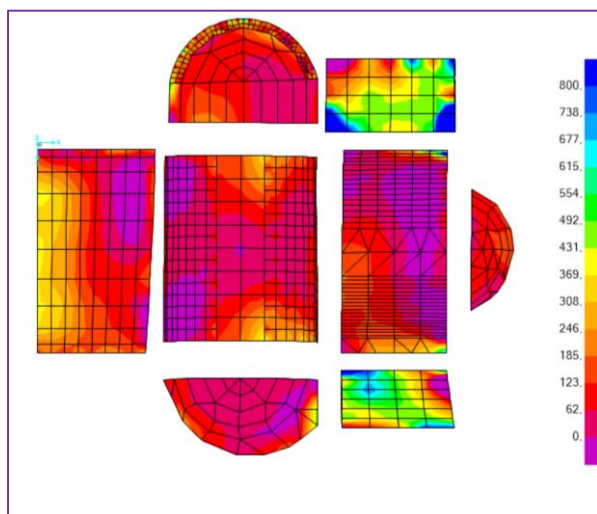
1<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με ορθή αλληλοεμπλοκή



4.32 α Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ1

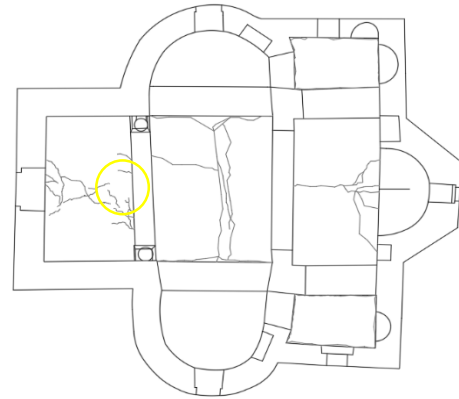
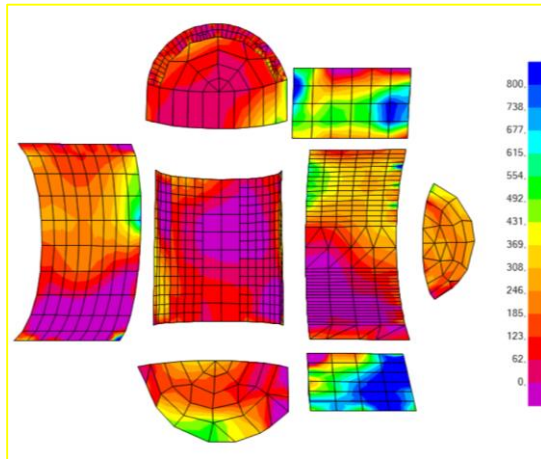


4.32 β Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ4

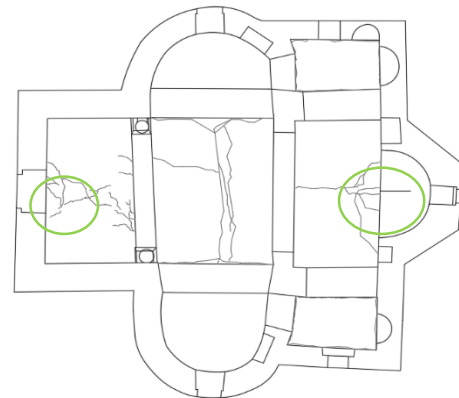
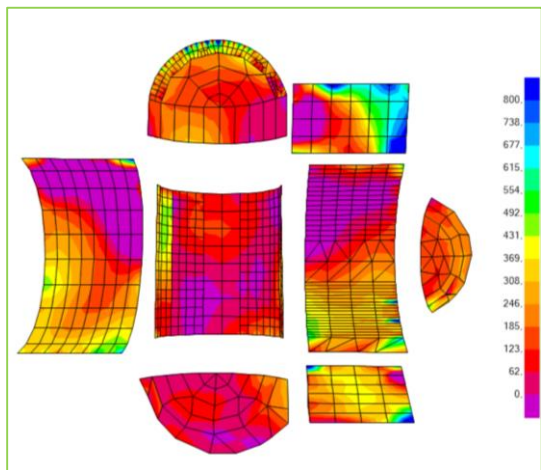


4.32 γ Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eα4

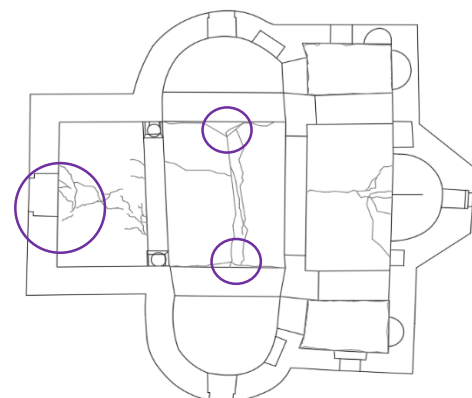
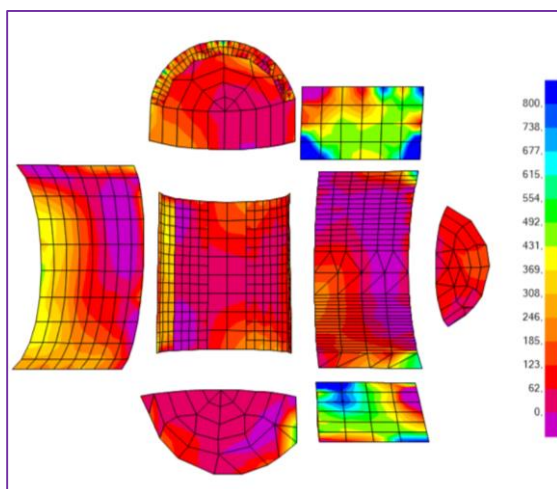
2<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό αρμό



4.32 δι Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ1



4.32 ε Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eγ4



4.32 φ Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Eχ4



## 4.5 Έλεγχοι για την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς του ναού

Ακολούθως αναγράφονται τα αποτελέσματα των ελέγχων σε πεσσούς και σε υπέρθυρα του ναού. Οι έλεγχοι γίνονται για θλίψη, διάτμηση και εκτός επιπέδου κάμψη. Αρχικά γίνεται μια περιγραφή της διαδικασίας ελέγχου για κάθε ένταση ξεχωριστά δηλαδή την θλιπτική δύναμη, την διάτμηση και την ροπή εκτός επιπέδου σε κάθε όψη εσωτερικά και εξωτερικά του ναού και ύστερα παρουσιάζονται οι διατομές που στοχούν σε ένα ή σε περισσότερα από αυτά.

Περιγραφή των ελέγχων

- Θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας

Ο έλεγχος της θλιπτικής αντοχής θα πραγματοποιηθεί σε όρους δυνάμεων σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$N_d \leq N_R = f_{wc} \times A \quad (6.1)$$

$N_d$  : δράση αξονικής δύναμης

$N_R$  : αντοχή σε αξονική δύναμη

$f_{wc}$  : αντοχή της τρίστρωτης τοιχοποιίας

$A$  : Εμβαδό της επιθυμητής διατομής

- Διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας

Ο έλεγχος της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας γίνεται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 6: (σχ. 6.2.) Αξιοσημείωτο είναι ότι όσο μεγαλύτερη είναι η κατακόρυφη θλιπτική τάση τόσο μεγαλύτερη είναι η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας.

$$V_{Rd} = f_v \times t \times l_c \quad (6.2)$$

$V_{Rd}$  : τέμνουσα δύναμη

$f_v$  : διατμητική αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας όπως προκύπτει από την σχέση (3)

$t$  : πάχος της διατομής

$l_c$  : μήκος αρηγμάτωσης διατομής

$$f_v = f_{vk0} + 0.4 \times \sigma_d \leq 0.065 \times f_b \quad (6.3)$$

$f_{vk0}$  : διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας χωρίς την ύπαρξη της ορθής κατακόρυφης τάσης, η συνάφεια κονιάματος τοιχοσώματος

$\sigma_d$  : ορθή τάση σχεδιασμού στο σημείο ελέγχου για τον συνδυασμό των φορτίων σχεδιασμού.

Αφορά το θλιβόμενο τμήμα του τοίχου αφού το εφελκυσμένο τμήμα του δεν συμμετέχει στην παραλαβή το διατμητικών φορτίων

$f_b$  : θλιπτική αντοχή λιθοσωμάτων

$$\sigma_d = \frac{N}{l_c \times t}$$

(6.4)

Οι αστοχίες σε διατμητική αντοχή εκδηλώνονται συνηθέστερα με λοξές ρωγμές.

- Αντοχή σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα και οριζόντια στους αρμούς της τοιχοποιίας

Ο έλεγχος σε αστοχία ροπής εκτός επιπέδου θα πραγματοποιηθεί και σε περιπτώσεις που είναι κάθετα και οριζόντια στους αρμούς. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η αστοχία κάθετα στους αρμούς είναι πολύ μεγαλύτερη από την αστοχία παράλληλα στους οριζόντιους αρμούς της τοιχοποιίας. Στην αντοχή της πρώτης περίπτωσης συμβάλλει η αλληλοεμπλοκή των λιθοσωμάτων ενώ στην δεύτερη περίπτωση συμβάλλει το κατακόρυφο αξονικό φορτίο.

-Για αστοχία κάθετα στους αρμούς  
Πραγματοποιείται σύγκριση της τάσης που προκύπτει από την σχ5 και της εφελκυστικής αντοχής.

$$\sigma_t = \frac{M_s}{W} = \frac{6 \times M_s}{l \times t^2} < f_t \quad (6.5)$$

$M_s$  :ροπή κάθετα στους αρμούς της τοιχοποιίας

$l$  :μήκος της εξεταζόμενης διατομής

$t$  :πάχος της εξεταζόμενης διατομής

$f_t$  :εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας

-Για αστοχία παράλληλα στους αρμούς

Πραγματοποιείται σύγκριση της ροπής δράσης και της ροπής αντοχής της εξεταζόμενης διατομής

$$M_R = \frac{\sigma l t^2}{2} \left( 1 - \frac{\sigma}{f_c} \right) > M_s \quad (6.6)$$

$\sigma$  : μέση θλιπτική τάση

$l$  : μήκος της διατομής

$t$  : πάχος της διατομής









$f_c$  : θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας

### Αποτελέσματα ελέγχων

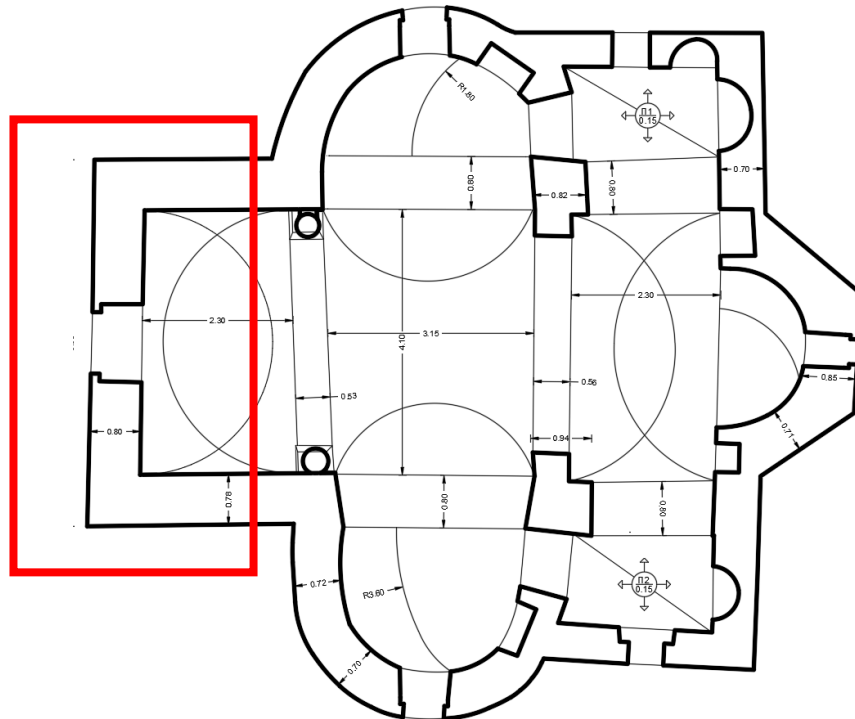
Στην παρούσα ενότητα θα ελεγχθούν σε κάθε όψη ξεχωριστά οι αστοχίες ως προς τις εντάσεις που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Λόγω της υψηλής αβεβαιότητας στην κατασκευή του ναού εξετάστηκαν δύο μοντέλα. Το πρώτο μοντέλο αφορά την προσομοίωση του ναού επιτρέποντας την αλληλοεμπλοκή μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων ενώ στο δεύτερο μοντέλο οι δύο κατασκευαστικές φάσεις έχουν ρυθμιστεί ανεξάρτητες μεταξύ τους. Στην συνέχεια συγκρίνονται ως προς την ταύτιση τους με την υφιστάμενη κατάσταση. Σε κάθε περίπτωση αστοχίας θα αναφέρεται και ο συνδυασμός φόρτισης (σεισμικός ή ΟΚΑ) που το προκάλεσε.

Σε κάθε όψη (εξωτερικά και εσωτερικά του ναού) είναι σημειωμένες οι διατομές που θα εξεταστούν σε θλίψη, διάτμηση και εκτός επιπέδου κάμψη. Οι διατομές που θα ελεγχθούν θα είναι ίδιες και για τα δύο μοντέλα. Έπειτα από κάθε όψη θα ακολουθεί λίστα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Η λίστα σε κάθε διατομή ελέγχου αποτελείται από δύο στήλες. Η πρώτη αφορά το μοντέλο με ενωμένες τις δύο κατασκευαστικές φάσεις και το δεύτερο αφορά το μοντέλο στο οποίο διατηρείται ο αρμός μεταξύ τους. Ο κάθε συνδυασμός που αστοχεί σημειώνεται με το αντίστοιχο χρώμα που υποδεικνύεται

στον παρακάτω πίνακα. Επιπροσθέτως ενδεικτικά θα φανεί ο τρόπος υπολογισμού της αστοχίας για μία διατομή ελέγχου για κάθε περίπτωση ελέγχου διάτμησης και ροπής εκτός επιπέδου. Η θλιπτική δύναμη γενικά δεν είναι κρίσιμη, θα εξεταστεί μόνο για την περίπτωση των πεσσών.

(Ey1)	$G+0.6 \times q + E_y + 0.3 \times E_x$	
(Ey2)	$G+0.6 \times q + E_y - 0.3 \times E_x$	
(Ey3)	$G+0.6 \times q - E_y + 0.3 \times E_x$	
(Ey4)	$G+0.6 \times q - E_y - 0.3 \times E_x$	
(Ex1)	$G+0.6 \times q + 0.3 \times E_y + E_x$	
(Ex2)	$G+0.6 \times q + 0.3 \times E_y - E_x$	
(Ex3)	$G+0.6 \times q - 0.3 \times E_y + E_x$	
(Ex4)	$G+0.6 \times q - 0.3 \times E_y - E_x$	

- Δυτική Όψη



4. 33 Επισήμανση της εξεταζόμενης όψης

Πίνακας 4. 5 Αποτελέσματα σε τέμνουσα για την περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου (με αλληλοεμπλοκή λίθων)

Τέμνουσα	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	104	96,35	✓	163	101,8	✓	240	111,17	✓	217	117	✓
	ΠΔ4	110	63,33	✓	115	51,1	✓	80	48,75	✓	31	36,5	×
	ΠΔ5	121	69,75	✓	124	78,76	✓	75	100,6	×	90,2	109,61	×
	ΠΔ6-7	112	108	✓	191	97,7	✓	150	85,7	✓	137	75,4	✓
	ΥΔ7-Δ11	17,3	115	×	2	111	×	0	107	×	2,8	104	×
	ΥΔ12	19	6,84	✓	4,3	0,67	✓	29	124	×	33,6	130	×

Πίνακας 4. 6 Αποτελέσματα σε τέμνουσα για την περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου (με αρμό)

Τέμνουσα	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	30	33	×	188	83	✓	232	94	✓	211	101	✓
	ΠΔ4	171	51	✓	177	40	✓	108	38	✓	75	28	✓
	ΠΔ5	136	75	✓	138	75	✓	164	99	✓	148	110	✓
	ΠΔ6-7	156	114	✓	174	102	✓	141	95	✓	131	71	✓
	ΥΔ7-Δ11	70	90	×	63	88	×	63	86	×	84	85	×
	ΥΔ12	30	6,54	✓	15	0,41	✓	30	9,5	✓	30	125	×

1) Διατομή ελέγχου σε τέμνουσα σε πεσσό για την διατομή ΠΔ2 για την περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου και την φόρτιση Ey4

$$\sigma_d = \frac{N}{l_c \times t} = \frac{F_{33}}{1.95 \times 0.8} = \frac{138}{1.56} = 88.46 kPa$$

$$f_v = 100 + 0.4 \times 88.46 = 135 kPa$$

$$V_{Rd} = f_v \times t \times l_c = 135 \times 0.8 \times 1.95 = 211 kN < F_{22}$$

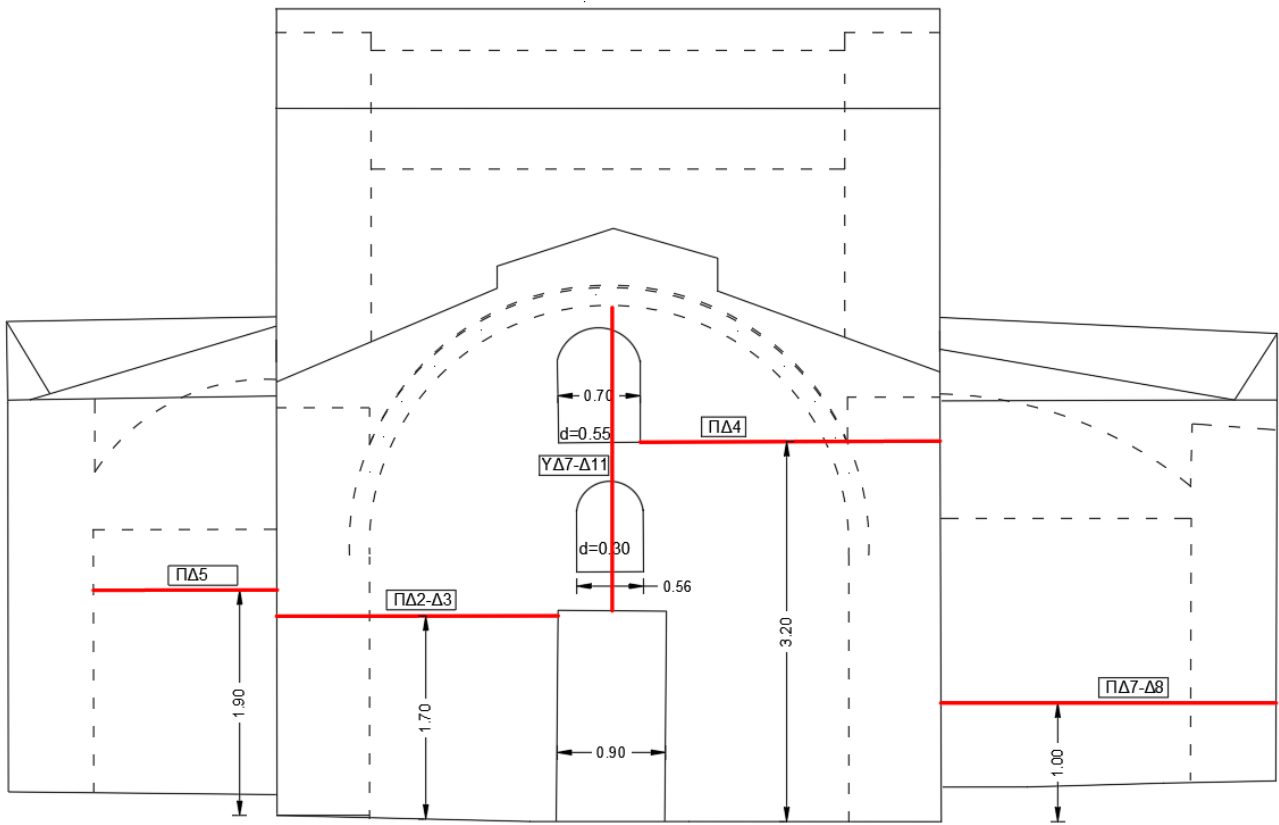
2) Διατομή ελέγχου σε υπέρθυρο για την διατομή ΥΔ12 για την περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου και την φόρτιση Ey4

$$l_c = 0.5 \times l = 0.5 \times 1.1 = 0.55 m$$

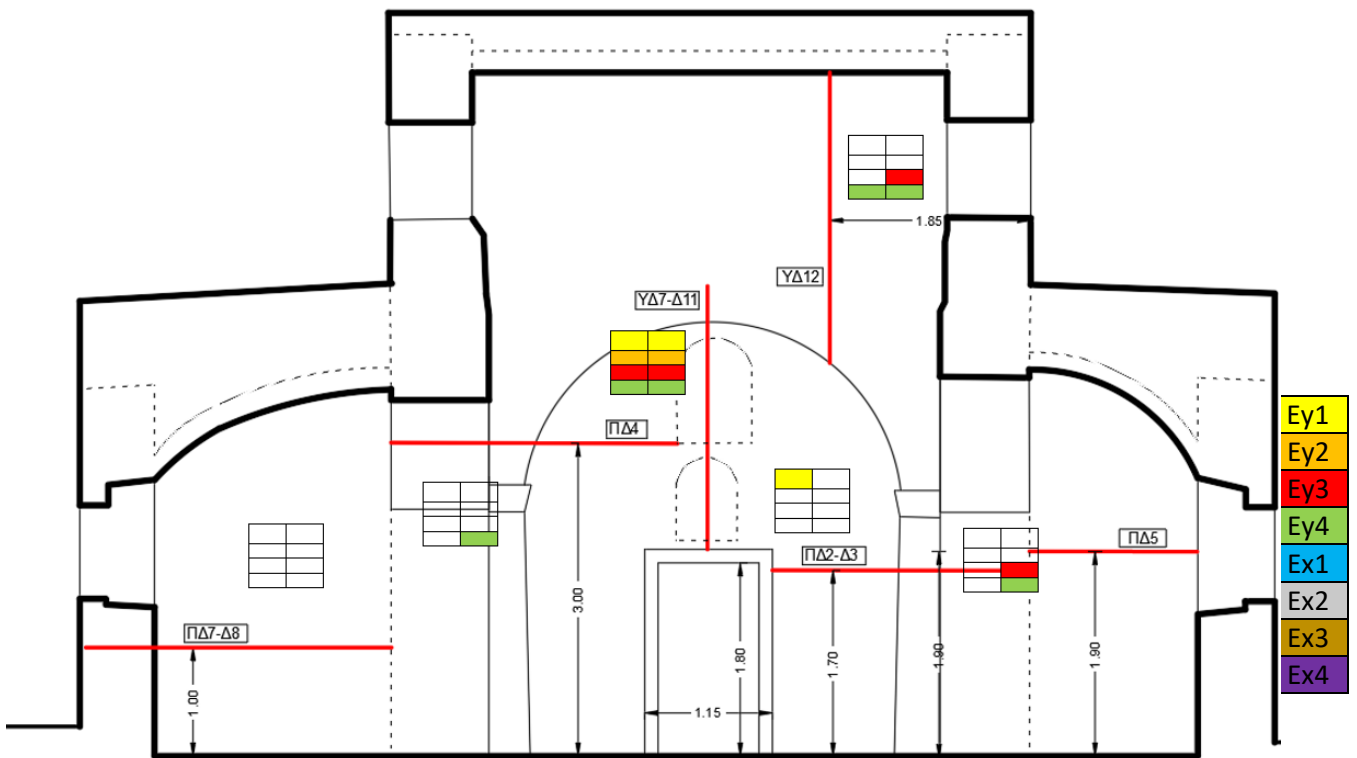
$$\sigma_d = \frac{N}{l_c \times t} = \frac{F_{22}}{0.55 \times 0.55} = \frac{6.5}{0.305} = 21.3 kPa$$

$$f_v = 100 + 0.4 \times 21.3 = 109 kPa$$

$$V_{rd} = 30 kN < F_{33} = 125 kN$$



4. 34 Επισημάτωση των διατομών ελέγχου στην Δυτική Όψη



4. 35 Αποτελέσματα και σύγκριση των δύο μοντέλων για τον έλεγχο σε τέμνουσα

**Συμπέρασμα:** Το ποσοστό των βλαβών στην Δυτική όψη στην περίπτωση της τέμνουσας του δεύτερου μοντέλου αυξάνεται κατά 33,33%.

Πίνακας 4. 7. Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση γ

Ροπή Ε.Ε ⊥ αρμούς	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	64,5	12	✓	64,5	25	✓	64,5	4,8	✓	64,5	18,27	✓
	ΠΔ4	64,5	3,9	✓	64,5	14,9	✓	64,5	2,88	✓	64,5	8,36	✓
	ΠΔ5	72	50	✓	72	59,89	✓	72	97	×	72	107	×
	ΠΔ6-7	72	83	×	72	76	×	72	57	✓	72	52	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΔ7- Δ11	6,3	80	×	0	60	×	9,1	36	×	0	17	×
	ΥΔ12	0	7,37	×	0	8,38	×	0	14,1	×	1,77	15,1	×

Πίνακας 4. 8. Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση χ

Ροπή Ε.Ε ⊥ αρμούς	Δ/Ε	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	64,5	14,2	✓	64,5	31	✓	64,5	21,78	✓	64,5	23,41	✓
	ΠΔ4	64,5	13,65	✓	64,5	24	✓	64,5	20	✓	64,5	17	✓
	ΠΔ5	72	17	✓	72	15,8	✓	72	31	✓	72	64,3	×
	ΠΔ6-7	72	42	✓	72	25	✓	72	16	✓	72	1,78	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΔ7-ΥΔ11	15	69	×	0	3,5	×	0	25,5	×	13,3	40,27	×
	ΥΔ12	1,2	1,7	×	0	1,7	×	0	5,04	×	3,52	2,52	×

Πίνακας 4. 9. Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση γ

Ροπή Ε.Ε ⊥ αρμούς	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	64,5	16,6	✓	64,5	30,14	✓	64,5	6,97	✓	64,5	20,53	✓
	ΠΔ4	64,5	6,53	✓	64,5	17,3	✓	64,5	1,49	✓	64,5	9,33	✓
	ΠΔ5	72	62,6	✓	72	72,2	✓	72	97,6	×	72	106	×
	ΠΔ6-7	72	81	✓	72	75	✓	72	55	✓	72	48,95	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΔ7- Δ11	2,5	11,7	×	0	4	×	0	5,83	×	0	1,86	×
	ΥΔ12	0	3	×	0	3,64	×	0	3,9	×	2,08	4,5	×

Πίνακας 4. 10 Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση x

Ροπή Ε.Ε ⊥ αρμούς	Δ/Ε	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	64,5	12,16	✓	64,5	32,94	✓	64,5	21,78	✓	64,5	23,32	✓
	ΠΔ4	64,5	11,64	✓	64,5	24,37	✓	64,5	19,62	✓	64,5	16,34	✓
	ΠΔ5	72	8,14	✓	72	24	✓	72	27	✓	72	59	✓
	ΠΔ6-7	72	42,62	✓	72	22,44	✓	72	16,52	✓	72	3,6	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΔ7- Δ11	5,53	17,23	×	0	8,42	×	0	11,37	×	4,75	14,28	×
	ΥΔ12	0	0,34	×	0	1,74	×	0	0,51	×	2,31	2,6	×

1)Διατομή ελέγχου ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς σε πεσό για την διατομή ΠΔ2 για την περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου και την φόρτιση Ex2

$$\sigma_t = \frac{M_s}{W} = \frac{6 \times M_s}{l \times t^2} < f_t \quad (4.5)$$

$M_s$  :ροπή κάθετα στους αρμούς της τοιχοποιίας ( $M3=6.44\text{kNm}$ )

$l$  :μήκος της εξεταζόμενης διατομής ( $l=1.95\text{m}$ )

$t$  :πάχος της εξεταζόμενης διατομής ( $t=0.80$ )

$f_t$  :εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας ( $f_t=64.5\text{kPa}$ )

$$\sigma_t = 31\text{kPa} < 64,5\text{kPa}$$

2)Διατομή ελέγχου ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς σε τόξο (ΥΔ12) για την περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου και του συνδυασμού φόρτισης Ex4

Πραγματοποιείται σύγκριση της ροπή δράσης και της ροπής αντοχής της εξεταζόμενης διατομής

$$M_R = \frac{\sigma}{2} l t^2 \left( 1 - \frac{\sigma}{f_c} \right) > M_s \quad (4.6)$$

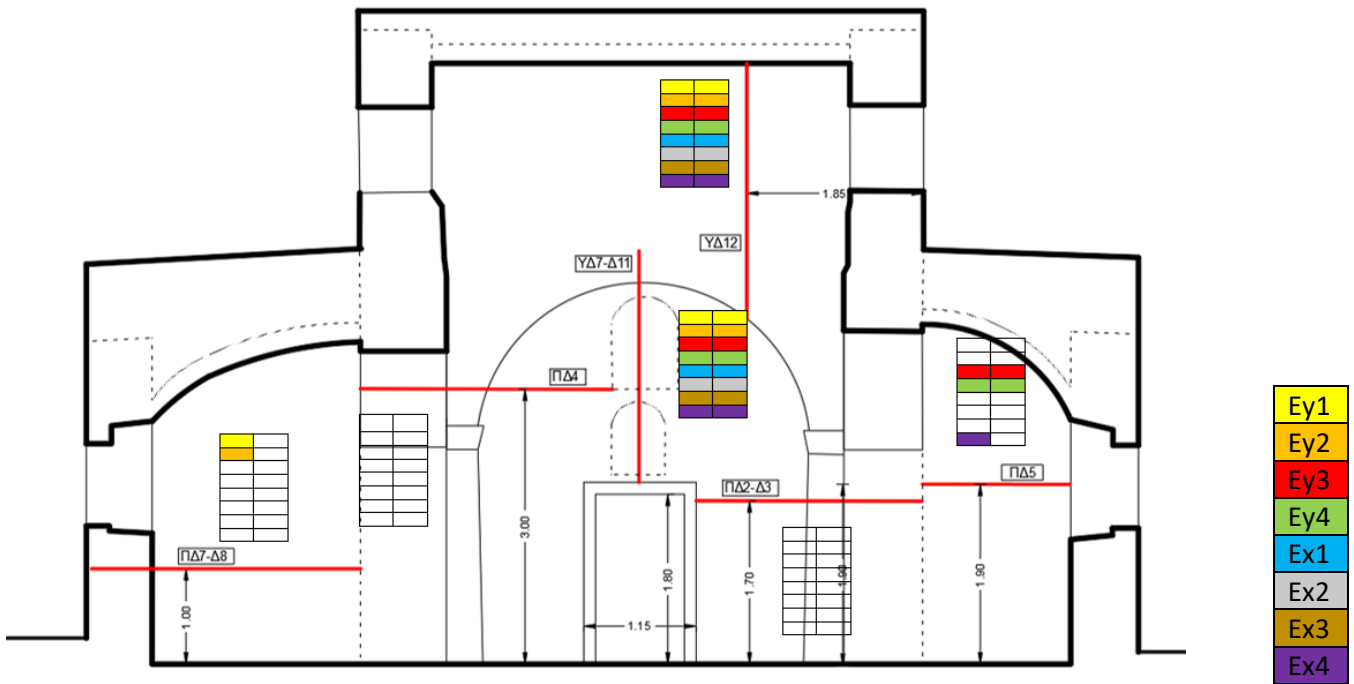
$\sigma$  : μέση θλιπτική τάση ( $\sigma=N/(l \times t)=F11/(1.9 \times 0.80)=13/(1.1 \times 0.55)=21 \text{ kPa}$ )

$l$  : μήκος της διατομής ( $l=1.1\text{m}$ )

$t$  : πάχος της διατομής ( $t=0.55\text{m}$ )

$f_c$  : θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας ( $f_c=1290\text{kPa}$ )

$$M_R = 3,52\text{kNm} > M_s = M33 = 2.5\text{kNm}$$



4. 36 Αποτελέσματα και σύγκριση των δύο μοντέλων για τον έλεγχο σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς

Συμπέρασμα: Το ποσοστό των βλαβών στην Δυτική όψη στην περίπτωση της ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς του δεύτερου μοντέλου είναι μειωμένο κατά 14,3%.



Πίνακας 4. 11 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση γ στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου

Ροπή Ε.Ε    αρμούς	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	10,43	1,32	✓	30,53	3,6	✓	69	0,76	✓	51	1,52	✓
	ΠΔ4	14,25	0,77	✓	20,9	1,73	✓	4,18	2,35	✓	2,75	0,15	✓
	ΠΔ5	11,82	2,31	✓	13,4	0,25	✓	38,7	0,68	✓	37,5	1,88	✓
	ΠΔ6-7	54,6	3,04	✓	63,58	3,88	✓	11,8	2,22	✓	1,65	1,37	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΔ7- Δ11	64,5	1428	×	64,5	1071	×	64,5	632	×	64,5	300	×
	ΥΔ12	64,5	109	×	64,5	42	✓	64,5	170	×	64,5	103	×

Πίνακας 4. 12 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση x στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου

Ροπή Ε.Ε    αρμούς	Δ/Ε	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	1,59	2,32	×	65,6	5,26	✓	76,5	4,41	✓	14,7	3,18	✓
	ΠΔ4	0	3,47	×	0,34	4,87	×	22,86	5,05	✓	18	3,29	✓
	ΠΔ5	19,12	5,15	✓	24	3,39	✓	32	3,52	✓	26,65	5,02	✓
	ΠΔ6-7	26	1,47	✓	57	4,28	✓	41,8	3,78	✓	9,25	0,97	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΔ7- Δ11	64,5	1232	×	64,5	62,5	✓	64,5	456	×	64,5	717	×
	ΥΔ12	64,5	114	×	64,5	111	×	64,5	175	×	64,5	57,7	✓

Πίνακας 4. 13. Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση γ στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου

Ροπή Ε.Ε    αρμούς	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	0,91	1,69	×	23,54	3,9	✓	75,56	0,62	✓	56,54	1,6	✓
	ΠΔ4	16	0,76	✓	22	1,95	✓	2,4	2,7	✓	0	0,026	✓
	ΠΔ5	12	3	✓	15	1	✓	36	0,7	✓	33,6	1,36	✓
	ΠΔ6-7	44,6	1,32	✓	56,6	0,91	✓	20,83	6,46	✓	7,7	4,23	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΔ7- Δ11	64,5	415	×	64,5	321	×	64,5	216	×	64,5	123,75	×
	ΥΔ12	64,5	158	×	64,5	87	×	64,5	212	×	64,5	140	×

Πίνακας 4. 14 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση x στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου

Ροπή Ε.Ε    αρμούς	Δ/Ε	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	0	2	×	65	5,34	✓	80	4,36	✓	12,6	3	✓
	ΠΔ4	0,71	3,68	×	23,5	5,4	×	17,55	5,62	✓	0	3,46	✓
	ΠΔ5	16,2	4,9	✓	25,6	2	✓	31,8	2,5	✓	22,73	4,36	✓
	ΠΔ6-7	17,5	2	✓	58,3	5,46	✓	47,8	7,13	✓	5,9	0,32	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΔ7-ΥΔ11	64,5	334	×	64,5	26	✓	64,5	134	×	64,5	173	×
	ΥΔ12	64,5	136	×	64,5	101	×	64,5	190	×	64,5	4	✓

1) Παράδειγμα ελέγχου ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς Διατομή ελέγχου πεσσού (ΠΔ2-ΠΔ3) για την περίπτωση του συνδυασμού Ey1 στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου.

Πραγματοποιείται σύγκριση της ροπή δράσης και της ροπής αντοχής της εξεταζόμενης διατομής

$$M_R = \frac{\sigma l t^2}{2} \left( 1 - \frac{\sigma}{f_c} \right) > M_s \quad (6)$$

$\sigma$  : μέση θλιπτική τάση ( $\sigma=N/(l \times t)=F_{33}/(1.9 \times 0.80)=26/(1.9 \times 0.8)=16,7$  kPa)

$l$  : μήκος της διατομής ( $l=1.9$ m)

$t$  : πάχος της διατομής ( $t=0.8$ m)

$f_c$  : θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας ( $f_c=1290$ kPa)

$M_R=10,43$ kNm <  $M_s=M_1=1.32$ kNm

2) Διατομή ελέγχου τόξου (ΥΔ12) για την περίπτωση του συνδυασμού Ex4.

$$\sigma_t = \frac{M_s}{W} = \frac{6 \times M_s}{l \times t^2} < f_t \quad (5)$$

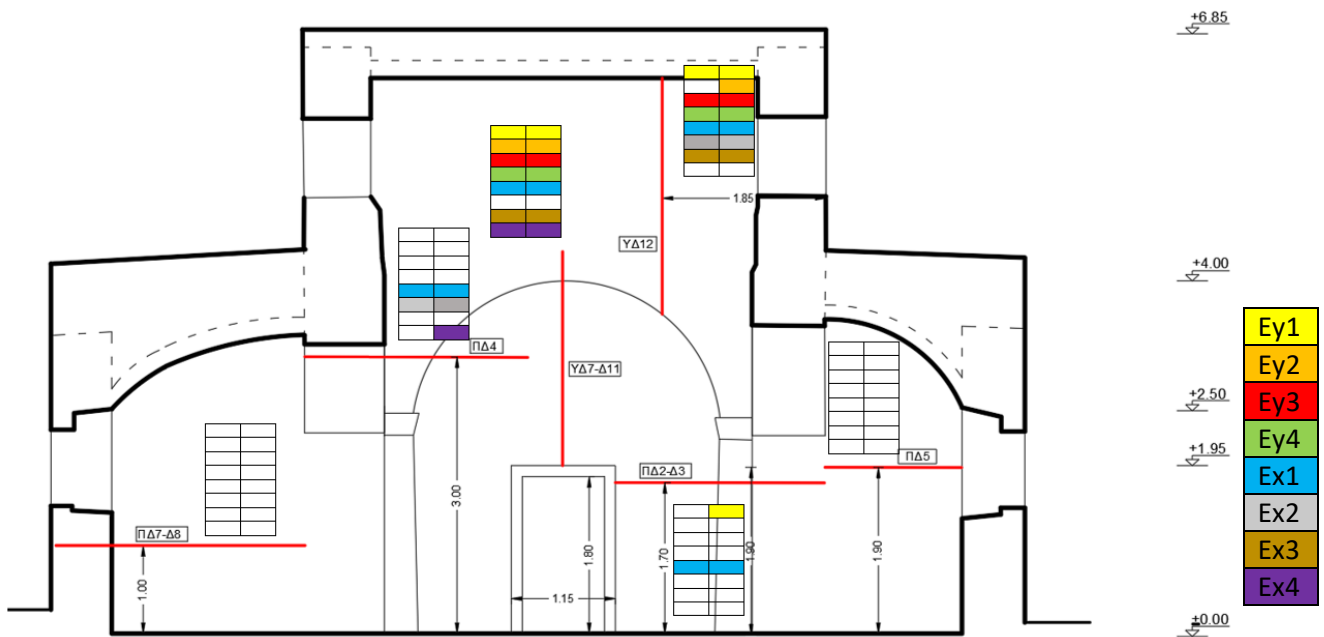
$M_s$  : ροπή κάθετα στους αρμούς της τοιχοποιίας ( $M_1=3,20$ kNm)

$l$  : μήκος της εξεταζόμενης διατομής ( $l=1.1$ m)

$t$  : πάχος της εξεταζόμενης διατομής ( $t=0.55$ m)

$f_t$  : εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας ( $f_t=64,5$ kPa)

$\sigma_t=57,7$ kPa <  $64,5$ kPa

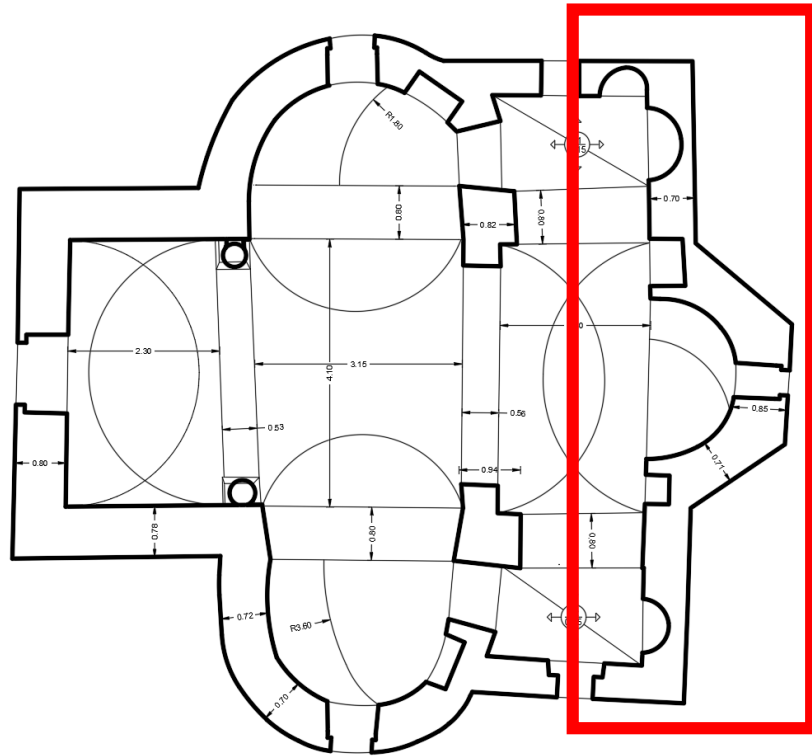


4. 37 Αποτελέσματα και σύγκριση των δύο μοντέλων για τον έλεγχο σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς

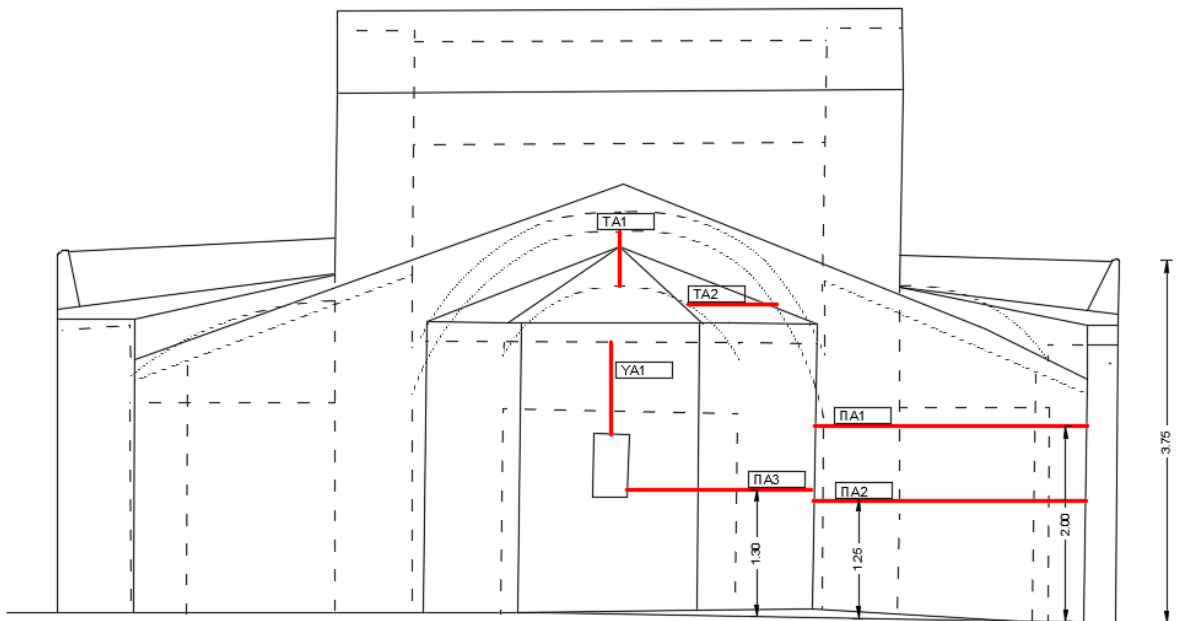
Συμπέρασμα: Το ποσοστό των βλαβών στην Δυτική όψη στην περίπτωση της τέμνουσας του δεύτερου μοντέλου αυξάνεται κατά 15,9%.

