

Μία πρόταση για την αντισεισμική αναβάθμιση των γεφυρών

Σ.Α. Μητούλης
MSc. Πολιτικός Μηχανικός, Υπ. Διδάκτωρ ΑΠΘ.

Ι.Α Τέγος
Καθηγητής ΑΠΘ

Λέξεις κλειδιά: γέφυρες, αναβάθμιση, ακρόβαθρο, δίσκος, μικροπάσσαλοι, μεταβατικό επίχωμα, ανάσχεση σεισμικής ταλάντωσης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μία μη συμβατική προσέγγιση στο πρόβλημα της αντισεισμικότητας των γεφυρών, μέσω μίας εξωτερικής κατασκευαστικής επέμβασης στα ακρόβαθρα, χωρίς να παραβλέπονται οι λειτουργικές τους ανάγκες. Η προτεινόμενη επέμβαση στα ακρόβαθρα αποβλέπει στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης της σεισμικής ταλάντωσης του φορέα της ανωδομής. Η μεθοδολογία αυτή στην περίπτωση της αντισεισμικής αναβάθμισης υφισταμένων γεφυρών εξειδικεύεται στη δημιουργία ενός δίσκου σκυροδέματος μεταξύ του φορέα και μιας ομάδας μικροπασσάλων τοποθετούμενων όπισθεν του θεμελίου του ακροβάθρου. Ο δίσκος αυτός έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει τα αδρανειακά φορτία του καταστρώματος στους πασσάλους, οι οποίοι ενδίδοντας ενεργοποιούν μονοπλευρως το επίχωμα. Το εύρος των αρμών των άκρων του φορέα περιορίζεται με βάση τις λειτουργικές απαιτήσεις της γέφυρας επιλογή η οποία σχετίζεται με την αύξηση της αντισεισμικής αποδοτικότητας του συστήματος των μικροπασσάλων. Εκτός από τη θεωρητική τεκμηρίωση δίνεται και συγκριτικό παράδειγμα αναβάθμισης πραγματικής γέφυρας της Παλαιάς Εθνικής Οδού Κοζάνης-Γρεβενών.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για πολλά χρόνια οι γέφυρες παραμελούνταν κατά την αντισεισμική τους συμπεριφορά και σε αυτό συνέτεινε η αυταπάτη ότι επειδή είναι συστήματα πολύ κοντά ευρισκόμενα στην περίπτωση του μονοβάθμιου ταλαντωτή αναμένονταν να έχουν καλύτερη συμπεριφορά έναντι του σεισμού λόγω της σαφήνειας του ιδεατού τους συστήματος. Ωστόσο, η πραγματικότητα διέψευσε τις προσδοκίες με συνέπεια να αναζητείται η αιτία των ζημιών από τους σεισμούς σε πολλές περιπτώσεις, ίσως και περισσότερες αναλογικώς, από τις οικοδομές οι οποίες αναπληρώνουν φαίνεται τις αβεβαιότητες της αποκρίσεως μέσω της πλούσιας υπερστατικότητας που διαθέτουν αφενός και των εφεδρειών επίσης όπως π.χ. η παρουσία πλινθοδομών πληρώσεως.

Από την άλλη μεριά, υπάρχουν συστήματα γεφυρών τα οποία, εξαιτίας των προβλημάτων των λειτουργικών καταναγκασμών, έχουν διαστασιολογηθεί σε πολυδιασπασμένα στατικά συστήματα, γεγονός που προκαλεί αβεβαιότητες στη σεισμική απόκρισή τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρονται οι χυτές επί τόπου καθώς και οι προκατασκευασμένες χωρίς συνεχή πλάκα καταστρώματος γέφυρες προηγούμενων εποχών, οι οποίες στατικώς συνίστανται από εν σειρά αμφιπέριστα τμήματα διαχωριζόμενα μεταξύ των με μικρούς αρμούς της τάξης των 2-3cm. Οι αρμοί αυτοί προέκυπταν από τις λειτουργικές ανάγκες του συστήματος, σε αντίθεση με τις σύγχρονες κανονιστικές απαιτήσεις περί αντισεισμικών αρμών, (Εγκύκλιος 39/99). Η σεισμική απόκριση τέτοιων συστημάτων κρίνεται ιδιαιτέρως ασαφής καθόσον επεμβαίνουν φαινόμενα επαφής σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα την αδυναμία αξιοπιστης αντιμετώπισής τους.

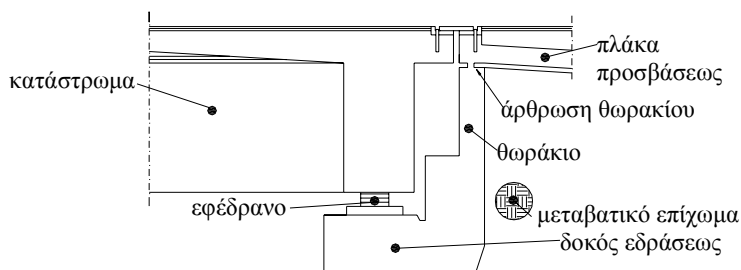
Η Ευρωπαϊκή Γεφυροποιία απέκτησε έναν εξαιρετικό κανονισμό ο οποίος αντιμετωπίζει τα αντισεισμικά προβλήματα των γεφυρών με την καθιέρωση του Ευρωκώδικα 8 Μέρος 2 (Ευρωκώδικας 8 2003) ο οποίος ωστόσο στηρίχθηκε στην, για λόγους σαφήνειας της μηχανικής

συμπεριφοράς, παραδοχή της ελεύθερας κατά το σεισμό σχεδιασμού ταλάντωσης του συστήματος, χωρίς δηλαδή την αντισεισμική ενεργοποίηση των ακροβάθρων, γεγονός που προκαλεί κινδύνους αστοχίας για ορισμένα μέλη όπως είναι το θωράκιο του ακροβάθρου, οι ακραίοι αρμοί και οι περυγότοιχοι. Λύσεις όπως αυτή του Σχήματος 1, προστασίας των προαναφερθέντων μελών έναντι των μικροτέρων σεισμών, είναι μία προσφυγή η οποία αναγνωρίζει το πρόβλημα του Κανονισμού και επιδιώκει οιασδήποτε εκ των ενόντων αντιμετώπιση αυτού.

Εκτός των ανωτέρω είναι προφανές ότι η ελεύθερη ταλάντωση ως επαυξάνουσα και κατά 250% ($\beta_0=2.5$) συγκριτικώς με την εισαγόμενη σεισμική διέγερση επιβαρύνει σημαντικά την οικονομικότητα γεγονός που ενίοτε έχει δυσμενή αντίκτυπο και στην αισθητική των γεφυρών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα μεσόβαθρα των προκατασκευασμένων γεφυρών τα οποία ως εκ της ακραίας σεισμικής καταπόνησής των οποίων οι διατομές προκύπτουν κοίλες ορθογωνικές μεγάλων διαστάσεων με δυσμενείς επιδράσεις όχι μόνο στην αισθητική και στην οικονομία αλλά και σε αυτή καθ' αυτή τη μειονεκτική αντισεισμική συμπεριφορά τους.

Οι μέθοδοι που υπάρχουν σήμερα για την ενίσχυση των γεφυρών εκμεταλλευόμενες μία σειρά νέων υλικών που εισήλθαν στο χώρο τα τελευταία χρόνια στρέφουν την προσοχή τους κυρίως στην άμεση ενίσχυση των πασχόντων μελών αποβλέποντας στην αύξηση του βαθμού επιτελεσματικότητας έναντι του σεισμικού πλήγματος, (Pantelides, Gergely 2002), (Sieble 1994), (Laursen, Sieble, Hegemier 1995). Η αντισεισμική αναβάθμιση υφισταμένων πλωτών γεφυρών αντιμετωπίζεται (AASHTO 2001), (CalTrans 2004) σε περιπτώσεις που επιδιώκεται η μείωση της πιθανότητας απώλειας της στήριξης με τη χρησιμοποίηση καλωδίων συνδέσεως (Saiidi, Randall, Maragakis, Isakovic, 2001), (DesRoches, Pfeifer, Leon Lam, 2003) λύση η οποία όμως πρέπει να συνδυάζεται και με άλλα μέτρα ενισχύσεως.

