

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
«Σχεδιασμός και Κατασκευή Τεχνικών Έργων»**

**Οπτική επιθεώρηση γεφυρών και κάτω διαβάσεων της Εθνικής
Οδού 3 (Διασταύρωση Βεύης – Κόμβος Παραβεγορίτιδας)**

Μαρία Ζωή Τσεσμετζή



**Σίνδος
Φεβρουάριος 2023**

**Οπτική επιθεώρηση γεφυρών και κάτω διαβάσεων της Εθνικής
Οδού 3 (Διασταύρωση Βεύης – Κόμβος Παραβεγορίτιδας)**

Μαρία Ζωή Τσεσμετζή

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δημήτριος Κωνσταντινίδης

Φανή Αντωνίου

Παρασκευή Μεντζέλου

Σίνδος

Φεβρουάριος 2023

Copyright notice © by Maria Zoi Tsesmetzi, February 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

No part of the material protected by this copyright notice may be reproduced or utilized in any form or by any means electronic or mechanical including photocopying recording or by any information storage and retrieval system without permission from the author.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
SUMMARY.....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....	11
1. Επιθεώρηση γεφυρών.....	11
1.1 Οπτική επιθεώρηση.....	11
1.1.1 Οργάνωση και προετοιμασία της επιθεώρησης.....	12
1.1.2 Διαδικασία της επιθεώρησης.....	13
1.1.3 Καταγραφή ευρημάτων κατά την οπτική επιθεώρηση.....	13
1.1.4 Καταγραφή αποτελεσμάτων της οπτικής επιθεώρησης.....	14
1.1.5 Αξιολόγηση.....	14
1.1.6 Επισκευή και συντήρηση.....	15
1.1.7 Είδη οπτικής επιθεώρησης.....	15
1.2 Επιθεώρηση με καινοτόμες μη καταστροφικές μεθόδους.....	19
1.2.1 Επιθεώρηση γεφυρών με τη μέθοδο της υπέρυθρης θερμογραφίας (IRT).....	21
1.2.2 Επιθεώρηση γεφυρών με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας.....	24
1.2.3 Επιθεώρηση γεφυρών με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones).....	27
1.2.4 Επιθεώρηση γεφυρών με τη χρήση ραντάρ διείσδυσης εδάφους (Ground Penetrating Radar).....	31
1.2.5 Επιθεώρηση γεφυρών με τη χρήση φορητής ρομποτικής εδάφους.....	34
2. Φθορές γεφυρών και κάτω διαβάσεων από οπλισμένο σκυρόδεμα.....	40
2.1 Ενανθράκωση του σκυροδέματος.....	40
2.2 Είσοδος χλωριόντων στο σκυρόδεμα.....	42

2.3 Συνδυαστική δράση ενανθράκωσης και χλωριόντων.....	43
2.3.1 Προσδιορισμός σχέσης μεταξύ της ενανθράκωσης, της εισροής χλωριόντων και της διαπερατότητας στον αέρα μιας κάτω διάβασης από οπλισμένο σκυρόδεμα.....	44
2.4 Αποφλοίωση του σκυροδέματος.....	46
2.5 Αποχρωματισμός του σκυροδέματος.....	46
2.6 Εξάνθηση του σκυροδέματος.....	47
2.7 Ρηγμάτωση του σκυροδέματος.....	47
2.8 Προσκρούσεις.....	51
3. Οπτική επιθεώρηση γεφυρών και κάτω διαβάσεων της Εθνικής Οδού 3 (Διασταύρωση Βεύης – Κόμβος Παραβεγορίτιδας).....	52
3.1 Ευρήματα από την οπτική επιθεώρηση των γεφυρών και κάτω διαβάσεων της Εθνικής Οδού 3 (Ε.Ο.3).....	53
3.1.1 1 ^η επιθεώρηση (ΓΕ.01.Ε.Ο.3).....	53
3.1.2 2 ^η επιθεώρηση (ΓΕ.02.Ε.Ο.3).....	57
3.1.3 3 ^η επιθεώρηση (ΓΕ.03.Ε.Ο.3).....	62
3.1.4 4 ^η επιθεώρηση (ΚΔ.01.Ε.Ο.3).....	66
3.1.5 5 ^η επιθεώρηση (ΚΔ.02.Ε.Ο.3).....	70
3.1.6 6 ^η επιθεώρηση (ΚΔ.03.Ε.Ο.3).....	75
3.1.7 7 ^η επιθεώρηση (ΚΔ.04.Ε.Ο.3).....	79
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	92

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία είναι αποτέλεσμα έντονης ζύμωσης και εμπάθυνσης του συγκεκριμένου θέματος, κατά το χρονικό διάστημα Σεπτέμβριος 2021 - Φεβρουάριος 2023. Πιο συγκεκριμένα εκπονήθηκε το τελευταίο έτος φοίτησης στο πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Τεχνικών Έργων» του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος.

Η εργασία διαχωρίστηκε σε τρία επιμέρους κεφάλαια, η διάρθρωση των οποίων παρουσιάζεται παρακάτω.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για την επιθεώρηση των γεφυρών και διασπάται σε τέσσερα υποκεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο υποκεφάλαιο αναπτύσσεται η έννοια της οπτικής επιθεώρησης, περιγράφεται η διαδικασία διεξαγωγής της, αναφέρονται και αναλύονται τα είδη της και ακολουθούν παραδείγματα εφαρμογής των ειδών της σε διεθνές επίπεδο. Στο δεύτερο υποκεφάλαιο γίνεται αναφορά στην επιθεώρηση γεφυρών με καινοτόμες μη καταστροφικές μεθόδους. Αρχικά, αναλύεται η μέθοδος της υπέρυθρης θερμογραφίας (IRT) και περιγράφεται η εφαρμογή της στην επιθεώρηση καταστρώματος γέφυρας, στην πολιτεία Βιρτζίνια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (ΗΠΑ). Έπειτα, αναλύεται η μέθοδος της φωτογραμμετρίας, με αντίστοιχο παράδειγμα εφαρμογής σε μία άνω διάβαση στην Ιταλία. Ακολούθως, η επιθεώρηση γεφυρών με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones), με την εφαρμογή της να λαμβάνει χώρα σε μία γέφυρα στις ΗΠΑ. Στη συνέχεια, αναπτύσσεται η επιθεώρηση γεφυρών με τη χρήση ραντάρ διείσδυσης εδάφους (GPR), πρακτική που εφαρμόζεται για την επιθεώρηση γέφυρας στο Κεμπέκ του Καναδά. Τέλος, η πέμπτη μέθοδος αφορά στην επιθεώρηση με τη χρήση φορητής ρομποτικής εδάφους (UGV), σε δύο γέφυρες στην πόλη Οντάριο του Καναδά.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στις συνηθέστερες φθορές που παρατηρούνται στις γέφυρες και στις κάτω διαβάσεις. Πρόκειται για φθορές που συναντώνται τόσο στο σκυρόδεμα όσο και στον οπλισμό. Πιο αναλυτικά, γίνεται λόγος για ενανθράκωση του σκυροδέματος, είσοδος χλωριόντων στο σκυρόδεμα, αποφλοίωση, αποχρωματισμός, εξάνθηση, ρηγμάτωση και προσκρούσεις. Επιπλέον, προσδιορίζεται η σχέση μεταξύ της ενανθράκωσης, της εισροής χλωριόντων και της διαπερατότητας στον αέρα, μιας κάτω διάβασης, από οπλισμένο σκυρόδεμα στην περιοχή των Νότιων Άλπεων. Παράλληλα, οι παραπάνω φθορές απεικονίζονται και με φωτογραφικό υλικό, προκειμένου να γίνουν αντιληπτές από τον αναγνώστη.

Το τρίτο κεφάλαιο αφορά στην οπτική επιθεώρηση που διενεργήθηκε σε επτά τεχνικά έργα (τρεις γέφυρες και τέσσερις κάτω διαβάσεις), της Εθνικής Οδού 3 (Διασταύρωση Βεύης – Κόμβος

Παραβεγορίτιδας), του Νομού Φλώρινας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα ευρήματα της οπτικής επιθεώρησης και ακολουθεί η καταγραφή τους, για κάθε δομικό τμήμα κάθε τεχνικού ξεχωριστά (υποδομή, ανωδομή, επιφάνεια κύλισης, μεταβατικά επιχώματα).

Σκοπός της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι: i) η ανάδειξη της έννοιας και των διαδικασιών μίας οπτικής επιθεώρησης παρουσιάζοντας παραδείγματα από καινοτόμες μη καταστροφικές μεθόδους επιθεώρησης τεχνικών έργων στο εξωτερικό, ii) η επί τόπου εφαρμογή των διαδικασιών μίας οπτικής επιθεώρησης με εντοπισμό και καταγραφή των φθορών και κατ' επέκταση βλαβών σε γέφυρες και κάτω διαβάσεις και η αξιολόγηση της επικινδυνότητάς τους.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Δημήτριο Κωνσταντινίδη για το ενδιαφέρον του, την αμέριστη βοήθεια και την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τον κ. Βούρα Αθανάσιο, Προϊστάμενο του Τμήματος Εκτέλεσης Συγκοινωνιακών Έργων της Περιφερειακής Ενότητας Κοζάνης, για τη χορήγηση της αδείας, προκειμένου να επιθεωρήσω τα συγκεκριμένα τεχνικά έργα και να επεξεργαστώ τα στοιχεία τους.

Τέλος, εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου στον πατέρα μου, κ. Τσεσμετζή Γεώργιο, Εργολάβο Δημοσίων Έργων, για την αρωγή του και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε στη διαδικασία της επιθεώρησης των τεχνικών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο «Οπτική επιθεώρηση γεφυρών και κάτω διαβάσεων της Εθνικής Οδού 3 (Διασταύρωση Βεύης – Κόμβος Παραβεγορίτιδας)» εστιάζει στην οπτική επιθεώρηση των γεφυρών, καθώς και σε καινοτόμες μεθόδους επιθεώρησης, που βρίσκουν εφαρμογή τελευταίως σε τεχνικά έργα του εξωτερικού. Αναφέρονται οι συνηθέστερες φθορές και βλάβες που συναντώνται στις γέφυρες και κάτω διαβάσεις, δίνοντας ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, με φωτογραφική τεκμηρίωση, για καθεμιά περίπτωση. Ακολούθως, παρουσιάζονται τα ευρήματα από την επί τόπου οπτική επιθεώρηση σε επτά τεχνικά έργα (τρεις γέφυρες και τέσσερις κάτω διαβάσεις) της Εθνικής Οδού 3 (Διασταύρωση Βεύης – Κόμβος Παραβεγορίτιδας), του Νομού Φλώρινας και παρατίθενται τα αποτελέσματα και συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν.

Λέξεις – Κλειδιά: Γέφυρες, Κάτω διαβάσεις, Επιθεώρηση, Φθορές.

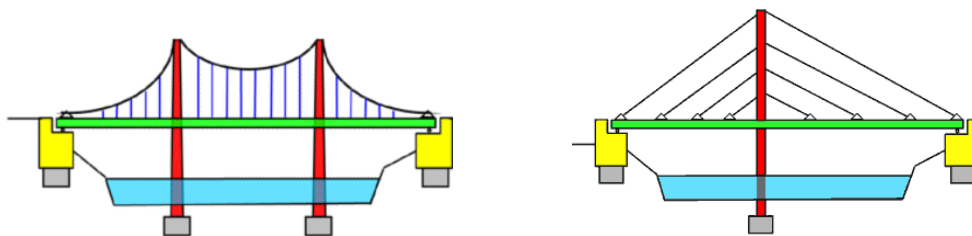
SUMMARY

The postgraduate thesis entitled "Visual inspection of bridges and underpasses of National Highway 3 (Vevi Intersection - Paravegoritis Junction)" focuses on the visual inspection of bridges, as well as on innovative inspection methods that have recently been applied in technical projects abroad. The most common damage and defects found on bridges and underpasses are mentioned, giving a typical example with photographic documentation for each case. Subsequently, the findings from the on-site visual inspection of seven technical works (three bridges and four underpasses) of National Highway 3 (Vevi Intersection – Paravegoritis Junction) in the prefecture of Florina are presented and the results and conclusions drawn from the inspection are presented.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο «γέφυρα», στην Ελλάδα ορίζεται κάθε τεχνικό έργο με οποιαδήποτε διάταξη ανοιγμάτων, που φέρει μία οδό πάνω από οποιουδήποτε τύπου εμπόδιο, με απόσταση άνω των έξι μέτρων. Οι γέφυρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη γεφύρωση ξηρών ή υγρών κωλυμάτων, για τη δημιουργία άνω και κάτω διαβάσεων σιδηροδρομικών γραμμών, τροχιόδρομων και οδών κάθε κατηγορίας και χρήσης.

Ανάλογα με το υλικό κατασκευής, οι γέφυρες διακρίνονται σε ξύλινες, λίθινες, από σκυρόδεμα, μεταλλικές και σύμμικτες. Ανάλογα με τη χρήση τους, σε πεζογέφυρες, οδικές, σιδηροδρομικές και ειδικές. Όσον αφορά στη στατική λειτουργία του φορέα ή του φέροντος συστήματος, οι γέφυρες διακρίνονται σε επιφανειακών φορέων, φορέων μορφής δοκού, πλαισιωτές, τοξωτές, κρεμαστές και καλωδιωτές. Με τη μορφή τους σε κάτοψη, χωρίζονται σε ορθές και λοξές και ανάλογα με τη δυνατότητα μετακίνησης, σε σταθερές και κινητές.



Εικόνα 1: Τύπος κρεμαστής και καλωδιωτής γέφυρας, https://el.wikipedia.org/wiki/Suspension_bridge.gif,
Πρόσβαση: 27-07-2022

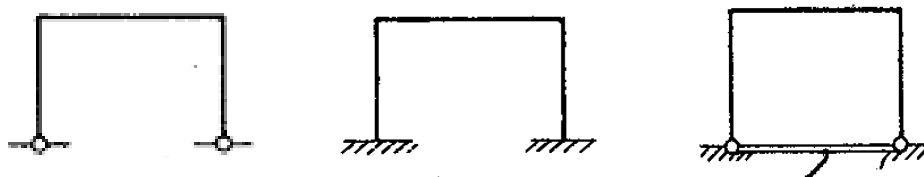
Οι σύγχρονες ανάγκες συγκοινωνιακών έργων συχνά απαιτούν κατασκευές γεφυρών σε δυσπρόσιτες περιοχές ή πάνω από άκαμπτα εμπόδια. Ταυτοχρόνως, σχεδόν πάντα, υπάρχει απαίτηση για συντόμευση του χρόνου κατασκευής στον μέγιστο δυνατό βαθμό και βελτιστοποίηση του κόστους. Το κόστος κατασκευής των γεφυρών εξαρτάται άμεσα από τον τύπο του τεχνικού, τη μέθοδο κατασκευής του φορέα και τις τοπικές συνθήκες της περιοχής (τοπογραφία, συνθήκες θεμελίωσης, σεισμικότητα, σπουδαιότητα της γέφυρας). Το συνολικό κόστος κατασκευής των γεφυρών αποτελείται από τα επιμέρους στοιχεία κόστους:

- θεμελίωσης (βάθρα και ακροβάθρα, μόνιμα και προσωρινά έργα, προστασία - σταθεροποίηση πρανών, βελτίωση εδάφους, χωματοουργικών και όλες οι απαραίτητες εργασίες για την ασφαλή πρόσβαση στην θέση κατασκευής του έργου)
- υποδομής (βάθρα - ακρόβαθρα)
- ανωδομής

- εξοπλισμού (εφέδρανα, αρμοί συστήματος αποχέτευσης - αποστράγγισης, στηθαία ασφαλείας, στεγάνωση, ασφαλικές στρώσεις).

Κυρίαρχος παράγοντας στη διαμόρφωση του κόστους κατασκευής του αυτοκινητόδρομου είναι η μορφολογία του εδάφους. Στα πεδινά τμήματα το κόστος κατασκευής είναι σημαντικά χαμηλότερο από ότι στα ορεινά τμήματα, όπου η κατασκευή σηράγγων, μεγάλων γεφυρών καθώς και η λήψη μέτρων σταθεροποίησης του εδάφους απαιτούν υψηλές δαπάνες. Από μελέτη που διεξήχθη από τους Maravas & Konstantinidis (2003), όσον αφορά στο κόστος κατασκευής του αυτοκινητοδρόμου της Εγνατίας Οδού, υπολογίστηκε ότι το μέσο κόστος κατασκευής για τα 527 χιλιόμετρα της Εγνατίας Οδού θα είναι 5,3 εκατομμύρια € /χιλιόμετρο (χωρίς Φ.Π.Α). Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ στο σύνολο του άξονα οι σήραγγες και γέφυρες αποτελούν το 12% του μήκους (6% και 6%), καλύπτουν ωστόσο πολύ μεγάλο ποσοστό, 35% και 20% αντίστοιχα, του συνολικού κόστους κατασκευής.

Ως «κάτω διάβαση» ορίζεται κάθε τεχνικό έργο οδοποιίας, ανοίγματος μεγαλύτερου από έξι μέτρα και μικρότερου από δώδεκα μέτρα, που φέρει την κύρια οδό πάνω από κάθετη στον αυτοκινητόδρομο οδό. Ο πιο χαρακτηριστικός δομικός τύπος τεχνικού έργου κάτω διάβασης είναι ο πλαίσιακός τύπος, στον οποίο ο φορέας (ανωδομή) πλάκας - συμπαγούς για μικρά ανοίγματα-συνδέεται μονολιθικά - πλαίσιακά με τα ακρόβαθρα που είναι τοιχωματικά και θεμελιώνονται επιφανειακά ή σε πασσάλους. Ανάλογα με το στατικό σύστημα, ο πλαίσιακός τύπος κάτω διάβασης, διακρίνεται σε πλαίσιο ανοικτό με αρθρώσεις, πλαίσιο ανοικτό με πακτώσεις και κλειστό πλαίσιο. Ενδεικτικά, στα παρακάτω σχήματα περιγράφεται η πλαίσιακή λειτουργία ανάλογα με το στατικό σύστημα.



Εικόνα 2: Μορφές πλαίσιακού τύπου κάτω διαβάσεων (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.)

Σε πλαίσια ενός ανοίγματος είναι δυνατή η πρόβλεψη ελκυστήρα, ο οποίος παραλαμβάνει τις οριζόντιες συνιστώσες των αντιδράσεων. Η διάταξη αυτή είναι ιδιαίτερα εξυπηρετική στις περιπτώσεις στις οποίες η παραλαβή των δυνάμεων αυτών από το έδαφος είναι προβληματική. Οι μικρές κάτω διαβάσεις ανοίγματος μέχρι 14 μέτρα και οι σχετοί είναι σύνηθες να διαμορφώνονται σαν κλειστά πλαίσια, μέσω της συνεργασίας πλάκας (πάνω και κάτω) με τους κορμούς - ακρόβαθρα.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

1. Επιθεώρηση γεφυρών

Πριν από τη δεκαετία του 1960, η έννοια της επιθεώρησης τεχνικών έργων ήταν «αν όχι άγνωστη», παντελώς αδιάφορη στον κατασκευαστικό χώρο. Προβλήματα που έχρηζαν άμεσης αντιμετώπισης και ακόμη πιο έντονα τραγικά συμβάντα, όπως καταρρεύσεις υπό φορτία λειτουργικότητας, ήταν οι κύριοι λόγοι προκειμένου να θεωρηθεί η συστηματική επιθεώρηση και συντήρηση των γεφυρών ως μεγάλη ανάγκη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελεί η κατάρρευση σε ώρα αιχμής της Ασημένιας Γέφυρας, πάνω από τον ποταμό Οχάιο των ΗΠΑ, σκοτώνοντας 46 άτομα Phares et al. (2000). Η αστοχία της συγκεκριμένης γέφυρας, επέστησε την προσοχή στην ασφάλεια των υποδομών στις ΗΠΑ και τον επόμενο χρόνο ξεκίνησε το Εθνικό Πρόγραμμα Επιθεώρησης Γεφυρών, το οποίο απαιτούσε τακτικές και περιοδικές επιθεωρήσεις όλων των γεφυρών των αυτοκινητοδρόμων. Αποτέλεσμα του Εθνικού αυτού Προγράμματος, ήταν η δημιουργία των Εθνικών Προτύπων Επιθεώρησης Γεφυρών (National Bridge Inspection Standards ή NBIS), τα οποία εφαρμόστηκαν το 1971 και βάσει αυτών καθιερώθηκαν τα ελάχιστα κριτήρια επιθεώρησης γεφυρών. Τα Πρότυπα αυτά όρισαν τον τρόπο, τη συχνότητα και από ποιον διενεργείται η επιθεώρηση των γεφυρών. Για τον λόγο αυτό, συστάθηκαν ειδικές τεχνικές επιτροπές, στόχος των οποίων ήταν η έκδοση οδηγιών και η υιοθέτησή τους αργότερα από τα αρμόδια Υπουργεία των ΗΠΑ προκειμένου να επιτελέσουν το έργο της επιθεώρησης.

Στην Ελλάδα, υπεύθυνοι για τον συντονισμό και τη διενέργεια της διαδικασίας της επιθεώρησης, είναι τα αρμόδια Υπουργεία, ο Κύριος του Έργου, οι Περιφέρειες και οι Δήμοι, οι φορείς δηλαδή στους οποίους υπάγεται και ανήκει το κατασκευασμένο τεχνικό έργο, στην προκειμένη περίπτωση – γέφυρα – και φέρει την κύρια και αποκλειστική ευθύνη του.

1.1 Οπτική επιθεώρηση

Η οπτική επιθεώρηση των γεφυρών είναι μια αναγκαία και απαραίτητη ενέργεια που θα πρέπει να γίνεται, για τον έλεγχο και την παρακολούθησή τους. Πιο συγκεκριμένα, με την οπτική επιθεώρηση καταγράφονται με συστηματικό τρόπο η υφιστάμενη κατάσταση των γεφυρών και αξιολογείται η ανάγκη επέμβασης ή και αντικατάστασής τους, αν η περίπτωση το απαιτεί. Επιπλέον, μέσω αυτής της διαδικασίας επεκτείνεται η διάρκεια ζωής των κατασκευών, με το ελάχιστο δυνατό οικονομικό κόστος, πραγματοποιείται αποτελεσματική διαχείριση της χρηματοδότησής τους, μετά από την ιεράρχηση των αναγκών και ελέγχεται κατά πόσο ασφαλής είναι η χρήση τους. Γίνεται αντιληπτό και κατανοητό, ότι μέσω των οπτικών επιθεωρήσεων, οι μηχανικοί λαμβάνουν τις απαραίτητες, πλήρεις, ακριβείς και λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με

την κατάσταση των κατασκευών και συνεπώς συνδράμουν στη σωστή εκτίμηση των βλαβών τους και κατ' επέκταση στον σωστό προγραμματισμό της συντήρησής τους.



Εικόνα 3: Οπτική επιθεώρηση γέφυρας, Πηγή: <https://google.com>, Πρόσβαση: 01-02-2022

1.1.1 Οργάνωση και προετοιμασία της επιθεώρησης

Η επιθεώρηση των γεφυρών και κάτω διαβάσεων θα πρέπει να είναι οργανωμένη και συστηματική και γι' αυτό είναι απαραίτητη η κατάλληλη προετοιμασία και η κατάστρωση σχεδίου επιθεώρησης, ώστε να είναι πλήρης, αποδοτική και ωφέλιμη.

Οι βασικές δραστηριότητες που περιλαμβάνει το σχέδιο επιθεώρησης είναι ο καθορισμός της περιοχής επιθεώρησης, ο προσδιορισμός των συγκεκριμένων τεχνικών προς επιθεώρηση, ο καθορισμός της σειράς επιθεώρησης και το χρονοδιάγραμμα.

