

ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΓΕΦΥΡΩΝ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

ΖΑΧΑΡΟΠΟΥΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ
ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει στόχο την αναλυτική παρουσίαση των βλαβών και των διαδικασιών επισκευής των γεφυρών μετά από σεισμό. Η εργασία περιλαμβάνει πλήρη περιγραφή των βλαβών που εμφανίζονται ύστερα από την επίδραση σεισμικού φορτίου, της διαδικασίας κατάρτισης της παθολογικής εικόνας καθώς επίσης και όλες τις σύγχρονες μεθόδους επισκευής τους. Τέλος γίνεται μια μικρή αναφορά στην ισχύουσα φιλοσοφία αντισεισμικού σχεδιασμού και στους λόγους που τον καθιέρωσαν .

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γέφυρες ανεξάρτητα από τη σπουδαιότητά τους αποτελούν τεχνικά έργα με εξαιρετικά μεγάλη σημασία για τα συγκοινωνιακά δίκτυα, τόσο για τη μεταφορά ατόμων, όσο και για τη διακίνηση αγαθών. Μπορούμε να τις διακρίνουμε σε δυο κατηγορίες βασιζόμενοι στην ηλικία τους και τον τρόπο κατασκευής τους ως εξής:

- Γέφυρες οι οποίες κατασκευάστηκαν πριν από είκοσι ή περισσότερα χρόνια σύμφωνα με παλαιότερους κανονισμούς και με μη σύγχρονα υλικά χωρίς επαρκή συντήρηση.
- Και νέες γέφυρες οι οποίες κατασκευάστηκαν σύμφωνα με σύγχρονους κανονισμούς, υλικά, διαδικασίες και επαρκή συντήρηση.

Σε χώρες αυξημένης σεισμικής επικινδυνότητας όπως η Ελλάδα, οι γέφυρες κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμού υπόκεινται σε κίνδυνο αστοχίας που αφορά είτε σε βλάβη, ελαφρά ή σοβαρή, συγκεκριμένων δομικών στοιχείων της κατασκευής είτε ακόμη και σε κατάρρευση του συνόλου ή μέρους του φορέα. Άρα, επιτακτική ανάγκη είναι η επισκευή τους, η επιτυχία της οποίας βασίζεται στην καλή γνώση της κατασκευής ,στο χαρακτήρα της βλάβης ,στην ποιότητα και κατάσταση των υλικών κατασκευής και στην εμπειρία των σχεδιαστών πάνω στις σύγχρονες μεθόδους κατασκευής και στα σύγχρονα υλικά.[1],[2],[3]

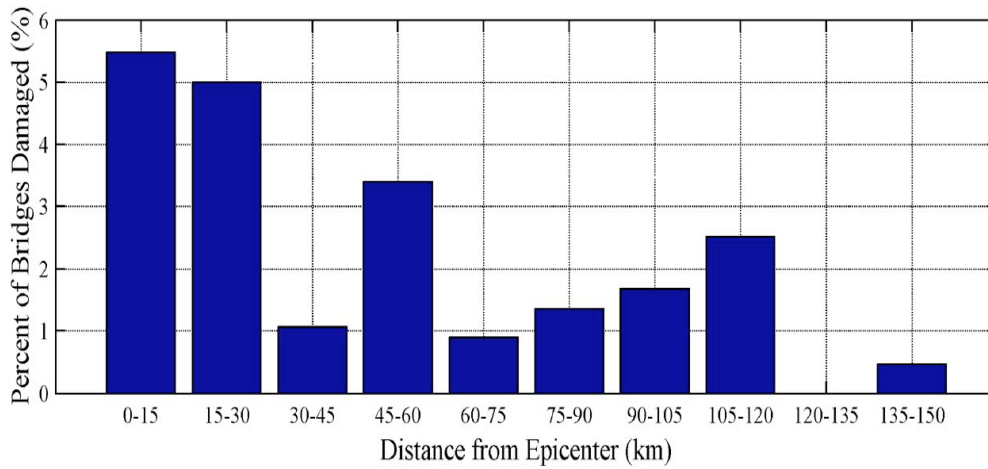
2. ΒΛΑΒΕΣ

Η σοβαρότητα της βλάβης που θα υποστεί μια γέφυρα μετά από ένα σεισμό εξαρτάται από :

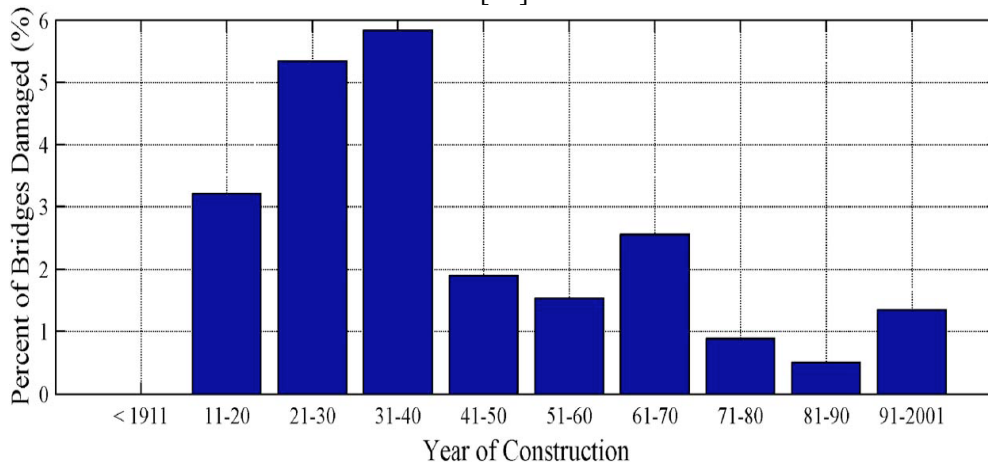
- Το έτος κατασκευής της
- Το είδος της
- Την απόστασή της από το επίκεντρο του σεισμού
- Τη μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους στην περιοχή που βρίσκεται η γέφυρα
- Τη φασματική επιτάχυνση στην τοποθεσία της γέφυρας

Σύμφωνα με αναφορά που έχει γίνει σχετικά με τις βλάβες που υπέστησαν οι γέφυρες κατά τη διάρκεια του Nisqually σεισμού το 2001 στη δυτική Ουάσιγκτον η φασματική επιτάχυνση στην περιοχή όπου βρίσκεται η γέφυρα παίζει σημαντικότερο ρόλο στο βαθμό της βλάβης που θα υποστεί απ' ό,τι η απόστασή της από το επίκεντρο του σεισμού ή από τη μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους που σημειώνεται.