Παρατηρήσεις-Σχόλια: Οι ρωγμές στην Δυτική όψη (βλ. Σχέδιο Παθολογίας και Κεφ.3) είναι κατά το πλείστον λοξές αποκαλύπτοντας την αδυναμία των κατακόρυφων στοιχείων του στην διάτμηση. Κατά τον έλεγχο των εντάσεων, το μοντέλο που αναδεικνύει σε μεγαλύτερο ποσοστό την εν λόγω αδυναμία είναι η δεύτερη περίπτωση με αρμό

- Ανατολική Όψη



4. 38. Επισήμανση της Ανατολικής όψης στην κάτοψη



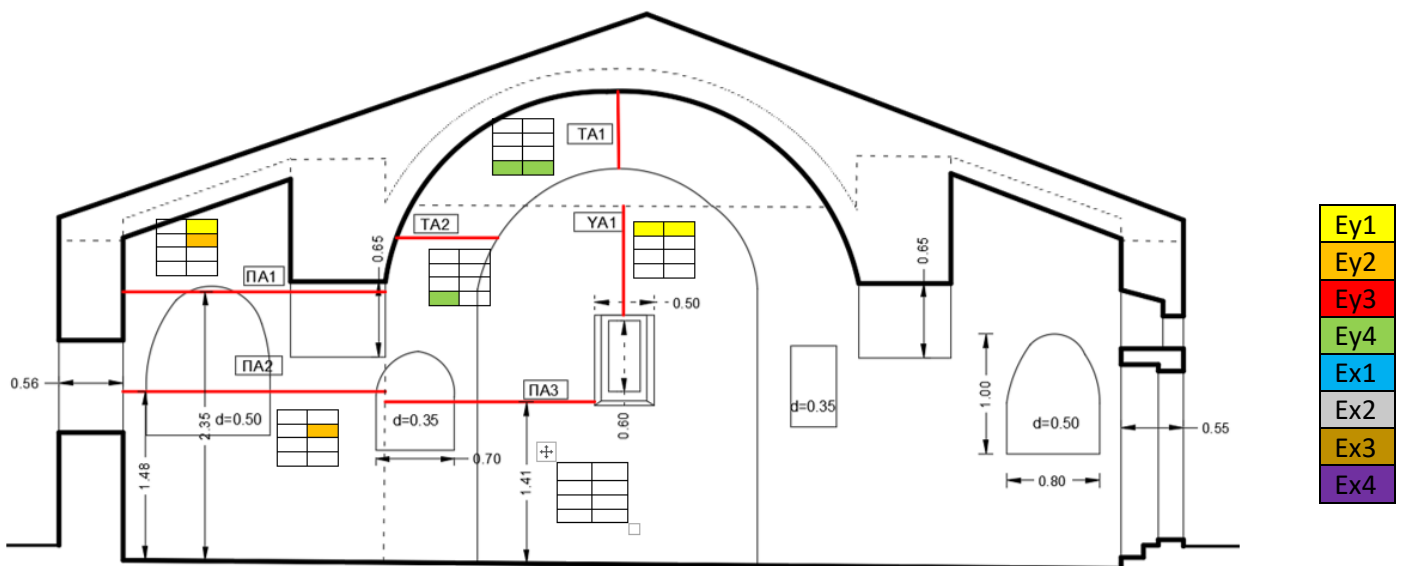
4. 39 Επισήμανση των διατομών ελέγχου στην Ανατολική Όψη

Πίνακας 4. 15 Έλεγχος σε τέμνουσα στην ανατολική όψη του 1<sup>ου</sup> μοντέλου κατά την διεύθυνση γ

Τέμνουσα	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	163	18	✓	160	27	✓	249	15	✓	193	5	✓
	ΠΑ2	124	48	✓	100	51	✓	160	88	✓	167	92	✓
	ΠΑ3	168	77	✓	160	77	✓	152	60	✓	101	37	✓
	ΤΑ2	80	32	✓	72	12	✓	114	32	✓	82	51	✓
	ΤΑ1	20,4	8	✓	28	13	✓	21	25	✓	0	5,47	×
	ΥΑ1	10	25	×	18	25	✓	40	26	✓	27,5	26	✓

Πίνακας 4. 16 Έλεγχος σε τέμνουσα στην ανατολική όψη του 1<sup>ου</sup> μοντέλου κατά την διεύθυνση γ

Τέμνουσα	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	0,43	9,97	×	0	5,42	×	149	27	✓	152	22	✓
	ΠΑ2	4,39	1,05	✓	0	8,6	×	173	31,8	✓	182	41,4	✓
	ΠΑ3	141	73,3	✓	133	12,35	✓	134,4	52,7	✓	143	33	✓
	ΤΑ2	63	61,68	✓	43	0,43	✓	72	11,52	✓	80,6	73,65	✓
	ΤΑ1	21,2	11,14	✓	28	4,83	✓	24,2	6,92	✓	7	22,9	×
	ΥΑ1	1	11,25	×	9,51	6,9	✓	39	11,58	✓	32	7,25	✓



4. 40 Επισήμανση των αστοχιών σε τέμνουσα στην τομή ΑΑ' για το 1<sup>ο</sup> και το 2<sup>ο</sup> μοντέλο

Συμπέρασμα: Το ποσοστό των βλαβών στην Ανατολική όψη λόγω τέμνουσας αυξήθηκε κατά 40%

Πίνακας 4. 17. Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης στην **διεύθυνση γ**

		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	64,5	10,32	✓	64,5	7,74	✓	64,5	9,23	✓	64,5	6,65	✓
	ΠΑ2	64,5	10,52	✓	64,5	15,8	✓	64,5	28	✓	64,5	33	✓
	ΠΑ3	64,5	58,9	✓	64,5	8,68	✓	64,5	0,76	✓	64,5	51	✓
	ΤΑ2	64,5	13,52	✓	64,5	3,6	✓	64,5	1	✓	64,5	8,94	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΤΑ1	7	2,4	✓	0	1,53	×	0	0,7	×	3,67	0,18	✓
	ΥΑ1	0	9,55	×	1,5	3,82	×	0	4,12	×	0	9,25	×

Πίνακας 4. 18 Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης στην **διεύθυνση x**

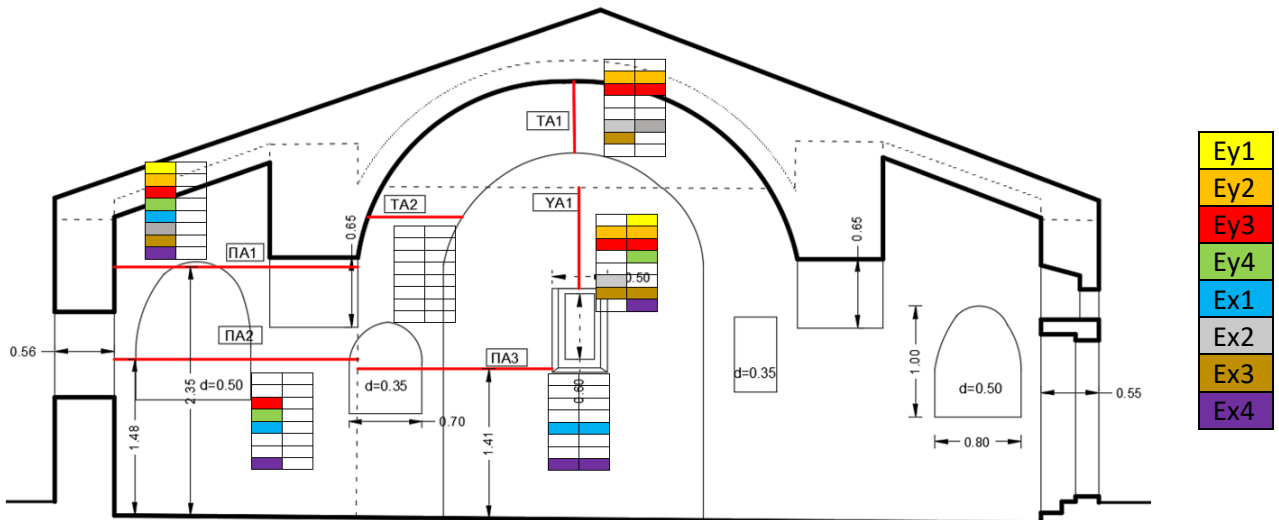
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	64,5	149	×	64,5	66	×	64,5	67	×	64,5	282	×
	ΠΑ2	64,5	9,7	✓	64,5	51	✓	64,5	81	×	64,5	123	×
	ΠΑ3	64,5	48	✓	64,5	5,63	✓	64,5	3,62	✓	64,5	46,37	✓
	ΤΑ2	64,5	4,41	✓	64,5	24,5	✓	64,5	28,4	✓	64,5	48,5	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΤΑ1	6,58	3,76	✓	0	2,48	×	0	2,11	×	2,16	0,82	✓
	ΥΑ1	5,4	1,52	✓	0	0,44	×	0	0,73	×	7,14	1,81	✓

Πίνακας 4. 19 Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση 2<sup>ου</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης **κατά γ**

		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	64,5	449	×	64,5	272	×	64,5	232	×	64,5	488	×
	ΠΑ2	64,5	84,9	×	64,5	52,37	✓	64,5	12,53	✓	64,5	125	×
	ΠΑ3	64,5	97,61	×	64,5	45	✓	64,5	45,6	✓	64,5	97	×
	ΤΑ2	64,5	37,5	✓	64,5	29,3	✓	64,5	28,8	✓	64,5	53,3	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΤΑ1	12,5	3,65	✓	0	0,63	×	0	2	×	11	2,28	✓
	ΥΑ1	13,56	2,78	✓	0	0,71	×	0	0,62	×	14	2,96	✓

Πίνακας 4. 20 Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση 2<sup>ου</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης **κατά x**

		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	64,5	7,35	✓	64,5	1,16	✓	64,5	6,27	✓	64,5	2,24	✓
	ΠΑ2	64,5	11	✓	64,5	6,65	✓	64,5	6,52	✓	64,5	24,12	✓
	ΠΑ3	64,5	114	×	64,5	52,7	✓	64,5	55	✓	64,5	112	×
	ΤΑ2	64,5	12	✓	64,5	9,6	✓	64,5	11	✓	64,5	22	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΤΑ1	14	2,66	✓	0	0,27	×	0	0,94	×	13	2	✓
	ΥΑ1	8,91	5,22	✓	8,2	1,2	✓	0	0,2	×	0	9,55	×



4. 41 Σύγκριση για την ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην τομή ΑΑ'

Συμπέρασμα: Το ποσοστό των βλαβών είναι μειωμένο κατά 45% στην Ανατολική όψη στην περίπτωση του δεύτερου μοντέλου για τον έλεγχο της ροπής εκτός επιπέδου εγκάρσια στους αρμούς.

Πίνακας 4. 21 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την **διεύθυνση γ** στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου

		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	5,24	5,28	×	2,32	0,57	✓	13,3	1,91	✓	16,14	2,8	✓
	ΠΑ2	5,36	3,3	✓	0	0,37	×	41	2,23	✓	48	5,16	✓
	ΠΑ3	38	12,9	✓	32	19,2	✓	26,5	6,78	✓	33	0,5	✓
	TA2	13,28	5,07	✓	6,54	0,83	✓	15,4	0,68	✓	21,53	4,92	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	TA1	64,5	17,34	✓	64,5	2,44	✓	64,5	21,4	✓	64,5	41,43	✓
	YA1	64,5	48,5	✓	64,5	44,76	✓	64,5	22,4	✓	64,5	9,37	✓

Πίνακας 4. 22: Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την **διεύθυνση x** στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου

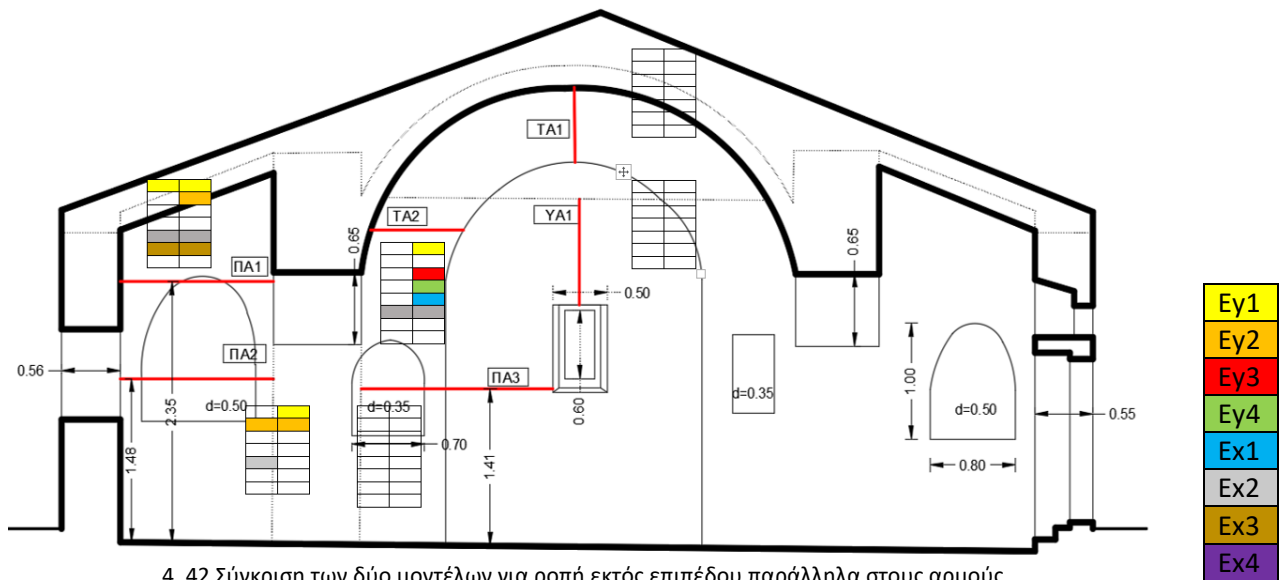
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	0	3,53	×	0	0,39	×	403	0,7	✓	488	3,22	✓
	ΠΑ2	0	0,97	×	0	0,98	×	52	3,3	✓	61,4	5,22	✓
	ΠΑ3	36	12	✓	30,26	20	✓	31,5	8,23	✓	37,8	0,52	✓
	TA2	2,82	6,56	×	4,46	1	✓	0	0,87	×	0	6,46	×
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	TA1	64,5	20,8	✓	64,5	0,55	✓	64,5	29	✓	64,5	50,4	✓
	YA1	64,5	60,5	✓	64,5	55,64	✓	64,5	55,64	✓	64,5	51,72	✓

Πίνακας 4. 23 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την **διεύθυνση γ** στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΠΑ1	12,45	9,91	✓	2,8	5,8	×	6,06	6,54	×	15,7	9,17	✓
	ΠΑ2	29,15	7,37	✓	4,47	2,4	✓	17,57	1,84	✓	41,82	7,92	✓
	ΠΑ3	44	1,25	✓	22,4	22,19	✓	21	18,46	✓	42,5	2,48	✓
	TA2	23,4	9,96	✓	1,53	4,16	×	4,38	4,2	✓	25,63	9,92	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	TA1	64,5	43	✓	64,5	17,34	✓	64,5	10,2	✓	64,5	56,32	✓
	YA1	64,5	19,5	✓	64,5	6,5	✓	64,5	13,46	✓	64,5	13,15	✓

Πίνακας 4. 24 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την **διεύθυνση x** στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΠΑ1	18	8	✓	5,74	5	×	43,7	5,2	×	188	7,9	✓
	ΠΑ2	31	4,72	✓	0,52	1,77	✓	20,35	0,5	✓	50	6	✓
	ΠΑ3	44	1	✓	23	24,7	✓	23,7	21,26	✓	44,53	4,43	✓
	TA2	0	13	×	11,33	5,54	×	2,34	5,58	✓	0	13	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	TA1	64,5	56	✓	64,5	15,1	✓	64,5	6,32	✓	64,5	65	✓
	YA1	64,5	25,25	✓	64,5	12	✓	64,5	21,4	✓	64,5	8,16	✓

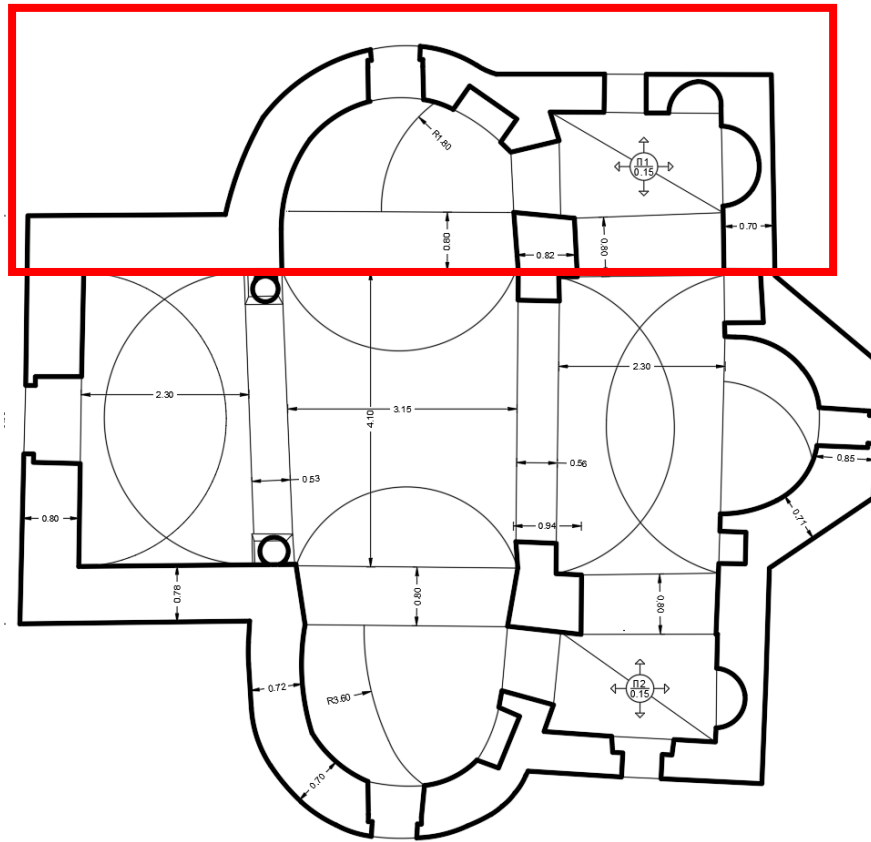


4. 42 Σύγκριση των δύο μοντέλων για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς.

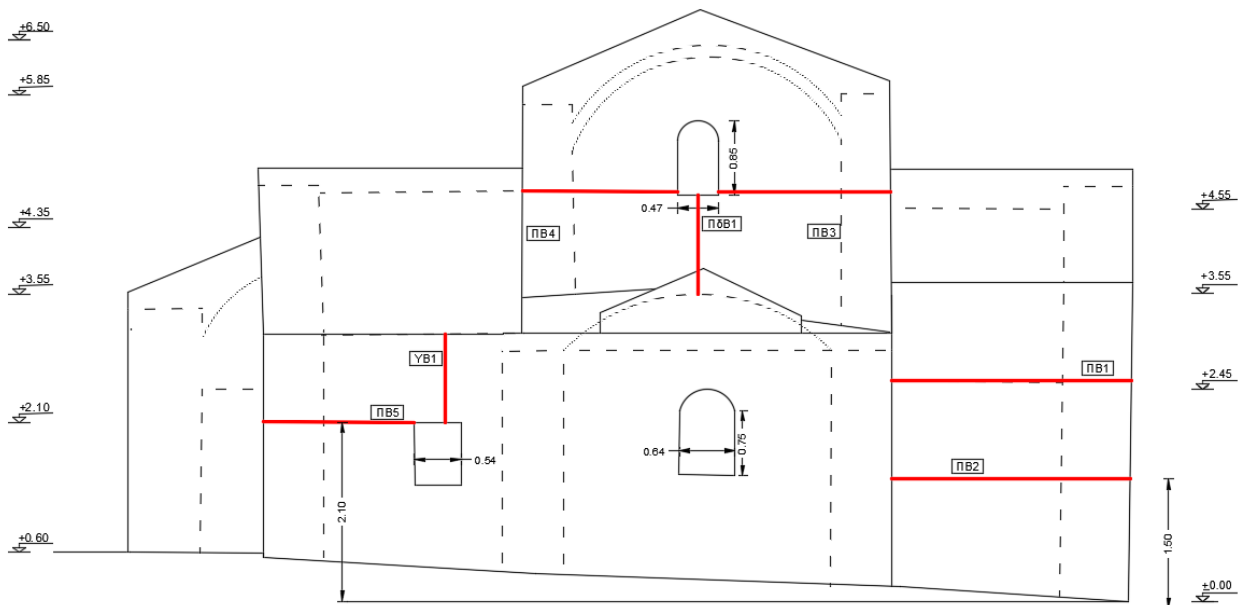
Συμπέρασμα: Το ποσοστό των βλαβών είναι αυξημένο κατά 45% στην περίπτωση της Ανατολικής όψης στην περίπτωση του δεύτερου μοντέλου για τον έλεγχο της ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς



- Βόρεια Όψη και τομή ΒΒ'



4. 43. Επισήμανση της εξεταζόμενης όψης και τομής



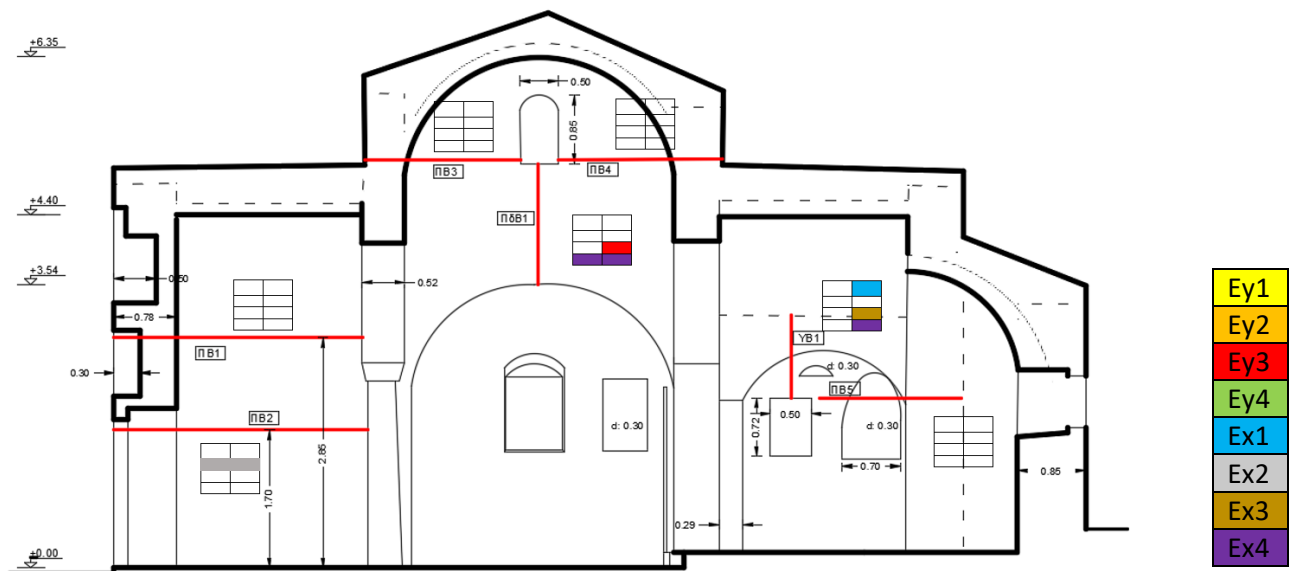
4. 44. Επισήμανση των διατομών ελέγχου στην βόρεια όψη

Πίνακας 4. 25: Έλεγχος αντοχής σε τέμνουσας στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου προσομοίωσης

	Δ/Ε	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	235	3,94	✓	255	40,67	✓	258	0,48	✓	190	44,23	✓
	ΠΒ2	204	16,78	✓	327	105,1	✓	333	96,97	✓	258	24,89	✓
	ΠΒ3	122,7	11,2	✓	125	27,83	✓	135,6	29,25	✓	99,68	12,62	✓
	ΠΒ4	137	19,65	✓	81	9,09	✓	84	4,59	✓	171	24,15	✓
	ΠΒ5	136	19,25	✓	98	6,28	✓	54,9	19,9	✓	146	5,6	✓
	ΥΒ1	42	64	×	71	66,7	✓	37,9	59,5	×	29,4	71,5	×
	ΠΔΒ1	49	55,13	✓	134,8	103	✓	95,2	101	×	0	57,4	×

Πίνακας 4. 26: Έλεγχος αντοχής σε τέμνουσα στην 2<sup>η</sup> περίπτωση μοντέλου προσομοίωσης – με αρμό

		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	235	66	✓	252	41	✓	254	27	✓	237	82	✓
	ΠΒ2	266	154	✓	330	243	✓	332	234	✓	270	163	✓
	ΠΒ3	122	10	✓	135	48	✓	175	48	✓	171	55	✓
	ΠΒ4	129,4	55	✓	81	41	✓	84	40	✓	145,6	55	✓
	ΠΒ5	260	42	✓	124	40	✓	103	43	✓	154	39	✓
	ΥΒ1	76	59	✓	158	62	✓	76,4	56	✓	76	65	✓
	ΠΔΒ1	56	55	✓	132,8	105	✓	124	104	✓	56	57	×



4. 45 Σύγκριση τέμνουσας στις διατομές ελέγχου μεταξύ της περίπτωσης του 1<sup>ου</sup> και του 2<sup>ου</sup> μοντέλου στην Βόρεια Όψη

Συμπέρασμα: Το ποσοστό των βλαβών είναι αυξημένο κατά 75% στην περίπτωση της βόρειας όψης στην περίπτωση του δεύτερου μοντέλου για τον έλεγχο της τέμνουσας

Πίνακας 4. 27 Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στο 1<sup>ο</sup> μοντέλο για τους σεισμικούς συνδυασμούς στην διεύθυνση γ

		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	64,5	15,8	✓	64,5	74,35	×	64,5	48	✓	64,5	9,68	✓
	ΠΒ2	64,5	35	✓	64,5	30	✓	64,5	59	✓	64,5	53	✓
	ΠΒ3	72	10,2	✓	72	10,4	✓	72	2,36	✓	72	2,55	✓
	ΠΒ4	72	7	✓	72	4	✓	72	1,27	✓	72	4,14	✓
	ΠΒ5	72	32	✓	72	10,17	✓	72	27,4	✓	72	15,32	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΒ1	3,58	1,48	✓	5,43	0,8	✓	0	0,84	×	0	0,168	×
	ΠΔΒ1	0	8	×	0	1,82	×	8,2	3,36	✓	16,36	9,64	✓

Πίνακας 4. 28 Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στο 1<sup>ο</sup> μοντέλο για τους σεισμικούς συνδυασμούς στην διεύθυνση x

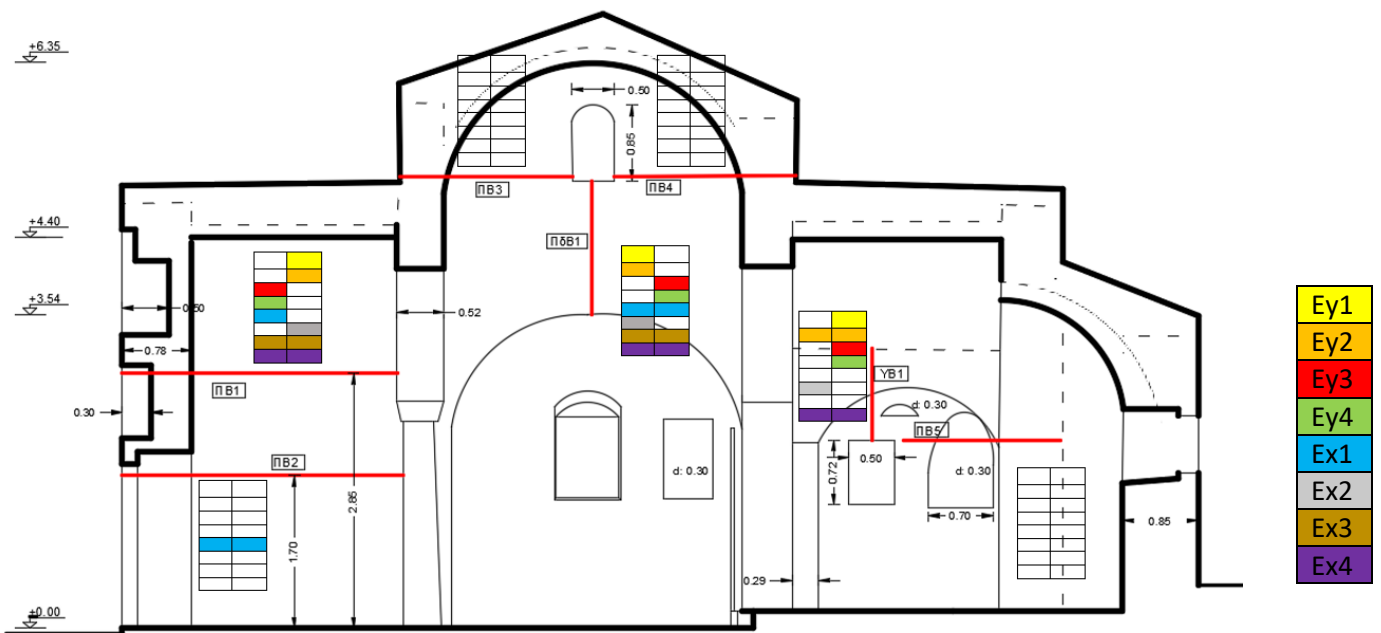
		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	64,5	61	✓	64,5	132	×	64,5	126	✓	64,5	68	×
	ΠΒ2	64,5	11	✓	64,5	8,76	✓	64,5	35,5	✓	64,5	15,5	✓
	ΠΒ3	72	5,48	✓	72	6,18	✓	72	2,36	✓	72	1,66	✓
	ΠΒ4	72	9,44	✓	72	0,25	✓	72	1,05	✓	72	8,55	✓
	ΠΒ5	72	76	×	72	66	✓	72	71	✓	72	71	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΒ1	0	1,69	×	3,67	0,57	✓	0,32	1,06	×	0	1,2	×
	ΠΔΒ1	7,39	16	×	0	4,96	×	0	4,5	×	15,94	16,4	×

Πίνακας 4. 29 Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση 2<sup>ο</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης κατά γ

		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	64,5	68	×	64,5	85,5	×	64,5	116	×	64,5	135	×
	ΠΒ2	64,5	25,66	✓	64,5	9	✓	64,5	42,5	✓	64,5	25,86	✓
	ΠΒ3	72	16,32	✓	72	19	✓	72	6,83	✓	72	9,49	✓
	ΠΒ4	72	9,31	✓	72	6,76	✓	72	2,55	✓	72	0,006	✓
	ΠΒ5	72	38,6	✓	72	4,42	✓	72	32,6	✓	72	10,61	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΒ1	0	1,47	×	0	0,71	×	8,9	0,8	✓	11,5	0,03	✓
	ΠΔΒ1	16,3	6,35	✓	24,7	1,5	✓	0	7,2	×	0	15	×

Πίνακας 4. 30: Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση 2<sup>ου</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης κατά x

		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	64,5	25,86	✓	64,5	36	✓	64,5	24,4	✓	64,5	86,6	×
	ΠΒ2	64,5	27	✓	64,5	28,41	✓	64,5	43,9	✓	64,5	11,57	✓
	ΠΒ3	72	4,16	✓	72	13,16	✓	72	5,41	✓	72	3,66	✓
	ΠΒ4	72	9	✓	72	0,64	✓	72	2,16	✓	72	6,18	✓
	ΠΒ5	72	79	×	72	64,54	✓	72	73	✓	72	70,7	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΒ1	3,55	1,83	✓	0	0,71	×	0	1,16	×	8,83	1,38	×
ΠδΒ1	0	18,5	×	21,9	7,6	✓	11,15	5	×	0	21	×	



4. 46 Σύγκριση για την ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην τομή ΒΒ'

Συμπέρασμα: Το ποσοστό των βλαβών στην περίπτωση της ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς έχει αυξηθεί κατά 6,25%

Πίνακας 4. 31 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση γ στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου

		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΥΨΗ	ΠΒ1	5,3	5,18	✓	10,23	4,9	✓	20	9,82	✓	14,2	9,52	✓
	ΠΒ2	49	1,76	✓	66	3,64	✓	77,7	14,4	✓	61,3	16,3	✓
	ΠΒ3	7,57	4,7	✓	10,93	6,41	✓	12,6	3,07	✓	9,25	4,78	✓
	ΠΒ4	6	5,47	✓	3	4,16	×	12	5,34	✓	14	4,04	✓
	ΠΒ5	2,48	2,06	✓	0	1,02	×	13	2,36	✓	15	1,31	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΒ1	72	14,21	✓	72	0,74	✓	72	7	✓	72	22	✓
	ΠΔΒ1	64,5	11,11	✓	64,5	22	✓	3,28	11,1	×	14	22	✓

Πίνακας 4. 32 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση x στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου

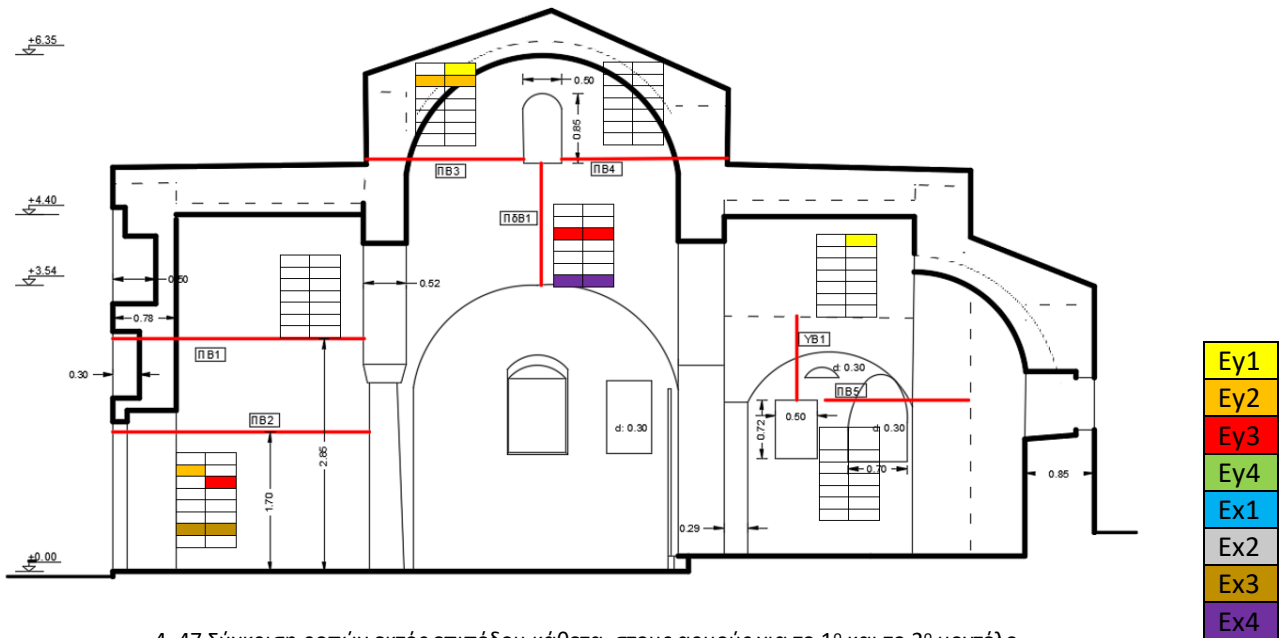
		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΥΨΗ	ΠΒ1	2,73	0,37	✓	19,11	0,6	✓	21,6	5	✓	5,6	4,04	✓
	ΠΒ2	33	6,74	✓	89	0,49	✓	92	5,91	✓	37	12,17	✓
	ΠΒ3	4	0,61	✓	15,5	5,09	✓	16	2,24	✓	4,5	3,46	✓
	ΠΒ4	12,5	3,67	✓	9,5	0,68	✓	5,72	3,53	✓	15,8	0,81	✓
	ΠΒ5	13,5	2,1	✓	5	1,38	✓	1,42	2,4	×	15,49	1,089	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΒ1	72	34,26	✓	72	15,4	✓	72	13,15	✓	72	36,6	✓
	ΠΔΒ1	10,3	3,28	✓	25,64	14	✓	18	10,3	✓	17,8	25,64	×

Πίνακας 4. 33 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση γ στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου

		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΥΨΗ	ΠΒ1	6,9	7,6	×	12,5	7,9	✓	22,63	10	✓	17,1	10	✓
	ΠΒ2	45,8	1,42	✓	62,7	2	✓	80,5	15,32	✓	65	16	✓
	ΠΒ3	7,8	5	✓	10,93	6,63	✓	12,12	3,52	✓	9	5	✓
	ΠΒ4	5	5,6	×	2,4	4,24	×	12,75	5,6	✓	15,3	4,23	✓
	ΠΒ5	3,46	2,4	✓	0	1,5	×	24,5	2,92	✓	34	2	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΒ1	72	11	✓	72	0,4	✓	72	5,15	✓	72	1,41	✓
	ΠΔΒ1	64,5	13	✓	64,5	26,8	✓	64,5	7,43	×	64,5	21	✓

Πίνακας 4. 34 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση x στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου

		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	3,9	1	✓	22,6	1,92	✓	25,4	3,45	✓	7	4,37	✓
	ΠΒ2	32	5,5	✓	88	3,2	✓	93	8,43	✓	38	10,7	✓
	ΠΒ3	4,5	0,28	✓	15	4,9	✓	15,2	1,84	✓	4,85	3,32	✓
	ΠΒ4	11,43	3,76	✓	3	0,81	✓	6,15	3,76	✓	14,5	0,81	✓
	ΠΒ5	27	1,9	✓	0	1	✓	0,91	2,43	×	36	0,58	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΒ1	72	2,26	✓	72	11,85	✓	72	10,17	✓	72	28	✓
	ΠΔΒ1	64,5	14,9	✓	64,5	31	✓	64,5	20	✓	64,5	25,11	×

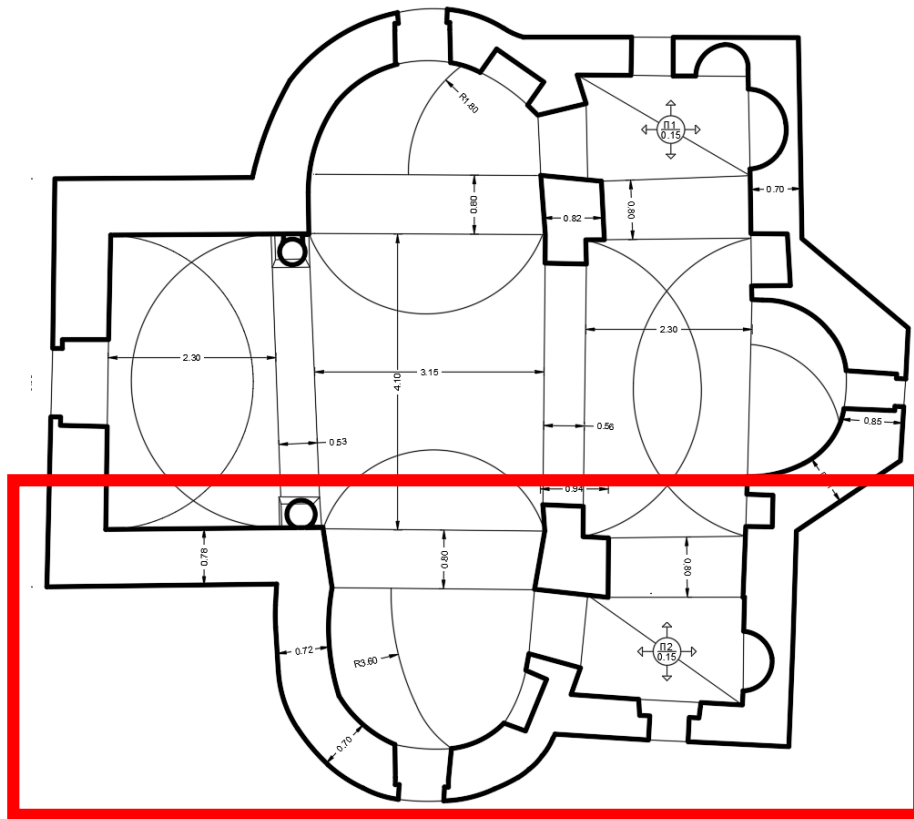


4. 47 Σύγκριση ροπών εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς για το 1<sup>ο</sup> και το 2<sup>ο</sup> μοντέλο

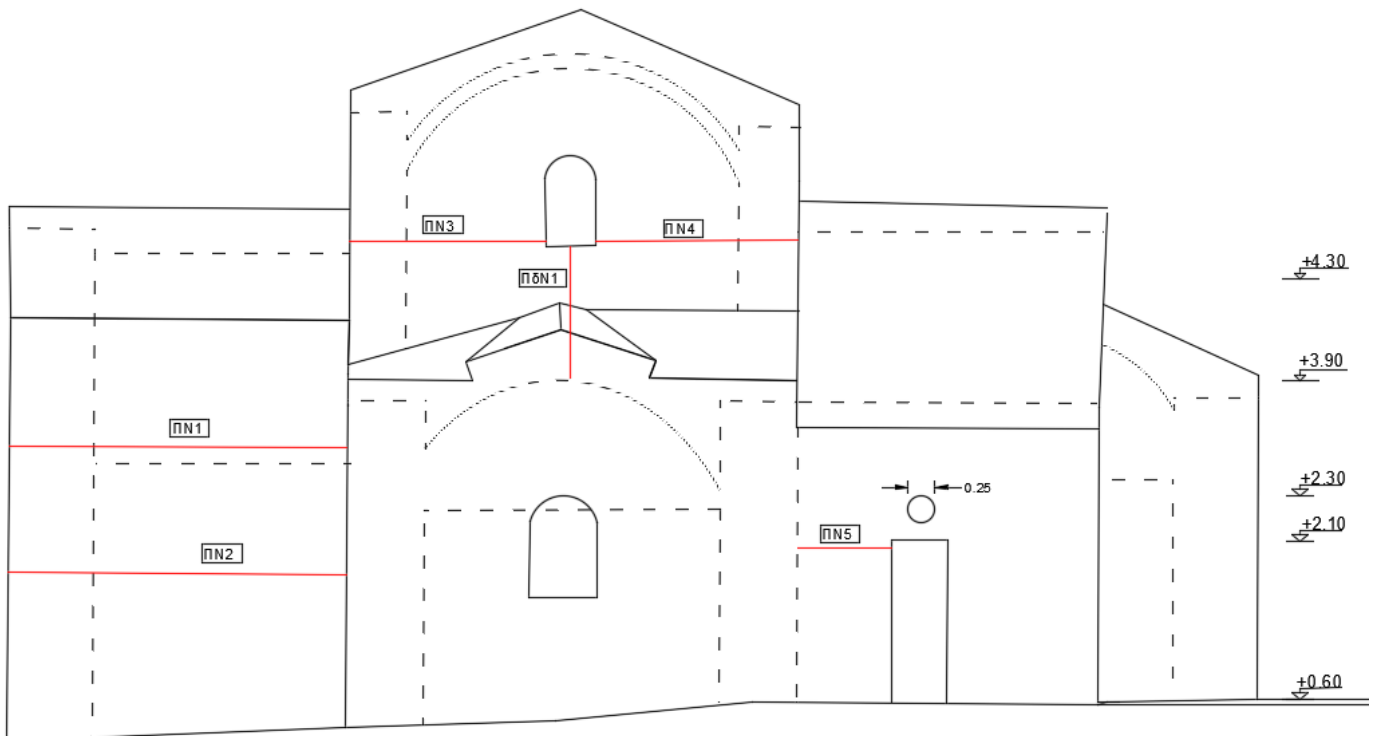
Συμπέρασμα: Το ποσοστό των βλαβών στην περίπτωση της ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς έχει αυξηθεί κατά 28%.

Παρατηρήσεις-Σχόλια: Η βόρεια όψη έχει επιβαρυνθεί κυρίως από διατμητικές αστοχίες (βλ. αρ.Σχέδιο Παθολ Δ.5) . Το μοντέλο το οποίο επιβαρύνεται περισσότερο από διατμητικές αστοχίες είναι η δεύτερη περίπτωση με αρμό.

- Νότια Όψη και τομή NN'



4. 48. Επισήμανση της νότια όψης και της τομής NN' στην κάτοψη



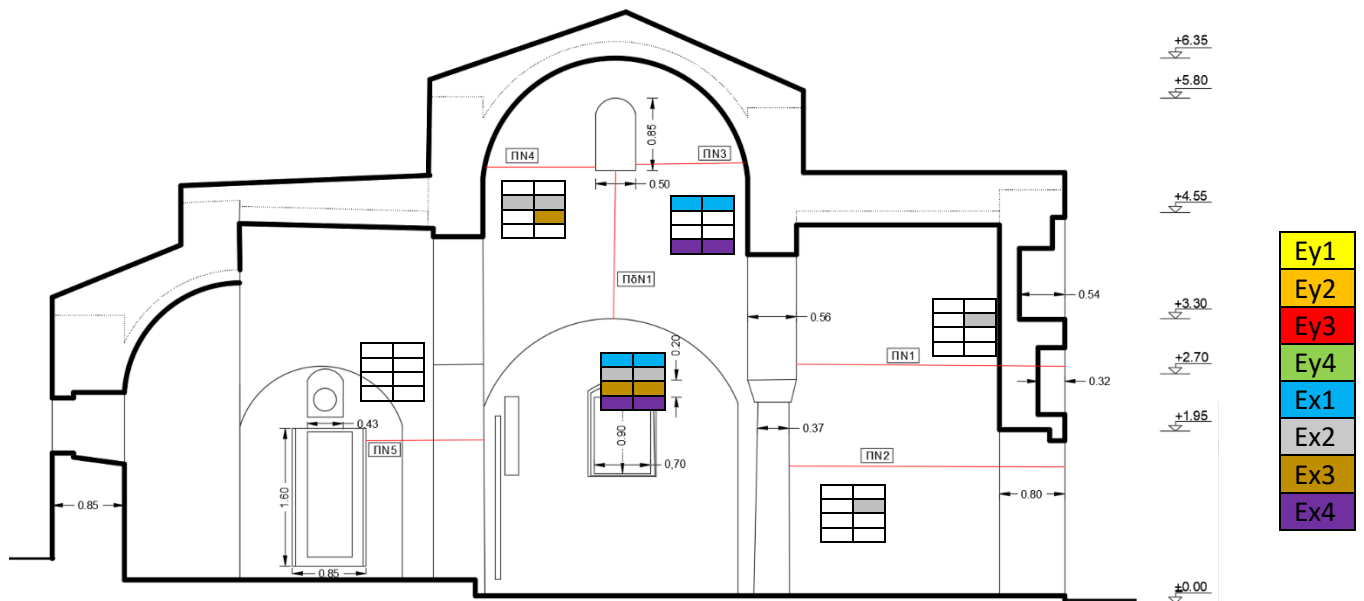
4. 49. Επισήμανση των διατομών ελέγχου στην νότια όψη

Πίνακας 4. 35 Έλεγχος αντοχής σε τέμνουσας στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου προσομοίωσης – με αλληλοεμπλοκή

		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	187	182	✓	241	186	✓	292	246	✓	300	243	✓
	ΠΝ2	214	209	✓	227	210	✓	334	277	✓	347	276	✓
	ΠΝ3	118	49	×	59	35	✓	145	73	✓	152	86,5	×
	ΠΝ4	128	53	✓	85	66	×	140,4	66	✓	77,6	53	✓
	ΠΝ5	143,2	61	✓	147,6	71	✓	126	58	✓	131	48	✓
	ΠΔΝ1	0	0,55	×	0	43,5	×	37	59,5	×	37	15,5	✓

Πίνακας 4. 36: Έλεγχος αντοχής σε τέμνουσα στην 2<sup>η</sup> περίπτωση μοντέλου προσομοίωσης – με αρμό

		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	186	68	✓	209	209	×	312	48	✓	329	75	✓
	ΠΝ2	244	177	✓	267	267	×	331	277	✓	354	167	✓
	ΠΝ3	126	80	×	86	51	✓	118	54	✓	118	77	×
	ΠΝ4	128	16	✓	162	126	×	55	115	×	100	27	✓
	ΠΝ5	98	63	✓	103	66	✓	80	55	✓	85	52	✓
	ΠΔΝ1	74	68	×	15	121	×	97	124	×	80	65	✓



4. 50 Σύγκριση τέμνουσας στις διατομές ελέγχου μεταξύ της περίπτωσης του 1<sup>ου</sup> και του 2<sup>ου</sup> μοντέλου στην τομή ΝΝ'

Συμπέρασμα: Η συμπεριφορά των πεσών είναι κατά 33% καλύτερη στην περίπτωση του πρώτου μοντέλου. Το δεύτερο μοντέλο ταυτίζεται περισσότερο με τις υφιστάμενες ρωγμές καθώς δείχνει αστοχία και στις περιοχές ΠΝ1 και ΠΝ2 (βλ. και Σχέδιο Παθολογίας Δ.7)



Πίνακας 4. 37 Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στο 1<sup>ο</sup> μοντέλο για τους σεισμικούς συνδυασμούς στην διεύθυνση γ

		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	64,5	16,6	×	64,5	24,6	✓	64,5	34,14	✓	64,5	7	×
	ΠΝ2	64,5	36	×	64,5	32	×	64,5	58	×	64,5	10	×
	ΠΝ3	72	6,45	×	72	4,8	✓	72	10,34	✓	72	1	✓
	ΠΝ4	72	11,37	×	72	3,4	×	72	10,3	×	72	1	×
	ΠΝ5	72	7,23	✓	72	1,87	✓	72	2,55	✓	72	8	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	0	6,34	✓	0	2,5	✓	35	0,37	×	35	8,5	×

Πίνακας 4. 38 Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση του 1<sup>ο</sup> μοντέλου για τους σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση x

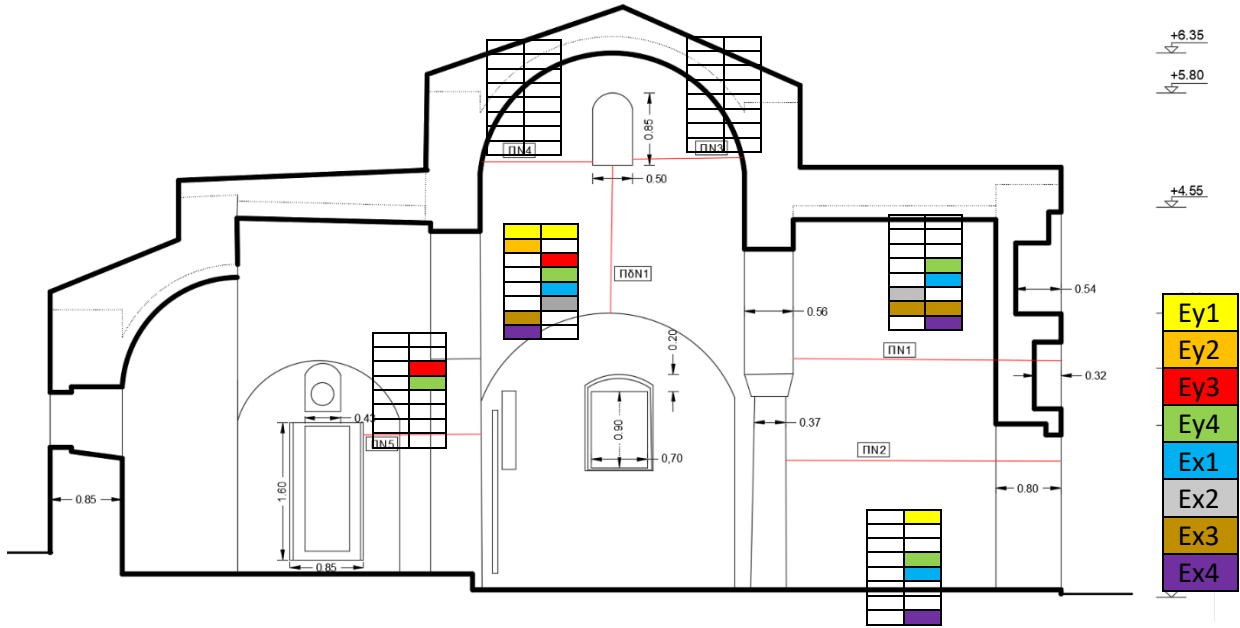
		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	64,5	13,25	×	64,5	0,91	×	64,5	16,71	×	64,5	31	×
	ΠΝ2	64,5	42	✓	64,5	22	×	64,5	44	✓	64,5	64,6	✓
	ΠΝ3	72	8,85	✓	72	5,37	✓	72	9,35	✓	72	12,8	✓
	ΠΝ4	72	12,5	×	72	14	×	72	21	×	72	5,56	✓
	ΠΝ5	72	13,4	✓	72	4,3	✓	72	4,02	✓	72	14,5	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	5,8	14,7	✓	6	15	×	13,35	17	×	13,74	13	✓

Πίνακας 4. 39 Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση 2<sup>ο</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης κατά γ

		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	64,5	53,3	✓	64,5	8,72	✓	64,5	43,3	✓	64,5	89	×
	ΠΝ2	64,5	77,6	×	64,5	44	✓	64,5	54	✓	64,5	87	×
	ΠΝ3	72	6,61	✓	72	1,9	✓	72	10	✓	72	18,7	✓
	ΠΝ4	72	7,62	✓	72	4	✓	72	12,6	✓	72	16,11	✓
	ΠΝ5	72	44,2	✓	72	52,3	✓	72	115	×	72	107	×
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	0	11,67	×	14,8	8,7	✓	0	11	×	13,9	14	×

Πίνακας 4. 40 Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην περίπτωση 2<sup>ο</sup> μοντέλου για τους συνδυασμούς φόρτισης κατά x

		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	64,5	71	×	64,5	42,7	✓	64,5	78	×	64,5	106	×
	ΠΝ2	64,5	68	×	64,5	30	✓	64,5	40	✓	64,5	79	×
	ΠΝ3	72	1	✓	72	7,60	✓	72	6,60	✓	72	2	✓
	ΠΝ4	72	4,7	✓	72	1,37	✓	72	7,14	✓	72	4,1	✓
	ΠΝ5	72	21,7	✓	72	69	✓	72	67	✓	72	40,2	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	0	7,08	×	0	0,25	×	65	2,6	✓	65	9,42	✓



4. 51. Σύγκριση για την ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς στην τομή ΝΝ'

Συμπέρασμα: Το μοντέλο που παρουσιάζει τις περισσότερες αστοχίες είναι το 2<sup>ο</sup>, χωρίς αρμό, το οποίο έχει αυξημένο το ποσοστό βλαβών κατά 40%.

