

Μία συμβολή στην εναρμόνιση των λειτουργικών και αντισεισμικών αναγκών στις γέφυρες με μονολιθική σύνδεση φορέα - ακροβάθρων

Σ.Α. Μητούλης
MSc. Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ.

Ι.Α. Τέγος
Καθηγητής ΑΠΘ.

Μ. Τσιτώτας
Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ, Εγνατία Οδός ΑΕ

Λέξεις κλειδιά: μονολιθικές γέφυρες, τοιχοειδές ακρόβαθρο, μεταβατικό επίχωμα, συμπιεστό ένθεμα, καταστροφή σεισμικής ενέργειας, παρεμποδιζόμενη ταλάντωση

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Προτείνεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ένας καινοτόμος μορφολογικός και λειτουργικός τύπος ακροβάθρου πλήρους ύψους μονολιθικός συνδεδεμένος με τον φορέα της ανωδομής, ως εναλλακτικός του καθιερωμένου τύπου που εφαρμόζεται στις ΗΠΑ, το οποίο αποτελείται από ένα ακρόβαθρο πέτασμα-κεφαλόδεσμο επί ευκάμπτων πασσάλων. Το προτεινόμενο ακρόβαθρο περιλαμβάνει το καθιερωμένο τοιχοειδές στοιχείο εδράσεως του φορέα, το οποίον είναι πακτωμένο στην ακλόνητη πλάκα επιφανειακής θεμελίωσης. Το μεταβατικό επίχωμα προβλέπεται οπλισμένο. Τα προκύπτοντα λειτουργικά προβλήματα αντιμετωπίζονται με βάση την κλασική λύση Hogvath η οποία προβλέπει μία στρώση γεωαφρώδους υλικού πίσω από το ακρόβαθρο. Το διαμορφούμενο σύστημα δίνει τη δυνατότητα περιορισμού των μετακινήσεων του φορέα κατά τον σεισμό.

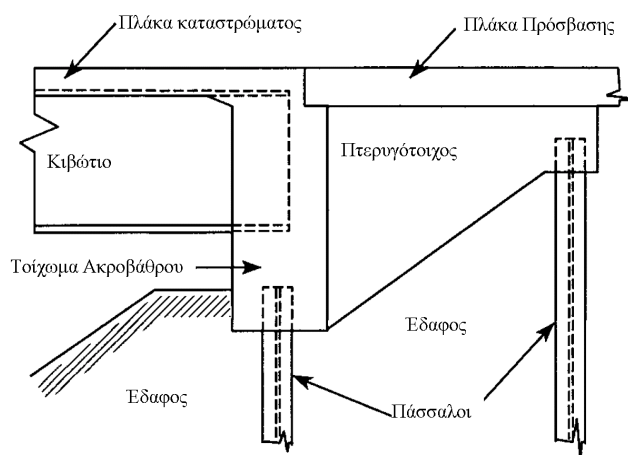
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατασκευή και η λειτουργική εξασφάλιση των ενιαίων γεφυρών, δηλαδή των γεφυρών χωρίς αρμούς των οποίων το κατάστρωμα είναι μονολιθικός συνδεδεμένος με το σύνολο των βάθρων, αποτελούν τα τελευταία χρόνια την αιχμή της Γεφυροποιίας. Στις ΗΠΑ ο ανταγωνισμός μεταξύ των Πολιτειών έδωσε προβάδισμα τόσο στην κατασκευή όσο και στην έρευνα των προβλημάτων που σχετίζονται με την λειτουργική και σεισμική απόκριση των ενιαίων γεφυρών. Η κατασκευή της ενιαίας γέφυρας Happy Hollow συνολικού μήκους 358m με καμπύλη κάτοψη, προκειμένου να εκτονωθεί ακτινικά ένα μέρος των λειτουργικών καταναγκασμών, στην Πολιτεία του Tennessee αποδεικνύει ότι οι ΗΠΑ πρωτοστατούν στην κατασκευή πλήρως μονολιθικών συστημάτων. Στην Ευρώπη η Γερμανία, υιοθετούσα στοιχεία από τη Γεφυροποιία των ΗΠΑ, έχει κατασκευάσει την τελευταία δεκαετία ενιαίες γέφυρες με συνολικά μήκη μέχρι και 180m οι οποίες, στην πλειονότητά τους, είναι συμβατικώς οπλισμένες. Ως αντιπροσωπευτικές γέφυρες αναφέρονται: η Sunniberg-Bruecke στο Klosters (C. Menn), η Nesenbachtal-Bruecke (J. Schlaich) και η La Fertre-Steg. Στην Ελλάδα, παρότι το 5^ο κεφάλαιο των ΟΜΟΕ (ΟΜΟΕ) αναφέρει ως άνω όριο για το μήκος ενιαίων γεφυρών αυτό των 60m, στην Εγνατία οδό έχουν κατασκευαστεί μονολιθικά τμήματα γεφυρών, δηλαδή με συνεχές κατάστρωμα μονολιθικός συνδεδεμένος με τα μεσόβαθρα, μεγαλύτερου μήκους από το προαναφερθέν.

Στη σύγχρονη Γεφυροποιία, ο εμφανώς προσιδιάζων στη φύση του υλικού του οπλισμένου σκυροδέματος τρόπος κατασκευής των ενιαίων γεφυρών, λόγω της

συμβατότητας της λύσεως αυτής με το μονολιθικό χαρακτήρα του σκυροδέματος, περιορίστηκε εξαιτίας κατασκευαστικών μεθόδων όπως π.χ. η σταδιακή προώθηση, η οποία σχεδόν αποκλείει τη δυνατότητα υψηλού βαθμού μονολιθικότητας των γεφυρών. Ωστόσο, η κατασκευή των ενιαίων γεφυρών παραμένει δελεαστική καθώς αυτές έχουν σαφή πλεονεκτήματα έναντι των πολυδιασπασμένων εξαιτίας των εφεδράνων και των αρμών συστημάτων. Εκτός από την αισθητική, η αντισεισμικότητα των ενιαίων γεφυρών είναι βελτιωμένη καθώς: (α) η αυξημένη υπερστατικότητα τους επιτρέπει την ανακατανομή της σεισμικής έντασης χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ακεραιότητα του συστήματος, (β) αξιοποιούν την δυνατότητα του οπλισμένου σκυροδέματος να απορροφά ένα μέρος της σεισμικής ενέργειας μέσω πλαστικών παραμορφώσεων και (γ) είναι απαλλαγμένες, σε μεγάλο βαθμό, από τις απαιτήσεις συντήρησης και αντικατάστασης αναλωσίμων στοιχείων, όπως είναι τα εφεδράνα και οι αρμοί. Ωστόσο, οι καταναγκασμοί, προερχόμενοι από την τις διαφορικές καθιζήσεις, την προένταση, τη συστολή ξήρανσης, τον ερπυσμό και τις θερμοκρασιακές μεταβολές καταπονούν τα ακραία και συνήθως χθαμαλά μεσόβαθρα, τα ακρόβαθρα και τα μεταβατικά επιχώματα.