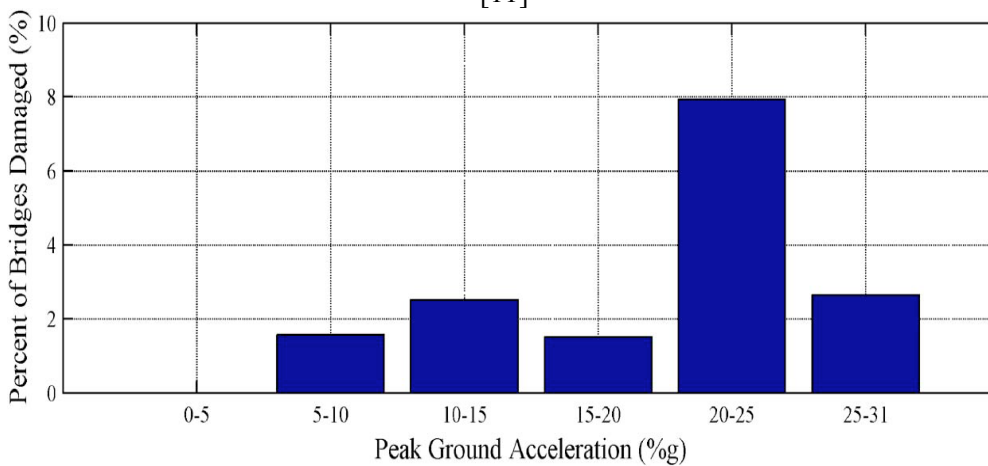
Το έτος κατασκευής της γέφυρας καθώς επίσης και το είδος της είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες, όσον αφορά στο βαθμό βλάβης τους και σύμφωνα με αυτή την αναφορά γέφυρες που κατασκευάστηκαν πριν το 1940 αλλά και κινητές γέφυρες παρουσίασαν τις σοβαρότερες βλάβες. [4]



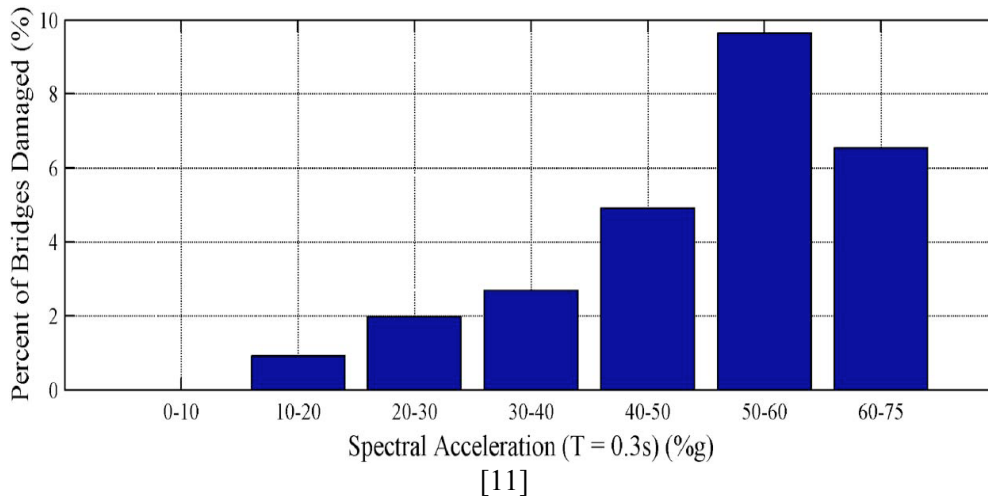
[11]



[11]



[11]



Συγκεκριμένα, τα συνηθέστερα είδη βλαβών που μπορεί να υποστεί μία γέφυρα λόγω σεισμού, συνοψίζονται στις ακόλουθες τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Απώλεια στήριξης της ανωδομής της γέφυρας στα υποκείμενα ακρόβαθρα ή μεσόβαθρα σε μη σταθερές ακραίες στηρίξεις στη διαμήκη διεύθυνση (Σχήμα 1) ή μεταξύ γειτονικών τμημάτων φορέα σε ενδιάμεσους αρμούς διαχωρισμού διατεταγμένους μέσα στο άνοιγμα λόγω ανεπαρκούς μήκους έδρασης.

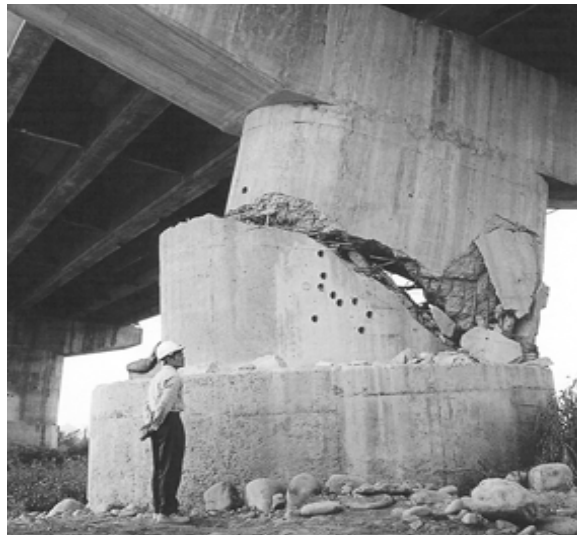


Σχήμα 1.: Αστοχία λόγω απώλειας Στήριξης [7]

2. Σημαντική απώλεια αντοχής λόγω αποσάθρωσης του σκυροδέματος και αστοχίας του οπλισμού των βάθρων. Ανάλογα με τη γεωμετρία του βάθρου, οι βλάβες μπορεί να είναι καμπτικού (Σχήμα 2) ή διατμητικού τύπου (Σχήμα 3).



Σχήμα 2.: Αστοχία καμπτικού τύπου.[7]



Σχήμα 3.: Αστοχία διατμητικού τύπου.[7]

3. Βλάβες των ακρόβαθρων ή των θεμελίων των βάθρων λόγω αστοχίας του εδάφους θεμελίωσης (Σχήμα 4), που οφείλεται σε ρευστοποίηση, εκτεταμένη καθίζηση, κτλ. Αυτού του είδους οι βλάβες, ακόμα και αν δεν επηρεάσουν τη στατική ακεραιότητα του φορέα, κατά κανόνα καθιστούν τη γέφυρα μη προσιτή.



