

Αρ. Πρωτ. 1067  
8.7.2004

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΟΑΣΠ  
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΣΤΑ ΜΟΥΣΕΙΑ ΕΝΑΝΤΙ ΣΕΙΣΜΟΥ**

Το πρόβλημα που εξετάζεται στο ερευνητικό πρόγραμμα είναι η κατάλληλη «στάσις», κοινώς το στήσιμο, ή η έκθεση αρχαιολογικών αντικειμένων – ιδίως γλυπτών – στα μουσεία έτσι ώστε να είναι ασφαλή σε σεισμική καταπόνηση.

Στα μεγάλα μουσεία της Ελλάδας το πρόβλημα αυτό επιλύεται κατά κανόνα με τρόπο εμπειρικό. Είναι ελάχιστες οι περιπτώσεις εκείνες που το θέμα της στατικής και αντισεισμικής επάρκειας έχει αντιμετωπιστεί με επιστημονική τεκμηρίωση. Στο διεθνή χώρο οι σχετικές επιστημονικές ανακοινώσεις σπανίζουν.

Ο στόχος του ερευνητικού προγράμματος είναι να συμβάλει στην κατάρτιση προδιαγραφών και στο σχεδιασμό κανονισμών αντισεισμικής προστασίας για την στήριξη λίθινων αντικειμένων σε βάσεις από φυσικό λίθο.

Το περιεχόμενο του προγράμματος είναι:

- *Η καταγραφή των συστημάτων στήριξης των αρχαιολογικών αντικειμένων στα Μουσεία.*
- *Η πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς ενός συστήματος στήριξης (Μουσείο Μπενάκη).*

**1. Η βάση δεδομένων.**

Με βάση την εμπειρία της συστηματικής επανέκθεσης των αρχαιολογικών εκθεμάτων του Μουσείου Μπενάκη, οργανώθηκε σε Η.Υ μια βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στην Access. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να υπάρξουν είτε σε αυτόνομα δελτία είτε να ενταχθούν στα δελτία συντήρησης (η περίπτωση του Μουσείου Μπενάκη) που τηρούνται στα αντίστοιχα εργαστήρια, καθώς είναι αναγκαίο να διασώζονται τεκμήρια από κάθε είδους επέμβαση στα αντικείμενα.

Οι πληροφορίες συλλέγονται σε δύο καρτέλες με τέτοιο τρόπο ώστε να καταχωρούνται πληροφορίες που αφορούν τόσο στην κατάσταση του ίδιου του αντικειμένου όσο και των βάσεων / βάθρων, που φέρουν τα αντικείμενα αυτά.

Στην πρώτη καρτέλα (Α) καταχωρούνται τα στοιχεία που αφορούν στην κατάσταση του αντικειμένου που είναι: Η φωτογραφική και σχεδιαστική τεκμηρίωση του (1), η χρονολόγηση του (2), η θέση του στο μουσείο (3), το υλικό της κατασκευής (4), οι διαστάσεις (5), το βάρος - κατ' εκτίμηση από τις διαστάσεις- (6), η κατάσταση διατήρησης (7), τα στοιχεία για τις εργασίες συντήρησης (8) τα στοιχεία του υπεύθυνου συντηρητή/ τεχνίτη (9) και τα κύρια υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (10). Στη σελίδα αυτή βρίσκονται επίσης τα στοιχεία της ταυτότητας του αντικειμένου, με τα οποία είναι δυνατόν να αναζητηθούν στη βάση, όπως το χαρακτηριστικό του όνομα και ο αριθμός ευρετηρίου του μουσείου(11).