Πίνακας 4. 41 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση γ στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου

		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	19,78	6,71	✓	24,5	6,5	✓	15,9	0,37	✓	11	0,17	✓
	ΠΝ2	78,1	1,8	✓	90,65	1,15	✓	61,7	4,66	✓	48	5,31	✓
	ΠΝ3	14,5	2,76	✓	10,26	3,51	✓	0,89	2,75	×	5,53	3,5	✓
	ΠΝ4	43	8,61	✓	47	5,74	✓	27,5	14,4	✓	23,13	11,5	✓
	ΠΝ5	19,92	2,4	✓	20,11	2,7	✓	11	1,4	✓	10,8	1,7	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	64,5	16,6	✓	64,5	8,76	✓	64,5	23,7	✓	64,5	15,8	✓

Πίνακας 4. 42 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση χ στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου

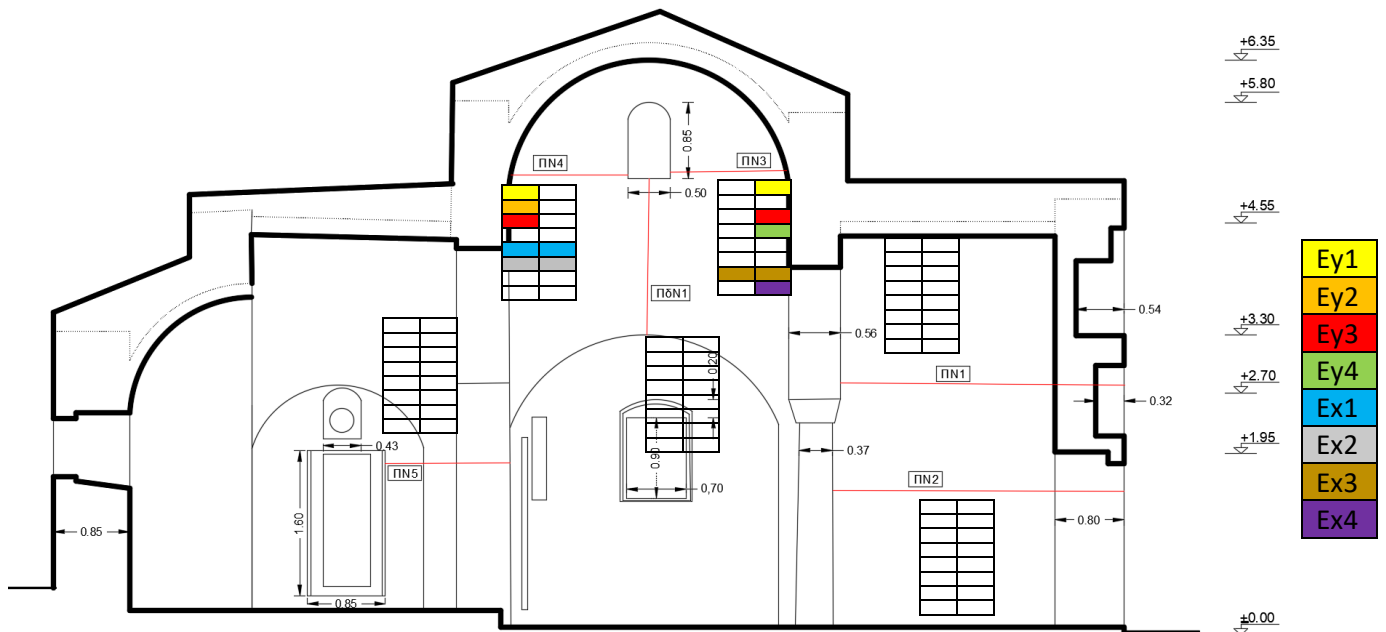
		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	11	4,54	✓	27	3,86	✓	21	1,8	✓	8,34	2,47	✓
	ΠΝ2	52,3	3,79	✓	95,29	1,63	✓	87	2,68	✓	43,12	4,84	✓
	ΠΝ3	16,52	0,32	✓	1,5	2,21	×	1,32	0,33	✓	13,4	2,2	✓
	ΠΝ4	30,8	4,9	✓	45,5	4,64	✓	39,6	10,68	✓	25	1,11	✓
	ΠΝ5	16,5	0,63	✓	17,22	1,58	✓	14,49	0,36	✓	13,82	0,6	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	64,5	14,47	✓	64,5	11,82	✓	64,5	21,55	✓	64,5	4,74	✓

Πίνακας 4. 43 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση γ στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου

		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	14,6	10,64	✓	23,52	10,64	✓	20,44	13,67	✓	11,4	13,69	×
	ΠΝ2	98	2,3	✓	104	2,26	✓	49	9,64	✓	43	9,6	✓
	ΠΝ3	14,24	2,93	✓	10	3,55	✓	1,09	2,92	×	5,58	3,54	✓
	ΠΝ4	42	8,65	✓	46	6,1	✓	25	14	✓	20,51	11,4	✓
	ΠΝ5	19,61	2,77	✓	19,98	3,04	✓	10,91	1,64	✓	10,52	1,91	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	64,5	2,6	✓	64,5	5,55	✓	64,5	10,6	✓	64,5	7,7	✓

Πίνακας 4. 44 Αποτελέσματα ελέγχου για ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς για την διεύθυνση x στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου

		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	3,19	2,1	✓	32,3	2,17	✓	31	5,13	✓	2,18	5,2	✓
	ΠΝ2	73	1,8	✓	93	1,96	✓	77	5,53	✓	55,5	5,37	✓
	ΠΝ3	16,3	0,076	✓	1,75	2	×	0	0,083	✓	13,75	2	✓
	ΠΝ4	29	4,6	✓	44	3,9	✓	37,8	9,9	✓	23	1,4	✓
	ΠΝ5	16	0,81	✓	17,3	1,74	✓	14,5	0,32	✓	13,32	0,6	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	64,5	1,02	✓	64,5	10,7	✓	64,5	12,23	✓	64,5	2,54	✓

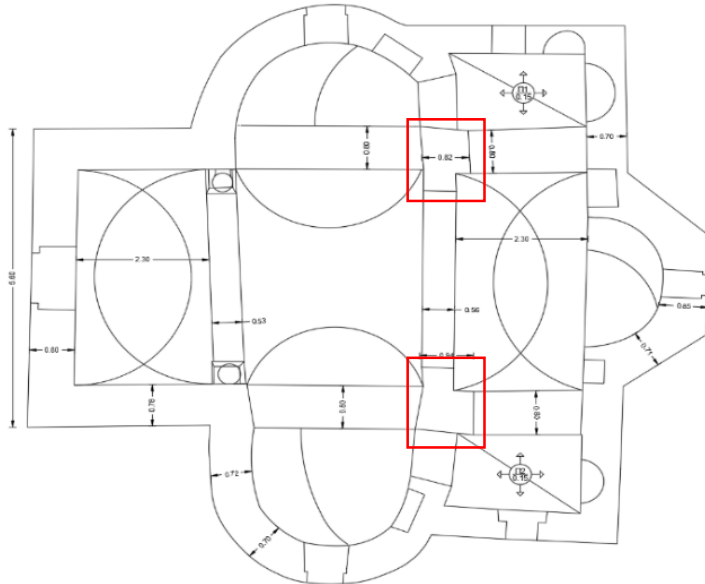


4. 52 Σύγκριση ροπών εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς για το 1<sup>ο</sup> και το 2<sup>ο</sup> μοντέλο.

Συμπέρασμα : Το ποσοστό το βλαβών είναι αυξημένο κατά 40% στην περίπτωση της ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς για την περίπτωση του 2<sup>ου</sup> μοντέλου

- Πεσοοί

Οι δύο πεσοοί οι οποίοι βρίσκονται κοντά στο τέμπλο (βλ. Εικόνα 4.53) με αφορμή την παρουσία κατακόρυφων υφιστάμενων ρωγμών ελέγχθηκαν σε θλίψη, διάτμηση και λοξού θλιπτήρα.



4. 53 Επισήμανση των πεσοών στην κάτοψη του ναού

Ελέγχοντας τους σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης που είναι οι πιο κρίσιμοι

Έλεγχος σε θλίψη για τον συνδυασμό φόρτισης ΟΚΑ

1<sup>ο</sup> μοντέλο και 2<sup>ο</sup> μοντέλο

$$F_{33} = 130 \text{ kN}$$

$$A = 0.80 \times 0.80 = 0.64 \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{136}{0.64} = 213 \text{ kPa} < f_c = 1290 \text{ kPa}$$

Άρα δεν αστοχεί σε θλίψη

Έλεγχος σε διάτμηση

1<sup>ο</sup> Μοντέλο

Τέμνουσα		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος
ΠΒ6	x	118	6,5	✓	114	6,1	✓	90,4	2,6	✓	93	2,9	✓
ΠΝ6	x	88,4	50	✓	102	48	✓	102	4,5	✓	104	2,8	✓

Τέμνουσα		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος
ΠΒ6	γ	103,2	30	✓	108	20	✓	89,6	26	✓	100	24,8	✓
ΠΝ6	γ	96,4	58	✓	105	41	✓	93,6	48	✓	100,8	50,8	✓

2° μοντέλο

Τέμνουσα		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος
ΠΒ6		133	19,82	✓	126	19,44	✓	90	41,66	✓	96,8	41,3	✓
ΠΝ6		108	50,56	✓	105,2	50,2	✓	126	18,2	✓	125,6	17,8	✓

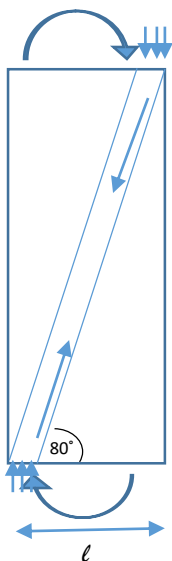
Τέμνουσα		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος
ΠΒ6		117,2	0,74	✓	112	4,58	✓	93	5,27	✓	113	0,057	✓
ΠΝ6		104	55,7	✓	109	43,78	✓	115,6	48,85	✓	125,6	50,62	✓

Επομένως η διατομή ελέγχου δεν αστοχεί σε διάτμηση σε κανέναν από τους σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης

Έλεγχος σε λοξό θλιπτήρα στον κρισιμότερο συνδυασμό σεισμικής φόρτισης

1° μοντέλο

Η κρισιμότερη φόρτιση είναι η M1 της διεύθυνσης x και ισούται με 31kNm, σύμφωνα με τον συνδυασμό φόρτισης Ey1.



$$F = \frac{M}{(l/2)} = \frac{31}{0.4} = 78kN$$

$$F_{wR} = 0.6 \times \frac{f_w}{\gamma_w} \times b_w \times t_w = 0.6 \times \frac{1290}{3} \times 0.1 \times \frac{l_w}{\cos a} \times 0.8 = 105kN$$

$$L = \frac{l_w}{\cos a} = \frac{5}{\cos 80} = 5.10m$$

$$F < F_{wR} \text{ άρα δεν αστοχεί.}$$

2<sup>ο</sup> μοντέλο

$$F = \frac{M}{(l/2)} = \frac{34}{0.4} = 85kN$$

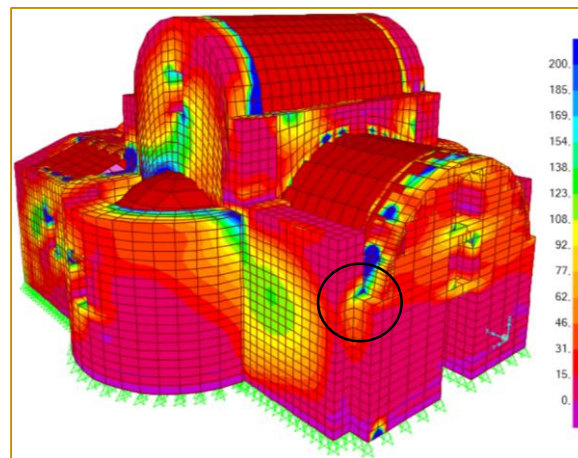
$$F_{wR} = 0.6 \times \frac{f_w}{\gamma_w} \times b_w \times t_w = 0.6 \times \frac{1290}{3} \times 0.1 \times \frac{l_w}{\cos a} \times 0.8 = 105kN$$

$$L = \frac{l_w}{\cos a} = \frac{5}{\cos 80} = 5.10m$$

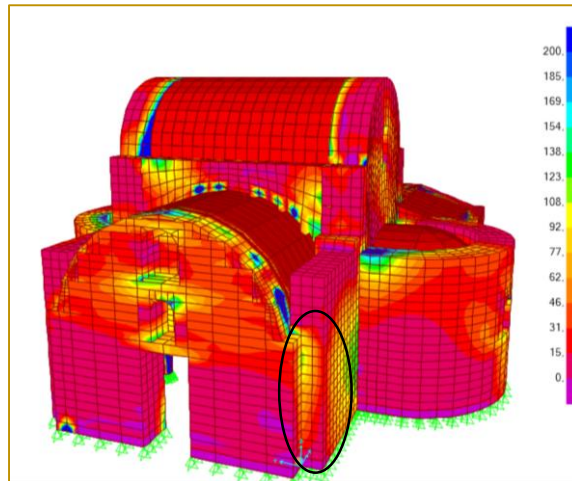
$F < F_{wR}$  άρα δεν αστοχεί.

Έλεγχος ρωγμών στην προέκταση των εγκάρσιων τοίχων στην νοτιοδυτική και βορειοδυτική όψη

Στην βορειοδυτική και νοτιοδυτική περιοχή που υποδεικνύεται στην παρακάτω εικόνα παρατηρείται ότι η ρωγή είναι κατακόρυφη και στην προέκταση των εγκάρσιων τοίχων. Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην περιοχή αυτή ξεπερνούν την εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας όταν αυτή είναι κατακόρυφη στους αρμούς. Παρακάτω παρουσιάζονται τα προσομοιώματα μόνο του 2<sup>ου</sup> μοντέλου καθώς στην περίπτωση αυτή εμφανίζονται σε μεγαλύτερο εύρος και ένταση απ' ότι στην περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου ,οπότε το φαινόμενο αυτό πιο πιθανό είναι να αναπτυχθεί στο 2<sup>ο</sup> μοντέλο.



4. 54 Κατανομή των κυρίων τάσεων για τον συνδυασμό Εx3-βορειοδυτική άποψη



4. 55 Κατανομή των κυρίων τάσεων για τον συνδυασμό Ex3-νοτιοδυτική άποψη

Η περιοχή αυτή προσεγγίζει τα 100kPa με 120kPa που είναι μικρότερη από την εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας αλλά προσεγγιστικά φτάνει την εφελκυστική αντοχή του κονιάματος. Γενικότερα η ύπαρξη των ρωγμών στις εν λόγω περιοχές ενδεχομένως να είναι αποτέλεσμα και άλλων παραγόντων όπως η κακή γωνιακή αλληλοεμπλοκή των λίθων.

Υπολογισμός εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας

$$f_{wt} = \lambda \times f_{mt}$$

Ουσιαστικά εκφράζεται το μέγεθος της αντοχής συνάφειας ανάμεσα στο κονίαμα και στα λιθοσώματα  $\lambda=0,7-0,9$  ανάλογα με τις συνθήκες συντήρησης της τοιχοποιίας. Λόγω κακής συντήρησης λαμβάνεται υπόψη ότι  $\lambda=0,70$ . Οι εξεταζόμενες περιοχές αφορούν την α' φάση της κατασκευής οπότε  $f=0,70 \times 183 \text{kPa} = 126 \text{kPa}$ . Η υπολογιζόμενη τιμή της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας είναι προσεγγιστικά αρκετά κοντά με τις τάσεις που αναπτύσσονται στις περιοχές αυτές.

## 4.6 Συμπεράσματα

Με δεδομένο τα σχέδια παθολογίας παρατηρείται ότι γενικότερα οι περισσότερες ρωγμές λόγω της λοξότητας που έχουν, προκλήθηκαν από διατμητικές εντάσεις. Σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις, το μοντέλο που παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στην διάτμηση είναι το 2<sup>ο</sup> μοντέλο δηλαδή η περίπτωση του ναού με αρμό μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων. Παρακάτω σχολιάζεται κάθε όψη ξεχωριστά σε συνάρτηση με την υφιστάμενη κατάσταση:

- Δυτική όψη
  - ✎ Διάτμηση : η δυτική όψη παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στην διάτμηση απ' ότι το 1<sup>ο</sup> μοντέλο στην περιοχή των πεσσών ενώ στα υπέρθυρα το ποσοστό αστοχίας είναι ίδιο, μόνο που στο δεύτερο μοντέλο όπως παρατηρείται και από τις κατανομές των κυρίων τάσεων υπάρχουν μεγαλύτερες εντάσεις.
  - ✎ P.E.E. ⊥ : Εστιάζοντας στα υπέρθυρα που παρουσιάζουν υφιστάμενες κατακόρυφες ρωγμές έχουν στο ίδιο ποσοστό αστοχίας την ίδια συμπεριφορά.
- Ανατολική όψη
  - ✎ Διάτμηση: Στην υφιστάμενη κατάσταση οι πεσσοί έχουν λοξές ρωγμές και αυτό αποτυπώνεται σε μεγαλύτερο ενδεχόμενο βλάβης στο 2<sup>ο</sup> μοντέλο.
  - ✎ P.E.E. ⊥ : Η συμπεριφορά των δύο μοντέλων είναι ίδια για τα υπέρθυρα
- Βόρεια Όψη
  - ✎ Διάτμηση: Στην υφιστάμενη κατάσταση οι πεσσοί έχουν λοξές ρωγμές και αυτό αποτυπώνεται σε μεγαλύτερο ενδεχόμενο βλάβης στο 2<sup>ο</sup> μοντέλο.
  - ✎ P.E.E. ⊥ : Η συμπεριφορά των δύο μοντέλων είναι ίδια για τα υπέρθυρα
- Νότια Όψη
  - ✎ Διάτμηση: Στην υφιστάμενη κατάσταση οι πεσσοί έχουν λοξές ρωγμές και αυτό αποτυπώνεται σε μεγαλύτερο ενδεχόμενο βλάβης στο 2<sup>ο</sup> μοντέλο.
  - ✎ P.E.E. ⊥ : Η συμπεριφορά των δύο μοντέλων είναι ίδια για τα υπέρθυρα
- Πεσσοί
  - ✎ Οι πεσσοί λόγω των μικρών δράσεων που υφίστανται δεν αστοχούν σε κανέναν από τους απαραίτητους ελέγχους. Αυτό σημαίνει ότι οι υφιστάμενες ρωγμές ενδεχομένως να είναι απόρροια συνδυασμού των σεισμικών εντάσεων με την κακή αλληλοεμπλοκή των λίθων. Επιπροσθέτως , όπως και αναφέρθηκε στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, το ενδεχόμενο να έχει χτιστεί σε λείψανα παλιότερου ναού αποκτά μεγαλύτερη ισχύ καθώς μπορεί να ευθύνεται για ασυνέχειες κατά την αλληλοεμπλοκή των λίθων.



Με βάση τις παραπάνω περιγραφές θα ληφθεί το 2<sup>ο</sup> μοντέλο ως την καταλληλότερη περίπτωση για να διερευνηθούν τα μέτρα αποκατάστασης στο επόμενο κεφάλαιο. Επιπροσθέτως η γενική εικόνα που παρουσιάζει ο ναός στους παραπάνω ελέγχους κρίνεται αρκετά δυσμενείς καθώς αστοχεί σε πολλές περιπτώσεις σε παραπάνω από ένα συνδυασμό φόρτισης και ταυτόχρονα σε παραπάνω από δύο τύπους αστοχιών. Ως απόρροια των αναλύσεων, παρατηρείται ότι ο ναός σε αρκετές διατομές ελέγχου σε όλες τις περιμετρικές όψεις απειλούνται κατά το πλείστον από διάτμηση και ροπή εκτός επιπέδου εγκάρσια στον αρμούς και λιγότερο από ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς. Οι προσπάθειες διερεύνησης επομένως των μέτρων αποκατάστασης θα στοχεύσουν στην μείωση των πιθανοτήτων της διατμητικής αστοχίας και της ροπής εκτός επιπέδου όπου αυτή χρειάζεται.

## 5. ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 5.1 Εισαγωγή

Προκειμένου να επιτευχθεί η επαναλειτουργία του ναού απαιτείται ο έλεγχος της συμπεριφοράς του ναού μετά την εφαρμογή μέτρων αποκατάστασης που θα λαμβάνουν υπόψη το μνημειακό του χαρακτήρα. Η λήψη μέτρων αποκατάστασης και ο τρόπος εφαρμογής τους αποτελούν μια απαιτητική διαδικασία καθώς προϋποθέτουν μια πλήρης εικόνα της οικοδομικής του κτιρίου, την γνώση των περιορισμών που συνίστανται για τους τρόπους αποκατάστασης των μνημείων και αρκετές αναλύσεις που θα οδηγούν στην βέλτιστη οικονομική λύση. Στην παρούσα περίπτωση του υφιστάμενου μοντέλου και με σκοπό την βελτίωση της αντοχής του ναού και επακολούθως την αντοχή του σε διάτμηση και εκτός επιπέδου αστοχίες ελέγχθηκε η εφαρμογή ενεμάτων, η λιθοσυρραφή μεταξύ των δύο κατασκευαστικών φάσεων, η προσθήκη ελκυστήρων και η προσθήκη διαφραγμάτων ειδικά προσαρμοσμένων στη γεωμετρία των θόλων. Παρακάτω θα αναφερθεί μια αναλυτικότερη εξήγηση για κάθε επέμβαση που εξετάζεται.

- **Ενέματα μάζας**

Η θλιπτική αντοχή της τρίστρωτης τοιχοποιίας μετά την εφαρμογή των ενεμάτων μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ από την ακόλουθη σχέση

$$f_{wcs} = f_{wc0} \times \left[ 1 + 1.25 \times \frac{V_i}{V_w} \times \frac{\sqrt{f_{gr,c}}}{f_{wc0}} \right]$$

$f_{wcs}$  → θλιπτική αντοχή της ενισχυμένης τοιχοποιίας

$f_{wc0}$  → θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας πριν από την ενίσχυση

$V_i$  → ο όγκος του αρχικού υλικού πληρώσεως ο οποίος αντιστοιχεί σε  $V_w$  όγκο της τοιχοποιίας

$f_{gr,c}$  → θλιπτική αντοχή του ενέματος

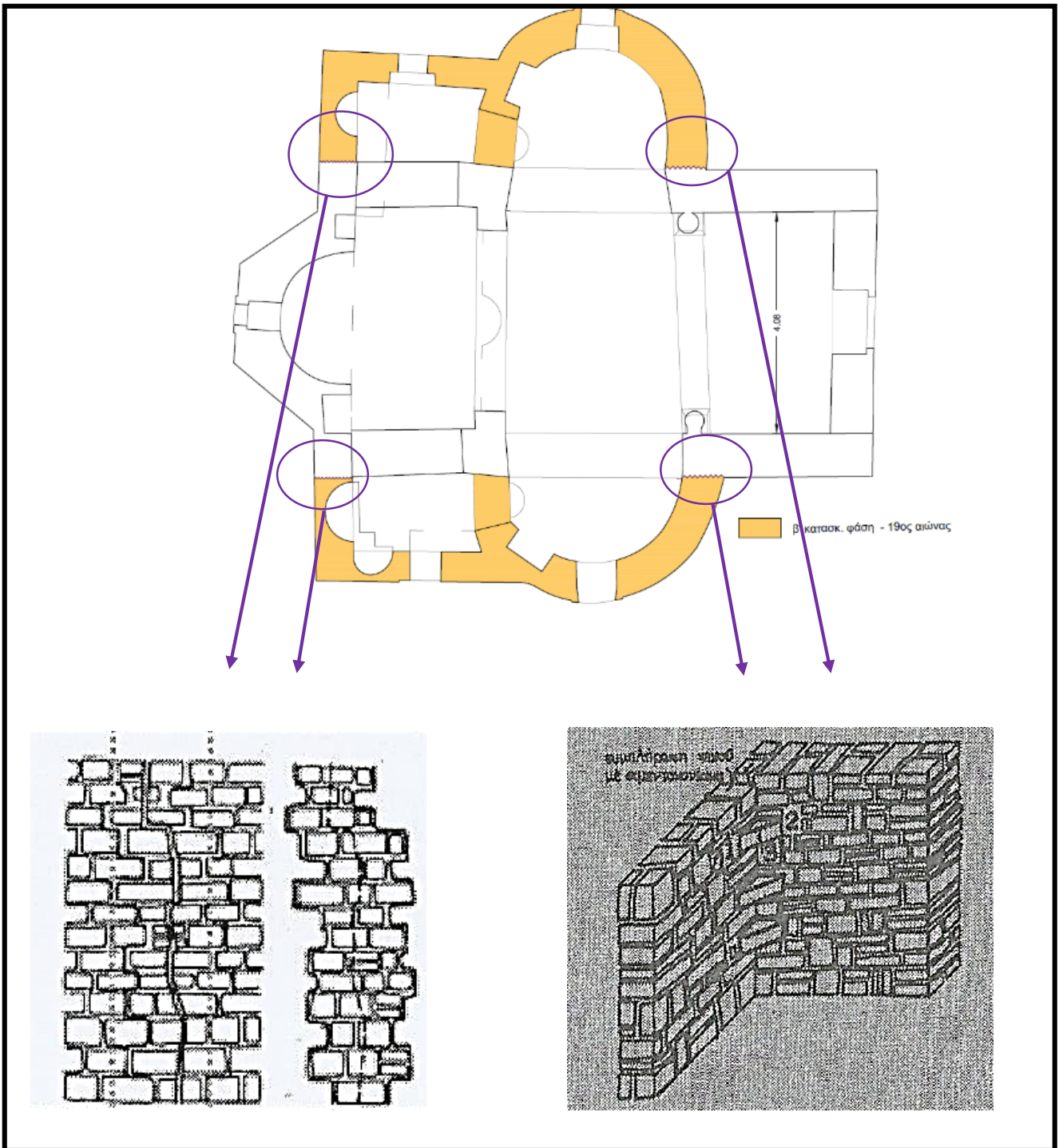
Στο ναό επιλέχθηκε να εγχυθεί ένεμα υδραυλικής ασβέστου μετά από την έκπλυση του παλαιότερου κονιάματος στον ναό με θλιπτική αντοχή στις 180 ημέρες 6,36MPa.<sup>2</sup>

Έπειτα από τον παραπάνω υπολογισμό προέκυψε η νέα θλιπτική αντοχή για την α' φάση  $f_{wcs} = 2.11MPa$  και για την β' φάση  $f_{wcs} = 2.25MPa$  και το μέτρο ελαστικότητας εκτιμάται προσεγγιστικά στο βπλάσιο των υπολογιζόμενων θλιπτικών αντοχών  $E_\alpha = 1269MPa$  και  $E_\beta = 1352MPa$ . Με την αύξηση της θλιπτικής αντοχής προβλέπεται καλύτερη συμπεριφορά στη διατμητική αντοχή των κατακόρυφων στοιχείων του μοντέλου.

<sup>2</sup> Άρθρο : Ενέματα υδραυλικής ασβέστου για την επισκευή ιστορικών κατασκευών -1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο συνέδριο Δομικών υλικών και στοιχείων, ΤΕΕ Αθήνα, 2008

- **Λιθοσυρραφή**

Στο ναό διακρίνονται δύο κατασκευαστικές φάσεις οι οποίες όπως έχει αποτιμηθεί δεν είναι ορθά αλληλοεμπλεκόμενες επιτρέποντας την συμπεριφορά του ναού κατά τους σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης να λειτουργεί σαν τρία ξεχωριστά τμήματα. Ωστόσο όπως έχει φανεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο κατά την σύγκριση των δύο προτεινόμενων μοντέλων η καλύτερη αλληλοεμπλοκή μεταξύ των δύο φάσεων μπορεί να μειώσει την ένταση των κύριων τάσεων και άρα τις αναμενόμενες βλάβες καθώς επιτρέπεται μια ανακατανομή των τάσεων που θα μπορούσε να αποβλέπει στην αποφόρτιση ορισμένων περιοχών. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποκατασταθεί με κατάλληλη λιθοσυρραφή στον αρμό των δύο κατασκευαστικών φάσεων .



5. 1 Επισημάνση των περιοχών των αρμών των δύο κατασκευαστικών φάσεων που απαιτούν την επισκευή της λιθοσυρραφή καθώς και υπόδειξη των τρόπων λιθοσυρραφής σε κάθε περίπτωση

Στη παραπάνω εικόνα υποδεικνύεται διαφορετικός τρόπος λιθοσυρραφής σε κάθε ομάδα περιοχής. Στις περιοχές της ανατολικής όψης αρκεί η αφαίρεση της ζώνης που ανήκει ο κατακόρυφος αρμός και έπειτα η επανατοποθέτηση των λίθων με ορθότερη αλληλοεμπλοκή. Είναι φανερό όμως ότι στο βόρειο παράβλημα της ανατολική όψης δεν είναι τόσο ευκρινής ο τρόπος αλληλοεμπλοκής των λίθων στον αρμό. Λόγω των λοξών ρωγμών που υφίσταται στην περιοχή αυτή πιθανόν να υποκρύπτεται μια καλύτερη αλληλοεμπλοκή χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι δεν απαιτείται τοπικά κάποια επέμβαση μεταξύ των δύο περιοχών. Στις γωνίες της βόρειας και νότιας όψης προτείνεται τοπική διόρθωση της αλληλοεμπλοκής των λίθων ειδικά στα ανώτερα τμήματα των κατακόρυφων στοιχείων δηλαδή αφαίρεση των λίθων και επανατοποθέτηση με ορθότερη διάταξη.

- **Προσθήκη ελκυστήρων**

Η ρηγμάτωση στις κορυφές των τρούλων και η μετακίνηση των στηρίξεων είναι η συνηθέστερη μορφή αστοχίας. Οι ελκυστήρες τοποθετούνται συνήθως στις γενέσεις των θόλων με επακόλουθο να ανακουφίζεται η εντατική κατάσταση των στηρίξεων, να μειώνονται οι οριζόντιες δυνάμεις που ασκούνται στους πεσσούς και να παρεμποδίζεται η εκτός επιπέδου μετακίνηση τους όταν οι θόλοι ρηγματωθούν. Επομένως με την προσθήκη ελκυστήρων προλαμβάνονται οι αστοχίες λόγω των ροπών εκτός επιπέδου. Λόγω όμως ότι η ανάλυση είναι ελαστική, δεν είναι δυνατό να διαστασιολογηθούν οι ελκυστήρες στον ίδιο φορέα καθώς δεν θα αναλαμβάνουν τις δυνάμεις όπως αυτές θα προκύψουν στην πραγματικότητα. Για να ελεγχθεί αν η διατομή επαρκεί θα πρέπει να γίνει μία μικρή τομή στον φορέα έτσι ώστε το μοναδικό στοιχείο που θα ενώνει ολόκληρο τον φορέα θα είναι οι εξεταζόμενοι ελκυστήρες των οποίων η διεύθυνση θα είναι κάθετη στην τομή. Συνεπώς θα χρησιμοποιηθούν δύο μοντέλα που θα έχουν τομή διαφορετική για την περίπτωση των ελκυστήρων που εξετάζονται στην διεύθυνση  $x$  και διαφορετική στην διεύθυνση  $y$ .

- **Διαφράγματα**

Απαραίτητος έλεγχος συνίσταται η λειτουργία των θόλων ως διαφράγματα. Ο εν λόγω έλεγχος απαιτεί τα κατακόρυφα στοιχεία να έχουν προσεγγιστικά την ίδια μετατόπιση έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί η διαφραγματική λειτουργία των θόλων και να παρεμποδιστούν οι εκτός επιπέδου μετακινήσεις.

## 5.2 Έλεγχοι και σύγκριση των αποτελεσμάτων πριν και μετά την αποκατάσταση

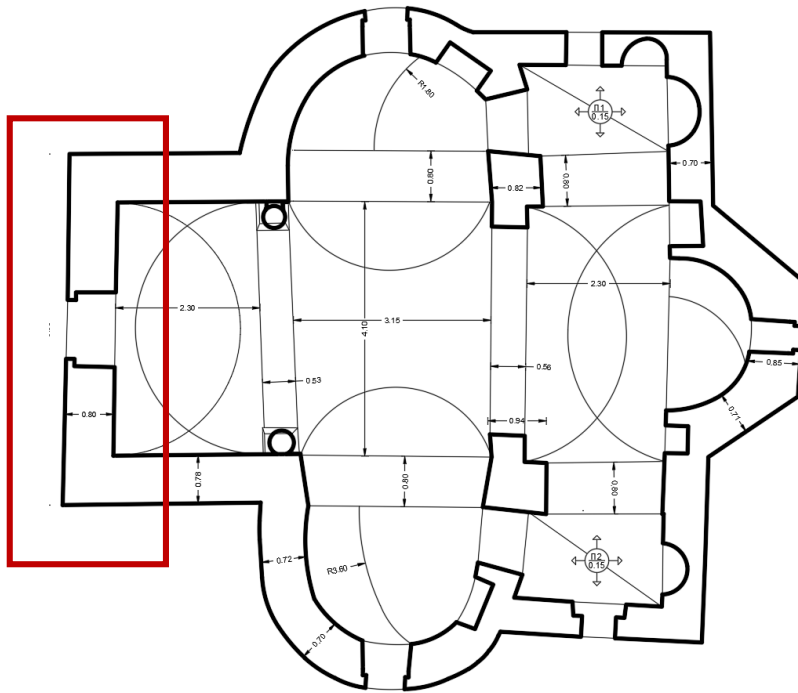
Στην ακόλουθη ενότητα θα πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι σε διάτμηση και σε ροπή εκτός επιπέδου. Αρχικά παρουσιάζεται η όψη που θα εξεταστεί και ακολουθεί η κατανομή των τάσεων πριν και μετά την αποκατάσταση για έναν συγκεκριμένο σεισμικό συνδυασμό. Κάθε διατομή ελέγχου που εξετάζεται επισημαίνεται στις όψεις και στις τομές.

Ενδεικτικά στην δυτική όψη περιγράφονται επακριβώς οι μέθοδοι ελέγχου που πραγματοποιήθηκαν σε τέμνουσα και ροπή εκτός επιπέδου για την περίπτωση ενός πεσσού, ενός υπέρθυρου και ενός τόξου. Παρομοίως, τηρήθηκαν η ίδιοι μέθοδοι για όλες τις διατομές ελέγχων που επισημαίνονται σε κάθε όψη και τομή. Οι αστοχίες που προκύπτουν παρουσιάζονται σε πινακάκια και έπειτα συνοψισμένα σε σχέδια τομών για κάθε συνδυασμό. Οι συνδυασμοί που αστοχούν συμβολίζονται με τα χρώματα που υποδεικνύονται στο παρακάτω Πίνακας 5.1 και καταγράφονται σε δύο στήλες. Η πρώτη αφορά το μοντέλο της προσομοίωσης πριν την αποκατάσταση και η δεύτερη στήλη αφορά το μοντέλο μετά την αποκατάσταση.

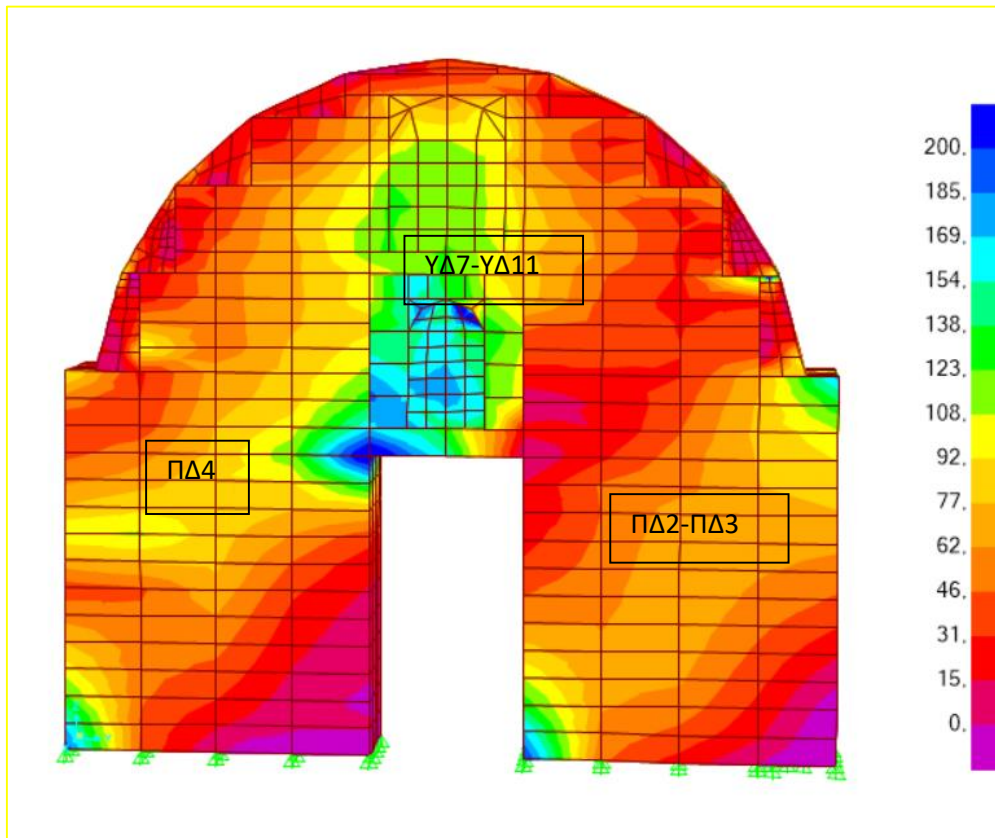
Πίνακας 5. 1 Αντιστοιχία χρωμάτων και συνδυασμών

<b>Ey1</b>	Earth 1 (Ey1) $G+0.6 \times q + Ey + 0.3 \times Ex$
<b>Ey2</b>	Earth 2 (Ey2) $G+0.6 \times q + Ey - 0.3 \times Ex$
<b>Ey3</b>	Earth 3 (Ey3) $G+0.6 \times q - Ey - 0.3 \times Ex$
<b>Ey4</b>	Earth 4 (Ey4) $G+0.6 \times q - Ey + 0.3 \times Ex$
<b>Ex1</b>	Earth 5 (Ex1) $G+0.6 \times q + 0.3 \times Ey + Ex$
<b>Ex2</b>	Earth 6 (Ex2) $G+0.6 \times q + 0.3 \times Ey - Ex$
<b>Ex3</b>	Earth 7 (Ex3) $G+0.6 \times q - 0.3 \times Ey + Ex$
<b>Ex4</b>	Earth 8 (Ey4) $G+0.6 \times q - 0.3 \times Ey - Ex$

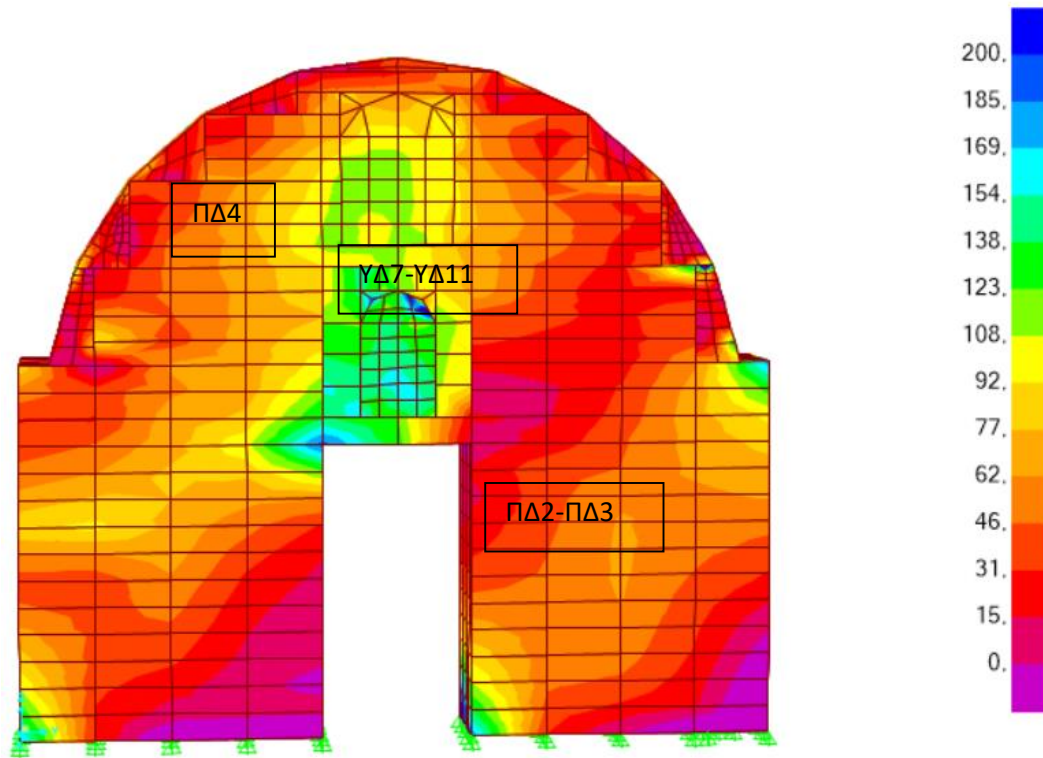
➤ Δυτική Όψη και τομή ΔΔ'



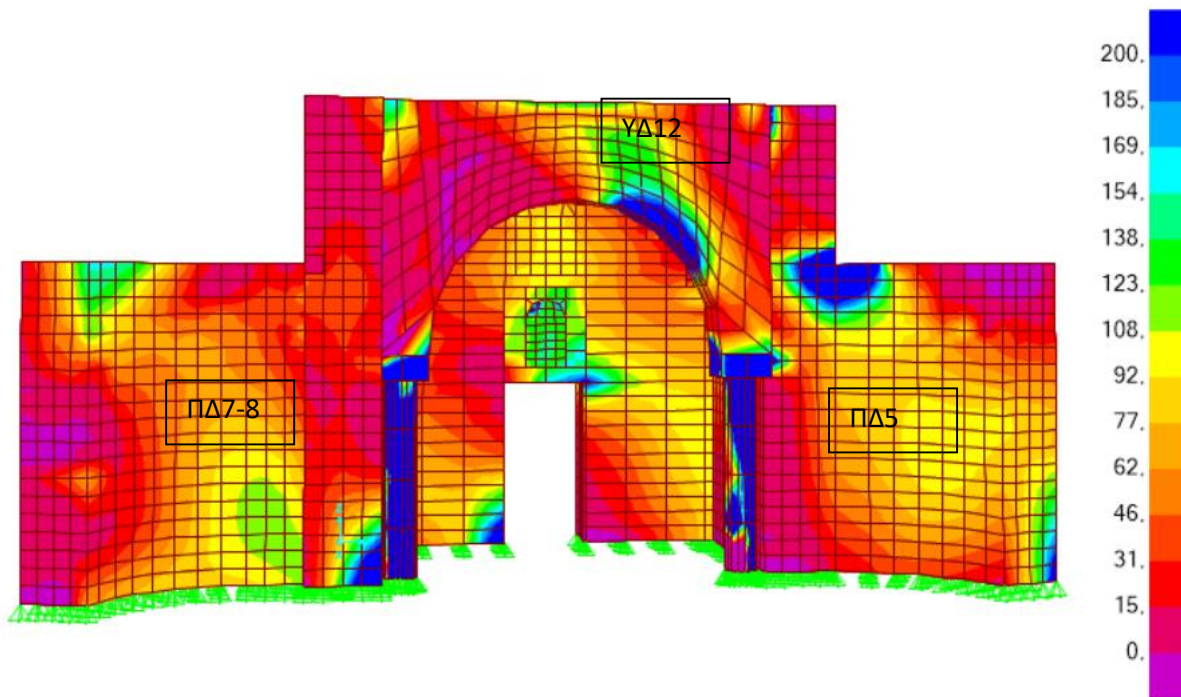
5. 2 Κάτοψη του ναού και επισήμανση της δυτικής όψη



5. 3 Κατανομή των τάσεων για τον συνδυασμό Εγ1 πριν την αποκατάσταση στην τομή ΙΙ'

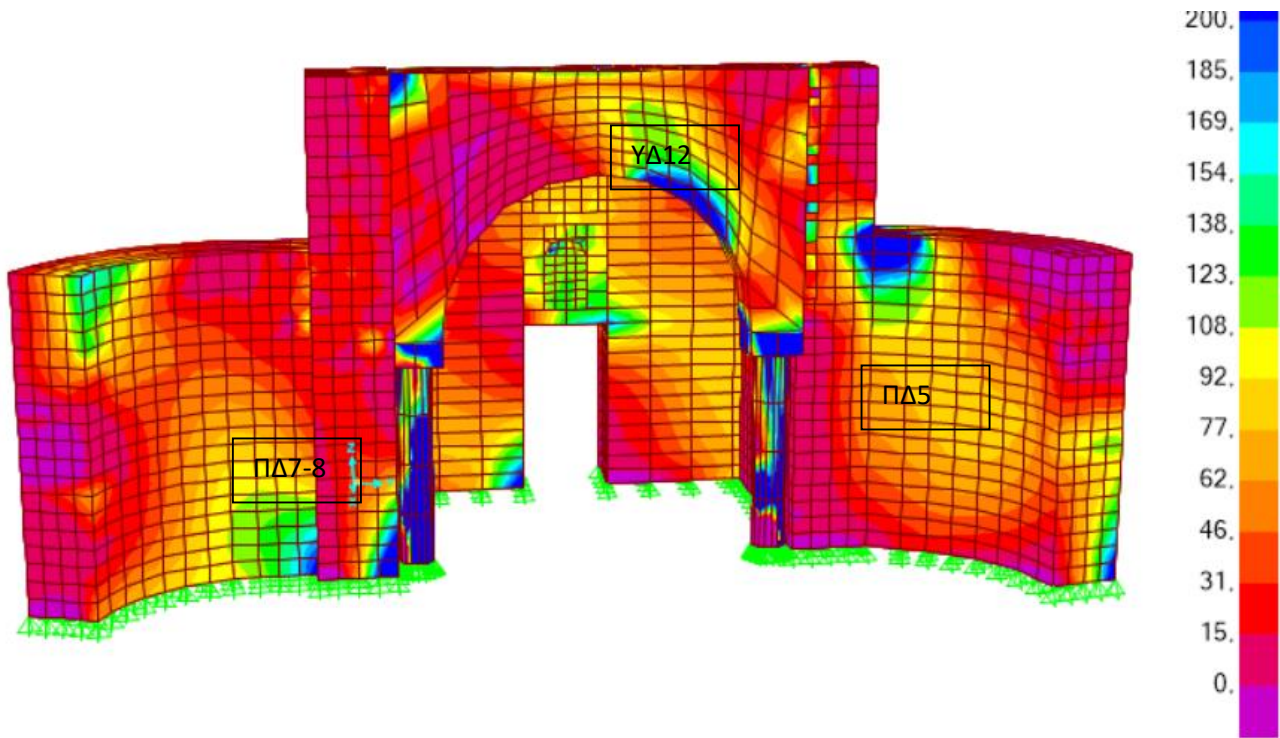


5. 4 Κατανομή των τάσεων για τον συνδυασμό Eγ1 μετά την αποκατάσταση στην τομή II'



5. 5 Κατανομή των τάσεων για τον συνδυασμό Eα4 πριν την αποκατάσταση





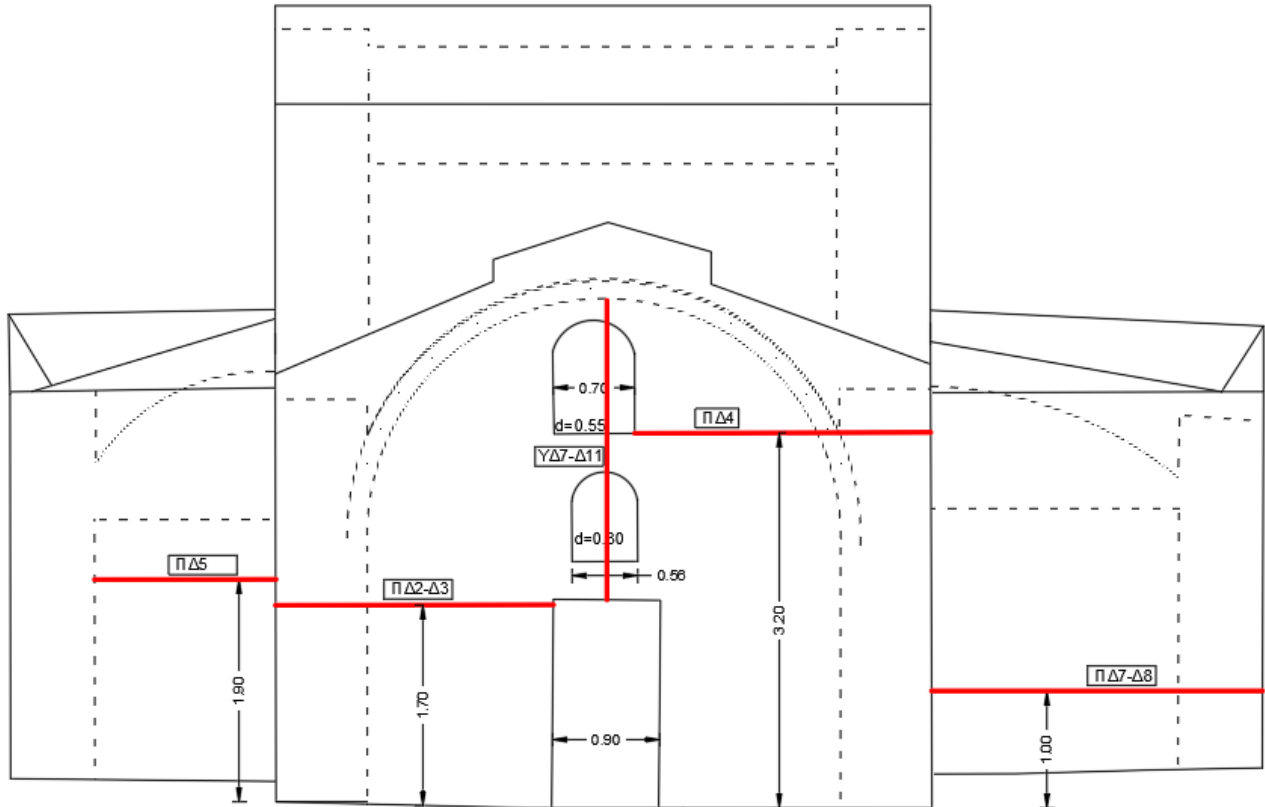
5. 6 Κατανομή των τάσεων για τον συνδυασμό Ex4 μετά την αποκατάσταση

Πίνακας 5. 2 Αποτελέσματα ελέγχου σε τέμνουσα στους διατομές πριν την αποκατάσταση

Τέμνουσα	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	30	33	×	188	83	✓	232	94	✓	138	101	✓
	ΠΔ4	171	51	✓	177	40	✓	108	38	✓	75	28	✓
	ΠΔ5	136	75	✓	138	75	✓	164	99	✓	148	110	✓
	ΠΔ6-7	156	114	✓	174	102	✓	141	95	✓	131	71	✓
	ΥΔ7-Δ11	70	90	×	63	88	×	63	86	×	84	85	×
	ΥΔ12	30	6,54	✓	15	0,41	✓	30	9,5	✓	30	125	×

Πίνακας 5. 3 Αποτελέσματα ελέγχου σε τέμνουσα στους διατομές μετά την αποκατάσταση

Τέμνουσα	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	165	69	✓	163	101,8	✓	240	111,17	✓	217	117	✓
	ΠΔ4	110	63,33	✓	115	51,1	✓	80	48,75	✓	31	36,5	×
	ΠΔ5	121	69,75	✓	124	78,76	✓	75	100,6	×	90,2	109,61	×
	ΠΔ6-7	112	108	✓	191	97,7	✓	150	85,7	✓	137	75,4	✓
	ΥΔ7-Δ11	17,3	115	×	2	111	×	0	107	×	2,8	104	×
	ΥΔ12	19	6,84	✓	4,3	0,67	✓	29	124	×	38	114	×



5. 7 Επισήμανση των διατομών ελέγχου στην δυτική όψη

Υποδειγματικά θα παρουσιαστεί ο υπολογισμός μιας διατομής ελέγχου σε έλεγχο τέμνουσας και ροπής εκτός επιπέδου στην περίπτωση ενός πεσσού, ενός υπέρθυρου και ενός τόξου.

