



ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ
ΕΝΩΣΗ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ
ΤΑΜΕΙΟ

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ

Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού



η περιφέρεια στο επίκεντρο της ανάπτυξης



Παραδοτέα 1.1 & 1.2:

- Περίληψη τυπολογιών Υποδομών Αυτ/δρόμου
- Ιστορικά Περιστατικά όπου παρατηρήθηκαν σεισμικές βλάβες σε Δίκτυα Αυτ/δρόμου

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΤΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ Α.Ε.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΣ Ο.Τ.Μ. Α.Ε.

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2015



ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ
ΕΝΩΣΗ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ
ΤΑΜΕΙΟ

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ

Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού



η περιφέρεια στο επίκεντρο της ανάπτυξης



Ε. Π. Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα (ΕΠΑΝ ΙΙ), ΠΕΠ Μακεδονίας – Θράκης, ΠΕΠ Κρήτης και Νήσων Αιγαίου, ΠΕΠ Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας – Ηπείρου, ΠΕΠ Αττικής

Παραδοτέο 1.1: - Περίληψη τυπολογιών Υποδομών Αυτ/δρόμου

Συμβολή : ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΣ Ο.Τ.Μ. Α.Ε.

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ '15

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1.1. ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΣΗΜΕΙΩΣΗ.....	2
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ I: ΚΥΡΙΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ.....	3
1. Γέφυρες.....	3
1.1. Γέφυρες Αυτοκινητοδρόμου.....	3
1.1.1. Ποταμογέφυρες.....	3
1.1.2. Κοιλαδογέφυρες (όχι αερογέφυρες).....	5
1.1.3. Χαραδρογέφυρες.....	6
1.1.4. Γέφυρες ανισόπεδων κόμβων.....	7
1.2. Γέφυρες Άνω Διαβάσεων.....	8
1.3 Γέφυρες Κάτω Διαβάσεων.....	10
2. Υπόγεια έργα.....	11
2.1 Σήραγγες.....	11
2.2 Έργα με εκσκαφή και επανεπίχωση (Cut and Cover).....	11
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ II: ΕΡΓΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΣ.....	12
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ III: ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΈΡΓΑ.....	13
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ IV: ΣΤΑΘΜΟΙ ΔΙΟΔΙΩΝ - ΓΕΦΥΡΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΠΙΝΑΚΙΔΩΝ – ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ.....	14

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1.1. ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Στα επόμενα παρουσιάζονται οι τύποι Τεχνικών Έργων Υποδομής, όπως συνήθως συναντώνται στους σύγχρονους Αυτοκινητοδρόμους.

Στην παρουσίαση αυτή, τα έργα κατατάσσονται με κριτήριο τον εξυπηρετούμενο σκοπό και υπό το πρίσμα αυτό είναι δυνατόν να γίνει η εξής κατηγοριοποίηση:

Κατηγορία I: Κύρια Τεχνικά Έργα

Κατηγορία II: Έργα Αντιστηρίξεως

Κατηγορία III: Υδραυλικά Έργα

Κατηγορία IV: Σταθμοί Διοδίων - Γέφυρες Πληροφοριακών Πινακίδων -
Ηχοπετάσματα

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Ι: ΚΥΡΙΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ

Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνονται οι γέφυρες πάσης μορφής και τα υπόγεια ή υπογειοπούμενα έργα.

1. Γέφυρες

Ανάλογα με τη θέση τους σχετικά με τον αυτοκινητόδρομο και τον εξυπηρετούμενο σκοπό κατηγοριοποιούνται ως εξής:

1.1. Γέφυρες Αυτοκινητοδρόμου

Μεταφέρουν την κίνηση του Αυτοκινητοδρόμου πάνω από ποικίλης φύσεως κωλύματα. Ανάλογα με τη φύση του γεφυρούμενου κωλύματος διακρίνονται περαιτέρω ως εξής:

1.1.1. Ποταμογέφυρες

Κίνηση αυτοκινητόδρομου πάνω από ποταμούς ή ρέματα



- **Δομητικό σύστημα**

Το συνηθέστερο σύστημα περιλαμβάνει φορέα καταστρώματος από προεντεταμένες διαμήκεις δοκούς σε συνδυασμό με έγχυτη πλάκα καταστρώματος και εγκάρσιες διαδοκίδες.

Τα εν χρήσει μήκη ανοιγμάτων κυμαίνονται κυρίως από 25,0 έως 35,0m.

Η έδραση στα βάθρα γίνεται μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων.

- Μέθοδος κατασκευής

Η τοποθέτηση των δοκών γίνεται με χρήση ειδικών μεταλλικών φορέων (launching gantries) ή σε απλούστερες περιπτώσεις με χρήση συνήθων γερανών.

1.1.2. Κοιλαδογέφυρες (όχι αερογέφυρες)

Είναι γέφυρες συνήθως μεγάλου συνολικού μήκους που μεταφέρουν την κίνηση πάνω από ένα γενικώς ομαλό φυσικό υπόβαθρο.



- Δομητικό σύστημα

Εκτός από το σύστημα των προεντεταμένων δοκών που περιγράφηκαν προηγουμένως εφαρμόζονται συχνά και συνεχείς φορείς καταστρώματος κιβωτιοειδούς διατομής.

Το μήκος των ανοιγμάτων κυμαίνεται μεταξύ 35,0 και 60,0m.

Η σύνδεση του καταστρώματος γίνεται είτε μέσω εφεδράνων, είτε μονολιθική, ενώ συχνά εφαρμόζεται και συνδυασμός αυτών.

- Μέθοδος κατασκευής

Στις περιπτώσεις μεγάλου συνολικού μήκους (>300m) χρησιμοποιούνται μηχανοποιημένες μέθοδοι με χρήση ειδικού, κατά περίπτωση, εξοπλισμού (π.χ. σταδιακή προώθηση, μέθοδος προωθούμενων φορείων).

1.1.3. Χαραδρογέφυρες

Γεφύρωση πάνω από «βαθείες γραμμές» με απότομα φυσικά πρανή.



- Δομητικό σύστημα

Σε όσες περιπτώσεις δεν είναι δυνατή ή επιθυμητή η διάταξη βάρων σε μικρές σχετικώς αποστάσεις ώστε να είναι δυνατή μία από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν προηγουμένως, το φέρον σύστημα γεφυρώσεως είναι συνεχές πλαίσιο όπως τελικώς προκύπτει από μια σειρά αρχικώς ανεξάρτητων αμφίπλευρων προβόλων και ακολούθως σε συνδυασμό με μέλη αποκατάστασης συνεχείας.

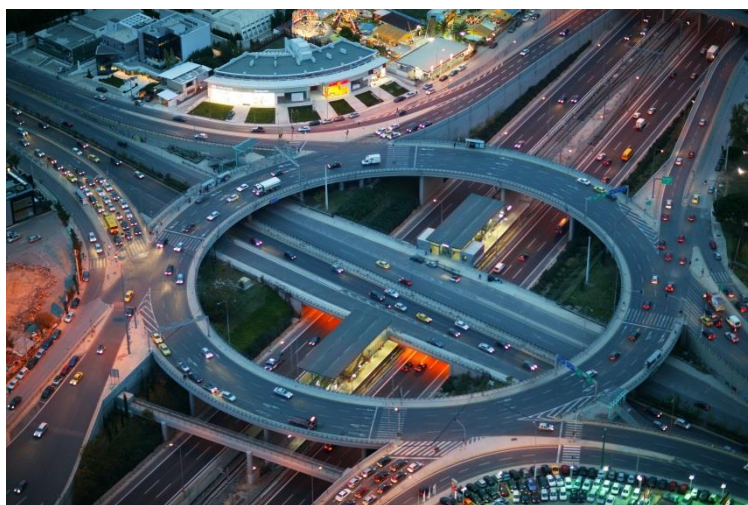
Τα εν χρήσει μήκη κυρίως ανοιγμάτων κυμαίνονται από 80 έως 300m.

Το κατάστρωμα συνδέεται μονολιθικώς προς τα μεσόβαθρα και εδράζεται επί εφεδράνων στα ακρόβαθρα.

- Μέθοδος κατασκευής

Υπό τις ανωτέρω προϋποθέσεις, οι γέφυρες της κατηγορίας αυτής κατασκευάζονται με τη μέθοδο της προβολοδομήσεως.

1.1.4. Γέφυρες ανισόπεδων κόμβων



- Δομητικό σύστημα

Λόγω της γεωμετρικής συνθετότητας της χαράξεως των αξόνων, χρησιμοποιούνται συνεχείς γενικώς φορείς με ποικιλία διαρθρώσεως συστήματος.

- Μέθοδος κατασκευής

Η επιλογή της μεθόδου γίνεται με γνώμονα τις δεσμεύσεις (κυκλοφοριακές ή άλλες) που υφίστανται κατά την κατασκευή.

Σε περιπτώσεις μικρών υψομετρικών διαφορών, είναι δυνατή η εφαρμογή συμβατικών μεθόδων.

1.2. Γέφυρες Άνω Διαβάσεων

Μεταφέρουν πάνω από τον Αυτοκινητόδρομο την τοπική κυκλοφορία μεταξύ δύο σημείων εκατέρωθεν του Αυτοκινητοδρόμου.



- Δομητικό σύστημα

Λόγω της συνήθους επιδιώξεως του πάχους του φορέα του καταστρώματος, συνήθως επιλέγονται συνεχείς φορείς καταστρώματος κιβωτιοειδούς διατομής ή μορφής πλάκας ολόσωμης με κενά.

Το πλήθος των ανοιγμάτων και το μέγεθος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του γεφυρούμενου Αυτοκινητοδρόμου.

Οι συνδέσεις είναι δυνατό να είναι μέσω εφεδράνων ή μονολιθικές αποκλειστικώς ή σε συνδυασμό.

- Μέθοδος κατασκευής

Λόγω μικρού συνολικού μήκους και μικρού ύψους βάθρων, χρησιμοποιούνται συμβατικές μέθοδοι (δηλαδή με χρήση κριωμάτων και επιτόπου σκυροδετήσεις).

Σε περιπτώσεις που επιδιώκεται να δοθεί έμφαση στην εικόνα της γέφυρας εφαρμόζονται ειδικές λύσεις γεφυρώσεως, όπως για παράδειγμα η μονόπλευρη καλωδιωτή γέφυρα της φωτογραφίας.



1.3 Γέφυρες Κάτω Διαβάσεων

Μεταφέρουν κάτω από τον Αυτοκινητόδρομο την τοπική κυκλοφορία μεταξύ δύο σημείων εκατέρωθεν του Αυτοκινητοδρόμου.



Πρόκειται για πλαισιωτές γέφυρες, μικρού συνολικού μήκους, συνήθως ενός ανοίγματος, που κατασκευάζονται με χρήση συμβατικών μεθόδων.

2. Υπόγεια έργα

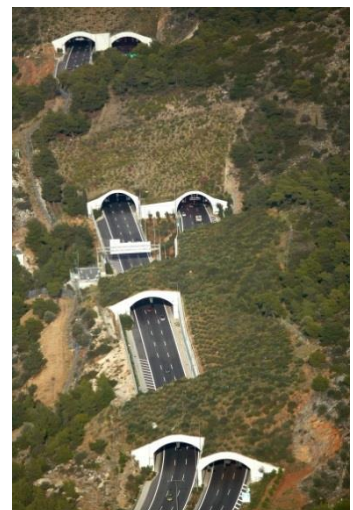
Θα ήταν δυνατόν να ορισθούν σαν τα έργα χάρις στα οποία μεταφέρεται η κίνηση του Αυτοκινητοδρόμου διά μέσου του κωλύματος.

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα εξής:

2.1 Σήραγγες



2.2 Έργα με εκσκαφή και επανεπίχωση (Cut and Cover)



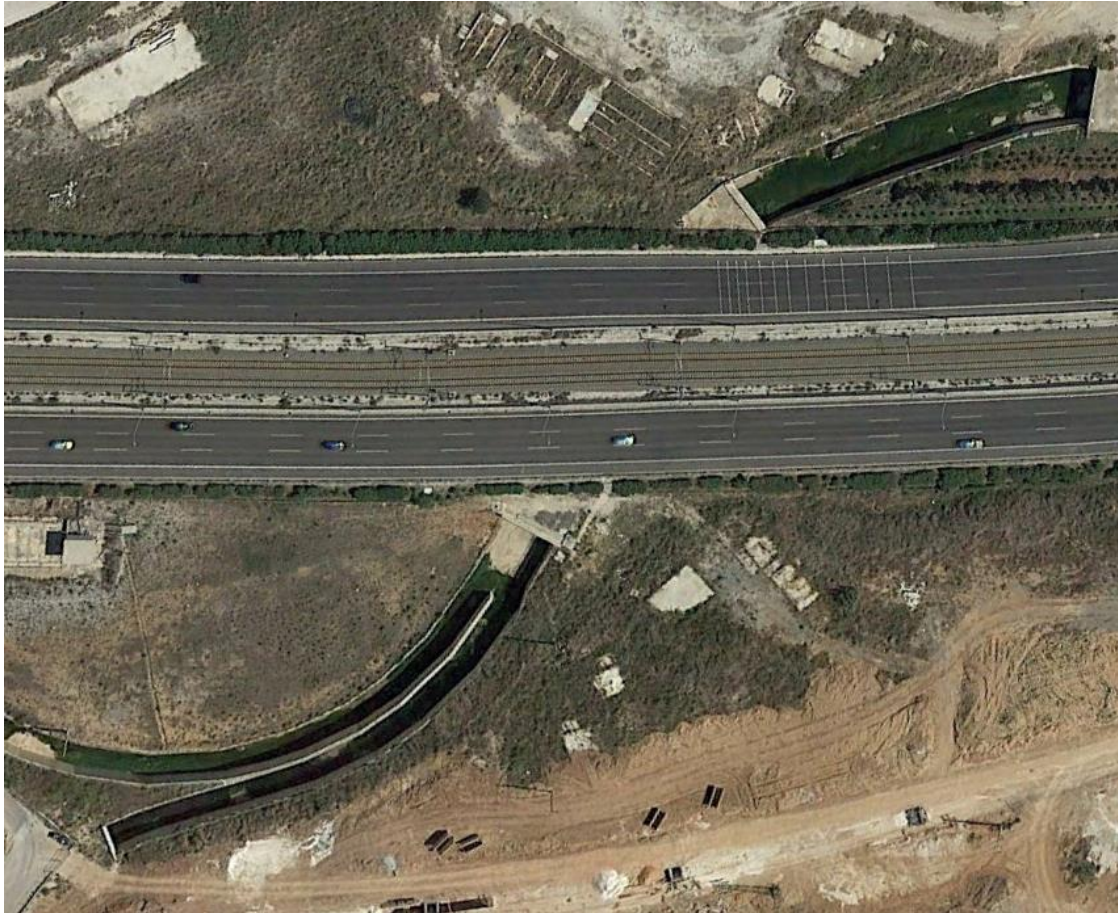
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ II: ΕΡΓΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΣ

Περιλαμβάνει τα πάσης φύσεως έργα αντιστηρίξεως ή και υποστηρίξεως.

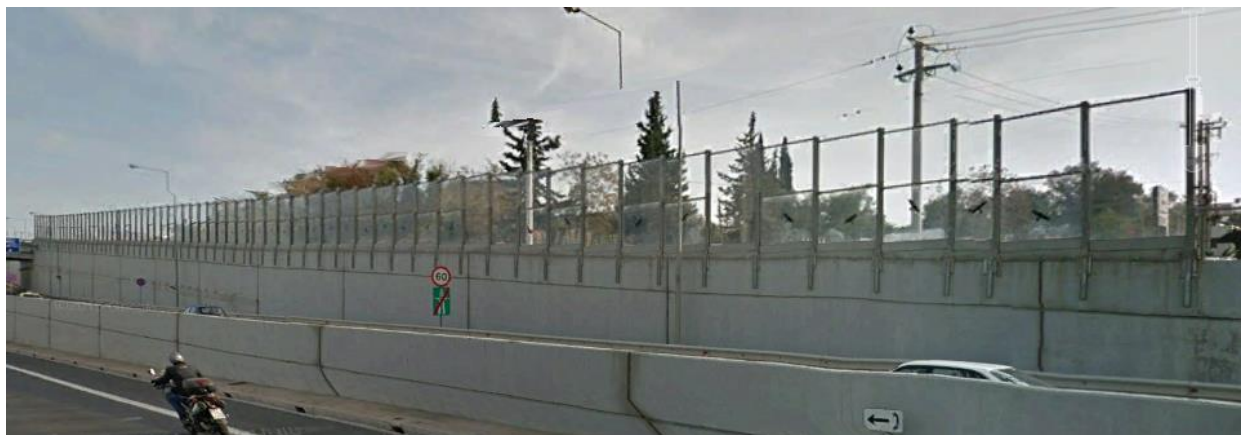


ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ III: ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΈΡΓΑ

Περιλαμβάνει κυρίως έργα με τα οποία εξασφαλίζεται η αποστράγγιση και η αποχέτευση ομβρίων του Αυτοκινητοδρόμου και των γειτονικών περιοχών.



ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ IV: ΣΤΑΘΜΟΙ ΔΙΟΔΙΩΝ - ΓΕΦΥΡΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΠΙΝΑΚΙΔΩΝ – ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ





ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ
ΕΝΩΣΗ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ
ΤΑΜΕΙΟ

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ

Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού



η περιφέρεια στο επίκεντρο της ανάπτυξης



Ε. Π. Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα (ΕΠΑΝ ΙΙ), ΠΕΠ Μακεδονίας – Θράκης, ΠΕΠ Κρήτης και Νήσων Αιγαίου, ΠΕΠ Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας – Ηπείρου, ΠΕΠ Αττικής

Παραδοτέο 1.1: - Περίληψη τυπολογιών Υποδομών Αυτ/δρόμου

Συμβολή : ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
Εργαστήριο Εδαφομηχανικής, Θεμελιώσεων και Γεωτεχνικής
Σεισμικής Μηχανικής

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ '15

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή	2
2 Ταξινόμηση γεφυρών Α.Ο.....	3
3 Καμπύλες τρωτότητας	6
4 Σεισμικά σενάρια.....	8
5 Εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης	9
Βιβλιογραφία.....	16

1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης, δηλαδή των αναμενόμενων βλαβών, των γεφυρών της Α.Ο. για επιλεγμένα σεισμικά σενάρια με χρήση καμπυλών τρωτότητας της βιβλιογραφίας. Για το σκοπό αυτό γίνεται καταρχήν κατάταξη των οδικών γεφυρών με περισσότερα του ενός ανοίγματα, σε επιμέρους κατηγορίες για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμες καμπύλες τρωτότητας. Ο σκοπός είναι να παρουσιασθούν μέσω της συγκεκριμένης εφαρμογής τα επιμέρους στοιχεία για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης των υποδομών ενός δικτύου, δηλαδή η τυπολογία και ταξινόμηση των τεχνικών έργων, η επιλογή κατάλληλων καμπυλών τρωτότητας, τα σεισμικά σενάρια, και η εκτίμηση της κατανομής των βλαβών μέσω των καμπυλών τρωτότητας για δεδομένη σεισμική ένταση.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εδαφοδυναμικής και Γεωτεχνικής Σεισμικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΑΠΘ με κύριο ερευνητή τον Δρ. Σωτήριο Αργυρούδη και επιβλέποντα τον Καθηγητή Κυριαζή Πιτιλάκη. Συμμετείχε επίσης ο Δρ. Γρηγόρης Τσινίδης.

2 Ταξινόμηση γεφυρών Α.Ο

Χρησιμοποιείται το σύστημα ταξινόμησης σύγχρονων ελληνικών γεφυρών που προτάθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος ΑΣΠροΓε (Κάππος και Μοσχονάς 2006), όπου καθορίστηκαν τέσσερις κατηγορίες γεφυρών ανάλογα με τον τύπο των βάθρων (Πίνακας 1), τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του φορέα ανωδομής (Πίνακας 2) και τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη σύνδεση βάθρων-φορέα ανωδομής (Πίνακας 3). Από τον συνδυασμό αυτών προκύπτουν συνολικά 36 κατηγορίες στατικών συστημάτων γεφυρών που ανταποκρίνονται στις σύγχρονες ελληνικές οδογέφυρες. Στο πλαίσιο του ΑΣΠροΓε επιλέχθηκαν οι 11 κατηγορίες ως πιο αντιπροσωπευτικές κατά μήκος του άξονα της Εγνατίας (Πίνακας 4). Για τις κατηγορίες αυτές αναπτύχθηκαν αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας μέσω ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων (Moschonas et al. 2009).

Πίνακας 1: Ταξινόμηση ανάλογα με τον τύπο των βάθρων

Κωδικός	Περιγραφή
1	Μονόστυλα κυλινδρικά
2	Μονόστυλα κοίλα ορθογωνικά
3	Πολύστυλα
4	Τοιχωματικά

Πίνακας 2: Ταξινόμηση ανάλογα με τον τύπο του φορέα ανωδομής

Κωδικός	Περιγραφή
1	Πλάκα με ή χωρίς διάκενα
2	Μονοκυψελική κιβωτιοειδής διατομή (box girder)
3	Σύστημα προκατασκευασμένων δοκών με πλάκα σκυροδετούμενη επί τόπου (συνεχή πάνω από τα μεσόβαθρα)

Πίνακας 3: Ταξινόμηση ανάλογα με τον τύπο σύνδεσης βάθρων – φορέα ανωδομής

Κωδικός	Περιγραφή
1	Μονολιθική
2	Μέσω εφεδράνων (με ή χωρίς σεισμική μόνωση)
3	Συνδυασμός μονολιθικών συνδέσεων και συνδέσεων με εφέδρανα

Πίνακας 4: Αντιπροσωπευτικές κατηγορίες γεφυρών Εγνατίας Οδού

Κωδικός	Περιγραφή
111	Γέφυρα με κατάστρωμα με διατομή πλάκας με ή χωρίς διάκενα εδραζόμενο μονολιθικά επί κυκλικών μονόστυλων βάθρων
311	Γέφυρα με φορέα ανωδομής διατομής πλάκας με ή χωρίς διάκενα εδραζόμενο μονολιθικά επί πολύστυλων βάθρων
121	Γέφυρα με φορέα ανωδομής μονοκυψελικής κιβωτιοειδούς διατομής εδραζόμενο μονολιθικά επί κυκλικών μονόστυλων βάθρων
221	Γέφυρα με φορέα ανωδομής μονοκυψελικής κιβωτιοειδούς διατομής εδραζόμενο μονολιθικά επί κοίλων ορθογωνικών μονόστυλων βάθρων
421	Γέφυρα με φορέα ανωδομής μονοκυψελικής κιβωτιοειδούς διατομής εδραζόμενο μονολιθικά επί τοιχωματικών βάθρων
122	Γέφυρα με φορέα ανωδομής μονοκυψελικής κιβωτιοειδούς διατομής εδραζόμενο μέσω εφεδράνων (με ή χωρίς σεισμική μόνωση) επί κυκλικών μονόστυλων βάθρων
422	Γέφυρα με φορέα ανωδομής μονοκυψελικής κιβωτιοειδούς διατομής εδραζόμενο μέσω εφεδράνων (με ή χωρίς σεισμική μόνωση) επί τοιχωματικών βάθρων
232	Γέφυρα με σύστημα προκατασκευασμένων δοκών με πλάκα σκυροδετούμενη επί τόπου

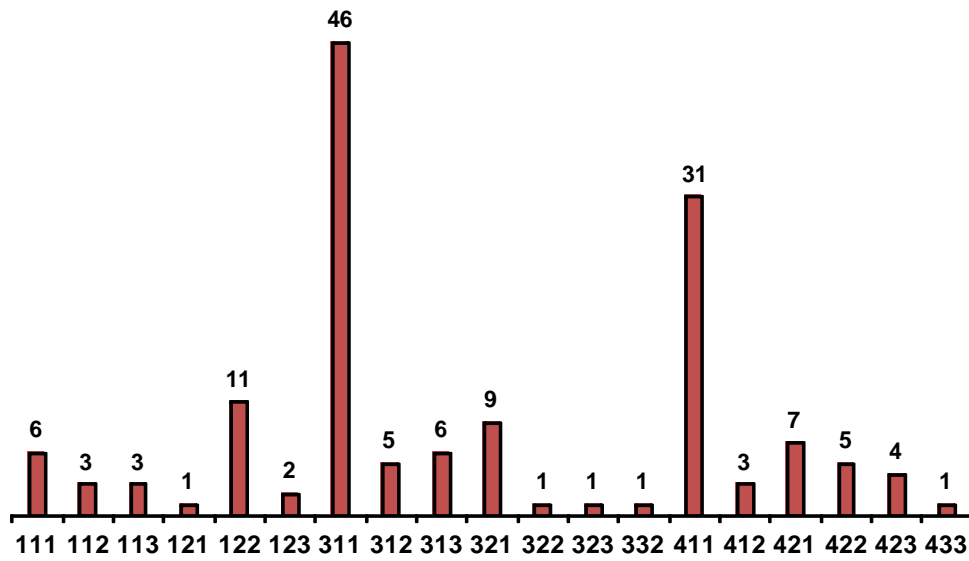
	(συνεχή πάνω από τα μεσόβαθρα) εδραζόμενο μέσω εφεδράνων (με ή χωρίς σεισμική μόνωση) επί κοίλων ορθογωνικών μονόστυλων βάθρων
332	Γέφυρα με σύστημα προκατασκευασμένων δοκών με πλάκα σκυροδετούμενη επί τόπου (συνεχή πάνω από τα μεσόβαθρα) εδραζόμενο μέσω εφεδράνων (με ή χωρίς σεισμική μόνωση) επί πολύστυλων βάθρων
432	Γέφυρα με σύστημα προκατασκευασμένων δοκών με πλάκα σκυροδετούμενη επί τόπου (συνεχή πάνω από τα μεσόβαθρα) εδραζόμενο μέσω εφεδράνων (με ή χωρίς σεισμική μόνωση) επί τοιχωματικών βάθρων
223	Γέφυρα με φορέα ανωδομής μονοκυψελικής κιβωτιοειδούς διατομής εδραζόμενο με συνδυασμό εφεδράνων και μονολιθικών συνδέσεων επί κοίλων ορθογωνικών μονόστυλων βάθρων

Από τα τεχνικά της βάσης δεδομένων της Αττικής Οδού ταξινομούνται σύμφωνα με το παραπάνω σύστημα ταξινόμησης οι οδικές γέφυρες με πάνω από ένα άνοιγμα. Δεν συμπεριλαμβάνονται οι γέφυρες ενός ανοίγματος, οι πεζογέφυρες, οι σιδηροδρομικές γέφυρες, καθώς και οι υδατογέφυρες διάβασης αγωγών. Για την κατάταξη έγιναν κατάλληλες παραδοχές σε ορισμένες περιπτώσεις ελλιπών δεδομένων, ή ειδικών περιπτώσεων που δεν καλύπτονται από το συγκεκριμένο σύστημα ταξινόμησης (για παράδειγμα τα τετραγωνικά βάθρα ταξινομήθηκαν ως κυκλικά).

Συνολικά προκύπτουν 146 τεχνικά, τα οποία κατατάσσονται καταρχήν σε 19 κατηγορίες σύμφωνα με το συνδυασμό των τριών κριτηρίων που περιγράφονται στους Πίνακες 1 έως 3. Στη συνέχεια, γίνεται κατάταξη στις 11 κατηγορίες του Πίνακα 4 για τις οποίες και υπάρχουν καμπύλες τρωτότητας, επιλέγοντας την πλησιέστερη κατηγορία με βάση τον τύπο σύνδεσης βάθρων-ανωδομής, τον τύπο βάθρων (ανελαστική ή ελαστική συμπεριφορά) και τέλος με τον τύπο του φορέα ανωδομής. Η κατάταξη στην πλησιέστερη κατηγορία δίνεται στο Πίνακα 5. Η κατανομή των γεφυρών στις επιμέρους κατηγορίες δίνεται στο Σχήμα 1. Παρατηρείται ότι οι τρεις πιο συχνά εμφανιζόμενες κατηγορίες είναι οι 311, 411 και 122.

Πίνακας 5: Ταξινόμηση γεφυρών Αττικής Οδού στην πλησιέστερη κατηγορία κατά ΑΣΠροΓε.

Κατηγορία	Πλησιέστερη κατηγορία Πίνακα 4
111	111
112	122
121	121
122	122
123, 113	223
311	311
312	332
321, 313, 323	311
322	232
332	332
411	421
412, 423	422
421	421
422	422
433	432



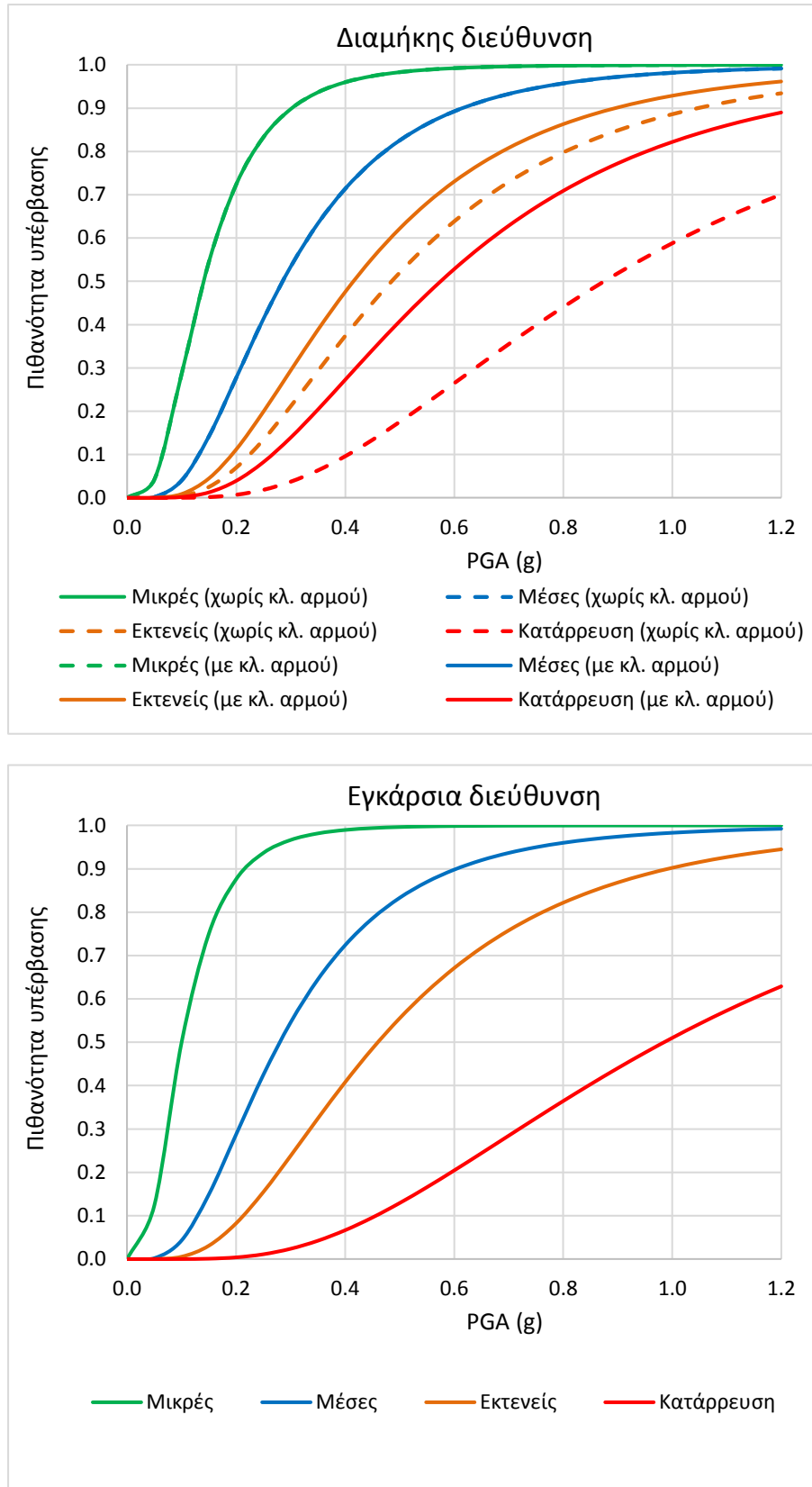
Σχήμα 1: Κατανομή των 146 γεφυρών της Αττικής Οδού σε 19 επιμέρους κατηγορίες.

3 Καμπύλες τρωτότητας

Χρησιμοποιούνται οι καμπύλες τρωτότητας που προτείνονται από τους Moschonas et al. 2009. Οι καμπύλες τρωτότητας βασίζονται αφενός στην ανελαστική στατική ανάλυση της γέφυρας σε συνδυασμό με την μέθοδο του φάσματος απαίτησης και της καμπύλης αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος και αφετέρου σε έναν τρόπο καθορισμού των σταθμών βλάβης συμβατό με την λογική των καμπυλών αντίστασης των γεφυρών. Γίνεται διάκριση μεταξύ γεφυρών με ανελαστικά βάρη και γεφυρών με εφέδρανα και ελαστικά βάρη. Διακρίνονται πέντε στάθμες βλάβης: μηδενικές βλάβες (ΣΒ0), μικρές βλάβες (ΣΒ1), μέσες βλάβες (ΣΒ2), εκτενείς βλάβες (ΣΒ3) και κατάρρευση (ΣΒ4). Οι καμπύλες δίνονται ως συνάρτηση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA). Ως φάσμα απαίτησης χρησιμοποιήθηκε το ελαστικό φάσμα του ΕΑΚ2003 για έδαφος κατηγορίας Β. Η λογαριθμοκανονική τυπική απόκλιση θεωρείται ίση με 0.6 για όλες τις περιπτώσεις. Οι καμπύλες αντίστασης υπολογίζονται ξεχωριστά κατά τις δύο διευθύνσεις (εγκάρσια και διαμήκη), ενώ προκύπτουν οι αντίστοιχες καμπύλες τρωτότητας. Ειδικά για την διαμήκη διεύθυνση λαμβάνεται υπόψη και η περίπτωση ύπαρξης σεισμικού αρμού, όπου μετά το κλείσιμό του ενεργοποιείται ένας διαφορετικός μηχανισμός απορρόφησης σεισμικής ενέργειας. Στον Πίνακα 7 δίνονται οι παράμετροι των καμπυλών τρωτότητας, ενώ στο Σχήμα 2 απεικονίζονται οι καμπύλες τρωτότητας για την κατηγορία 311.