Στη δεύτερη καρτέλα (Β) τα στοιχεία που καταχωρούνται είναι σχετικά με την βάση ή το βάθρο όπου είναι στημένο το αντικείμενο (διαστάσεις, βάρος, υλικό) (1), μια γενική περιγραφή του τρόπου στήριξης (2), το είδος και τις διαστάσεις των συνδετήριων στοιχείων -πείρων- (3). Επίσης διαμορφώθηκε και ένας χώρος στον οποίο να μπορούν να εισαχθούν σχέδια και λεπτομέρειες από ειδικές κατασκευές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την στήριξη (4). Τέλος θεωρήθηκε αναγκαίο να δημιουργηθεί και ένα πεδίο στο οποίο να καταγράφονται πληροφορίες σχετικά με βλάβες που μπορεί να προκλήθηκαν στο έκθεμα ή τη βάση του, από την επίδραση έκτατων συμβάντων, όπως είναι ένας σεισμός ή ίσως και βανδαλισμός (5).

Στο Παράρτημα 1 του φακέλου του προγράμματος δίνονται τα δελτία της βάσης δεδομένων για το Μουσείο Μπενάκη, το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο και του Μουσείο Δελφών.

## 2. Το πείραμα.

Το πείραμα έγινε στη σεισμική τράπεζα του ΕΜΠ με τη συνεργασία του Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ (Διευθυντής: Καθηγητής Π. Καρύδης. Υπεύθυνος σεισμικής τράπεζας: Λέκτορας Χ. Μουζάκης).

Αφορά στη διερεύνηση της συμπεριφοράς σε σεισμική καταπόνηση των εξής τριών ακριβών αντιγράφων γλυπτών εκτεθειμένων σε πρισματικά βάθρα.

- Η «πλάκα» είναι ακριβές αντίγραφο μαρμάρινης επιτύμβιας πλάκας ή στήλης με παράσταση σπλιτοδρόμου (περί το 500 πΧ) που εκτίθεται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο.
- Η «λήκυθος» είναι ακριβές αντίγραφο μαρμάρινης επιτύμβιας ληκύθου με ανάγλυφη παράσταση δεξίωσης (χρονολογείται στον 4<sup>ο</sup> αι. π.Χ.), που εκτίθεται στο μουσείο Μπενάκη.
- Η «κεφαλή» είναι ακριβές αντίγραφο της μαρμάρινης κεφαλής της Υγείας, πιθανώς έργο του Σκόπα (περί το τελευταίο τρίτο του 4<sup>ου</sup> αι. π.Χ.), που εκτίθεται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο.

Η έκθεση των γλυπτών γίνεται σε βάθρα χωρίς οποιοδήποτε οριζόντιο στήριγμα σε γειτονικό τοίχο, αφού απαιτείται να είναι περίοπτα. Οι βάσεις είναι υψίκορμες, επειδή το έκθεμα πρέπει να βρίσκεται στο ύψος του θεατή – επισκέπτη. Τέλος η στήριξη του βάθρου στο δάπεδο και του εκθέματος στο βάθρο είναι απλή έδραση, ούτως ώστε να είναι δυνατή η αφαίρεσή τους προκειμένου να γίνει μια μελλοντική επανέκθεσή τους ή να υποστούν εργασίες συντήρησης ή συμπλήρωσης με νέα θραύσματα.

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Βάση διαστάσεων 1.20X1.20 m κατασκευασμένη από ωπλισμένο σκυρόδεμα, επί της οποίας συγκολλήθηκε πλάκα μαρμάρου.
- Τρία μαρμάρινα βάθρα: Της πλάκας με διαστάσεις 0.88X0.25X1.00 m, της ληκύθου με διαστάσεις 0.25X0.25X1.00 m και της κεφαλής της Υγείας με διαστάσεις 0.20X0.20X1.50 m. Στο κάτω τμήμα των βάσεων έχει διαμορφωθεί σκοτία.

- Τα αντίγραφα των εκθεμάτων από τεχνητό λίθο με βάση το λευκό τσιμέντο.