Προτεραιότητα του επιθεωρητή είναι η προετοιμασία των κατάλληλων εργαλείων και εξοπλισμού και η ανασκόπηση των κατασκευαστικών αρχείων του τεχνικού. Σημαντικός παράγοντας για μία επιτυχημένη επιθεώρηση είναι η καλή προετοιμασία της.

Οι σημαντικότερες διαδικασίες για την προετοιμασία της αρχικής επιθεώρησης είναι η ανασκόπηση της μελέτης της γέφυρας ή της κάτω διάβασης (σχέδια και τεύχη), η ενημέρωση της ηλεκτρονικής βάσης δεδομένων για το συγκεκριμένο τεχνικό, οι σημειώσεις, το κατάλληλο τυποποιημένο έντυπο επιθεώρησης και η εκτύπωση των βασικών κατασκευαστικών σχεδίων όπως η όψη, η κάτοψη και η τομή. Επίσης, απαραίτητη είναι η εκτίμηση των απαιτούμενων μέσων πρόσβασης (τηλεσκοπικός γερανός από κάτω, γερανός με πλατφόρμα από το κατάστρωμα, καλαθοφόρο όχημα) καθώς και η επιλογή των απαιτούμενων εργαλείων και εξοπλισμού.



Εικόνα 4: Επιθεώρηση γέφυρας με τη χρήση καλαθοφόρου οχήματος, Πηγή: <https://www.researchgate.net/publication>, Πρόσβαση: 17-03-2022

Τα εργαλεία και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούνται συνήθως και συχνότερα κατά την επιθεώρηση μιας γέφυρας ή κάτω διάβασης αντίστοιχα, είναι το αλφάδι (συμβατικό ή με λέιζερ), το γωνιόμετρο, το αποστασιόμετρο λέιζερ, το σφυρί, το καλέμι, η μετροταινία, το παχύμετρο, το ρωγμόμετρο και το υγρό διάλυμα φαινολοφθαλείνης για τον έλεγχο ενανθράκωσης.

Τα όργανα που καθίστανται απαραίτητα για τον οπτικό έλεγχο είναι το κρουσίμετρο SCHMIDT, η συσκευή μέτρησης υπερήχων, η συσκευή ανίχνευσης θέσης και διαμέτρου ράβδων οπλισμού, η συσκευή μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ο πυρηνολήπτης (καροταρία) και η φωτογραφική μηχανή (Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Γεφυρών, Εγνατία Οδός Α.Ε., 2016).

1.1.2 Διαδικασία της επιθεώρησης

Η διαδικασία της οπτικής επιθεώρησης περιλαμβάνει την αναλυτική εξέταση κάθε στοιχείου της κατασκευής. Η κατασκευή υποδιαιρείται σε τέσσερα επιμέρους δομικά τμήματα: την υποδομή, την ανωδομή, τη θεμελίωση και την επιφάνεια κύλισης. Η υποδομή αποτελείται από τον στύλο, το τοίχωμα βάθρου, το πέδιλο βάθρων και τον πάσσαλο, κατασκευασμένα όλα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αντίστοιχα, η ανωδομή περιλαμβάνει την συμπαγή πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος. Στοιχεία της επιφάνειας κύλισης είναι τα στηθαία και το πεζοδρόμιο από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα μεταλλικά στηθαία και οι ασφαλτικές στρώσεις του οδοστρώματος (Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Γεφυρών, Εγνατία Οδός Α.Ε., 2016).

1.1.3 Καταγραφή ευρημάτων κατά την οπτική επιθεώρηση

Η οπτική επιθεώρηση των τεχνικών αφορά κυρίως στην επιθεώρηση της ανωδομής και της υποδομής.

Ενδεικτικά, η επιθεώρηση της ανωδομής πραγματοποιείται για φθορές της επιφάνειας κύλισης (λακκούβες, τροχαυλάκωση), ρηγματώσεις (εγκάρσιες και διαμήκεις ρωγμές της κάτω παρειάς της πλάκας), φθορές σκυροδέματος (αποχρωματισμός, εξάνθηση), αποστράγγιση - αποχέτευση και προβλήματα υγρασίας, προσκρούσεις (απώλεια σκυροδέματος, έκθεση και οξείδωση οπλισμού).

Αντίστοιχα, η επιθεώρηση της υποδομής πραγματοποιείται για φθορές σκυροδέματος (αποχρωματισμός, εξάνθηση), ρηγματώσεις σκυροδέματος (οριζόντιες και λοξές ρωγμές βάσης - κεφαλής βάρου, κατακόρυφες ρωγμές τοίχων), αποστράγγιση - αποχέτευση και προβλήματα υγρασίας, υποσκαφή επιφανειακών θεμελίων, καθιζήσεις - στροφές ακροβάθρων και προσκρούσεις (Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Γεφυρών, Εγνατία Οδός Α.Ε., 2016).

1.1.4 Καταγραφή αποτελεσμάτων της οπτικής επιθεώρησης

Μετά την οπτική επιθεώρηση καταγράφονται όλα τα δεδομένα της κατάστασης του τεχνικού σε αναφορές, συμπληρώνοντας το αρχικό φύλλο επιθεώρησης με φωτογραφίες φθοράς και σχέδια από τη μελέτη του τεχνικού, στα οποία σημειώνεται η περιοχή της φθοράς. Η τεκμηρίωση είναι σημαντική στην επιθεώρηση και γι' αυτό συλλέγονται αρκετές πληροφορίες ώστε να μπορεί να είναι ολοκληρωμένη η αναφορά. Οι σημαντικότερες διαδικασίες σύνταξης της αναφοράς είναι η συλλογή όλων των στοιχείων και πληροφοριών που έχουν συγκεντρωθεί από την επιθεώρηση, σημειώσεις, μετρήσεις και φωτογραφίες, η αντικειμενική παράθεση των ευρημάτων και μετρήσεων της επιθεώρησης και η σύγκριση με τα στοιχεία της μελέτης καθώς και η σύγκριση των διάφορων μετρήσεων με τις αναμενόμενες τιμές τους. Τέλος, η τελική συμπλήρωση του φύλλου επιθεώρησης και η παράθεση του οπτικού υλικού, φωτογραφιών (Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Γεφυρών, Εγνατία Οδός Α.Ε., 2016).

1.1.5 Αξιολόγηση

Κατά την οπτική επιθεώρηση τα επιμέρους δομικά στοιχεία της κατασκευής αξιολογούνται και βαθμολογούνται. Αναλόγως το σύστημα που χρησιμοποιείται, βαθμολογούνται τα επιμέρους στοιχεία της γέφυρας ή κάτω διάβασης αντίστοιχα, ενώ παράλληλα προτείνονται ενέργειες για την αποκατάσταση της ορθής λειτουργίας της, όπου είναι απαραίτητο. Το σύστημα που χρησιμοποιείται από την Εγνατία Οδός Α.Ε. παραδείγματος χάριν στηρίζεται στη χρήση δύο ειδών πινάκων, στους κύριους και τους ειδικούς. Οι κύριοι πίνακες αξιολογούν την κατάσταση των δομικών στοιχείων αναλόγως του υλικού κατασκευής τους, σκυρόδεμα, χάλυβα ή λιθοδομή και προτείνουν ανάλογα με τη σοβαρότητα των φθορών μία ή περισσότερες εναλλακτικές ενέργειες κύριας συντήρησης καθώς και τη διενέργεια πρόσθετων επιτόπιων και αναλυτικών ελέγχων. Οι

ειδικοί πίνακες αξιολογούν τη σοβαρότητα συγκεκριμένων, βασικών προβλημάτων που δεν αναφέρονται στους κύριους πίνακες. Για την τελική αξιολόγηση των δομικών στοιχείων θα πρέπει να συνεκτιμώνται και τα δύο είδη πινάκων.

Η αξιολόγηση πραγματοποιείται με τη χρήση τετραβάθμιας κλίμακας και υλοποιείται σε τρία στάδια. Στο πρώτο βαθμολογούνται όλα τα επιμέρους δομικά στοιχεία της υποδομής και ανωδομής. Στο δεύτερο στάδιο βαθμολογούνται τα δομικά τμήματα και το τεχνικό. Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο, αξιολογείται η δομική και λειτουργική επάρκεια του τεχνικού.

Για την αξιολόγηση ειδικότερα της δομικής επάρκειας της γέφυρας ή της κάτω διάβασης, χρησιμοποιείται απλοποιημένη, το σύστημα Sufficiency Rating του Federal Highway Administration (F.H.W.A) των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Η βαθμολογία της συνολικής επάρκειας της γέφυρας ή της κάτω διάβασης είναι σε εκατοσταβάθμια κλίμακα, όπου με 100 αξιολογείται η πλήρης επάρκεια, ενώ με βαθμό μικρότερου του 50, η κάτω διάβαση για την οποία απαιτείται διερεύνηση της αντοχής της ή ακόμη και η αντικατάστασή της.

1.1.6 Επισκευή και συντήρηση

Το τελικό στάδιο είναι η αναγνώριση των στοιχείων του τεχνικού που χρήζουν επισκευής και συντήρησης, η εκτίμηση της σπουδαιότητας και του κόστους. Τα τεχνικά που συγκεντρώνουν τη δυσμενέστερη (μικρότερη) βαθμολογία είναι αυτά που χρήζουν άμεσης επέμβασης, δηλαδή επισκευή ή επιδιόρθωση.

1.1.7 Είδη οπτικής επιθεώρησης

Οι αναπτυγμένες χώρες, που διαθέτουν μεγάλα δίκτυα αυτοκινητοδρόμων, έχουν αναπτύξει ειδικά συστήματα διαχείρισης και αξιολόγησης γεφυρών, τα λεγόμενα Bridge Management Systems (BMS), βάσει των οποίων, σε συνδυασμό με την οπτική επιθεώρηση υλοποιείται αξιολόγηση των γεφυρών τους. Υπάρχουν διάφοροι τύποι επιθεωρήσεων γεφυρών, καθένας από τους οποίους αντικατοπτρίζει διαφορετική ένταση και εύρος επιθεώρησης. Έτσι γίνεται λόγος για την επιφανειακή, την τακτική, την κύρια και την ειδική επιθεώρηση.

Με την επιφανειακή γίνεται ένας γρήγορος έλεγχος για ζημιές (προσκρούσεις από οχήματα, ζημιές από πλημμύρες) ή εμφανείς βλάβες (φθορές στους αρμούς διαστολής) που μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλό κόστος συντήρησης αλλά ακόμη και σε ατυχήματα. Διεξάγεται από το προσωπικό του Τμήματος Συντήρησης, αρμοδιότητα του οποίου είναι να καταγράψει οτιδήποτε χρειάζεται επείγουσα προσοχή. Μια τέτοια ενέργεια μπορεί να αποτρέψει την ανάπτυξη σοβαρών προβλημάτων. Δεν είναι συνήθως η αιτία μιας ειδικής επίσκεψης καθώς

πραγματοποιείται κατά την εκτέλεση άλλων καθηκόντων. Αυτού του τύπου οι επιθεωρήσεις, γίνονται από το επίπεδο του εδάφους και του καταστρώματος, χωρίς την παροχή εξοπλισμού πρόσβασης.

Η τακτική επιθεώρηση είναι πολύ σημαντική και διενεργείται τουλάχιστον μία φορά το χρόνο συνήθως από προσωπικό των Διευθύνσεων Συντήρησης. Ουσιαστικά, πρόκειται για μια οπτική επιθεώρηση, που συμπληρώνεται από μερικές απλές μετρήσεις. Για γέφυρες κοντά σε κοίτες ποταμών λαμβάνεται μέριμνα όπως η επιθεώρησή τους να γίνεται σε περίοδο χαμηλής στάθμης νερού. Τα αποτελέσματα της τακτικής επιθεώρησης επιτρέπουν στις Διευθύνσεις, να προγραμματίσουν τις ετήσιες εργασίες συντήρησης. Ο εξοπλισμός κατά τη διενέργεια των επιθεωρήσεων αυτών είναι απλός, όπως μια σκάλα, για τα πιο προσβάσιμα μέρη, ενώ για τα περισσότερο δυσπρόσιτα, χρησιμοποιούνται κυάλια, προκειμένου να εντοπιστούν τυχόν φθορές και βλάβες, οι οποίες θα εξεταστούν στην κύρια επιθεώρηση, με τη χρήση πρόσθετου και εξειδικευμένου εξοπλισμού.

Η κύρια επιθεώρηση είναι μια περιοδική επιθεώρηση, που πραγματοποιείται κάθε 5 - 8 χρόνια. Ωστόσο, οι νέες γέφυρες θα πρέπει να έχουν μια κύρια επιθεώρηση, το συντομότερο δυνατό, μετά την ολοκλήρωσή τους και ξανά μετά από τέσσερα ή πέντε χρόνια. Πρόκειται για μια λεπτομερή επιθεώρηση της γέφυρας, που συχνά περιλαμβάνει και μια σειρά μη καταστροφικών δοκιμών. Συνήθως αναλαμβάνεται από καταρτισμένους μηχανικούς γεφυρών. Για την επιθεώρηση ορισμένων γεφυρών μπορεί να χρειαστεί επιπλέον εξοπλισμός πρόσβασης, όπως σκαλωσιές ή και πλατφόρμες που αιωρούνται από το κατάστρωμα της γέφυρας. Η κύρια επιθεώρηση συμπληρώνεται από μια ολοκληρωμένη αναφορά, που περιλαμβάνει σκίτσα του χώρου, περιγραφή δομής και επιθεώρησης, ιστορικό συντήρησης, φωτογραφίες, σημειώσεις, αποτελέσματα δοκιμών και ερμηνείες των αποτελεσμάτων και άλλα δεδομένα. Η επιθεώρηση αυτή, όχι μόνο αποτελεί τη βάση για τον προσδιορισμό των δραστηριοτήτων συντήρησης, αλλά αποτελεί επίσης μια ιστορική καταγραφή της κατάστασης της γέφυρας σε καθορισμένο χρόνο στη διάρκεια της ζωής της.

Η ειδική επιθεώρηση πραγματοποιείται όταν μια γέφυρα κινδυνεύει ή εάν υπάρχει πρόβλημα, που απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση. Ως εκ τούτου, η συχνότητα διεξαγωγής της ποικίλλει και το άτομο που αναλαμβάνει την επιθεώρηση, διαφοροποιείται ανάλογα με τις περιστάσεις. Για παράδειγμα, ένας εξειδικευμένος μηχανικός στην επιθεώρηση γεφυρών θα χρειαστεί να διερευνήσει ένα σοβαρό δομικό ελάττωμα, αλλά η επιθεώρηση μιας γέφυρας που έχει υποστεί ζημιά από πλημμύρες μπορεί να πραγματοποιείται σε καθημερινή βάση από έναν

μηχανικό. Η συγκεκριμένη επιθεώρηση περιλαμβάνει προσεκτική εξέταση μιας συγκεκριμένης περιοχής ή ελαττώματος της γέφυρας που προκαλεί ανησυχία. Αυτό μπορεί να επεκταθεί σε ολόκληρη την κατασκευή, ανάλογα με την κατάσταση ή το επίπεδο φθοράς. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να μην απαιτείται εξοπλισμός πρόσβασης, σε άλλες όμως μπορεί να χρειαστεί η επέμβαση εξειδικευμένων εταιρειών επιθεώρησης. Οι περιπτώσεις στις οποίες είναι απαραίτητη η ειδική επιθεώρηση, είναι κυρίως οι ακόλουθες:

- Διενεργείται συνήθως, όταν απαιτείται περαιτέρω λεπτομερής εξέταση για τη διερεύνηση ενός ειδικού προβλήματος, είτε που βρέθηκε κατά την επιθεώρηση, είτε που έχει ήδη ανακαλυφθεί σε άλλες παρόμοιες κατασκευές.
- Για γέφυρες που έχουν βάρος ή άλλους περιορισμούς, για τη μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου. Οι επιθεωρήσεις αυτές πραγματοποιούνται σε διαστήματα που δεν υπερβαίνουν τους έξι μήνες.
- Όταν μια γέφυρα πρέπει να φέρει ένα ασυνήθιστο μεγάλο φορτίο. Η επιθεώρηση πραγματοποιείται πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη διέλευση του φορτίου, είτε εάν μια αξιολόγηση έχει δείξει ότι το περιθώριο ασφαλείας είναι χαμηλότερο από το τρέχον πρότυπο σχεδιασμού, είτε εάν παρόμοια φορτία δεν είναι γνωστό ότι έχουν μεταφερθεί από τη γέφυρα.
- Σε θέσεις όπου υπάρχει υποψία ή λαμβάνει χώρα κίνηση του εδάφους. Πρέπει να ληφθούν μέτρα για την παρακολούθηση του ρυθμού κίνησης για την αξιολόγηση του φαινομένου.
- Εάν παρατηρηθεί καθίζηση, μεγαλύτερη από αυτή που προβλέπεται στο σχέδιο. Θα πρέπει να εντοπιστεί η αιτία και να ληφθούν μέτρα για την παρακολούθηση και την αξιολόγησή της.
- Σε θεμέλια ποταμογεφυρών και αναχώματα, μετά από πλημμύρες.
- Μετά από ένα μεγάλο ατύχημα, διαρροή χημικού ή καυσίμου ή πυρκαγιά, δίπλα σε μια γέφυρα, για διερεύνηση πιθανής ζημιάς στην κατασκευή.
- Μετά από σημαντικό σεισμό, για διερεύνηση πιθανών ζημιών στη γέφυρα.

Στον πίνακα που ακολουθεί, αναφέρονται παραδείγματα οπτικών επιθεωρήσεων, που βρίσκουν εφαρμογή σε διεθνές επίπεδο.

Πίνακας 1: Παραδείγματα εφαρμογής οπτικών επιθεωρήσεων σε διεθνές επίπεδο

Χώρα	Είδη και συχνότητα οπτικής επιθεώρησης
Ιταλία	Γενική (3 μήνες ετησίως) Κύρια (1 – 2 – 4 χρόνια) Ειδική (όταν χρειάζεται)
Γερμανία	Κύρια (6 χρόνια) Στοιχειώδης (6 – 3 χρόνια) Ειδική (όταν χρειάζεται) Υπό ρυθμιζόμενες προϋποθέσεις (όταν χρειάζεται)
Ισπανία	Τακτική (1 – 6 μήνες) Κύρια – γενική (15 – 21 – 27 μήνες) Κύρια – ειδική (5 – 7 – 9 χρόνια) Ειδική (όταν χρειάζεται)
Δανία	Τακτική (1 – 6 χρόνια) Κύρια (νωρίτερα από 6 χρόνια) Ειδική (όταν χρειάζεται)
Μεγάλη Βρετανία	Επιφανειακή (ετησίως) Γενική (2 χρόνια) Κύρια (6 χρόνια) Ειδική (όταν χρειάζεται)
Γαλλία	Ετήσια (ετησίως) Αξιολόγησης (3 χρόνια) Λεπτομερειακή (6 χρόνια)
Πολωνία	Τακτική (3 μήνες) Γενική (ετησίως) Κύρια (νωρίτερα από 5 χρόνια) Ειδική (όταν χρειάζεται)
Νορβηγία	Γενική (1 – 2 χρόνια) Κύρια (5 χρόνια) Ειδική (όταν χρειάζεται)
Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής	Αρχική Λεπτομερειακή

	Τακτική (2 χρόνια) Έκτακτη (όταν χρειάζεται) Ειδική (2 χρόνια)
Ταϊλάνδη	Καθημερινή Τακτική Ειδική (όταν χρειάζεται) Έκτακτη (όταν χρειάζεται)

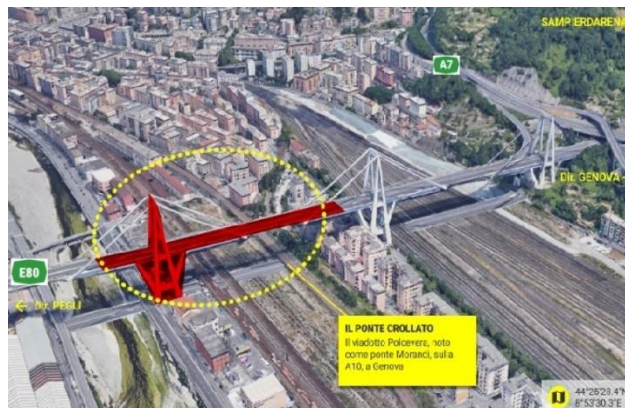
Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι απαραίτητη και ιδιαίτερα σημαντική προϋπόθεση για την αξιολόγηση της δομικής και λειτουργικής κατάστασης, των τεχνικών έργων είναι η περιοδική, τακτική, οπτική επιθεώρησή τους. Η οπτική επιθεώρηση οδηγεί συνήθως στην έγκαιρη διάγνωση βλαβών και στην επιλογή της ορθής μεθόδου, έκτασης και χρόνου επισκευής, πριν οι φθορές επηρεάσουν την ακεραιότητα των τεχνικών. Με την πάροδο του χρόνου και καθώς η ηλικία των κατασκευασμένων γεφυρών μεγαλώνει, αυξάνεται ολοένα και περισσότερο η ανάγκη και η απαίτηση για τη συχνότερη επιθεώρησή τους.

1.2 Επιθεώρηση γεφυρών με καινοτόμες μη καταστροφικές μεθόδους

Σε όλες τις χώρες παγκοσμίως και ιδιαίτερα σε ανεπτυγμένες, όπως στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, στην Ιαπωνία αλλά και σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, όπως στην Ιταλία, η γήρανση και φθορά των οδικών υποδομών αποτελεί πρόβλημα μείζονος σημασίας. Σύμφωνα με την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων (Federal High Administration), καθώς και την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Διαμετακόμισης (Free Trade Agreements), ο συνολικός αριθμός γεφυρών που καταγράφηκαν στον Εθνικό Κατάλογο Γεφυρών (NBI), το 2000, ανέρχόταν στις 588.844 γέφυρες, από τις οποίες περίπου το 67% ήταν άνω των 25 ετών (FHWA, 2014) και το 26% αυτών άνω των πενήντα. Μέχρι το 2015, ο αριθμός τους αυξήθηκε και άγγιξε τις 611.845 (FHWA, 2015 a) γέφυρες, με το 72% αυτών να είναι άνω των 25 ετών και το 38 %, άνω των πενήντα (FHWA, 2015 b).

Η Ιταλία επίσης, λόγω της ορογραφικής της διάρθρωσης, διαθέτει μεγάλη κληρονομιά υποδομής σε γέφυρες, οδογέφυρες και άνω διαβάσεις που αποτελείται περίπου από 63.575 κατασκευές. Ανάμεσα σε αυτές, περίπου 19.000, ανήκουν στο σιδηροδρομικό δίκτυο που διαχειρίζεται η Rete Ferroviaria Italiana (RFI), 14.575 βρίσκονται στο οδικό δίκτυο και το δίκτυο αυτοκινητοδρόμων, που διαχειρίζεται η Azienda Nazionale Autonoma delle Strade (ANAS) και περίπου 30.000 διαχειρίζονται από τους Παραχωρισιούχους, τις Περιφέρειες και τους Δήμους. Ο μέσος όρος ηλικίας των υποδομών είναι πάνω από πενήντα χρόνια και παρουσιάζουν μια σταθερή

γήρανση, που σχετίζεται με το περιβάλλον, τις υπηρεσίες και τον χρόνο (Bellino 2019). Από το 2013, 15 γέφυρες έχουν καταρρεύσει στην Ιταλία, προκαλώντας θανάτους και τραυματισμούς, στις μισές περιπτώσεις (D'Amato 2019). Μεταξύ αυτών, η πιο γνωστή κατάρρευση αντιπροσωπεύεται από την οδογέφυρα «Polcevera» στη Γένοβα, στις 14 Αυγούστου 2018, όπου έχασαν τη ζωή τους 43 άτομα (Alessandrini 2020).



