

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ - ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

**ΦΩΤΗΣ ΤΟΥΡΟΥΚΗΣ**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ – ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

**Δρ. Δημήτριος Μπάρος**

Πανεπ. Υπότροφος Τ.Ε.Ι.

ΠΑΤΡΑ, 2015

## ***ΠΡΟΛΟΓΟΣ***

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στις βλάβες που διαπιστώνονται σε διάφορα Τεχνικά Έργα λόγω της χρήσης τους αλλά και της επίδρασης φυσικών φαινομένων (σεισμών κ.α.) στις κατασκευές. Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στα είδη βλαβών, στην διαδικασία καταγραφής αυτών καθώς και στους διαθέσιμους τρόπους αποκατάστασης τους.

Έχοντας ολοκληρώσει την εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Δρ. Μπάρο Δημήτριο, Πολιτικό Μηχανικό, για την ευκαιρία που μου έδωσε ώστε να ασχοληθώ με την εν λόγω εργασία.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τις βλάβες που ενδέχεται να εμφανίσουν τεχνικά έργα μετά την κατασκευή τους και τις διαδικασίες και μεθόδους καταγραφής (ενόργανής και μη) και επισκευής τους. Η εργασία είναι δομημένη σε τέσσερα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη, εισαγωγική αναφορά στα Τεχνικά έργα. Στη συνέχεια γίνεται μία παρουσίαση των διαφόρων βλαβών που μπορεί να προκληθούν σε αυτά (δομικού χαρακτήρα και άλλες) καθώς και στις επιπτώσεις τους στην ασφάλεια και την λειτουργία των έργων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία παρακολούθησης (ενόργανής και μη) τεχνικών έργων για βλάβες, καθώς και οι τρόποι διάγνωσης αυτών. Παρουσιάζονται επίσης εφαρμογές των συστημάτων παρακολούθησης σε πραγματικά τεχνικά έργα υποδομής (γέφυρες και φράγματα), όπου αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι τεχνικές και μέθοδοι επέμβασης και επισκευής βλαβών διαφόρων κατηγοριών που συζητήθηκαν και παρουσιάστηκαν στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας.

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο διατυπώνονται οι βασικές συμπερασματικές παρατηρήσεις που προέκυψαν από τη ανάλυση του θέματος της εργασίας.

### **Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κείμενου, έχω δε αναφέρει στη Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

**Ο σπουδαστής:**

**ΦΩΤΗΣ ΤΟΥΡΟΥΚΗΣ**

## ***ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ***

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ</b> .....	<b>4</b>
1.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.2 ΒΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΑΙΤΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ. ....	9
1.2.1 Σεισμικές βλάβες σε γέφυρες .....	9
1.2.2 Φθορές σε οδοστρώματα .....	12
1.2.3 Άλλες βλάβες σε έργα οδοποιίας λόγω παλαιότητας και χρήσης τους .....	22
1.2.3 Βλάβες σε φράγματα .....	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΒΛΑΒΩΝ</b> .....	<b>28</b>
2.1 ΑΡΧΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΓΙΑ ΤΥΧΟΥΣΕΣ ΒΛΑΒΕΣ.....	28
2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΑΠΟ ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	31
2.3 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	33
2.3.1 Επισήμανση φθορών .....	33
2.3.2 Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ) .....	34
2.4 ΕΝΟΡΓΑΝΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΓΕΦΥΡΩΝ – ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ .....	36
2.5 ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΔΟΜΙΚΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ .....	46
2.5.1 Μέθοδοι αποτίμησης τρωτότητας γεφυρών .....	48
2.6 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ – Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ. 50	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΒΛΑΒΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ</b> .....	<b>55</b>
3.1 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΕ ΓΕΦΥΡΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....	55
3.1.1 Έλεγχος και επισκευές βλαβών από σεισμούς .....	55
3.1.2 Έλεγχος και επισκευές άλλων στοιχείων.....	59
3.2 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΕ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ .....	61
3.3 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ.....	65
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>69</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>70</b>

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ**

## **1.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ως «έργο» νοείται κάθε νέα κατασκευή ή επέκταση ή ανακαίνιση ή επισκευή ή συντήρηση και η οικονομικά ή τεχνικά αυτοτελής λειτουργία, καθώς και κάθε σχετική ερευνητική εργασία, που απαιτεί τεχνική γνώση και επέμβαση.

Ως «Δημόσια έργα», που είναι και η πλέον συνήθης στην Ελλάδα κατηγορία μεγάλων τεχνικών έργων, καλούμε όλα τα έργα που εκτελούν φορείς του δημόσιου τομέα και συνδέονται με οποιοδήποτε τρόπο με το έδαφος, το υπέδαφος ή τον υποθαλάσσιο χώρο, όπως και τα πλωτά τμήματα των τεχνικών έργων.

Γενικά, διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες Τεχνικών Έργων [1]:

### **1) Μεταφορές**

- Αυτοκινητόδρομοι
- Σιδηρόδρομοι
- Λιμάνια
- Αεροδρόμια
- Εμπορευματικοί Σταθμοί
- Σταθμός διαμετακόμισης

### **2) Περιβάλλον**

- Ύδρευση
- Αποχέτευση
- Διαχείριση αποβλήτων
- Διαχείριση υδάτων

### **3) Ενέργεια**

- Παραγωγή
- Αποθήκευση
- Μεταφορά

### **4) Τηλεπικοινωνίες**

- Ενσύρματες
- Ασύρματες

### **5) Υποδομή Πρωτογενούς Τομέα**

- Αρδεύσεις
- Στραγγίσεις
- Αποθήκευση – μεταφορά αγροτικών προϊόντων
- Υποδομή αλιείας (αλιευτικά καταφύγια, αποθήκευση προϊόντων)
- Υποδομή κτηνοτροφίας

### **6) Κοινωνική Υποδομή**

- Εκπαιδευτικά κτίρια
- Κτίρια υγειονομικής Περίθαλψης
- Κτίρια κοινωνικής προστασίας
- Υποδομή τουρισμού
- Υποδομή πολιτισμού
- Υποδομή Οικιστικής Οργάνωσης

Ένας άλλος διαχωρισμός των Τεχνικών έργων μπορεί να προκύψει αν ληφθούν υπόψιν οι κατηγορίες των Εργοληπτικών Πτυχίων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1 και 1.2.

Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα τα σημαντικότερα τεχνικά έργα που κατασκευάζονται αφορούν τις συγκοινωνίες και, πέραν της οδοποιίας (Εικόνα 1.1), αφορούν και την κατασκευή γεφυρών (Εικόνα 1.2) και λιμανιών (νέων ή επέκταση υφιστάμενων, Εικόνα 1.3), ενώ συνεχώς κατασκευάζονται και μικρότερης συνήθως κλίμακας υδραυλικά έργα (Εικόνα 1.4) και γενικότερα έργα που υποστηρίζουν δίκτυα κοινής ωφέλειας.

Όλα τα τεχνικά έργα, με την πάροδο του χρόνου και κάτω από τις συνθήκες χρήσης τους εμφανίζουν φθορές, μικρότερες και μεγαλύτερες. Δεδομένης της σημασίας των έργων, ιδιαίτερα αυτών που εξυπηρετούν σημαντικές υποδομές και λειτουργίες, έχουν αναπτυχθεί διαδικασίες για την ανίχνευση των βλαβών αυτών. Επίσης πολλές είναι και οι τεχνικές επέμβασης και επισκευής βλαβών σε τεχνικά έργα που έχουν στόχο να παρατείνουν το χρόνο χρήσης τους.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μία προσπάθεια καταγραφής και παρουσίασης των σημαντικότερων μέσων καταγραφής βλαβών και των μεθόδων που επιτρέπουν την επισκευή των τεχνικών έργων με στόχο την «επιστροφή» τους στην προ βλάβης κατάστασή τους.



**Εικόνα 1.1** Τυπικό έργο οδοποιίας - διάστρωση ασφαλτικής στρώσης (finisher) και συμπύκνωση αυτής (οδοστρωτήρας) [16].

### Ειδικότητες ΑΕΙ

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΡΓΩΝ & ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΠΟΛΙΤΙΚΟΙ ΜΗΧΗΚΟΙ	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΕΣ ΜΗΧΗΚΟΙ	ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΙ ΜΗΧΗΚΟΙ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΜΗΧΗΚΟΙ	ΝΑΥΠΗΓΟΙ ΜΗΧΗΚΟΙ	ΝΑΥΠΗΓΟΙ ΜΗΧΗΚΟΙ	ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ	ΜΕΤΑΛΛΟΥΧΟΙ ΜΗΧΗΚΟΙ	ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΗΚΟΙ	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΜΗΧΗΚΟΙ	ΓΕΩΠΟΝΟΙ ΔΑΣΩΝ	ΓΕΩΔ.
ΟΔΟΠΟΙΙΑ	✓		✓									
ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ	✓	✓	✓									
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ	✓		✓									
ΛΙΜΕΝΙΚΑ	✓		✓									
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ				✓	✓							
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ				✓	✓							
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ/ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ	✓			✓	✓		✓	✓	✓			
<b>ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ</b>												
ΠΛΩΤΑ & ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΝΑΥΠΗΓΕΙΩΝ					✓							
ΕΡΓΑ ΣΗΡΑΓΓΩΝ							✓					✓
ΕΡΓΑ ΑΠΟΚΑΛΥΨΕΩΣ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ							✓					
ΕΡΓΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ							✓					✓
ΕΡΓΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ & ΥΓΡΩΝ, ΣΤΕΡΕΩΝ & ΑΕΡΙΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ								✓	✓			
ΕΡΓΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΕΞΟΓΛΙΣΜΟΥ										✓		
ΕΡΓΑ ΠΡΑΣΙΝΟΥ												✓

Πίνακας 1.1 Κατηγορίες εργοληπτικών πτυχίων, πτυχιούχοι ΑΕΙ [2].

**Ειδικότητες ΤΕΙ**

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ & ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΠΟΛΙΤΙΚΟΙ ΥΠΟΜΟΧΟΙ	ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΥΠΟΜΟΧΟΙ ΜΗΧΛΟΙ ΥΠΟΜΟΧΟΙ	Τ.Ε.Ι. ΠΟΛΙΚΟΙ ΔΟΜΙΚΟΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΑΣΤΕΜ ΤΟΝ ΚΑΤΕΕ ΤΕΧΝ. ΠΟΛΙΚΟΙ ΣΥΓΚΟΙΝΙΚΩΝ	ΤΕΧΝ. ΠΟΛΙΚΟΙ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΑΣΤΕΜ ΤΟΝ ΚΑΤΕΕ ΤΕΧΝ. ΠΟΛΙΚΟΙ ΣΥΓΚΟΙΝΙΚΩΝ & ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	Τ.Ε.Ι. ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΙ ΑΣΤΕΜ ΤΟΝ ΚΑΤΕΕ - ΤΕΧΝ. ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΙ	Τ.Ε.Ι. ΜΗΧΛΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΓΚ. ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΣΤΕΜ ΤΟΝ ΚΑΤΕΕ - ΤΕΧΝ. ΜΗΧΛΟΙ - ΜΗΧΛΟΙ	Τ.Ε.Ι. ΗΛΕΚΤΡ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΣΤΕΜ ΤΟΝ ΚΑΤΕΕ - ΤΕΧΝ. ΗΛΓΤΟΙ ΜΗΧΛΟΙ	Τ.Ε.Ι. ΝΑΥΠΗΓΟΙ ΥΠΟΜΟΧΟΙ ΑΣΤΕΜ ΤΟΝ ΚΑΤΕΕ - ΤΕΧΝ. ΝΑΥΠΗΓΟΙ	Τ.Ε.Ι. ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛ. ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΜΟΧΟΝ ΑΣΤΕΜ ΤΟΝ ΚΑΤΕΕ - ΤΕΧΝ. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ	Τ.Ε.Ι. ΤΕΧΝ. ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΑΣΤΕΜ ΤΟΝ ΚΑΤΕΕ ΧΗΜΙΚΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΟΙ ΔΑΣΟΠΟΝΙΑΣ
ΟΔΟΠΟΙΙΑ	✓		✓	✓	✓						
ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ	✓		✓								
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ	✓		✓	✓	✓						
ΛΙΜΕΝΙΚΑ	✓		✓	✓	✓						
ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ		✓			✓	✓	✓				
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ		✓			✓						
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ/ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ	✓	✓	Μόνο για δομικά		✓	✓	✓				
<b>ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ</b>											
ΠΛΩΤΑ & ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΝΑΥΠΗΓΕΙΩΝ								✓			
ΕΡΓΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ									✓		
ΕΡΓΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ										✓	
ΕΡΓΑ ΠΡΑΣΙΝΟΥ											✓

Πίνακας 1.2 Κατηγορίες εργοληπτικών πτυχίων, πτυχιούχοι ΤΕΙ [2].





**Εικόνα 1.2** Κατασκευή βάθρων και καταστρώματος γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου [17].



**Εικόνα 1.3** Τοποθέτηση στοιχείων από σκυρόδεμα εντός της οριοθετημένης θαλάσσιας περιοχής για την κατασκευή κυματοθραύστη [18].



**Εικόνα 1.4** Τοποθέτηση αγωγού κατά μήκος δρόμου εντός διανοιγμένης τάφρου [19].

## 1.2 ΒΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΑΙΤΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ.

Για την καλύτερη κατανόηση των μεθόδων καταγραφής και επισκευής των βλαβών των τεχνικών έργων είναι σκόπιμο να παρουσιασθούν αρχικά τα είδη και οι αιτίες τους. Για το σκοπό αυτό γίνεται στη συνέχεια ενδεικτική αναφορά κυρίως στις βλάβες που μπορεί να παρουσιάσουν δομικά στοιχεία γεφυρών έπειτα από σεισμούς καθώς και στα είδη φθορών που εμφανίζουν τα οδοστρώματα (μη δομικές βλάβες).

### 1.2.1 Σεισμικές βλάβες σε γέφυρες

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. 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. Σε κάθε περίπτωση σοβαρής αστοχίας μίας γέφυρας δημιουργείται πρόβλημα διακοπής της κυκλοφορίας, γεγονός εξαιρετικά ανεπιθύμητο κατά το κρίσιμο χρονικό διάστημα μετά το σεισμό, όπου η λειτουργία του οδικού δικτύου είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση των συνεπειών του σεισμού.

Τα συνηθέστερα είδη βλαβών που μπορεί να υποστεί μία γέφυρα λόγω σεισμού, συνοψίζονται στις ακόλουθες τρεις κύριες κατηγορίες [3]:

1. Απώλεια στήριξης της ανωδομής της γέφυρας στα υποκείμενα ακρόβαθρα ή μεσόβαθρα σε μη σταθερές ακραίες στηρίξεις στη διαμήκη διεύθυνση (Εικόνα 1.5) ή μεταξύ γειτονικών τμημάτων του φορέα σε ενδιάμεσους αρμούς διαχωρισμού διατεταγμένους μέσα στο άνοιγμα λόγω ανεπαρκούς μήκους έδρασης.
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 (Εικόνα 1.6) ή διατμητικού τύπου (Εικόνα 1.7).
3. Βλάβες των ακρόβαθρων ή των θεμελίων των βάθρων λόγω αστοχίας του εδάφους θεμελίωσης (εικόνα 1.8), 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.

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.



**Εικόνα 1.5** Αστοχία λόγω απώλειας στήριξης [3].



**Εικόνα 1.6** Αστοχία καμπτικού τύπου [3].



**Εικόνα 1.7** Αστοχία διατμητικού τύπου [3].



**Εικόνα 1.8** Αστοχία ακρόβαθρου λόγω ρευστοποίησης εδάφους θεμελίωσης [3].

### **1.2.2 Φθορές σε οδοστρώματα**

Η παρουσίαση των κυριότερων φθορών οδοστρωμάτων της παραγράφου αυτής βασίσθηκε και προέρχεται από τα κείμενα (α) *Σημειώσεις μαθήματος εργαστηρίου συγκοινωνιακών έργων, Λουκέρη Ελένη, Πολιτικός Μηχανικός, Πάτρα 2002* και (β) *οδηγίες συντήρησης αυτοκινητοδρόμων, Εγνατία Οδός Α.Ε. , 2004.*

Ως «Φθορά» ονομάζουμε κάθε είδους ανωμαλία η οποία χειροτερεύει της συνθήκες κύλισης των οχημάτων στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Οι φθορές οι οποίες εμφανίζονται σε ένα οδόστρωμα είναι συγχρόνως αιτίες και αποτέλεσμα, διότι οι αρχικές φθορές γίνονται συχνά αιτίες νέων φθορών του ίδιου ή διαφορετικού τύπου. Η εξέλιξή τους είναι ταχύτατη και οδηγούν το οδόστρωμα σε καταστροφή, αν δεν προγραμματιστεί η συντήρησή τους.

Οι φθορές διακρίνονται σε [4,5]:

- Φθορές '**ποσοτικής φύσης**' οι οποίες είναι απόρροια ελλειπών ή και ανακριβών στοιχείων που αφορούντα κυκλοφοριακά, κλιματολογικά και περιβαλλοντικά δεδομένα.
- Φθορές '**ποιοτικής φύσης**' οι οποίες είναι συνέπεια κατασκευαστικών αποκλίσεων από την αρχική μελέτη. Εντοπίζονται σε χρήση υλικών κατώτερης ποιότητας ή ελλιπούς διαδικασίας κατασκευής.
- Φθορές '**τυχαίας φύσης**' οι οποίες εντοπίζονται σε τυχαία γεγονότα ή σε ακραία χρήση των δρόμων. Σεισμοί ή κατολισθήσεις λόγω σεισμών, όπως επίσης χρήση από γεωργικά ή άλλου είδους μηχανήματα που προκαλούν αθέλητες ζημιές.

Οι φθορές του σώματος του οδοστρώματος εξελίσσονται:

- Προοδευτικά σε μεγάλο χρονικό διάστημα: αυτού του είδους οι φθορές είναι η ολισθηρότητα, οι ρωγμές και οι αυλακώσεις, των οποίων η εξέλιξη παρακολουθείται σε σχέση με το χρόνο. Προγραμματίζεται έγκαιρα η συντήρηση αυτών, ώστε να

εμποδιστεί η επέκτασή τους σε σημαντικότερες φθορές, κρίσιμες για το οδόστρωμα, οι οποίες μειώνουν την ασφάλεια και την άνεση των χρηστών του δρόμου.

- *Γρήγορα, ξαφνικά, σε ελάχιστο χρονικό διάστημα:* τέτοιες φθορές είναι οι μεγάλες λακούβες, οι διογκώσεις και οι καθιζήσεις, των οποίων η εξέλιξη δεν παρακολουθείται, λόγω της έλλειψης χρονικού περιθωρίου, διότι μειώνουν την ασφάλεια και την άνεση των χρηστών της οδού. Προγραμματίζεται σύντομα η συντήρησή τους διότι βάζουν σε κίνδυνο το οδόστρωμα.

### **1.2.2.1 Φθορές εύκαμπτων οδοστρωμάτων**

Όλες οι φθορές που εμφανίζονται στα εύκαμπτα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ρηγματώσεις, στη δεύτερη οι παραμορφώσεις παντός είδους, στην τρίτη οι αποσαθρώσεις και στην τέταρτη η λείανση της επιφάνειας κύλισης.

Αναλυτική περιγραφή όλων των αναπτυσσόμενων φθορών μαζί με τα πιθανά αίτια που τις προκαλούν δίνεται παρακάτω. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι, για τον καθορισμό της καταλληλότερης συντήρησης-θεραπείας των φθορών θα πρέπει πρώτα να καθορίζεται επακριβώς η κύρια αιτία που προκάλεσε τη φθορά. Οι μέθοδοι θεραπείας παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο της πτυχιακής εργασίας.

#### **(A) Ρηγματώσεις (cracking)**

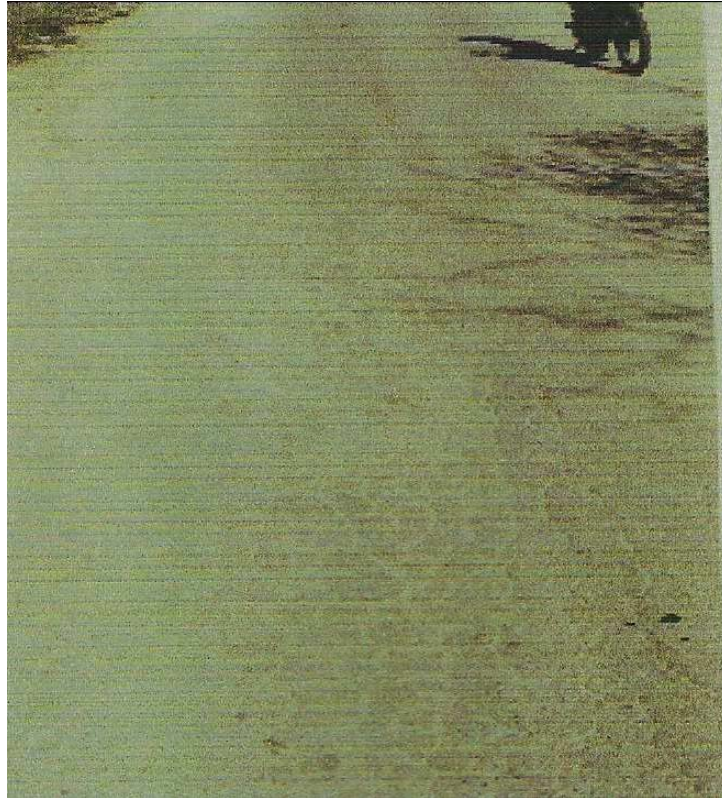
Οι μορφές των επιφανειακών ρηγματώσεων του οδοστρώματος ποικίλλουν και οφείλονται σε διάφορες αιτίες. Σε πολλές περιπτώσεις η έγκαιρη απλή σφράγιση της ρωγμής ή των ρωγμών είναι η σωστότερη και αποτελεσματικότερη συντήρηση. Σε άλλες περιπτώσεις όμως, είναι αναγκαία η πλήρης εξυγίανση της περιοχής που προσβλήθηκε.

##### **(α) Ρωγμές τύπου αλλιγάτορα (alligator cracks) ή ρωγμές συρρίκνωσης (shrinkage cracks)**

Οι ρωγμές τύπου αλλιγάτορα έχουν συνήθως ακανόνιστη μορφή. Είναι διακλαδιζόμενες και αλληλοσυνδεόμενες ρωγμές που σχηματίζουν πολυγωνικά κομμάτια (μπλοκ) με οξείες γωνίες όμοια με αυτά του δέρματος του αλιγάτορα. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα κομμάτια αυτά δίνουν την εντύπωση ότι είναι σχεδόν έτοιμα να αποκολληθούν (Εικόνα 1.9).

Τα αίτια που προκαλούν τις ρηγματώσεις αυτές τις περισσότερες φορές, είναι το μεγάλο βέλος κάμψης που αναπτύσσεται στις ασφαλτικές στρώσεις του οδοστρώματος λόγω μειωμένης φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους ή και της υπόβασης / βάσης. Η μείωση προέρχεται από τη μείωση της φέρουσας ικανότητας των στρώσεων αυτών λόγω εποχιακής αύξησης της υγρασίας στις στρώσεις αυτές ή λόγω κακής αποστράγγισης της βάσης και υπόβασης. Οι ρωγμές στην περίπτωση αυτή συνήθως εμφανίζονται τοπικά και σε περιορισμένη έκταση.

Όταν οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση κατά μήκος του δρόμου, η αιτία εμφάνισής τους είναι διαφορετική. Στην προκειμένη περίπτωση η αιτία(-ες) που προκάλεσε τη φθορά αυτή είναι η πλήρης κόπωση του οδοστρώματος λόγω των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων του οδοστρώματος από τον κυκλοφοριακό φόρτο, σε συνδυασμό πιθανότατα και με την ύπαρξη ασθενούς υπεδάφους ή μειωμένου πάχους υποκείμενων στρώσεων. Το τελευταίο θα πρέπει πάντοτε να ελέγχεται και να καθορίζεται.



**Εικόνα 1.9** Ρωγμές τύπου αλιγάτορα [4,5].

(β) Ρωγμές στα άκρα του οδοστρώματος (edge cracks)

Οι ρωγμές αυτές είναι συνήθως επιμήκεις και εμφανίζονται περίπου 30-50 cm από τα άκρα του οδοστρώματος μετά ή άνευ εγκαρσίων ρωγμών (Εικόνα 1.10).

Οφείλονται κυρίως στην ανεπαρκή υποστήριξη του οδοστρώματος λόγω ενός ή περισσότερων από τους παρακάτω λόγους: κακή συμπύκνωση, κακή αποστράγγιση, δράση παγετού, συρρίκνωση λόγω ξηρασίας του εδάφους της περιοχής ή λόγω μειωμένου πάχους των στρώσεων στα σημεία αυτά.

(γ) Ρωγμές μεταξύ λωρίδων διάστρωσης ή διαπλάτυνσης (lane and widening cracks)

Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται μεταξύ των λωρίδων διάστρωσης ή της διαπλάτυνσης και είναι πάντοτε διαμήκεις (πλην της περίπτωσης διακοπής των εργασιών).

Οφείλονται αποκλειστικά και μόνο σε κακοτεχνία κατά τη διάρκεια της κατασκευής, όπως: διάστρωση τάπητα με μειωμένη ποσότητα ασφαλτομίγματος στη ραφή, κακή ή ανεπαρκή συγκόλληση της κάθετης επιφάνειας της προηγούμενης λωρίδας διάστρωσης και πτώση της θερμοκρασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών. Στην ειδική περίπτωση, που η ρωγμή εμφανίζεται πάνω στο σημείο που έγινε διαπλάτυνση της οδού, το αίτιο πιθανόν να είναι η κακή συμπύκνωση των υποκείμενων νέων στρώσεων. Πλην όμως, στις περιπτώσεις αυτές θα υπάρχει, κατά πάσα πιθανότητα, εμφάνιση και άλλης μορφής αστοχίας του οδοστρώματος (κυρίως καθίζηση).

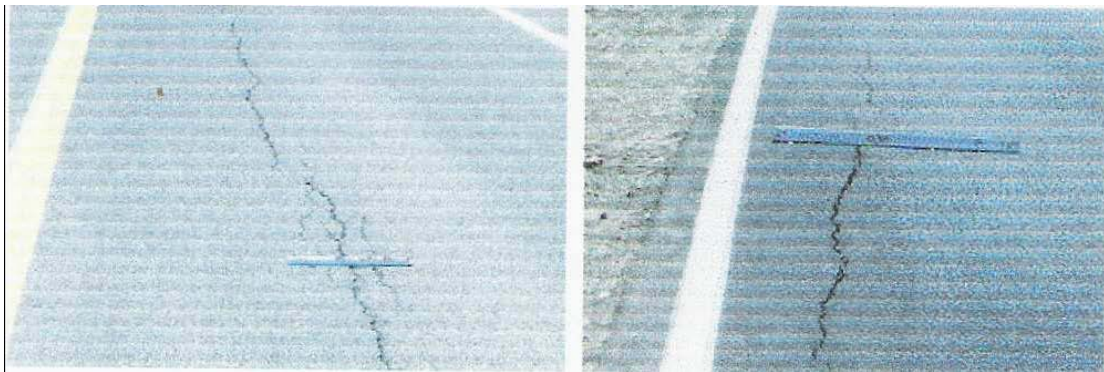


**Εικόνα 1.10** Ρωγμές στα άκρα του οδοστρώματος [4,5].

(δ) Διαμήκειες ρωγμές και εγκάρσιες ρωγμές.

Πρόκειται για διαμήκειες ρηγματώσεις κατά μήκος της οδού, που εμφανίζονται κοντά στον άξονα της οδού ή στα άκρα του οδοστρώματος (Εικόνα 1.11).

Πιθανά αίτια είναι η κακοτεχνία στη συναρμογή των λωρίδων διάστρωσης, κακή αποστράγγιση, μειωμένη αντοχή οδοστρώματος, δράση παγετού, κακή συμπίκνωση κλπ.



**Εικόνα 1.11** Διαμήκης ρωγμές κοντά στον άξονα (αριστερά) και στο άκρο (δεξιά) οδού [4,5].

Αντίστοιχα, οι εγκάρσιες ρωγμές είναι ρηγματώσεις κάθετες προς τον άξονα της οδού. Πιθανά αίτια τους είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες, μειωμένη αντοχή οδοστρώματος, τοπικές αστοχίες κλπ.

(ε) Ρωγμές από ανάκλαση (reflection cracks)

Οι ρωγμές από ανάκλαση εμφανίζονται κατά κανόνα σε πρόσθετες ασφαλτικές στρώσεις (overlays) που διαστρώθηκαν στο παρελθόν για την αποκατάσταση σοβαρών φθορών του οδοστρώματος. Η μορφή και η κατεύθυνσή τους ποικίλλει από διαμήκης, εγκάρσια, διαγώνια ή και μερικώς διακλαδιζόμενη, ανάλογα με τη μορφή που είχαν οι



παλαιές ρωγμές της επισκευασθείσας επιφάνειας. Τυπικές ρωγμές από ανάκλαση είναι αυτές που εμφανίζονται σε ασφαλικές επιστρώσεις πάνω σε δύσκαμπτα οδοστρώματα, ή οδοστρώματα από βάση με ισχνό σκυρόδεμα ή ακόμη σε επιστρώσεις που έγιναν πάνω από παλαιά εγκιβωτισμένα ερείσματα ή διαπλατύσεις.