Εν κατακλείδι, η παρούσα προσέγγιση στο πρόβλημα αποβλέπει στην έμμεση αντιμετώπιση της σεισμικής δράσης μέσω εξωτερικών διατάξεων οι οποίες αποσκοπούν στην παρεμπόδιση της αναπτύξεως της ελεύθερης ταλάντωσης, με επιδιωκόμενο αποτέλεσμα τη μείωση των αναπτυσσομένων αδρανειακών σεισμικών δράσεων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί ακίνδυνα με την αξιοποίηση των υφισταμένων ακροβάθρων καθώς αυτά με την υποστήριξη του δίσκου-κεφαλοδέσμου είναι δυνατό να δέχονται με ελεγχόμενο τρόπο τα σεισμικά κρουστικά φορτία.

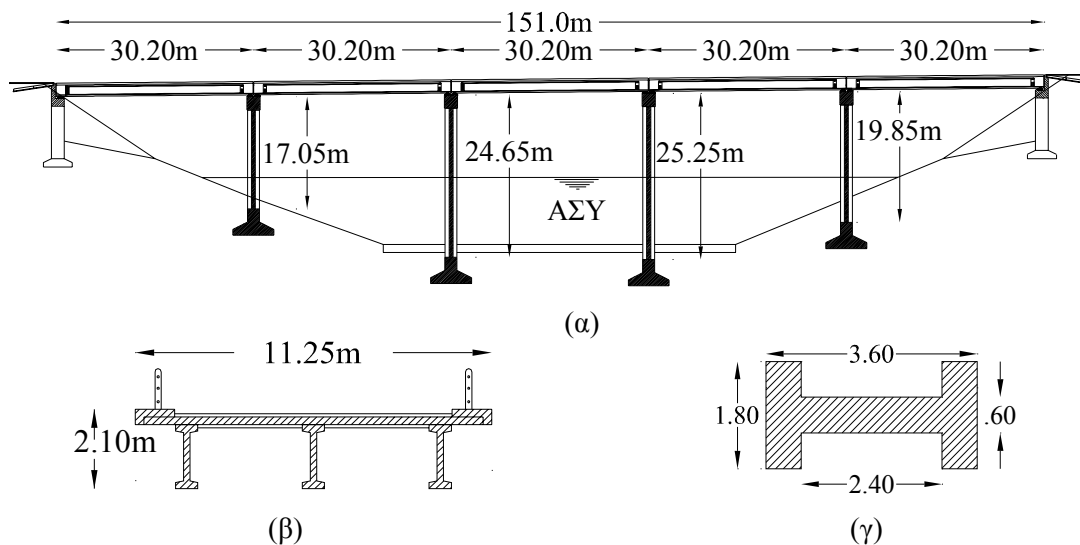


Σχήμα 1 : Σύγχρονη προσαρμογή του θωρακίου.

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΦΕΤΗΡΙΑΣ ΣΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Η γέφυρα της παλαιάς Εθνικής Οδού Κοζάνης-Γρεβενών η οποία βρίσκεται στον ποταμό Αλιάκμονα, Σχήμα 2(α),(β)(γ), αξιοποιήθηκε στην παρούσα διερεύνηση ως αφετηρία. Η γέφυρα μελετήθηκε από τη ΜΕΤΕΣΥΣΜ ΕΠΕ και κατασκευάστηκε το 1986, είναι κλάσης 60/30, κατά το DIN 1072 (DIN 1072 1976) και έχει συνολικό μήκος $L=151.0m$ ($5 \times 30.2m$). Το κατάστρωμά της αποτελείται από αμφιέριστα τμήματα τα οποία, στις θέσεις των μεσοβάθρων, όπου και εδράζονται επί ελαστομεταλλικών εφεδράνων, διαχωρίζονται μεταξύ τους από αρμούς λειτουργικού εύρους. Στις θέσεις των ακροβάθρων το κατάστρωμα στηρίζεται επί εφεδράνων

διαμήκους ολισθήσεως τα οποία έχουν τη δυνατότητα να δεσμεύουν την εγκάρσια κίνηση του καταστρώματος. Ο φορέας, Σχήμα 2(β), έχει συνολικό πλάτος $B=11.25\text{m}$ και αποτελείται από 3 προκατασκευασμένες και προεντεταμένες δοκούς και από τη χυτή επί τόπου πλάκα καταστρώματος. Τα μεσόβαθρα, Σχήμα 2(γ), είναι διατομής I προσανατολισμένων κατά την εγκάρσια διεύθυνση. Με βάση τα γεωτεχνικά δεδομένα –δοκιμή N(SPT)- της εφαρμοσθείσας μελέτης το έδαφος μπορεί να χαρακτηριστεί ως ικανοποιητικής αντοχής και μικρής συμπίεστότητας οπότε επελέγη επιφανειακή θεμελίωση για το σύνολο των βάθρων. Ο σεισμός ελήφθη υπόψη στη μελέτη εφαρμογής με τη θεώρηση σεισμικού συντελεστή $\varepsilon_x=0.06$ και $\varepsilon_y=0.12$ για τη διαμήκη και την εγκάρσια διεύθυνση της γέφυρας αντιστοίχως. Οι προαναφερθέντες συντελεστές αντιστοιχούν σε επιταχύνσεις σχεδιασμού περίπου $a_{g,x}=0.10g$ και $a_{g,y}=0.20g$ με βάση τη σύγχρονη φιλοσοφία σχεδιασμού, ενώ ο αντισεισμικός υπολογισμός της γέφυρας βάσει των σημερινών απαιτήσεων του ΕΑΚ 2003, θα επιβάλλονταν να γίνει για επιτάχυνση σχεδιασμού $a_g=0.16g$.

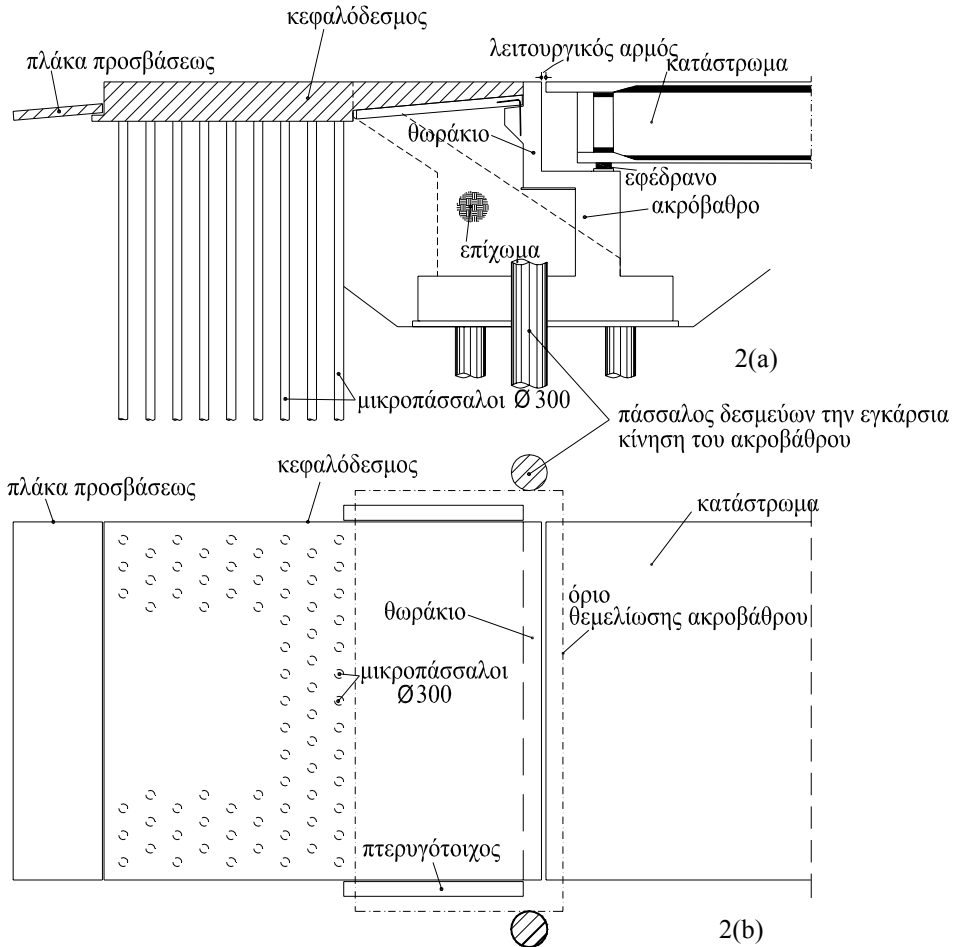


Σχήμα 2: Η γέφυρα-αφετηρία του Αλιάκμονα: (α) Μηκτομή, (β) Τομή στο άνοιγμα και (γ) Διατομή μεσοβάθρου

