

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ - ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΜΕ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ ΑΠΟ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥΣ ΜΕ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ, ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ, ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΤΥΠΟΥ - ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.

ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ : Ο. Α. Σ. Π.

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ : ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ - ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑΣ.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ :

Κ. Α. ΣΥΡΜΑΚΕΖΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2004

**ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΕΜΠ:**

- 1) ΚΩΣΤΑΣ Α. ΣΥΡΜΑΚΕΖΗΣ
ΔΡ. ΠΟΛ. ΜΗΧ., ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ.
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
- 2) ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Κ. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ
ΔΙΠΛ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΕΜΠ.
- 3) ΠΕΤΡΟΥΛΑ Ν. ΠΑΠΑΕΥΑΓΓΕΛΙΟΥ
ΔΙΠΛ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΕΜΠ.
- 4) ΟΛΓΑ – ΧΡΙΣΤΙΝΑ Α. ΜΑΥΡΟΥΛΗ
ΔΙΠΛ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΕΜΠ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 1. Εισαγωγή**
- 2. Παραδοχές Μεθοδολογίας**
 - 2.1 Προσομοίωση της Κατασκευής
 - 2.2 Προσομοίωση των υλικών
 - 2.3 Προσομοίωση των δράσεων
- 3. Αποτελέσματα Ελέγχου Αστοχίας**
 - 3.1 Αποτελέσματα Ελέγχου Αστοχίας
- 4. Επεξεργασία Αποτελεσμάτων**
 - 4.1 Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων
 - 4.2 Καθορισμός Επιπέδων Βλάβης Κατασκευής
 - 4.3 Υπολογισμός (αθροιστικών) Πιθανοτήτων Βλάβης Κατασκευής
- 5. Ανάπτυξη Καμπυλών Θραυστότητας στην Μονή της Καισαριανής**
 - 5.1 Ανάπτυξη Καμπυλών Θραυστότητας
 - 5.2 Συμπεράσματα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) ανέθεσε στο Ε.Μ. Πολυτεχνείο την εκπόνηση Ερευνητικού Προγράμματος με αντικείμενο την «αποτίμηση απόκρισης σε σεισμικές δράσεις δομικών συνόλων με φέρουσα τοιχοποιία από οπτόπλινθους με συνδετικό υλικό κονιάματα παραδοσιακού τύπου – προδιαγραφές καταλλήλων υλικών».

Το πρόγραμμα εκπονήθηκε με παράλληλες δραστηριότητες, συνεργασία τριών εργαστηρίων του Ιδρύματος: α) στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, της Σχολής Χημικών Μηχανικών, με επιστημονική υπεύθυνο την Καθηγήτρια κ. Α. Μοροπούλου, η οποία έχει και την γενική ευθύνη του προγράμματος, β) στο εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών με επιστημονικό υπεύθυνο τον Καθηγητή κ. Π. Καρύδη, και γ) στο εργαστήριο Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών της σχολής Πολιτικών Μηχανικών, με επιστημονικό υπεύθυνο τον Καθηγητή κ. Κ. Α. Συρμακέζη (Εργαστήριο Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών).

Η παρούσα έκθεση είναι συμπληρωματική της αντίστοιχης που υποβλήθηκε προς τον Ο.Α.Σ.Π το Φεβρουάριο 2004. Το κείμενο που ακολουθεί περιγράφει την εκπόνηση του προγράμματος ως προς το τρίτο σκέλος του, που αφορά το Εργαστήριο Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών, και αναφέρεται στην αναλυτική εφαρμογή της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας στην εκ του μηδενός δημιουργία των καμπυλών θραυστότητας για την κατασκευή της Μονής Καισαριανής.

Για την δημιουργία των καμπύλων θραυστότητας, η κατασκευή επιλύθηκε με μέσες τιμές των ελαστικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας, για τέσσερις διαφορετικές τιμές συντελεστού σεισμικής επιτάχυνσης, ήτοι 0.16 g, 0.24g, 0.32g, 0.40g, οι οποίες αφενός μεν καλύπτουν τις απαιτήσεις του κανονισμού, αφετέρου δε υπερεκτιμούν - ορθώς για τους διδακτικούς σκοπούς της εφαρμογής - την αβεβαιότητα που ενέχει η εκτίμηση της αναμενόμενης σεισμικής διέγερσης.

Ως μεταβλητή παράμετρος παρατήρησης των πολλαπλών επιλύσεων της κατασκευής επιλέγεται η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας f_{wt} , αφού προέκυψε μετά από δοκιμές ότι ο κρίσιμος μηχανισμός αστοχίας υπό διαξονική ένταση καθορίζεται από την αντοχή σε εφελκυσμό. Το εύρος μεταβολής της, για σταθερή επιλεγείσα τιμή θλιπτικής αντοχής $f_{wc}=1300\text{KPa}$, ορίστηκε εμπειρικά από τη εύλογη διακύμανση f_{wt} από 120 μέχρι 480 KPa.

2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

2.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Για τον υπολογισμό των διαφόρων μεγεθών της απόκρισης του δομήματος, μορφώθηκε κατάλληλο προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων στο στατικό πρόγραμμα SAP2000, από ισότροπα επιφανειακά μέλη (shell elements) και από ισότροπα γραμμικά μέλη (frame elements), το οποίο θεωρείται ότι αναπαριστά με επαρκή αξιοπιστία τις ιδιότητες του πραγματικού δομήματος και προσεγγίζει έτσι με ικανοποιητική ακρίβεια τα βασικά (εντατικά και παραμορφωσιακά) μεγέθη της απόκρισης του.

Για την ανάλυση του φορέα του υπό μελέτη ναού της ιεράς Μονής της Καισαριανής, χρησιμοποιήθηκε ένα χωρικό (τρισδιάστατο) προσομοίωμα. Για την ανάπτυξη του δικτύου του κτίσματος χρησιμοποιήθηκαν 3549 κόμβοι, 3444 επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία και 32 γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία. Η διακριτοποίηση της κατασκευής έγινε με όμοια τετραγωνικά επιφανειακά στοιχεία διαστάσεων 0.50x0.50. Στα σχήματα 1,2,3,4 που ακολουθούν απεικονίζεται το τελικό δίκτυο των πεπερασμένων στοιχείων, που χρησιμοποιήθηκε για την εξιδανίκευση του ναού.

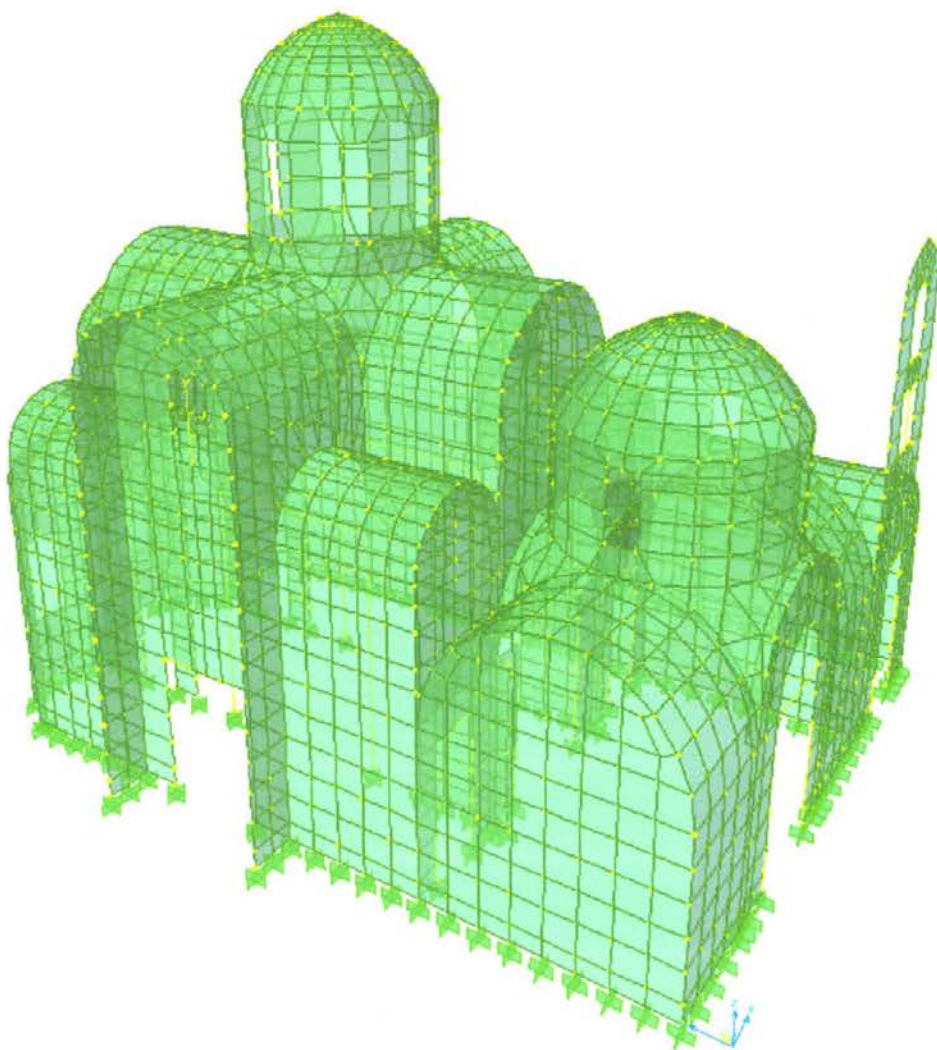
Η ανάπτυξη των δικτύων των πεπερασμένων στοιχείων έγινε με τρόπο ώστε η ιδεατή συγκέντρωση των μαζών στους κόμβους να βοηθά στην πιστότερη προσομοίωση της πραγματικής κατανομής της μάζας, εξασφαλίζοντας έτσι και την καλύτερη προσομοίωση των αδρανειακών φορτίων στην κατασκευή, για την δυναμική ανάλυση.

Για τον πλήρη καθορισμό της παραμόρφωσης του συστήματος στον χώρο, λήφθηκαν υπόψη για κάθε κόμβο 6 βαθμοί ελευθερίας ως προς ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων Oxyz, δηλαδή τρεις μεταθέσεις κατά

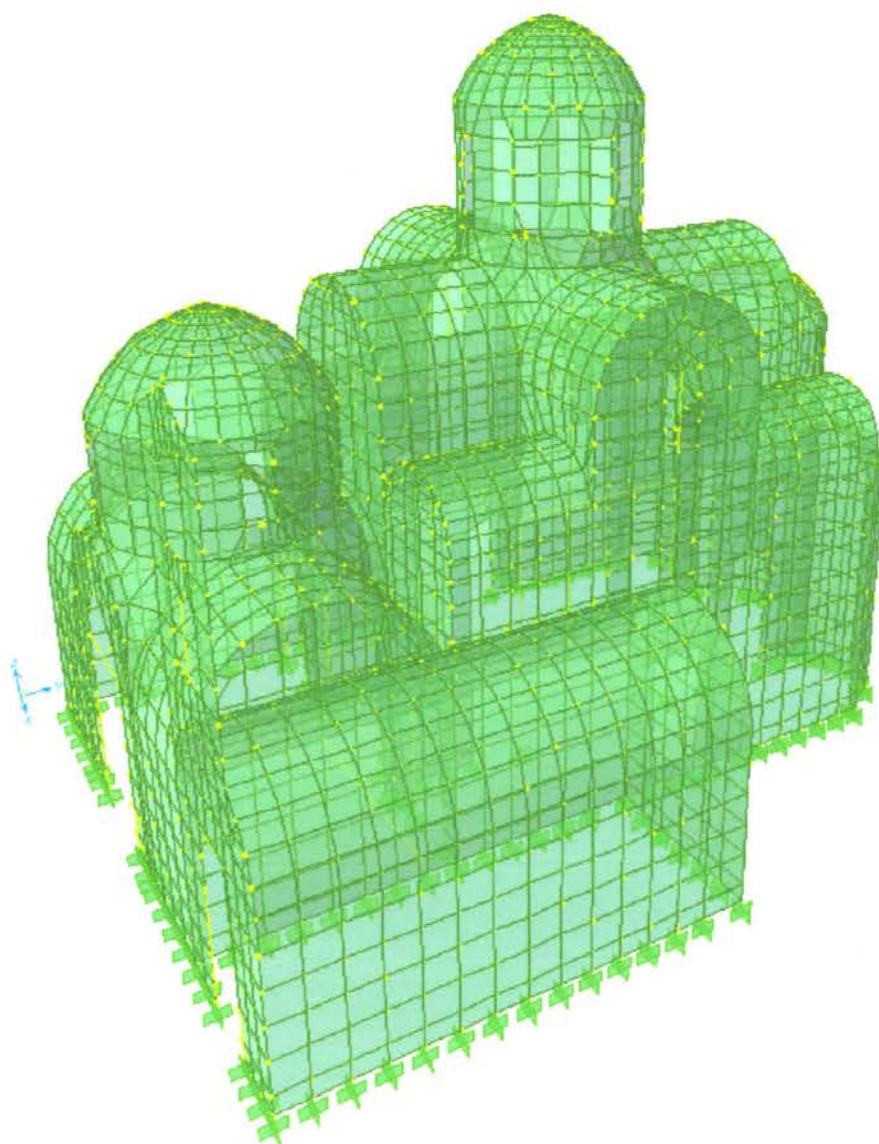
τους άξονες x,y,z , και τρεις στροφές με διανύσματα παράλληλα προς τους ίδιους άξονες.

Στην στάθμη της θεμελίωσης οι κόμβοι των πεπερασμένων στοιχείων έχουν έξι δεσμεύσεις, τρεις δεσμεύσεις μετάθεσης κατά τους άξονες Ox , Oy και Oz και τρεις δεσμεύσεις στροφής με διάνυσμα παράλληλο στον άξονα Ox , Oy και Oz .

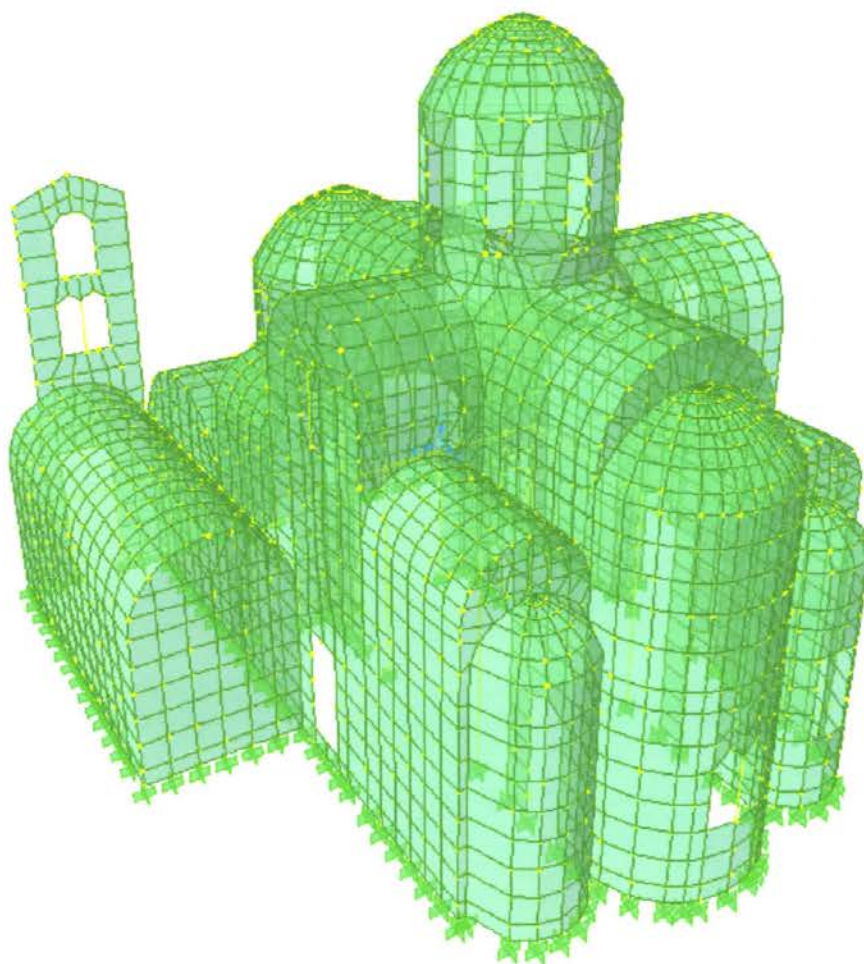
Τα διάφορα γεμίσματα από πέτρες στους τρούλους, τις αψίδες και τις καμάρες ελήφθησαν σαν συγκεντρωμένες μάζες στους κόμβους των πεπερασμένων στοιχείων, ώστε να συμμετάσχουν στην δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής.