Τα αίτια που προκαλούν αυτού του είδους τις ρωγμές είναι οι κάθετες και οριζόντιες μετακινήσεις του υποκείμενου οδοστρώματος. Οι μετακινήσεις αυτές μπορεί να οφείλονται σε μετακινήσεις του υπεδάφους, ή στη διόγκωση / συρρίκνωση αυτού λόγω ύπαρξης αργιλικών υλικών σε συνδυασμό με τη μεταβολή των επιπέδων υγρασίας ή στην κάθετη μετακίνηση των πλακών του δύσκαμπτου οδοστρώματος ή στην κάθετη μετακίνηση των ανεξάρτητων ρηγματωμένων κομματιών της παλαιάς επιφάνειας, γενικότερα ή λόγω της ύπαρξης σιμέντου ως σταθεροποιητή.

(στ) Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων (slippage cracks)

Η μορφή των ρωγμών από ολίσθηση των ταπήτων έχει σχήμα "μισοφέγγαρου".

Οι ρωγμές αυτές οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην ολίσθηση του τάπητα κυκλοφορίας επί της υποκείμενης στρώσης λόγω κακής συνοχής αυτών. Η κακή συνοχή των ταπήτων οφείλεται στην απουσία συγκολλητικής επάλειψης ή την ανεπαρκή και κακή συγκολλητική επάλειψη, ή την ύπαρξη μεταξύ των στρώσεων χωμάτων (κυρίως αργιλικών) ή λαδιών αυτοκινήτων ή ύδατος. Οι ρωγμές αυτής της μορφής μπορεί να οφείλονται επίσης, ελάχιστες όμως φορές στη μεγάλη περιεκτικότητα του ασφαλτομίγματος σε λεπτόκοκκα αδρανή ή ακόμη και στην κακή συμπίκνωση της υπερκείμενης στρώσης.

(ζ) Ρωγμές στην τροχιά των τροχών (wheel path cracks)

Οι ρωγμές αυτές, που εμφανίζονται στην τροχιά των τροχών είναι πάντοτε διαμήκεις.

Οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην τοπική θραύση του οδοστρώματος. Η θραύση οφείλεται στη μειωμένη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους (εποχιακή ή μη) σε συνδυασμό με τα μεγάλα αξονικά φορτία που επιβάλλονται και το μειωμένο πάχος των ασφαλικών στρώσεων και της βάσεως (περίπτωση υπό-διαστασιολόγησης του οδοστρώματος). Πλην όμως, η εμφάνιση ρωγμών στην τροχιά των τροχών μπορεί να οφείλεται και στην κόπωση των ασφαλτομιγμάτων (σύνηθες φαινόμενο). Συνεπώς, απαιτείται η συστηματική διερεύνηση των αιτιών και η λήψη των κατάλληλων μέτρων προς αποφυγή περαιτέρω επιδείνωσης.

(η) Ευθύγραμμες ρηγματώσεις κόπωσης (Wheel Track Cracking)

Είναι λεπτές ρωγμές επιμήκεις, παράλληλες προς τον άξονα του δρόμου, που εμφανίζονται πάνω ή κοντά στα ίχνη των τροχών των οχημάτων.

Οφείλονται σε [4,5]:

- Κόπωση του οδοστρώματος
- Ανεπαρκή φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος ή του εδάφους κυκλοφορίας
- Υποχώρηση της στρώσης κυκλοφορίας κάτω από την επίδραση βαριάς κυκλοφορίας (κυρίως την άνοιξη).

Το μήκος τους μεταβάλλεται από μερικά εκατοστά μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα. Εξελίσσονται σε ρηγμάτωση τύπου αλλιγάτορα.

**(B) Παραμορφώσεις (στρεβλώσεις) της επιφάνειας (Surface Distortion).**

Οι παραμορφώσεις ή στρεβλώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι, σε γενικές γραμμές, οι φθορές εκείνες που χαρακτηρίζουν το οδόστρωμα ως μη επίπεδο.

Η εμφάνιση επιφανειακών παραμορφώσεων αυξάνει την επικινδυνότητα της οδού δεδομένου ότι, αναλόγως της ταχύτητας του οχήματος, χάνεται ή μειώνεται η επαφή του ελαστικού με το οδόστρωμα. Επιπροσθέτως, επιφέρουν σημαντική μείωση της άνεσης κατά την οδήγηση. Οι παραμορφώσεις μπορεί να συνοδεύονται και από ρηγματώσεις γεγονός που επιδεινώνει ακόμη περισσότερο την κατάσταση, κυρίως ως προς τη δομική λειτουργία του οδοστρώματος.

Οι παραμορφώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος μπορεί να οφείλονται σε έναν ή περισσότερους από τους παρακάτω λόγους [4,5]:

- στην ελαστοπλαστική συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος
- στη χαμηλή ευστάθεια των ασφαλτομιγμάτων
- στη μη καλή συμπύκνωση όλων των στρώσεων
- στην καθίζηση του υπεδάφους.

**(α) Τοπικά βυθίσματα (Depression/Bird Path).**

Είναι καθίζηση μικρής έκτασης της επιφάνειας του οδοστρώματος συνήθως κυκλικής μορφής. Συνοδεύεται συχνά και από ρηγματώσεις. Δημιουργούνται λεκάνες βάθους δύο ή περισσότερων εκατοστών που συγκρατούν νερό με αποτέλεσμα την επιταχυνόμενη φθορά του οδοστρώματος και τη δημιουργία κινδύνου στην κυκλοφορία των οχημάτων (υδρολίσθηση, παγετός).

Ως πιθανά αίτια αναφέρονται [4,5]:

- Ελλιπής συνάφεια ασφαλτικού σκυροδέματος και βάσης του οδοστρώματος
- Τοπική απώλεια συνοχής της στρώσης της βάσης (κακή ποιότητα υλικών, ανεπαρκές πάχος)
- Χαμηλή αντοχή υπεδάφους

Η φθορά αυτής της μορφής εξελίσσεται σε ρηγμάτωση τύπου αλλιγάτορα και στη συνέχεια σε λάκκο με απόσπαση υλικών.

**(β) Καθίζηση (Subsidence).**

Πρόκειται για υποχώρηση ορατή και αρκετά εκτεταμένη είτε κοντά στο έρεισμα, είτε στη μέση της οδού.

Τα πιθανά αίτια αυτής της βλάβης είναι [4,5]:

- Ανεπαρκές πάχος οδοστρώματος τοπικά
- Ανάμιξη των υλικών των στρώσεων του οδοστρώματος με αργιλικές γαίες.
- Τοπική κακοτεχνία
- Κακή αποστράγγιση.

Την καθίζηση ακολουθούν σύντομα και άλλες βλάβες (κύρια τοπικές ανυψώσεις, ρωγμές τύποι αλλιγάτορα κλπ).

**(γ) Διόγκωση οδοστρώματος κατά την κατεύθυνση της κυκλοφορίας (Shoving Along).**

Πρόκειται για ανύψωση ασφαλτικού υλικού κατά την κατεύθυνση της κυκλοφορίας που συνοδεύεται από παραμόρφωση του τύπου Π1 ή Π2 (ίχνη τροχών) ή από άλλη

παραμόρφωση του οδοστρώματος και συνήθως συνοδεύονται από θραύση του οδοστρώματος στην ανυψωμένη περιοχή.

Τα πιθανά αίτια είναι [4,5]:

- Καθίζηση των κατώτερων στρώσεων του οδοστρώματος
- Κακή συμπύκνωση κατά την κατασκευή
- Τοπική κακοτεχνία του οδοστρώματος (ανεπαρκές πάχος, μόλυνση υλικού κλπ).
- Παγοπληξία της υποδομής ή των κατωτέρων στρώσεων του οδοστρώματος.
- Δυνατόν επίσης να προέρχεται από διαστολή, λόγω υγρασίας, διογκούμενων εδαφών.

Εξελίσσεται σε «μπακλαβάδιασμα» των παραμορφώσεων, αύξηση του βάθους των ιχνών ή των τοπικών καθιζήσεων κλπ.

(δ) Παραμορφώσεις κυματοειδούς μορφής (πτυχώσεις ή ρυτιδώσεις) (corrugations) ή εγκάρσιες πτυχώσεις (Shoving).

Οι ρυτιδώσεις ή πτυχώσεις, είναι μια μορφή πλαστικής μετατόπισης που έχει ως αποτέλεσμα την τοπική εξόγκωση της επιφάνειας, υπό την μορφή κυματώσεων. Στην ειδική περίπτωση που η πλαστική μετατόπιση είναι τοπική, το φαινόμενο ονομάζεται "απώθηση" (shoving).

Οι εγκάρσιες πτυχώσεις είναι οριζόντιες μετακινήσεις των υλικών της επιφανειακής στρώσης, κυρίως προς την κατεύθυνση της κυκλοφορίας.

Οι ρυτιδώσεις ή απωθήσεις εμφανίζονται, συνήθως σε περιοχές όπου αναπτύσσονται υψηλές διαμητικές τάσεις, όπως σε περιοχές πέδησης σε σημεία της οδού όπου η κυκλοφορία σταματά για μικρό χρονικό διάστημα (στάσεις λεωφορείων, διασταυρώσεις, σταθμούς διοδίων κλπ), ή σε ανωφέρειες και κατωφέρειες και δεν συνοδεύονται από ρηγματώσεις, εκτός ορισμένων περιπτώσεων απωθήσεων. Οι ρυτιδώσεις αναπτύσσονται σε όλη την επιφάνεια του οδοστρώματος είναι όμως, περισσότερο έντονες στην κύρια λωρίδα της κυκλοφορίας.

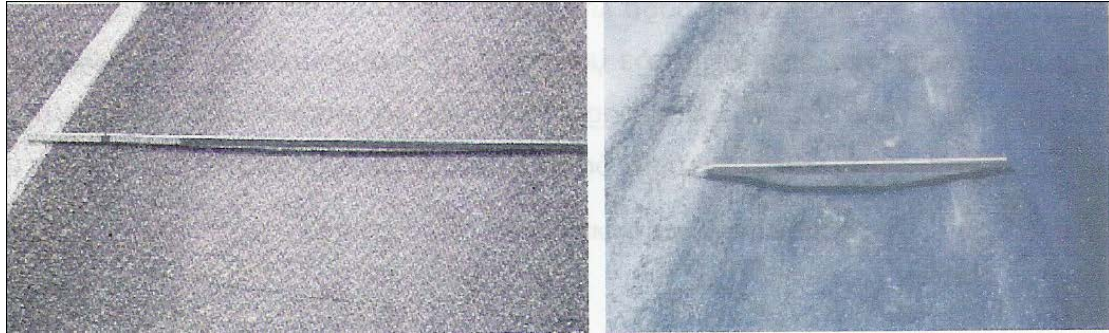
Ως πιθανά αίτια αναφέρονται [4,5]:

- Ανεπαρκής ευστάθεια του ασφαλτομίγματος της στρώσης κυκλοφορίας (αυξημένο ποσοστό ασφάλτου, μαλακή άσφαλτος, μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκων αδρανών, στρογγυλευμένα αδρανή κλπ).
- Ρύπανση της στρώσης κυκλοφορίας από ορυκτέλαια.
- Κακή εξάτμιση των πτητικών του ασφαλτικού διαλύματος στο ασφαλτόμιγμα.
- Κακή σύνδεση μεταξύ της επιφανειακής ασφαλτικής στρώσης και της υποκείμενης στρώσης του οδοστρώματος (κακότεχνη συγκολλητική επάλειψη).

Η φθορά εξελίσσεται με αύξηση του ύψους της πτύχωσης και ρηγμάτωση του ασφαλτικού στα σημεία των σημαντικότερων ανυψώσεων.

(ε) Αυλακώσεις στις τροχιές των τροχών (channel or ruts) ή ίχνη τροχών μικρού εύρους (Rutting Ornierage).

Οι αυλακώσεις αυτές είναι καναλοποιημένες καθιζήσεις κατά μήκος των ιχνών των τροχών. Η παραμόρφωση αυτή αφορά συνήθως την στρώση κυκλοφορίας και εκτείνεται σε μεγάλα μήκη. Εμφανίζονται κυρίως στην ακραία (δεξιά) λωρίδα κυκλοφορίας του αυτοκινητόδρομου (Εικόνα 1.12).



**Εικόνα 1.12** Καναλοποιημένες καθιζήσεις κατά μήκος του οδοστρώματος [4,5].

Οι βασικές αιτίες είναι οι ακόλουθες [4,5]:

- κακή συμπίκνωση των ασφαλτικών στρώσεων κατά την κατασκευή,
- ολίσθηση μιας ή περισσότερων στρώσεων του οδοστρώματος κυκλοφορίας που έχει συμπυκνωθεί υπερβολικά, κάτω από την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας, ή περιέχει πολύ άσφαλο.
- Κακή σύνθεση του ασφαλτομίγματος
- Ανεπαρκής πλευρική στήριξη του οδοστρώματος από τα ερείσματα.
- υψηλές θερμοκρασίες
- Σημαντικές κυκλοφοριακές επιπονήσεις (βαριά κυκλοφορία, περιοχές διοδίων, σηματοδοτών) σε περιόδους με μεγάλες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Αυτού του είδους η φθορά συνοδεύεται από εξίδρωση (ανάδυση ασφάλτου) και δημιουργία τοπικών ανυψώσεων.

### **(Γ) Αποσυνθέσεις**

Αποσύνθεση είναι η θρυμμάτιση του οδοστρώματος σε μικρά ασύνδετα κομμάτια. Σε αυτήν περιλαμβάνεται και η αποκόλληση των αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Εάν η αποσύνθεση, όπως ορίστηκε παραπάνω, δεν αποκατασταθεί έγκαιρα, είναι σίγουρο ότι θα οδηγήσει πολύ σύντομα σε κατάσταση όπου θα απαιτείται αντικατάσταση του οδοστρώματος.

Οι κυριότερες μορφές αποσύνθεσης σε αρχικό στάδιο είναι η αποκόλληση αδρανών (ravelling) και οι λακούβες (potholes).

#### **(α) Αποκόλληση αδρανών από ασφαλτοτάπητες (Raveling).**

Η αποκόλληση αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος είναι το γνωστό «ψώριασμα» ή απογύμνωση της επιφάνειας, που αρχίζει, συνήθως, από την άκρη του οδοστρώματος και διαδίδεται προς το κέντρο. Η αποκόλληση των αδρανών γίνεται προοδευτικά. Πρώτα αποκολλώνται τα λεπτόκοκκα αδρανή και κατόπιν τα χονδρόκοκκα. Στα πρώτα στάδια, η επιφάνεια παρουσιάζει μια σχετική τραχύτητα και κατόπιν μικρές 'φωλιές' οι οποίες αρχίζουν να πυκνώνουν και να μεγαλώνουν, δημιουργώντας έτσι σε πολλές περιπτώσεις λακούβες.

Ως πιθανά αίτια αναφέρονται [4,5]:

- Ανεπαρκής συμπίκνωση της στρώσης.
- Κατασκευή του τάπητα με κακές καιρικές συνθήκες (βροχές, χαμηλές θερμοκρασίες κλπ)

- Χρησιμοποίηση μη καθαρών αδρανών ή αδρανών που συντρίβονται με την πάροδο του χρόνου (π.χ. ψαμμιτικά αδρανή).
- Μικρή περιεκτικότητα ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα ή υπερθέρμανσή του.

Με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται η διαπερατότητα της ασφαλτικής στρώσης, δεν συγκρατούνται πλέον τα αδρανή τα οποία αποκολλούνται, με συνέπεια την αποσύνθεση της επιφάνειας του οδοστρώματος και τη δημιουργία λάκκων.

(β) Απογύμνωση αδρανών (Desenrobage).

Πρόκειται για απώλεια λεπτόκοκκων αδρανών και ασφαλτικού υλικού γύρω από τα αδρανή μιας στρώσης κυκλοφορίας (Εικόνα 1.13).



**Εικόνα 1.13** Απογύμνωση αδρανών στην επιφάνεια ασφαλτοτάπητα [4,5].

Τα πιθανά αίτια είναι [4,5]:

- Ανεπαρκής συνάφεια συνδετικού υλικού, αδρανών.
- Κατασκευή τάπητα με κακές καιρικές συνθήκες.
- Συγκέντρωση νερών στο οδόστρωμα.

Ακολουθείται από αύξηση της διαπερατότητας του ασφαλτομίγματος με σύγχρονη απώλεια σκύρων που δεν συγκρατούνται μετά την απογύμνωσή τους. Πρέπει να επισκευάζεται αμέσως χρησιμοποιώντας ασφαλτική επάλειψη.

(δ) Αποκόλληση υλικού κατά πλάκες (Peeling).

Αναφέρεται στην αποκόλληση της στρώσης κυκλοφορίας κατά πλάκες.

Τα πιθανά αίτια είναι [4,5]:

- Μικρό πάχος της στρώσης κυκλοφορίας

- Κακή συγκόλληση της στρώσης κυκλοφορίας με την υποκείμενη στρώση (π.χ. απουσία συγκολλητικής).

Οδηγεί σε επέκταση σε αριθμό και έκταση των τμημάτων που έχουν υποστεί την υπόψη βλάβη.

(ε) Λάκκοι (φωλιές, Pothole).

Είναι τρύπες διαφόρων μεγεθών στο οδοστρώμα σε σχήμα μικρής λεκάνης. Προέρχονται από τοπική αποσύνθεση του οδοστρώματος, λόγω της ανεπαρκούς αντοχής του ασφαλτικού τάπητα.

Τα πιθανά αίτια είναι [4,5]:

- Ανεπαρκής αντοχή του οδοστρώματος (μειωμένο πάχος ασφαλτικής στρώσης, μικρή περιεκτικότητα σε άσφαλτο, έλλειψη ή υπερβολική ποσότητα παιπάλης).
- έλλειψη συνδετικού υλικού στο ασφαλτόμιγμα
- Ανεπαρκής αποστράγγιση της οδού
- Εξέλιξη άλλων φθορών (ρωγμές τύπου αλιγάτορα, καθίζηση κ.ά.)

Εξελισσεται με διεύρυνση του λάκκου και αποσύνθεση οδοστρώματος σε μεγάλη έκταση.

**(Δ) Λείανση της επιφάνειας κύλισης.**

Η λεία επιφάνεια είναι μια φθορά του οδοστρώματος, η οποία, σε αντίθεση με τους άλλους τύπους φθορών, δεν επιδρά στην επιδείνωση της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος, αλλά στο επίπεδο ασφάλειας και εξυπηρέτησης που αυτό προσφέρει και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ολισθηρότητα της επιφάνειας.

Η λεία επιφάνεια του οδοστρώματος οφείλεται κυρίως στη λείανση των επιφανειακών αδρανών. Μπορεί επίσης να οφείλεται στην ανάδυση της ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος ή στη βύθιση των χονδροκόκκων αδρανών. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, επέρχεται μείωση ή εκμηδένιση της μικρό- ή μακρό- υφής της επιφάνειας του οδοστρώματος και μείωση του συντελεστή τριβής μεταξύ των ελαστικών και της επιφάνειας. Η παρουσία νερού επιδεινώνει την κατάσταση και παράλληλα είναι αιτία ανάπτυξης του φαινομένου της υδρολίσησης (ιδιαίτερα στα σημεία παρακράτησης ύδατος). Επιδείνωση της ολισθηρότητας επίσης, μπορεί να επέλθει με την παρουσία λαδιών ή χύματος πάνω στην επιφάνεια, καθώς και με την εναπόθεση ελαστικών (στις περιοχές που παρατηρείται έντονη πέδηση των οχημάτων).

(α) Λείανση αδρανών (στίλβωση, Polished aggregate).

Αναφέρεται στην περίπτωση της λείας και ολισθηρής επιφάνεια κύλισης με γυαλιστερή όψη.

Τα πιθανά αίτια είναι [4,5]:

- Λείανση των αδρανών της επιφανειακής ασφαλτικής στρώσης από την επίδραση της κυκλοφορίας (συνήθως πρόκειται για αδρανή με μεγάλο συντελεστή φθοράς σε τριβή και κρούση κατά Los Angeles)
- Βύθιση των χονδροκόκκων αδρανών από ασφαλτόμιγμα από την επίδραση της κυκλοφορίας.

Το οδοστρώμα με την πάροδο του χρόνου γίνεται λείο και γυαλιστερό με αποτέλεσμα την αύξηση της ολισθηρότητάς του.

(β) Ανάδυση ασφάλτου (Flushing).

Εκδηλώνεται ως παρουσία ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος που του δίνει μαύρη και γυαλιστερή όψη, η οποία ανεβαίνει τις ζεστές μέρες και υπερκαλύπτει τα αδρανή.

Ως πιθανά αίτια αναφέρονται [4,5]:

- Μεγάλη περιεκτικότητα ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα
- Χρήση μαλακής ασφάλτου
- Κακοτεχνία στην κατασκευή σφραγιστικής επάλειψης
- Μεγάλη ποσότητα ασφαλτικού υγρού στην προεπάλειψη ή στη συγκολλητική επάλειψη (σε εποχές με υψηλή θερμοκρασία)
- Βαριά κυκλοφορία, που συμπυκνώνει υπερβολικά το ασφαλτόμιγμα. Η περίσσεια ασφάλτου αναδύεται στην επιφάνεια.

Ακολουθείται από εμφάνιση της ασφάλτου στις τροχίες των οχημάτων σε περιόδους που έχουμε υψηλές θερμοκρασίες. Συνοδεύεται με παραμόρφωση της στρώσης κυκλοφορίας, ενώ εμφανίζεται με τη μορφή ασφαλτικής μεμβράνης που προκαλεί ολισθηρότητα στην οδό κατά τις βροχερές μέρες.

### 1.2.3 Άλλες βλάβες σε έργα οδοποιίας λόγω παλαιότητας και χρήσης τους

Εκτός από τα παραπάνω, φθορές και βλάβες εμφανίζονται σε δομικά και μη μέρη των τεχνικών έργων ως αποτέλεσμα της παλαιότητας και της χρήσης τους. Οι βλάβες αυτές εκδηλώνονται με διάφορους τρόπους, ανάλογα με το είδος του τεχνικού και το υλικό κατασκευής. Ενδεικτικά, ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τυπικές βλάβες που εμφανίζονται σε υποδομές σχετιζόμενες με οδοποιία (ασφαλτοτάπητες, μέλη οδικών γεφυρών κλπ.) και στις ορατές επιπτώσεις του, όπως περιγράφονται με σκοπό την κατανόηση τους από το προσωπικό που σχετίζεται με την ομαλή λειτουργία του έργου [6]. Οι περιγραφές αυτές συμπληρώνουν τις τεχνικές πληροφορίες των παραγράφων που προηγήθηκαν. Οι φθορές που μπορούν να παρουσιαστούν κατά την αστυνόμευση μιας κατασκευής είναι οι εξής :

**Πίνακας 1.3** Ενδεικτικές περιγραφές βλαβών σε έργα οδοποιίας [6].

ΣΤΟΙΧΕΙΟ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΒΛΑΒΗ	ΟΡΙΣΜΟΣ
Όλα τα στοιχεία – εξοπλισμός	Βλάβη, φθορά, ζημιά (γενικά)	Βλάβες/ φθορές/ ζημιές στα στοιχεία- εξοπλισμό της οδού που χρήζουν άμεσης προσοχής, καθώς συνεπάγονται άμεσο κίνδυνο ή επικείμενο κίνδυνο για τους χρήστες της οδού
Οδοστρώματα και ερείσματα	Λάκκοι	Εμβαδό > 0,1m <sup>2</sup> , βάθος >4cm
	Αποκόλληση αδρανών	Έναρξη αποκόλλησης της επιφανειακής στρώσης
	Τροχοαυλακώσεις	Τροχοαυλακωση 2cm ή μεγαλύτερη για μήκος μεγαλύτερο των 20cm
	Διαφορά επιπέδου	Απώλεια επιπεδότητας οδοστρώματος μεγαλύτερη των 4cm

**Πίνακας 1.3** (συνέχεια) Ενδεικτικές περιγραφές βλαβών σε έργα οδοποιίας [6].

ΣΤΟΙΧΕΙΟ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΒΛΑΒΗ	ΟΡΙΣΜΟΣ
Οδοστρώματα και ερείσματα	Καθιζήσεις	Τοπικές καθιζήσεις π.χ. σε μεταβατικά επιχώματα, που μπορεί να προκαλέσει ατύχημα, βλάβη στα οχήματα ή ελιγμό για την αποφυγή τους.
Κρασπεδόρειθρα και πεζοδρόμια	Μετατόπιση	Κατακόρυφη μετατόπιση μεγαλύτερη από 2cm ή οριζόντια μετατόπιση μεγαλύτερη από 5cm και προβολή στο οδόστρωμα / έρεισμα ή εμποδίζουν τη ροή των υδάτων
	Απώλεια / καταστροφή	Κάθε απώλεια ή/ και καταστροφή στα στοιχεία που βρίσκονται παρακείμενα του οδοστρώματος
Καλύμματα, σχάρες και πλαίσια φρεατίων	Απώλεια/ καταστροφή	Κάθε απώλεια ή/ και καταστροφή στα στοιχεία που βρίσκονται πάνω στο οδόστρωμα
	Διαφορά επιπέδου	Διαφορά επιπέδου σε σχέση με το οδόστρωμα ή/ και μεταξύ των συστατικών μερών ενός στοιχείου, μεγαλύτερη από 2cm
	Λεία επιφάνεια	Λεία επιφάνεια (οπτική εκτίμηση) καλυμμάτων φρεατίων που βρίσκονται πάνω στο οδόστρωμα, ειδικά πλησίον κόμβων και φωτεινών σηματοδοτών
Αποχέτευση (οχετοί, τάφροι, φρεάτια, κ.λπ.)	Πλημμύρα	Ενδείξεις (π.χ. παρεμπόδισης ροής, καταστροφή, παρουσία λάσπης, κλπ.) ότι επίκειται πλημμύρα της οδού ή σε ιδιοκτησίες
	Απόθεση απορριμμάτων/ φερτών υλικών	Οπτική ένδειξη μόλυνσης υλικών, από υποχώρηση γαιώδους ορύγματος της οδού, που εισχωρεί ή απειλεί να εισχωρήσει σε τμήμα του οδοστρώματος και να παρεμποδίσει στην εξέλιξη του την ομαλή κυκλοφορία των ενοδίων.
	Επικίνδυνη φθορά μέτρων αντιστήριξης πρανών	A) καταστροφή ή έντονη φθορά ή υπερβολική παραμόρφωση μεταλλικών πλεγμάτων ή/ και εμφανής εξόλκευση ηλώσεων φρακτών ανάσχεσης λόγω υπερπλήρωσης από φερτά υλικά με κίνδυνο άμεσης αστοχίας. B) έντονη παραμόρφωση ή αστοχία βραχοπαγίδας από οπλισμένο σκυρόδεμα λόγω συσσώρευσης υλικού εκ καταπτώσεων
Στηθαία ασφαλείας	Ζημιά/ καταστροφή ιστού	Κάθε ζημιά/ καταστροφή ιστού με αποτέλεσμα να προβάλλει/ υψώνεται πάνω από το οδόστρωμα
	Απώλεια	Κάθε απώλεια στον εξοπλισμό (διαμήκης αυλακωτή λαμαρίνα, κοιλοδοκοί, ορθοστάτες, παρεμβλήματα κ.λπ) του στοιχείου που το καθιστά μη λειτουργικό
	Ζημιά / καταστροφή	Δύο ή περισσότεροι ορθοστάτες έχουν λυγίσει/ καμφθεί ή έχουν αποσυνδεθεί από τα διαμήκη στοιχεία του στηθαίου. Ένα διαμήκες στοιχείο (αυλακωτή λαμαρίνα, κοιλοδοκός) έχει απωλέσει τη λειτουργικότητα του λόγω παραμόρφωσης. Το κιγκλίδωμα (διαμήκη στοιχεία) προεξέχει στο οδόστρωμα
	Δομική κατάσταση	Ζημιά/ φθορά (όχι από πρόσκρουση) στο στηθαίο με αποτέλεσμα να μην επιτελεί τη λειτουργία αναχαίτισης των οχημάτων



**Πίνακας 1.3** (συνέχεια) Ενδεικτικές περιγραφές βλαβών σε έργα οδοποιίας [6].

Επιχώματα και ορύγματα	Ολίσθηση/ κατολίσθηση/ καθίζηση	<b>Κατολίσθηση ορύγματος</b> της οδού με γρήγορη εξέλιξη. Ενδείξεις έντονων υπερυψώσεων (φούσκωμα) ή/ και ρωγμών που ανοίγουν στο οδόστρωμα και παρεμποδίζει την ομαλή κυκλοφορία των ενοδίων <b>Κατολίσθηση επιχώματος</b> της οδού. Ενδείξεις ρωγμών και απότομων καθιζήσεων τμήματος (συνήθως του κατάντη) του οδοστρώματος που παρεμποδίζει την ομαλή κυκλοφορία των ενοδίων
	Καταπτώσεις/ φερτά	Οποιαδήποτε πτώση, οποιουδήποτε μεγέθους, βράχων, που αποκολλώνται από βραχώδες πρσανές ορύγματος της οδού, επί του οδοστρώματος και παρεμποδίζει ή δύναται να παρεμποδίσει στην εξέλιξη την ομαλή κυκλοφορία των ενοδίων Οποιαδήποτε ολίσθηση εδαφικών υλικών
Γέφυρες	Ζημιά/ καταστροφή αρμού συστολής – διαστολής γεφυρών	Αστοχία αγκύρωσης ελαστομεταλλικού αρμού (χαρακτηριστική παραγωγή μεταλλικού ήχου και αισθητή κατακόρυφη μετακίνηση περί την αρχική θέση τοποθέτησης του κατά τη διέλευση βαρέων οχημάτων).
		Αστοχία έδρασης ελαστομεταλλικού αρμού Ανομοιόμορφη βύθιση του τεμαχίου αρμού ως προς τα ακέραια γειτονικά τεμάχια του
		Αστοχία σώματος ελαστομεταλλικού αρμού Θραύση και απώλεια μεταλλικών στοιχείων ενίσχυσης του ελαστομεταλλικού αρμού με έντονη παραμόρφωση/ αναδίπλωση προς τα κάτω
		Αστοχία μεταβατικών λωρίδων εισόδου – εξόδου αρμού Θραύση και απώλεια του υλικού πλήρωσης των μεταβατικών λωρίδων μεταξύ ασφαλτικού και σώματος αρμού, με σχηματισμό επικίνδυνης λακκούβας ή/ και αιχμηρές ράβδους οπλισμού που εξέχουν
		Αστοχία προσωρινής επισκευής με έγχυτο αρμό ασφαλτικής μαστίχας Απώλεια σημαντικού τμήματος του υλικού του ασφαλτοδέματος με σχηματισμό επικίνδυνης λακκούβας ή/ και σχηματισμός μεγάλου εύρους ρωγμής (>50cm) ή/και έντονη παραμόρφωση/ υποχώρηση του σώματος πλήρωσης με σχηματισμό επικίνδυνης ασυνέχειας στην επιφάνεια ολίσθησης.
		Παραμόρφωση οδοντωτού αρμού Έντονη προς τα πάνω ή κάτω στροφή ή/ και παραμόρφωση των μεταλλικών οδόντων των οδοντωτών αρμών που θέτουν σε κίνδυνο τα ελαστικά και την ασφάλεια των διερχόμενων οχημάτων
		Αστοχία προσωρινής επισκευής με σφράγιση ψυχρής ασφάλτου. Απώλεια σημαντικού τμήματος του υλικού σφράγισης με σχηματισμό επικίνδυνης λακκούβας ή/ και σχηματισμούς μεγάλου εύρους ρωγμής (>5cm) ή/ και έντονη παραμόρφωση/ υποχώρηση του σώματος πλήρωσης με σχηματισμό επικίνδυνης ασυνέχειας στην επιφάνεια ολίσθησης.