Η λειτουργική καταπόνηση των ακροβάθρων και των ακραίων μεσοβάθρων είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί με επάρκεια εφόσον η λειτουργική ρηγμάτωση αυτών προκύπτει με αποδεκτά εύρη ρωγμών κατά τον ισχύοντα κανονισμό. Ωστόσο, αναγνωρίζεται ότι σε γέφυρες πολύ μεγάλων ανοιγμάτων η απολύτως μονολιθική λύση είναι δύσκολη ή και ανέφικτο να ικανοποιήσει τις λειτουργικές απαιτήσεις. Στις ΗΠΑ η λύση στο παραπάνω πρόβλημα των λειτουργικών καταναγκασμών που καταπονούν τα ακρόβαθρα δίνεται με την κατασκευή κινητών ακροβάθρων, Σχήμα 1, τα οποία αποτελούνται από έναν ακρόβαθρο-πέτασμα ύψους $H=2,50\sim 4,00\text{m}$ (stub-type abutment) το οποίο αποτελεί τον κεφαλόδεσμο μίας, συνήθως, σειράς συμβατικών ή μεταλλικών πασσάλων. Ο ρόλος των πασσάλων είναι να παραλαμβάνουν μόνο τα κατακόρυφα φορτία του ακροβάθρου, ενώ προσδίδουν, με την ευκαμψία τους, κινητότητα στο ακρόβαθρο, (Arockiasamy, Butrieng, Sivakumar 2004), καθώς αυτοί έχουν την δυνατότητα να κινούνται μέσα σε προδιατρημένες, συνήθως, οπές οι οποίες πληρούνται μετά την τοποθέτηση των πασσάλων με χαλαρή άμμο, (Arsoy 2000). Για τις ενιαίες γέφυρες μεγάλου μήκους το προαναφερθέν τοίχωμα κεφαλόδεσμος αποτελείται από 2 τμήματα τα οποία είναι αρθρωτά συνδεδεμένα μέσω ενός καταλλήλου συνδέσμου. Σε αυτά τα ημι-μονολιθικά ακρόβαθρα ελαχιστοποιείται η καμπτική καταπόνηση των πασσάλων γεγονός που συμβάλλει στην βελτίωση της ανθεκτικότητας του ακροβάθρου έναντι των ημερησίων και ετησίων ανακυκλιζόμενων λειτουργικών καταπονήσεων. Στην Ευρώπη εφαρμόζονται συνήθως ακρόβαθρα πλήρους ύψους, (Tsang, England, Dunstan 2002), τα οποία είναι δυνατό να διαθέτουν αρθρωτή σύνδεση με τη θεμελίωσή τους, (England, Tsang, Bush 2000).



Σχήμα 1 : Διαμόρφωση μονολιθικού τοιχοειδούς ακροβάθρου – κεφαλοδέσμου κατά την τεχνολογία των ΗΠΑ.

Εκτός όμως από τα προαναφερθέντα προβλήματα που σχετίζονται με την λειτουργικότητα και την ανθεκτικότητα των ακροβάθρων των ενιαίων γεφυρών, η λειτουργική και η σεισμική απόκριση των μεταβατικών επιχώματων αποτελεί σημαντικό πεδίο έρευνας τα τελευταία χρόνια. Το επίχωμα ανθίσταται λειτουργικώς με αυξημένες ωθήσεις στην κίνηση του ακροβάθρου προς αυτό, ιδιαίτερα τις θερμές ημέρες των καλοκαιρινών μηνών. Η συνολική ώθηση που δέχεται το κινούμενο ακρόβαθρο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, (Lock, Bolton, Low 2002), οι κυριότεροι των οποίων είναι: (α) η γεωμετρία του ακροβάθρου δηλαδή το ύψος και το πάχος του κορμού του, (β) η υφή της διεπιφάνειας επαφής ακροβάθρου- επιχώματος, (γ) το είδος της λειτουργικής κίνησης του ακροβάθρου (μεταφορική ή στροφική), (δ) το είδος του εδάφους και ο βαθμός συμπίκνωσης του μεταβατικού επιχώματος. Η εκτίμηση ωστόσο των παθητικών ωθήσεων λαμβάνοντας υπόψη τους προαναφερθέντες παράγοντες δεν είναι δυνατόν να θεωρηθεί επαρκής καθότι έχει παρατηρηθεί ότι οι παθητικές ωθήσεις αυξάνονται μακροπρόθεσμα καθώς το έδαφος εισχωρεί στο κενό και σφηνώνεται πίσω από το απομακρυνόμενο από το επίχωμα, κατά τους χειμερινούς μήνες, ακρόβαθρο, το οποίο στην κατάσταση διαστολής της γέφυρας τείνει να επανέλθει στην αρχική του θέση, κίνηση στην οποία αντιστέκεται το μη αναστρεψίμως σφηνωμένο έδαφος πίσω από αυτό. Το φαινόμενο αναφέρεται στην διεθνή βιβλιογραφία ως ratcheting και η αντιμετώπισή του συνίσταται σε σύνθετες λύσεις, (Horvath α,β 1998), (Horvath 2000) οι οποίες συνδυάζουν: (α) την όπλιση του επιχώματος με διάφορους τρόπους ώστε αυτό αφενός να διατηρεί τη γεωμετρία του και αφετέρου να εμφανίζει περιορισμένες καθιζήσεις και (β) την τοποθέτηση συμπιεστών ενθεμάτων όπως διογκωμένη πολυστερίνη, EPS, ανάμεσα στο ακρόβαθρο και το επίχωμα, ώστε το ακρόβαθρο κατά τη διαστολή του να μην υποκινεί το υλικό του επιχώματος. Οι παραπάνω λύσεις προτάθηκαν αρχικώς από τον Horvath και υιοθετήθηκαν και από το NCHRP, (Stark, Arellano, Horvath, Leshchinsky NCHRP 529), (Wu, Le, Helwany, Ketchart 2006). Η απόκριση του συστήματος του οπλισμένου επιχώματος συνδυαζόμενου με συμπίεστο ένθεμα πίσω από το ακρόβαθρο ελέγχθηκε πειραματικώς σε ακρόβαθρο πλήρους ύψους από τους Potzl και Naumann, (Potzl και Naumann 2005). Η εργασία παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον καθότι δίνονται σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τρόπο όπλισης του επιχώματος καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των EPS. Η ερευνητική αυτή εργασία αποδεικνύει επίσης και το όμοιο ενδιαφέρον που παρουσιάζεται για την κατασκευή μονολιθικών ακροβάθρων στον ευρωπαϊκό χώρο.

Εκτός του προβλήματος του ratcheting, προβληματισμοί που αναφέρονται στις καθιζήσεις του μεταβατικού επιχώματος, (Briaud, Seo, Ha, Scullion 2003), οδηγούν σε λύσεις μεταβατικών επιχώματων συγκεκριμένης κοκκομετρικής διαβάθμισης και σε εκτεταμένα στοιχεία προσβάσεως-πλάκες ή φορείς προσβάσεως- αν και έχουν διατυπωθεί επιφυλάξεις για την παρουσία αυτών των παραδοσιακών μέσων, καθόσον αυτά επηρεάζουν δυσμενώς τη λειτουργικότητα μέσω της δεσμεύσεως της κινητότητας του ακροβάθρου, (Hoppe 2005).

Παρότι τα αναλυθέντα προβλήματα των μονολιθικώς συνδεδεμένων με την ανωδομή ακροβάθρων και κατ' επέκτασιν των ενιαίων γεφυρών βρίσκονται στην αιχμή της τεχνολογικής έρευνας υπάρχει ακόμη πολύς δρόμος για να θεωρηθεί επαρκής η διερεύνησή του. Προς το παρόν έχουν γίνει προσεγγίσεις του μαθηματικού προβλήματος της σεισμικής απόκρισης των ενιαίων γεφυρών και επαλήθευση αυτών με καταγεγραμμένες κινήσεις (Zhang, Makris 2001) (Zhang, Makris 2002), (Goel 1997). Οι προσεγγίσεις αυτές αφορούν συγκεκριμένες γέφυρες στις οποίες έχει εφαρμοστεί το ακρόβαθρο του Σχήματος 1, για συμβατικά μεταβατικά επιχώματα χωρίς τοποθέτηση EPS. Μέχρι σήμερα δεν έχει εξεταστεί το πρόβλημα της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ ακροβάθρων πλήρους ύψους και οπλισμένων μεταβατικών επιχώματων εν συνδυασμό με την παρουσία ή μη μεταξύ των μίας στρώσεως EPS. Συμπεράσματα από μία τέτοια έρευνα θα ήταν πολύ χρήσιμα και θα ήταν δυνατό να συμβάλλουν στην βελτίωση της αντισεισμικότητας και στην οικονομικότητα των γεφυρών, (Mitoulis, Tegos 2005), (Tegos, Sextos, Mitoulis, Tsitotas 2005).

