

# Αποτίμηση της Φέρουσας Σεισμικής Ικανότητας του Βυζαντινού Ι.Ν. Αγίου Νικολάου Ραγκαβά στην Πλάκα & Διερεύνηση Μεθόδων Ενίσχυσης έναντι Σεισμικών Φορτίων

Δημήτριος Α. Καΐλης

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ και Μεταπτυχιακός Φοιτητής ΣΜΑ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

dimitriskailis@hotmail.com, std091576@ac.eap.gr

Ιωάννης Ν. Ψυχάρης

Καθηγητής Αντισεισμικής Μηχανικής ΕΜΠ και Μέλος ΣΕΠ ΣΜΑ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

ipsych@central.ntua.gr

**Περίληψη** – Παρουσιάζεται η διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης του Βυζαντινού Ι.Ν. του Αγίου Νικολάου Ραγκαβά στην Πλάκα (11<sup>ος</sup> αιώνας). Έγιναν ελαστικές αναλύσεις, η αξιοπιστία των οποίων επαληθεύτηκε από τη σύγκριση των προβλεπόμενων θέσεων βλαβών με τις υφιστάμενες ρωγμές. Επίσης διερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα διαφόρων μέτρων βελτίωσης της συμπεριφοράς του μνημείου και εκτιμήθηκε η καταπόνησή τους σε μελλοντικούς σεισμούς. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι επεμβάσεις που εξετάστηκαν μπορούν να βελτιώσουν τη σεισμική συμπεριφορά, αλλά δεν μπορούν να εξαλείψουν τον κίνδυνο σημαντικών βλαβών σε ένα ισχυρό σεισμό, λόγω των ενδογενών προβλημάτων που παρουσιάζει ο ναός.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Σεισμικές βλάβες, Αποτίμηση, Ενίσχυση, Αποκατάσταση, Μνημείο

## I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Ι.Ν. του Αγίου Νικολάου Ραγκαβά (11<sup>ος</sup> αιώνας) βρίσκεται στην πιο ιστορική συνοικία της Αθήνας, στην Πλάκα, και είναι ένα από τα σπουδαιότερα βυζαντινά μνημεία που έχουν διασωθεί με το πέρασμα των χρόνων. Η σημερινή του μορφή είναι αποτέλεσμα δύο φάσεων κατασκευής, με τη δεύτερη να γίνεται τον 19<sup>ο</sup> αιώνα και να αλλάζει ριζικά την φυσιογνωμία του βυζαντινού μνημείου.



Εικ. 1. Άγιος Νικόλαος Ραγκαβά – Βόρεια όψη

Με την παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν τα σημεία της κατασκευής που αυξάνουν την τρωτότητά της στο σεισμό και συγχρόνως διερευνούνται μέθοδοι και τεχνικές επέμβασης που να βελτιώνουν την αποκρίσή της στις σεισμικές διεγέρσεις.

Προς την κατεύθυνση αυτή αρχικά πραγματοποιήθηκε ενδελεχής ιστορική έρευνα μελετώντας το ιστορικό και πολεοδομικό πλαίσιο της βυζαντινής Αθήνας, την βυζαντινή ναοδομία με τους διάφορους αρχιτεκτονικούς τύπους ναών, και την σεισμικότητα της περιοχής, που επέτρεψαν την αναλυτική τεκμηρίωση της ιστορικής παθολογίας του μνημείου.