Σχήμα 4.: Αστοχία ακρόβαθρου λόγω ρευστοποίησης εδάφους θεμελίωσης.[7]

Από τις τρεις παραπάνω κατηγορίες βλαβών, συχνότερες είναι αυτές που σχετίζονται με μείωση της καμπτικής ή διατμητικής αντοχής των βάθρων. Συνήθως δεν οδηγούν σε κατάρρευση της γέφυρας και είναι επισκευάσιμες, σε αντίθεση με τις δύο άλλες κατηγορίες βλαβών, οι συνέπειες των οποίων είναι στις περισσότερες περιπτώσεις καταστροφικές.[7]

3. ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η ασφάλεια των κτιρίων και γενικότερα των κατασκευών αποτελεί αναμφισβήτητα τον κύριο και καθοριστικό παράγοντα για την προστασία της ζωής και της περιουσίας των πολιτών σε περίπτωση σεισμού. Ο αντισεισμικός κανονισμός είναι το βασικό εργαλείο για τη μελέτη και κατασκευή τεχνικών έργων που τα καθιστά ικανά να δέχονται με ασφάλεια τις ισχυρές καταπονήσεις που προκαλεί ο σεισμός.

Ο βασικός στόχος του αντισεισμικού σχεδιασμού είναι να εξασφαλίσει ότι η αντοχή της κατασκευής είναι μεγαλύτερη από τα επιβαλλόμενα φορτία. Αυτό είναι περίπλοκο καθώς τα σεισμικά φορτία δεν μπορούν να καθοριστούν με συγκεκριμένο τρόπο όπως το ίδιο βάρος, τα φορτία των οχημάτων κ.α.[10]

3α. Η ΙΣΧΥΟΥΣΑ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΛΟΓΟΙ ΠΟΥ ΤΗΝ ΚΑΘΙΕΡΩΣΑΝ

Η ιδιαιτερότητα της σεισμικής δράσης έναντι των υπόλοιπων επιπονήσεων στις οποίες πρέπει να αντέξει μια κατασκευή συνίσταται στα εξής:
(α) Οι πολύ υψηλές σεισμικές επιταχύνσεις (δυνάμεις) που ενδέχεται να δεχθεί μια κατασκευή έχουν σχετικά μικρή πιθανότητα εκδήλωσης κατά τη συμβατική διάρκεια ζωής της κατασκευής λόγω της γενικώς μεγάλης γεωγραφικής διασποράς των υψηλών σεισμικών εντάσεων.

(β) Οι συντελεστές που καθορίζουν τη σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών είναι πολυάριθμοι και εν μέρει πιθανοτικού χαρακτήρα (άγνωστη η διεύθυνση του σεισμού, άγνωστο το ακριβές περιεχόμενο συχνοτήτων της σεισμικής διέγερσης, άγνωστη η διάρκεια της, κ.ά.).

Γενικά , επιδιώκεται ένας συγκερασμός οικονομίας και ηθικής (προστασία ανθρώπινης ζωής) και η επίτευξη ενός οικονομικά και ψυχολογικά αποδεκτού επιπέδου ασφάλειας, στα πλαίσια του οποίου εγκαταλείπεται για τις συμβατικές κατασκευές "κανονικού" κινδύνου η επιδίωξη πλήρους αντισεισμικής προστασίας και γίνεται αποδεκτή η εμφάνιση βλαβών (μερική αντισεισμική προστασία). Η διεθνώς ισχύουσα αυτή στρατηγική ή φιλοσοφία αντισεισμικού σχεδιασμού, που θεωρείται γενικώς ως κοινωνικά και ηθικά αποδεκτή και αποτελεί τη βάση των σύγχρονων Αντισεισμικών Κανονισμών, συνοψίζεται στις εξής θεμελιώδεις απαιτήσεις:

- Για μικρής έντασης σεισμούς η κατασκευή πρέπει να παραμείνει ελαστική (ανυπαρξία βλαβών).
- Για μέσης έντασης σεισμούς γίνονται αποδεκτές βλάβες, αλλά μόνο σε μη φέροντα στοιχεία.
- Για ισχυρούς σεισμούς (μέγιστος αναμενόμενος σεισμός σχεδιασμού με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη) γίνονται αποδεκτές περιορισμένες και επιδιορθώσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό, αλλά η πιθανότητα μερικής ή ολικής κατάρρευσης πρέπει να είναι επαρκώς μικρή.

Με την υπό τον σεισμό σχεδιασμού αποδοχή βλαβών, οι οποίες θεωρούνται ελέγξιμες ως προς το είδος τους (πλάστιμες, όχι ψαθυρές) και την κατανομή τους στον φέροντα σκελετό (αξιόπιστοι ελαστοπλαστικοί μηχανισμοί κατάρρευσης), πιστεύεται ότι καταναλώνεται το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης στην κατασκευή σεισμικής ενέργειας. Για τον λόγο αυτόν, επιτρέπεται από τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό για συνήθεις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα η μείωση της μέγιστης αναμενόμενης σεισμικής επιπόνησης (επιταχύνσεις σχεδιασμού, σεισμικά φορτία) κατά τρεις φορές (διαίρεση δια του συντελεστή συμπεριφοράς $q=3.5$). Αυτό σημαίνει αντίστροφα, ότι αν θέλουμε πλήρη αντισεισμική προστασία (δηλ., η κατασκευή να παραμένει ελαστική, χωρίς βλάβες), θα πρέπει να την μελετήσουμε και υπολογίσουμε για φορτία αυξημένα κατά 350% (τριακόσια πενήντα τοις εκατό) έναντι εκείνων του Κανονισμού. [1], [9], [10]

4. ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Η κατανόηση της αιτίας καθώς και η ακριβέστερη δυνατή ερμηνεία του μηχανισμού της βλάβης παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχία της επεμβάσεως που θα ακολουθήσει. Γι' αυτό , η συστηματική κατάρτιση της παθολογικής εικόνας (ποιοτικά και ποσοτικά) έχει πολύ μεγάλη σημασία. Οι φάσεις καταρτίσεως και ποσοτικοποιήσεως της παθολογικής εικόνας είναι οι εξής:

Συγκέντρωση πληροφοριών

- Αυτοψία: οπτική εξέταση, ιστορικό (προγενέστερες βλάβες κλπ), σκαριφήματα ρωγμών και βλαβών υπό κλίμακα, φωτογραφίες, κλπ

- Μετρήσεις και πειράματα: Γεωμετρικά μεγέθη βλαβών (αλφαδιές, ανοίγματα ρωγμών, παραμένουσες παραμορφώσεις, χρονική εξέλιξη παραμορφώσεων), Δοκιμαστικές φορτίσεις (δονητικά χαρακτηριστικά, στατική δοκιμαστική φόρτιση), Μετρήσεις καταστάσεως (διάταξη δομικών στοιχείων, εντοπισμός οπλισμών σε κρίσιμα σημεία, άμεσα ή με τη βοήθεια υπερηχητικών, μαγνητικών ή ραδιογραφικών μεθόδων, αντοχές υλικών επί τόπου με έμμεσες μεθόδους ή στο εργαστήριο πάνω σε αποκοπτόμενα δείγματα, έρευνα εδάφους, κλπ).

Εξέταση φακέλου μελέτης

Η εξέταση αυτή μπορεί να γίνει (για νομικούς μόνο λόγους) με βάση τις γνώσεις που ίσχυαν τον καιρό της κατασκευής της γέφυρας, ουσιαστικώς όμως πρέπει να γίνει με βάση τις σύγχρονες απόψεις.

- Εξέταση κατασκευαστικών σχεδίων και λεπτομερειών (έλεγχος ορθότητας)
- Δειγματοληπτικοί έλεγχοι υπολογισμών (παραδοχές, ανάλυση, διαστασιολόγηση).
- Αναζήτηση τυχόν σφαλμάτων στη σύλληψη του δομικού συστήματος: Μερικές φορές, ενώ δεν ακολουθήθηκαν περιορισμοί «κανονικότητας» του αντισεισμικού κανονισμού, εφαρμόστηκαν παρά ταύτα οι απλοποιημένες μέθοδοι υπολογισμού του κανονισμού αυτού.
- Συμπλήρωση τευχών αν λείπουν (κυρίως στην περίπτωση που δεν βρέθηκαν η παλιά μελέτη, είναι αναγκαίο κάποιο ελάχιστο υπολογισμών και σχεδίων για την υφιστάμενη κατάσταση)

Διαθέτοντας τα απαραίτητα στοιχεία για το δομητικό σύστημα (με όλα τα πραγματικά του χαρακτηριστικά), μπορούμε τώρα να προσπαθήσουμε υπολογιστικά να αναπαραγάγουμε την εικόνα των βλαβών που βρήκαμε στην πραγματικότητα. Αρκεί να εφαρμόσουμε στο σύστημα δοκιμαστικώς διάφορες τιμές (ίσως δε και διάφορες πιθανές κατανομές) σεισμικού φορτίου, παρακολουθώντας τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις εντάσεως : όποια εξηγεί καλύτερα τις βλάβες που παρατηρήθηκαν, κρατείται – φτάνει βέβαια το αντίστοιχο σεισμικό φορτίο να μην έρχεται σε αντίθεση με τις διαθέσιμες σεισμολογικές και εδαφοτεχνικές πληροφορίες.

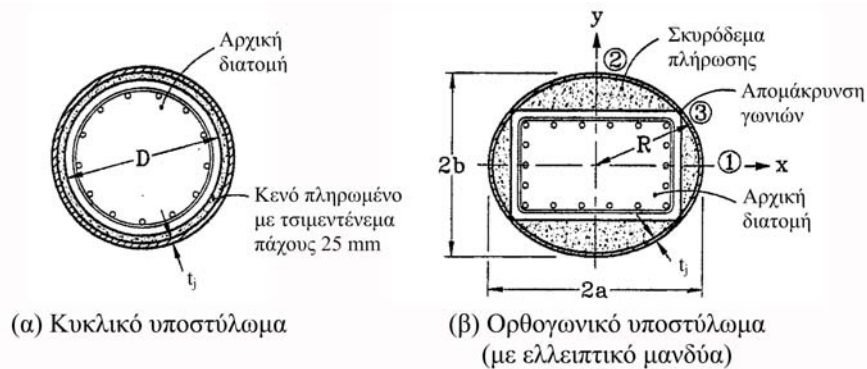
Μια σωστή κατανόηση και ερμηνεία των βλαβών δεν μπορεί να στηριχθεί σε υποθέσεις: Κάθε τι που μπορεί να ερμηνεύσει μια βλάβη, δεν σημαίνει ότι την ερμηνεύει κιόλας. Χρειάζεται να ερμηνεύει συγχρόνως κι όλες τις άλλες βλάβες ή και την απουσία βλάβης σε άλλα δομικά στοιχεία και μάλιστα στην ορθή τους έκταση . Διαφορετικά, οι «ερμηνείες» - μας παραμένουν υποθέσεις και, επομένως, δεν μπορούν να ληφθούν ως βάση της σωστής επεμβάσεως. Ύστερα, το σύνολο των πληροφοριών που συγκεντρώσαμε περιέχει συνήθως πολλές αντιφατικότητες, πολλά κενά και αβεβαιότητες. Η τεχνική της «λογιστικής αναπαραγωγής των βλαβών» έχει και το προσόν ότι οδηγεί σε κάποια διασταύρωση πληροφοριών και σε συμβιβασμό αυτών των αντιφάσεων. Η ίδια τεχνική προσφέρει και τη δυνατότητα εντοπισμού άλλων μηχανισμών βλάβης, οι οποίοι δεν είχαν αρχικώς ληφθεί υπ' όψιν (π.χ. αλληλεπίδραση δευτερεύοντος οργανισμού, εκδήλωση διαφορικής καθιζήσεως λόγω σεισμού κλπ).[1]

5. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Οι μέθοδοι ενίσχυσης των βάθρων περιλαμβάνουν προσαρμογή μεταλλικών μανδύων, ενεργή περίσφιξη με προεντεταμένο πλέγμα, χρήση μανδύων από σύνθετα υλικά (ινοπλισμένα πολυμερή σε εποξική βάση) , κατασκευή μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα και χρήση εποξειδικών ρητινών (ρητινενέσεις). Από τις παραπάνω, οι πλέον διαδεδομένες μέθοδοι ενίσχυσης που εφαρμόζονται σήμερα είναι η προσαρμογή μεταλλικών μανδύων ή μανδύων από σύνθετα υλικά καθώς και οι ρητινενέσεις, ενώ σε μικρότερο βαθμό γίνονται ενισχύσεις βάθρων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος.