Πίνακας 6: Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας (από Moschonas et al. 2009)

Κατηγορία γέφυρας	Διαμήκης διεύθυνση (χωρίς κλείσιμο αρμού)				Διαμήκης διεύθυνση (με κλείσιμο αρμού)			
	Μικρές	Μέσες	Εκτενείς	Κατάρρευση	Μικρές	Μέσες	Εκτενείς	Κατάρρευση
	διάμεσος τιμή PGA (g)							
111	0.130	0.285	0.485	0.630	0.130	0.250	0.330	0.400
311	0.140	0.285	0.485	0.875	0.140	0.285	0.415	0.575
121	0.090	0.200	0.400	0.850	0.090	0.200	0.400	0.510
421	0.210	0.440	0.800	1.050	0.210	0.440	0.800	0.880
122	0.160	0.270	0.305	0.345	0.155	0.170	0.185	0.210
422	0.035	0.240	0.320	0.800	0.035	0.240	0.320	0.475
232	0.220	0.470	0.800	1.050	0.095	0.105	0.115	0.635
332	0.620	0.960	1.040	1.100	0.500	0.550	0.600	0.664
432	0.035	0.260	0.350	0.875	0.035	0.225	0.245	0.525
223	0.090	0.200	0.400	1.741	0.090	0.200	0.400	0.625
	Εγκάρσια διεύθυνση							
Κατηγορία γέφυρας	Μικρές	Μέσες	Εκτενείς	Κατάρρευση				
	διάμεσος τιμή PGA (g)							
111	0.210	0.400	0.500	0.600				
311	0.100	0.280	0.460	0.985				
121	0.055	0.120	0.240	1.000				
421	0.205	0.430	0.875	1.704				
122	0.160	0.250	0.280	0.305				
422	0.050	0.360	0.480	1.170				
232	0.220	0.460	0.680	0.870				
332	0.520	0.850	0.970	1.100				
432	0.040	0.280	0.380	0.945				
223	0.180	0.380	0.760	1.400				



Σχήμα 2: Καμπύλες τρωτότητας για την κατηγορία 311 (Γέφυρα με φορέα ανωδομής διατομής πλάκας με ή χωρίς διάκενα εδραζόμενο μονολιθικά επί πολύστιλων βάθρων).

4 Σεισμικά σενάρια

Για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης των τεχνικών έργων της Α.Ο θεωρούνται τα σεισμικά σενάρια που περιγράφονται στα παραδοτέα 2.1 και 2.3. Συγκεκριμένα, λαμβάνεται η κατανομή των τιμών της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης σε συνθήκες βράχου κατά μήκος της Α.Ο. όπως υπολογίστηκε:

- στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος SHARE (<http://www.share-eu.org/>) για 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια, δηλαδή για σεισμό με μέση περίοδο επανάληψης τα $T=475$ χρόνια, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις σεισμικές πηγές της περιοχής μέσω πιθανοτικής προσέγγισης (βλ. Παραδοτέο 2.1).

- για αιτιοκρατικά σενάρια που λαμβάνουν υπόψη τη διάρρηξη συγκεκριμένων σεισμικών πηγών: M5.9 στο ρήγμα της Φυλής, M6.5 στο ρήγμα της Κινέτας, M6.7 στο ρήγμα του Ωρωπού και M6.7 στο νότιο ρήγμα των Αλκυονίδων (βλ. Παραδοτέο 2.3).

Για λόγους απλότητας και με βάση την μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας, θεωρήθηκαν τρία τμήματα ίσης σεισμικής έντασης κατά μήκος της Α.Ο. όπως φαίνεται στο Σχήμα 7. Στον Πίνακα 8 δίνονται οι τιμές της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης σε συνθήκες βράχου στο κάθε τμήμα και για κάθε σεισμικό σενάριο. Προκειμένου να συνυπολογιστεί η επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην σεισμική κίνηση, γίνεται χρήση των συντελεστών φασματικής ενίσχυσης του Πίνακα 9 ανάλογα με την κατηγορία εδάφους. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιούνται οι συντελεστές που προτείνονται στον EC8 για $M_s > 5.5$. Σημειώνεται ότι σύμφωνα με την βάση δεδομένων της Α.Ο οι υπό μελέτη γέφυρες βρίσκονται σε εδαφικές συνθήκες κατηγορίας Α ή Β.



Σχήμα 7: Διαχωρισμός σε τμήματα ίσης σεισμικής έντασης κατά μήκος της Α.Ο.

Πίνακας 8: Αναμενόμενη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σε συνθήκες βράχου κατά μήκος της Α.Ο.

Σεισμικά σενάρια	PGA (g) σε συνθήκες βράχου		
	Δυτικό	Κεντρικό	Ανατολικό
SHARE (T= 475 χρόνια)	0.35	0.30	0.25
M5.9 / ρήγμα της Φυλής	0.54	0.21	0.095
M6.5 / ρήγμα της Κινέτας	0.25	0.14	0.073
M6.7 / ρήγμα του Ωρωπού	0.20	0.19	0.097
M6.7 / νότιο ρήγμα των Αλκυονίδων	0.18	0.072	0.061

Πίνακας 9: Συντελεστές φασματικής ενίσχυσης για τις τέσσερις κατηγορίες εδάφους του EC8, όπως περιλαμβάνονται στην τρέχουσα έκδοση του Ευρωκώδικα και όπως τροποποιήθηκαν στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος SHARE (Pitilakis et al., 2012).

EC8 Κατηγορία Εδάφους	Τύπος 2 (Ms≤5.5)		Τύπος 1 (Ms>5.5)	
	SHARE	EC8	SHARE	EC8
B	1.40	1.35	1.30	1.20
C	2.10	1.50	1.70	1.15
D	2.20*	1.80	1.60*	1.35
E	1.60	1.60	1.40**	1.40

* περιορισμένα δεδομένα

** υπολογισμένοι με βάση καταγραφές της ισχυρής εδαφικής κίνησης του Kik-Net στην επιφάνεια και τον βράχο

5 Εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης

Για την εκτίμηση των αναμενόμενων βλαβών σε κάθε σεισμικό σενάριο είναι απαραίτητη η εκτίμηση του βαθμού βλάβης μέσω των υπολογιζόμενων πιθανοτήτων εμφάνισης της κάθε στάθμης βλάβης για την δεδομένη τιμή της σεισμικής έντασης. Οι πιθανότητες εμφάνισης $P_{f,i}$ της κάθε στάθμης βλάβης ΣB_i , υπολογίζονται από τις πιθανότητες υπέρβασης $P(DP > DP_{\Sigma B_i})$, της κάθε στάθμης βλάβης ΣB_i , ως εξής:

$$P_{f,0} = 1 - P(DP > DP_{\Sigma B1})$$

$$P_{f,1} = P(DP > DP_{\Sigma B1}) - P(DP > DP_{\Sigma B2})$$

$$P_{f,2} = P(DP > DP_{\Sigma B2}) - P(DP > DP_{\Sigma B3})$$

$$P_{f,3} = P(DP > DP_{\Sigma B3}) - P(DP > DP_{\Sigma B4})$$

$$P_{f,4} = P(DP > DP_{\Sigma B4})$$

Θεωρείται ότι ο βαθμός βλάβης που αντιστοιχεί σε κάθε στάθμη βλάβης ορίζεται σύμφωνα με τον Πίνακα 9 (Κάππος και Μοσχονάς 2006). Ο μέσος βαθμός βλάβης D_m που αντιστοιχεί σε μία δεδομένη τιμή της σεισμικής έντασης υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση,

όπου οι τιμές $P_{f,i}$ υπολογίζονται από τις προηγούμενες σχέσεις, ενώ η μέση τιμή του βαθμού βλάβης D από τον Πίνακα 9.

$$D_m = P_{f,1} \cdot D_1 + P_{f,2} \cdot D_2 + P_{f,3} \cdot D_3 + P_{f,4} \cdot D_4$$

Πίνακας 10: Ορισμός βαθμού βλάβης

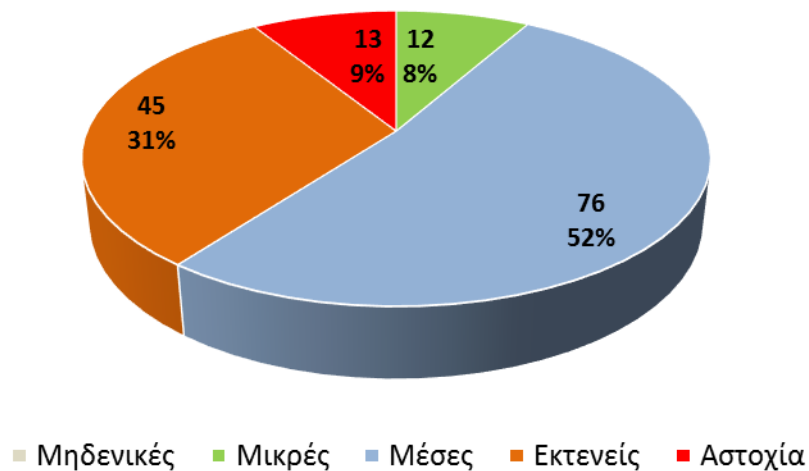
α/α	Στάθμη βλάβης	Απαιτούμενες επισκευές	Όρια βαθμού βλάβης D (%)	Μέση τιμή βαθμού βλάβης D (%)
ΣΒ0	Μηδενικές	Καμία	0	0
ΣΒ1	Μικρές	Μικρές επιδιορθώσεις	$0 < D \leq 10$	5
ΣΒ2	Μέσες	Επισκευή στοιχείων	$10 < D \leq 30$	20
ΣΒ3	Εκτενείς	Επανακατασκευή στοιχείων	$30 < D \leq 60$	45
ΣΒ4	Κατάρρευση	Επανακατασκευή γέφυρας	$60 < D \leq 100$	80

Επομένως, για τις δεδομένες τιμές της PGA στη θέση κάθε γέφυρας για κάθε σεισμικό σενάριο υπολογίζονται οι πιθανότητες υπέρβασης της κάθε στάθμης από την αντίστοιχη καμπύλη τρωτότητας σύμφωνα με την τυπολογική ταξινόμηση που προηγήθηκε. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο αναμενόμενος μέσος βαθμός βλάβης για κάθε γέφυρα. Στα Σχήματα δίνεται η κατανομή των βλαβών για κάθε σεισμικό σενάριο. Οι υπολογισμοί γίνανε ξεχωριστά για την περίπτωση βλάβης στην διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση σύμφωνα με τις καμπύλες τρωτότητας που εφαρμόζονται.

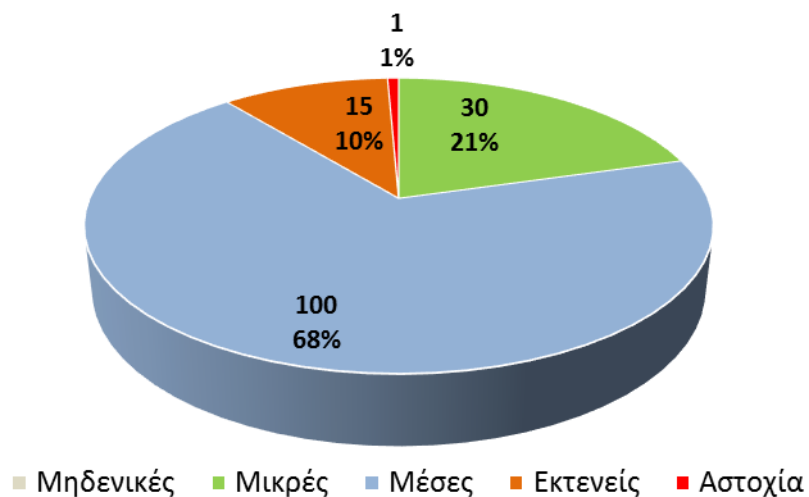
Από την κατανομή των βλαβών παρατηρείται ότι οι περισσότερες εκτενείς βλάβες και αστοχία υπολογίζονται για την περίπτωση του σεναρίου SHARE ($T=475$ χρόνια), ενώ ακολουθούν κατά σειρά σοβαρότητας βλαβών τα σενάρια για M5.9 στο ρήγμα της Φυλής, M6.5 στο ρήγμα της Κινέτας και M6.7 στο ρήγμα του Ωρωπού και στο νότιο ρήγμα των Αλκυονίδων. Η εκτίμηση της σεισμικής έντασης στην περίπτωση του SHARE έχει προκύψει λαμβάνοντας υπόψη όλες τις σεισμικές πηγές της περιοχής μέσω πιθανοτικής προσέγγισης, ενώ τα υπόλοιπα αποτελούν αιτιοκρατικά σενάρια που λαμβάνουν υπόψη τη διάρρηξη μιας συγκεκριμένης σεισμικής πηγής. Επομένως, είναι αναμενόμενο οι βλάβες που υπολογίζονται στο πρώτο σενάριο να είναι πολύ σοβαρότερες σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη εφαρμογή γίνεται μια προκαταρκτική εκτίμηση των βλαβών υπολογίζοντας τον μέσο βαθμό βλάβης, ο ορισμός του οποίου έχει αρκετές αβεβαιότητες. Επίσης γίνεται χρήση καμπυλών τρωτότητας από την βιβλιογραφία οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις σύγχρονες ελληνικές γέφυρες με βάση την τυπολογία της Εγνατίας Οδού. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες καμπύλες ενδέχεται να μην ανταποκρίνονται στη συμπεριφορά κάποιων τύπων γεφυρών της Α.Ο. Σε κάθε περίπτωση πρόκειται για ένα παράδειγμα εφαρμογής που στοχεύει στην παρουσίαση των επιμέρους βημάτων για την εκτίμηση βλαβών ενός αυτοκινητοδρόμου μέσω καμπυλών τρωτότητας.

Σενάριο SHARE 475 yrs - Διαμήκης διεύθυνση

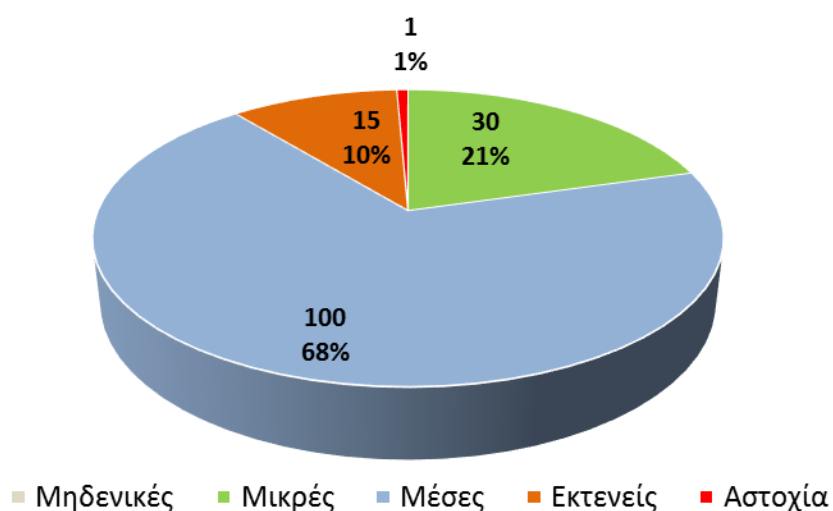


Σενάριο SHARE 475 yrs - Εγκάρσια διεύθυνση

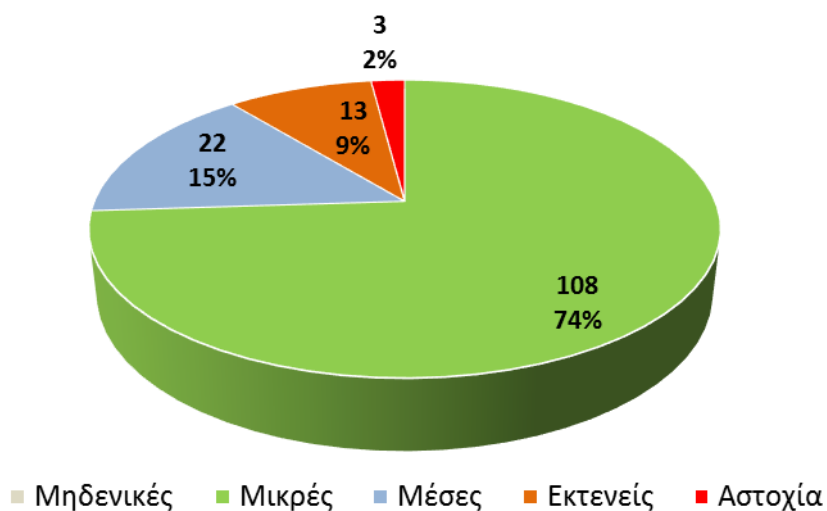


Σχήμα 11: Εκτίμηση βλαβών για το σεισμικό σενάριο SHARE (T= 475 χρόνια).