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΣΧΕΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιχειρείται μία μη συμβατική προσέγγιση στο πρόβλημα της αντισεισμικής αναβάθμισης υφισταμένων γεφυρών. Η προτεινόμενη μέθοδος αντισεισμικής αναβάθμισης αποσκοπεί στην εξυπηρέτηση ταυτοχρόνως των λειτουργικών και των αντισεισμικών απαιτήσεων των υφισταμένων γεφυρών και προτείνεται ένα είδος επέμβασης μέσω μιας διατάξεως που περιλαμβάνει ένα σύστημα ενδοτικών μικροπασσάλων, με το δίσκο κεφαλόδεσμού τους, αποκρινόμενων, λειτουργικώς και αντισεισμικώς, μονόπλευρα, Σχήμα 3(α), 3(β). Η προτεινόμενη επέμβαση, η οποία έχει ως στόχο την παρεμπόδιση της αναπτύξεως της διαμήκους και της εγκάρσιας σεισμικής ταλαντώσεως του καταστρώματος, περιλαμβάνει την κατασκευή ενός δίσκου σκυροδέματος αναδεχόμενου τις ωθήσεις, του ταλαντούμενου οριζοντίως καταστρώματος, και μεταφέροντος αυτές σε ένα σύστημα μικροπασσάλων τοποθετούμενων όπισθεν του θεμελίου του ακροβάθρου. Η επιλογή των μικροπασσάλων έναντι των πασσάλων συμβατικής μορφής σχετίζεται: (α) με την απαίτηση της λειτουργικής

ενδοτικότητα αυτών και εις αντικατάστασιν των ευρέως χρησιμοποιούμενων επίσης ενδοτικών μεταλλικών πασσάλων, (Arockiasamy, Butrieng, Sivakumar, 2004) καθώς έχουν τη δυνατότητα να αποκρίνονται όχι μόνον ελαστικώς αλλά και άψογα λειτουργικώς -μειωμένη ρηγμάτωση- ακόμη και για μεγάλες σχετικώς εξαναγκασμένες μετακινήσεις της κεφαλής τους και (β) με την κατασκευαστική ευκολία και τον ελάχιστο εξοπλισμό που απαιτεί η έμπηξή τους.



Σχήμα 3: Η προτεινόμενη επέμβαση στο ακρόβαθρο με τους μικροπασσάλους, (α) Τομή, (β) Κάτοψη.

Ο προαναφερθείς δίσκος-κεφαλόδεσμος, Σχήμα 3, αντικαθιστά το τμήμα του επιχώματος, το οποίο ευρίσκεται μεταξύ των υφισταμένων πλακών προσβάσεως, σκυροδετείται εν επαφή με το θωράκιο, τις υπάρχουσες πλάκες προσβάσεως, τους εκατέρωθεν αυτού τοίχους αντεπιστροφής και καταλήγει εδραζόμενος σε ένα σύστημα μικροπασσάλων τοποθετημένων όπισθεν του θεμελίων του ακροβάθρου και των οποίων αποτελεί τον κεφαλόδεσμο. Ο δίσκος έχει εκ κατασκευής τη δυνατότητα να μεταφέρει τα κρουστικά φορτία του σεισμού, τα καταφερόμενα επί του θωρακίου, με το οποίο είναι συνδεδεμένος, στους μικροπασσάλους, οι οποίοι ενδίδοντας ενεργοποιούν μονοπλεύρως την αντίσταση του εκείθεν επιχώματος. Οι μικροπασσάλους διατάσσονται σε κάρναβο ρομβικού σχήματος, Σχήμα 3(β), επιλογή η οποία σχετίζεται με την ελαχιστοποίηση των φαινομένων ratcheting πίσω από τους μικροπασσάλους. Στα πλαίσια της παρούσης προτάσεως επεμβάσεως προτείνεται και η αποδέσμευση των στοιχείων των πτερυγοτοιχών από το θωράκιο, καθώς η σεισμική ενεργοποίησή τους θα οδηγούσε σε μη

ελεγχόμενες καταστάσεις των στοιχείων αυτών, τα οποία δεν έχουν διαστασιολογηθεί για ένα τέτοιο ενδεχόμενο.

Όσον αφορά την εγκάρσια διεύθυνση, η οποία εμφανίζει εν γένει αντισεισμικά πλεονεκτήματα έναντι της διαμήκου (τοιχοειδή ή πολύστηλα μεσόβαθρα, εγκάρσια σεισμικά stoppers), η έκταση της απαιτούμενης παρέμβασης μπορεί να χαρακτηριστεί μικροτέρων όγκου και δυσκολίας και περιλαμβάνει τα εξής: (α) Τη σύνδεση της πλάκας του φορέα με το δίσκο μέσω βλήτρων μεγάλης διαμέτρου τα οποία πακτώνονται στο δίσκο και μπορούν να ολισθαίνουν εντός αντιστοιχών οπών οι οποίες ανοίγονται και ενισχύονται καταλλήλως στο μέτωπο κρούσεως της πλάκας καταστρώματος. Τέτοια βλήτρα εφαρμόζονται συχνά στα έργα σκυροδέματος όπως πχ στους αρμούς των πλακών επί εδάφους και με παραπλήσιες διαμέτρους. Η τοποθέτησή τους συνδέεται με την ενίσχυση της εγκάρσιας διεύθυνσης ενώ η διαμήκης λειτουργία της γέφυρας δεν παρακωλύεται από την παρουσία των βλήτρων καθώς έχουν τη δυνατότητα να ολισθαίνουν εντός κυλινδρικών οπών σωλήνων οι οποίοι έχουν προβλεφθεί στον κύριο δίσκο, κατά την κατασκευή του συστήματος παρεμβάσεως. (β) Η λειτουργικότητα δεν βλάπτεται ενώ σε έναν εγκάρσιο σεισμό ενεργοποιούνται οι οπλισμοί αντιστεκόμενοι με τη δράση βλήτρου. Ο αναγκαίος αριθμός βλήτρων, ο οποίος με έναν υπολογισμό για την ανωτέρω περιγραφείσα γέφυρα προέκυψε (Σπυράκος 2004) 15Ø20, προσδιορίζεται εύκολα με βάση την αντίδραση στηρίξεως που προκύπτει στο ακρόβαθρο για τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού. Η θεμελίωση του ακροβάθρου είναι δυνατό να εξασφαλιστεί έναντι ενδεχόμενης στρεπτικής ολισθήσεως, για τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού, δια της κατασκευής ενός πασσάλου ο οποίος πλευρικός παγιώνει την κίνηση του ακροβάθρου, Σχήμα 3.

Εκτός από την προαναφερθείσα επέμβαση προτείνεται αφενός η σύνδεση των διαδοχικών φατνωμάτων της γέφυρας μέσω τριών, ανά εσωτερικό αρμό, ακάμπτων συνδέσμων, οι οποίοι παρεμβάλλονται ανάμεσα στις διαδοκίδες, αποτελούμενων από έναν κοχλία σύνδεσης (dywidag) και μία διατομή σκυροδέματος, αφετέρου η αποκατάσταση της συνέχειας της πλάκας. Αρμοί, οι οποίοι έχουν εύρος Δ που καθορίζεται μόνο από τις απαιτήσεις της λειτουργικότητας, διατηρούνται μόνο στις θέσεις πάνω από τα ακρόβαθρα. Από τις λειτουργικές μετακινήσεις-καταναγκασμούς του καταστρώματος μόνο αυτές των θερμοκρασιακών θεωρείται ότι καθορίζουν το εύρος των λειτουργικών αρμών, που προβλέπονται ανάμεσα στο κατάστρωμα και το θωράκιο, ενώ οι καταναγκασμοί του ερπυσμού και της συστολής ξηράνσεως δεν λαμβάνονται υπόψη ως εκδηλούμενες κυρίως στα 2-3 πρώτα χρόνια της λειτουργίας της γέφυρας. Η τελευταία παρατήρηση αναμένεται να αυξήσει την αποδοτικότητα της προτεινόμενης επεμβάσεως καθώς από προηγούμενη ερευνητική εργασία προέκυψε ότι η ελαχιστοποίηση του εύρους του αρμού προκαλεί δραστηκή μείωση των σεισμικών μετακινήσεων του καταστρώματος (Mitoulis, Tegos 2005), (Tegos, Sextos, Mitoulis, Tsitotas 2005), καθότι το ακρόβαθρο εμποδίζει την ελεύθερη ταλάντωση του καταστρώματος, (Unjoh, Kobayashi, Ogura 2004). Ωστόσο, η ελαχιστοποίηση του αρμού είναι δυνατό, σε περιπτώσεις διαστολών του φορέα, να οδηγήσει σε προβλήματα που σχετίζονται με τη λειτουργικότητα τα οποία αναλύονται στην §4 της παρούσης εργασίας.