Μεταξύ αφ ενός του βάθρου και της βάσης και αφ' ετέρου του εκθέματος και του βάθρου έχουν τοποθετηθεί πείροι από ανοξείδωτο χάλυβα με το σύστημα που εφαρμοζόταν στα αρχαία χρόνια στους πόλους και τα εμπόλια: Μια μεταλλική θήκη – κυλινδρικός σωλήνας - είναι στερεωμένη σε εγκοπή του κάθε αντικειμένου, ούτως ώστε κατά την τοποθέτηση οι πείροι, που έχουν ελαφρώς κολουροκωνικό σχήμα, να εισχωρούν στις θήκες. Στη λήκυθο και την κεφαλή της Υγείας υπάρχουν από ένας πείρος (βάση - βάθρο και βάθρο - έκθεμα) και στην πλάκα από δυο ζεύγη.

Στις κάτω έδρες των βάθρων έχουν συγκολληθεί ελάσματα, τα οποία αποσκοπούν να αποσοβήσουν ενδεχόμενη απόσχιση της βάσης του μαρμάρου από συγκέντρωση τάσεων στην άντυγα.

Η απόκριση των δοκιμών προσδιορίστηκε με καταγραφή των οριζοντίων επιταχύνσεων στα βάθρα και τα δοκίμια και με καταγραφή των μετακινήσεων με στερεοσκοπική βιντεοσκόπηση και φωτογραμμετρική ανάλυση των εικόνων σύμφωνα με τη μέθοδο που έχει αναπτυχθεί από το εργαστήριο φωτογραμμετρίας του ΕΜΠ (υπεύθυνος για το πείραμα Δρ Ελ. Τουρνάς).

Το πείραμα έγινε σε δυο φάσεις. Η πρώτη περιλάμβανε 18 δοκιμές με ισάριθμες διεγέρσεις της σεισμικής τράπεζας και φτάσαμε μέχρι την ανατροπή της ληκύθου (χωρίς όμως καταστροφή της). Στη δεύτερη φάση έγινε ανασχεδιασμός του πείρου μεταξύ της ληκύθου και του βάθρου της και αφ' ενός επαναλήφθηκαν ορισμένες από τις διεγέρσεις της πρώτης φάσης προκειμένου να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα των πειραμάτων και φτάσαμε σε πολύ ισχυρότερες διεγέρσεις για να ελεγχθούν τα τελικά όρια ευστάθειας των δοκιμών.

Η καταπόνηση των δοκιμών έγινε αφ' ενός με λογαριθμική σάρωση συχνοτήτων 1-16 Hz κατά X, Y και Z, αφ' ετέρου με σεισμικές καταπονήσεις από πραγματικές καταγραφές και από ένα τεχνητό σεισμό.

Η παρουσίαση των πειραμάτων τεκμηριώθηκε με βιντεοσκόπηση και φωτογράφιση, που περιέχονται στο φάκελο στο Παράρτημα 2 ( 3 CD).

Οι καταγραφές των επιταχυνσιόμετρων και των μετακινήσεων από τη στερεοσκοπική βιντεοσκόπηση περιέχονται στο Παράρτημα 3.

Στην τελική έκθεση του ερευνητικού προγράμματος παρουσιάζονται τα επεξεργασμένα αποτελέσματα των δοκιμών και τα συμπεράσματα της έρευνας.

### **3. Συμπεράσματα – προτάσεις.**

Από τη μελέτη των καταγραφών των επιταχύνσεων και των μετακινήσεων του δοκιμίου προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η λικνιστική απόκριση των ελευθέρως εδραζομένων σωμάτων είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στις ανωμαλίες των επιφανειών έδρασης, ακόμα και όταν είναι απειροελάχιστες. Σημειώνεται ότι στο πείραμά μας η μαρμάρινη επιφάνεια της βάσης ήταν επιπεδωμένη και λειασμένη με μεγάλη επιμέλεια και τα ελάσματα των

κάτω εδρών των βάθρων ήταν κατεργασμένα σε μηχανουργική πλάνη. Εν τούτοις αποδείχτηκε για μια ακόμη φορά ότι τα ελεύθερα εδραζόμενα σώματα δε συμπεριφέρονται ως απολύτως στερεά, δηλαδή να αρχίζουν να λικνίζονται όταν η επιτάχυνση βάσης ως ποσοστό του  $g$  ξεπεράσει την αναλογία του συστήματος (λόγος διάστασης έδρας προς ύψος), αλλά αποκρίνονται για μικρότερες διεγέρσεις.

