

### **ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

Θα πρέπει κατ' αρχάς να γίνει σαφές ότι τα τελικά συμπεράσματα που διατυπώνονται σ' αυτό το κεφάλαιο αποτελούν σύνοψη των συμπερασμάτων που έχουν διατυπωθεί ανά κεφάλαιο ως αποτέλεσμα των πειραματικών και υπολογιστικών διερευνήσεων. Μια πιο εκτενής αναφορά σ' αυτά τα συμπεράσματα γίνεται στο Κεφάλαιο 9. Ωστόσο, η επανάληψη των πλέον βασικών συμπερασμάτων σ' αυτό το κεφάλαιο κρίθηκε σκόπιμη ώστε να γίνει πιο άμεση συσχέτιση με τις προτάσεις που επίσης διατυπώνονται σ' αυτό το κεφάλαιο στη συνέχεια και αφορούν απόψεις για πρακτικά προβλήματα επεμβάσεων σε μνημεία όπου γίνεται χρήση συνδέσμων.

#### **10.1. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ**

Από το σύνολο της έρευνας που έγινε στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος μπορούν να διατυπωθούν τα εξής τελικά συμπεράσματα:

##### **10.1.1. Συμπεράσματα με βάση τις βιβλιογραφικές αναφορές σε συνδέσμους**

- Με βάση τη βιβλιογραφία αλλά και παρατηρήσεις σε αρχαιολογικούς χώρους, προκύπτει ότι σε αρχαία μνημεία της αρχαϊκής, κλασσικής, ελληνιστικής και ρωμαϊκής περιόδου γινόταν συστηματική χρήση συνδέσμων για τη σύνδεση τόσο των σφονδύλων των κιόνων όσων και των ανώτερων τμημάτων των μνημείων.
- Επισημαίνεται δε ότι σε αρκετά μνημεία ή τμήματα αυτών των μνημείων, οι σύνδεσμοι αυτοί είτε είχαν αλλοιωθεί με το χρόνο, αρά ουσιαστικά δεν υπήρχαν για μεγάλο χρονικό διάστημα, είτε δεν είχαν χρησιμοποιηθεί καθόλου, είτε ακόμα σε στάδια αναστήλωσης δεν είχαν επανατοποθετηθεί σύνδεσμοι.
- Για την κατασκευή αυτών των συνδέσμων γινόταν χρήση διαφόρων υλικών. Για τη σύνδεση των σφονδύλων των κιόνων χρησιμοποιούσαν κυρίως διάφορα είδη ξύλου, τόσο για την κατασκευή των πόλων όσο και για την κατασκευή των εμπολίων. Για τα υπόλοιπα τμήματα, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις και για τους σφονδύλους των κιόνων (σπανιότερα και σε μεταγενέστερες εποχές) χρησιμοποιούσαν διάφορα είδη μετάλλων (κυρίως ορύχαλκου) με επικάλυψη από μόλυβδο.
- Μέχρι σήμερα η επιρροή αυτών των συνδέσμων στη σεισμική συμπεριφορά αυτού του τύπου των μνημείων δεν είχε διερευνηθεί. Οι οποιεσδήποτε απόψεις είχαν εκφραστεί κατά καιρούς επ' αυτού του θέματος δεν συνοδεύοντα από αντίστοιχες πειραματικές και υπολογιστικές τεκμηριώσεις.
- Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε κάποιες περιπτώσεις αναστηλωτικών επεμβάσεων σε μνημεία αυτού του τύπου, είτε έγινε χρήση συνδέσμων αλλά με διαφορετικό υλικό από το πρωτότυπο (π.χ. Παρθενώνας), είτε χρησιμοποιήθηκε άλλος τρόπος σύνδεσης των διαφόρων μελών του μνημείου, αλλοιώνοντας έτσι το αρχικό δομικό σύστημα του μνημείου (π.χ. Ναός Απόλλωνα Υλάτη στο Κούριο, Αρχαιολογικός χώρος Λίνδου στη Ρόδο κ.λ.π.).