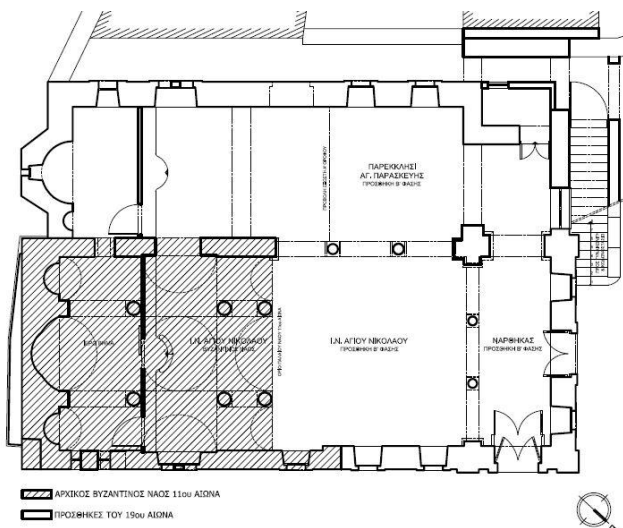
Παράλληλα με την ιστορική τεκμηρίωση, πραγματοποιήθηκε μια σειρά αποτυπώσεων και διερευνήσεων επί τόπου, προκειμένου να σχεδιαστούν όλα τα σχέδια αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης του μνημείου (κατόψεις, όψεις, τομές), τα σχέδια αναγνώρισης των οικοδομικών φάσεων και τα σχέδια αναπαράστασης της αρχικής μορφής του βυζαντινού ναού. Αναγνωρίστηκε επίσης το σύστημα δόμησης της τοιχοποιίας και εκτιμήθηκαν οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών, οι οποίες επαληθεύτηκαν από τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Ακόμη, διαγνώστηκε η παθολογία του μνημείου και ερμηνεύτηκαν τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει.

Τα αποτελέσματα όλων των αποτυπώσεων και διερευνήσεων αξιοποιήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη ενός αξιόπιστου υπολογιστικού προσομοιώματος για την αποτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης και το σχεδιασμό και αποτίμηση των αναγκαίων ενισχυτικών επεμβάσεων. Έγιναν ελαστικές δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας με χρήση τρισδιάστατων πεπερασμένων στοιχείων. Εφαρμόστηκαν πέντε σεισμικές καταγραφές που επελέγησαν με βάση τη μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής των Nicholas Ambraseys & Ioannis N. Psycharis.

Τέλος, με βάση όλα τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν, αναπτύσσεται μία πρόταση ενίσχυσης-αποκατάστασης με βάση το ισχύον θεσμικό και νομοθετικό πλαίσιο.

## II. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ

Ο ναός είναι ένα συγκρότημα που αποτελείται από τον αρχικό βυζαντινό ναό του 11<sup>ου</sup> αιώνα και τις μετέπειτα προσθήκες του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Η προσθήκη προς τα δυτικά αποτελείται από τα τμήματα του προνάου, του νάρθηκα και του γυναικωνίτη, ενώ η προσθήκη προς τα νότια αποτελεί το σε επαφή παρεκκλήσι της Αγίας Παρασκευής. Στην νοτιοδυτική γωνία του συγκροτήματος διαμορφώνεται το κωδωνοστάσιο (Σχ. 1).



Σχήμα 1. Διαχωρισμός συγκροτήματος

Τον πυρήνα του συγκροτήματος αποτελεί ναός σταυροειδής εγγεγραμμένος με τρούλο. Σε κάτοψη έχει εξωτερικές διαστάσεις 7,40x10,25 μέτρα και διαιρείται νοητά σε εννέα διαμερίσματα λόγω της τυπολογίας του. Ο τρούλος έχει σχήμα ημισφαιρικού θόλου και έχει εσωτερική διάμετρο 2,40m. Οι ωθήσεις του μεταφέρονται στη βάση δια των τεσσάρων κίωνων, με τη μεσολάβηση του τυμπάνου και των τεσσάρων σφαιρικών τριγώνων, και στους περιμετρικούς τοίχους δια των τεσσάρων ημικυλινδρικών θόλων. Οι θόλοι (κεραίες) έχουν εσωτερική διάμετρο 2,40m ενώ στην εξωτερική τους επιφάνεια διαμορφώνονται αετωματικές απολήξεις. Τα τέσσερα εναπομείναντα διαμερίσματα καλύπτονται και αυτά με ημικυλινδρικούς θόλους μικρότερης διαμέτρου 1,40m. Στον ανατολικό τοίχο όπου είναι το Ιερό, υπάρχουν τρεις ημικυλινδρικές κόγχες (αψίδες) που καλύπτονται με τεταρτοσφαιρικούς θόλους διαμέτρου 1,00m. Εξωτερικά οι τρεις αυτές αψίδες έχουν ενοποιηθεί με ενιαία αντηρίδα κατά την 2<sup>η</sup> φάση των προσθηκών.