Σενάριο M5.9 ρήγμα Φυλής - Διαμήκης διεύθυνση

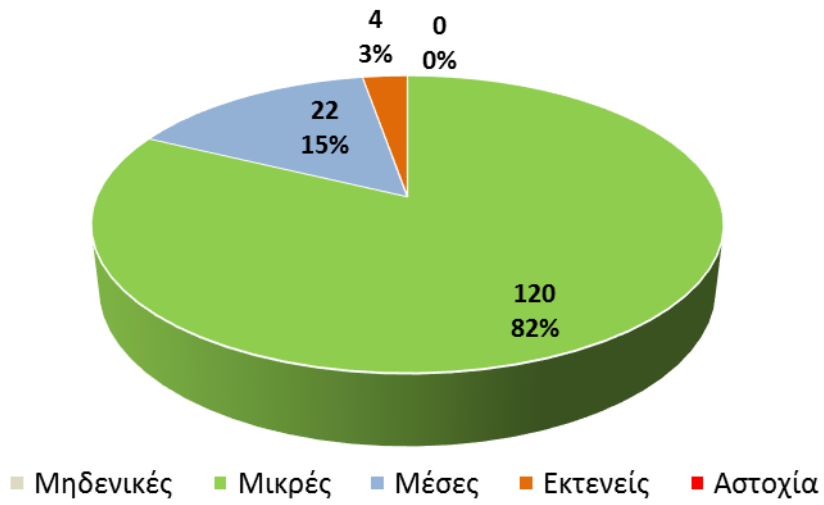


Σενάριο M5.9 ρήγμα Φυλής - Εγκάρσια διεύθυνση

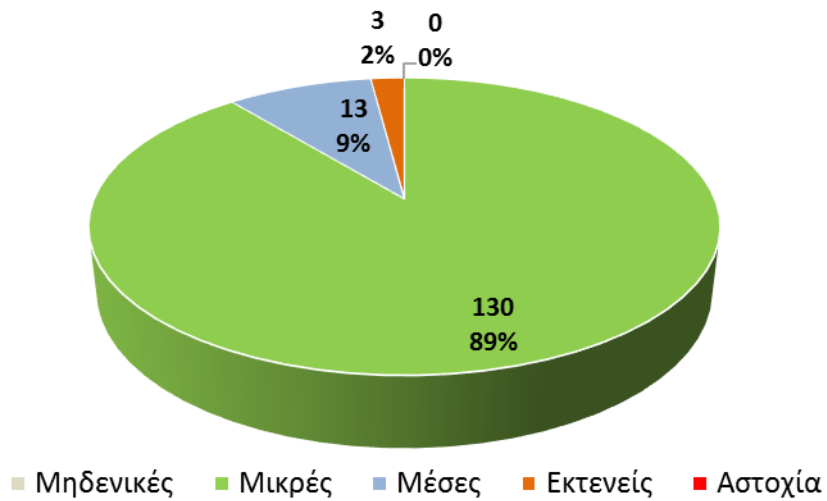


Σχήμα 12: Εκτίμηση βλαβών για το σεισμικό σενάριο M5.9 στο ρήγμα της Φυλής.

Σενάριο M6.5 ρήγμα Κινέτας - Διαμήκης διεύθυνση

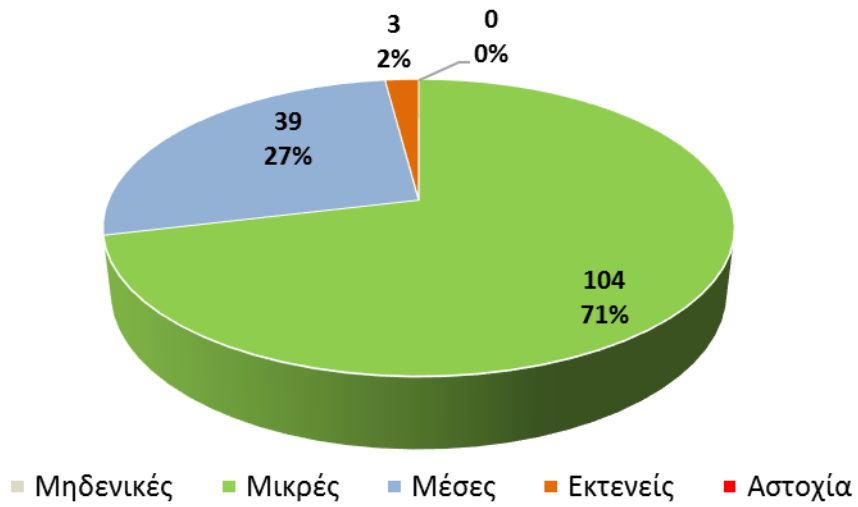


Σενάριο M6.5 ρήγμα Κινέτας - Εγκάρσια διεύθυνση

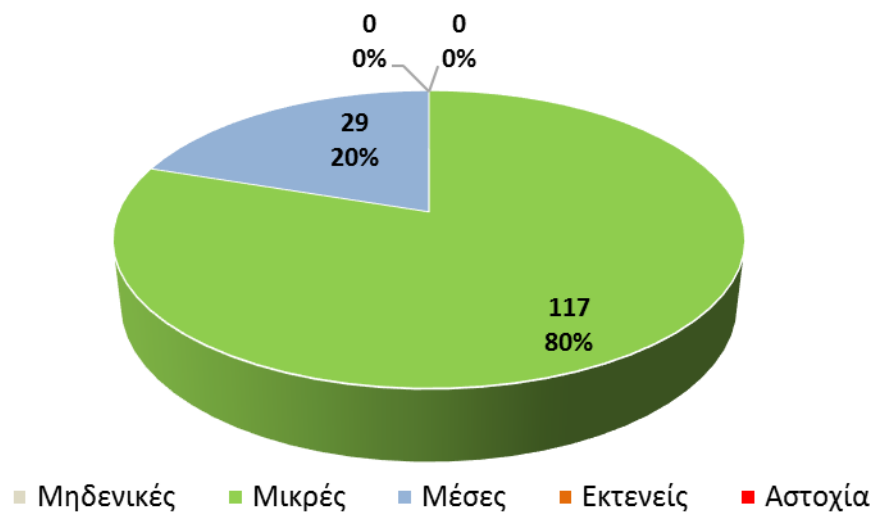


Σχήμα 13: Εκτίμηση βλαβών για το σεισμικό σενάριο M6.5 στο ρήγμα της Κινέτας.

Σενάριο Μ6.7 ρήγμα Ωρωπού - Διαμήκης διεύθυνση

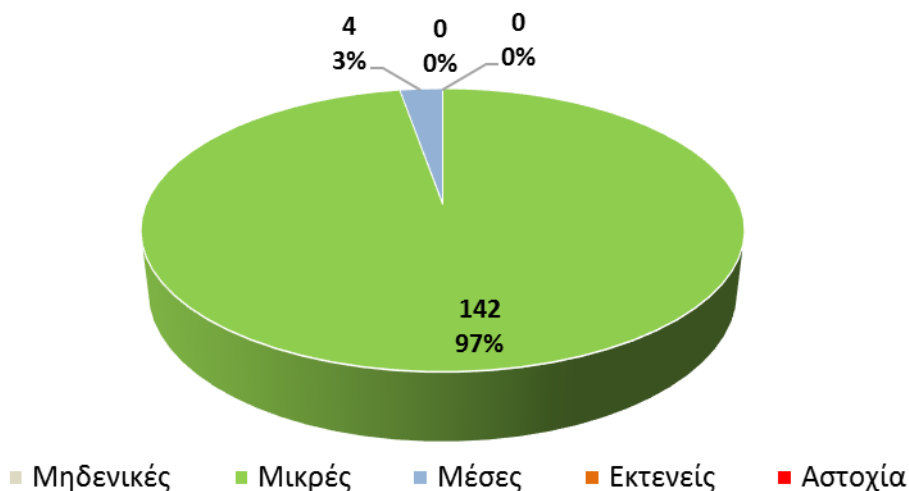


Σενάριο Μ6.7 ρήγμα του Ωρωπού - Εγκάρσια διεύθυνση

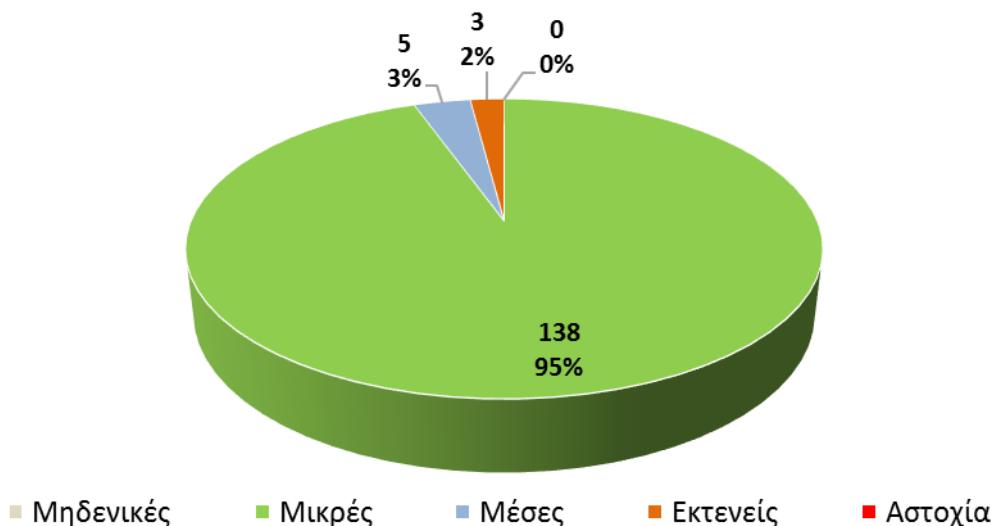


Σχήμα 14: Εκτίμηση βλαβών για το σεισμικό σενάριο Μ6.7 στο ρήγμα του Ωρωπού.

Μ6.7 νότιο ρήγμα Αλκουνίδων - Εγκάρσια διεύθυνση



Σενάριο Μ6.7 νότιο ρήγμα Αλκουνίδων - Διαμήκης διεύθυνση



Σχήμα 15: Εκτίμηση βλαβών για το σεισμικό σενάριο Μ6.7 στο νότιο ρήγμα των Αλκουνίδων.

Πίνακας 16: Κατανομή βλαβών για τα σεισμικά σενάρια

Στάθμη Βλάβης	SHARE T=475 χρόνια		Μ5.9 ρήγμα της Φυλής		Μ6.5 ρήγμα της Κινέτας		Μ6.7 ρήγμα του Ωρωπού		Μ6.7 νότιο ρήγμα των Αλκουνίδων	
	Δ	Ε	Δ	Ε	Δ	Ε	Δ	Ε	Δ	Ε
Μηδενικές	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μικρές	12	30	30	108	120	130	104	117	138	142
Μέσες	76	100	100	22	22	13	39	29	5	4
Εκτενείς	45	15	15	13	4	3	3	0	3	0
Κατάρρευση	13	1	1	3	0	0	0	0	0	0

Δ: διαμήκης δ/νση, Ε: εγκάρσια δ/νση

Βιβλιογραφία

- Moschonas I, Kappos A, Panetsos P, Papadopoulos V, Makarios T, Thanopoulos P. (2009). Seismic Fragility Curves for Greek Bridges: Methodology and Case Studies, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 7(2): 439-468.
- Κάππος Α, Μοσχονάς Ι. (2006). Σύστημα ταξινόμησης ελληνικών γεφυρών, με σχετική Τεκμηρίωση, Παραδοτέο 7.1, Ερευνητικό Πρόγραμμα: Αντισεισμική Προστασία Γεφυρών (ΑΣΠροΓε), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Κωδικός έργου: ΔΠ15 (ΓΓΕΤ).
- Pitilakis K, Riga E, Anastasiadis A (2012). Design spectra and amplification factors for Eurocode 8, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10(5):1377-1400.

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ ΟΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΗΘΗΚΑΝ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
ΠΗΓΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	4
ΣΥΝΟΨΗ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ ΔΙΕΘΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ	5
1. ΣΕΙΣΜΟΣ NORTHRIDGE 1994, ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ ^[N1]	6
1.1. Πληροφοριακά στοιχεία	6
1.2. Σύνοψη ευρημάτων - Αίτια βλαβών:.....	6
2. ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΟΒΕ 1995 (GREAT HANSHIN EARTHQUAKE) ^[K1]	8
2.1. Γενικά στοιχεία	8
2.2. Εκτιμώμενα αίτια και χαρακτηριστικά βλαβών	8
2.2.1. Επίδραση Κανονισμών μελέτης.....	8
2.2.2. Συμπεριφορά βάρων (κυρίως μεσόβαθρα)	10
2.2.3. Συμπεριφορά θεμελιώσεων	11
2.2.4. Φορείς καταστρωμάτων - Εφέδρανα - Σύνδεσμοι.....	11
2.3. Σύνοψη - Διαπιστώσεις.....	11
3. ΣΕΙΣΜΟΣ WENCHUAN 2008, ΚΙΝΑ ^{[W1], [W2], [W3]}	11
3.1. Πληροφοριακά στοιχεία	12
3.2. Συμπεριφορά και καταγραφές βλαβών γεφυρών.....	12
3.2.1. Γέφυρα Miaoziping	13
3.2.2. Γέφυρα Baihua	15
3.2.3. Γέφυρα Xiaoyudong	17
3.2.4. Γέφυρα Longchi.....	19
3.3. Σύνοψη αιτιών - αστοχιών.....	20
4. ΣΕΙΣΜΟΣ MAULE 2010, ΧΙΛΗ ^{[M1], [M2]}	21
4.1. Πληροφοριακά στοιχεία	21
4.2. Συμπεριφορά και καταγραφές βλαβών γεφυρών.....	22
4.2.1. Άνω Διαβάσεις άξονος 5.....	23
4.2.2. Ποταμογέφυρες περιοχής Conception	26
(i) Παλαιά γέφυρα ποταμού Bio-Bio.....	26
(ii) Γέφυρα Liacolén.....	27
(iii) Γέφυρα ποταμού Juan - Pablo	29
4.2.3. Γέφυρα Tabul	31
4.2.4. Γέφυρες Αυτοκινητοδρόμου Santiago.....	33
4.3. Διδάγματα από τις παρατηρήσεις βλαβών	35
5. ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΗΟΚΥ-ΟΚΙ 2011, ΙΑΠΩΝΙΑ ^{[TO1], [TO2], [TO3], [TO4]}	36
5.1. Πληροφοριακά στοιχεία	36
5.2. Στατιστικά στοιχεία.....	37
5.3. Βλάβες λόγω σεισμικής μετακίνησης εδαφών	39
5.4. Καταστροφές και βλάβες από το Τσουνάμι	43
α. Γέφυρα Utatsu	44
β. Γέφυρα Koizumi	47
5.5. Σύνοψη διαπιστώσεων	48
ΣΥΝΟΨΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ - ΔΙΔΑΓΜΑΤΑ	49

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ ΟΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΗΘΗΚΑΝ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διεθνής βιβλιογραφία είναι πλούσια σε αναφορές που περιέχουν περιγραφές και αξιολογήσεις βλαβών που έγιναν σε δίκτυα Αυτοκινητοδρόμων κατά τη διάρκεια σημαντικών σεισμικών γεγονότων.

Όπως έχει κατ' επανάληψη διαπιστωθεί, κατά τη διάρκεια σημαντικών σεισμικών γεγονότων προκαλούνται βλάβες στα έργα υποδομής των Αυτοκινητοδρόμων, των οποίων η μεταφορική λειτουργία διαταράσσεται ή αναστέλλεται για σημαντικό χρονικό διάστημα.

Οι βλάβες αυτές εμφανίζουν μια αρκετά μεγάλη ποικιλία μορφών, εκτάσεως και αμέσων συνεπειών, όπως λ.χ. ανθρώπινα θύματα, πλήρης διακοπή κυκλοφορίας.

Πέραν βεβαίως των αμέσων επιπτώσεων, οι βλάβες αυτές δημιουργούν και πρόσθετες απαιτήσεις, όπως η εξασφάλιση παραλλακτικών διαδρομών διαμέσου ασφαλών θέσεων και βεβαίως συνοδεύονται από τις σημαντικού κόστους επεμβάσεις αποκατάστασης ή/και ανακατασκευής. Οι τελευταίες αυτές επιπτώσεις είναι ιδιαίτερος δυσμενείς στις περιπτώσεις Αυτοκινητοδρόμων οι οποίοι κινούνται σε πυκνοδομημένο αστικό περιβάλλον ή έχουν ήδη διανύσει ένα σημαντικό μεγάλο χρόνο λειτουργίας.

Κατόπιν αυτών, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι κατά το σχεδιασμό των συγχρόνων Αυτοκινητοδρόμων που διέρχονται μέσω περιοχών με συχνή σεισμική δραστηριότητα είναι απαραίτητο να προβλέπεται και μια πλήρης δέσμη μέτρων, τόσο προβλέψεως όσο και αντιδράσεως. Χάρης στα μέτρα αυτά είναι δυνατόν, αν όχι να αποφευχθούν, τουλάχιστον να περιορισθούν σημαντικά οι δυσμενείς επιπτώσεις στη μεταφορική λειτουργία μετά από ένα σημαντικό σεισμικό γεγονός.

Είναι πάντως σκόπιμο να σημειωθεί εδώ ότι, αν περιοριστεί κανείς αποκλειστικώς στην Τεχνική πλευρά του θέματος, η καταγραφή της μορφής και η ερμηνεία του μηχανισμού αστοχίας των Τεχνικών Έργων αποτελούν πολύτιμα βοηθήματα, τόσο για την κατανόηση της συμπεριφοράς των πάσης φύσεως δομημάτων υπό συνθήκες σημαντικής σεισμικής διεγέρσεως. Ο εμπλουτισμός των γνώσεών μας με τις πληροφορίες αυτές συντελεί στην περαιτέρω ανάπτυξη της Αντισεισμικής Μηχανικής, χάρις στην οποία είναι εφικτός ο σχεδιασμός δομημάτων με σημαντικά βελτιωμένη αντισεισμική συμπεριφορά.