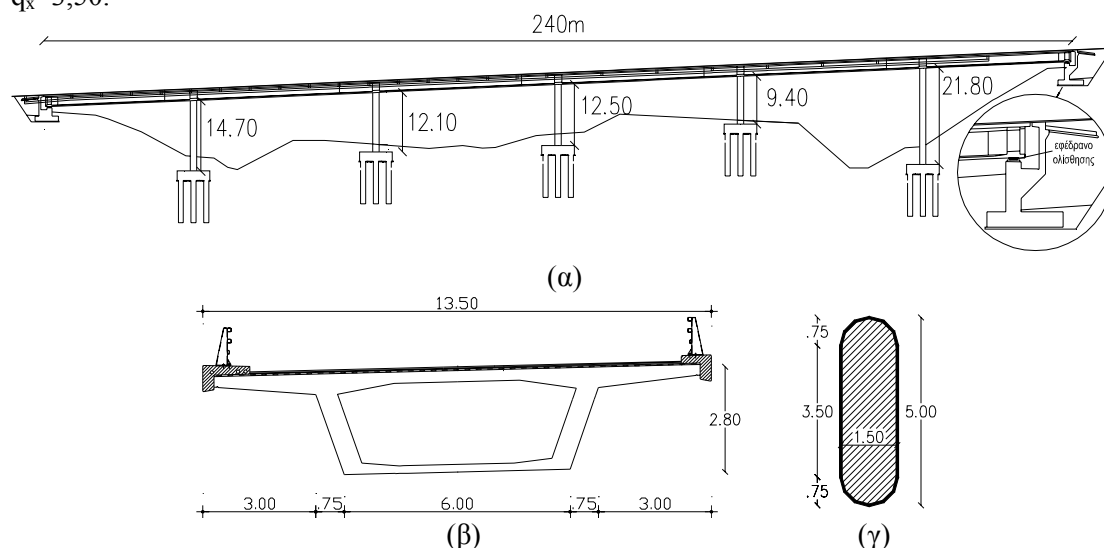
Στα πλαίσια της παρούσας διερεύνησης μελετήθηκε παραμετρικώς η συνεισφορά στην αντισεισμικότητα διαφόρων ειδών μεταβατικών επιχώματων αντιστοιχούντων σε γέφυρες με φορείς που συνδέονται μονολιθικά με τα ακρόβαθρα. Για τις ανάγκες της παραμετρικής

διερεύνησης χρησιμοποιήθηκε ως αφετηρία η γέφυρα της Εγνατίας Οδού στη θέση Αραχθός-Περιστέρι η οποία μελετήθηκε από το γραφείο ΜΕΤΕΣΥΣΜ ΑΕ της Θεσσαλονίκης. Η έρευνα επεκτάθηκε σε λειτουργικά και αντισεισμικά προβλήματα. Στόχο της έρευνας αποτέλεσε η εξέταση της δυνατότητας του συμβιβαστού μεταξύ των λειτουργικών και των αντισεισμικών απαιτήσεων για διάφορους αριθμούς ανοιγμάτων και εν συνδυασμό με διάφορους τύπους επιχωμάτων, με ή χωρίς παρεμβολή EPS και για διάφορες σεισμικότητες.

Σε όλες τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SAP 2000 ver.9, το οποίο διαθέτει το ΑΠΘ και οι αναλύσεις έγιναν με τη μέθοδο της ολοκλήρωσης στο χρόνο της διαφορικής εξίσωσης δυναμικής ισοροπίας του συστήματος.

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΦΕΤΗΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Η παραμετρική διερεύνηση στα πλαίσια της παρούσας μπορεί να χαρακτηριστεί ως πειράματα στο χαρτί. Η γέφυρα-αφετηρία, Σχήμα 2(α),(β)(γ), που αξιοποιήθηκε έχει συνολικό μήκος $L=240\text{m}$ ($34.0+4\times 43.0+34\text{m}$). Ο φορέας της είναι συνεχής και συνδέεται μονολιθικά με τα μεσόβαθρα. Στις θέσεις των ακροβάθρων η γέφυρα εδράζεται επί εφεδράνων ολισθήσεως και η συνέχεια του καταστρώματος διακόπτεται από αρμούς κατάλληλου εύρους ενώ stoppers δεσμεύουν τις εγκάρσιες μετακινήσεις του καταστρώματος. Ο φορέας αποτελείται από κιβωτιοειδή διατομή συνολικού πλάτους καταστρώματος $B=13,50\text{m}$. Τα μεσόβαθρα είναι τοιχοειδή υποστυλώματα διατομής $1,0 \times 5,0\text{m}$ και οι διατομές τους καταλήγουν σε ημικυκλικά άκρα για λόγους αισθητικής. Η γέφυρα είναι θεμελιωμένη σε έδαφος κατηγορίας Β και σε Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας ΙΙ ($\alpha_g=0,16g$). Ο συντελεστής σπουδαιότητας είναι $\gamma_I=1,30$. Στη διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας επιλέχθηκε συντελεστής συμπεριφοράς $q_x=3,50$ ενώ οι χαμηλοί λόγοι διατμήσεως των τοιχοειδών μεσοβάθρων κατά την εγκάρσια διεύθυνση οδήγησαν σε μικρότερο συντελεστή συμπεριφοράς, $q_y=2,70$. Σημειωτέον ότι από αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν διαπιστώθηκε τόσο η λειτουργική επάρκεια των μονολιθικά συνδεδεμένων μεσοβάθρων με την ανωδομή όσο και η σεισμική υπερασφάλειά τους, καθώς στον σεισμό σχεδιασμού φαίνεται ότι αποκρίνονται ελαστικά, παρότι χρησιμοποιήθηκε συντελεστής συμπεριφοράς $q_x=3,50$.

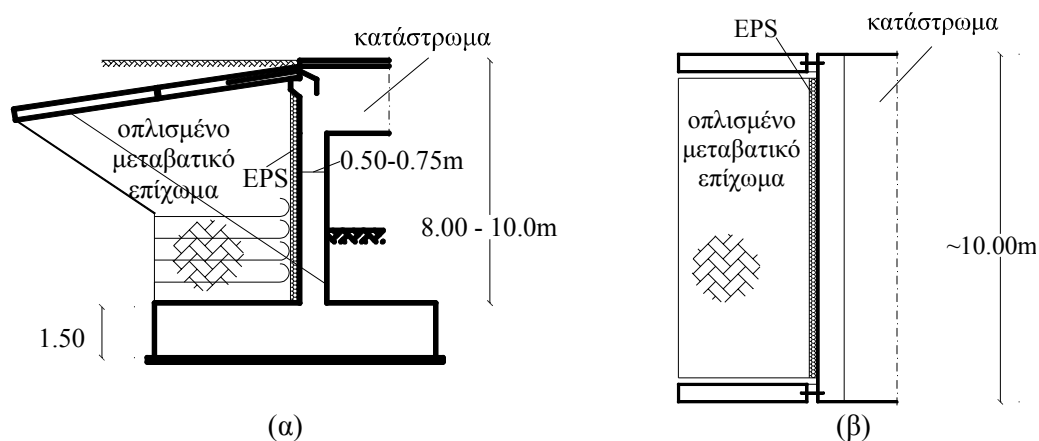


Σχήμα 2: (α) Μηκτομή της μονολιθικής γέφυρας αφετηρίας του τμήματος Αραχθός-Περιστέρι της Εγνατίας Οδού, (β) Τομή στο άνοιγμα, (γ) Η διατομή του μεσοβάθρου.