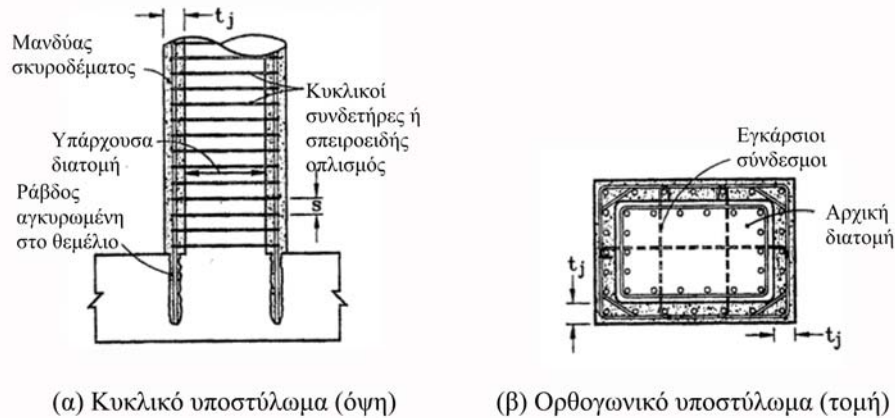
Μεταλλικοί Μανδύες. Η διαδικασία αναπτύχθηκε αρχικά για υποστυλώματα βάθρων με κυκλική διατομή. Δύο κελύφη από μεταλλικό έλασμα με ημικυλινδρική μορφή και ακτίνα από 12.5 έως 25 mm μεγαλύτερη από την ακτίνα του υποστυλώματος, τοποθετούνται πάνω από την περιοχή που πρέπει να επισκευασθεί και συγκολλούνται επιτόπου με συνεχή ραφή, έτσι ώστε να σχηματίσουν σωλήνα, μεταξύ του οποίου και του υποστυλώματος υπάρχει μικρό δακτυλιοειδές κενό. Το κενό πληρώνεται με τσιμεντένεμα, αφού ξεπλυθεί με νερό. Συνήθως, ένα διάστημα περίπου 50 mm αφήνεται μεταξύ του μανδύα και της κεφαλής του θεμελίου ή του βάρου, έτσι ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα δράσης του μανδύα ως θλιβόμενου οπλισμού που μπορεί να ασκήσει πίεση στο θεμέλιο ή στην κεφαλή για μεγάλες γωνίες στροφής. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η υπερβολική αύξηση της καμπτικής αντοχής στην περιοχή σχηματισμού πλαστικής άρθρωσης, η οποία θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα αυξήσεις στα εντατικά μεγέθη (ροπές και τέμνουσες) που μεταβιβάζονται στα θεμέλια και στις κεφαλές των βάθρων κάτω από σεισμική φόρτιση. Ο μεταλλικός μανδύας είναι αποτελεσματικός στην ανάπτυξη παθητικής περίσφιξης στο σκυρόδεμα του υποστυλώματος. Συγκεκριμένα, καθώς το σκυρόδεμα προσπαθεί να διογκωθεί πλευρικά, στη μεν θλιβόμενη ζώνη λόγω υψηλών αξονικών θλιπτικών παραμορφώσεων, στη δε εφελκόμενη ζώνη λόγω διαστολής των συνδέσεων οπλισμού με παράθεση που σηματοδοτούν την έναρξη αστοχίας των συνδέσεων, πλευρικές τάσεις περίσφιξης ασκούνται στο σκυρόδεμα από τον εύκαμπτο μανδύα. Το επίπεδο περίσφιξης εξαρτάται από την αντοχή και τη δυσκαμψία του μεταλλικού μανδύα. Με παρόμοιο τρόπο ο μανδύας δρα αποτρεπτικά στην πλευρική διόγκωση του υποστυλώματος που σχετίζεται με την ανάπτυξη διαγώνιων διατμητικών ρωγμών. Και στις δύο περιπτώσεις – περίσφιξη περιοχών σχηματισμού καμπτικών αρθρώσεων και ενδεχόμενων διατμητικών αστοχιών – ο μανδύας μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμος με επάλληλες στρώσεις κυκλικών συνδετήρων (ή σπειροειδούς οπλισμού). Στο Σχήμα 5α φαίνονται λεπτομέρειες του μανδύα. Σε υποστυλώματα ορθογωνικής διατομής, συνιστάται η χρήση ελλειπτικού μανδύα, ο οποίος παρέχει συνεχή περίσφιξη παρόμοια με αυτή του κυκλικού υποστυλώματος, με τη διαφορά ότι η τάση που αναπτύσσεται ποικίλει κατά μήκος της περιφέρειας λόγω της συνεχούς μεταβολής της καμπυλότητας του μανδύα (Σχήμα 5β). Το κενό μεταξύ του μανδύα και του υποστυλώματος πληρώνεται με έγχυτο σκυρόδεμα και όχι με τσιμεντένεμα. Ορθογώνιοι μεταλλικοί μανδύες για την ενίσχυση ορθογωνικών υποστυλωμάτων δεν συνιστώνται. Παρόλο που τέτοιου είδους μανδύες μπορεί να είναι πλήρως αποτελεσματικοί για αύξηση της διατμητικής αντοχής, ένα υποστυλώμα ενισχυμένο για διάτμηση συνήθως απαιτεί αύξηση και της καμπτικής πλαστιμότητας, η οποία δεν παρέχεται από το μεταλλικό μανδύα εκτός από τις γωνίες, καθώς θα υπάρχει πολύ λίγος περιορισμός της πλευρικής διόγκωσης του πυρήνα λόγω κάμψης του μανδύα.

Πειραματικοί έλεγχοι διαφόρων ορθογωνίων μανδυνών έχουν αποδείξει ότι αυτοί είναι σημαντικά λιγότερο αποτελεσματικοί σε σχέση με τους ελλειπτικούς μανδύες.