Η φέρουσα τοιχοποιία του μνημείου αποτελείται από δύο συστήματα δόμησης τα οποία είναι αποτέλεσμα των δύο οικοδομικών φάσεων. Ο τρόπος δόμησης της τοιχοποιίας του αρχικού ναού (11<sup>ος</sup> αι.) ακολουθεί τον κατ'εξοχήν χαρακτηριστικό τρόπο δόμησης της ελλαδικής σχολής, που είναι το πλινθοπερίκλειστο σύστημα, δηλαδή με τετράπλευρες πέτρες πλαισιωμένες από λεπτά κόκκινα τούβλα, πλίνθους. Με τον τρόπο αυτό κτίστηκαν τα ανώτερα τμήματα του ναού του 11<sup>ου</sup> αιώνα, ενώ χαμηλά, κάτω από την ποδιά της πρώτης σειράς των παραθύρων η τοιχοποιία είναι λιγότερη φροντισμένη. Αποτελείται από αργολιθοδομή με άτακτα τοποθετημένα τούβλα στους αρμούς σε συνδυασμό με μεγάλες τετράπλευρες πέτρες, δομούς από παλιότερα μνημεία, κομμένες σε μη κανονικά σχήματα. Οι ημισφαιρικοί θόλοι, οι καμάρες και ο αθηναϊκός τρούλος είναι από ημιλαξευτούς λίθους.

Η τοιχοποιία της δυτικής προσθήκης (19<sup>ος</sup> αι.) δομείται εξ'ολοκλήρου από αργούς ακανόνιστους λίθους κατά το σύστημα της αργολιθοδομής, ενώ η κάλυψη των τμημάτων των επεκτάσεων πραγματοποιείται με ξύλινη στέγη, όπου εσωτερικά έχει προσαρτηθεί επίπεδη οροφή με φατώματα και με ζωγραφική διακόσμηση στο κέντρο.

Οβυζαντινός ναός είχε υποστεί σοβαρές αλλοιώσεις με την προσθήκη του νοτίου παρεκκλησίου και του νάρθηκα

με το κωδωνοστάσιο στα δυτικά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα. Είχε σοβαρές φθορές και για το λόγο αυτό η 1<sup>η</sup> Ε.Β.Α., το 1979, πραγματοποίησε σειρά σημαντικών εργασιών στερέωσης και αποκατάστασής του. Έγινε κυρίως προσπάθεια να αποκαλυφθούν και να αποκατασταθούν όσα από τα τμήματα της βυζαντινής φάσης του ναού δεν είχαν αλλοιωθεί. Δύο πολύ σημαντικά προβλήματα που ανέδειξαν οι εργασίες αποκατάστασης του 1979 ήταν η μεγάλη ρωγμή που υπήρχε στον τρούλο με διεύθυνση Β-Ν και η διάρρηξη των ανατολικών κίωνων που βρίσκονται μέσα στο Ιερό με απόσπαση τμήματος της διατομής τους. Γενικά το ανατολικό τμήμα του ναού παρουσίαζε τα μεγαλύτερα προβλήματα γι' αυτό και σε προγενέστερο χρόνο (19<sup>ος</sup> αι.) είχαν προβεί σε στερεωτικές εργασίες μεγάλης έκτασης.