Καθώς η ελαχιστοποίηση του εύρους του αρμού μεγιστοποιεί την αποδοτικότητα της προτεινόμενης αντισεισμικής διατάξεως, στα πλαίσια της παρούσης διερευνησεως μελετήθηκε η δυνατότητα πραγματοποίησης της επεμβάσεως όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ίση με τη μέση θερμοκρασία κατασκευής T_0 , (Eurocode 1 Part 1-5 1997). Ο περιορισμός του εύρους του ακραίου λειτουργικού αρμού μεταξύ του φορέα και του θωρακίου με τη βοήθεια παρεμβλήματος συνεπάγεται την εισαγωγή πρόσθετων λειτουργικών κριτηρίων επιλογής τα οποία σχετίζονται με τη λειτουργική καταπόνηση της γέφυρας. Εκτός δηλαδή από (α) το μήκος της γέφυρας, (β) τις θερμοκρασιακές επιδράσεις και (γ) τη θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την επέμβαση, (δ) η λειτουργική σύνθλιψη καταστρώματος, (ε) ο αριθμός των αντιστεκομένων μικροπασσάλων, (στ) η λειτουργική ενδοτικότητα των μικροπασσάλων, (ζ) η επαύξηση της παθητικής αντιστάσεως του επιχώματος λόγω του φαινομένου του ratcheting, καθώς και (η) οι ιδιότητες του εδαφικού υλικού του μεταβατικού επιχώματος αποτέλεσαν τα σπουδαιότερα κριτήρια βάσει των οποίων επιλέχθηκε στην παρούσα έρευνα το εύρος του αρμού.

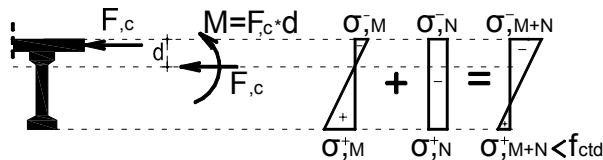
4 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η δυνατότητα να συμβιβαστούν οι λειτουργικές και αντισεισμικές απαιτήσεις της γέφυρας αφετηρίας του Αλιάκμονα με στόχο τη βέλτιστη δυνατή αντισεισμική προστασία της προκύμασας αναβαθμισμένης, μέσω της διατάξεως των μικροπασσάλων, γέφυρας. Η επιλογή του εύρους του λειτουργικού αρμού στην περίπτωση της προτεινόμενης μεθοδολογίας επεμβάσεως αποτελεί κρίσιμο παράγοντα ως προς τον τεθέντα στόχο του συμβιβασμού των απαιτήσεων λειτουργικότητας και αντισεισμικότητας καθόσον η πρόβλεψη αρμού μεγαλύτερου εύρους εξυπηρετεί τη λειτουργικότητα και βλάπτει την αντισεισμικότητα και αντιστρόφως. Η τελική επιλογή για το εύρος του σεισμικού αρμού στάθμισε τα παραπάνω κριτήρια επιλογής και κατέληξε ότι για τη γέφυρα αφετηρία του Αλιάκμονα του Σχήματος 2 ότι είναι δυνατή η επιδίωξη και μηδενικού εύρους αρμού, κατά τη συμβατική θερμοκρασία κατασκευής του έργου, καθώς οι λειτουργικές ανάγκες κατά τη διαστολή του φορέα τους θερινούς μήνες είναι δυνατό να απορροφηθούν από τις ανεκτές λειτουργικώς μετακινήσεις των μικροπασσάλων. Με βάση αυτή την παραδοχή ο αρμός για μεγαλύτερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος θα παραμένει κλειστός και για μικρότερες από αυτήν ανοιχτός. Αν θεωρηθεί ως μέγιστο εύρος ανοιχτού αρμού εκείνο το οποίο με βάση τον Ευρωκώδικα 1 (Eurocode 1 Part 1-5 1997) καθορίζεται ως αποτέλεσμα μείωσης της θερμοκρασίας ως προς εκείνη της μέσης θερμοκρασίας κατασκευής κατά $\Delta T_{N,con}=25^{\circ}C$ η αναλυτική διερεύνηση του προβλήματος είναι δυνατόν να ακολουθήσει, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι μονοσήμαντο, δύο ενδεχόμενα: (α) την περίπτωση που ο σεισμός σχεδιασμού θα λάβει χώρα τη στιγμή που ο αρμός είναι κλειστός και (β) τη στιγμή που ο αρμός είναι ανοιχτός οπότε θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ο συντελεστής συνδυασμού των θερμικών δράσεων ψ_{2T} ο οποίος κατά τον Ευρωκώδικα 8 Μέρος 2 έχει τιμή στην $\psi_{2T}=0.50$ ήτοι για εύρος αρμού θερμοκρασίας $\psi_{2T}*\Delta T_{N,con}=0.5*25=12.5^{\circ}C$ ο οποίος προκύπτει $\Delta = 10^{-5} \times 12.5 \times 151 = 10mm$. Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν διερευνήθηκε τόσο η δυσμενέστερη κατάσταση λειτουργικότητας, η οποία είναι η κατάσταση μέγιστης διαστολής του καταστρώματος, όσο και η δυσμενής αντισεισμικώς περίπτωση κατά την οποία ο αρμός μεταξύ θωρακίου και καταστρώματος έχει μέγιστο εύρος ίσο με $\Delta = 10mm$.

Με βάση την παραπάνω επιλογή για το εύρος του λειτουργικού αρμού προέκυψαν τα παρακάτω λειτουργικά προβλήματα τα οποία διευθετήθηκαν: (α) Το πρόβλημα του **ratcheting** (Horvath 2000), (Lock, Bolton, Low 2002), πίσω από την ομάδα των μικροπασσάλων θεωρήθηκε ότι είναι μικρής σημασίας καθότι αφενός οι μικροπάσσαλοι επιτρέπουν τη ροή του εδάφους ανάμεσά τους, με αποτέλεσμα να εκτονώνεται το φαινόμενο της σφηνώσεως του εδάφους που παρατηρείται πίσω από τους τοίχους των ακροβάθρων, και αφετέρου οι πάσσαλοι κινούνται μονόπλευρα με αποτέλεσμα να μην αφήνεται “πίσω” από αυτούς χώρος για να σφηνωθεί το ρέον έδαφος (Tsang, England, Dunstan 2002) του επιχώματος. Οι αναμοχλεύσεις του επιχώματος πίσω από τους μικροπασσάλους, οι οποίες είναι δυνατό να προκαλέσουν την καθίζησή του, διευθετούνται με την τοποθέτηση πλάκας προσβάσεως πίσω από το δίσκο-κεφαλόδεσμο, Σχήμα 3, των μικροπασσάλων. (β) Το κλείσιμο του αρμού και κατ’ επέκτασιν η **εξαναγκασμένη μετακίνηση της κεφαλής των μικροπασσάλων**, λόγω της διαστολής του καταστρώματος, κατά $u_{pile,exp} - u_{pile,deck-c} = (\alpha*L*\Delta T_{N,exp}/2) - (E*A/L) = 19mm - 6.5mm = 12.5mm$, όπου $u_{pile,exp}$ είναι η μετακίνηση της κεφαλής των μικροπασσάλων λόγω της διαστολής του καταστρώματος και $u_{pile,deck-c}$ είναι η ελάφρυνση της εξαναγκασμένης μετακίνησης των μικροπασσάλων χάρις στη βράχυνση του θλιβόμενου καταστρώματος, δεν δημιουργεί προβλήματα αστοχίας στα στοιχεία αυτά καθώς από υπολογισμό που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι είναι δυνατό, με διαμήκη όπλιση των μικροπασσάλων με $10\phi 20$ και εγκάρσια σπείρα $\phi 10/100$, να αντεπεξέλθουν ελαστικώς στον παραπάνω λειτουργικό καταναγκασμό. Ο παραπάνω υπολογισμός έγινε για τη γέφυρα του Σχήματος 2 και με τη θεώρηση θερμοκρασιακής διαστολής ίσης με $\Delta T_{N,exp}=+25^{\circ}C$. (γ) Η **λειτουργική σύνθλιψη** της ανωδομής, στην περίπτωση της μέγιστης διαστολής αυτής $\Delta T_{N,exp}=+25^{\circ}C$, δεν δημιουργεί προβλήματα αστοχίας σε αυτή. Ο