Σχήμα 5.: Ενίσχυση βάθρων με μεταλλικούς μανδύες [7]

Μανδύες από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Η χρήση μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα σε υποστυλώματα των βάθρων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της καμπτικής αντοχής, της πλαστιμότητας και της διατμητικής αντοχής των υποστυλωμάτων. Παρόλο που η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συχνότερα για την ενίσχυση υποστυλωμάτων κτιρίων και όχι γεφυρών, έχει εφαρμοσθεί για την ενίσχυση ορισμένων γεφυρών κυρίως στην Ιαπωνία. Αγκυρώνοντας το διαμήκη οπλισμό του μανδύα μέσα στο θεμέλιο με επαρκές μήκος αγκύρωσης για την ανάπτυξη αντοχής, η καμπτική αντοχή του υποστυλώματος μπορεί να αυξηθεί, παρόλο που η αύξηση αυτή πρέπει να συνοδεύεται από μέτρα ενίσχυσης του θεμελίου, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι η πλαστική άρθρωση θα αναπτυχθεί στο υποστύλωμα. Αυξημένη περίσφιγξη υποστυλωμάτων κυκλικής διατομής με μανδύα σκυροδέματος επιτυγχάνεται σχετικά εύκολα με χρήση πυκνών κυκλικών συνδετήρων ή σπειροειδούς οπλισμού με μικρό βήμα σπείρας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6α. Παρόλο αυτά, εκτός εάν ο μανδύας σκυροδέματος έχει ελλειπτικό ή κυκλικό σχήμα, είναι δύσκολο να επιτευχθεί επαρκής περίσφιγξη με ορθογωνικό μανδύα σκυροδέματος. Οι διαμήκεις ράβδοι στο μέσον κάθε πλευράς θα είναι ευάλωτες σε λυγισμό και μόνο το σκυρόδεμα κοντά στις γωνίες θα είναι επαρκώς περισφιγμένο. Η κατάσταση αυτή μπορεί να βελτιωθεί με αφαίρεση του σκυροδέματος των γωνιών της υπάρχουσας διατομής έως τις γωνιακές ράβδους και χρήση συνδετήρων στο μανδύα σκυροδέματος, οι οποίες έχουν καμφθεί κατά 45° στις γωνίες, εναλλάξ με ορθογωνικούς συνδετήρες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6β. Η χρήση εγκάρσιων συνδέσμων διαμέσου οπών που διαπερνούν τον πυρήνα του υπάρχοντος υποστυλώματος, που φαίνεται με διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 6β, μπορεί να αποδειχθεί ασύμφορη κοστολογικά λύση και, επιπλέον, η τοποθέτηση των συνδέσμων είναι δύσκολη λόγω της ανάγκης να καμφθούν τα άγκιστρα στα άκρα επιτόπου αφού οι σύνδεσμοι διαπεράσουν τις οπές.[6], [7]



Σχήμα 6.: Ενίσχυση βάθρων με μανδύες σκυροδέματος [7]

Μανδύες από Σύνθετα Υλικά. Η χρήση μανδύων από σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών αποτελεί την πιο πρόσφατη και προηγμένη μέθοδο ενίσχυσης βάθρων. Η αποτελεσματικότητα των σύνθετων υλικών στην αύξηση της αντοχής και της πλαστιμότητας των βάθρων έχει αποδειχθεί με σειρά πειραμάτων. Τα πειράματα αυτά έχουν δείξει ότι τα σύνθετα υλικά είναι πιο αποδοτικά όσον αφορά στην περίσφιγξη των βάθρων σε σχέση με τους μεταλλικούς μανδύες. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι ο χάλυβας παρουσιάζει μη γραμμική συμπεριφορά με αποτέλεσμα μετά τη διαρροή του, που συμβαίνει από τους πρώτους κύκλους της ανακυκλιζόμενης σεισμικής φόρτισης, να απαιτείται ολοένα μεγαλύτερη παραμόρφωση για την ανάπτυξη της απαιτούμενης τάσης περίσφιγξης. Αντίθετα τα σύνθετα υλικά συμπεριφέρονται γραμμικά μέχρι την αστοχία τους και επομένως η τάση περίσφιγξης που αναπτύσσεται στο σκυρόδεμα του βάθρου είναι σταθερή σε όλους τους κύκλους φόρτισης. Το μήκος εφαρμογής του μανδύα ινοπλισμένου πολυμερούς για αύξηση της πλαστιμότητας του βάθρου στην περιοχή σχηματισμού της πλαστικής άρθρωσης συνιστάται να είναι λίγο μεγαλύτερο από το απαιτούμενο για νέες κατασκευές. Καθώς οι απαιτήσεις σε περίσφιγξη μειώνονται όσο αυξάνεται η απόσταση από την κρίσιμη διατομή, είναι αποδεκτό να μειώνεται κατά το ήμισυ το πάχος του μανδύα στο μισό ύψος της περισφιγμένης περιοχής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σημαντική οικονομία υλικού. Αντίστοιχη οικονομία υλικού είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί στην περίπτωση μεταλλικού μανδύα λόγω κατασκευαστικών δυσχερειών. Υπάρχουν δύο τρόποι εφαρμογής των σύνθετων υλικών. Ο πρώτος αφορά διάστρωση με το χέρι μανδύα που αποτελείται από στρώσεις εμποτισμένου με εποξική ρητίνη υφάσματος ύαλωνημάτων και ο δεύτερος μηχανική περιέλιξη του υποστυλώματος με στρώσεις από ανθρακονήματα επίσης εμποτισμένα με εποξική ρητίνη. Και οι δύο μέθοδοι έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές σε εργαστηριακά πειράματα και έχουν εφαρμοστεί για τη σεισμική ενίσχυση βάθρων γεφυρών σε διάφορες χώρες του κόσμου. Η ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή είναι πιο κατάλληλη για βάθρα κυκλικής διατομής, αφού η επίτευξη πλήρους περίσφιγξης ορθογωνικών βάθρων απαιτεί την τροποποίηση του σχήματος της διατομής με ενισχύσεις από σκυρόδεμα ή με κάποιο άλλο τρόπο, έτσι ώστε ο μανδύας να τοποθετηθεί πάνω σε μία συνεχή καμπύλη επιφάνεια.

Παρόλο αυτά, η έρευνα έχει δείξει ότι σημαντική αύξηση της πλαστιμότητας έχει επιτευχθεί και με ορθογωνικούς μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή σε βάθρα ορθογωνικής διατομής.

