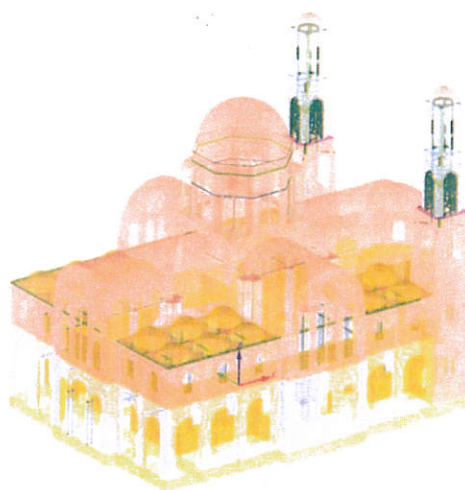


ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΑΓΙΟΥ ΜΗΝΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ



Βλάχης Κουμούσης, Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ
Ανάργυρος Μωυσίδης, Δρ. ΠΜ, MSc Δομοστατικός Σχεδιασμός, ΕΜΠ
Χρήστος Σοφιανός, Δρ. ΠΜ, MSc Δομοστατικός Σχεδιασμός, ΕΜΠ
Ηλίας Γκιμούσης, Δρ. ΠΜ, MSc Δομοστατικός Σχεδιασμός, ΕΜΠ
Λώρενς-Κίμων Αντωνιάδης, ΠΜ, MSc Δομοστατικός Σχεδιασμός, Υπ. Διδ. ΕΜΠ

Θέμα: Ανάλυση φέροντος οργανισμού ενισχυμένου Ναού

Ημερομηνία: 04/2022

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ – ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ – ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ





Περιεχόμενα

Λίστα εικόνων.....	5
Λίστα πινάκων.....	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
Εισαγωγή	10
Επιμέρους αντοχές υλικών μετά τις ενισχύσεις	10
Προσδιορισμός εφελκυστικής αντοχής	12
Προσδιορισμός μέτρου ελαστικότητας	12
Συγκεντρωτικές αντοχές ελέγχου	12
Έλεγχοι επάρκειας.....	13
2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ – ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΣ ΦΟΡΕΑΣ.....	16
Κανονιστικό πλαίσιο – αναλύσεις.....	20
Ιδιομορφική ανάλυση – Σύγκριση μοντέλων με και χωρίς εσωτερικούς ελκυστήρες	21
Πίνακας ιδιομορφών.....	32
Δρώσες ιδιομορφικές μάζες.....	34
Φορτίσεις	38
Συνδυασμοί φορτίσεων	40
Αποτελέσματα ελέγχων θλιπτικών αξονικών δυνάμεων Ιερού Ναού με τις προτάσεις ενισχύσεων.....	43
Αποτελέσματα αναλύσεων Ρευστομηχανικής για τα φορτία ανέμου	45
Αποτελέσματα ελέγχων σεισμικών δυνάμεων Ιερού Ναού με τις προτάσεις ενισχύσεων	50
Νότιος τοίχος Ισογείου	50
Ανατολικός τοίχος Ισογείου	52
Δυτικός τοίχος Ισόγειο	53
Νότιος τοίχος εσωτερικός Ισογείου	54
Νότιος τοίχος γυναικωνίτη.....	55
Δυτικός τοίχος γυναικωνίτη	56
Καμπαναριά	57
Υποστυλώματα	58
Έλεγχοι κριτηρίου Ottosen.....	61
Διαστασιολόγηση μεταλλικών στοιχείων καμπαναριών.....	69
Διαστασιολόγηση συνδέσεων μεταλλικών πλαισίων.....	75
Σύνδεση 1	75



Σύνδεση 2	76
Σύνδεση 3	77
Διαστασιολόγηση ενισχύσεων με Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM).....	78
Ενίσχυση κατακόρυφων πεσσών γυναικωνίτη:	78
Ενίσχυση κυκλικών πεσσών λόγω περισφιγξης:	81
Ενίσχυση θόλων:	82
Μη γραμμικές αναλύσεις.....	84
Διεύθυνση Χ	85
Διεύθυνση Υ	88
Αποτελέσματα μη γραμμικών αναλύσεων χρονοϊστορίας.....	90
Επιταχυνσιογράφημα 589:.....	90
Αποτελέσματα μη γραμμικών αναλύσεων χρονοϊστορίας με το πρόγραμμα Πεπερασμένων Στοιχείων Abaqus	95
Επιταχυνσιογράφημα 589:.....	98
Επιταχυνσιογράφημα 150:.....	128
Καταπόνηση μεταλλικών ενισχύσεων	141
Κατανομή Βλάβης στα Κωδωνοστάσια	143
Κατανομή Βλάβης σε χαρακτηριστικά σημεία του Ναού	144
Διαγράμματα Μετατοπίσεων Χαρακτηριστικών Σημείων.....	145
Κατανομή Βλάβης - Damage	154
Καταπόνηση Ελκυστήρων	157
3. ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	159
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	160

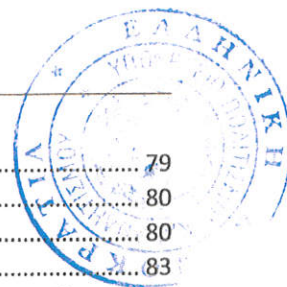
Λίστα εικόνων



Εικόνα 1. Μηχανισμός αστοχίας κάμψης εντός επιπέδου.	13
Εικόνα 2. Μηχανισμοί αστοχίας τέμνουσας εντός επιπέδου: (α) Διαγώνια ρηγμάτωση, (β) ολίσθηση κατά μήκος οριζόντιων αρμών.	14
Εικόνα 3. Μηχανισμός αστοχίας κάμψης εκτός επιπέδου.	15
Εικόνα 4. Υπολογιστικό προσομοίωμα φέροντος οργανισμού του Ιερού Ναού.	16
Εικόνα 5. Προσθήκη μεταλλικής κατασκευής στα καμπαναριά.	17
Εικόνα 6. Διατομές UPN 240.	17
Εικόνα 7. Διατομές UPN 140.	18
Εικόνα 8. Διατομές HEA 140.	18
Εικόνα 9. Περιμετρικός ελκυστήρας.	19
Εικόνα 10. Εσωτερικοί διπλοί ελκυστήρες διατομής 2xΦ35.	19
Εικόνα 11. Οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού.	20
Εικόνα 12. Κατακόρυφο φάσμα σχεδιασμού.	20
Εικόνα 13. 1 ^η ιδιομορφή.	21
Εικόνα 14. 2 ^η ιδιομορφή.	21
Εικόνα 15. 3 ^η ιδιομορφή.	22
Εικόνα 16. 4 ^η ιδιομορφή.	22
Εικόνα 17. 5 ^η ιδιομορφή.	23
Εικόνα 18. 6 ^η ιδιομορφή.	23
Εικόνα 19. 7 ^η ιδιομορφή.	24
Εικόνα 20. 8 ^η ιδιομορφή.	24
Εικόνα 21. 9 ^η ιδιομορφή.	25
Εικόνα 22. 9 ^η ιδιομορφή.	25
Εικόνα 23. 1 ^η ιδιομορφή.	26
Εικόνα 24. 2 ^η ιδιομορφή.	26
Εικόνα 25. 3 ^η ιδιομορφή.	27
Εικόνα 26. 4 ^η ιδιομορφή.	27
Εικόνα 27. 5 ^η ιδιομορφή.	28
Εικόνα 28. 6 ^η ιδιομορφή.	28
Εικόνα 29. 7 ^η ιδιομορφή.	29
Εικόνα 30. 8 ^η ιδιομορφή.	29
Εικόνα 31. 9 ^η ιδιομορφή.	30
Εικόνα 32. 10 ^η ιδιομορφή.	30
Εικόνα 33. Μόνιμα φορτία Ναού.	38
Εικόνα 34. Κινητά φορτία.	38
Εικόνα 35. Φορτία χιονιού.	39
Εικόνα 36. Γενικές θέσεις τομών ελέγχου.	44
Εικόνα 37. Επιφανειακή πίεση για διεύθυνση ανέμου 0 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ.	45
Εικόνα 38. Ροή ανέμου για διεύθυνση ανέμου 225 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ.	45
Εικόνα 39. Επιφανειακή πίεση για διεύθυνση ανέμου 225 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ.	46
Εικόνα 40. Ροή ανέμου για διεύθυνση ανέμου 0 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ.	46



Εικόνα 41. Επιφανειακή πίεση για διεύθυνση ανέμου 90 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ.....	47
Εικόνα 42. Ροή ανέμου για διεύθυνση ανέμου 90 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ.....	47
Εικόνα 43. Μετακινήσεις Ναού για τα φορτία ανέμου στη διεύθυνση 0 μοίρες.	48
Εικόνα 44. Μετακινήσεις Ναού για τα φορτία ανέμου στη διεύθυνση 225 μοίρες.	48
Εικόνα 45. Μετακινήσεις Ναού για τα φορτία ανέμου στη διεύθυνση 90 μοίρες.	49
Εικόνα 46. Θέσεις τομών ελέγχου πεσσών νότιου τοίχου.....	50
Εικόνα 47. Θέσεις τομών ελέγχου πεσσών ανατολικού τοίχου.	52
Εικόνα 48. Θέσεις και τιμές ελέγχου πεσσών δυτικού τοίχου Ναού.	53
Εικόνα 49. Θέσεις και τιμές ελέγχου πεσσών δυτικού τοίχου γυναικωνίτη.	54
Εικόνα 50. Θέσεις και τιμές ελέγχου πεσσών νότιου τοίχου γυναικωνίτη.	55
Εικόνα 51. Θέσεις και τιμές ελέγχου πεσσών βόρειου τοίχου γυναικωνίτη.....	56
Εικόνα 52. Θέσεις και τιμές ελέγχου πεσσών κωδωνοστασίων.	57
Εικόνα 53. Κεντρικά Υποστυλώματα.....	58
Εικόνα 54. Υποστυλώματα Ιερού.....	58
Εικόνα 55. Υποστυλώματα Φ250.....	59
Εικόνα 56. Υποστυλώματα Φ450.....	59
Εικόνα 57. Υποστυλώματα Φ850.....	60
Εικόνα 58. Κύριες τάσεις κατά τη διεύθυνση 1 για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας σε στατικά φορτία.	61
Εικόνα 59. Κύριες τάσεις κατά τη διεύθυνση 2 για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας σε στατικά φορτία.	62
Εικόνα 60. Λόγοι επάρκειας για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας σε στατικά φορτία.....	62
Εικόνα 61. Κύριες τάσεις κατά τη διεύθυνση 1 για τα σεισμικά φορτία 100Χ-30Υ.....	63
Εικόνα 62. Κύριες τάσεις κατά τη διεύθυνση 1 για τα σεισμικά φορτία 30Χ-100Υ.....	63
Εικόνα 63. Κύριες τάσεις κατά τη διεύθυνση 2 για τα σεισμικά φορτία 100Χ-30Υ.....	64
Εικόνα 64. Κύριες τάσεις κατά τη διεύθυνση 2 για τα σεισμικά φορτία 30Χ-100Υ.....	64
Εικόνα 65. Λόγοι ανεπάρκειας για τις καμπύλες επιφάνειες του Ναού.....	67
Εικόνα 66. Αξονικές δυνάμεις διατομών 45x45 για το σεισμικό συνδυασμό 100Χ+30Υ.....	69
Εικόνα 67. Αξονικές δυνάμεις διατομών 45x45 για το σεισμικό συνδυασμό 30Χ+100Υ.....	69
Εικόνα 68. Αξονικές δυνάμεις νέων μελών περιμετρικά για το σεισμικό συνδυασμό 100Χ+30Υ.....	70
Εικόνα 69. Αξονικές δυνάμεις νέων μελών περιμετρικά για το σεισμικό συνδυασμό 30Χ+100Υ.....	70
Εικόνα 70. Αξονικές δυνάμεις διατομών UPN240 για το σεισμικό συνδυασμό 100Χ+30Υ.....	71
Εικόνα 71. Αξονικές δυνάμεις διατομών UPN240 για το σεισμικό συνδυασμό 30Χ+100Υ.....	71
Εικόνα 72. Αξονικές δυνάμεις διατομών UPN140 για το σεισμικό συνδυασμό 100Χ+30Υ.....	72
Εικόνα 73. Αξονικές δυνάμεις διατομών UPN140 για το σεισμικό συνδυασμό 30Χ+100Υ.....	72
Εικόνα 74. Νέο μεταλλικό πλαίσιο.....	73
Εικόνα 75. Τυπική κεντρική σύνδεση.....	75
Εικόνα 76. Έλεγχος ισοδύναμης τάσης.....	75
Εικόνα 77. Γεωμετρία σύνδεσης.....	76
Εικόνα 78. Έλεγχος ισοδύναμης τάσης.....	76
Εικόνα 79. Γεωμετρία σύνδεσης.....	77
Εικόνα 80. Έλεγχος ισοδύναμης τάσης.....	77



Εικόνα 81: Ισορροπία ενισχυμένης διατομής εντός επιπέδου	79
Εικόνα 82: Ισορροπία ενισχυμένης διατομής εκτός επιπέδου	80
Εικόνα 83: Έλεγχος σε ανατροπή στο μέσον.....	80
Εικόνα 84: Μεμβρανικές δυνάμεις αποκόλλησης	83
Εικόνα 85. Υπερωθητική καμπύλη τέμνουσας βάσης – μετακίνησης κόμβου ελέγχου (άνω σημείο τρούλου) διεύθ. Χ.	84
Εικόνα 86. Υπερωθητική καμπύλη τέμνουσας βάσης – μετακίνησης κόμβου ελέγχου (άνω σημείο τρούλου) διεύθ. Υ.	84
Εικόνα 87: Υπολογισμός στοχευόμενης μετακίνησης στη διεύθυνση Χ	85
Εικόνα 88: Μέγιστες πλαστικές παραμορφώσεις για τη στοχευόμενη μετακίνηση – διεύθυνση Χ	87
Εικόνα 89: Υπολογισμός στοχευόμενης μετακίνησης στη διεύθυνση Υ	88
Εικόνα 90: Μέγιστες πλαστικές παραμορφώσεις για τη στοχευόμενη μετακίνηση – διεύθυνση Υ	89
Εικόνα 91. Σεισμικές επιταχύνσεις κατά Χ - 589.....	90
Εικόνα 92. Σεισμικές επιταχύνσεις κατά Υ - 589.....	91
Εικόνα 93. Σεισμικές επιταχύνσεις κατά Ζ- 589.....	91
Εικόνα 94. Σύγκριση μετακινήσεων για το νότιο καμπαναριό – Σεισμός 589.	91
Εικόνα 95. Σύγκριση μετακινήσεων για τον κεντρικό τρούλο– Σεισμός 589.	92
Εικόνα 96. Σύγκριση μετακινήσεων για το δυτικό τοίχο – Σεισμός 589.....	92
Εικόνα 97. Σύγκριση μετακινήσεων για το νότιο τοίχο – Σεισμός 589.....	93
Εικόνα 98. Πλαστικές παραμορφώσεις για τον ενισχυμένο φορέα $t=5.5$ sec.	93
Εικόνα 99. Πλαστικές παραμορφώσεις για τον αρχικό φορέα $t=5.5$ sec.	94
Εικόνα 100. Προσομοίωμα στο πρόγραμμα Abaqus	95
Εικόνα 101. Σημεία ελέγχου στα κωδωνοστάσια	96
Εικόνα 102. Μεταλλικές ενισχύσεις κωδωνοστασίων, Διατομές: κεντρικοί στύλοι UPN 240, UPN 140	97
Εικόνα 103. Επιταχυνσιογραφήματα σεισμού (χωρίς επικλιμάκωση) κατά x, y, z	98
Εικόνα 104. Μεταλλική ενίσχυση βόρειου κωδωνοστασίου, κλίμακα παραμόρφωσης $\times 20$, $t=21$ sec, τάση von-Mises [kPa].	111
Εικόνα 105. Μεταλλική ενίσχυση νότιου κωδωνοστασίου, κλίμακα παραμόρφωσης $\times 20$, $t=21$ sec τάση von-Mises [kPa].	112
Εικόνα 106. Κατανομή βλάβης σε εφελκυσμό και θλίψη πριν και μετά τις ενισχύσεις.	113
Εικόνα 107. Θέσεις καταγραφών μετακινήσεων.....	114
Εικόνα 108. Ποσοστό βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμόρφωσης: $\times 7$) πριν την ενίσχυση $t=21$ sec.	123
Εικόνα 109. Ποσοστό βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμόρφωσης: $\times 7$) μετά την ενίσχυση $t=21$ sec.	124
Εικόνα 110. Ποσοστό βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμόρφωσης: $\times 7$) πριν την ενίσχυση $t=21$ sec.	124
Εικόνα 111. Ποσοστό βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμόρφωσης: $\times 7$) μετά την ενίσχυση $t=21$ sec.	125
Εικόνα 112. Ποσοστό βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμόρφωσης: $\times 10$) πριν την ενίσχυση $t=21$ sec.	125



Εικόνα 113. Ποσοστό βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμόρφωσης: $\times 10$) μετά την ενίσχυση $t=21$ sec.	126
Εικόνα 114. Διατομές ελέγχου.	126
Εικόνα 115. Επιταχυνσιογραφήματα σεισμού (χωρίς επικλιμάκωση) κατά x, y, z.	128
Εικόνα 116. Μεταλλική ενίσχυση βόρειου κωδωνοστασίου, κλίμακα παραμόρφωσης $\times 20$, στη χρονική στιγμή $t=21$ sec, τάση von-Mises [kPa].	141
Εικόνα 117. Μεταλλική ενίσχυση νότιου κωδωνοστασίου, κλίμακα παραμόρφωσης $\times 20$, $t=21$ sec τάση von-Mises [kPa].	142
Εικόνα 118. Κατανομή βλάβης σε εφελκυσμό και θλίψη πριν και μετά τις ενισχύσεις.	143
Εικόνα 119. κατανομή του Ποσοστού Βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμόρφωσης: $\times 1$) πριν την ενίσχυση.	154
Εικόνα 120. Κατανομή ποσοστού βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμ.: $\times 1$) μετά την ενίσχυση.	154
Εικόνα 121. Ποσοστό βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμόρφωσης: $\times 2$) πριν την ενίσχυση.	155
Εικόνα 122. Ποσοστό βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμόρφωσης: $\times 2$) μετά την ενίσχυση.	155
Εικόνα 123. Ποσοστό βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμόρφωσης: $\times 1$) πριν την ενίσχυση, $t=21$ sec.	156
Εικόνα 124. Ποσοστό βλάβης σε εφελκυσμό (κλίμακα παραμόρφωσης: $\times 30$) μετά την ενίσχυση, $t=21$ sec.	156