Εικόνα 5: Η κατάρρευση της γέφυρας «Polcevera» στη Γένοβα της Ιταλίας το 2018, Πηγή: <https://google.com>, Πρόσβαση: 07-02-2022

Λαμβάνοντας υπόψη την επίγνωση των πολυάριθμων προβλημάτων, που σχετίζονται με τη συνήθη γήρανση των κατασκευών, υπάρχει η ανάγκη να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η επαρκής απόδοση, με την πάροδο του χρόνου. Αυτό είναι εφικτό, να πραγματοποιηθεί μέσω μιας συνεχούς γνωστικής διαδικασίας και εφαρμογής μεθόδων και τεχνικών, που παρακολουθούν και ελέγχουν τακτικά τις υποδομές.

Η πρακτική της οπτικής επιθεώρησης για τεχνικά έργα από σκυρόδεμα, ως αρχική διαγνωστική φάση είναι χρονοβόρα, επεκτατική, δύσκολη στην εκτέλεση, σε ευρείες και πολύπλοκες κατασκευές και κυκλοφοριακά προβλήματα. Επιπλέον, τα αποτελέσματα των οπτικών επιθεωρήσεων είναι κυρίως ποιοτικά και υποκειμενικά, οδηγώντας σε πιθανές ασυνεπείς αναφορές, εάν δε γίνουν από ειδικούς. Οι ανεπαρκείς και ασαφείς οπτικές επιθεωρήσεις μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα. Από αυτές τις σκέψεις, προκύπτει η ανάγκη πειραματισμού με νέες τεχνικές και μεθόδους περιοδικών επιθεωρήσεων και ελέγχων των γεφυρών, καθώς ο χρόνος περνά. Γίνεται λοιπόν λόγος για μεθόδους επιθεώρησης και ελέγχου των γεφυρών, οι οποίες βασίζονται σε μη καταστροφικούς ελέγχους και περιορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις προαναφερθείσες απαιτούμενες ανάγκες. Πρόκειται λοιπόν για επιθεώρηση γεφυρών, με τη χρήση της μεθόδου της υπέρυθρης θερμογραφίας (IRT), της φωτογραμμετρίας, της χρήσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones), των ραντάρ διείσδυσης εδάφους (Ground Penetrating Radar) και της φορητής ρομποτικής εδάφους, μέθοδοι που βρίσκουν εφαρμογή τόσο στην Αμερική όσο και σε άλλες χώρες, παραδείγματα των οποίων ακολουθούν στις παρακάτω υπό ενότητες.

1.2.1 Επιθεώρηση γεφυρών με τη μέθοδο της υπέρυθρης θερμογραφίας (IRT)

Για την ακρίβεια και αξιοπιστία της μεθόδου της υπέρυθρης θερμογραφίας έκαναν λόγο οι Gucunski et al. (2013) και Oh et al. (2013), με την εφαρμογή της στο κατάστρωμα υπάρχουσας γέφυρας σε λειτουργία, με σκοπό την ανίχνευση φθοράς. Οι Gucunski et al. (2013) ανέφεραν ότι η μέθοδος αυτή έχει καλές δυνατότητες ανίχνευσης αποκόλλησης του σκυροδέματος, αν και δεν είναι η πιο ακριβής επιλογή μεταξύ των μη καταστροφικών ελέγχων. Ωστόσο, επεσήμαναν επίσης ότι η ακρίβειά της, μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον χρόνο για τη συλλογή δεδομένων και το περιβάλλον. Εκτός από το χρόνο συλλογής δεδομένων, οι Hiasa et al. (2016 a, 2017 a, b, c) ανέφεραν αρκετούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν το αποτέλεσμα της υπέρυθρης θερμογραφίας, όπως το μέγεθος αποκόλλησης, η ταχύτητα συλλογής δεδομένων (μέσω κινούμενης πλατφόρμας) και οι προδιαγραφές της κάμερας υπέρυθρων. Όσον αφορά στο ανιχνεύσιμο βάθος με την παραπάνω μέθοδο, έχουν αναφερθεί διαφορετικά αποτελέσματα, όταν χρησιμοποιήθηκαν τεχνητά ελαττώματα διαφορετικών μεγεθών για τα ανιχνεύσιμα βάθη. Για παράδειγμα, μια αποκόλληση βάθους 3,18 εκατοστών δεν ανιχνεύθηκε Abdel-qader et al. (2008), ενώ ανιχνεύθηκε αποκόλληση βάθους 15,24 εκατοστών Kee et al. (2012). Οι Hiasa et al. (2017 b) κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι το μέγεθος της αποκόλλησης, ειδικά η περιοχή αποκόλλησης, επηρεάζει την ανιχνευσιμότητα του συστήματος και το ανιχνεύσιμο βάθος ποικίλλει, ανάλογα με το μέγεθος της αποκόλλησης. Επιπλέον, ένας από τους περιορισμούς της μεθόδου είναι ότι δεν μπορεί να παρέχει δεδομένα σχετικά το βάθος της αποκόλλησης, ενώ υποδεικνύεται η θέση αποκόλλησης Kashif Ur Rehman et al. (2016). Σύμφωνα με το Πρότυπο της Αμερικανικής Εταιρείας Δοκιμών και Υλικών (ASTM, 2014), ο συνδυασμός της θερμογραφίας και ενός συστήματος ψηφιακής εικόνας υψηλής ευκρίνειας έχει εφαρμοστεί σε κανονικές ταχύτητες οδήγησης εδώ και αρκετό καιρό, παρόλο που συνιστώνται λιγότερα από 16 km/h, ως ταχύτητα συλλογής δεδομένων.

Η μέθοδος της υπέρυθρης θερμογραφίας χρησιμοποιήθηκε για την επιθεώρηση του καταστρώματος της γέφυρας «Haymarket», που αποτελεί μέρος του VA Route 15, που περνά πάνω από το Interstate 66, στο Haymarket της Βιρτζίνια των ΗΠΑ, σε κανονικές ταχύτητες οδήγησης. Τα αποτελέσματά της συγκρίθηκαν με αυτά μιας προηγούμενης έρευνας, κατά την οποία λήφθηκαν οκτώ πυρήνες σκυροδέματος, από το κατάστρωμα της ίδιας γέφυρας.



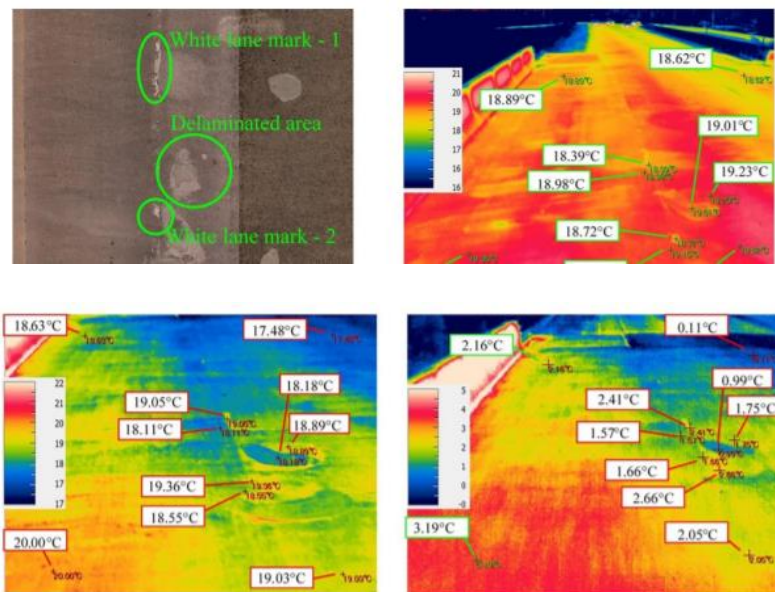
Εικόνα 6: Περιοχή εφαρμογής της μεθόδου, Hiasa et al. (2017)

Αν και η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοστεί στην επιθεώρηση καταστρώματος γέφυρας από ένα όχημα οδήγησης, η έρευνα σχετικά με την εφαρμογή υψηλής ταχύτητας για επιθεώρηση καταστρώματος γέφυρας δεν έχει εφαρμοστεί επαρκώς, λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές συνθήκες, χρονικά παράθυρα, τεχνολογικές προδιαγραφές και αβεβαιότητες Hiasa et al. (2016 b). Επιπροσθέτως, έχουν διεξαχθεί ορισμένες συγκριτικές μελέτες χρησιμοποιώντας κάμερες υπέρυθρων. Οι Hashimoto & Akashi (2010) ανέφεραν ότι οι κάμερες υπέρυθρων με περιοχή ανίχνευσης μήκους κύματος άνω των 8 χιλιοστών, επηρεάζονται από την αντανάκλαση του ουρανού και το αποτέλεσμα αυξάνεται, όταν η γωνία μεταξύ της κάμερας υπέρυθρων και της επιφάνειας σκυροδέματος γίνεται μικρότερη, ειδικά όταν η επιφάνεια είναι πιο λεία. Πήραν επίσης εικόνες υπέρυθρων από την υποδομή μιας γέφυρας, με τρεις τύπους καμερών, όπως ανιχνευτή αντιμονιδίου του ινδίου (InSb) (1,5 - 5,1 χιλιοστών), φωτοανιχνευτή υπέρυθρων κβαντικών πηγαδιών (QWIP) (8 - 9 χιλιοστών) και ανιχνευτή μίλι - βολτόμετρο (8 - 14 χιλιοστών), σε γωνία 45 μοιρών από το έδαφος. Κάμερες υπέρυθρων εξοπλισμένες με ανιχνευτές QWIP και μίλι-βολτόμετρο, κατέγραψαν την ανακλώμενη θερμοκρασία του ουρανού. Κάμερες υπέρυθρων με περιοχές ανίχνευσης μήκους κύματος 3 έως 5 χιλιοστών, κατέγραψαν τη θερμοκρασία περίπου στους 20 °C, ενώ μια κάμερα 8 έως 13 χιλιοστών, έδειξε τη θερμοκρασία από 0 έως - 35 °C Hashimoto & Akashi (2010). Οι Nishikawa et al. (2000) ανέφεραν ότι, η μηχανή μικρού μήκους κύματος (SW), επηρεάζεται από την αντανάκλαση του ήλιου και την αντίθεση της ηλιοφάνειας και της σκιάς, ενώ η μηχανή μεγάλου μήκους κύματος (LW) επηρεάζεται από ένα αντικείμενο, όπως ο ουρανός και κάποιο γειτονικό κτίριο. Έτσι, οι μηχανές SW τείνουν να εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της νύχτας και οι μηχανές LW, τείνουν να χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας Nakamura et al. (2013).

Σε αυτή τη μελέτη, η ακρίβεια και η αξιοπιστία της μεθόδου IRT για εφαρμογές υψηλής ταχύτητας για την ανίχνευση αποκολλήσεων σκυροδέματος, αξιολογήθηκαν με τρεις διαφορετικές κάμερες υπέρυθρων με διαφορετικές προδιαγραφές, σε συγκριτικό τρόπο με άλλες τεχνικές μη

καταστροφικών δοκιμών που χρησιμοποιούνται από άλλους ερευνητές. Πραγματοποιήθηκε μια επιτόπια δοκιμή σε μια γέφυρα στην οποία διεξήχθη προηγούμενη έρευνα, για συγκρίσεις. Συλλέχθηκαν δεδομένα εν ώρα οδήγησης με κανονική ταχύτητα οδήγησης (64 km/h), χωρίς κανένα κλείσιμο λωρίδας, ενώ τα δεδομένα από προηγούμενη έρευνα συλλέχθηκαν σε μια στατική κατάσταση με κλείσιμο λωρίδας κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Επιπλέον, διερευνήθηκαν τα αποτελέσματα των προδιαγραφών της κάμερας υπέρυθρων, για εφαρμογή υψηλής ταχύτητας, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους τρεις διαφορετικούς τύπους καμερών Hiasa et al. (2017).

Κατά τη σύγκριση τοποθεσιών στις οποίες ήταν διαθέσιμα δείγματα πυρήνα, η μέθοδος της υπέρυθρης θερμογραφίας στις 10:30 μ.μ. έδειξε 100% ακριβή ανίχνευση βλάβης, η οποία είναι ίδια με την προηγούμενη μέθοδο, ενώ στις 8:50 μ.μ. δεν μπόρεσε να ανιχνεύσει αποκόλληση. Αυτό υποδεικνύει, ότι υπάρχει μια ιδανική ζώνη ώρας για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της μεθόδου IRT επειδή μια κάμερα δεν κατάφερε να ανιχνεύσει την αποκόλληση, αλλά μια άλλη το κατάφερε, παρόλο που και οι δύο εικόνες είχαν ληφθεί από την ίδια κάμερα και με την ίδια ταχύτητα οδήγησης.



Εικόνα 7: Λήψεις από τη δοκιμή πεδίου καθώς και από τις τρεις κάμερες υπέρυθρων στις 10:30 μ.μ., Hiasa et al. (2017)

Παρόλο που η μέθοδος της υπέρυθρης θερμογραφίας έδειξε αποκόλληση στο όγδοο δοκίμιο, υπήρξαν εσφαλμένες ανιχνεύσεις. Αυτό πιθανόν να προκλήθηκε από την πολύ μεγαλύτερη χρονική σταθερά των μη ψυχόμενων καμερών στην οποία η εφαρμογή υψηλής ταχύτητας έκανε την εικόνα να θολώνει. Επομένως, από αυτή τη μελέτη μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από μη ψυχόμενες κάμερες υπέρυθρων είναι

λιγότερο αξιόπιστα από άλλες μεθόδους, συμπεριλαμβανομένου του IRT με ψυχρή κάμερα, εάν χρησιμοποιούνται σε κανονική ταχύτητα οδήγησης.

Επιπροσθέτως, η εντοπισμένη θέση και το σχήμα των αποκολλήσεων από τρεις κάμερες, συγκρίθηκαν με παλαιότερες έρευνες. Από τη σύγκριση που πραγματοποιήθηκε, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι κάμερες μπορούν να ανιχνεύσουν αποκολλήσεις, εντούτοις υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι εντοπισμένες περιοχές να είναι μεγαλύτερες από ότι στην πραγματικότητα.

Με βάση αυτές τις συγκρίσεις, ο παράγοντας που είναι πιο πιθανό να επηρεάσει την εφαρμογή της μεθόδου υψηλής ταχύτητας, είναι ο χρόνος ενσωμάτωσης μιας κάμερας υπέρυθρων, δηλαδή οι ψυχόμενες κάμερες είναι οι ιδανικές συσκευές για επιθεώρηση καταστρώματος γέφυρας όταν χρησιμοποιείται IRT κατά την οδήγηση, επειδή οι ψυχόμενοι ανιχνευτές έχουν πολύ μικρότερους χρόνους ολοκλήρωσης από τους μη ψυχόμενους ανιχνευτές. Ως προς το αποτέλεσμα φασματικού εύρους, μια κάμερα υπέρυθρων LW τείνει να επηρεάζεται από την απόσταση και την αντανάκλαση της θερμοκρασίας του ουρανού.

Όσον αφορά στην ανάλυση εικονοστοιχείων, η κάμερα χαμηλότερης ανάλυσης είναι λιγότερο ευαίσθητη από την κάμερα υψηλότερης ανάλυσης στην ανίχνευση αποκολλήσεων.

Αν και συνιστώνται περισσότερες δοκιμές, με περισσότερα δείγματα πυρήνα και δοκιμές σε διάφορες περιοχές, αυτή η μελέτη δείχνει ότι η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου υπό κανονικές ταχύτητες οδήγησης, με ψυχρή κάμερα έχει μεγάλες δυνατότητες για την αξιολόγηση των συνθηκών του καταστρώματος γέφυρας, από σκυρόδεμα με λογική ακρίβεια χωρίς κλείσιμο λωρίδας, πολύ πιο γρήγορα από άλλες μη καταστροφικές μεθόδους.

1.2.2 Επιθεώρηση γεφυρών με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας

Η φωτογραμμετρία αποτελεί μία από τις μεθόδους μη καταστροφικών δοκιμών. Διακρίνεται στην επίγεια και στη ψηφιακή φωτογραμμετρία με μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Unmanned Aerial Vehicle) και αποτελείται από ένα σύνολο που επιτρέπει την απόκτηση πλαισίων, φυσικών αντικειμένων και τη μετατροπή τους στη μετρική της αναπαράσταση (Gomarasca 2009). Η ψηφιακή φωτογραμμετρία είναι μια ευρέως σχετική τεχνική, που χρησιμοποιείται για την τρισδιάστατη ανακατασκευή αρχιτεκτονικών αντικειμένων, για επισκοπήσεις περιοχών και πόλεων και για επιθεωρήσεις και έλεγχο υποδομών. Επιπλέον, η χρήση της είναι χαρακτηριστική σε πολλούς τομείς, ανάμεσα στους οποίους συμπεριλαμβάνεται και η μηχανική γεφυρών. Μπορεί να διαμορφώσει μεγάλες ποσότητες δεδομένων, διασφαλίζοντας ακριβείς μετρήσεις. Χάρη στην ανάπτυξη του «computer vision» οι χρόνοι επεξεργασίας είναι ταχύτεροι. Είναι γνωστό ότι τις τελευταίες δεκαετίες, η φωτογραμμετρία έχει υποστεί ενδιαφέρουσες καινοτομίες Dominici et al.

(2017) για να αποκτήσει ένα λεπτομερές τρισδιάστατο μοντέλο χρήσιμο για πλήρη έρευνα και σημαντική υποστήριξη για τη διαχείριση δομών και υποδομών Barazzetti et al. (2011). Λόγω της ανάπτυξης και της μείωσης του κόστους των τεχνολογιών της ψηφιακής φωτογραμμετρίας Triggs et al. (1999) αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για τον εντοπισμό μεγάλων βλαβών και σε δυσπρόσιτες περιοχές. Σύμφωνα με τον Westoby et al. (2012), αποτελεί μια εξαιρετική λύση για την επιθεώρηση, τη μελέτη και ακριβή εκτίμηση της κατάστασης των γεφυρών.

Η βιβλιογραφία αναφέρει πολλά παραδείγματα σχετικά με την εφαρμογή της μεθόδου για την επιθεώρηση γεφυρών Chen et al. (2019). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ένα πιλοτικό έργο στην Κωνσταντινούπολη με στόχο την παρακολούθηση των δομικών παραμορφώσεων, τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της επιθεώρησης και τη διευκόλυνση της έγκαιρης αναγνώρισης των παραμορφώσεων, προκειμένου να αποτραπεί η μακροχρόνια φθορά της γέφυρας πάνω από τον Βόσπορο. Το πρόγραμμα αυτό πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας φωτογραμμετρική τεχνική εδάφους Ansar et al. (2014). Ένα άλλο παράδειγμα αποτελεί η δημιουργία ενός να τρισδιάστατου γεωμετρικού μοντέλου της γέφυρας «*Basento*» στην πόλη Potenza της Ιταλίας, που πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ψηφιακής φωτογραμμετρίας, με μη επανδρωμένα αεροσκάφη Marmo et al. (2019). Μια ενδιαφέρουσα έρευνα διεξήχθη με τη χρήση της ψηφιακής επίγειας και με μη επανδρωμένα αεροσκάφη φωτογραμμετρίας, στη γέφυρα «*Chia-nan*», στο Ταϊβάν Rau et al. (2017). Η συγκεκριμένη μελέτη Zollini et al. (2020) στόχευε στον εντοπισμό φθορών, όπως αποφλοιώση του σκυροδέματος και ρωγμών σε επιφάνειες γεφυρών, από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο στόχος αυτός επετεύχθη και εντοπίστηκαν αυτόματα τα μοτίβα της αποκόλλησης του σκυροδέματος και των ρωγμών επιτυγχάνοντας ακρίβεια 92% - 93%.

Η μέθοδος της ψηφιακής φωτογραμμετρίας με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones), χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη του δευτέρου μεσοβάθρου της άνω διάβασης που βρίσκεται στη Via Campo di Pile στο βιομηχανικό κέντρο της πόλης L' Aquila της Ιταλίας. Πρόκειται για μία άνω διάβαση που κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1980 -1990, με το συνολικό μήκος της να ανέρχεται στα 225 μέτρα και αποτελείται από 9 ανοίγματα.



Εικόνα 8: Περιοχή εφαρμογής της μεθόδου, Zollini et al. (2020)

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου λήφθηκαν αρχικά εικόνες υψηλής ποιότητας από την περιοχή ενδιαφέροντος με φωτογραμμετρία, στη συνέχεια έγινε επεξεργασία αυτών μέσω του λογισμικού Agisoft PhotoScan Pro και ακολούθως αναλύθηκαν με την τεχνική OBIA. Πρόκειται για μια μέθοδο ανάλυσης εικόνας, που βασίζεται σε αντικείμενα και όχι σε εικονοστοιχεία (Blaschke 2010). Τα αντικείμενα είναι διανυσματικά πολύγωνα, που δημιουργούνται από την εικόνα ράστερ, μέσω της ομαδοποίησης εικονοστοιχείων που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά Fiorillo et al. (2015). Η τεχνική OBIA αποτελείται από δύο βασικά βήματα, την κατάτμηση και την ταξινόμηση Teodoro et al. (2016) και επιτρέπει την ανάλυση και ταξινόμηση των εικόνων, αξιοποιώντας όχι μόνο τις ραδιομετρικές πληροφορίες των μεμονωμένων εικονοστοιχείων, αλλά λαμβάνει επίσης υπόψη τις χωρικές και τοπολογικές πληροφορίες.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου συγκρίθηκαν και με τα ευρήματα της οπτικής επιθεώρησης της παραπάνω άνω διάβασης που διενεργήθηκε από εμπειρογνώμονα. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της επιθεώρησης με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας και της οπτικής επιθεώρησης παρατηρήθηκαν ομοιότητες αλλά και διαφορές ανάμεσά τους. Ενδεικτικά, αναφέρονται κάποιες ποσοστιαίες τιμές των φθορών που εντοπίστηκαν. Για παράδειγμα, ο επιθεωρητής εντόπισε εκτίναξη του σκυροδέματος, σε ποσοστό 2,68%, εκτεθειμένες ράβδους 0,58% και ρωγμές 3,42%, ενώ η τεχνική OBIA, 2,65%, 0,41% και 3,86% αντίστοιχα.

Με την ανάλυση των αποτελεσμάτων, η προτεινόμενη μεθοδολογία, η φωτογραμμετρία UAV και η ανάλυση εικόνας βάσει αντικειμένων (OBIA) αποδείχθηκε ικανοποιητική για τον εντοπισμό, την έρευνα και την ταξινόμηση περιοχών από σκυρόδεμα που έχουν υποστεί φθορές ενώ συγχρόνως είναι δυνατός ο εντοπισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών (θέση, περιοχή και διαστάσεις). Αυτή η μέθοδος έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως η μη καταστροφική της μορφή, η δυνατότητα λήψης εναέριων εικόνων σε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές, που την καθιστούν κατάλληλη για περιοδικές επιθεωρήσεις και ελέγχους γεφυρών.

Βάσει επιστημονικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου στο πεδίο με μετρήσιμες και αξιόπιστες εικόνες, απορρέει το συμπέρασμα ότι η μεθοδολογία για

την οποία γίνεται λόγος, μπορεί ενδεχομένως να συμπληρώσει ή ακόμη και να υποκαταστήσει την τρέχουσα πρακτική της οπτικής επιθεώρησης, τουλάχιστον ως πρώτη ανάλυση ενός μεγάλου αριθμού δεδομένων.