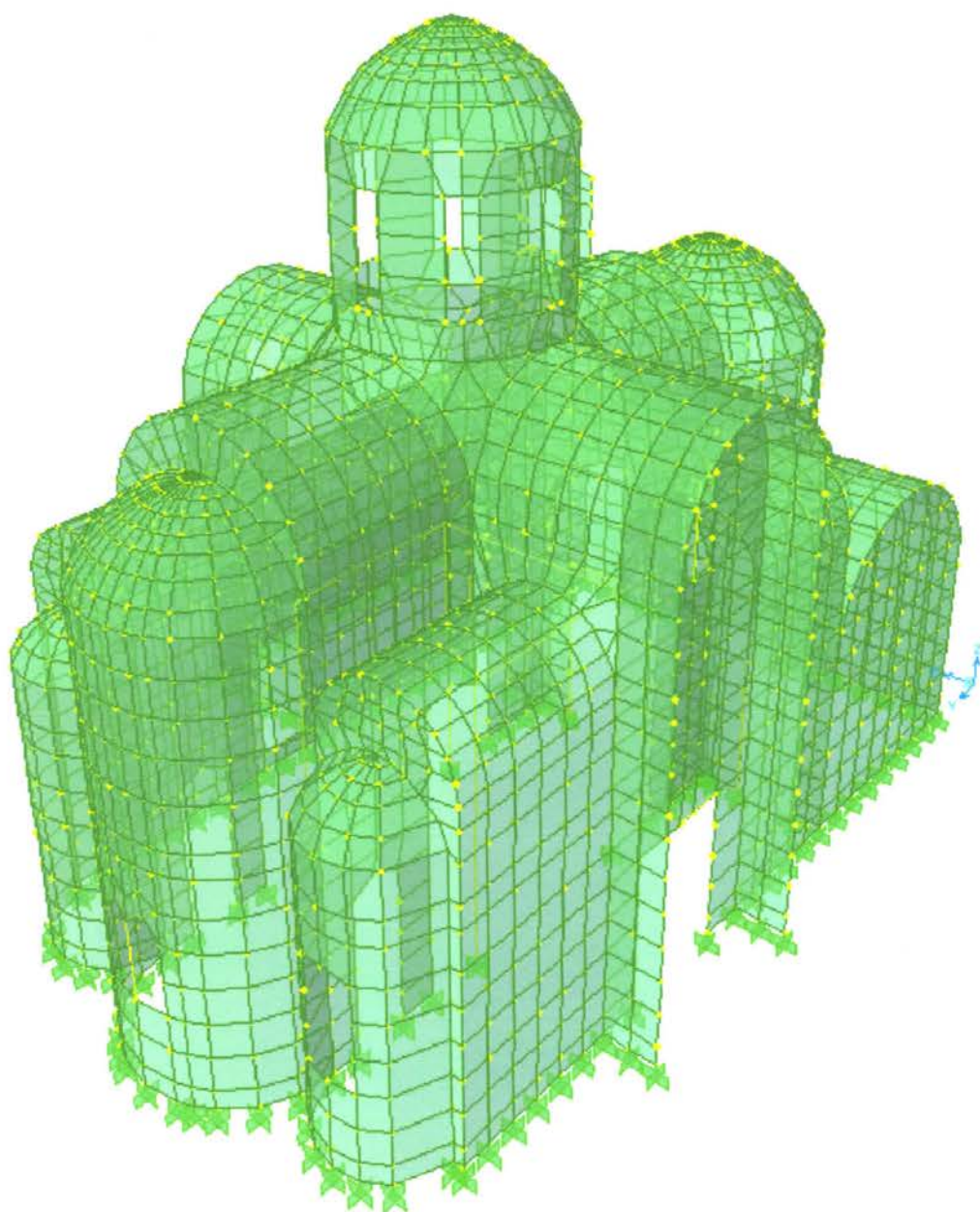
Σχήμα 1: Προσομοίωμα του φορέα του ναού, από τη βορειοδυτική γωνία



Σχήμα 2: Προσομοίωμα του φορέα του ναού από την νοτιοδυτική γωνία



Σχήμα 3: Προσομοίωμα του φορέα του ναού από την νοτιανατολική γωνία



Σχήμα 4: Προσομοίωμα του φορέα του ναού από την βορειανατολική γωνία

2.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Όσον αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά τοιχοποιίας ελήφθησαν, ως μέτρο ελαστικότητας $E=1300\text{Mpa}$, λόγος Poisson $\nu=0.3$ και ειδικό βάρος $\gamma = 18\text{KN/m}^3$.

2.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ

Στην παρούσα μελέτη, σύμφωνα με τον Κανονισμό Φορτίσεων Οικοδομικών Έργων, τον Ε.Α.Κ, τον Ε.Κ.Ω.Σ, τον Ευρωκώδικα 1, τον Ευρωκώδικα 8 και τον Ευρωκώδικα 6 (κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία), λήφθηκαν υπόψη τα παρακάτω φορτία για την κατασκευή:

1. Μόνιμες φορτίσεις

- α) ίδιο βάρος
- β) βάρος από τα κεραμίδια της στέγης

2. Σεισμικές δράσεις (αδρανειακές δυνάμεις στο σύνολο της κατασκευής)

Με συνεκτίμηση κατάλληλων μερικών συντελεστών ασφαλείας, οι συνδυασμοί φόρτισης για τους οποίους ελέγχεται η κατασκευή είναι τελικά οι ακόλουθοι:

- 1) $1.35 \cdot G + 1.50 \cdot Q$
- 2) $1.00 \cdot G \pm 1.00 \cdot E_x \pm 0.30 \cdot E_y$
- 3) $1.00 \cdot G \pm 1.00 \cdot E_y \pm 0.30 \cdot E_x$

όπου:

G: μόνιμες φορτίσεις

E_x και E_y : σεισμικές φορτίσεις

Σύμφωνα με τις αντίστοιχες διατάξεις του ΕΑΚ, εφαρμόζεται η δυναμική φασματική μέθοδος. Με την μέθοδο αυτή υπολογίζονται οι πιθανές ακραίες τιμές τυχόντος μεγέθους απόκρισης με τετραγωνική επαλληλία των ιδιομορφικών τιμών του υπόψη μεγέθους (SRSS Method). Κατά την εφαρμογή της μεθόδου αρκεί η θεώρηση των δύο οριζόντιων (και κάθετων μεταξύ τους) συνιστωσών του σεισμού.

Για κάθε συνιστώσα της σεισμικής διέγερσης λαμβάνεται υποχρεωτικά υπόψη ένας αριθμός ιδιομορφών, έως ότου το άθροισμα των δροσών ιδιομορφικών μαζών ΣM_i φθάσει στο 90% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας M του συστήματος.

Η συνολική ταλαντούμενη μάζας M του συστήματος, του φορέα, προκύπτει από τα κατακόρυφα φορτία $G + \psi_2 Q_K$, σύμφωνα με τον ΕΑΚ. Το ψ_2 είναι συντελεστής συνδυασμού για τις δράσεις. Για την περίπτωση του της κατασκευής αυτής $\psi_2 = 0,3$.

Για το φάσμα σχεδιασμού το Φ_d υπολογίζεται ως εξής :

$$0 \leq T \leq T_1 : \quad \Phi_d = \gamma_1 \cdot A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_o}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 : \quad \Phi_d = \gamma_1 \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_o}{q}$$

$$T \geq T_2 : \quad \Phi_d = \gamma_1 \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_o}{q} \left(\frac{T_2}{T} \right)^{\frac{2}{3}}$$

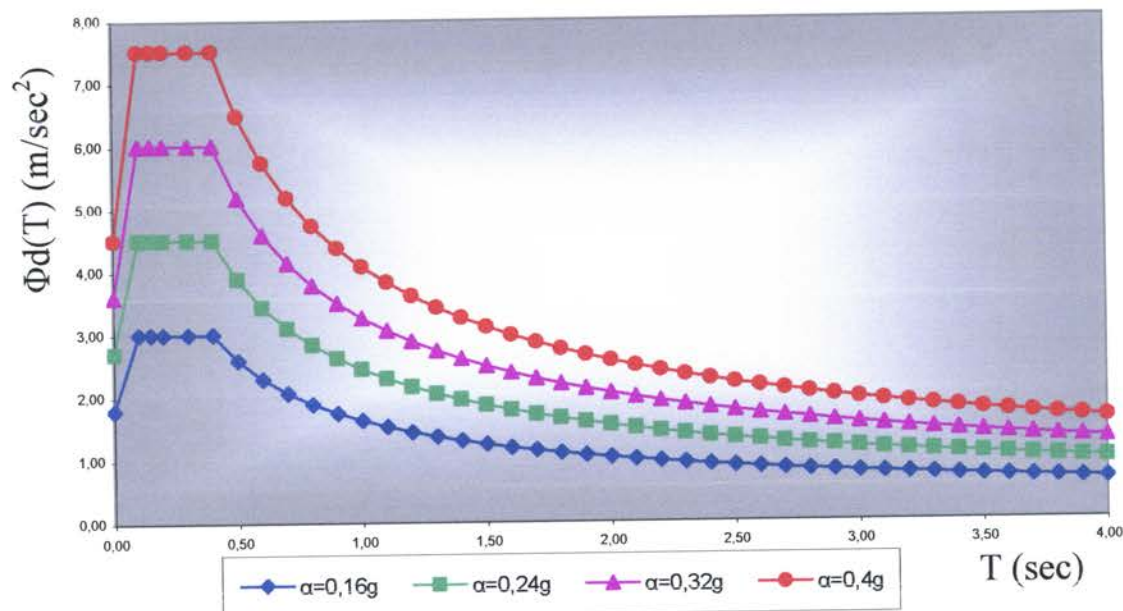
όπου για την περίπτωση της υπόψη κατασκευής λαμβάνονται :

$\gamma_1 = 1,15$ συντελεστής σπουδαιότητας της κατασκευής,
 $q = 1,50$ συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής,
 $\eta = 1,0$ διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό απόσβεσης

$$\zeta = 5\%, \text{ με } \eta = \sqrt{\frac{7}{2+\zeta}} \geq 0.7,$$

$\theta = 1,0$ συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης,
 $T_1=0,10, T_2=0,40$ χαρακτηριστικές περίοδοι του φάσματος,
 $\beta_0 = 2,5$ συντελεστής φασματικής ενίσχυσης,
 A κατηγορία εδάφους

Για τις τέσσερις περιπτώσεις οριζοντίων σεισμικών επιταχύνσεων $\alpha=0,16g$, $\alpha=0,24g$, $\alpha=0,32g$ και $\alpha=0,40g$ το Φ_d φαίνεται στο σχήμα 5.



Σχήμα 5. Φάσμα σχεδιασμού.

Ως το προσφορότερο , για την τελική ποσοτικοποίηση της τρωτότητας της κατασκευής, μέτρο σεισμικής εντάσεως , επιλέγεται η PGA , συμβατή και με την έκφραση της σεισμικής φόρτισης μέσω φασματικής απόκρισης.

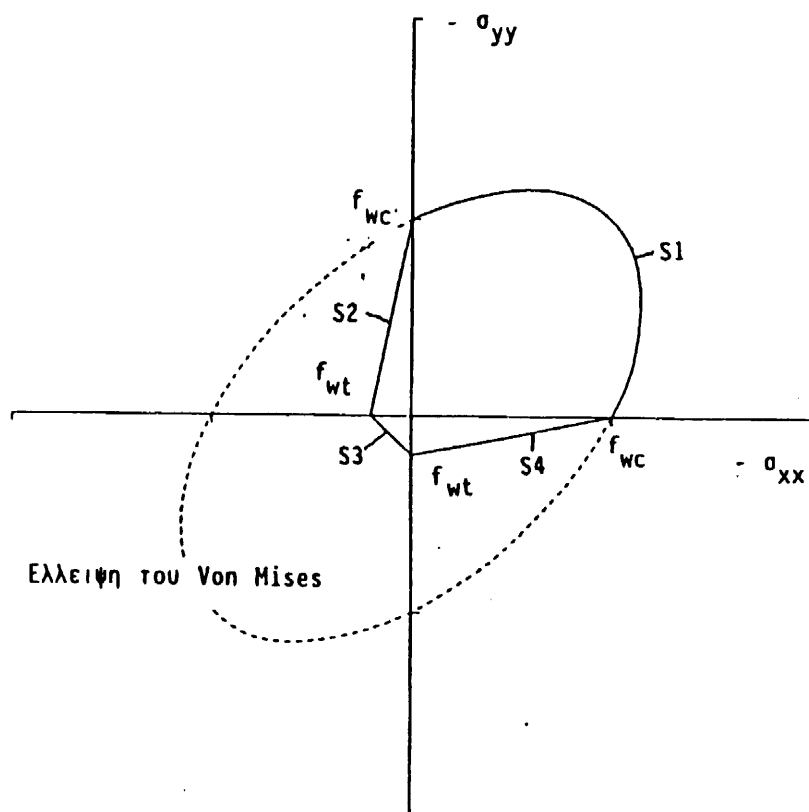
Η κατασκευή επιλύεται με μέσες τιμές των ελαστικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας για τέσσερις διαφορετικές τιμές εδαφικής επιτάχυνσης PGA, ήτοι 0.16g, 0.24g, 0.32g και 0.40g, οι οποίες καλύπτουν τις απαιτήσεις του κανονισμού, αφετέρου υπερεκτιμούν – ορθώς για τους διδακτικούς σκοπούς της εφαρμογής - την αβεβαιότητα που ενέχει η εκτίμηση της αναμενόμενης σεισμικής διέγερσης.

Ως μεταβλητή παράμετρος παρατήρησης των πολλαπλών επιλύσεων της κατασκευής επιλέγεται η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας f_{wt} , αφού προέκυψε μετά από δοκιμές ότι ο κρίσιμος μηχανισμός αστοχίας υπό διαξονική ένταση καθορίζεται από την αντοχή σε εφελκυσμό. Το εύρος μεταβολής της, για σταθερή επιλεγείσα τιμή $f_{wc}=1300\text{KPa}$, ορίστηκε εμπειρικά από τη εύλογη διακύμανση f_{wt} από 120 μέχρι 480 KPa.

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Όπως επιβάλλει η βασική μεθοδολογία γένεσης των καμπυλών θραυστότητας, το υπολογιστικό προσομοίωμα της κατασκευής επιλύεται για κάθε τιμή μέτρου σεισμικής εντάσεως (PGA) και ελέγχεται με βάση το κατάλληλο επιλεγέν κριτήριο αστοχίας για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς (f_{wt} , f_{wc}). Για την παρούσα έρευνα, χρησιμοποιείται ως επιφάνεια αστοχίας μια τροποποιημένη επιφάνεια της επιφάνειας αστοχίας του *Von Mises*. Η επιφάνεια αυτή ορίζεται από την ένωση τεσσάρων επιφανειών S1, S2, S3, S4 όπως φαίνεται σε τομή στο επίπεδο $(\sigma_{xx}, \sigma_{yy})$ στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6. Έλλειψη Von Mises.