Λίστα πινάκων

Πίνακας 1. Δεδομένα επιμέρους αντοχών υφιστάμενων στοιχείων.	11
Πίνακας 2. Μέσες αντοχές και ιδιότητες στοιχείων.	12
Πίνακας 3. Χαρακτηριστικές αντοχές ελέγχου δυνάμεων και τάσεων λιθοδομής.	13
Πίνακας 4. Σύγκριση ιδιομορφών.	31
Πίνακας 5. 100 πρώτες ιδιομορφές φορέα.	34
Πίνακας 6. Δρώσεις μάζες ανά διεύθυνση και ιδιομορφή φορέα.	37
Πίνακας 7. Συνδυασμοί φορτίσεων.	41
Πίνακας 8. Περιβάλλουσες και σεισμικοί συνδυασμοί.	41
Πίνακας 9. Συνδυασμός με SRSS.	42
Πίνακας 10. Λόγοι επάρκειας θλιπτικής αντοχής διατομών Ιερού Ναού.	44
Πίνακας 11. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών νότιου τοίχου Ναού.	51
Πίνακας 12. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών ανατολικού τοίχου Ναού.	52
Πίνακας 13. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών δυτικού τοίχου Ναού.	53
Πίνακας 14. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών δυτικού τοίχου Ναού.	54
Πίνακας 15. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών νότιου τοίχου γυναικωνίτη.	55
Πίνακας 16. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών βόρειου τοίχου γυναικωνίτη.	56
Πίνακας 17. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών καμπαναριού.	57
Πίνακας 18. Λόγοι ανεπάρκειας υποστυλωμάτων Ναού.	60

Πίνακας 19. Λόγοι επάρκειας μεταλλικών διατομών.	74
Πίνακας 20. Ποσοστά επάρκειας σύνδεσης.	75
Πίνακας 21. Ποσοστά επάρκειας σύνδεσης.	76
Πίνακας 22. Ποσοστά επάρκειας σύνδεσης.	77





1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εισαγωγή

Σε ένα Φέροντα Οργανισμό από τοιχοποιία το πρώτο μέλημα είναι η κατά το δυνατόν μείωση των περιττών μαζών σε μεγάλα ύψη για τον περιορισμό της ανάπτυξης των αδρανειακών δυνάμεων (μάζα επί επιτάχυνση) και η μέριμνα για την ισοκατανομή τους.

Μία τοιχοποιία κατά κανόνα συνίσταται από ισχυρότερα λιθοσώματα και ασθενέστερο κονίαμα ενώ περιλαμβάνει κενά και χαρακτηρίζεται από κάποιον τρόπο αλληλεμπλοκής των λίθων. Έτσι ο αποτελεσματικότερος τρόπος αναβάθμισης της αντοχής της τοιχοποιίας, με πλεονεκτήματα για τις μνημειακές κατασκευές, είναι η ενεμάτωση με ισχυρό κονίαμα το οποίο εισερχόμενο υπό ελεγχόμενη πίεση στα κενά σε συνεργασία με το εναπομείναν αρχικό θα ομογενοποιήσει την τοιχοποιία. Το βαθύ αρμολόγημα με καθαρισμό των αρμών και πλήρωση με ισχυρότερο νέο κονίαμα αποτελεί μια ηπιότερη της ενεμάτωσης επέμβαση.

Όταν η ενίσχυση με καθολική ενεμάτωση δεν επαρκεί για την ανάληψη των φορτίων επιχειρείται η τροποποίηση ή συμπλήρωση του στατικού συστήματος προς ανακούφιση της έντασης με προσθήκη αντηρίδων ή άλλου φέροντος οργανισμού που θα αναλάβει μέρος ή και όλο το οριζόντιο φορτίο. Τέλος η εξωτερική ή εσωτερική προένταση της τοιχοποιίας αποτελεί έναν, τεχνολογικά πιο προηγμένο για τον έλεγχό του, τρόπο ενίσχυσης της τοιχοποιίας ιδιαίτερα διαδεδομένο στην προηγμένη στα αναστηλωτικά γειτονική Ιταλία.

Για την περίπτωση του κυρίως Ναού του Αγίου Μηνά επιλέγεται η καθολική ενεμάτωση για την κατά το δυνατόν αναβάθμιση της αντοχής της τοιχοποιίας. Στα εξωράχια των τεσσάρων καμαρών καθώς και στα φουρνικά στην οροφή του υπερώου προκύπτει η ανάγκη, επιπλέον της ενεμάτωσης, της ενίσχυσης με ινοπλέγματα αδρανούς μήτρας – IAM, με ίνες υάλου τύπου AR με αντίσταση στις αλκαλικές επιδράσεις και κονίαμα – μήτρα βάσεως υδρασβέστου. Με IAM ενισχύονται επίσης οι οκτώ πεσσοί του άνω διαζώματος περιμετρικά του Ναού. Για τις δύο ομάδες στύλων του Ναού, δηλ. τεσσάρων στο κεντρικό κλίτος και οκτώ μικρότερης διαμέτρου στη νότια και βόρεια κεραία επιλέγεται η ενίσχυσή τους με περίδεση καθύψος όπως παρουσιάζεται στο αντίστοιχο σχέδιο.

Προς ενίσχυση της συμπεριφοράς του Ναού, τοποθετούνται πρόσθετοι ελκυστήρες αποτελούμενοι από δύο ανοξείδωτες ράβδους Φ35 σε κεντρική απόσταση 20 cm, για τη συγκράτηση των τεσσάρων κεντρικών κίονων καθώς και των σφενδονίων στο κεντρικό κλίτος. Στις τρεις κεραίες του Ναού δηλ. την δυτική, βόρεια και νότια τοποθετούνται ελκυστήρες από ανοξείδωτο έλασμα 120x20 mm² ελεύθεροι στο εσωτερικό του Ναού επί οδηγών αγκυρούμενοι στους εξωτερικούς τοίχους.

Επιμέρους αντοχές υλικών μετά τις ενισχύσεις

Για την ανάλυση του Φέροντος οργανισμού του Ναού και των Κωδωνοστασίων του Αγίου Μηνά διενεργήθηκαν αρχικά στατικές και δυναμικές αναλύσεις για τον υφιστάμενο φορέα καθώς και έλεγχοι των πεσσών και των εγκατεστημένων ελκυστήρων του. Οι ιδιότητες

των υλικών βασίστηκαν στις εργαστηριακές δοκιμές και στο πρόγραμμα δειγματοληψιών το οποίο συντάχθηκε για να ανταποκρίνεται σε υψηλή αξιοπιστία των δεδομένων σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ

Τα ενέματα που επιλέγονται είναι κατηγορίας M10. Χρησιμοποιείται η σχέση 8.2 του ΚΑΔΕΤ για τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας μετά την ομογενοποίηση:

$$f_{wc,f} = f_{wc,0} + \Delta f_0 + \lambda n f_{gc}$$

Όπου:

$f_{wc,f}$	τελική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας
$f_{wc,0}$	αρχική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας
n	ο λόγος του όγκου του εισαγόμενου ενέματος ως προς τον συνολικό όγκο του κονιάματος
f_{gc}	θλιπτική αντοχή του ενέματος
λ	συντελεστής συνάφειας λιθοσώματος-κονιάματος, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 0,50 για τραχείς λίθους και ίσος με 0,1 για πολύ λείους λίθους
$\Delta f_0 = f_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{10n}\right)$	λόγω των ενεμάτων μειώνεται η ακανονιστία και ανομοιογένεια της δόμησης που οφείλεται στον βαθμό λάξευσης των λίθων και επομένως απαιτείται μείωση του συντελεστή

Προκύπτει επομένως ο Πίνακας 2 με τις επιμέρους μέσες αντοχές των υλικών ενώ στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μετρούμενες αντοχές των υφιστάμενων λίθων, κονιάματος και τούβλων.

Είδος	Τιμή
Μέση θλιπτική αντοχή λίθων f_{b1} (MPa)	31,58
Τυπική απόκλιση θλιπτικής αντοχής λίθων (MPa)	19,50
Μέση θλιπτική αντοχή υφιστάμενου κονιάματος f_{mc} (MPa)	3,0
Ειδικό βάρος λίθων γ (kN/m ³)	20,88
Μέση θλιπτική αντοχή συμπαγών τούβλων f_{b2} (MPa)	9,0
Τυπική απόκλιση θλιπτικής αντοχής συμπαγών τούβλων (MPa)	4,8

Πίνακας 1. Δεδομένα επιμέρους αντοχών υφιστάμενων στοιχείων

Είδος	Μετρούμενη τιμή
Μέση θλιπτική αντοχή λιθοδομής λαξευτών λίθων f_{wc1} (MPa)	5,25
Μέτρο ελαστικότητας λιθοδομής E_1 (GPa)	5250
Μέτρο διάτμησης λιθοδομής G_1 (GPa)	2100
Μέση θλιπτική αντοχή αργολιθοδομής f_{wc2} (MPa)	6,62
Μέτρο ελαστικότητας λιθοδομής E_2 (GPa)	6620
Μέτρο διάτμησης λιθοδομής G_2 (GPa)	1900
Μέση θλιπτική αντοχή οπτοπλινθοδομής f_{wc3} (MPa)	4,89



Μέτρο ελαστικότητας λιθοδομής E_3 (GPa)	3400
Μέτρο διάτμησης λιθοδομής G_3 (GPa)	1360

Πίνακας 2. Μέσες αντοχές και ιδιότητες στοιχείων.

Προσδιορισμός εφελκυστικής αντοχής

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ: «Η αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμό εξαρτάται εντόνως από τη σύνθεση, την τεχνική εφαρμογής και την κατανάλωση του ενέματος, και έτσι δεν μπορούν να δοθούν (προς το παρόν) συστάσεις γενικής εφαρμογής για την συμπεριφορά σε εφελκυσμό. Για την εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής του ομογενοποιημένου τοίχου (βλ. Κεφ. 6) επιτρέπεται, με βάση το λόγο να λαμβάνεται υπόψη η εκτιμώμενη (βλ. Κεφ 6) εφελκυστική αντοχή του μικτού κονιάματος – ενέματος αντίστοιχα, κατά την κρίση του μελετητή». Η εφελκυστική αντοχή της ενισχυμένης τοιχοποιίας λήφθηκε ίση με $f_{wt} = 0.70 \text{ MPa}$, για τις λιθοδομές και $f_{wt} = 0.50 \text{ MPa}$ για την οπτοπλινθοδομή.

Προσδιορισμός μέτρου ελαστικότητας

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ, §6.2.5 το μέτρο ελαστικότητας E_{wc} της τοιχοποιίας κυμαίνεται από 300 έως 1200 φορές τη θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας. Για το μαθηματικό προσομοίωμα επιλέχθηκε:

$$E \approx 1000 \cdot f_{wc}$$

Τέλος το μέτρο διάτμησης υπολογίζεται ως το 40% του μέτρου ελαστικότητας ως:

$$G \approx 0.40 \cdot E$$

Συγκεντρωτικές αντοχές ελέγχου

Εν συνεχεία παρουσιάζονται οι αντοχές με τις οποίες θα γίνουν οι απαραίτητοι έλεγχοι επάρκειας. Η Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων είναι «υψηλή». Οι αντοχές αυτές αφορούν χαρακτηριστικές τιμές και προκύπτουν από την ακόλουθη σχέση:

$$f_{wd} = \frac{f_{wc}(1 - S)}{\gamma_{m,dyn}}$$

Όπου:

f_{wd}	χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή λιθοδομής
f_{wc}	μέση θλιπτική αντοχή λιθοδομής
S	Ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή για Σ.Α.Δ. «υψηλή» σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ
$\gamma_{m,dyn} = 1.20$	συντελεστής εμπιστοσύνης για έλεγχο δυνάμεων σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και Σ.Α.Δ. «υψηλή»



Για τις ελαστικές αναλύσεις και τους ελέγχους των τάσεων, υπολογίζονται οι χαρακτηριστικές αντοχές σε όρους δυνάμεων.

Είδος	Μετρούμενη τιμή
Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή ελέγχου λιθοδομής λαξευτών λίθων f_{wd1} (MPa)	4,50
Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή ελέγχου αργολιθοδομής f_{wd2} (MPa)	4,41
Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή ελέγχου οπτοπλινθοδομής f_{wd3} (MPa)	3,26
Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή ελέγχου λιθοδομής f_{wt} (MPa)	0,47
Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή ελέγχου οπτοπλινθοδομής f_{wt} (MPa)	0,33

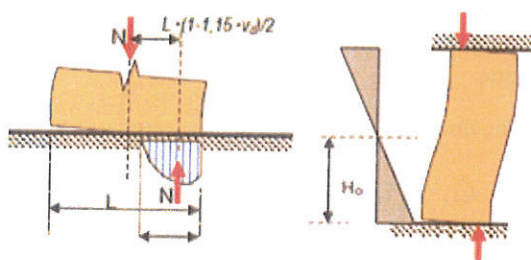
Πίνακας 3. Χαρακτηριστικές αντοχές ελέγχου δυνάμεων και τάσεων λιθοδομής

Έλεγχοι επάρκειας

Οι έλεγχοι επάρκειας πραγματοποιούνται σε όρους εντατικών μεγεθών με $q=1.5$ για τον ενισχυμένο φορέα, ύστερα από ολοκλήρωση των τάσεων σε κάθε διατομή ελέγχου. Οι αντοχές σε αυτή την περίπτωση είναι οι αντοχές σχεδιασμού. Πραγματοποιούνται επίσης έλεγχοι τάσεων με βάση το πολυπαραμετρικό κριτήριο του Ottosen με αντοχές σχεδιασμού και $q=1.5$.

Οι έλεγχοι σε όρους εντατικών μεγεθών είναι οι εξής:

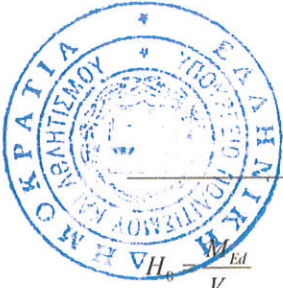
Ροπή εντός επιπέδου (ΚΑΔΕΤ §7.2.1)



Εικόνα 1. Μηχανισμός αστοχίας κάμψης εντός επιπέδου.

$$M_{Rd} = \frac{L \cdot N_{Ed}}{2} \cdot (1 - 1.15 \cdot v_{Sd})$$

Όπου:



$$H_v = \frac{V_{Ed}}{V_{Ed}}$$

$$v_{sd} = \frac{N_{Ed}}{L \cdot t \cdot f_d}$$

είναι το μήκος διάτμησης, δηλαδή η απόσταση στην οποία αναπτύσσεται η μέγιστη ροπή και του σημείου μηδενισμού των ροπών
είναι το ανοιγμένο αξονικό φορτίο του ισοδύναμου πεσσού

Τέμνουσα εντός επιπέδου (ΚΑΔΕΤ §7.2.2)

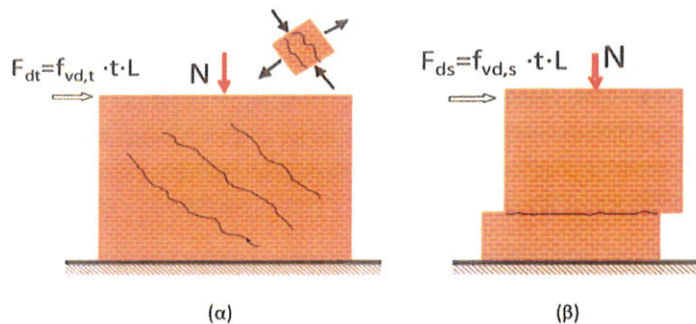
Η διατμητική αντίσταση ενός τοίχου υπολογίζεται από τη σχέση (7.3α) §7.2.2 του ΚΑΔΕΤ:

$$V_v = f_{vd} \cdot L' \cdot t$$

Όπου:

L' είναι η θλιβόμενη περιοχή του τοίχου και υπολογίζεται συναρτήσει της εκκεντρότητας της φόρτισης e_y :

f_{yd} είναι η διατμητική τάση αντοχής του τοίχου



Εικόνα 2. Μηχανισμοί αστοχίας τέμνουσας εντός επιπέδου: (α) Διαγώνια ρηγμάτωση, (β) ολίσθηση κατά μήκος οριζόντιων αρμών.

Η διατμητική αντοχή του τοίχου εντός επιπέδου ορίζεται ως η ελάχιστη των παρακάτω δύο μηχανισμών διατμητικής αστοχίας:

(α) Λόγω διαγώνιας εφελκυστικής αστοχίας (§7.2.2(i))

$$f_{vd,t} = \sqrt{f_{ctd} \cdot (f_{ctd} + v_{sd} \cdot f_d)}$$

$$V_{v,t} = f_{vd,t} \cdot L' \cdot t$$

(β) Λόγω ολίσθησης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών (§7.2.2(ii))

$$f_{vd,s} = f_{vm0} + 0.4 \cdot \frac{N_{Ed}}{L' \cdot t}$$

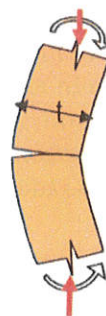
$$V_{v,s} = f_{vd,s} \cdot L' \cdot t$$

Τελική διατμητική αντίσταση τοίχου:

$$V_v = \min(V_{v,d}, V_{v,s})$$



Ροπή εκτός επιπέδου (ΚΑΔΕΤ §7.3)



Εικόνα 3. Μηχανισμός αστοχίας κάμψης εκτός επιπέδου.