Η παθολογία που εμφανίζει σήμερα η κατασκευή οφείλεται κυρίως στις ενδογενείς αδυναμίες της, όπως στη χαμηλή ποιότητα υλικών και τρόπου δόμησης της τοιχοποιίας, στην πλημμελή σύνδεση των εξωτερικών φερόντων τοίχων στην περιοχή συναρμογής των δύο φάσεων, καθώς και σε εξωτερικούς παράγοντες όπως στην έντονη παρουσία υγρασίας και στη δράση του σεισμού. Ως σημαντικότερα προβλήματα είναι η εκτός επιπέδου κάμψη του βόρειου και νότιου τοίχου του βυζαντινού ναού εξαιτίας της απουσίας του αρχικού δυτικού τοίχου και τα έντονα προβλήματα λόγω της υπέρυψης υγρασίας με αποτέλεσμα την αποσύνθεση, την αποδιοργάνωση και την γήρανση της κατασκευής.

### III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

Η μέθοδος ανάλυσης που εφαρμόστηκε για την αποτίμηση του μνημείου στηρίχθηκε στη δυναμική ανάλυση της κατασκευής με χρονοϊστορίες φόρτισης, με προσέγγιση που βασίζεται στην απευθείας ολοκλήρωση των εξισώσεων κίνησης σε κάθε χρονικό βήμα.

Έγιναν ελαστικές επιλύσεις χρονοϊστορίας με το πρόγραμμα ABAQUS, στις οποίες εφαρμόστηκαν και οι τρεις συνιστώσες πέντε πραγματικών καταγραφών (πίνακας I), η επιλογή των οποίων βασίστηκε στις μελέτες των Nicholas Ambraseys & Ioannis N. Psycharis που έγιναν για να διαπιστωθεί ποιος είναι ο μέγιστος δυνατός σεισμός που πιθανόν να έχει γίνει στην περιοχή της Ακρόπολης, ο οποίος οριακά δεν ρίχνει τους δύο αναθηματικούς κίονες του μνημείου του Θρασύλλου στο νότιο τείχος, οι οποίοι στέκουν όρθιοι εδώ και 2300 χρόνια. Από την εφαρμογή των παραπάνω επιταχυνσιογραφημάτων και τα αποτελέσματα της ανάλυσης, προκύπτει ένα χαμηλότερο άνω όριο του μέγιστου δυνατού σεισμού που πιθανόν να έχει γίνει στην περιοχή.

Για την προσομοίωση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν χωρικά τετραεδρικά πεπερασμένα στοιχεία, ενώ λήφθηκαν υπόψη όλες οι γεωμετρικές λεπτομέρειες που αφορούσαν στο φέροντα οργανισμό. Τα τμήματα του συγκροτήματος θεωρήθηκαν στατικά εξαρτημένα, ενώ δεν θεωρήθηκαν κρουστικά φαινόμενα. Όλα τα υλικά θεωρήθηκαν ελαστικά και για τις ιδιότητες της τοιχοποιίας θεωρήθηκε ομογενοποίηση. Συνολικά, το μοντέλο υπολογισμού αποτελείται από 157.257 στοιχεία τύπου C3D10 και 265.701 κόμβους.

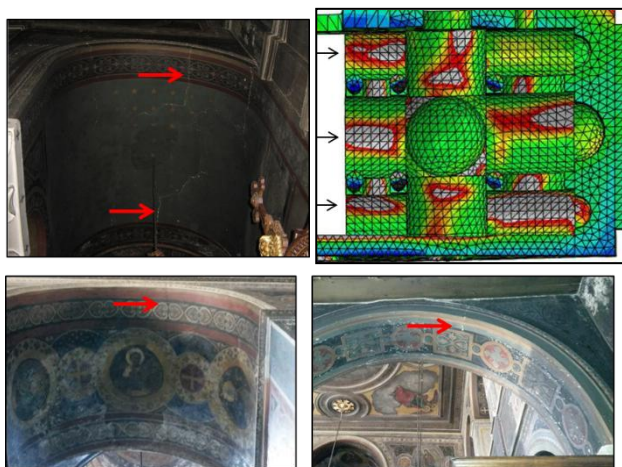
ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΝ

Σεισμός	Καταγραφή	Μεγέθυνση C
Campano Lugano, Italy	Bisaccia (BSC)	0,9
Campano Lugano, Italy	Bagnoli-Irpino (BGI)	1,2
Northridge California, USA	Los Angeles Wonderland Ave. (WON)	2,7
Kozani, Greece	Kozani Prefecture Blg (KOZ)	2,7
Athens, Greece	Syntagma Metro B (SGMB)	3,7

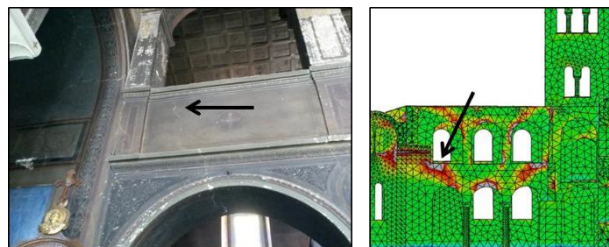
#### IV. ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

##### 1. Ανάλυση της Κατασκευής Χωρίς Επεμβάσεις

Σε αυτό το τμήμα της εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την κατασκευή χωρίς επισκευές και ενισχύσεις. Σκοπός αυτών των αναλύσεων ήταν η επαλήθευση της ικανότητας της ελαστικής ανάλυσης να προβλέψει ικανοποιητικά τη δυναμική συμπεριφορά και να ερμηνεύσει την παθολογία που εμφανίζει σήμερα το μνημείο καθώς να προσδιορισθεί ένα νέο επίπεδο σεισμικής τρωτότητας της περιοχής της Ακρόπολης. Αρχικά επιβεβαιώθηκαν οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών που λήφθηκαν υπόψη στο προσομοίωμα υπολογισμού. Για την ερμηνεία της παθολογίας που εμφανίζει σήμερα, μπορούμε να πούμε πως αποδίδεται σε σεισμό με τα ίδια χαρακτηριστικά με τον μεγεθυμένο σεισμό BSC (Bisaccia, Italy). Ένα παράδειγμα των αποτελεσμάτων δίνεται στα σχήματα 2 και 3, όπου δείχνουμε τις κύριες εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται με βάση την αριθμητική ανάλυση στα σημεία που εμφανίζονται ρωγμές. Σε αυτά τα σχήματα, με γκρι χρώμα σημειώνονται οι περιοχές στις οποίες οι τάσεις είναι μεγαλύτερες από 150kPa για τον σεισμό BSC. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας την έχουμε θεωρήσει 120kPa, κατά μέγιστο, είναι αναμενόμενο να συμβούν ρηγματώσεις σε αυτές τις περιοχές. Όντως οι υφιστάμενες ρηγματώσεις συμφωνούν σχεδόν απόλυτα με την πρόβλεψη της αριθμητικής ανάλυσης για τον παραπάνω σεισμό.



Σχήμα 2. Σύγκριση των υφιστάμενων ρωγμών στα τόξα και στους θόλους με τις περιοχές όπου οι κύριες εφελκυστικές τάσεις είναι μεγαλύτερες από 150kPa (γκρι χρώμα) για το σεισμό BSC.



Σχήμα 3. Σύγκριση των υφιστάμενων ρωγμών στη κεντρική τοξοστοιχία της προσθήκης με τις περιοχές όπου οι κύριες εφελκυστικές τάσεις είναι μεγαλύτερες από 150kPa (γκρι χρώμα) στον σεισμό BSC.

Με τον ίδιο τρόπο κατέστη δυνατό να ερμηνευτούν σχεδόν όλες οι ρωγμές στους τοίχους και τη θολοδομία του μνημείου.