1.2.3 Επιθεώρηση γεφυρών με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones)

Ο τομέας των Πολιτικών Μηχανικών έχει αποκτήσει πρόσφατα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα μη επανδρωμένα εναέρια αεροσκάφη (UAV), τα οποία κοινώς αναφέρονται ως drones. Λόγω της αύξησης των γεφυρών που έχουν υποστεί φθορά, σύμφωνα με την έκθεση που δημοσιεύθηκε από την Αμερικανική Εταιρεία Πολιτικών Μηχανικών (ASCE) απαιτείται μια πιο αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση για την επιθεώρηση γεφυρών.

Η Αμερικανική Εταιρεία Πολιτικών Μηχανικών (ASCE) έχει μελετήσει τακτικά τη δομική απόδοση της υποδομής στις ΗΠΑ συμπεριλαμβανομένων των γεφυρών. Η πιο πρόσφατη αναφορά της ASCE για την υποδομή της Αμερικής, που κυκλοφόρησε τον Δεκέμβριο του 2016 διευκρίνισε ότι περίπου το 9,1% των γεφυρών της χώρας ταξινομήθηκαν ως δομικά ανεπαρκείς (ASCE, 2016). Αν και ο αριθμός των ελλειμματικών γεφυρών μειώθηκε από 11% σε 9,1%, τα τελευταία τρία χρόνια (ASCE, 2013), υπάρχει ανάγκη για μια πιο αποτελεσματική και οικονομικά προσιτή τεχνική, για την οπτική επιθεώρηση γεφυρών. Στην πραγματικότητα, η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών έχει γίνει πιο ελκυστική για τους ιδιοκτήτες γεφυρών, τους ερευνητές και τους ενδιαφερόμενους, λόγω της ικανότητάς τους να συγκεντρώνουν κρίσιμες πληροφορίες σε λιγότερο χρόνο και με χαμηλότερο κόστος, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνικές επιθεώρησης.

Σύμφωνα με τον Hallermann et al. (2014) έχουν γίνει πολυάριθμες ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη νέων τεχνικών παρακολούθησης και επιθεώρησης των υποδομών με σκοπό να ξεπεραστούν οι χρονοβόρες, επικίνδυνες και σχετικά δαπανηρές πρακτικές επιθεώρησης γεφυρών. Οι Chan et al. (2015) διεξήγαγαν μια μελέτη σχετικά με την επιθεώρηση που βασίζεται στην παραπάνω μέθοδο, σε σύγκριση με τις συμβατικές πρακτικές επιθεώρησης. Για την ολοκλήρωση της μελέτης, έγιναν πολλές σκέψεις σχετικά με τις δυνατότητες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών για επιθεώρηση γεφυρών, τις απαιτήσεις επιθεώρησης, την ανάλυση κόστους - οφέλους και τις προκλήσεις των εναέριων μέσων. Η έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές πρακτικές επιθεώρησης, όπως το κόστος, τον χρόνο, τον μειωμένο κίνδυνο για τους επιθεωρητές και την ποιότητα των αποτελεσμάτων της επιθεώρησης. Μια μελέτη μεγάλης εμβάθυνσης όσον αφορά στην επιθεώρηση των υποδομών διεξήχθη από τους Koch et al. (2014). Πρωταρχικός στόχος αυτής της έρευνας, ήταν η αξιολόγηση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας των

μη επανδρωμένων αεροσκαφών ως συμπληρωματικού εργαλείου επιθεώρησης γεφυρών, για την υποστήριξη συμβατικών επιθεωρήσεων γεφυρών που επιβάλλονται από το νόμο των ΗΠΑ. Κατά τη διάρκεια αυτής της μελέτης, οι συγγραφείς πραγματοποίησαν μια ανάλυση μεγάλων κατασκευών από σκυρόδεμα, συμπεριλαμβανομένων των υποστυλωμάτων των γεφυρών. Για τη διεξαγωγή της ανάλυσης, εφαρμόστηκαν διαφορετικές τεχνικές επιθεώρησης, όπως η τρισδιάστατη ανακατασκευή επιφάνειας για τον εντοπισμό ζημιών. Κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι η επιθεώρηση με μη επανδρωμένα αεροσκάφη ήταν πιο οικονομική και ασφαλής εναλλακτική λύση σε σχέση με τις συμβατικές πρακτικές επιθεώρησης.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου με τη χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών αποτελεί η επιθεώρηση μιας γέφυρας τριών ανοιγμάτων, μήκους 51,8 μέτρων στην πόλη Keystone της κομητείας Pennington των ΗΠΑ (Seo et al., 2018).



Εικόνα 9: Περιοχή εφαρμογής της μεθόδου, Seo et al. (2018)

Η επιλογή του μη επανδρωμένου αεροσκάφους έγινε με βάση τον χρόνο πτήσης, την κάμερα προβολής προς τα πάνω, την ανάλυση κάμερας, την ανάλυση βίντεο και άλλα. Ορισμένοι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει και μελετήσει μια ποικιλία μη επανδρωμένων αεροσκαφών για να προσδιορίσουν τις ικανότητές τους όσον αφορά στη συλλογή δεδομένων για επιθεώρηση γέφυρας. Συνολικά 13 διαφορετικά μη επανδρωμένα αεροσκάφη ερευνήθηκαν για την αποτελεσματική επιλογή του καταλληλότερου για την επιθεώρηση γεφυρών. Προκειμένου να επιλεγεί το αποτελεσματικότερο, μελετήθηκαν οι ακόλουθες επτά παράμετροι:

- ❖ Ο χρόνος πτήσης, άνω των 20 λεπτών, καθώς επιτρέπει μια πιο αποτελεσματική και ολοκληρωμένη, ελαχιστοποιώντας τις διακοπές για την αλλαγή των μπαταριών.
- ❖ Η πρόσθετη κάμερα πάνω από το μη επανδρωμένο αεροσκάφος (η δυνατότητα παρακολούθησης απευθείας κάτω από το κατάστρωμα επιτρέπει μια πιο λεπτομερή επιθεώρηση).
- ❖ Η ανάλυση κάμερας με χαμηλό φωτισμό (λόγω έλλειψης φωτισμού κάτω από το κατάστρωμα, η κάμερα πρέπει να μπορεί να καταγράφει εικόνες υψηλής ανάλυσης υπό χαμηλό φωτισμό. Ο φωτισμός μπορεί να βελτιωθεί με πρόσθετους φακούς, είτε να είναι στερεωμένοι στο drone, είτε να βρίσκονται στο έδαφος).

- ❖ Η ανάλυση βίντεο (εκτός από στατικές εικόνες, το drone να μπορεί να καταγράφει βίντεο υψηλής ευκρίνειας, για να πραγματοποιεί επιθεώρηση βάσει βίντεο όπως απαιτείται).
- ❖ Η χωρητικότητα του ωφέλιμου φορτίου (το ωφέλιμο φορτίο είναι σημαντικό καθώς του επιτρέπει να μεταφέρει πρόσθετα εξαρτήματα, όπως φακούς ή κάμερες, εάν χρειάζεται).
- ❖ Τα φώτα του (τα φώτα LED που περιλαμβάνονται σε ορισμένα μη επανδρωμένα αεροσκάφη χρησιμεύουν ως πηγή φωτισμού και θα πρέπει να θεωρείται ότι παρέχουν επιπλέον φωτισμό, ο οποίος απαιτείται για την αποτελεσματική παρατήρηση των φθορών κάτω από μια γέφυρα).
- ❖ Η απομακρυσμένη εμβέλεια (ορισμένες κατασκευές βρίσκονται πάνω από το νερό ή δεν είναι προσβάσιμες από επιθεωρητές. Επομένως, απαιτείται τηλεχειριστήριο μεγάλης εμβέλειας, για την επιθεώρηση τέτοιων κατασκευών).

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τεχνολογίες των drones έχουν αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Έτσι, το κόστος και τα χαρακτηριστικά τους θα αλλάξουν γρήγορα, με την πάροδο του χρόνου.

Λόγω έλλειψης συστηματικής αναγνώρισης ζημιών και διαδικασιών επιθεώρησης με τη συγκεκριμένη μέθοδο, αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία επιθεώρησης γέφυρας πέντε σταδίων, που επέτρεψε μια αποτελεσματική επιθεώρηση γέφυρας με χρήσης μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Η μεθοδολογία βασίστηκε σε πληροφορίες σχετικά με τους περιορισμούς του drone, τις συνθήκες λειτουργίας του και τη μεθοδολογία απόκτησης δεδομένων. Εξετάστηκαν επίσης οι κρατικοί και ομοσπονδιακοί κανονισμοί. Τα στάδια της παραπάνω μεθοδολογίας έχουν ως εξής:

Στο πρώτο στάδιο, ολοκληρώνεται η ανασκόπηση των πληροφοριών της γέφυρας. Μελετώνται πληροφορίες που περιλαμβάνουν κατασκευαστικά σχέδια και αναφορές προηγούμενων επιθεωρήσεων, προκειμένου να διασφαλιστεί η πλήρης επιθεώρηση της γέφυρας. Οι παραπάνω πληροφορίες που είναι διαθέσιμες από παλαιότερες επιθεωρήσεις, έχουν ιδιαίτερη σημασία, καθώς δίνουν τη δυνατότητα στον χειριστή του μη επανδρωμένου αεροσκάφους να εστιάσει στα σημεία όπου υπάρχει εντοπισμένη φθορά και βλάβη, π.χ. κατάστρωμα ή υποδομή, και η προσβασιμότητα εκεί είναι περιορισμένη ή αδύνατη από ανθρώπινο δυναμικό (επιθεωρητή).

Στο δεύτερο στάδιο, πραγματοποιείται μια διεξοδική αξιολόγηση του κινδύνου της τοποθεσίας των γύρω περιοχών της γέφυρας. Πρόκειται για τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων (κοντά σε δέντρα ή σε λωρίδες κυκλοφορίας), προκειμένου να αποφευχθούν και να ξεκινήσει η διαδικασία της επιθεώρησης. Η αξιολόγηση αυτή περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των ζωνών ασφαλούς προσγείωσης και απογείωσης και την ελαχιστοποίηση του κινδύνου του χειριστή. Πριν από τη δημιουργία μιας στρατηγικής πτήσεων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι κρατικοί και

ομοσπονδιακοί κανονισμοί, οι οποίοι διαφέρουν από τοποθεσία σε τοποθεσία. Τέλος, για να διασφαλιστεί η ασφάλεια του χειριστή, θα πρέπει να εφαρμοστούν μηχανισμοί ελέγχου της κυκλοφορίας, όπως προειδοποιητικές πινακίδες πλησίον.

Το τρίτο στάδιο, αφορά στη ρύθμιση του drone πριν από την πτήση του. Τόσο οι κατασκευαστές όσο και η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας, συνιστούν τη διεξοδική επιθεώρηση και έλεγχο του μη επανδρωμένου αεροσκάφους, συμπεριλαμβανομένου του λογισμικού αλλά και του υλικού του, όπως έλικες, ρότορες, επίπεδα μπαταρίας. Ακόμη, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση πυξίδας, πριν από την πτήση σε νέα τοποθεσία, για να αποφευχθεί η απώλεια σήματος GPS κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Το τέταρτο στάδιο, αφορά στην ολοκλήρωση της επιθεώρησης αφού συγκεντρωθούν όλες οι προκαταρκτικές πληροφορίες κατά τα προηγούμενα στάδια. Κατά τη λειτουργία του μη επανδρωμένου αεροσκάφους, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι καιρικές συνθήκες όπως ο άνεμος, καθώς μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την απόδοσή του. Εκτός από τις καιρικές συνθήκες, το σχέδιο επιθεώρησης θα πρέπει να εκτελείται όπως έχει προγραμματιστεί για να αποφευχθούν καθυστερήσεις ή ζημιές. Συνιστάται πρώτα να αποτυπωθούν τα συνολικά τμήματα της γέφυρας και στη συνέχεια να συγκεντρωθούν λεπτομερείς πληροφορίες για κάθε δομικό και μη δομικό στοιχείο. Επισημαίνεται ότι, ο τρέχων κανονισμός δεν επιτρέπει τη λειτουργία του μη επανδρωμένου αεροσκάφους πάνω από την κυκλοφορία. Ως εκ τούτου, η επιθεώρηση ορισμένων τμημάτων (πάνω από το δρόμο), θα πρέπει να διεξάγεται από μακριά. Τέλος, σύμφωνα με τους κανονισμούς της Ομοσπονδιακής Διοίκησης Αεροπορίας, ο χειριστής θα πρέπει να επικουρείται συνεχώς από έναν παρατηρητή, για την αποφυγή περισπασμών και πιθανών ατυχημάτων.

Στο πέμπτο και τελευταίο στάδιο, ολοκληρώνεται η αναγνώριση της βλάβης. Για μια επιτυχημένη επιθεώρηση γέφυρας με μη επανδρωμένο αεροσκάφος, η βλάβη θα πρέπει να αναγνωρίζεται εύκολα από τις πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν. Οι εικόνες που λήφθηκαν χρησιμοποιώντας το drone χρησιμεύουν ως βάση για περαιτέρω υπολογιστική ανάλυση, συμπεριλαμβανομένης της επιθεώρησης με βάση τη φωτογραμμετρία. Η χρήση τρισδιάστατων φωτογραμμετρικών εικονικών μοντέλων χρησιμεύει ως επισκόπηση της ζημιάς σε σύγκριση με τις συμβατικές εικόνες σε επίπεδο δύο διαστάσεων. Η ανακατασκευή των τρισδιάστατων εικονικών μοντέλων θα μπορούσε να ολοκληρωθεί σε ένα λογισμικό υπολογιστή, όπως το PhotoScan. Για την κατασκευή του τρισδιάστατου εικονικού μοντέλου, το PhotoScan θα χρειαστεί εικόνες που λαμβάνονται από το drone που μπορούν να αναπαραστήσουν σημεία που επιτρέπουν μια τρισδιάστατη προβολή του τεχνικού. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας μια τεχνική τριγωνοποίησης για τη σύνδεση των σημείων, το PhotoScan μπορεί να δημιουργήσει την επιφάνεια για μια πιο

λεπτομερή προβολή και να κάνει μια διόρθωση υψής και χρώματος. Αυτή η διαδικασία είναι σε θέση να παρέχει μια οπτική αναπαράσταση της γέφυρας, σε έναν τρισδιάστατο εικονικό χώρο.

Από την επιθεώρηση της γέφυρας με τη χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, εντοπίστηκαν ορισμένες φθορές στα δομικά τμήματα της γέφυρας. Ενδεικτικά, στο κατάστρωμά της, εντοπίστηκε μεγάλη ζημιά λόγω της υγρασίας στους αρμούς. Πιο συγκεκριμένα, οι φθορές που παρατηρήθηκαν, αφορούν αποφλοιώση και αποκόλληση του σκυροδέματος καθώς και έκθεση ράβδων οπλισμού σε οξείδωση. Οι στηρίξεις της ήταν σε καλή κατάσταση, αν εξαιρεθούν μικρές ρωγμές και αποχρωματισμός του σκυροδέματος. Οι δοκοί της γέφυρας ήταν σε καλή κατάσταση, παρά τις μικρές ζημιές που προκλήθηκαν από το νερό που διέρχονταν από το κατάστρωμα. Τα άκρα των δοκών παρουσίαζαν κάποιους λεκέδες και αποχρωματισμούς, που πιθανώς προκλήθηκαν από εναποθέσεις ασβεστίου, από τη χημική αντίδραση μεταξύ αλατιού, νερού, σκυροδέματος και χάλυβα, ειδικά κατά τη χειμερινή περίοδο.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων της επιθεώρησης με τη χρήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους και μιας οπτικής επιθεώρησης που πραγματοποιήθηκε σε προηγούμενη έρευνα, για τη συγκεκριμένη γέφυρα. Τα αποτελέσματα των δύο συγκρίσεων ήταν πανομοιότυπα, με τη διαφορά ότι το μη επανδρωμένο αεροσκάφος έδωσε εικόνες μεγαλύτερης ακρίβειας αφού τις φωτογράφησε σε κοντινότερη απόσταση. Κατέληξαν λοιπόν στο συμπέρασμα ότι τα drones δίνουν δεδομένα υψηλής ποιότητας και ενδείκνυνται για την τακτική επιθεώρηση των γεφυρών. Η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί σε επιθεωρήσεις ρουτίνας, για την πρόσβαση σε περιοχές της γέφυρας, που διαφορετικά δεν είναι ορατές από τους επιθεωρητές. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι επιθεωρητές θα πρέπει να καθοδηγούνται, ώστε να διεξάγουν διαφορετικές εργασίες προκαταρκτικής επιθεώρησης με τη χρήση των drones υπό διάφορες καιρικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων χαμηλού ή μέτριου ανέμου και ηλιόλουστες ή συννεφιασμένες ημέρες, πριν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας.

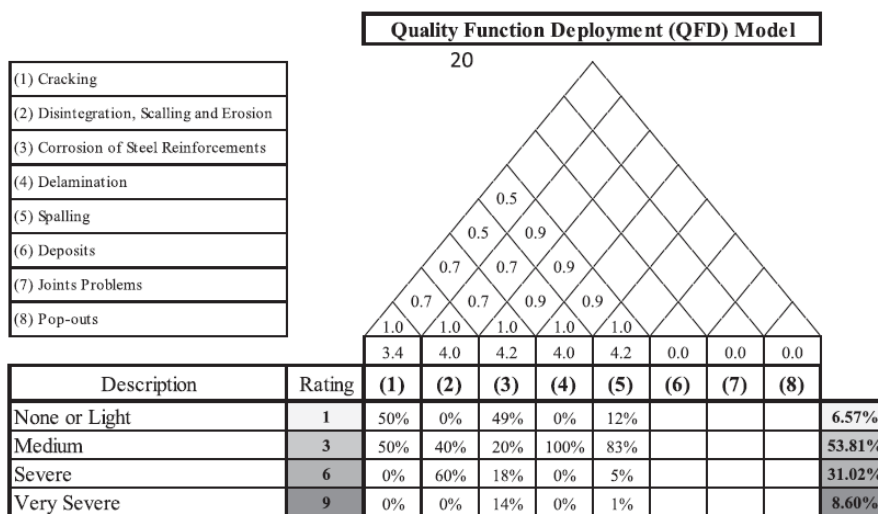
1.2.4 Επιθεώρηση γεφυρών με τη χρήση ραντάρ διείσδυσης εδάφους (Ground Penetrating Radar)

Η μέθοδος ραντάρ θεωρείται εδώ και πολλά χρόνια ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνική, για την χαρτογράφηση των φθορών. Περαιτέρω, ο συνδυασμός της χρήσης ραντάρ διείσδυσης εδάφους και οπτικής επιθεώρησης μπορεί να βελτιώσει την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των ελαττωμάτων του καταστρώματος (Barnes & Trottier, 2004).

Πιο συγκεκριμένα, γίνεται λόγος για την επιθεώρηση με τη χρήση ραντάρ διείσδυσης εδάφους (Ground Penetrating Radar) σε συνδυασμό με οπτική μιας γέφυρας στην πόλη Κεμπέκ του Καναδά. Πρόκειται για γέφυρα από οπλισμένο σκυρόδεμα, τεσσάρων ανοιγμάτων και

συνολικού μήκους 64,7 μέτρων, η οποία κατασκευάστηκε το 1965. Επιπλέον, το συνολικό πλάτος του καταστρώματος είναι 12,8 μέτρα με οδόστρωμα 9,1 μέτρα. Το πάχος της πλάκας του καταστρώματος κυμαίνεται μεταξύ 0,61 και 1,07 μέτρα.

Το πείραμα που διεξήχθη από τους οι Alsharqawi et al. (2018) για τη μελέτη της προαναφερθείσας γέφυρας έχει ως εξής. Αναπτύχθηκαν δύο βελτιωμένα μοντέλα που σχετίζονται με την αξιολόγηση της κατάστασης του καταστρώματος της γέφυρας. Το πρώτο μοντέλο βασίζεται στην υιοθέτηση της θεωρίας QFD που εφαρμόστηκε στο κατάστρωμα της γέφυρας. Η έρευνα καταδεικνύει την θεωρία QFD και επικυρώνει την εφαρμογή της με μελέτη περίπτωσης και προτείνει την προσέγγισή της, ως ενισχυμένο εργαλείο λήψης αποφάσεων στον τομέα της διαχείρισης γεφυρών. Το μοντέλο λειτουργεί σε επίπεδο στοιχείου και παρέχει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της κατάστασης του καταστρώματος των γεφυρών. Ενσωματώνει τις επιφανειακές φθορές που ανιχνεύθηκαν με οπτική επιθεώρηση, με τις σοβαρότερες που ήταν κυρίως η διάβρωση του χαλύβδινου οπλισμού χρησιμοποιώντας το ραντάρ διείσδυσης εδάφους. Τα πλεονεκτήματα της προτεινόμενης μεθόδου QFD είναι η ικανότητά της να συσχετίζει διαφορετικούς τύπους φθορών. Επιπλέον, αυτή η μέθοδος μπορεί να συντελέσει στον καθορισμό προτεραιοτήτων και κατευθύνσεων για τη βελτίωση της κατάστασης της γέφυρας.

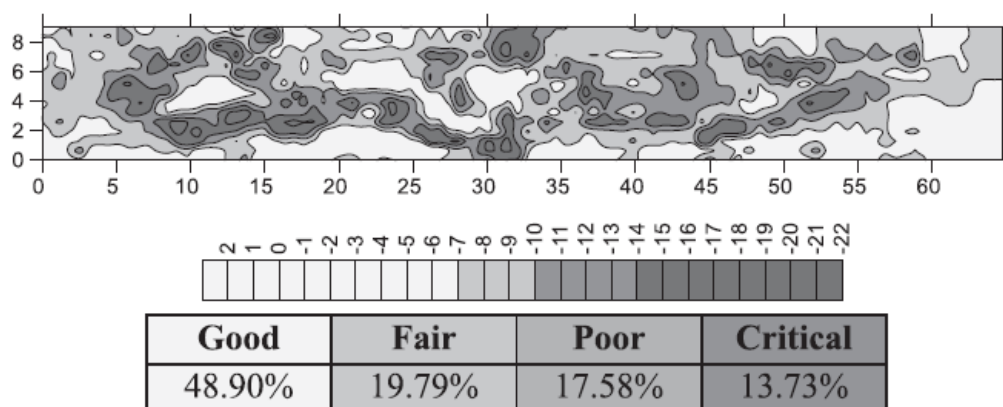


Εικόνα 10: Εφαρμογή του μοντέλου QFD για τα αποτελέσματα επιθεώρησης του καταστρώματος της γέφυρας το έτος 2012, Alsharqawi et al. (2018)

Το δεύτερο μοντέλο εισάγει το μοντέλο διανομής Weibull, ως μια προσέγγιση πρόβλεψης πιθανολογικής επιδείνωσης της κατάστασης της γέφυρας. Το μοντέλο εκτιμά την ιδανική κατάσταση του καταστρώματος της γέφυρας και είναι σε θέση να προβλέψει με ακρίβεια τις μελλοντικές συνθήκες, με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία επιθεώρησης. Τα μοντέλα QFD και WDF είναι ενσωματωμένα για τη βελτίωση της πρόβλεψης. Τα συγκεκριμένα ελαττώματα που έχουν εντοπιστεί, αξιολογούνται χρησιμοποιώντας το μοντέλο QFD, που χρησιμοποιείται για τον

υπολογισμό της αξιοπιστίας της ολοκληρωμένης κατάστασης ενός δομικού τμήματος, στη συγκεκριμένη περίπτωση, του καταστρώματος. Η ενημερωμένη αξιολόγηση της κατάστασης χρησιμοποιείται για την ενημέρωση των καμπυλών φθοράς για μια βελτιωμένη αξιολόγηση της κατάστασης με βάση τις πιο πρόσφατα διαθέσιμες εκθέσεις επιθεώρησης. Οι προβλέψεις μπορούν να ενημερωθούν με το προτεινόμενο μοντέλο όσο αυξάνονται τα διαθέσιμα δεδομένα. Αναλύθηκαν τα δεδομένα από είκοσι μελέτες, χρησιμοποιώντας τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι τα προτεινόμενα μοντέλα παράγουν αποτελέσματα με ισχυρή ακρίβεια και αξιοπιστία. Δεδομένου ότι τα προτεινόμενα μοντέλα δύναται να επεκταθούν για να καλύψουν κι άλλα στοιχεία γέφυρας και τύπους κατασκευών από σκυρόδεμα μπορούν να τύχουν εφαρμογής σε μελλοντικές ερευνητικές εργασίες.