Στα πλαίσια της παρούσας διερεύνησης επιχειρήθηκαν διάφορες περιπτώσεις ανασχεδιασμού της γέφυρας αφετηρίας μέσω της μείωσης του πλάτους των μεσοβάθρων από $B_{\text{pier}}=1,50\text{m}$ σε $B_{\text{pier}}=1,00\text{m}$. Η προαναφερθείσα, χάριν ερευνητικού στόχου, απόπειρα ανασχεδιασμού δεν θίγει το αισθητικό αποτέλεσμα, το οποίον απασχόλησε τον μελετητή της πραγματικής

γέφυρας. Η ανασχεδιασμένη γέφυρα είναι ενιαία (πλήρως μονολιθική) καθώς σε αυτή αξιοποιήθηκε το προτεινόμενο στην παρούσα έρευνα ακρόβαθρο του Σχήματος 3. Στο ακρόβαθρο αυτό ο τοιχοειδής κορμός δεν συνδέεται μονολιθικά με τους εγκάρσιους τοίχους αντεπιστροφής (περυγοτοίχους) και έχει πάχος $t_{abut}=0,75m$ ούτως ώστε να εκτονωθεί η ικανότητα μετακίνησης της κεφαλής του μέσω της ευκαμψίας του. Η θεμελίωσή του σχεδιάζεται ικανοτικά ώστε να μην παρουσιάζει μετακινήσεις τουλάχιστο στο λειτουργικό επίπεδο. Σημειωτέον ότι η χρήση του τοιχοειδούς μονολιθικού ακροβάθρου οδήγησε σε επαναδιαστασιολόγηση της γέφυρας με συντελεστή συμπεριφοράς ίσο με τη μονάδα $q_y=1,0$ για τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού, λόγω του χαμηλού λόγου διατιμήσεως $\alpha_s=1,0$ του ακροβάθρου στη διεύθυνση αυτή. Ωστόσο, η διαστασιολόγηση των μεσοβάθρων δεν μεταβάλλεται από την προαναφερθείσα επιλογή καθότι η λειτουργικότητα και οι απαιτήσεις αντισεισμικότητας της διαμήκου διεύθυνσης καθορίζουν τους οπλισμούς των βάθρων, γεγονός που αποδείχθηκε και υπολογιστικά. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα της μελέτης, η οποία χρησιμοποίησε τη δυναμική φασματική μέθοδο, και βρέθηκαν σε ικανοποιητική σύγκλιση. Η μείωση των διαστάσεων και ο έλεγχος επάρκειας των μεσοβάθρων έγινε επί του αυτού προσομοιώματος με αντικατάσταση μόνο της διατομής των μεσοβάθρων.

Ο προτεινόμενος τύπος ακροβάθρου του Σχήματος 3 θεωρείται ως εναλλακτική λύση των καθιερωμένων κινητών ακροβάθρων και διαθέτει πλεονεκτήματα ως προς τη δυνατότητα λειτουργικών παραμορφώσεων καθώς και σημαντικές αντισεισμικές δυνατότητες.



Σχήμα 3: Ο προτεινόμενος τύπος τοιχοειδούς μονολιθικού ακροβάθρου το οποίο διαχωρίζεται από το οπλισμένο μεταβατικό επίχωμα με EPS, (α) Κατακόρυφη τομή, (β) Κάτοψη.

3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στην παρούσα έρευνα μελετάται παραμετρικώς η αποδοτικότητα του μονολιθικού ακροβάθρου πλήρους ύψους του Σχήματος 3, το οποίο εξετάστηκε ως παραλλαγή εις αντικατάστασιν του ακροβάθρου που εφαρμόστηκε στο έργο, Σχήμα 2(α).

στη γέφυρα που βρίσκεται στο τμήμα Αραχθος-Περιστέρι της Εγνατίας Οδού. Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας επιχειρήθηκε ο ανασχεδιασμός της παραπάνω γέφυρας μέσω της μείωσης του πλάτους των τοιχοειδών στύλων των βάθρων από $B_{pier}=1,50m$ σε $B_{pier}=1,00m$ καθώς και τη μονολιθική σύνδεση του φορέα με τα ακρόβαθρα. Από την ανασχεδιασμένη γέφυρα προέκυψαν τα προσομοιώματα του Σχήματος 4. Στο Σχήμα 4(α) δίνεται το προσομοίωμα της γέφυρας με την συμβατική, ως προς την έδραση του καταστρώματος επί των ακροβάθρων, μορφή της. Στα Σχήματα 4(β) και 4(γ) σχεδιάστηκαν τα προσομοιώματα των ενιαίων γεφυρών που διαθέτουν το μονολιθικό ακρόβαθρο είτε εν επαφή με το μεταβατικό επίχωμα, Σχήμα 4(β), είτε χωριζόμενο από αυτό μέσω μίας στρώσης EPS, Σχήμα 4(α).

Η αντισεισμική αποδοτικότητα του προτεινόμενου ακροβάθρου αξιολογήθηκε με βάση την απομείωση που προέκυψε στις μετακινήσεις των αναβαθμισμένων γεφυρών των Σχημάτων 4(β) και 4(γ) συγκριτικώς με τις μετακινήσεις της συμβατικής γέφυρας του Σχήματος 4(α). Η επιλογή της διερεύνησης έγινε με κριτήρια που συνδέονται με το συμβιβαστό των λειτουργικών και των αντισεισμικών παραμέτρων του προβλήματος. Ειδικότερα διερευνήθηκε η επιρροή των εξής παραμέτρων:

1) **Το είδος του μεταβατικού επιχώματος:** Εξετάστηκαν περιπτώσεις συμβατικών και οπλισμένων επιχωμάτων.

2) **Η παρεμβολή μίας στρώσης EPS ανάμεσα στο ακρόβαθρο και το επίχωμα:** Αναλύθηκαν συστήματα γεφυρών στα οποία τα ακρόβαθρα ήταν είτε εν επαφή με τα μεταβατικά επιχώματα είτε διαχωρίζονται από αυτά μέσω μίας στρώσης EPS. Για την 2^η περίπτωση εξετάστηκε η επιρροή 2 διαφορετικών υλικών EPS: (α) ενός με υψηλό, σχετικώς, μέτρο ελαστικότητας $E_{EPS}=335\text{KPa}$ και (β) ενός με υποτετραπλάσιο μέτρο ελαστικότητας, $E_{EPS}=84\text{KPa}$. Το πάχος του EPS καθορίστηκε από τις λειτουργικές απαιτήσεις του 50% της διαστολής, ($\Delta T_{exp}/2=12,5^\circ\text{C}$). Η τελευταία επιλογή σχετίζεται με το γεγονός ότι η διαστολή είναι επικίνδυνη στα τρία πρώτα χρόνια της ζωής των γεφυρών κατά τα οποία δεν έχουν εκδηλωθεί τα φαινόμενα του ερπυσμού και της συστολής ξηράνσεως τα οποία οδηγούν σε μόνιμες βραχύνσεις της ανωδομής των γεφυρών.

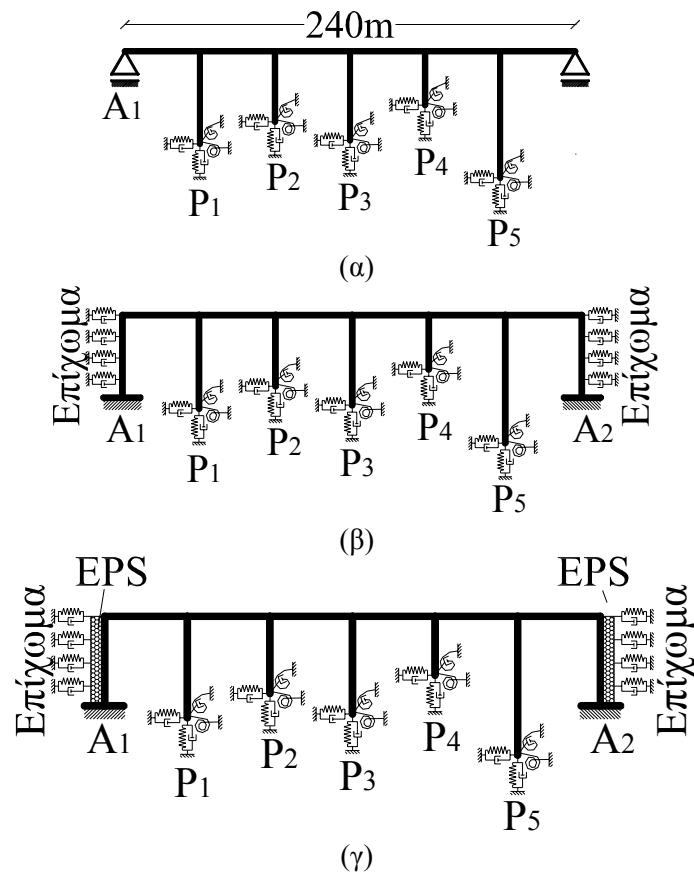
3) **Ο αριθμός των ανοιγμάτων:** Επιλύθηκαν συστήματα γεφυρών με 6, 4 και 2 ανοίγματα συνολικού μήκους 240m, 154m και 68m αντίστοιχα.