Εξετάζονται δύο μηχανισμοί αστοχίας:

Κάμψη παράλληλα στους οριζόντιους αρμούς:

$$M_{Rd,z} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \sigma_0 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_0}{f_d} \right)$$

Κάμψη παράλληλα στους κατακόρυφους αρμούς:

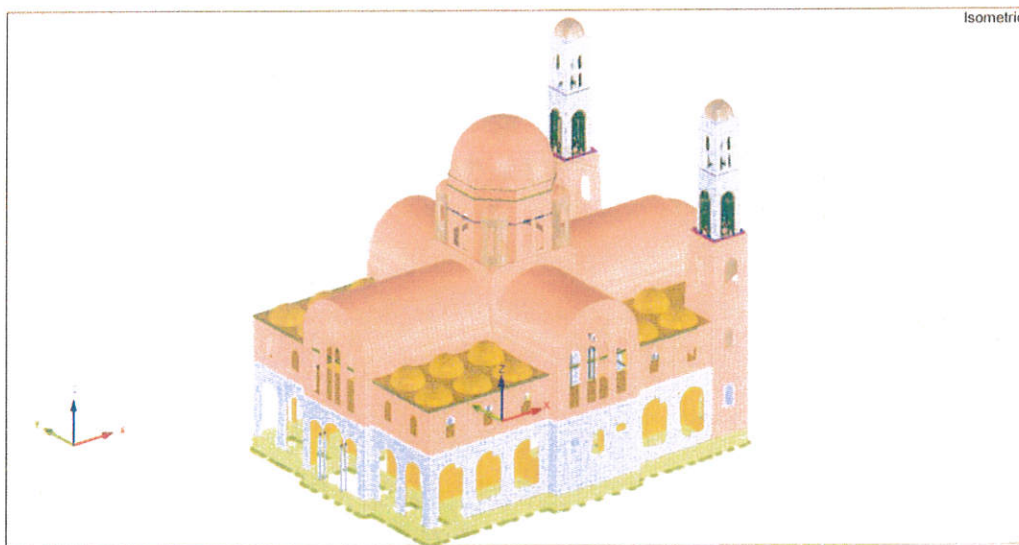
$$M_{Rd,y} = \frac{1}{6} \cdot f_{wid} \cdot I^2 \cdot l$$



ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ – ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

Για την προσομοίωση του φορέα επελέγησαν δύο τρόποι α) προσομοίωση με τρισδιάστατα πεπερασμένα στοιχεία στο πρόγραμμα ABAQUS, με την ανάπτυξη ενός προσομοιώματος από 415158 κόμβους και 19137320 στοιχεία, και β) προσομοίωση με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία στο πρόγραμμα RFEM με την ανάπτυξη ενός προσομοιώματος από 36745 κόμβους 39440 δισδιάστατα στοιχεία και 1365 ραβδωτά στοιχεία. Στα προσομοιώματα αυτά, λόγω των αβεβαιοτήτων του τρόπου στήριξης των μεταγενέστερα κατασκευασμένων πλακών από σπλισμένο σκυρόδεμα στις στέγες των πλαγίων κλιτών, οι πλάκες αυτές δεν προσομοιώθηκαν και ελήφθησαν υπόψη ως μόνιμα φορτία.

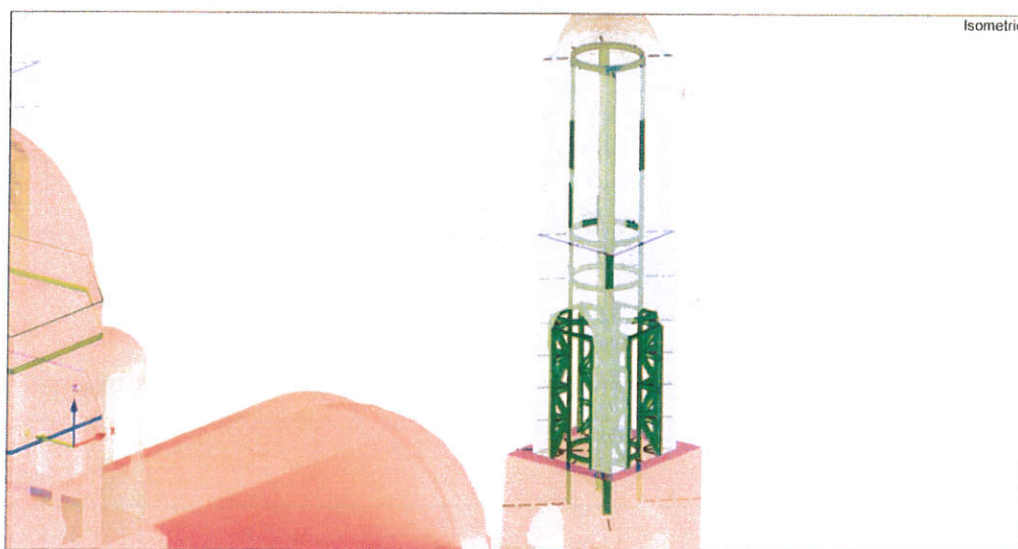
Το λογισμικό RFEM εμπεριέχει μεταξύ άλλων στοιχεία δοκού με 12 βαθμούς ελευθερίας ανά στοιχείο (6 ανά κόμβο) και δισδιάστατα στοιχεία κελύφους με 6 βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο. Με αυτό τον τρόπο η συμβατότητα μεταξύ των στοιχείων δοκού και των επιφανειακών στοιχείων εξασφαλίζεται. Τα δισδιάστατα στοιχεία βασίζονται στη θεωρία Mindlin/Reissner και είναι MITC4 στοιχεία (Mixed Interpolation of Tensorial Components όπως αναπτύχθηκαν από τους Bathe και Dvorkin ^[1]). Το υπολογιστικό προσομοίωμα φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα ενώ έγινε και πυκνωση του κανάβου των πεπερασμένων στοιχείων σε περιοχές με απότομες μεταβολές των τάσεων.



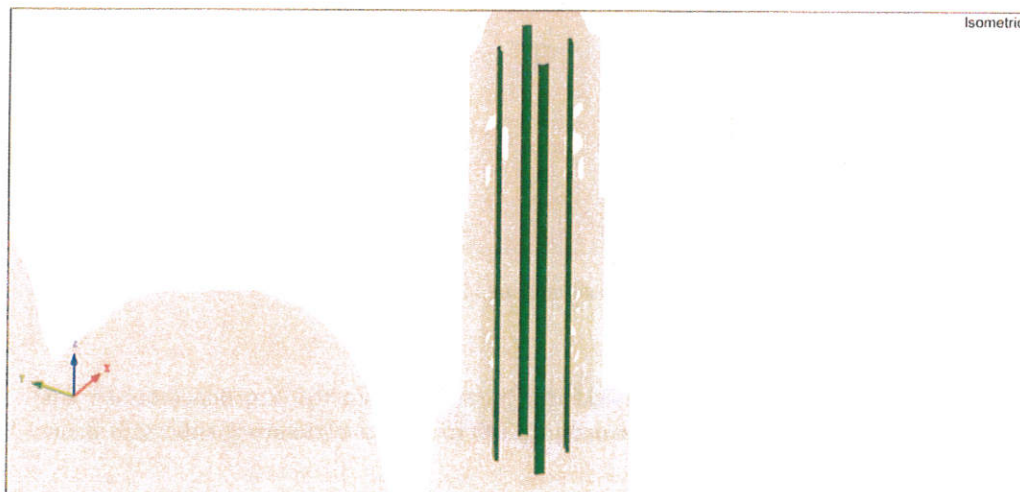
Εικόνα 4. Υπολογιστικό προσομοίωμα φέροντος οργανισμού του Ιερού Ναού.

Τα μέτρα ελαστικότητας και διάτμησης των υλικών προσαρμόστηκαν με βάση τις ιδιότητες της ενισχυμένης με ενέματα τοιχοποιίας.

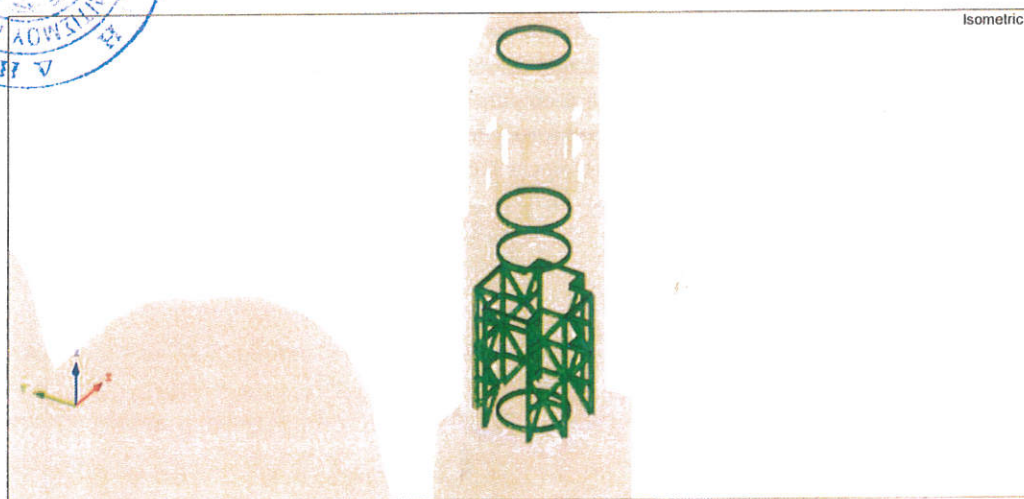
Τα καμπαναριά ενισχύονται με μεταλλικές κατασκευές όπως φαίνονται στην Εικόνα 5. Η γεωμετρία, και οι διατομές παρουσιάζονται αναλυτικά στις ακόλουθες εικόνες και στο Τεύχος 1: Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση, κατασκευαστική ανάλυση και προτάσεις αποκατάστασης Ι.Ν. Αγ. Μηνά Ηρακλείου Κρήτης και στα αντίστοιχα κατασκευαστικά σχέδια. Για τα μεταλλικά στοιχεία ο χάλυβας που χρησιμοποιείται είναι ανοξείδωτος S 316L.



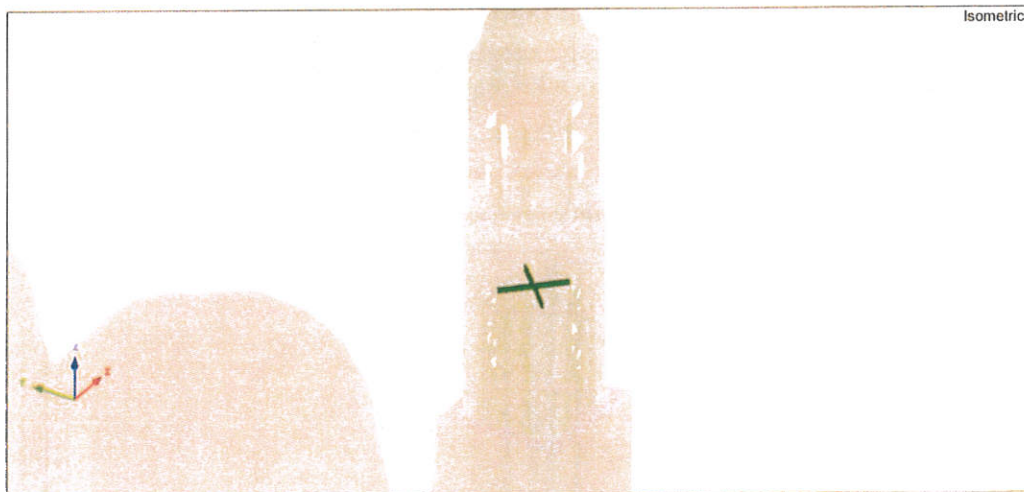
Εικόνα 5. Προσθήκη μεταλλικής κατασκευής στα καμπαναριά.



Εικόνα 6. Διατομές UPN 240.

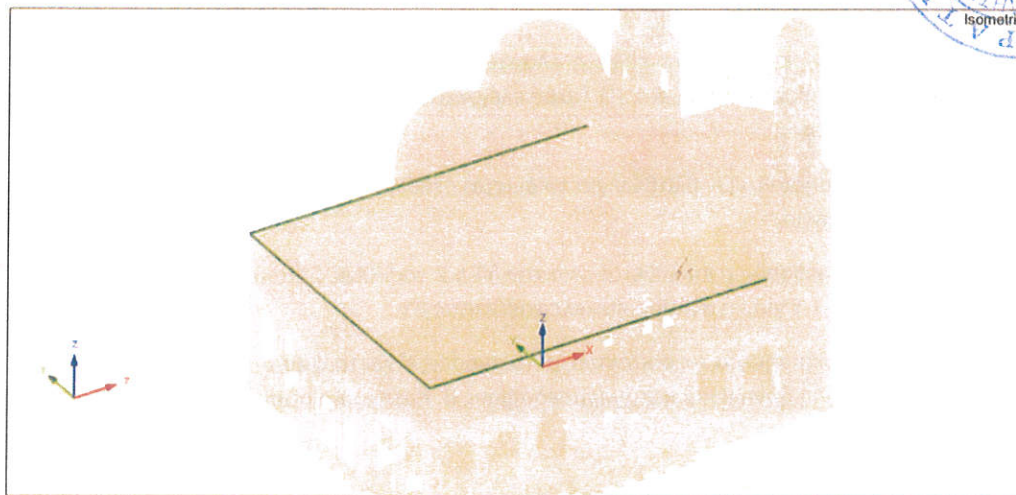


Εικόνα 7. Διατομές UPN 140.



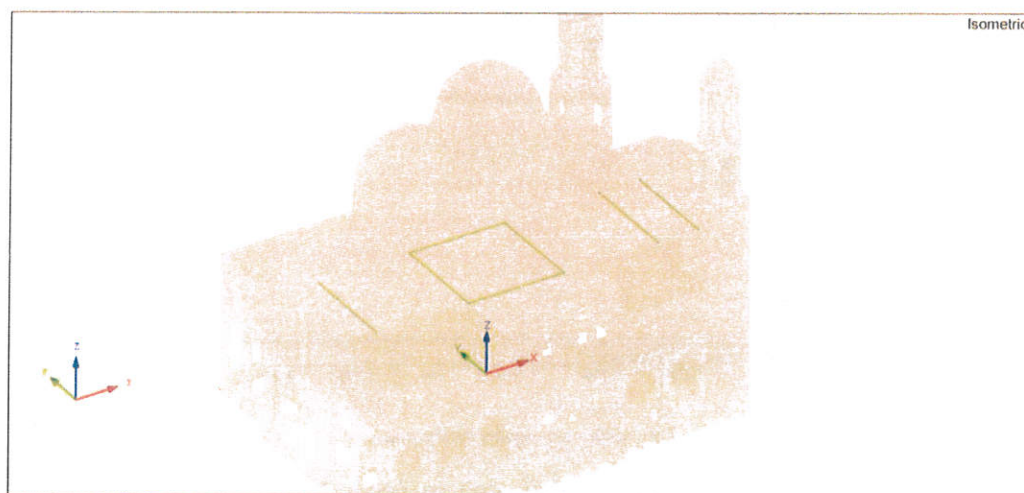
Εικόνα 8. Διατομές HEA 140.

Παράλληλα αντικαθίστανται οι γωνιακοί ελκυστήρες που βρίσκονταν στη βορειοδυτική και νοτιοδυτική γωνία του Ναού με νέους διατομής 10x100 χιλ. από ανοξείδωτο χάλυβα 316L όπως φαίνεται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9. Περιμετρικός εγκυστήρας.

Τέλος εξετάζεται η αναγκαιότητα ή μη προσθήκης επιπλέον μεταλλικών εγκυστήρων στο εσωτερικό του Ναού κάτω από τον κεντρικό Τρούλο και στις θέσεις που φαίνονται στη Εικόνα 10.



Εικόνα 10. Εσωτερικοί διπλοί εγκυστήρες διατομής 2xΦ35.



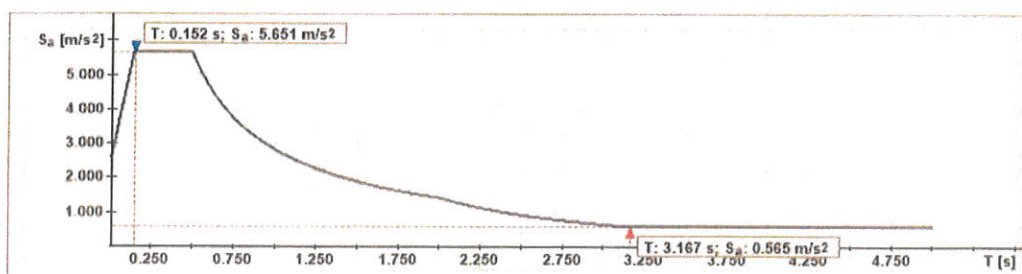
Κανονιστικό πλαίσιο – αναλύσεις

Η ανάλυση που εκτελέστηκε είναι η ελαστική δυναμική φασματική ανάλυση με το φάσμα απόκρισης του Ευρωκώδικα 8-1. Ο Ναός ελέγχεται στη στάθμη επιτελεστικότητας B1 (ΚΑΔΕΤ Παράρτημα 2.1):

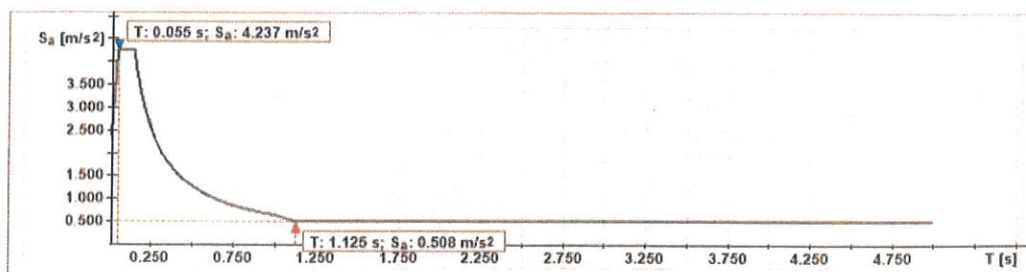
- B1: Αποφυγή σημαντικών βλαβών για το σεισμό σχεδιασμού με πιθανότητα εμφάνισης 10% στα 50 χρόνια.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς η επιλέγεται από την §4.6.2 του ΚΑΔΕΤ για άοπλη τοιχοποιία με βλάβες και ισούται με 1.5 για τη στάθμη επιτελεστικότητας B1.