**Πίνακας 1.3** (συνέχεια) Ενδεικτικές περιγραφές βλαβών σε έργα οδοποιίας [6].

Γέφυρες	Ζημιά/ καταστροφή αρμού συστολής – διαστολής γεφυρών	Αστοχία σφηνωτού ελαστομερούς αρμού Αστοχία/ αποδιοργάνωση/ έντονη παραμόρφωση/ στροφή των μεταλλικών οδηγών του ελαστομερούς υλικού πλήρωσης
		Αστοχία αρμού μεγάλου εύρους με μεταλλική γεφύρωσης διάκενου και φυσούνα προσαρμογής Αστοχία φυσούνας και υποχώρηση/ αποδιοργάνωση τους. Αστοχία αγκύρωσης μεταλλικής πλάκας γεφύρωσης διάκενου και μετακίνηση της/ παράσυρση από διερχόμενα οχήματα.
Γέφυρες	Ζημιά/ καταστροφή στηθαίων ασφαλείας γεφυρών	Αδυναμία ολίσθησης και παραμόρφωση των οριζοντίων κοιλοδοκών στηθαίων ασφαλείας λόγω θερμοκρασιακής συστολής – διαστολής Ένδειξη πλευρικής παραμόρφωσης των οριζόντιων κοιλοδοκών
		Αδυναμία ολίσθησης στις θέσεις μάτισης των οριζόντιων κοιλοδοκών λόγω θερμοκρασιακής συστολής – διαστολής Ένδειξη πλευρικής ή/ και κατακόρυφης παραμόρφωσης των οριζοντίων κοιλοδοκών, παραμόρφωση ορθοστατών/ εξόλκευση βάσης ορθοστατών/ ρηγμάτωση πεζοδρομίων
Γέφυρες	Ζημιά/ καταστροφή αποχέτευσης καταστρώματος γεφυρών	Πλήρωση με φερτά ιδιαίτερα των πλευρικών (εσωτερικών στο πεζοδρόμιο της γέφυρας) φρεατίων (με ή χωρίς εσχάρα προστασίας). Ανάπτυξη βλάστησης σε πληρωμένα με φερτά φρεάτια καταστρώματος και πεζοδρόμιων γεφυρών. Διαρροή εσωτερικά του πεζοδρομίου φρεατίων και συλλεκτήριων αγωγών άνω / κάτω διαβάσεων προς την κάθετη οδό με κίνδυνο το χειμώνα πτώσης πάγου στα διερχόμενα οχήματα. Κατά τη διάρκεια μεγάλης διάρκειας βροχόπτωσης, κάλυψη με όμβρια της Λ.Ε.Α
Γέφυρες	Ζημιά/ καταστροφή πεζοδρομίων γεφυρών	Μεγάλου βάθους εκτίναξη σκυροδέματος πεζοδρομίων γεφυρών (>5cm) ιδιαίτερα στην περιοχή αγκύρωσης των στηθαίων ασφαλείας
Γέφυρες	Ζημιά/ καταστροφή οδοστρώματος γεφυρών	Μεγάλου βάθους (>4cm) και έκτασης (>1m <sup>2</sup> ) λακκούβες οδοστρώματος (>5% της επιφάνειας καταστρώματος ) της γέφυρας, πιθανή ένδειξη κακής συνάφειας ασφαλτικών στρώσεων ή ασφαλτικών στρώσεων με στεγνωτική μεμβράνη.

### 1.2.3 Βλάβες σε φράγματα [15]

Το φράγμα αποτελεί μεγάλο και πολυσύνθετο κατασκευαστικό έργο με το οποίο οι μηχανικοί επεμβαίνουν στη γεωμορφολογία της περιοχής λόγω αναγκών διαχείρισης των νερών προς όφελος του κοινωνικού συνόλου. Είναι έργο που πρέπει να πληροί απαιτήσεις ύψιστης ασφάλειας τόσο κατά την κατασκευή του όσο και κατά τη λειτουργία του. Αποτελείται από επιμέρους τμήματα όπως είναι το κύριο σώμα του φράγματος που δημιουργεί τον

ταμιευτήρα και τον υπερχειλιστή αλλά και τον εκκενωτή πυθμένα που είναι αναπόσπαστα τμήματα της ασφαλούς λειτουργίας του. Το έργο συμπληρώνεται συνήθως με το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας, το σύστημα υδροληψίας (σήραγγες προσαγωγής-απαγωγής) και τον υποσταθμό τάσης. Τα φράγματα από σκυρόδεμα (βαρύτητας, με ή χωρίς διάκενα και τοξωτά) είναι περιορισμένου αριθμού. Περίπου 20% του συνόλου των φραγμάτων είναι κυρίως χωμάτινα ή λιθόρριπτα. Ο σχεδιασμός τους απαιτεί προϋποθέσεις όπως βραχώδεις υπόβαθρο ή ισχυρά αντερείσματα στην περίπτωση φραγμάτων βαρύτητας ή τοξωτών αντίστοιχα.

Το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό που σε μεγάλα πάχη θεωρείται αδιαπέρατο. Χαμηλή υδατοδιαπερατότητα μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλο σχεδιασμό και συντήρηση του σκυροδέματος. Για τα φράγματα χρησιμοποιείται σκυρόδεμα άοπλο μεγάλου όγκου χονδρόκοκκων αδρανών και σχετικά μικρής περιεκτικότητας σε τσιμέντο. Ο μεγάλος όγκος του φράγματος δομείται με block (μονόλιθους) σκυροδέματος που διαχωρίζονται με κατακόρυφους αρμούς ενώ ανάλογα με την τεχνική κατασκευής του φράγματος δημιουργούνται αναπόφευκτα και οριζόντιοι αρμοί. Τόσο οι κατακόρυφοι όσο και οι διαμήκεις οριζόντιοι αρμοί αποτελούν τις ασθενείς περιοχές στο κύριο σώμα του φράγματος από σκυρόδεμα.

Από την πάνω από ένα αιώνα λειτουργία φραγμάτων από σκυρόδεμα διεθνώς, έχει συσσωρευτεί εμπειρία η οποία έχει συμβάλλει στη διαμόρφωση οδηγιών και κανονισμών τόσο για την κατασκευή όσο και για την επισκευή και κυρίως για τον έλεγχο ασφαλούς λειτουργίας των φραγμάτων. Από την καταγραφή περιπτώσεων αστοχίας φαίνεται ότι οι αστοχίες φραγμάτων από σκυρόδεμα στο διάστημα του παρελθόντος αιώνα είναι σπανιότερες εν σχέση με αυτές των χωμάτινων και αφορούν κυρίως γεωτεχνικά προβλήματα θεμελίωσης και αντερείσμάτων.

Το κύριο θέμα της ευστάθειας του φράγματος σχετίζεται με προβλήματα θεμελίωσης όπως είναι [15]:

- κάθιση τμήματος θεμελίων με πρόκληση ρωγμής και κάθετης μετατόπισης στο κύριο σώμα του φράγματος
- ανεπάρκεια φέρουσας ικανότητας θεμελίωσης που μπορεί να οδηγήσει σε μετακίνηση του φράγματος με ρηγμάτωση, διήθηση νερού στη θεμελίωση ή προβλήματα αντερείσμάτων όπως μετακίνηση ή συνεχής ολίσθηση που επίσης επιφορτίζουν ή προκαλούν ρηγμάτωση του σώματος των τοξωτών φραγμάτων.
- Ρηγματώσεις διαμπερείς ή μεγάλου βάθους μπορούν να προκληθούν επίσης από θερμοκρασιακές μεταβολές που δεν έχουν προβλεφτεί στο σχεδιασμό και συμβαίνουν συνήθως στα πρώτα χρόνια λειτουργίας του φράγματος.

Για την ασφάλεια των φραγμάτων τα προαναφερόμενα αίτια παρακολουθούνται συνεχώς με τον ενσωματωμένο εξοπλισμό που καταγράφει τις μετακινήσεις του φορέα, τις διαρροές και τη θερμοκρασιακή απόσβεση για τα οποία υπάρχουν οριακές τιμές βάσει των οποίων αξιολογείται η επικινδυνότητα κάθε κατάστασης.

Όσον αφορά το σκυρόδεμα, και ειδικά το άοπλο σκυρόδεμα, ανταποκρίνεται στα αίτια ρηγμάτωσής του, (υπερφόρτιση, καταναγκασμένη παραμόρφωση από καθιζήσεις ή μετακινήσεις θεμελίωσης και στηριγμάτων, σεισμική επιπόνηση, έκθεση σε θερμοκρασιακή βαθμίδα), με τα μηχανικά χαρακτηριστικά του, τη θλιπτική και την εφελκυστική αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας.

Επειδή το σκυρόδεμα είναι από τη φύση του ένα υλικό πορώδες που επηρεάζεται από τις θερμο-υγρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος που λειτουργεί, από τυχόν χημικές

δράσεις που εξελίσσονται στη μάζα του ιδιαίτερα σε υγρό περιβάλλον και από παραμορφώσεις που εκδηλώνονται με το χρόνο, τα μηχανικά χαρακτηριστικά του δεν είναι σταθερά σε όλη τη διάρκεια ζωής μιας κατασκευής αλλά υφίστανται μεταβολή. Μετά την ανάπτυξη δηλαδή της μέγιστης αντοχής του σκυροδέματος, οι προαναφερόμενοι παράγοντες επιφέρουν μείωση της μέγιστης αντοχής ανάλογα με την αρχική ποιότητα του σκυροδέματος. Ένα καλής ποιότητας σκυρόδεμα σε συνδυασμό με έργο υψηλών προδιαγραφών κατασκευής και συντήρησης, παρουσιάζει μικρότερη φθορά λόγω του χρόνου. Το ερώτημα λοιπόν στην περίπτωση των φραγμάτων από σκυρόδεμα είναι κατά πόσον η φθορά από την πιθανή σχεδιασμένη δράση των παραπάνω παραγόντων έχει λόγω του χρόνου απομειώσει την αντοχή και θέτει θέμα ασφαλούς λειτουργίας.

Φθορές παρουσιάζονται και σ' άλλα τμήματα των φραγμάτων όπως είναι οι υπερχειλιστές που δέχονται μεγάλα φορτία φερτών υλικών και μεγάλης ταχύτητας ροή νερού ή άλλα οπλισμένα στοιχεία που παρουσιάζουν έντονη διάβρωση του οπλισμού λόγω της υγρασίας του περιβάλλοντος.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΒΛΑΒΩΝ**

### **2.1 ΑΡΧΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΥΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΓΙΑ ΤΥΧΟΥΣΕΣ ΒΛΑΒΕΣ**

Στα σύγχρονα τεχνικά περιβάλλον έχουν αναπτυχθεί συστήματα που επιτρέπουν την αυτόματη παρακολούθηση των τεχνικών έργων με στόχο των έγκαιρο εντοπισμό των βλαβών τους και γενικά την καλύτερη συντήρηση και λειτουργία τους. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά ως Συστήματα Δομικής Παρακολούθησης και βασίζονται σε δίκτυα κατάλληλων αισθητήρων που συνδέονται με ηλεκτρονικούς υπολογιστές που επεξεργάζονται τα δεδομένα των καταγραφών. Οι βασικές αρχές των συστημάτων αυτών περιγράφονται στην παράγραφο αυτή. Οι πληροφορίες προέρχονται από το πόρισμα της ομάδας εργασίας του Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. με θέμα «*Ενόργανη παρακολούθηση δομικής κατάστασης σημαντικών έργων με σκοπό την πληρέστερη συντήρηση τους*» [7].

Ένα σύστημα συλλογής δεδομένων συλλέγει δεδομένα από διάφορους αισθητήρες. Μία γενική κατανόηση αυτού του συστήματος είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό ενός αποδοτικού και χρήσιμου προγράμματος παρακολούθησης μιας κατασκευής. Θα αναφερθούν δύο διαδεδομένα συστήματα καταγραφής δεδομένων, στο ένα οι ενδείξεις καταγράφονται με το χέρι και το άλλο στο οποίο οι καταγραφές συλλέγονται σε υπολογιστή.

Κατά την καταγραφή με το χέρι, ο χειριστής διαβάσει τις ενδείξεις και σημειώνει τις τιμές τους. Επειδή αυτό το σύστημα δεν απαιτεί ογκώδη εξοπλισμό, αποτελεί μια οικονομική και εύκολη μέθοδο για την συλλογή δεδομένων από έναν μικρό αριθμό αισθητήρων και για μικρό χρονικό διάστημα. Για μεγάλες εφαρμογές απαιτούνται πολλαπλά συστήματα καταγραφής μέσω υπολογιστή. Τα μέλη ενός τέτοιου συστήματος είναι οι διαμορφωτές σήματος, η κάρτα συλλογής δεδομένων και ο υπολογιστής.

Οι αισθητήρες είναι τα στοιχεία τα οποία βρίσκονται πάνω στην κατασκευή και καταγράφουν τις μεταβολές του εκάστοτε μετρούμενου μεγέθους. Οι δύο πιο κοινοί τύποι αισθητήρων είναι οι ηλεκτρονικοί και οι οπτικοί. Ένας ηλεκτρονικός αισθητήρας μεταβιβάζει ηλεκτρικά σήματα σε όρους ηλεκτρικού φορτίου ή μεταβολής τάσης. Ο οπτικός αισθητήρας μεταβιβάζει σήματα φωτός.

Σε συμβατικά συστήματα συλλογής δεδομένων η μονάδα ανάγνωσης λαμβάνει τα δεδομένα από τον αισθητήρα και τα μετατρέπει σε μεγέθη με φυσική έννοια. Σε αντίστοιχα συστήματα που λειτουργούν μέσω υπολογιστή, τα σήματα του αισθητήρα δεν μπορούν συνήθως να αναγνωσθούν από τον υπολογιστή. Τα σήματα πρέπει να διέλθουν από διαμορφωτή σήματος και από την κάρτα συλλογής δεδομένων πριν αναγνωσθούν από τον υπολογιστή.

Διαφορετικοί αισθητήρες συνήθως απαιτούν ειδικούς διαμορφωτές σήματος, ενώ μία κάρτα συλλογής δεδομένων μπορεί να λαμβάνει δεδομένα από μια ποικιλία διαμορφωτών σήματος. Οι διαμορφωτές σήματος έχουν πολλαπλή λειτουργία [7].

1. Ενισχύουν τα ασθενή σήματα,
2. απομονώνουν
3. φιλτράρουν
4. γραμμικοποιούν
5. διεγείρουν

6. γεφυρώνουν τις διατάξεις μετατροπής σήματος για την παραγωγή υψηλού επιπέδου σήματος.

Το εξαγόμενο του διαμορφωτή σήματος, το οποίο περιέχει τα χαρακτηριστικά του μετρούμενου φυσικού φαινομένου, είναι αναλογικό. Η λειτουργία της κάρτας συλλογής δεδομένων είναι να μετατρέψει το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό σήμα για τον υπολογιστή. Επίσης διατίθενται και συσκευές που είναι ταυτόχρονα διαμορφωτές σήματος και κάρτες συλλογής δεδομένων.

Επιπλέον, ένα σύστημα καταγραφής δεδομένων που λειτουργεί με υπολογιστή, απαιτεί την χρήση λογισμικού συλλογής δεδομένων. Αυτό το πρόγραμμα ανιχνεύει τα δεδομένα από την κάρτα συλλογής δεδομένων, αναλύει και επεξεργάζεται τα δεδομένα, λαμβάνει προκαθορισμένες αποφάσεις και αποθηκεύει τα επεξεργασμένα δεδομένα στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή.

Οι μονάδες ενδείξεων και οι διαμορφωτές σήματος είναι τα δύο μέρη που αναλύουν και επεξεργάζονται το σήμα του αισθητήρα. Οι μονάδες ενδείξεων είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται σε συμβατικά συστήματα καταγραφής δεδομένων και διαθέτουν όργανα ενδείξεων για την απεικόνιση των μεγεθών που μετρούνται από τους αισθητήρες.

Οι διαμορφωτές σήματος είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται σε συστήματα καταγραφής που λειτουργούν με υπολογιστή και παράγουν αναλογική τάση. Επιπλέον υπάρχουν μερικές συσκευές που συνδυάζουν αυτές τις δύο λειτουργίες.

Οι ηλεκτρικοί αισθητήρες συνήθως χρειάζονται την εισαγωγή τάσης και ρεύματος και οι οπτικοί αισθητήρες χρειάζονται την εισαγωγή σημάτων φωτός. Αυτά τα σήματα αναπαράγονται επίσης στις συσκευές ενδείξεων και στους διαμορφωτές σήματος. Γενικά, αυτές οι συσκευές επιτελούν τις παρακάτω λειτουργίες [7]:

1. Παραγωγή σήματος εισόδου για τον αισθητήρα: Οι αισθητήρες, όπως τα μηκυνσιόμετρα και οι αισθητήρες θερμικής αντίστασης απαιτούν την παροχή συνεχούς ρεύματος ή την παροχή ρεύματος διέγερσης. Οι μετρητές μετατοπίσεων (LVDT) απαιτούν την παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος για την λειτουργία τους και οι οπτικοί αισθητήρες απαιτούν υψηλής έντασης πολωμένου φωτός. Αυτά τα απαιτούμενα σήματα παράγονται στις συσκευές επίδειξης ενδείξεων και στους διαμορφωτές σήματος.
2. Ενίσχυση: Οι διαμορφωτές σήματος ενισχύουν τα χαμηλού επιπέδου σήματα που λαμβάνουν από τους αισθητήρες. Για την μέγιστη δυνατή ακρίβεια, το σήμα του αισθητήρα πρέπει να ενισχύεται τόσο ώστε το μέγιστο εύρος τάσης του διαμορφωμένου σήματος να ισούται με το μέγιστο εύρος του σήματος που μπορεί να εισαχθεί στην κάρτα συλλογής δεδομένων.
3. Φιλτράρισμα: Μέσω αυτής της διαδικασίας απομακρύνεται ο θόρυβος (άχρηστα σήματα) που λαμβάνεται από τον αισθητήρα. Αυτός ο θόρυβος παράγεται από εξωτερικές πηγές όπως γραμμές εναλλασσόμενου ρεύματος, ηλεκτρικούς κινητήρες, γεννήτριες, μετασχηματιστές, λαμπτήρες φθορισμού, κολλητήρια, οθόνες καθοδικού σωλήνα, υπολογιστές, ηλεκτρικές καταιγίδες, συγκολλήσεις, ραδιοφωνικούς πομπούς καθώς και από εσωτερικές πηγές όπως ημιαγωγούς, αντιστάσεις και πυκνωτές.
4. Μόνωση: Όταν η είσοδος της κάρτας συλλογής δεδομένων και το σήμα που φθάνει στον διαμορφωτή σήματος είναι γειωμένα, προκύπτουν προβλήματα όταν υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο γειώσεων. Αυτή η διαφορά δυναμικού οδηγεί στο φαινόμενο που είναι γνωστό ως κύκλωμα γείωσης. Αυτό

ενδεχομένως να προκαλέσει ανακριβή απεικόνιση του συλλεγόμενου σήματος. Αν η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο γειώσεων είναι πολύ μεγάλη, υπάρχει περίπτωση να καταστραφεί το σύστημα μέτρησης. Η χρήση μονωμένων υπομονάδων διαμόρφωσης σήματος αποκλείει την εμφάνιση φαινομένων κυκλώματος γείωσης και εξασφαλίζει ότι το σήμα συλλέγεται με ακρίβεια. Μια άλλη αιτία για την οποία απαιτείται μόνωση είναι αυτή κατά την οποία το καταγραφικό σύστημα ενδεχομένως να παρουσιάζει αιφνίδιες μεταβολές τάσης. Η μόνωση του σήματος του αισθητήρα από τον υπολογιστή είναι ένα μέτρο ασφαλείας για την προστασία του υπολογιστή από πιθανή βλάβη.

5. Δημιουργία κυκλώματος γέφυρας: Μερικοί αισθητήρες όπως τα μηκυνσιόμετρα και οι αισθητήρες θερμικής αντίστασης λειτουργούν ως μέρος κυκλώματος γεφύρας Wheatstone. Οι διαμορφωτές σήματος και οι μονάδες ενδείξεων τέτοιων αισθητήρων παρέχουν τις απαιτούμενες αντιστάσεις για την υλοποίηση του κυκλώματος γεφύρας Wheatstone.

Οι αισθητήρες είναι γενικώς ο πιο αδύναμος κρίκος στα μετρητικά συστήματα επειδή πρέπει να μετατρέψουν τα χαρακτηριστικά της μηχανικής κίνησης σε ηλεκτρικό σήμα.

Ο υπόλοιπος εξοπλισμός σχετίζεται με τον μετασχηματισμό του ηλεκτρικού ή φωτεινού σήματος σε αριθμό και την αποθήκευσή του. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των αισθητήρων, τα οποία επηρεάζουν την αποδοτικότητά τους είναι [7]:

- Ευαισθησία: ενός οργάνου είναι το πηλίκο της ηλεκτρικής τάσης εξόδου προς το μηχανικό μέγεθος που μετράται (μετατόπιση, ταχύτητα, επιτάχυνση). Αυτό ισχύει για αισθητήρες μετατροπής ενέργειας (π.χ, αυτούς που δεν απαιτούν τροφοδοσία). Για τους παθητικούς αισθητήρες (π.χ. αυτούς που απαιτούν τροφοδοσία, μηκυνσιόμετρα, επιταχυνσιόμετρα), η ευαισθησία ορίζεται σε όρους ηλεκτρικής τάσης εξόδου ανά μονάδα της μέτρησης ανά μονάδα της τάσης του ρεύματος εισαγωγής (mV /mm/V).
- Εγκάρσια ευαισθησία: ορίζεται η ευαισθησία σε κίνηση παράλληλα προς επίπεδο το οποίο είναι κάθετο στον άξονα κύριας ευαισθησίας. Δηλώνεται ως ποσοστό της ευαισθησίας του κύριου άξονα. Προφανώς η εγκάρσια ευαισθησία πρέπει να είναι κατά το δυνατό μικρότερη.
- Η διακριτικότητα είναι η μικρότερη μεταβολή στο μετρούμενο μέγεθος η οποία μπορεί να παράγει την μικρότερη μεταβολή στο ηλεκτρικό σήμα εξόδου η οποία είναι δυνατό να καταγραφεί.
- Απόκριση συχνοτήτων είναι το εύρος συχνοτήτων πάνω από το οποίο το ηλεκτρικό σήμα εξόδου είναι σταθερό για σταθερή μηχανική κίνηση. Αυτή η σταθερότητα συνήθως εκφράζεται σε όρους dB.
- Μετάθεση φάσης είναι η χρονική καθυστέρηση μεταξύ της δημιουργίας της κίνησης και της παραγωγής του ηλεκτρικού σήματος του συστήματος. Η φάση μετάθεσης κάθετα προσανατολισμένων αισθητήρων πρέπει να είναι μικρή, ώστε η προκύπτουσα κίνηση η οποία υπολογίζεται από την διανυσματική πρόσθεση υποθετικά ταυτόχρονα μετρούμενων συνιστωσών να μην διαστρεβλώνεται.
- Απαιτήσεις βαθμονόμησης είναι η επιτρεπόμενη διακύμανση στο ηλεκτρικά παραγόμενο σήμα από σταθερού εύρους μηχανική κίνηση, όταν υπάρχουν αλλαγές στο εύρος συχνοτήτων των δεδομένων, αλλαγές στο περιβάλλον, αλλαγές στο εύρος του μεγέθους των δεδομένων ή την ώρα.

## 2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΑΠΟ ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Τα τελευταία χρόνια εκπονείται διεθνώς σημαντικού βαθμού έρευνα στον τομέα της ανάπτυξης αναλυτικών τεχνικών για την ανίχνευση βλαβών κατασκευών μέσω της καταγραφής της απόκρισης τους σε ταλαντώσεις. Αρχικά οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονταν στην αεροδιαστημική και στην μηχανολογία. Οι ερευνητικές μελέτες για την εφαρμογή τους σε κατασκευές αντικειμένου Πολιτικού Μηχανικού είναι πιο πρόσφατες.

Έχει αναπτυχθεί ένα πλήθος από διαφορετικές αναλυτικές τεχνικές για την αναγνώριση βλαβών από ανιχνεύσιμες αλλαγές των δυναμικών χαρακτηριστικών κατασκευών. Οι συνηθέστερες χρησιμοποιούμενες τεχνικές είναι :

- μεθοδολογίες που βασίζονται στην μεταβολή των ιδιοσυχνοτήτων
- μεθοδολογίες που βασίζονται στο παραμένον ιδιομορφικό δiάνυσμα
- μεθοδολογίες που βασίζονται στην μεταβολή της καμπυλότητας των ιδιομορφών
- μεθοδολογίες που βασίζονται στην αναθεώρηση του μητρώου δυσκαμψίας της κατασκευής

Μερικές εναλλακτικές μεθοδολογίες παρουσιάζονται παρακάτω. Οι πληροφορίες προέρχονται επίσης από το πόρισμα της ομάδας εργασίας του Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. με θέμα «*Ενόργανη παρακολούθηση δομικής κατάστασης σημαντικών έργων με σκοπό την πληρέστερη συντήρησή τους*» [7].

(α) Ανίχνευση βλαβών βασισμένη στη μεταβολή των ιδιοσυχνοτήτων.

Η μείωση των τιμών των ιδιοσυχνοτήτων συντονισμού δείχνει ότι έχει αναπτυχθεί βλάβη στην κατασκευή. Έχει αποδειχθεί [7] ότι μέσω του καθορισμού του λόγου μεταβολής σε δύο ιδιοσυχνότητες, είναι δυνατή η αναγνώριση της θέσης και της σφοδρότητας της βλάβης. Για παράδειγμα θεωρείστε την ιδιομορφική εξίσωση:

$$K\phi_i = \lambda_i M\phi_i$$

Στην εξίσωση αυτή  $K$  είναι το μητρώο δυσκαμψίας,  $\phi_i$  είναι η  $i$  ιδιομορφή,  $\lambda_i$  είναι η αντίστοιχη ιδιοτιμή ( $\omega^2$ ) και  $M$  είναι το μητρώο μάζας. Οποιαδήποτε βλάβη της κατασκευής μπορεί να μεταβάλει είτε το μητρώο δυσκαμψίας είτε/και μάζας, με αποτέλεσμα την αλλαγή των ιδιοσυχνοτήτων και των ιδιομορφών. Η ιδιομορφική εξίσωση για την κατασκευή με βλάβες γράφεται:

$$(K + \delta K)^* (\phi_i + \delta\phi_i) = (\lambda_i + \delta\lambda_i)^* (M + \delta M)^* (\phi_i + \delta\phi_i)$$

Υποθέτοντας ότι λόγω της βλάβης δεν μεταβάλλεται το μητρώο μάζας, ότι τα  $\delta K$  και  $\delta M$  είναι μικρά και αγνοώντας τα φαινόμενα δεύτερης τάξης προκύπτει:

$$(K\phi_i - \lambda_i M\phi_i) + (K - \lambda_i M)\delta\phi_i + \delta K\phi_i - \delta\lambda_i M\phi_i = 0$$

Η έκφραση στην πρώτη παρένθεση είναι μηδενική λόγω της παραπάνω σχέσης. Πολλαπλασιάζοντας και τα δύο μέλη της σχέσης με  $\phi_i^T$  και επειδή  $\phi_i^T (K - \lambda_i M) \phi_i = 0$  είναι η αντίστροφη της αρχικής σχέσης και άρα μηδενική, προκύπτει:

$$\delta \lambda_i = \frac{\phi_i^T \delta K \phi_i}{\phi_i^T M \phi_i}$$

Ας υποθεθεί ότι οι πρώτες (κύριες) ιδιοτιμές και ιδιομορφές της κατασκευής χωρίς βλάβες έχουν καθορισθεί είτε μέσω ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία της κατάστασης



χωρίς βλάβες είτε μέσω ιδιομορφικών δοκιμών. Στην κατασκευή με τις βλάβες πρέπει να γίνει ιδιομορφική δοκιμή για τον προσδιορισμό της μεταβολής των ιδιοτιμών των πρώτων ιδιομορφών. Έστω  $\delta\gamma_i$ , είναι η μεταβολή μεταξύ της  $i$  ιδιοτιμής της κατασκευής με βλάβες, η οποία προέκυψε από ιδιομορφική δοκιμή, και της ιδιοτιμής της κατασκευής χωρίς βλάβες όπως προέκυψε από ανάλυση ή δοκιμή. Έστω  $\delta\gamma_j$ , η αντίστοιχη τιμή για την  $j$  ιδιοτιμή. Για μια πιθανή περιοχή βλάβης στην κατασκευή που αντιπροσωπεύεται από το πεπερασμένο στοιχείο  $r$  η δυσκαμψία μειώθηκε από  $k^r$  σε  $ak^r$  έτσι ώστε:

$$\delta K = (a - 1) k^r$$

Εισάγοντας την τιμή  $\delta K$  από τις παραπάνω σχέσεις προσδιορίζεται ο όρος  $\delta\lambda_i$ , και παρόμοια ο όρος  $\delta\lambda_j$ , και στις δύο περιπτώσεις συναρτήσει της άγνωστης παραμέτρου  $a$ . Ο λόγος  $\delta\lambda_i/\delta\lambda_j$  είναι πλήρως καθορισμένος και ανεξάρτητος από το  $a$ . Στην περίπτωση που η περιοχή βλάβης που επιλέχθηκε είναι σωστή τότε ο λόγος  $\delta\gamma_i/\delta\gamma_j$  πρέπει να είναι ίσος ή κοντά στον λόγο  $\delta\lambda_i/\delta\lambda_j$ .