Με βάση τη γεωμετρία του καταστρώματος της γέφυρας και ακολουθώντας τα πρότυπα ASTM D6087, για τις τυπικές απαιτήσεις δοκιμής GPR, χρησιμοποιήθηκαν διαδρομές σάρωσης με απόσταση 0,6 μέτρα για την κάλυψη περασμάτων 9,1 μέτρων πάνω από το κατάστρωμα. Με βάση τα αποτελέσματα της οπτικής επιθεώρησης, που διεξήχθη το 2012, διαπιστώθηκε ότι υπήρξε ρωγμή μέτριας σοβαρότητας. Εντοπίστηκαν σοβαρές φθορές, όπως αποφλοιώση του σκυροδέματος και διάβρωση του οπλισμού καθώς και μερική αποκόλληση στο κατάστρωμα. Στην αντίστοιχη οπτική επιθεώρηση του 2015, διαπιστώθηκε μια μικρού εύρους ρωγμή καθώς και αποκόλληση του σκυροδέματος, όπως αυτή είχε εντοπιστεί και πριν τρία χρόνια. Αντιθέτως, δεν παρατηρήθηκε ούτε και αναφέρθηκε διάβρωση του οπλισμού. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μέθοδο που εφαρμόστηκε από τους Dihn et al. (2015), βάσει της οποίας διευκολύνεται η αυτοματοποίηση της ανάλυσης των δεδομένων GPR και εξαλείφεται η υποκειμενικότητα που σχετίζεται με τη παραδοσιακή μέθοδο της οπτικής επιθεώρησης, είναι ένας χάρτης, ο οποίος απεικονίζει τα επίπεδα διάβρωσης του οπλισμού.



Εικόνα 11: Χάρτης απεικόνισης των επιπέδων διάβρωσης του οπλισμού, Alsharqawi et al. (2018)

1.2.5 Επιθεώρηση γεφυρών με τη χρήση φορητής ρομποτικής εδάφους

Οι κυβερνητικές υπηρεσίες σε όλον τον κόσμο προσβλέπουν σε προηγμένες τεχνολογίες επιθεώρησης γεφυρών που θα μπορούσαν να συντελέσουν στον μετριασμό οικονομικών και κοινωνικών κινδύνων, που σχετίζονται με τη γήρανση της δημόσιας υποδομής. Οι γέφυρες αποτελούν ιδιαίτερα υψηλό κίνδυνο σε πολλές δικαιοδοσίες και υπόκεινται σε αυστηρές απαιτήσεις επιθεώρησης, μέσω της εφαρμογής Προτύπων. Τα Πρότυπα Soch παρέχουν καθοδήγηση σε εκπαιδευμένους επιθεωρητές σχετικά με τον τρόπο επιθεώρησης κατασκευών, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές που αφορούν αφενός οπτικές επιθεωρήσεις και αφ' ετέρου εξειδικευμένες, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό, όπως ραντάρ ή υπερηχογράφημα. Πολλές χώρες (π.χ. Καναδάς) απαιτούν την πραγματοποίηση οπτικών επιθεωρήσεων κάθε δύο χρόνια για όλες τις γέφυρες με ελάχιστο καθορισμένο μήκος ανοίγματος (Ministry of Transportation, Ontario, 2008) και προβαίνουν σε λεπτομερέστερες επιθεωρήσεις, όταν απαιτείται από την κατάσταση της γέφυρας.

Η οπτική αξιολόγηση διενεργείται για να αποκαλύψει ζημιές και βλάβες στα υλικά κατασκευής, ελλείψεις απόδοσης και ανάγκες συντήρησης για τα δομικά στοιχεία και τμήματα της γέφυρας. Συχνά απαιτείται από έναν επιθεωρητή να αποκτήσει καλή οπτική πρόσβαση σε όλες τις θέσεις των δομικών στοιχείων και τμημάτων συμπεριλαμβανομένης της κάτω παρειάς του καταστρώματος. Όπου δεν είναι εύκολη η πρόσβαση χρησιμοποιείται εξειδικευμένος εξοπλισμός (π.χ. ανυψωτικά μηχανήματα) προκειμένου να επιτευχθεί η επιθεώρηση στα δυσπρόσιτα σημεία της γέφυρας. Ενώ οι τεχνικές αυτές επιτρέπουν στον επιθεωρητή να έχει αρκετά κοντινή πρόσβαση στην περιοχή συχνά απαιτούν κλείσιμο των λωρίδων κυκλοφορίας. Επιπλέον, τα εύκολα προσβάσιμα τμήματα των γεφυρών μπορούν να εντοπιστούν και να καταγραφούν, χρησιμοποιώντας ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος και να τροποποιηθούν οπτικά από έναν επιθεωρητή Gillins et al. (2016), Zink & Lovelace (2015), (Moller 2008). Τα προαναφερθέντα αεροσκάφη έχουν εξοπλιστεί με θερμική κάμερα, προκειμένου να διευκολύνουν την επιθεώρηση και να την καθιστούν πιο αποτελεσματική, όσον αφορά στον εντοπισμό των βλαβών Ellenberg et al. (2016).

Θέματα όπως η προσβασιμότητα, η επαναληψιμότητα, η ανίχνευση κρυφών βλαβών, η ποσοτικοποίηση, η έλλειψη πληροφοριών, η έλλειψη φωτογραφικών αποδεικτικών στοιχείων, η αντικειμενικότητα μεταξύ των απόψεων των επιθεωρητών και οι διακυμάνσεις τους έως και 50%, με μόνο το 63% των αξιολογήσεων να βρίσκονται σε απόκλιση 10% από τον μέσο όρο Moore et al. (2001), αποτελούν βασικά ζητήματα για την εφεύρεση αυτοματοποιημένων μεθόδων, για τη διενέργεια επιθεωρήσεων σε τεχνικά έργα. Πολλές από τις ελλείψεις στις οπτικές επιθεωρήσεις

μπορούν να ξεπεραστούν, χρησιμοποιώντας ρομποτική και τεχνολογίες ανίχνευσης χωρίς επαφή. Αυτές όχι μόνο παρέχουν ένα μέσο για πρόσβαση σε κρίσιμα και δυσπρόσιτα δομικά στοιχεία γέφυρας, για παράδειγμα, η κάτω πλευρά των καταστρωμάτων, αλλά χρησιμοποιούνται επίσης για να κάνουν τις επιθεωρήσεις λιγότερο επιρρεπείς στις διακυμάνσεις μεταξύ των επιθεωρητών. Γίνεται λοιπόν λόγος, για την επιθεώρηση γεφυρών με τη χρήση φορητής ρομποτικής εδάφους, μέθοδο που εφάρμοσαν οι Charron et al. (2019) για τη μελέτη δύο γεφυρών στο Οντάριο του Καναδά. Πρόκειται για ένα ισχυρό μέσο, για την ενίσχυση της τρέχουσας πρακτικής επιθεώρησης, ξεπερνώντας ορισμένες κοινές αδυναμίες, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω.

Πρόκειται για μια ανθεκτική κινητή πλατφόρμα, ειδικά σχεδιασμένη για επίγειες γέφυρες, εξοπλισμένη με έναν ενσωματωμένο υπολογιστή, ο οποίος συλλέγει τα δεδομένα, ελέγχει τη λειτουργία των προγραμμάτων οδήγησης των αισθητήρων του μη επανδρωμένου οχήματος εδάφους (UGV) και είναι υπεύθυνος για την χαρτογράφηση και την επεξεργασία των εικονοστοιχείων. Το συγκεκριμένο μη επανδρωμένο όχημα εδάφους είναι εξοπλισμένο με έξι διαφορετικού τύπου αισθητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση των γεφυρών. Επιπλέον, διαθέτει τέσσερις ελαστικοφόρους τροχούς πεπιεσμένου αέρα, με ίδιο βάρος 50 κιλά και ωφέλιμο φορτίο 75 κιλά και είναι αυτό με το οποίο επιτυγχάνεται η κίνηση της πλατφόρμας, με ταχύτητα που μπορεί να αγγίξει ακόμη και το 1 m/s.



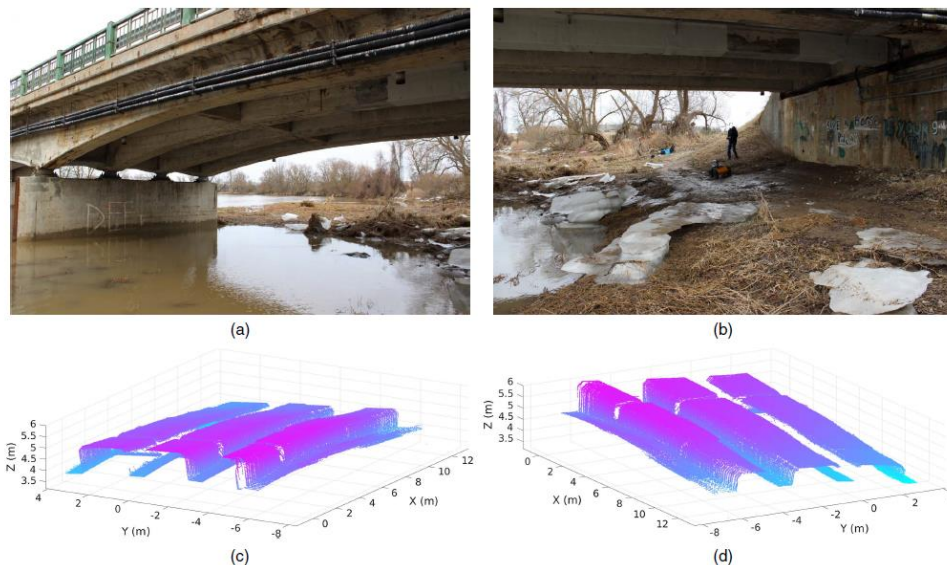
Εικόνα 12: Απεικόνιση του μη επανδρωμένου οχήματος εδάφους (UGV), Charron et al. (2019)

Αυτή η πλατφόρμα μαζί με το προσαρμοσμένο λογισμικό εντοπισμού και χαρτογράφησης παράγει υψηλής ποιότητας τρισδιάστατους χάρτες σημείων για την κάτω παρειά της πλάκας του καταστρώματος τυπικών γεφυρών από σκυρόδεμα, η οποία είναι συχνά η πιο δύσκολη για επιθεώρηση. Η ποιότητα αυτών των χαρτών συγκρίνεται με τις μετρήσεις του εδάφους, αφού χρησιμοποιούνται μετρήσεις επίγειου σαρωτή λέιζερ και οι χάρτες φαίνεται ότι έχουν συνολικό

σφάλμα κλίμακας μόλις 1,3 %. Οι χάρτες από το προτεινόμενο σύστημα μπορούν να δημιουργηθούν σε πραγματικό χρόνο, ενώ σαρώνουν συνεχώς τη γέφυρα, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του χρόνου επιθεώρησης, σε σύγκριση με τη χρήση επίγειου σαρωτή λέιζερ (TLS). Επιπλέον, μέσω της έρευνας αυτής παρουσιάζεται μια νέα διαδικασία για πλήρως αυτοματοποιημένο χρωματισμό των σημείων, που έχουν υποστεί βλάβη και ημιαυτόματο εντοπισμό και ποσοτικοποίηση των φθορών. Το πρώτο επιτρέπει ρεαλιστικές οπτικές αποδόσεις της γέφυρας για εξ αποστάσεως επιθεώρηση από επιθεωρητές εκτός έδρας. Το τελευταίο επιτρέπει αυξημένη ακρίβεια στον ποσοτικό προσδιορισμό των ελαττωμάτων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές επιθεωρήσεις, ενώ εξαλείφει την υποκειμενικότητα μεταξύ των επιθεωρήσεων και των επιθεωρητών.

➤ 1^η εφαρμογή της μεθόδου: Γέφυρα του ποταμού *Conestogo*

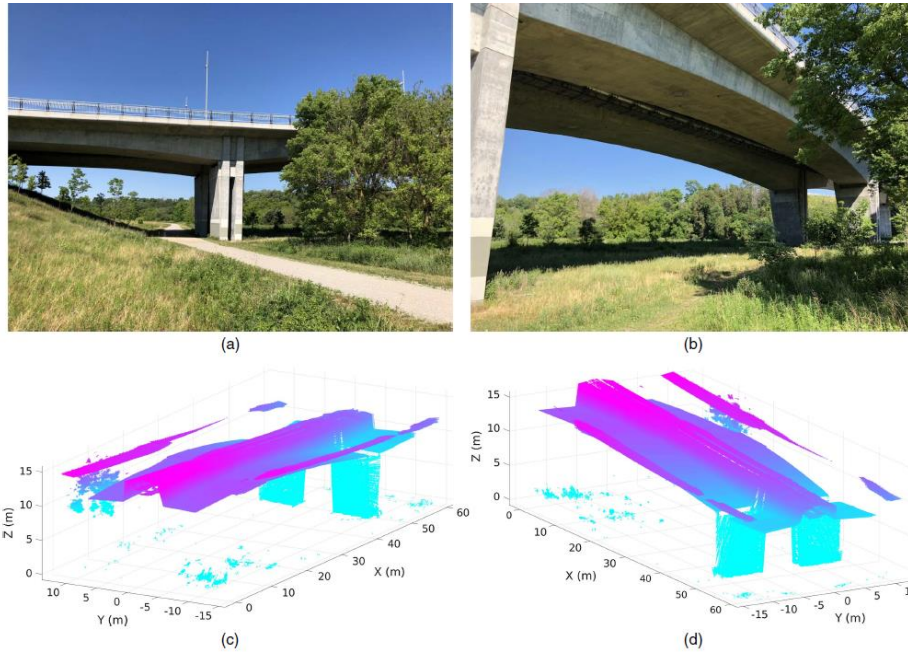
Η γέφυρα του ποταμού *Conestogo* είναι μία γέφυρα τεσσάρων ανοιγμάτων, από χυτό σκυρόδεμα, που βρίσκεται στη διασταύρωση του *Northfield Drive* και του ποταμού *Conestogo*, στην πόλη *Waterloo* του Οντάριο του Καναδά. Πρόκειται για μία γέφυρα μήκους 108 μέτρων και ύψους 4 μέτρων στη χαμηλότερη θέση της, που κατασκευάστηκε το 1960.



Εικόνα 13: Η γέφυρα Conestogo και τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης, Charron et al. (2019)

➤ 2^η εφαρμογή της μεθόδου: Γέφυρα *Fairway Bridge*

Η γέφυρα *Fairway Bridge* είναι μία γέφυρα τεσσάρων ανοιγμάτων από σκυρόδεμα, που βρίσκεται στη διασταύρωση του *Fairway Road North* και του ποταμού *Grand River* στην πόλη *Kitchener* του Οντάριο του Καναδά. Πρόκειται για μία γέφυρα μήκους 250 μέτρων και ύψους 9 μέτρα, που κατασκευάστηκε το 2012.



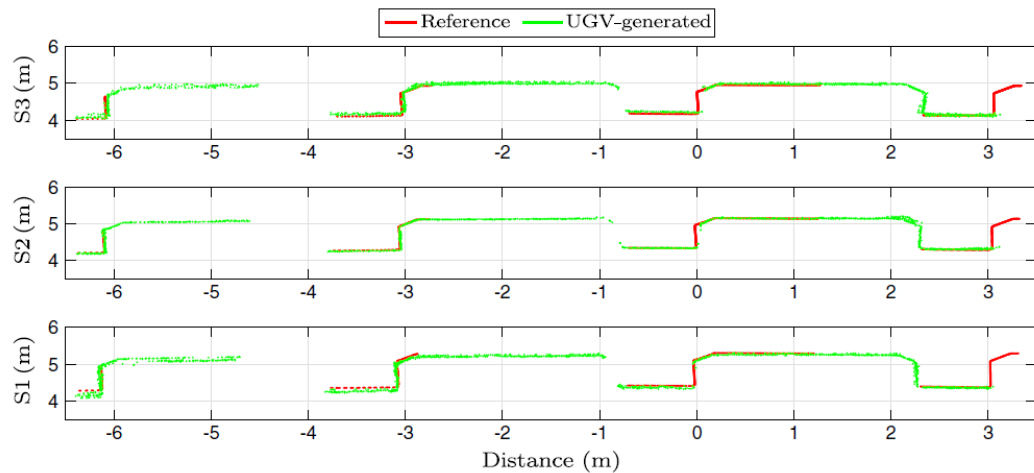
Εικόνα 14: Η γέφυρα Fairway Bridge και τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης, Charron et al. (2019)

Η ακρίβεια του νέφους σημείων που δημιουργείται από το UGV για αυτήν την τοποθεσία δοκιμή αξιολογήθηκε τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Η τρισδιάστατη απεικόνιση του νέφους σημείων επιτρέπει την ανίχνευση αντικειμένων ενδιαφέροντος, όπως ρηγματώσεις στο σκυρόδεμα. Τα ανιχνευμένα αντικείμενα στο σύννεφο σημείου συγκρίνονται στη συνέχεια ως προς το σχήμα, το μέγεθος και θέση, με τα αποτελέσματα της οπτικής επιθεώρησης. Η ποσοτική αξιολόγηση πραγματοποιείται συγκρίνοντας το νέφος σημείων που δημιουργείται από το UGV με ένα σύννεφο σημείου αναφοράς που κατασκευάστηκε με χρήση λέιζερ Faro Focus M. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί έναν περιστρεφόμενο καθρέπτη για να δημιουργήσει σύννεφα σημείων, με πλήρη οριζόντια κάλυψη 360° και κατακόρυφη εμβέλεια 305° . Ο σαρωτής είναι ικανός να μετρήσει 488.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο σε μέγιστη απόσταση 70 μέτρα, με μετρημένο σφάλμα εμβέλειας 3 χιλιοστά στα 25 μέτρα. Μια απόδοση του νέφους σημείου αναφοράς που δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας το Faro Focus M απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



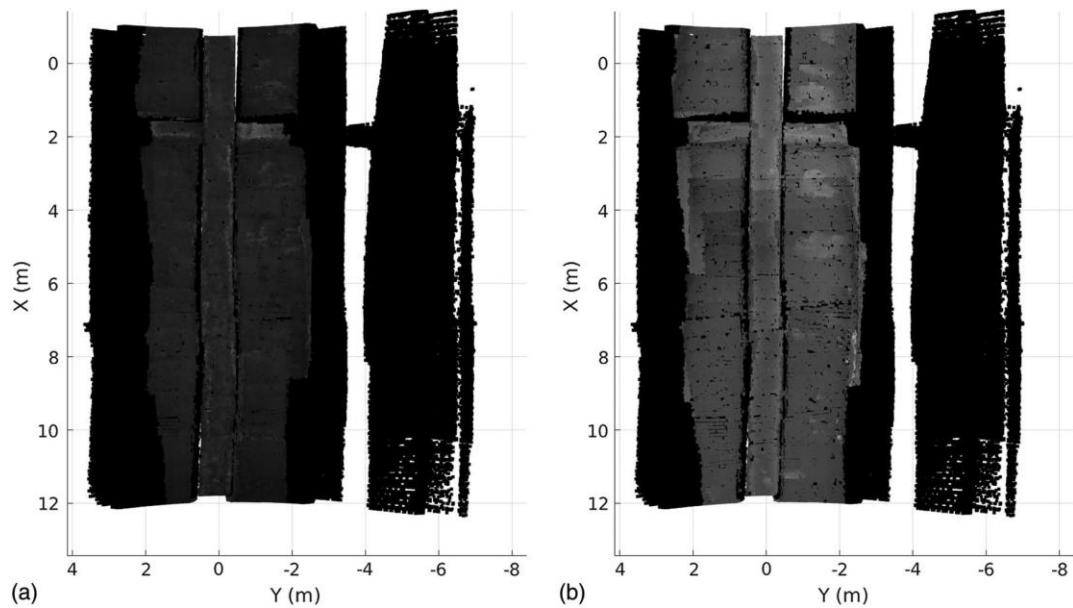
Εικόνα 15: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της σάρωσης της γέφυρας Conestogo με την χρήση του λέιζερ Faro Focus M, Charron et al. (2019)

Αν και ο σαρωτής λέιζερ επιτυγχάνει υψηλό επίπεδο ακρίβειας, αυτή η μέθοδος δημιουργίας νέφους σημείων είναι χρονοβόρα και συνδέεται με μεγάλες υπολογιστικές απαιτήσεις. Η σάρωση της τοποθεσίας δοκιμής Conestogo χρειάστηκε περίπου 2,5 ώρες, για την ολοκλήρωση σαρώσεων από 6 διαφορετικές τοποθεσίες και 1 ώρα ημιχειροκίνητης μετεπεξεργασίας. Συγκριτικά, η ίδια σάρωση χρησιμοποιώντας το προτεινόμενο σύστημα UGV ολοκληρώθηκε σε περίπου 10 λεπτά, με τα αποτελέσματα να επεξεργάζονται αυτόματα μέσα σε λίγα λεπτά.