Στην προσπάθεια συγκεντρώσεως των στοιχείων που απαιτούνται για τη σύνδεση της μορφής και του είδους πραγματικών βλαβών με τις άλλες παραμέτρους του θέματος όπως μέγεθος σεισμού και σεισμική επιταχύνσεως, τύπος εδάφους, στατικό σύστημα και κανονισμοί μελέτης μετά από σημαντικούς σεισμούς γίνονται, κατά διεθνή συνήθεια, αναγνωριστικές μελέτες και έρευνες, κάποιες από τις οποίες παρουσιάζονται συνοπτικώς στα επόμενα.

ΠΗΓΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [N1]: **Σεισμός Northridge, 1994**
Statistical Analysis of Bridge Damage Data from the 1994 Northridge, CA, Earthquake
Nesrin I. Basöz, M.EERI, Anne S. Kiremidjian, M.EERI, Stephanie A. King, M.EERI, and Kincho H. Law
Earthquake Spectra, Volume 15, No.1, February 1999
- [K1]: **Σεισμός Kobe, 1995**
The Damage of Highway Bridges in the 1995 Hyogo-Ken Nanbu Earthquake and its Impact on Japanese Seismic Design
Kazuhiko Kawashima and Shigeki Unjoh
Journal of Earthquake Engineering, Volume 1, Issue.3, p. 505-541, July 1997
- [W1]: **Σεισμός Wenchuan, 2008**
Reconnaissance Report on Damage of Bridges in 2008 Wenchuan, China, Earthquake
Kazuhiko Kawashima et al.
Journal of Earthquake Engineering, Volume 13, Issue 7, p. 965-996, September 2009
- [W2]: **Σεισμός Wenchuan, 2008**
Lessons Learned from the 2008 Wenchuan Earthquake and Recent Research on Seismic Design of Highway Bridges
Wang Domgsheng, Sun Zhiguo, ZHAI Xuebin, Guo Xun
15 WCEE, Lisboa 2012
- [W3]: **Σεισμός Wenchuan, 2008**
Damage investigation of girder bridges under the Wenchuan Earthquake and corresponding seismic design recommendations
Li Jianszhong, Peng Tianbo and Xu Yan
Earthquake Engineering & Engineering Vibration, Volume 7, Issue 4, p. 337-344, December 2009
- [M1]: **Σεισμός Maule, 2010**
Damage of Bridges due to the 2010 Maule, Chile, Earthquake
Kazuhiko Kawashima et al.
Journal of Earthquake Engineering, Volume 15, Issue 7, p. 1036-1068, September 2011
- [M2]: **Σεισμός Maule, 2010**
Lessons Learned from the February 27, 2010 Maule, Chile, Earthquake
By Mark Yashinsky
Caltrans Office of Earthquake Engineering Team
- [TO1]: **Σεισμός Tohoku-Oki, 2011**
Structural Performance of Bridges in the Tohoku-Oki Earthquake
Kazuhiko Kawashima, M.EERI, and Ian Buckle M.EERI
Earthquake Spectra, Volume 29, Issue S1, p. S315-338, March 2013
- [TO2]: **Σεισμός Tohoku-Oki, 2011**
Damage to Highway Bridges Caused by the 2011 Tohoku-Oki Earthquake
Japan Bridge Engineering Center
- [TO3]: **Σεισμός Tohoku-Oki, 2011**
Lessons Learned from the March 11, 2011 M9.0 Great Tohoku Earthquake and Tsunami
By Mark Yashinsky
Caltrans Office of Earthquake Engineering Team
- [TO4]: **Σεισμός Tohoku-Oki, 2011**
Damage Analysis of Bridges Affected by Tsunami Due to Great East Japan Earthquake
Kenji Kosa
The International Symposium of Engineering

**ΣΥΝΟΨΗ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ
ΔΙΕΘΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ**

ΣΥΝΟΨΗ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ ΔΙΕΘΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ

1. ΣΕΙΣΜΟΣ NORTHRIDGE 1994, ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ ^[N1]

1.1. Πληροφοριακά στοιχεία

- Τόπος: Καλιφόρνια
- Χρόνος: 17 Ιανουαρίου 1994, ώρα 04:31πμ
- Μέγεθος: M 6.7
- Καταγραφείσες επιταχύνσεις: 0,66g/1.55g
- Καταγραφείσες βλάβες:

Σύμφωνα με τον κατωτέρω πίνακα, επί συνόλου 6.104 γεφυρών της ευρύτερης περιοχής του Los Angeles, επλήγησαν με διάφορες βλάβες 233.

Πίνακας 1 : Καταγραφείσες βλάβες ανά περιοχή

County	Number of State Bridges	Number of Local Bridges	Total Number of Bridges	Number of Damaged Bridges
Los Angeles	2,097	1,553	3,650	228
Riverside	644	338	982	-
Orange	463	505	968	-
Ventura	329	175	504	5
Total	3,533	2,571	6,104	233

1.2. Σύνοψη ευρημάτων - Αίτια θλαβών:

Ο δεσμός Northridge έδωσε χρήσιμα στοιχεία για την αξιολόγηση των βλαβών σε γέφυρες. Διαπιστώθηκε συστηματική σύνδεση μεταξύ βλαβών και ειδικών δομικών χαρακτηριστικών των γεφυρών στις οποίες συνέβησαν.

Τέτοια χαρακτηριστικά στα οποία αποδίδεται η ανεπαρκής συμπεριφορά των γεφυρών είναι:

- Μεγάλη γωνία λοξότητας
- Ανεπαρκές εύρος εδράσεως καταστρώματος
- Ανεπάρκεια οπλισμού μεσοβάθρων
- Ανομοιομορφία ακαμψίας στηρίξεων

ενώ ως ήταν αναμενόμενο οι βλάβες εμφανίστηκαν συχνότερα σε γέφυρες μελετημένες με παλαιότερους κανονισμούς.

Οι ανωτέρω διαπιστώσεις εμφανίζονται και στα στοιχεία των πινάκων που ακολουθούν.

Πίνακας 2.1.α : Χαρακτηριστικά γεφυρών που «κατέρρευσαν»

Bridge No.	Bridge Name	Route	No. of Spans	Superstr. Type ¹	Abut. Type ²	Substr. Type ³	Span Continuity	Design Year	Skew ⁴	Soil Type ⁵	Retrofit History
53 1609	La Cienega-Venice UC	I-10	9	CBC	G	H	discontinuous	1964	99	C	Phase I, 1978
53 1960F	Route 14/5 Separation&OH	I-5 / SR114	10	QBC, CBC	C	J	discontinuous	1971	0	C	Phase I, 1974
53 1964F	North Connector	I-5 / SR114	10	CBC, QB	A	J	discontinuous	1971	0	C	Phase I, 1975
53 1797L	Gavin Canyon UC	I-5	5	QBC, CBC	A	H	discontinuous	1967	67	C	Phase I, 1974
53 1797R	Gavin Canyon UC	I-5	5	QBC, CBC	A	H	discontinuous	1967	67	C	Phase I, 1974
53 2205	Mission-Gothic UC	SR118	4	QBC	B	H	continuous	1973	99	C	-

Πίνακας 2.1.β : Περιγραφή αιτίων κατάρρευσης

Bridge No.	PGA (g)	MMI	Damage Description	Repair Cost (\$)°
53 1609	0.35	VIII	Most of the columns of mainline structure buckled (high skew contributed).	26,993,750
53 1960F	0.95	IX	2 spans collapsed onto Route 5. Needed shoring for 1 hinge H = 50' (15.25 m.)	17,260,000
53 1964F	0.95	IX	Span drop from abutment 1 to bent 3.	30,186,000
53 1797L	0.85	VIII	Collapse of spans 2 and 4 due to heavy skew and narrow hinge seats.	22,045,000
53 1797R	0.85	VIII	Collapse of spans 2 and 4 due to heavy skew and narrow hinge seats.	22,045,000
53 2205	1.05	VIII	Partial collapse; approximately 24 cm sag; 2 columns buckled at bent 1.	13,540,000

2. ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΟΒΕ 1995 (GREAT HANSHIN EARTHQUAKE) ^[Κ1]

2.1. Γενικά στοιχεία

- Τόπος: Kobe, Ιαπωνία
- Χρόνος: 17 Ιανουαρίου 1995, ώρα 05:46:53 JST
- Μέγεθος: M 6.9
- Απώλειες: 6.434
- Οικονομική ζημιά: € 100 δις

Ο σεισμός αυτός προκάλεσε καταστροφές γεφυρών αλλά και άλλων εγκαταστάσεων, ενώ παράλληλα πυροδότησε και εκτεταμένες αστοχίες γεωτεχνικής φύσεως.

Ειδικότερα στις οδικές γέφυρες, οι οποίες να σημειωθεί ότι εθεωρούντο «άτρωτες» έστω και για σεισμούς μεγαλύτερου μεγέθους, ο σεισμός προκάλεσε πλήρεις ή μερικές καταρρεύσεις σε εννέα περιοχές.

Πέραν των γεφυρών, ο σεισμός αυτός είχε καταστροφικές συνέπειες σε λιμενικές εγκαταστάσεις και σε πάνω από 150.000 κτήρια.

2.2. Εκτιμώμενα αίτια και χαρακτηριστικά βλαβών

2.2.1. Επίδραση Κανονισμών μελέτης

Οι διαφόρων βαθμών βλάβες οδοφόρων γεφυρών επιθεωρήθηκαν, αποτυπώθηκαν και διερευνήθηκαν τόσο στο Kobe όσο και σε άλλες έξι γειτονικές πόλεις. Οι έρευνες αυτές διενεργήθηκαν σε ένα πολύ μεγάλο αριθμό βάθρων (3.396).

Σημειώνεται ότι μετά από ένα μεγάλο αριθμό λεπτομερών αναλύσεων περιπτώσεων αστοχίας, διαπιστώθηκε ότι οι μέχρι τότε ισχύουσες μέθοδοι αντισεισμικού σχεδιασμού ήταν ανεπαρκείς, τόσο στην πρόβλεψη του μεγέθους της εντάσεως λόγω σεισμού όσο και στην προδιαγραφή λεπτομερειών μορφολογίας και οπλίσεως των φορέων.

Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζεται η συσχέτιση μεταξύ αριθμού βλαφθέντων βάθρων και αντιστοίχων Κανονισμών μελέτης.

Routes		1964 Specs. or Older	1971 Specs.	1980 Spec.	1990 Specs.	Total
National Highways	Route 2	43 (37%)	72 (63%)			115 (100%)
	Route 43	152 (100%)				152 (100%)
	Route 171	158 (100%)				158 (100%)
	Route 176	13 (65%)	2 (10%)	5 (25%)		20 (100%)
	Sub. Total	366 (82%)	74 (17%)	5 (1%)		445 (100%)
Hanshin	Route 3	890 (80%)	216 (20%)			1,106 (100%)
	Route 5			289 (84%)	56 (16%)	345 (100%)
	Sub. Total	890 (61%)	216 (15%)	289 (20%)	56 (4%)	1,451 (100%)
JH	Meishin	1,039 (100%)				1,039 (100%)
	Chugoku	461 (100%)				461 (100%)
	Sub. Total	1,500 (100%)				1,500 (100%)
Total		2,756 (81%)	290 (9%)	294 (9%)	56 (2%)	3,396 (100%)

Πίνακας 2.2.α : Προδιαγραφές σχεδιασμού που αναφέρονται στο σχεδιασμό (αριθμός βάθρων)

2.2.2. Συμπεριφορά βάθρων (κυρίως μεσόβαθρα)

Στοιχεία εκτιμήσεως του βαθμού τρωτότητας των βάθρων σχετικώς με τη μορφή και το υλικό κατασκευής παρέχουν οι κατωτέρω πίνακες.

Type of Piers		Damage Degree					Total
		A _S	A	B	C	D	
Steel	Single Columns	2 (4%)	8 (15%)	3 (6%)	32 (60%)	8 (15%)	53 (100%)
	Other Types	1 (1%)	0 (0%)	9 (8%)	80 (73%)	20 (18%)	110 (100%)
	Sub. Total	3 (2%)	8 (15%)	12 (7%)	112 (69%)	28 (17%)	163 (100%)
Reinforced Concrete Piers	Single Columns	50 (7%)	69 (9%)	85 (12%)	199 (27%)	329 (45%)	732 (100%)
	Other Types	14 (7%)	9 (4%)	17 (8%)	26 (12%)	145 (69%)	211 (100%)
	Sub. Total	64 (7%)	78 (8%)	102 (11%)	225 (24%)	474 (50%)	943 (100%)
Total	Single Columns	52 (7%)	77 (10%)	88 (11%)	231 (29%)	337 (43%)	785 (100%)
	Other Types	15 (5%)	9 (3%)	26 (8%)	106 (33%)	165 (51%)	321 (100%)
	Sub. Total	67 (6%)	86 (8%)	114 (10%)	337 (30%)	502 (45%)	1,106 (100%)

(b) Route 5, Bay Shore Line

Type of Piers		Damage Degree					Total
		A _S	A	B	C	D	
Steel Piers	Single Columns					6 (100%)	6 (100%)
	Other Types			13 (9%)	21 (15%)	103 (75%)	137 (100%)
	Sub. Total			13 (9%)	21 (15%)	109 (76%)	143 (100%)
Reinforced Concrete Piers	Single Columns			1 (1%)	2 (2%)	93 (97%)	96 (100%)
	Other Types				20 (19%)	86 (81%)	106 (100%)
	Sub. Total			1 (1%)	22 (10%)	179 (89%)	202 (100%)
Total	Single Columns			1 (1%)	2 (2%)	99 (97%)	102 (100%)
	Other Types			13 (5%)	41 (17%)	189 (78%)	243 (100%)
	Sub Total			14 (4%)	43 (12%)	288 (83%)	345 (100%)

Πίνακας 2.2.β: Ταξινόμηση των ζημιών των προβλητών της Hanshin Expressway (αρ. βάθρων)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: Επίπεδα και είδη βλάβης

- A_S: Κατάρρευση, απώλεια φέρουσας ικανότητας
- A: Εκτεταμένη ρηγμάτωση - λυγισμός ράβδων κύριου σπλισμού
- B: Ρωγμές μεγάλου εύρους - τοπικός λυγισμός κορμού και πελμάτων
- C: Αποτίναξη επιδερμικού σκυροδέματος - περιορισμένη ρηγμάτωση πελμάτων
- D: Περιορισμένες ή καθόλου βλάβες.

ΣΧΟΛΙΟ:

Παρατηρείται αυξημένη τρωτότητα των μονόστυλων μεσοβάθρων

2.2.3. Συμπεριφορά θεμελιώσεων

Εκτεταμένες έρευνες με επιφανειακές αποκαλύψεις θεμελιώσεων και ενδοσκοπήσεις σε πασσάλους θεμελιώσεως, έδειξαν ότι οι θεμελιώσεις υπέστησαν μικρότερες βλάβες ακόμη και σε περιπτώσεις ολικής καταστροφής των αντιστοίχων βάθρων.

Εξαιρεση στην ανωτέρω διαπίστωση αποτελούν οι θεμελιώσεις σε θέσεις όπου αναπτύχθηκε ρευστοποίηση.

2.2.4. Φορείς καταστρωμάτων - Εφεδράνα - Σύνδεσμοι

Οι βλάβες στους φορείς των καταστρωμάτων εκτός από περιορισμένες βλάβες στα δομικά μέλη, ουσιαστικώς περιλαμβάνουν αστοχίες εφεδράνων και συνδετικών διατάξεων, οι οποίες σε κάποιες περιπτώσεις συνοδεύονται και από βλάβες της περιοχής γύρω από τις εδράσεις των διατάξεων αυτών.

Είναι πάντως ενδιαφέρον να παρατηρηθεί η ευνοϊκή για το βάθρο ύπαρξη εφεδράνων τα οποία μπορεί να θεωρηθούν σαν «διακόπτες ασφαλείας».

		Damage Degree of Piers					Total
		A _S	A	B	C	D	
Damage Degree of Bearings	A	10 (3%)	34 (10%)	48 (14%)	157 (44%)	106 (30%)	355 (100%)
	B	7 (3%)	21 (8%)	33 (12%)	106 (39%)	104 (38%)	271 (100%)
	C	5 (1%)	21 (6%)	22 (6%)	148 (39%)	183 (48%)	379 (100%)
	D	48 (5%)	82 (8%)	110 (10%)	324 (31%)	490 (46%)	1,054 (100%)
	Total	70 (3%)	158 (8%)	213 (10%)	735 (36%)	883 (43%)	2,059 (100%)

Πίνακας 2.2.γ : Συσχέτιση βαθμού βλάβης μεταξύ βάθρων και εφεδράνων

2.3. Σύνοψη - Διαπιστώσεις

Η καταγραφή, διερεύνηση και αξιολόγηση των καταστροφών και των εν γένει βλαβών που προκάλεσε ο σεισμός του 1995 στο Kobe ήταν αποφασιστικής σημασίας για την ευρείας εκτάσεως αναθεώρηση και βελτίωση των μεθόδων Αντισεισμικού σχεδιασμού, τόσο στην Ιαπωνία όσο και ευρύτερα.

Οι θεμελιώδεις αρχές του σχεδιασμού περιλαμβάνουν ήδη τις έννοιες της πλαστημότητας και του ικανοτικού σχεδιασμού.