Οι τέσσερις αυτές επιφάνειες μπορούν να εκφραστούν από τις παρακάτω εξισώσεις:

S1 (Ελλειψη Von Mises) για σ_{xx} και $\sigma_{yy} \leq 0$:

$$\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 - \sigma_{xx} \sigma_{yy} + 3 \tau^2 - f_{wc}^2 = 0$$

S2 για $\sigma_{xx} \geq 0$ και $\sigma_{yy} \leq 0$:

$$\sigma_{yy} + (1 - \sigma_{xx} / a) \sqrt{f_{wc}^2 - 3 \tau^2} = 0$$

$$\text{όπου } a = \left(f_{wt} / f_{wc} \right) \sqrt{f_{wc}^2 - 3 \tau^2}$$

S3 για σ_{xx} και $\sigma_{yy} \geq 0$:

$$\sigma_{xx} + \sigma_{yy} - a = 0$$

S4: η συμμετρική της S2 ως προς το διχοτομούν επίπεδο του πρώτου τεταρτημορίου.

Στις παραπάνω σχέσεις:

f_{wc} : η θλιπτική αντοχή θραύσης,

f_{wt} : η εφελκυστική αντοχή θραύσης.

Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις της επιφάνειας αστοχίας, τα αποτελέσματα της ανάλυσης και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών της κατασκευής γίνεται ο έλεγχος σε αστοχία της κατασκευής. Συγκεκριμένα, με το ειδικό για το σκοπό αυτό πρόγραμμα FAILURE1, το οποίο αξιοποιεί όλα τα πιο πάνω, προσδιορίζονται οι περιοχές της κατασκευής οι οποίες αστοχούν.

Ειδικότερα, για κάθε πεπερασμένο στοιχείο (εδώ SHELL ELEMENT), το πρόγραμμα ανάλυσης, δίνει τις τιμές των ορθών και των διατμητικών τάσεων για κάθε κορυφή του, τόσο για τα σημεία της μίας όψης (TOP) όσο και για τα σημεία της άλλης όψης (BOTTOM).

Στο πρόγραμμα FAILURE1 για κάθε κόμβο ελέγχεται αν η τριάδα των όρων των ορθών τάσεων που αντιστοιχεί στον υπόψη κόμβο οδηγεί σε αστοχία αυτού ή όχι. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται και για τις δύο πλευρές κάθε τοιχοποιίας.

Επίσης στο πρόγραμμα FAILURE1 γίνεται διάκριση για το είδος της αστοχίας του κόμβου που αστοχεί ως εξής:

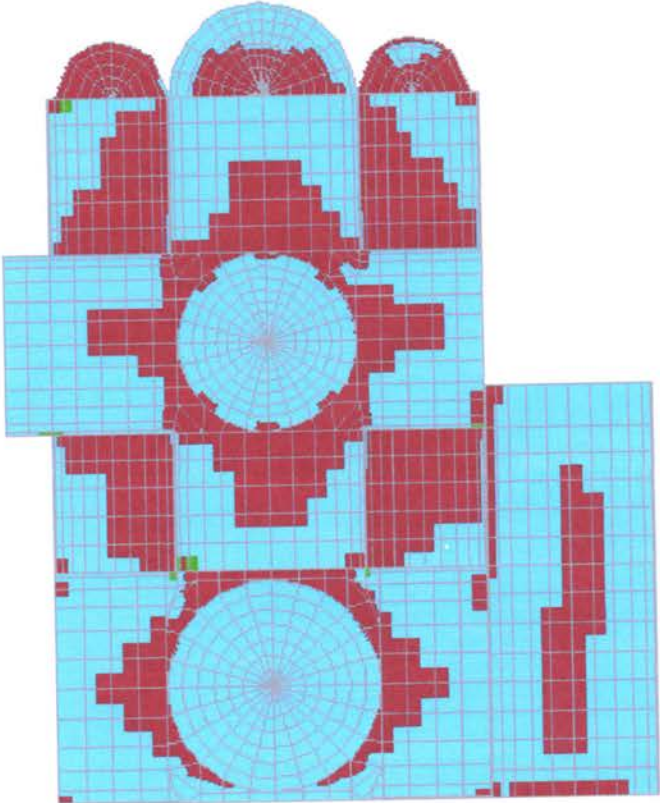
BC: Αστοχία υπό διαξονική θλίψη (Biaxial Compression)






BCT: Αστοχία υπό διαξονική ετερόσημη ένταση
(Biaxial Compression/Tension)

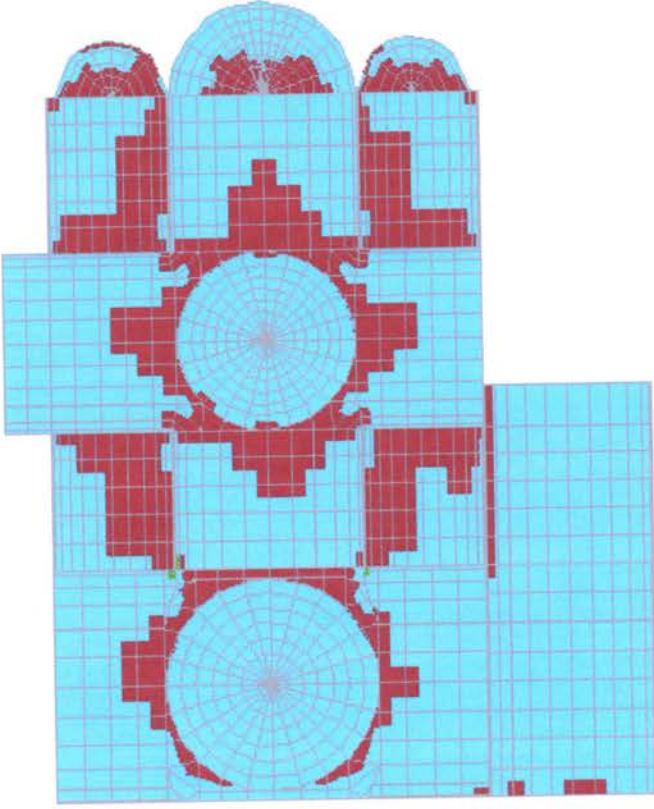
BTC: Αστοχία υπό διαξονική ετερόσημη ένταση
(Biaxial Tension/Compression)

BT: Αστοχία υπό διαξονικό εφελκυσμό (Biaxial Tension)

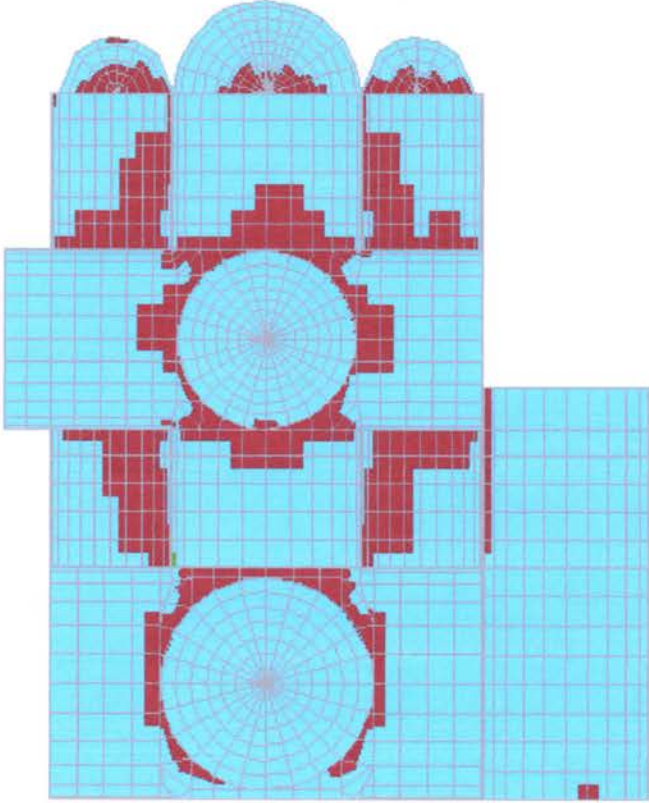
Στα σχήματα που ακολουθούν δίνονται ενδεικτικά αποτελέσματα ελέγχων αστοχίας μερικών τοίχων για κάθε τιμή μέτρου σεισμικής εντάσεως (PGA), για ένα εύρος εφελκυστικών αντοχών τοιχοποιίας και για τον συνδυασμό 2 φόρτισης.

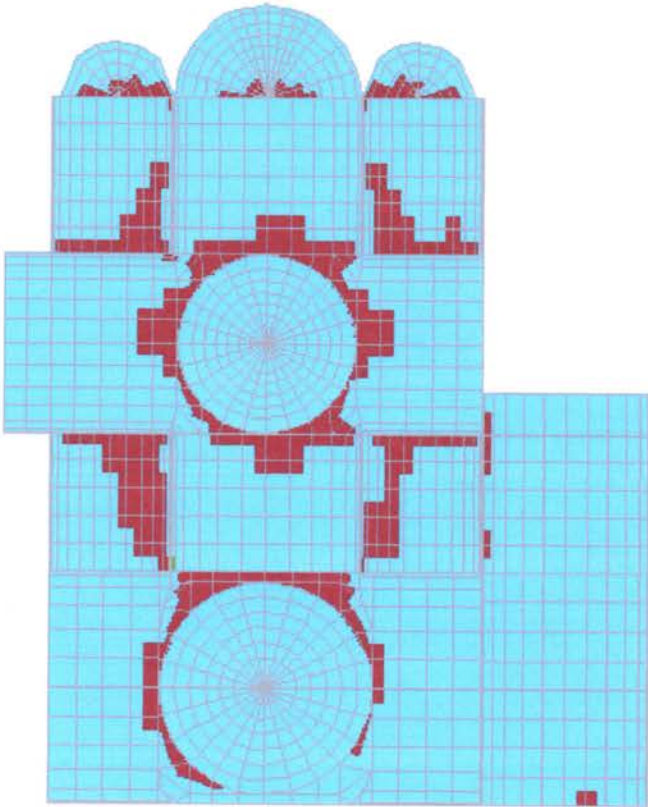
Case PGA.1	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=120\text{KPa}$	

 Failure under biaxial Tension/Tension  Failure under biaxial Tension/ Compression  Failure under biaxial Compression /Tension  Failure under biaxial Compression/ Compression  NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2

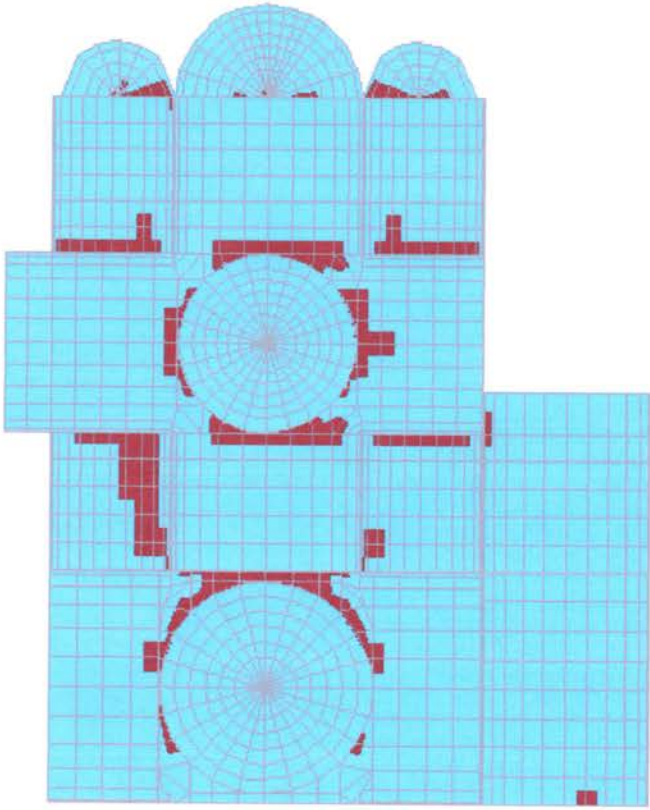
Case PGA.1	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=160\text{KPa}$	

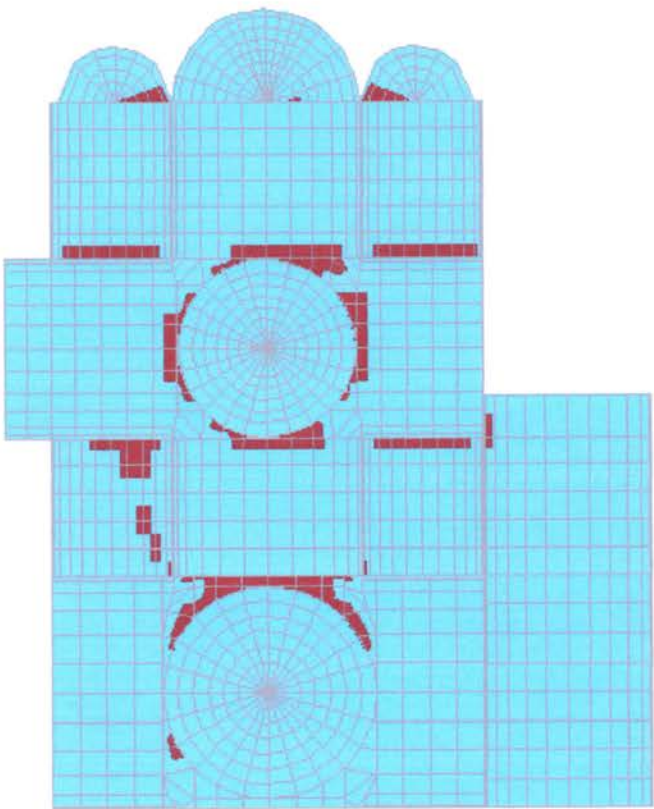
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: green; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: orange; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: blue; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: cyan;"></div> </div>	<p>Failure under biaxial Tension/Tension</p> <p>Failure under biaxial Tension/ Compression</p> <p>Failure under biaxial Compression /Tension</p> <p>Failure under biaxial Compression/ Compression</p> <p>NON Failure</p>
WALL: 1	Loading Number:2

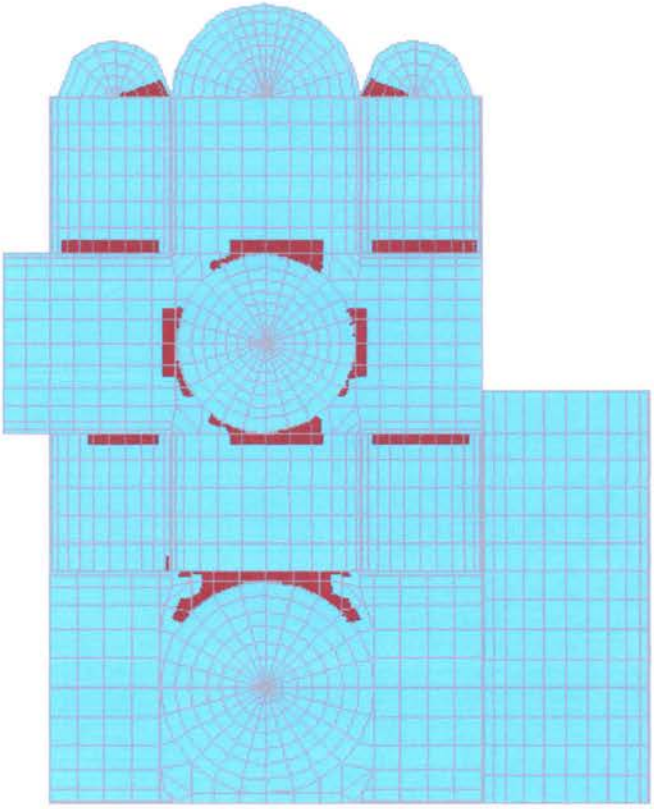
Case PGA.1	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=200\text{KPa}$	
<div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression /Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