4) **Η Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας:** Οι παραπάνω γέφυρες θεωρήθηκε ότι διεγείρονται με σεισμικές επιταχύνσεις σχεδιασμού $a_g=0.16g, 0.24g$ και $0,36g$.

Η προσομοίωση των προαναφερθέντων προσομοιωμάτων γεφυρών αξιοποίησε τα στοιχεία της αρχικής μελέτης για τον καθορισμό των υλικών, της γεωμετρίας και την προσομοίωση της ευκαμψίας της θεμελίωσης των μεσοβάθρων, η οποία εκτιμήθηκε με βάση επί τόπου δοκιμές πρεσσιόμετρου κατά τον γαλλικό κανονισμό, (Project Di Fascicule). Με τη βοήθεια λογισμικού (Esmaeily 2000) εκτιμήθηκαν και στην συνέχεια διγραμμοποιήθηκαν τα διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων $M-(1/r_y)$ των βάθρων, Σχήμα 5. Ο έλεγχος των υπολογισθέντων καμπυλοτήτων διαρροής και η αναγωγή των καμπυλοτήτων σε στροφές έγινε με την εφαρμογή των σχέσεων του ΚΑΝΕΠΕ, (ΚΑΝΕΠΕ 2004).

Η μονόπλευρη και ιξοελαστική απόκριση του συστήματος ακροβάθρου-επιχώματος προσομοιώθηκε, για την περίπτωση του προσομοιώματος του Σχήματος 4 (β) με τη βοήθεια πολυγραμμικών ελατηρίων και ισοδυνάμων σημειακών αποσβεστήρων τα οποία ενεργοποιούνται μετά από μία καθορισμένη μετακίνηση του καταστρώματος, η οποία αντιστοιχεί στον μέσο όρο του οριζοντίου διακένου που θα υπάρχει πίσω από το ακρόβαθρο κατά την έναρξη του σεισμού, Πίνακας 1. Η ύπαρξη του διακένου αυτού οφείλεται στην μόνιμη βράχυνση του καταστρώματος εξαιτίας των φαινομένων του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης, τα οποία με βάση τα στοιχεία της μελέτης είναι δυνατό, χάριν απλότητας, να ληφθούν υπόψη με ισοδύναμες θερμοκρασίες συστολής $\Delta T_c=-15^\circ\text{C}$ και $\Delta T_{sh}=-20^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Τα προαναφερθέντα διάκενα που ελήφθησαν υπόψη στις αναλύσεις είναι δυνατό να κυμαίνονται από μία μέγιστη τιμή, στην περίπτωση της μέγιστης συστολής του καταστρώματος $\Delta T_{con}=-25^\circ\text{C}$, έως μία ελάχιστη, στην περίπτωση της μέγιστης διαστολής του καταστρώματος $\Delta T_{exp}=+25^\circ\text{C}$. Στον Πίνακα 1 δίνονται οι διακυμάνσεις αυτές και οι μέσοι όροι αυτών των διακυμάνσεων οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν τελικά στις αναλύσεις.

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας έγινε εκτεταμένη βιβλιογραφική αναζήτηση για την εύρεση σχέσεων που συνδέουν την δυναμική αντίσταση του επιχώματος με τη παραμόρφωση αυτού για την περίπτωση τοιχοειδών ακροβάθρων πλήρους ύψους, (Ευρωκώδικας 8), (AASHTO LRFD), (Barker, Duncan, Rojiani, Ooi, Tan, Kim, NCHRP Rep. No. 343). Επιλέχθηκε το προσομοίωμα του NCHRP το οποίο προδιαγράφει διγραμμική σχέση μεταξύ της αντίστασης του επιχώματος και της μετακίνησης που δέχεται αυτό από το ακρόβαθρο. Η κατανομή των δυσκαμψιών καθ' ύψος του ακροβάθρου έγινε λαμβάνοντας υπόψη τριγωνική κατανομή των ωθήσεων του επιχώματος. Για την περίπτωση του άοπλου επιχώματος επιλέχθηκε η καμπύλη που αντιστοιχεί σε άμμο μέσης πυκνότητας του NCHRP ενώ για την



Σχήμα 4: Τα προσομοιώματα (α) της γέφυρας αφετηρίας, (β) της σεισμικώς αναβαθμισμένης γέφυρας με το μονολιθικό ακρόβαθρο εν επαφή με το επίχωμα, (γ) της σεισμικώς αναβαθμισμένης γέφυρας με το μονολιθικό ακρόβαθρο χωριζόμενο από το οπλισμένο επίχωμα με EPS.

Μήκος Γέφυρας L (m)	Ελάχιστο εύρος διακένου κατά τον σεισμό min Δ (mm)	Μέγιστο εύρος διακένου κατά τον σεισμό max Δ (mm)	Μέσος Όρος Δ (mm)
240 (6 ανοίγματα)	12	72	42
154 (4 ανοίγματα)	8	46	27
68 (2 ανοίγματα)	3	20	12

Πίνακας 1: Η διακύμανση των οριζοντιών διακένων οφειλομένων στις μόνιμες βραχύνσεις του καταστρώματος πίσω από τα ακρόβαθρα κατά την έναρξη του σεισμού και οι μέσοι όροι αυτών.

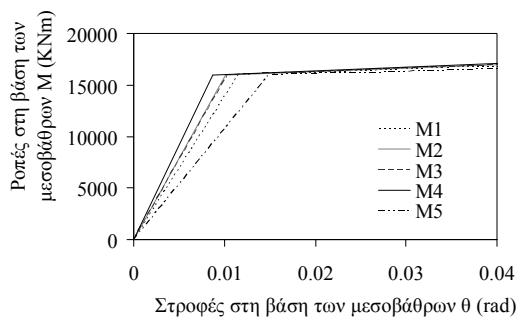
περίπτωση του οπλισμένου επιχώματος ελήφθη η καμπύλη που αντιστοιχεί στην πυκνή άμμο κατά NCHRP, καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα για την δυναμική αντίσταση των οπλισμένων επιχωμάτων. Για την προσομοίωση της μεταβολής της αντιστάσεως των επιχωμάτων καθ' ύψος των μονολιθικών ακροβάθρων ακολουθήθηκε διαδικασία ανάλογη με αυτή που περιγράφεται από τους Faraji, Ting, Crovo, Ernst (2001).

Για την περίπτωση που ανάμεσα στο ακρόβαθρο και το επίχωμα παρεμβάλλεται μία στρώση EPS η συνολική αντίσταση του συστήματος EPS-επίχωμα έγινε με την τοποθέτηση δύο ελατηρίων εν σειρά, Σχήμα 6: (α) ενός ελατηρίου με σταθερή δυσκαμψία σε όλο το ύψος του ακροβάθρου το οποίο προσομοιώνει την αντίσταση του EPS και (β) ενός πολυγραμμικού το οποίο προσομοιώνει την ελαστοπλαστική συμπεριφορά του εδάφους. Σημειώτεον ότι κατά την παραμόρφωση του EPS ασκούνται δυνάμεις και στο έδαφος του μεταβατικού επιχώματος οι οποίες ελήφθησαν υπόψη στο προσομοίωμα της αντιστάσεως του συστήματος EPS-

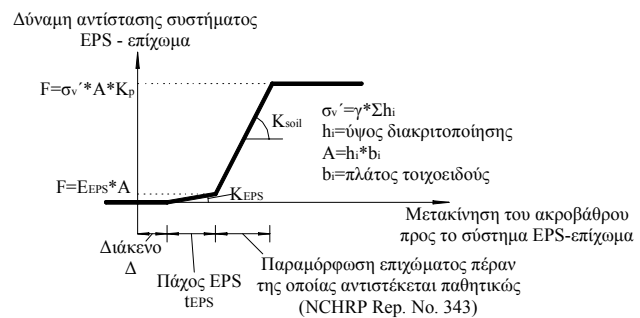
επίχωμα. Τα πάχη των EPS που χρησιμοποιήθηκαν ήταν $t_{EPS}=15,10,4\text{mm}$ για τις γέφυρες με 6,4 και 2 ανοιγματα αντίστοιχα και είναι δυνατό να παραλάβουν μετακινήσεις αντιστοιχούσες στο 50% της διαστολής ($\Delta T_{exp}/2=12,5^\circ\text{C}$), η οποία είναι δυνατό να συμβεί στα 3 πρώτα χρόνια της λειτουργίας της γέφυρας. Η τελευταία επιλογή των παχών των EPS σχετίζεται με τη βέλτιστη διευθέτηση της λειτουργικότητας με στόχο την μεγιστοποίηση της αντισεισμικής συνεισφοράς του συστήματος ακροβάθρου-επιχώματος.