Με την μέθοδο αλλαγής της συχνότητας που παρουσιάστηκε παραπάνω είναι δυνατή η σωστή ανίχνευση βλαβών, μόνο στην περίπτωση κατά την οποία αυτή είναι συγκεντρωμένη σε μία θέση. Βλάβες κατανεμημένες σε μεγάλο μήκος της κατασκευής δεν μπορούν να ανιχνευθούν. Επιπλέον, όταν η κατασκευή είναι συμμετρική, υπάρχει αμφιβολία στην αναγνώριση της θέσης της βλάβης. Ακόμα, η εκτίμηση του βαθμού της βλάβης δεν είναι ακριβής στις περιπτώσεις μεγάλης βλάβης.

(β) Ανίχνευση βλαβών βάσει του παραμένουτος ιδιομορφικού διανύσματος [7].

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην μέτρηση των ιδιοσυχνοτήτων και των ιδιομορφών της κατασκευής με βλάβες. Η ιδιομορφική εξίσωση για την κατασκευή με βλάβες είναι:

$$(K + \delta K)\varphi_{di} - \lambda_{di}M\varphi_{di} = 0$$

Στη σχέση αυτή  $\varphi_{di}$  είναι η  $i$  ιδιομορφή της κατασκευής με βλάβες,  $\lambda_{di}$  είναι η σχετική ιδιοτιμή και θεωρείται ότι λόγω της βλάβης δεν μεταβάλλεται το μητρώο μάζας. Όλες οι ποσότητες εκτός της  $\delta K$ , είναι γνωστές ή έχουν καθορισθεί από ιδιομορφική δοκιμή. Η σχέση αυτή εναλλακτικά γράφεται στην παρακάτω μορφή:

$$K\varphi_{di} - \lambda_{di}M\varphi_{di} = R_i = -\delta K\varphi_{di}$$

Από την εκτίμηση του αριστερού μέλους αυτής της σχέσης προκύπτει το παραμένον ιδιομορφικό διάνυσμα της  $i$  ιδιομορφής. Το μητρώο  $\delta K$  θα έχει μη μηδενικούς όρους οι οποίοι θα αντιστοιχούν μόνο στους βαθμούς ελευθερίας που συνδέονται στο στοιχείο με βλάβες. Αντίστοιχα, οι μη μηδενικοί όροι στο  $R_i$  θα αντιστοιχούν στους ίδιους βαθμούς ελευθερίας. Η γνώση αυτών των βαθμών ελευθερίας και της σχέσης συνδεσμολογίας μεταξύ των στοιχείων και των βαθμών ελευθερίας, επιτρέπει τον καθορισμό της θέσης της βλάβης. Όταν καθορίζονται πάνω από μία ιδιομορφές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η απόλυτη τιμή του αθροίσματος των παραμενόντων ιδιομορφικών διανυσμάτων για τον καθορισμό της θέσης της βλάβης. Όταν χρησιμοποιείται η απόλυτη τιμή του αθροίσματος, οι ιδιομορφές πρέπει να κανονικοποιούνται καταλλήλως, ώστε έτσι ώστε τα διακριτά στοιχεία των διαφόρων ιδιομορφών να έχουν την ίδια τάξη μεγέθους.

Έχοντας εντοπίσει τα στοιχεία με βλάβες, είναι δυνατό να εκφρασθεί το  $\delta K$  ως το σταθμισμένο άθροισμα των μητρώων δυσκαμψίας των στοιχείων με βλάβες. Οι συντελεστές στάθμισης, οι οποίοι είναι οι άγνωστοι του προβλήματος, καθορίζουν το βαθμό της βλάβης στα βλαμμένα στοιχεία. Για παράδειγμα, αν η μεταβληθείσα δυσκαμψία σε ένα στοιχείο  $j$

είναι  $a_j k_j$  τότε προκύπτει:

$$\delta K = \sum_j k_j (\alpha_j - 1)$$

Στη σχέση αυτή η άθροιση γίνεται για όλα τα στοιχεία με βλάβη. Ορίζοντας ως  $\beta_j = 1 - a_j$  η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\left( \sum_j \beta_j k_j \right) \phi_{di} = -R_i$$

Στην περίπτωση κατά την οποία προσδιορίζονται πάνω από μία ιδιομορφές, αντί της παραπάνω σχέσης χρησιμοποιείται η:

$$\sum_i \left| \left( \sum_j \beta_j k_j \right) \phi_{di} \right| = \sum_i |R_i|$$

Οι δύο ανωτέρω σχέσεις μπορεί να επιλυθούν για τον προσδιορισμό των τιμών των συντελεστών  $\beta_j$ . Γενικώς, θα προκύψει πάνω από μία τιμή για κάθε έναν από τους συντελεστές  $\beta_j$ . Από τις διαφορετικές τιμές υπολογίζεται η μέση για να προκύψει η βέλτιστη εκτίμηση. Στη μέθοδο αυτή απαιτείται ένα προσομοίωμα με πεπερασμένα στοιχεία της κατασκευής χωρίς βλάβες και η μέτρηση των ιδιομορφών της κατασκευής με βλάβες. Στην πραγματικότητα πρέπει να μετρούνται οι ιδιομορφικές μετατοπίσεις σε όλους τους βαθμούς ελευθερίας του αναλυτικού προσομοιώματος και συμπεριλαμβανομένων και αυτών που βρίσκονται κοντά στην περιοχή της βλάβης. Οι τυχόν στροφικοί βαθμοί ελευθερίας, είναι πολύ δύσκολο να μετρηθούν στην πράξη. Οι στροφές μπορούν να προκύψουν από τις μετρούμενες μετατοπίσεις.

## 2.3 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.

### 2.3.1 Επισήμανση φθορών

Για τη σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος συντήρησης του οδικού δικτύου είναι απαραίτητο να είναι γνωστά τα κύρια χαρακτηριστικά της οδού, η ακριβής εξέλιξη των υπαρχουσών φθορών του οδοστρώματος και τα σημεία τα οποία προαναγγέλλουν τη δημιουργία νέων φθορών. Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στην ενότητα αυτή και αφορούν την αναγνώριση των φθορών στα οδοστρώματα προέρχονται από το σύγγραμμα «Τεχνική της Κατασκευής» της ενότητας ΔΧΤ 51 του ΕΑΠ [8].

Ο προγραμματισμός της συντήρησης των φθορών απαιτεί πληροφορίες μεγάλης ακρίβειας, οι οποίες πρέπει να παρέχονται από έμπειρους μηχανικούς με θεωρητική και πρακτική κατάρτιση σε αυτό το θέμα. Από στοιχεία που συγκεντρώνονται συμπληρώνεται το «Μητρώο οδών» και ακολουθεί βάσει αυτού η μελέτη σύνταξης του προγράμματος συντήρησης. Όταν δεν υπάρχει «Μητρώο οδών» για να προγραμματιστεί συντονισμένα η συντήρηση ολόκληρου του οδικού δικτύου, χωρίζεται το δίκτυο σε τμήματα, επισημαίνονται και καταγράφονται οι φθορές κάθε τμήματος χωριστά, κατόπιν κατατάσσονται με φθίνουσα σειρά σπουδαιότητας και προγραμματίζεται η συντήρησή τους ανεξάρτητα από τα άλλα τμήματα.

Η επισήμανση και η καταγραφή των φθορών είναι σημαντική διότι:

- εντοπίζονται οι υπάρχουσες φθορές
- οι θέσεις που προαναγγέλλουν τη δημιουργία νέων φθορών
- οδηγεί σε σωστό προγραμματισμό της συντήρησης του τμήματος του οδικού Δικτύου.

Η εκτίμηση των φθορών γίνεται με οπτική εκτίμηση της κατάστασης του οδοστρώματος:

- άμεση οπτική εκτίμηση
- φωτογραφική εκτίμηση

Τα στοιχεία που παίρνονται από τις δύο αυτές μεθόδους εκτίμησης των φθορών μεταξύ τους, προσδιορίζουν με περισσότερη ακρίβεια την κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος. Όσο περισσότερο σαφής είναι η κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος τόσο καλύτερα προγραμματίζεται η συντήρηση.

Οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος, όπως η αντιστοιχιστικότητα, η ομαλότητα κλπ. παρέχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού της κατάστασης του οδοστρώματος βάσει συγκεκριμένων μεγεθών και ταυτόχρονα παρέχουν ενδείξεις για την εμφάνιση φθορών στην επιφάνεια του.

Ο ακριβής προσδιορισμός των επιφανειακών φθορών γίνεται έπειτα από επί τόπου επιθεωρήσεις από εξειδικευμένο προσωπικό, που έχουν ως στόχο την εξασφάλιση πραγματικών δεδομένων για την κατάσταση του οδοστρώματος με σκοπό την βέλτιστη συντήρησή του.

Βοηθητικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτοματοποιημένο σύστημα αποτύπωσης και καταγραφής των επιφανειακών φθορών του οδοστρώματος που στηρίζεται στη τεχνολογία της βιντεοσκοπησης (Video-car) με δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων.

Οι επιθεωρήσεις για τον εντοπισμό επιφανειακών φθορών γίνονται σε συγκεκριμένα τμήματα του αυτοκινητόδρομου, όταν οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος εντοπίζουν την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης. Οι επιθεωρήσεις αυτές δεν συνδέονται με τις επιθεωρήσεις του οδοστρώματος, που γίνονται στα πλαίσια της στοιχειώδους συντήρησης.

### **2.3.2 Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ)**

Τα συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων (ΣΔΟ) αποτελούν το μέσο διαχείρισης των οδοστρωμάτων για την επισκευή και την συντήρησή τους με όσο το δυνατόν ευκολότερο και οικονομικότερο τρόπο. Οι πληροφορίες για τα συστήματα αυτά προέρχονται από το σύγγραμμα «Τεχνική της Κατασκευής» της ενότητας ΔΧΤ 51 του ΕΑΠ [8].

Ένα τυπικό σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων περιλαμβάνει τα εξής :

- τη βάση δεδομένων, όπου εμπεριέχονται τα στοιχεία που απαιτούνται για την ανάλυση του συστήματος, όπως καταγεγραμμένο ιστορικό κατασκευής, ιστορικό συντήρησης, στοιχεία κυκλοφορίας και πιθανά ατυχήματα.
- τις μεθόδους ανάλυσης, που μας δίνουν λύσεις για την λήψη αποφάσεων, όπως μεθοδολογία βελτιστοποίησης και εκτίμησης προτεραιοτήτων.
- τη διαδικασία ανατροφοδότησης, που χρησιμοποιεί δεδομένα που συμβαίνουν σε τρέχον χρονικό διάστημα, όπως πραγματικό κόστος συντήρησης, παρατηρήσεις πεδίου, με σκοπό την βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος.

Τα συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων (ΣΔΟ) μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες:

- Επίπεδο δικτύου, που ασχολείται με την συλλογή πληροφοριών του οδικού δικτύου για να μπορέσει να βρεθεί η καταλληλότερη στρατηγική συντήρησης και να εκτιμηθεί ο προϋπολογισμός, ώστε να γίνει σωστή κατανομή εργασιών με βάση τις προτεραιότητες εργασιών συντήρησης, οι οποίες αποφάσεις λαμβάνονται από ανώτατα διοικητικά στελέχη.
- Επίπεδο έργου, που ασχολείται με τεχνικές πληροφορίες που αφορούν συγκεκριμένο κομμάτι του δικτύου. Στόχο έχει την ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης και την μέγιστη διάρκεια ζωής της οδού.

Το επίπεδο δικτύου περιλαμβάνει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Κυκλοφοριακά στοιχεία, ατυχήματα
- Προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων που πρέπει να μετρούνται, των μεθόδων και του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί
- Εκτίμηση του απαιτούμενου προϋπολογισμού
- Αναγνώριση τμημάτων του δικτύου με παρόμοια χαρακτηριστικά
- Ιστορικό της κατάστασης των οδοστρωμάτων
- Πρόβλεψη των μελλοντικών αναγκών
- Εκτίμηση του κόστους των εργασιών συντήρησης, αποκατάστασης, ανακατασκευής
- Προσδιορισμός των προτεραιοτήτων του οδικού δικτύου
- Καθορισμός στρατηγικής εργασιών συντήρησης, αποκατάστασης, ανακατασκευής
- Εκτίμηση των επιπτώσεων εναλλακτικών προτάσεων κατανομής χρηματικών πόρων στη μελλοντική κατάσταση (συμπεριφορά) του οδοστρώματος
- Πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του οδικού δικτύου.

Το επίπεδο έργου περιλαμβάνει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ανατροφοδότηση της βάσης δεδομένων με στοιχεία σχετικά με την κατάσταση του οδοστρώματος
- Καθορισμό προτεραιοτήτων και λήψη αποφάσεων για τη συντήρηση, αποκατάσταση ή την ανακατασκευή με βάση τα κριτήρια που καθορίστηκαν από τα διοικητικά στελέχη
- Εφαρμογή ανάλυσης κόστους για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου
- Υπολογισμό του κόστους μεθόδων και υλικών που πιθανότατα να χρησιμοποιηθούν
- Εκτίμηση των ωφελειών από τη βελτίωση της κατάστασης του οδοστρώματος
- Παροχή λεπτομερών πληροφοριών των επιλεγμένων τμημάτων όπως φθορές και ολισθηρότητα
- Χρήση κύριων σχεδιαστικών παραμέτρων όπως η αντοχή του υπεδάφους, οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών, οι κλιματολογικές συνθήκες, σε περίπτωση που χρειάζεται να σχεδιαστεί νέο οδόστρωμα

Η διαδικασία ανατροφοδότησης των δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επιβεβαίωση και βελτίωση του συστήματος. Η αξιοπιστία επιτυγχάνεται συγκρίνοντας:

- Το πραγματικό κόστος κατασκευής, συντήρησης και αποκατάστασης του οδοστρώματος με αυτό που προκύπτει από την ανάλυση του συστήματος

- Τα πραγματικά πρότυπα συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων με αυτά που έχουν οριστεί στην ανάλυση του συστήματος
- Τις πραγματικές επιλογές συντήρησης, αποκατάστασης και ανακατασκευής με αυτές που προτείνει το σύστημα
- Τις παρατηρήσεις για την κατάσταση των οδοστρωμάτων και την κυκλοφορία στο πεδίο με αυτές που έχουν εξαχθεί από τα μοντέλα πρόβλεψης

Για την ανάπτυξη αυτών των ανωτέρω έχουν χρησιμοποιηθεί οι εξής μέθοδοι:

- Εμπειρικές: αναπτύσσονται μέσω της τυποποίησης και οργάνωσης της εμπειρίας σε σχέση με τη διαδικασία φθοράς των οδοστρωμάτων (έχουν υποκειμενική χρήση).
- Μηχανιστικές-Στατιστικές: περιγράφονται με μαθηματικές σχέσεις – πίνακες – διαγράμματα, οι οποίες βασίζονται σε παραμέτρους συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων όπως η καταπόνηση ή η παραμόρφωσή τους.
- Πιθανές: με αυτές γίνεται πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης του οδοστρώματος σε συνάρτηση πιθανότητας ενός εύρους πιθανών καταστάσεων.

## 2.4 ΕΝΟΡΓΑΝΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΓΕΦΥΡΩΝ – ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται χαρακτηριστικές περιπτώσεις εφαρμογής συστημάτων παρακολούθησης με όργανα για την καλύτερη συντήρηση και τον εντοπισμό / πρόληψη βλαβών σε οδικές γέφυρες. Συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά σε περιπτώσεις γεφυρών της Εγνατίας Οδού, για τις οποίες αντλήθηκαν πληροφορίες από την εργασία *Αποτίμηση Δυναμικών Χαρακτηριστικών Γεφυρών της Εγνατίας Οδού με Βάση την Απόκρισή τους σε Δυναμικές Διεγέρσεις* των Καρακώστα Χ, Παπαδημητρίου Κ, Λεκίδη Β, Πανέτσου Π, Ντότσιου Ε, Σαλονικίου Θ, Μακάριου Τ, Νικολάου Ι. και Σούς Ι [9].

Το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), ήδη από το 1994 έχει ενοργανώσει με κατάλληλο μόνιμο δίκτυο επιταχυνσιογράφων την Υψηλή Καλωδιωτή Γέφυρα της Χαλκίδας για την παρακολούθηση της δυναμικής της συμπεριφοράς. Επίσης, τα τελευταία χρόνια το ΠΣΑΚ, σε συνεργασία με το τμήμα Τακτικής Συντήρησης Μεγάλων Τεχνικών Έργων της Εγνατίας Οδού Α.Ε. και το Εργαστήριο Δυναμικής Συστημάτων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας έχει προχωρήσει στην ενοργάνωση με ειδικά δίκτυα επιταχυνσιογράφων και τη συστηματική παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς δύο γεφυρών της Εγνατίας. Η χρηματοδότηση για την ενοργάνωση των γεφυρών της Εγνατίας οδού που παρουσιάζεται εδώ έγινε στα πλαίσια του γενικότερου ερευνητικού προγράμματος «Αντισεισμική Προστασία Γεφυρών» (2003-2007, χρηματοδότηση από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, [9]).

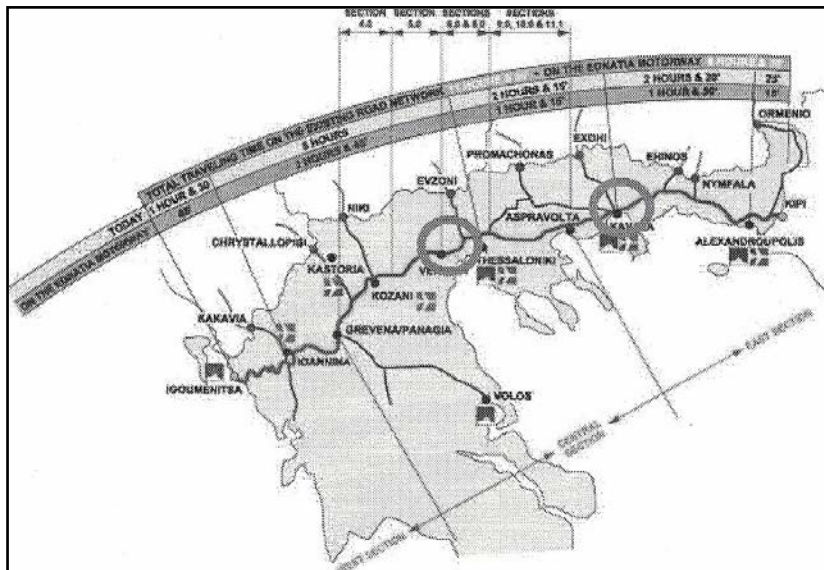
Έγινε καταρχάς η επιλογή δύο αντιπροσωπευτικών από δομικής πλευράς οδογεφυρών της Εγνατίας Οδού οι οποίες και ενοργανώθηκαν με ειδικά δίκτυα επιταχυνσιογράφων. Η τελική επιλογή των δύο γεφυρών από το σύνολο της Εγνατίας Οδού έγινε με βάση τα παρακάτω κύρια κριτήρια επιλογής:

- Είδος του δομικού συστήματος (φορέας στηριζόμενος μέσω εφεδράνων στα βάθρα / μονολιθικά συνδεδεμένος στα βάθρα φορέας)
- Αντιπροσωπευτικότητα του δομικού συστήματος και της μεθόδου κατασκευής του (ύπαρξη περισσότερων γεφυρών με το ίδιο σύστημα και κατασκευασμένες με προκατασκευή ή με προβολοδόμηση).
- Συμμετρία στην κατανομή μάζας - ακαμψίας και περιορισμένο μήκος γέφυρας,

παράγοντες που διασφαλίζουν την προβλέψιμη συμπεριφορά των φορέων και δεν απαιτούν μεγάλο αριθμό αισθητήρων.

- Δυνατότητα πρόσβασης στην ανωδομή και στις βάσεις των πυλώνων / ακροβάθρων.
- Δυνατότητα υλοποίησης απαιτούμενων έργων υποδομής για την ενοργάνωση (δυνατότητα παροχής ρεύματος, επικοινωνίας κλπ).
- Σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής του έργου.

Μετά από διάφορες επισκέψεις της ερευνητικής ομάδας σε διάφορες υποψήφιες γέφυρες, τελικά επιλέχθηκαν να ενοργανωθούν, ως πλέον κατάλληλες, η 2<sup>η</sup> Χαραδρογέφυρα παράκαμψης Καβάλας και η γέφυρα Γ9 (θέση 5.1 - Πολύμυλος) (οι θέσεις τους σημειώνονται με κύκλους στη παρακάτω Εικόνα 3.1).



**Εικόνα 3.1** Θέσεις γεφυρών που ενοργανώθηκαν στο πλαίσιο της μελέτης που παρουσιάζεται [9].

Η γέφυρα Γ2 ευρίσκεται στην Εγνατία οδό, στο τμήμα παράκαμψης της Καβάλας. Ένας από τους κύριους παράγοντες που οδήγησε την ερευνητική ομάδα στην επιλογή της συγκεκριμένης γέφυρας είναι ότι το δομικό της σύστημα είναι το πλέον αντιπροσωπευτικό μεταξύ των δομικών τύπων των γεφυρών της Εγνατίας Οδού αλλά και γενικότερα των ελληνικών αυτοκινητοδρόμων, και επομένως η διερεύνηση της δυναμικής του συμπεριφοράς αποκτά ιδιαίτερη σημασία, για την ΕΟΑΕ.

### Δομικό σύστημα 2<sup>ης</sup> χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας (Γ2)

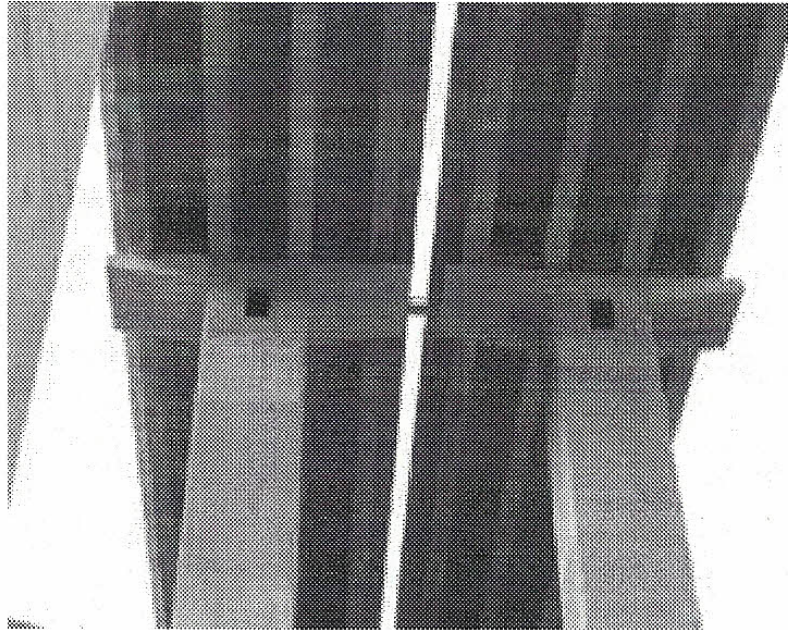
Η 2η Χαραδρογέφυρα παράκαμψης Καβάλας έχει δύο όμοιους, αλλά στατικούς ανεξάρτητους κλάδους (έναν ανά κατεύθυνση), εκ των οποίων ενοργανώθηκε ο δεξιός κλάδος κίνησης των οχημάτων από δυτικά προς ανατολικά (κλάδος Ηγουμενίτσας προς Κήπους).

Ο ενοργανωμένος κλάδος αποτελείται από τέσσερα ανοίγματα, στηριζόμενα σε τρία μεσόβαθρα και δύο ακρόβαθρα (Εικόνα 3.2). Η γέφυρα είναι ευθεία σε κάτοψη, ενώ παρουσιάζει κλίση στη διαμήκη διεύθυνση. Το κάθε άνοιγμα διαμορφώνεται από 4 προκατασκευασμένες, προεντεταμένες δοκούς διατομής I (Εικόνα 3.3), ανοίγματος 45 m,

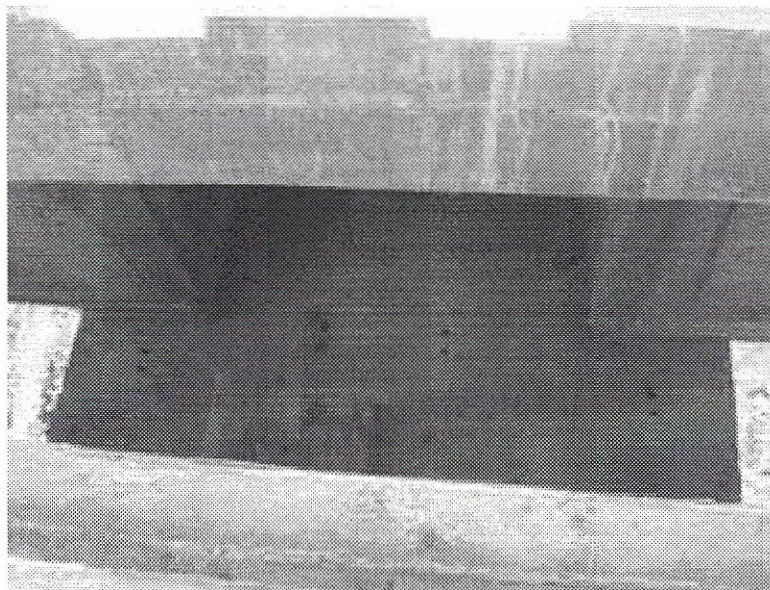
κάθε μία εκ των οποίων στηρίζεται στα δύο της άκρα με ελαστομεταλλικά εφέδρανα στις δοκούς έδρασης - κεφαλές των βάθρων και στα ακρόβαθρα (Εικόνα 3.4). Τα τέσσερα ανοίγματα συνδέονται με επί. τόπου σκυροδετούμενη πλάκα καταστρώματος η οποία συνεχίζει χωρίς αρμό άνωθεν των μεσοβάθρων, διαμορφώνοντας συνεχές κατάστρωμα μήκους 170 περίπου μέτρων, ενώ υπάρχουν αγκυρούμενοι ελαστομεταλλικοί αρμοί διαστολής στα δύο άκρα, στις περιοχές στήριξης στα ακρόβαθρα (Εικόνα 3.5). Στις δοκούς έδρασης- κεφαλές των μεσοβάθρων έχουν επίσης διαμορφωθεί ειδικοί σεισμικοί σύνδεσμοι οι οποίοι έχουν σχεδιασθεί να ενεργοποιούνται μετά την υπέρβαση τμήματος της συνολικής σεισμικής δράσης σχεδιασμού, τόσο κατά τη διαμήκη, όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση. Τα μεσοβάθρα είναι κοίλα, τετραγωνικής κιβωτισοειδούς διατομής, και έχουν κατασκευασθεί με επιτόπου έγχυση (τεχνική ολισθαίνοντος ξυλοτύπου), ενώ θεμελιώνονται με φρέατα στο βραχώδες υπόβαθρο. Σημειώνεται ότι οι προκατασκευασμένες δοκοί της 2ης χαραδρογέφυρας Παράκαμψης Καβάλας έχουν το μεγαλύτερο κατασκευασμένο μήκος ανοίγματος για το δεδομένο τύπο γέφυρας και για τη δεδομένη ποιότητα αντοχής σκυροδέματος (B35).