Το φάσμα απόκρισης για τις οριζόντιες μετακινήσεις είναι το φάσμα απόκρισης του κανονισμού για σεισμική ζώνη II και κατηγορία εδάφους B. Κατηγορία σπουδαιότητας κτιρίου Σ3.



Εικόνα 11. Οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού



Εικόνα 12. Κατακόρυφο φάσμα σχεδιασμού

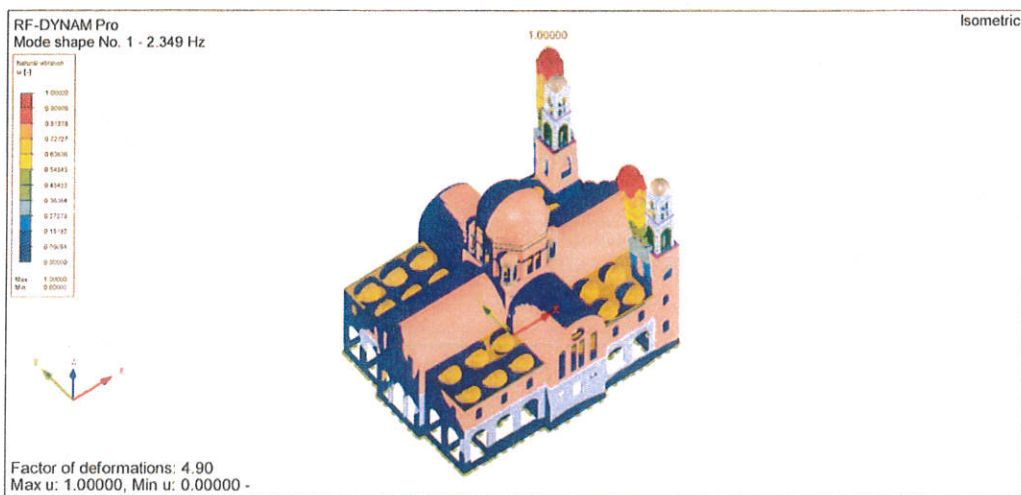
Οι έλεγχοι επάρκειας πραγματοποιούνται τόσο σε όρους δυνάμεων αναφερόμενοι στους αντίστοιχους πεσσούς καθώς και σε όρους τάσεων μέσω του πολυπαραμετρικού κριτηρίου του Ottosen που έχει αποδειχθεί πλέον πρόσφορο στην αποτίμηση της άοπλης τοιχοποιίας^[11].



Ιδιομορφική ανάλυση – Σύγκριση μοντέλων με και χωρίς εσωτερικούς ελκυστήρες

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται οι ιδιομορφές του φορέα όπως προέκυψαν από τις επιλύσεις των πεπερασμένων στοιχείων με το λογισμικό RFEM 5. Οι διατομές θεωρούνται για τις σεισμικές δράσεις ρηγματωμένες και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά απομειώνονται στο 50% των αρχικών δυσκαμψιών τους. Συγκρίνονται τα αποτελέσματα για τα δύο αριθμητικά μοντέλα τόσο για το μοντέλο με τους επιπρόσθετους ελκυστήρες όσο και για το μοντέλο χωρίς.

Φορέας με ελκυστήρες:



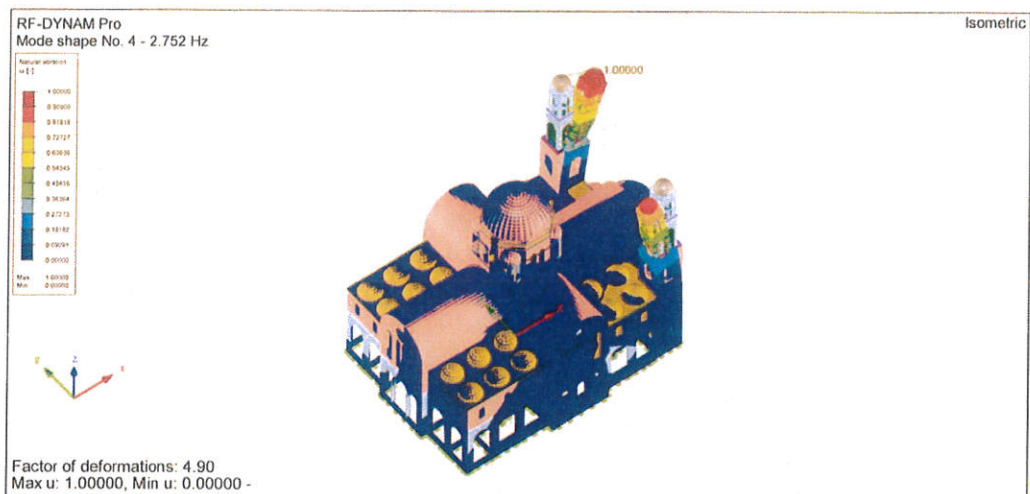
Εικόνα 13. 1^η ιδιομορφή.



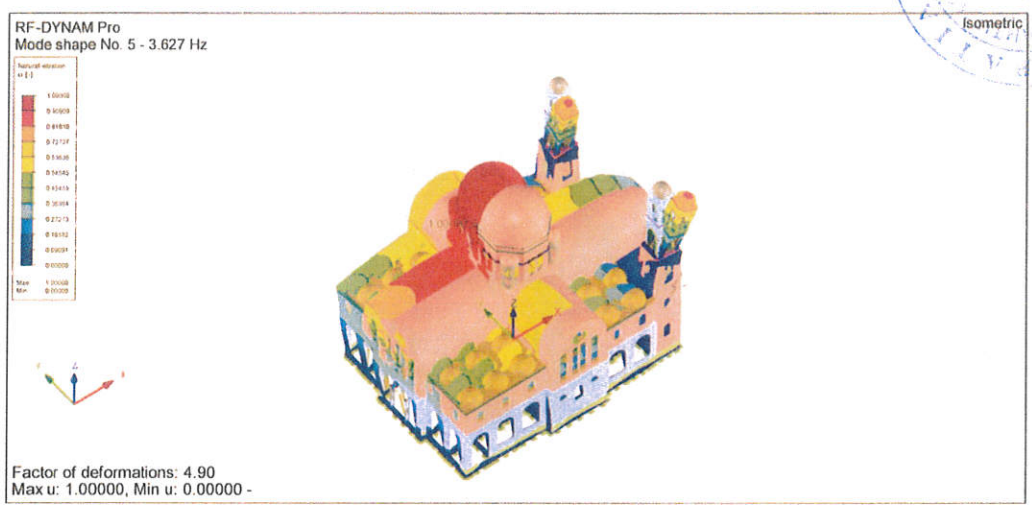
Εικόνα 14. 2^η ιδιομορφή.



Εικόνα 15.3^η ιδιομορφή.



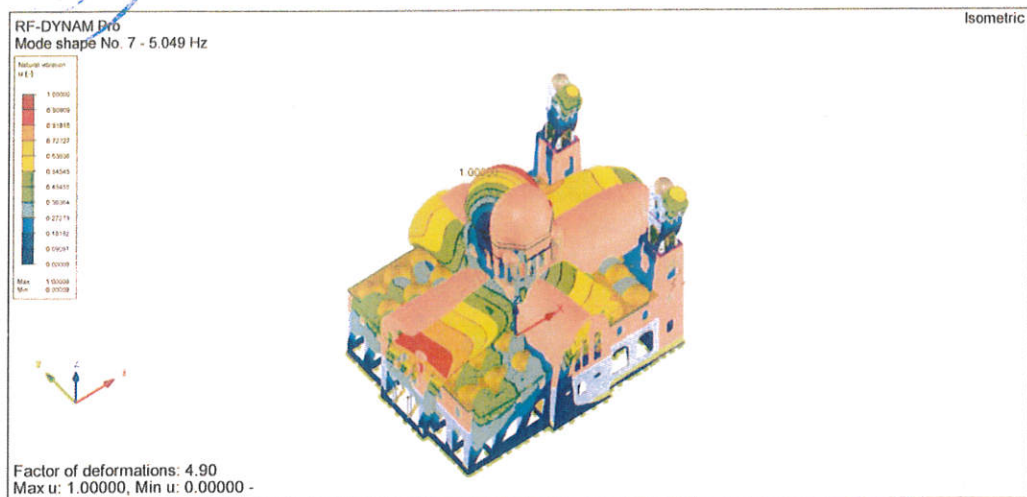
Εικόνα 16. 4^η ιδιομορφή.



Εικόνα 17. 5^η ιδιομορφή.



Εικόνα 18. 6^η ιδιομορφή.



Εικόνα 19. 7^η ιδιομορφή.



Εικόνα 20. 8^η ιδιομορφή.



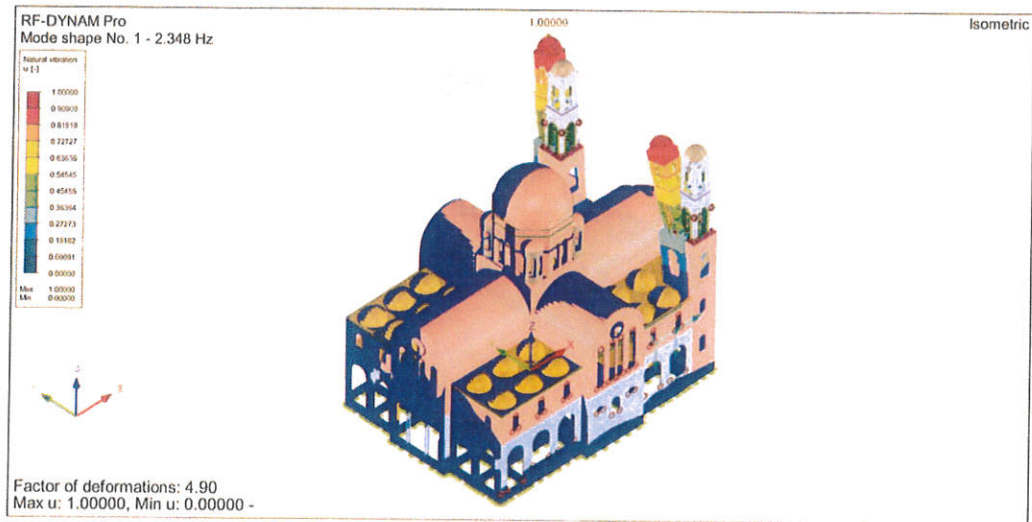
Εικόνα 21. 9^η ιδιομορφή.



Εικόνα 22. 9^η ιδιομορφή.



Φορέας χωρίς ελκυστήρες:



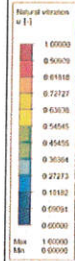
Εικόνα 23. 1^η ιδιομορφή.



Εικόνα 24. 2^η ιδιομορφή.



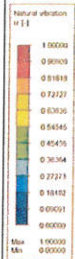
RF-DYNAM Pro
Mode shape No. 3 - 2.729 Hz



Factor of deformations: 4.90
Max u: 1.00000, Min u: 0.00000 -

Εικόνα 25.3^η ιδιομορφή.

RF-DYNAM Pro
Mode shape No. 4 - 2.752 Hz



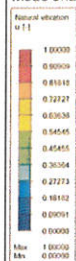
Factor of deformations: 4.90
Max u: 1.00000, Min u: 0.00000 -

Εικόνα 26. 4^η ιδιομορφή.



RF-DYNAM Pro
Mode shape No. 5 - 3.628 Hz

Isometric

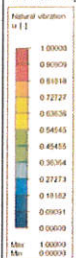


Factor of deformations: 4.90
Max u: 1.00000, Min u: 0.00000 -

Εικόνα 27. 5^η ιδιομορφή.

RF-DYNAM Pro
Mode shape No. 6 - 4.212 Hz

Isometric

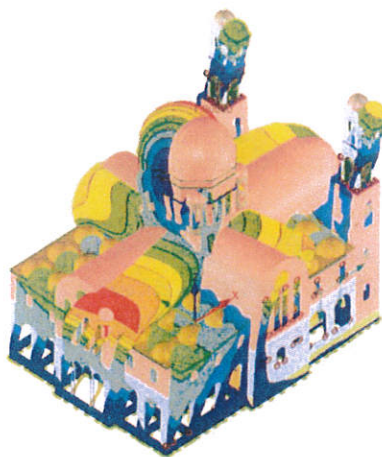
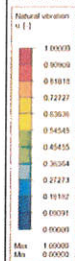


Factor of deformations: 4.90
Max u: 1.00000, Min u: 0.00000 -

Εικόνα 28. 6^η ιδιομορφή.



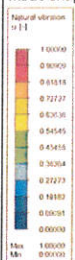
RF-DYNAM Pro
Mode shape No. 7 - 5.045 Hz



Factor of deformations: 4.90
Max u: 1.00000, Min u: 0.00000 -

Εικόνα 29. 7^η ιδιομορφή.

RF-DYNAM Pro
Mode shape No. 8 - 5.064 Hz

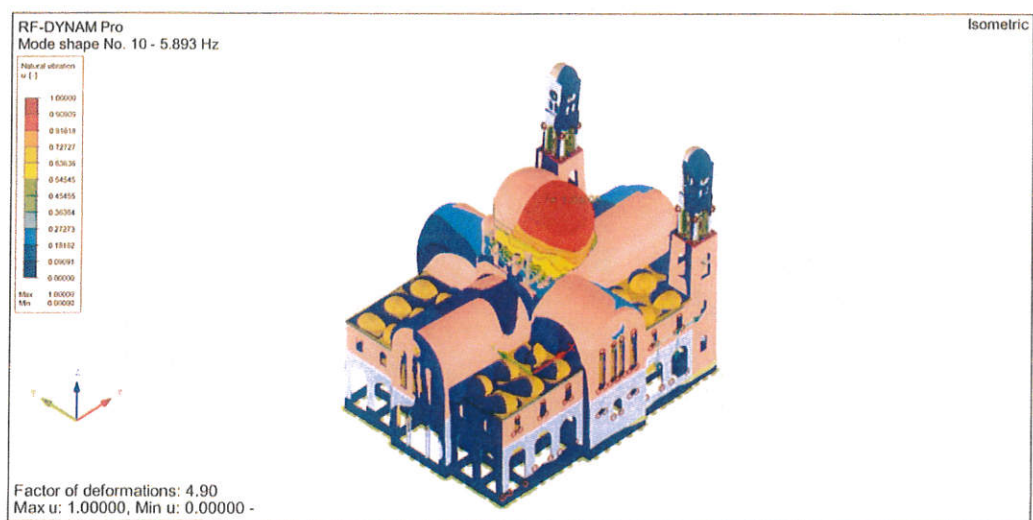


Factor of deformations: 4.90
Max u: 1.00000, Min u: 0.00000 -


Εικόνα 30. 8^η ιδιομορφή.



Εικόνα 31. 9^η ιδιομορφή.



Εικόνα 32. 10^η ιδιομορφή.



Ιδιομορφή	Τιμή ιδιοπεριόδου με ελκυστήρες	Είδος	Τιμή ιδιοπεριόδου χωρίς ελκυστήρες	Τιμή ιδιοπεριόδου υ μη- ενισχυμένου
1	0,426	Μεταφορική Καμπαναριό Νότιο	0,425	0,552
2	0,419	Μεταφορική Καμπαναριό Βόρειο	0,425	0,552
3	0,366	Μεταφορική και τα δύο καμπαναριά	0,366	0,489
4	0,363	Μεταφορική και τα δύο καμπαναριά	0,363	0,487
5	0,276	Μεταφορική Υ - Ναός	0,275	0,336
6	0,236	Μεταφορική Χ - Ναός	0,237	0,286
7	0,198	Μεταφορική συμμετρική Υ - Ναός	0,198	0,243
8	0,186	Μεταφορική μη συμμετρική	0,197	0,239
9	0,174	Μεταφορική τρούλος	0,177	0,216
10	0,169	Μεταφορική τρούλος	0,169	0,200

Πίνακας 4. Σύγκριση ιδιομορφών.

Παρατηρούμε ότι όπως αναμένονταν οι τιμές των ιδιομορφών είναι παρόμοιες και για τις δύο περιπτώσεις και με τους νέους κεντρικούς ελκυστήρες και χωρίς.



Πίνακας ιδιομορφών.