Εξετάστηκαν 60 περιπτώσεις γεφυρών για διάφορες τιμές των ανωτέρω παραμέτρων. Όλες οι γέφυρες που εξετάστηκαν είχαν τα ίδια ακρόβαθρα τα οποία συνδέονταν μονολιθικώς με τον φορέα, Σχήμα 3. Σημειωτέον ότι οι παραπάνω περιπτώσεις συνδυάστηκαν με διάφορες περιπτώσεις μεταβατικών επιχωμάτων, είτε συμβατικών είτε οπλισμένων, με ή χωρίς την παρεμβολή EPS μεταξύ αυτών και του τοιχοειδούς κορμού του ακροβάθρου.

Όλα τα προσομοιώματα των γεφυρών θεωρήθηκε ότι θεμελιώνονται σε κατηγορίες εδάφους B και υποβλήθηκαν σε τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα τα οποία αντιστοιχούν στην κατηγορίες εδάφους B που προδιαγράφει ο Ευρωκώδικας 8 Μέρους .



Σχήμα 5: Η διγραμμική σχέση ροπών-στροφών στη βάση των βελτιστοποιημένων μεσοβάθρων με διαστάσεις $L_x * L_y = 1,00 \times 5,00\text{m}$.



Σχήμα 6: Το πολυγραμμικό προσομοίωμα της αντιστάσεως του συστήματος EPS-ακρόβαθρο σε βάθος Σh_i από την επιφάνεια του εδάφους.

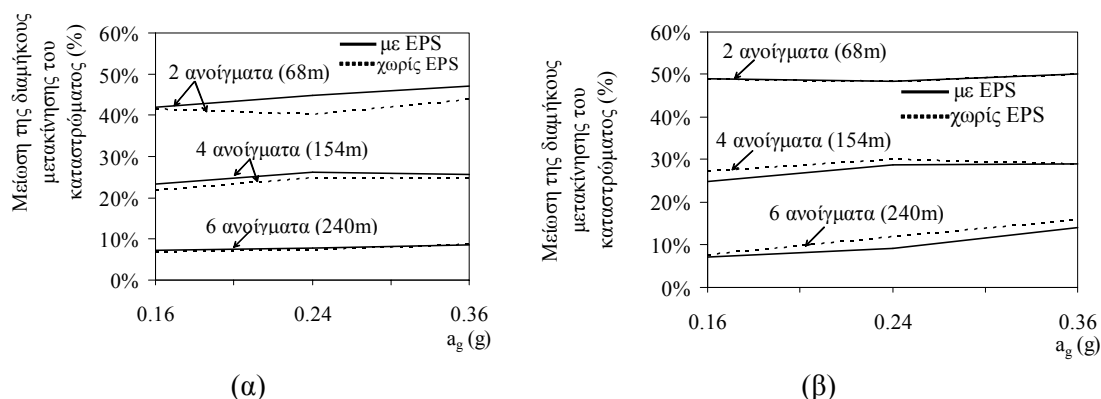
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήχθη προκειμένου να διερευνηθεί η αντισεισμική συμμετοχή του συστήματος του τοιχοειδούς μονολιθικού ακροβάθρου και του επιχώματος. Τα αποτελέσματα δίνονται με μορφή διαγραμμάτων τα οποία αναπαριστούν την ποσοστιαία μείωση των διαμήκων μετακινήσεων του καταστρώματος στις προκύπτουσες ενιαίες γέφυρες των Σχημάτων 4(β) και 4(γ) σε σχέση με τις μετακινήσεις της συμβατικής λύσεως του Σχήματος 4(α). Σημειωτέον ότι είναι δυνατό μέσω του Σχήματος 5 να εκτιμηθούν οι αντίστοιχες μειώσεις των ροπών καθώς και οι μειώσεις των απαιτήσεων πλαστιμοτήτων των μεσοβάθρων όταν είναι γνωστές οι μειώσεις των διαμήκων μετακινήσεων του καταστρώματος.

Στα Σχήματα 7(α) και 7(β) απεικονίζεται η ποσοστιαία μείωση των διαμήκων μετακινήσεων του καταστρώματος, ως προς την συμβατική γέφυρα του Σχήματος 4, για τις γέφυρες των 6,4 και 2 ανοιγμάτων, χάριν της ενεργοποίησης του συστήματος ακροβάθρου-οπλισμένου επιχώματος. Με συνεχείς γραμμές έχουν σχεδιαστεί τα αποτελέσματα των αναλύσεων που αντιστοιχούν στην περίπτωση που ανάμεσα στο επίχωμα και στο ακρόβαθρο παρεμβάλλεται στρώση EPS, Σχήμα 4(γ), του οποίου το πάχος είναι δυνατό να παραλάβει το 50% της διαστολής. Με διακεκομμένες γραμμές έχει σχεδιαστεί η συμβατική λύση στην οποία το επίχωμα είναι σε επαφή με το μεταβατικό επίχωμα, Σχήμα 4(β). Το Σχήμα 7(α) αντιστοιχεί σε συμβατικό άοπλο επίχωμα για το οποίο θεωρήθηκε ότι η παθητική ώθηση ($K_p=4$)

ενεργοποιείται όταν η παραμόρφωση του επιχώματος είναι 10cm ενώ το Σχήμα 7(β) αντιστοιχεί σε οπλισμένο επίχωμα για το οποίο θεωρήθηκε ότι η παθητική ώθηση ($K_p=5,5$) ενεργοποιείται όταν η παραμόρφωση του επιχώματος είναι 5cm, (Barker, Duncan, Rojiani, Ooi, Tan, Kim, NCHRP Rep. No. 343).

Από τα Σχήματα 7(α) και 7(β) παρατηρείται ότι η αποδοτικότητα του προτεινομένου συστήματος είναι αυξημένη στα ενιαία συστήματα γεφυρών μικροτέρου μήκους ($L=68m$) καθώς οι μετακινήσεις σε αυτά υποδιπλασιάζονται, συγκριτικώς με τις μετακινήσεις της γέφυρας αφετηρίας, χάριν της ενεργοποίησης του μεταβατικού επιχώματος. Οι μειώσεις των διαμήκων μετακινήσεων και κατ' επέκτασιν της καταπόνησης των μεσοβάθρων και των θεμελίων τους ανέρχονται σε ποσοστά 30% και 50% για τις γέφυρες με 4 και 6 ανοίγματα συνολικού μήκους 154m και 240m αντιστοίχως.



Σχήμα 7: Η ποσοστιαία μείωση των μετακινήσεων του καταστρώματος για τον διαμήκη σεισμό σχεδιασμού στις αναβαθμισμένες γέφυρες χάριν της αντισεισμικής ενεργοποίησης (α) του συμβατικού και (β) του οπλισμένου επιχώματος (Δύσκαμπτο EPS).