### Έλεγχος σε τέμνουσα

1) Διατομή ελέγχου πεσσού (ΠΔ2-ΠΔ3) για την περίπτωση του συνδυασμού Εγ1

Ο έλεγχος στους διατμητικής αντοχής στους τοιχοποιίας γίνεται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 6:σχ. 6.2. Αξιοσημείωτο είναι όσο μεγαλύτερη είναι η κατακόρυφη θλιπτική τάση τόσο μεγαλύτερη είναι η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας.

$$V_{Rd} = f_v \times t \times l_c \quad (2)$$

$V_{Rd}$  : τέμνουσα δύναμη

$f_v$  : διατμητική αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας που προκύπτει από την σχέση (3)

$t$  : πάχος στους διατομής ( $t=0.80m$ )

$l_c$  : μήκος αρηγματώτης διατομής(θλιβόμενο μήκος στο πάχος στους διατομής ΠΔ2-ΠΔ3 υπολογιζόμενο προσεγγιστικά από τις κατανομές των κατακόρυφων τάσεων (S33))

$$l_c = 1.00 \times l = 1.00 \times 1.9 = 1.9 \text{ m}$$

$$f_v = f_{vk0} + 0.4 \times \sigma_d \leq 0.065 \times f_b \quad (3)$$

$f_{vk0}$  : διατμητική αντοχή στους τοιχοποιίας χωρίς την ύπαρξη της ορθής κατακόρυφης τάσης, η συνάφεια κονιάματος τοιχοσώματος

$\sigma_d$  : ορθή τάση σχεδιασμού στο σημείο ελέγχου για τον συνδυασμό των φορτίων σχεδιασμού. Αφορά το θλιβόμενο τμήμα του τοίχου αφού το εφελκούμενο τμήμα του δεν συμμετέχει στην παραλαβή το διατμητικών φορτίων

$f_b$  : θλιπτική αντοχή λιθοσωμάτων

$$\sigma_d = \frac{N}{l_c \times t} = \frac{F_{22}}{1.9 \times 0.8} = \frac{32.55}{1.52} = 21.4 \text{ kPa}$$

$$f_v = 100 + 0.4 \times 21.4 = 108.6 \text{ kPa}$$

$$V_{Rd} = f_v \times t \times l_c = 108.6 \times 0.8 \times 1.9 = 165 \text{ kN}$$

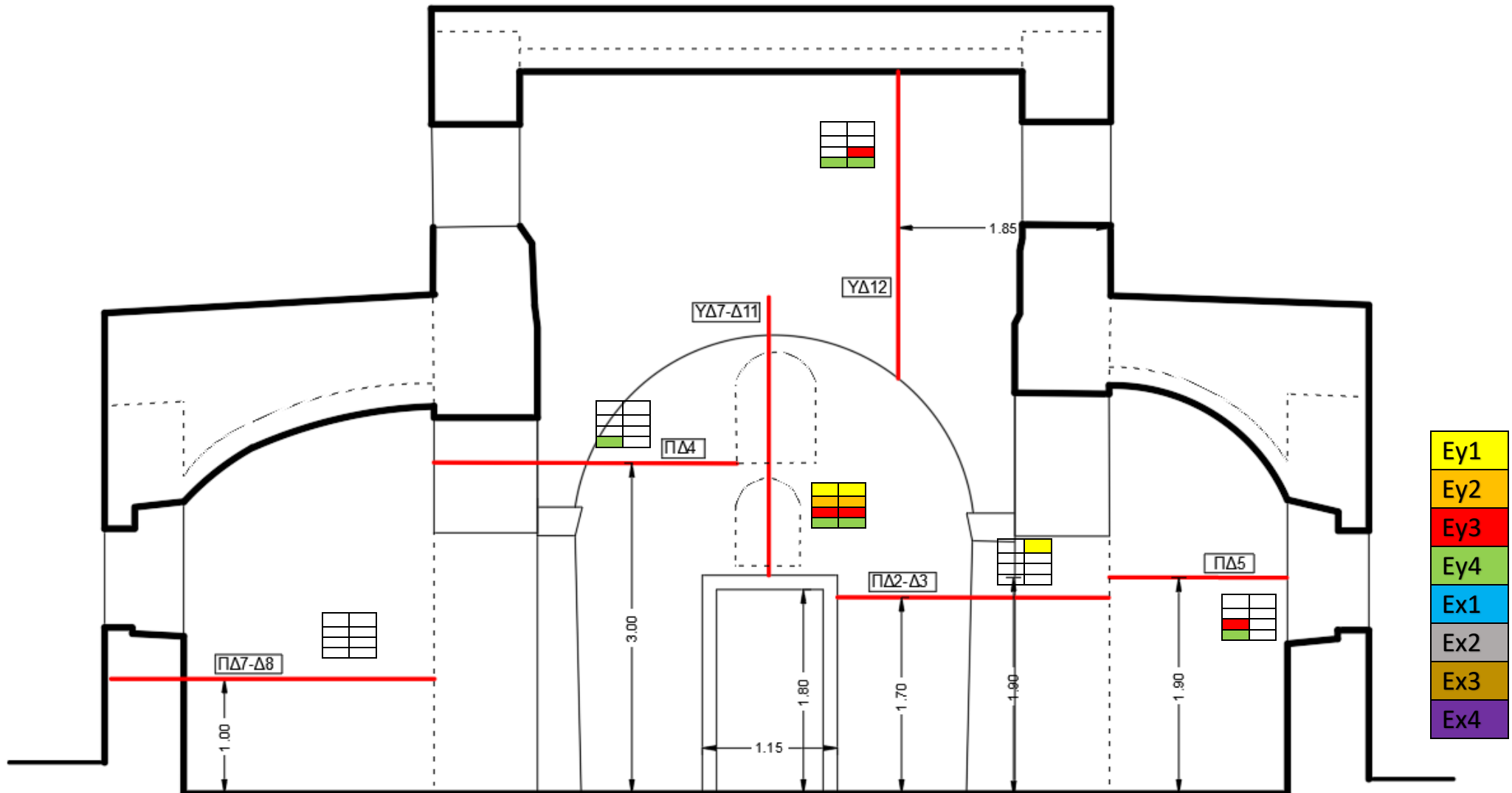
2) Διατομή ελέγχου υπέρθυρου (ΥΔ12) για την περίπτωση συνδυασμού Εx4

$$l_c = 0.5 \times l = 0.5 \times 1.1 = 0.55 \text{ m}$$

$$\sigma_d = \frac{N}{l_c \times t} = \frac{F_{11}}{0.55 \times 0.55} = \frac{18.1}{0.305} = 59.83 \text{ kPa}$$

$$f_v = 124 \text{ kPa}$$

$$V_{rd} = 38 \text{ kN} < F_{33} = 113 \text{ kN}$$



5. 8 Επισήμανση των αστοχιών σε τέμνουσα στην τομή ΔΔ' πριν και μετά την αποκατάσταση. Βελτίωση κατά 33%

## Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς

Πίνακας 5. 4 Αποτελέσματα των συνδυασμών κατά την διεύθυνση γ σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση

	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	64,5	16,6	✓	64,5	30,14	✓	64,5	6,97	✓	64,5	20,53	✓
	ΠΔ4	64,5	6,53	✓	64,5	17,3	✓	64,5	1,49	✓	64,5	9,33	✓
	ΠΔ5	72	62,6	✓	72	72,2	✓	72	97,6	×	72	106	×
	ΠΔ6-7	72	81	✓	72	75	✓	72	55	✓	72	48,95	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΔ7-Δ11	2,5	11,7	×	0	4	×	0	5,83	×	0	1,86	×
	ΥΔ12	0	3	×	0	3,64	×	0	3,9	×	2,08	4,5	×

Πίνακας 5. 5 Αποτελέσματα των συνδυασμών κατά την διεύθυνση χ σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση

Ροπή Ε.Ε	Δ/Ε	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	64,5	12,16	✓	64,5	32,94	✓	64,5	21,78	✓	64,5	23,32	✓
	ΠΔ4	64,5	11,64	✓	64,5	24,37	✓	64,5	19,62	✓	64,5	16,34	✓
	ΠΔ5	72	8,14	✓	72	24	✓	72	27	✓	72	59	✓
	ΠΔ6-7	72	42,62	✓	72	22,44	✓	72	16,52	✓	72	3,6	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΔ7-Δ11	5,53	17,23	×	0	8,42	×	0	11,37	×	4,75	14,28	×
	ΥΔ12	0	0,34	×	0	1,74	×	0	0,51	×	2,31	2,6	×

Πίνακας 5. 6 Αποτελέσματα των συνδυασμών κατά την διεύθυνση γ σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση

	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	105	11,34	✓	105	25	✓	105	4,8	✓	105	11,34	✓
	ΠΔ4	105	3,9	✓	105	14,9	✓	105	2,88	✓	105	8,36	✓
	ΠΔ5	112,5	50	✓	112,5	59,9	✓	113	97	✓	112,5	107	✓
	ΠΔ6-7	112,5	83	✓	112,5	76	✓	113	57	✓	112,5	52	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΔ7-Δ11	6,3	80	×	0	60	×	9,1	36	×	0	17	×
	ΥΔ12	0	7,37	×	0	8,38	×	0	14,1	×	9,85	2,8	✓

Πίνακας 5. 7 Αποτελέσματα των συνδυασμών κατά την διεύθυνση x σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση

	Δ/Ε	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	105	14,2	✓	105	31	✓	105	21,78	✓	105	23,41	✓
	ΠΔ4	105	13,65	✓	105	24	✓	105	20	✓	105	17	✓
	ΠΔ5	112,5	17	✓	112,5	15,8	✓	112,5	31	✓	112,5	64,3	✓
	ΠΔ6-7	112,5	42	✓	112,5	25	✓	112,5	16	✓	112,5	1,78	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΔ7-Δ11	15	69	×	0	3,5	×	0	25,5	×	13,3	40,27	×
ΥΔ12	1,2	1,7	×	0	1.7	×	0	5.04	×	3.52	8.4	×	

1) Διατομή ελέγχου πεσσού (ΠΔ2-ΠΔ3) για την περίπτωση του συνδυασμού Ey1

-Για αστοχία κάθετα στους αρμούς

Πραγματοποιείται σύγκριση της τάσης που προκύπτει από την σχ5 του Ευρωκώδικα 6 και της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας.

$$\sigma_t = \frac{M_s}{W} = \frac{6 \times M_s}{l \times t^2} < f_t \quad (5)$$

$M_s$  :ροπή κάθετα στους αρμούς της τοιχοποιίας ( $M3=2,30\text{kNm}$ )

$l$  : μήκος της εξεταζόμενης διατομής ( $l=1.9\text{m}$ )

$t$  : πάχος της εξεταζόμενης διατομής ( $t=0.80$ )

$f_t$  : εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας ( $f_t=105\text{kPa}$ )

$$\sigma_t = 11,34\text{kPa} < 105\text{kPa}$$

2) Διατομή ελέγχου τόξου (ΥΔ12) για την περίπτωση συνδυασμού Ey4

Πραγματοποιείται σύγκριση της ροπή δράσης και της ροπής αντοχής στην εξεταζόμενη διατομή

$$M_R = \frac{\sigma}{2} l t^2 \left( 1 - \frac{\sigma}{f_c} \right) > M_s \quad (6)$$

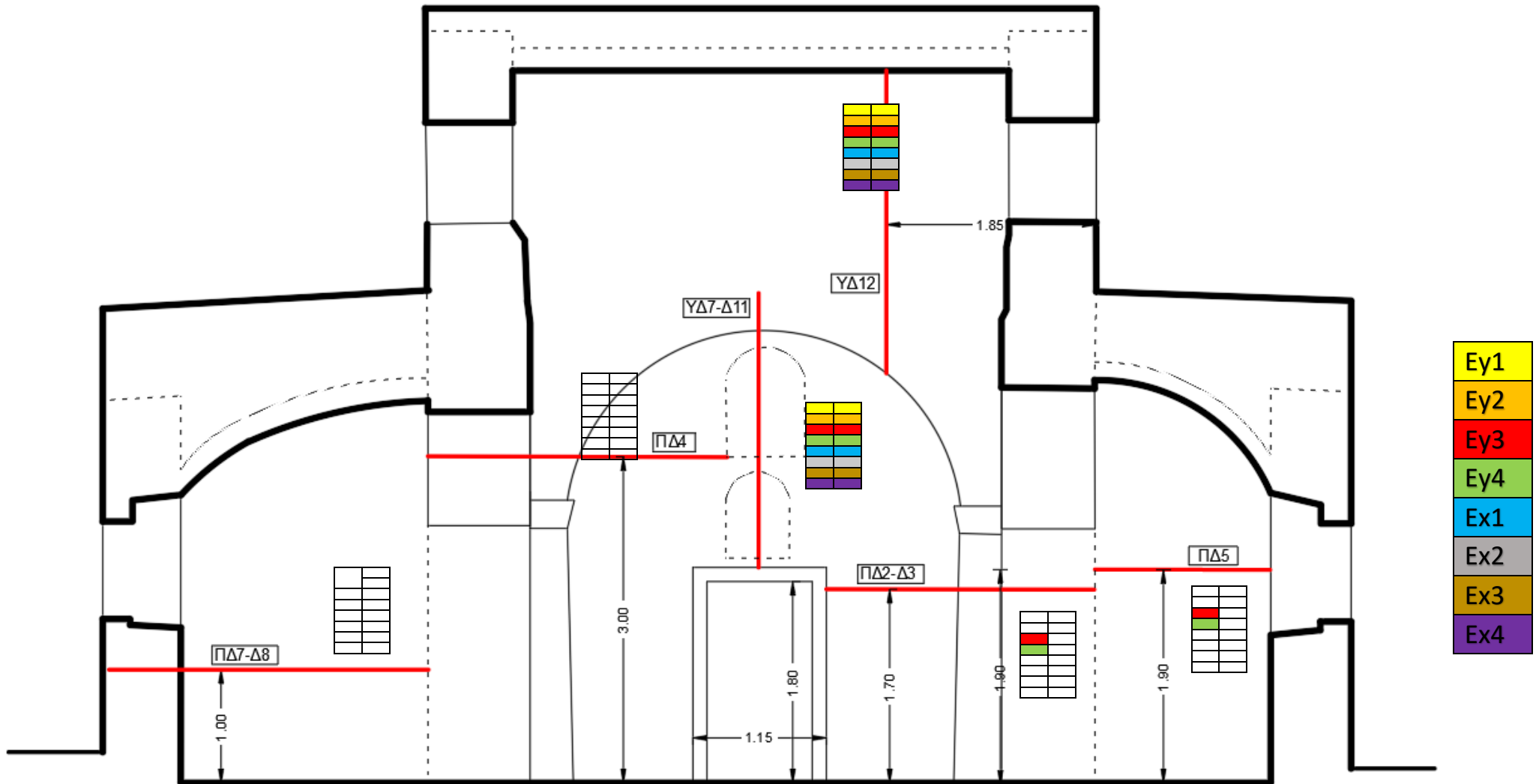
$\sigma$  : μέση θλιπτική τάση ( $\sigma=N/(l \times t)=F11/(1.9 \times 0.80)=18.082/(1.9 \times 0.8)=11.89\text{kPa}$ )

$l$  : μήκος της διατομής ( $l=1.1\text{m}$ )

$t$  : πάχος της διατομής ( $t=0.55\text{m}$ )

$f_c$  : θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας ( $f_c=1290\text{kPa}$ )

$$M_R = 9,85\text{kNm} > M_s = M3 = 2.8\text{kNm}$$



5. 9 Επισημάνση των αστοχιών σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς, στην τομή ΔΔ πριν και μετά την αποκατάσταση. Βελτίωση κατά 20%

## Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με στους αρμούς

Πίνακας 5. 8 Αποτελέσματα των συνδυασμών κατά την διεύθυνση γ σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση

	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	0,91	1,69	×	23,54	3,9	✓	75,56	0,62	✓	56,54	1,6	✓
	ΠΔ4	16	0,76	✓	22	1,95	✓	2,4	2,7	✓	0	0,026	✓
	ΠΔ5	12	3	✓	15	1	✓	36	0,7	✓	33,6	1,36	✓
	ΠΔ6-7	44,6	1,32	✓	56,6	0,91	✓	20,83	6,46	✓	7,7	4,23	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΔ7-Δ11	64,5	415	×	64,5	321	×	64,5	216	×	64,5	123,75	×
	ΥΔ12	64,5	158	×	64,5	87	×	64,5	212	×	64,5	140	×

Πίνακας 5. 9 Αποτελέσματα των συνδυασμών κατά την διεύθυνση χ σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση

	Δ/Ε	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	0	2	×	65	5,34	✓	80	4,36	✓	12,6	3	✓
	ΠΔ4	0,71	3,68	×	23,5	5,4	×	17,55	5,62	✓	0	3,46	✓
	ΠΔ5	16,2	4,9	✓	25,6	2	✓	31,8	2,5	✓	22,73	4,36	✓
	ΠΔ6-7	17,5	2	✓	58,3	5,46	✓	47,8	7,13	✓	5,9	0,32	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΔ7-Δ11	64,5	334	×	64,5	26	✓	64,5	134	×	64,5	173	×
	ΥΔ12	64,5	136	×	64,5	101	×	64,5	190	×	64,5	4	✓

Πίνακας 5. 10 Αποτελέσματα των συνδυασμών κατά την διεύθυνση γ σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση

	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	10,43	1,32	✓	30,53	3,6	✓	69	0,76	✓	51	1,52	✓
	ΠΔ4	14,25	0,77	✓	20,9	1,73	✓	4,18	2,35	✓	2,75	0,15	✓
	ΠΔ5	11,82	2,31	✓	13,4	0,25	✓	38,7	0,68	✓	37,5	1,88	✓
	ΠΔ6-7	54,6	3,04	✓	63,58	3,88	✓	11,8	2,22	✓	1,65	1,37	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΔ7-Δ11	105	1428	×	105	1071	×	105	632	×	105	300	×
	ΥΔ12	105	109	×	105	42	✓	105	170	×	105	57,7	✓



Πίνακας 5. 11 Αποτελέσματα των συνδυασμών κατά την διεύθυνση x σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση

	Δ/Ε	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΔ2	1,59	2,32	×	65,6	5,26	✓	76,5	4,41	✓	14,7	3,18	✓
	ΠΔ4	0	3,47	×	0,34	4,87	×	22,86	5,05	✓	18	3,29	✓
	ΠΔ5	19,12	5,15	✓	24	3,39	✓	32	3,52	✓	26,65	5,02	✓
	ΠΔ6-7	26	1,47	✓	57	4,28	✓	41,8	3,78	✓	9,25	0,97	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΔ7-Δ11	105	1232	×	105	62,5	✓	105	456	×	105	717	×
	ΥΔ12	105	114	×	105	111	×	105	175	×	105	50	✓

- 1) Διατομή ελέγχου πεσσού (ΠΔ2-ΠΔ3) για την περίπτωση του συνδυασμού Ey1.  
Πραγματοποιείται σύγκριση στους ροπή δράσης και στους ροπή αντοχής στους εξεταζόμενης διατομής

$$M_R = \frac{\sigma l t^2}{2} \left( 1 - \frac{\sigma}{f_c} \right) > M_s \quad (6)$$

$\sigma$  : μέση θλιπτική τάση ( $\sigma=N/(l \times t)=F33/(1.9 \times 0.80)=33/(1.9 \times 0.8)=21.71 \text{ kPa}$ )

$l$  : μήκος στους διατομής ( $l=1.9 \text{ m}$ )

$t$  : πάχος στους διατομής ( $t=0.8 \text{ m}$ )

$f_c$  : θλιπτική αντοχή στους τοιχοποιίας ( $f_c=1290 \text{ kPa}$ )

$M_R=0.39 \text{ kNm} < M_s=M_1=1.8 \text{ kNm}$

- 2) Διατομή ελέγχου τόξου (ΥΔ12) για την περίπτωση του συνδυασμού Ey4.

$$\sigma_t = \frac{M_s}{W} = \frac{6 \times M_s}{l \times t^2} < f_t \quad (5)$$

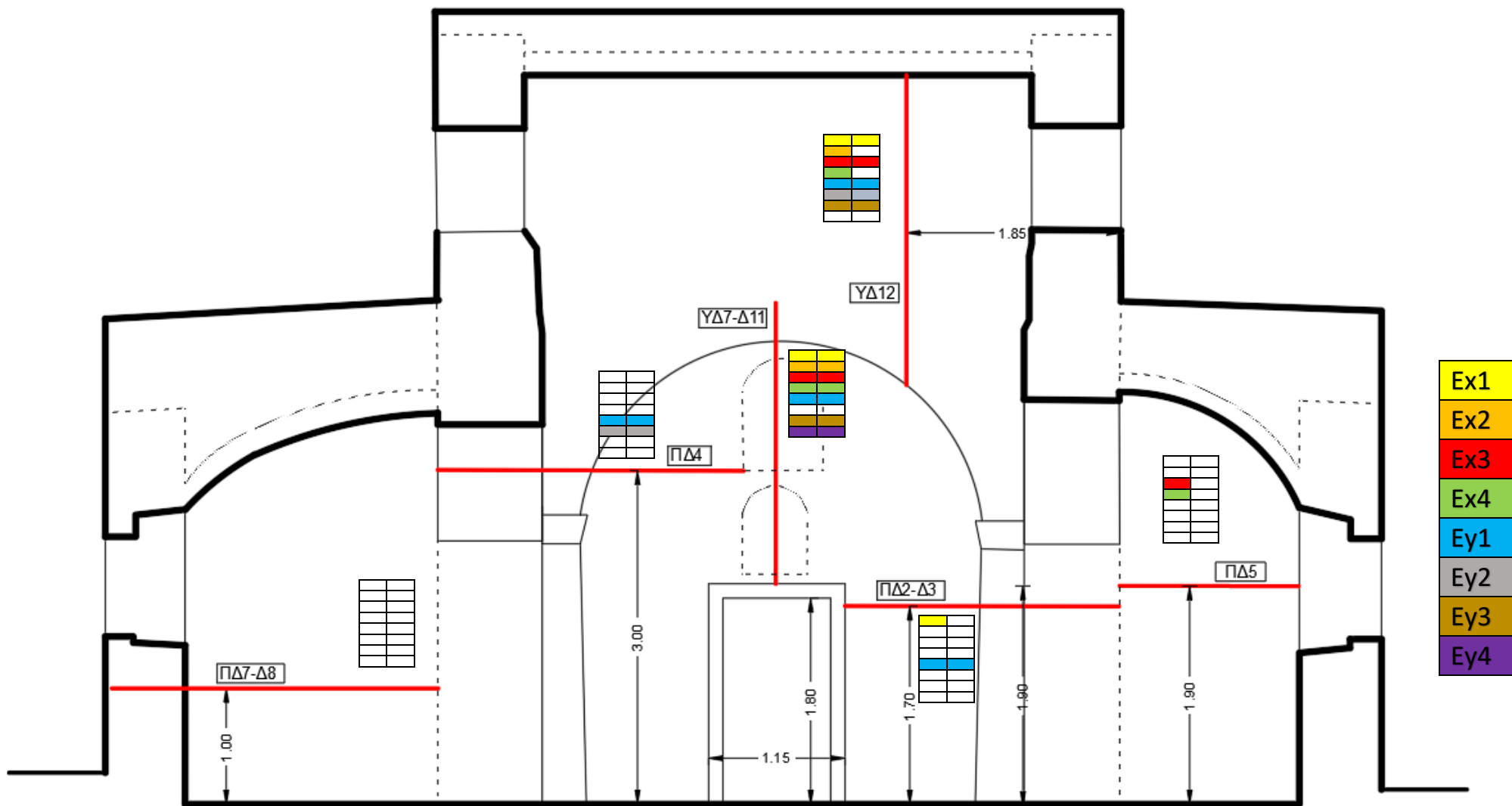
$M_s$  : ροπή κάθετα στους αρμούς στους τοιχοποιίας ( $M_1=3,20 \text{ kNm}$ )

$l$  : μήκος στους εξεταζόμενης διατομής ( $l=1.1 \text{ m}$ )

$t$  : πάχος στους εξεταζόμενης διατομής ( $t=0.55$ )

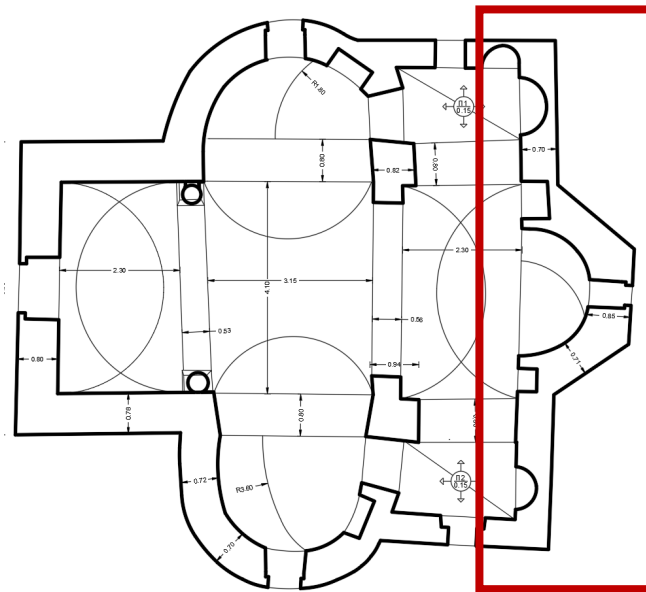
$f_t$  : εφελκυστική αντοχή στους τοιχοποιίας ( $f_t=105 \text{ kPa}$ )

$\sigma_t=57,7 \text{ kPa} < 105 \text{ kPa}$

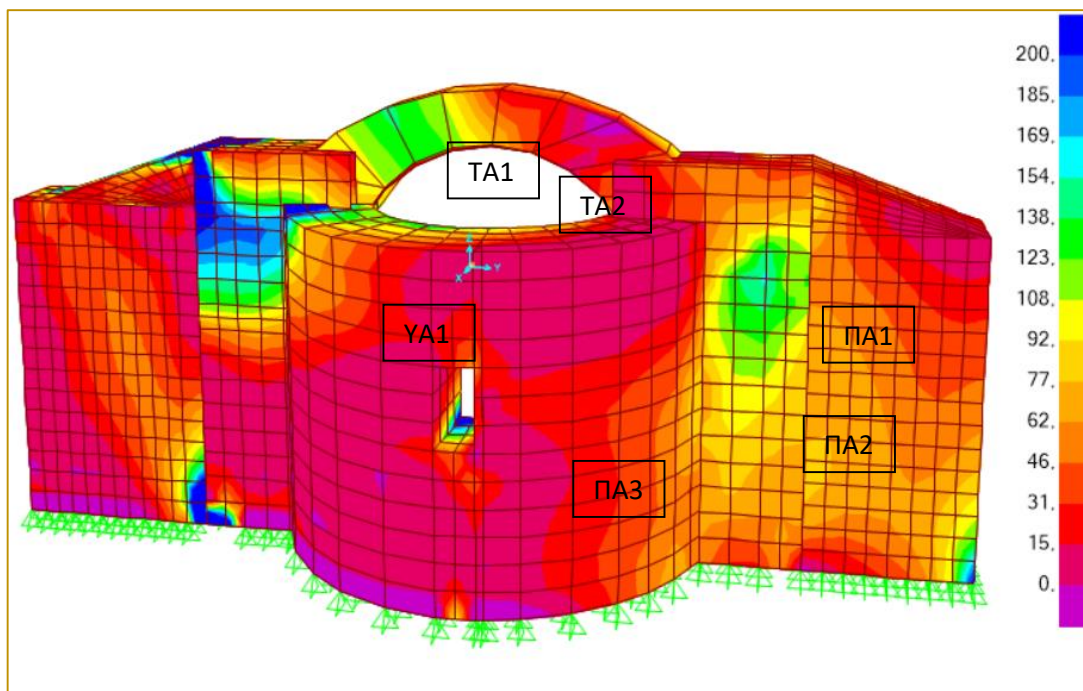


5. 10 Επισήμανση των αστοχιών στην τομή ΔΔ' για της ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς πριν και μετά την αποκατάσταση. Βελτίωση κατά 25%

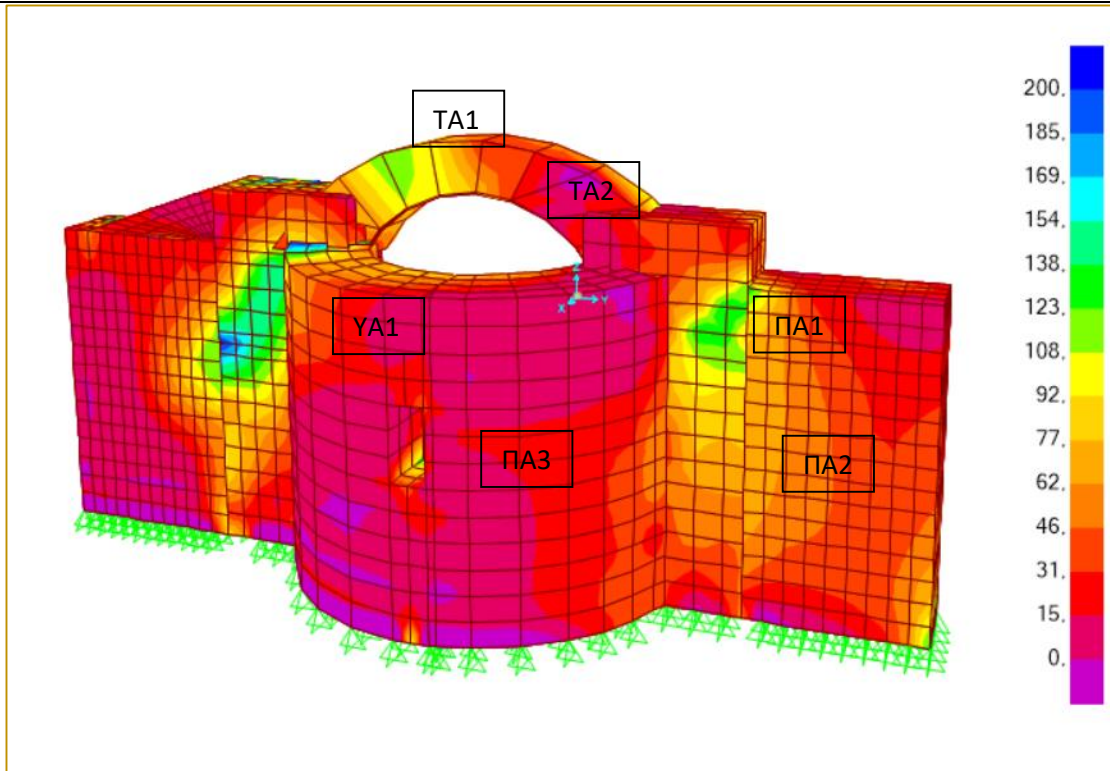
➤ Ανατολική Όψη και τομή ΑΑ΄



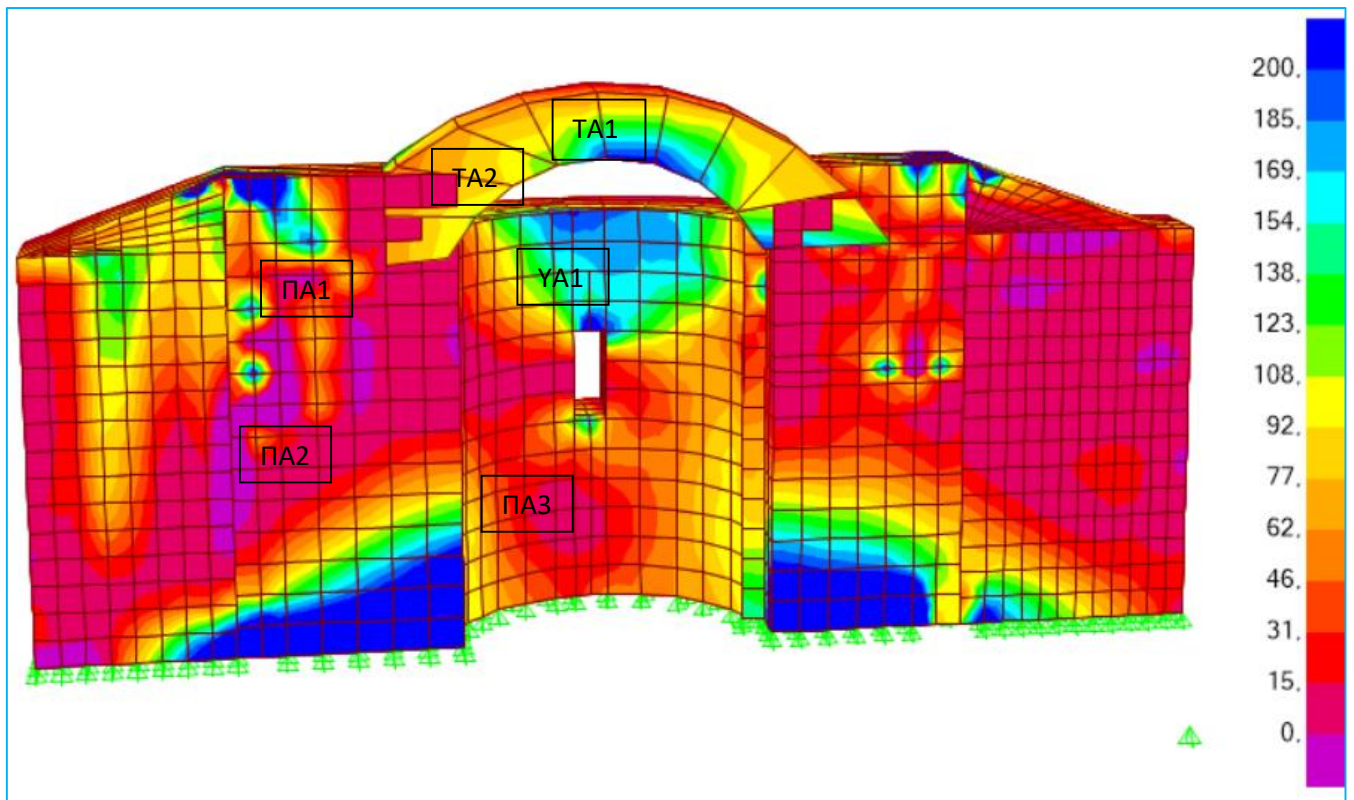
5. 11 Επισήμανση της εξεταζόμενης ανατολικής όψης και τομής ΑΑ΄



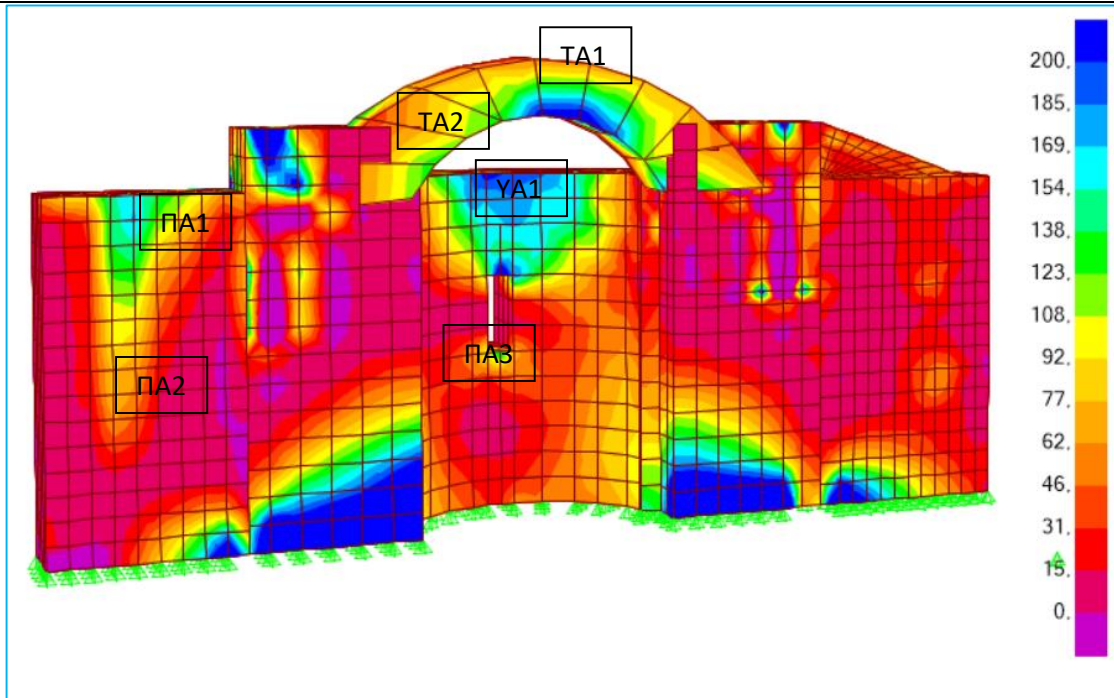
5. 12 Κατανομή των κυρίων τάσεων για των συνδυασμό Εγ3 στην ανατολική όψη πριν την αποκατάσταση



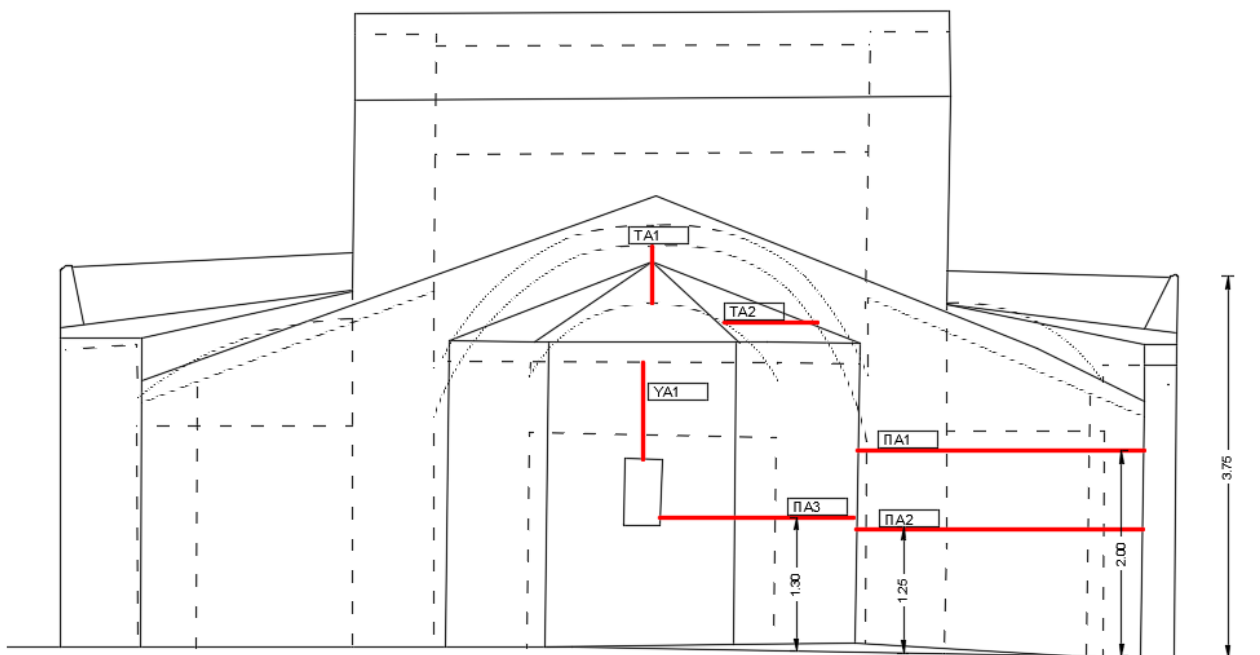
5. 13 Κατανομή των κυρίων τάσεων για των συνδυασμό Eγ3 στην ανατολική όψη μετά την αποκατάσταση



5. 14 Κατανομή των κυρίων τάσεων για των συνδυασμό Eγ1 στην τομή ΑΑ' πριν την αποκατάσταση



5. 15 Κατανομή των κυρίων τάσεων για των συνδυασμό Eγ1 στην τομή ΑΑ' μετά την αποκατάσταση



5. 16 Επισήμανση των διατομών ελέγχου στην Ανατολική όψη

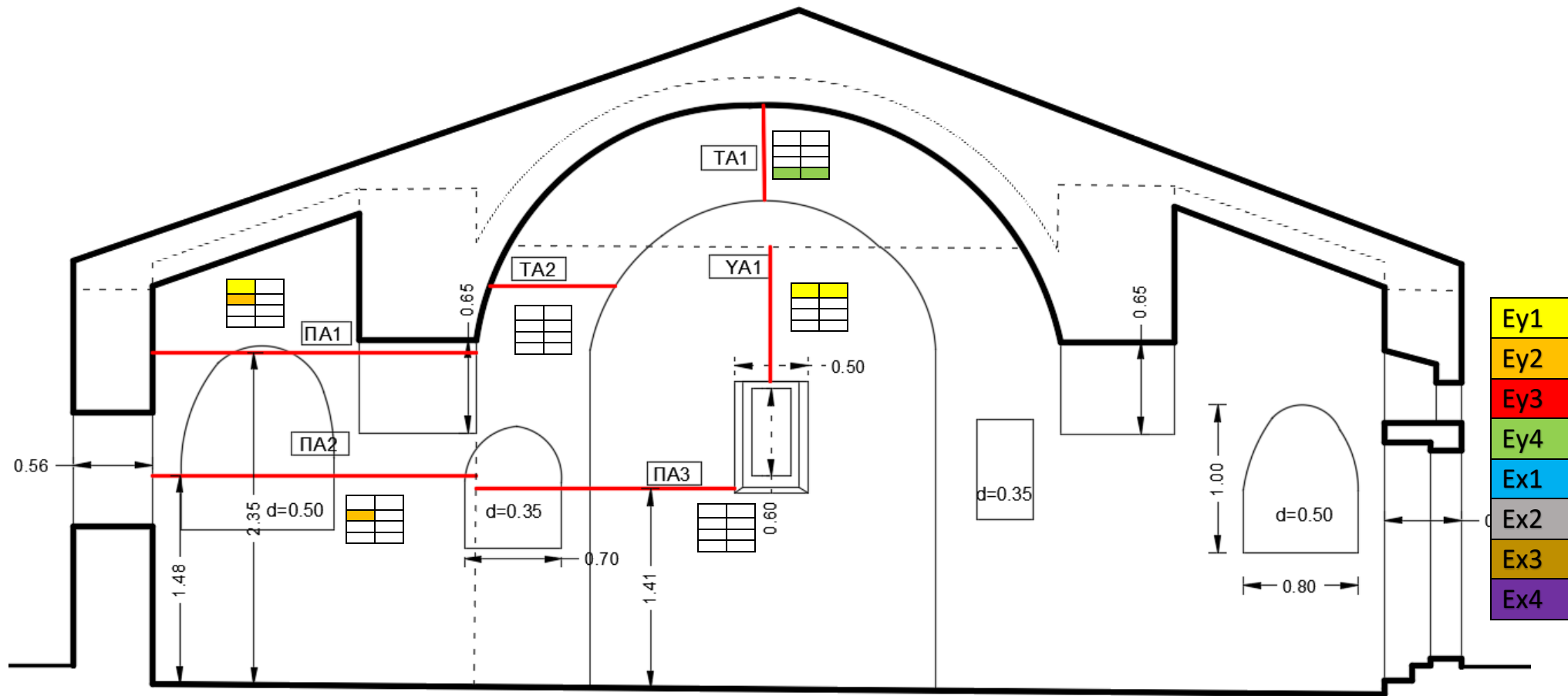
Έλεγχος σε τέμνουσα

Πίνακας 5. 12 Αποτελέσματα σε τέμνουσα κατά την διεύθυνση γ πριν την αποκατάσταση

