

**Πρόγραμμα: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΣΤΥΛΩΝ ΤΟΥ
ΟΛΥΜΠΙΟΥ ΔΙΟΣ - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ
ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ**

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΑΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

ΑΡΧΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ – ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ

Σύμφωνα με τη σύμβαση, και όπως και ο τίτλος υποδηλώνει, οι βασικοί στόχοι του προγράμματος ήταν δύο:

- (α) η μελέτη της σεισμικής απόκρισης τμημάτων του μνημείου και
- (β) η διερεύνηση της σεισμικής ιστορίας της Αθήνας με βάση τις παραμορφώσεις που έχει υποστεί η κατασκευή από σεισμούς στα 2000 χρόνια της ζωής της.

Πιστεύουμε ότι και οι δύο αυτοί στόχοι επετεύχθηκαν πλήρως και ότι προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα:

(α) Μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς

Έγινε συστηματική διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς του μνημείου, η οποία περιελάμβανε:

- Διερεύνηση της δυναμικής απόκρισης μεμονωμένων κiónων και δύο κiónων συζευγμένων με επιστύλιο σε αρμονικές (ημιτονικές) διεγέρσεις. Διερευνήθηκε η επιρροή διαφόρων παραμέτρων, που σχετίζονται τόσο με τα χαρακτηριστικά της διέγερσης (περίοδος διέγερσης, διάρκεια, εδαφική ταχύτητα) όσο και με τα χαρακτηριστικά της ανωδομής (πλήθος σπονδύλων, σύζευξη κiónων με επιστύλιο κλπ). Επίσης, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των αρμονικών διεγέρσεων με αυτά που προκαλούνται από σεισμικές δονήσεις με αντίστοιχα χαρακτηριστικά.
- Διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς διαφόρων σχηματισμών κiónων σε σεισμικές δονήσεις. Εξετάστηκε η συμπεριφορά των τριών ανεξάρτητων σχηματισμών της ΝΑ γωνίας του μνημείου, που σώζονται σήμερα, και συγκεκριμένα των δύο δυτικών κiónων με επιστύλιο, της εξωτερικής γωνίας, αποτελούμενης από 6 κiónες σε σχηματισμό Γ και της εσωτερικής γωνίας, αποτελούμενης από 5 κiónες σε σχηματισμό διπλού Γ. Αναλύσεις στο χώρο για τόσο πολύπλοκους σχηματισμούς κiónων είναι η πρώτη φορά που πραγματοποιούνται, απ' όσο γνωρίζουμε.

- Διερεύνηση των βλαβών που είναι πιθανόν να προκληθούν σε μελλοντικούς σεισμούς. Εξετάστηκαν πάλι οι τρεις ανεξάρτητοι σχηματισμοί της ΝΑ γωνίας σε σεισμικές διεγέρσεις διαφόρων εντάσεων, οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις προκαλούσαν ακόμη και μερική κατάρρευση της κατασκευής.

(β) Διερεύνηση της σεισμικής ιστορίας της Αθήνας

Η διερεύνηση της σεισμικής ιστορίας της Αθήνας έγινε με βάση την υφιστάμενη παραμορφωμένη κατάσταση, στην οποία βρίσκεται ο δυτικότερος των σωζόμενων κιόνων της ΝΑ γωνίας, η οποία εκτιμάται ότι έχει προέλθει από τις σεισμικές καταπονήσεις που έχει υποστεί η κατασκευή στα 2000 χρόνια της ζωής της. Συγκεκριμένα, έγινε σύγκριση των πραγματικών μετατοπίσεων των σπονδύλων αυτού του κίονα με αυτές που προκύπτουν από τις αναλύσεις για διάφορες σεισμικές διεγέρσεις. Οι αναλύσεις έγιναν για το σύστημα των δύο κιόνων που είναι συζευγμένοι με το επιστύλιο και για πέντε σεισμικές διεγέρσεις.