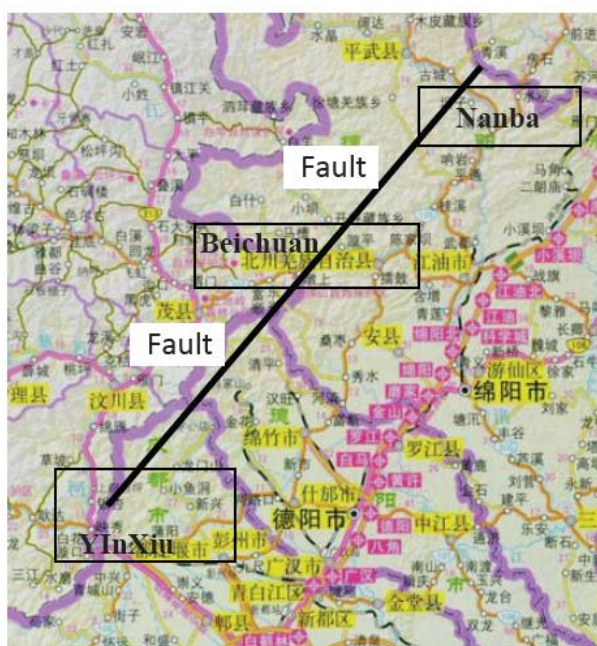
Διαπιστώθηκε η καθοριστικής σημασίας για τη συνέχιση της ζωής των πόλεων δυνατότητα χρήσεως των γεφυρών «αμέσως μετά» από σεισμικά γεγονότα. Το πόσο «αμέσως μετά» είναι δύσκολο να καθορισθεί επακριβώς, πάντως επειδή οι γέφυρες αυτές είναι γραμμές ζωής και επιβίωσης για τις πόλεις και τους κατοίκους είναι απαραίτητο οι Λειτουργοί των έργων αυτών να καθορίζουν επαρκείς βαθμούς σπουδαιότητας για εφαρμογή στον αντισεισμικό σχεδιασμό.

3. ΣΕΙΣΜΟΣ WENCHUAN 2008, ΚΙΝΑ ^{[W1], [W2], [W3]}

3.1. Πληροφοριακά στοιχεία

- Τόπος: Yinxiu Town, Wenchuan County, Κίνα
- Χρόνος: 12 Μαΐου 2008, ώρα 02:28π.μ. (τοπική ώρα)
- Μέγεθος: M 8.0
- Συνέπειες:
 - 69.227 νεκροί, 17.923 αγνοούμενοι (για αρκετό καιρό)
 - Ολοκληρωτική καταστροφή πόλης Yinxim
 - Εκτεταμένες καταστροφές και ζημιές στα έργα και δίκτυα υποδομής.

Ο σεισμός προκλήθηκε από τη θραύση του ρήγματος Longman Shan (βλ. εικόνα).



Το ρήγμα Longman Shan και η τοποθεσία των περιγραφόμενων γεφυρών

3.2. Συμπεριφορά και καταγραφές βλαβών γεφυρών

Στα επόμενα ακολουθούν περιγραφές και φωτογραφίες από τις πλέον χαρακτηριστικές βλάβες που συνέβησαν στις γέφυρες:

- Miaoziping
- Baihua
- Xiayudong
- Longchi

3.2.1 Γέφυρα Miaoziqing

- **Περιγραφή συστήματος γεφυρώσεως**

Γέφυρα συνολικού μήκους 1440m, στο οποίο περιλαμβάνονται:

- α. Γέφυρες προσβάσεως με δύο, τέσσερα και πέντε ανοίγματα, με φορείς από προεντεταμένες δοκούς, με συνεχή πλάκα καταστρώματος και
- β. Κεντρική γέφυρα, συνεχής επί τριών ανοιγμάτων με φορέα κιβοτιοειδούς διατομής, συνολικού μήκους 450m.



Γέφυρα Miaoziqing και το σημείο κατάρρευσης

Η γέφυρα διασχίζει τον ταμιευτήρα φράγματος και στηρίζεται σε υψηλά δίστυλα πλαισιωτά μεσόβαθρα ύψους 100m, θεμελιούμενα επί πασσάλων.

- **Βλάβες**

Η σημαντικότερη βλάβη ήταν η πτώση και κατάρρευση του ενός από τα δύο ακραία ανοίγματα της γέφυρας προσβάσεως των πέντε ανοιγμάτων.



Ακραίο άνοιγμα στο οποίο σημειώθηκε η κατάρρευση

Το γενεσιουργό αίτιο για όλες τις βλάβες ήταν οι πολύ μεγάλες μετακινήσεις των υψηλών μεσοβάθρων στη στάθμη του καταστρώματος (στη θέση της καταπτώσεως το μήκος του ανοίγματος αυξήθηκε κατά 0,69m).

Η πτώση του καταστρώματος ακολούθησε μια σειρά άλλων, τοπικής μορφής, καταστροφικών αστοχιών:

- Θραύση πλάκας συνεχείας (λειτουργία ελκυστήρα)



- Καταστροφή εφεδράνων και σεισμικών συνδέσμων



- Παραμένουσες εγκάρσιες μετακινήσεις



3.2.2. Γέφυρα Βαίηια

- **Περιγραφή συστήματος γεφυρώσεως**

Γέφυρα συνολικού μήκους 500m, με φορέα καταστρώματος από προεντεταμένες δοκούς.

Έτος κατασκευής: 2004.

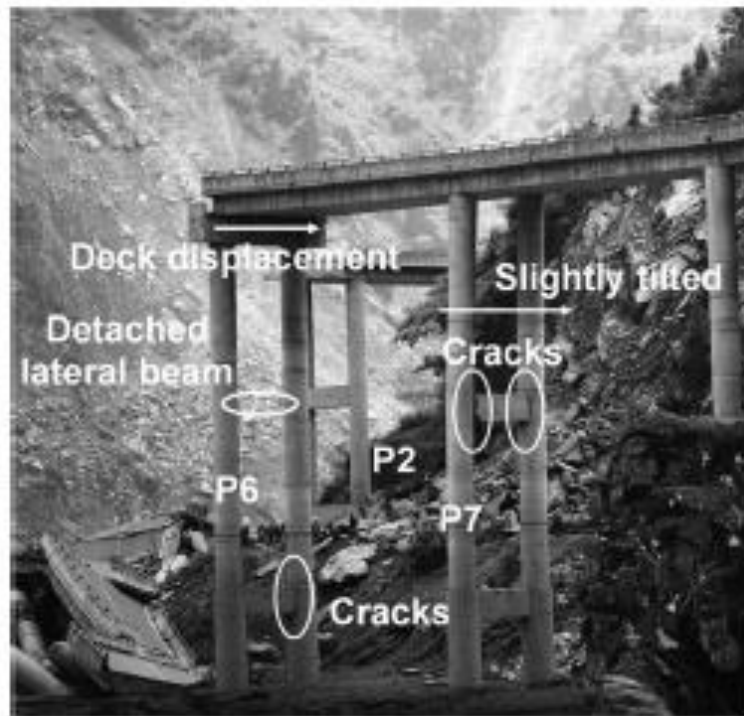
Τα βάθρα ύψους περί τα 30,0m ήταν δίστυλα, κυκλικής διατομής με εγκάρσιες δοκούς συνδέσεως και δοκό εδράσεως.

- **Βλάβες**

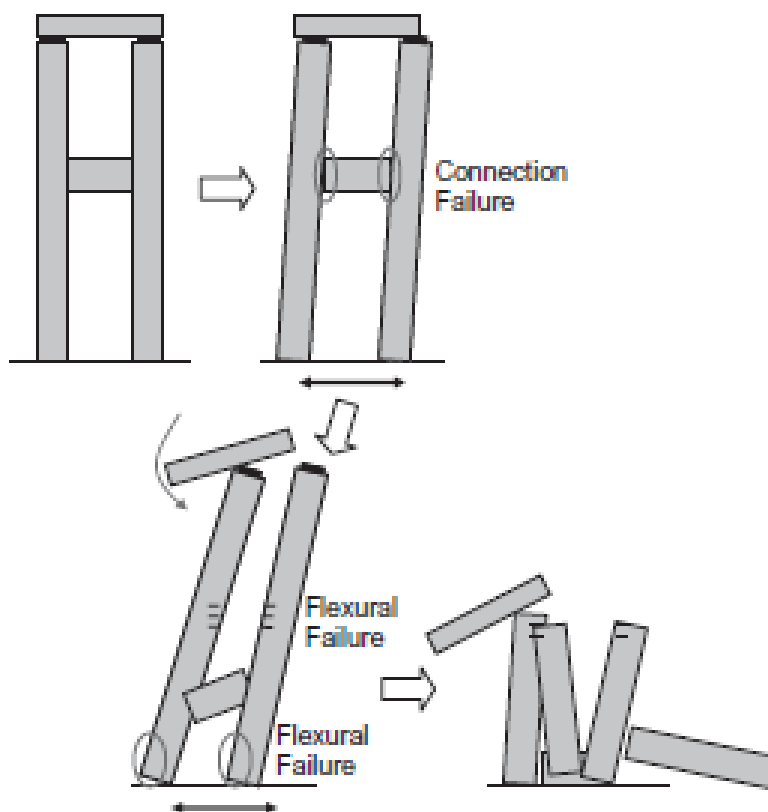
Οι πολύ μεγάλες σεισμικές μετακινήσεις προκάλεσαν και στη γέφυρα αυτή κατάρρευση ενός σημαντικού μήκους καμπύλου τμήματος του καταστρώματος (μεταξύ των μεσοβάθρων P2-P6).



Εκτός από την κατάρρευση προκλήθηκαν εκτεταμένες βλάβες και στα υπόλοιπα τμήματα.



Στο σχήμα εμφανίζεται ένας πιθανός μηχανισμός της αστοχίας των μεσοβάθρων.



3.2.3. Γέφυρα Χίαογυdong

- **Περιγραφή συστήματος γεφυρώσεως**

Γέφυρα συνολικού μήκους 1870m, στο οποίο περιλαμβάνονται τέσσερα ανεξάρτητα ανοίγματα πλαισιωτής - τοξωτής μορφής, σε συνδυασμό με κεκλιμένες αντηρίδες.

Τα επιμέρους ανοίγματα εδράζονταν στα ακρόβαθρα και στα πλαισιωτού τύπου δίστυλα πλαισιωτά μεσόβαθρα. Η θεμελίωση των μεσοβάθρων ήταν επί ζεύγους πασσάλων χωρίς κεφαλόδεσμο.

Στην περιοχή της γέφυρας αναπτύχθηκε και μερική ρευστοποίηση.

- **Βλάβες**

Οι κύριες βλάβες ήταν:

- κατάρρευση δύο ανοιγμάτων στη νότια πλευρά
- παραμένουσα απόκλιση μεσοβάθρων και αστοχία θεμελίωσης
- διατμητική αστοχία αντηρίδων βόρειας πλευράς
- παραμένουσες αποκλίσεις και ρηγματώσεις και των δύο ακροβάθρων.



(a) liquefaction at the site



(b) fault rupture went through culverts



(c) collapse of 2 spans(South)



(d) damage to columns



(e) damage of 2 Spans(North)



(f) shear damage of the ribs



(g) shear damage of ribs (North)



(h) shear damage of joints(South)



(i) shear damage of ribs(North)



j) shear and slip damage (k) crack and inclines of the abutment(South) (l) stirrup hopping of the ribs



(m) welding of the steels



(n) damage mode of the ribs

3.2.4. Γέφυρα Longchi

- **Περιγραφή συστήματος γεφυρώσεως**

Γέφυρα ένδεκα ανεξάρτητων ανοιγμάτων εδραζομένων επί δίπτυλων πλαισιωτών μεσοβάθρων.

Η θέση της γεφυρώσεως ήταν κοντά στο ρήγμα (200-300m) και στη θέση αυτή ανεπτύχθησαν αστοχίες πρανών καθώς και ρευστοποίηση.

- **Βλάβες**

Γενεσιουργό αίτιο ήταν οι μεγάλες πλευρικές μετακινήσεις και στροφές των θεμελιώσεων, οι οποίες οδήγησαν σε αντίστοιχες μετακινήσεις στο κατάστρωμα, της τάξεως των 2,0m.

Οι μετακινήσεις αυτές προκάλεσαν καταστροφή των διατμητικών συνδέσμων και πτώση τμήματος του καταστρώματος.



(a) Beichuan before earthquake



(b) liquefaction



(c) transverse displacements



(d) longitudinal displacements



(e) damage of the road



(f) damage of the frame



(g) after the flood



(h) flexure crack



(i) shear crack



(j) damage of the abutment

3.3. Σύνοψη αιτιών - αστοχιών

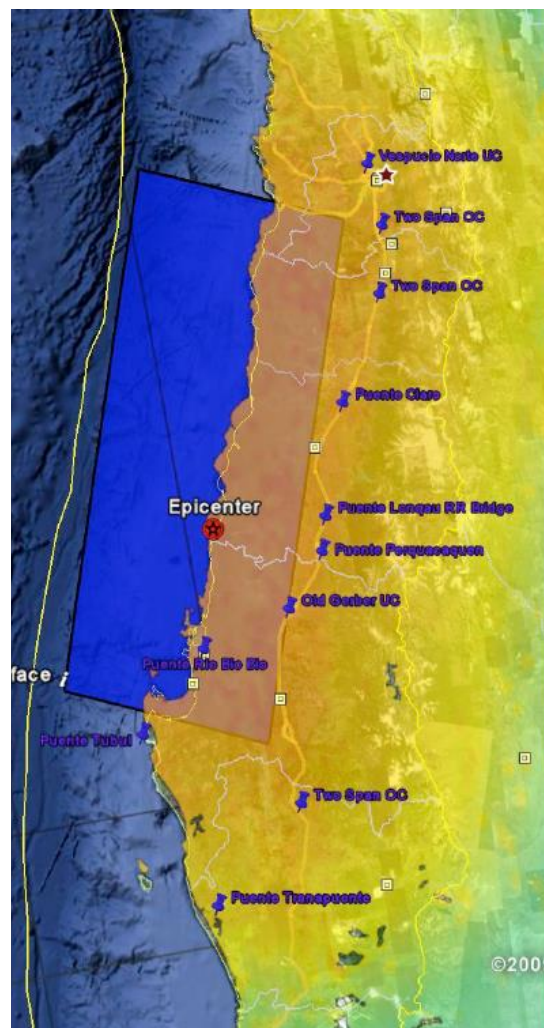
Σύμφωνα με τα ευρήματα των επιθεωρήσεων μπορεί να γίνει η εξής κατάταξη:

- Μετακινήσεις ρήγματος
- Ρευστοποίηση - Κατολισθήσεις
- Ανεπαρκής εκτίμηση σεισμικής εντάσεως
- Απουσία ή ανεπάρκεια πλαστιμότητας
- Έλειψη διατάξεων αποτροπής καταπτώσεων

4. ΣΕΙΣΜΟΣ MAULE 2010, ΧΙΛΗ ^{[M1], [M2]}

4.1. Πληροφοριακά στοιχεία

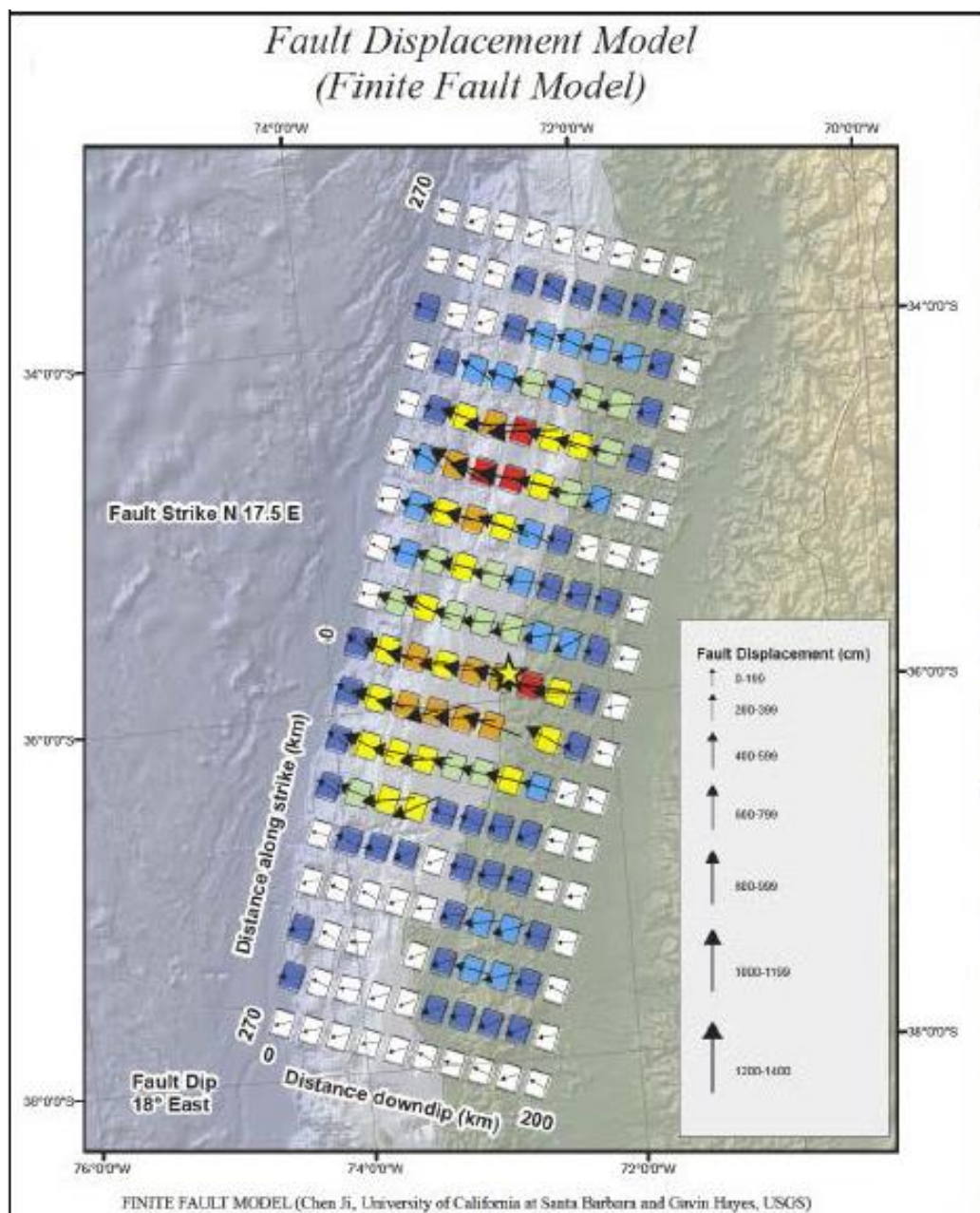
- Τόπος: Maule, Χιλή
- Χρόνος: 27 Φεβρουαρίου 2010
- Μέγεθος: M 8.8
- Συνέπειες:
 - Εκτεταμένες καταστροφές ή και ηπιότερες βλάβες σε ένα πολύ μεγάλο αριθμό γεφυρών αλλά και άλλων έργων υποδομής.