Αξίζει να σημειωθεί πως σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης και με βάση την μελέτη των Nicholas Ambraseys & Ioannis Psycharis, που διαπίστωσαν ποιος θα μπορούσε να είναι ο μέγιστος δυνατός σεισμός στην περιοχή της Ακρόπολης, προκύπτει ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα, σύμφωνα με το οποίο μειώνεται το όριο του μέγιστου δυνατού σεισμού στην περιοχή σε χαμηλότερη τιμή. Συγκεκριμένα η φέρουσα ικανότητα του βυζαντινού μνημείου του 11<sup>ου</sup> αιώνα επαρκεί οριακά μέχρι και το επίπεδο του σεισμού BGI (Bagnoli-Irpino, Italy) με μεγέθυνση 1,2. Πέρα από αυτό το άνω όριο δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα φέρουσας ικανότητας που δεν μπορεί να τα αναλάβει το μνημείο χωρίς σοβαρή ενίσχυση του φέροντος οργανισμού.

##### 2. Ανάλυση της Κατασκευής με Επεμβάσεις

Η ανάλυση της κατασκευής χωρίς επεμβάσεις έδειξε ότι σε περίπτωση ισχυρών σεισμών αναπτύσσονται στην τοιχοποιία και τη θολοδομία μεγάλες εφελκυστικές τάσεις, οι οποίες δεν μπορούν να παραληφθούν ακόμα και αν επιδιορθωθούν οι υφιστάμενες βλάβες. Είναι προφανές ότι υπάρχουν ενδογενή προβλήματα και αδυναμία της κατασκευής να παραλάβει μεγάλα σεισμικά φορτία, που προέρχονται από την αρχιτεκτονική διαμόρφωση και τον τρόπο κατασκευής του μνημείου, όπως η μη επαρκής σύνδεση του κυρίως ναού με την δυτική προσθήκη και το μεγάλο φορτίο του γεμίματος της δυτικής κεραίας στην περιοχή συναρμογής των δύο φάσεων.

Διερευνούμε τέσσερις τεχνικές επέμβασης για την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας του μνημείου.

1) *Εφαρμογή ενεμάτων στην τοιχοποιία:* Η εφαρμογή ενεμάτων στην τοιχοποιία αποσκοπεί στην κατά το δυνατόν πλήρωση των κενών που υπάρχουν στο εσωτερικό της τοιχοποιίας, στη βελτίωση των μηχανικών της ιδιοτήτων και στην αποκατάσταση της συνέχειας μεταξύ των διαφόρων τμημάτων. Εφαρμόζουμε αυτή την μέθοδο στην τοιχοποιία της Β' φάσης (αργολιθοδομή) και στο κωδωνοστάσιο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η επέμβαση αυτή ενώ βελτιώνει τη σεισμική απόκριση, δεν μπορεί να αποκλείσει τη δημιουργία μελλοντικών βλαβών σε κρίσιμες περιοχές.

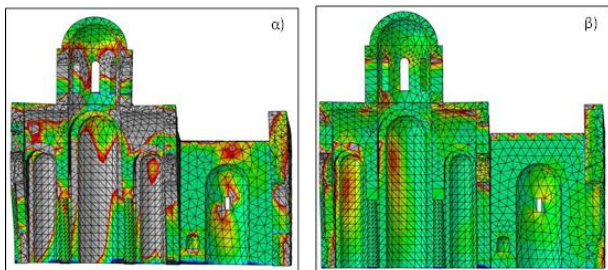
2) *Κατασκευή περιμετρικού διαζώματος στη στέψη των τοίχων της Β' φάσης:* Η επέμβαση αυτή εξασφαλίζει την συνεργασία των τοίχων στις γωνίες κυρίως της ανώτερης στάθμης μέσω της διαφραγματικής λειτουργίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το διάζωμα δεν βελτιώνει αισθητά από μόνο του τη σεισμική απόκριση του μνημείου και δεν μπορεί να αποκλείσει τη δημιουργία



μελλοντικών βλαβών σε κρίσιμες περιοχές. Για το λόγο αυτό πρέπει να συνδυαστεί και με άλλα μέτρα επέμβασης.