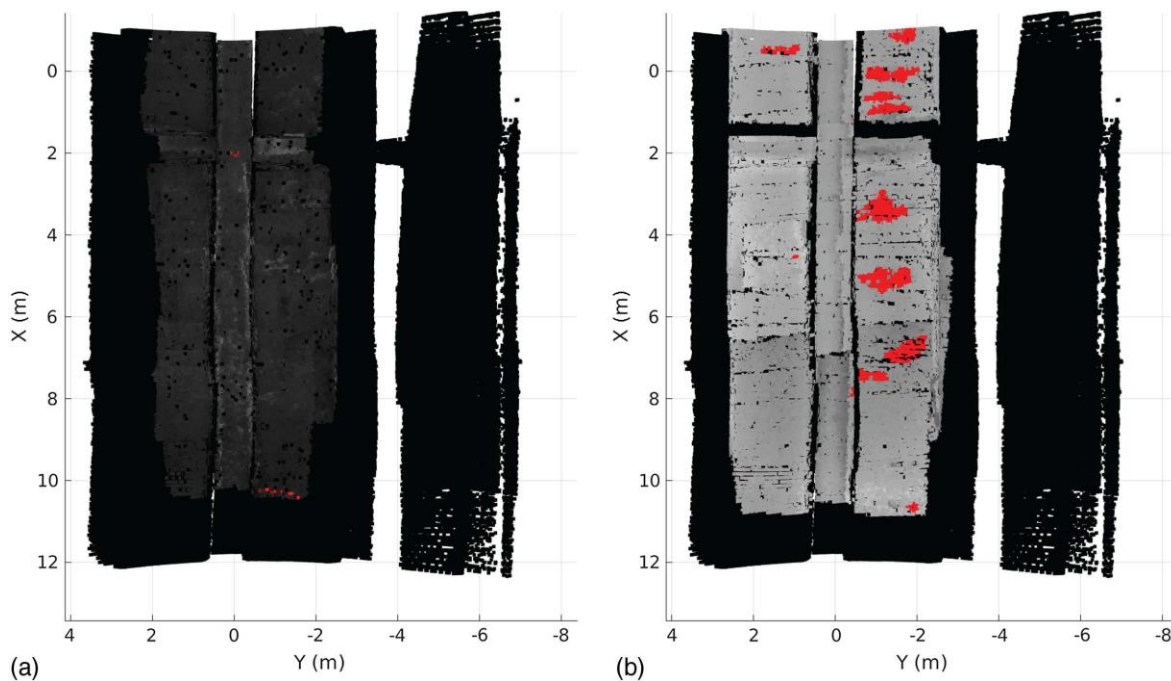
Εικόνα 16: Σύγκριση των αποτελεσμάτων σάρωσης της γέφυρας Conestogo με τη χρήση του UGV και του λέιζερ Faro Focus M, Charron et al. (2019)

Στη συνέχεια, ακολουθεί η μετεπεξεργασία του χάρτη. Αναλυτικότερα, χρησιμοποιώντας τον χάρτη σύννεφων τελικού σημείου μιας γέφυρας σε συνδυασμό με την εικόνα, τα αποτελέσματα βαθμονόμησης και την πλήρη τροχιά ρομπότ, τα δεδομένα μπορούν να συνδυαστούν σε μια μορφή που μπορεί να βοηθήσει τους επιθεωρητές γεφυρών. Αρχικά, χρησιμοποιώντας τις οπτικές εικόνες, οι πληροφορίες χρώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χρωματισμό του νέφους των σημείων. Αυτός ο χρωματισμός επιτρέπει δύο σημαντικές βελτιώσεις. Οι επιθεωρητές μπορούν πλέον να πραγματοποιούν απομακρυσμένες επιθεωρήσεις χρησιμοποιώντας τον έγχρωμο χάρτη και τα αποτελέσματα από τον αυτοματοποιημένο εντοπισμό ελαττωμάτων μπορούν επίσης να επικυρώνονται, παρατηρώντας μια ρεαλιστική απόδοση της κατασκευής. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι εικόνες αυτές είναι στην πραγματικότητα έγχρωμες παράλο που φαίνονται σε γκρι αποχρώσεις, γεγονός που οφείλεται στην έκθεση του μη επανδρωμένου οχήματος κάτω από το κατάστρωμα της γέφυρας, σε σκοτεινό σημείο. Το δεύτερο βήμα για την προτεινόμενη διαδικασία επιθεώρησης γέφυρας είναι να εντοπιστούν τα ελαττώματα στις εικόνες και να μεταφερθούν τα δεδομένα αυτών στο σύννεφο σημείων, για ποσοτικοποίηση και παρακολούθηση. Αυτό το βήμα μπορεί να γίνει και με τα δύο σύνολα εικόνων, για την ανίχνευση επιφανειακών και υπό επιφανειακών ελαττωμάτων.



Εικόνα 17: Τρισδιάστατη απεικόνιση του νέφους σημείων του καταστρώματος της γέφυρας με τη χρήση κάμερας όρασης και κάμερας IR αντίστοιχα, Charron et al. (2019)

Οι φθορές που καταγράφηκαν κατά την επιθεώρηση της γέφυρας με τη χρήση αυτής της καινοτόμου μεθόδου, ήταν κυρίως αποκολλήσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος σε έκταση 0,48, 0,33 και 0,22 τετραγωνικά μέτρα, έκθεση του σπλισμού των χαλύβδινων ράβδων καθώς και ρηγματώσεις στο σκυρόδεμα. Τα ευρήματα αυτά συγκρίθηκαν και επιβεβαιώθηκαν με τα αντίστοιχα της οπτικής επιθεώρησης.



Εικόνα 18: Τρισδιάστατη απεικόνιση των εκτεθειμένων ράβδων σπλισμού και των αποκολλημένων περιοχών του σκυροδέματος, σημειωμένα με κόκκινο χρώμα αντίστοιχα, Charron et al. (2019)

Επομένως, η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής γίνεται λαμβάνοντας υπόψη το είδος του προβλήματος που θα εντοπιστεί, την ακρίβεια που πρέπει να επιτευχθεί, τους χρόνους, το κόστος και άλλα χαρακτηριστικά όπως, η ευελιξία και η προσβασιμότητα. Επί του παρόντος, δεν υπάρχουν σχετικές τεχνικές που να μπορούν να ικανοποιήσουν μεμονωμένα όλες τις απαιτήσεις. Εντούτοις, φαίνεται να είναι πράγματι επωφελής ο συνδυασμός διαφορετικών τεχνικών. Φυσικά, είναι απαραίτητο να επικυρωθούν τα αποτελέσματα με επιτόπια οπτική επιθεώρηση η οποία διενεργείται από ειδικούς.

2. Φθορές γεφυρών και κάτω διαβάσεων από οπλισμένο σκυρόδεμα

Τα δίκτυα υποδομών, είτε οδικά είτε σιδηροδρομικά διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων μιας χώρας. Παρέχουν τη δυνατότητα στους κατοίκους της να φτάνουν στους προορισμούς τους όσο το δυνατόν γρηγορότερα και ασφαλέστερα, όπως επίσης συμβάλλουν και στη μεταφορά των εμπορευμάτων. Έτσι, είναι ιδιαίτερα σημαντικό τα δίκτυα υποδομών να διατηρούν τη λειτουργικότητά τους, με όσο το δυνατόν λιγότερες οχλήσεις. Οι κατασκευές από σκυρόδεμα και ιδιαίτερα οι γέφυρες που αποτελούν το σημαντικότερο μέρος του συγκοινωνιακού δικτύου, σε συνδυασμό με την έκθεσή τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά και τη δράση του ανθρώπου, εμφανίζουν φθορές και βλάβες, οι οποίες θα πρέπει κατά την επιθεώρηση να καταγράφονται και στη συνέχεια να αξιολογούνται ως προς τη σοβαρότητά τους, ώστε να πραγματοποιούνται οι κατάλληλες ενέργειες, με σκοπό τη διατήρηση της φέρουσας ικανότητας του στοιχείου και την καλή κατάσταση της κατασκευής.

Φθορά μιας κατασκευής ορίζεται κάθε απώλεια της επιτελεστικότητας και είναι αποτέλεσμα περιβαλλοντικών δράσεων όπως, μηχανικών, φυσικών, χημικών και βιοχημικών εργασιών.

Τα είδη των φθορών που παρουσιάζουν τα τεχνικά έργα είναι κυρίως ενανθράκωση του σκυροδέματος, είσοδος χλωριόντων στο σκυρόδεμα, αποφλοίωση, αποχρωματισμός, εξάνθηση, ρηγμάτωση και προσκρούσεις.

2.1 Ενανθράκωση του σκυροδέματος

Κατά την πήξη του τσιμέντου παράγεται ως γνωστόν υδροξείδιο του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Το υδροξείδιο αυτό πλεονάζει στο σκυρόδεμα. Μπορεί να θεωρηθεί ότι 25 % περίπου του βάρους του τσιμέντου υπάρχει μετά την κρυστάλλωση υπό μορφή υδροξειδίου του ασβεστίου. Αποτέλεσμα του πλεονάσματος αυτού είναι το υψηλό αλκαλικό pH του μπετόν (περίπου 12,5). Όσο ο οπλισμός βρίσκεται μέσα στο αλκαλικό αυτό περιβάλλον είναι προστατευμένος από οξείδωση. Αντιδράσεις όμως με διεισδύουσες όξινες ουσίες μειώνουν διαρκώς το pH. Τη μέγιστη σημασία έχει εδώ η επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Αυτό αφομοιώνεται τριχοειδώς

από την επιφάνεια του μπετόν, διαλυμένο στο νερό της βροχής, συχνά μαζί και με διοξείδιο του θείου (SO₂), σε βιομηχανικές και μολυσμένες περιοχές. Το αποτέλεσμα της απορρόφησης του διοξειδίου του άνθρακα είναι η βαθμιαία εξουδετέρωση της αλκαλικότητας: $Ca(OH)_2 + H_2O + CO_2 = CaCO_3 + 2 H_2O$. Συνεπώς, η ενανθράκωση του σκυροδέματος προκαλείται από τη χημική αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα, που υπάρχει διάχυτο στην ατμόσφαιρα, με το υδροξείδιο του ασβεστίου του σκυροδέματος. Το βάθος ενανθράκωσης μετριέται με ψεκασμό με διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης, πάνω σε φρεσκοθραυσμένη επιφάνεια σκυροδέματος (Εικόνα 19). Η φαινολοφθαλεΐνη είναι ένας άχρωμος δείκτης που χρωματίζεται με κόκκινο χρώμα σε αλκαλικό περιβάλλον (pH>9), δηλαδή σε ενανθρακωμένο σκυρόδεμα Τάσιος & Αλιγιζάκη (1993).



Εικόνα 19: Έλεγχος ενανθράκωση δοκιμίου σκυροδέματος, με χρήση διαλύματος φαινολοφθαλεΐνης, σε γέφυρα της Εγνατίας Οδού, (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.)

Η ενανθράκωση επιταχύνεται δραστικά από πόρους, φωλιές, κακοτεχνίες και ανομοιογενή κακή δόνηση. Αξιοσημείωτο είναι ότι, η ενανθράκωση μένει απαρατήρητη για πολλά χρόνια. Μόνο όταν οξειδωθεί ο οπλισμός παρατηρούνται, αρχικά τριχοειδείς ρωγμές λόγω της αύξησης του όγκου του. Ένα βίαιο φαινόμενο (σεισμός, κρούση) αποκαλύπτει πολλές φορές, λόγω αποκολλήσεων, την κατάσταση οξείδωσης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ενανθράκωσης, είναι κυρίως οι ακόλουθοι:

- ✓ Όταν η κάλυψη του οπλισμού είναι ανεπαρκής και το πάχος της καταλήγει να είναι μικρότερο από το πάχος της ζώνης ενανθράκωσης, αρχίζει η διάβρωση και διόγκωση του οπλισμού.
- ✓ Η αυξημένη περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο, μειώνει την ταχύτητα ενανθράκωσης.
- ✓ Ο λόγος νερού προς τσιμέντο (W/Z): Το τσιμέντο δεσμεύει χημικά και φυσικά, περίπου το 0,4 του βάρους του σε νερό. Στην πράξη για να επιτυγχάνεται όμως εργασιμότητα, συχνά αυξάνεται η σχέση αυτή σε 0,5 ή και 0,6.

- ✓ Η σχετική υγρασία του αέρα καθώς και η ποιότητα και το πάχος της επικάλυψης.

Η ενανθράκωση μπορεί να έχει ως συνέπειές της, την αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (από 30 % έως 100 %), τη μείωση του πορώδους, την αύξηση του ερπυσμού και της ταχύτητάς του και τέλος την αύξηση της συστολής του σκυροδέματος, λόγω της αποβολής του νερού. Η ενανθράκωση είναι το φαινόμενο εκείνο που περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο, αποδεικνύει ότι το οπλισμένο σκυρόδεμα γερνάει και απαξιώνεται.

2.2 Είσοδος χλωριόντων στο σκυρόδεμα

Ένας άλλος επιβλαβής παράγοντας για το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι το χλωρίδιο. Οι εναλλασσόμενοι κύκλοι διαβροχής και στεγνώματος προάγουν την είσοδο ιόντων, ιδιαίτερα στα πρώτα 40 χιλιοστά, από την επιφάνεια. Η περιεκτικότητα μπορεί να είναι υψηλότερη από τη συγκέντρωση του θαλασσινού νερού, μετά από δέκα χρόνια έκθεσης Nagataki et al. (1993). Το χλώριο προκαλεί τοπική διάβρωση των ράβδων οπλισμού και ορίζεται ένα όριο 0,025 % που αναφέρεται στη μάζα σκυροδέματος, για κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα (SN EN 206-1, 2013). Στις παλιρροϊκές ζώνες, υπάρχει σχετικά υψηλή υγρασία, η οποία μπορεί να μειώσει την είσοδο αερίων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα μέσα στο υλικό. Επομένως, το χλώριο μπορεί να εισέλθει στις δομές, ενώ μπορεί να μειωθεί η είσοδος του διοξειδίου του άνθρακα (Concrete Science and Engineering, 2001).

Τα χλωριόντα διεισδύουν στο σκυρόδεμα με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Ορισμένοι από αυτούς είναι, η χρήση αντιπαγωτικών αλάτων, άλατα που χρησιμοποιούνται για την τήξη του χιονιού και πάγου στους δρόμους, κατά τη χειμερινή περίοδο. Ακόμη, με την άμεση επαφή θαλασσινού νερού με κατασκευές καθώς και με σταγονίδια θαλασσινού νερού τα οποία μεταφέρονται με τον αέρα. Έχει παρατηρηθεί ότι τα σταγονίδια μπορεί να επηρεάσουν μια κατασκευή, σε απόσταση μέχρι και δέκα χιλιόμετρα από τη θάλασσα. Επιπλέον, η είσοδος χλωριόντων στο σκυρόδεμα μπορεί να πραγματοποιηθεί και μετά από μία πυρκαγιά στην οποία κάηκαν αντικείμενα από πολυβινυλοχλωρίδιο, γνωστό ως PVC, αφού διασπάται και δίνει αέριο υδροχλώριο το οποίο διεισδύει στο σκυρόδεμα, αντιδρά με την άσβεστο και απελευθερώνει χλωριόντα. Τέλος, και από πρόσμικτα βελτιωτικά του σκυροδέματος, που περιέχουν χλωριούχα άλατα, όπως χλωριούχο ασβέστιο, προκειμένου να επιταχυνθεί η σκλήρυνση του σκυροδέματος.

Σε μία κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα, ο οπλισμός προστατεύεται από ένα παθητικό στρώμα, το οποίο διασπάται λόγω της παρουσίας των χλωριόντων. Η οξειδωση του οπλισμού προκαλεί διόγκωση, η οποία με τη σειρά της προκαλεί εφελκυστικές τάσεις στο

σκυρόδεμα που περιβάλλει τον οπλισμό, που προκαλούν μεγάλες ρηγματώσεις και αποκόλληση της επικάλυψης του οπλισμού. Η οξείδωση του οπλισμού έχει σαν αποτέλεσμα επίσης την απομείωση της διατομής του, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να αναλάβει τα φορτία, τα οποία σχεδιάστηκε να αναλάβει. Έχει βρεθεί πειραματικά ότι σε σκυρόδεμα που περιέχει χλωριόντα απαρχής, ο χάλυβας διαβρώνεται λιγότερο απ' ό,τι αν βρισκόταν σε σκυρόδεμα στο οποίο η ίδια ποσότητα χλωριόντων διεισδύει απ' έξω. Τα χλωριόντα εισέρχονται, μέσω του νερού των πόρων και φτάνουν στους οπλισμούς. Εάν η συγκέντρωση τους ξεπεράσει το 0,4% έως 0,6% του βάρους του τσιμέντου, έχουμε τοπική (βελονοειδή) διάτρηση του προστατευτικού στρώματος.

Η τιμή του pH στο σκυρόδεμα μετά την προσθήκη χλωριούχου άλατος, εξαρτάται από το κατιόν του χλωριούχου άλατος. Για παράδειγμα, με την προσθήκη χλωριούχου νατρίου στο σκυρόδεμα, το pH δε μεταβάλλεται σχεδόν καθόλου, ενώ με την προσθήκη χλωριούχου ασβεστίου, το pH μειώνεται. Για τσιμέντα τύπου Portland έχει παρατηρηθεί ότι, η διάτρηση συμβαίνει όταν ο λόγος υπερβεί το 0,4 % πριν την ενυδάτωση και το 0,2% μετά την ενυδάτωση. Σε σκυρόδεμα που περιέχει χλωριούχο ασβέστιο, ο λόγος (Cl-/OH-) είναι μεγαλύτερος από τον λόγο (Cl-/OH-) σκυροδέματος που περιέχει χλωριούχο νάτριο, χωρίς βλαπτικό αποτέλεσμα. Ο Haussmann, διατύπωσε την άποψη ότι, διάβρωση του χάλυβα συμβαίνει όταν ο λόγος (Cl-/OH-) πάρει τιμή μεγαλύτερη από 0,6. Χαρακτηριστικό της διάβρωσης με βελονισμούς είναι ότι ο χάλυβας διαβρώνεται σε πολύ μικρές περιοχές της επιφάνειάς του. Εξαιτίας της διατήρησης της αλκαλικότητας του σκυροδέματος, σε υψηλά επίπεδα και λόγω της τοπικής διάβρωσης, ο μηχανισμός διάβρωσης του χάλυβα λόγω της επίδρασης χλωριόντων είναι διαφορετικός από τον μηχανισμό της γενικής διάβρωσης του χάλυβα. Σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, τα χλωριόντα δρουν ως καταλύτες στην αντίδραση του σιδήρου με τα υδροξύλια. Αυτή η άποψη φαίνεται σωστή, αν εξετάσουμε χάλυβα που βρισκόταν σε σκυρόδεμα το οποίο έχει υποστεί την επίδραση χλωριούχων αλάτων. Ο χάλυβας στην αρχή έχει πράσινο χρώμα. Το αρχικό πράσινο χρώμα οφείλεται σε κάποιο σύμπλοκο μόριο σιδήρου και χλωριόντων, το οποίο με την παρουσία του οξυγόνου της ατμόσφαιρας, μετατρέπεται σε κοινό οξείδιο.

2.3 Συνδυαστική δράση ενανθράκωσης και χλωριόντων

Στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα η ενανθράκωση και η είσοδος χλωρίου είναι δύο κύρια φαινόμενα, που προκαλούν διάβρωση του οπλισμού. Παράγοντες όπως το διοξείδιο του άνθρακα ή το νερό που περιέχει χλωρίδιο εισέρχονται στο τσιμεντοειδές υλικό κυρίως σε όλο το σύστημα πόρων. Τόσο η ενανθράκωση όσο και τα χλωριόντα μπορούν να συνυπάρχουν, λόγω της σχετικής υψηλής υγρασίας Costa & Appleton (2001), αφού μελέτες έχουν αποδείξει ότι και τα δύο φαινόμενα ήταν παρόντα σε γέφυρες, που βρίσκονται σε ψυχρές περιοχές Avelandano & Ortega (2011).

Η ενανθράκωση του σκυροδέματος δρα επικουρικά στη διαβρωτική λειτουργία των ιόντων χλωρίου. Η ενανθράκωση και η δράση των χλωριόντων είναι αλληλένδετες διαδικασίες διότι η δεύτερη επιταχύνεται από την πρώτη. Το υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)_2 του σκυροδέματος αντιδρά με τα χλωριόντα και τα δεσμεύει, σχηματίζοντας άλας, το οποίο είναι αβλαβές για τον οπλισμό.

2.3.1 Προσδιορισμός σχέσης μεταξύ της ενανθράκωσης, της εισροής χλωριόντων και της διαπερατότητας στον αέρα μιας κάτω διάβασης από οπλισμένο σκυρόδεμα

Η σχέση μεταξύ της ενανθράκωσης, της εισροής χλωριόντων και της διαπερατότητας στον αέρα, προσδιορίστηκε από μία μελέτη που διεξήγαγαν οι Paglia & Antonietti (2021) σε μία εν λειτουργία κάτω διάβαση, σαράντα ετών, στην περιοχή των Νοτίων Άλπεων, σε απόσταση ενός χιλιομέτρου, πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, λαμβάνοντας δοκίμια σκυροδέματος.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε, προκειμένου να διεξαχθεί η συγκεκριμένη μελέτη περιλαμβάνει τα εξής στάδια: Αρχικά, η διαπερατότητα του αέρα μετρήθηκε με έναν ελεγκτή διαπερατότητας Torrent, πρόκειται για μια γρήγορη και μη καταστροφική μέθοδο (SIA 262/1, 2016). Ο εξοπλισμός αποτελείται από έναν θάλαμο δοκιμής, με έναν εξωτερικό δακτύλιο που εφαρμόζεται σε επιφάνεια σκυροδέματος και δημιουργείται υπό πίεση. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, η πίεση του εξωτερικού δακτυλίου διατηρείται ίδια με την πίεση στον θάλαμο δοκιμής. Εντός του θαλάμου δοκιμής καταγράφεται η διακύμανση της πίεσης με το χρόνο. Η διαπερατότητα του αέρα υπολογίζεται από τη μεταβολή της πίεσης με το χρόνο. Ο θάλαμος δοκιμής επιτρέπει μια μονοδιάστατη ροή αέρα. Ο αέρας προέρχεται μόνο από το εσωτερικό τμήμα του καλύμματος από σκυρόδεμα.



Εικόνα 20: Εξοπλισμός δοκιμής, Torrent Paglia & Antonietti (2021)

Για να καθοριστεί η διαπερατότητα του αέρα και η σχέση με την υγρασία, ήταν απαραίτητος ο προσδιορισμός της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης της επιφάνειας και αυτό πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Wenner τεσσάρων ηλεκτροδίων. Μεταξύ του εξωτερικού

ηλεκτροδίου, εφαρμόστηκε εναλλασσόμενο ρεύμα 50 - 1000 Hz και μετρήθηκε η αντίσταση μεταξύ των εσωτερικών σημείων. Το εμπλεκόμενο βάθος σκυροδέματος αντιστοιχούσε σε απόσταση ηλεκτροδίου 5 εκατοστών. Το μέτωπο ενανθράκωσης προσδιορίστηκε με πυρήνες από διάτρητο σκυρόδεμα, όπως προαναφέρθηκε, διαμέτρου 50 χιλιοστών και οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές παρουσιάστηκαν χρησιμοποιώντας διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης (SN EN 14630, 2006). Οι κύλινδροι σκυροδέματος κόπηκαν σε δίσκους πάχους 10 χιλιοστών και η περιεκτικότητα σε χλώριο προσδιορίστηκε σε βάθος 40 χιλιοστών (SN EN 14629, 2007).

Τα αποτελέσματα από τον δειγματοληπτικό έλεγχο έδειξαν ότι οι τιμές της ενανθράκωσης ήταν μεταξύ 11 - 25 χιλιοστών, ύστερα από σαράντα χρόνια έκθεσης του τεχνικού έργου στον ατμοσφαιρικό αέρα. Οι περυγότοιχοι, δυτικά και ανατολικά, παρουσίασαν χαμηλότερες τιμές ενανθράκωσης συγκριτικά με τις στηρίξεις, πράγμα που αποδεικνύει και τη σημασία της γεωμετρίας, του προσανατολισμού και της έκθεσης της κατασκευής. Ακόμη, η ενανθράκωση στη στήριξη του νότιου τμήματος της κάτω διάβασης φάνηκε να είναι υψηλότερη, σε σχέση με αυτή του βορεινού. Όσον αφορά στην περιεκτικότητα σε χλωρίοντα, ήταν γενικά πολύ μεγαλύτερη από 0,025%, αναφερόμενη στη μάζα του σκυροδέματος, γεγονός που αποδίδεται στη θέση κατασκευής, κοντά στις Άλπεις, καθώς και στη χρήση αντιπαγωτικών αλάτων κατά τους χειμερινούς μήνες. Αναλυτικότερα, τα χλωρίοντα ήταν περισσότερα στην επιφάνεια, συγκριτικά με τα υπόλοιπα τμήματα της κάτω διάβασης. Ειδικότερα, υψηλή ολική συγκέντρωση χλωρίου παρατηρήθηκε σε βάθος μεταξύ 20 και 40 χιλιοστών. Αυτό είναι πιθανό να συνδέεται με την έκπλυση του νερού της επιφάνειας. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι, παρατηρείται μια διακύμανση της περιεκτικότητας και της συγκέντρωσης σε χλωρίοντα, που μπορεί να οφείλεται σε διαφορετική έκθεση του αντικειμένου σε ατμοσφαιρικούς παράγοντες (άνεμος, τιμές θερμοκρασίας) αλλά και στη γεωμετρία των αντικειμένων όπως και στη συσσώρευση χιονιού κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Αποδείχθηκε ότι υπήρξε συσχέτιση μεταξύ της ενανθράκωσης και της διαπερατότητας στον αέρα, όσο μεγαλύτερη είναι η διαπερατότητα τόσο πιο βαθιά είναι η ενανθράκωση. Αναλυτικότερα, εξήχθη το συμπέρασμα ότι σε βάθη σκυροδέματος από 0 έως 20 χιλιοστών, χλωρίοντα και ενανθράκωση λειτουργούσαν ως ανταγωνιστικά φαινόμενα. Δε θα μπορούσαν να συμβούν ταυτόχρονα σε μεγάλο βαθμό, καθώς όταν υπάρχει υγρασία, η διεύθυνσή τους μειώνεται. Αντιθέτως, από 30 έως 40 χιλιοστά τα δύο αυτά φαινόμενα φάνηκε να συνυπάρχουν.