4.2. Συμπεριφορά και καταγραφές βλαβών γεφυρών

Ακολουθεί η παρουσίαση των ευρημάτων των αναγνωριστικών μελετών [3], [4] που έγιναν στις περιοχές.

- Άνω διαβάσεις άξονος 5 (Route 5)
- Ποταμογέφυρες περιοχής Conception
- Ποταμός Tabul
- Κάτω Διαβάσεις και ποταμογέφυρες άξονα 5 (Route 5)
- Γέφυρες Αυτοκινητοδρόμου Santiago.



4.2.1. Άνω Διαβάσεις άξονος 5

- **Περιγραφή συστημάτων γεφυρώσεως**

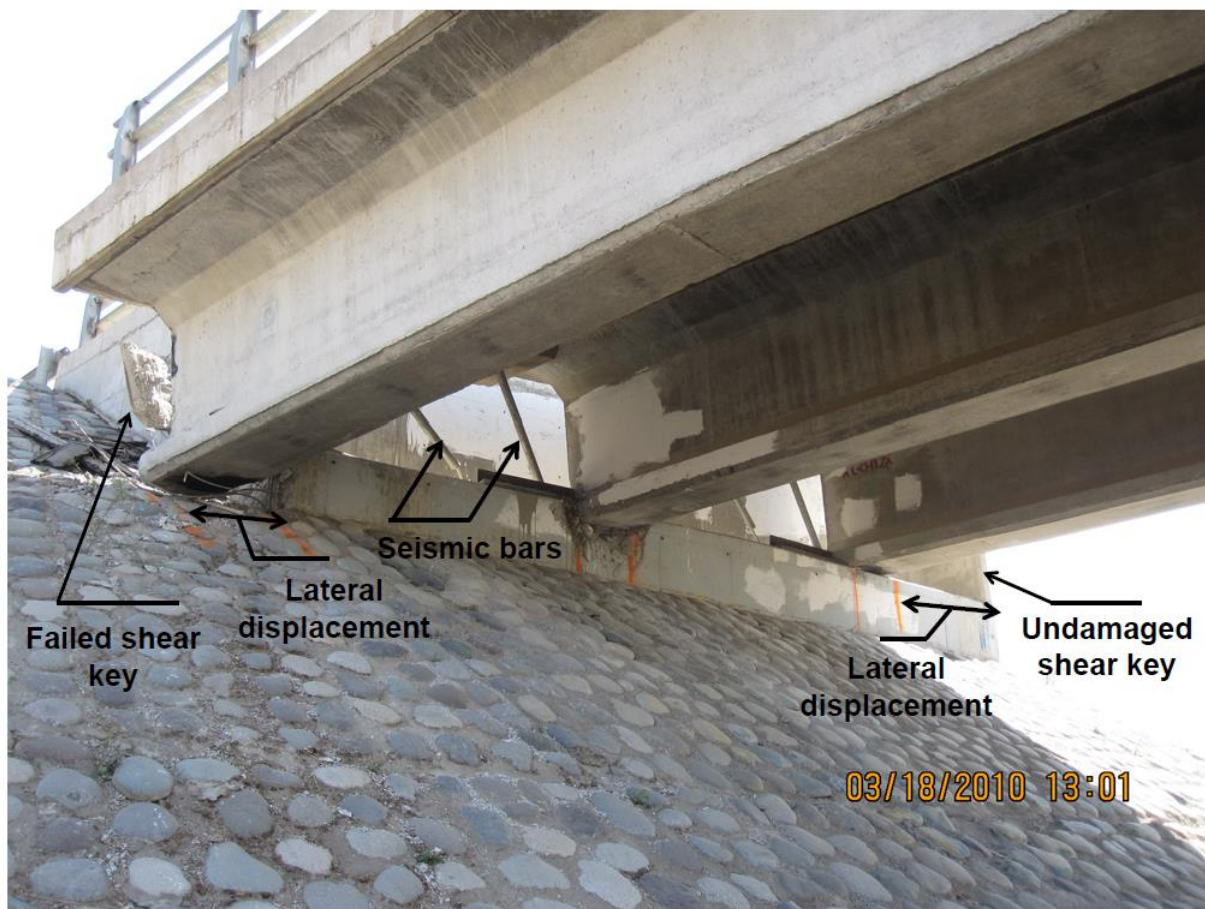
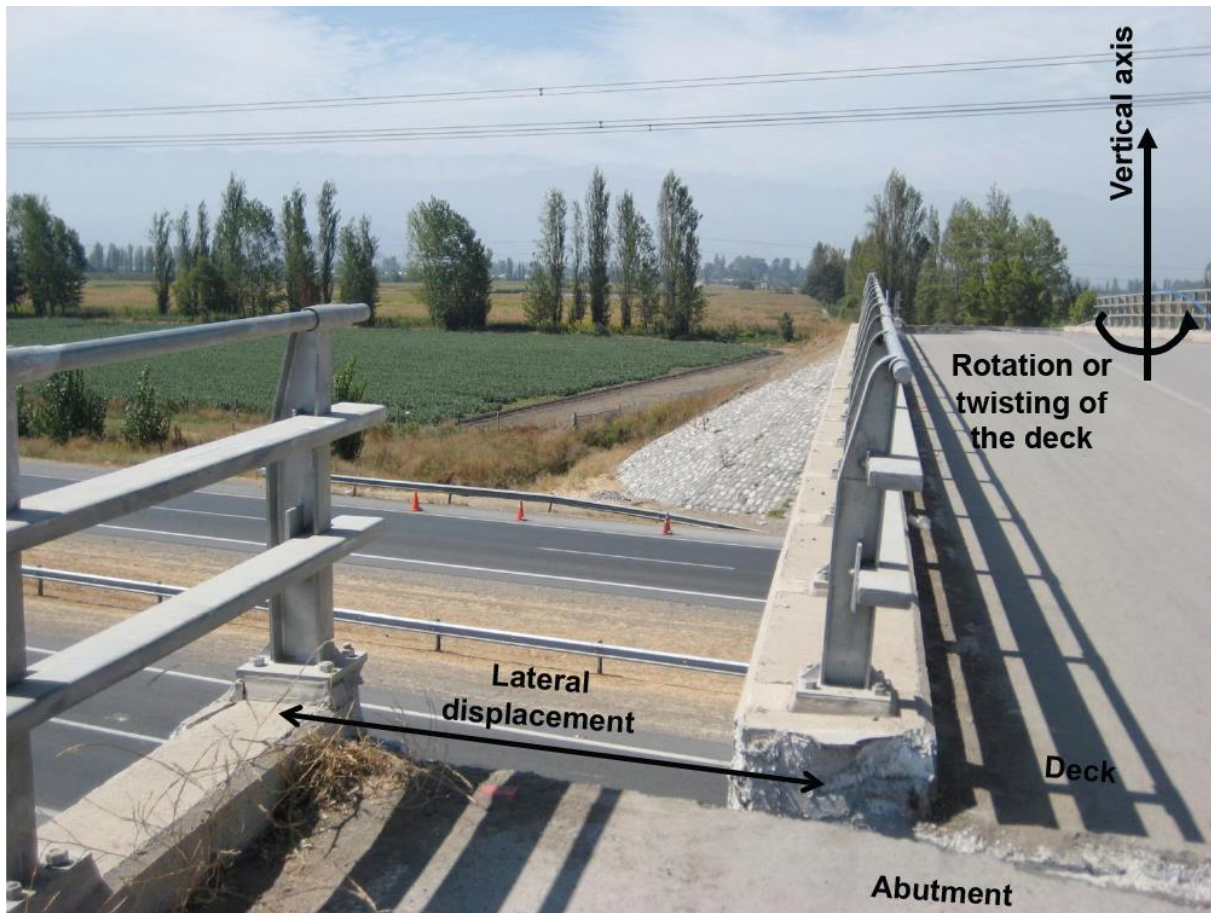
Οι γέφυρες των Άνω Διαβάσεων της περιοχής αυτής είναι τυπικώς δύο ανοιγμάτων με φορείς καταστρώματος από προεντεταμένες δοκούς.

- **Βλάβες**

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι βλάβες αποδίδονται στην κακή συμπεριφορά λοξών καταστρωμάτων και κυρίως σε γέφυρες χωρίς διαδοκίδες στηρίξεως.

Δεν παρατηρήθηκαν βλάβες στα μεσόβαθρα.







4.2.2. Ποταμογέφυρες περιοχής Concepcion

Το σύνολο των γεφυρών αυτών τέθηκαν εκτός λειτουργίας αμέσως μετά το σεισμό.

(i) Παλαιά γέφυρα ποταμού Bio-Bio

- **Περιγραφή συστήματος γεφυρώσεως**

Αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό μικρού μήκους ανεξάρτητων ανοιγμάτων με φορείς από χαλύβδινες δοκούς εδραζόμενες σε τοιχοειδή μεσόβαθρα.

- **Βλάβες**

Η κατάρρευση αποδίδεται στην ανεπάρκεια του εύρους εδράσεως των δοκών στα μεσόβαθρα.



(ii) Γέφυρα Liacolen

Η γέφυρα αυτή συγκεντρώνει την κίνηση από τις γειτονικές οδούς και τον Αυτοκινητόδρομο και την μεταφέρει πάνω από τον ποταμό

- **Περιγραφή συστήματος γεφυρώσεως**

Το συνολικό έργο περιλαμβάνει μια ποικιλία κλάδων με φορείς ανομοιόμορφης ακαμψίας που συνέρχονται σε ένα εκτεταμένο κοινό μεσόβαθρο.

- **Βλάβες**

Οι καταρρεύσεις αποδίδονται στην ανομοιομορφία των ακαμψιών, καθώς και σε πιθανολογούμενη ρευστοποίηση λόγω της οποίας ενδέχεται να μετακινήθηκαν οι κλάδοι των προσβάσεων προς τον ποταμό.

Η μετακίνηση αυτή οδήγησε στην απώλεια εδράσεως μερικών κλάδων.





(iii) Γέφυρα ποταμού Juan - Pablo

- **Περιγραφή συστήματος γεφυρώσεως**

Γέφυρα πολλών ανοιγμάτων με φορείς καταστρώματος από προεντεταμένες δοκούς σε συνδυασμό με συνεχή πλάκα καταστρώματος.

Το ανατολικό άκρο της γέφυρας μετακινήθηκε προς το εσωτερικό του ποταμού με αποτέλεσμα τη διατμητικής μορφής θραύση ενός κοντού - δύσκαμπτου δίστυλου βάρθρου.

- **Βλάβες**

Χάρης στην πλάκα συνεχείας, το κατάστρωμα δεν κατέρρευσε αλλά λόγω σημαντικών ανωμαλιών στην επιφάνεια κυκλοφορίας (που υποδηλώνουν πτώση των δοκών από τα εφέδρανα) αποκλείστηκε η κυκλοφορία.





4.2.3. Γέφυρα Tabul

- **Περιγραφή συστήματος γεφυρώσεως**

Πρόκειται για γέφυρα οκτώ ανεξάρτητων ανοιγμάτων με φορείς καταστρωμάτων από χαλύβδινες δοκούς.

- **Βλάβες**

Και τα οκτώ ανοίγματα κατέρρευσαν, ενώ τα τοιχοειδούς μορφής μεσόβαθρα υπέστησαν στροφή περί τον οριζόντιο εγκάρσιο άξονα.

Θεωρείται ότι το κύριο αίτιο ήταν η εκτεταμένη ρευστοποίηση της ευρύτερης περιοχής, ενώ παραλλήλως συνέτεινε στην πτώση των καταστρωμάτων το τελείως ανεπαρκές (0,38m) πλάτος εδράσεως.





4.2.4. Γέφυρες Αυτοκινητοδρόμου Santiago

- **Βλάβες**

Οι βλάβες περιορίζονται στα καταστρώματα των γεφυρών όπου παρατηρήθηκαν θραύσεις και τοπικές αστοχίες αλλά και περιπτώσεις απώλειας εδράσεως.

Δεν παρατηρήθηκαν βλάβες στους κορμούς των μεσοβάθρων.

Σε πολλές περιπτώσεις οι βλάβες αποδόθηκαν σε ειδικές εδαφικές συνθήκες στις θέσεις των γεφυρών.





4.3. Διδάγματα από τις παρατηρήσεις βλαβών

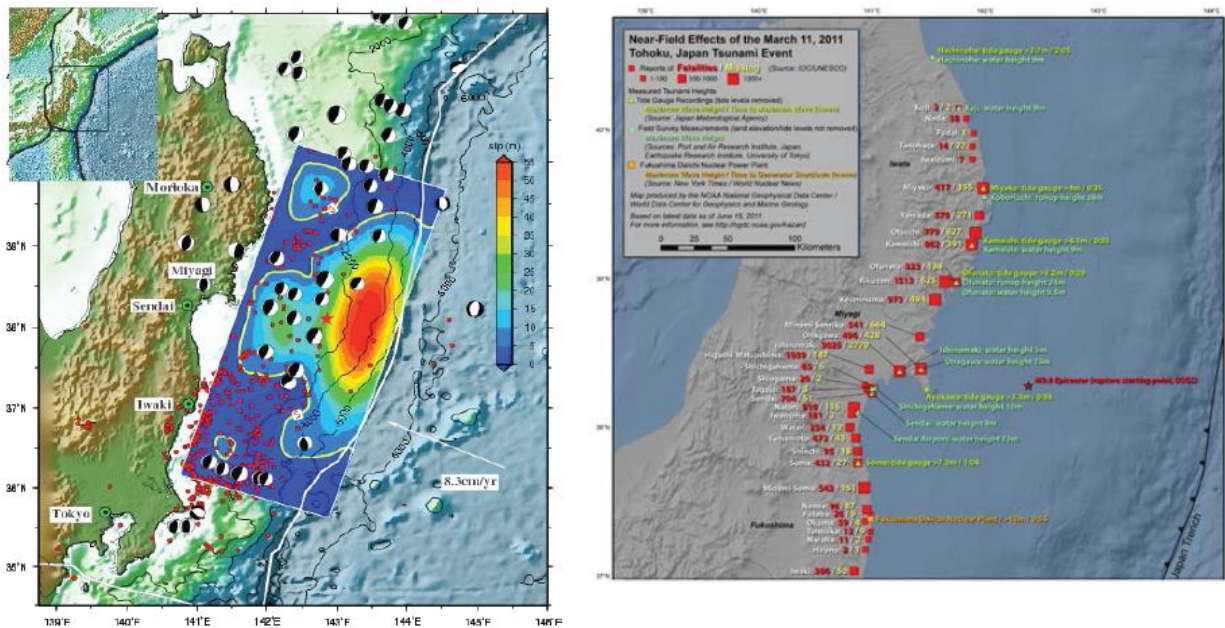
Οι διαπιστώσεις και τα ευρήματα των αναγνωριστικών μελετών βοηθούν στην εξής συνοπτική κατάταξη των αιτιών προκλήσεως βλαβών.

1. Απρόβλεπτη συμπεριφορά λοξών και καμπύλων γεφυρών.
2. Ανεπαρκής αντοχή προεντεταμένων δοκών και απουσία διαδοκίδων εγκάρσιας συνδέσεως.
3. Ανεπαρκές πλάτος εδράσεως.
4. Απουσία διατμητικών συνδέσμων στις θέσεις εδράσεως.
5. Ανεπαρκής διατμητική αντοχή κορμών μεσοβάθρων.
6. Ανεπάρκεια Φέρουσας Ικανότητας θεμελιώσεων - Ρευστοποιήσεις.

5. ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΗΟΚΥ-ΟΚΙ 2011, ΙΑΠΩΝΙΑ [ΓΟ1], [ΓΟ2], [ΓΟ3], [ΓΟ4]

5.1. Πληροφοριακά στοιχεία

- Τόπος: Θαλάσσιος χώρος 100χλμ. από τις ακτές Ειρηνικού της ανατολικής Ιαπωνίας
- Χρόνος: 11 Μαρτίου 2011, ώρα 14:46 (τοπική)
- Μέγεθος: Μ 9.0
- Συνέπειες:
 - Εκτεταμένες καταστροφές σε μια ευρεία περιοχή της ανατολικής Ιαπωνίας.