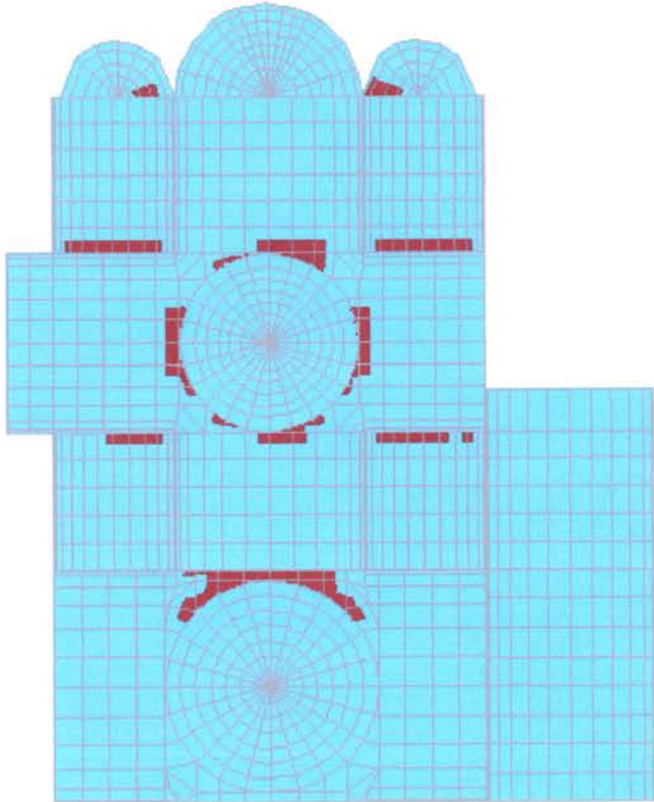
Case PGA.1	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=240\text{KPa}$	






<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: green; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: orange; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: blue; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: cyan; margin-bottom: 2px;"></div> </div>	<p>Failure under biaxial Tension/Tension</p> <p>Failure under biaxial Tension/ Compression</p> <p>Failure under biaxial Compression /Tension</p> <p>Failure under biaxial Compression/ Compression</p> <p>NON Failure</p>
WALL: 1	Loading Number:2

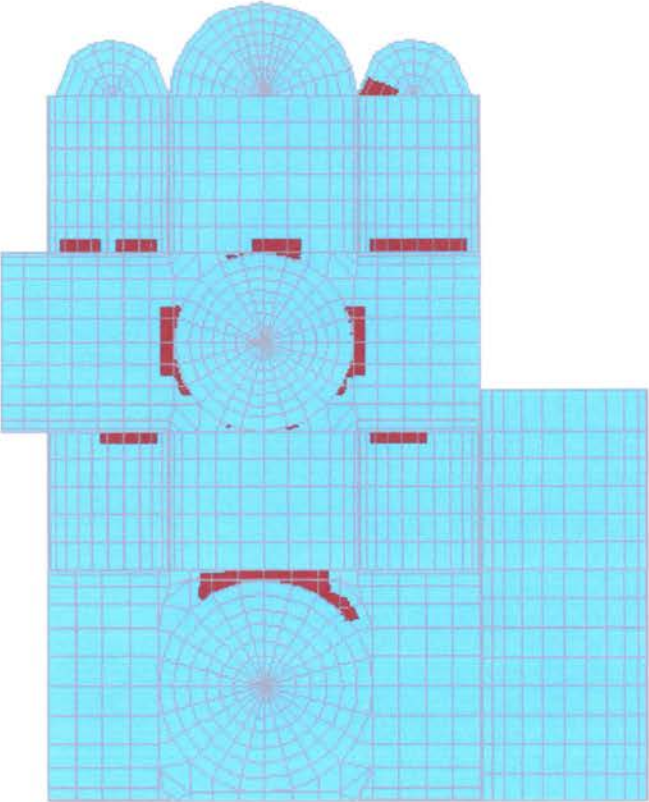
Case PGA.1	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=280\text{KPa}$	
<div> <div></div> Failure under biaxial Tension/Tension <div></div> Failure under biaxial Tension/ Compression <div></div> Failure under biaxial Compression /Tension <div></div> Failure under biaxial Compression/ Compression <div></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

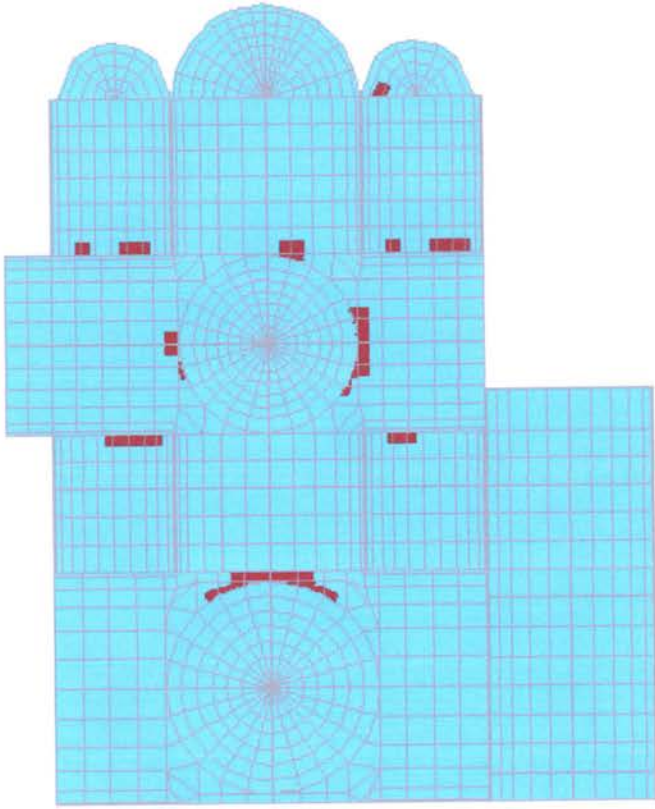
Case PGA.1	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=320\text{KPa}$	
<div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: brown; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression /Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

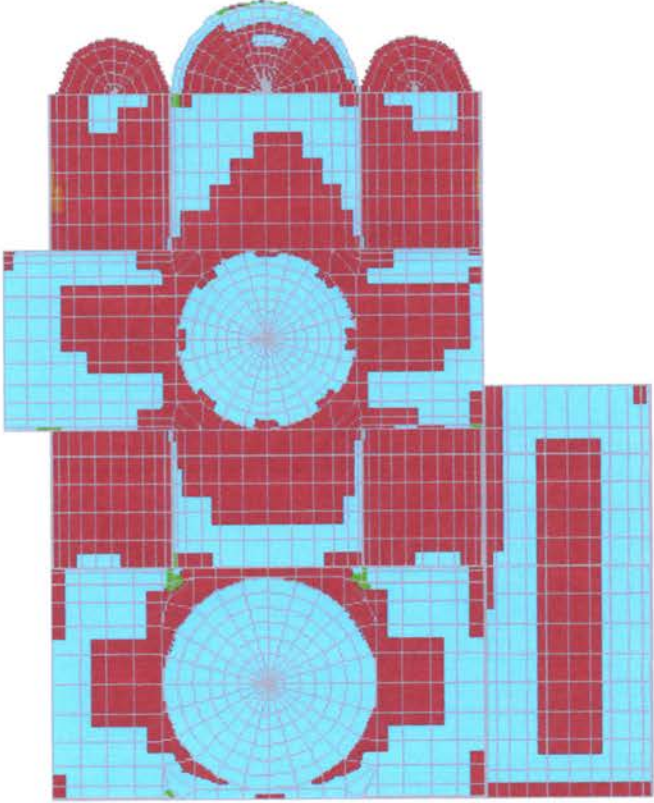
Case PGA.1	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=360\text{KPa}$	
<div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression /Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

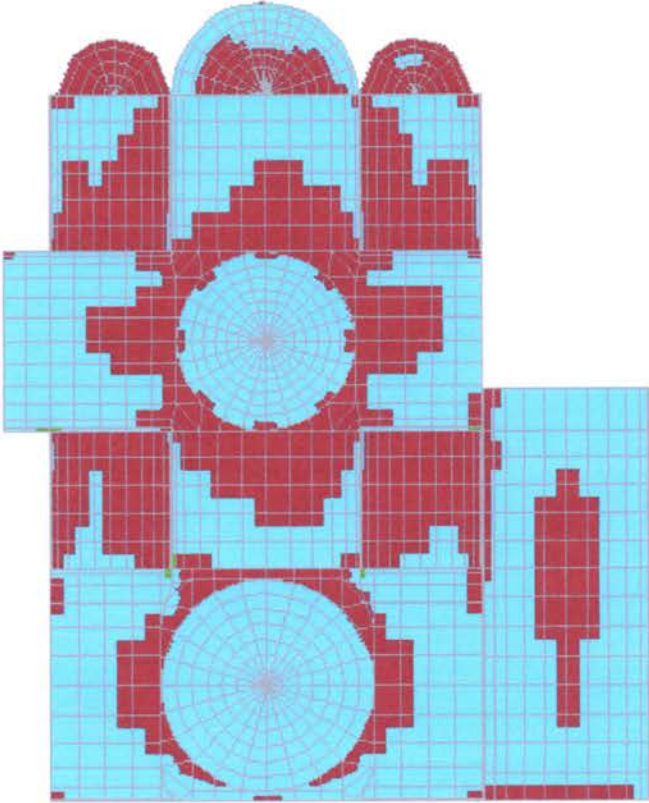
Case PGA.1	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=400\text{KPa}$	

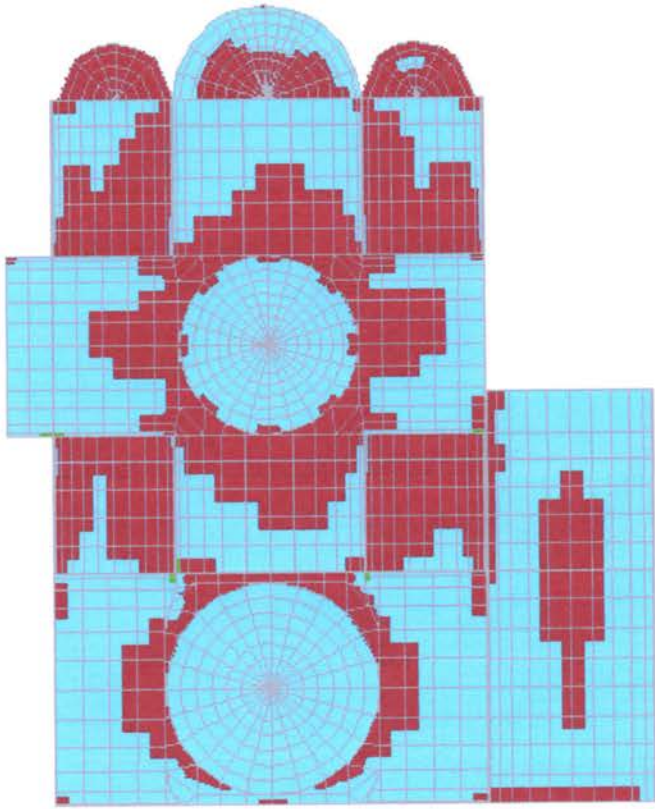
 Failure under biaxial Tension/Tension  Failure under biaxial Tension/ Compression  Failure under biaxial Compression /Tension  Failure under biaxial Compression/ Compression  NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2

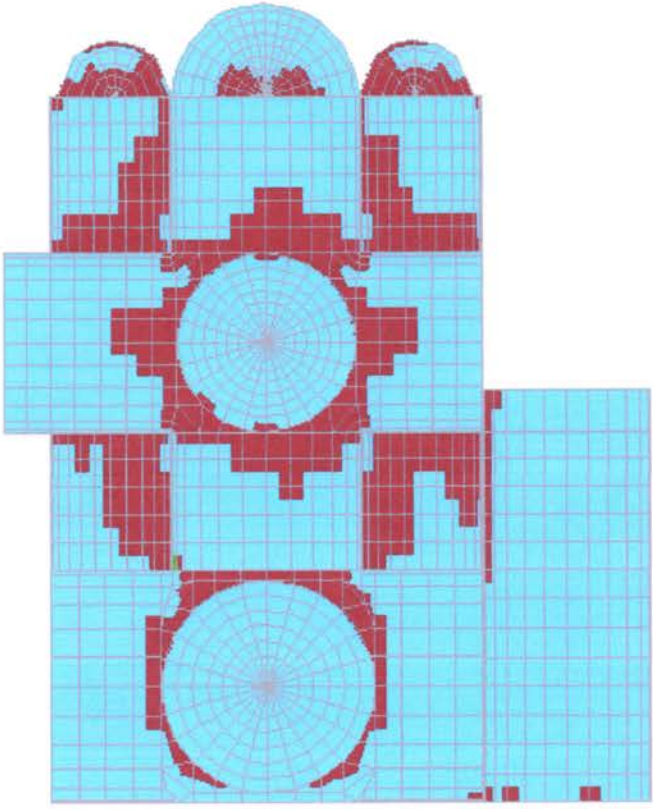
Case PGA.1	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=440\text{KPa}$	
<div> <div></div> Failure under biaxial Tension/Tension <div></div> Failure under biaxial Tension/ Compression <div></div> Failure under biaxial Compression /Tension <div></div> Failure under biaxial Compression/ Compression <div></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

Case PGA.1	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=480\text{KPa}$	
<div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression /Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

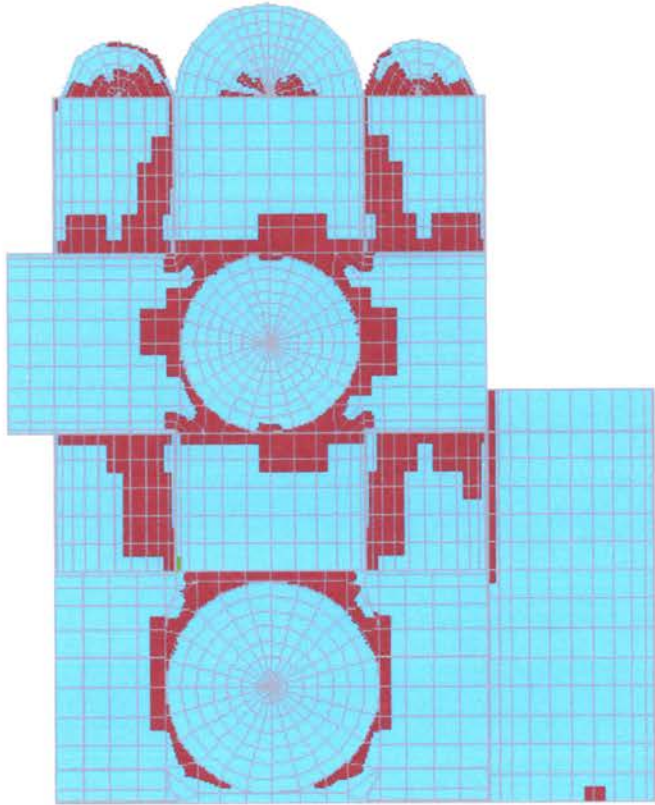
Case PGA.2	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=120\text{KPa}$	
<div> <div></div> Failure under biaxial Tension/Tension <div></div> Failure under biaxial Tension/ Compression <div></div> Failure under biaxial Compression /Tension <div></div> Failure under biaxial Compression/ Compression <div></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