3) *Διάταξη μεταλλικών ελκυστήρων στον βυζαντινό ναό*: Οι ελκυστήρες εξασφαλίζουν την ευστάθεια των υποκειμένων τοίχων αναλαμβάνοντας τις οριζόντιες ωθήσεις κατά τη μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων. Επίσης η ύπαρξή τους μειώνει σημαντικά τις μετακινήσεις των κεφαλών των πεσσών και των τοίχων. Στις αναλύσεις τοποθετούνται πέντε συνολικά ελκυστήρες, δύο στην διεύθυνση Α-Δ και τρεις στην διεύθυνση Β-Ν, στις γενέσεις των θόλων των γωνιακών διαμερισμάτων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η τοποθέτηση των ελκυστήρων δεν μεταβάλλει ουσιαστικά την κατανομή των τάσεων και των παραμορφώσεων στην κατασκευή. Αυτό οφείλεται στην αδυναμία της ελαστικής ανάλυσης να εκτιμήσει την εντατική κατάσταση του φορέα μετά την έναρξη των ρηγματώσεων. Η παραπάνω αδυναμία θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί θεωρώντας δυσμενή σενάρια ρηγματώσεων στην κατασκευή, ώστε να μπορέσουν να ενεργοποιηθούν οι ελκυστήρες.

4) *Ομογενοποίηση μάζας και οριζόντιο διάζωμα στη στέγη των τοίχων*: Το τέταρτο σενάριο που εξετάζεται αποτελεί συνδυασμό δύο από τις παραπάνω τεχνικές. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι βελτιώνεται αισθητά η απόκριση της κατασκευής και μειώνονται αρκετά οι περιοχές στις οποίες αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις ικανές να προκαλέσουν ρηγματώσεις σε ένα ισχυρό σεισμό.



Σχήμα 4. Σύγκριση κύριων εφελκυστικών τάσεων για το σεισμό SGM B: α) Χωρίς ενίσχυση την χρονική στιγμή  $t=9,35\text{sec}$  (fr: 187) και β) Διαζώμα με εμποτισμό μάζας την χρονική στιγμή  $t=9,30\text{sec}$  (fr: 186)

### 3. Παρουσίαση επεμβάσεων ολοκλήρωσης της αποκατάστασης

Δύο βασικές στερεωτικές επεμβάσεις που επιβάλλεται να γίνουν στην πρώτη φάση των εργασιών αποκατάστασης είναι η περίδεση με μεταλλικές στεφάνες των τεσσάρων μαρμάρινων κίωνων που φέρουν τον τρούλο του βυζαντινού ναού, διότι εμφανίζουν τοπική απομείωση διατομής με απόσπαση τμήματος μαρμάρου από τον κορμό τους, και η τοποθέτησης διαφραγματικής κατασκευής (πιθανόν μεταλλικής) με ανεξάρτητο φέροντα οργανισμό στο δυτικό όριο του αρχικού βυζαντινού ναού, στην περιοχή συναρμογής των δύο φάσεων, λόγω της ανυπαρξίας του δυτικού τοίχου στη θέση αυτή. Στην διαφραγματική κατασκευή θα ανατεθεί μεγάλο μέρος των συνολικών δράσεων που ασκούνται κατά την διάρκεια του σεισμού σε εκείνη την περιοχή, που όπως δείχνουν και τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι αρκετά τρωτή.

Επίσης σε επόμενη φάση απαιτείται η αποκατάσταση του αρχικού νότιου τοίχου λόγω τοπικής κύρτωσης, η

τοποθέτηση ενεμάτων στην τοιχοποιία για την σφράγιση των ρωγμών, η αποκατάσταση των κτιστών κολώνων του δυτικού τμήματος του βυζαντινού ναού που φαίνεται να αποτελούν τα λείψανα των δυτικών παραστάδων του αρχικού ναού καθώς και η αντικατάσταση της ξύλινης στέγης της δυτικής προσθήκης.