υπολογισμός των πρόσθετων τάσεων, Σχήμα 4, λόγω της συνθλίψεως του καταστρώματος από την εκκέντρω εφαρμοζόμενη δύναμη -αντίδραση των λειτουργικώς αντιστεκομένων μικροπασσάλων- έδειξε ότι η σύνθλιψη της άνω ίνας της διατομής αυξάνεται κατά $\Delta\sigma_{,N}^- \approx 1.7\text{MPa}$ ενώ ο εφελκυσμός του κάτω πέλματος αυξάνεται κατά με $\Delta\sigma_{,N}^+ \approx 0.35\text{MPa}$.

Όσον αφορά τη λειτουργική επάρκεια των υφισταμένων εφεδράνων στην κατάσταση λειτουργίας διαπιστώθηκαν τα εξής: (α) τα εφεδράνα ολισθήσεως, τα οποία είναι τοποθετημένα στις θέσεις των ακροβάθρων, κρίθηκε ότι είναι επαρκή καθώς αυτά είναι δυνατό να παραλάβουν τις μέγιστες εξαναγκασμένες μετακινήσεις στις οποίες υποβάλλονται από τη συστολή, $\Delta T_{N,con} = -25^\circ\text{C}$. (β) Τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα, επί των οποίων στηρίζεται ο φορέας στις θέσεις των μεσοβάθρων, κρίθηκε ότι έχουν επίσης επαρκές ύψος ($\Sigma t_i = 29\text{mm}$) καθώς βρέθηκε ότι ο μέγιστος καταναγκασμός που δέχονται στην κατάσταση λειτουργίας της γέφυρας είναι 11mm.



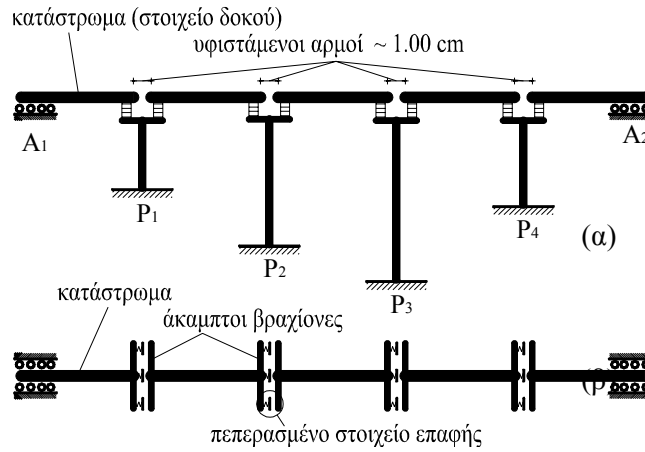
Σχήμα 4: Οι πρόσθετες τάσεις που δημιουργούνται καθ' ύψος της διατομής του καταστρώματος από τη λειτουργική σύνθλιψη του καταστρώματος κατά τη διαστολή της γέφυρας.

5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

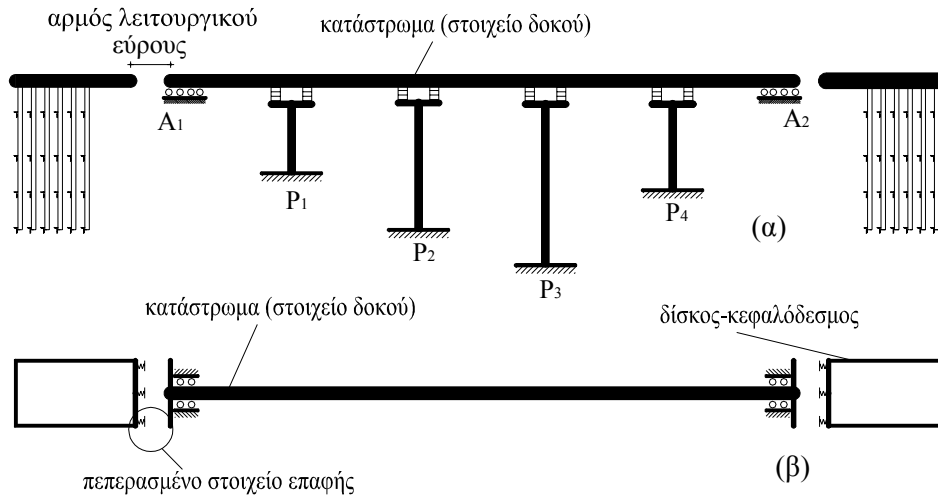
Στην παρούσα διερεύνηση μελετάται παραμετρικώς η δυνατότητα αντισεισμικής αναβαθμίσεως υφισταμένων γεφυρών μέσω (α) της συνδέσεως των διαδοχικών φατνωμάτων του πολυδιασπασμένου φορέα της ανωδομής και (β) μέσω της κατασκευής ενός εξωτερικού συστήματος ανασχέσεως της οριζόντιας σεισμικής ταλάντωσης του καταστρώματος. Το προαναφερθέν σύστημα, το οποίο αποτελείται από μικροπασσάλους και έναν οριζοντίως διατεταγμένο δίσκο-κεφαλόδεσμο ο οποίος αναδέχεται την κρουστική επίδραση του ταλαντούμενου καταστρώματος μειώνοντας σημαντικά τη σεισμική απόκριση αυτού και κατ' επέκτασιν των εφεδράνων, των μεσοβάθρων και των θεμελίων τους. Ως αφετηρία για τη διερεύνηση αυτή αξιοποιήθηκε η γέφυρα του Αλιάκμονα η οποία έχει συνολικό μήκος $L=151\text{m}$, Σχήμα 2.

Με βάση την παραπάνω γέφυρα αφετηρία μορφώθηκαν τα προσομοιώματα της συμβατικής γέφυρας, Σχήμα 5, και της αναβαθμισμένης γέφυρας, Σχήμα 6. Στα Σχήματα 5(α),(β) φαίνεται σε διαμήκη τομή και σε κάτοψη το προσομοίωμα της γέφυρας αφετηρίας που αξιοποιήθηκε στις αναλύσεις. Τα φατνώματα και τα μεσόβαθρα έχουν προσομοιωθεί με στοιχεία δοκού. Τα φατνώματα στηρίζονται στις μεν θέσεις των μεσοβάθρων επί ελαστομεταλλικών εφεδράνων συνολικού πάχους ελαστικού $\Sigma t_i = 29\text{mm}$ και στις θέσεις πάνω από τα ακρόβαθρα επί εφεδράνων ολισθήσεως, τα οποία δεσμεύουν τις εγκάρσιες μετακινήσεις του καταστρώματος. Στις αναλύσεις ελήφθησαν υπόψιν τα διάκενα, εύρους 10mm, που διαχωρίζουν τα διαδοχικά φατνώματα της ανωδομής μέσω των μη γραμμικών στοιχείων επαφής που διαθέτει το SAP 2000 ver.9.0.3. (SAP 2000, 2002) Κάθε διάκενο προσομοιώθηκε με 3 στοιχεία επαφής (Anagnostopoulos 2004), (Jankowski, Wilde, Fujino 1998) τα οποία είναι δυνατό να λάβουν υπόψιν τους τις επαφές μεταξύ των φατνωμάτων τόσο για το διαμήκη όσο και για τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού. Οι άκαμπτοι βραχίονες χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να ληφθεί υπόψη το πλάτος της ανωδομής για τον εγκάρσιο κυρίως σεισμό, ο οποίος προκαλεί σχετικές στροφές, περί κατακόρυφο άξονα, μεταξύ των διαδοχικών φατνωμάτων, γεγονός που συνεπάγεται την έκκεντρη, ως προς τη

διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας, επαφή μεταξύ των γειτονικών φατνωμάτων, (Kawashima Lecture Notes).