- Παρατηρείται ότι αντίθετα με τη θεωρία του λικνισμού των απολύτως στερεών υπάρχει μια «ψευδοϊδιοπερίοδος» εξαρτώμενη από τις διαστάσεις του συστήματος και τις μικροανωμαλίες των εδρών, με αποτέλεσμα το σύστημα να παρουσιάζει φαινόμενα συντονισμού (βλέπε καταγραφές για λογαριθμική σάρωση συχνοτήτων).
- Λόγω του λικνισμού παρατηρείται μεγάλη ενίσχυση της κίνησης στην κορυφή των βάθρων και ακόμη μεγαλύτερη στα ανώτερα σημεία των εκθεμάτων. Το φαινόμενο ήταν ιδιαίτερος έντονο στην περίπτωση της ληκύθου, όπου παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη ενίσχυση μεταξύ σεισμικού προσομοιωτήρα – βάθρου σε όλες τις δοκιμές και στις δύο φάσεις.
- Η επιρροή των μικροανωμαλιών των εδρών έχει ως συνέπεια μεγάλες διαφορές στην απόκριση για επαναλαμβανόμενη ίδια διέγερση. Η διαφορές αυτές αναφέρονται τόσο στο εύρος όσο και στο περιεχόμενο συχνοτήτων.
- Για τους ανωτέρω λόγους δεν μπορεί να γίνει με τις διαθέσιμες αναλυτικές μεθόδους η πρόβλεψη της απόκρισης των συστημάτων αυτών σε σεισμό. Η αριθμητική πρόβλεψη με τη μέθοδο των διακριτών στοιχείων (προγράμματα UDEC και 3DEC) πάσχει κατά το ότι δεν λαμβάνει υπ' όψιν τη σημαντική επιρροή των πραγματικών συνθηκών έδρασης (μικροανωμαλίες, φθορές κλπ), ενώ η προσομοίωση με στροφικό ελατήριο των πραγματικών συνθηκών βάσει των πειραματικών δεδομένων δεν μπορεί να αποδώσει την πραγματική κίνηση λόγω της μη γραμμικότητας της λικνιστικής απόκρισης.
- Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων καταγράφηκαν μεγάλες μετακινήσεις των σημείων των βάθρων και των εκθεμάτων προς όλες τις διευθύνσεις, ακόμα και στις περιπτώσεις που η διέγερση ήταν προς μια μόνο διεύθυνση. Η μικρή παραμένουσα μετακίνηση στο τέλος κάθε δοκιμής δεν υποδηλώνει τις μεγάλες μετακινήσεις οι οποίες εκδηλώθηκαν κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης σε όλα τα εκθέματα.
- Ο λικνισμός έχει ως αποτέλεσμα τη στιγμιαία συγκέντρωση τάσεων σε περιοχές του περιγράμματος των εδρών. Στα μεν βάθρα δεν παρουσιάστηκε καμία φθορά λόγω της παρεμβολής των ελασμάτων και της σκοτίας. Παρουσιάστηκαν όμως απολεπίσεις στα περιγράμματα των εκθεμάτων.
- Το σύστημα στερέωσης αποδείχτηκε πολύ αποτελεσματικό ακόμη και για ακραίες καταπονήσεις. Στην πρώτη φάση των δοκιμών κατέρρευσε η λήκυθος για καταπόνηση με το 70% του σεισμού της Καλαμάτας. Μετά την επαναδιαστασιολόγηση του πείρου (διάμετροι Φ12/9 mm έναντι Φ8/6 αρχικώς), η λήκυθος, όπως και τα άλλα εκθέματα, άντεξαν τις ακραίες καταπονήσεις του 110% του σεισμού της Καλαμάτας, του σεισμού των

Αθηνών και του τεχνητού σεισμού. Κάμψη παρουσίασαν μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών και οι πείροι της επιτύμβιας πλάκας.