### 10.1.2. Συμπεράσματα σχετικά με τη σεισμική συμπεριφορά των μνημείων

Με βάση τα αποτελέσματα προηγούμενων πειραματικών και υπολογιστικών ερευνών καθώς και επιτόπου παρατηρήσεων σε αρχαιολογικούς χώρους της ίδιας ερευνητικής ομάδας που εκπόνησε αυτό το ερευνητικό πρόγραμμα αλλά και με βάση τα αποτελέσματα άλλων ερευνών, μπορούν να διατυπωθούν τα παρακάτω γενικά συμπεράσματα για τη σεισμική συμπεριφορά των μνημείων της αρχαϊκής, κλασσικής, ελληνιστικής και ρωμαϊκής περιόδου που έχουν ως βασικό δομικό σύστημα την κιονοστοιχία, εν ξηρώ δομημένα χωρίς χρήση κονιαμάτων. Τα συμπεράσματα αυτά έχουν επιβεβαιωθεί και στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος, γεγονός που ενισχύει τη γενικότητα της ισχύς τους.:

- Τα περισσότερα από τα μνημεία των πιο πάνω περιόδων που σώζονται μέχρι σήμερα είναι σε κατάσταση ερειπίου. Ελάχιστα διαθέτουν σημαντικό μέρος της αρχικής τους μορφής ενώ επίσης ελάχιστα από αυτά έχουν αναστηλωθεί.
- Πέραν των ανθρωπίνων επεμβάσεων, τα κυριότερα αίτια αστοχίας και κατάρρευσης αυτών των μνημείων είναι οι έντονες μετακινήσεις λόγω σεισμικής φόρτισης, η αστοχία του υλικού κατασκευής τους (θραύσεις) και η αστοχία της θεμελίωσης.
- Έχει διαπιστωθεί τόσο από επιτόπου παρατηρήσεις όσο και από πειραματικές και υπολογιστικές διερευνήσεις ότι σε περίπτωση σεισμού οι έντονες μετακινήσεις τμημάτων αυτών των μνημείων προκαλούνται είτε από ολίσθηση μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του μνημείου είτε από συνδυασμό της ολίσθησης και του λικνισμού, επίσης μεταξύ διαφόρων τμημάτων των μνημείων.
- Η απόκριση σε ολίσθηση καθώς και οι δυνάμεις οι οποίες αναπτύσσονται στο ολισθαίνον τμήμα του μνημείου επηρεάζονται τόσο από τους συντελεστές τριβής που αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια ολίσθησης όσο και από το υπερκείμενο φορτίο.
- Η απόκριση σε λικνισμό καθώς και οι δυνάμεις που αναπτύσσονται λόγω κρούσης μεταξύ των λικνιζόμενων τμημάτων του μνημείου ή με τη βάση έδρασης επηρεάζονται από τη γεωμετρία, το υλικό κατασκευής του μνημείου και το συντελεστή αποκατάστασης ο οποίο περιγράφει το ποσοστό της κινητικής ενέργειας των λικνιζόμενων τμημάτων του μνημείου που χάνεται λόγω κρούσης.
- Τόσο κατά την ολίσθηση όσο και κατά το λικνισμό επισυμβαίνει αφενός απόσβεση ενέργειας αφετέρου δε ανάπτυξη υψηλών τάσεων οι οποίες ενίοτε οδηγούν στην αλλοίωση των επιφανειών ή των ακμών τμημάτων του μνημείου.
- Επίσης, τόσο κατά την ολίσθηση όσο και κατά το λικνισμό τα σώματα που υπόκεινται σ' αυτού του είδους τις κινήσεις παρουσιάζουν ένα ανώτερο όριο απόκρισης σε επιταχύνσεις. Γι' αυτό η αποτίμηση της σεισμικής τους συμπεριφοράς θα πρέπει να γίνεται με όρους μετακίνησης (μετατοπίσεις, γωνίες στροφής).
- Υπό συνθήκες πραγματικών σεισμικών κινήσεων είναι πολύ πιθανή η ανάπτυξη μόνιμων μετακινήσεων μεταξύ των διαφόρων μελών του μνημείου, ακόμα και στην περίπτωση που τα διάφορα μέλη του μνημείου συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους.