Mode No.	Eigenvalue λ [1/s ²]	Angular Frequency ω [rad/s]	Natural frequency f [Hz]	Natural period T [s]
1	217,814	14,759	2,349	0,426
2	225,302	15,010	2,389	0,419
3	294,998	17,176	2,734	0,366
4	299,055	17,293	2,752	0,363
5	519,029	22,782	3,626	0,276
6	709,315	26,633	4,239	0,236
7	1005,803	31,714	5,048	0,198
8	1136,488	33,712	5,365	0,186
9	1297,183	36,016	5,732	0,174
10	1382,574	37,183	5,918	0,169
11	1647,689	40,592	6,460	0,155
12	1786,847	42,271	6,728	0,149
13	2040,408	45,171	7,189	0,139
14	2193,655	46,836	7,454	0,134
15	2236,575	47,292	7,527	0,133
16	2443,320	49,430	7,867	0,127
17	2684,931	51,816	8,247	0,121
18	2696,207	51,925	8,264	0,121
19	2851,549	53,400	8,499	0,118
20	2933,962	54,166	8,621	0,116
21	3099,388	55,672	8,860	0,113
22	3320,517	57,624	9,171	0,109
23	3335,741	57,756	9,192	0,109
24	3539,322	59,492	9,468	0,106
25	3568,256	59,735	9,507	0,105
26	3771,095	61,409	9,774	0,102
27	3861,910	62,144	9,891	0,101
28	3997,037	63,222	10,062	0,099
29	4242,662	65,136	10,367	0,096
30	4335,964	65,848	10,480	0,095
31	4617,784	67,954	10,815	0,092
32	4685,448	68,450	10,894	0,092
33	4877,134	69,836	11,115	0,090
34	4909,630	70,069	11,152	0,090
35	5001,145	70,719	11,255	0,089
36	5014,738	70,815	11,271	0,089



37	5165,606	71,872	11,439	0,087
38	5432,957	73,709	11,731	0,085
39	5450,287	73,826	11,750	0,085
40	5475,979	74,000	11,777	0,085
41	5773,061	75,981	12,093	0,083
42	5918,166	76,930	12,244	0,082
43	5924,508	76,971	12,250	0,082
44	6104,937	78,134	12,435	0,080
45	6138,547	78,349	12,470	0,080
46	6326,976	79,542	12,660	0,079
47	6744,840	82,127	13,071	0,077
48	6751,917	82,170	13,078	0,076
49	7316,694	85,538	13,614	0,073
50	7402,445	86,037	13,693	0,073
51	7576,387	87,042	13,853	0,072
52	7592,147	87,133	13,868	0,072
53	7642,601	87,422	13,914	0,072
54	7925,026	89,023	14,168	0,071
55	8058,767	89,771	14,287	0,070
56	8402,360	91,664	14,589	0,069
57	8438,604	91,862	14,620	0,068
58	8486,085	92,120	14,661	0,068
59	8514,180	92,272	14,686	0,068
60	8647,591	92,992	14,800	0,068
61	8727,062	93,419	14,868	0,067
62	8783,160	93,719	14,916	0,067
63	8832,503	93,981	14,958	0,067
64	8876,271	94,214	14,995	0,067
65	8996,849	94,852	15,096	0,066
66	9092,820	95,356	15,176	0,066
67	9272,228	96,292	15,325	0,065
68	9497,745	97,456	15,511	0,064
69	9733,603	98,659	15,702	0,064
70	9804,059	99,015	15,759	0,063
71	10074,927	100,374	15,975	0,063
72	10086,671	100,432	15,984	0,063
73	10181,228	100,902	16,059	0,062
74	10291,013	101,445	16,145	0,062
75	10302,823	101,503	16,155	0,062
76	10470,632	102,326	16,286	0,061
77	10585,708	102,887	16,375	0,061



78	10727,047	103,571	16,484	0,061
79	10750,176	103,683	16,502	0,061
80	10954,277	104,663	16,658	0,060
81	11052,742	105,132	16,732	0,060
82	11334,314	106,463	16,944	0,059
83	11582,860	107,624	17,129	0,058
84	11676,151	108,056	17,198	0,058
85	11750,708	108,401	17,253	0,058
86	11773,646	108,506	17,269	0,058
87	11891,516	109,048	17,356	0,058
88	12016,790	109,621	17,447	0,057
89	12247,666	110,669	17,614	0,057
90	12473,449	111,685	17,775	0,056
91	12482,903	111,727	17,782	0,056
92	12507,579	111,837	17,799	0,056
93	12639,884	112,427	17,893	0,056
94	12833,841	113,287	18,030	0,055
95	12877,062	113,477	18,060	0,055
96	13061,608	114,287	18,189	0,055
97	13173,438	114,776	18,267	0,055
98	13236,479	115,050	18,311	0,055
99	13306,958	115,356	18,359	0,054
100	13368,551	115,622	18,402	0,054

Πίνακας 5. 100 πρώτες ιδιομορφές φορέα.

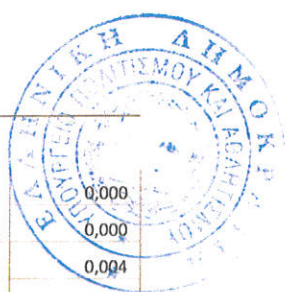
Δρώσεις ιδιομορφικές μάζες.

Mode No.	Modal Mass M_i [kg]	Effective Modal Mass			Effective Modal Mass Factor		
		m_{ex} [kg]	m_{ey} [kg]	m_{ez} [kg]	f_{mex} [-]	f_{mey} [-]	f_{mez} [-]
1	267628,70	0,39	1935319,60	0,00	0,000	0,187	0,000
2	253731,66	602069,90	1,24	1363,92	0,058	0,000	0,000
3	192363,27	940656,92	1024,51	386,85	0,091	0,000	0,000
4	188852,07	6090,96	161025,59	2,30	0,001	0,016	0,000
5	1864714,60	10,87	5137845,38	0,01	0,000	0,498	0,000
6	1107463,08	4838915,46	29,41	991,34	0,469	0,000	0,000
7	1299160,85	156,87	40369,54	0,15	0,000	0,004	0,000
8	1926274,95	112775,61	0,95	8737,81	0,011	0,000	0,001
9	360324,32	423183,35	24,79	5875,25	0,041	0,000	0,001
10	259525,66	65,94	364771,20	1,82	0,000	0,035	0,000
11	896802,99	137922,93	0,07	94606,68	0,013	0,000	0,009
12	1172567,77	1,63	6294,75	0,41	0,000	0,001	0,000

13	1320913,89	34227,48	0,04	29731,32	0,003	0,000	0,003
14	1476647,43	2,99	760679,79	0,08	0,000	0,074	0,000
15	944425,82	19,29	7147,12	18,43	0,000	0,001	0,000
16	10273355,24	1600,04	201,69	89,07	0,000	0,000	0,000
17	719951,94	122,82	134289,53	0,00	0,000	0,013	0,000
18	35689941,99	3,15	142,70	0,11	0,000	0,000	0,000
19	6406483,77	8053,91	24,90	140,74	0,001	0,000	0,000
20	325347,90	513942,47	32,26	5599,03	0,050	0,000	0,001
21	366976,91	20,42	26710,82	0,52	0,000	0,003	0,000
22	219481,73	134,40	0,54	4391,99	0,000	0,000	0,000
23	534914,39	0,10	118,67	85,61	0,000	0,000	0,000
24	268554,66	160805,75	1,22	27916,73	0,016	0,000	0,003
25	589189,39	142,75	63889,03	33,64	0,000	0,006	0,000
26	227455,49	61,38	86254,31	6,25	0,000	0,008	0,000
27	324672,37	55254,56	0,03	145865,57	0,005	0,000	0,014
28	643093,67	98513,77	11,85	4812,44	0,010	0,000	0,000
29	316325,23	60,54	51290,66	18,37	0,000	0,005	0,000
30	32661,54	5182,10	7,88	13,38	0,001	0,000	0,000
31	47150,14	227344,75	1108,87	96318,17	0,022	0,000	0,009
32	135626,92	23351,93	234,19	7834,04	0,002	0,000	0,001
33	39464,15	123983,72	6563,03	2294,22	0,012	0,001	0,000
34	225142,55	15865,02	5,67	1055,51	0,002	0,000	0,000
35	38321,94	3361,84	64291,62	3954,87	0,000	0,006	0,000
36	167498,28	16638,57	1127,59	6093,68	0,002	0,000	0,001
37	187668,81	285,68	19241,39	1212,89	0,000	0,002	0,000
38	70507,51	171341,98	1610,52	130663,55	0,017	0,000	0,013
39	159087,66	17556,70	119995,33	108660,61	0,002	0,012	0,011
40	137625,78	48145,62	17304,20	821400,96	0,005	0,002	0,080
41	124681,02	151594,38	5,75	16910,07	0,015	0,000	0,002
42	451108,84	999,01	240088,19	7770,23	0,000	0,023	0,001
43	778373,57	11697,33	27122,66	62220,11	0,001	0,003	0,006
44	423862,03	9,46	18619,17	0,07	0,000	0,002	0,000
45	403214,54	1896,98	0,00	5381,85	0,000	0,000	0,001
46	574363,23	43,27	80311,94	9,02	0,000	0,008	0,000
47	448320,40	2354,97	927,46	9051,95	0,000	0,000	0,001
48	478039,82	493,71	3655,20	2199,03	0,000	0,000	0,000
49	425527,84	41892,41	8,75	1299,42	0,004	0,000	0,000
50	450782,99	11,48	6134,23	1,30	0,000	0,001	0,000
51	89126,52	415,35	20558,24	631,16	0,000	0,002	0,000
52	37062,88	21752,82	564,06	27075,51	0,002	0,000	0,003
53	74210,37	4,83	6193,28	28,28	0,000	0,001	0,000



54	305414,02	44125,46	0,20	6250,70	0,004	0,000	0,001
55	311953,27	1,16	411,57	14,69	0,000	0,000	0,000
56	527782,30	0,77	7031,54	352,08	0,000	0,001	0,000
57	508728,17	24556,38	109,72	244532,70	0,002	0,000	0,024
58	542405,10	42719,53	112,56	676650,48	0,004	0,000	0,066
59	865803,90	21432,21	35,71	1544945,35	0,002	0,000	0,150
60	681206,41	134,83	28729,25	127,02	0,000	0,003	0,000
61	14045,94	8378,73	0,68	2,31	0,001	0,000	0,000
62	355635,84	45235,89	0,76	55530,66	0,004	0,000	0,005
63	794923,96	16,54	672,50	805,05	0,000	0,000	0,000
64	29099,40	61,76	3441,78	187,11	0,000	0,000	0,000
65	75418,84	756,95	346,18	88071,55	0,000	0,000	0,009
66	39132,85	37,86	8684,11	12290,86	0,000	0,001	0,001
67	14748,89	86,31	495,49	40940,01	0,000	0,000	0,004
68	67900,69	71,57	12810,69	323,51	0,000	0,001	0,000
69	710274,17	61430,66	7,10	90820,09	0,006	0,000	0,009
70	180865,85	165,45	407,50	323,03	0,000	0,000	0,000
71	419452,93	6671,86	205,60	66111,68	0,001	0,000	0,006
72	285861,29	4772,35	8,52	47355,27	0,000	0,000	0,005
73	143449,83	743,64	1613,68	2467,30	0,000	0,000	0,000
74	101149,02	13158,29	6,14	275,67	0,001	0,000	0,000
75	43640,40	28246,18	1,37	370,34	0,003	0,000	0,000
76	23256,17	19,98	1759,75	2,24	0,000	0,000	0,000
77	19423,62	235,52	17,41	806,61	0,000	0,000	0,000
78	20809,71	0,57	18,99	31178,04	0,000	0,000	0,003
79	22482,39	3,48	234,08	673,01	0,000	0,000	0,000
80	5060,89	15158,66	41,73	9858,05	0,001	0,000	0,001
81	3004,49	5489,80	69,66	12569,71	0,001	0,000	0,001
82	13576,21	11,84	0,05	359,65	0,000	0,000	0,000
83	324175,66	0,49	4954,70	909,32	0,000	0,000	0,000
84	10553,65	134,47	2631,55	33168,13	0,000	0,000	0,003
85	86307,91	48,55	13360,01	26603,25	0,000	0,001	0,003
86	162310,48	338,20	3658,49	284784,52	0,000	0,000	0,028
87	31040,90	9320,38	198,94	158884,78	0,001	0,000	0,015
88	2814,36	2041,84	437,08	163274,07	0,000	0,000	0,016
89	8103,65	15,71	42,76	148379,24	0,000	0,000	0,014
90	36795,13	71,20	441,45	36843,93	0,000	0,000	0,004
91	73402,48	2405,23	105,67	55084,15	0,000	0,000	0,005
92	372495,13	14408,41	2,91	14912,08	0,001	0,000	0,001
93	221391,30	0,09	10295,07	10,55	0,000	0,001	0,000
94	350757,89	7289,18	691,86	4904,73	0,001	0,000	0,000



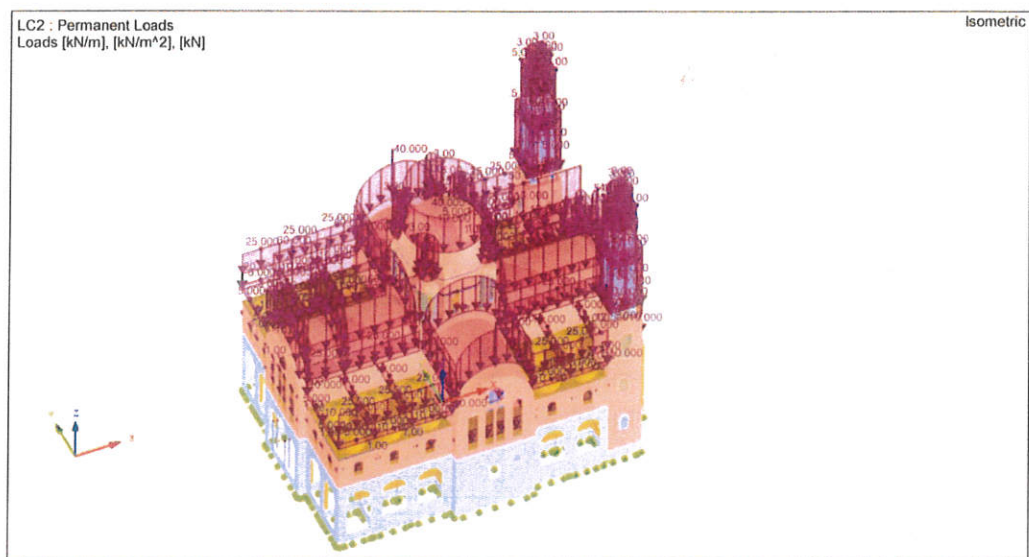
95	208794,47	474,74	12200,99	2054,51	0,000	0,001	0,000
96	137457,37	1982,12	1,41	3393,84	0,000	0,000	0,000
97	416286,68	2654,13	3,71	40302,90	0,000	0,000	0,004
98	109437,76	50,55	11504,48	129,68	0,000	0,001	0,000
99	153896,72	12,91	12080,60	51,13	0,000	0,001	0,000
100	261405,49	5747,48	14,76	5467,17	0,001	0,000	0,001
Sum	86530504,62	9191760,45	9553082,15	5556109,08	0,890	0,925	0,539

Πίνακας 6. Δρώσεις μάζες ανά διεύθυνση και ιδιομορφή φορέα.



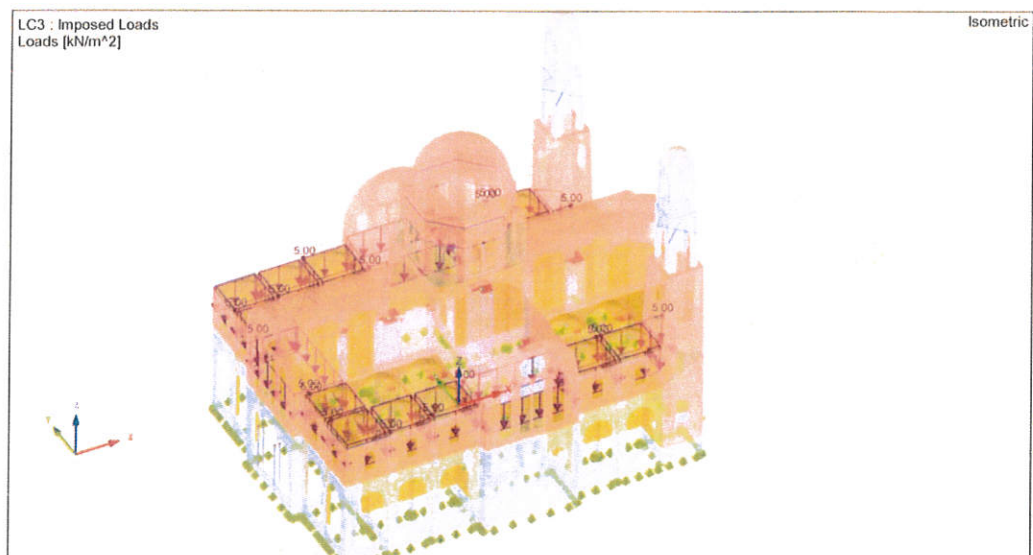
Φόρτιση 1: Ίδιο βάρος (LC1)

Φόρτιση 2: Μόνιμα φορτία (LC2)



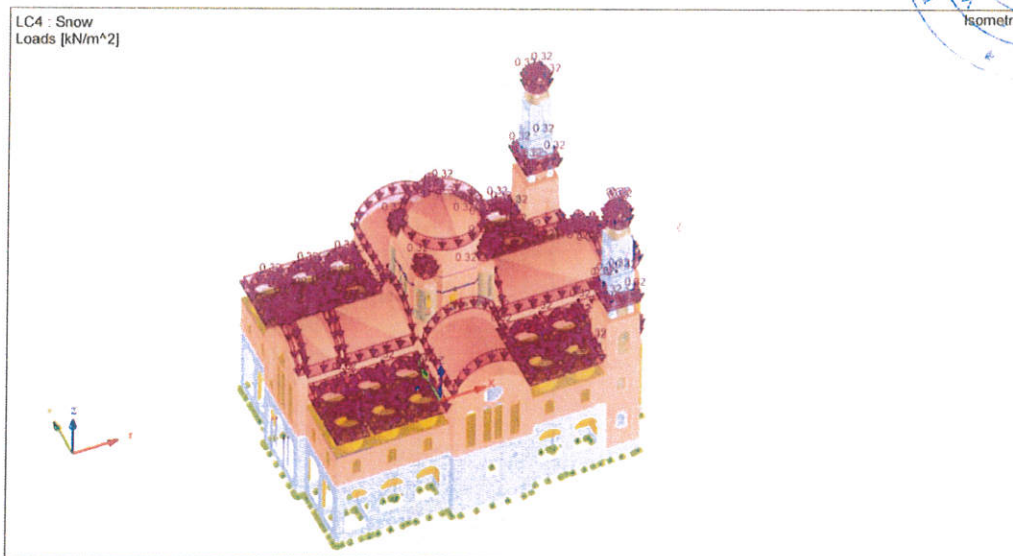
Εικόνα 33. Μόνιμα φορτία Ναού.

Φόρτιση 3: Κινητά φορτία (LC3)



Εικόνα 34. Κινητά φορτία.