**Εικόνα 3.2** 2η Χαραδρογέφυρα παράκαμψης Καβάλας [9].



**Εικόνα 3.3** Άνοψη των δύο κλάδων της 2ης Χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας [9].

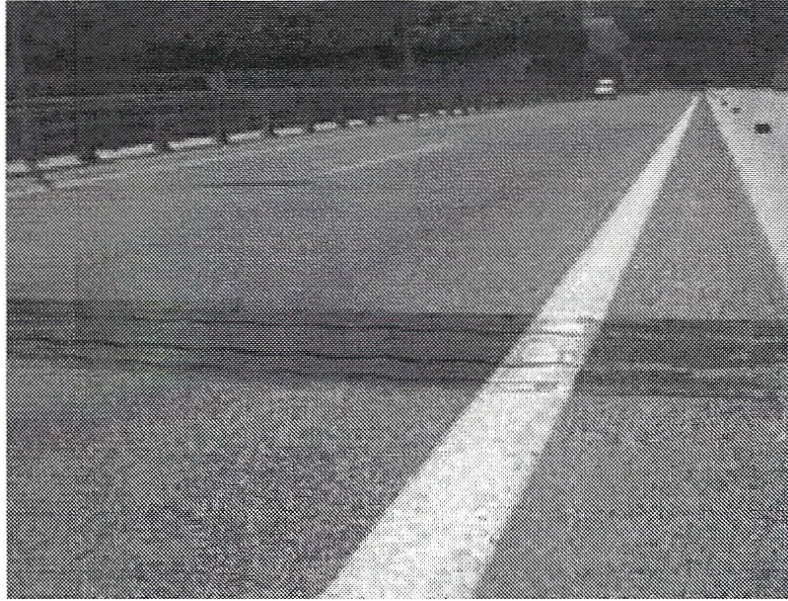


**Εικόνα 3.4** Στήριξη κυρίων δοκών στις δοκούς έδρασης των μεσοβάθρων μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων στη 2η Χαραδρογέφυρα παράκαμψης Καβάλας [9].

#### Ενοργάνωση 2<sup>ης</sup> χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας (Γ2).

Για την ενοργάνωση της γέφυρας χρησιμοποιήθηκε κινητό σύστημα καταγραφής της απόκρισης (σύστημα επιταχυνσιογράφων), το οποίο τοποθετήθηκε και λειτουργεί επί μονίμου βάσεως από τον Φεβρουάριο του 2005 έως και σήμερα. Το αποκτηθέν σύστημα ενοργάνωσης αποτελείται από 4 καταγραφικές μονάδες υψηλής ανάλυσης τύπου, η κάθε μία από τις οποίες υποστηρίζει μέχρι 12 αισθητήρες (επιταχυνσιόμετρα). Υπάρχει η δυνατότητα διασύνδεσης των καταγραφικών μονάδων, έτσι ώστε σε πλήρη σύνθεση υποστηρίζονται μέχρι 48 αισθητήρες.





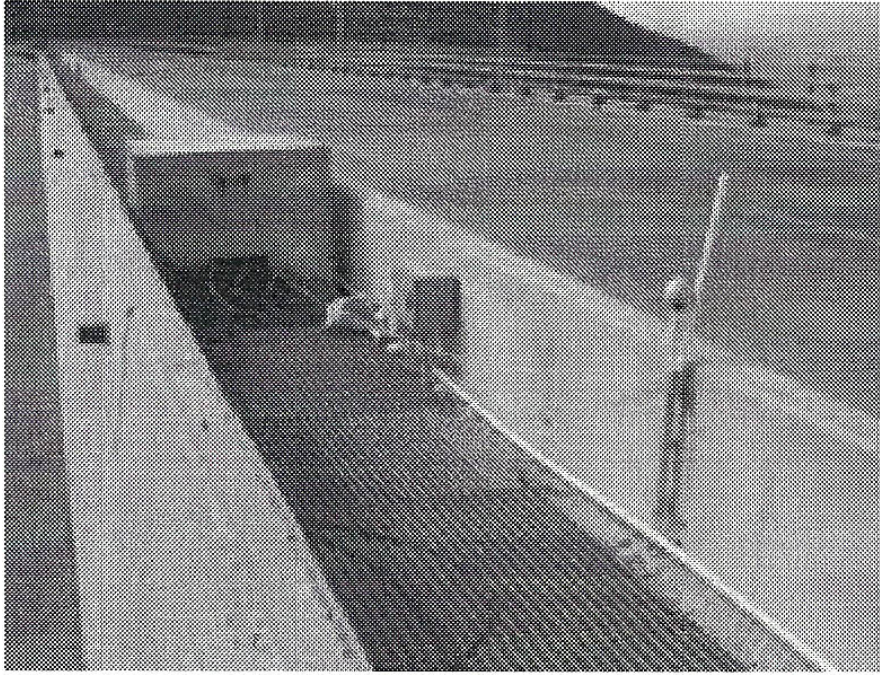
**Εικόνα 3.5** Κατάστρωμα 2ης Χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας και αρμός διαστολής στη θέση του ακροβάθρου [9].

Η δομή του συστήματος επιτρέπει τη διάσπαση του σε επιμέρους συστήματα (π.χ. δύο συστήματα των 24 αισθητήρων) για την ταυτόχρονη χρήση τους σε διαφορετικές γέφυρες, ενώ παράλληλα είναι ιδιαίτερα εύκολη η περαιτέρω επέκταση του με την απόκτηση πρόσθετων καταγραφικών μονάδων.

Το σύστημα στηρίζεται στην ηλεκτρονική αποθήκευση και άντληση της πληροφορίας, με σύγχρονο λογισμικό που παρέχει δυνατότητες γραφικών απεικονίσεων των κυματομορφών. Άλλα χαρακτηριστικά του συστήματος συμπεριλαμβάνουν τον κοινό χρόνο εκκίνησης, την κοινή διέγερση για όλα τα αισθητήρια, και τη δυνατότητα καθορισμού της έναρξης καταγραφής με πολλαπλούς τρόπους (π.χ. με εξωτερική εντολή, ή αυτόματα, όταν σε κάποια προκαθορισμένα από το χρήστη αισθητήρια, η διέγερση υπερβεί κάποια επίσης προκαθορισμένη τιμή).

Η κάθε καταγραφική μονάδα είναι επίσης εφοδιασμένη με μονάδα χρόνου GPS, καθώς και modem κινητής τηλεφωνίας (GSM/GPRS), το οποίο επιτρέπει την τηλεματική παρακολούθηση της λειτουργικής κατάστασης του συστήματος και τη ρύθμιση των σχετικών παραμέτρων.

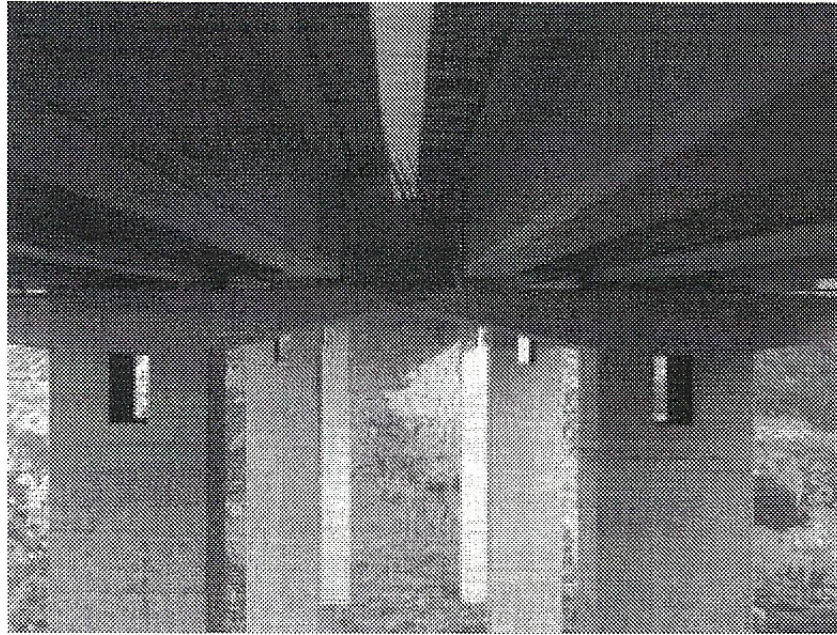
Παράλληλα με τις διαδικασίες απόκτησης του συστήματος ενοργάνωσης ΕΘΑΕ, υλοποιήθηκαν τα απαιτούμενα έργα υποδομής για την ενοργάνωση (Εικόνα 3.6). Τα έργα αυτά περιελάμβαναν, μεταξύ άλλων, τη δημιουργία προστατευτικών μεταλλικών κλωβών (Εικόνα 3.7) για τα καταγραφικά συστήματα, και τη δημιουργία θέσεων ρευματοληψίας σε κατάλληλες θέσεις (Εικόνα 3.8).



**Εικόνα 3.6** 2η Χαραδρογέφυρα παράκαμψης Καβάλας - εκτελεσθέντα έργα υποδομής του συστήματος παρακολούθησης [9].



**Εικόνα 3.7** Μεταλλικός κλωβός προστασίας καταγραφικής μονάδας του συστήματος παρακολούθησης της 2ης Χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας και κωβίο ρευματοληψίας. Διακρίνεται επίσης η κεραία GPS [9].



**Εικόνα 3.8** Κυτίο ρευματοληψίας και αισθητήρας μέτρησης του συστήματος παρακολούθησης της 2ης Χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας [9].

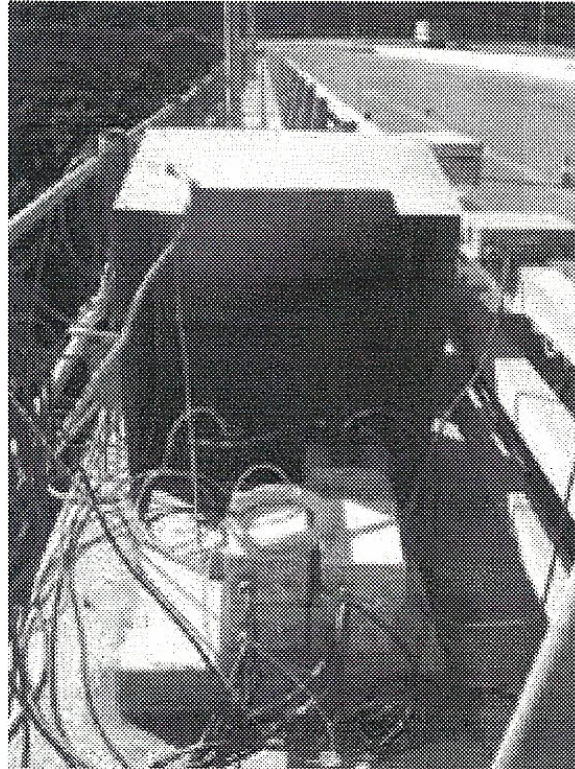
Για την επιτυχή παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς της γέφυρας ήταν απαραίτητη η τοποθέτηση αισθητήρων και στις δοκούς έδρασης των μεσοβάθρων, στις θέσεις στήριξης των κυρίων δοκών του καταστρώματος μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων, η πρόσβαση στις οποίες αρχικά δεν ήταν άμεσα εφικτή. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκαν επίσης, έπειτα από σχετική μελέτη από το ΙΤΣΑΚ, τρεις ειδικές μεταλλικές πλατφόρμες που επιτρέπουν την ασφαλή πρόσβαση από το επίπεδο του καταστρώματος στην κορυφή του κάθε πυλώνα (θέσεις εφεδράνων, Εικόνα 3.9).



**Εικόνα 3.9** Πλατφόρμα πρόσβασης στην κορυφή του πυλώνα της 2ης Χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας [9].

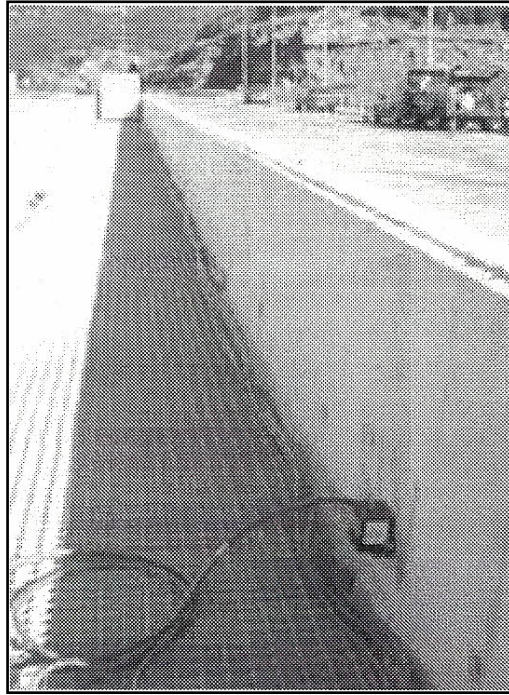
Από την ερευνητική ομάδα, και με δεδομένα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και διαστάσεις της γέφυρας, κρίθηκε ότι επαρκούσε για την πλήρη παρακολούθηση της η ενοργάνωση της με χρήση 24 αισθητήρων που θα υποστηρίζονται από 2 καταγραφικές μονάδες. Στο μέσο του συνολικού ανοίγματος και σε κάθε πλευρά της γέφυρας

εγκαταστάθηκε μία καταγραφική μονάδα (Εικόνα 3.10), και υλοποιήθηκε μεταξύ τους σύνδεση με ειδικό καλώδιο για την επίτευξη κοινής εκκίνησης εγγραφής όλων των αισθητήρων. Στη μία («δεξιά», σύμφωνα με την κίνηση των οχημάτων) πλευρά της γέφυρας, όπου υπήρχε πεζοδρόμιο, οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν σε αυτό (Εικόνα 3.11), ενώ στην άλλη («αριστερή») πλευρά, η τοποθέτηση τους έγινε στο κάτω μέρος (στο ύψος του καταστρώματος) της εξωτερικής πλευράς του υφιστάμενου διαχωριστικού New Jersey (Εικόνα 3.11).

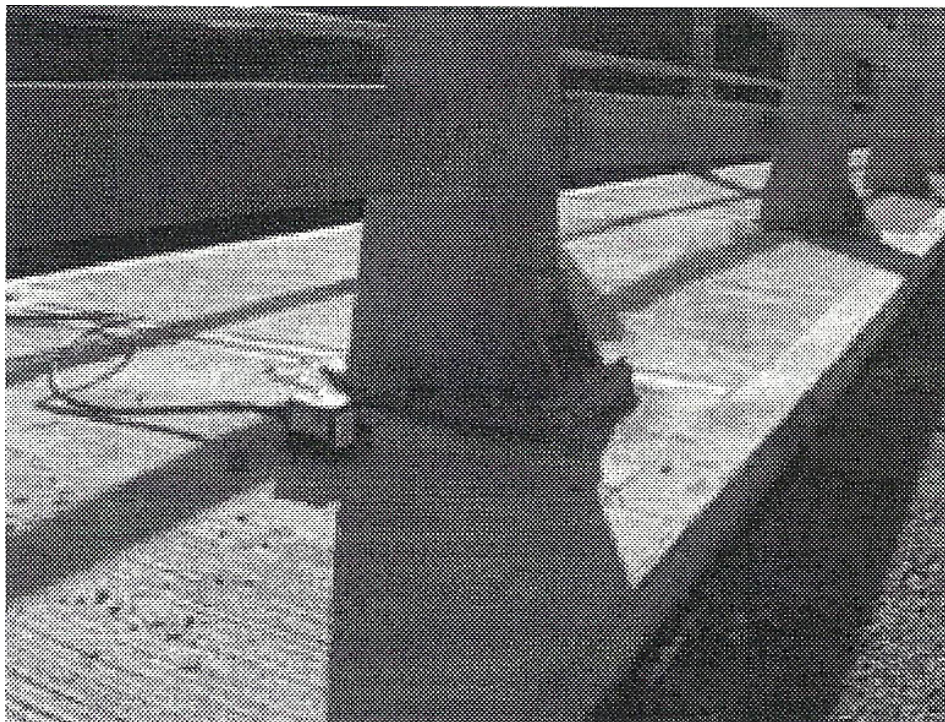


**Εικόνα 3.10** Καταγραφική μονάδα (δεξιά πλευρά) του συστήματος παρακολούθησης της 2ης Χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας [9].

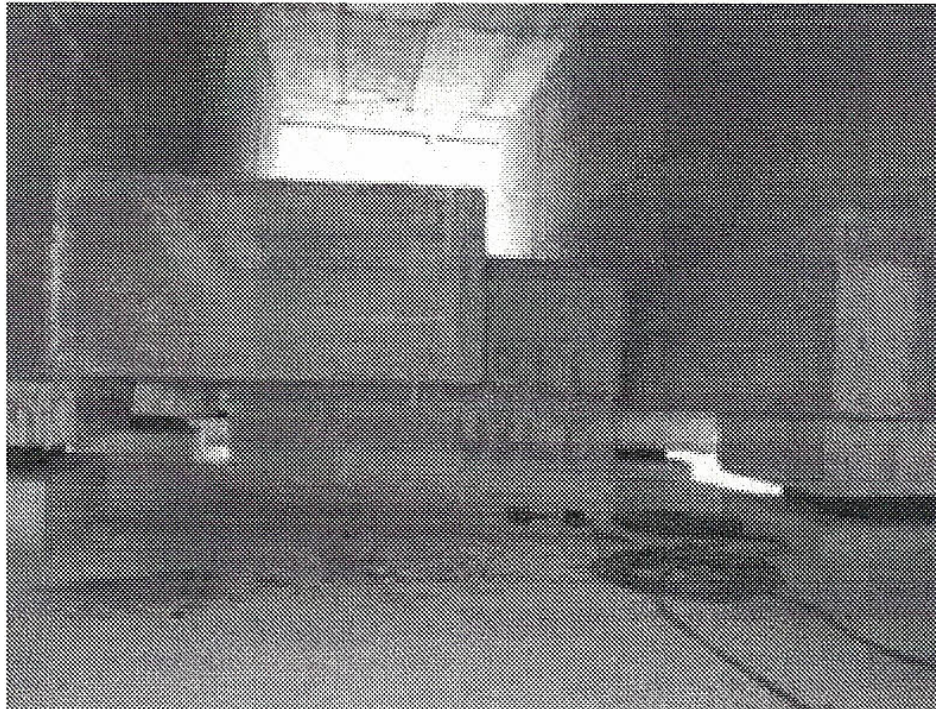
Όπως προαναφέρθηκε, η κατασκευή των μεταλλικών πλατφορμών πρόσβασης, επέτρεψε την τοποθέτηση αισθητήρων και στην κεφαλή των μεσοβάθρων με στόχο την αποσαφήνιση της λειτουργίας των ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Λόγω των αντίξοων καιρικών συνθηκών κατά τη διάρκεια του χειμερινών μηνών (χαμηλές θερμοκρασίες, παγετός, χιονοπτώσεις και χρήση άλατος για αντιπαγετικούς λόγους στο κατάστρωμα της γέφυρας) επιδιώχθηκε πρόσθετη προστασία των αισθητηρίων με την κάλυψη τους με πρόσθετα κυτία από πλαστικό υλικό (Εικόνα 3.13).



**Εικόνα 3.11** Αισθητήριο επί του διαχωριστικού New Jersey (αριστερή πλευρά) του συστήματος παρακολούθησης της 2ης Χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας [9].

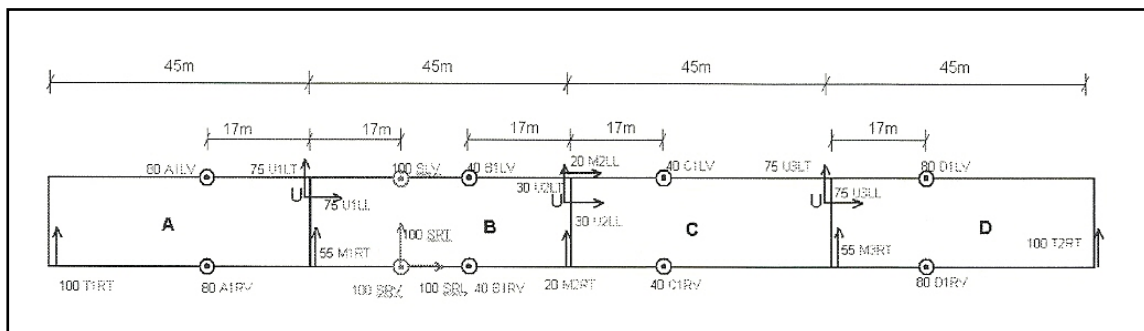


**Εικόνα 3.12** Αισθητήριο επί του πεζοδρομίου (δεξιά πλευρά) του συστήματος παρακολούθησης της 2ης Χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας [9].



**Εικόνα 3.13** Τοποθέτηση αισθητήρων στην κεφαλή των μεσοβάθρων της 2ης Χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας [9].

Η διάταξη που προκρίθηκε τελικά φαίνεται στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.14), στοχεύει δε στην παρακολούθηση της απόκρισης της γέφυρας με βάση την καταγραφή της διέγερσης της από περιβαλλοντικά αίτια (κυρίως κυκλοφορία οχημάτων).



**Εικόνα 3.14** Σχηματική αναπαράσταση της τελικής μορφής του συστήματος παρακολούθησης της 2ης Χαραδρογέφυρας παράκαμψης Καβάλας. Η κίνηση των οχημάτων γίνεται από αριστερά προς τα δεξιά (κατεύθυνση από Καβάλα προς Ξάνθη) [9].

Τόσο κατά την εγκατάσταση των συστημάτων παρακολούθησης, όσο και κατά τις τακτικές επιτόπου επισκέψεις για τη συντήρηση των οργάνων και τη επιτόπου λήψη καταγραφών από κυκλοφοριακές διεγέρσεις, ελαμβάνοντο όλα τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας τόσο για τα κινούμενα οχήματα όσο και για το επιτόπου ευρισκόμενο προσωπικό.

## 2.5 ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΔΟΜΙΚΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ.

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των νέων γεφυρών ακολουθεί τις αυστηρές απαιτήσεις που έχουν επιβληθεί από τους σύγχρονους κανονισμούς και τη θεαματική αύξηση της επιστημονικής γνώσης πάνω στο αντικείμενο αυτό. Εξαιρετικά σημαντικό όμως είναι και το θέμα του προσεισμικού ελέγχου και της αναβάθμισης των υφιστάμενων γεφυρών έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις σύγχρονες ανάγκες σεισμικής προστασίας. Η εμπειρία έχει δείξει ότι πολλές φορές η αστοχία μίας γέφυρας μπορεί να προληφθεί με σχετικά απλές και μη δαπανηρές επεμβάσεις, αρκεί να έχει επισημανθεί το αδύνατο σημείο προ του σεισμού. Σε χώρες με προηγμένο τεχνολογικό επίπεδο και μεγάλα σεισμικά προβλήματα, όπως οι ΗΠΑ, η Ιαπωνία και η Νέα Ζηλανδία, έχουν ήδη γίνει σημαντικά βήματα προς αυτή την κατεύθυνση. Στην Ελλάδα, όπως άλλωστε και σε πολλές άλλες χώρες, η συγκεκριμένη προσπάθεια βρίσκεται ακόμα στο ξεκίνημα, αν και πρόσφατα έχουν γίνει κάποιες σχετικές ενέργειες. Η παράγραφος αυτή παρουσιάζει προτεινόμενες απλές μεθόδους για τον προσεισμικό έλεγχο γεφυρών, οι οποίες μπορούν να συμβάλλουν στη διαπίστωση ή/και πρόληψη σεισμικών κυρίως αλλά και άλλων δομικών βλαβών. Οι πληροφορίες έχουν αντληθεί από το κείμενο «Αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης γεφυρών: διαδικασία και παραδείγματα» του καθηγητή Κωνσταντίνου Σπυράκου που παρουσιάστηκε στην ημερίδα της Ε.Ε.ΜΕ.Γ. το 2013 [10].

Οι μέθοδοι προσεισμικού ελέγχου στοχεύουν στον εντοπισμό των γεφυρών που πρέπει να αξιολογηθούν λεπτομερώς και να εξεταστεί η πιθανότητα σεισμικής τους ενίσχυσης ή επισκευής κατά προτεραιότητα. Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για την ταξινόμηση αυτή είναι οι ακόλουθες:

- Δομική τρωτότητα.
- Σπουδαιότητα.
- Σεισμική επικινδυνότητα.
- Κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες.

Η πλήρης διαδικασία περιλαμβάνει βασικά τον υπολογισμό του *δείκτη δομικής τρωτότητας*, του *δείκτη σπουδαιότητας*, του *δείκτη σεισμικής επικινδυνότητας*, τα *εδαφικά χαρακτηριστικά* και συμπληρωματικά τη *θεώρηση κοινωνικοοικονομικών παραγόντων* για την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων όσον αφορά στην προτεραιότητα σεισμικής ενίσχυσης κάθε γέφυρας.

Ο δείκτης δομικής τρωτότητας είναι συνάρτηση της τρωτότητας των εφεδράνων, σεισμικών συνδέσμων, εδράσεων, μεσόβαθρων, ακρόβαθρων και ρευστοποίησης εδάφους, αλλά και της χρονολογίας μελέτης και της γενικής κατάστασης της γέφυρας. Αντίστοιχα ο δείκτης σπουδαιότητας εξαρτάται από διάφορες συγκοινωνιακές παραμέτρους, τις απώλειες ανθρώπινων ζώων και τις οικονομικές ζημιές που θα προκύψουν από ενδεχόμενη κατάρρευση της γέφυρας, τη στρατηγική σημασία της γέφυρας και τις συνέπειες από την αστοχία δικτύων (ύδρευσης, αποχέτευσης, φυσικού αερίου, κτλ.) που διέρχονται πάνω από τη γέφυρα στην περίπτωση υπερβολικής σεισμικής μετακίνησης του φορέα. Τέλος, ο δείκτης σεισμικής επικινδυνότητας είναι συνάρτηση εδαφικών παραμέτρων, όπως αυτές ορίζονται στον αντίστοιχο αντισεισμικό κανονισμό κάθε χώρας.

Με βάση τους παραπάνω δείκτες υπολογίζεται ο *δείκτης σεισμικής τρωτότητας* της γέφυρας και ακολούθως, σε συνδυασμό με κοινωνικο-οικονομικά κριτήρια, προσδιορίζεται ο *βαθμός προτεραιότητας* για περαιτέρω έλεγχο και ενδεχόμενη σεισμική ενίσχυση της εξεταζόμενης γέφυρας. Τα κοινωνικο-οικονομικά κριτήρια καθορίζονται από τις αρμόδιες κρατικές αρχές σε συνεργασία με τους παράγοντες της τοπικής αυτοδιοίκησης.

Στην περίπτωση που οι δείκτες δομικής και σεισμικής τρωτότητας υπερβαίνουν συγκεκριμένες τιμές, απαιτείται περαιτέρω έλεγχος της γέφυρας που σκοπό έχει την ορθολογικότερη και με βάση πληρέστερα στοιχεία διερεύνηση της δομικής τρωτότητας του έργου. Από τη διερεύνηση αυτή θα προκύψει η αναγκαιότητα εκπόνησης ειδικής μελέτης ελέγχου σεισμικής επάρκειας και ενίσχυσης της γέφυρας.

#### Μεθοδολογία προσεισμικού ελέγχου υφιστάμενων γεφυρών [10].

Ακολούθως αναφέρονται στοιχεία από έρευνα η οποία εκπονήθηκε με χρηματοδότηση του ΟΑΣΠ με τίτλο “Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Προσεισμικού Ελέγχου Υφιστάμενων Τύπων Γεφυρών και Διατύπωση Ενδεικτικών Προτάσεων Αναβάθμισης του Επίπεδου Ασφαλείας τους”. Η έρευνα αυτή αποτελεί μία πρώτη προσπάθεια αντιμετώπισης του προβλήματος στον τομέα των τεχνικών έργων, και βασίζεται κυρίως στις προϋπάρχουσες οδηγίες των ΗΠΑ και της Ν. Ζηλανδίας, διαφοροποιείται όμως αισθητά από αυτές σε συγκεκριμένα σημεία, τόσο λόγω των τοπικών ιδιαιτεροτήτων, όσο και της διαφοράς νοοτροπίας στην προσέγγιση των θεμάτων.

Αντικείμενο της έρευνας υπήρξε η σύνταξη μιας μεθοδολογίας προσεισμικού ελέγχου γεφυρών και τεχνικών έργων, που επιτρέπει τον εντοπισμό με συνοπτικές διαδικασίες όσων παρουσιάζουν προβλήματα και καταλήγει σε βαθμονόμηση των έργων από πλευράς σεισμικής τρωτότητας. Η βαθμονόμηση αυτή επιτρέπει στην Πολιτεία να οργανώσει μεθοδικά και με ρεαλιστική ιεράρχηση την ενίσχυση και αναβάθμιση των γεφυρών.

Σκοπός επομένως της μελέτης ήταν η άμεση δοκιμαστική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, η οποία επιτρέπει να επισημανθούν τυχόν ελλείψεις, ασάφειες και πρακτικές δυσκολίες, ώστε να γίνουν βαθμιαία οι απαραίτητες προσαρμογές και βελτιώσεις. Ταυτόχρονα, με την εφαρμογή πραγματοποιείται μία πρώτη κατηγοριοποίηση των γεφυρών κατά περιοχή, από άποψη σεισμικής τρωτότητας, που επιτρέπει στην Πολιτεία την λήψη αποφάσεων για αναβάθμιση και ενίσχυση ορισμένων γεφυρών που κρίνεται απαραίτητο ή και επείγον.

Ακολούθως παρουσιάζονται συνοπτικά τα Στάδια Α και Β της προτεινόμενης μεθοδολογίας καθώς και τα παραδείγματα που περιέχει η μελέτη.