Για το κωδωνοστάσιο απαιτείται να προηγηθεί η συνολικότερη διερεύνηση και κατανόηση του φέροντα οργανισμού του και οι συνθήκες μεταβίβασης των φορτίων του στις τοιχοποιίες της βάσης του.

## V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την εργασία έγινε προσπάθεια να μελετηθεί αρχιτεκτονικά και στατικά ο Ι.Ν. του Αγίου Νικολάου Ραγκαβά στην Πλάκα ώστε να προτείνουμε, με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης, το θεσμικό και νομοθετικό πλαίσιο, τις βέλτιστες λύσεις ενίσχυσης – αποκατάστασης για την μείωση της σεισμικής του τρωτότητας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συνδυασμός παραπάνω του ενός μέτρου επέμβασης βελτιώνει σημαντικά την σεισμική συμπεριφορά του μνημείου ακόμα και σε ισχυρούς σεισμούς. Εμφανής είναι η βελτίωση από τον εμποτισμό ενεμάτων στην τοιχοποιία του βόρειου τοίχου του βυζαντινού ναού, ενώ για τον νότιο τοίχο απαιτούνται και άλλα μέτρα ενίσχυσης, όπως περίδεση με βλήτρα.

Παρότι έγιναν μόνο ελαστικές αναλύσεις, κατέστη δυνατόν να ερμηνευτεί πολύ ικανοποιητικά η παθολογία του ναού, η οποία επαληθεύεται σε μεγάλο βαθμό από τον μεγεθυμένο σεισμό BSC.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το μνημείο έχει ενδογενή προβλήματα που οφείλονται στον τρόπο που έχει κατασκευαστεί η Β' φάση και στη γήρανση των υλικών, με αποτέλεσμα να είναι ευάλωτο σε σεισμικές καταπονήσεις. Οι αναλύσεις έδειξαν ότι οι επεμβάσεις που διερευνήθηκαν βελτιώνουν την σεισμική του συμπεριφορά, αλλά σε καμία περίπτωση δεν εξαλείφουν τον κίνδυνο σοβαρών ζημιών σε μελλοντικούς σεισμούς. Ιδιαίτερα επικίνδυνα είναι η περιοχή σύνδεσης των δύο φάσεων, που το εγκάρσιο τόξο της νότιας προσθήκης μπορεί να εμβολίσει (δράση «κριού») τον βυζαντινό ναό.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κο Ιωάννη Ψυχάρη για την επίβλεψη και τις πολύτιμες συμβουλές του, καθώς και την κα Έφη Δεληνικόλα και τον σύζυγό της Νίκο Δεληνικόλα για την πολύτιμη βοήθειά τους σε όλες τις φάσεις της μελέτης.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Δελτίο της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, *Αγιος Νικόλαος Ραγκαβάς. Συμβολή στην ιστορία του μνημείου*, Ελένη Κουνουπώτη-Μανωλέσσου, Τόμος ΚΔ' (2003), Σελ. 55-62, Αθήνα 2003
- Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, *Σεισμικές Βλάβες, Επισκευές και Ενισχύσεις*, τόμος Β', *Αποτίμηση Σεισμικών Βλαβών, Επισκευές και Ενισχύσεις Παραδοσιακών και Μνημειακών Κτιρίων*, Διονύσιος Βέρρας, Ελισάβετ Βιντζηλαίου, Αθανάσιος Τριανταφύλλου, Πάτρα 2004
- Nicholas Ambraseys & Ioannis N. Psycharis, *Assessment of the long-term seismicity of Athens from two classical columns*, Bulletin of Earthquake Engineering, Official Publication of the European Association for Earthquake Engineering
- ABAQUS 6.14, *Manual, Interactive Edition*, Simulia