Σχήμα 5: Το προσομοίωμα της γέφυρας αφετηρίας: (α) Μηκοτομή και (β) Κάτοψη.



Σχήμα 6: Το προσομοίωμα της σεισμικώς αναβαθμισμένης γέφυρας με τη διάταξη μικροπασσάλων και τον κεφαλόδεσμο: (α) Μηκοτομή και (β) Κάτοψη.

Στα Σχήματα 6(α),(β) φαίνεται σε διαμήκη τομή και σε κάτοψη το προσομοίωμα της σεισμικώς αναβαθμισμένης γέφυρας που αξιοποιήθηκε στις αναλύσεις. Στην αναβαθμισμένη γέφυρα διατηρούνται μόνο δύο αρμοί λειτουργικού εύρους πάνω από τα ακρόβαθρα οι οποίοι διαχωρίζουν το κατάστρωμα από το θωράκιο και κατ' επέκτασιν από τον κεφαλόδεσμο των μικροπασσάλων. Η προσομοίωση των πιθανών επαφών μεταξύ του καταστρώματος και του δίσκου αξιοποιεί την προαναφερθείσα στην παραπάνω παράγραφο τεχνική, η οποία είναι δυνατό να προσομοιώσει τα φαινόμενα επαφής που προκύπτουν τόσο από το διαμήκη όσο και από τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού. Στο ίδιο **Σχήμα 6** φαίνονται οι ομάδες των μικροπασσάλων και οι κεφαλόδεσμοι-δίσκοι που δεσμεύουν τις κεφαλές των μικροπασσάλων. Οι μικροπασσάλοι διακριτοποιήθηκαν με 10 στοιχεία δοκού διαμέτρου $D_{m-pile}=0,30m$ και μήκους 1m. Ανά μέτρο ύψους των μικροπασσάλων προσδιορίστηκαν οι καμπύλες P-y των πασσάλων βάσει της μεθόδου που προτείνει το API (API 1993). Το έδαφος θεωρείται ότι εισέρχεται στην ανελαστική περιοχή παραμορφώσεων όταν η μετακίνηση του μικροπασσάλου είναι 25mm ενώ η μετελαστική

δυσκαμψία ελήφθη ίση με το 25% της ελαστικής, $K_{inel}=0,25 K_{el}$, (Kappos, Sextos, 2001). Τα φαινόμενα ομάδας των μικροπασσάλων, οι τριβές μεταξύ του κεφαλοδέσμου και του επιχώματος και οι τριβές μεταξύ των εν επαφή μελών αγνοήθηκαν.

Με βάση τα παραπάνω προσομοιώματα διερευνήθηκε παραμετρικά η αντισεισμική αποδοτικότητα της προτεινόμενης στην παρούσα εργασία μεθόδου αναβαθμίσεως. Οι κύριες παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν:

1) Το **εύρος του αρμού** που υπάρχει μεταξύ του καταστρώματος και του θωρακίου κατά την έναρξη του σεισμού. Διερευνήθηκε η αποδοτικότητα του προτεινόμενου συστήματος μικροπασσάλων όταν ο αρμός μεταξύ του συνεχούς καταστρώματος και του θωρακίου ήταν είτε κλειστός είτε είχε εύρος που αντιστοιχούσε σε θερμοκρασία ίση με $\psi_{2T} \cdot \Delta T_{N,con} = 12.5^\circ\text{C}$ δηλαδή $\Delta = 10^{-5} \times 12.5 \times 151 = 10\text{mm}$. Προκειμένου να διερευνηθεί περαιτέρω η επιρροή της παραμέτρου αυτής οι αναλύσεις έγιναν και μία ενδιάμεση τιμή του αρμού, $\Delta=5\text{mm}$.

2) Η **κατηγορία του εδάφους**. Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα τα οποία αντιστοιχούν στις κατηγορίες B και C του Ευρωκώδικα 8 Μέρος 1, (Eurocode 8 Part 1 2003).

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

Οι αναλύσεις των μονόπλευρων επαφών, που εισάγονται στα παραπάνω προσομοιώματα, πραγματοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα αναλύοντας τη χρονοϊστορία συνθετικών και καταγεγραμμένων επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων στα αντίστοιχα ελαστικά φάσματα του Ευρωκώδικα 8 Μέρος 1 (Eurocode 8 Part 1 2003).

6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΤΟΥ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ

Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα της έρευνας η οποία έθεσε ως στόχο την ποσοτική εκτίμηση της αποδοτικότητας του προτεινόμενου συστήματος μικροπασσάλων στην απομείωση των μετακινήσεων με τις οποίες αποκρίνεται ο φορέας της γέφυρας-αφετηρίας του Αλιάκμονα στο διαμήκη και τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού.

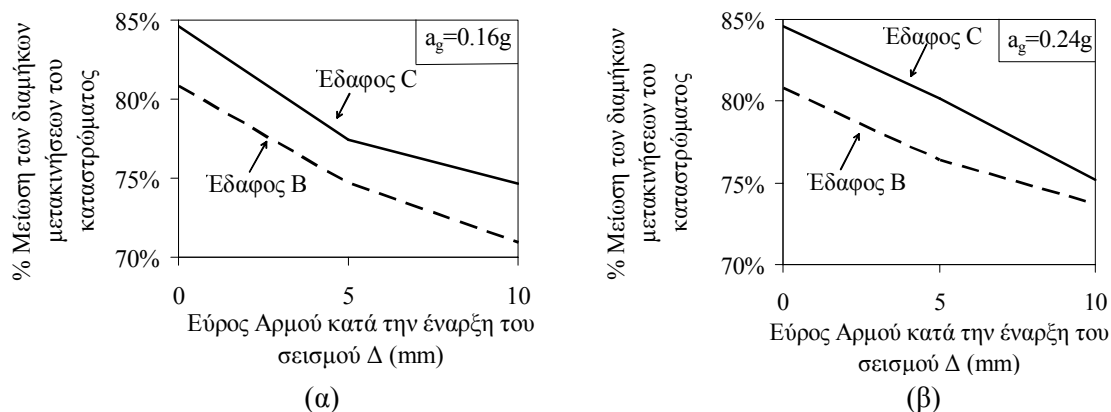
Στα Σχήματα 7 και 8 φαίνεται η επιρροή του εύρους του αρμού, που υφίσταται ανάμεσα στο κατάστρωμα και το θωράκιο κατά την έναρξη του σεισμού, στην αντισεισμική αποδοτικότητα της προτεινόμενης μεθόδου αντισεισμικής αναβαθμίσεως. Από τα σχήματα φαίνεται ότι η προτεινόμενη διάταξη των μικροπασσάλων είναι δυνατό να μειώσει σημαντικά –έως και 85%- τις διαμήκεις μετακινήσεις του καταστρώματος όταν ο αρμός κατά την έναρξη του σεισμού είναι κλειστός. Η αποδοτικότητα του συστήματος μειώνεται, αλλά παραμένει σημαντική, όταν αυξάνεται το εύρος του αρμού γεγονός που αποδίδεται στη χρονική υστέρηση της ενεργοποίησής του συστήματος των μικροπασσάλων, από την έναρξη του σεισμού, στην περίπτωση που ο αρμός είναι ανοιχτός.

Από τα Σχήματα 7(α),(β) και 8(α),(β) είναι δυνατό να εξαχθούν συμπεράσματα αναφορικά με την επιρροή της κατηγορίας του εδάφους και της σεισμικότητας στην αντισεισμική συμμετοχή του προτεινόμενου συστήματος. Είναι φανερό ότι η προτεινόμενη μέθοδος αναβαθμίσεως είναι αποδοτικότερη στα μαλακότερα εδάφη κατηγορίας C και στις περιοχές υψηλότερης σεισμικότητας II ($a_g=0.24g$). Η τελευταία παρατήρηση ερμηνεύεται από την αυξημένη συμμετοχή του συστήματος των μικροπασσάλων σε συστήματα γεφυρών που αποκρίνονται με μεγαλύτερες μετακινήσεις, δηλαδή σε συστήματα γεφυρών επί μαλακών εδαφών ή κατασκευασμένων σε περιοχές αυξημένης σεισμικότητας.