Φόρτιση 4: Χιόνι (LC4)



Εικόνα 35. Φορτία χιονιού.

Φόρτιση 5-124 (LC5-124)

Ισοδύναμα στατικά φορτία από κάθε μία ιδιομορφή για τις 120 πρώτες ιδιομορφές του φορέα κατά τις 3 διευθύνσεις.

Φόρτιση ανέμου

Για τις δυνάμεις που ασκούνται στο Ναό από τις ανεμοπιέσεις έγιναν στατικές αναλύσεις με ισοδύναμα φορτία που προέκυψαν από τη θεωρία της Ρευστομηχανικής. Χρησιμοποιήθηκε μοντέλο Computational Fluid Dynamics (CFD) σε ψηφιακό τούνελ ανέμου (digital wind tunnel). Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για διάφορες κατευθύνσεις του ανέμου και παρουσιάζονται με λεπτομέρεια στο αντίστοιχο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων.



Συνδυασμοί φορτίσεων

2.5 Load Combinations

Load Combin	DS	Load Combination Description	No.	Factor	Load Case
CO1	STR	1.35G	1	1.35	LC1 Self-weight
CO2	STR	1.35G + 1.35Gq	1	1.35	LC1 Self-weight
			2	1.35	LC2 Permanent Loads
CO3	STR	1.35G + 1.5QIC	1	1.35	LC1 Self-weight
			2	1.50	LC3 Imposed Loads
CO4	STR	1.35G + 1.35Gq + 1.5QIC	1	1.35	LC1 Self-weight
			2	1.35	LC2 Permanent Loads
			3	1.50	LC3 Imposed Loads
CO5	STR	1.35G + 1.35Gq + 1.5QIC + 0.75Qs	1	1.35	LC1 Self-weight
			2	1.35	LC2 Permanent Loads
			3	1.50	LC3 Imposed Loads
			4	0.75	LC4 Snow
CO6	STR	1.35G + 1.5QIC + 0.75Qs	1	1.35	LC1 Self-weight
			2	1.50	LC3 Imposed Loads
			3	0.75	LC4 Snow
CO7	STR	1.35G + 1.5Qs	1	1.35	LC1 Self-weight
			2	1.50	LC4 Snow
CO8	STR	1.35G + 1.35Gq + 1.5Qs	1	1.35	LC1 Self-weight
			2	1.35	LC2 Permanent Loads
			3	1.50	LC4 Snow
CO9	STR	1.35G + 1.35Gq + 1.05QIC + 1.5Qs	1	1.35	LC1 Self-weight
			2	1.35	LC2 Permanent Loads
			3	1.05	LC3 Imposed Loads
			4	1.50	LC4 Snow
CO10	STR	1.35G + 1.05QIC + 1.5Qs	1	1.35	LC1 Self-weight
			2	1.05	LC3 Imposed Loads
			3	1.50	LC4 Snow
CO11	S Ch	G	1	1.00	LC1 Self-weight
CO12	S Ch	G + Gq	1	1.00	LC1 Self-weight
			2	1.00	LC2 Permanent Loads
CO13	S Ch	G + QIC	1	1.00	LC1 Self-weight
			2	1.00	LC3 Imposed Loads
CO14	S Ch	G + Gq + QIC	1	1.00	LC1 Self-weight
			2	1.00	LC2 Permanent Loads
			3	1.00	LC3 Imposed Loads
CO15	S Ch	G + Gq + QIC + 0.5Qs	1	1.00	LC1 Self-weight
			2	1.00	LC2 Permanent Loads
			3	1.00	LC3 Imposed Loads
			4	0.50	LC4 Snow
CO16	S Ch	G + QIC + 0.5Qs	1	1.00	LC1 Self-weight
			2	1.00	LC3 Imposed Loads
			3	0.50	LC4 Snow
CO17	S Ch	G + Qs	1	1.00	LC1 Self-weight
			2	1.00	LC4 Snow
CO18	S Ch	G + Gq + Qs	1	1.00	LC1 Self-weight
			2	1.00	LC2 Permanent Loads
			3	1.00	LC4 Snow
CO19	S Ch	G + Gq + 0.7QIC + Qs	1	1.00	LC1 Self-weight
			2	1.00	LC2 Permanent Loads
			3	0.70	LC3 Imposed Loads
			4	1.00	LC4 Snow
CO20	S Ch	G + 0.7QIC + Qs	1	1.00	LC1 Self-weight



2.5 Load Combinations

Load Combin	DS	Load Combination Description	No.	Factor	Load Case
CO21	S Fr	G	2	0.70	LC3
			3	1.00	LC4
			1	1.00	LC1
CO22	S Fr	G + Gq	1	1.00	LC1
			2	1.00	LC2
CO23	S Fr	G + 0.7Q _{iC}	1	1.00	LC1
			2	0.70	LC3
CO24	S Fr	G + Gq + 0.7Q _{iC}	1	1.00	LC1
			2	1.00	LC2
			3	0.70	LC3
CO25	S Fr	G + 0.2Q _s	1	1.00	LC1
			2	0.20	LC4
			1	1.00	LC1
CO26	S Fr	G + Gq + 0.2Q _s	2	1.00	LC2
			3	0.20	LC4
			1	1.00	LC1
CO27	S Fr	G + Gq + 0.6Q _{iC} + 0.2Q _s	1	1.00	LC1
			2	1.00	LC2
			3	0.60	LC3
			4	0.20	LC4
CO28	S Fr	G + 0.6Q _{iC} + 0.2Q _s	1	1.00	LC1
			2	0.60	LC3
			3	0.20	LC4
CO29	S Qp	G	1	1.00	LC1
CO30	S Qp	G + Gq	1	1.00	LC1
			2	1.00	LC2
CO31	S Qp	G + Gq + 0.6Q _{iC}	1	1.00	LC1
			2	1.00	LC2
			3	0.60	LC3
CO32	S Qp	G + 0.6Q _{iC}	1	1.00	LC1
			2	0.60	LC3

Πίνακας 7. Συνδυασμοί φορτίσεων.

2.7 Result Combinations

Result Combin	Description	Loading
RC1	ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10	CO1/p or to CO10
RC2	SLS - Characteristic	CO11/p or to CO20
RC3	SLS - Frequent	CO21/p or to CO28
RC4	SLS - Quasi-permanent	CO29/p or to CO32
RC5	DLC1 - Result Envelope - X	LC5/p + LC7/p + LC9/p + LC11/p + LC13/p + LC15/p + LC17/p + LC19/p + LC21/p + LC23/p + LC25/p + LC27/p + LC29/p + LC31/p + LC33/p + LC35/p + LC37/p + LC39/p
RC6	DLC1 - Result Envelope - Y	LC6/p + LC8/p + LC10/p + LC12/p + LC14/p + LC16/p + LC18/p + LC20/p + LC22/p + LC24/p + LC26/p + LC28/p + LC30/p + LC32/p + LC34/p + LC36/p + LC38/p + LC40/p
RC7	DLC1 - Result Envelope - 100% X/ 30% Y	RC5/p + 0.3*RC6/p
RC8	DLC1 - Result Envelope - 30% X/ 100% Y	0.3*RC5/p + RC6/p
RC9	FINAL 100% X/ 30% Y	CO31/p + RC5/p + 0.3*RC6/p
RC10	FINAL 30% X/ 100% Y	CO31/p + 0.3*RC5/p + RC6/p

Πίνακας 8. Περιβάλλουσες και σεισμικοί συνδυασμοί.



2.7.2 RC

Result Combin	DS	Result Combination Description	Calculation Parameters
RC5		DLC1 - Result Envelope - X	Options : x Quadratic combination: SRSS x Positive (max) / negative (min)
RC6		DLC1 - Result Envelope - Y	Options : x Quadratic combination: SRSS x Positive (max) / negative (min)

Πίνακας 9. Συνδυασμός με SRSS.



Αποτελέσματα ελέγχων θλιπτικών αξονικών δυνάμεων Ιερού Ναού με τις προτάσεις ενισχύσεων

Έλεγχος θλιπτικών δυνάμεων

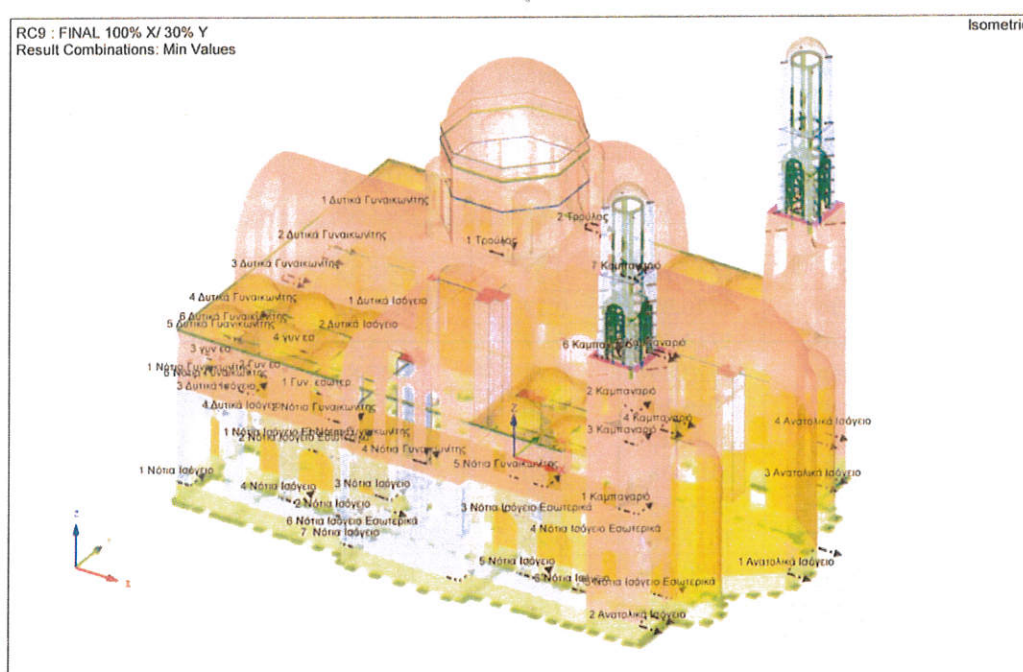
Ελέγχονται οι θλιπτικές δυνάμεις σε κάθε διατομή σε σχέση με τη φέρουσα ικανότητα. Οι θέσεις των διατομών παρουσιάζονται αναλυτικά στην Εικόνα 36.

Αριθμός θέσης ελέγχου	Μέγιστη αξονική στατικών φορτίων (ULS) (kN)	Μέγιστος λόγος επάρκειας λ στατικών φορτίων	Μέγιστη αξονική σεισμικών φορτίων (kN)	Μέγιστος λόγος επάρκειας λ σεισμικών φορτίων
1 Νότια Ισόγειο	870.03	0.16	2331.66	0.42
2 Νότια Ισόγειο	820.55	0.17	1320.98	0.28
3 Νότια Ισόγειο	390.80	0.07	703.73	0.13
4 Νότια Ισόγειο	1350.14	0.22	1822.14	0.30
5 Νότια Ισόγειο	1472.41	0.25	2103.53	0.35
6 Νότια Ισόγειο	1043.73	0.27	2030.24	0.53
1 Ανατολικά Ισόγειο	1746.88	0.12	3450.82	0.24
2 Ανατολικά Ισόγειο	1714.89	0.27	3928.58	0.62
3 Ανατολικά Ισόγειο	1123.89	0.21	1706.83	0.32
4 Ανατολικά Ισόγειο	1016.14	0.19	1503.65	0.28
1 Δυτικά Ισόγειο	806.18	0.20	1753.67	0.43
2 Δυτικά Ισόγειο	1101.05	0.20	1528.13	0.28
3 Δυτικά Ισόγειο	1160.53	0.21	1607.38	0.29
4 Δυτικά Ισόγειο	1012.99	0.25	2097.35	0.52
1 Νότια Ισόγειο Εσωτερικά	1120.43	0.13	1415.14	0.17
2 Νότια Ισόγειο Εσωτερικά	1311.23	0.11	1520.21	0.13
3 Νότια Ισόγειο Εσωτερικά	1138.28	0.12	1785.28	0.19
4 Νότια Ισόγειο Εσωτερικά	1781.61	0.14	4798.89	0.39
5 Νότια Ισόγειο Εσωτερικά	963.51	0.08	1409.32	0.11
6 Νότια Ισόγειο Εσωτερικά	1531.04	0.26	1951.37	0.33
1 Νότια Γυναικωνίτης	333.42	0.07	764.62	0.15
2 Νότια Γυναικωνίτης	488.98	0.08	661.26	0.11
3 Νότια Γυναικωνίτης	462.09	0.11	1248.29	0.31
4 Νότια Γυναικωνίτης	295.18	0.11	455.79	0.18
5 Νότια Γυναικωνίτης	597.81	0.07	824.21	0.09
6 Νότια Γυναικωνίτης	513.81	0.06	741.79	0.08
1 Δυτικά Γυναικωνίτης	329.35	0.06	778.43	0.15
2 Δυτικά Γυναικωνίτης	537.09	0.10	803.18	0.15
3 Δυτικά Γυναικωνίτης	204.79	0.07	293.56	0.11
4 Δυτικά Γυναικωνίτης	446.34	0.11	536.79	0.14
5 Δυτικά Γυναικωνίτης	414.58	0.05	657.17	0.08
6 Δυτικά Γυναικωνίτης	493.11	0.19	707.34	0.27



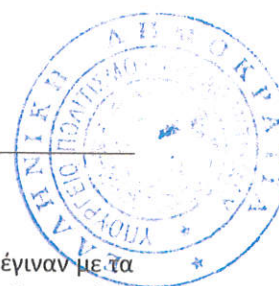
1 Καμπαναριό	1173.85	0.16	5009.17	0.68
2 Καμπαναριό	481.58	0.03	3181.42	0.18
3 Καμπαναριό	544.30	0.10	3958.59	0.72
4 Καμπαναριό	737.97	0.13	2197.21	0.40
5 Καμπαναριό	243.42	0.04	1191.01	0.22
6 Καμπαναριό	323.58	0.06	2503.79	0.46
7 Καμπαναριό	106.61	0.03	648.11	0.18

Πίνακας 10. Λόγοι επάρκειας θλιπτικής αντοχής διατομών Ιερού Ναού.



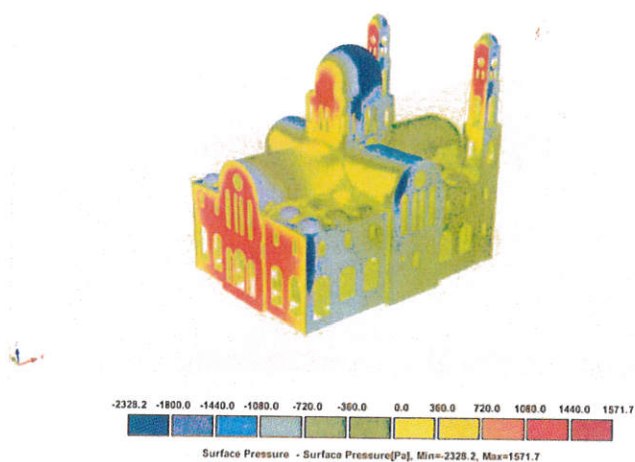
Εικόνα 36. Γενικές θέσεις τομών ελέγχου.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα ο Ναός είναι σε θέση να φέρει με ασφάλεια τα θλιπτικά φορτία που προκύπτουν τόσο από την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας με τα στατικά φορτία όσο και για τις σεισμικές φορτίσεις.

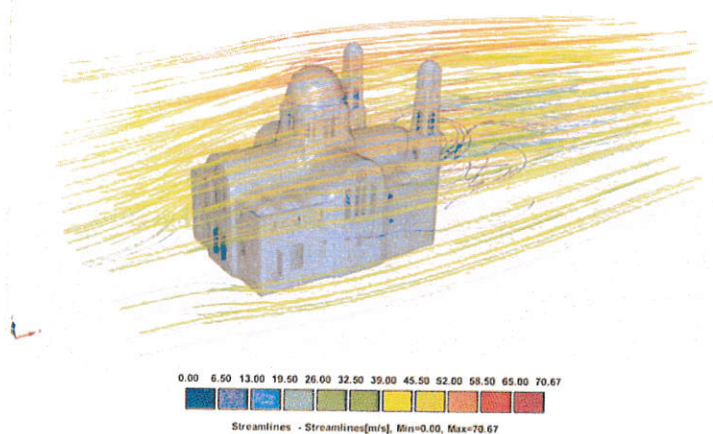


Αποτελέσματα αναλύσεων Ρευστομηχανικής για τα φορτία ανέμου

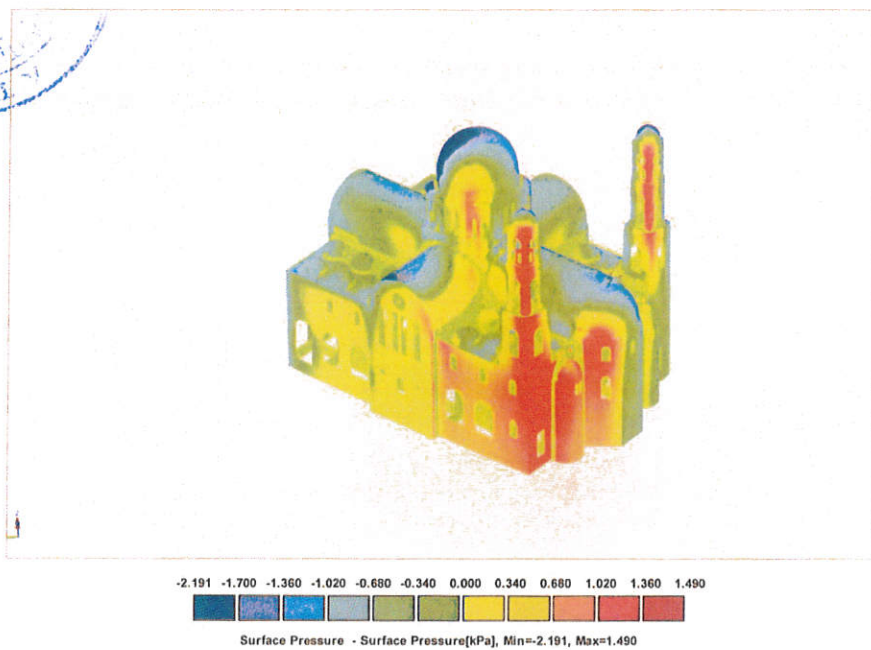
Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις αναλύσεις που έγιναν με τα φορτία ανέμου. Η βασική ταχύτητα ανέμου είναι 33m/sec ενώ το έδαφος επιλέχθηκε επί το δυσμενέστερο κατηγορίας 3.