#### Στάδιο Α

Το Στάδιο Α της μεθοδολογίας προσεισμικού ελέγχου στοχεύει στον εντοπισμό των γεφυρών εκείνων που πρέπει να έχουν προτεραιότητα λεπτομερούς αξιολόγησης και πιθανής σεισμικής ενίσχυσης. Για την κατάταξη κάθε γέφυρας σε σειρά προτεραιότητας από άποψη ανάγκης για λεπτομερή έλεγχο και πιθανή σεισμική ενίσχυση, λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία: *δομική τρωτότητα, σπουδαιότητα, σεισμική επικινδυνότητα, εδαφικά χαρακτηριστικά και κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες.*

#### Στάδιο Β

Αντικείμενο του ελέγχου Σταδίου Β αποτελούν οι γέφυρες των οποίων ο δείκτης σεισμικής τρωτότητας (T) υπερβαίνει την τιμή 10 και ταυτόχρονα ο δείκτης δομικής τρωτότητας (Δ) την τιμή 5 (όπως καθορίστηκαν στο Στάδιο Α), καθώς επίσης και όταν ο δείκτης  $\Delta D I A \geq 5$  [10]. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εκπόνηση του Σταδίου Β αποτελεί η γνώση επαρκών στοιχείων της γέφυρας που θα επιτρέψουν την εκπόνηση αξιόπιστων αναλύσεων. Αλλιώς ο έλεγχος παραπέμπεται σε Στάδιο Γ, στο οποίο θα αναζητηθούν πλέον όλα τα στοιχεία σχεδιασμού. Η προτεραιότητα ελέγχου καθορίζεται από τον πίνακα του δείκτη σεισμικής τρωτότητας, όπως συντάχθηκε στο Στάδιο Α της έρευνας.



Σκοπός του ελέγχου σταδίου Β είναι η ορθολογικότερη και με βάση πληρέστερα στοιχεία συνοπτική διερεύνηση της δομικής τρωτότητας του έργου. Από τη διερεύνηση αυτή θα προκύψει η αναγκαιότητα εκπόνησης ειδικής μελέτης ελέγχου σεισμικής επάρκειας και ενίσχυση της γέφυρας.

### **2.5.1 Μέθοδοι αποτίμησης τρωτότητας γεφυρών**

Η αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης συνίσταται στην ποσοτικοποίηση του αναμενόμενου βαθμού δομικής βλάβης (σεισμική τρωτότητα) ως συνάρτηση της στάθμης της σεισμικής έντασης (σεισμική επικινδυνότητα). Η μελέτη της τρωτότητας μπορεί να γίνει με μεθόδους οι οποίες σε γενικές γραμμές διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες [10]:

#### **(1) Εμπειρικές μέθοδοι βασισμένες σε στατιστική επεξεργασία πραγματικών στοιχείων**

Στην προσέγγιση αυτή χρησιμοποιούνται στοιχεία βλαβών που παρατηρήθηκαν σε προηγούμενους σεισμούς, κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία, προκειμένου να εκτιμηθούν καμπύλες τρωτότητας ύστερα από στατιστική επεξεργασία. Οι καμπύλες τρωτότητας περιγράφουν την πιθανότητα, για δεδομένη σεισμική ένταση, η βλάβη της κατασκευής να είναι ίση ή μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή.

Συνήθως αναφέρονται σε διαφορετικές κατηγορίες γεφυρών, οι οποίες καθορίζονται με βάση την τυπολογία τους, καθώς γίνεται η παραδοχή πως κατασκευές με παρόμοια χαρακτηριστικά θα παρουσιάσουν παρόμοια συμπεριφορά για την ίδια σεισμική δράση.

#### **(2) Μέθοδοι βασισμένες στην κρίση του μηχανικού (expert judgment)**

Πρόκειται για έναν εναλλακτικό τρόπο προεκτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς γεφυρών διαφορετικής τυπολογίας, όπου αντί των (ελλειπόντων) στατιστικών στοιχείων, χρησιμοποιείται η εμπειρία. Βασίζεται στην στατιστική επεξεργασία της (ποσοτικοποιημένης) «κρίσης» εμπειρών μηχανικών για τη συμπεριφορά της κατασκευής, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μητρώων πιθανότητας βλάβης και τελικά τον προσδιορισμό καμπυλών τρωτότητας για κάθε κατηγορία γεφυρών.

#### **(3) Αναλυτικές μέθοδοι**

Η σεισμική συμπεριφορά γεφυρών από σκυρόδεμα και επομένως η σεισμική τους τρωτότητα είναι δυνατό να εκτιμηθεί με τη βοήθεια αναλυτικών προσομοιωμάτων, από τα οποία, μέσω κατάλληλης συσχέτισης των υπολογιζόμενων μεγεθών απόκρισης με το βαθμό βλάβης, μπορούν να προκύψουν καμπύλες τρωτότητας. Η διαδικασία ανάλυσης περιλαμβάνει τα εξής βασικά στάδια [10]:

- α) καθορισμός της εισαγόμενης σεισμικής κίνησης,
- β) προσομοίωση της γέφυρας,
- γ) καθορισμός του δείκτη και των σταθμών βλάβης,
- δ) εκτίμηση των αβεβαιοτήτων που υπεισέρχονται στην εκτίμηση της εισαγόμενης σεισμικής κίνησης και της αντοχής της κατασκευής, καθώς και στον καθορισμό του δείκτη και των σταθμών βλάβης,
- ε) υπολογισμός των καμπυλών τρωτότητας με βάση τα αποτελέσματα της σεισμικής απόκρισης της γέφυρας.

Η τελευταία μπορεί να προκύψει μέσω αναλύσεων

#### (4) Μέθοδοι βασισμένες σε εμπειρικούς δείκτες τρωτότητας

Στοχεύουν σε μια προκαταρκτική ιεραρχική κατάταξη των γεφυρών η οποία πραγματοποιείται βαθμολογώντας μέσω ενός ερωτηματολογίου τα κύρια χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη σεισμική συμπεριφορά μιας γέφυρας και υπολογίζοντας με αυτόν τον τρόπο έναν συνολικό δείκτη δομικής τρωτότητας. Αντίστοιχα, υπολογίζονται δείκτες που σχετίζονται με τη σεισμικότητα και το έδαφος και σε αρκετές περιπτώσεις με την σπουδαιότητα της γέφυρας, εξάγοντας έτσι έναν συνολικό δείκτη διακινδύνευσης της κατασκευής. Η κατάταξη των γεφυρών γίνεται μέσω μια συνάρτησης, προσθέτοντας ή πολλαπλασιάζοντας τις βαθμολογίες που έχουν δοθεί σε κάθε κατηγορία παραμέτρων, ενώ συχνά χρησιμοποιούνται συντελεστές βαρύτητας ώστε να συνυπολογιστεί η σημασία της κάθε παραμέτρου. Ο προσδιορισμός των επιμέρους βαθμολογιών έχει προκύψει είτε με την στατιστική επεξεργασία στοιχείων από βλάβες σε προηγούμενους σεισμούς είτε με βάση την ποσοτικοποιημένη «κρίση» εμπειριών μηχανικών.

Οι παραπάνω μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε μεμονωμένες γέφυρες όσο και σε ένα απόθεμα γεφυρών, χωρίς συνήθως να απαιτούνται πολλά και λεπτομερή στοιχεία, οπότε είναι δυνατή η γρήγορη προκαταρκτική αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης και ο καθορισμός του βαθμού προτεραιότητας για περαιτέρω έλεγχο. Οι μέθοδοι που βασίζονται σε καμπύλες τρωτότητας παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι συσχετίζουν άμεσα τη στάθμη σεισμικής διέγερσης με τη στάθμη των αναμενόμενων βλαβών με πιθανοτικό τρόπο. Ωστόσο, η αξιοπιστία τους εξαρτάται από την επάρκεια των στατιστικών στοιχείων, την πληρότητα και αξιοπιστία των αναλυτικών προσομοιωμάτων, αλλά και τον επαρκή καθορισμό των κατηγοριών τρωτότητας με βάση τα τυπολογικά χαρακτηριστικά (π.χ. αριθμός ανοιγμάτων, τύπος σύνδεσης βάρων-ανωδομής, έτος κατασκευής). Οι μέθοδοι των δεικτών τρωτότητας είναι λεπτομερέστερες των εμπειρικών-στατιστικών μεθόδων, αν και σε κάποιες περιπτώσεις απαιτούνται πολλά στοιχεία, ενώ από την εφαρμογή τους δεν προκύπτει σαφής εικόνα της στάθμης των αναμενόμενων βλαβών.

Παρακάτω συνοψίζονται οι βασικές αρχές της μεθόδου αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης του ΟΑΣΠ που βασίζεται σε εμπειρικούς δείκτες [10].

Η προτεινόμενη μεθοδολογία από τον ΟΑΣΠ συνίσταται σε έναν προκαταρκτικό έλεγχο που στοχεύει στον υπολογισμό του δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης γεφυρών από  $O/\Sigma$ , με βάση τον οποίο μπορεί μια γέφυρα να αξιολογηθεί καταπόσον πρέπει να παραπεμφθεί σε πιο λεπτομερή έλεγχο της τρωτότητάς της. Σύμφωνα με τις αρχές της μεθόδου, οι γέφυρες κατατάσσονται σε τέσσερις σεισμικές κατηγορίες ανάλογα με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας και τη σπουδαιότητα της γέφυρας.

Ο συνολικός δείκτης σεισμικής διακινδύνευσης (T) (που λανθασμένα αναφέρεται ως δείκτης τρωτότητας), εκφράζεται ως  $T = (0.4 \cdot \Delta + 0.6 \cdot \Sigma) \cdot E \leq 100$ , όπου:

$\Delta$ , ο δείκτης δομικής τρωτότητας,  $\Delta = 0.35 \cdot \Delta_1 + 0.25 \cdot \Delta_2 + 0.25 \cdot X + 0.15 \cdot \Gamma$

$\Delta_1$ , ο δείκτης τρωτότητας εφεδράνων, συνδέσεων και εδράσεων,

$\Delta_2$ , ο δείκτης τρωτότητας μεσοβάθρων, ακροβάθρων, και ρευστοποίησης εδάφους

X, ο δείκτης χρονολογίας μελέτης

$\Gamma$ , ο δείκτης γενικής κατάστασης της γέφυρας

Οι παραπάνω δείκτες παίρνουν, τιμές από 0 έως 10 με βάση τη σεισμική κατηγορία της γέφυρας, τα γεωμετρικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της, καθώς και του εδάφους και της σεισμικής επικινδυνότητας της αντίστοιχης θέσης.

Σ, ο δείκτης σπουδαιότητας,

Ο δείκτης αυτός αξιολογεί την κοινωνική, οικονομική και στρατηγική σημασία της γέφυρας.

E, ο δείκτης σεισμικής επικινδυνότητας,  $E=11.6 \cdot \alpha \cdot S \leq 10$ , όπου:

α, η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ανάλογα με τη ζώνη του ΕΑΚ,

S, συντελεστής που εξαρτάται από την κατηγορία του εδάφους.

Στην μεθοδολογία του ΟΑΣΠ, η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) εκτός από το στάδιο εκτίμησης του δείκτη σεισμικής επικινδυνότητας, ενυπάρχει και στον υπολογισμό της δομικής τρωτότητας, καθώς τα προτεινόμενα κριτήρια έχουν εξαχθεί ύστερα από την στατιστική επεξεργασία βλαβών που παρατηρήθηκαν σε γέφυρες με παρόμοια τυπολογία αλλά σε θέσεις διαφορετικής στάθμης σεισμικής διέγερσης. Το αποτέλεσμα της διπλής αυτής συμμετοχής της PGA είναι να μην υπάρχει σαφής διαχωρισμός δομικής τρωτότητας και σεισμικής επικινδυνότητας.

## 2.6 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ – Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ.

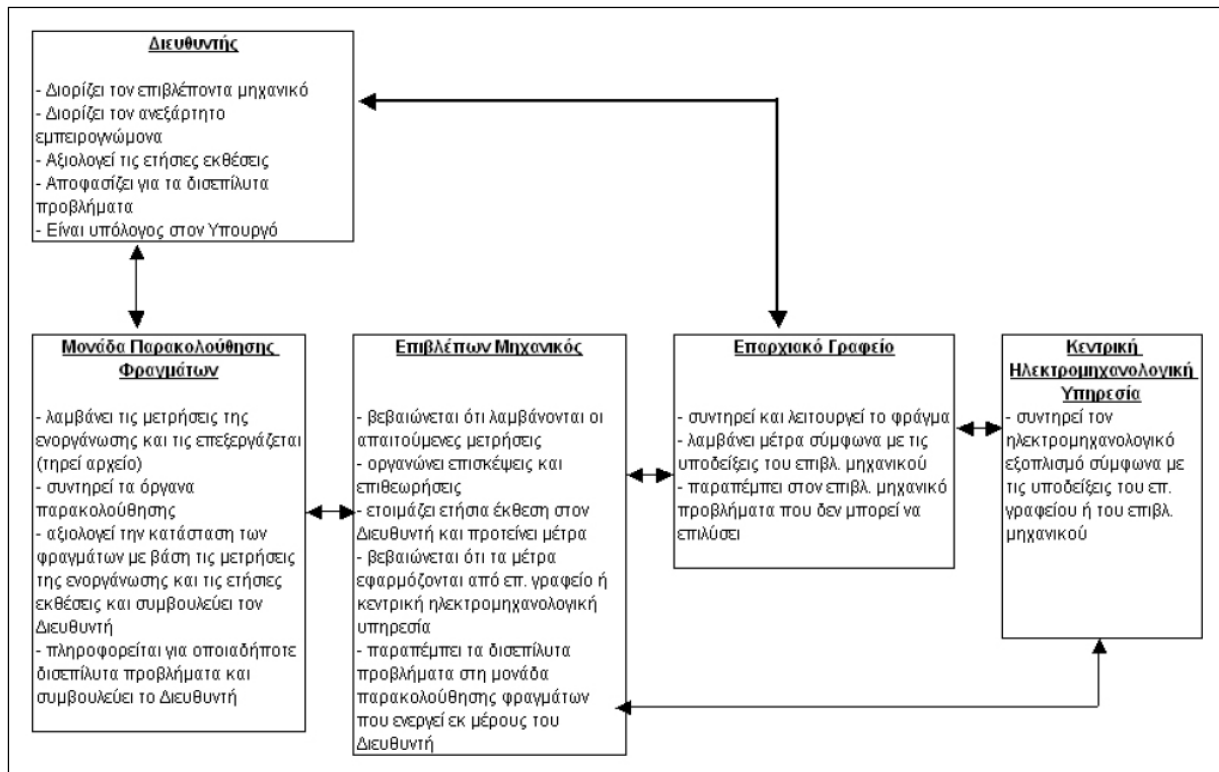
Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στην ενότητα αυτή προέρχονται από την εργασία *Σύστημα ασφάλειας και παρακολούθησης των φραγμάτων στην Κύπρο* του Κ. Κύρου, Ανώτερου Υδραυλικού Μηχανικού του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων της Κύπρου [12].

Η εξασφάλιση ασφαλούς λειτουργίας των φραγμάτων αποτελεί ύψιστο μέλημα του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων της Κύπρου, τόσο γιατί τα φράγματα είναι τεράστιας οικονομικής σημασίας για τον τόπο, όσο και για το γεγονός ότι αυτά στην πλειοψηφία τους είναι κατασκευασμένα ανάντι κατοικημένων περιοχών, περιλαμβανομένων και μεγάλων αστικών κέντρων.

Ένα σύστημα ασφάλειας βασίζεται [12]:

- στη συστηματική συντήρηση
- στις συχνές επιθεωρήσεις από τον επιβλέποντα μηχανικό καθώς και επιθεωρήσεις από ανεξάρτητο εμπειρογνώμονα
- στην παρακολούθηση και ανάλυση των καταγραφών της ενοργάνωσης στη λήψη των απαραίτητων διορθωτικών μέτρων όπου και εάν αυτά απαιτούνται

Το σύστημα ασφάλειας που εφαρμόζεται σήμερα στο Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων στην Κύπρο, δίνεται γραφικά στο παρακάτω σχήμα.



**Εικόνα 3.15** Σύστημα ασφάλειας φραγμάτων της Κύπρου [12]

### *Λειτουργία και συντήρηση*

Το κάθε φράγμα βρίσκεται υπό την επιτήρηση του επαρχιακού γραφείου του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων ανάλογα με την επαρχία που αυτό βρίσκεται. Το επαρχιακό γραφείο έχει καθήκον να συντηρεί το φράγμα σύμφωνα με το εγχειρίδιο λειτουργίας και συντήρησης και να βεβαιώνεται ότι αυτό λειτουργεί ικανοποιητικά και ασφαλισμένα. Το επαρχιακό γραφείο παραπέμπει θέματα συντήρησης/επιδιόρθωσης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που δεν μπορεί να αντιμετωπίσει, στην κεντρική ηλεκτρομηχανολογική υπηρεσία του Τμήματος. Η υπηρεσία αυτή διαθέτει το κατάλληλο προσωπικό και τεχνογνωσία για τη διεξαγωγή της εργασίας αυτής. Σε πολλά από τα φράγματα υπάρχει μόνιμο προσωπικό το οποίο εργάζεται κάτω από την επίβλεψη μηχανικού του επαρχιακού γραφείου.

### *Επιβλέπων Μηχανικός*

Για σκοπούς πιο ανεξάρτητης αλλά και πιο πλήρους αξιολόγησης της κατάστασης των μεγάλων και σημαντικών φραγμάτων και εντόπιση οποιωνδήποτε παραλήψεων/παρατυπιών στη λειτουργία/συντήρησή τους, ο Διευθυντής του Τμήματος ορίζει επιβλέποντα μηχανικό ο οποίος έχει καθήκον:

- να βεβαιώνεται ότι όλα τα απαραίτητα στοιχεία καταγράφονται από το προσωπικό του φράγματος όπως απαιτείται από το εγχειρίδιο λειτουργίας του ή τους κανονισμούς ασφαλείας του Τμήματος.
- να διεξάγει συχνές επισκέψεις/επιθεωρήσεις του φράγματος ανάλογα με τις ανάγκες και να επισημαίνει τυχόν παραλήψεις στη λειτουργία και συντήρησή του. Ο επιβλέπων μηχανικός έχει επίσης καθήκον να επιθεωρεί τα φράγματα σε περιπτώσεις σεισμών ή ακραίων συνθηκών λειτουργίας.

- να ετοιμάζει ετήσια έκθεση στο Διευθυντή στην οποία να επισημαίνει οποιαδήποτε προβλήματα ή παραλήψεις στη λειτουργία και συντήρηση του φράγματος. Στην έκθεση περιλαμβάνονται εισηγήσεις για τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν. Για σκοπούς αχρείαστης γραφειοκρατίας και καθυστερήσεις, ο επιβλέπων μηχανικός έχει οδηγίες να επικοινωνεί γραπτά ή προφορικά με το ανάλογο επαρχιακό γραφείο του Τμήματος για τη λήψη των απαιτούμενων μέτρων. Σε περίπτωση που διαπιστώσει ότι το γραφείο αδυνατεί να αντιμετωπίσει μια κατάσταση τότε επικοινωνεί με την κεντρική μηχανολογική υπηρεσία του τμήματος η οποία μπορεί να συντηρήσει/λειτουργήσει τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Ο επιβλέπων μηχανικός παραπέμπει οποιαδήποτε δυσεπίλυτα προβλήματα απευθείας στο διευθυντή μέσω της μονάδας παρακολούθησης φραγμάτων.

#### *Ημερήσιες καταγραφές*

Στα πιο σημαντικά φράγματα ο επιβλέπων μηχανικός βεβαιώνεται ότι ο επιτηρητής καταγράφει την ημερήσια στάθμη του νερού, τις απώλειες του φράγματος από το ανάχωμα, τα θεμέλια και τις σήραγγες (όπου κρίνεται αναγκαίο) και τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού (όπου υπάρχει). Όταν συντρέχουν ειδικοί λόγοι, όπως στην περίπτωση μεγάλης εισροής νερού, τότε καταγράφονται πιο συχνά ή και καθημερινά οι μετρήσεις από την ενοργάνωση του φράγματος για σκοπούς αξιολόγησης της συμπεριφοράς του. Όλες οι μετρήσεις καταχωρούνται σε αρχείο που φυλάγεται στο φράγμα και όσες θεωρούνται αναγκαίες κοινοποιούνται τόσο στον επιβλέποντα μηχανικό όσο και στη μονάδα παρακολούθησης φραγμάτων του Τμήματος.

#### *Επιθεωρήσεις και έλεγχοι*

Ένα φράγμα για να είναι ασφαλές αυτό πρέπει να βρίσκεται σε καλή κατάσταση και να μπορεί να λειτουργήσει σωστά τόσο σε κανονικές συνθήκες όσο και σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Οι συχνές επιθεωρήσεις ή/και δοκιμαστική λειτουργία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού συμβάλλουν σημαντικά στην επιτυχία αυτού του σκοπού. Το σύστημα ασφάλειας των φραγμάτων του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων προβλέπει τις εξής επιθεωρήσεις:

- Μηνιαία επιθεώρηση
- Τριμηνιαία επιθεώρηση
- Εξαμηνιαία επιθεώρηση
- Ετήσια επιθεώρηση

Ο επιβλέπων μηχανικός πρέπει να βεβαιώνεται ότι οι πιο κάτω επιθεωρήσεις διεξάγονται κανονικά είτε από το προσωπικό του φράγματος ή τον ίδιο, όμως αυτός θα πρέπει να πραγματοποιήσει αυτοπροσώπως την ετήσια επιθεώρηση και ετοιμάσει έκθεση προς το Διευθυντή.

Στη μηνιαία επιθεώρηση ελέγχονται η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στα συστήματα λειτουργίας των δικλίδων, ο εσωτερικός φωτισμός και ο φωτισμός της στέψης του φράγματος (περιλαμβανομένου φωτισμού έκτακτης ανάγκης), οι εξαεριστήρες κτλ. Στις τριμηνιαίες επιθεωρήσεις εκτός από τα πιο πάνω γίνεται οπτικός έλεγχος των αγωγών, δικλίδων του συστήματος αποστράγγισης, των πρανών του φράγματος και εκσκαφών. Στις εξαμηνιαίες επιθεωρήσεις εκτός από τους προνοούμενους ελέγχους γίνεται δοκιμαστική λειτουργία των δικλίδων του φράγματος περιλαμβανομένων και των δικλίδων του συστήματος καθαρισμού.

### *Ετήσιες εκθέσεις*

Οι ετήσιες επιθεωρήσεις γίνονται από τον επιβλέποντα μηχανικό και είναι λεπτομερείς. Ετοιμάζεται έκθεση για κάθε φράγμα η οποία αποστέλλεται στο Διευθυντή και κοινοποιείται στο αρμόδιο επαρχιακό γραφείο και την ηλεκτρομηχανολογική υπηρεσία του Τμήματος. Στην έκθεση γίνονται υποδείξεις για τα αναγκαία μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν είτε από το επαρχιακό γραφείο είτε από την ηλεκτρομηχανολογική υπηρεσία. Εάν παρουσιαστούν προβλήματα που οι υπηρεσίες αυτές δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν, τότε αυτά παραπέμπονται στο Διευθυντή.

### *Ανεξάρτητες επιθεωρήσεις*

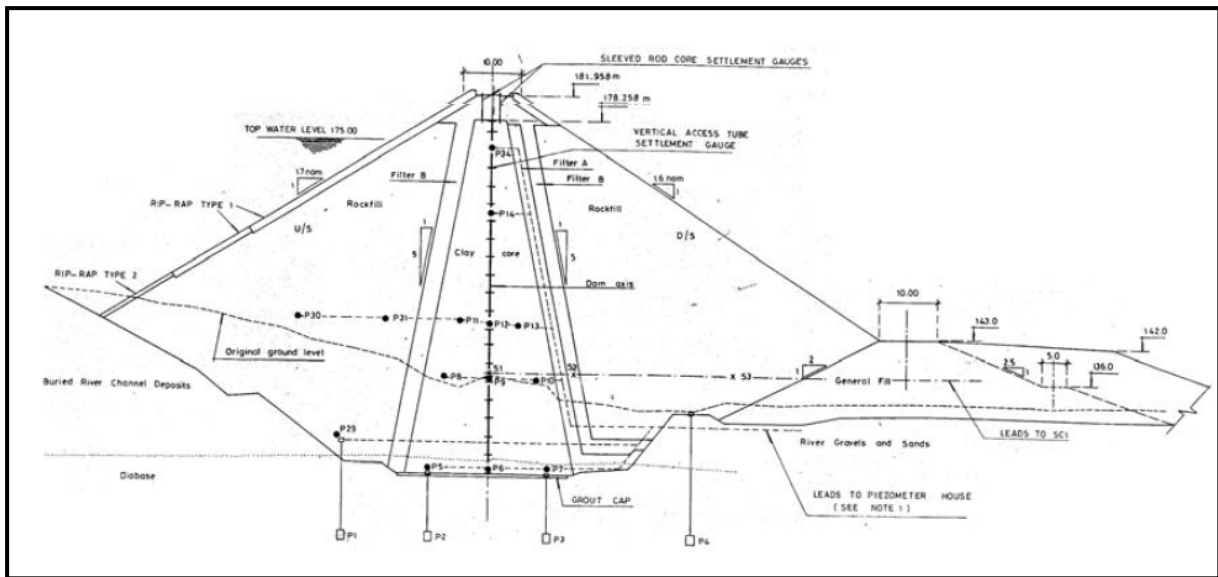
Το σύστημα ασφάλειας προνοεί την επιθεώρηση των μεγάλων φραγμάτων από ανεξάρτητο εμπειρογνώμονα σε διαστήματα που δεν θα ξεπερνούν τα 5 χρόνια. Ο θεσμός αυτός έχει δοκιμασθεί με επιτυχία σε άλλες χώρες και με αυτόν εξασφαλίζεται ότι προβλήματα που πιθανόν να μην εντοπίζονται από τον επιβλέποντα μηχανικό λόγω της συνεχούς ανάμειξης του με το φράγμα, εντοπίζονται από το ανεξάρτητο μάτι του εμπειρογνώμονα που δεν έχει άμεση ανάμειξη με το φράγμα.

### *Μονάδα παρακολούθησης φραγμάτων και ενοργάνωση*

Η ενοργάνωση των φραγμάτων της Κύπρου περιλαμβάνει πληθώρα οργάνων παρακολούθησης όπως πιεζόμετρα, κλισιόμετρα, μετρητές καθίζησης, ψηφιακούς επιταχυνσιογράφους κτλ. Τα περισσότερα όργανα που έχουν εγκατασταθεί στα φράγματα συνεχίζουν να εργάζονται μετά από 30 ή περισσότερα χρόνια προσφέροντας χρήσιμες πληροφορίες. Τα όργανα καταγράφονται από τους επιτηρητές των φραγμάτων και άλλα από τους τεχνικούς της μονάδας παρακολούθησης φραγμάτων. Σκοπός της μονάδας αυτής είναι να βεβαιώνεται ότι οι μετρήσεις της ενοργάνωσης λαμβάνονται στα απαιτούμενα χρονικά διαστήματα και επεξεργάζονται/αξιολογούνται από έμπειρο προσωπικό. Η μονάδα διαθέτει έμπειρους τεχνικούς που συντηρούν τα όργανα και λαμβάνουν τις μετρήσεις και μηχανικούς που αξιολογούν τη συμπεριφορά των φραγμάτων με βάση αυτές τις μετρήσεις. Τα αποτελέσματα καθώς και οι αξιολογήσεις της συμπεριφοράς των φραγμάτων κοινοποιούνται στους επιβλέποντες μηχανικούς. Παρακάτω παρουσιάζεται μια τυπική εγκατάσταση ενοργάνωσης στο φράγμα Δυποτάμου [12]. Στην τομή του φράγματος φαίνονται οι θέσεις όπου έχουν εγκατασταθεί όργανα παρακολούθησης.

Σημειώνεται ότι η μονάδα παρακολούθησης φραγμάτων εκτός από την ενοργάνωση έχει καθήκον να ελέγξει τις εκθέσεις των επιβλεπόντων μηχανικών και να προτείνει στο Διευθυντή μέτρα τα οποία κρίνει ότι θα πρέπει να ληφθούν για την εξασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας των φραγμάτων.

Όταν τα φράγματα παρακολουθούνται συχνά και συντηρούνται σωστά μπορούν να λειτουργήσουν ασφαλισμένα για πολλά χρόνια. Συστήματα ασφάλειας και παρακολούθησης των φραγμάτων έχουν όλες οι χώρες και αυτά έχουν πολλές ομοιότητες μεταξύ τους. Βασική αρχή είναι ότι η ασφάλεια των φραγμάτων δεν αφήνεται μόνο στο συντηρητή του φράγματος. Ο θεσμός του επιβλέποντα μηχανικού εξασφαλίζει ότι το φράγμα επιθεωρείται σωστά από εξειδικευμένο μηχανικό που εντοπίζει οποιαδήποτε προβλήματα υπάρχουν και δίνει οδηγίες για την επίλυση τους. Στη Βρετανία αλλά και σε άλλες χώρες όπου υπάρχει η κατάλληλη νομοθεσία, η εφαρμογή των οδηγιών του επιβλέποντα μηχανικού από τους διαχειριστές του φράγματος, είναι υποχρεωτική. Το ίδιο ισχύει και για τις γραπτές παρατηρήσεις και οδηγίες του ανεξάρτητου εμπειρογνώμονα που διεξάγει τις ανεξάρτητες επιθεωρήσεις (ανά πενταετία ή νωρίτερα).



**Εικόνα 2.16.** Τομή του φράγματος Δυποτάμου στην οποία έχει εγκατασταθεί ενοργάνωση [12].

Μέσα από τις διαδικασίες εφαρμογής του συστήματος ασφάλειας προέκυψαν σημαντικές βελτιώσεις σε διάφορους τομείς. Έχει πάνω απ' όλα γίνει κατανοητό από όλους τους εμπλεκόμενους ότι για να είναι ασφαλή τα φράγματα αυτά πρέπει να συντηρούνται σωστά, να παρακολουθούνται και η ασφάλεια τους να αξιολογείται με βάση τόσο τις ενόργανες παρατηρήσεις αλλά και τις οπτικές παρατηρήσεις. Ένα παράδειγμα βελτίωσης είναι η απόφαση του Τμήματος για την αναβάθμιση των συστημάτων καθαρισμού 6 φραγμάτων που συμπληρώθηκαν πριν από το 1970, στα οποία υπάρχει μια μόνο δικλείδα. Η ανάγκη για συχνή δοκιμαστική λειτουργία των δικλίδων δημιουργεί μεγάλους κινδύνους στην περίπτωση της μοναδικής δικλείδας καθαρισμού (μπορεί να μην κλείσει, μπορεί να κλείσει αλλά να έχει απώλειες) και αποφασίστηκε όπως όλα τα συστήματα καθαρισμού αντικατασταθούν σταδιακά με συστήματα δυο δικλίδων. Το πρώτο φράγμα που επηρεάζεται από αυτή την απόφαση είναι το φράγμα Γερμασόγειας όπου η αντικατάσταση έχει σχεδόν συμπληρωθεί.