Στο Σχήμα 9 έχει σχεδιαστεί η ποσοστιαία μείωση των μετακινήσεων του καταστρώματος για τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού χάριν της αντισεισμικής συμμετοχής του συστήματος των μικροπασσάλων. Φαίνεται ότι οι εγκάρσιες μετακινήσεις του καταστρώματος είναι δυνατό να μειωθούν ως και 37% όταν το εξωτερικό σύστημα των μικροπασσάλων ενεργοποιείται. Από το

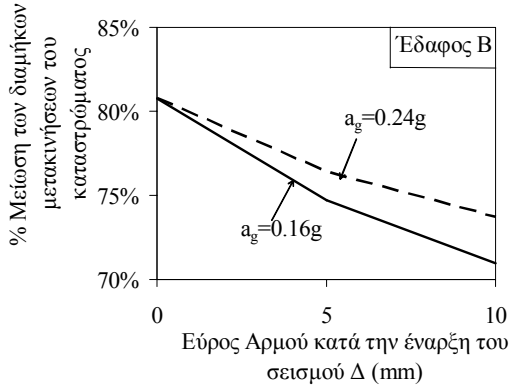
ίδιο σχήμα φαίνεται ότι το μηδενικό εύρος αρμού είναι ευνοϊκότερο αναφορικά με την αντισεισμική αποδοτικότητα του συστήματος των μικροπασσάλων.

Ωστόσο, η σημαντική μείωση των μετακινήσεων δεν συνεπάγεται την κατά το ίδιο ποσοστό μείωση και των τεμνουσών που καταπονούν τα μεσόβαθρα καθώς ο περιορισμός των μετακινήσεων του καταστρώματος και κατ' επέκτασιν της κεφαλής των εφεδράνων δεν περιορίζει τις μετακινήσεις της κεφαλής των μεσοβάθρων. Η ιδιοταλάντωση των σχετικώς υψηλών μεσοβάθρων φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των σεισμικών τεμνουσών για το διαμήκη και τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού. Στα Σχήματα 10(α),(β) έχουν σχεδιαστεί οι ποσοστιαίες μειώσεις των μετακινήσεων του καταστρώματος και των τεμνουσών των βάθρων προκειμένου να δοθεί σχηματικά η παραπάνω παρατήρηση. Φαίνεται ότι η μείωση των μετακινήσεων για το διαμήκη σεισμό σχεδιασμού, Σχήμα 10(α),κατά 85% αντιστοιχεί σε ποσοστό μείωσης 58% της τέμνουσας $V_{X,X}$ του υψηλότερο βάθρου M_2 . Από τον περιορισμό των μετακινήσεων του καταστρώματος φαίνεται να ευνοούνται περισσότερο τα μεσόβαθρα μικροτέρου ύψους γεγονός που φαίνεται να ισχύει και για τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού, Σχήμα 10(β).

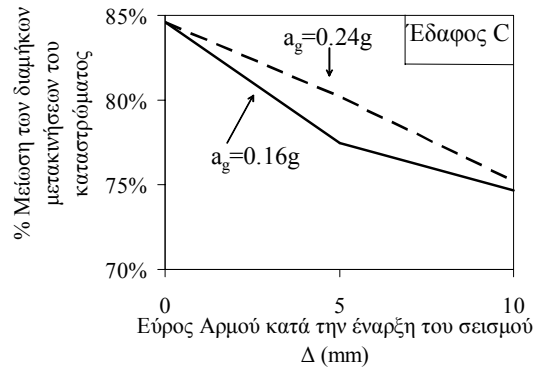


Σχήμα 7: Η επιρροή του εύρους του αρμού και της Ζώνης Σεισμικής Επικινδυνότητας στην ποσοστιαία μείωση των μετακινήσεων για το διαμήκη σεισμό σχεδιασμού: (α) ΖΣΕ Ι και (β) ΖΣΕ ΙΙ.

Από την παρούσα διερεύνηση προέκυψε ότι η προταθείσα μέθοδος αναβαθμίσεως δεν εξήντησε τη λειτουργικότητα καθώς, όπως απεδείχθη υπολογιστικώς, θα ήταν δυνατό να αξιοποιηθεί ένα πιο δύσκαμπτο σύστημα εξωτερικής επεμβάσεως το οποίο αν και θα ανήγε τη λειτουργικότητα σε κρίσιμη κατάσταση σχεδιασμού θα παρουσίαζε αυξημένη αντισεισμική αποδοτικότητα. Η επιλογή ενός πιο δύσκαμπτου συστήματος παρεμβάσεως θα γινόταν με επιλογή περισσότερων μικροπασσάλων ή και όπλιση του εδάφους και όχι με αύξηση των διατομών των πασσάλων, οι οποίοι, όπως υπολογιστικώς προέκυψε, εξαντλούν λειτουργικώς τα περιθώρια των ελαστικώς παραλαμβανομένων μετακινήσεων. Τέλος, η επιλογή αύξησεως των δυνάμεων τριβής, μεταξύ του κεφαλοδέσμου και του μεταβατικού επιχώματος, ως μέσον αύξησεως της αντιστάσεως του συστήματος κεφαλοδέσμος-μικροπάσσαλοι κρίνεται αδόκιμη καθότι είναι δύσκολος ο προσδιορισμός τέτοιων μηχανισμών και κατά συνέπεια η αναμενόμενη αντίσταση αναμένεται να παρουσιάζει μεγάλη διασπορά.

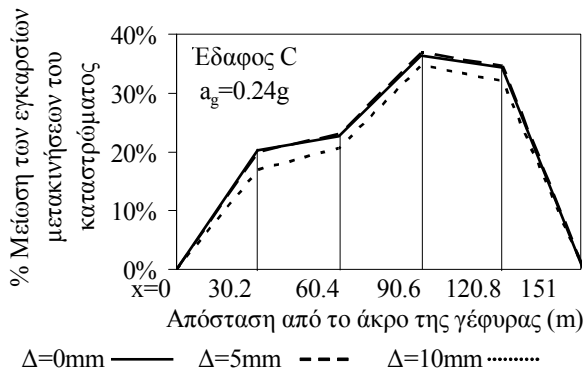


(α)

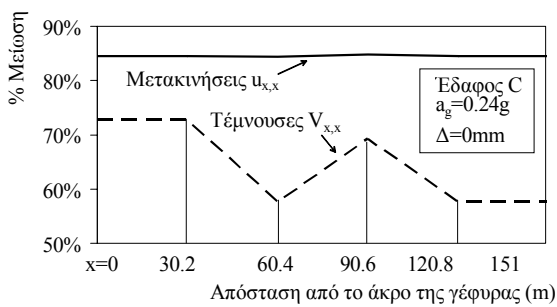


(β)

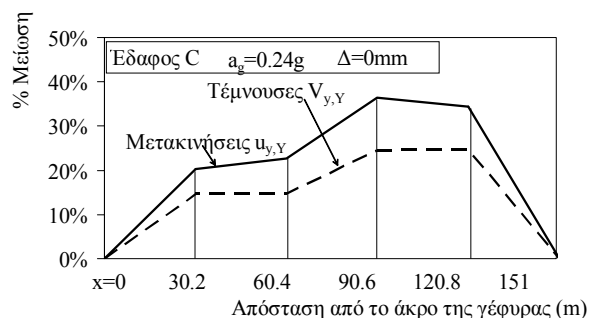
Σχήμα 8: Η επιρροή του εύρους του αρμού και της κατηγορίας του εδάφους στην ποσοστιαία μείωση των μετακινήσεων για το διαμήκη σεισμό σχεδιασμού: (α) Έδαφος Β και (β) Έδαφος C.



Σχήμα 9: Η ποσοστιαία μείωση των μετακινήσεων του καταστρώματος για τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού χάριν της σεισμικής συμμετοχής του συστήματος των μικροπασσάλων.