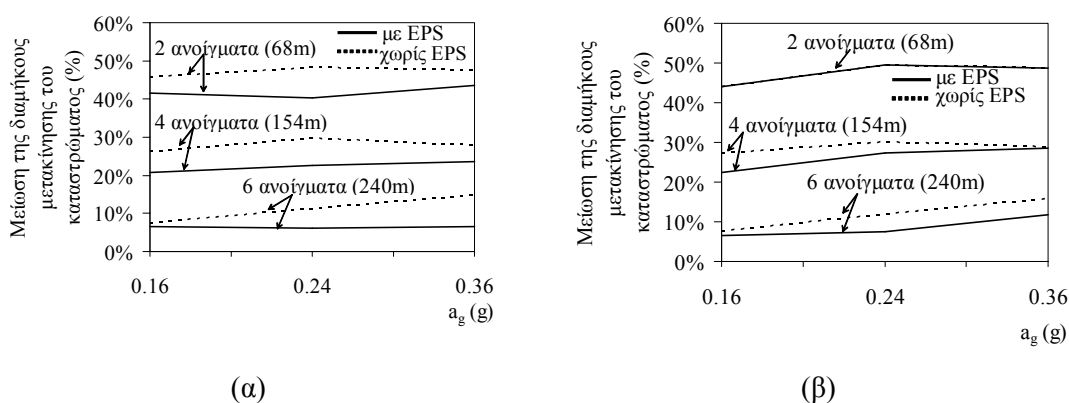
Από τα ίδια Σχήματα 7(α) και 7(β) παρατηρείται ότι η αντισεισμική αποδοτικότητα του συστήματος ακροβάθρου-επιχώματος αυξάνεται στις ζώνες υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας. Ωστόσο, η αύξηση της αποδοτικότητας δεν είναι ανάλογη της αύξησης της εισαγόμενης σεισμικής επιτάχυνσης γεγονός που αποδίδεται στο προσομοίωμα που επιλέχθηκε στα πλαίσια της παρούσας έρευνας για το έδαφος των επιχωμάτων, τα οποία πέραν των μετακινήσεων διαρροής ανθίστανται παθητικώς με σταθερή ώθηση.

Όσον αφορά την επιρροή του EPS (διαγράμματα με συνεχείς γραμμές), Σχήμα 7, που παρεμβάλλεται ανάμεσα στα επιχώματα και τα ακρόβαθρα, από τα Σχήματα 7(α) και 7(β) φαίνεται ότι αυτό μειώνει ή αυξάνει σε μικρό βαθμό την αντισεισμική αποδοτικότητα του συστήματος ακροβάθρου- επιχώματος ανάλογα με την δυσκαμψία με την οποία αποκρίνεται. Φαίνεται ότι η επιλογή ενός δύσκαμπτου EPS, συγκριτικώς με τη σχετικώς μικρή δυσκαμψία του εδάφους σε μικρά βάθη, με μέτρο ελαστικότητας $E_{EPS}=335KPa$ αυξάνει την αντισεισμική αποδοτικότητα του προτεινομένου συστήματος ακροβάθρου-επιχώματος ενώ πλήττει την λειτουργικότητα, καθώς η διερεύνηση έδειξε ότι το σκληρό EPS δεν μειώνει την λειτουργική σύνθλιψη του φορέα της ανωδομής ούτε την καταπόνηση του επιχώματος σε σύγκριση με την συμβατική λύση. Αντιθέτως, η αξιοποίηση ενός μαλακού EPS με μικρό μέτρο ελαστικότητας $E_{EPS}=84KPa$ φαίνεται να μειώνει έως και 25% την αντισεισμική αποδοτικότητα του συστήματος ακροβάθρου επιχώματος παραχωρώντας 50% ελάφρυνση στην λειτουργική καταπόνηση που δέχεται το επίχωμα από το κινούμενο προς αυτό ακρόβαθρο κατά τη διαστολή, Σχήμα 8. Σημειωτέον ότι οι τιμές των μέτρων ελαστικότητας που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω ελήφθησαν βάσει πειραματικών αποτελεσμάτων, (Potzl και Naumann 2005).

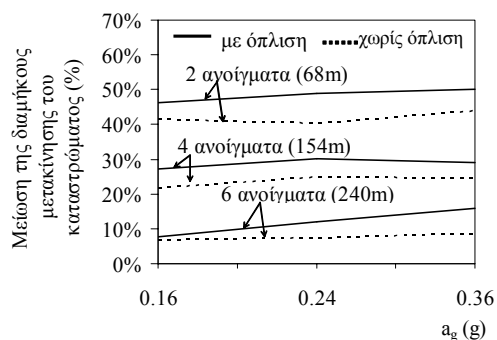
Η διερεύνηση της λειτουργικής επιπόνησης του φορέα της ανωδομής για τις περιπτώσεις που το ακρόβαθρο (α) βρίσκεται σε επαφή με το επίχωμα, (β) χωρίζεται από το επίχωμα με ένα δύσκαμπτο EPS και (γ) χωρίζεται από το επίχωμα με ένα εύκαμπτο EPS, έδειξε ότι ο φορέας καταπονείται αξονικώς κυρίως από τις λειτουργικώς αναπτυσσόμενες τέμνουσες των

δυσκάμπτων μεσοβάθρων, τα οποία ανθίστανται στους καταναγκασμούς της διαστολής. Η αντίσταση του επιχώματος δεν είναι δυνατό να αυξησει παρά μόνο σε μικρό ποσοστό, 10%, την σύνθλιψη του φορέα ανωδομής κατά τη διαστολή του.

Στο Σχήμα 9 αναπαριστώνται οι ποσοστιαίες μειώσεις των διαμήκων μετακινήσεων του καταστρώματος για τις γέφυρες με 6,4, και 2 ανοίγματα για την περίπτωση που το επίχωμα είναι οπλισμένο-διαγράμματα με συνεχείς γραμμές- και για την περίπτωση που το επίχωμα είναι συμβατικής μορφής-διαγράμματα με διακεκομμένες γραμμές-. Επιλέχθηκε η σύγκριση της αντισεισμικής αποδοτικότητας να γίνει για τις περιπτώσεις των επιχώματων που είναι σε επαφή με τα ακρόβαθρα προκειμένου η αντίσταση «πίσω» από το ακρόβαθρο να προέρχεται αμιγώς από τα μεταβατικά επιχώματα. Παρατηρείται ότι η αντισεισμική αποδοτικότητα του συστήματος ακροβάθρου-επιχώματος είναι αυξημένη, από 15% για τις γέφυρες με τα 2 ανοίγματα έως και 35% για τις γέφυρες με τα 6 ανοίγματα, στην περίπτωση που το μεταβατικό επίχωμα είναι οπλισμένο.



Σχήμα 8: Η ποσοστιαία μείωση των μετακινήσεων του καταστρώματος για τον διαμήκη σεισμό σχεδιασμού στις αναβαθμισμένες γέφυρες χάριν της αντισεισμικής ενεργοποίησης (α) του συμβατικού και (β) του οπλισμένου επιχώματος (Εύκαμπτο EPS).



Σχήμα 9: Η ποσοστιαία μείωση των διαμήκων μετακινήσεων του καταστρώματος χάριν της ενεργοποίησης του συστήματος ακροβάθρου-επιχώματος για οπλισμένο και συμβατικό επίχωμα

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας προτείνεται ένας καινοτόμος μορφολογικός και λειτουργικός τύπος ακροβάθρου πλήρους ύψους μονολιθικός συνδεδεμένου με τον φορέα της ανωδομής με εκτεταμένη επιφανειακή θεμελίωση, ως εναλλακτικός του καθιερωμένου τύπου που εφαρμόζεται στις ΗΠΑ. Με αφετηρία τη γέφυρα της Εγνατίας Οδού στη θέση Άραχθος-Περιστέρι, η οποία ανασχεδιάστηκε, διερευνήθηκε η λειτουργική και σεισμική απόκριση 60 συστημάτων γεφυρών με παραμέτρους (α) το είδος του επιχώματος, (β) την

παρεμβολή ή όχι μίας στρώσης δύσκαμπτου ή εύκαμπτου EPS ανάμεσα στο ακρόβαθρο και το επιχώμα, (γ) τον αριθμό των ανοιγμάτων και (δ) τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας κατέληξε στα κάτωθι συμπεράσματα:

1) Το «κλειδί» του συμβιβαστού των απαιτήσεων μεταξύ των κατά κανόνα αντιμαχόμενων απαιτήσεων λειτουργικότητας και αντισεισμικότητας αποτελεί η πρόσδωση ευχέρειας στο φορέα να εκτελεί μεγάλες διαμήκεις μετακινήσεις. Από αυτή η εξυπηρέτηση της λειτουργικότητας είναι αυτονόητη, ωστόσο εξυπηρετείται και η αντισεισμικότητα καθόσον για δεδομένο πλάτος διακένου ακροβάθρου-επιχώματος αναμένεται δραστικότερη παρεμπόδιση της ελεύθερης ταλάντωσης του συστήματος με αντίστοιχο όφελος τη μείωση των αδρανειακών δυνάμεων. Το συμπέρασμα αυτό αφορά ιδιαίτερος τους φορείς μεγαλύτερου μήκους και στην παρούσα εργασία επετεύχθη χάρη στην επιδιωχθείσα ευκαμψία των μεσοβάθρων αλλά και του ακροβάθρου.