Case PGA.2	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=160\text{KPa}$	
<div> <div></div> Failure under biaxial Tension/Tension <div></div> Failure under biaxial Tension/ Compression <div></div> Failure under biaxial Compression /Tension <div></div> Failure under biaxial Compression/ Compression <div></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

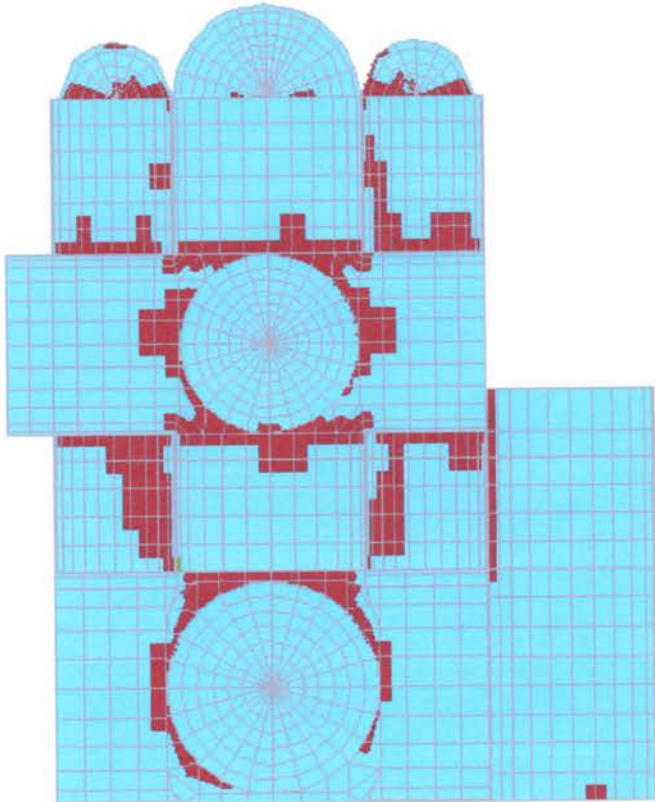
Case PGA.2	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=200\text{KPa}$	
<div> <div></div> Failure under biaxial Tension/Tension <div></div> Failure under biaxial Tension/ Compression <div></div> Failure under biaxial Compression /Tension <div></div> Failure under biaxial Compression/ Compression <div></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

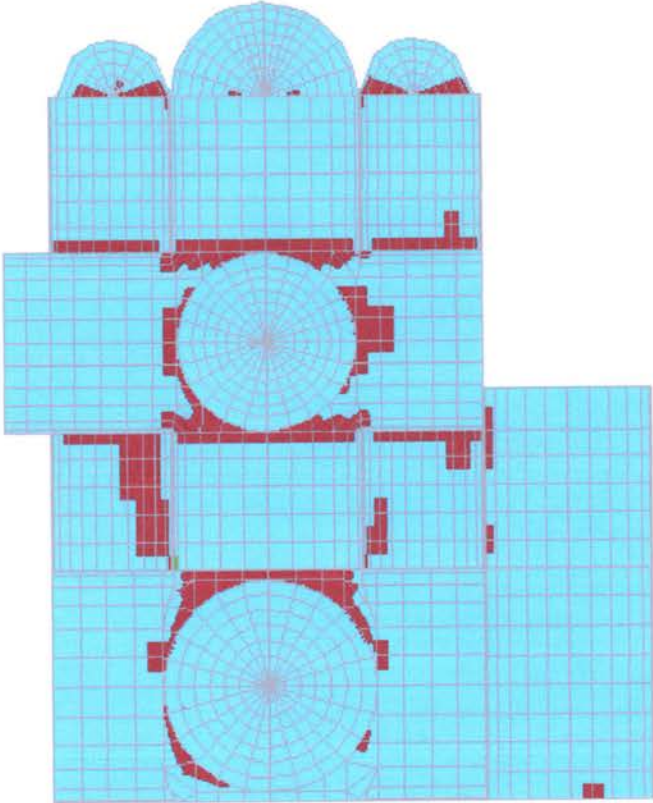
Case PGA.2	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=240\text{KPa}$	

<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression /Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> <div>NON Failure</div> </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

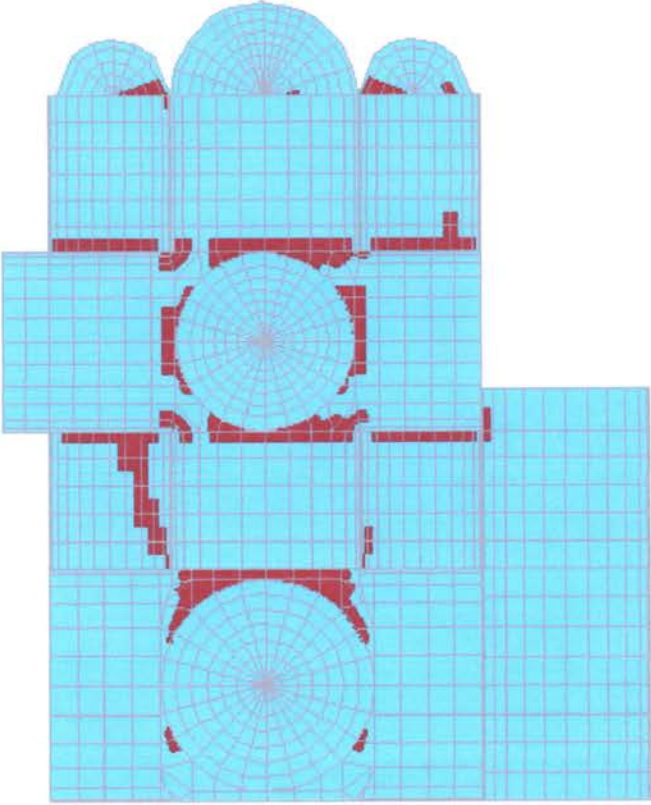
Case PGA.2	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=280\text{KPa}$	

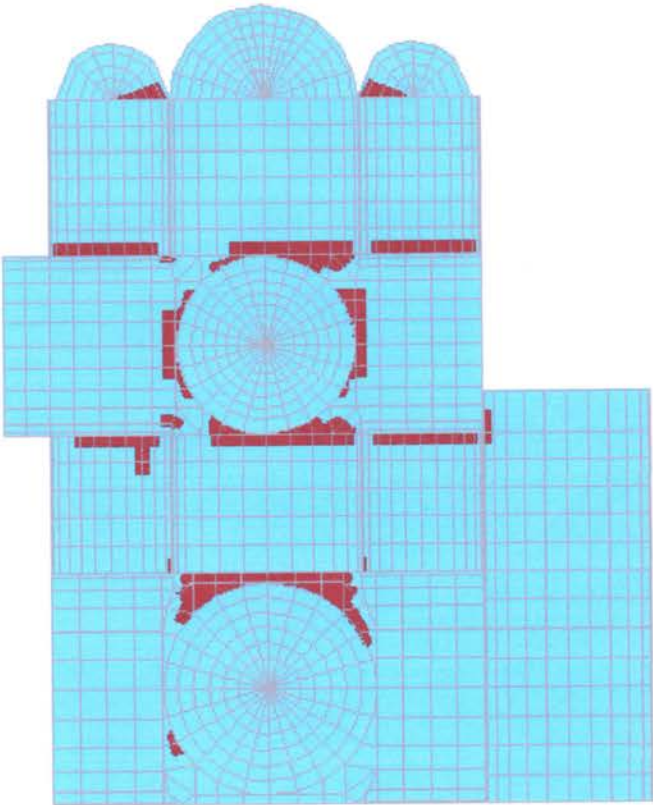
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: green; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: orange; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: blue; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: cyan; margin-bottom: 5px;"></div> </div>	<p>Failure under biaxial Tension/Tension</p> <p>Failure under biaxial Tension/ Compression</p> <p>Failure under biaxial Compression /Tension</p> <p>Failure under biaxial Compression/ Compression</p> <p>NON Failure</p>
WALL: 1	Loading Number:2

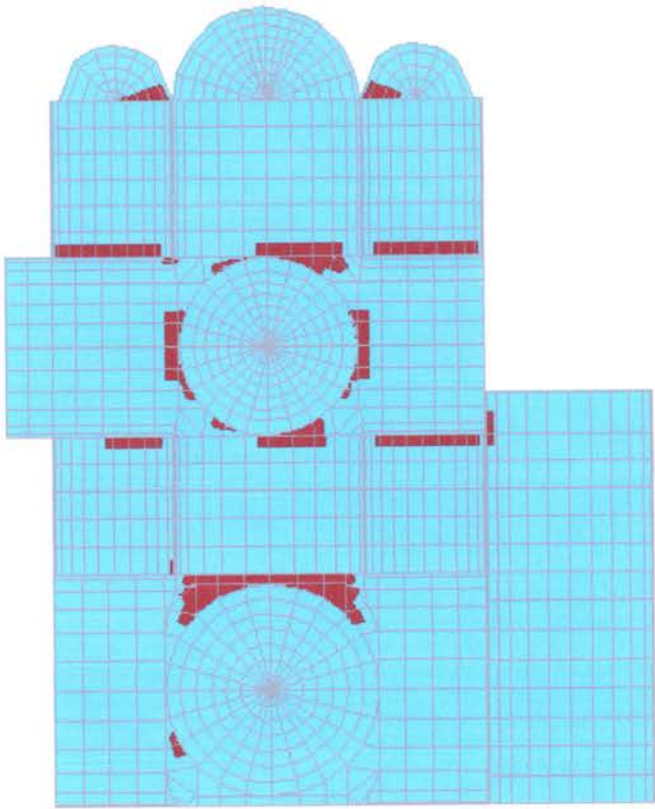
Case PGA.2	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=320\text{KPa}$	
<div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression /Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

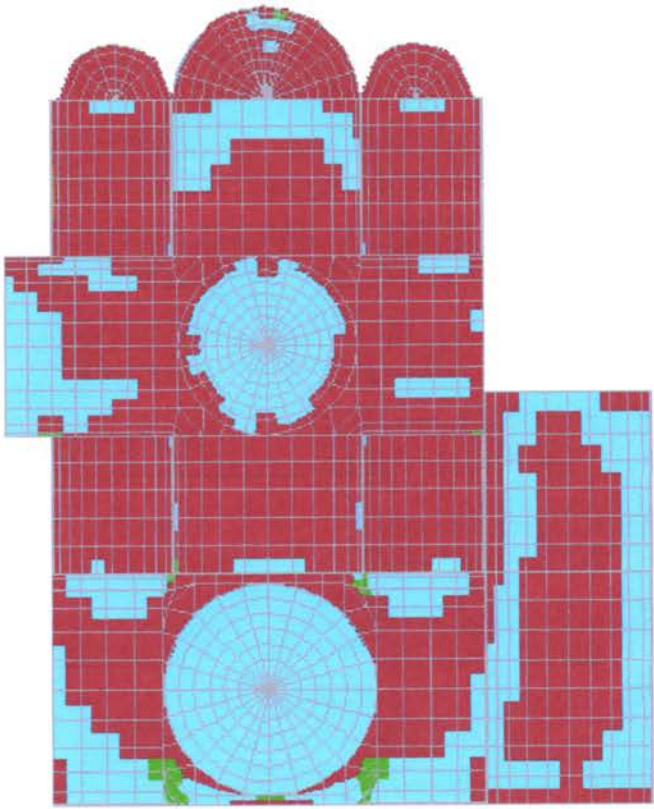
Case PGA.2	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=360\text{KPa}$	






<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/Tension </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/ Compression </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression /Tension </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression/ Compression </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

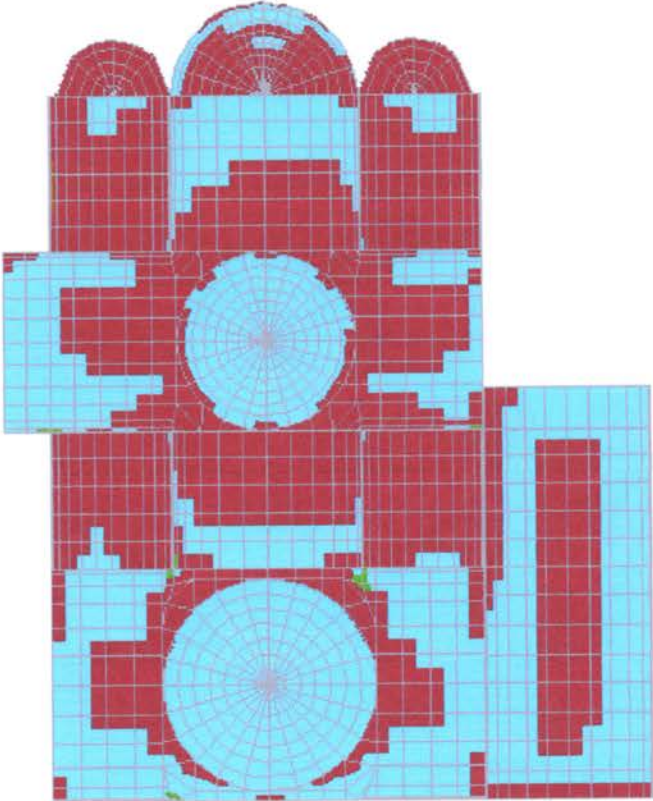
Case PGA.2	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=400\text{KPa}$	
<div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression /Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

Case PGA.2	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=440\text{KPa}$	
<div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression /Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

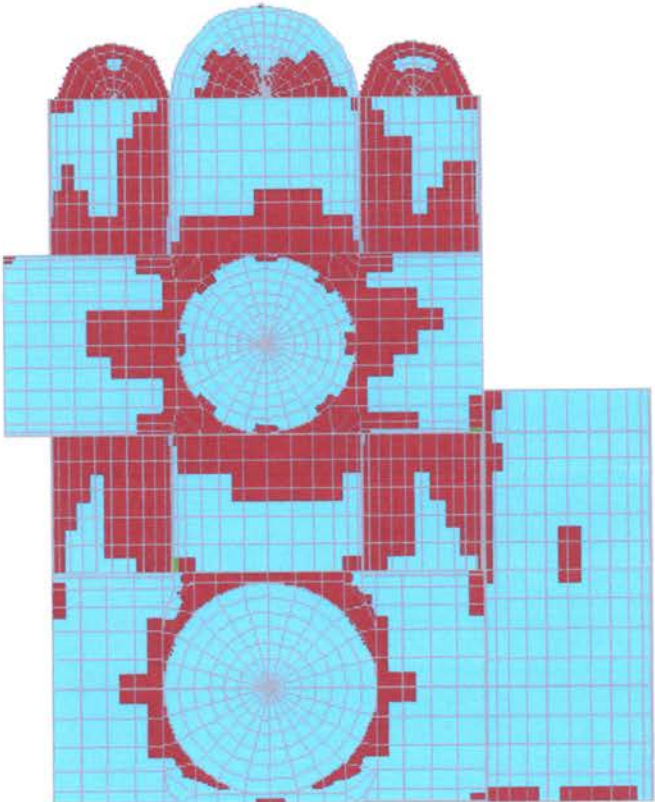
Case PGA.2	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=480\text{KPa}$	
<div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: brown; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression /Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2