2.4 Αποφλοίωση του σκυροδέματος

Πρόκειται για φθορά που συνεπάγεται αποκόλληση τμημάτων από την επιφάνεια του σκυροδέματος και μπορεί να είναι πιο παρατεταμένη, βλέποντας αποκόλληση του σκυροδέματος σε βάθος ίσο με την επικάλυψη του σπλισμού (Εικόνα 21).

Η αποφλοίωση μπορεί να προκληθεί είτε από διογκώσιμα άλατα που βρίσκονται στο εσωτερικό του σκυροδέματος, είτε από διάβρωση του χάλυβα παρατηρώντας κηλίδες σκουριάς στην αποφλοιωμένη επιφάνεια (όπου το νερό έχει διεισδύσει στη μάζα του σκυροδέματος και παρέσυρε μετά από τη διάλυση, τη σκουριά προς τα έξω), είτε από κακή συντήρηση.



Εικόνα 21: Αποφλοίωση του σκυροδέματος της πλαϊνής πλευράς της κάτω παρειάς της πλάκας κάτω διάβασης της Εγνατίας Οδού, (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.)

Επίσης, μαζί με το φαινόμενο της αποφλοίωσης παρατηρούνται και χρωματικές αλλοιώσεις καθώς το νερό διεισδύει ευκολότερα μέσα στο σκυρόδεμα, προκαλώντας τη συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων υγρασίας, όπου και ευνοείται η ανάπτυξη μικροοργανισμών στην αποφλοιωμένη επιφάνεια, οι οποίοι εκτός από τις αισθητές επιπτώσεις μπορεί να προκαλέσουν και χημική διάβρωση του σκυροδέματος.

2.5 Αποχρωματισμός του σκυροδέματος

Είναι η μη ομοιομορφία του χρώματος ή ο μεμονωμένος χρωματισμός σε ένα σημείο, στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Ο αποχρωματισμός παρατηρείται σε τμήμα επιφάνειας ενυδατωμένου σκυροδέματος με τη μορφή σκοτεινών κηλίδων ή διαστιγμένου αποχρωματισμού. Οι παράγοντες στους οποίους μπορεί να οφείλεται η εμφάνισή του, μπορεί να είναι η χρήση χλωριδίων του ασβεστίου, οι αυξομειώσεις της περιεκτικότητας αλκαλίων στο τσιμέντο, η αργή ενυδάτωση της τσιμεντόπαστας, τα πρόσμικτα και η ανεπαρκής συντήρηση.

2.6 Εξάνθηση του σκυροδέματος

Η εξάνθηση οφείλεται στα ανθρακικά άλατα ασβεστίου, καλίου και νατρίου και εκδηλώνεται στο σκυρόδεμα με την εμφάνιση λευκών κηλίδων (Εικόνα 22), οι οποίες δημιουργούνται από τα άλατα του σκυροδέματος ή και του περιβάλλοντος, τα οποία με την επίδραση του εξωτερικού νερού που ενδεχομένως να διαπερνά το σκυρόδεμα, αποπλένονται και αποτίθενται στην επιφάνεια.



Εικόνα 22: Εξάνθηση του σκυροδέματος της κάτω παρειάς της πλάκας κάτω διάβασης της Εγνατίας Οδού, (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.)

Το φαινόμενο αυτό συνήθως δηλώνει μεγάλο πορώδες ή ασυνέχειες που αφήνουν το νερό να περάσει μέσα από τη μάζα του, ή κακό σχεδιασμό του συστήματος αποστράγγισης.

Οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει η εξάνθηση στο σκυρόδεμα είναι η μείωση της αλκαλικότητας του σκυροδέματος εξαιτίας της απομάκρυνσης ουσιών που συμβάλλουν στη διατήρηση των υψηλών τιμών του pH.

2.7 Ρηγμάτωση του σκυροδέματος

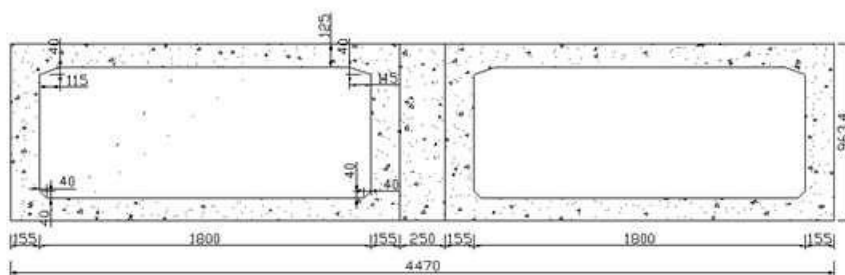
Οι ρωγμές στις κατασκευές από σκυρόδεμα είναι πολύ σύνηθες φαινόμενο, που δηλώνει την ανάπτυξη παραμορφώσεων στον φορέα. Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος μπορεί να προκληθεί αφενός από περιβαλλοντικές και αφετέρου από τις εντατικές καταστάσεις στις οποίες υποβάλλεται το ρηγματωμένο στοιχείο. Οι λόγοι, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν ρηγμάτωση στο σκυρόδεμα είναι πολλοί και διαφορετικοί. Ενδεικτικά, αναφέρονται παρακάτω ορισμένοι από αυτούς:

Αρχικά, οι θερμοκρασιακές μεταβολές, η απότομη θερμοκρασιακή μεταβολή σε συνδυασμό με τα ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά υγρασίας δημιουργούν έντονες συστολοδιαστολές στο σκυρόδεμα, αλλά και στο προστατευτικό επίχρισμα που δημιουργείται γύρω από τις ράβδους οπλισμού, λόγω του έντονα αλκαλικού περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρορωγμών. Έπειτα, η συστολή ξήρανσης, κατά τη διαδικασία της σκλήρυνσης του σκυροδέματος δύναται να δημιουργήσουν πολύ μικρές ρωγμές, ως αποτέλεσμα της βράχυνσής του λόγω της ξήρανσης.

Ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας είναι, ο παγετός, λόγω της διαφοροποίησης του όγκου του νερού κατά την πήξη του δημιουργεί στο σκυρόδεμα δυνάμεις, που τείνουν να δημιουργήσουν ρωγμές. Η ικανότητα του σκυροδέματος να υποστεί τη δράση του παγετού χωρίς φθορά, εξαρτάται σαφώς από την ποιότητα του και το πορώδες του. Όταν εκτίθεται στην υπερβολικά χαμηλή θερμοκρασία, η υγρασία θα παγώσει και θα επεκταθεί, με συνέπεια την υδραυλική πίεση που τείνει να αναγκάσει τη συγκεκριμένη επιφάνεια για να ραγίσει. Επιπλέον, οι φορτίσεις, η μικρή εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών στις εφελκυσόμενες περιοχές των δομικών στοιχείων που δεν επηρεάζουν βέβαια τη λειτουργικότητα ή την ανθεκτικότητα της κατασκευής, δημιουργούν όμως πρόσφορο έδαφος στην ευκολότερη διείσδυση στοιχείων, που επιτυγχάνουν τη διάβρωση. Φυσικά φαινόμενα όπως, ο σεισμός και η φωτιά. Όσον αφορά στον σεισμό, η επίδραση σεισμικών φορτίων πάνω στην κατασκευή εκτός των στατικών προβλημάτων που μπορεί να δημιουργήσουν, προκαλούν την αποδιοργάνωση, μέσω πολύ μικρών μετακινήσεων, της συνοχής των αδρανών στοιχείων. Οι μικρορηγματώσεις αυτές έχουν μεν τριχοειδή φύση, διευκολύνουν όμως την εισχώρηση της υγρασίας και των χλωριόντων.

Ακόμη, η πυρκαγιά είναι ένας πολύ σημαντικός εχθρός του οπλισμένου σκυροδέματος. Κατά τη διάρκειά της και λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που δημιουργούνται, προκαλούν διάφορες αλλαγές στη δομή του. Πιο συγκεκριμένα, με την ταχύτατη εξάτμιση του νερού που υπάρχει στο σκυρόδεμα, αναπτύσσονται υψηλές πιέσεις με αποτέλεσμα τη θραύση τμημάτων. Η θερμική διαστολή του σκυροδέματος έχει πάλι σαν αποτέλεσμα τη θραύση του. Μειώνονται οι δυνάμεις συνάφειας μεταξύ σκυροδέματος και χαλύβδινων ράβδων. Τα επιμέρους μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα, όπως το όριο διαρροής και γενικότερα το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων μεταβάλλονται καθώς και οι τιμές τους μειώνονται. Επιπλέον, τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος μεταβάλλονται και η ανομοιόμορφη μεταβολή των τάσεων, λόγω απότομης θερμοκρασιακής μεταβολής (έναρξη πυρκαγιάς, κατάσβεση), επιδρά αρνητικά στην αντοχή του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το φαινόμενο πυρκαγιάς, που

εκδηλώθηκε εξαιτίας ενός τροχαίου ατυχήματος, σε μία κάτω διάβαση από οπλισμένο σκυρόδεμα (Εικόνα 23), στην πόλη Χαρμπίν της βορειοανατολικής Κίνας Li et al. (2014).



Εικόνα 23: Απεικόνιση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών της κάτω διάβασης, Li et al. (2014)

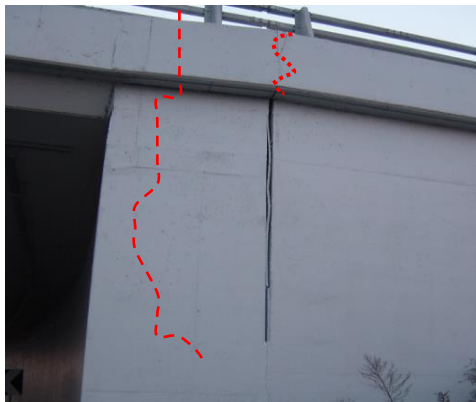
Μεγαλύτερη ζημιά προκλήθηκε στο ένα εκ των δύο ανοιγμάτων της κάτω διάβασης, το οποίο κάηκε σε μεγάλο βαθμό, όπως επίσης και στους πλευρικούς τοίχους. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν αποφλοίσωση του σκυροδέματος στην περιοχή από 10 έως 20 χιλιοστά και σε ποσοστό της τάξεως του 70%. Εμφανής ήταν η έκθεση των ράβδων οπλισμού κυρίως στο εύρος 5 έως 100 εκατοστών και σε ποσοστό μεγαλύτερο του 30%. Το σκυρόδεμα της κάτω παρειάς της πλάκας φάνηκε να είναι έντονα ενανθρακωμένο. Σε όλη την επιφάνεια του σκυροδέματος παρατηρήθηκαν μικρορηγματώσεις. Επιπλέον, με τη μέθοδο της πυρηνοληψίας λήφθηκαν δύο δοκίμια σκυροδέματος, τα οποία έδωσαν αντοχές 36,8 MPa και 36,1 MPa αντίστοιχα, μικρότερα της αντοχής σχεδιασμού (40 MPa), εφόσον πρόκειται για σκυρόδεμα C40. Η αντοχή του σκυροδέματος μειώθηκε κατά 9 %. Η τιμή διαρροής του χάλυβα ήταν 292 MPa, χαμηλότερη του ορίου διαρροής 335 MPa (GB 499.2-2007). Βάσει του ρυθμού και βαθμού καύσης και το Πρότυπο CECS 252:2009, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η τοπική θερμοκρασία ήταν μεγαλύτερη από 700 °C. Ακόμη, λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση μεταξύ του βάθους της ενανθράκωσης του σκυροδέματος περίπου 10 χιλιοστά και της θερμοκρασίας της φωτιάς, προκύπτει ότι η θερμοκρασία στο εσωτερικό της κάτω διάβασης άγγιξε περίπου τους 950 °C. Επιπροσθέτως, βάσει του Προτύπου CECS 252:2009, η επιφανειακή θερμοκρασία δύναται να κυμαινόταν μεταξύ 500 - 700 °C. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι εξαιτίας της θερμικής καταπόνησης που υπέστη η εν λόγω κάτω διάβαση, επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό η φέρουσα ικανότητά της και παραμορφώθηκε σημαντικά.

Τέλος, ρηγματώσεις στη μάζα του σκυροδέματος (Εικόνα 24) δύναται να προκληθούν και από κακοτεχνίες και κατασκευαστικά λάθη, όπως μικρή ή ανύπαρκτη επικάλυψη οπλισμών, μη καλή συντήρηση κατά τη σκλήρυνση, μπορεί να επιφέρει επιτάχυνση διαβρωτικών διαδικασιών (Νικολακόπουλος 2014). Μία πρόωρη φόρτιση των στοιχείων σκυροδέματος (οπλισμένου) πριν αυτό αναπτύξει τις αντοχές του, μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα ανάληψης των φορτίων σχεδιασμού στο μέλλον.



Εικόνα 24: Ρηγματώσεις του ακροβάθρου κάτω διάβασης της Εγνατίας Οδού, (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.)

Η μέτρηση των ρηγματώσεων πραγματοποιείται με τη χρήση ρωγμόμετρου και παχύμετρου, για μεγαλύτερη ακρίβεια. Στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα θα πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος και καταγραφή όλων των ρωγμών, με μικρότερη έμφαση στις τριχοειδείς. Στις πλακογέφυρες οπλισμένου σκυροδέματος είναι γενικώς αναμενόμενες τριχοειδείς ρωγμές, εύρους 0,1 χιλιοστού. Ρήγματα καμπτικά ή διατμητικά μεγαλύτερα από 0,5 χιλιοστά απαιτούν παρακολούθηση και αναλυτικό έλεγχο βάσει των σχεδίων της μελέτης. Για τον προσδιορισμό τους διευκολύνει ο καθαρισμός της κάτω παρειάς της πλάκας και η διαβροχή της, ώστε να γίνουν καλύτερα ορατές οι γραμμές των ρηγματώσεων. Ο προσανατολισμός, η διαδρομή, το εύρος (με τη βοήθεια ρωγμόμετρου) και το βάθος (με τη βοήθεια συσκευής μέτρησης υπερήχων) όλων των ρωγμών πρέπει να αποτυπώνεται τουλάχιστον σε σκαρίφημα από τον επιθεωρητή επί τόπου. Σε θέσεις ρωγμών έχουμε συχνά και τοπική εξάνθηση, που βοηθά στον εντοπισμό τους. Σε πλάκες μεγάλης λοξότητας παρατηρούνται συχνά λοξές καμπτικές ρωγμές, στις περιοχές των οξειών γωνιών, πιθανόν λόγω ανεπαρκούς διάταξης (προσανατολισμού) του οπλισμού τους στις γωνίες. Στις πλαισιακές πλακογέφυρες ενός ανοίγματος υπό επίχωση, η πλημμελής σφράγιση του αρμού διαχωρισμού κλάδων επιτρέπει στα όμβρια να διαβρέχουν τα άκρα και τμήματα των κάτω παρειών των πλακών. Το ίδιο ισχύει και για τις ακμές μονολιθικής σύνδεσης ακροβάθρου – πλάκας, που λόγω διείσδυσης νερών από το μεταβατικό επίχωμα παρουσιάζουν εξάνθηση και οξείδωση οπλισμών (Εικόνα 25).



Εικόνα 25: Ρηγματώσεις στο σημείο του αρμού κάτω διάβασης της Εγνατίας Οδού, (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.)

2.8 Προσκρούσεις

Η πρόσκρουση προκαλεί εκδορά ή αποκόλληση τμήματος σκυροδέματος, πολλές φορές είναι ίση ή μεγαλύτερη του πάχους επικάλυψης και κατά συνέπεια παρατηρείται αποκάλυψη οπλισμών (Εικόνα 26), σε άλλες περιπτώσεις είναι μικρότερη και εντοπίζεται μόνο εκδορά του σκυροδέματος.



Εικόνα 26: Προσκρούσεις στην πλαϊνή και κάτω παρειά της πλάκας κάτω διάβασης της Εγνατίας Οδού, (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.)

Προσκρούσεις συναντώνται τόσο στην κάτω παρειά της πλάκας της ανωδομής όσο και πλευρικά. Οι προσκρούσεις στην κάτω παρειά προκαλούνται από τη διέλευση οχημάτων, με ύψος μεγαλύτερο από το ελεύθερο ύψος του τεχνικού, με αποτέλεσμα την πρόσκρουση του οχήματος στο τεχνικό. Οι πλευρικές προσκρούσεις προκαλούνται από ατυχήματα.

3. Οπτική επιθεώρηση γεφυρών και κάτω διαβάσεων της Εθνικής Οδού 3 (Διασταύρωση Βεύης – Κόμβος Παραβεγορίτιδας)

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας διενεργήθηκε οπτική επιθεώρηση σε ορισμένα τεχνικά έργα της Εθνικής Οδού 3 (Διασταύρωση Βεύης – Κόμβος Παραβεγορίτιδας), στην ακτίνα της περιοχής Αμυνταίου - Φλώρινας. Πρόκειται για έναν κάθετο άξονα της Εθνικής Οδού Πτολεμαΐδας – Φλώρινας, με φορέα διαχείρισης την Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας και συγκεκριμένα την έδρα της, την Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης.

Η διαδικασία της επιθεώρησης διενεργήθηκε το χρονικό διάστημα Σεπτεμβρίου – Νοεμβρίου 2022, τις ημέρες τις οποίες επέτρεπαν οι καιρικές συνθήκες της περιοχής. Αρχικά, έγινε ο εντοπισμός των τεχνικών που επρόκειτο να επιθεωρηθούν και στη συνέχεια προσεγγίστηκε το σημείο ενδιαφέροντος. Τα τεχνικά έργα για τα οποία γίνεται λόγος κατασκευάστηκαν τη δεκαετία του 1990. Με τη βοήθεια ηλεκτρονικού αποστασιόμετρου λέιζερ μετρήθηκε το ύψος κάθε τεχνικού, ενώ με τη χρήση μετροταινίας μετρήθηκε το μήκος του ανοίγματος, βάσει του οποίου κατατάχθηκε το τεχνικό ως γέφυρα ή κάτω διάβαση. Έπειτα κατεγράφησαν οι φθορές και οι βλάβες, τόσο του σκυροδέματος όσο και του εκτεθειμένου χάλυβα. Προκειμένου να γίνει πιο αποτελεσματική η επιθεώρηση, χωρίστηκε το καθένα τεχνικό σε τέσσερα τμήματα, την υποδομή, την ανωδομή, την επιφάνεια κύλισης και τα μεταβατικά επιχώματα. Προς διευκόλυνση της μελέτης και επεξεργασίας του κάθε τεχνικού, κωδικοποιήθηκαν οι γέφυρες με τον συμβολισμό ΓΕ (Γέφυρα), τη σειρά προτεραιότητας της επιθεώρησης (π.χ. 01) και την εθνική οδό, την οποία φέρουν άνωθέν τους, Ε.Ο.3 (Εθνική Οδός 3), ήτοι ΓΕ.01.Ε.Ο.3. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις κάτω διαβάσεις, π.χ. ΚΔ.01.Ε.Ο.3. Στον παρακάτω πίνακα, αναπαρίσταται το μέγιστο μήκος ανοίγματος κάθε τεχνικού και το ύψος του από την επιφάνεια του εδάφους:

Πίνακας 2: Απεικόνιση του μέγιστου μήκους ανοίγματος και του ύψους κάθε τεχνικού

A/A	Κωδικοποίηση τεχνικού	Μέγιστο μήκος ανοίγματος	Ύψος
1	ΓΕ.01.Ε.Ο.3	L = 30,00 m	H = 7,60 m
2	ΓΕ.02.Ε.Ο.3	L = 14,90 m	H = 7,34 m
3	ΓΕ.03.Ε.Ο.3	L = 23,20 m	H = 5,00 m
4	ΚΔ.01.Ε.Ο.3	L = 10,00 m	H = 6,66 m
5	ΚΔ.02.Ε.Ο.3	L = 11,10 m	H = 7,55 m
6	ΚΔ.03.Ε.Ο.3	L = 10,00 m	H = 5,50 m
7	ΚΔ.04.Ε.Ο.3	L = 11,90 m	H = 5,12 m

3.1 Ευρήματα από την οπτική επιθεώρηση των γεφυρών και κάτω διαβάσεων της Εθνικής Οδού 3 (Ε.Ο.3)

3.1.1 1^η επιθεώρηση (ΓΕ.01.Ε.Ο.3)

Πρόκειται για μία γέφυρα από σκυρόδεμα, τριών ανοιγμάτων, 10 μέτρων το καθένα άρα συνολικού μήκους ανοίγματος, 30 μέτρα και ύψους 7,60 μέτρα. Τα βάθρα, επάνω στα οποία εδράζεται η ανωδομή της συγκεκριμένης γέφυρας είναι κυλινδρικής μορφής και η σύνδεση μεταξύ καταστρώματος και υποδομής επιτυγχάνεται με εφέδρανα.



Εικόνα 27: Η δυτική όψη της γέφυρας ΓΕ.01.Ε.Ο.3.

Από την οπτική επιθεώρηση που πραγματοποιήθηκε, καταγράφηκαν οι εξής φθορές και βλάβες:

❖ Υποδομή

Τα ακρόβαθρα και μεσόβαθρα της γέφυρας (Εικόνα 28) είναι σε πολύ καλή κατάσταση, με τη μόνη παρατήρηση ότι σε ορισμένα τμήματά τους υπάρχει τοπική διαβροχή του σκυροδέματος καθώς και μερική έως αμελητέα αποκόλληση του σκυροδέματος και εμφάνιση των αδρανών υλικών, στο βόρειο βάθρο του πρώτου ανοίγματος.



Εικόνα 28: Απεικόνιση των βάθρων του πρώτου ανοίγματος της γέφυρας ΓΕ.01.Ε.Ο.3.

❖ Ανωδομή

Στην πλαϊνή και κάτω παρειά της πλάκας της ανωδομής (Εικόνα 29) παρατηρήθηκαν τοπικές εξανθήσεις και ιδιαίτερα στα σημεία περιμετρικά του συστήματος αποχέτευσης – αποστράγγισης.



Εικόνα 29: Τοπική εξάνθηση του σκυροδέματος της κάτω παρειάς της πλάκας του καταστρώματος της γέφυρας ΓΕ.01.Ε.Ο.3.