### 10.1.3. Συμπεράσματα με βάση τα αποτελέσματα της πειραματικής έρευνας

Το μεγαλύτερο τμήμα της έρευνας που έγινε στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος ήταν πειραματικού χαρακτήρα και υλοποιήθηκε σε σύγχρονες και αυστηρά ελεγχόμενες διατάξεις με τη χρήση επίσης σύγχρονων μετρητικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση της Διάταξης Τεχνητών Σεισμών (Σεισμική Τράπεζα) καθώς και του Πλαισίου Αντίδρασης του Εργαστηρίου Πειραματικής Αντοχής Υλικών και Κατασκευών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ.. Οι παραπάνω διατάξεις χρησιμοποιήθηκαν για την επιβολή τόσο δυναμικών και σεισμικών διεγέρσεων στα υπό μελέτη πειραματικά δοκίμια όσο και για την επιβολή πλευρικών στατικών και δυναμικών εναλλασσόμενων φορτίσεων κατά απόλυτα ελεγχόμενο τρόπο. Πέρα των πιο πάνω διατάξεων έγινε επίσης χρήση των υπολοίπων διατάξεων του εργαστηρίου για άλλου είδους πειράματα (θραύσης, κάμψης, ελκυσμού) καθώς και χρήση του εξοπλισμού του μηχανουργείου του εργαστηρίου για την κατεργασία και διαμόρφωση δοκιμίων και άλλων συμπληρωματικών διατάξεων για την εν λόγω έρευνα. Οι μετρήσεις της συμπεριφοράς των πειραματικών δοκιμίων έγινε με σύγχρονα ηλεκτρονικά όργανα υψηλής ακρίβειας (μηκυνσιόμετρα, επιταχυνσιόμετρα, δυναμόμετρα κ.λ.π.) η δε επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με λογισμικά επίσης υψηλής ακρίβειας.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η κατασκευή των μαρμάρινων πειραματικών δοκιμίων έγινε από εξειδικευμένο εργοστάσιο μαρμάρων το οποίο διαθέτει υψηλής ακρίβειας εργαστηριακό εξοπλισμό και τεράστια εμπειρία στην κατασκευή μαρμάρινων τμημάτων αρχαίων μνημείων για αναστηλωτικές επεμβάσεις. Μεταξύ άλλων, το εν λόγω εργοστάσιο έχει συνεισφέρει δια του έργου του στις αναστηλωτικές επεμβάσεις σε μνημεία της Ακρόπολης των Αθηνών, στους Φιλίππους κ.λ.π. Η διαμόρφωση των χαλύβδινων σφονδύλων έγινε από επίσης εξειδικευμένο εργοστάσιο επεξεργασίας μετάλλων. Για την κατασκευή των πόλων και των εμπολίων χρησιμοποιήθηκε ξυλεία υψηλής ποιότητας, ελεγμένη από εξειδικευμένη βιοτεχνία επεξεργασίας ξυλείας και κατασκευής ξύλινων αντικειμένων. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, όταν και όπου απαιτήθηκαν διορθωτικές μικροεπεμβάσεις στα πειραματικά δοκίμια, αυτές έγιναν από το έμπειρο τεχνικό προσωπικό του εργαστηρίου.

Η παραπάνω συνοπτική αναφορά κρίθηκε σκόπιμη ώστε να καταστεί σαφές ότι τα τελικά συμπεράσματα τα οποία διατυπώνονται στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος που βασίζονται σε πειραματικά αποτελέσματα, είναι αποτέλεσμα υψηλής στάθμης εργασίας, από πάσης απόψεως.

Πολύ συνοπτικά λοιπόν, τα τελικά συμπεράσματα με βάση τα αποτελέσματα της πειραματικής έρευνας για διερεύνηση της επιρροής των συνδέσμων (πόλων και εμπολίων) στην ολίσθηση μεταξύ δύο σφονδύλων είναι τα εξής:

- Κατά τη διάρκεια της ολίσθησης μεταξύ των σφονδύλων των πειραματικών δοκιμίων χωρίς την παρουσία συνδέσμων (πόλων και εμπολίων), τόσο των μεταλλικών όσο και των μαρμάρινων, επέρχονται αλλοιώσεις στη διεπιφάνεια ολίσθησης οι οποίες έχουν ως συνεπακόλουθο την αλλοίωση του συντελεστή τριβής. Έγινε επίσης κατορθωτή η μέτρηση της διαφοροποίησης του συντελεστή τριβής ενώ ανάλογο φαινόμενο παρουσιάστηκε και κατά την περίπτωση ύπαρξης πόλων και εμπολίων μεταξύ των σφονδύλων. Το φαινόμενο αυτό (μεταβολή

συντελεστή τριβής) προφανώς μπορεί να επισυμβεί και υπό πραγματικές συνθήκες μεταξύ των μαρμάρινων τμημάτων των αρχαίων μνημείων που ολισθαίνουν μεταξύ τους.

- Στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος κατασκευάστηκαν και εξετάστηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά πόλων και εμπολίων διαφόρων διαστάσεων από πέντε διαφορετικούς τύπους ξυλείας, καλής ποιότητας (πεύκο, κυπαρίσσι, οξιά, ρόμπολο, κρανιά). Οι περισσότεροι από αυτούς τους τύπους ξυλείας αναφέρονται και στη βιβλιογραφία για την κατασκευή πόλων και εμπολίων κατά την αρχαιότητα. Επίσης, πόλοι και εμπόλια έχουν κατασκευαστεί και από μόλυβδο και έχουν εξεταστεί αντίστοιχα. Καταγράφηκε διαφοροποίηση μεταξύ των μηχανικών χαρακτηριστικών των πόλων και εμπολίων η οποία αποδίδεται προφανώς στο υλικό κατασκευής.
- Η παρουσία των πόλων και εμπολίων μεταξύ των δύο σφονδύλων που ολισθαίνουν, είτε υπό στατικές φορτίσεις είτε υπό δυναμικές διεγέρσεις, βρέθηκε ότι έχει σημαντική συνεισφορά στη συνολική συμπεριφορά των σφονδύλων. Πιο συγκεκριμένα βρέθηκε ότι σε σχετικά μικρές μετακινήσεις επισυμβαίνει ολίσθηση των σφονδύλων με παραμορφώσεις σε πόλους και εμπόλια. Σε σχετικά μεγαλύτερες μετακινήσεις η ολίσθηση του άνω σφονδύλου συνοδεύεται και από λικνισμό του άνω σφονδύλου ως προ τον κάτω, ο οποίος (λικνισμός) βαίνει αυξανόμενος όσο αυξάνεται το επίπεδο φόρτισης.
- Μέσα από μια αφαιρετική διαδικασία, όπου από τη συνολική συμπεριφορά (κυρίως σε θέματα απορρόφησης ενέργειας) των σφονδύλων με παρουσία πόλων και εμπολίων αφαιρέθηκε η αντίστοιχη συμπεριφορά σφονδύλων χωρίς πόλους και εμπόλια, έγινε κατορθωτή η αποτίμηση της συνεισφοράς των πόλων και εμπολίων στην απόκριση των σφονδύλων σε ολίσθηση.
- Από μια εκτενή παραμετρική πειραματική διερεύνηση της επιρροής της διαμέτρου του πόλου (ξύλεια από κρανιά) στη συνολική συμπεριφορά δύο σφονδύλων σε ολίσθηση βρέθηκε ότι αυξανόμενης της διαμέτρου του πόλου μειώνεται η σχετική ολίσθηση των σφονδύλων για ίδια επίπεδα φόρτισης. Μειώνεται επίσης η ενέργεια παραμόρφωσης που απορροφάται από τον πόλο και το εμπόλιο καθώς και η λικνιστική απόκριση του άνω σφονδύλου ως προς τον κάτω.
- Σε μεγάλες μετακινήσεις ολίσθησης μεταξύ των σφονδύλων, οι πόλοι από μόλυβδο και οξιά εμφάνισαν αστοχία σε καθαρή διάτμηση ενώ αυτοί που ήταν κατασκευασμένοι από κρανιά αποδείχτηκαν ισχυρότεροι και είχαν ενδείξεις καμπτοδιατμητικής αστοχίας. Αντίθετα, οι αστοχίες στα εμπόλια είχαν περίπου την ίδια μορφή, με σημαντικές παραμένουσες παραμορφώσεις μετατρέποντας το τελικό σχήμα της οπής των εμπολίων σε κωνικό με γενέτειρα έλλειψη στην διεπιφάνεια των σφονδύλων.