Οι πρακτικές υποδείξεις που προκύπτουν από το παρόν ερευνητικό πρόγραμμα για την έκθεση αρχαιολογικών αντικειμένων σε υψίκορμα βάρθρα είναι οι ακόλουθες:

- Η έκθεση αρχαιολογικών αντικειμένων σε υψίκορμα βάρθρα ελευθέρως εδραζομένων στο δάπεδο με παρεμβολή πείρων, οι οποίοι επιτρέπουν ανεμπόδιτο λικνισμό, είναι ασφαλής και επαρκής σε σεισμική καταπόνηση ακόμα και για πολύ μεγάλες καταπονήσεις.
- Για να είναι ανεμπόδιτος ο λικνισμός θα πρέπει οι πείροι να έχουν ελαφρώς κολουροκωνική μορφή, επαρκή διατομή και κατάλληλο μήκος προκειμένου να αποτρέπεται η ανατροπή σε περίπτωση ακραίων καταπονήσεων.
- Θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα πρακτικά μέτρα για τον περιορισμό στο ελάχιστο των ανωμαλιών των εδρών, δεδομένου ότι η απόκριση στο σεισμό επηρεάζεται σημαντικά από αυτές.
- Η διαμόρφωση σκοτίας στα κάτω άκρα των βάρθρων και η παρεμβολή ελασμάτων με μηχανουργική επιπέδωση εξασφαλίζουν την προστασία των ευαίσθητων ακμών από απολεπίσεις κατά το λικνισμό. Αντίστοιχες προστατευτικές ταινίες ακμών είναι συνήθεις στην αρχαία οικοδομική (υποτομές).
- Θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα προστασίας των ακμών του περιγράμματος των εδρών των αρχαιολογικών αντικειμένων. Η παρεμβολή ελασμάτων των οποίων το περίγραμμα βρίσκεται εντός του περιγράμματος της έδρας (εσοχή περίπου 1 cm) βοηθάει την προστασία των ακμών, μολονότι καθιστά το αντικείμενο ραδινότερο.
- Τα αρχαιολογικά αντικείμενα πρέπει να είναι καλοσυντηρημένα (συνδέσεις και συγκολλήσεις θραυσμάτων) και ιδίως τα υψηλότερα άκρα τους, δεδομένου ότι κατά το λικνισμό αναπτύσσονται μεγάλες αδρανειακές δυνάμεις, οι οποίες είναι δυνατό να έχουν καταστρεπτικές συνέπειες για το έκθεμα.

Τα συμπεράσματα, οι προτάσεις και η βάση δεδομένων του παρόντος ερευνητικού προγράμματος είναι πολύ χρήσιμα για το ΥΠΠΟ και τα εποπτευόμενα μουσεία. Ο ΟΑΣΠ θα μπορούσε να κοινοποιήσει προς το ΥΠΠΟ την τελική έκθεση του προγράμματος, προκειμένου να συνταχθούν οι σχετικές οδηγίες για την έκθεση αρχαιολογικών αντικειμένων.

#### Η ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

Κ. Ζάμπας Δρ Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ. Επιστημονικός Υπεύθυνος

Κ. Χατζηαντωνίου M.Sc Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

Α. Γαλανού M.Sc Συντηρήτρια Αρχαιοτήτων

Ι. Δογάνη Συντηρήτρια Αρχαιοτήτων