Case PGA.3	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=120\text{KPa}$	

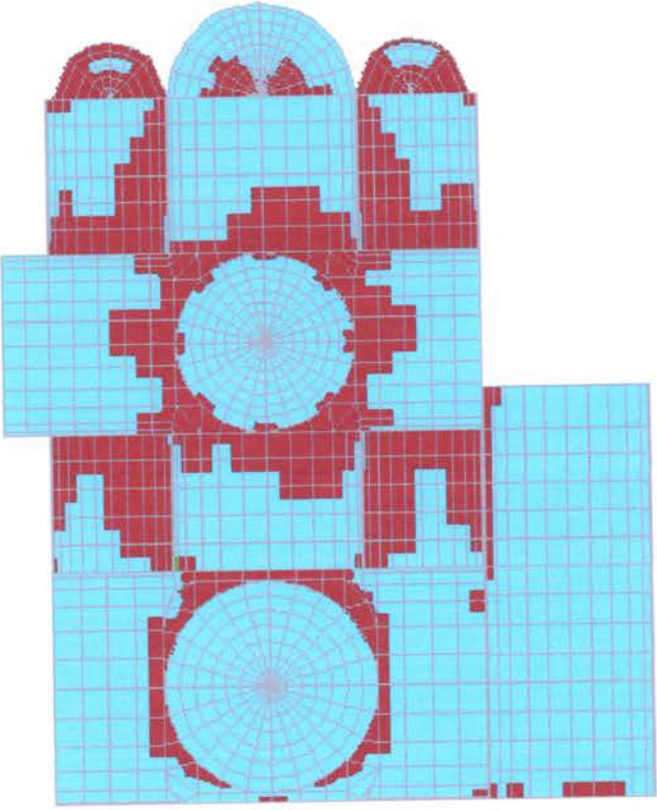
 Failure under biaxial Tension/Tension  Failure under biaxial Tension/ Compression  Failure under biaxial Compression/ Tension  Failure under biaxial Compression/ Compression  NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2






Case PGA.3	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=160\text{KPa}$	
<div> <div></div> Failure under biaxial Tension/Tension <div></div> Failure under biaxial Tension/ Compression <div></div> Failure under biaxial Compression /Tension <div></div> Failure under biaxial Compression/ Compression <div></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

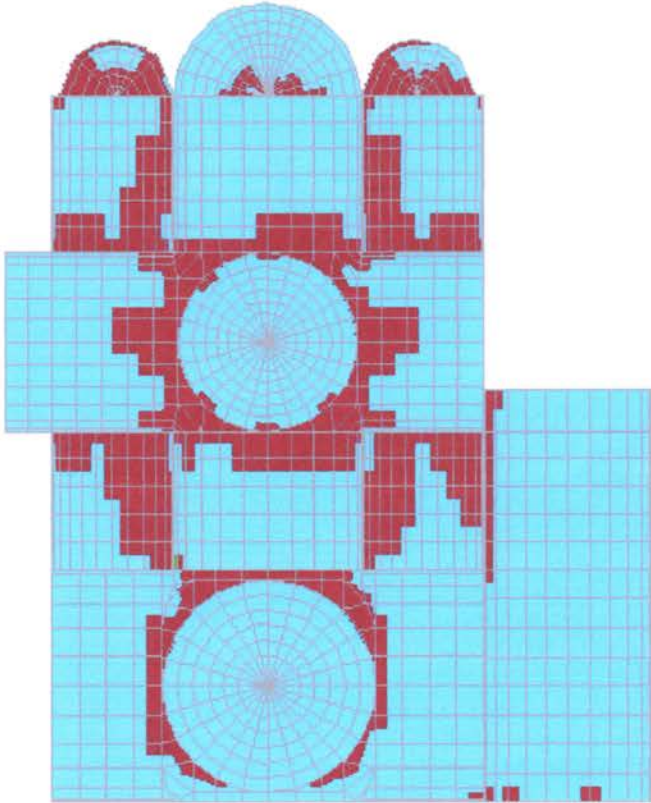
Case PGA.3	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=200\text{KPa}$	
<div> <div></div> Failure under biaxial Tension/Tension <div></div> Failure under biaxial Tension/ Compression <div></div> Failure under biaxial Compression /Tension <div></div> Failure under biaxial Compression/ Compression <div></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2






Case PGA.3	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=240\text{KPa}$	

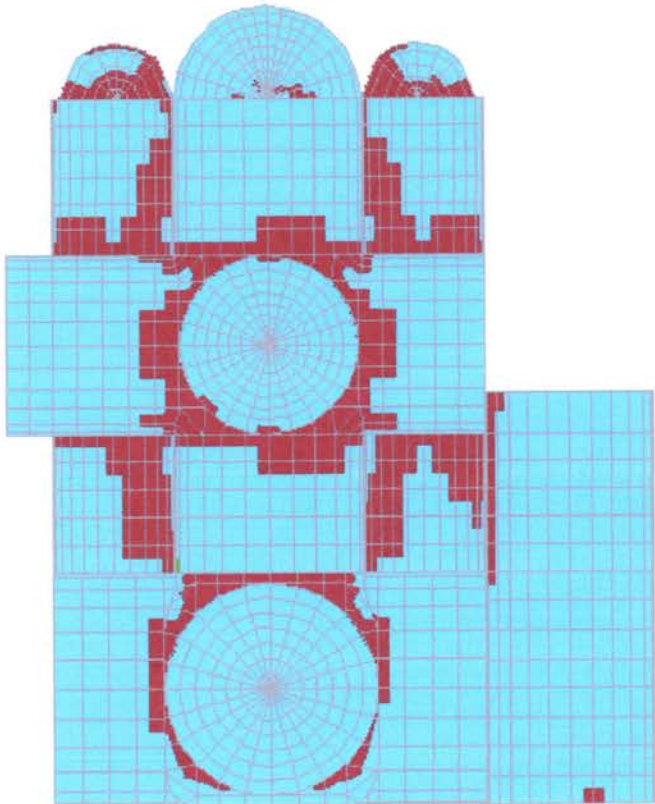
 Failure under biaxial Tension/Tension  Failure under biaxial Tension/ Compression  Failure under biaxial Compression /Tension  Failure under biaxial Compression/ Compression  NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2

Case PGA.3	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=280\text{KPa}$	

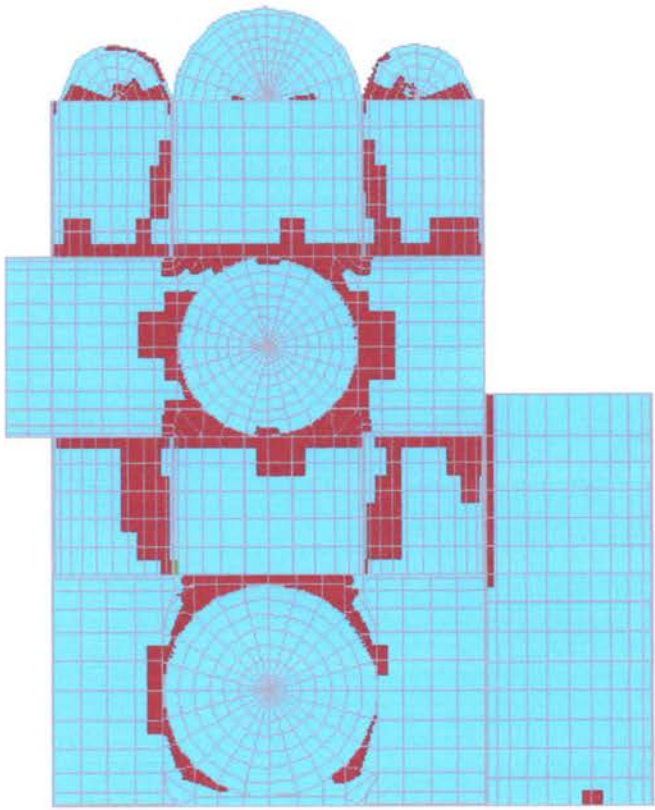
 Failure under biaxial Tension/Tension  Failure under biaxial Tension/ Compression  Failure under biaxial Compression /Tension  Failure under biaxial Compression/ Compression  NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2

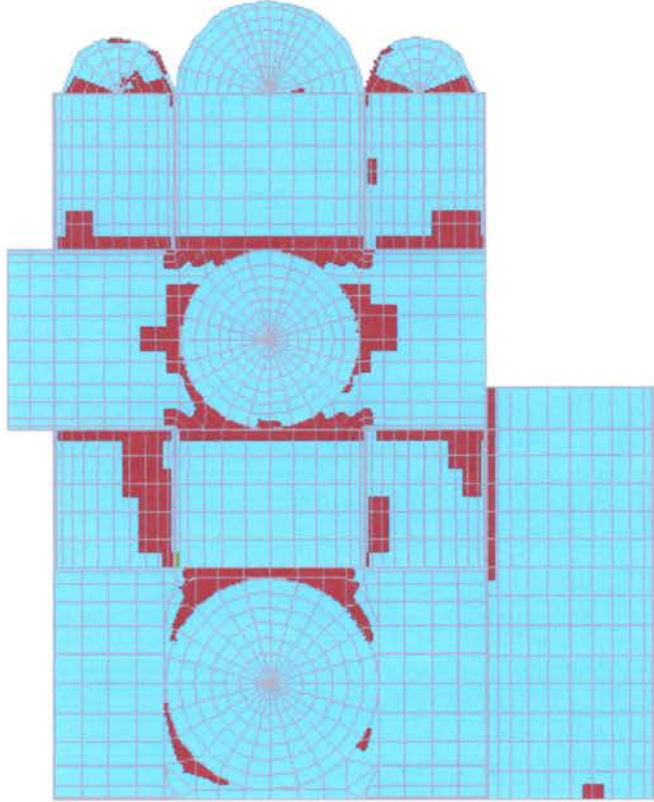
Case PGA.3	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=320\text{KPa}$	

 Failure under biaxial Tension/Tension  Failure under biaxial Tension/ Compression  Failure under biaxial Compression /Tension  Failure under biaxial Compression/ Compression  NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2

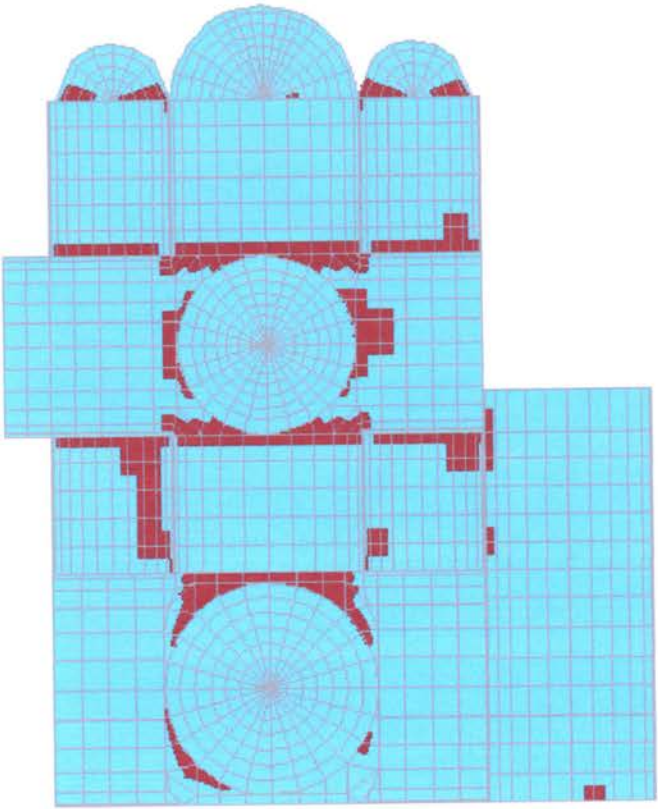
Case PGA.3	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=360\text{KPa}$	






<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression /Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> <div>NON Failure</div> </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

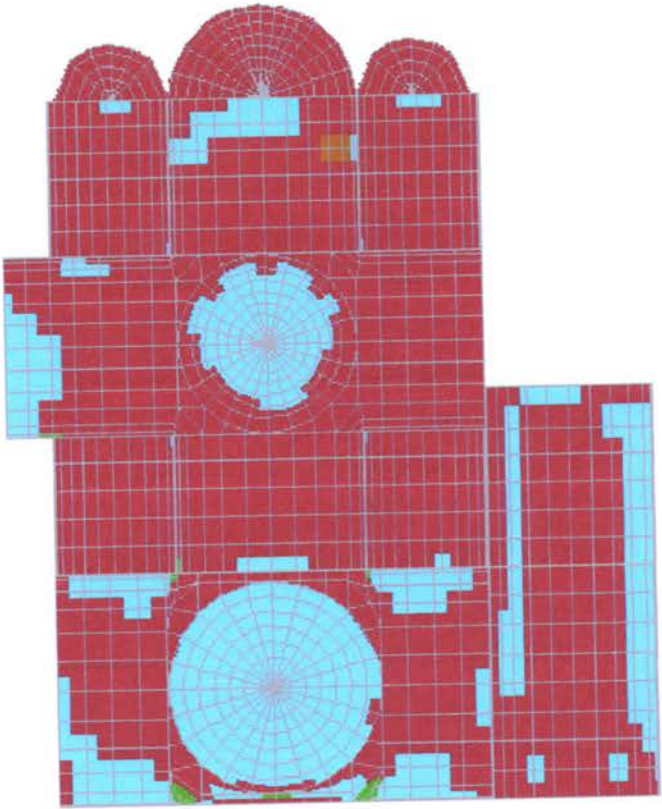
Case PGA.3	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=400\text{KPa}$	
<div> <div></div> Failure under biaxial Tension/Tension <div></div> Failure under biaxial Tension/ Compression <div></div> Failure under biaxial Compression /Tension <div></div> Failure under biaxial Compression/ Compression <div></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2






Case PGA.3	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=440\text{KPa}$	

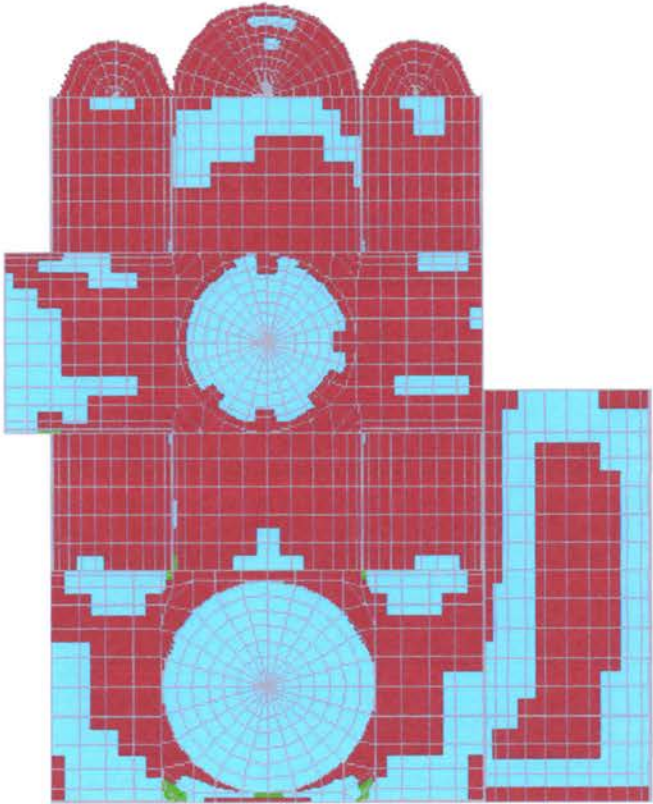
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression /Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> <div>NON Failure</div> </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