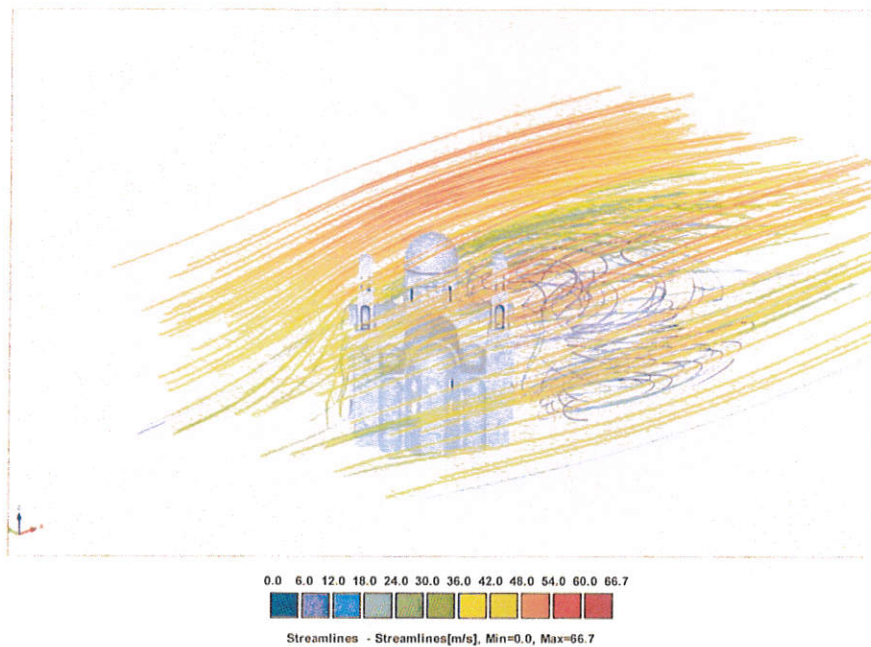
Εικόνα 37. Επιφανειακή πίεση για διεύθυνση ανέμου 0 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ..



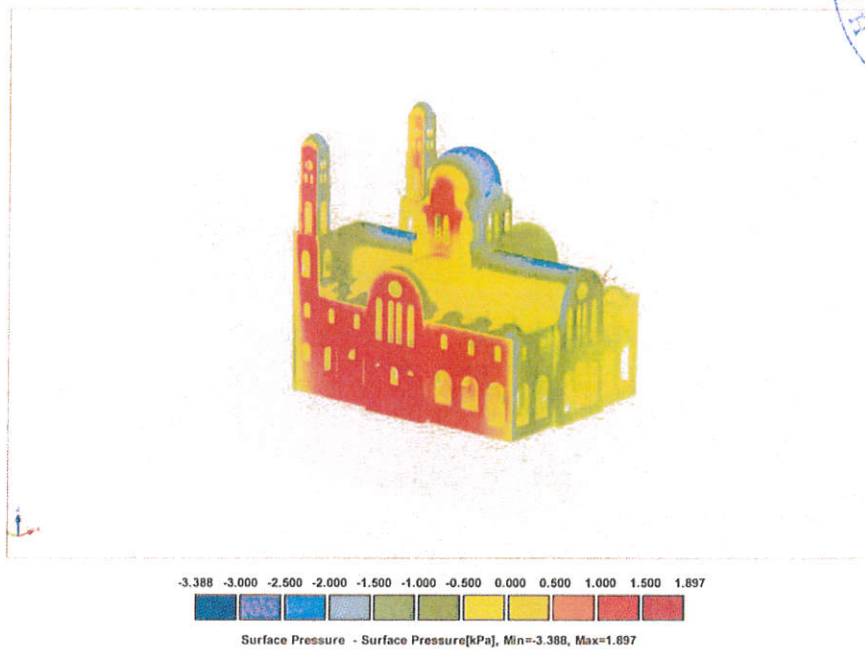
Εικόνα 38. Ροή ανέμου για διεύθυνση ανέμου 225 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ..



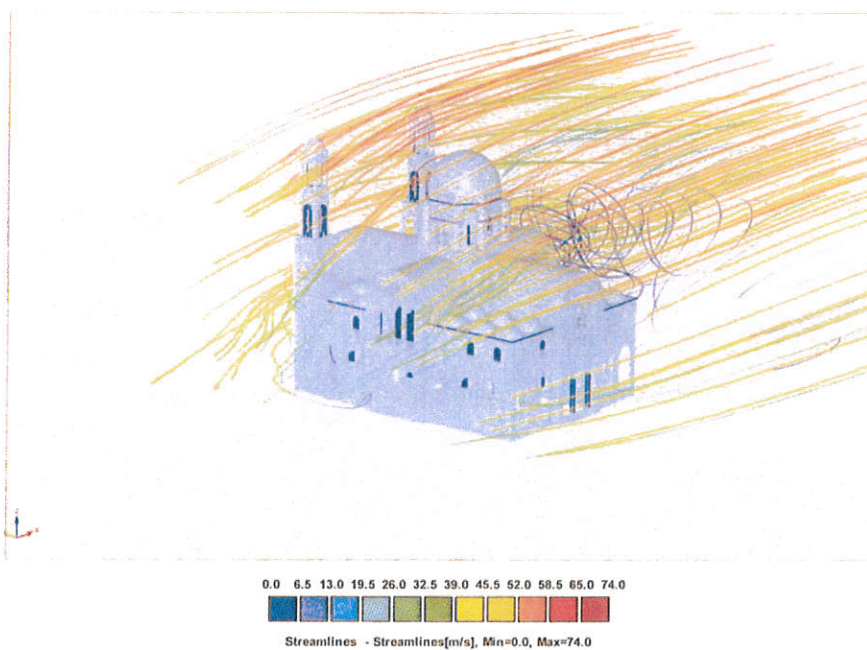
Εικόνα 39. Επιφανειακή πίεση για διεύθυνση ανέμου 225 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ..



Εικόνα 40. Ροή ανέμου για διεύθυνση ανέμου 0 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ..



Εικόνα 41. Επιφανειακή πίεση για διεύθυνση ανέμου 90 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ..



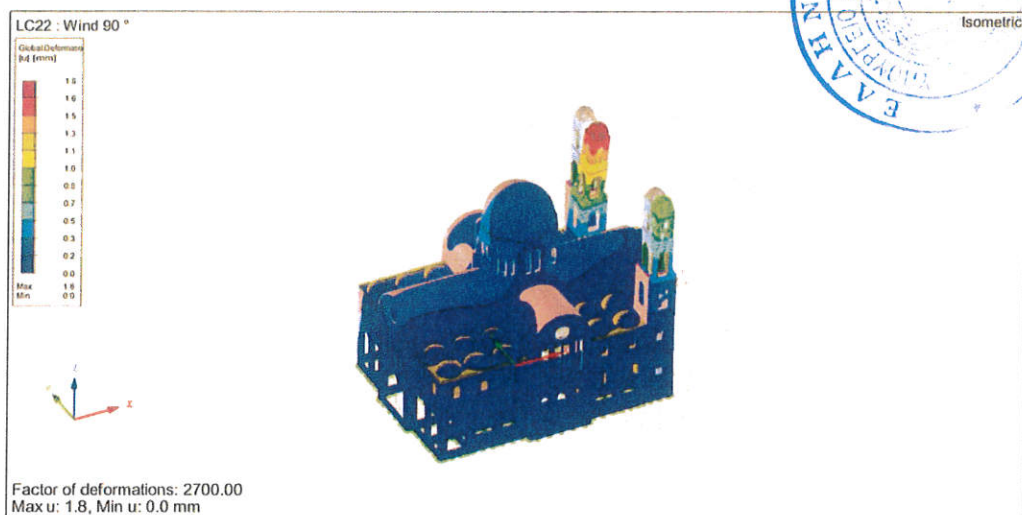
Εικόνα 42. Ροή ανέμου για διεύθυνση ανέμου 90 μοίρες σε σχέση με τον άξονα Χ..



Εικόνα 43. Μετακινήσεις Ναού για τα φορτία ανέμου στη διεύθυνση 0 μοίρες.



Εικόνα 44. Μετακινήσεις Ναού για τα φορτία ανέμου στη διεύθυνση 225 μοίρες.



Εικόνα 45. Μετακινήσεις Ναού για τα φορτία ανέμου στη διεύθυνση 90 μοίρες.

Όπως προκύπτει από τις προηγούμενες εικόνες και τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν, οι μετακινήσεις του καμπαναριού εξαιτίας των φορτίων του ανέμου είναι εξαιρετικά μικρές. Αυτό επιβεβαιώνει και τη μη διάταξη του κανονισμού να μην συμπεριλαμβάνονται τα φορτία ανέμου στις αναλύσεις και τους συνδυασμούς φορτίσεων. Οι έλεγχοι που έγιναν με το κριτήριο του Ottosen έδειξαν πολύ μικρή φόρτιση και σε κανένα σημείου του Ναού ο συντελεστής επάρκειας δεν ξεπέρασε το 0,15.



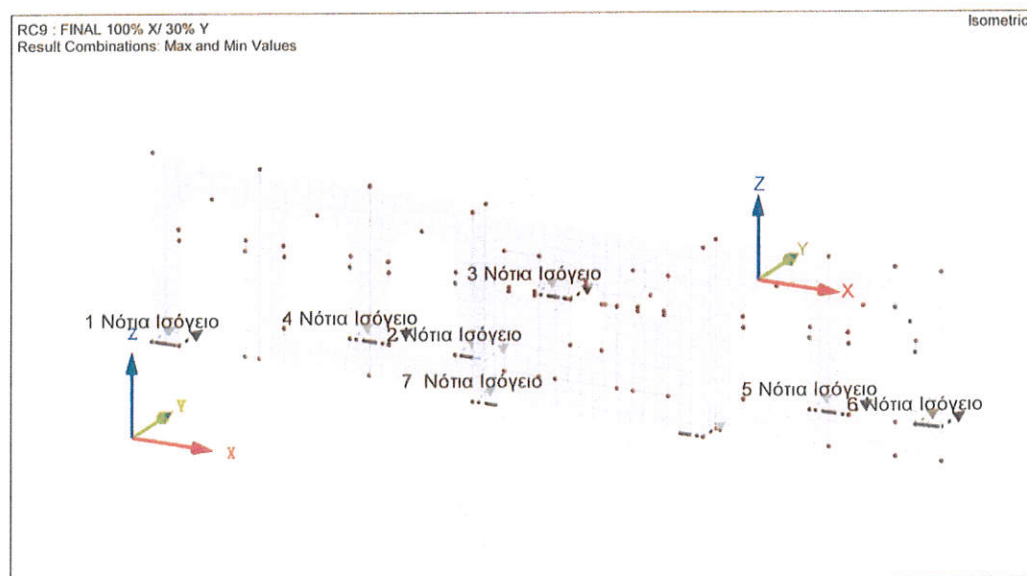
Αποτελέσματα ελέγχων σεισμικών δυνάμεων Ιερού Ναού με τις προτάσεις ενισχύσεων.

* Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων και των ελέγχων επάρκειας για τη τοιχοποιία του Ναού. Για το σκοπό αυτό μορφώνονται οι αντίστοιχοι πεσσοί και ελέγχονται σε διάφορες θέσεις σε επίπεδο δυνάμεων. Στις επιφάνειες του Ναού που δεν είναι δυνατή η διαμόρφωση πεσσών ο έλεγχος γίνεται σε όρους τάσεων μέσω του πολυπαραμετρικού κριτηρίου του Ottosen ^[11] που ανταποκρίνεται περισσότερο στη συμπεριφορά της άοπλης τοιχοποιίας.

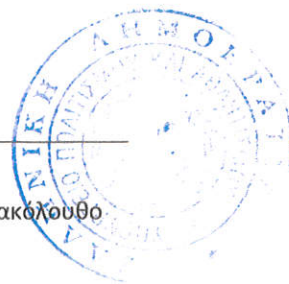
Ο έλεγχος των πεσσών γίνεται για το χωρικό συνδυασμό των συνιστωσών των σεισμικών δυνάμεων με επαλληλία 100% στη μία διεύθυνση και 30% στην κάθετη της. Ελέγχονται οι θέσεις σε όλους τους συνδυασμούς μεγίστων και ελαχίστων.

Νότιος τοίχος Ισογείου

Αρχικά για το νότιο τοίχο παρουσιάζονται οι θέσεις ελέγχου των πεσσών και στη συνέχεια πίνακες με τα αποτελέσματα των ελέγχων τους λόγους ανεπάρκειας και τα αντίστοιχα εντατικά μεγέθη. Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας των ελέγχων όλων των διατομών των πεσσών του νότιου τοίχου.



Εικόνα 46. Θέσεις τομών ελέγχου πεσσών νότιου τοίχου.



Τα αποτελέσματα των περσών παρουσιάζονται συνοπτικά και συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα:

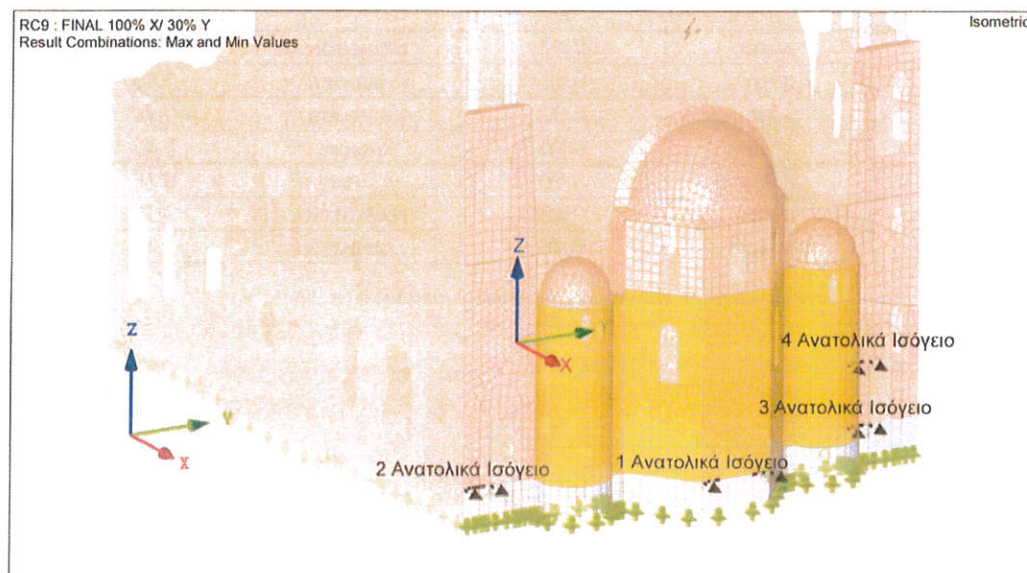
Αριθμός θέσης ελέγχου	Θέση ελέγχου	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εντός επιπέδου λ	Εντός επιπέδου έλεγχος από	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εκτός επιπέδου λ
1	κάτω	0.47	τέμνουσα	1.11
2	κάτω	0.47	τέμνουσα	0.43
3	πάνω	0.82	τέμνουσα	0.24
4	κάτω	0.80	κάμψη	0.47
5	κάτω	0.69	κάμψη	0.33
6	κάτω	0.45	τέμνουσα	0.29
7	κάτω	0.46	τέμνουσα	0.40

Πίνακας 11. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών νότιου τοίχου Ναού.



Ανατολικός τοίχος Ισογείου

Αντίστοιχα για το νότιο τοίχο του Ναού παρουσιάζονται οι θέσεις ελέγχου των πεσσών και στη συνέχεια πίνακες με τα αποτελέσματα των ελέγχων τους λόγους ανεπάρκειας και τα αντίστοιχα εντατικά μεγέθη για ενδεικτικές διατομές ελέγχου, καθώς και ο συγκεντρωτικός πίνακας με όλους τους λόγους ανεπάρκειας.



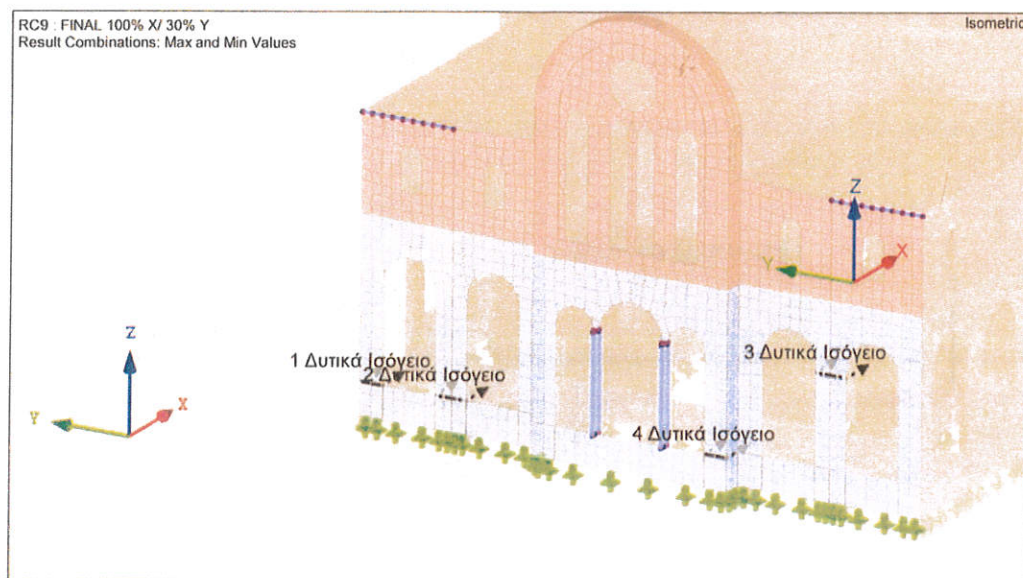
Εικόνα 47. Θέσεις τομών ελέγχου πεσσών ανατολικού τοίχου.