Η όλη διαδικασία είναι εξαιρετικά δύσκολη, επειδή απαιτεί την επεξεργασία μίας πληθώρας δεδομένων, τα οποία περιλαμβάνουν τις μετατοπίσεις όλων των σπονδύλων της κατασκευής. Για το λόγο αυτό η ανάλυση επικεντρώθηκε μόνο στον ένα εκ των δύο κιόνων του σχηματισμού.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για πρώτη φορά επιχειρείται μία τέτοια ανάστροφη ανάλυση και ένας από τους σκοπούς μας ήταν και η διερεύνηση του κατά πόσον είναι εφικτή η εξαγωγή συμπερασμάτων από μια τέτοια διαδικασία. Τα αποτελέσματα δείχνουν αρκετή συνέπεια μεταξύ τους, που σημαίνει ότι, παρά τις αβεβαιότητες της ανάλυσης (άγνοια της πραγματικής κατάστασης του κτηρίου σε κάθε περίοδο της ζωής του, άγνοια των πραγματικών συνθηκών θεμελίωσης, κλπ) αλλά και τη γνωστή ευαισθησία της δυναμικής συμπεριφοράς λικνιζομένων σπονδυλωτών κατασκευών, αρκετά σημαντικά συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν. Τα αποτελέσματα του προγράμματος οδηγούν σε κάποια σενάρια για τους σεισμούς που πιθανόν να έχουν πλήξει την Αθήνα, αλλά για να γίνουν τα συμπεράσματα πιο αξιόπιστα, απαιτούνται περισσότερες αναλύσεις, οι οποίες θα περιλαμβάνουν και άλλους κίονες του μνημείου καθώς και άλλα μνημεία της Αττικής.

ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την επίτευξη των στόχων του προγράμματος έγιναν οι παρακάτω ενέργειες:

1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση και συγκέντρωση πληροφοριών για την ιστορία και τα αρχιτεκτονικά στοιχεία του μνημείου.
2. Λεπτομερής αποτύπωση των παραμορφώσεων (μετατοπίσεις σπονδύλων) των δύο δυτικών κιόνων της ΝΑ γωνίας.

3. Κατασκευή αριθμητικών προσομοιωμάτων για τις επιλύσεις, στα οποία συμπεριελήφθησαν, κατά το δυνατόν, και όλες οι σημαντικές βλάβες. Επίσης, ελήφθησαν υπόψη οι μεταλλικοί σύνδεσμοι που υπάρχουν μεταξύ των σπονδύλων. Προσομοιώματα έγιναν για:
 - Μεμονωμένους κίονες με διαφορετικό πλήθος και ύψος σπονδύλων
 - Τους δύο δυτικούς κίονες με επιστύλιο της ΝΑ γωνίας
 - Την εξωτερική συστοιχία κίωνων της ΝΑ γωνίας
 - Την εσωτερική συστοιχία κίωνων της ΝΑ γωνίας
4. Επιλογή σεισμικών δονήσεων για τις επιλύσεις. Επελέγησαν καταγραφές πραγματικών σεισμών με διαφορετικά μεταξύ τους χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένης της καταγραφής του σεισμού της Αθήνας (1999) στο Σύνταγμα, η οποία είναι η πλησιέστερη στο μνημείο καταγραφή που υπάρχει.
5. Αριθμητικές αναλύσεις της δυναμικής απόκρισης των διαφόρων τμημάτων της κατασκευής. Όλες οι αναλύσεις έγιναν στο χώρο, για σεισμική διέγερση και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, με χρήση του κώδικα 3DEC, που βασίζεται στη μέθοδο των διακριτών στοιχείων.
6. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων και παρουσίασή τους σε μορφή που να βοηθά την εξαγωγή συμπερασμάτων (χρονοϊστορίες μετακινήσεων, σχεδίαση παραμορφωμένης κατάστασης κλπ).
7. Εξαγωγή συμπερασμάτων και συγγραφή τελικής έκθεσης.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΠΟΝΗΣΗ

Κατά την εκπόνηση του προγράμματος αντιμετωπίσαμε αρκετά προβλήματα, τα οποία όμως επιλύθηκαν και έτσι μπορέσαμε να ολοκληρώσουμε επιτυχώς το πρόγραμμα. Τα κυριότερα από τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε ήταν:

1. Προβλήματα στις αριθμητικές αναλύσεις, τα οποία προέκυψαν από τη χρήση της νέας έκδοσης του λογισμικού προγράμματος 3DEC (που είχε αλλαγές στις εντολές σε σχέση με το manual), αλλά και από εσωτερικές αδυναμίες του προγράμματος να αντιμετωπίσει το συγκεκριμένο πρόβλημα. Όλα αυτά τα προβλήματα αντιμετωπίστηκαν επιτυχώς, χάρις στη συνδρομή του μέλους της ερευνητικής ομάδας J.V.Lemos, ο οποίος έχει δυνατότητα επέμβασης στον κώδικα και μπόρεσε να κάνει τις απαιτούμενες τροποποιήσεις.
2. Στη διάρκεια του προγράμματος άρχισαν εργασίες συντήρησης στο μνημείο, οι οποίες μας εμπόδισαν να κάνουμε έγκαιρα την αποτύπωση.

3. Ο τεράστιος όγκος δεδομένων που προέκυψε από τις επιλύσεις (μετακινήσεις όλων των σπονδύλων για ένα πλήθος διεγέρσεων), η επεξεργασία των οποίων απαιτούσε πολύ περισσότερο χρόνο, απ' ό,τι αρχικά υπολογίζαμε.

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από το πρόγραμμα προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα, τα οποία πιστεύουμε ότι ενδιαφέρουν τη διεθνή επιστημονική κοινότητα, αφού πολλές από τις διερευνήσεις που έγιναν πραγματοποιούνται για πρώτη φορά. Ήδη τα πρώτα συμπεράσματα της εργασίας ανακοινώθηκαν στο 3rd European Conference on Structural Control, που πραγματοποιήθηκε στη Βιέννη στις 12-15 Ιουλίου 2004 (τίτλος ανακοίνωσης: "Dynamic response of a part of the temple of Olympios Zeus (Olympieion) in Athens, Greece, to harmonic and earthquake excitations"). Σκοπεύουμε να συγγράψουμε και άλλα επιστημονικά άρθρα με τα τελικά αποτελέσματα, τα οποία θα δημοσιευθούν σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά και θα ανακοινωθούν σε συνέδρια.

Εκτός από το επιστημονικό τους ενδιαφέρον, πιστεύουμε ότι τα αποτελέσματα ενδιαφέρουν και όλους όσους ασχολούνται με συντηρήσεις και αναστηλώσεις αρχαίων μνημείων, επειδή δίνουν αρκετά νέα στοιχεία για τη σεισμική συμπεριφορά συστοιχιών κιόνων σε διάφορους σχηματισμούς.

Τέλος, τα συμπεράσματα που αναφέρονται στη σεισμική ιστορία της Αθήνας έχουν ιδιαίτερη πρακτική σημασία, αφού οι πληροφορίες που έχουμε για μεγάλους σεισμούς του παρελθόντος είναι πολύ περιορισμένες. Η ανάστροφη ανάλυση, που επιχειρείται στη μελέτη, αποσκοπεί στην αποκρυπτογράφηση πληροφοριών για τους σεισμούς που έχουν πλήξει την πόλη τα τελευταία 2000 χρόνια. Η χρονική αυτή περίοδος είναι 4 φορές μεγαλύτερη από τη μέση περίοδο επανάληψης του σεισμού σχεδιασμού του ΕΑΚ και, επομένως, τα συμπεράσματα είναι άμεσα εφαρμόσιμα για τον καλύτερο καθορισμό της σεισμικής επικινδυνότητας της Αθήνας. Επειδή, όμως, μία τέτοια ανάλυση εμπεριέχει από τη φύση της αρκετές αβεβαιότητες, πιστεύουμε ότι χρειάζονται επί πλέον επιλύσεις, που να περιλαμβάνουν και άλλα μνημεία της Αττικής, ώστε να προκύψουν περισσότερο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2005
Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος

Γιάννης Ν. Ψυχάρης
Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.