Case PGA.3	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=480\text{KPa}$	

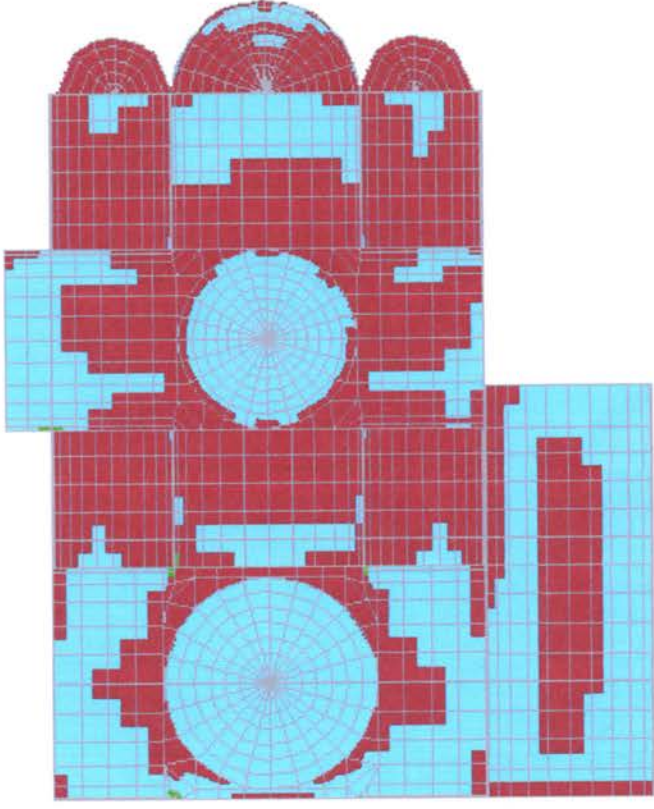
 Failure under biaxial Tension/Tension  Failure under biaxial Tension/ Compression  Failure under biaxial Compression /Tension  Failure under biaxial Compression/ Compression  NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2






Case PGA.4	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=120\text{KPa}$	

 Failure under biaxial Tension/Tension  Failure under biaxial Tension/ Compression  Failure under biaxial Compression /Tension  Failure under biaxial Compression/ Compression  NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2

Case PGA.4	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=160\text{KPa}$	

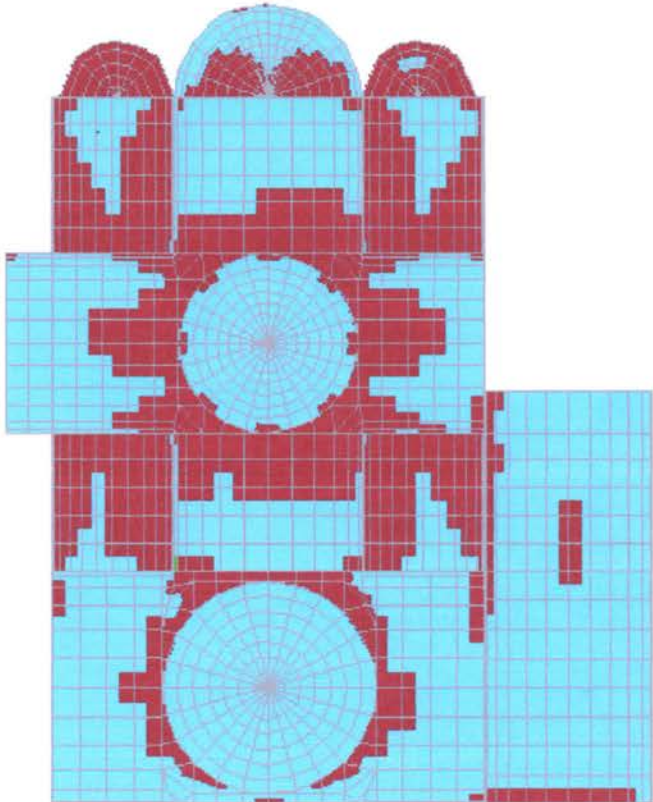
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: green; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: orange; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: blue; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: cyan; margin-bottom: 2px;"></div> </div>	<p>Failure under biaxial Tension/Tension</p> <p>Failure under biaxial Tension/ Compression</p> <p>Failure under biaxial Compression /Tension</p> <p>Failure under biaxial Compression/ Compression</p> <p>NON Failure</p>
WALL: 1	Loading Number:2






Case PGA.4	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=200\text{KPa}$	

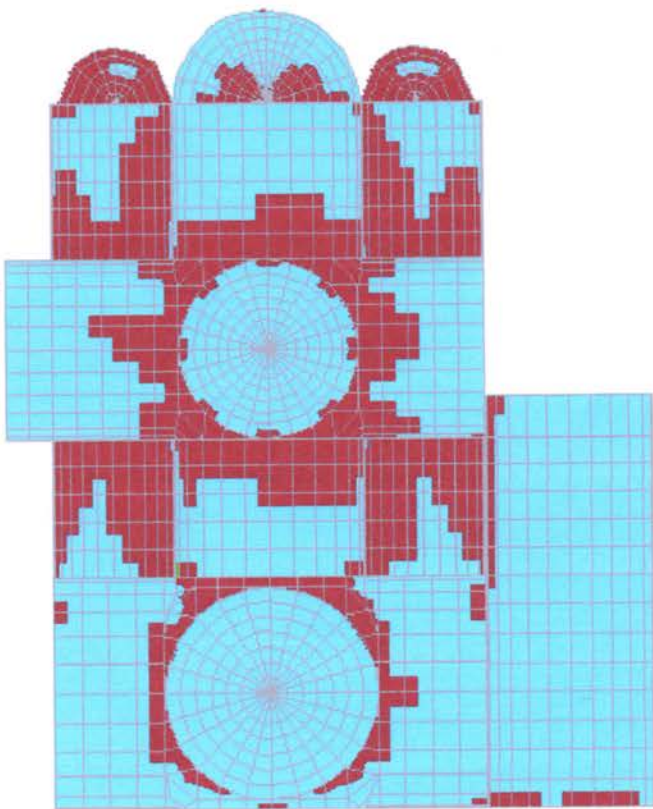
 Failure under biaxial Tension/Tension  Failure under biaxial Tension/ Compression  Failure under biaxial Compression /Tension  Failure under biaxial Compression/ Compression  NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2

Case PGA.4	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=240\text{KPa}$	

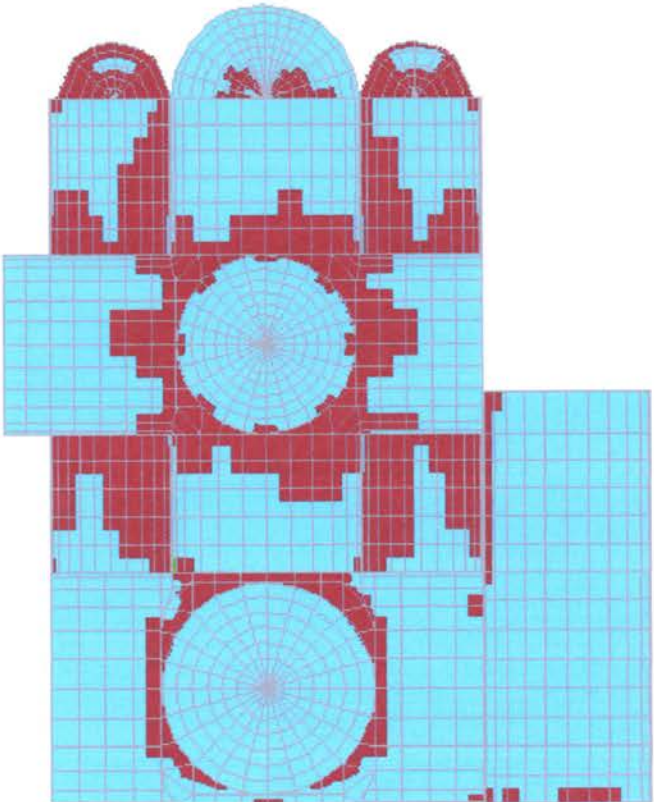
Failure under biaxial Tension/Tension Failure under biaxial Tension/ Compression Failure under biaxial Compression /Tension Failure under biaxial Compression/ Compression NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2

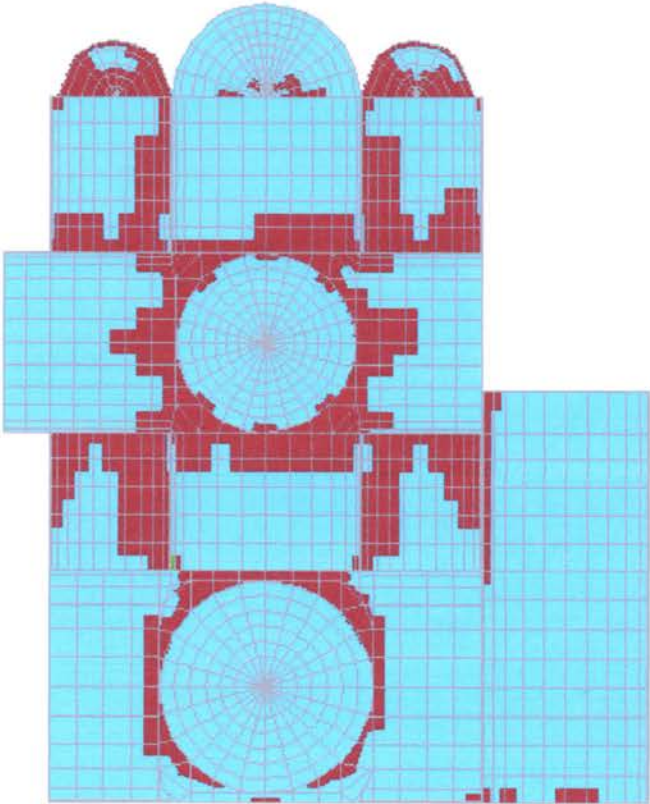
Case PGA.4	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=280\text{KPa}$	

 Failure under biaxial Tension/Tension  Failure under biaxial Tension/ Compression  Failure under biaxial Compression /Tension  Failure under biaxial Compression/ Compression  NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2

Case PGA.4	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=320\text{KPa}$	

<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression /Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> <div>NON Failure</div> </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

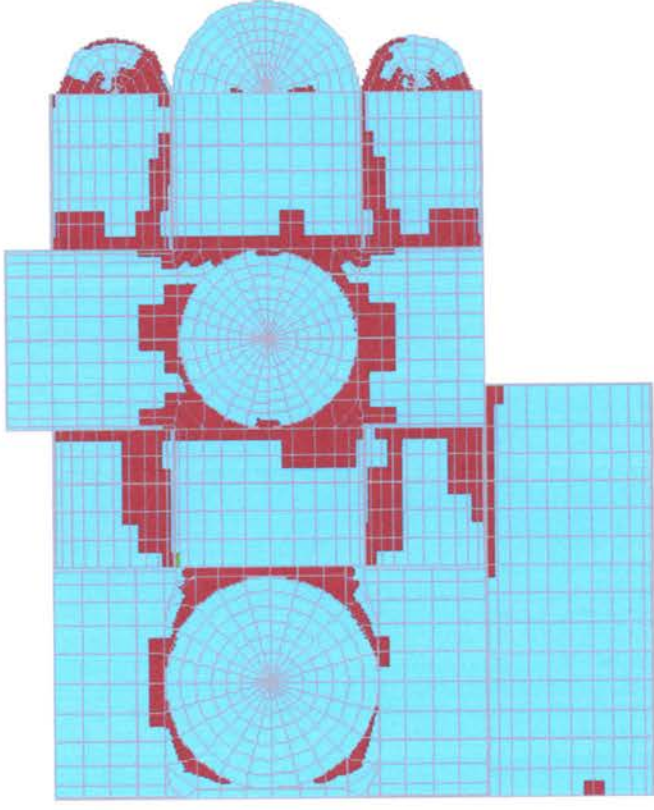
Case PGA.4	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=360\text{KPa}$	
<div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Tension/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression /Tension </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> Failure under biaxial Compression/ Compression </div> <div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> NON Failure </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

Case PGA.4	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=400\text{KPa}$	

<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression /Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> <div>NON Failure</div> </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

Case PGA.4	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=440\text{KPa}$	

Failure under biaxial Tension/Tension Failure under biaxial Tension/ Compression Failure under biaxial Compression /Tension Failure under biaxial Compression/ Compression NON Failure	
WALL: 1	Loading Number:2

Case PGA.4	Failure
$f_{wc}=1300\text{KPa}$ $f_{wt}=480\text{KPa}$	

<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Tension/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression /Tension</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> <div>Failure under biaxial Compression/ Compression</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: cyan; margin-right: 5px;"></div> <div>NON Failure</div> </div>	
WALL: 1	Loading Number:2

4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΛΕΣΜΑΤΩΝ

Έτσι, μετά από σταθμισμένη συνθεώρηση της επιρροής κάθε τοίχου, και ανάλογα με την επιφάνειά του ως τμήμα της κατασκευής, προκύπτουν δέκα τιμές ολικού δείκτη βλάβης ανά PGA (πίνακες 4.1i - 4.1iv). Για τον αριθμό λοιπόν αυτών των παρατηρήσεων μέτρου βλάβης, υπό το θεωρηθέν ως επαρκές πλήθος επαναλήψεων της ανάλυσης, για το ίδιο PGA, γίνεται στατιστική επεξεργασία και ορίζεται η κατάλληλη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας βλάβης. Στην υπόψη εφαρμογή για τη Μονή της Καισαριανής, προσαρμόζεται τόσο η κανονική, όσο και λογαριθμοκανονική κατανομή, ανά PGA (σχήματα 7,8,9,10).

Πίνακας 4.1i. Ποσοστά Αστοχίας (%) για PGA=0.16g.

	NORMAL	LOGNORMAL
120/1300	26,10	3,26
160/1300	18,12	2,90
200/1300	13,03	2,57
240/1300	9,10	2,21
280/1300	6,10	1,81
320/1300	4,32	1,46
360/1300	3,50	1,25
400/1300	2,71	1,00
440/1300	2,20	0,79
480/1300	1,30	0,26
ΠΛΗΘΟΣ	10,00	10,00
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	86,48	17,51
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	8,65	1,75
Γ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	2,71	0,32

Πίνακας 4.1ii. Ποσοστά Αστοχίας (%) για PGA=0.24g

	NORMAL	LOGNORMAL
120/1300	42,45	3,75
160/1300	31,50	3,45
200/1300	23,34	3,15
240/1300	15,40	2,73
280/1300	14,20	2,65
320/1300	10,67	2,37
360/1300	8,00	2,08
400/1300	7,05	1,95
440/1300	5,12	1,63
480/1300	3,82	1,34
ΠΛΗΘΟΣ	10,00	10,00
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	161,55	25,11
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	16,16	2,51
Τ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	4,21	0,26

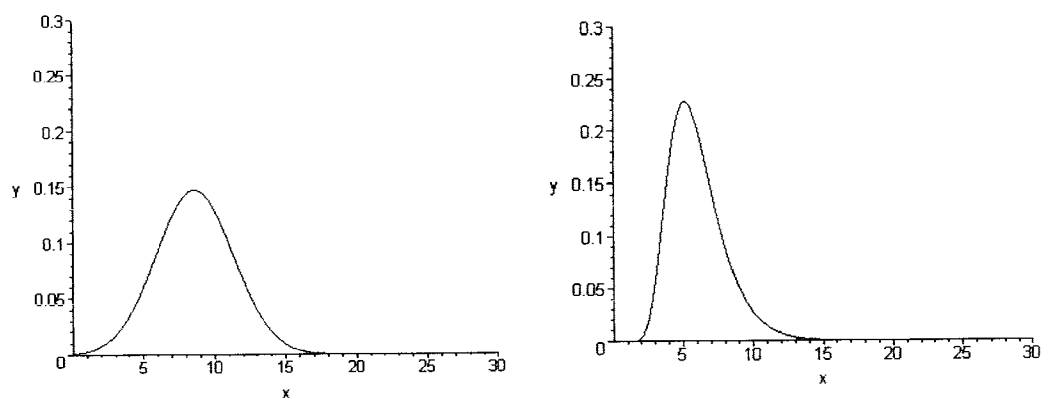
Πίνακας 4.1iii. Ποσοστά Αστοχίας (%) για PGA=0.32g.