Αριθμός θέσης ελέγχου	Θέση ελέγχου	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εντός επιπέδου λ	Εντός επιπέδου έλεγχος από	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εκτός επιπέδου λ
1	κάτω	0.58	τέμνουσα	0.17
2	κάτω	0.59	κάμψη	0.21
3	κάτω	0.78	τέμνουσα	0.31
4	πάνω	0.65	τέμνουσα	0.21

Πίνακας 12. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών ανατολικού τοίχου Ναού.

Δυτικός τοίχος ισόγειο

Ομοίως για το δυτικό τοίχο του κυρίως Ναού στη στάθμη του ισογείου παρουσιάζονται οι θέσεις ελέγχου των πεσσών και στη συνέχεια πίνακες με τα αποτελέσματα των ελέγχων τους λόγους ανεπάρκειας και τα αντίστοιχα εντατικά μεγέθη.



Εικόνα 48. Θέσεις και τιμές ελέγχου πεσσών δυτικού τοίχου Ναού.

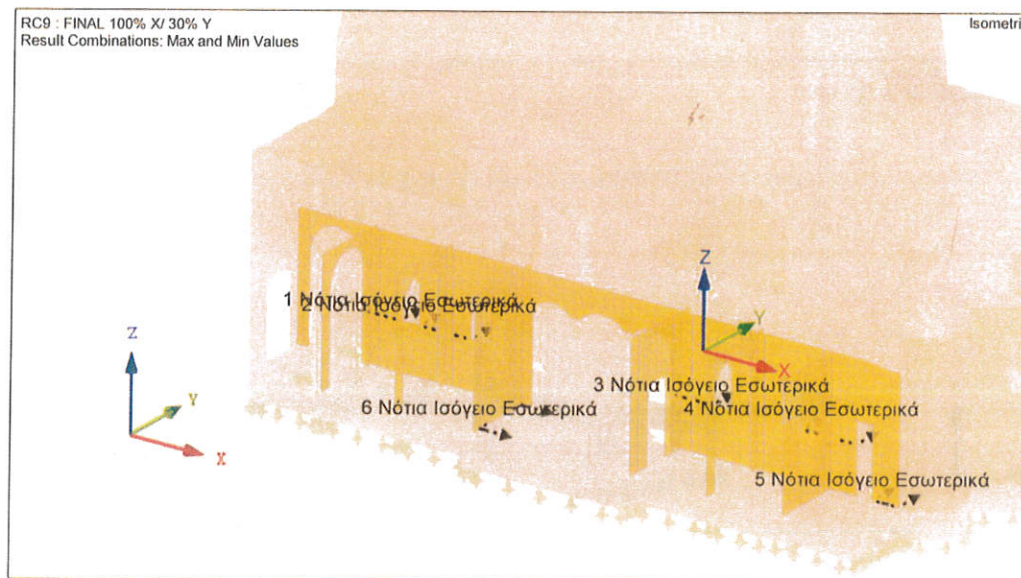
Αριθμός θέσης ελέγχου	Θέση ελέγχου	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εντός επιπέδου λ	Εντός επιπέδου έλεγχος από	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εκτός επιπέδου λ
1	κάτω	0.98	κάμψη	0.60
2	κάτω	1.00	κάμψη	0.36
3	πάνω	0.99	κάμψη	0.08
4	κάτω	0.97	κάμψη	0.44

Πίνακας 13. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών δυτικού τοίχου Ναού.



Νότιος τοίχος εσωτερικός ισόγειου

Ομοίως για το νότιο εσωτερικό τοίχο του Ναού παρουσιάζονται οι θέσεις ελέγχου των πεσσών και στη συνέχεια πίνακας με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των ελέγχων για τους λόγους ανεπάρκειας.



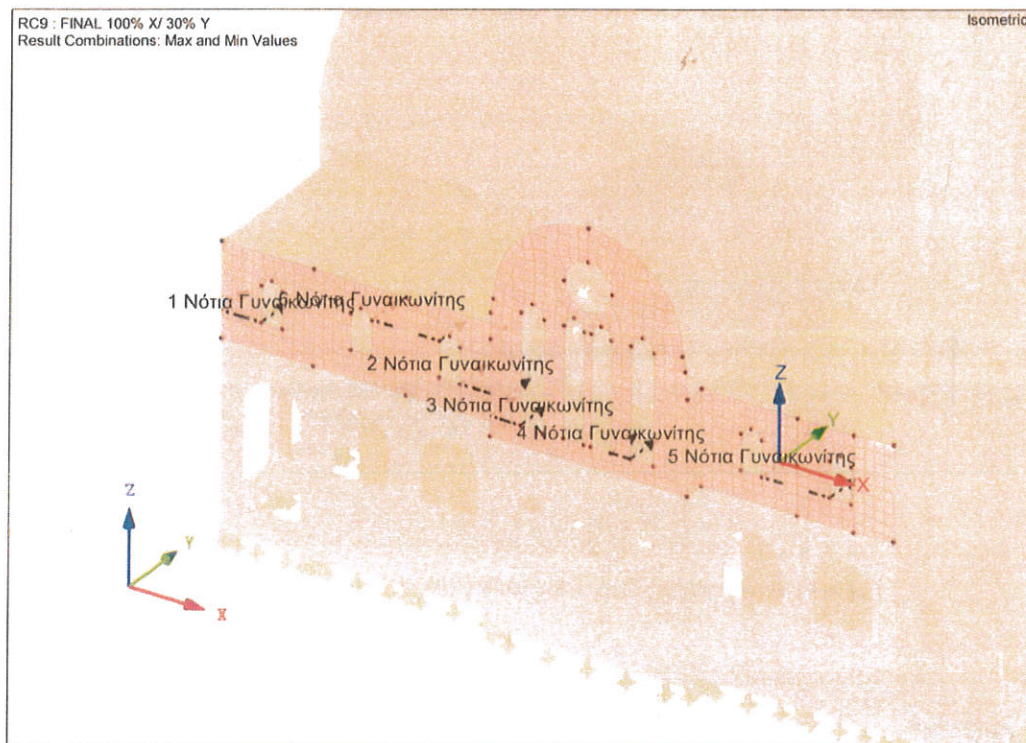
Εικόνα 49. Θέσεις και τιμές ελέγχου πεσσών δυτικού τοίχου γυναικωνίτη.

Αριθμός πεσσού	Θέση ελέγχου	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εντός επιπέδου λ	Εντός επιπέδου έλεγχος από	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εκτός επιπέδου λ
1	κάτω	0.81	τέμνουσα	0.15
2	κάτω	0.99	τέμνουσα	0.28
3	κάτω	0.75	τέμνουσα	0.05
4	κάτω	0.88	τέμνουσα	0.23
5	κάτω	0.54	τέμνουσα	0.57
6	κάτω	0.90	τέμνουσα	0.45

Πίνακας 14. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών δυτικού τοίχου Ναού.

Νότιος τοίχος γυναικωνίτη

Ομοίως για το νότιο τοίχο του γυναικωνίτη παρουσιάζονται οι θέσεις ελέγχου των πεσσών και στη συνέχεια πίνακας με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των ελέγχων για τους λόγους ανεπάρκειας.



Εικόνα 50. Θέσεις και τιμές ελέγχου πεσσών νότιου τοίχου γυναικωνίτη.

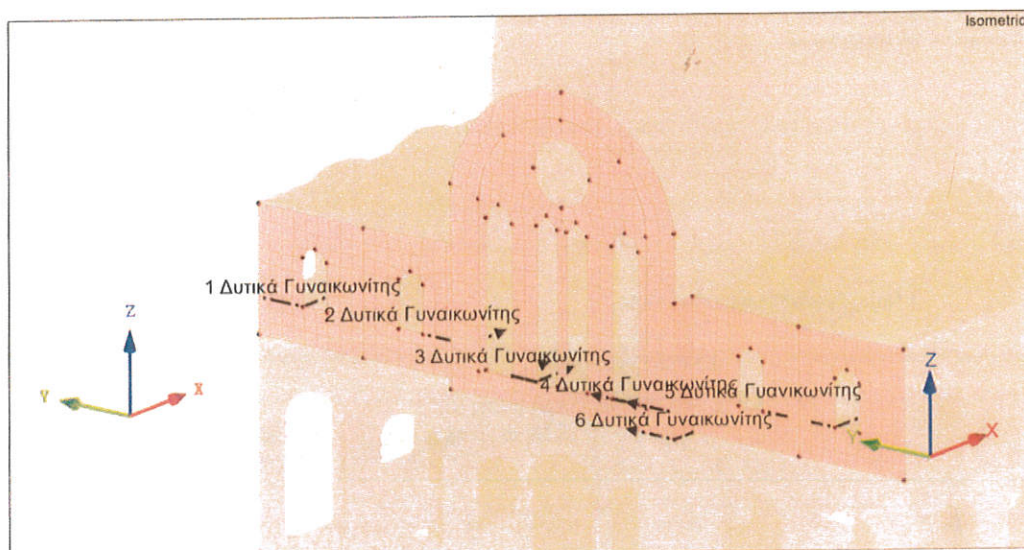
Αριθμός πεσσού	Θέση ελέγχου	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εντός επιπέδου λ	Εντός επιπέδου έλεγχος από	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εκτός επιπέδου λ
1	κάτω	0.98	τέμνουσα	0.53
2	κάτω	0.95	τέμνουσα	0.90
3	κάτω	0.77	τέμνουσα	1.00
4	κάτω	0.95	κάμψη	0.83
5	κάτω	1.12	κάμψη	0.66

Πίνακας 15. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών νότιου τοίχου γυναικωνίτη.



Δυτικός τοίχος γυναικωνίτη

Ομοίως για το δυτικό τοίχο του γυναικωνίτη παρουσιάζονται οι θέσεις ελέγχου των πεσσών και στη συνέχεια πίνακας με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των ελέγχων για τους λόγους ανεπάρκειας.



Εικόνα 51. Θέσεις και τιμές ελέγχου πεσσών βόρειου τοίχου γυναικωνίτη.

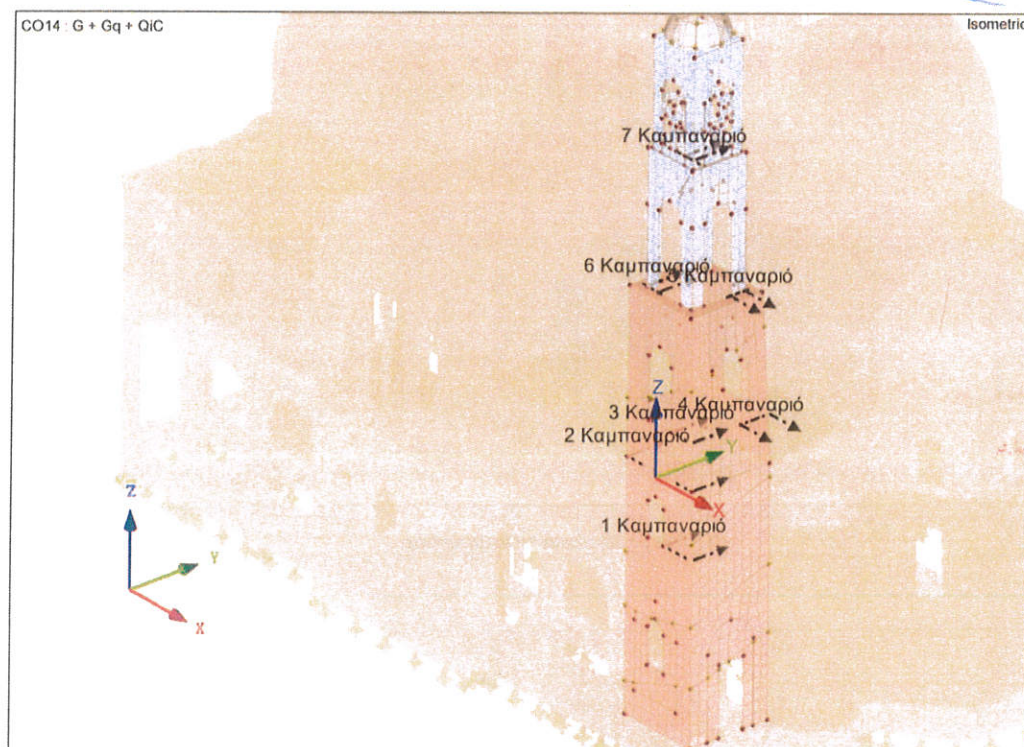
Αριθμός πεσσού	Θέση ελέγχου	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εντός επιπέδου λ	Εντός επιπέδου έλεγχος από	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εκτός επιπέδου λ
1	κάτω	0.77	τέμνουσα	0.51
2	κάτω	0.88	τέμνουσα	0.29
3	κάτω	0.99	τέμνουσα	0.95
4	κάτω	0.63	τέμνουσα	0.72
5	κάτω	1.13	τέμνουσα	0.80
6	κάτω	0.59	κάμψη	0.68

Πίνακας 16. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών βόρειου τοίχου γυναικωνίτη.

Προκύπτει έτσι ότι δυτικός τοίχος καταπονείται ιδιαίτερα. Οι υπερβάσεις όμως εντοπίζονται σε μικρά στοιχεία που κρίνονται ως δευτερεύοντα, καθόσον η παράληψή τους στο προσομοίωμα θα επιβάρυνε ήπια τα γειτονικά στιβαρότερα στοιχεία.



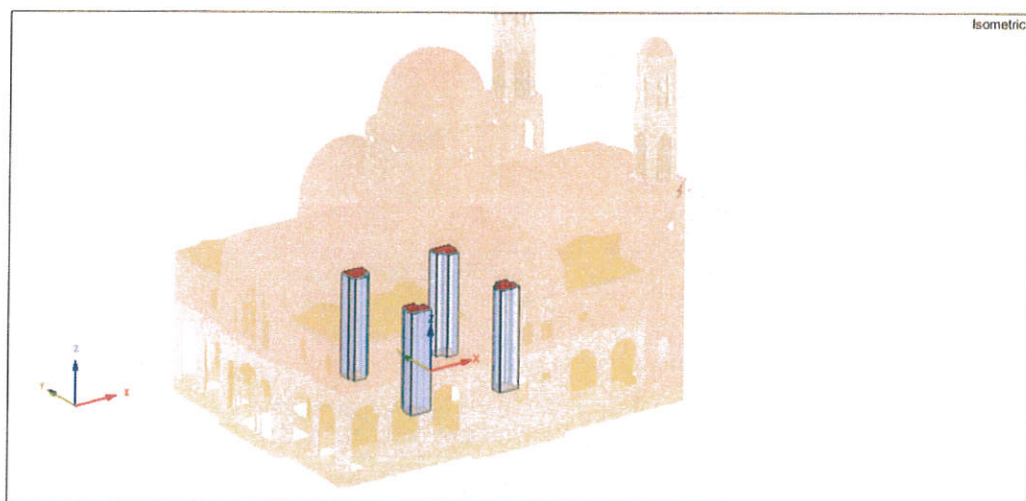
Καμπαναριά



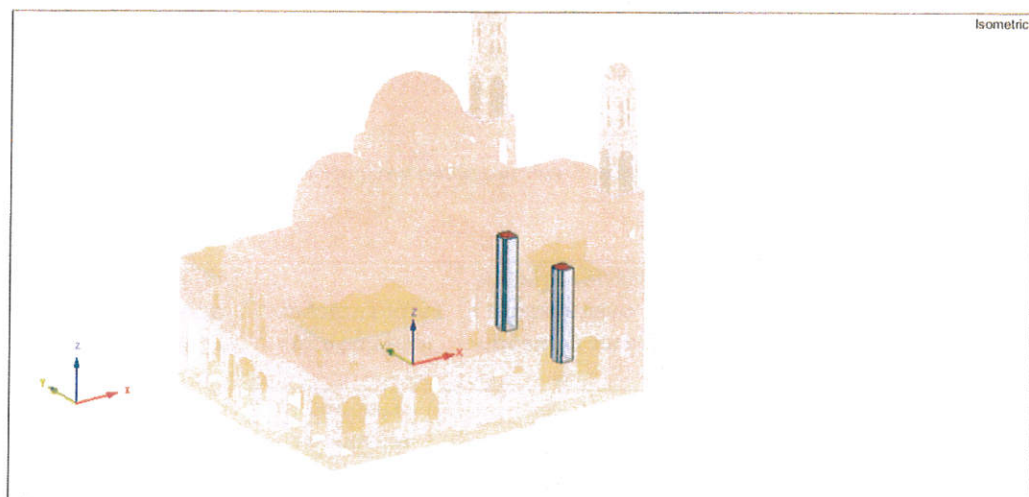
Εικόνα 52. Θέσεις και τιμές ελέγχου πεσσών κωδωνοστασίων.

Αριθμός πεσσού	Θέση ελέγχου	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εντός επιπέδου λ	Εντός επιπέδου έλεγχος από	Μέγιστος λόγος ανεπάρκειας εκτός επιπέδου λ
1	κάτω	0.26	τέμνουσα	0.51
2	κάτω	1.19	τέμνουσα	0.90
3	κάτω	0.52	κάμψη	1.07
4	κάτω	0.89	τέμνουσα	0.91
5	κάτω	0.95	κάμψη	1.45
6	κάτω	1.23	κάμψη	1.39
7	κάτω	0.83	τέμνουσα	1.27

Πίνακας 17. Λόγοι ανεπάρκειας διατομών καμπαναριού.



Εικόνα 53. Κεντρικά Υποστυλώματα.



Εικόνα 54. Υποστυλώματα Ιερού.