Τέμνουσα	Δ/Ε	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>		V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΥΨΗ	ΠΑ1	0,43	9,97	×	0	5,42	×	149	27	✓	152	22	✓
	ΠΑ2	4,39	1,05	✓	0	8,6	×	173	31,8	✓	182	41,4	✓
	ΠΑ3	141	73,3	✓	133	12,35	✓	134,4	52,7	✓	143	33	✓
	ΤΑ2	63	61,68	✓	43	0,43	✓	72	11,52	✓	80,6	73,65	✓
	ΤΑ1	21,2	11,14	✓	28	4,83	✓	24,2	6,92	✓	7	22,9	×
	ΥΑ1	1	11,25	×	9,51	6,9	✓	39	11,58	✓	32	7,25	✓

Πίνακας 5. 13 Αποτελέσματα σε τέμνουσα κατά την διεύθυνση γ μετά την αποκατάσταση

Τέμνουσα		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		V <sub>Rd</sub>			V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>		V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>		V <sub>Rd</sub>	V <sub>Sd</sub>	
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΥΨΗ	ΠΑ1	163	18	✓	160	27	✓	249	15	✓	193	5	✓
	ΠΑ2	124	48	✓	100	51	✓	160	88	✓	167	92	✓
	ΠΑ3	168	77	✓	160	77	✓	152	60	✓	101	37	✓
	ΤΑ2	80	32	✓	72	12	✓	114	32	✓	82	51	✓
	ΤΑ1	20,4	8	✓	28	13	✓	21	25	✓			×
	ΥΑ1	10	25	×	18	25	✓	40	26	✓	27,5	26	✓



5. 17. Επισήμανση των αστοχιών στην τομή ΑΑ' για την τέμνουσα πριν και μετά την αποκατάσταση. Βελτίωση κατά 60%

Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς

Πίνακας 5. 14 Αποτελέσματα σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για στους συνδυασμούς κατά την διεύθυνση γ

P.E.E ⊥		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	64,5	10,32	✓	64,5	7,74	✓	64,5	9,23	✓	64,5	6,65	✓
	ΠΑ2	64,5	10,52	✓	64,5	15,8	✓	64,5	28	✓	64,5	33	✓
	ΠΑ3	64,5	58,9	✓	64,5	8,68	✓	64,5	0,76	✓	64,5	51	✓
	ΤΑ2	64,5	13,52	✓	64,5	3,6	✓	64,5	1	✓	64,5	8,94	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΤΑ1	7	2,4	✓	0	1,53	×	0	0,7	×	3,67	0,18	✓
	ΥΑ1	0	9,55	×	1,5	3,82	×	0	4,12	×	0	9,25	×

Πίνακας 5. 15 Αποτελέσματα σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για στους συνδυασμούς κατά την διεύθυνση x

P.E.E ⊥		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	64,5	7,35	✓	64,5	1,16	✓	64,5	6,27	✓	64,5	2,24	✓
	ΠΑ2	64,5	11	✓	64,5	6,65	✓	64,5	6,52	✓	64,5	24,12	✓
	ΠΑ3	64,5	114	×	64,5	52,7	✓	64,5	55	✓	64,5	112	×
	ΤΑ2	64,5	12	✓	64,5	9,6	✓	64,5	11	✓	64,5	22	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΤΑ1	14	2,66	✓	0	0,27	×	0	0,94	×	13	2	✓
	ΥΑ1	8,91	5,22	✓	8,2	1,2	✓	0	0,2	×	0	9,55	×

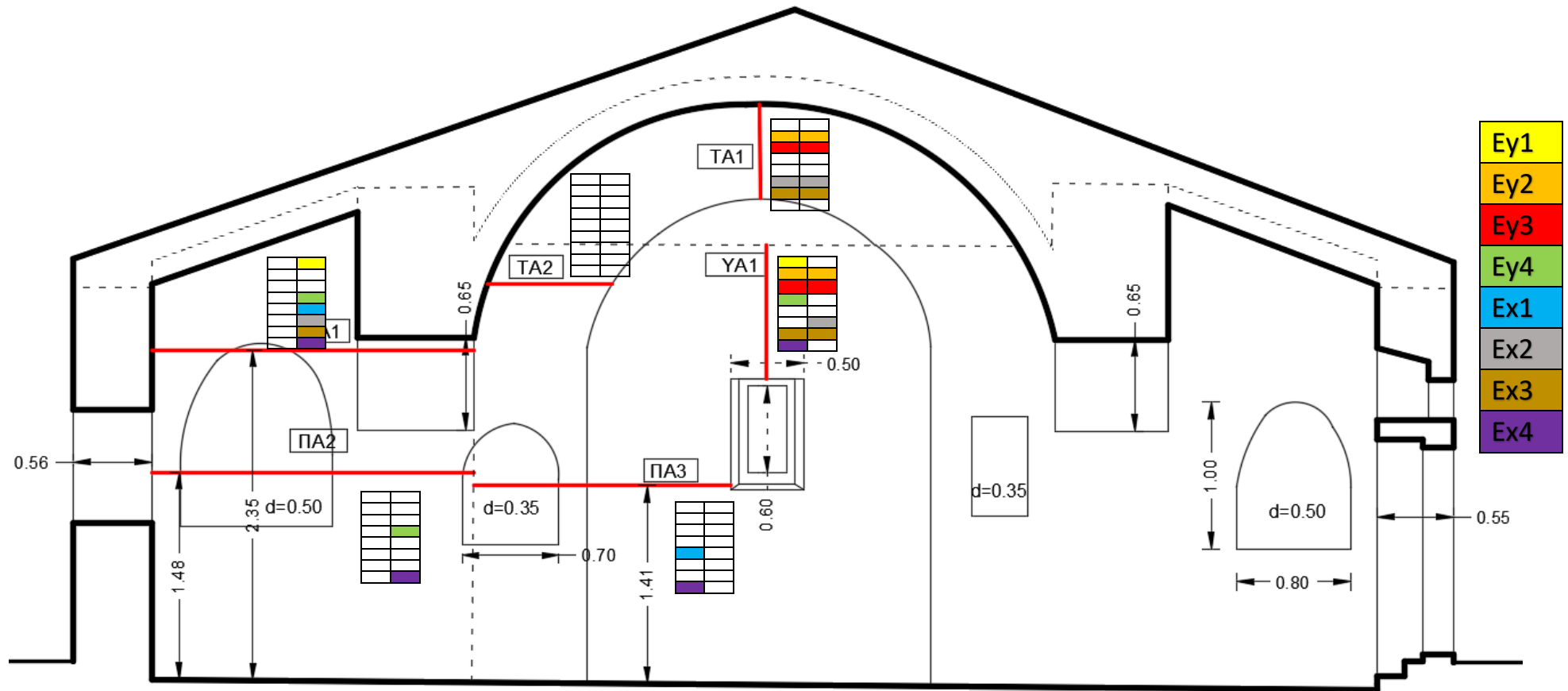
Πίνακας 5. 16 Αποτελέσματα σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για στους συνδυασμούς κατά την διεύθυνση γ

P.E.E ⊥		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	105	149	×	105	66	✓	105	67	✓	105	282	×
	ΠΑ2	105	9,7	✓	105	51	✓	105	81	✓	105	123	×
	ΠΑ3	105	48	✓	105	5,63	✓	105	3,62	✓	105	46,37	✓
	ΤΑ2	105	4,41	✓	105	24,5	✓	105	28,4	✓	105	48,5	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΤΑ1	6,58	3,76	✓	0	2,48	×	0	2,11	×	2,16	0,82	✓
	ΥΑ1	5,4	1,52	✓	0	0,44	×	0	0,73	×	7,14	1,81	✓



Πίνακας 5. 17 Αποτελέσματα σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για στους συνδυασμούς κατά την διεύθυνση x

Ρ.Ε.Ε ⊥		Εx1			Εx2			Εx3			Εx4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΥΣΗ	ΠΑ1	105	449	×	105	2112,5	×	105	232	×	105	488	×
	ΠΑ2	105	84,9	✓	105	52,37	✓	105	12,53	✓	105	125	×
	ΠΑ3	105	97,61	✓	105	45	✓	105	45,6	✓	105	97	✓
	ΤΑ2	105	37,5	✓	105	29,3	✓	105	28,8	✓	105	53,3	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΤΑ1	12,5	3,65	✓	0	0,63	×	0	2	×	11	2,28	✓



5. 18 Επισήμανση των αστοχιών στην τομή ΑΑ' για την ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς πριν και μετά την αποκατάσταση. Επιδείνωση κατά 23%

## Έλεγχος σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με στους αρμούς

Πίνακας 5. 18 Αποτελέσματα σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για τους συνδυασμούς κατά την διεύθυνση γ

P.E.E //		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	0	3,53	×	0	0,39	×	403	0,7	✓	488	3,22	✓
	ΠΑ2	0	0,97	×	0	0,98	×	52	3,3	✓	61,4	5,22	✓
	ΠΑ3	36	12	✓	30,26	20	✓	31,5	8,23	✓	37,8	0,52	✓
	ΤΑ2	2,82	6,56	×	4,46	1	✓	0	0,87	×	0	6,46	×
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΤΑ1	64,5	20,8	✓	64,5	0,55	✓	64,5	29	✓	64,5	50,4	✓
	ΥΑ1	64,5	60,5	✓	64,5	55,64	✓	64,5	55,64	✓	64,5	51,72	✓

Πίνακας 5. 19 Αποτελέσματα σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για τους συνδυασμούς κατά την διεύθυνση x

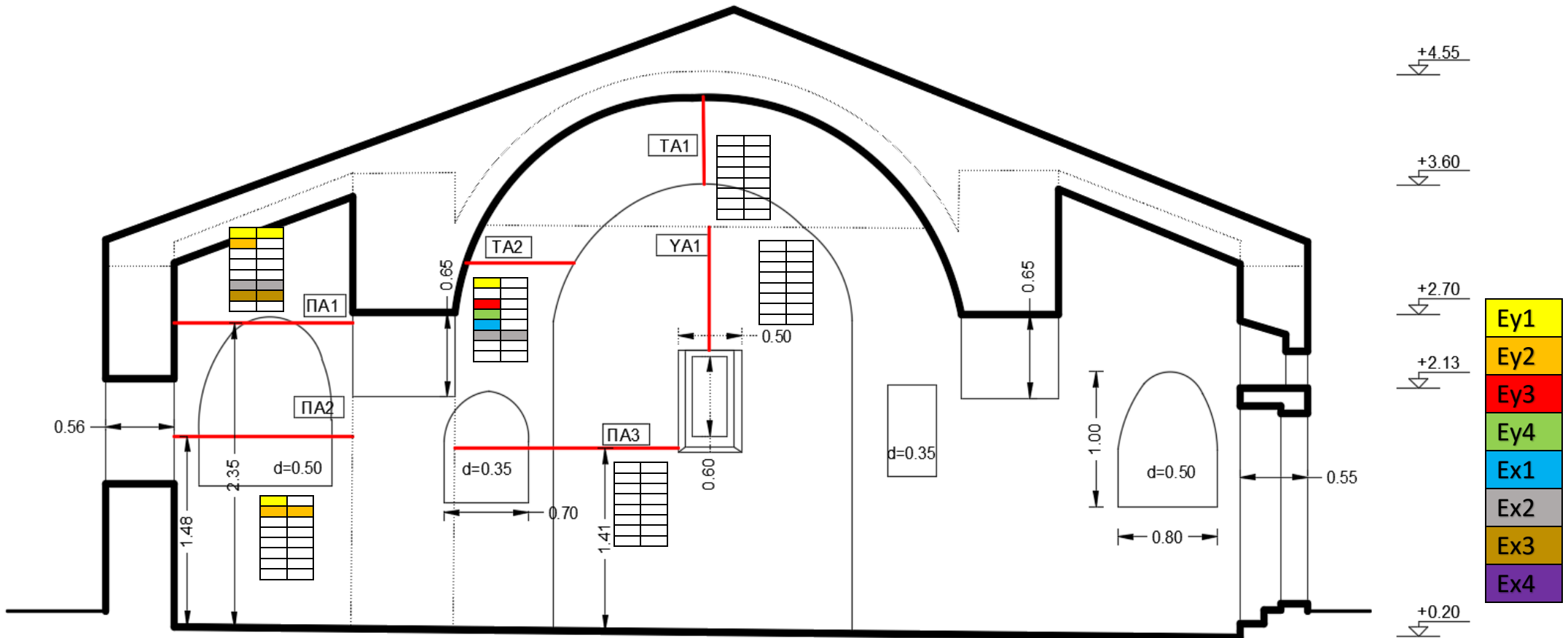
P.E.E //		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	18	8	✓	5,74	5	×	43,7	5,2	×	188	7,9	✓
	ΠΑ2	31	4,72	✓	0,52	1,77	✓	20,35	0,5	✓	50	6	✓
	ΠΑ3	44	1	✓	23	24,7	✓	23,7	21,26	✓	44,53	4,43	✓
	ΤΑ2	0	13	×	11,33	5,54	×	2,34	5,58	✓	0	13	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΤΑ1	64,5	56	✓	64,5	15,1	✓	64,5	6,32	✓	64,5	65	✓
	ΥΑ1	64,5	25,25	✓	64,5	12	✓	64,5	21,4	✓	64,5	8,16	✓

Πίνακας 5. 20 Αποτελέσματα σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για τους συνδυασμούς κατά την διεύθυνση γ

P.E.E //		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	12,45	9,91	✓	2,8	5,8	×	6,06	6,54	×	15,7	9,17	✓
	ΠΑ2	29,15	7,37	✓	4,47	2,4	✓	17,57	1,84	✓	41,82	7,92	✓
	ΠΑ3	44	1,25	✓	22,4	22,19	✓	21	18,46	✓	42,5	2,48	✓
	ΤΑ2	23,4	9,96	✓	1,53	4,16	×	4,38	4,2	✓	25,63	9,92	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΤΑ1	105	43	✓	105	17,34	✓	105	10,2	✓	105	56,32	✓
	ΥΑ1	105	19,5	✓	105	6,5	✓	105	13,46	✓	105	13,15	✓

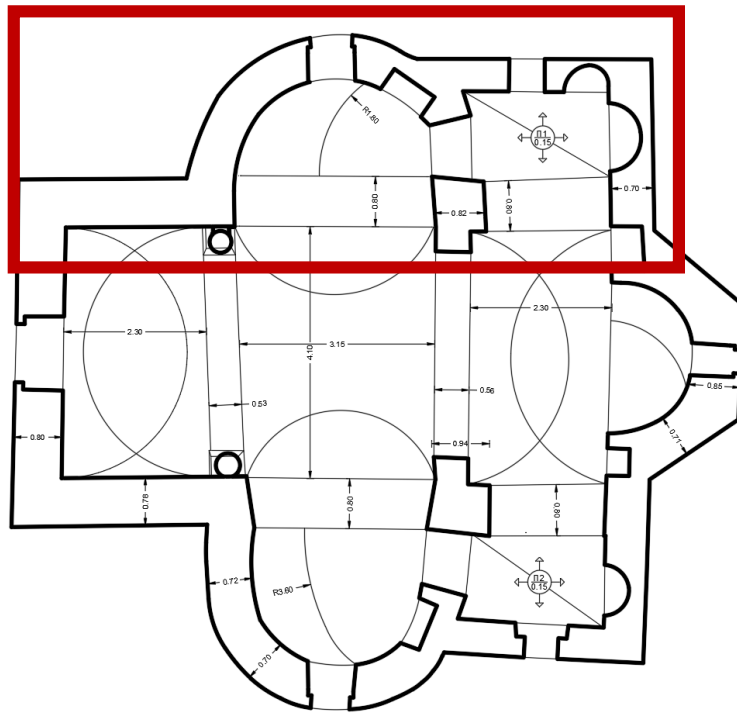
Πίνακας 5. 21 Αποτελέσματα σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για στους συνδυασμούς κατά την διεύθυνση x

P.E.E.//		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΠΑ1	5,24	5,28	×	2,32	0,57	✓	13,3	1,91	✓	16,14	2,8	✓
	ΠΑ2	5,36	3,3	✓	0	0,37	×	41	2,23	✓	48	5,16	✓
	ΠΑ3	38	12,9	✓	32	19,2	✓	26,5	6,78	✓	33	0,5	✓
	ΤΑ2	13,28	5,07	✓	6,54	0,83	✓	15,4	0,68	✓	21,53	4,92	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΤΑ1	105	17,34	✓	105	2,44	✓	105	21,4	✓	105	41,43	✓
	ΥΑ1	105	48,5	✓	105	44,76	✓	105	22,4	✓	105	9,37	✓

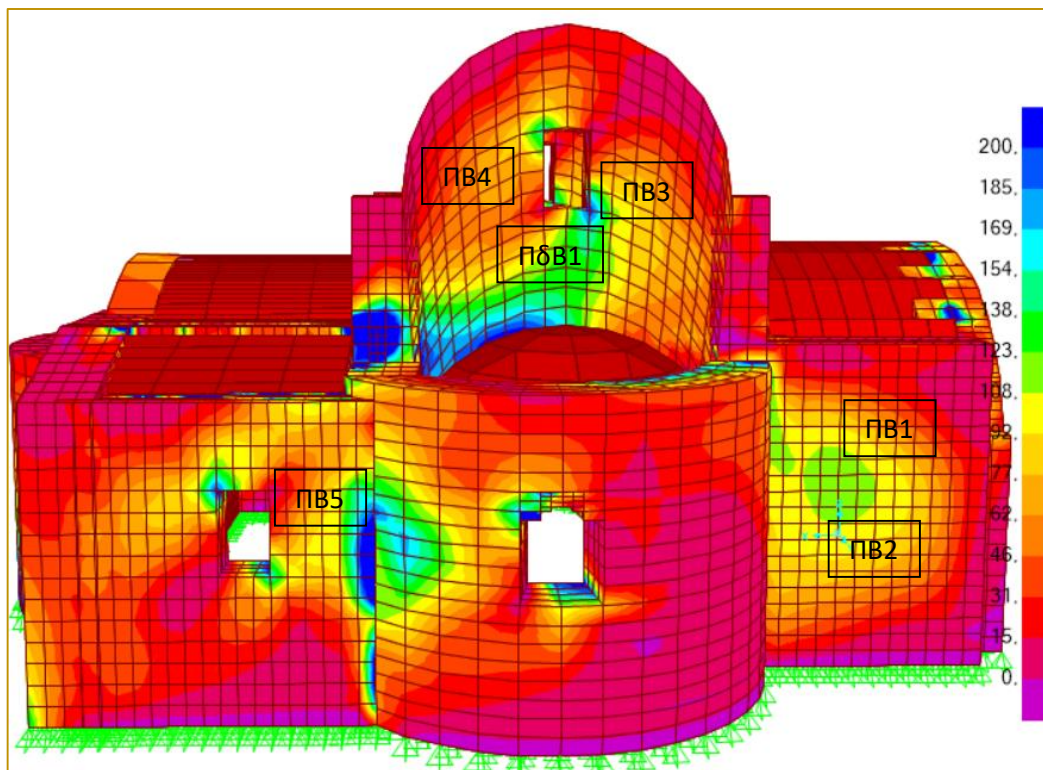


5. 19 Επισήμανση των αστοχιών στην τομή ΑΑ' για την ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς πριν και μετά την αποκατάσταση. Βελτίωση κατά 54%

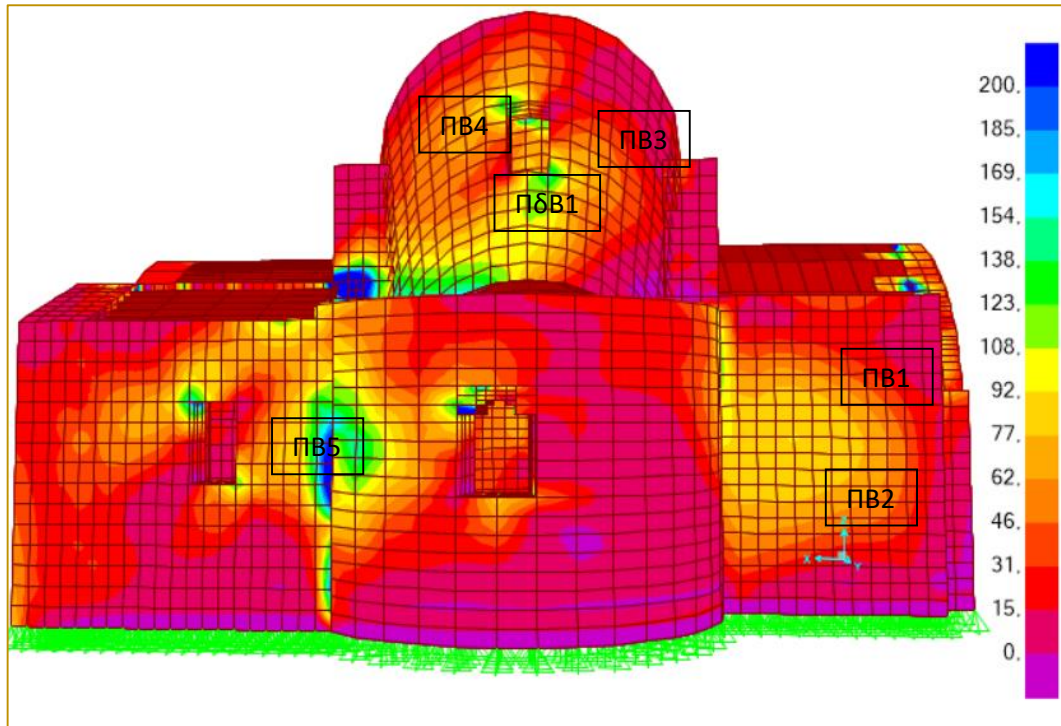
➤ Βόρεια Όψη και τομή ΒΒ'



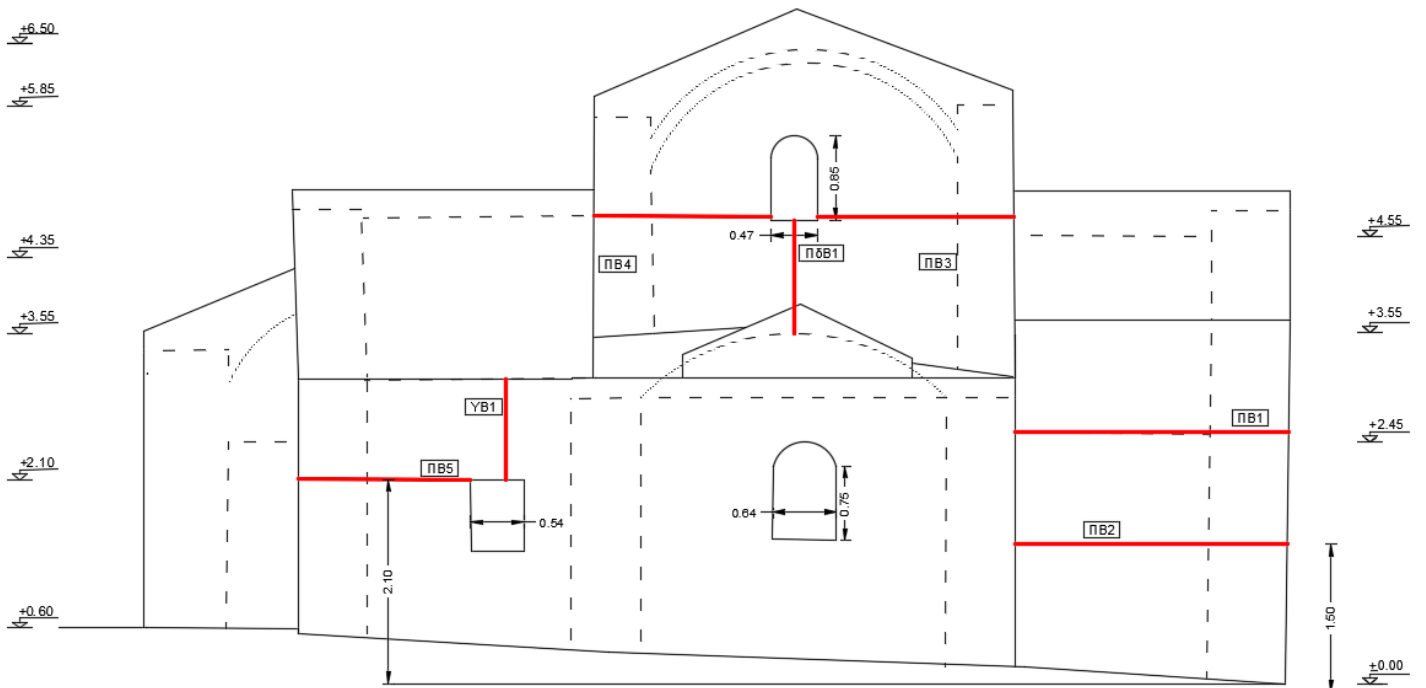
5. 20 Επισήμανση στους εξεταζόμενης όψης –Βόρεια όψη και τομή ΒΒ'



5. 21 Κατανομή των κυρίων τάσεων στην βόρεια όψη για τον συνδυασμό Εx3 πριν την αποκατάσταση



5. 22 Κατανομή των κυρίων τάσεων στην βόρεια όψη για τον συνδυασμό Εχ3 μετά την αποκατάσταση



5. 23 Επισήμανση των διατομών ελέγχου στην βόρεια όψη

## Έλεγχος σε τέμνουσα

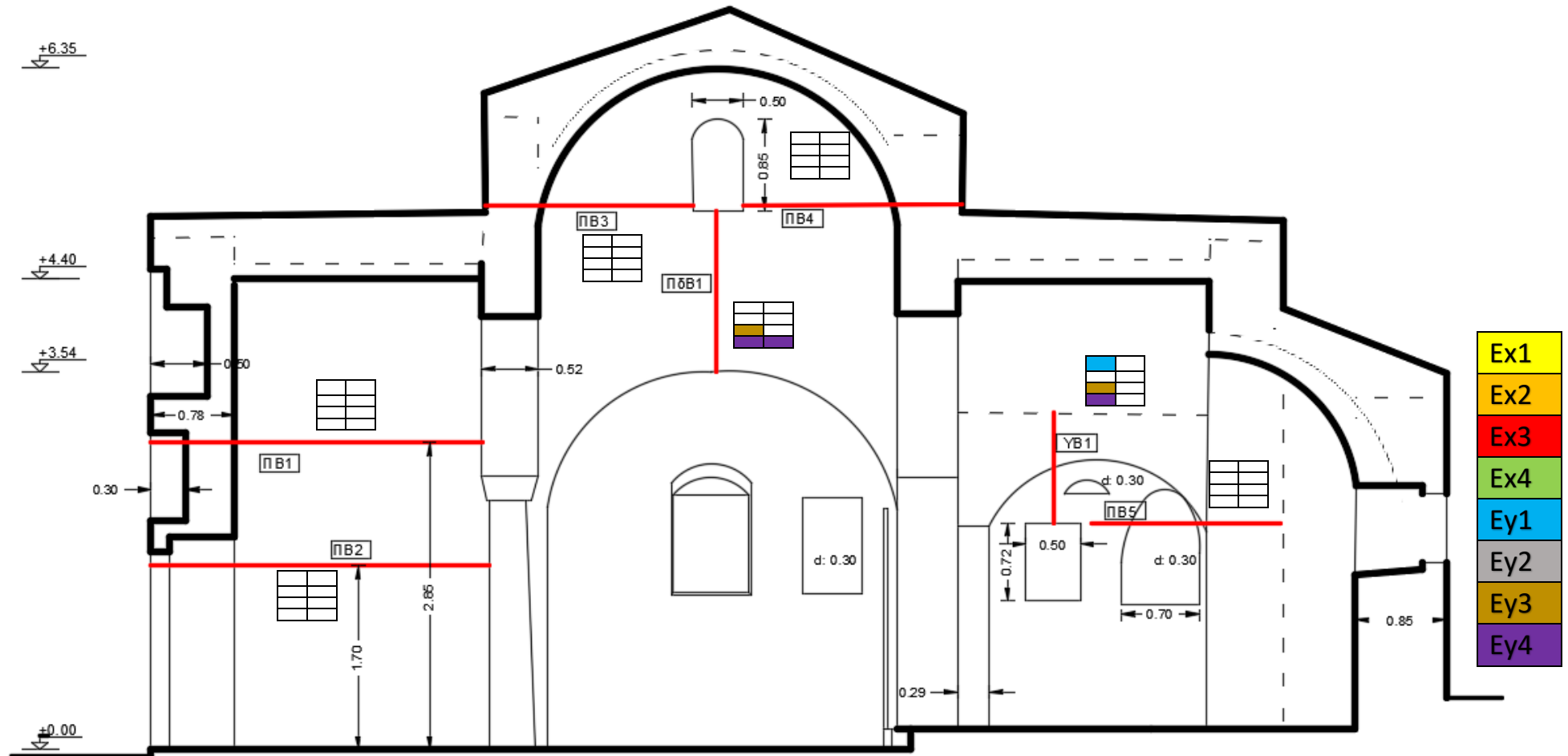
Πίνακας 5. 22 Αποτελέσματα των διατομών ελέγχου σε τέμνουσα πριν την αποκατάσταση

Τέμνουσα		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	235	3,94	✓	255	40,67	✓	258	0,48	✓	190	44,23	✓
	ΠΒ2	204	16,78	✓	327	105,1	✓	333	96,97	✓	258	24,89	✓
	ΠΒ3	122,7	11,2	✓	125	27,83	✓	135,6	29,25	✓	99,68	12,62	✓
	ΠΒ4	137	19,65	✓	81	9,09	✓	84	4,59	✓	171	24,15	✓
	ΠΒ5	136	19,25	✓	98	6,28	✓	54,9	19,9	✓	146	5,6	✓
	ΥΒ1	42	64	×	71	66,7	✓	37,9	59,5	×	29,4	71,5	×
	ΠΔΒ1	49	55,13	✓	134,8	103	✓	95,2	101	×	0	57,4	×

Πίνακας 5. 23 Αποτελέσματα των διατομών ελέγχου σε τέμνουσα μετά την αποκατάσταση

Τέμνουσα		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	235	3,94	✓	255	40,67	✓	258	0,48	✓	190	44,23	✓
	ΠΒ2	204	16,78	✓	327	105,1	✓	333	96,97	✓	258	24,89	✓
	ΠΒ3	122,7	11,2	✓	125	27,83	✓	135,6	29,25	✓	99,68	12,62	✓
	ΠΒ4	137	19,65	✓	81	9,09	✓	84	4,59	✓	171	24,15	✓
	ΠΒ5	136	19,25	✓	98	6,28	✓	54,9	19,9	✓	146	5,6	✓
	ΥΒ1	42	64	×	71	66,7	✓	37,9	59,5	×	29,4	71,5	×
	ΠΔΒ1	49	55,13	✓	134,8	103	✓	95,2	101	×	0	57,4	×





5. 24 Επισήμανση των αστοχιών στην τομή ΒΒ' για τέμνουσα στους αρμούς πριν και μετά την αποκατάσταση. Βελτίωση κατά 83%

Ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς

Πίνακας 5. 24 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση γ.

P.E.E. ↓		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	64,5	68	×	64,5	85,5	×	64,5	116	×	64,5	135	×
	ΠΒ2	64,5	25,66	✓	64,5	9	✓	64,5	42,5	✓	64,5	25,86	✓
	ΠΒ3	72	16,32	✓	72	19	✓	72	6,83	✓	72	9,49	✓
	ΠΒ4	72	9,31	✓	72	6,76	✓	72	2,55	✓	72	0,006	✓
	ΠΒ5	72	38,6	✓	72	4,42	✓	72	32,6	✓	72	10,61	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΒ1	0	1,47	×	0	0,71	×	8,9	0,8	✓	11,5	0,03	✓
	ΠΔΒ1	16,3	6,35	✓	24,7	1,5	✓	0	7,2	×	0	15	×

Πίνακας 5. 25 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση χ

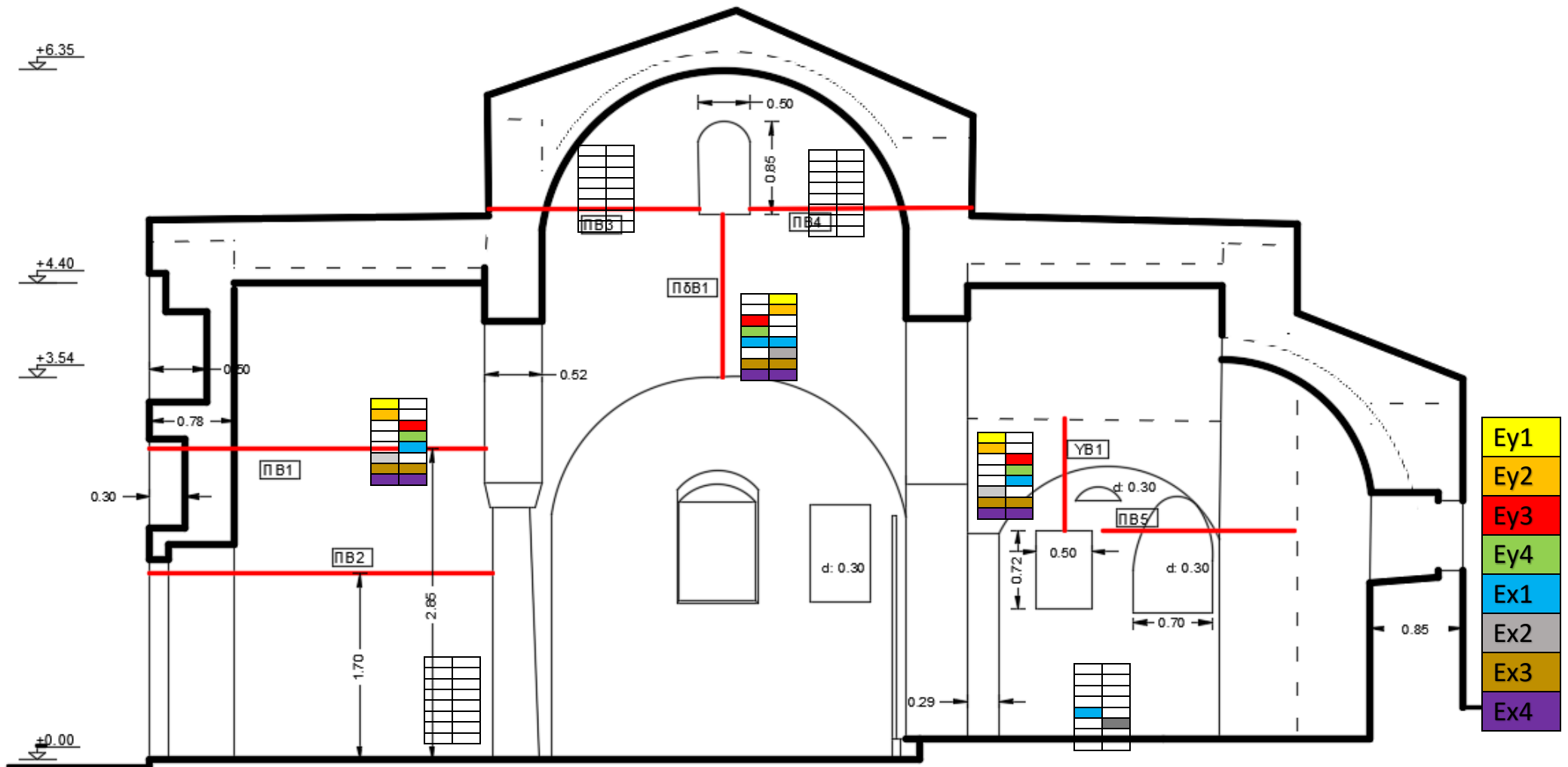
P.E.E. ↓		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	64,5	25,86	✓	64,5	36	✓	64,5	24,4	✓	64,5	86,6	×
	ΠΒ2	64,5	27	✓	64,5	28,41	✓	64,5	43,9	✓	64,5	11,57	✓
	ΠΒ3	72	4,16	✓	72	13,16	✓	72	5,41	✓	72	3,66	✓
	ΠΒ4	72	9	✓	72	0,64	✓	72	2,16	✓	72	6,18	✓
	ΠΒ5	72	79	×	72	64,54	✓	72	73	✓	72	70,7	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΒ1	3,55	1,83	✓	0	0,71	×	0	1,16	×	8,83	1,38	×
	ΠΔΒ1	0	18,5	×	21,9	7,6	✓	11,15	5	×	0	21	×

Πίνακας 5. 26 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση γ

P.E.E. ↓		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	105	15,8	✓	105	74,35	✓	105	48	✓	105	9,68	✓
	ΠΒ2	105	35	✓	105	30	✓	105	59	✓	105	53	✓
	ΠΒ3	112,5	10,2	✓	112,5	10,4	✓	113	2,36	✓	112,5	2,55	✓
	ΠΒ4	112,5	7	✓	112,5	4	✓	113	1,27	✓	112,5	4,14	✓
	ΠΒ5	112,5	32	✓	112,5	10,17	✓	113	27,4	✓	112,5	15,32	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΥΒ1	3,58	1,48	✓	5,43	0,8	✓	0	0,84	×	0	0,168	×
	ΠΔΒ1	0	8	×	0	1,82	×	8,2	3,36	✓	16,36	9,64	✓

Πίνακας 5. 27 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση x

Ρ.Ε.Ε.Ι	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4			
	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	105	61	√	105	132	×	105	126	√	105	68	√
	ΠΒ2	105	11	√	105	8,76	√	105	35,5	√	105	15,5	√
	ΠΒ3	112,5	5,48	√	112,5	6,18	√	112,5	2,36	√	112,5	1,66	√
	ΠΒ4	112,5	9,44	√	112,5	0,25	√	112,5	1,05	√	112,5	8,55	√
	ΠΒ5	112,5	76	√	112,5	66	√	112,5	71	√	112,5	71	√
		Mrd	Msd		Mrd	Msd		Mrd	Msd		Mrd	Msd	
	ΥΒ1	0	1,69	×	3,67	0,57	√	0,32	1,06	×	0	1,2	×
	ΠΔΒ1	7,36	16	×	0	4,96	×	0	4,5	×	15,94	16,4	×



5. 25 Επισήμανση των αστοχιών στην τομή ΑΑ' για την ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς πριν και μετά την αποκατάσταση. Βελτίωση κατά 20%

Ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς

Πίνακας 5. 28 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση γ

P.E.E. //	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4			
	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	
ΒΟΡΕΙΑ ΟΥΨΗ	ΠΒ1	6,9	7,6	×	12,5	7,9	✓	22,63	10	✓	17,1	10	✓
	ΠΒ2	45,8	1,42	✓	62,7	2	✓	80,5	15,32	✓	65	16	✓
	ΠΒ3	7,8	5	✓	10,93	6,63	✓	12,12	3,52	✓	9	5	✓
	ΠΒ4	5	5,6	×	2,4	4,24	×	12,75	5,6	✓	15,3	4,23	✓
	ΠΒ5	3,46	2,4	✓	0	1,5	×	24,5	2,92	✓	34	2	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΒ1	72	11	✓	72	0,4	✓	72	5,15	✓	72	1,41	✓
	ΠδΒ1	64,5	13	✓	64,5	26,8	✓	64,5	7,43	×	64,5	21	✓

Πίνακας 5. 29 : Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση x

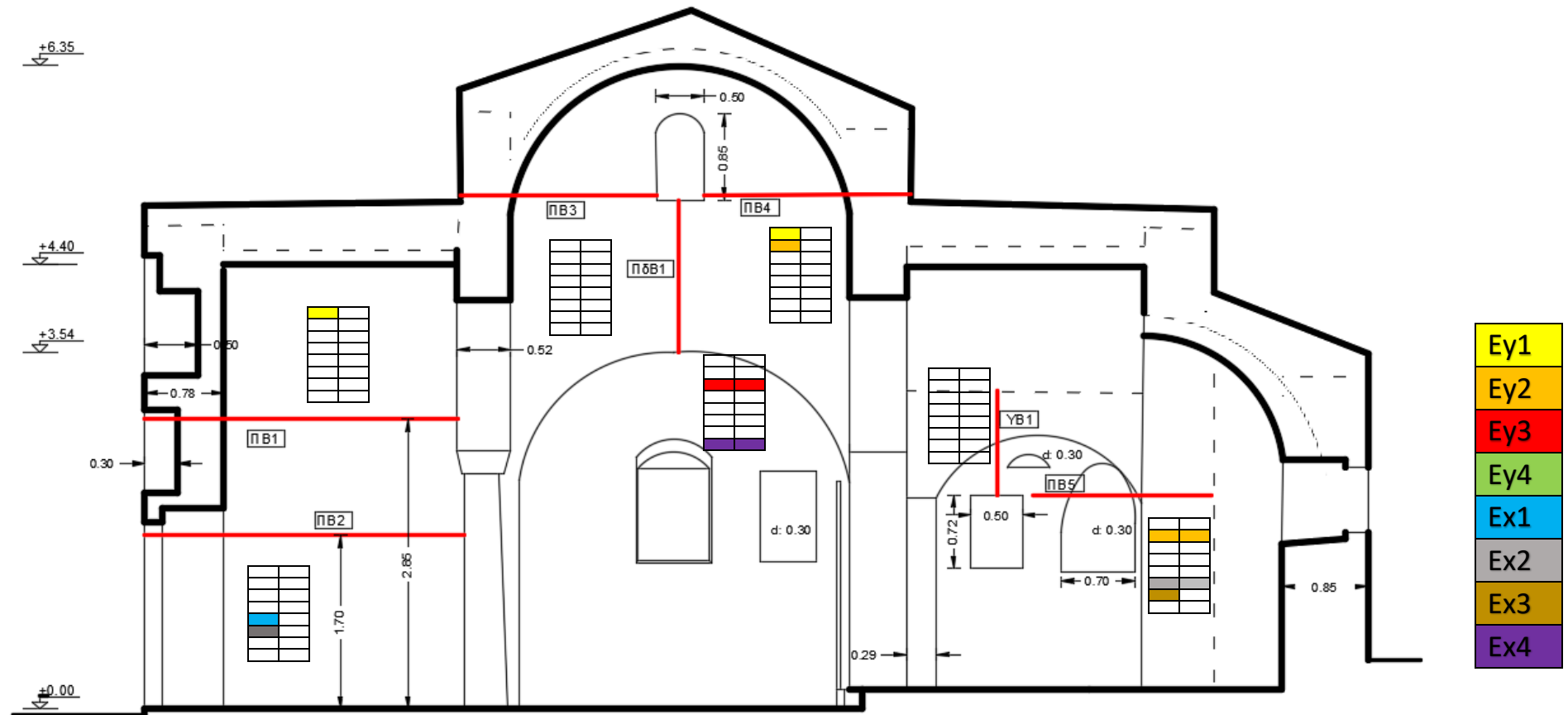
P.E.E.//	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4			
	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	
ΒΟΡΕΙΑ ΟΥΨΗ	ΠΒ1	3,9	1	✓	22,6	1,92	✓	25,4	3,45	✓	7	4,37	✓
	ΠΒ2	32	5,5	✓	88	3,2	✓	93	8,43	✓	38	10,7	✓
	ΠΒ3	4,5	0,28	✓	15	4,9	✓	15,2	1,84	✓	4,85	3,32	✓
	ΠΒ4	11,43	3,76	✓	3	0,81	✓	6,15	3,76	✓	14,5	0,81	✓
	ΠΒ5	27	1,9	✓	0	1	✓	0,91	2,43	×	36	0,58	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΒ1	72	2,26	✓	72	11,85	✓	72	10,17	✓	72	28	✓
	ΠδΒ1	64,5	14,9	✓	64,5	31	✓	64,5	20	✓	64,5	25,11	×

Πίνακας 5. 30 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση γ

P.E.E.//		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	5,3	5,18	✓	10,23	4,9	✓	20	9,82	✓	14,2	9,52	✓
	ΠΒ2	49	1,76	✓	66	3,64	✓	77,7	14,4	✓	61,3	16,3	✓
	ΠΒ3	7,57	4,7	✓	10,93	6,41	✓	12,6	3,07	✓	9,25	4,78	✓
	ΠΒ4	6	5,47	✓	3	4,16	×	12	5,34	✓	14	4,04	✓
	ΠΒ5	2,48	2,06	✓	0	1,02	×	13	2,36	✓	15	1,31	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΒ1	112,5	14,21	✓	112,5	0,74	✓	113	7	✓	112,5	22	✓
	ΠΔΒ1	105	11,11	✓	105	22	✓	105	11,1	✓	105	22	✓

Πίνακας 5. 31 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση x

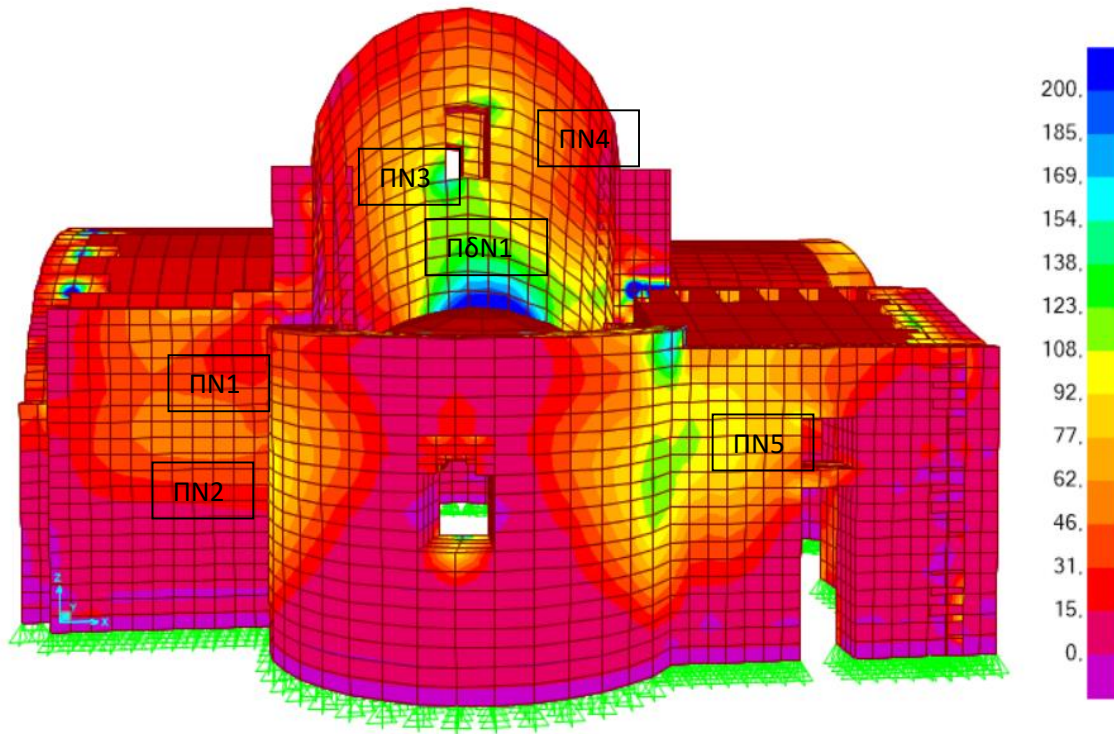
P.E.E.//		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΠΒ1	2,73	0,37	✓	19,11	0,6	✓	21,6	5	✓	5,6	4,04	✓
	ΠΒ2	33	6,74	✓	89	0,49	✓	92	5,91	✓	37	12,17	✓
	ΠΒ3	4	0,61	✓	15,5	5,09	✓	16	2,24	✓	4,5	3,46	✓
	ΠΒ4	12,5	3,67	✓	9,5	0,68	✓	5,112,5	3,53	✓	15,8	0,81	✓
	ΠΒ5	13,5	2,1	✓	5	1,38	✓	1,42	2,4	×	15,49	1,089	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΥΒ1	112,5	34,26	✓	112,5	15,4	✓	112,5	13,15	✓	112,5	36,6	✓