Ο σεισμός αυτός, εκτός όλων των άλλων πολύτιμων πληροφοριών, έδωσε και τη δυνατότητα αξιολογήσεως των νέων Ιαπωνικών αντιλήψεων περί του Αντισεισμικού Σχεδιασμού.

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι εκτός από βλάβες λόγω σεισμικών μετακινήσεων του εδάφους, ένας μεγάλος αριθμός καταστροφών προκλήθηκε λόγω του επακολουθήσαντος γιγαντιαίου Τσουνάμι.

Στα επόμενα γίνονται ξεχωριστές αναφορές των βλαβών, αντιστοίχως προς το αίτιο της προκλήσεως.

5.2. Στατιστικά στοιχεία

Σύμφωνα με επίσημα Ιαπωνικά στοιχεία, τις πληγείσες περιοχές υπήρχαν συνολικώς 1909 γέφυρες.

Στατιστικά στοιχεία για τις γέφυρες που επιθεωρήθηκαν, καθώς και για το είδος ή και τη θέση των βλαβών εμφανίζονται στους κάτωθι πίνακες.

Type of bridges	No. of Bridges inspected	No. of bridges which could not be investigated	No. of bridges undamaged	No. of bridges damaged by ground shaking	No. of bridges submerged by tsunami
Main bridges	1,157	0	445	619	93
Pedestrian bridges on main routes	415	0	167	190	58
Bridges over main routes	337	3	255	76	3
Total	1,909	3	867	885	154

Locations	Damage modes	No. of bridges		
		National roads	Miyagi-ken roads	Total
Number of bridges inspected (main and pedestrian)		1,572	1,309	2,881
Number of damaged bridges due to ground shaking and tsunami		960	592	1552
Overall bridge	Collapse, Offset of superstructures	27 (2.8%)	34 (5.7%)	61 (3.9%)
Superstructures	Cracks and deformation of superstructures	88 (9.2%)	42 (7.1%)	130 (8.4%)
Pavements	Cracks	93 (9.7%)	67 (11.3%)	160 (10.3%)
Expansion joints	Cracks near joints, opening and closure, settlement	173 (18.0%)	85 (14.4%)	258 (16.6%)
Handrails	Tilting of handrails by tsunami	149 (15.5%)	126 (21.3%)	275 (17.7%)
Bearings	Failure of bearings including concrete mortar under bearings	147 (15.3%)	73 (12.3%)	220 (14.2%)
Bearing support	Failure of cap beams under bearings	60 (6.3%)	20 (3.4%)	80 (5.2%)
Unseating prevention devices	Failure of anchor bars or connections	32 (3.3%)	23 (3.9%)	55 (3.5%)
Abutment wall and parapet walls	Cracking or spalling of cover concrete	126 (13.1%)	89 (15.0%)	215 (13.9%)
Side wall of abutments	Cracking or spalling of cover concrete	73 (7.6%)	26 (4.4%)	99 (6.4%)
Backfill of abutments	Settlement	659 (68.6%)	371 (62.7%)	1,030 (66.4%)
Piers and columns	Cracking or spalling of cover concrete	42 (4.4%)	12 (2.0%)	54 (3.5%)
Foundations	Scouring due to tsunami	46 (4.8%)	9 (1.5%)	55 (3.5%)

Note: Many bridges suffered more than one type of damage, and as a consequence, the sum of percentages in the above table is more than 100%.

Είναι αξιοσημείωτο ότι παρά την πρόκληση σοβαρών βλαβών, η σεισμική μετακίνηση εδάφους από μόνη της δεν οδήγησε σε καταρρεύσεις.

Επιπλέον στοιχεία για το βαθμό βλάβης και τη δυνατότητα άμεσης χρήσεως ενός συνόλου 1572 γεφυρών (1157 οδογέφυρες και 415 πεζογέφυρες), δίδονται στον πιο κάτω πίνακα.

(a) Damage degree

Damage degree	No. of bridges
A _s : Collapse or extensive deterioration	12 (0.7%)
A: Major damage	13 (0.8%)
N: moderate damage	32 (2.0%)
C: Minor damage	103 (6.6%)
D: No damage	1,412 (89.8%)
Total	1,572 (100%)

(b) Serviceability

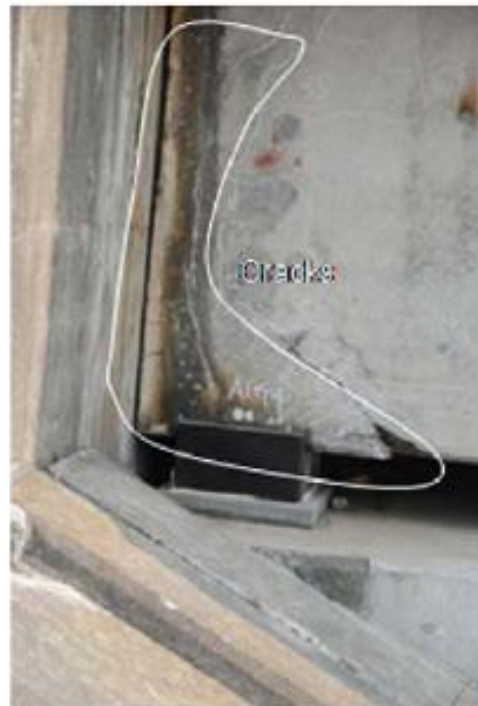
Serviceability	No. of bridges
A: Closed	29 (1.8%)
B: Traffic is possible with care	433 (27.5%)
C: No effect on traffic	1,110 (70.6%)
Total	1,572 (100%)

5.3. Βλάβες λόγω σεισμικής μετακινήσεως εδαφών

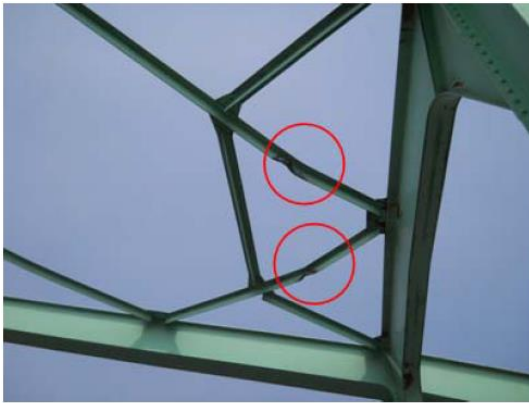
Οι θέσεις και τα μέλη των ανωδομών των οδικών γεφυρών με τη μεγαλύτερη συχνότητα αναπτύξεως βλαβών, έχουν συνοπτικώς ως εξής:

(1) Άκρα φορέων καταστρώματος

Οι θέσεις αυτές είναι κρίσιμες λόγω της ταυτόχρονης δράσεως των σεισμικών δυνάμεων (αδρανειακές ή και λόγω προσκρούσεως σε γειτονικά μέλη) της προεντάσεως (μέτωπα αγκυρώσεως) και της αντιδράσεως λόγω μόνιμων φορτίων.



(2) Λυγισμός ή/και θραύση εγκάρσιων μεταλλικών συνδέσμων



Buckling



Fracture

(3) Εφέδρανα και αρμοί

Περισσότερο τρωτά εμφανίζονται τα χαλύβδινα εφέδρανα, ενώ τα ελαστομεταλλικά παρά τις μεμονωμένες βλάβες εμφανίζονται να έχουν καλύτερη συμπεριφορά.

Ομοίως υψηλή, αλλά αναμενόμενη και σχετικώς αποδεκτή τρωτότητα εμφανίζουν και οι αρμοί διαστολής.



Deformation



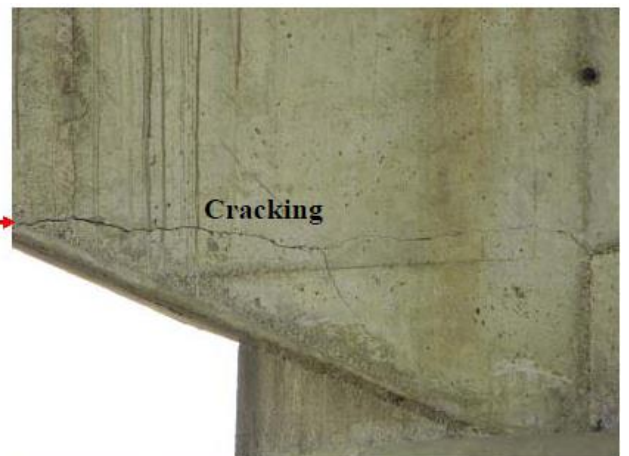
Fracture



Abnormal gap (movable bearing)



(4) Αντιστοίχως, αρκετές βλάβες παρατηρήθηκαν σε στύλους μεσοβάθρων.





- (5) Τέλος, παραμένουσες εγκάρσιες μετακινήσεις διαπιστώθηκαν σε περιπτώσεις όπως π.χ. στη γέφυρα Yuriage.



5.4. Καταστροφές και βλάβες από το Τσουνάμι

Το γιγαντιαίο Τσουνάμι που πυροδότησε ο σεισμός Tohoku-Okii προκάλεσε ασυνήθιστα μεγάλες καταστροφές οι οποίες στην περίπτωση των γεφυρών εκδηλώθηκαν με τη μορφή της απώλειας καταστρωμάτων που παρασύρθηκαν από τη ροή, την υποσκαφή θεμελιώσεως, καθώς και των κρούσεων από μεγάλου μεγέθους και βάρους φερτών.

Από το μεγάλο πλήθος των περιστατικών, επιλέγεται να αναφερθούν οι εξής χαρακτηριστικές περιπτώσεις:

- α. Γέφυρα Utatsu
- β. Γέφυρα Koizumi

α. Γέφυρα Utatsu

Πρόκειται για γέφυρα 12 ανεξάρτητων ανοιγμάτων μεταβλητού μεγέθους από 14,40 έως 40,70m με φορείς καταστρωμάτων από προεντεταμένες δοκούς.

Μετά από τη θραύση των διατμητικών συνδέσμων οι ανωδομές των οκτώ κεντρικών ανοιγμάτων παρεσύρθησαν από τη ροή.

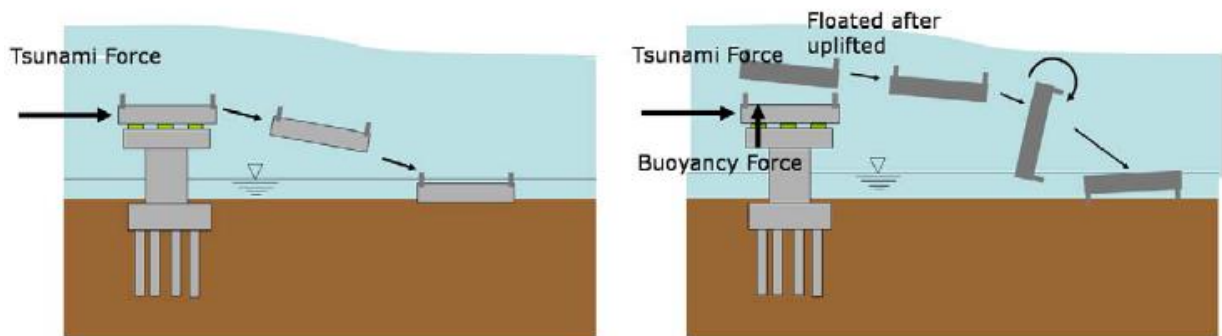
Η γέφυρα είχε επισκευαστεί το 2006.



Θραύση διατμητικών συνδέσμων



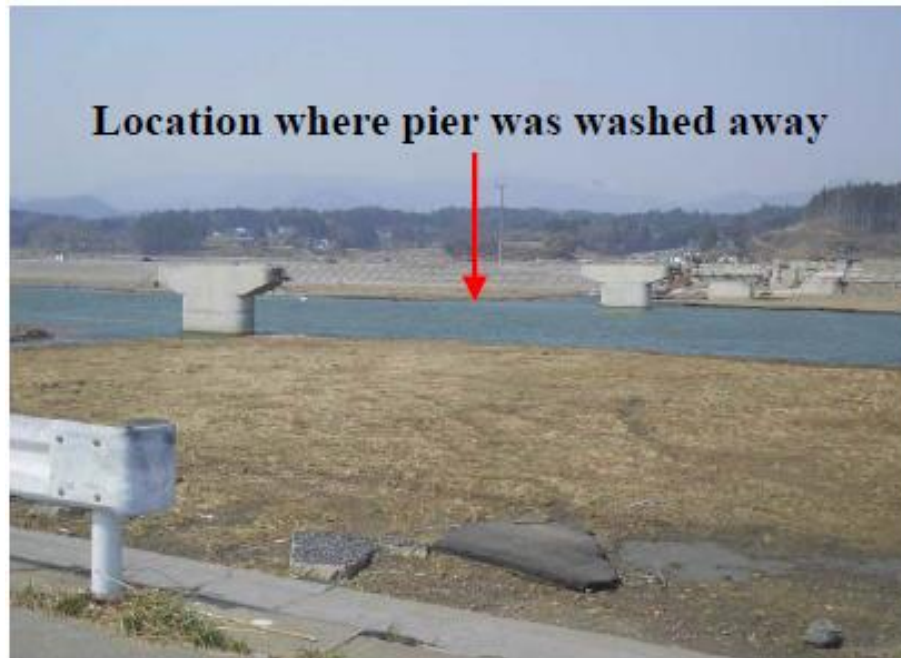
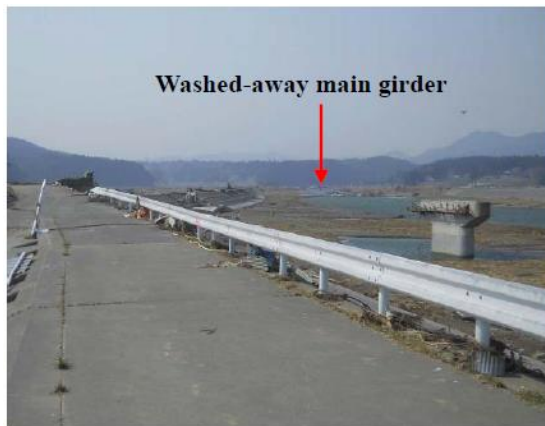
Ένα ενδεχόμενο σενάριο ερμηνείας της απώλειας των καταστροφμάτων, εμφανίζεται στις κατωτέρω εικόνες.



β. Γέφυρα Koizumi

Πρόκειται για γέφυρα πολλών ανοιγμάτων με κατάστρωμα από χαλύβδινες κύριες δοκούς.

Μετά από τη θραύση των διατμητικών συνδέσμων, το κατάστρωμα αποκόπηκε από τα βάθρα, παρασύρθηκε και μεταφέρθηκε σε απόσταση 300m περίπου.





5.5. Σύνοψη διαπιστώσεων

- Οι μηχανισμοί αστοχίας υπό δράσεις τσουνάμι απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση.
- Συντηρητική διαστασιολόγηση των διατάξεων ανασχέσεως ανυψώσεως ενεργεί ευεργετικά στις περιπτώσεις τσουνάμι.

ΣΥΝΟΨΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ - ΔΙΔΑΓΜΑΤΑ

- Οι υποδομές των Αυτοκινητοδρόμων που διατρέχουν κρίσιμες σεισμικώς περιοχές έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες μετά από σεισμικά συμβάντα σημαντικού μεγέθους.
- Η παρατήρηση, καταγραφή και περαιτέρω αναλυτική επεξεργασία των πραγματικών περιπτώσεων αστοχίας αποτελεί πολύτιμη βάση, αρχικώς για την ευρύτερη κατανόηση των μηχανισμών εκδηλώσεως αστοχίας και εν συνεχεία για τη βελτίωση των μεθοδολογιών αντισεισμικού σχεδιασμού.
- Είναι παρήγορο ότι έργα που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τους σύγχρονους Κανονισμούς και αντιλήψεις συμπεριφέρθηκαν ικανοποιητικά σε περιπτώσεις πρόσφατων σεισμών ιδιαίτερα μεγάλου μεγέθους.
- Αντίστοιχες θετικές ενδείξεις καλής συμπεριφοράς εμφανίζονται να έχουν και υφιστάμενες γέφυρες που αναβαθμίστηκαν ή/και επισκευάστηκαν με εφαρμογή σύγχρονων αντιλήψεων.
- Είναι επιπλέον πρόδηλη η ανάγκη δημιουργίας ενός συστήματος προβλέψεως - προγραμματισμού και δέσμης δράσεων χάρις στο οποίο θα περιορίζονται οι δυσμενείς επιπτώσεις ενός σεισμού τόσο σε ότι αφορά στις ενδεχόμενες δομητικές βλάβες όσο και στην εν γένει λειτουργία του Αυτοκινητοδρόμου.
- Προς το σκοπό αυτό είναι χρήσιμο να διατίθενται, για τις γέφυρες ενός Αυτοκινητοδρόμου, στοιχεία (πιθανοτικής φύσεως) για το βαθμό βλάβης που ενδέχεται να αναπτυχθεί σε κάθε συγκεκριμένο τύπο γεφυρώσεως ανάλογα με το μέγεθος της σεισμικής επιταχύνσεως του εδάφους.
- Τέτοια στοιχεία εμφανίζονται υπό μορφή διαγραμμάτων, γνωστών διεθνώς ως καμπύλες τρωτότητας (fragility curves).