Οι μέθοδοι ενίσχυσης με χρήση μανδύων που παρουσιάστηκαν παραπάνω μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την επισκευή υποστυλωμάτων βάρων που έχουν υποστεί βλάβες σε σεισμούς με μέτρια ένταση. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να αποφασιστεί εάν το επίπεδο των βλαβών είναι τέτοιο που να απαιτεί πλήρη αποκατάσταση της αντοχής του βλαμμένου υποστυλώματος.

Πειράματα έχουν δείξει ότι η αποφλοιώση της επικάλυψης του σκυροδέματος και η διαρροή είτε του διαμήκους είτε του εγκάρσιου οπλισμού δεν πρέπει να θεωρείται αποτρεπτική για την ενίσχυση. Παρόλο αυτά, εάν έχει συμβεί θραύση, λυγισμός ή σημαντική παραμόρφωση του οπλισμού, το υποστυλώμα πρέπει να αντικατασταθεί αντί να επισκευαστεί.

Ομοίως, όταν έχουν παρατηρηθεί εκτεταμένες ρωγμές μεγάλου εύρους και αποφλοιώση του πυρήνα του σκυροδέματος, απαιτείται αντικατάσταση του υποστυλώματος του βάρου. Βλαμμένα βάρη που έχουν επισκευαστεί με μανδύες έχουν συμπεριφερθεί ικανοποιητικά σε πλήθος πειραμάτων. [5], [7]

Μια άλλη μέθοδος επισκευής των υποστυλωμάτων είναι η χρήση εποξειδικών ρητινών (ρητινενέσεις).

Ρητινενέσεις: Αν και σχετικά νέα τεχνική η χρήση εποξειδικών ρητινών (ρητινενέσεις) προσφέρονται σήμερα σε μεγάλη ποικιλία, όσον αφορά τις χρήσεις τους και τις χαρακτηριστικές τους ιδιότητες. Κατά βάση συνίστανται από το βασικό υλικό την ρητίνη και τον σκληρυντή με τον οποίο ενώνεται χημικά με πολυμερισμό (φαινόμενο μεγαλομοριακών ενώσεων). Οι ρητινενέσεις χρησιμοποιούνται στις επισκευές κατασκευών όπου εφαρμόζονται για συγκολλήσεις ρωγμών οπλισμένου σκυροδέματος που εμφανίζονται συνήθως μετά από σεισμό με πολύ καλά αποτελέσματα χάρη στις εξαιρετικές ιδιότητες.

Οι ρητινενέσεις εφαρμόζονται ακολουθώντας την εξής διαδικασία:

Σφραγίζεται η ρωγμή με εποξειδική πάστα σε όλο το ανάπτυγμά της. (Πάστα SINTCNO P103). Σε επιλεγμένες θέσεις τοποθετούνται ακροφύσια (ανοιχτοί πόροι) μέσω των οποίων γίνεται η ρητινένωση. Με πεπιεσμένο αέρα που διοχετεύεται μέσω των ακροφυσίων γίνεται καθαρισμός της ρωγμής σε βάθος. Με ειδικό πιεστικό δοχείο εποξειδική ρητίνη ρευστής συνθέσεως η οποία είναι αναμεμιγμένη με σκληρυντή διοχετεύεται από τα κατώτερα ακροφύσια στα ανώτερα (για να μην αφήσει κενά) γεμίζοντας την ρωγμή. Μετά από ορισμένο χρόνο – από 6 έως 48 ώρες – ανάλογα την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η εποξειδική ρητίνη σκληρύνεται αποκτώντας αντοχές πολύ ψηλότερες από αυτές του σκυροδέματος ενώ συγχρόνως επανασυγκολλεί το ρηγματωμένο τμήμα. [8]

ΚΟΜΒΟΙ

Οι μανδύες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέθοδος επισκευής και των κόμβων. Συγκεκριμένα, οι μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα συνδέονται με το υπάρχον σκυρόδεμα με άγκιστρα και με εκτράχυνση της επιφάνειας του υπάρχοντος κόμβου. Συνήθως ο μανδύας προεκτείνεται πέρα από τις αρχικές διαστάσεις του κόμβου μέσα στην κεφαλή του βάρου και στο υποστύλωμα. Η χρήση μανδύα αυξάνει το πάχος του κόμβου και έτσι μειώνονται τα επίπεδα έντασής του. Η επέκταση του κόμβου στο υποστύλωμα και στην κεφαλή του βάρου αυξάνει το μήκος αγκύρωσης του οπλισμού του υποστυλώματος και δημιουργεί νέες κρίσιμες διατομές για την αντοχή σε ροπή στο άκρο του μανδύα. Οι μεταλλικοί μανδύες συγκολλούνται στην επιφάνεια του σκυροδέματος με εποξειδική κόλλα και με μπουλόνια που διαπερνούν το πάχος του κόμβου και έτσι συμβάλλουν στη μεταφορά των δυνάμεων του κόμβου από τα εξωτερικά μεταλλικά ελάσματα στη δοκό και στο υποστύλωμα. Ανάλογα αποτελέσματα αναμένονται και από την εφαρμογή σύνθετων υλικών στον κόμβο.

Σε όλες τις περιπτώσεις ο μανδύας πρέπει να περικλείει ολοκληρωτικά τον κόμβο για να εξασφαλίζει την επαρκή μεταφορά δυνάμεων. Ενώ αυτό είναι γενικά εύκολο για ανωδομές που εδράζονται σε εφέδρανα, δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε μονολιθικούς σχεδιασμούς βάρου – ανωδομής. Σε αυτή την περίπτωση στηρίζομαστε κυρίως στην προένταση της κεφαλής του βάρου για τη μεταφορά των δυνάμεων.