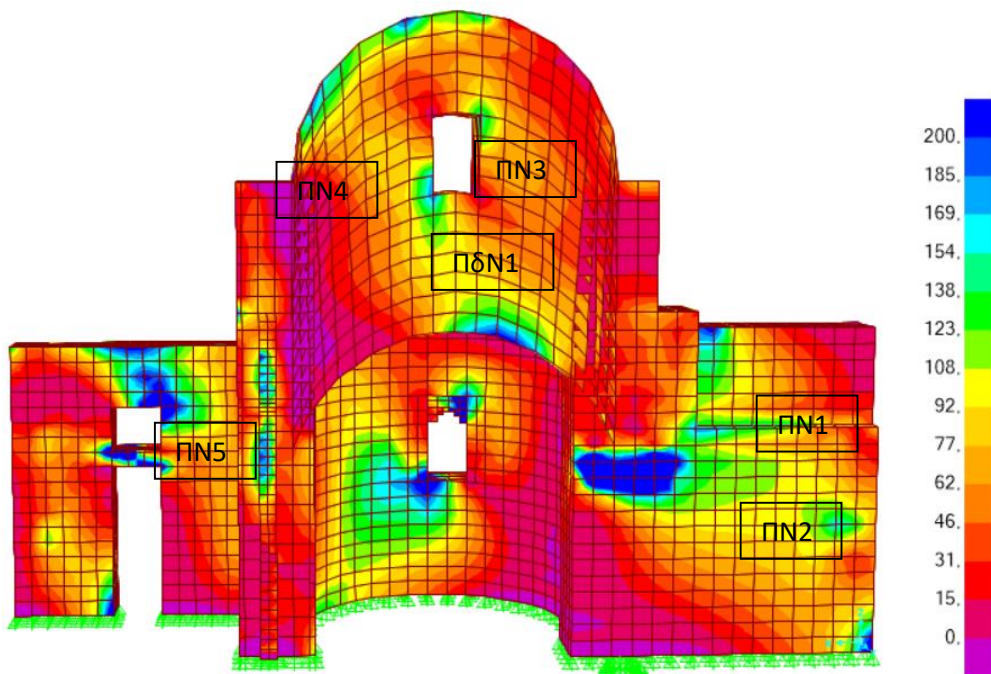
5. 26 Επισήμανση των αστοχιών λόγω ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς στην τομή ΒΒ'. Βελτίωση κατά 60%



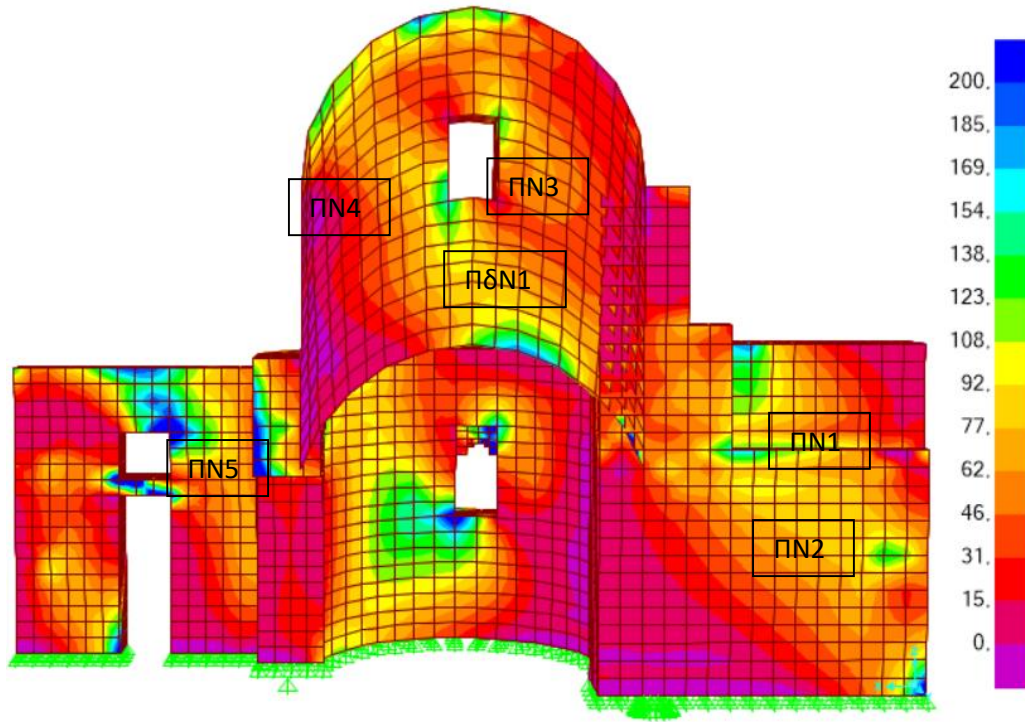




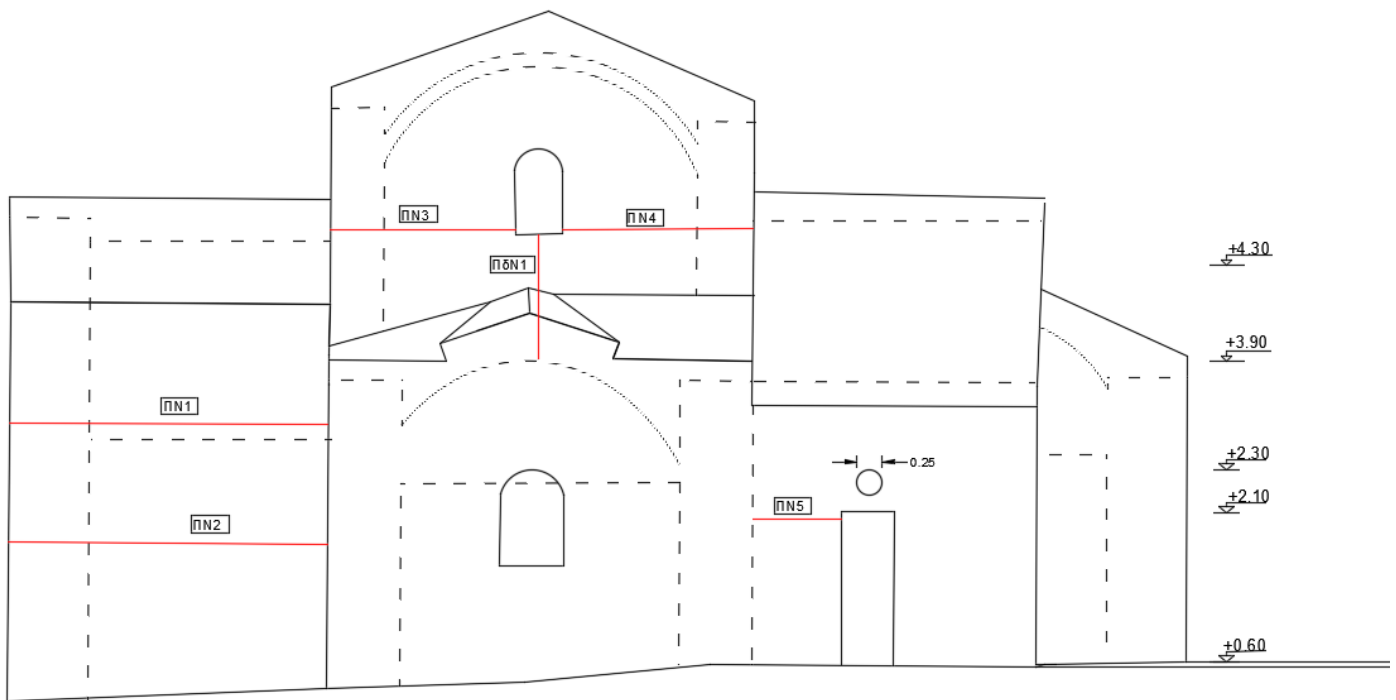
5. 29 Κατανομή των κυρίων τάσεων στην νότια όψη για τον συνδυασμό Ex4 μετά την αποκατάσταση



5. 30 Κατανομή των κυρίων τάσεων στην τομή NN' για τον συνδυασμό Ex1 πριν την αποκατάσταση



5. 31 Κατανομή των κυρίων τάσεων στην τομή NN' για τον συνδυασμό Εx1 μετά την αποκατάσταση



5. 32 Επισημάνση των διατομών ελέγχου στην νότια όψη

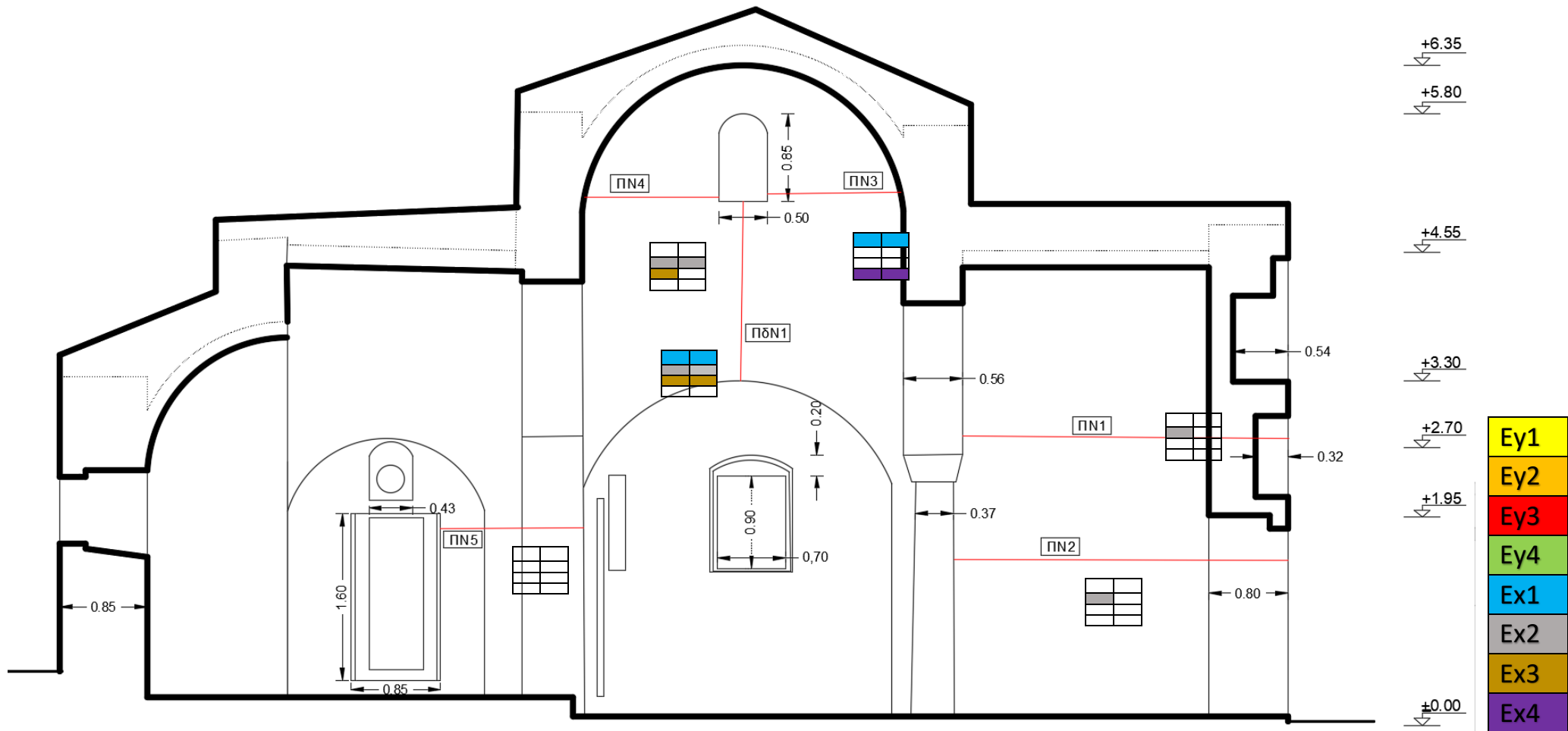
## Έλεγχος σε τέμνουσα

Πίνακας 5. 32 Αποτελέσματα τέμνουσα για την νότια όψη πριν την αποκατάσταση

Τέμνουσα		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	186	68	√	209	209	×	312	48	√	329	75	√
	ΠΝ2	244	177	√	267	267	×	331	277	√	354	167	√
	ΠΝ3	126	80	×	86	51	√	118	54	√	118	77	×
	ΠΝ4	128	16	√	162	126	×	55	115	×	100	27	√
	ΠΝ5	98	63	√	103	66	√	80	55	√	85	52	√
	ΠΔΝ1	74	68	×	15	121	×	97	124	×	80	65	√

Πίνακας 5. 33 : Αποτελέσματα τέμνουσα για την νότια όψη μετά την αποκατάσταση

Τέμνουσα		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος	VRd	VSd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	187	182	√	241	186	√	292	246	√	300	243	√
	ΠΝ2	214	209	√	227	210	√	334	277	√	347	276	√
	ΠΝ3	118	49	×	59	35	√	145	73	√	152	86,5	×
	ΠΝ4	128	53	√	85	66	×	140,4	66	√	77,6	53	√
	ΠΝ5	143.2	61	√	147,6	71	√	126	58	√	131	48	√
	ΠΔΝ1	0	0,55	×	0	43,5	×	37	59,5	×	37	15,5	√



5. 33 Σύγκριση των αστοχιών σε τέμνουσα στην τομή NN' πριν και μετά την αποκατάσταση . Βελτίωση 66%

### Ροπή Εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς

Πίνακας 5. 34 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση γ

P.E.E. I	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4			
	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	64,5	53,3	✓	64,5	8,72	✓	64,5	43,3	✓	64,5	89	×
	ΠΝ2	64,5	77,6	×	64,5	44	✓	64,5	54	✓	64,5	87	×
	ΠΝ3	72	6,61	✓	72	1,9	✓	72	10	✓	72	18,7	✓
	ΠΝ4	72	7,62	✓	72	4	✓	72	12,6	✓	72	16,11	✓
	ΠΝ5	72	44,2	✓	72	52,3	✓	72	115	×	72	107	×
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	0	11,67	×	14,8	8,7	✓	0	11	×	13,9	14	×

Πίνακας 5. 35 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση x

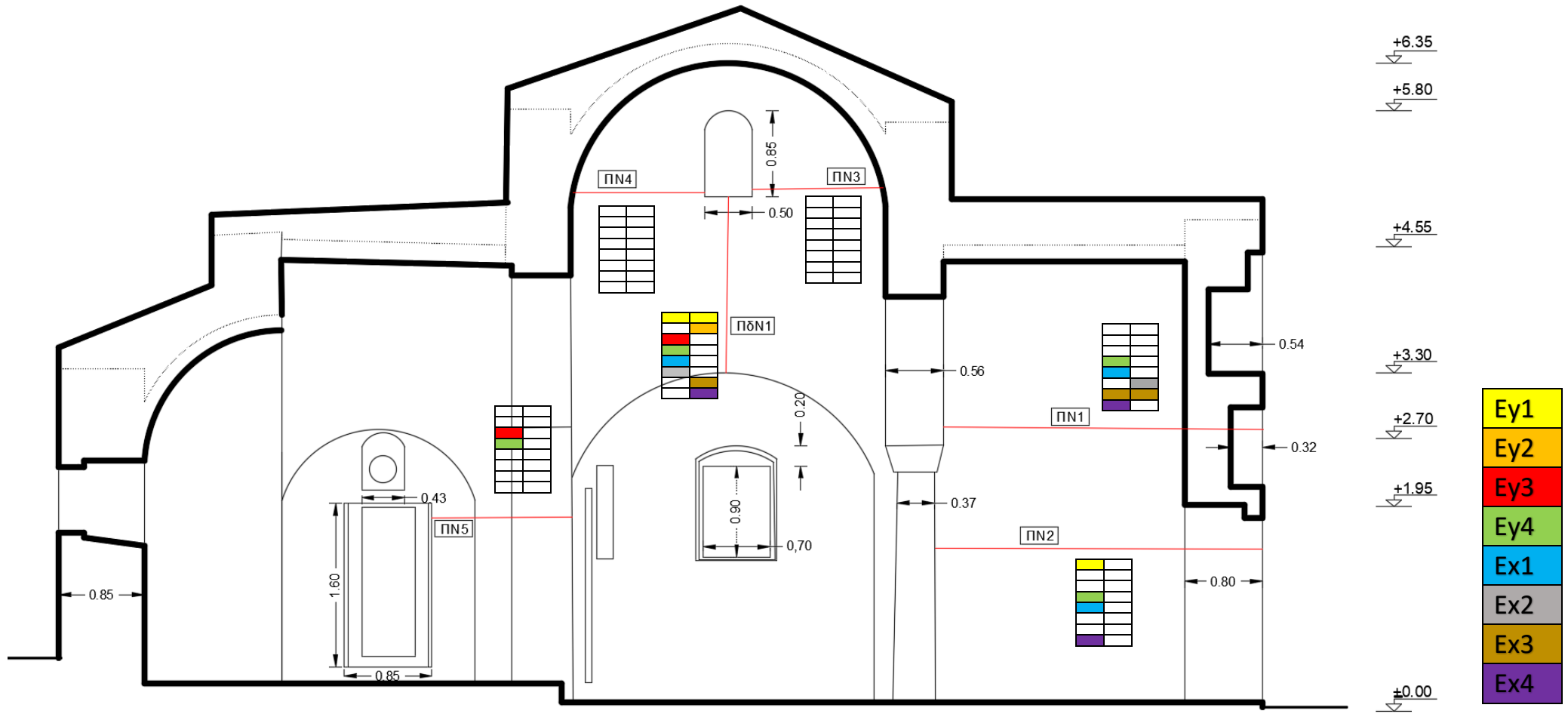
P.E.E. I	Ex1			Ex2			Ex3			Ex4			
	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	Σd	Έλεγχος	
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	64,5	71	×	64,5	42,7	✓	64,5	78	×	64,5	106	×
	ΠΝ2	64,5	68	×	64,5	30	✓	64,5	40	✓	64,5	79	×
	ΠΝ3	72	1	✓	72	7,60	✓	72	6,60	✓	72	2	✓
	ΠΝ4	72	4,7	✓	72	1,37	✓	72	7,14	✓	72	4,1	✓
	ΠΝ5	72	21,7	✓	72	69	✓	72	67	✓	72	40,2	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	0	7,08	×	0	0,25	×	65	2,6	✓	65	9,42	✓

Πίνακας 5. 36 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση γ

P.E.E. I	Ey1			Ey2			Ey3			Ey4			
	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	105	16,6	✓	105	24,6	✓	105	34,14	✓	105	7	✓
	ΠΝ2	105	36	✓	105	32	✓	105	58	✓	105	10	✓
	ΠΝ3	112,5	6,45	✓	112,5	4,8	✓	112,5	10,34	✓	112,5	1	✓
	ΠΝ4	112,5	11,37	✓	112,5	3,4	✓	112,5	10,3	✓	112,5	1	✓
	ΠΝ5	112,5	7,23	✓	112,5	1,87	✓	112,5	2,55	✓	112,5	8	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	0	6,34	✓	0	2,5	✓	35	0,37	×	35	8,5	×

Πίνακας 5. 37 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση x

Ρ.Ε.Ε. ⊥		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος	ft	σd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	105	13,25	✓	105	0,91	✓	105	16,71	✓	105	31	✓
	ΠΝ2	105	42	✓	105	22	✓	105	44	✓	105	64,6	✓
	ΠΝ3	112,5	8,85	✓	112,5	5,37	✓	112,5	9,35	✓	112,5	12,8	✓
	ΠΝ4	112,5	12,5	✓	112,5	14	✓	112,5	21	✓	112,5	5,56	✓
	ΠΝ5	112,5	13,4	✓	112,5	4,3	✓	112,5	4,02	✓	112,5	14,5	✓
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	5,8	14,7	✓	6	15	×	13,35	17	×	13,74	13	✓



5. 34 Σύγκριση των αποτελεσμάτων σε ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς πριν και μετά την αποκατάσταση .Βελτίωση κατά 60%

### Ροπή Εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς

Πίνακας 5. 38 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση γ

P.E.E. //		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	28	24	✓	41	3,66	✓	80	2,56	✓	92	9,18	✓
	ΠΝ2	16,17	5,11	✓	41	7,43	✓	85,2	9,33	✓	106	7	✓
	ΠΝ3	4,9	0,076	✓	2,9	2	✓	3,58	0,083	✓	1,57	2	×
	ΠΝ4	1	8,60	×	5,65	8,12	×	6,26	7,37	×	10,81	7,83	✓
	ΠΝ5	8,67	0,9	✓	5	1,92	✓	18	7,06	✓	14,57	6,04	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	64,5	16,3	✓	64,5	7,54	✓	64,5	14,4	✓	64,5	23	✓

Πίνακας 5. 39 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς πριν την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση x

P.E.E. //		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	30	13,5	✓	46	9,66	✓	75	8,55	✓	89,6	12,4	✓
	ΠΝ2	12,3	2,65	✓	34	6,98	✓	91	5	✓	110	0,75	✓
	ΠΝ3	6,84	1,6	✓	6,38	3,30	✓	0	5	×	0,33	0,14	✓
	ΠΝ4	0	8,65	×	0	6,1	×	128	14	✓	14,3	11,4	✓
	ΠΝ5	16	3	✓	19	5,47	✓	4,35	0,32	✓	7,15	2,06	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	64,5	15,8	✓	64,5	6,62	✓	64,5	13,5	✓	64,5	22,7	✓

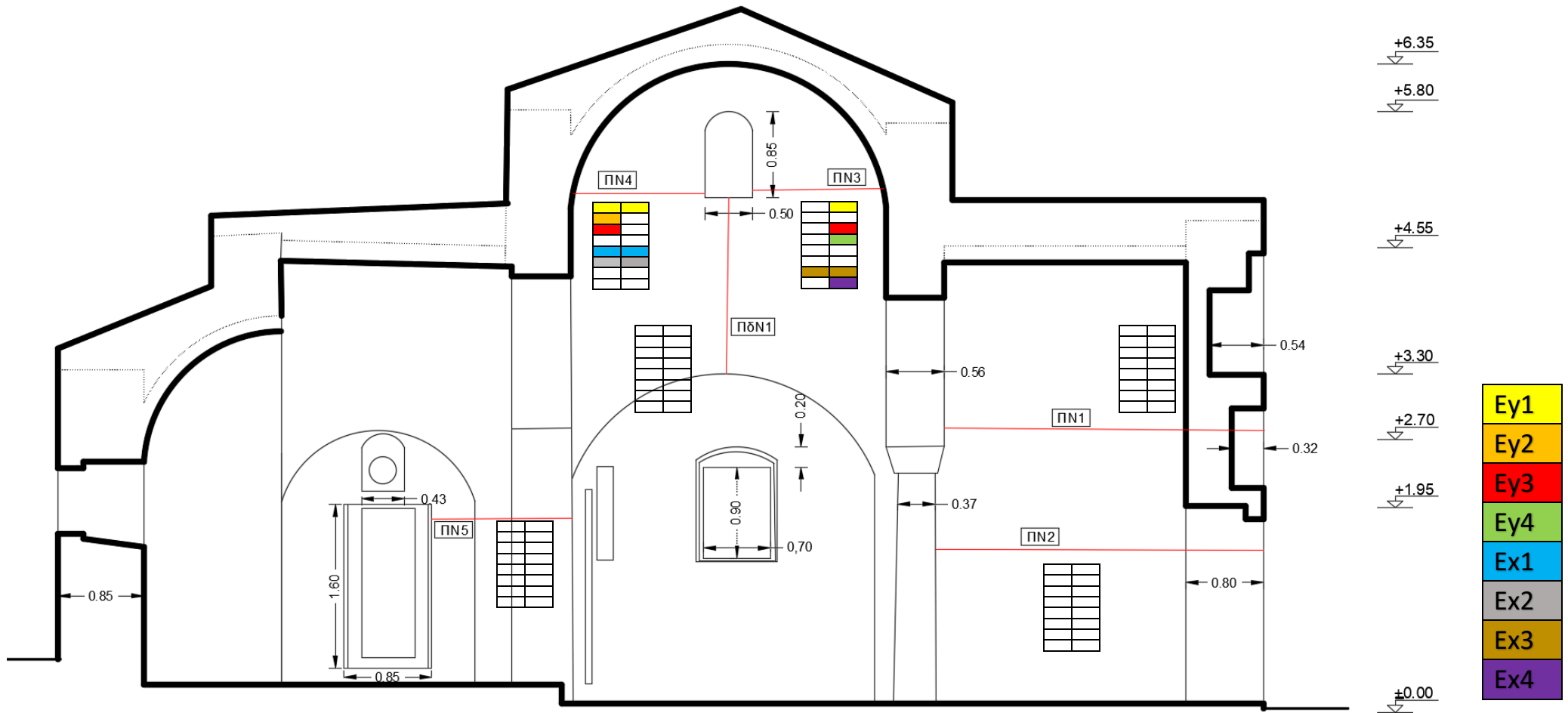
Πίνακας 5. 40 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση γ

P.E.E. //		Ey1			Ey2			Ey3			Ey4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	23	6,71	✓	37,5	6,5	✓	52	0,37	✓	38	0,17	✓
	ΠΝ2	44	1,8	✓	83,6	1,15	✓	98,9	4,66	✓	62	5,31	✓
	ΠΝ3	2,66	2,76	×	3,5	3,51	✓	0,69	2,75	×	0	3,5	×
	ΠΝ4	2,48	8,61	×	5,3	5,74	✓	9,42	14,4	✓	6,62	11,5	✓
	ΠΝ5	8,64	2,4	✓	17,4	2,7	✓	14,23	1,4	✓	5,33	1,7	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΠΔΝ1	105	8	✓	105	8,71	✓	105	11,46	✓	105	15,8	✓



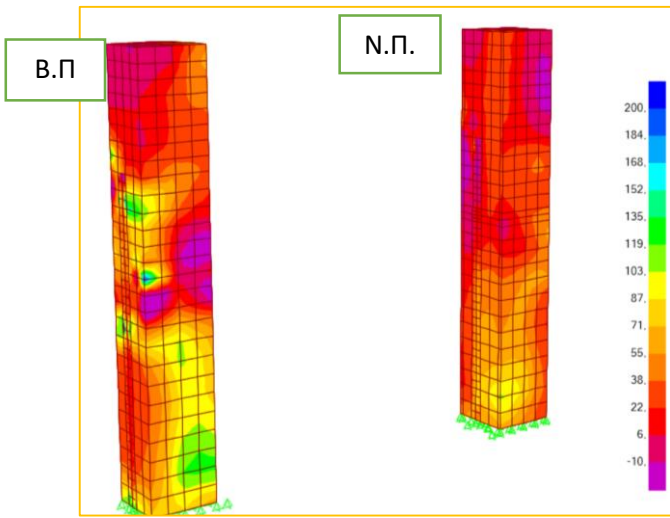
Πίνακας 5. 41 Αποτελέσματα ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς μετά την αποκατάσταση για συνδυασμούς φόρτισης στην διεύθυνση x

P.E.E. //		Ex1			Ex2			Ex3			Ex4		
		Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος	Mrd	Msd	Έλεγχος
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΠΝ1	9,52	4,54	✓	14,22	3,86	✓	61	1,8	✓	65	2,47	✓
	ΠΝ2	38	3,79	✓	51	1,63	✓	93,6	2,68	✓	104	4,84	✓
	ΠΝ3	6,15	0,32	✓	6,38	2,21	✓	0	0,33	×	0	2,2	×
	ΠΝ4	0	4,9	×	0	4,64	×	12,16	10,68	✓	13	1,11	✓
	ΠΝ5	15,7	0,63	✓	18	1,58	✓	4,6	0,36	✓	7,25	0,6	✓
		ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος	ft	sd	Έλεγχος
	ΠδΝ1	105	5,4	✓	105	0	✓	105	4	✓	105	8,86	✓

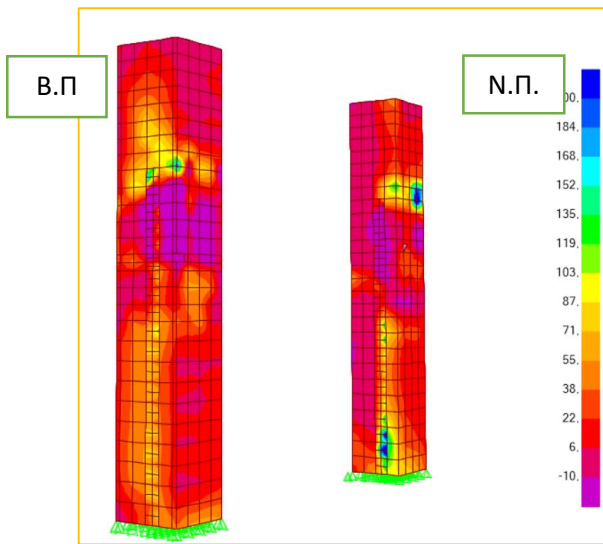


5. 35 Σύγκριση των αποτελεσμάτων σε ροπή εκτός επιπέδου παράλληλα με τους αρμούς πριν και μετά την αποκατάσταση. Βελτίωση κατά 30%

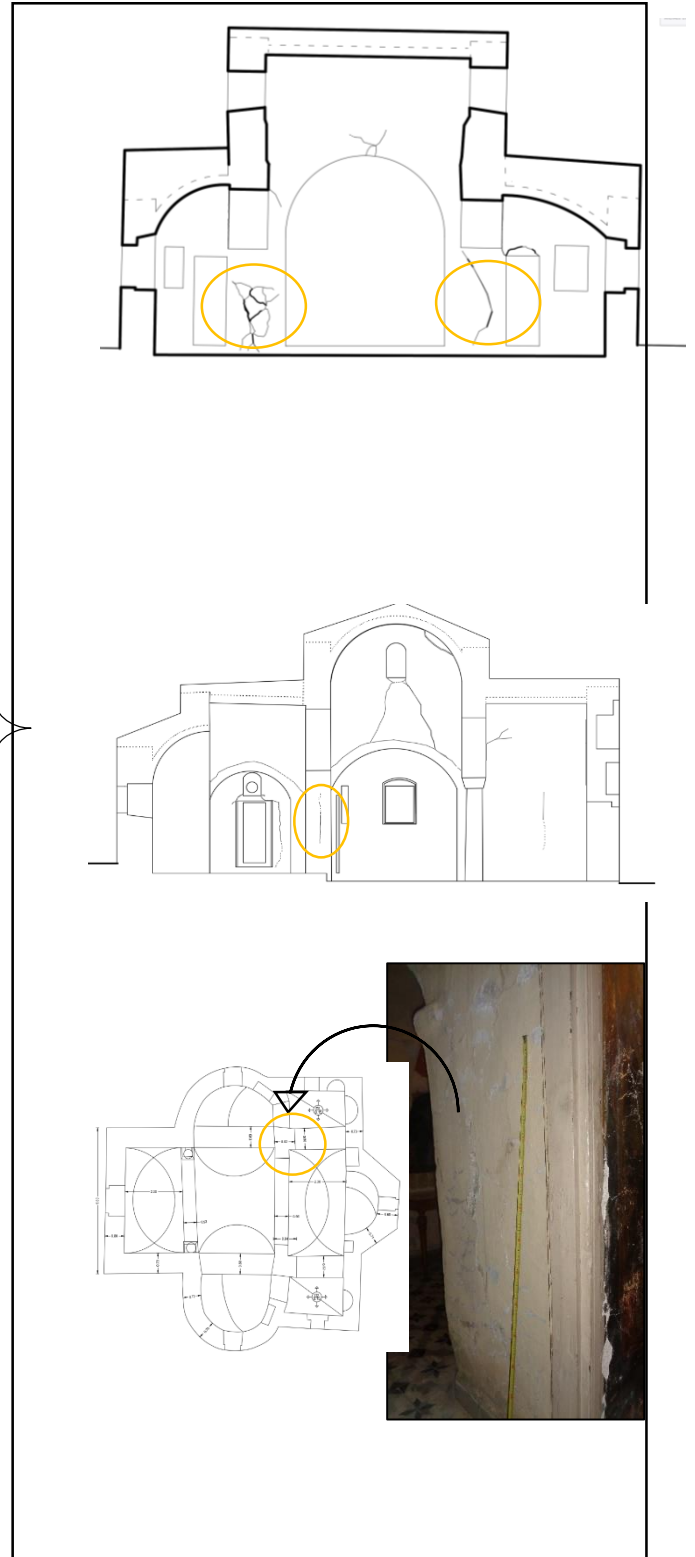
Πριν την αποκατάσταση



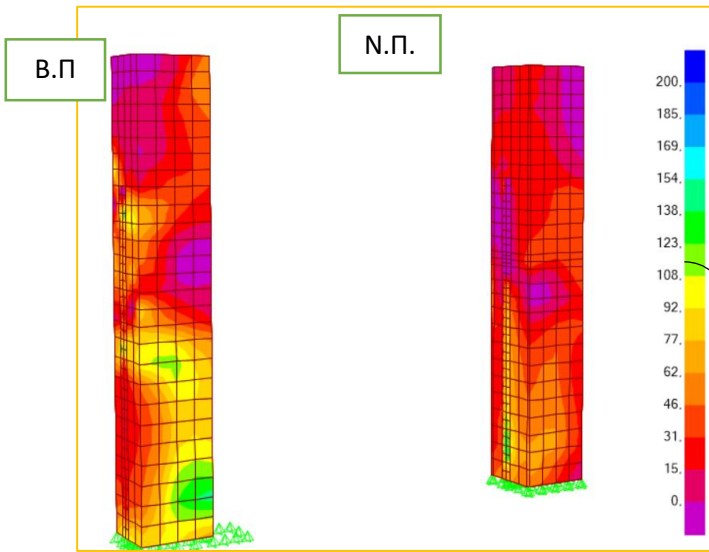
4.30 a Κατανομή των τάσεων S23 με βάση τον συνδυασμό Εγ2



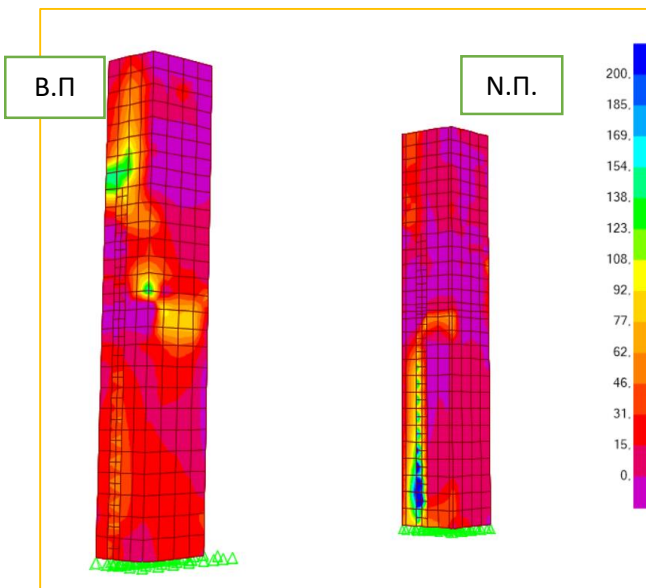
4.30 b Κατανομή των τάσεων S13 με βάση τον συνδυασμό Εγ2



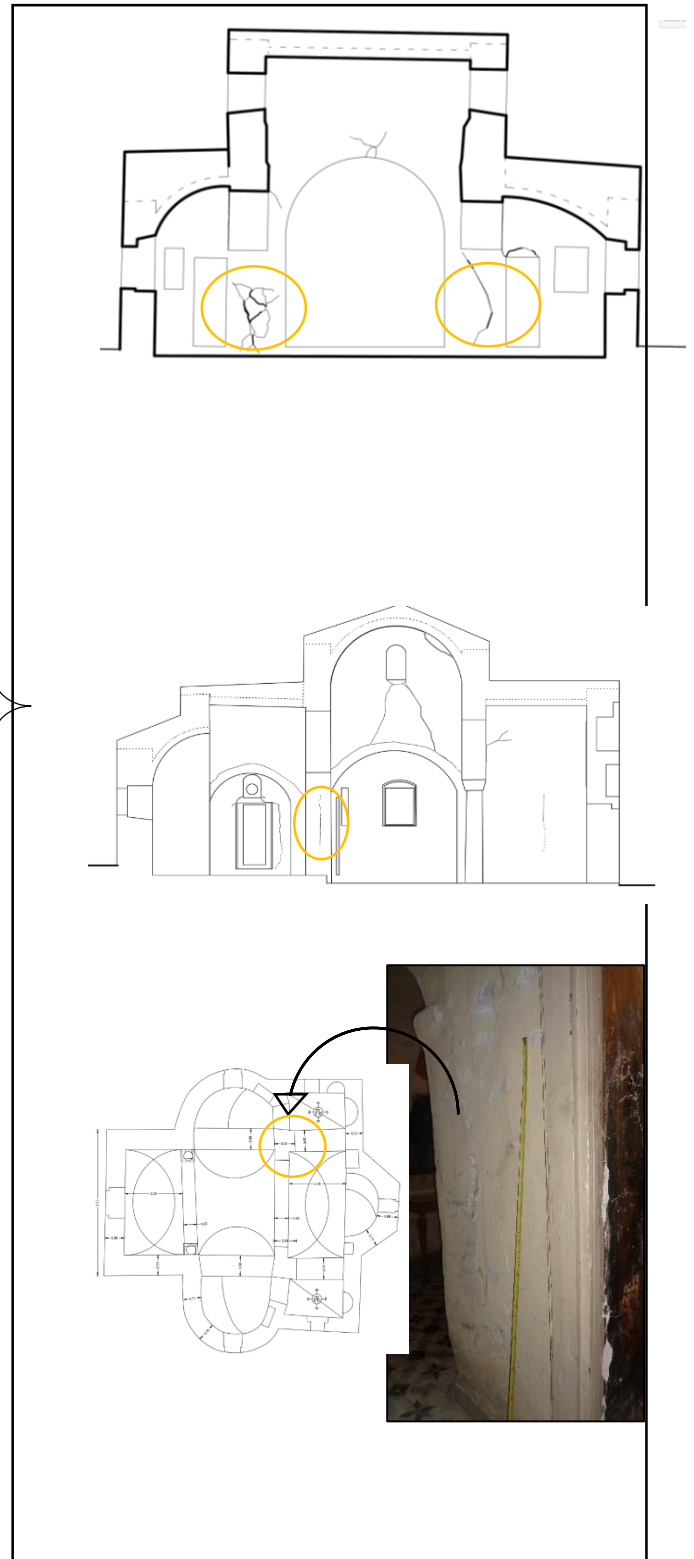
1<sup>ο</sup> μοντέλο προσομοίωσης με κατασκευαστικό αρμό



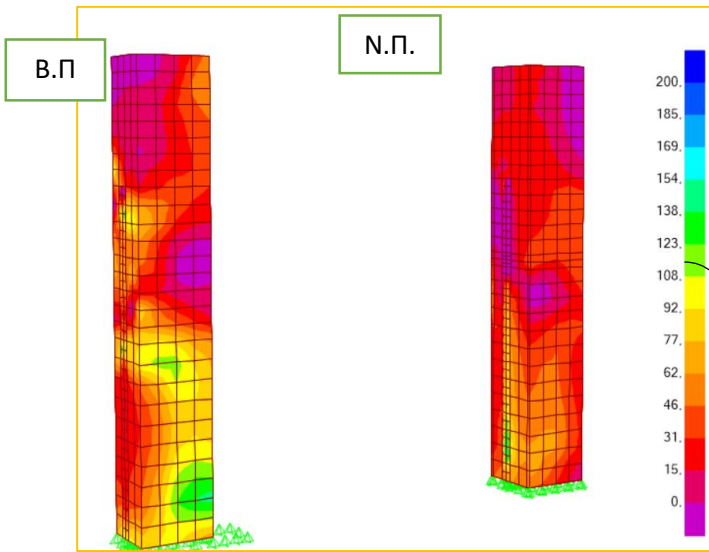
4.30 c Κατανομή των τάσεων S23 με βάση τον συνδυασμό Ey2



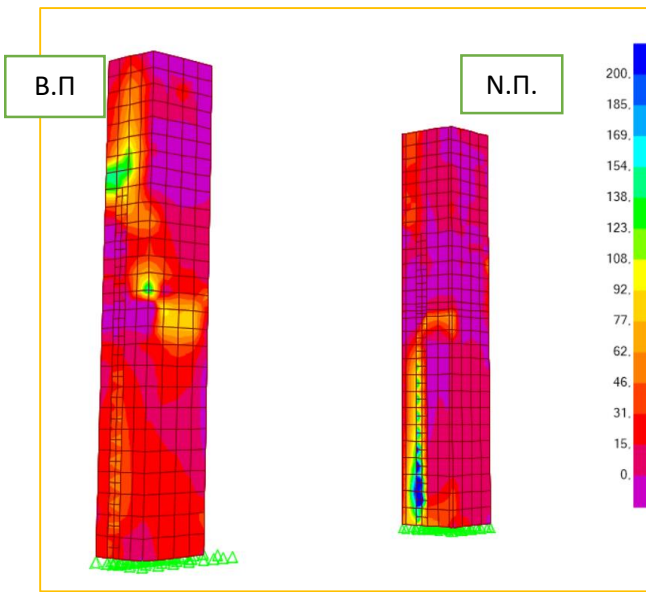
4.30 d Κατανομή των τάσεων S13 με βάση τον συνδυασμό Ey2



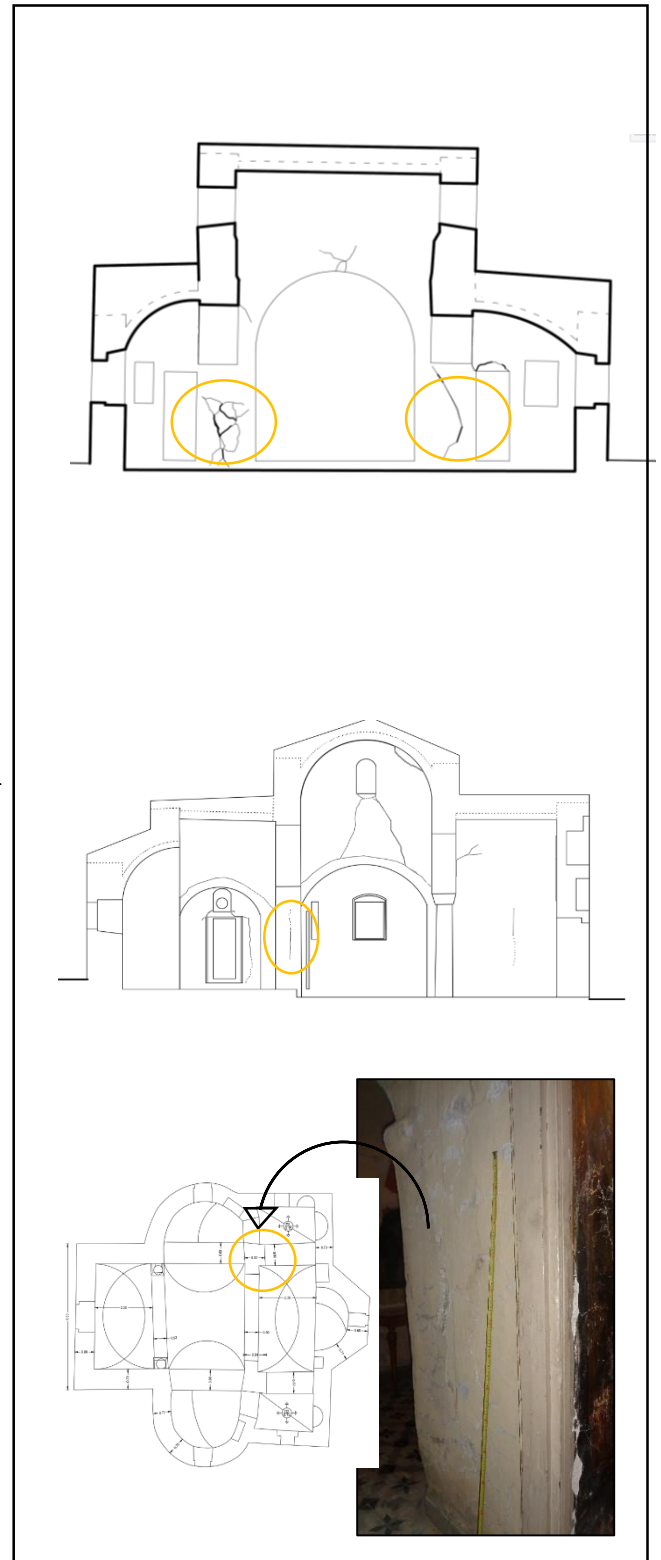
Μετά την αποκατάσταση



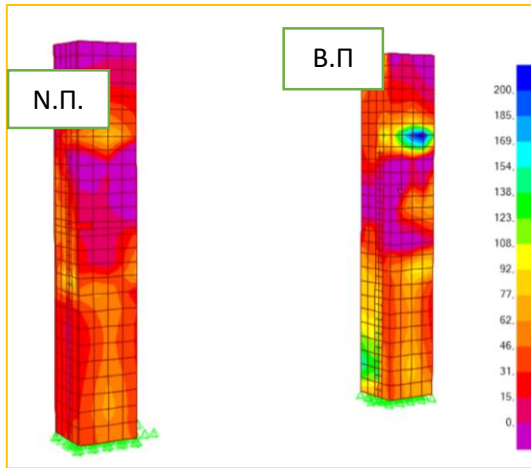
4.30 e Κατανομή των τάσεων S23 με βάση τον συνδυασμό Εγ2



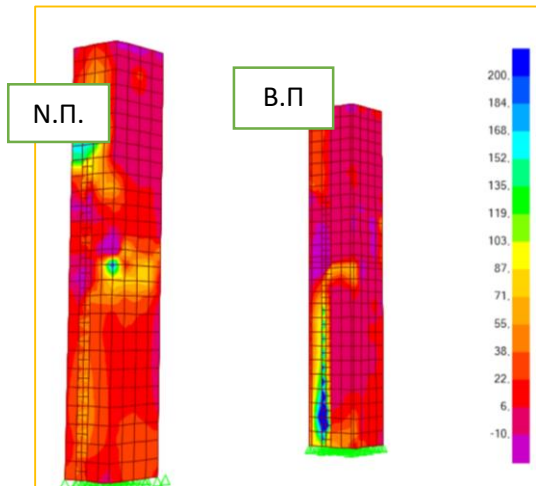
4.30 f Κατανομή των τάσεων S13 με βάση τον συνδυασμό Εγ2