2) Η αντισεισμική αποδοτικότητα του προτεινομένου συστήματος είναι αυξημένη στα ενιαία συστήματα γεφυρών μικρότερου μήκους (2 ανοίγματα $L=68m$) καθώς η αντισεισμική συμμετοχή του συστήματος ακροβάθρου-επιχώματος είναι δυνατό να μειώσει τις μετακινήσεις και κατ' επέκτασιν την καταπόνηση των βάθρων ως και 50%. Φαίνεται ότι το μήκος των 240m είναι ένα άνω όριο του μήκους των γεφυρών στις οποίες μπορεί να αξιοποιηθεί η προταθείσα λύση.

3) Η λύση των οπλισμένων επιχωμάτων φαίνεται να πλεονεκτεί έναντι της λύσεως των συμβατικών επιχωμάτων αφενός λειτουργικώς, καθώς αυτά αποκρίνονται με μειωμένες καθιζήσεις ελαχιστοποιώντας το φαινόμενο ratcheting, αφετέρου αντισεισμικώς καθώς η αποδοτικότητά τους στην απομείωση των διαμήκων μετακινήσεων του καταστρώματος φαίνεται ως και 35% αυξημένη σε σχέση με την αποδοτικότητα των συμβατικών επιχωμάτων.

4) Η παρεμβολή μίας στρώσης εύκαμπτου EPS μεταξύ του ακροβάθρου και του επιχώματος ελαφρύνει την λειτουργική καταπόνηση του επιχώματος ως και 50% αλλά μειώνει την αντισεισμική αποδοτικότητα του συστήματος ακροβάθρου επιχώματος ως και 25%. Η αξιοποίηση μαλακών EPS (ή με χαμηλό μέτρο ελαστικότητας) μικρού πάχους φαίνεται να είναι ο βέλτιστος συμβιβασμός μεταξύ των απαιτήσεων της λειτουργικότητας και της αντισεισμικότητας αντιστοίχως.

5) Η αποδοτικότητα του συστήματος ακροβάθρου-επιχώματος αυξάνεται όταν αυξάνεται η σεισμικότητα, καθώς τα συστήματα των γεφυρών αποκρίνονται με μεγαλύτερες μετακινήσεις. Ωστόσο, η αύξηση της αποδοτικότητας είναι μικρή, της τάξης του 25%, σε σχέση με την αύξηση της επιτάχυνσης σχεδιασμού γεγονός που αποδίδεται στην ανελαστική συμπεριφορά του εδάφους του μεταβατικού επιχώματος

6) Απαιτείται περισσότερη έρευνα αναφορικώς με τη μηχανική συμπεριφορά ορισμένων εμπλεκόμενων παραγόντων στο πρόβλημα. Ενδεικτικώς αναφέρονται η ανελαστική σεισμική απόκριση των συμβατικών και οπλισμένων επιχωμάτων και η αποσβεστική ικανότητά τους.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς της παρούσας έρευνας ευχαριστούν θερμά τον Διδάκτορα Πολιτικό Μηχανικό και μελετητή της γέφυρας κ. Ι. Νικολούδη της ΜΕΤΕΣΥΣΜ ΑΕ για την παραχώρηση της άδειας να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας ως μελέτη-αφετηρία η στατική μελέτη της γέφυρας στη θέση Αραχθος-Περιστερί της Εγνατίας Οδού.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

AASHTO, Recommended LRFD Guidelines for the Seismic Design of Highway Bridges Part I: Specifications.

Arockiasamy M., Butrieng N., Sivakumar M., 2004, State-of-the-Art of Integral Abutment Bridges: Design and Practice, Journal of Bridge Engineering, Vol. 9, No. 5.

- Arsoy, S. 2000, Experimental and Analytical Investigations of Piles and Abutments of Integral Bridges., PhD Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Barker R.M., Duncan J.M., Rojiani K.B., Ooi P.S.K., Tan C.K. and Kim S.G., 1991, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Manuals for the design of bridge foundations, eds.Rep. 343, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Briaud J.L., Seo J., Ha H., Scullion T., Investigation of Settlement at Bridge Approach Slab Expansion Joint: Bump at the End of Bridge, Project Summary Report 4147-S, Project 0-4147, Texas Transportation Institute.
- England, G.L, Tsang, N.C.M., Bush, D.I., 2000, Integral bridges: A fundamental approach to the time-temperature loading problem. Thomas Telford ISBN: 0 7277 28458.
- Esmaily A., USC_RC Ver. 1.0.2, 2000.
- Eurocode 7 Geotechnical design - Part 1: General rules.
- Faraji S., Ting J.M., Crovo D.S., Ernst H., 2001, Nonlinear analysis of integral bridges: finite-element model, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, No. 5.
- Goel R.K, 1997, Earthquake characteristics of bridges with integral abutments., Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 11.
- Hoppe E.J., Field Study of Integral Backwall with Elastic Inclusion, Report No. 2. Government Accession No. 3. Recipient's Catalog No. FHWA/VTRC 05-R28.
- Horvath J.S., 1998 α , The compressible-inclusion function of EPS Geofom: Analysis and design methodologies, Manhattan College Research Report No. CE/GE-98-2, , New York, USA.
- Horvath J.S., 1998 β , The compressible-inclusion function of EPS Geofom: An overview of concepts, Applications and Products, Manhattan College Research Report No.CE/GE-98-1.
- Horvath J.S., 2000, Integral-Abutment Bridges:Problems and Innovative Solutions Using EPS Geofom and Other Geosyntheticsm, Manhattan College Research Report No. CE/GE-00-2, New York, USA.
- Lock R.J., Bolton M., Low A., 2002, Integral bridge abutments, CUED/D-SOILS/TR320 M.Eng. Project Report.
- Mitoulis S.A. and Tegos I.A., 2005, Reduction of seismic actions in bridges by developing the pounding interaction between the deck and appropriately reformed abutments, EE-21C, Ohrid.
- Potzl, Naumann, 2005, Fungenlose betonbrucken mit flexiblen widerlagern, Beton-und Stahlbeonbau, Heft 8.
- Project Di Fascicule 62 –Titren – Du CCTG
- Stark T.D., Arellano D., Horvath J.S., Leshchinsky D., Guideline and Recommended Standard for Geofom Applications in Highway Embankments, NCHRP Rep. 529.
- Tegos I.A., Sextos A., Mitoulis S.A., Tsitotas M., 2005, Contribution to the improvement of seismic performance of integral bridges, 4th European Workshop on the Seismic Behaviour of Irregular and Complex Structures.
- Tsang N, England G., Dunstan T., 2002, Soil/Structure interaction of integral bridge with full height abutments, 15th ASCE Engineering Mechanics Conference, Columbia University, New York.
- Wu J., Le K., Helwany E., Ketchart K., Design and Construction Guidelines for Geosynthetic-Reinforced Soil Bridge Abutments with a Flexible Facing, NCHRP REPORT 556.
- Zhang, J. and Makris, N., 2001 α , Seismic Response Analysis of Highway Overcrossings Including Soil-Structure Interaction, PEER Report 2001/02.
- Zhang, J., and Makris, N., 2002 β , Kinematic response functions and dynamic stiffnesses of bridge embankments, Earthquake Eng. Struct. Dyn., 31, 1933–1966.
- Ειδική επιτροπή επεξεργασίας θεμάτων διευρωπαϊκού δικτύου – Ομάδα Εργασίας ΟΜΟΕ – Τεύχος Τεχνικών Εργων,ΥΠΕΧΩΔΕ
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, ΕΑΚ 2003, ΟΑΣΠ.
- ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΕΜΒΑΣΕΩΝ (ΚΑΝΕΠΕ), 2004, Σχέδιο Κειμένου – 1, ΟΑΣΠ.