	NORMAL	LOGNORMAL
120/1300	58,36	4,07
160/1300	47,68	3,86
200/1300	37,94	3,64
240/1300	30,52	3,42
280/1300	25,37	3,23
320/1300	20,38	3,01
360/1300	16,76	2,82
400/1300	13,60	2,61
440/1300	10,83	2,38
480/1300	9,07	2,20
ΠΛΗΘΟΣ	10,00	10,00
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	270,51	31,25
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	27,05	3,13
Τ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	5,51	0,21

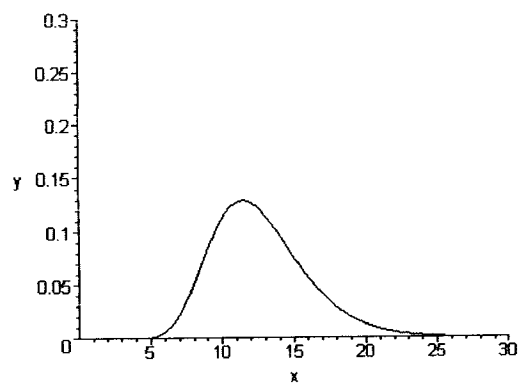
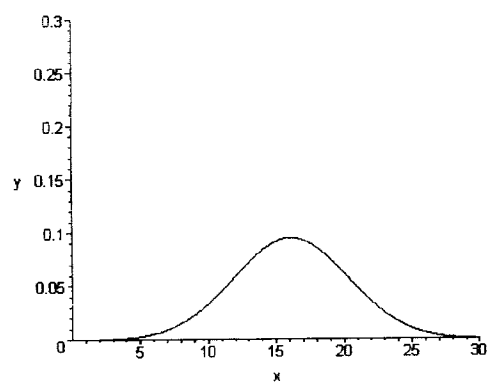
Πίνακας 4.1iv. Ποσοστά Αστοχίας (%) για $PGA=0.40g$.

	NORMAL	LOGNORMAL
120/1300	68,50	4,23
160/1300	59,70	4,09
200/1300	50,82	3,93
240/1300	42,90	3,76
280/1300	35,38	3,57
320/1300	30,13	3,41
360/1300	25,35	3,23
400/1300	21,99	3,09
440/1300	18,43	2,91
480/1300	15,47	2,74
ΠΛΗΘΟΣ	10,00	10,00
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	368,67	34,95
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	36,87	3,50
Τ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	6,04	0,17

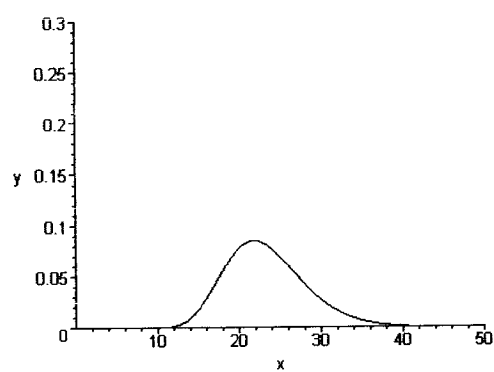
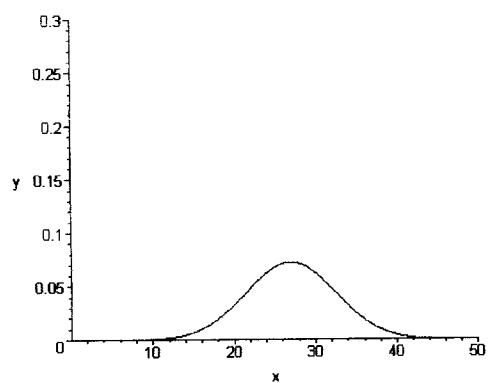
Στην συνέχεια γίνεται η προσαρμογή των αποτελεσμάτων για τις δύο κατανομές. Στα σχήματα 7 έως 10, που ακολουθούν παρουσιάζονται οι προσαρμογές κανονικής και λογαριθμοκανονικής κατανομής για $PGA=0,16g$, $0,24g$, $0,32g$, $0,40g$.



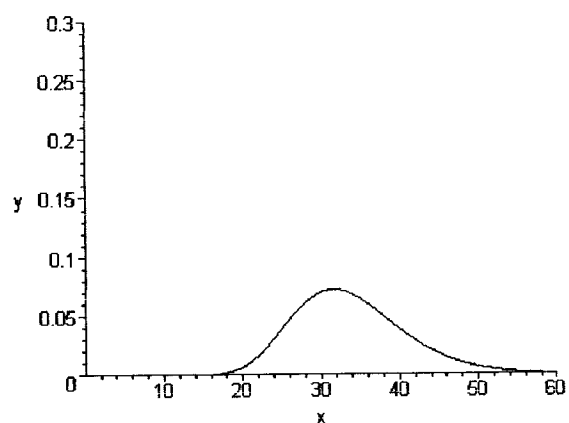
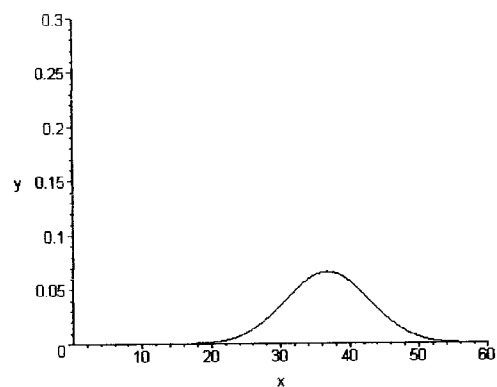
Σχήμα 7. Προσαρμογή κανονικής και λογαριθμοκανονικής κατανομής για $PGA=0,16g$



Σχήμα 8. Προσαρμογή κανονικής και λογαριθμοκανονικής κατανομής για $PGA=0,24g$



Σχήμα 9. Προσαρμογή κανονικής και λογαριθμοκανονικής κατανομής για $PGA=0,32g$



Σχήμα 10. Προσαρμογή κανονικής και λογαριθμοκανονικής κατανομής για $PGA=0,40g$

**5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ
ΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΜΟΝΗ ΤΗΣ
ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ**

5.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΜΟΝΗ ΤΗΣ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ

Με βάση και όλα τα προηγούμενα, καθορίζονται τα επίπεδα αστοχίας της κατασκευής υπό μορφή αριθμητικών ορίων δείκτη βλάβης. Για να καταδειχθεί η επιρροή των ορίων αυτών στην τελική μορφή καμπυλών θραυστότητας, ορίζεται τύπος διαβάθμισης βλάβης ως εξής :

Όρια δείκτη βλάβης:	Επίπεδα βλάβης
Καμία βλάβη	$0 \div 5\%$
Μικρή βλάβη	$5 \div 10\%$
Μεσαία βλάβη	$10 \div 15\%$
Μεγάλη βλάβη	$>15\%$

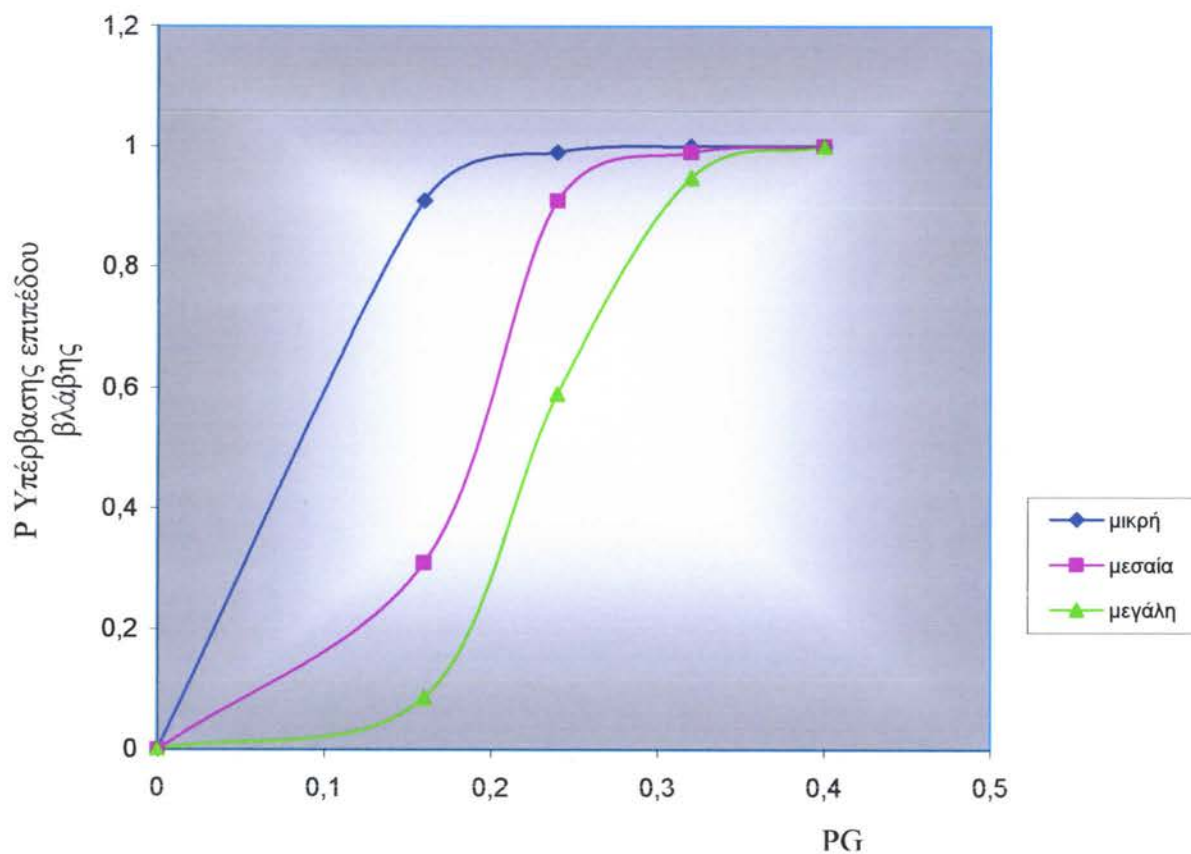
Στη γραφική παράσταση συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας κατανομών που επιλέχθηκαν, οριοθετούνται οι περιοχές του δείκτη βλάβης που αντιστοιχούν στα διακριτά ορισθέντα επίπεδα, και με ολοκλήρωση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας μεταξύ των τιμών αυτών, προκύπτει η πιθανότητα προσέγγισης κάθε επιπέδου βλάβης.

Ο υπολογισμός της αθροιστικής πιθανότητας υπέρβασης επιπέδου βλάβης για κάθε PGA γίνεται με απλή πρόσθεση των πιθανοτήτων που υπερβαίνουν τα θεωρηθέντα κάτω όρια δείκτη βλάβης. Επομένως, για κάθε τιμή επιτάχυνση εδάφους PGA προκύπτουν τόσες τιμές “πιθανοτήτων υπέρβασης επιπέδου βλάβης”, όσα είναι και αυτά τα επίπεδα. Έτσι, για ορισμένη συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας και τύπο διαβάθμισης επιπέδου βλάβης, δημιουργείται η οικογένεια

καμπυλών θραυστότητας με καμπυλόγραμμη ένωση των αρχικώς καθ' ύψος προσδιορισθέντων σημείων ανά επίπεδο βλάβης (σχήματα 11, 12).

Πίνακας 5.1ι. Ποσοστά υπέρβασης (%) κανονικής κατανομής, για κάθε PGA.

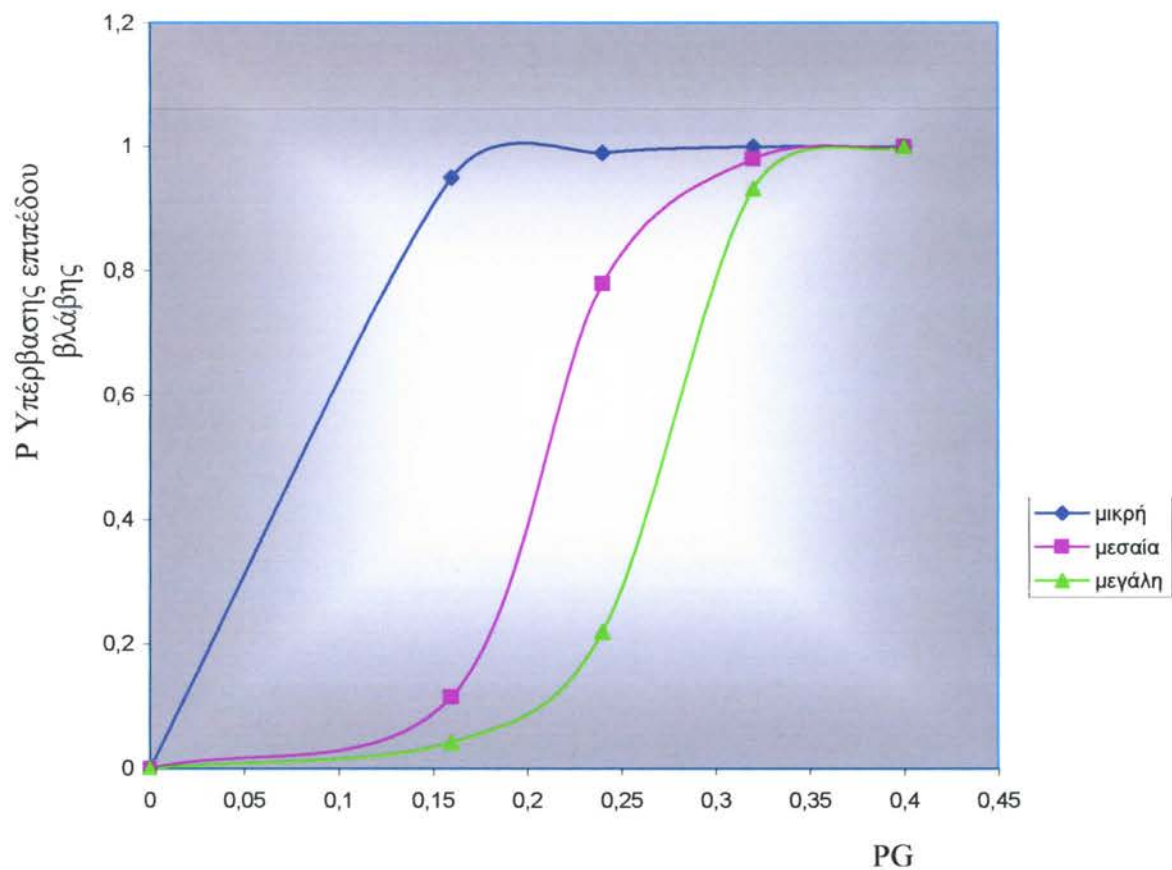
PGA	P υπέρβασης		
	μικρή	μεσαία	μεγάλη
0	0	0	0
0,16	0,91	0,31	0,01
0,24	0,99	0,91	0,59
0,32	1	0,99	0,98
0,4	1	1	1



Σχήμα 11. Καμπύλες θραυστότητας για κανονική κατανομή παρατηρήσεων δείκτη βλάβης και επίπεδα βλάβης.

Πίνακας 5.1u. Ποσοστά υπέρβασης (%) Λογαριθμοκανονικής κατανομής, για κάθε PGA.

PGA	P υπέρβασης		
	μικρή	μεσαία	μεγάλη
0	0	0	0
0,16	0,95	0,041	0,001
0,24	0,99	0,78	0,22
0,32	1	0,98	0,97
0,4	1	1	1



Σχήμα 12. Καμπύλες θραυστότητας για λογαριθμοκανονική κατανομή παρατηρήσεων δείκτη βλάβης και επίπεδα βλάβης.

5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η δημιουργία καμπυλών θραυστότητας σε περίπτωση Ιστορικής κατασκευής όπως η περίπτωση της Μονής Καισαριανής, αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την διαδικασία λήψεως των αποφάσεων για την αποκατάσταση της κατασκευής και για την επιλογή των καταλλήλων κονιαμάτων που θα χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση αυτή.