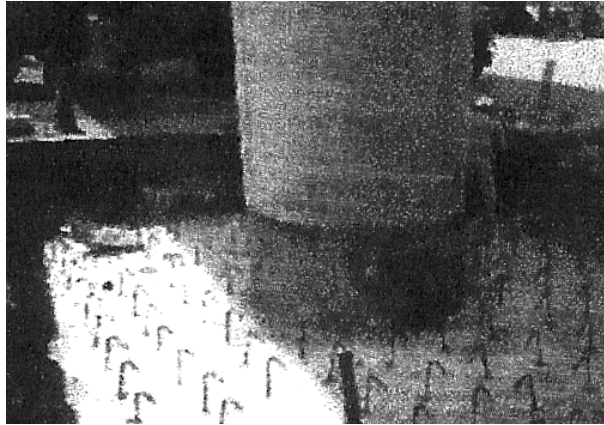
Υπάρχουν περιπτώσεις που καμία από τις παραπάνω επιλογές δεν είναι αποδεκτή και η μόνη ικανοποιητική λύση είναι η αντικατάσταση του κόμβου. Αυτό μπορεί να συμβαίνει όταν η επισκευή του κόμβου με μανδύες δεν είναι τεχνικά εφικτή και, επιπλέον, οι βλάβες κατά τη διάρκεια ενός σεισμού είναι μη αποδεκτές λόγω απώλειας της πλευρικής ευστάθειας του φορέα ή διότι η υπόψιν γέφυρα αποτελεί κομμάτι ζωτικής σημασίας των επικοινωνιακών δικτύων μετά το σεισμό. Η αντικατάσταση του κόμβου γενικά απαιτεί προσωρινή υποστήριξη της ανωδομής και, καθώς η πλευρική αντοχή του βάρου μειώνεται κατά τη διάρκεια των εργασιών αντικατάστασης, πολύ λίγοι κόμβοι μπορούν να αντικαθίστανται ταυτόχρονα.[7]

ΘΕΜΕΛΙΑ

Γενικά, έχουν σημειωθεί πολύ λίγες αναφορές αστοχίας θεμελίων γεφυρών σε σεισμούς, με την αμφιβολία εάν αυτές προκλήθηκαν από ρευστοποίηση ή ολίσθηση του εδάφους θεμελίωσης λόγω μεγάλων κλίσεων. Το υψηλό κόστος της επισκευής θεμελιώσεων και η σχετική απουσία βλαβών σε θεμέλια γεφυρών οδηγούν σε λιγότερο συντηρητικές προσεγγίσεις για την επισκευή τους σε σχέση με τα άλλα δομικά στοιχεία της γέφυρας.

Η στροφή της θεμελίωσης ενός βάρου λόγω σεισμού μπορεί να επισκευασθεί αγκύρωση του μεμονωμένου πεδίλου ή του κεφαλόδεσμου στο έδαφος με προεντεταμένα αγκύρια (φωτογραφία Σχήματος 7). Ειδικά στην περίπτωση του κεφαλόδεσμου, τα προεντεταμένα αγκύρια τοποθετούνται εντός κατακορύφων οπών που διαπερνούν τον κεφαλόδεσμο και τους πασσάλους στις θέσεις που οι οπλισμοί των πασσάλων δεν είναι αγκυρωμένοι στον κεφαλόδεσμο. Λόγω της μεταφοράς εφελκυστικών δυνάμεων διαμέσου των αγκυρίων, αναπτύσσονται ροπές που εφελκύνουν το άνω πέλμα του κεφαλόδεσμου και, επομένως, απαιτείται η προσθήκη εφελκυστικού οπλισμού. Μια άλλη μέθοδος για την αντιμετώπιση αυτής της βλάβης είναι η αύξηση των διαστάσεων του πεδίλου ή του κεφαλόδεσμου με ταυτόχρονη προσθήκη άνω οπλισμού και επιπλέον περιμετρικών πασσάλων.

Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται μόνο στην περίπτωση που η ανωδομή συνδέεται μονολιθικά με τα μεσόβαθρα και εδράζεται μέσω εφεδράνων στα ακρόβαθρα, οπότε η στροφή των θεμελίων μπορεί να περιοριστεί με τοποθέτηση αποσβεστήρων μεταξύ της ανωδομής και των ακρόβαθρων.[2], [7]



Σχήμα 7.: Ενίσχυση πεδύλου βάθρου με προσθήκη άνω οπλισμού και προεντεταμένων αγκυρίων.[7]

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι συνηθέστερες βλάβες που προκαλούνται από το σεισμό στις γέφυρες είναι αυτές που σχετίζονται με μείωση της καμπτικής ή διατμητικής αντοχής των βάθρων. Η σοβαρότητά τους εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες. Σύμφωνα με την παραπάνω σύντομη αφορά προκύπτει ότι σημαντικότερος παράγοντας είναι η φασματική επιτάχυνση που σημειώνεται στην περιοχή που βρίσκεται η γέφυρα. Οι μέθοδοι για την επισκευή των βλαβών είναι ποικίλοι. Καθοριστικό ρόλο στη κατάλληλη επιλογή μεθόδου ώστε να έχουμε επιτυχή αντιμετώπιση της βλάβης είναι η πλήρης κατανόηση της αιτίας καθώς και η ακριβέστερη δυνατή ερμηνεία του μηχανισμού της.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] **Σεισμοί και κατασκευές**, Τάσσιος Θ.Π., (Κεφ. Επισκευές μετά τον σεισμό), Ευγενίδειο Ίδρυμα, Αθήνα, 20-24/2/1984
- [2] **Σεισμική επισκευή και ενίσχυση γεφυρών**, Κεφαλογιάννης Μάριος (10ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών », Εργασία Νο 25) ,Πάτρα, Μάρτιος 2004
- [3] **Rehabilitation of Concrete Bridges**, Milenko Przulj, International Symposium, Durability and Maintenance of Concrete Structures, Croatia, 21-23/10/2004
- [4] **Damage to Bridges during the 2001 Nisqually Earthquake**, R. Tyler Ranf , Marc O. Eberhard , Michael P. Berry, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley November 2001
- [5] **Assessment and Proposed Structural Repair Strategies for Bridge Piers in Taiwan Damaged by the Ji-Ji Earthquake**, Huang, P.C, Y. Hsu, and A. Nanni, Proc., 3rd Inter. Conf. on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Ottawa, Canada, J. Humar and A.G. Razaqpur, Editors, pp. 593-600, 15-18 Aug. 2000
- [6] **Bridge Repair Manual RC 4300**, Issue A, Revision 1, Australian Rail Track Corporation LTD, March 2006
- [7] **Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία**, Κ. Σπυράκος, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα 2004
- [8] nakos.com.gr/ritieneseis.html
- [9] <http://www.tee.gr/online/epikaira/2000/2094/pg118.shtml>
- [10] <http://www.engineering.gr/design/ekos/eak/EAK2000/prologue.pdf>
- [11] http://faculty.washington.edu/eberhard/publications/Ranf_Eberhard_Malone_Spectra_2007.pdf