Από τα πειράματα που έγιναν σε ένα ομοίωμα κιονοστοιχίας τεσσάρων μονολιθικών κίωνων τετραγωνικής διατομής με επιστύλιο στη σεισμική τράπεζα, όταν αυτό υποβλήθηκε σε δυναμικές και σεισμικές διεγέρσεις, μπορούν να διατυπωθούν πολύ συνοπτικά τα εξής συμπεράσματα:

- Το πειραματικό ομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν σχετικά μεγάλων διαστάσεων. Σε κλίμακα 1:3 προσομοιώνει πρωτότυπες κατασκευές του Ελλαδικού χώρου. Από αυτή την άποψη τα συμπεράσματα που προκύπτουν μπορούν να προεκταθούν και για πρωτότυπες κατασκευές.
- Ωστόσο, το πλήθος των πειραμάτων που έγιναν καθώς και των πειραματικών παραμετρικών διερευνήσεων, τόσο ως προς το πλήθος των τεχνητών σεισμικών διεγέρσεων όσο και ως προς τις διάφορες μορφές του πειραματικού ομοιώματος (με ή χωρίς πόλους και εμπόλια) ήταν σχετικά περιορισμένο, για καθαρά οικονομικούς λόγους, γεγονός που επιτρέπει τη διατύπωση συμπερασμάτων κυρίως ποιοτικού χαρακτήρα και λιγότερο ποσοτικής αποτίμησης. Πάρα ταύτα, το πειραματικό αυτό ομοίωμα εξετάστηκε μια φορά χωρίς την ύπαρξη συνδέσμων (πόλων και εμπολίων) και μια φορά με συνδέσμους. Σε κάθε περίπτωση αυτό υποβλήθηκε σε μια σειρά τεχνητών σεισμικών διεγέρσεων με βάση τις καταγραφές από τους σεισμούς του El Centro 1940, και του TAFI για διάφορα επίπεδα έντασης της σεισμικής διέγερσης. Ταυτόχρονα η διέγερση και η απόκριση του πειραματικού ομοιώματος καταγράφεται από ένα πλήθος 29 οργάνων (μηκυνσιομέτρων και επιταχυνσιομέτρων) τα οποία έχουν δώσει 464 καταγραφές στο πεδίο του χρόνου που περιγράφουν της σεισμική συμπεριφορά του πειραματικού ομοιώματος σε διάφορες θέσεις, εντός και εκτός του επιπέδου διέγερσης.
- Οι παραπάνω επισημάνσεις, δηλ. η σχετικά μεγάλη κλίμακα του πειραματικού δοκιμίου της κιονοστοιχίας καθώς και το μεγάλο πλήθος των πειραματικών μετρήσεων μπορούν να οδηγήσουν σε πολύ αξιόπιστα ποιοτικά συμπεράσματα τα οποία μπορούν να προεκταθούν, ποιοτικά πάντοτε, και για πρωτότυπες κατασκευές παρόμοιου τύπου (μνημεία αρχαϊκής, κλασσικής, ελληνοιστικής και ρωμαϊκής περιόδου).
- Κατά την περίπτωση όπου το πειραματικό ομοίωμα δεν έφερε συνδέσμους (πόλους και εμπόλια) είχαν καταγραφεί μεγάλες παραμένουσες μετακινήσεις λόγω ολίσθησης και λικνισμού στους κίονες και στο επιστύλιο. Οι μετακινήσεις αυτές χαρακτηρίζονται και από περιστροφή των κίωνων γύρω από τον κατακόρυφο άξονά τους παρά την τετραγωνική τους διατομή.
- Αντίθετα, το πειραματικό ομοίωμα όταν έφερε συνδέσμους στη βάση των κίωνων (πόλοι κρανιάς και εμπόλια μολύβδου) παρουσίασε πολύ μικρές ολισθήσεις στη βάση των κίωνων για όλες τις τεχνητές σεισμικές διεγέρσεις σε όλα τα επίπεδα έντασης που εξετάστηκε. Δηλαδή, η παρουσία συνδέσμων είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη πιο ευσταθών αποκρίσεων απομακρύνοντας τον κίνδυνο ανατροπών και καταρρεύσεων.
- Οι πόλοι- εμπόλια στο φυσικό ομοίωμα που εξετάστηκε δεν είχαν εμφανείς περιοχές μονίμων παραμορφώσεων, στο τέλος της σεισμικής καταπόνησης. Αυτό σημαίνει ότι ο μηχανισμός απόσβεσης ενέργειας που ενυπάρχει στους συνδέσμους, όπως απέδειξαν τα πειράματα των δύο σφονδύλων, δεν ενεργοποιήθηκε εδώ. Εάν ο μηχανισμός αυτός ενεργοποιηθεί, η επιρροή του αναμένεται να συμβάλει περαιτέρω στη μείωση της λικνιστικής απόκρισης και απόκρισης ολίσθησης για τα τμήματα φορέων τέτοιου τύπου, εφόσον και σε πρωτότυπο μέγεθος και για πρωτότυπες σεισμικές διεγέρσεις το επίπεδο των