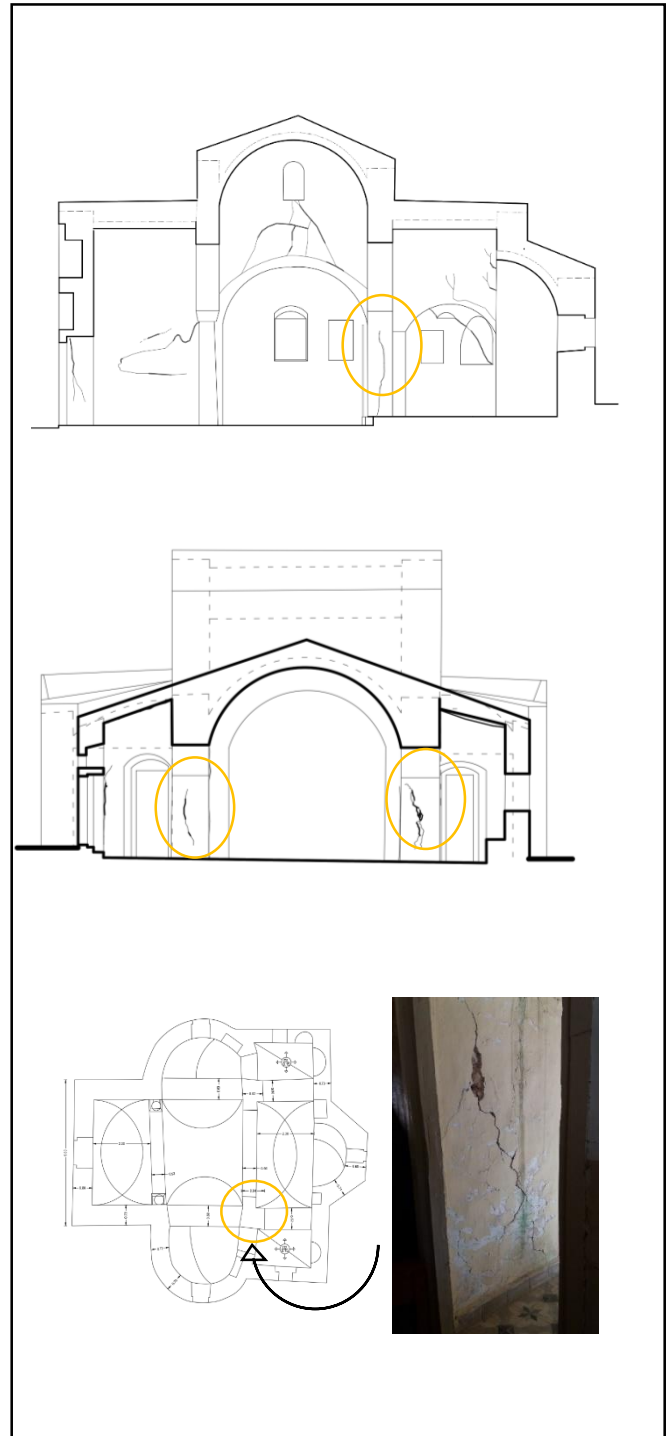
Πριν την αποκατάσταση



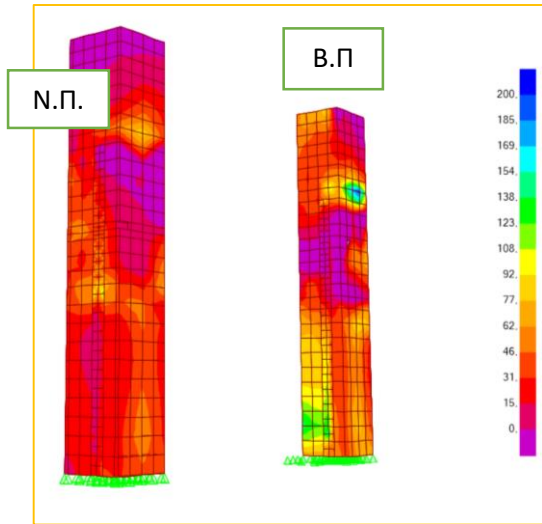
4.30 g Κατανομή των τάσεων S23 με βάση τον συνδυασμό Ey2



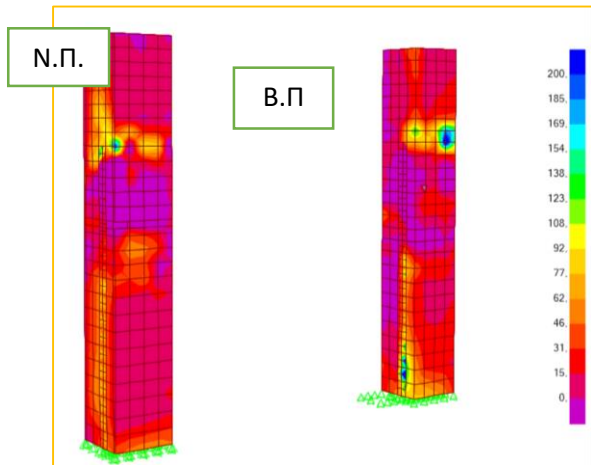
4.30 h Κατανομή των τάσεων S13 με βάση τον συνδυασμό Ex2



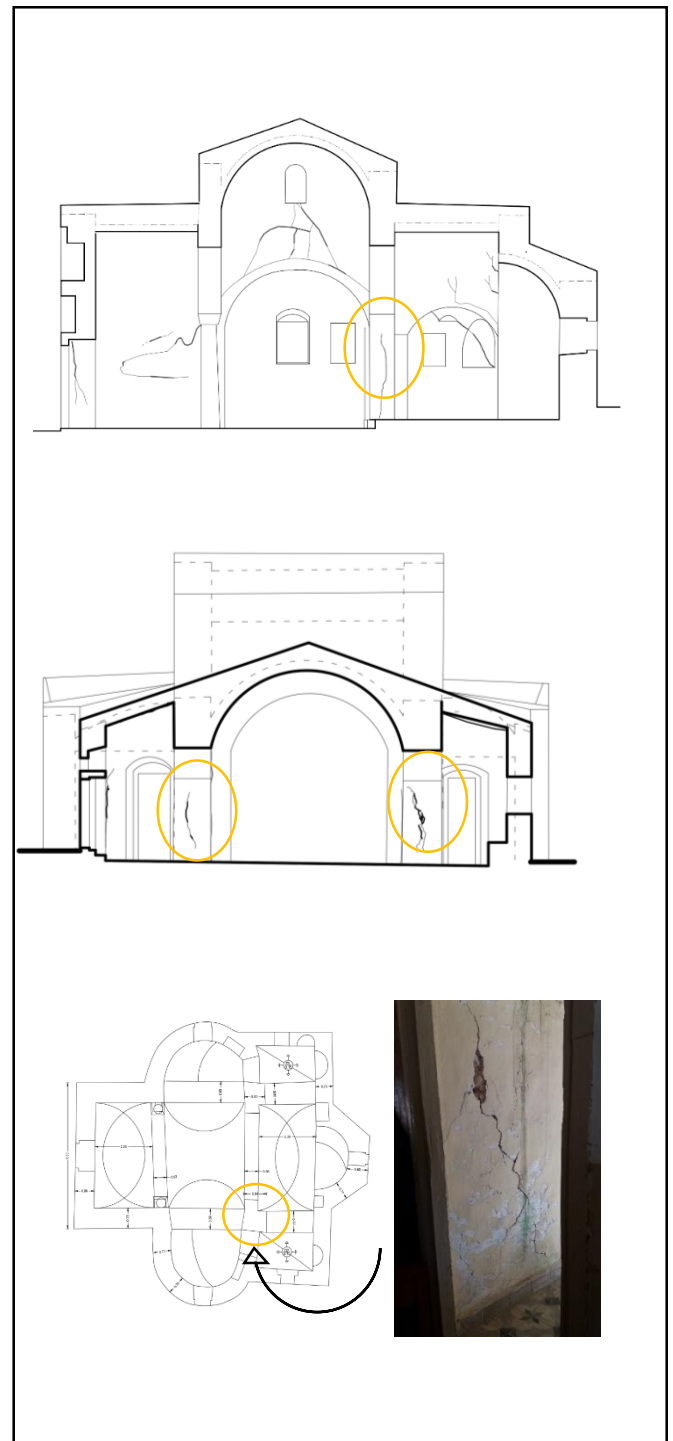
Μετά την αποκατάσταση



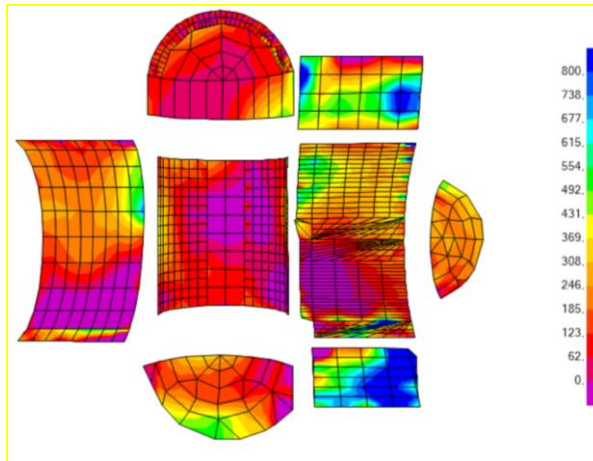
4.30 ι Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Ex2



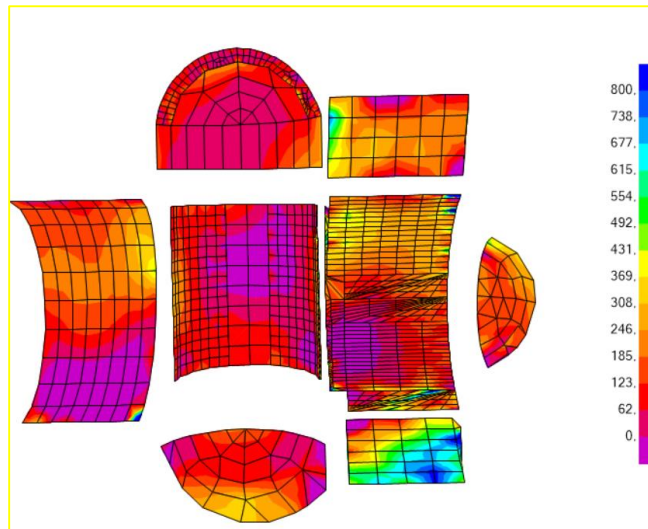
4.30 j Κατανομή των κυρίων τάσεων με βάση τον συνδυασμό Ex4



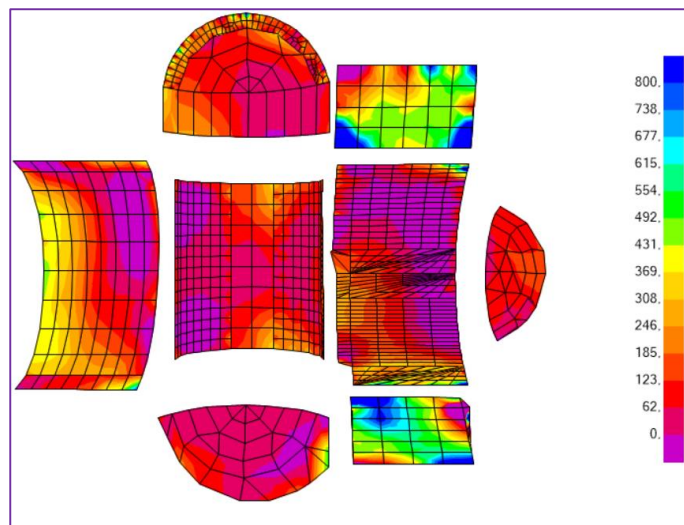
➤ Έλεγχος των οροφών πριν και μετά την αποκατάσταση



5. 36 Κατανομή των κυρίων τάσεων για τον συνδυασμό φόρτισης Eγ1 πριν την αποκατάσταση

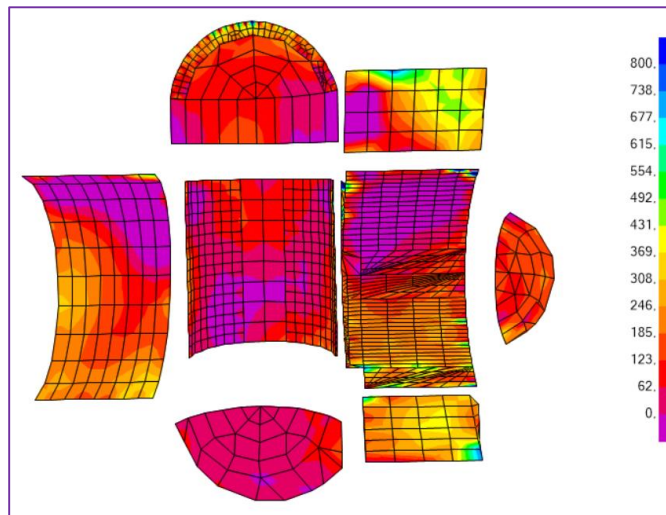


5. 37 Κατανομή των κυρίων τάσεων για τον συνδυασμό φόρτισης Eγ1 μετά την αποκατάσταση



5. 38 Κατανομή των κυρίων τάσεων για τον συνδυασμό φόρτισης Eκ4 πριν την αποκατάσταση





5. 39 Κατανομή των κυρίων τάσεων για τον συνδυασμό φόρτισης Ex4 μετά την αποκατάσταση

#### Συμπέρασμα:

Από τις παραπάνω εκτιμήσεις, προκύπτει ότι τα μέτρα βελτίωσης με χρήση ενεμάτων και εφαρμογή λιθοσυρραφής προβλέπουν σε ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό τις αναμενόμενες βλάβες σε περίπτωση σεισμικών συνδυασμών. Με την αύξηση στους αντοχής μειώνονται οι διατμητικές αστοχίες κυρίως στους πεσσούς κατά 58% , οι αστοχίες λόγω ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς κυρίως στα υπέρθυρα κατά 43% και οι αστοχίες λόγω ροπής εκτός επιπέδου παράλληλα στους αρμούς κατά 42%. Στην υφιστάμενη κατάσταση οι περισσότερες βλάβες που έχουν δημιουργηθεί έχουν χαρακτηριστεί ως διατμητικές και ροπής εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς ενώ ελάχιστες είναι οι αστοχίες που είναι παράλληλες στους αρμούς. Επομένως απομένει να βελτιωθεί ακόμη η εκτός επιπέδου συμπεριφορά του ναού στην περίπτωση σεισμικών φορτίσεων με την χρήση ελκυστήρων-θλιπτήρων.

### 5.3 Αποτελέσματα ιδιομορφική ανάλυσης μετά την εισαγωγή ενεμάτων και της λιθοσυρραφής.

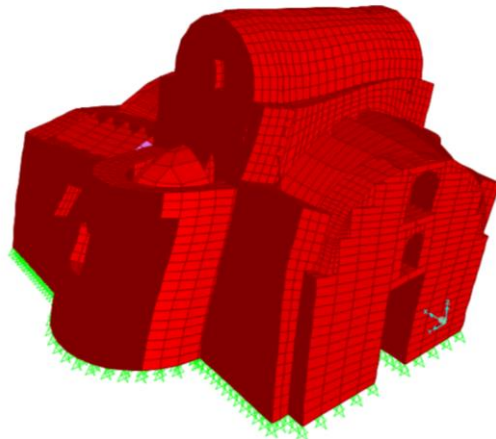
Με βάση τις αναλύσεις στο πρόγραμμα SAP2000 προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα για την ιδιομορφική ανάλυση.

Πίνακας 5. 42 Πίνακας ιδιομορφών μετά την εισαγωγή ενεμάτων και με την σύνδεση των κατακόρυφων στοιχείων

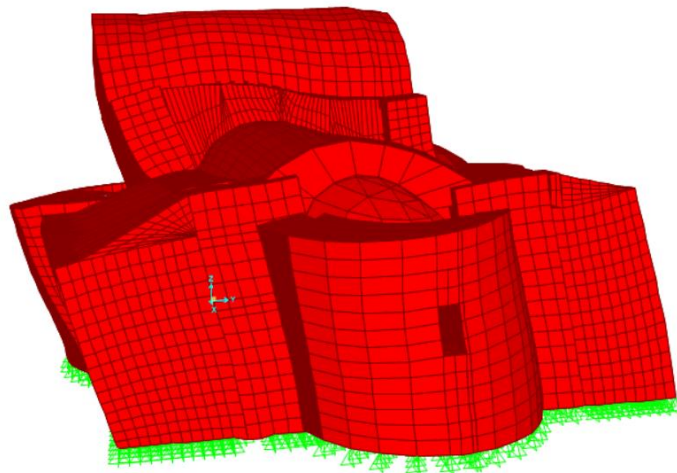
TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0,07743	0,14354	0,54405	0,00042	0,14354	0,54405
MODAL	Mode	2	0,074349	0,55199	0,14657	0,00028	0,69553	0,69063
MODAL	Mode	3	0,051572	0,00034	0,00131	0,00006832	0,69587	0,69194
MODAL	Mode	4	0,048299	0,0004	0,00638	0,0164	0,69626	0,69832
MODAL	Mode	5	0,04753	0,01263	0,00429	0,00299	0,70889	0,70261
MODAL	Mode	6	0,04445	0,00006754	0,02552	0,1834	0,70896	0,72813
MODAL	Mode	7	0,040699	0,00215	0,01054	0,0323	0,7111	0,73867
MODAL	Mode	8	0,040397	0,01941	0,00287	0,01057	0,73051	0,74153
MODAL	Mode	9	0,037718	0,00069	0,00201	0,09211	0,73121	0,74354
MODAL	Mode	10	0,036491	0,00252	0,00058	0,01254	0,73373	0,74412
MODAL	Mode	11	0,035141	0,04103	0,00008619	0,00141	0,77475	0,7442
MODAL	Mode	12	0,034568	0,00939	0,00582	0,01594	0,78414	0,75002

Με βάση τα αποτελέσματα στο παραπάνω πίνακα, η ιδιοπερίοδος που προκύπτει για την διεύθυνση  $y$  είναι  $T_y=0.077\text{sec}$  στην οποία αντιστοιχεί ποσοστό μάζας 54,4% και στην διεύθυνση  $x$  είναι  $T_x=0.074\text{sec}$  στην οποία αντιστοιχεί ποσοστό μάζας 55%. Οι ιδιομορφές που αντιστοιχούν στις δύο παραπάνω ιδιοπερίοδους παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.

Παραμορφώσεις λόγω 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής

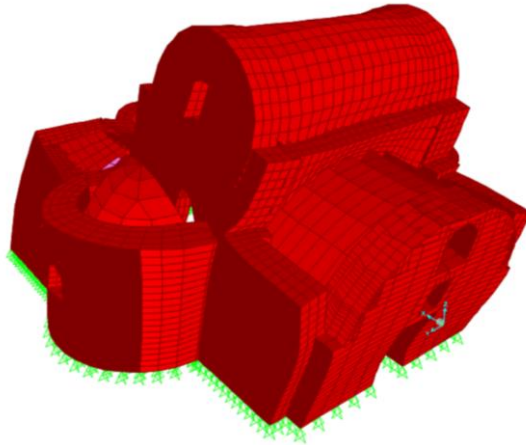


5. 40 Παραμορφώσεις στο μοντέλο του ναού της βορειοδυτικής άποψης σύμφωνα με την θεμελιώδη ιδιομορφή κατά την διεύθυνση  $\gamma$  (Sc.Fact.20)

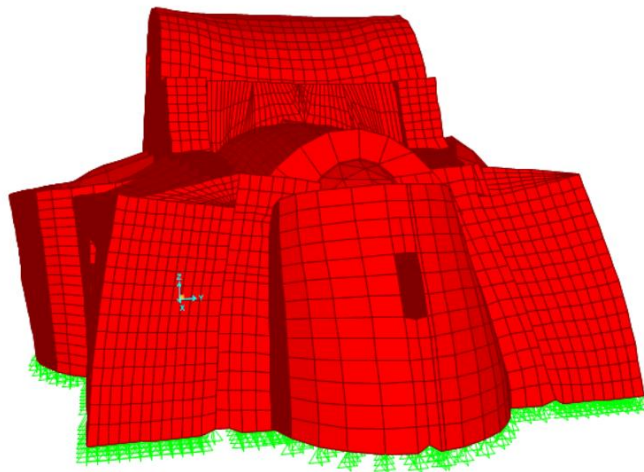


5. 41 Παραμορφώσεις στο μοντέλο του ναού της νότιοανατολικής άποψης σύμφωνα με την θεμελιώδη ιδιομορφή κατά την διεύθυνση  $\gamma$  (Sc.Fact. 20)

Παραμορφώσεις λόγω 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής



5. 42 Παραμορφώσεις στο μοντέλο από την βορειοδυτική άποψη του ναού σύμφωνα με την θεμελιώδη ιδιομορφή κατά την διεύθυνση x.(Sc.Fact 20)



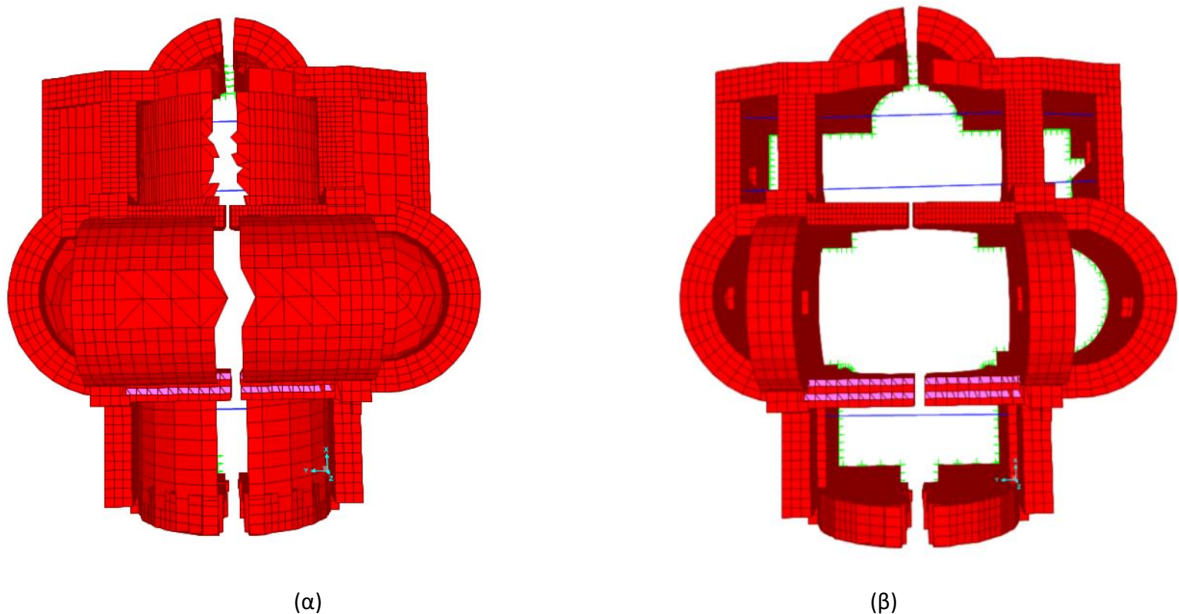
5. 43 Παραμορφώσεις στο μοντέλο σύμφωνα από την νοτιοανατολική άποψη του ναού σύμφωνα με την θεμελιώδη ιδιομορφή κατά την διεύθυνση x.(Sc.Fact.20)

## 5.4 Προσθήκη και διαστασιολόγηση ελκυστήρων

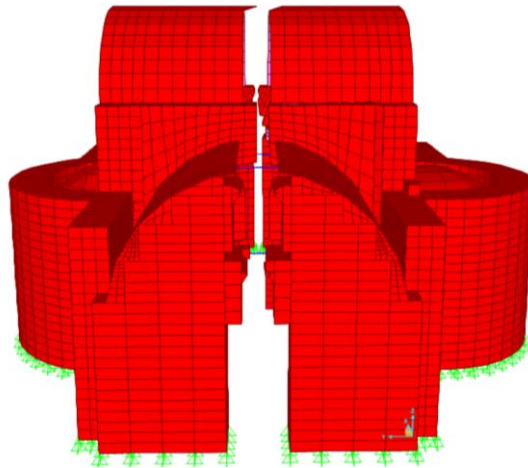
Στα πλαίσια των επεμβάσεων περιλαμβάνεται και η προσθήκη των ελκυστήρων σε διεύθυνση κατά  $x$  και κατά  $y$ . Η λειτουργία των ελκυστήρων ενεργοποιείται μετά την αστοχία των θόλων και για τον λόγο αυτό διερευνήθηκε σε φορέα των οποίων οι θόλοι και τα κατακόρυφα στοιχεία στην εγκάρσια διεύθυνση από αυτήν των ελκυστήρων είναι κομμένοι. Η τοποθέτηση των ελκυστήρων απαιτεί την απαραίτητη γεωμετρική διερεύνηση στο χώρο. Πρώτα απ' όλα θα πρέπει να μην διακόπτει την στρώση της αγιογραφίας στο εσωτερικό χώρο του ναού και επίσης θα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην γένεση του θόλου.

Κάθε διεύθυνση μελετήθηκε ξεχωριστά

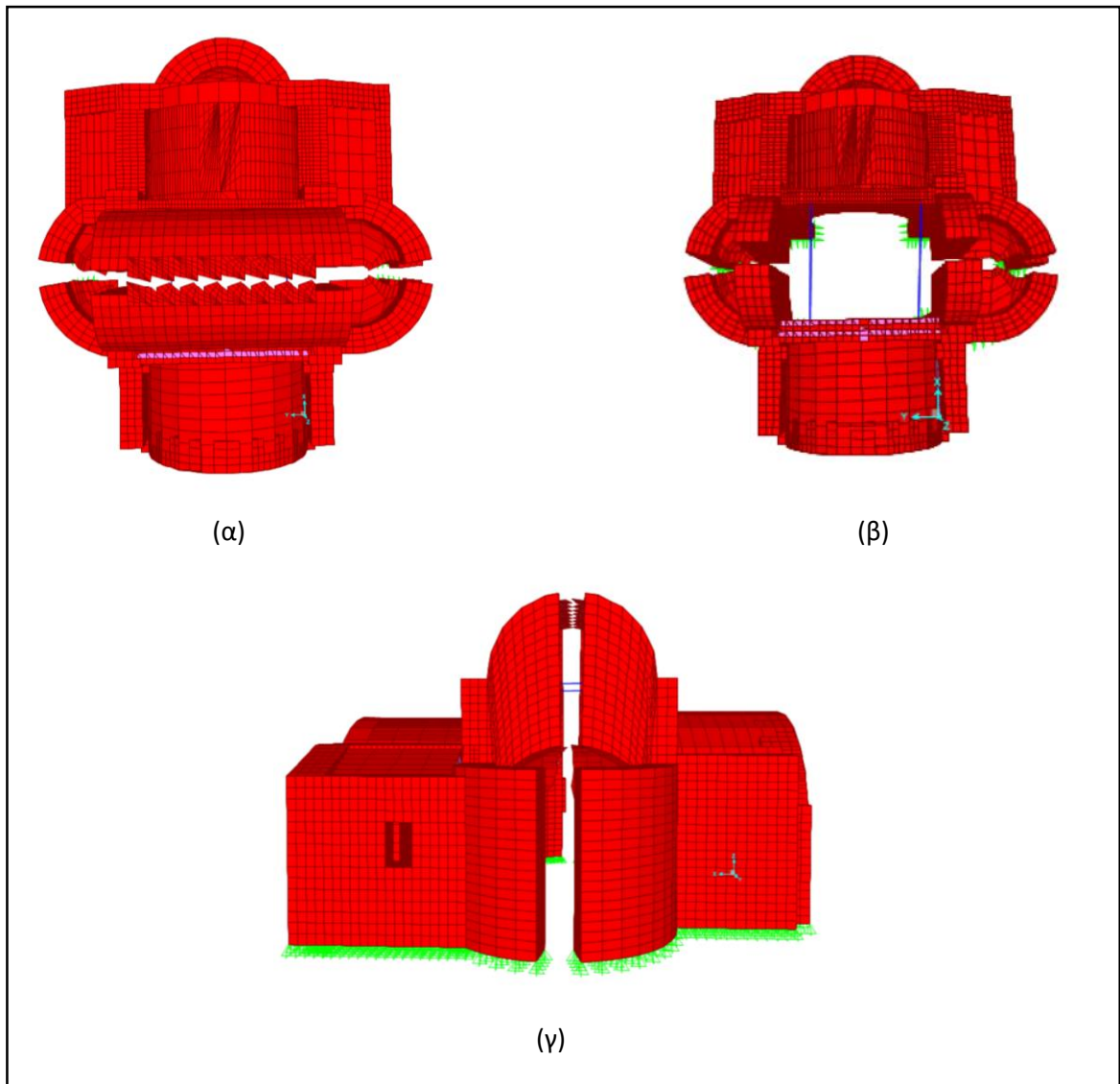
Με σκοπό την διαστασιολόγηση των ελκυστήρων εξετάσθηκε σε κάθε διεύθυνση  $x$  και  $y$  οι περιοχές που στεγάζονται από ρηγματωμένους θόλους κατά μήκος της κορυφής του θόλου όπως είναι ο θόλος που στεγάζει τον νάρθηκα, ο θόλος που στεγάζει το κύριο κλίτος και ο θόλος που αντιστοιχεί στο ιερό. Με την διεύθυνση  $x$ , σχετίζεται η τοποθέτηση δύο ελκυστήρων. Ο ένας σχεδιάστηκε στο χώρο του νάρθηκα και ο δεύτερος στο χώρο του ιερού. Στην διεύθυνση  $y$  εξετάστηκαν εξίσου οι εντάσεις από τους δύο ελκυστήρες που τοποθετήθηκαν συμμετρικά ως προς τον κεντρικό άξονα  $y$ . Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται γραφικά στο μοντέλο που προσομοιώθηκαν και ακολούθως τα σχέδια απεικονίζουν την θέση των ελκυστήρων στο χώρο.



5. 44 Μοντέλο μελέτης των ελκυστήρων στο νάρθηκα και το ιερό –άποψη από ψηλά. Στην (β) εικόνα φαίνονται οι ελκυστήρες

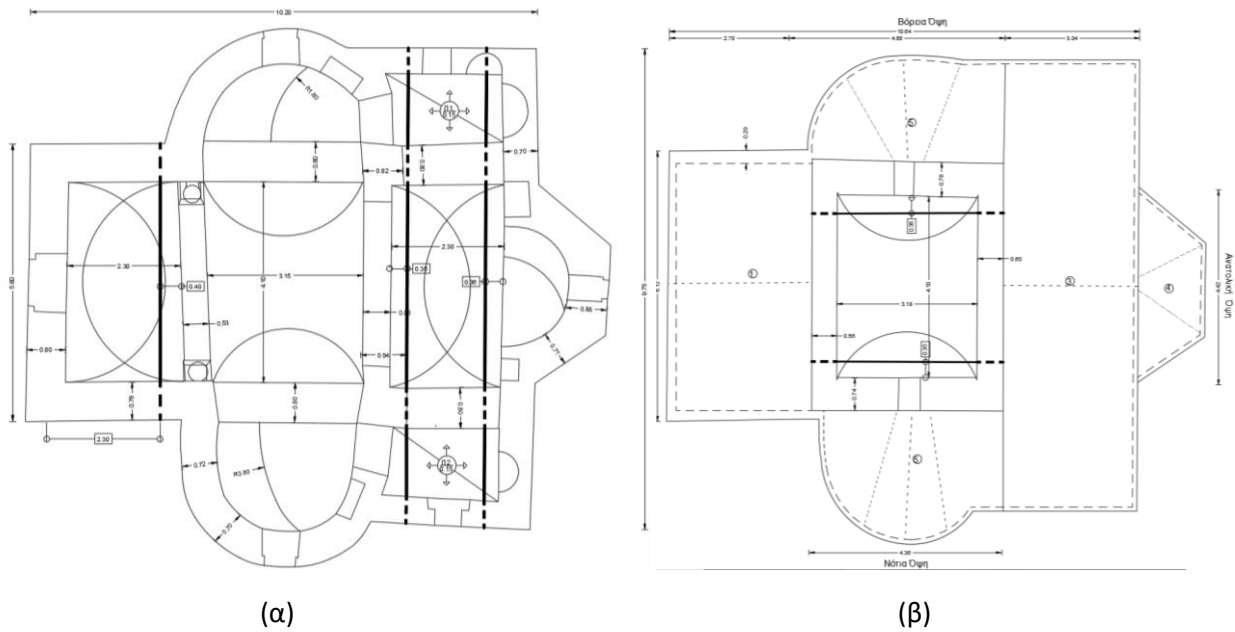


5. 46 Μορφή μοντέλου προσομοίωσης για τον έλεγχο του ελκυστήρα στην διεύθυνση  $\gamma$  για την περιοχή του νάρθηκα και του ιερού

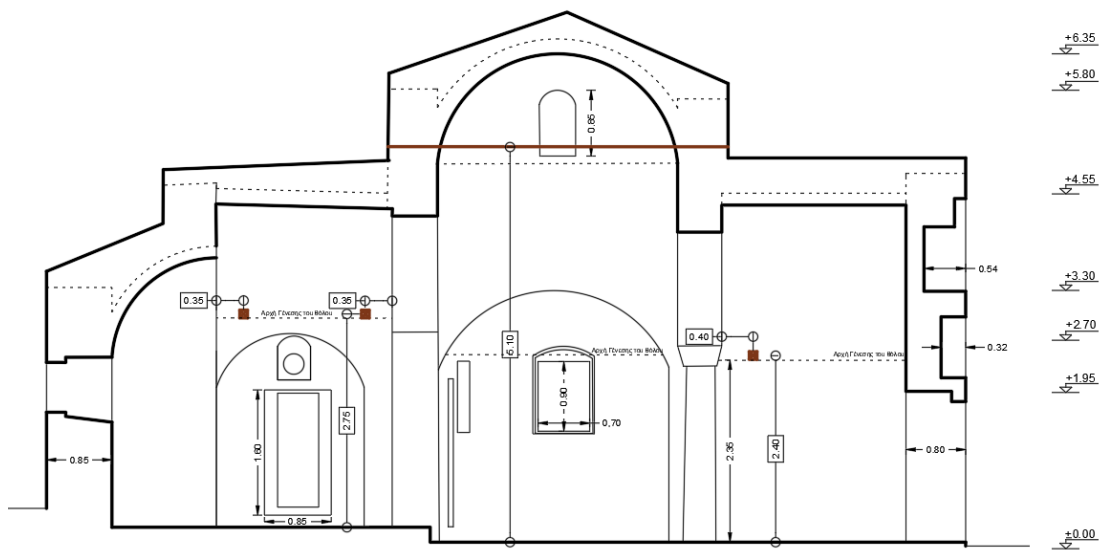


5. 45 Μοντέλο προσομοίωσης για τον φορέα του ναού για τον έλεγχο των ελκυστήρων στην διεύθυνση  $x$

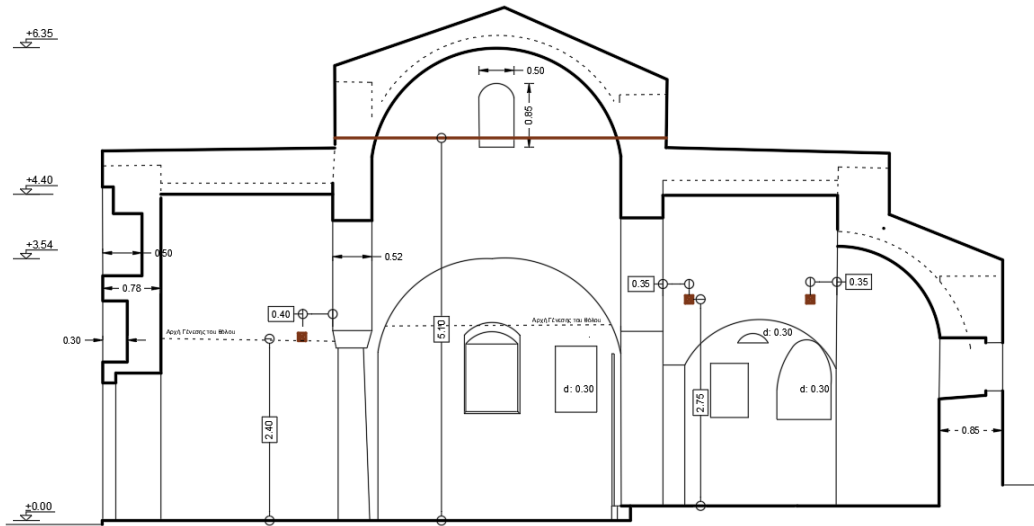
Ακολουθούν τα σχέδια που επισημαίνουν την θέση των ελκυστήρων που διερευνήθηκαν



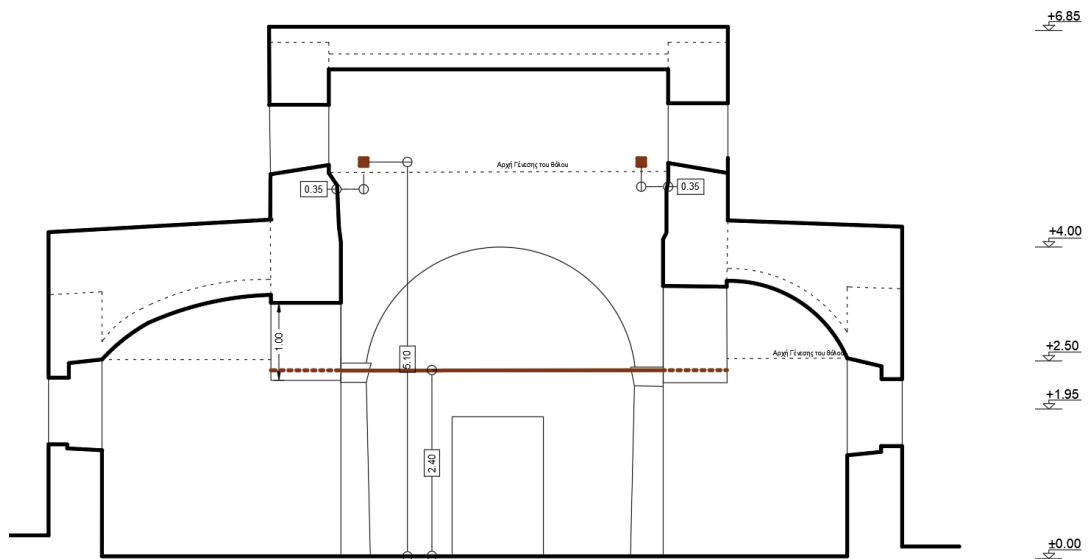
5. 47 Η γεωμετρική θέση των ελκυστήρων, θλιπτήρων στην κάτοψη σε ύψος (α)2.80m και (β) 5.80m



5. 48 Η γεωμετρική θέση των ελκυστήρων, θλιπτήρων στην τομή NN'

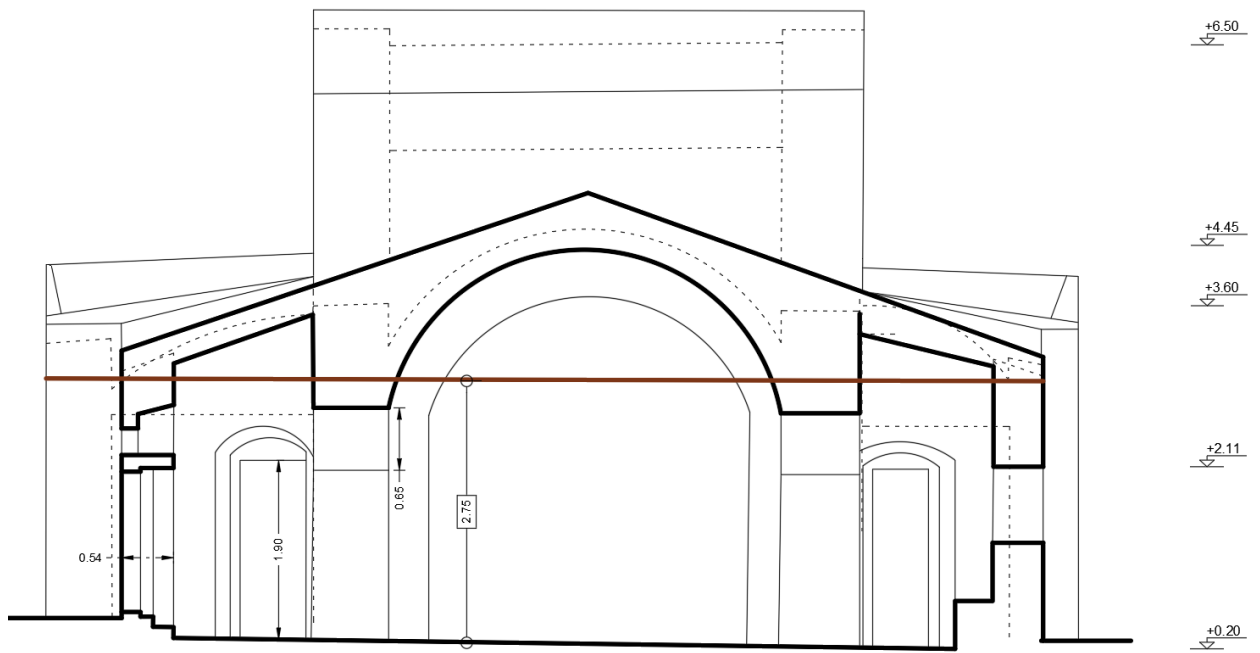


5. 49 Η θέση των ελκυστήρων στην τομή ΒΒ΄



5. 50 Η θέση των ελκυστήρων στην τομή ΔΔ΄





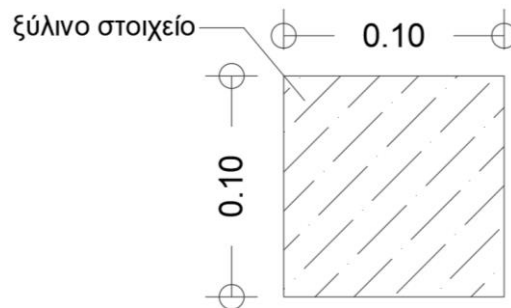
5. 51 Η θέση των ελκυστήρων στην τομή ΖΖ'

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

Η διαστασιολόγηση των ελκυστήρων-θλιπτήρων βασίζεται στα αποτελέσματα της εφελκυστικής και θλιπτικής δύναμης που αναλαμβάνει κάθε περίπτωση ξεχωριστά (βλ. Πίνακα 5.53) και στην κατ' εκτίμηση αντοχή του υλικού που κατά παραδοχή θα χρησιμοποιηθεί.

Αναλυτικότερα:

Έστω συμπαγής ξύλινη διατομή πλευράς 10cm



5. 52 Γεωμετρία διατομής θλιπτήρα-ελκυστήρα

Πίνακας 5. 43: Μέγιστες τιμές θλιπτικής και εφελκυστικής έντασης

Ελκυστήρας	Εφελκυστική ένταση(max-kN)	Θλιπτική ένταση (max-kN)
Νάρθηκας	10	-12
Δυτικά του Ιερού	7	-15
Ανατολικά του Ιερού	21	-24
Β. Ελκυστήρας Τρούλος	3.5	-31.5
Ν. Ελκυστήρας Τρούλος	4.1	-30.5

Διαστασιολόγηση των θλιπτήρων-ελκυστήρων με ξύλινη διατομή

Ο έλεγχος επάρκειας του θλιπτήρα αφορά ξύλινη τετραγωνική διατομή 10×10cm (βλ.Εικόνα 5.67). Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από φυσική ξυλεία πλατύφυλλων--D40 όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα με τα αντίστοιχα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Πίνακας 5. 44

**Κατηγορίες αντοχών για φυσική ξυλεία πλατύφυλλων (ΕΛΟΤ EN 338)**

Αντοχές (N/mm <sup>2</sup> )	σύμβολο	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Κάμψη	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
Εφελκυσμός // στις ίνες	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
Εφελκυσμός κάθετα στις ίνες	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Θλίψη // στις ίνες	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Θλίψη κάθετα στις ίνες	$f_{c,90,k}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Διάτμηση	$f_{v,k}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Μέσο μέτρο ελαστικότητας // στις ίνες	$E_{0,mean}$	10000	10000	11000	14000	17000	20000
(0,05%) μέτρο ελαστικότητας// στις ίνες	$E_{0,05}$	8000	8700	9400	11800	14300	16800
Μέσο μέτρο ελαστικότητας κάθετα στις ίνες	$E_{90,mean}$	640	690	750	930	1130	1330
Μέσο μέτρο διάτμησης	$G_{mean}$	600	650	700	880	1060	1250
Μέση τιμή πυκνότητας (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{mean}$	640	670	700	780	840	1080
Χαρακτηριστική τιμή πυκνότητας	$\rho_k$	530	560	590	650	700	900

Κάθε ελκυστήρας εξετάστηκε ως προς την αντοχή του σε εφελκυσμό παραλλήλως προς τις ίνες και σε θλίψη παραλλήλως προς τις ίνες όπως υποδεικνύεται από τον Ευρωκώδικα 5.

Εφελκυσμός παραλλήλως προς τις ίνες

Η εφελκυστική τάση  $\sigma_{t,0,d}$  που ασκείται σε κάθε ελκυστήρα θα πρέπει να είναι μικρότερη από την εφελκυστική αντοχή της ράβδου  $f_{t,0,d}$ .

$$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_d}{A} \quad F_d : \text{εφελκυστική δύναμη σχεδιασμού και } A : \text{επιφάνεια διατομής}$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_h \times k_{sys} \times k_{mod} \times f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

$k_h$  :συντελεστής επιρροής μεγέθους μέλους  $k_h = \min \left( \left( \frac{150}{h} \right)^{0.2}, 1.3 \right)$  όπου h πλευρά διατομής ελκυστήρα

$k_{sys}$  :αυξητικός συντελεστής αντοχής συστήματος λόγω διανομής φορτίων. Ο ελκυστήρας δεν παρέχει καμία χρήση διανομής φορτίου. Επομένως ο συντελεστής  $k_{sys} = 1$

$k_{mod}$  : τροποποιητικός συντελεστής με τον οποίο λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της διάρκειας φόρτισης και του ποσοστού περιεχομένου υγρασίας του ξύλου. Για φυσική ξυλεία και στιγμιαία δράση ο συντελεστής παίρνει την τιμή 0.9.

$\gamma_M$  : συντελεστής ασφαλείας υλικού και ισούται με  $\gamma_M = 1.3$

Θέση του ελκυστήρα	Fd	A	$\sigma_{t,0,d}$	$f_{t,0,d}$	Επαρκεί
Ελκυστήρας νάρθηκα	10	0,1	1000,00	17944,62	
Ελκυστήρας ιερού 1Δ	7	0,1	700,00	17944,62	
Ελκυστήρας ιερού 2Α	21	0,1	2100,00	17944,62	
Τρούλος-Ελκυστήρας βορείου τμήματος	3.5	0,1	350,00	17944,62	
Τρούλος-Ελκυστήρας νοτίου τμήματος	4.1	0,1	410,00	17944,62	

Θλίψη παραλλήλως προς τις ίνες

Για την επάρκεια του μέλους σε θλίψη θα πρέπει να ισχύει ότι η θλιπτική τάση του μέλους είναι μικρότερη της θλιπτικής αντοχής.

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \times f_{c,0,d}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_d}{A}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_h \times k_{sys} \times k_{mod} \times f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{(k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2)}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{(k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2)}}$$

$$k_y = 0.5 \times (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_z = 0.5 \times (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$\beta_c = 0,2$  για φυσική ξυλεία

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}}$$

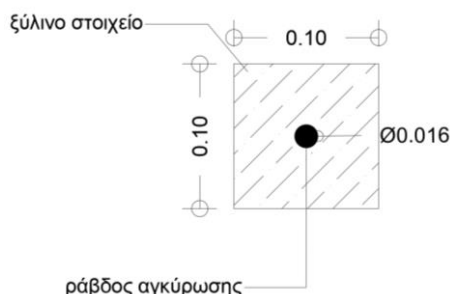
$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}}$$

	Fd	πλευρά	$I_y=I_z$	$i_y=i_z$	L	$\lambda$	$\lambda_{rel}>0,3$	$\beta$	$k_y=$	$k_{c,y}$	$\sigma_{c,0,d}$		Fcd(MPa)
Νάρθηκας	13	0,1	833	2,89	4,15	143,8	2,4	0,2	3,61	0,16	1300	<	3089
Ιερός Δ	15	0,1	833	2,89	4,00	138,6	2,3	0,2	3,39	0,17	1500	<	3313
Ιερός Α	25	0,1	833	2,89	4,00	138,6	2,3	0,2	3,39	0,17	2500	<	3313
Τρούλος βόρειο τμήμα	30,44	0,1	833	2,89	3,5	121,2	2,0	0,2	2,73	0,22	3044	<	4261
Τρούλος νότιο τμήμα	31,47	0,1	833	2,89	3,5	121,2	2,0	0,2	2,73	0,22	3147	<	4261

Επομένως η ξύλινη διατομή ποιότητας D40 επαρκεί για την θλιπτική και εφελκυστική ένταση.