Το Δεκέμβριο του 2004 το μεγαλύτερο φράγμα της Κύπρου, ο Κούρης ο οποίος συμπληρώθηκε το 1988 αλλά δεν γέμισε ποτέ προηγουμένως, άρχισε να γεμίζει με γοργούς ρυθμούς και οι απώλειες του φράγματος στο δεξιό αντέρεισμα άρχισαν να αυξάνονται απότομα. Για πρώτη φορά η στάθμη του ταμιευτήρα ανέβαινε σε τόσο ψηλά επίπεδα. Το φράγμα παρακολουθείται επί 24ώρου βάσεως και μετρήσεις των απωλειών καθώς και των πιεζομέτρων στο δεξιό αντέρεισμα ελαμβάνοντο καθημερινά. Η στενή αυτή παρακολούθηση από τον επιβλέποντα μηχανικό και η συνεχής αξιολόγηση της κατάστασης από τη Μονάδα Παρακολούθησης Φραγμάτων επέτρεψε το γέμισμα και την υπερχείλιση του φράγματος για πρώτη φορά. Σημειώνεται ότι στην πορεία, εκτός από την παρακολούθηση ενεργοποιήθηκε διαδικασία διεξαγωγής τσιμεντενέσεων μέσα από την υφιστάμενη σήραγγα η οποία βρίσκεται στον άξονα του φράγματος κάτω από το επίπεδο θεμελίου και επεκτείνεται στο δεξιό αντέρεισμα. Στην περίπτωση αυτή η δηλαδή η παρακολούθηση του φράγματος έδωσε τη δυνατότητα άμεσης επέμβασης και διόρθωσης ενός προβλήματος που εντοπίστηκε.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΒΛΑΒΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

### **3.1 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΕ ΓΕΦΥΡΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

#### **3.1.1 Έλεγχος και επισκευές βλαβών από σεισμούς**

Η ανάλυση στοιχείων μετά από σεισμούς κατέδειξε ότι οι κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν με παλαιότερους κανονισμούς είναι πιο επιρρεπείς σε ζημιές κάτω από σεισμική φόρτιση. Το επίπεδο της δόνησης, η κλίση, η καμπυλότητα, το είδος των ακροβάθρων, των μεσοβάθρων και η συνέχεια του ανοίγματος είχαν τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την έκταση των ζημιών σε γέφυρες. Το συνολικό κόστος επισκευής των γεφυρών μετά από ένα σεισμικό γεγονός είναι μεγάλο και μάλιστα αυξάνεται σχεδόν εκθετικά σε σχέση με την έκταση και σοβαρότητα των ζημιών. Η βέλτιστη λύση είναι η προληπτική ενίσχυση γεφυρών, καθώς με μικρά έξοδα προλαμβάνονται τεράστιες δαπάνες στο μέλλον. Στην παράγραφο αυτή γίνεται αναφορά και περιγραφή στις γνωστές τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης γεφυρών. Οι πληροφορίες αντλήθηκαν από την εργασία «Σεισμική επισκευή και ενίσχυση γεφυρών» του Κεφαλογιάννη Μάριου που παρουσιάστηκε στο 10<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών» [13].

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 δε μπορούν να καθοριστούν με συγκεκριμένο τρόπο όπως το ίδιο βάρος, τα φορτία των οχημάτων κ.α.

Η αντοχή μιας γέφυρας υπολογίζεται διαφορετικά για σεισμούς απ' ότι για τα πιο μόνιμα ή συχνά εμφανιζόμενα φορτία. Το μέγεθος του πιο σημαντικού σεισμικού συμβάντος σε μια περιοχή θα είναι πολλές φορές πιο επώδυνο απ' ότι οι υπόλοιπες φορτίσεις. Ο σχεδιασμός μιας γέφυρας που θα παραμείνει ελαστική και χωρίς ζημιές για ένα τόσο σπάνιο γεγονός είναι γενικά αντισοικονομικός και όχι πάντα εφικτός. Γι' αυτό η φιλοσοφία που αναπτύσσεται στο σχεδιασμό της αντισεισμικής αντοχής, διαφέρει από αυτή που υιοθετείται για άλλα είδη φορτίσεων.

Η στρατηγική που ακολουθείται για μια αποδεκτή σεισμική συμπεριφορά είναι [13]:

1. Για μικρούς και μεσαίους σεισμούς, που προβλέπεται ότι θα συμβούν συχνά κατά τη διάρκεια της ζωής της γέφυρας, η κατασκευή σχεδιάζεται για να αντέχει σε αυτές τις φορτίσεις με δευτερεύουσες μόνο ζημιές.
2. Για μεγάλους σεισμούς που μπορεί να συμβούν μια φορά στη ζωή της γέφυρας, κάποιες δομικές βλάβες είναι αποδεκτές αλλά ελεγχόμενες ώστε να αποφευχθεί η κατάρρευση. Όπου είναι δυνατό, η ζημιά πρέπει να είναι εμφανής, επιθεωρήσιμη και αν είναι εφικτό, επιδιορθώσιμη.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι αντισοικονομικός ο σχεδιασμός μιας γέφυρας που παραμένει ελαστική σε τέτοιες οριζόντιες φορτίσεις, για αυτό μια μειωμένη τιμή του σεισμικού φορτίου χρησιμοποιείται στη θέση της. Η επιτρεπόμενη μείωση εξαρτάται από την ικανότητα της υποδομής να αντέξει τις ζημιές χωρίς να καταρρεύσει. Για απλά μονά βάθρα μια μείωση κατά ένα συντελεστή της τάξεως του 3 κρίνεται ως επαρκής [13].

Μετά από έναν ισχυρό σεισμό, για την υπερδομή της γέφυρας, η απώλεια στήριξης στις δοκούς είναι από τις πιο σοβαρές βλάβες της και αυτό μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη



συνέχειας στην υπερδομή, μη επαρκή μήκη στήριξης για τις δοκούς, καμπύλες στηρίξεις που ενθαρρύνουν την περιστροφή της υπερδομής γύρω από το κάθετο άξονα ή μετατοπίσεις στις στηρίξεις λόγω κάποιας μορφής αστοχίας του εδάφους. Η μείωση αυτού του είδους αστοχίας αποτελεί το κύριο στόχο των περισσότερων κανονισμών ενίσχυσης και επισκευής τα τελευταία χρόνια.

Για την υποδομή, οι βλάβες έχουν τη μορφή αστοχιών στα βάθρα, ακρόβαθρα και θεμέλια. Βλάβη στα βάθρα μπορεί να συμβεί είτε λόγω καμπτικής αστοχίας, είτε λόγω διατμητικής αστοχίας, είτε λόγω απώλειας ακυρώσεων στο διαμήκη σπλισμό. Αυτού του είδους οι αστοχίες είναι δυνατόν να προκαλέσουν κατάρρευση της υπερδομής λόγω της μετακίνησης της στήριξής της. Παραδείγματα αναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής.

Λόγω της υψηλής εγκάρσιας δυσκαμψίας τους, τα ακρόβαθρα προσελκύνουν το μεγαλύτερο μέρος των σεισμικών φορτίων που αναπτύσσονται στην υπερδομή. Αυτές οι δυνάμεις μπορεί να είναι πολύ μεγάλες και να προκαλέσουν εκτεταμένες αστοχίες, συχνά ψαθυρής μορφής. Καθίζηση των πρανών, που προκύπτει από τη συμπύκνωση, συχνά παρατηρείται μετά από σεισμικά γεγονότα.

Η σεισμική βλάβη, ειδικά σε χαμηλές γέφυρες, προκαλείται συχνά από την αστοχία των θεμελίων που οφείλεται στην εκτεταμένη παραμόρφωση του εδάφους και/ή στην απώλεια ευστάθειας και φέρουσας ικανότητας αυτού. Σαν αποτέλεσμα, η υποδομή συχνά παίρνει κλίση, κάθεται ή ακόμα και ανατρέπεται, όπως επίσης αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας.

Ο κύριος στόχος μιας επέμβασης με βάση τα παραπάνω είναι ο περιορισμός της αποδεκτής ζημιάς κατά το σεισμό σχεδιασμού. Οι βλάβες είναι μη αποδεκτές αν καταλήγουν σε [13]:

- απώλεια χρήσης μιας σημαντικής οδού που μπορεί να περνά από ή κάτω από τη γέφυρα.
- Κατάρρευση, μερική ή ολική, της γέφυρας.

**Η διαδικασία σεισμικής επισκευής** μπορεί να χωριστεί σε τρία βήματα:

- Προκαταρκτικός έλεγχος για την κατάταξη των κατασκευών σε σειρά προτεραιότητας, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη δομική επικινδυνότητα, το κυκλοφοριακό φόρτο και άλλα σχετικά θέματα.
- Επιλογή και σχεδιασμός των επισκευαστικών μέτρων.
- Λεπτομερή εξέταση για το προσδιορισμό των τμημάτων της γέφυρας που θέλουν επισκευή.

Από την παραπάνω διαδικασία μπορεί να προκύψει ποιες γέφυρες θα επισκευασθούν (σε ένα ευρύτερο οδικό έργο) και ποιες τεχνικές επέμβασης (σε σχέση με την αποδοτικότητα και το κόστος τους θα επιλεγούν).

Οι τεχνικές επέμβασης είναι διαφορετικής πολυπλοκότητας και κόστους ανάλογα ε το είδους του στοιχείου που εφαρμόζονται και το αποτέλεσμα που θεωρείται επιθυμητό.

**Στα βάθρα** (υποστυλώματα) η επέμβαση μπορεί να γίνει με συγκολλημένα μεταλλικά πλαίσια διαφόρων παχών. Κατασκευάζονται κυκλικά ή κατά το δυνατό κυκλικά, πρακτικά όμως για ορθογωνικές διατομές παίρνουν ελλειπτικό σχήμα. Τα κελύφη προκατασκευάζονται σε 2 ή περισσότερα μέλη. Και μετά ηλεκτροσυγκολλούνται στο πεδίο για να περικυκλώσουν

το υποστυλώμα. Ένα κενό 5 με 10 cm αφήνεται στο πάνω και κάτω μέρος του υποστυλώματος.

Για τα κυκλικά υποστυλώματα ένα κενό κατ' ελάχιστο 2,5 cm αφήνεται και γεμίζεται με τσιμεντοκονίαμα. Το τσιμεντοκονίαμα εισπνέζεται από κάτω ώστε να εξασφαλισθεί η πλήρης διαφυγή του αέρα. Η εισπνέση πρέπει να γίνεται αργά και συμμετρικά ώστε να αποφεύγεται η μετατόπιση του κελύφους. Μικρές ράβδοι πρέπει να συγκολλούνται εσωτερικά του κελύφους ώστε να επιβληθεί το ελάχιστο κενό των 2,5 cm σε κάθε σημείο. Τα σημεία εισπνέσης πρέπει να τοποθετούνται κάθετα. Μόλις το τσιμεντοκονίαμα ξεχειλίσει από την κορυφή, το κέλυφος πρέπει να έχει γεμίσει με αυτό. Μετά από συντήρηση 2 ημερών περίπου, η κορυφή του κελύφους γεμίζει χειρονακτικά με κονίαμα προκειμένου να καλύψει τα κενά και να δημιουργήσει κλίση για την υδρορροή.

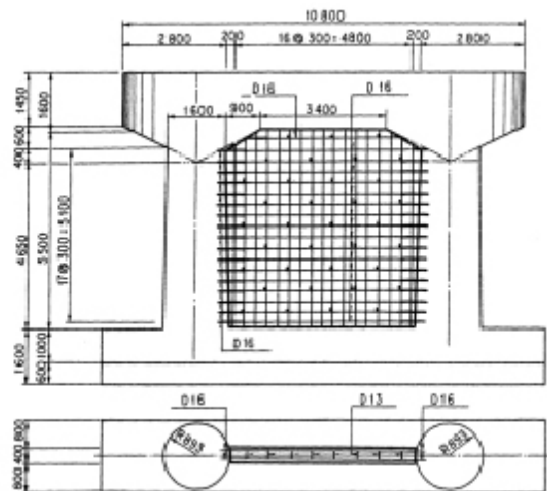
Τα μεταλλικά πλαίσια ελλειπτικής μορφής απαιτούν μεγαλύτερη προσπάθεια να σκυροδετηθούν. Εάν σε οποιοδήποτε σημείο η απόσταση υποστυλώματος-κελύφους ξεπερνά τα 10 cm, χαλίκι πρέπει να αναμιγνύεται στο τσιμεντοκονίαμα για να μειωθεί η συρρίκνωση. Τα ελλειπτικά κελύφη τείνουν να μετατραπούν σε κυκλικά κατά την εισπνέση καθώς το κονίαμα πιέζει το κέλυφος προς τα έξω. Περίσφιξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να συγκρατηθεί στην επιθυμητή μορφή, όμως συνήθως απλά περιορίζεται η εισπνέζόμενη ποσότητα για να μειωθεί η πίεση. Αν το τσιμεντοκονίαμα γεμίσει υψομετρικά 4 με 6 m, η πίεση του υγρού μπορεί να είναι αρκετά μικρή ώστε να μην δημιουργήσει οποιαδήποτε παραμόρφωση. Προτοποθετημένες υποδοχές εισπνέσης στα επιθυμητά ύψη εξασφαλίζουν την συνέχεια των εργασιών την επόμενη μέρα οπότε και το τσιμεντοκονίαμα θα έχει σκληρυνθεί. Μετά τη σκλήρυνση έχει εξασφαλιστεί ότι το κέλυφος δεν θα μετατοπιστεί.

Σε ένα τοιχίο με το πλάτος του στην εγκάρσια διεύθυνση αρκετά μεγαλύτερο από το ύψος στη διαμήκη διεύθυνση, ο περιορισμός του υπάρχοντος υποστυλώματος με μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα, δεν είναι αρκετός. Σε αυτή τη περίπτωση επιπλέον του μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα, ένας μεταλλικός μανδύας χρησιμοποιείται για να αυξήσει την σύνθλιψη στην περιοχή της πλαστικής άρθρωσης. Ο μανδύας αυτός είναι συνήθως 1-2 m ψηλός και προκατασκευασμένες ράβδοι τοποθετούνται στο υπάρχον κομμάτι για να προλάβουν τη παραμόρφωση του μεταλλικού μανδύα. Τοποθετούνται ανά 30cm στη κάθετη κατεύθυνση και γενικά δεν προεντείνονται γιατί συνήθως η παθητική περίσφιξη επαρκεί. Συνήθως παρέχεται και ένα κάλυμα από σκυρόδεμα γύρω από το μεταλλικό μανδύα για αντιδιαβρωτική προστασία και για προστασία από μικρές συγκρούσεις με διάφορα αντικείμενα ή οχήματα.

Σκυρόδεμα οπλισμένο με δικτυωτό οπλισμό χρησιμοποιείται επίσης πολύ συχνά σε επεμβάσεις σε βάθρα. Τοποθετούνται γύρω στις νέες διαμήκεις ράβδους του βάθρου, ανάμεσα στο υπάρχον σκυρόδεμα και το νέο στοιχείο, προκειμένου να υπάρξει επαρκής περίσφιξη του πυρήνα του σκυροδέματος γύρω από την περιοχή της αναμενόμενης βλάβης. Το νέο στοιχείο σκυροδέματος αγκυρώνεται στο παλαιό, χρησιμοποιώντας αγκύρια σε γωνία 135°.

Ένα αποδοτικό και σχετικά φθινό (φθηνότερο του κελύφους) μέσο επέμβασης σε γέφυρες με βάθρα πολλαπλών υποστυλωμάτων είναι η δημιουργία τοιχείων. Τοιχεία με πάχος 30 με 40 cm τοποθετούνται ανάμεσα στα υποστυλώματα, δημιουργώντας βασικά ένα επιμήκης και εξαιρετικά δύσκαμπτο μέλος. Βλήτρα τοποθετούνται κατά μήκος του πλαισίου που δημιουργούν τα υποστυλώματα, το θεμέλιο και το κάτω μέρος του καταστρώματος για να εξασφαλίσουν τη σύνδεση του νέου με το παλιό μέλος. Τοποθετώντας εμποτισμένες με

ρητινικές κόλλες ράβδους στο «καπάκι» του πλαισίου πετυχαίνουμε σημαντικές αντοχές. Το τοίχείο θα αποτρέψει τη διατμητική αστοχία του νέου μέλους και θα δημιουργήσει μια ισχυρή βάση που αντέχει στις ταλαντώσεις. Και πάλι υποδοχές εισπίεσης στο καλούπι επιτρέπουν την εισπίεση τσιμεντοκονιάματος μέχρι την κορυφή του μέλους. Τυπικά ράβδοι Φ18 τοποθετούνται ανα 30 cm τόσο κατακόρυφα όσο και οριζόντια (Σχήμα 3.1).

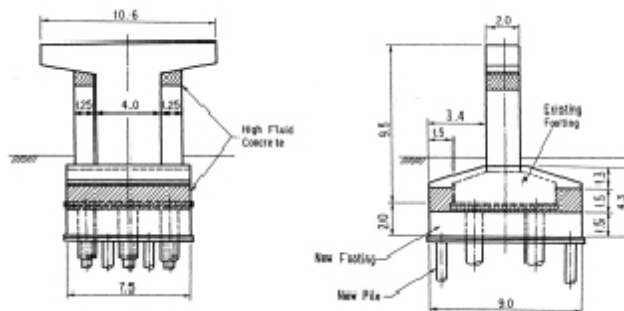


**Εικόνα 3.1** Δημιουργία τοιχείου σε βάθρο πολλαπλών υποστυλωμάτων κατά την επισκευή γέφυρας οπλισμένου σκυροδέματος [13].

Ένα πρόγραμμα σεισμικής ενίσχυσης/επισκευής πρέπει να στοχεύει και στην αύξηση της πλαστιμότητας στα μέλη της υποδομής. Παρότι οι μεταλλικοί μανδύες έχουν εκτεταμένως χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό, για λόγους κατασκευαστικούς εναλλακτικές μέθοδοι λαμβάνονται υπ' όψιν όπως η χρήση σύγχρονων σύνθετων υλικών. Στα χαρακτηριστικά τους συμπεριλαμβάνεται το ελαφρύ τους βάρος και η υψηλή δυστένια. Η περίσφυξη με φύλλα ΙΟΠ επιτρέπει στα βάθρα να αναπτύξουν πλαστικές αρθρώσεις κατά τη διάρκεια των σεισμών, περιορίζοντας τη ποσότητα δύναμης που κατανέμεται στα γειτονικά μέλη. Είναι αποδοτικά σε περιοχές όπου δεν υπάρχει αρκετός χώρος για μεταλλικούς μανδύες.

Όσον αφορά τα θεμέλια της γέφυρας, οι εργασίες σε αυτά τείνουν να είναι οι πιο δύσκολες και ακριβές απ' όλες τις εργασίες επέμβασης. Συνεπώς, πρέπει να αποφεύγονται με κάθε τρόπο. Το ακραίο κόστος στις εργασίες θεμελίων προέρχεται από τις εκτεταμένες εκσκαφές που απαιτούνται και στην αύξηση των πασσάλων. Πολλές φορές ακόμα και οδοί πρόσβασης κατασκευάζονται ώστε ο βαρύς εξοπλισμός να μπορεί να δουλέψει στα σημεία εκείνα.

Η πρώτη ομάδα απαιτούμενων εργασιών περιλαμβάνει την εκσκαφή στην κορυφή των θεμελίων και γύρω από τις πλευρές αν πάσσαλοι πρόκειται να προστεθούν. Αν θα μεγεθυνθεί το θεμέλιο, η βάση του πρέπει να είναι εμφανής αφήνοντας 15 cm ή περισσότερο του οπλισμού να προεξέχει. Αυτό πετυχαίνεται αφαιρώντας σκυρόδεμα με γωνία 45° από τη βάση μέχρι να εμφανιστούν οι ράβδοι. Μια καλύτερη μέθοδος είναι η πλήρης αφαίρεση της άκρης, κατακόρυφα (Εικόνα 3.2).



**Εικόνα 3.2** Εργασίες επεμβάσεων σε θεμέλια γέφυρας [13].

Στη συνέχεια γίνονται εργασίες πασσάλων. Η εκσκαφή των πασσάλων είναι πολύ ακριβή αλλά μπορεί να επιτευχθεί και για βάθη μέχρι 6 m. Αυτό απαιτεί την συγκόλληση πολλών σωλήνων που οδηγούνται τμηματικά στο επιθυμητό βάθος.

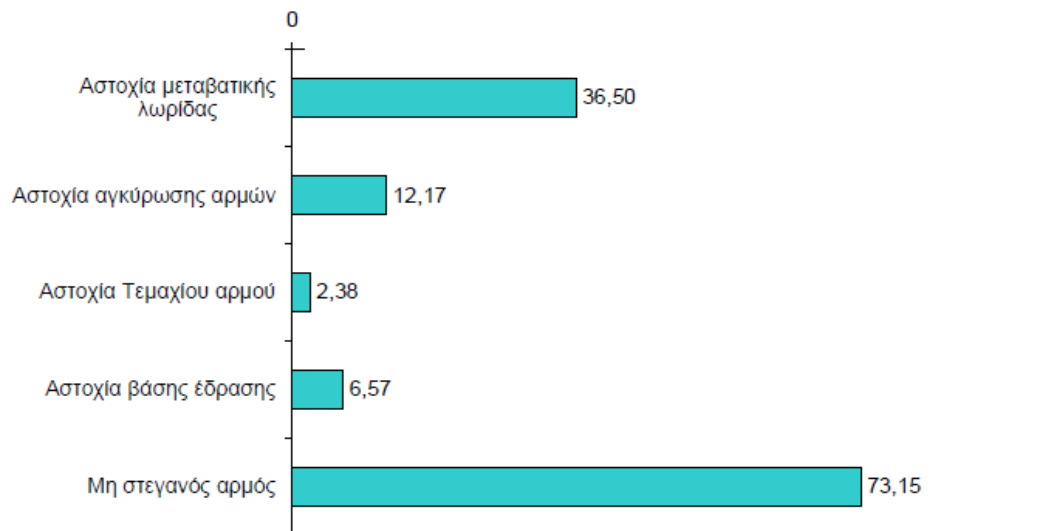
Για τα ακρόβαθρα, όταν η ευστάθειά τους έναντι της δυναμικής πίεσης του εδάφους ήταν ανεπαρκής τότε αντί της άμεσης ενίσχυσης του ακρόβαθρου, αντικαθιστάται το εδαφικό υλικό πίσω από το ακρόβαθρο από διογκωμένο πολυστυρένιο, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την πίεση του εδάφους.

Η σεισμική επισκευή γεφυρών, είναι μια σχετικά νέα ιδέα. Μόνο μερικά επισκευαστικά σχήματα έχουν χρησιμοποιηθεί στη πράξη. Στο παρόν επίπεδο ανάπτυξης, η σεισμική επισκευή είναι μια τέχνη που απαιτεί αρκετή κρίση μηχανικού και μεγάλη εμπειρία.

### **3.1.2 Έλεγχος και επισκευές άλλων στοιχείων**

Εκτός από τα φέροντα στοιχεία, μία γέφυρα ενδέχεται να εμφανίσει βλάβες και σε μη φέροντα. Κάποια από αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την ομαλή λειτουργία της και έχουν αναπτυχθεί ειδικές τεχνικές για την αποκατάστασή τους. Στην κατηγορία αυτοί ανήκουν οι αρμοί, στους οποίους εμφανίζονται συχνά προβλήματα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.3.

Η φθορά ενός αρμού ξεκινάει από την φθορά της μεταβατικής λωρίδας με χαλάρωση ή ρηγματώση ή θραύση ή αποκόλληση τμημάτων της. Οι φθορές στην μεταβατική λωρίδα συνήθως προκαλούνται από τροχαυλάκωση του οδοστρώματος (Εικόνα 3.4). Η υποχώρηση τμημάτων της μεταβατικής λωρίδας ή η κατακόρυφη παραμόρφωση του σώματος του αρμού είναι ένδειξη αστοχίας. Σε αυτή την περίπτωση ο αρμός έχει υποστεί βλάβη. Η επισκευή του είναι αναγκαία.



**Εικόνα 3.3** Ποσοστά φθορών στην Εγνατία οδό [14]



**Εικόνα 3.4** Βλάβες και επισκευές ελαστομεταλλικών αρμών [14].

(α) Αγκυρούμενος ελαστομεταλλικός αρμός με μεταλλική πλάκα κάλυψης διάκενου

Αυτός ο αρμός χρησιμοποιείται για την παραλαβή μεγάλων σχετικά μετακινήσεων. Τοποθετείται συνήθως αγκυρούμενος αρμός αποτελούμενος από δύο τμήματα, ένα ελαστομεταλλικό, τη φυσούνα, και ένα μεταλλικό την πλάκα.

Η πλάκα και η φυσούνα συνδέονται μεταξύ τους κοχλιωτά. Σε περιπτώσεις με μεγάλες

θερμοκρασιακές μεταβολές η τοποθέτηση του αρμού με κατάλληλη υψομετρική τοποθέτηση της σύνδεσης φυσούνας – πλάκας ώστε να αποτραπεί η μακροχρόνια ανύψωση και έκθεση σε κρούσεις από βαρέα οχήματα.

(β) Άοπλος ελαστομερής αρμός αγκυρούμενος μέσω σφήνωσης σε μεταλλικούς οδηγούς

Ο αναφερόμενος αρμός αποτελείται από κατάλληλου πάχους ελαστομερές φύλλο που γεφυρώνει κυρίως μικρού διάκενου αρμούς (. Η τοποθέτηση του φύλλου γίνεται με σφήνωση με σκοπό να μπορεί να παρακολουθήσει χωρίς εφελκυσμό την έκταση του αρμού λόγω της συστολής του τεχνικού. Στην περίπτωση που δεν έχει τοποθετηθεί σωστά η βλάβη του είναι ανώδυνη για την κυκλοφορία.



**Εικόνα 3.5** Αρμός αγκυρούμενος σφηνωτά [14].

(γ) Μεταλλικός οδοντωτός αρμός

Ο μεταλλικός οδοντωτός αρμός αποτελείται από δύο χαλύβδινες πλάκες οδοντωτού σχήματος. Υπάρχουν δύο τύποι:

- Οδοντωτός σε πρόβολο
- Υποστηριζόμενος

Ο οδοντωτός αρμός σε πρόβολο χρησιμοποιείται όταν απαιτείται μικρό διάκενο. Ενώ ο υποστηριζόμενος για μεγαλύτερα ανοίγματα.

Γενικά, ο αρμός συστολοδιαστολής είναι ένα από τα πιο ευάλωτα στοιχεία των γεφυρών κατασκευασμένες από σκυρόδεμα. Με την σωστή επιθεώρηση και παρακολούθηση είναι δυνατόν η μείωση των δαπανών συντήρησης και επισκευής διότι προλαμβάνεται η δημιουργία μεγαλύτερων φθορών.

### 3.2 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΕ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Για κάθε περίπτωση φθοράς που παρουσιάστηκε στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής προτείνονται στη βιβλιογραφία και αντίστοιχα μέτρα επισκευής. Η παρουσίαση των μέτρων στην παράγραφο αυτή βασίστηκε και προέρχεται από τα κείμενα (α) *Σημειώσεις μαθήματος εργαστηρίου συγκοινωνιακών έργων, Λουκέρη Ελένη, Πολιτικός Μηχανικός, Πάτρα 2002* και (β) *οδηγίες συντήρησης αυτοκινητοδρόμων, Εγνατία Οδός Α.Ε. , 2004* [4,5].

(A) Θεραπεία επιφανειακών ρηγματώσεων: Σφράγιση / πλήρωση ρωγμών

Η σφράγιση / πλήρωση των ρωγμών σε όλες τις περιπτώσεις γίνεται με πηχτό υλικό που είναι ειδική τροποποιημένη άσφαλτος. Η τροποποιημένη άσφαλτος (ελαστομερής) θα πρέπει να εκπληρώνει τις απαιτήσεις της προδιαγραφής ASTM 1190 ή BS 2499. Για την εφαρμογή της τροποποιημένης ασφάλτου προς σφράγιση των ρωγμών απαιτείται η χρήση ειδικού μηχανικού εξοπλισμού, όπως (α) μηχάνημα θέρμανσης της ελαστομερούς ασφάλτου με δυνατότητα θέρμανσης μέχρι και 200°C και με δυνατότητα παροχής του θερμού ασφαλτικού υλικού επί της ρωγμής και (β) ειδικό φλόγιστρο (προπανίου) που εκτοξεύει υπέρθερμο αέρα (όχι φλόγα) για τη θέρμανση και τον καθορισμό της ρωγμής πριν τη διάχυση της τροποποιημένης ασφάλτου.

(B) Επισκευή των ρωγμών τύπου αλιγάτορα

α) Για τοπικές εμφανίσεις

Η ριζική επισκευή των ρωγμών αλιγάτορα εφ' όσον οφείλονται στη μειωμένη ευστάθεια του εδάφους έδρασης συνιστάται: (i) στην πλήρη απομάκρυνση όλων των ασφαλτικών στρώσεων με ασύνδετα αδρανή και μέρους του εδάφους έδρασης (ii) στη λήψη κατάλληλων μέτρων για την υποβάθμιση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και (iii) στην ανακατασκευή όλων των στρώσεων με νέα κατάλληλα υλικά.