αναπτυσσόμενων δυνάμεων θα οδηγήσει στη δημιουργία πλαστικών περιοχών στους πόλους και στα εμπόλια.

- Η επιρροή του είδους της σεισμικής διέγερσης στην απόκριση ολίσθησης στη βάση των κίωνων είναι μικρότερη με την ύπαρξη των πόλων και εμπολίων από ότι όταν οι σύνδεσμοι απουσιάζουν, επί τη βάση των παρατηρήσεων της απόκρισης των φυσικών ομοιωμάτων και των διεγέρσεων που εξετάστηκαν εδώ και που αποτελούν μάλλον περιορισμένη βάση δεδομένων.

#### **10.1.4. Συμπεράσματα με βάση τα αποτελέσματα της υπολογιστικής έρευνας**

Η υπολογιστική διερεύνηση που έγινε στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος αποσκοπούσε κυρίως στη διατύπωση συμπερασμάτων ποιοτικού χαρακτήρα και λιγότερο στη σύγκριση πειραματικών και υπολογιστικών αποτελεσμάτων. Κύριος στόχος αυτής της προσπάθειας ήταν να διερευνηθεί κατά πόσον τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις υπολογιστικές διερευνήσεις οδηγούν στα ίδια συμπεράσματα (κυρίως ποιοτικού χαρακτήρα) που προκύπτουν από τις αντίστοιχες πειραματικές διερευνήσεις που έγιναν στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος.

Έτσι λοιπόν, από ένα μεγάλο πλήθος αριθμητικών προσομοιώσεων και επιλύσεων του προβλήματος της ολίσθησης δύο σφονδύλων, σε στατικές φορτίσεις ή δυναμικές διεγέρσεις, με ή χωρίς την ύπαρξη συνδέσμων, μπορούν να διατυπωθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Στην περίπτωση των σφονδύλων χωρίς ύπαρξη συνδέσμων (πόλων και εμπολίων) η ολίσθηση καθορίζεται από το συντελεστή τριβής στη διεπιφάνεια. Όπως αναμενόταν, η οριζόντια δύναμη που απαιτείται για έναρξη της ολίσθησης αυξάνει όσο αυξάνει ο συντελεστής τριβής καθώς και όσο αυξάνει το υπερκείμενο φορτίο.
- Σε περίπτωση δυναμικών διεγέρσεων η μετακίνηση λόγω ολίσθησης αυξάνει όσο αυξάνει η επιτάχυνση της διέγερσης. Επίσης, για σταθερά επίπεδα επιτάχυνσης της διέγερσης οι μετακινήσεις λόγω ολίσθησης αυξάνουν όσο το συχνотικό περιεχόμενο της διέγερσης μειώνεται (χαμηλές συχνότητες διέγερσης).
- Στην περίπτωση ύπαρξης συνδέσμου (πόλου και εμπολίου), η επιρροή του συνδέσμου στη φέρουσα ικανότητα είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερος είναι ο πόλος του συνδέσμου.
- Πόλοι μικρών διαστάσεων αναπτύσσουν περιοχές πλαστικοποίησης που υποδηλώνουν αστοχία.
- Ο σύνδεσμος συνεισφέρει στη συνολική φέρουσα ικανότητα σε μεγαλύτερο ποσοστό όταν ο συντελεστής τριβής στην διεπιφάνεια έχει σχετικά μικρές τιμές.

Όλες οι πιο πάνω παρατηρήσεις και συμπεράσματα είναι σε απόλυτη συμφωνία με τα συμπεράσματα που έχουν προκύψει από την αντίστοιχη πειραματική έρευνα.