Διαστασιολόγηση ράβδου και πλάκας αγκύρωσης

Η παρακάτω διατομή βρίσκεται στην θέση του ελκυστήρα κοντά στην τοιχοποιία. Με χρήση χαλύβδινης κοχλιοτομημένης ράβδου διατομής Φ16 και ποιότητας S235, κάθε ελκυστήρας-θλιπτήρας θα αγκυρωθεί στην τοιχοποιία και η διατομή του ελκυστήρα στο πάχος της τοιχοποιίας θα είναι όπως φαίνεται παρακάτω. Παρακάτω ακολουθούν οι εξής δύο έλεγχοι:



4. 56 Η διατομή του ελκυστήρα στο πάχος της τοιχοποιίας

Έλεγχος μήκους αγκύρωσης

Με βάση τον Ευρωκώδικα 5, Κεφάλαιο 8 σχέση 8.38 . υπολογίζεται το μήκος αγκύρωσης

Η χαρακτηριστική φέρουσα ικανότητα εξολκεύσεως συνδέσεως με αξονικώς φορτιζόμενη ράβδο θα πρέπει να λαμβάνεται από την σχέση:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} (\pi d l_{ef})^{0,8} f_{ax,\alpha,k}$$

όπου:

- $F_{ax,\alpha,Rk}$  είναι η χαρακτηριστική φέρουσα ικανότητα εξολκεύσεως της συνδέσεως υπό γωνία  $\alpha$  προς τις ίνες·
- $n_{ef}$  είναι ο δρων αριθμός βιδών·
- $d$  είναι η εξωτερική διάμετρος μετρούμενη στο σπείρωμα·
- $l_{ef}$  είναι το ακραίο μήκος εμπήξεως του σπειρώματος ελαττωμένο κατά μία διάμετρο βίδας·
- $f_{ax,\alpha,k}$  είναι η χαρακτηριστική αντοχή έναντι εξολκεύσεως υπό γωνία  $\alpha$  προς τις ίνες.

Η χαρακτηριστική αντοχή έναντι εξολκεύσεως υπό γωνία  $\alpha$  προς τις ίνες θα πρέπει να λαμβάνεται από την σχέση:

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2\alpha + 1,5 \cos^2\alpha}$$

όπου:

$$f_{ax,k} = 3,6 \times 10^{-3} \rho_k^{1,5}$$

- $f_{ax,\alpha,k}$  είναι η χαρακτηριστική αντοχή εξολκεύσεως υπό γωνία  $\alpha$  προς τις ίνες·
- $f_{ax,k}$  είναι η χαρακτηριστική αντοχή εξολκεύσεως καθέτως προς τις ίνες·
- $\rho_k$  είναι η χαρακτηριστική πυκνότητα, σε kg/m<sup>3</sup>.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Οι τύποι αστοχιών του χάλυβα ή του ξύλου γύρω από την βίδα είναι ψαθυροί, (δηλαδή με μικρή τελική παραμόρφωση) και επομένως, σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει περιορισμένη δυνατότητα ανακατανομής των τάσεων.

Ο δρων αριθμός μιας ομάδας βιδών που φορτίζονται από μια συνιστώσα δύναμης παράλληλη προς τον κορμό τους δίδεται από την σχέση:

$$n_{ef} = n^{0,9}$$

όπου:

$n_{ef}$  είναι ο δρων αριθμός βιδών

$n$  είναι ο αριθμός φορτιζομένων βιδών μιας σύνδεσης.

Το ελάχιστο μήκος έμπηξης της ράβδου ισούται με  $6d \approx 6 \times 16 \approx 96\text{mm}$

Τα αποτελέσματα με βάση την δράση εφελκυσμού του κάθε ελκυστήρα στο ναό είναι

	Νάρθηκας	Δυτικά του ιερού	Ανατολικά του ιερού	Βόρεια του κ.κλίτους	Νόττια του κ.κλίτους	
$\rho_k =$	590	590	590	590	590	$\text{kg/m}^3$
$\alpha =$	0	0	0	0	0	
$f_{ax,k} =$	51,59	51,59	51,59	51,59	51,59	$\text{Mpa}$
$f_{ax,\alpha,k} =$	34,39	34,39	34,39	34,39	34,39	$\text{MPa}$
$n_{ef} =$	1	1	1	1	1	
$d =$	16	16	16	16	16	$\text{mm}$
$F_{ax,a,Rk}$	10000	7000	21000	3500	4100	$\text{N}$
$l_{ef} =$	23,88	15,29	60,38	22,43	23,84	$\text{mm}$
$l_{αγκ} =$	39,88	31,29	76,38	38,43	39,84	$<96\text{mm}$

Επομένως το μήκος έμπηξης του σπειρώματος είναι αρκετό στα 10cm.

Μπορεί να επιλεγθεί επομένως ένα συνολικό μήκος αγκύρωσης 20cm.

#### Διαστασιολόγηση πλάκας αγκύρωσης

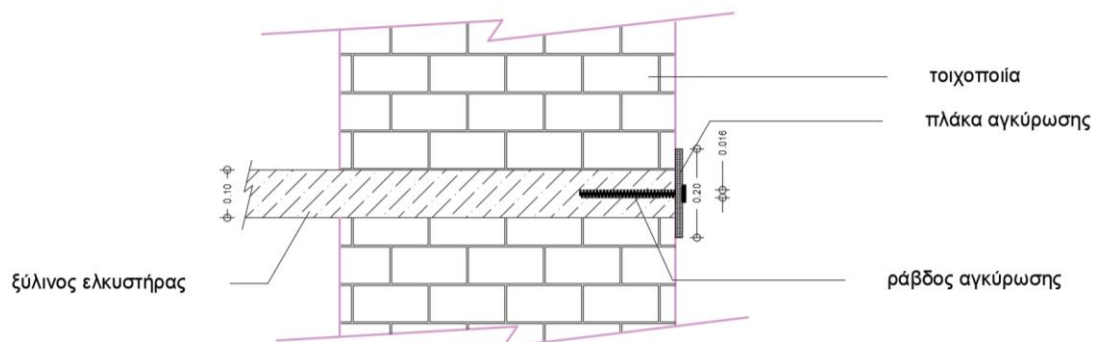
Γίνεται παραδοχή ότι η πλάκα αγκύρωσης είναι πλευράς 20cm δηλαδή κατά 10cm μεγαλύτερη πλευρά από αυτή του ελκυστήρα. Το ενεργό εμβαδό επομένως της διατομής της πλάκας αγκύρωσης είναι :

$$A_{eff} = 10 \times 10 = 100\text{cm}^2$$

$F_{max} = 32$  (βλ. Πίνακα 5.53)

$$f = \frac{F_{max}}{A_{eff}} = \frac{32}{0.03} = 1067\text{kPa} < 1.5 \times 2250 = 3375\text{kPa}$$

Επομένως η πλάκα αγκύρωσης επαρκεί για την μεταφορά της δύναμης στο τοιχώσµα.



5. 53: Προφίλ του ελκυστήρα κατά το πάχος της διατομής της τοιχοποιίας

## 5.5 Έλεγχος διαφραγματικής λειτουργίας των θόλων του ναού

Ένα επιπλέον μέτρο αποκατάστασης είναι να ελεγχθεί η διαφραγματική λειτουργία των θόλων στο ναό. Τα κατακόρυφα στοιχεία στα οποία στηρίζονται δεν θα πρέπει να έχουν μεγάλες μετακινησιακές διαφορές μεταξύ τους εάν οι θόλοι υποστηρίζουν το διαφραγματικό τους ρόλο. Για τον λόγο αυτό εξετάζεται για κάθε τμήμα του ναού ξεχωριστά οι μετακινήσεις των κατακόρυφων στοιχείων σε σχέση με τις μετακινήσεις των θόλων. Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με το ΚΑΔΕΤ *‘οι εντός επιπέδου παραμορφώσεις του διαφράγματος υπό την επίδραση των σεισμικών αδρανειακών δράσεων και των αντιδράσεων των κατακόρυφων στοιχείων που συνδέονται με το διάφραγμα, οφείλουν να λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό των σχέσεων που συνδέουν τις μετακινήσεις των κατακόρυφων στοιχείων.’*

Τα διαφράγματα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες 1) ευπαραμόρφωτα 2) δυσπαραμόρφωτα και 3)απαραμόρφωτα

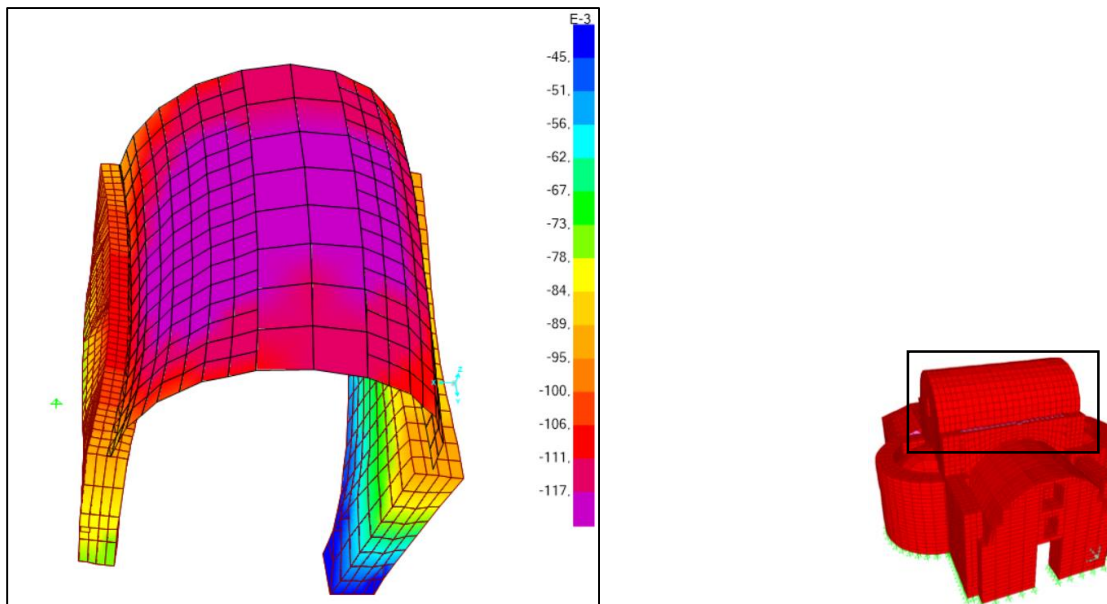
Ευπαραμόρφωτο χαρακτηρίζεται όταν η μέγιστη εντός του επιπέδου του οριζόντια παραμόρφωση του υπερβαίνει το διπλάσιο του μέσου σχετικού βέλους των κατακόρυφων φορέων του υποκείμενου ορόφου

Απαραμόρφωτο χαρακτηρίζεται όταν η μέγιστη εντός του επιπέδου του οριζόντια παραμόρφωση κατά μήκος του διαφράγματος είναι μικρότερη του μισού του μέσου σχετικού βέλους των κατακόρυφων φορέων του υποκείμενου ορόφου

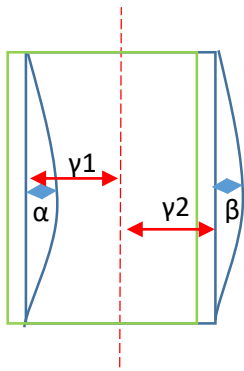
Τα διαφράγματα που δεν ανήκουν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες ονομάζονται δυσπαραμόρφωτα.

Οι μετακινήσεις των θόλων ελέγχθηκαν ως προς την κρίσιμη ιδιομορφή τους.

- **ΚΥΡΙΟ ΚΛΙΤΟΣ**



5. 54 Η παραμόρφωση του θόλου του κυρίου κλίτους σύμφωνα με την δεύτερη ιδιομορφή(Sc.Fact.10)



$\gamma_1=1.5\text{cm}$   $\gamma_2=0,51\text{cm}$   $\alpha=1.1\text{cm}$  και  $\beta=3\text{cm}$  .

Όπου  $\gamma_1$  η μέγιστη παραμόρφωση του θόλου από την μία παρειά

$\gamma_2$  η μέγιστη παραμόρφωση του θόλου από την άλλη παρειά

$\alpha$  το μέγιστο βέλος από την μία κατακόρυφη παρειά

$\beta$  το μέγιστο βέλος από την άλλη κατακόρυφη παρειά

$\mu=(\alpha+\beta)/2=4,1/2=2,05\text{cm}$ ,

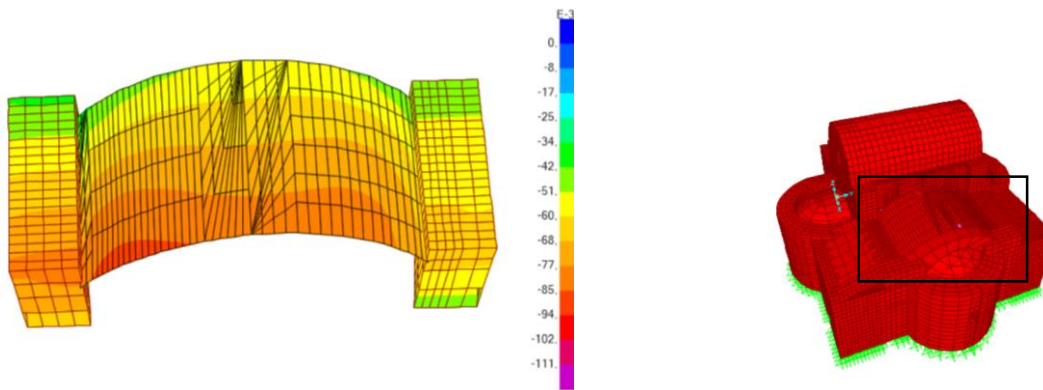
$\mu$  το μέσο σχετικό βέλος.

$\gamma_1>\gamma_2$ , άρα  $\gamma=1,5$

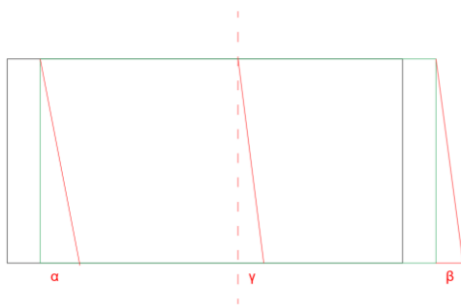
όπου  $\gamma$  το μέγιστο βέλος της οροφής

$\gamma<2\mu$  και  $\gamma>\mu/2$  , επομένως ο θόλος του κυρίου κλίτους θεωρείται δυσπαραμόρφωτος

• ΘΟΛΟΣ ΙΕΡΟΥ



5. 55 Οι παραμορφώσεις στην διεύθυνση  $\gamma$  για την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή (Sc.Fac.10)



$\alpha$  το μέγιστο βέλος από την μία κατακόρυφη παρειά

$\beta$  το μέγιστο βέλος από την άλλη κατακόρυφη παρειά

$\mu$  το μέσο σχετικό βέλος.

$\gamma$  το μέγιστο βέλος της οροφής

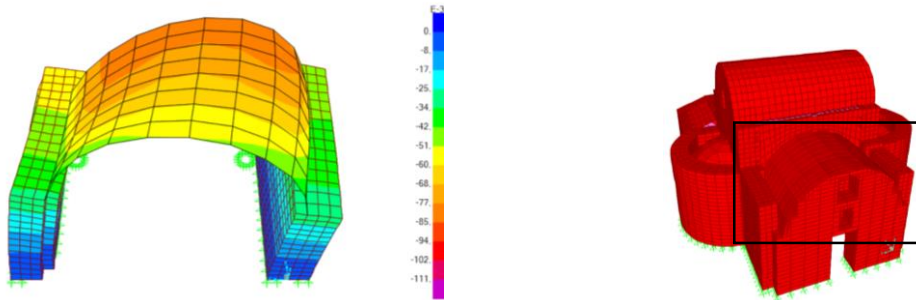
$\alpha=4,09\text{cm}$   
 $\beta=1,96\text{cm}$   
 $\gamma=3\text{cm}$

}  $\mu=3\text{cm}$

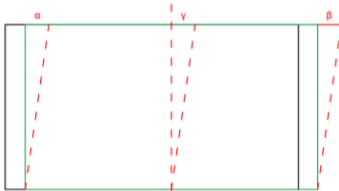


Συγκρίνοντας τις μεταβλητές 'γ' και 'μ' συμπεραίνουμε ότι το διάφραγμα είναι δυσπαραμόρφωτο.

• **ΝΑΡΘΗΚΑΣ**



5. 56 Παραμορφώσεις κατά την διεύθυνση γ σύμφωνα με την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή (Sc.Fac.10)



α το μέγιστο βέλος από την μία κατακόρυφη παρειά

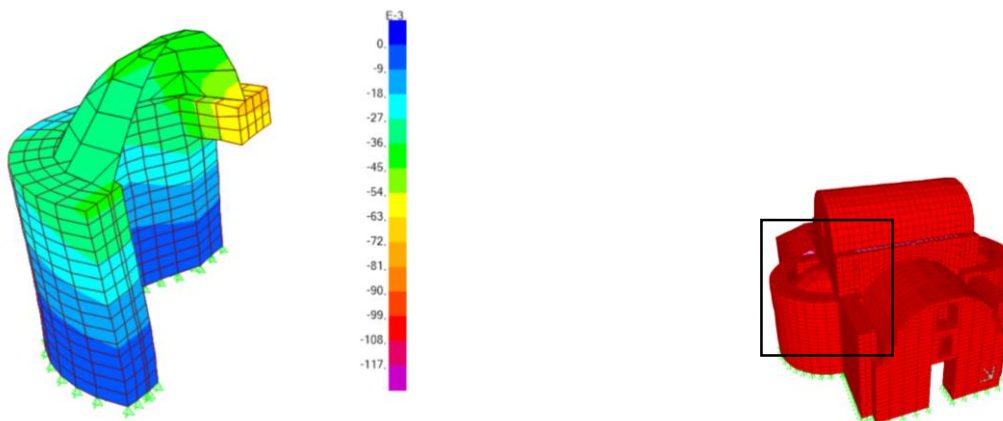
β το μέγιστο βέλος από την άλλη κατακόρυφη παρειά  
μ το μέσο σχετικό βέλος.

$$\left. \begin{array}{l} \alpha=2,4\text{cm} \\ \beta=2,64\text{cm} \end{array} \right\} \mu=2,52\text{cm}$$

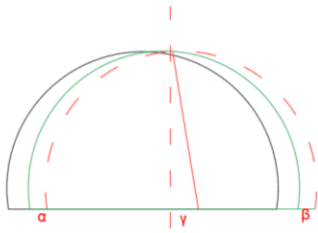
γ το μέγιστο βέλος της οροφής  $\gamma=2,47\text{cm}$

Συγκρίνοντας τις μεταβλητές γ και μ, προκύπτει το διάφραγμα ως δυσπαραμόρφωτο.

• **ΒΟΡΕΙΑ ΚΟΓΧΗ**



5. 57 Παραμορφώσεις στην βόρεια κόγχη λόγω της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Sc.Fac.10)



α το μέγιστο βέλος από την μία κατακόρυφη παρειά

$$\alpha = 5.54 \text{ cm}$$

β το μέγιστο βέλος από την άλλη κατακόρυφη παρειά  
μ το μέσο σχετικό βέλος.

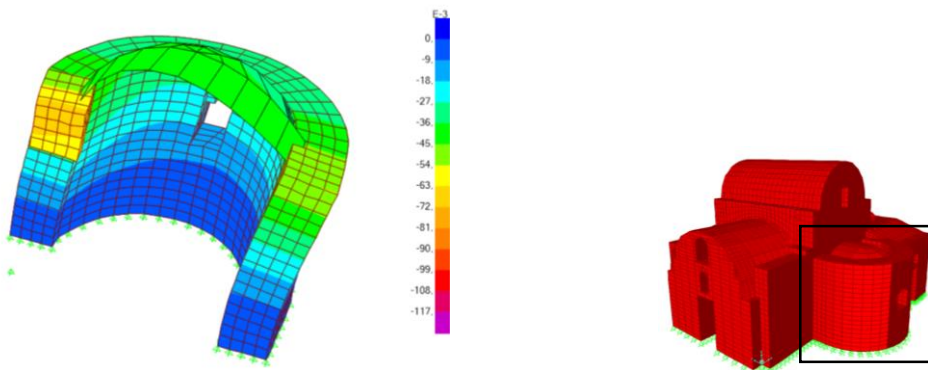
$$\beta = 3.82 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 5.54 \text{ cm} \\ \beta = 3.82 \text{ cm} \end{array} \right\} \mu = 1.72 \text{ cm}$$

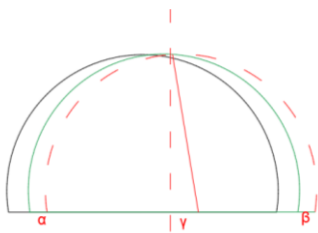
γ το μέγιστο βέλος της οροφής  $\gamma = 3.72 \text{ cm} < \min(\alpha, \beta)$

Συγκρίνοντας τις μεταβλητές γ και μ, προκύπτει το διάφραγμα ως απαραμόρφωτο

• **ΝΟΤΙΑ ΚΟΓΧΗ**



5. 58 Παραμορφώσεις στην νότια κόγχη λόγω της 2ης ιδιομορφής (Sc.Fact.10)



α η μέγιστη παραμόρφωση από την μία κατακόρυφη παρειά

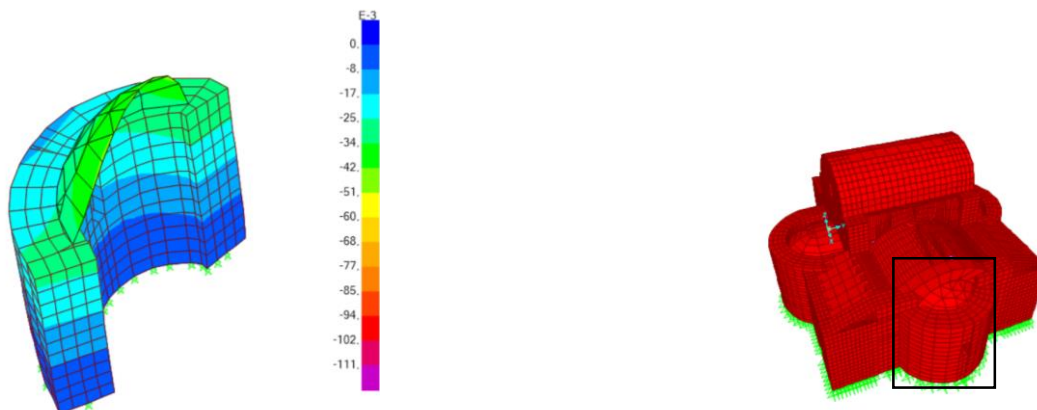
$$\alpha = 6,62 \text{ cm}$$

β η μέγιστη παραμόρφωση από την άλλη κατακόρυφη παρειά  
γ το μέγιστο βέλος της οροφής  $\gamma = 4,5 \text{ cm} \approx \min(\alpha, \beta)$

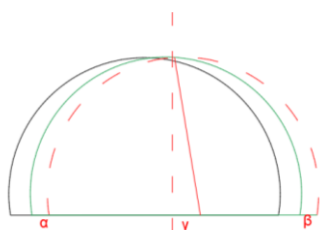
$$\beta = 4,97 \text{ cm}$$

Συγκρίνοντας τις μεταβλητές γ και μ, προκύπτει το διάφραγμα ως απαραμόρφωτο

• ΚΟΓΧΗ ΙΕΡΟΥ



5. 59 Οι παραμορφώσεις της κόγχης του ιερού σύμφωνα με την 1<sup>η</sup> ιδιομορφική ανάλυση.(Sc.Fact.20)



α η μέγιστη παραμόρφωση από την μία κατακόρυφη παρειά

$$\alpha = 2.76 \text{ cm}$$

β η μέγιστη παραμόρφωση από την άλλη κατακόρυφη παρειά  
μ το σχετικό βέλος των κατακόρυφων παρειών  $\mu = \alpha - \beta$

$$\beta = 3.24 \text{ cm}$$

$$\mu = 3.24 - 2.76 = 0.48 \text{ cm}$$

γ το μέγιστο βέλος της οροφής  $\gamma = 3.40 - 2.76 = 0.64 \text{ cm}$

Συγκρίνοντας τις μεταβλητές γ και μ, προκύπτει το διάφραγμα ως δυσπαραμορφωτο.

Έλεγχος των εντός και εκτός επιπέδου μετακινήσεων των κατακόρυφων στοιχείων που στηρίζονται οι θόλοι του νάρθηκα, του κυρίου κλίτους και του ιερού.

Στα πλαίσια ελέγχου της διαφραγματικής λειτουργίας των θόλων καθοριστικό ρόλο παίζουν και οι εντός και οι εκτός επιπέδου μετακινήσεις των κατακόρυφων στοιχείων που στηρίζονται οι θόλοι. Οι έλεγχοι αυτοί θα γίνουν με βάση την ισοδύναμη ελαστική ανάλυση. Σύμφωνα με το ΚΑΔΕΤ, στη περίπτωση που οι τοίχοι φορτίζονται παράλληλα στο επίπεδο τους, η ικανότητα τους σε όρους παραμορφώσεων η οποία ελέγχεται σε κάμψη λαμβάνεται ίση με

$0,008H_0/d$  (σχ.α) για πρωτεύοντες σεισμικούς τοίχους,

$H_0$ : το ύψος του πεσσού,

$d$ : το μήκος του πεσσού

ενώ στην περίπτωση που οι τοίχοι φορτίζονται κάθετα στο επίπεδο του, ως στροφή αστοχίας θα λαμβάνεται ίση με

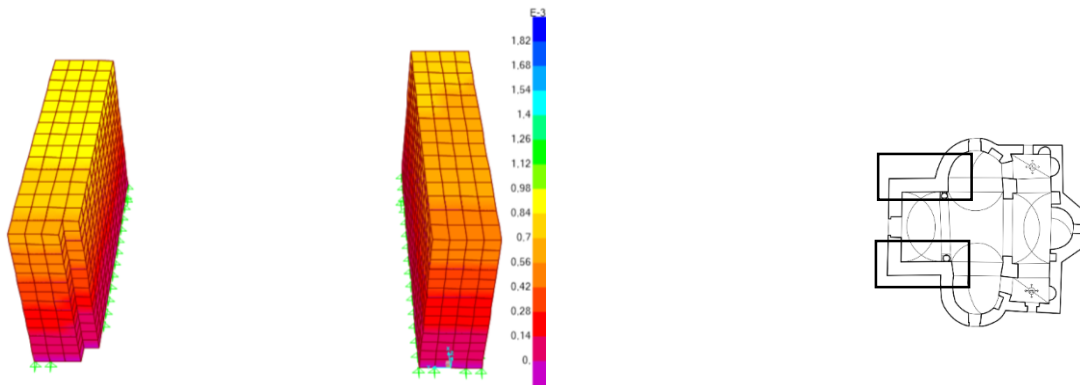
$\theta_u = 0.003H_0/t$  (σχ.β).

$t$ : το πάχος του πεσσού

Σε κάθε περίπτωση ελέγχου λαμβάνεται ο πιο κρίσιμος συνδυασμός φόρτισης.

**ΝΑΡΘΗΚΑΣ**

*Εκτός επιπέδου μετακίνηση*

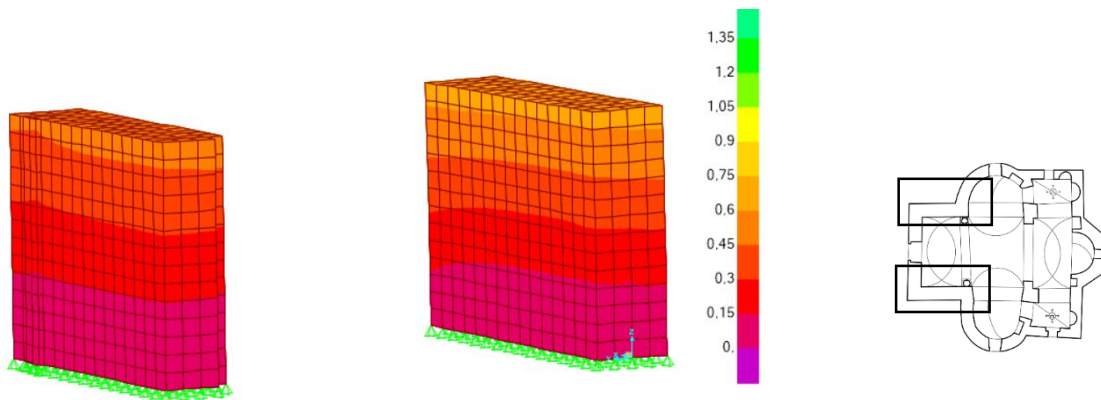


5. 60 Μετακινήσεις των κατακόρυφων στοιχείων που είναι σημειωμένα στην κάτοψη κατά την διεύθυνση  $y$ , σύμφωνα με τον σεισμικό συνδυασμό  $E_{x3}$

Μέγιστη μετατόπιση του ανώτερου σημείου του κατακόρυφου στοιχείου και στις δύο περιπτώσεις είναι περίπου  $u=0,00084m$  ( $t=0.8m$  και  $H_0=2,45m$ , οπότε  $\theta_{r,u}=0.0009188$ )

δηλαδή  $\theta=0,000343 < 0,00918$ . Επαρκεί

*Εντός επιπέδου μετακίνηση*



5. 61 Μετακινήσεις των κατακόρυφων στοιχείων που είναι σημειωμένα στην κάτοψη κατά την διεύθυνση  $x$ , σύμφωνα με τον σεισμικό συνδυασμό  $E_{x1}$

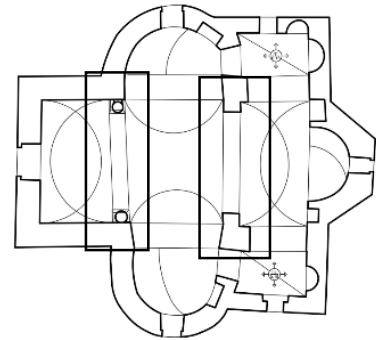
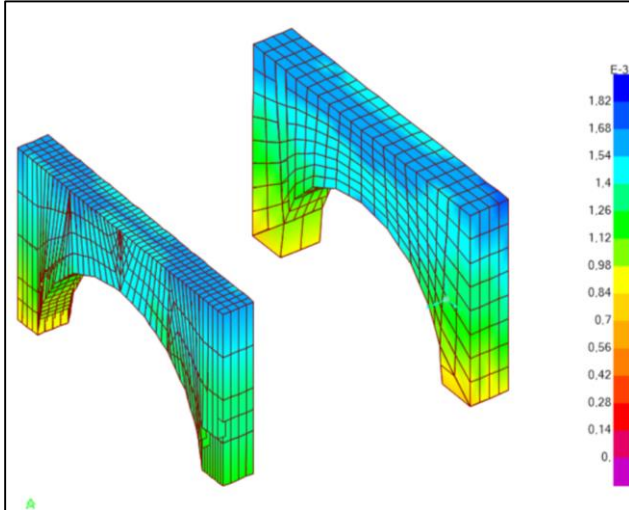
Μέγιστη μετατόπιση του ανώτερου σημείου του κατακόρυφου στοιχείου και στις δύο περιπτώσεις είναι περίπου  $u=0,00075m$ ,  $H_0=2.45m$ ,  $D=3m$  άρα  $\theta_{r,u}=0,00653$

$\theta=0,000306 < 0,00653$ . Επαρκεί.

**ΚΥΡΙΟ ΚΛΙΤΟΣ**

1) *Εντός επιπέδου μετακίνηση*

Πρωτεύοντες τοίχοι 0.008H<sub>0</sub>/D

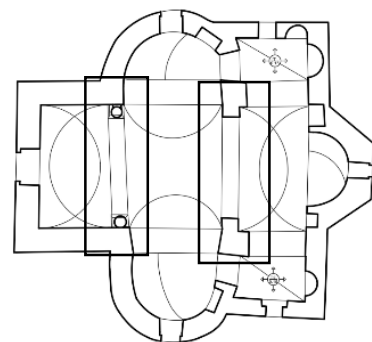
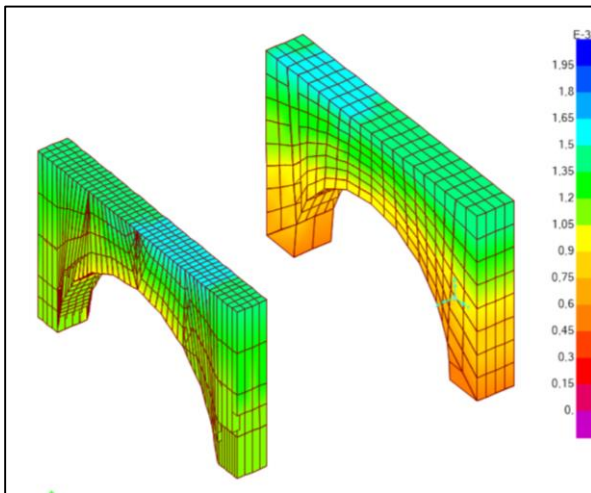


5. 62 Παραμορφώσεις των κατακόρυφων στοιχείων που είναι σημειωμένοι στην κάτοψη κατά την διεύθυνση γ, σύμφωνα με τον σεισμικό συνδυασμό E<sub>γ1</sub>

Μέγιστη μετατόπιση του ανώτερου σημείου του κατακόρυφου στοιχείου και στις δύο περιπτώσεις είναι περίπου  $u=0,00168m$   $H_0=2.45m$ ,  $D=3m$  ,

$\theta=u/5.05=0.000346 < 0.0705$ . Επαρκεί.

2) *Εκτός επιπέδου μετακίνηση*

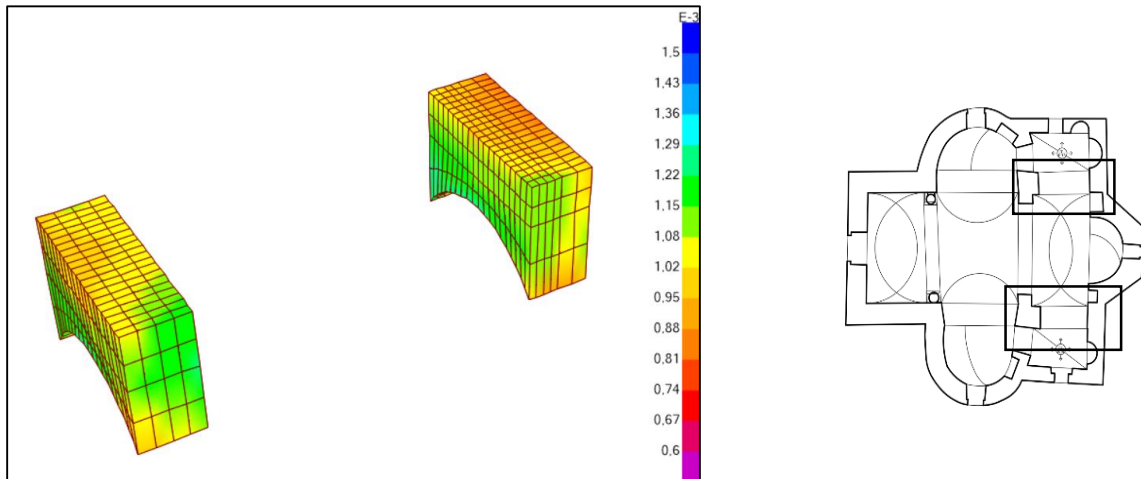


5. 63 Παραμορφώσεις των κατακόρυφων στοιχείων που είναι σημειωμένα στην κάτοψη κατά την διεύθυνση χ, σύμφωνα με τον σεισμικό συνδυασμό E<sub>χ1</sub>

Μέγιστη μετατόπιση του ανώτερου σημείου του κατακόρυφου στοιχείου και στις δύο περιπτώσεις είναι περίπου  $u=0,00150m$ ,  $\theta=u/5.05=0.000346 < 0.02645$ . Επαρκεί.

**ΘΟΛΟΣ ΙΕΡΟΥ**

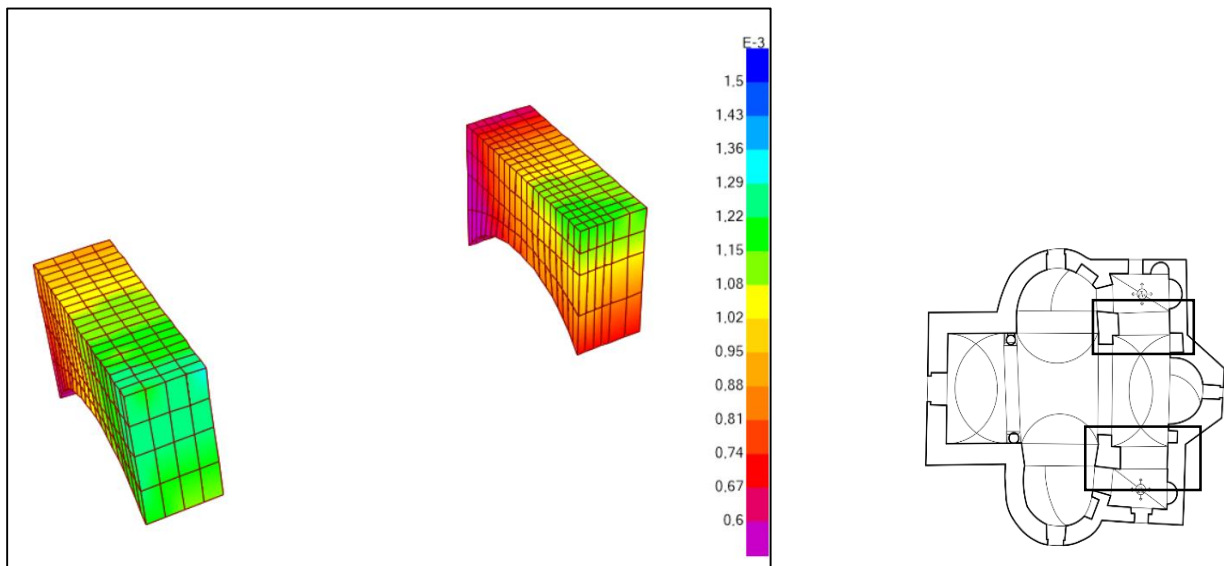
Εντός επιπέδου μετακίνηση



5. 64 Παραμορφώσεις των κατακόρυφων στοιχείων που είναι σημειωμένα στην κάτοψη κατά την διεύθυνση x, σύμφωνα με τον σεισμικό συνδυασμό Ex1

Μέγιστη μετατόπιση του ανώτερου σημείου του κατακόρυφου στοιχείου και στις δύο περιπτώσεις είναι περίπου  $u=0,00110m$ ,  $H_0=2,45m$ ,  $D=2,70m$ ,  $\theta=u/2,45=0,00044<0,002778$

Εκτός επιπέδου μετακίνηση



5. 65 Παραμορφώσεις των κατακόρυφων στοιχείων που είναι σημειωμένα στην κάτοψη κατά την διεύθυνση y, σύμφωνα με τον σεισμικό συνδυασμό Ey1

Μέγιστη μετατόπιση του ανώτερου σημείου του κατακόρυφου στοιχείου και στις δύο περιπτώσεις είναι περίπου  $u=0,00110m$ ,  $H_0=2,45m$ ,  $D=2,70m$ ,

$\theta=u/2,50=0,00031<0,0264$

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 Σχόλια και Παρατηρήσεις για τα τελικά μέτρα αποκατάστασης

Με βάση την υφιστάμενη κατάσταση και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και των αναλυτικών υπολογισμών και ελέγχων σε διάτμηση και εκτός επιπέδου κρίνεται επιτακτική η ανάγκη της άμεσης αποκατάστασης του ναού. Με την λήψη μέτρων αποκατάστασης όπως των ενεμάτων και την λιθοσυρραφή βελτιώθηκαν κατά πολύ τα αποτελέσματα αν και παραμένει ο κίνδυνος αστοχίας με λιγότερες όμως πιθανότητες σε ορισμένους πεσσούς και υπέρθυρα. Με την εγκατάσταση των ελκυστήρων που περιγράφηκαν στην Ενότητα 5.4 προλαμβάνονται εκτός επιπέδου αστοχίες των κατακόρυφων στοιχείων σε περίπτωση που αστοχήσουν οι θόλοι που στηρίζονται σε αυτά.

Ανακεφαλαιωτικά:

- Στην δυτική όψη βελτιώθηκε αρκετά η πιθανότητα αστοχίας σε τέμνουσα στους πεσσούς και λιγότερο σε ροπή εκτός επιπέδου στους πεσσούς. Ωστόσο δεν υπάρχει σημαντική βελτίωση συμπεριφοράς στα υπέρθυρα
- Στην βόρεια όψη βελτιώθηκε σημαντικά η πιθανότητα αστοχίας σε τέμνουσα σε πεσσούς και λιγότερο σε ροπή εκτός επιπέδου. Επίσης το τμήμα του νάρθηκα στην βόρεια όψη προστατεύεται από την εκτός επιπέδου αστοχία χάρη στην συμβολή του ελκυστήρα.
- Στην νότια όψη με την χρήση ενεμάτων βελτιώθηκε σημαντικά η αστοχία σε τέμνουσα στους πεσσούς ενώ η συμπεριφορά σε ροπή εκτός επιπέδου παραμένει σχεδόν ίδια. Με τη χρήση ελκυστήρων στο τμήμα του νάρθηκα και του παραβήματος μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τις εκτός επιπέδου παραμορφώσεις
- Στην ανατολική όψη παρατηρήθηκαν πολύ λιγότερες αναμενόμενες διατμητικές αστοχίες στους πεσσούς και ενδεχομένως να υπάρχει μία μικρή επιδείνωση στην ροπή εκτός επιπέδου κάθετα στους αρμούς.

Εκτός των παραπάνω των οποίων η μελέτη έγινε με αναλυτική προσομοίωση στο πρόγραμμα SAP απαιτούνται ορισμένα επιπλέον μέτρα αποκατάστασης με σκοπό την αποφυγή διάβρωσης δομικών στοιχείων του ναού

Πιο συγκεκριμένα:

- Διόρθωση της στέγης –Πλήρης αποκατάσταση της στέγης και στεγάνωση της οροφής
- Αφαίρεση των ριζών των δέντρων στην βορειοδυτική γωνία και στην νότια όψη αντίστοιχα.
- Αφαίρεση της ρίζας του κυπαρισσιού στην βόρεια όψη
- Διόρθωση των πρόχειρων διανοίξεων στην βόρεια και νότια όψη
- Αφαίρεση του επιχρίσματος και του χαλαρού υλικού της κατακόρυφης τοιχοποιίας και επανασύσταση με νέο υλικό με την μέθοδο των τσιμεντενέσεων
- Ενίσχυση εδάφους (αν απαιτείται) έπειτα από γεωτεχνική έρευνα
- Τοπική επαναδόμηση της βορειοδυτικής γωνίας. Αποκόλληση τμήματος λιθοδομής σε σχήμα λοξής ρωγμής.



## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία

- Αντωνίου Αθ.Βασιλείου, Η ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΑΓΙΑΣ ΤΡΙΑΔΟΣ ΠΛΑΤΑΙΩΝ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ, ΘΗΒΑΙ 1970
- Βιντζηλαίου Ελισάβετ, Σημειώσεις Μαθήματος Προχωρημένης Μηχανικής Τοιχοποιίας ΕΜΠ ,2018
- Καραντώνη Φυλλίτσα Β., ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ, ΑΘΗΝΑ 2012
- Μελέτη αποκατάστασης Τοιχογραφιών της Ι.Μ. Αγίας Τριάδος Πλαταιών, Μιχάλης Κρασαγάκης (1998)
- Θεωρία Σχεδιασμού Επισκευών και Ενισχύσεων, Θ.Π.Τάσιος, Αθήνα 2018
- Σημειώσεις από Ευρωκώδικα 1-Δράσεις επί των κατασκευών
- Σημειώσεις από Ευρωκώδικα 5- Σχεδιασμός Ξύλινων Κατασκευών
- Σημειώσεις από Ευρωκώδικα 6- Σχεδιασμός κατασκευών από Τοιχοποιία
- Σημειώσεις από Ευρωκώδικα 8-Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών Μέρος 1 Γενικοί κανόνες, Σεισμικές Δράσεις, Κανόνες για Κτίρια
- Βιντζηλαίου Ελισάβετ, Σημειώσεις Μαθήματος Προχωρημένης Μηχανικής Τοιχοποιίας ΕΜΠ ,2018
- ΚΑΔΕΤ –Κανονισμός για αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας
- Ευριπίδης Παπαμίχος, Νίκος Χ.Χαραλαμπάκης ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, Εκδόσεις Τζιόλα 2011
- Μίλτων Α.Δημοσθένους-Κύριος ερευνητής του ΙΤΣΑΚ, Μέθοδοι και υλικά αποκατάστασης και ενίσχυσης διατηρητέων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία, Τ.Ε.Ε., Φεβρουάριος 2009
- Διδακτορική διατριβή Χρυσή-Ελπίδα Αδάμη, Πειραματική και Αναλυτική διερεύνηση της συμπεριφοράς διεπιφανειών υδραυλικών ενεμάτων υψηλής διεισδυτικότητας και λίθινων ή πλίνθινων υποβάθρων, ΕΜΠ, Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος Αθήνα 2011
- Διπλωματική εργασία Νικόλαος Παπαηλίου, Αποκατάσταση ιερού ναού Παντοβασιλίσσας με επιβλέπων την κ.Βιντζηλαίου Ελισάβετ,ΕΜΠ Απριλίου 2014
- Διπλωματική Εργασία ,Νταφλούκας Κωνσταντίνος, Εκτίμηση της σεισμικής Διακινδύνευσης στην Ελλάδα σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο με επιβλέπων τον καθηγητή κ.Πιτιλάκη
- Διπλωματική Εργασία Νικολοπούλου Βασιλική, Στατική και δυναμική ανάλυση της επάρκειας του ιστορικού κτιρίου Οικίας Δουρούτη στο Μεταξουργείο Αθηνών με χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Προτάσεις συμβατών επεμβάσεων αποκατάστασης με επιβλέποντες Καθ.κ.Βιντζηλαίου Ε. και Εφεσίου Ε. ΕΜΠ
- Διπλωματική εργασία Φλίγκου Μαρία , Εκτίμηση σεισμικού κινδύνου και διακινδύνευσης στην Βοιωτία με επιβλέποντες Καθηγητές κ.Σπυράκο Κ. και κ.Ταφλαμπά Ι.,ΕΜΠ, Αθήνα ,Οκτώβριος 2012

### Άρθρα

- Βιντζηλαίου Ελισάβετ,Καλαγρή Άννα, Μιλτιάδου Αδρονίκη, Ενέματα υδραυλικής ασβέστου για την επισκευή ιστορικών κατασκευών, 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου,20084
- S.Kokkalas et al, Paleoseismicity of the Kaparelli fault (eastern Corinth Gulf) evidence for earthquake recurrence and fault behavior, Boll.Soc.Geol.It.(Ital.J.Geosci),Vol.126, No.2 (2007),pp.387-395
- L.Benedetti et al, Motion on the Kaparelli fault (Greece) prior to the 1981 earthquake sequence determined from <sup>36</sup>Cl cosmogenic dating, Terra Nova, Vol 15, No2, p118-124

---

## Θερμές Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Βιντζηλαίου Ελισάβετ για το ενδιαφέρον, τον χρόνο, την υπομονή και την προθυμία της να με στηρίξει στην μελέτη της μεταπτυχιακής μου εργασίας. Αναμφισβήτητα η εμπειρία, οι γνώσεις και οι συμβουλές της θα αποτελέσουν σημαντικοί οδοδείκτες στην μετέπειτα πορεία μου.

Ωστόσο δεν θα είχε επιτελεστεί αυτή η εργασία αν δεν είχε ανταποκριθεί στο αίτημα μου και το ίδιο το μοναστήρι. Ευχαριστώ πολύ την Γερόντισσα Μακρίνα για την φιλοξενία και την διάθεση ιστορικών πληροφοριών σχετικά με την μονή.

Επίσης σημαντική συμβολή είχε επίσης και ο αρχιτέκτονας κ. Σταύρος Μαμαλούκος μέσω της πρότασης μελέτης ενός τόσο ιδιαίτερου και ενδιαφέροντος αντικειμένου και της παροχής όλων των απαραίτητων σχεδίων τοπογραφικών και αποτύπωσης. Τα σχέδια καθώς συνέβαλαν σημαντικά στην ευκολότερη κατανόηση της γεωμετρίας του και στην αποτύπωση των στατικών σχεδίων του ναού.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ταφλαμπάς Ιωάννης που ως ειδικός στην επιστήμη της Τεχνικής Σεισμολογίας μου έδωσε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τον σεισμό των Αλκυονίδων του 1981.

Τέλος ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου για την άμεση οικονομική υποστήριξη τους στην ολοκλήρωση της εργασίας καθώς και συναδέλφους μηχανικούς όπως τον Βασίλη Κασίμη, την Ερατώ Οικονομοπούλου και την ομάδα στο εργαστήριο ωπλισμένου σκυροδέματος για την άμεση και ωφέλιμη ανταπόκριση τους σε ποικίλα ζητήματα που προέκυπταν κατά την διάρκεια της.