Για καλύτερα αποτελέσματα συνιστάται να αντικαθίστανται όλες οι στρώσεις με ασφαλτικό σκυρόδεμα. Η επιφάνεια που θα ανοιχθεί για επισκευή θα πρέπει να επεκτείνεται, κατά πλάτος, περίπου μισό μέτρο μέσα στην υγιή περιοχή. Επίσης, συνιστάται να ψεκάζονται οι κάθετες αλλά και οι οριζόντιες επιφάνειες της περιοχής που ανοίχθηκε με κατάλληλο κατιονικό γαλάκτωμα. Μετά από τη διάστρωση της κάθε στρώσης, σε πάχος όχι μεγαλύτερο των 100-150 mm. Απαιτείται επαρκής συμπύκνωση με κατάλληλο, δονητικό κατά προτίμηση μηχάνημα.

Μετά τη διάστρωση και συμπύκνωση της τελευταίας ασφαλτικής στρώσης, συνιστάται όπως απαιτείται ειδικό ελαστομερές ασφαλτικό υλικό (χυτό υλικό) σε όλη την περίμετρο της τομής μεταξύ της παλιάς και της νέας επιφάνειας, σε πλάτος περίπου 40-50 mm, για να επιτυγχάνεται η άριστη στεγάνωση του ασθενούς αυτού σημείου. Το ελαστομερές ασφαλτικό υλικό είναι αυτό που χρησιμοποιείται στη γενική περίπτωση σφράγισης ρωγμών. Το παραπάνω ισχύει για όλες τις περιπτώσεις που γίνονται τομές και αποκατάσταση αυτών στο οδόστρωμα.

Η παραπάνω εργασία, δηλαδή της αποξήλωσης μίας ή περισσότερων στρώσεων και η ανακατασκευή αυτών με νέα υλικά, είναι γνωστή ως "μπάλωμα" (patching).

β) Μεγάλης έκτασης

Όταν οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα οφείλονται σε κόπωση του οδοστρώματος, η θεραπεία γίνεται μόνο με αποκατάσταση του τάπητα, δηλαδή με μια πρόσθετη ασφαλτική στρώση πάχους αναλόγου της κατάστασης του οδοστρώματος, μετά ή άνευ απομάκρυνσης του ρηγματωμένου τάπητα κυκλοφορίας. Στην περίπτωση που δεν απομακρύνεται ο ρηγματωμένος τάπητας, συνιστάται η διάστρωση ισοπεδωτικής στρώσης, πριν τη διάστρωση του νέου τάπητα. Η διάστρωση ισοπεδωτικής στρώσης είναι απολύτως αναγκαία στην περίπτωση που ορισμένα κομμάτια έχουν αποκολληθεί ή εμφανίζονται ταυτόχρονα και τοπικές καθιζήσεις.

Τα τελευταία χρόνια για τη συντήρηση των ρωγμών αυτών χρησιμοποιούνται και τα ασφαλτοϋφάσματα ή οι μεμβράνες απορρόφησης τάσεων. Τα ασφαλτοϋφάσματα ή οι

μεμβράνες τοποθετούνται επί της ρηγματωμένης επιφάνειας ή επί της ισοπεδωτικής (αν απαιτείται να χρησιμοποιηθεί).

Στην περίπτωση που το άνοιγμα των ρωγμών τύπου αλιγάτορα είναι μικρότερο των 3 mm η προσωρινή συντήρηση της επιφάνειας μπορεί να γίνει και με σφραγιστικά ψυχρά ασφαλτομίγματα τύπου Slurry Seal, διαβάθμισης I ή II , ή με μεμβράνη απορρόφησης τάσεων (SAM).

(Γ) Επισκευή ρωγμών τύπου edge cracks.

Η συντήρηση των ρωγμών αυτών συνίσταται στην πλήρωση αυτών με κατάλληλη τροποποιημένη άσφαλτο, μετά από επιμελή καθαρισμό. Εάν στην περιοχή παρουσιάζεται και καθίζηση τότε αυτή θα πρέπει να πληρούται με τη διάστρωση ψυχρού ή θερμού ασφαλτομίγματος. Ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου Slurry, διαβάθμισης III ή IV, διαστρώνεται όταν η καθίζηση είναι μικρότερη των 25 mm, άλλως χρησιμοποιείται θερμό ασφαλτόμιγμα.

Αν υπάρχει πρόβλημα αποστράγγισης του οδοστρώματος αυτό εντοπίζεται και αποκαθίσταται.

(Δ) Επισκευή διαμήκων, εγκάρσιων και ρωγμών από ανάκλαση.

Ο τρόπος συντήρησης των ρωγμών από ανάκλαση εξαρτάται από το μέγεθος και την έκταση αυτών, όπως:

- α) Όταν οι ρωγμές έχουν άνοιγμα μικρότερο των 3 mm περίπου και είναι σε μικρή έκταση, η συντήρηση γίνεται με τη σφράγιση/ πλήρωση αυτών με τροποποιημένη άσφαλτο.
- β) Όταν οι ρωγμές έχουν άνοιγμα μικρότερο των 3-5mm περίπου και είναι σε μεγάλη έκταση, η συντήρηση μπορεί να γίνει με απλή ασφαλτική επάλειψη.
- γ) Όταν οι ρωγμές έχουν άνοιγμα μεγαλύτερο των 3-5 mm και είναι σε μικρή έκταση, τότε η συντήρηση αυτών γίνεται ως ακολούθως: (i) οι ρωγμές ανοίγονται με ειδικό κόφτη σε βάθος περίπου 10-15 mm και πλάτος όσο το πλάτος που δημιουργείται από τον κόφτη (10-15mm). Ο ειδικός κόφτης έχει τη δυνατότητα να ακολουθεί τη ρωγμή, δηλαδή μπορεί να στρίβει εύκολα από οξείες γωνίες. Με αυτό επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των χαλαρών (σαθρών) μικρών τεμαχίων του ασφαλτομίγματος που έχουν δημιουργηθεί στη ρωγμή, (ii) η διευρυθείσα ρωγμή καθαρίζεται με συμπιεσμένο αέρα, κατόπιν στεγνώνεται και θερμαίνεται με ειδικό φλόγιστρο υπέρθερμου αέρα και (iii) η καθαρισμένη ρωγμή γεμίζει, αμέσως μετά τη θέρμανση, με ειδική ελαστομερή άσφαλτο. Η πλήρωση της διευρυμένης ρωγμής μπορεί να γίνει και με ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου slurry - διαβάθμισης I.

Σε ορισμένες χώρες, όπως η Αγγλία, η ελαστομερής άσφαλτος - όταν το πλάτος της λωρίδας που δημιουργείται είναι μεγαλύτερο των 20 mm – περιέχει και λεπτόκοκκη σκληρή άμμο έτσι ώστε η επιφάνεια να έχει ικανοποιητικό συντελεστή αντίστασης σε ολίσθηση. Η ίδια απαίτηση υπάρχει στην Αγγλία και στην περίπτωση θεραπείας όπως (α), ιδιαίτερα όταν πρόκειται για διαμήκεις ρωγμές.

Σε περιπτώσεις που οι ανακλαστικές ρωγμές είναι αρκετά μεγάλες (>5 mm) ή επειδή δημιουργήθηκαν λόγω ύπαρξης παλαιού υποκειμένου δύσκαμπτου οδοστρώματος, από ορισμένους οργανισμούς και υπηρεσίες του εξωτερικού ακολουθείται σήμερα η παρακάτω θεραπεία: (i) οι ρωγμές "φρεζάρονται" κατά τη διαμήκη τους διεύθυνση, με ειδικές μικρές φρέζες σε βάθος 10-20 mm και πλάτος όσο το δημιουργηθέν μικρό πλάτος της φρέζας, (ii) η φρεζαρισθείσα επιφάνεια, αφού καθαρισθεί, πληρούται με ελαστομερή άσφαλτο και (iii) επί



της ελαστομερούς ασφάλτου διαστρώνονται μονόκοκκα αδρανή (6 mm περίπου) για τη δημιουργία αντιολισθηρής επιφάνειας.

Εναλλακτικά για την παραπάνω περίπτωση, η ρωγμή μπορεί να διανοιχτεί σε πλάτος 50-100 mm και βάθος περίπου 40 mm, το ασφαλτόμιγμα να αφαιρεθεί και να πληρωθεί με καινούργιο κατάλληλο ασφαλτόμιγμα.

(δ) Όταν οι ρωγμές έχουν άνοιγμα μεγαλύτερο των 3 mm περίπου και είναι σε μεγάλη έκταση, επειδή η παραπάνω θεραπεία (γ) είναι χρονοβόρα, εξετάζεται, βάσει τεχνοοικονομικής ανάλυσης, μια από τις παρακάτω τεχνικές συντήρησης: απλή ή διπλή ασφαλτική επάλειψη, χρήση μεμβράνης απορρόφησης τάσεων (SMA), μεμβράνη με ίνες, ψυχρό ασφαλτικό μίγμα τύπου Slurry με ελαστομερή άσφαλτο και ίνες, ή λεπτοτάπητας με θερμό ασφαλτόμιγμα με τροποποιημένη άσφαλτο ή ακόμη και ασφαλτική επίστρωση πάχους 40 mm - 50 mm μετά ή άνευ ασφαλτοϋφάσματος. Η ασφαλτική επίστρωση είναι σοβαρός υποψήφιος στην περίπτωση που συντρέχει και άλλος λόγος όπως ενίσχυση του οδοστρώματος, οπότε στην περίπτωση αυτή το πάχος της στρώσης καθορίζεται ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, όταν οι ρωγμές είναι τοπικές και πυκνές σε σχετικά μικρή επιφάνεια ορισμένων τετραγωνικών μέτρων, είναι σύνηθες το φαινόμενο να αποξηλώνεται η τελευταία ασφαλτική στρώση και να αποκαθίσταται με νέο κατάλληλο ασφαλτόμιγμα. Η εκτέλεση των εργασιών είναι όμοια με αυτήν της αποκατάστασης τοπικών ρωγμών τύπου αλλιγάτορα.

#### (Ε) Επισκευή ρωγμών από ολίσθηση ταπήτων

Η συντήρηση των ρωγμών αυτών γίνεται μόνο με την απομάκρυνση του τάπητα κυκλοφορίας γύρω από τη ρωγμή, μέχρι του σημείου όπου υπάρχει καλή συνοχή ταπήτων, και κατόπιν πλήρωση της αποξηλωθείσας επιφάνειας με θερμό ασφαλτόμιγμα. Πριν την πλήρωση η επιφάνεια θα πρέπει να καθαριστεί επιμελώς και κατόπιν να ψεκασθεί επ' αυτής και επί των καθέτων τοιχωμάτων της συγκολλητική επάλειψη από κατιονικό γαλάκτωμα. Τέλος, απαιτείται επαρκής συμπίκνωση της πληρωθείσας επιφάνειας με δονητικό μηχάνημα ή οδοστρωτήρα.

#### (ΣΤ) Θεραπεία ρωγμών στην τροχιά των τροχών

Η συντήρηση των ρωγμών αυτών, όταν οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην εποχιακή μείωση της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους, γίνεται όπως και στις ρωγμές από ανάκλαση με παράλληλη ρύθμιση του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα (στραγγιστικά έργα). Στις άλλες περιπτώσεις το οδόστρωμα χρειάζεται ενίσχυση. Αυτό γίνεται με τη διάστρωση νέας ασφαλτικής στρώσης (overlay).

#### (Ζ) Θεραπεία παραμορφώσεων

Για την αποτελεσματικότερη συντήρηση των παραμορφώσεων, είναι αναγκαίο να διερευνηθούν επακριβώς τα αίτια. Γενικά, η συντήρηση των παραμορφώσεων μπορεί να συνίσταται από απλή πλήρωση αυτών με θερμό ή ψυχρό ασφαλτόμιγμα έως την πλήρη απομάκρυνση της προσβληθείσας περιοχής και την αντικατάστασή της με νέα υλικά.

#### (Η) Επισκευή διογκώσεων και πτυχώσεων

Κόβουμε το εξόγκωμα, αφού καθοριστεί το ακριβές μέγεθος και τα όριά του, έως ότου έρθει η επιφάνεια στην αρχική της στάθμη. Στη συνέχεια εφαρμόζουμε ασφαλτική επάλειψη και ακολουθεί ελαφριά κυλίνδρωση.

(Θ) Επισκευή λείανσης αδρανών

Η αντιμετώπιση της ολισθηρότητας γίνεται με τοποθέτηση καρφιών στην επιφάνεια του οδοστρώματος και στη συνέχεια διάστρωση ασφαλτικού σκυροδέματος με γωνιώδη αδρανή. Μετά τη διάστρωση το ασφαλτικό σκυρόδεμα κυλινδρώνεται με οδοστρωτήρα. Ακόμη μπορούμε να εφαρμόσουμε διάστρωση ασφαλτομίγματος ή ασφαλτικής επάλειψης.

(Ι) Επισκευή για ανάδυση ασφάλτου [4,5]

Επισκευάζεται με διάστρωση άμμου, σκουριάς ή ψηφίδες και στη συνέχεια ελαφριά κυλίνδρωση.

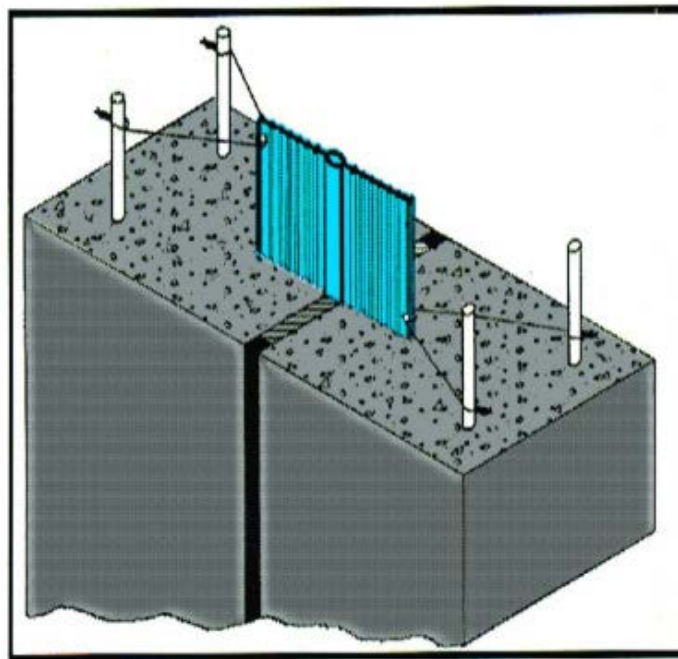
### 3.3 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

(Α) Επισκευή αρμών σε έργα φραγμάτων [15]

Οι τυπικές αστοχίες αρμών σε έργα φραγμάτων είναι:

- Ολοκληρωτικό σπάσιμο του waterstop
- Εισαγωγή μικροαντικειμένων ανάμεσα στη κατασκευή και το waterstop
- Έντονη κίνηση των αρμών με αποτέλεσμα να σπάει το waterstop

Το waterstop όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.6) είναι το ειδικό τεμάχιο που τοποθετείται στον αρμό για την φραγή του νερού.



**Εικόνα 3.6** Waterstop στη φάση κατασκευής του αρμού [15]

Η επισκευή των waterstop εξαρτάται τόσο από το βάθος του αρμού όσο και από τον βαθμό μετακίνησης, την υδραυλική πίεση, το περιβάλλον, τον τύπο της κατασκευής και το κόστος. Μερικές από τις μεθόδους επισκευής τους είναι οι εξής:

- Χρήση επιφανειακών πλακών παράλληλα στον αρμό
- Πλήρωση αρμών με ελαστομερές υλικό
- Διάνοιξη οπών και πλήρωση με ελαστικό υλικό
- Πλήρωση αρμών με χημικά ενέματα

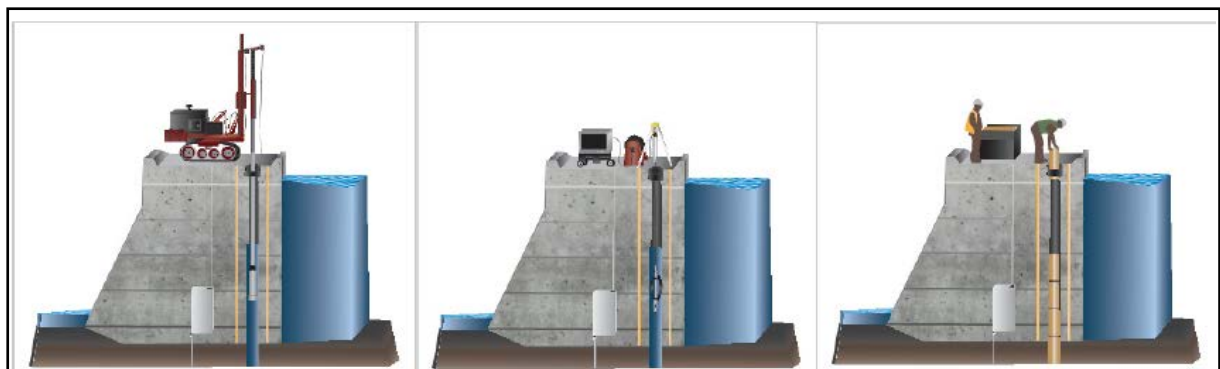
Οι ανωτέρω μέθοδοι δεν εφαρμόζονται τόσο στις μέρες μας καθότι η εξέλιξη της τεχνολογίας και των υλικών μας έχουν δώσει νέους τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος, όπως:

- Σύστημα στεγανοποίησης κατασκευαστικών αρμών με τεχνολογία ανάπτυξης κρυστάλλων
- Πλήρωση αρμών με τη χρήση ρητινοειδών σωλήνων τρίτης γενιάς
- Πλήρωση αρμών με τη χρήση ενέσιμων σωλήνων

Η μέθοδος με σύστημα στεγανοποίησης κατασκευαστικών αρμών με τεχνολογία ανάπτυξης κρυστάλλων έχει τα εξής πλεονεκτήματα :

- Αντέχει σε πολύ υψηλή υδροστατική πίεση
- Δεν περιέχει διαβρωτικές χημικές ουσίες
- Πολύ υψηλή αντοχή
- Εύκολη τοποθέτηση

Η πλήρωση αρμών με τη χρήση ρητινοειδών σωλήνων τρίτης γενιάς έχει τα εξής τρία βήματα (Εικόνα 3.6):



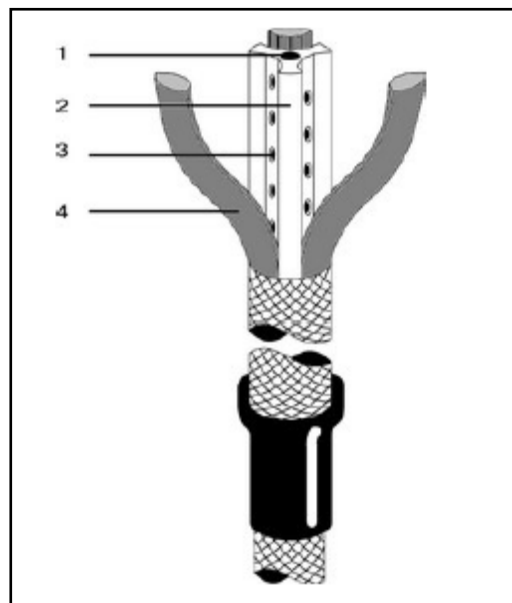
**Εικόνα 3.6** Τα τρία στάδια εφαρμογής της μεθόδου πλήρωσης αρμών με ρητινοειδείς σωλήνες τρίτης γενιάς [15]

1. Ανοίγουμε μια τρύπα περίπου 12 εκατοστά από την κορυφή του φράγματος μέχρι και 1,5 μέτρα κάτω από την θεμελίωση.
2. Τοποθετούμε μέσα στην οπή υποβρύχια κάμερα για να επαληθεύουμε την σωστή θέση της τρύπας.
3. Τοποθετούμε τους σωλήνες σταδιακά.

Η πλήρωση αρμών με τη χρήση ενέσιμων σωλήνων είναι μία τεχνολογία waterstop που συνδυάζει ρευστοκονιάματα και ακρυλικούς εστέρες. Ο πιο συνηθισμένος ενέσιμος σωλήνας είναι από ενισχυμένο σπирάλ από χαλύβδινο σύρμα. Ο ενέσιμος σωλήνας αποτελείται από εύκαμπτο σωλήνα ρευστοκονιάματος από PVC σε συνδυασμό με ένα ακρυλικό εστέρα με βάση χημικά ενέματα ρητίνης (Εικόνα 3.7).

Πριν την τοποθέτηση ανοίγουμε μια οπή από το κατάστρωμα του φράγματος που

διαπερνά τον αρμό ώστε να τοποθετήσουμε τον σωλήνα. Διοχετεύουμε το ενέσιμο υλικό μέσω του σωλήνα.



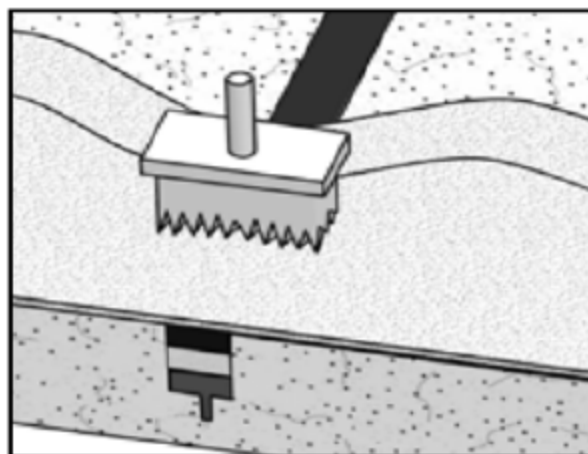
**Εικόνα 3.7** Τομή ενέσιμου σωλήνα που χρησιμοποιείται σε επισκευές φραγμάτων [15]

(B) Επισκευή ρωγμών σε έργα φραγμάτων [15]

Ο εντοπισμός των ρωγμών είναι αρκετά δύσκολος, είναι αναγκαίος όμως για την ασφαλή και σωστή λειτουργία του φράγματος. Μερικές από παλαιότερες μεθόδους επισκευής των ρωγμών είναι οι παρακάτω :

- Ενέματα σιλικόνης, φαινόλης και ακρυλικά ενέματα
- Μέθοδος εποξειδικών ρητίνων rodur

Ως σύγχρονη μέθοδος επισκευής των ρωγμών είναι η στεγάνωση ρωγμών με κρυσταλλικά διογκούμενα υλικά (Εικόνα 3.8). Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι υψηλής συγκέντρωσης κρυσταλλικά. Χρησιμοποιούμε τρία υλικά, π.χ. τα Α, Β και Γ. Η διαδικασία έχει ως εξής:



**Εικόνα 3.8** Σκαρίφημα επισκευής ρωγμής με κρυσταλλικά διογκούμενα υλικά [15]

- Προετοιμάζουμε κατάλληλα την επιφάνεια σκαλίζοντας την σε βάθος 40 mm και πλάτος 25 mm.
  - Διακόπτουμε την ροή του νερού και τοποθετούμε στόκο στο  $\frac{1}{3}$  του βάθους.
  - Μετά την διαβροχή της περιοχής επισκευής τοποθετούμε το υλικό Α με αναλογία σε νερό  $\frac{1}{5}$  για πάχος 13 χιλιοστά.
  - Έπειτα σε αναλογία  $\frac{1}{4}$  τοποθετούμε το υλικό Β με πάχος το  $\frac{1}{3}$  του βάθους.
  - Σε αναλογία  $\frac{1}{3}$  το υλικό Γ που είναι μια επικάλυψη πηλού
- Τέλος η επισκευής θα αποκτήσει την πλήρη αντοχή της έπειτα από τρεις μέρες.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Από τη μελέτη που παρουσιάστηκε στην εργασία αυτή γίνεται σαφές ότι η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας παρέχει στον Πολιτικό Μηχανικό πλήθος διαφόρων εφαρμογών και λύσεων είτε κατά το στάδιο κατασκευής ενός έργου είτε κατά το ιδιαίτερα κρίσιμο στάδιο συντήρησης του και επισκευής των φθορών που εμφανίζει, σε δομικά και μη μέρη του.

Είναι επίσης εμφανές ότι ο συνδυασμός διαφορετικών ειδικοτήτων στα μεγάλα Τεχνικά έργα όπως γέφυρες, φράγματα κλπ. δίνουν εξαιρετικά αποτελέσματα τόσο στην διαδικασία κατασκευής όσο και συντήρησης τους.

Όσον αφορά την παρακολούθηση των τεχνικών έργων μετά την κατασκευή τους, η ενόργανη παρακολούθηση κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος εφαρμογής διότι προσφέρει εξαιρετικά πλεονεκτήματα όπως γρήγορη ειδοποίηση για τυχόν βλάβη και δεδομένα για την συγκεκριμένη βλάβη. Η ενόργανη παρακολούθηση είναι πολυεπίπεδη και αρκετά περίπλοκη διαδικασία για αυτό χρίζει αντιμετώπισης από έμπειρο και εξειδικευμένο προσωπικό.

Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι ιδιαίτερα σημαντική είναι η συνεχής επιθεώρηση των έργων από εξειδικευμένα κλιμάκια ώστε να εντοπισθούν και να αξιολογηθούν κατάλληλα φθορές που πιθανόν δεν αντιμετωπίζονται μόνο με τις ενόργανες μεθόδους.

Τέλος, όσον αφορά τις τεχνικές επέμβασης, αξίζει να σημειωθεί ότι διατίθεται πλέον μία ευρεία γκάμα μεθόδων και σύγχρονων μέσων που μπορεί να αντιμετωπίσει κάθε πρόβλημα αποτελεσματικά.

Ωστόσο αξίζει να τονιστεί ότι σε αρκετές περιπτώσεις, όπως π.χ. στην περίπτωση της επισκευής δομικών στοιχείων γεφυρών, οι τεχνικές είναι αρκετά πολύπλοκες και απαιτούν συχνά την κρίση του μηχανικού. Συνεπώς πρέπει να εφαρμόζονται υπό την επίβλεψη μηχανικών εξαιρετικής εμπειρίας και από εξειδικευμένο προσωπικό, ώστε να φέρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1) Ημερίδα, «Αντικείμενο συνθήκες και προβλήματα της δραστηριοποίησης των Ελλήνων Τεχνικών στο εξωτερικό.», Αλεξανδρος Π. Καλοφωλιας, Πολιτικός Μηχανικός, Σύμβουλος Οργάνωσης & Διοίκησης
- 2) ΤΕΕ, «Μελέτη και κατασκευή δημοσίων έργων», Παλιεράκη Ειρήνη, Πολ. Μηχανικός
- 3) 14<sup>ο</sup> Συνέδριο: Επισκευές κατασκευών, Εργασία φοιτητών Ζαχαροπούλου Γεωργίας & Θεοδωρόπουλου Δημήτριου, Πάτρα, 2008.
- 4) Σημειώσεις μαθήματος εργαστηρίου συγκοινωνιακών έργων, Λουκέρη Ελένη, Πολιτικός Μηχανικός, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2002.
- 5) Οδηγίες συντήρησης αυτοκινητοδρόμων, Εγνατία Οδός Α.Ε., 2004.
- 6) Τεχνική περιγραφή: «Λειτουργία και συντήρηση του Ανατολικού Τομέα, της Εγνατίας Οδού και των Καθέτων Αξόνων», Εγνατία Οδός Α.Ε., 2014.
- 7) Πόρισμα Ομάδας Εργασίας, «Ενόργανη παρακολούθηση δομικής κατάστασης σημαντικών έργων με σκοπό την πληρέστερη συντήρησή τους», Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ., 2009.
- 8) Τόμος Α, «Τεχνική της κατασκευής», ΔΧΤ51, ΕΑΠ
- 9) «Αποτίμηση Δυναμικών Χαρακτηριστικών Γεφυρών της Εγνατίας Οδού με Βάση την Απόκρισή τους σε Δυναμικές Διεγέρσεις», 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας 5–7 Νοεμβρίου, 2008 , Άρθρο 2016.
- 10) Ε.Ε.ΜΕ.Γ. – ημερίδα Αθήνας, 2013
- 11) 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου., 2006
- 12) Εργασία, «Σύστημα ασφάλειας και παρακολούθησης των φραγμάτων στην Κύπρο» Κ. Κύρου, Ανώτερος Υδραυλικός Μηχανικός. Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Κύπρος.
- 13) 10<sup>ο</sup> Συνέδριο: Επισκευές κατασκευών, «Σεισμική επισκευή και ενίσχυση γεφυρών», εργασία φοιτητή Κεφαλογιάννη Μάριου, Πάτρα, 2004
- 14) 16<sup>ο</sup> Συνέδριο σκυροδέματος, ΤΕΕ ΕΤΕΚ, ΠΑΦΟΣ ΚΥΠΡΟΣ, 2009
- 15) Μέθοδοι επισκευής φραγμάτων Ο.Σ. – Σύγκριση και αξιολόγηση. Καριού Φλωρεντία & Καπογιάννης Ιωάννης, Πάτρα 2011.
- 16) [http://www.kostakisnafplio.gr/attachments/Image/DSC00052\\_1.JPG?template=generic](http://www.kostakisnafplio.gr/attachments/Image/DSC00052_1.JPG?template=generic)
- 17) <http://e-maistros.gr/main/wp-content/uploads/2014/04/rio1.jpg>
- 18) [http://www.elter.gr/files/Limenika/Aghialos/AGHIALOS\\_1.jpg](http://www.elter.gr/files/Limenika/Aghialos/AGHIALOS_1.jpg)
- 19) <http://www.atega.gr/v2/public/image/work/12.png>