## 10.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση το σύνολο των αποτελεσμάτων της έρευνας που έχουν παραχθεί στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος συμπληρώνονται οι γνώσεις που διαθέτουμε σήμερα αναφορικά με τη σεισμική συμπεριφορά των μνημείων της αρχαϊκής, κλασσικής, ελληνιστικής και ρωμαϊκής περιόδου και ιδιαίτερα στο θέμα της επίδρασης των συνδέσμων στη σεισμική συμπεριφορά σφονδυλωτών κιόνων.

Ωστόσο, για τη διατύπωση οποιοδήποτε προτάσεων οι οποίες να μπορούν να έχουν πρακτική εφαρμογή σε αναστηλωτικές προσπάθειες τέτοιων μνημείων, θα πρέπει να συνεκτιμήσουμε και το σύνολο των γνώσεων που διαθέτουμε μέχρι σήμερα αναφορικά με τη σεισμική συμπεριφορά τέτοιων μνημείων. Έτσι λοιπόν πριν από την διατύπωση οποιοδήποτε προτάσεων θα πρέπει να κάνουμε τις παρακάτω επισημάνσεις.

### 10.2.1. Επισημάνσεις

**Επισημάνση 1<sup>η</sup>:** Το σύνολο σχεδόν των αρχαίων μνημείων της αρχαϊκής, κλασσικής, ελληνιστικής και ρωμαϊκής περιόδου έχει καταστραφεί ή έχει υποστεί σημαντικές βλάβες λόγω της δράσης του σεισμού. Ως εκ τούτου δεν μπορεί να παραγνωρίζεται το αίτιο του σεισμού σε εργασίες αναστήλωσης τέτοιων μνημείων.

**Επισημάνση 2<sup>η</sup>:** Η σεισμική συμπεριφορά αυτών των μνημείων κυριαρχείται από τα φαινόμενα της ολίσθησης και του λικνισμού μεταξύ των διαφόρων τμημάτων αυτών των μνημείων.

**Επισημάνση 3<sup>η</sup>:** Η παρουσία συνδέσμων μεταξύ των διαφόρων τμημάτων αυτών των μνημείων δεν εξουδετερώνει τις κυρίαρχες μορφές απόκρισης τους σε περίπτωση σεισμού που όπως αναφέρθηκε είναι αυτές της ολίσθησης και του λικνισμού. Ωστόσο, η παρουσία των συνδέσμων μπορεί να μεταβάλει τα επίπεδα μετακινήσεων καθώς και το επίπεδο της σεισμικής διέγερσης έναντι του οποίου επέρχεται ανατροπή λόγω ολίσθησης και λικνισμού.

**Επισημάνση 4<sup>η</sup>:** Αξιοσημείωτο επίσης είναι το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης μεγάλων μετακινήσεων λόγω ολίσθησης ή και λικνισμού οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι (πόλοι και εμπόλια) μεταξύ των σφονδύλων ενός κίονα αστοχούν, λόγω ανάπτυξης μεγάλων παραμορφώσεων και συμβάλουν επίσης στην απορρόφηση ενέργειας. Οι μορφές αυτών των αστοχιών ποικίλουν ανάλογα με το υλικό των συνδέσμων.

**Επισημάνση 5<sup>η</sup>:** Έχει επισημανθεί σε αρκετούς αρχαιολογικούς χώρους και εύκολα μπορεί να αποδειχτεί τόσο πειραματικά όσο και υπολογιστικά ότι η παρουσία των συνδέσμων μπορεί να οδηγήσει πολλές φορές σε αστοχία (θραύση) του μαρμάρου του σφονδύλου σε περίπτωση σεισμού, ιδιαίτερα αν αυτοί έχουν κατασκευαστεί από υψηλής αντοχής υλικά ή έχουν υποστεί διόγκωση λόγω διάβρωσης αν είναι μεταλλικοί.