(α)



(β)

Σχήμα 10: Σύγκριση των ποσοστών μειώσεως των μετακινήσεων του καταστρώματος και των τεμνουσών που αναπτύσσονται στα βάθρα για τον: (α) Διαμήκη και τον (β) Εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας προτείνεται η κατασκευή ενός ευμεγέθους εξωτερικού ενδοτικού συστήματος μικροπασσάλων το οποίο, χωρίς να παραβιάζει τη λειτουργική συμπεριφορά της γέφυρας περιορίζει την ανάπτυξη της ελεύθερης διαμήκους και εγκάρσιας ταλάντωσης της γέφυρας. Το σύστημα προτείνεται ως εναλλακτικό των σύγχρονων μεθόδων ενισχύσεως. Η παραμετρική ανάλυση, η οποία έθεσε ως στόχο την ποσοτική διερεύνηση της αντισεισμικής αποδοτικότητας της προτεινόμενης μεθόδου ενισχύσεως, με παραμέτρους: (α) το εύρος αρμού που υπάρχει μεταξύ του καταστρώματος και του θωρακίου κατά την έναρξη του σεισμού, (β) την κατηγορία του εδάφους και (γ) τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας κατέληξε στα κάτωθι συμπεράσματα:

- 1) Οι εξωτερικές επεμβάσεις με στόχο την αντισεισμική αναβάθμιση υφισταμένων γεφυρών φαίνεται να είναι ελπιδοφόρες και ανταγωνιστικές με αυτές των συμβατικών μεθόδων ενισχύσεως.
- 2) Το πρόβλημα του συμβιβαστού των λειτουργικών και των αντισεισμικών απαιτήσεων είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί μέσω της διευθέτησης του εύρους των αρμών και της αντιστάσεως του συστήματος των μικροπασσάλων ώστε αφενός η προκύπτουσα αναβαθμισμένη γέφυρα να είναι λειτουργικώς επαρκής και αφετέρου η σεισμική συμμετοχή του συστήματος παρεμβάσεως να είναι αυξημένη.
- 3) Ο περιορισμός των μετακινήσεων του καταστρώματος χάριν της σεισμικής συμμετοχής του συστήματος των μικροπασσάλων για το διαμήκη σεισμό σχεδιασμού είναι εντυπωσιακός, της τάξης του 75% έως και 85%. Η αποδοτικότητα της επεμβάσεως αυξάνεται όταν το εύρος του αρμού που υπάρχει μεταξύ του καταστρώματος και του θωρακίου κατά την έναρξη του σεισμού μειώνεται.
- 4) Για την αντιμετώπιση της λιγότερο απαιτητικής εγκάρσιας διεύθυνσης προτείνεται η σύνδεση μέσω βλήτρων πακτωμένων επί των ακραίων διαδοκίδων ολισθαινόντων διαμήκως στον κεφαλόδεσμο-δίσκο του προτεινόμενου εξωτερικού συστήματος ενδοτικών μικροπασσάλων εν συνδυασμό με πρόσθετα μέτρα σταθεροποίησης των υφισταμένων ακροβάθρων. Όσον αφορά την αποδοτικότητα της προτεινόμενης μεθόδου στην απομείωση των μετακινήσεων του καταστρώματος για τον εγκάρσιο σεισμό αυτή φαίνεται να είναι σημαντική καθώς οι μετακινήσεις μειώνονται σε ποσοστά έως και 36%.
- 5) Γενικώς η αποδοτικότητα της προτεινόμενης επεμβάσεως φαίνεται να αυξάνεται σε γέφυρες οι οποίες αποκρίνονται με μεγάλες σεισμικές μετακινήσεις. Πλωτές γέφυρες, θεμελιωμένες επί μαλακών εδαφών ή και σε περιοχές υψηλής σεισμικότητας είναι δυνατό να αξιοποιήσουν αποδοτικά την προτεινόμενη μορφή επεμβάσεως.
- 6) Οι προαναφερθείσες ποσοστιαίες μειώσεις των μετακινήσεων του καταστρώματος για το διαμήκη και τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού δεν συνεπάγονται την κατά το ίδιο ποσοστό μείωση των τεμνουσών των βάθρων καθώς η ιδιοταλάντωση, ιδιαιτέρως των υψηλών, βάθρων προκαλεί το 16% και 42% της συνολικής φόρτισης αυτών για το διαμήκη και τον εγκάρσιο σεισμό σχεδιασμού αντιστοίχως.
- 7) Το μικρό κόστος και η κατασκευαστική ευχέρεια της προτεινόμενης επεμβάσεως εν συνδυασμό με τις μικρές απαιτήσεις του εξοπλισμού είναι σημαντικά πλεονεκτήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας ενίσχυσης.
- 8) Περαιτέρω έρευνα απαιτείται προκειμένου να διερευνηθεί αφενός η συμπεριφορά του συστήματος των πλευρικών αποκρινόμενων μικροπασσάλων της διατάξεως και αφετέρου το κόστος της ενισχύσεως και η επάρκεια της μεθόδου.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- AASHTO (2001), Recommended LRFD Guidelines for the Seismic Design of Highway Bridges.
- American Petroleum Institute (API), (1993), Recommended practice for planning, designing, and constructing fixed offshore platforms Working stress design, 20th Ed., API RP2A-WSD, Washington DC.
- Anagnostopoulos S.A., (2004), Equivalent viscous damping for modeling inelastic impacts in earthquake pounding problems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol.33, 897-902.
- 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.
- CalTrans. (2004), California Department of Transportation.
- Computers and Structures Inc.SAP 2000 (2002) Nonlinear Version 8.1.1.User 's Reference Manual, Berkeley, California.
- DesRoches R., Pfeifer T., Leon R.T. and Lam T., (2003), Full-Scale Tests of Seismic Cable Restrainer Retrofits for Simply Supported Bridges *J. Bridge Engrg.*, Volume 8, Issue 4, pp. 191-198.
- DIN 1072, (Νοέμβριος 1967 με συμπληρωματικές διατάξεις Ιανουάριος 1976), Παραδοχές φορτίων γεφυρών.
- Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-5: General actions - Thermal actions, ENV 1991-2-5:1997.
- Eurocode 1: Actions on structures, Final Draft, prEN 1991-1-1.
- Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, (2003), DRAFT No 6 Version for translation (Stage 49).
- Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 2: Bridges (2003) DRAFT No 3 Final Project Team Draft (Stage 34).
- Horvath J.S., (May 2000) Integral-Abutment Bridges: Problems and Innovative Solutions Using EPS Geofoam and Other Geosynthetics, Manhattan College Research Report No. CE/GE-00-2, Civil Engineering Bronx, New York, USA.
- Jankowski R., Wilde K., Fujino Y., (1998), Pounding of superstructure segments in isolated elevated bridge during earthquakes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol.27, 487-502.
- Kappos A.J., Sextos A.G., (2001), Effect of foundation type and compliance on seismic response of rc bridges, *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 6, No. 2.
- Kawashima K., , Lecture notes for: Seismic Design, Response Modification and Retrofit of Bridges, Chapter 5, Department of Civil Engineering, Tokyo, Institute of Technology, Japan.
Department of Civil Engineering Tokyo Institute of Technology
- Laursen P. T., Seible F. and Hegemier G. A., (1995) Seismic Retrofit and Repair of Reinforced Concrete with Carbon Fibers, Department of Applied Mechanics and Engineering Sciences, Division of Structural Engineering, University of California, San Diego.
- Lock R.J., Bolton M., Low A., (2002), Integral bridge abutments, CUED/D-SOILS/TR320, M. Eng. Project Report
- Mitoulis S.A., Tegos J.A. (2005). Reduction of inertial seismic forces in bridges by using the abutment backwall as a “yielding” stopper, E.R.E.S. 2005, Skiathos.
- Pantelides C.P. Gergely J., (2002), Carbon-Fiber-Reinforced Polymer Seismic Retrofit of RC Bridge Bent: Design and In Situ Validation *J. Compos. for Constr.*, Volume 6, Issue 1, pp. 52-60.
- Saiidi M., Randall M., Maragakis E., Isakovic T., (2001), Seismic Restrainer Design Methods for Simply Supported Bridges, *J. Bridge Engrg.*, Volume 6, Issue 5, pp. 307-315.
- Sieble, F. et. al.,(1994), Seismic Retrofitting of Squat Circular Bridge Piers with Carbon Fiber Jackets, Report No. ACTT-94/04, pp. 12-20, University of California at San Diego.

Tegos I., Sextos A., Mitoulis S., 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.

Unjoh, S., Kobayashi, K. and Ogura, Y. (2004), Seismic retrofit of existing highway bridges considering displacement restraint effect of abutments, Comparative U.S.-Japan Highway Bridges Design: I. Design Methods.

Εγκύκλιος 39/99, Οδηγίες για την Αντισεισμική Μελέτη Γεφυρών.

Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, 2003, ΟΑΣΠ, ΣΠΜΕ.

Σπυράκος Κ., (2004), Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία, Κεφ. 5, Βλήτρα, αγκύρια και αναρτήσεις, ΤΕΕ.