**Επισημάνση 6<sup>η</sup>:** Τα διαθέσιμα σήμερα υπολογιστικά εργαλεία (έτοιμα λογισμικά) δεν μπορούν να ενσωματώσουν την πληθώρα των παραμέτρων που διέπουν το πρόβλημα της ολίσθησης και του λικνισμού με την παρουσία συνδέσμων και να

προσδιορίσουν με ποσοτική ακρίβεια τη σεισμική συμπεριφορά τέτοιων μνημείων κατά τρόπο ώστε να τεκμηριώνεται πλήρως ένα αναστηλωτικό σχήμα. Αναφέρονται ενδεικτικά τα εξής θέματα: Οι συντελεστές τριβής μεταξύ των επιφανειών ολίσθησης παρουσιάζουν συνεχή μεταβολή λόγω αλλοίωσης αυτών των επιφανειών κατά τη διάρκεια της ολίσθησης. Επίσης, είναι πρακτικά πολύ δύσκολο να προσδιοριστούν οι συντελεστές αποκατάστασης (coef. of restitution) λόγω κρούσης μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του μνημείου κατά τη διάρκεια της λικνιστικής απόκρισης. Επιπλέον, το φαινόμενο της ολίσθησης και του λικνισμού συνήθως συνυπάρχουν αλλά σ' αυτή την περίπτωση η ολίσθηση διέπεται από το συντελεστή τριβής που αναπτύσσεται στην ακμή του λικνιζόμενου τμήματος του μνημείου ως προς την επιφάνεια έδρασής του και όχι από αυτό που διέπει τη διεπιφάνεια των δύο τμημάτων του μνημείου σε κατάσταση πλήρης επαφής.

#### **10.2.2. Προτάσεις για πρακτικές εφαρμογές**

Μετά από συνεκτίμηση των πιο πάνω επισημάνσεων μπορούν να διατυπωθούν οι παρακάτω προτάσεις για πρακτικές εφαρμογές σε περιπτώσεις αναστηλωτικών εργασιών σε μνημεία.

**Πρόταση 1<sup>η</sup>:** Σε κάθε περίπτωση μνημείου προς αναστήλωση θα πρέπει να γίνεται ενδελεχής έρευνα για προσδιορισμό της γεωμετρίας των πόλων και των εμπολίων που είχαν χρησιμοποιηθεί στην αρχαιότητα. Επίσης θα πρέπει να καταβάλλεται προσπάθεια εξεύρεσης, μέσα από βιβλιογραφικές ή άλλες αρχαιολογικές πηγές, του τύπου του υλικού που είχε χρησιμοποιηθεί στην αρχαιότητα.

**Πρόταση 2<sup>η</sup>:** Με σεβασμό προς το πρωτότυπο, κατά πως επιβάλλουν διεθνείς χάρτες, οι πόλοι και τα εμπόλια που θα χρησιμοποιηθούν στις αναστηλωτικές εργασίες θα πρέπει να είναι ίδια με τα πρωτότυπα εκτός και αν μπορεί να αποδειχτεί η ευεργετική, από πάσης απόψεως, χρήση άλλου υλικού.

**Πρόταση 3<sup>η</sup>:** Οι πόλοι και τα εμπόλια που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να ελέγχονται σε σειρά πειραματικών δοκιμών ώστε να προσδιοριστούν οι μηχανικές τους ιδιότητες.

**Πρόταση 4<sup>η</sup>:** Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε στο μεταλλικό πλαίσιο αντίδρασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πιστοποίηση-διερεύνηση της συμπεριφοράς συνδέσμων που προτείνεται να χρησιμοποιηθούν σε αναστηλωτικές εργασίες.

**Πρόταση 5<sup>η</sup>:** Η αριθμητική διαδικασία που ακολουθήθηκε σε συνδυασμό με συγκεκριμένα βασικά πειράματα μηχανικών ιδιοτήτων των στοιχείων των συνδέσμων που προτείνεται να χρησιμοποιηθούν σε αναστηλωτικές εργασίες μπορεί να εφαρμοστεί σε επίπεδο παραμετρικής προμελέτης / επιλογής του τελικού σχήματος (διαστάσεις / υλικά) των συνδέσμων αυτών.

**Πρόταση 6<sup>η</sup>:** Βελτιωμένες αριθμητικές προσομοιώσεις μπορεί να επικεντρωθούν στο να ελεγχθεί η μηχανική και σεισμική συμπεριφορά τμημάτων του μνημείου ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητοι μηχανισμοί αστοχίας στο σώμα των μαρμάρινων σφονδύλων αντί σε αυτό των συνδέσμων.