Στις δοκούς που εδράζουν το κατάστρωμα παρατηρήθηκε εκτίναξη του σκυροδέματος, έκθεση του οπλισμού και κατά συνέπεια οξείδωσή του (Εικόνα 30). Το ίδιο φαινόμενο εμφανίζεται και στην πλαϊνή πλευρά της κάτω παρειάς της πλάκας του καταστρώματος (Εικόνα 31).



Εικόνα 30: Έκθεση και οξείδωση του οπλισμού των δοκών της κάτω παρειάς της πλάκας της γέφυρας ΓΕ.01.Ε.Ο.3.



Εικόνα 31: Έκθεση και οξείδωση σπλισμού των δοκών της πλαϊνής πλευράς της κάτω παρειάς της πλάκας της γέφυρας ΓΕ.01.Ε.Ο.3.

❖ Επιφάνεια κύλισης

Το οδόστρωμα της επιφάνειας κύλισης είναι σχετικά σε καλή κατάσταση. Σε κάποια σημεία και ιδιαίτερα στα σημεία των αρμών παρουσιάζονται ρηγματώσεις, βυθίσεις και τροχαυλακώσεις. Τα πεζοδρόμια και τα στηθαία ασφαλείας είναι σε καλή κατάσταση ενώ τα κιγκλιδώματα παρουσιάζουν επιφανειακή οξείδωση (Εικόνα 32, 33).



Εικόνα 32: Ρηγματώσεις και βυθίσεις στην περιοχή των αρμών στην επιφάνεια κύλισης της γέφυρας ΓΕ.01.Ε.Ο.3.



Εικόνα 33: Ρηγματώσεις στην επιφάνεια κύλισης της γέφυρας ΓΕ.01.Ε.Ο.3.

❖ Μεταβατικά επιχώματα

Οι πτερυγότοιχοι δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα παρά μόνο διαβροχή του σκυροδέματος και κάποιους λεκέδες οξείδωσης (Εικόνα 34).



Εικόνα 34: Απεικόνιση των φθορών στον πτερυγότοιχο της γέφυρας ΓΕ.01.Ε.Ο.3.

3.1.2 2^η επιθεώρηση (ΓΕ.02.Ε.Ο.3)

Πρόκειται για μία γέφυρα πλαίσιακής μορφής από σκυρόδεμα, ενός ανοίγματος, συνολικού μήκους ανοίγματος 14,60 μέτρα και ύψους 7,34 μέτρα. Τα βάθρα, επάνω στα οποία εδράζεται η ανωδομή της συγκεκριμένης γέφυρας είναι τοιχωματικά και η σύνδεση μεταξύ καταστρώματος και υποδομής είναι μονολιθική.



Εικόνα 35: Η δυτική όψη της γέφυρας ΓΕ.02.Ε.Ο.3.

Από την οπτική επιθεώρηση που πραγματοποιήθηκε, καταγράφηκαν οι εξής φθορές και βλάβες:

❖ Υποδομή

Τα ακρόβαθρα της γέφυρας και ιδιαίτερα το βορειοδυτικό, παρουσιάζει πολύ έντονη διαβροχή και εξάνθηση του σκυροδέματος καθώς και λεκέδες οξείδωσης (Εικόνα 36), που προέρχονται από τη διάβρωση του οπλισμού εσωτερικά.



Εικόνα 36: Απεικόνιση των φθορών του βορειοδυτικού ακροβάθρου της γέφυρας ΓΕ.02.Ε.Ο.3.

Αντίστοιχα, στο ανατολικό ακρόβαθρο, τα φαινόμενα της διαβροχής του σκυροδέματος και των λεκέδων οξείδωσης δεν είναι τόσο έντονα όσο αυτό της εξάνθησης (Εικόνα 37). Αξίζει να σημειωθεί ότι σ' αυτό το ακρόβαθρο συναντώνται πλευρικές προσκρούσεις, χωρίς έκθεση οπλισμού (Εικόνα 38).



Εικόνα 37: Απεικόνιση των φθορών του ανατολικού ακροβάθρου της γέφυρας ΓΕ.02.Ε.Ο.3.



Εικόνα 38: Πλευρικές προσκρούσεις, χωρίς έκθεση οπλισμού, στο ανατολικό ακρόβαθρο της γέφυρας ΓΕ.02.Ε.Ο.3.

❖ Ανωδομή

Στην πλαϊνή πλευρά της κάτω παρειάς της πλάκας παρατηρείται διαβροχή και εξάνθηση του σκυροδέματος (Εικόνα 39), ιδιαίτερα στα σημεία όπου υπάρχει εκτίναξη και έκθεση του οπλισμού. Ο εκτεθειμένος οπλισμός παρουσιάζει διάβρωση. Στην κάτω παρειά της πλάκας δεν εντοπίζονται φθορές και βλάβες (Εικόνα 40).



Εικόνα 39: Απεικόνιση των φθορών της πλαϊνής πλευράς της κάτω παρειάς της πλάκας της γέφυρας ΓΕ.02.Ε.Ο.3.



Εικόνα 40: Απεικόνιση των φθορών της κάτω παρειάς της πλάκας της γέφυρας ΓΕ.02.Ε.Ο.3.

❖ Επιφάνεια κύλισης

Το οδόστρωμα της επιφάνειας κύλισης είναι σχετικά σε καλή κατάσταση. Σε κάποια σημεία και ιδιαίτερα στα σημεία των αρμών παρουσιάζονται μπαλώματα (Εικόνα 41). Τα πεζοδρόμια είναι σε καλή κατάσταση ενώ τα κιγκλιδώματα παρουσιάζουν επιφανειακή οξείδωση (Εικόνα 42).



Εικόνα 41: Μπαλώματα στην επιφάνεια κύλισης του οδοστρώματος της γέφυρας ΓΕ.02.Ε.Ο.3.



Εικόνα 42: Επιφανειακή οξείδωση των κιγκλιδωμάτων της γέφυρας ΓΕ.02.Ε.Ο.3.

❖ Μεταβατικά επιχώματα

Ο ανατολικός περυγότοιχος της γέφυρας παρουσιάζει διαβροχή του σκυροδέματος, εξάνθηση και κάποιους λεκέδες οξείδωσης (Εικόνα 43).



Εικόνα 43: Απεικόνιση των φθορών του ανατολικού περυγότοιχου της γέφυρας ΓΕ.02.Ε.Ο.3.

Ο βορειοδυτικός περυγότοιχος της γέφυρας παρουσιάζει εκτίναξη του σκυροδέματος, έκθεση του οπλισμού και διάβρωσή του (Εικόνα 44).



Εικόνα 44: Απεικόνιση των φθορών του βορειοδυτικού περυγότοιχου της γέφυρας ΓΕ.02.Ε.Ο.3.

3.1.3 3^η επιθεώρηση (ΓΕ.03.Ε.Ο.3)

Πρόκειται για μία γέφυρα πλασιακής μορφής από σκυρόδεμα, ενός ανοίγματος, συνολικού μήκους ανοίγματος 23,20 μέτρα και ύψους 5,00 μέτρα. Τα βάθρα επάνω στα οποία εδράζεται η ανωδομή της συγκεκριμένης γέφυρας είναι τοιχωματικά και η σύνδεση μεταξύ καταστρώματος και υποδομής επιτυγχάνεται με εφέδρανα.



Εικόνα 45: Η ανατολική όψη της γέφυρας ΓΕ.03.Ε.Ο.3.



Εικόνα 46: Η δυτική όψη της γέφυρας ΓΕ.03.Ε.Ο.3.

Από την οπτική επιθεώρηση που πραγματοποιήθηκε, καταγράφηκαν οι εξής φθορές και βλάβες:

❖ Υποδομή

Το βόρειο ακρόβαθρο της γέφυρας χαρακτηρίζεται από διαβροχή καθώς και εξάνθηση του σκυροδέματος. Εμφανείς είναι και οι λεκέδες οξείδωσης (Εικόνα 47).



Εικόνα 47: Απεικόνιση των φθορών του βόρειου ακροβάθρου της γέφυρας ΓΕ.03.Ε.Ο.3.

Το νότιο ακρόβαθρο της γέφυρας παρουσιάζει όμοιες φθορές με αυτές του αριστερού, μόνο που σ' αυτή την περίπτωση η εξάνθηση του σκυροδέματος (Εικόνα 48) συναντάται σε υψηλότερο ποσοστό και σε μεγαλύτερη επιφάνεια.



Εικόνα 48: Απεικόνιση των φθορών του νότιου ακροβάθρου της γέφυρας ΓΕ.03.Ε.Ο.3.

❖ Ανωδομή

Στην πλαϊνή πλευρά και στην κάτω παρειά της πλάκας παρατηρείται διαβροχή και εξάνθηση του σκυροδέματος (Εικόνα 49,50), ιδιαίτερα στα σημεία όπου υπάρχει εκτίναξη και έκθεση του οπλισμού. Ο εκτεθειμένος οπλισμός παρουσιάζει οξείδωση (Εικόνα 51).



Εικόνα 49: Απεικόνιση των φθορών της πλαϊνής πλευράς της κάτω παρειάς της πλάκας της γέφυρας ΓΕ.03.Ε.Ο.3.



Εικόνα 50: Απεικόνιση των φθορών της πλαϊνής πλευράς και της κάτω παρειάς της πλάκας της γέφυρας ΓΕ.03.Ε.Ο.3.

Στις δοκούς που εδράζουν την πλάκα του καταστρώματος (Εικόνα 54), παρατηρήθηκε εκτίναξη του σκυροδέματος, έκθεση του οπλισμού και κατά συνέπεια οξείδωσή του.



Εικόνα 51: Έκθεση και οξείδωση σπλισμού στις δοκούς της κάτω παρειάς της πλάκας της γέφυρας ΓΕ.03.Ε.Ο.3.

❖ Επιφάνεια κύλισης

Το οδόστρωμα της επιφάνειας κύλισης είναι σχετικά σε καλή κατάσταση. Σε κάποια σημεία και ιδιαίτερα στα σημεία των αρμών παρουσιάζονται μπαλώματα. Τα πεζοδρόμια και τα στηθαία ασφαλείας είναι σε καλή κατάσταση ενώ τα κιγκλιδώματα παρουσιάζουν επιφανειακή οξείδωση (Εικόνα 52).



Εικόνα 52: Μπαλώματα στην περιοχή των αρμών στην επιφάνεια κύλισης της γέφυρας ΓΕ.03.Ε.Ο.3.

❖ Μεταβατικά επιχώματα

Οι πτερυγότοιχοι δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα, παρά μόνο διαβροχή του σκυροδέματος και κάποιους λεκέδες οξείδωσης (Εικόνα 53).



Εικόνα 53: Απεικόνιση των φθορών στον δυτικό περυγότοιχο της γέφυρας ΓΕ.03.Ε.Ο.3.

3.1.4 4^η επιθεώρηση (ΚΔ.01.Ε.Ο.3)

Πρόκειται για μία κάτω διάβαση, πλαισιακής μορφής, από σκυρόδεμα, ενός ανοίγματος συνολικού μήκους ανοίγματος 10 μέτρα και ύψους 6,66 μέτρα. Τα βάθρα επάνω στα οποία εδράζεται η ανωδομή της συγκεκριμένη κάτω διάβασης είναι κυλινδρικής μορφής και η σύνδεση μεταξύ καταστρώματος και υποδομής επιτυγχάνεται με εφέδρανα.



Εικόνα 54: Η ανατολική όψη της κάτω διάβασης ΚΔ.01.Ε.Ο.3.



Εικόνα 55: Η δυτική όψη της κάτω διάβασης ΚΔ.01.Ε.Ο.3.

Από την οπτική επιθεώρηση που πραγματοποιήθηκε, καταγράφηκαν οι εξής φθορές και βλάβες:

❖ Υποδομή

Τα ακρόβαθρα της κάτω διάβασης είναι σε πολύ καλή κατάσταση (Εικόνα 56), με τη μόνη παρατήρηση ότι σε ορισμένα τμήματά τους υπάρχει τοπική διαβροχή του σκυροδέματος καθώς και μερική έως αμελητέα εξάνθησή του (Εικόνα 57).



Εικόνα 56: Απεικόνιση των φθορών των ακροβάθρων της κάτω διάβασης ΚΔ.01.Ε.Ο.3.



Εικόνα 57: Απεικόνιση των φθορών των ακροβάθρων της κάτω διάβασης ΚΔ.01.Ε.Ο.3.

❖ Ανωδομή

Στην κάτω παρειά της πλάκας της ανωδομής παρατηρήθηκαν τοπικές εξάνθησεις (Εικόνα 58) και ιδιαίτερα στα σημεία περιμετρικά του συστήματος αποχέτευσης – αποστράγγισης.



Εικόνα 58: Τοπική εξάνθηση στην κάτω παρειά της πλάκας του καταστρώματος της κάτω διάβασης ΚΔ.01.Ε.Ο.3.

Ακόμη, εντοπίστηκε εκτίναξη του σκυροδέματος, διαβροχή, εξάνθηση καθώς και έκθεση του οπλισμού και κατά συνέπεια οξείδωσή του (Εικόνα 59). Το ίδιο συμβαίνει και στην πλαϊνή πλευρά της κάτω παρειάς της πλάκας (Εικόνα 59).



Εικόνα 59: Διαβροχή, εξάνθηση, έκθεση και οξείδωση οπλισμού στην κάτω παρειά της πλάκας της κάτω διάβασης

ΚΔ.01.Ε.Ο.3.

❖ Επιφάνεια κύλισης

Το οδόστρωμα της επιφάνειας κύλισης είναι σε καλή κατάσταση (Εικόνα 60). Τα πεζοδρόμια είναι σε καλή κατάσταση ενώ τα κιγκλιδώματα παρουσιάζουν επιφανειακή οξείδωση (Εικόνα 61). Το στηθαίο ασφαλείας της αριστερής πλευράς του οδοστρώματος παρουσιάζει καμπυλότητα προς τα έσω, στο μέσο του.



Εικόνα 60: Το οδόστρωμα της επιφάνεια κύλισης της κάτω διάβασης ΚΔ.01.Ε.Ο.3.



Εικόνα 61: Οξείδωση των κιγλιδωμάτων της κάτω διάβασης ΚΔ.01.Ε.Ο.3.

❖ Μεταβατικά επιχώματα

Οι πτερυγότοιχοι δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα, παρά μόνο ελάχιστη διαβροχή του σκυροδέματος και κάποιους λεκέδες οξείδωσης (Εικόνα 62).



Εικόνα 62: Απεικόνιση της διαβροχής του σκυροδέματος στον πτερυγότοιχο της κάτω διάβασης ΚΔ.01.Ε.Ο.3.

3.1.5 5^η επιθεώρηση (ΚΔ.02.Ε.Ο.3)

Πρόκειται για μία κάτω διάβαση πλαισιακής μορφής από σκυρόδεμα, ενός ανοίγματος, συνολικού μήκους ανοίγματος 11,10 μέτρα και ύψους 7,55 μέτρα. Τα βάρθρα επάνω στα οποία εδράζεται η ανωδομή της συγκεκριμένης γέφυρας είναι τοιχωματικά και η σύνδεση μεταξύ καταστρώματος και υποδομής είναι μονολιθική.



Εικόνα 63: Η δυτική όψη της κάτω διάβασης ΚΔ.02.Ε.Ο.3.



Εικόνα 64: Η ανατολική όψη της κάτω διάβασης ΚΔ.02.Ε.Ο.3.

Από την οπτική επιθεώρηση που πραγματοποιήθηκε, καταγράφηκαν οι εξής φθορές και βλάβες:

❖ Υποδομή

Το ανατολικό ακρόβαθρο της κάτω διάβασης παρουσιάζει πολύ έντονη διαβροχή και εξάνθηση του σκυροδέματος (Εικόνα 65).



Εικόνα 65: Απεικόνιση των φθορών του ανατολικού ακροβάθρου της κάτω διάβασης ΚΔ.02.Ε.Ο.3.

Αντίστοιχα, στο δυτικό ακρόβαθρο, τα φαινόμενα της διαβροχής του σκυροδέματος δεν είναι τόσο έντονα όσο αυτό της εξάνθησης (Εικόνα 66).



Εικόνα 66: Απεικόνιση των φθορών του δυτικού ακροβάθρου της κάτω διάβασης ΚΔ.02.Ε.Ο.3.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, στην κάτω διάβαση για την οποία γίνεται λόγος παρατηρούνται πλευρικές προσκρούσεις με έκθεση σπλισμού, στα ακρόβαθρα (Εικόνα 67).



Εικόνα 67: Πλευρικές προσκρούσεις, με έκθεση σπλισμού, στα ακρόβαθρα της κάτω διάβασης ΚΔ.02.Ε.Ο.3.

❖ Ανωδομή

Στην πλαϊνή πλευρά και στην κάτω παρειά της πλάκας παρατηρείται διαβροχή και εξάνθηση του σκυροδέματος καθώς και εκτεθειμένες ράβδοι σπλισμού με έντονη οξείδωση (Εικόνα 68, 69).



Εικόνα 68: Απεικόνιση των φθορών της πλαϊνής πλευράς και της κάτω παρειάς της πλάκας της κάτω διάβασης ΚΔ.02.Ε.Ο.3.



Εικόνα 69: Απεικόνιση των φθορών της πλαϊνής πλευράς και της κάτω παρειάς της πλάκας της κάτω διάβασης ΚΔ.02.Ε.Ο.3.

❖ Επιφάνεια κύλισης

Το οδόστρωμα της επιφάνειας κύλισης είναι σχετικά σε καλή κατάσταση. Σε κάποια σημεία παρουσιάζονται μπαλώματα. Τα πεζοδρόμια είναι σε καλή κατάσταση ενώ τα κιγκλιδώματα παρουσιάζουν επιφανειακή οξείδωση (Εικόνα 70).



Εικόνα 70: Μπαλώματα στην επιφάνεια κύλισης του οδοστρώματος και επιφανειακή οξείδωση των κιγκλιδωμάτων της κάτω διάβασης ΚΔ.02.Ε.Ο.3.

❖ Μεταβατικά επιχώματα

Οι πτερυγότοιχοι της κάτω διάβασης παρουσιάζουν έντονη διαβροχή του σκυροδέματος, εξάνθηση και κάποιους λεκέδες οξείδωσης (Εικόνα 71). Επιπλέον, στον δυτικό πτερυγότοιχο εντοπίζεται και αποφλοίωση της επιφάνειας του σκυροδέματος (Εικόνα 72).



Εικόνα 71: Απεικόνιση των φθορών του ανατολικού πτερυγότοιχου της κάτω διάβασης ΚΔ.02.Ε.Ο.3.



Εικόνα 72: Απεικόνιση των φθορών του δυτικού πτερυγότοιχου της κάτω διάβασης ΚΔ.02.Ε.Ο.3.

3.1.6 6^η επιθεώρηση (ΚΔ.03.Ε.Ο.3)

Πρόκειται για μία κάτω διάβαση πλαισιακής μορφής από σκυρόδεμα, ενός ανοίγματος, συνολικού μήκους ανοίγματος 10,00 μέτρα και ύψους 5,50 μέτρα. Τα βάρθρα επάνω στα οποία

εδράζεται η ανωδομή της συγκεκριμένης γέφυρας είναι τοιχωματικά και η σύνδεση μεταξύ καταστρώματος και υποδομής είναι μονολιθική.



Εικόνα 73: Η δυτική όψη της κάτω διάβασης ΚΔ.03.Ε.Ο.3.



Εικόνα 74: Η ανατολική όψη της κάτω διάβασης ΚΔ.03.Ε.Ο.3.

Από την οπτική επιθεώρηση που πραγματοποιήθηκε, καταγράφηκαν οι εξής φθορές και βλάβες:

❖ Υποδομή

Το νότιο ακρόβαθρο της κάτω διάβασης (Εικόνα 75) παρουσιάζει διαβροχή καθώς και έντονη εξάνθηση του σκυροδέματος. Ακόμη, εμφανείς είναι και οι λεκέδες οξείδωσης.



Εικόνα 75: Απεικόνιση του νότιου ακροβάθρου της κάτω διάβασης ΚΔ.03.Ε.Ο.3.

Αντίστοιχα φαινόμενα παρουσιάζονται και στο βόρειο ακρόβαθρο (Εικόνα 76).



Εικόνα 76: Απεικόνιση των φθορών του βόρειου ακροβάθρου της κάτω διάβασης ΚΔ.03.Ε.Ο.3.

❖ Ανωδομή

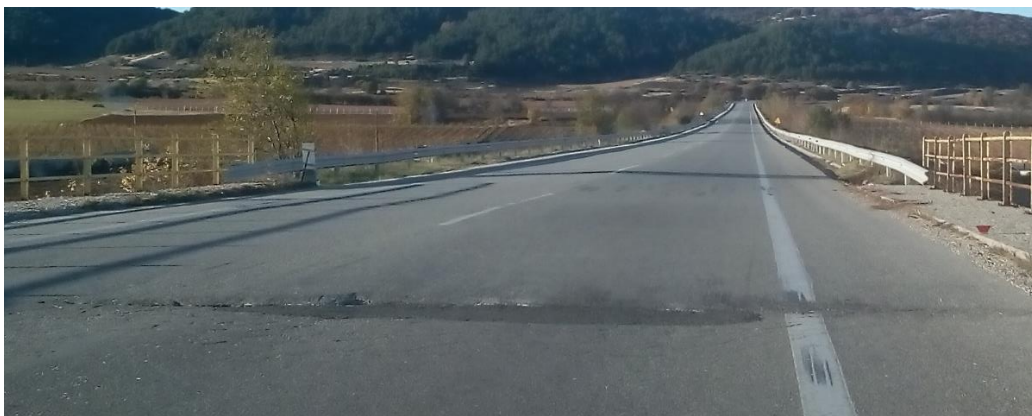
Στην πλαϊνή πλευρά της κάτω παρειάς της πλάκας παρατηρείται διαβροχή και εξάνθηση του σκυροδέματος (Εικόνα 77) καθώς και εκτεθειμένες ράβδοι οπλισμού με έντονη οξείδωση.



Εικόνα 77: Απεικόνιση των φθορών της πλαϊνής πλευράς της κάτω παρειάς της πλάκας της κάτω διάβασης ΚΔ.03.Ε.Ο.3.

❖ Επιφάνεια κύλισης

Το οδόστρωμα της επιφάνειας κύλισης είναι σχετικά σε καλή κατάσταση. Σε κάποια σημεία και συγκεκριμένα σε αυτά των αρμών παρουσιάζονται τροχαυλακώσεις και μπαλώματα (Εικόνα 78). Τα πεζοδρόμια είναι σε καλή κατάσταση ενώ τα κιγκλιδώματα παρουσιάζουν επιφανειακή οξείδωση.



Εικόνα 78: Μπαλώματα στην επιφάνεια κύλισης του οδοστρώματος και επιφανειακή οξείδωση των κιγκλιδωμάτων της κάτω διάβασης ΚΔ.03.Ε.Ο.3.

❖ Μεταβατικά επιχώματα

Οι περυγότοιχοι της κάτω διάβασης παρουσιάζουν διαβροχή του σκυροδέματος, έντονη εξάνθηση και κάποιους λεκέδες οξείδωσης (Εικόνα 79, 80).



Εικόνα 79: Απεικόνιση των φθορών των πτερυγότοιχων της κάτω διάβασης ΚΔ.03.Ε.Ο.3.



Εικόνα 80: Απεικόνιση των φθορών των πτερυγότοιχων της κάτω διάβασης ΚΔ.03.Ε.Ο.3.

3.1.7^η επιθεώρηση (ΚΔ.04.Ε.Ο.3)

Πρόκειται για μία κάτω διάβαση πλαισιακής μορφής από σκυρόδεμα, ενός ανοίγματος, συνολικού μήκους ανοίγματος 11,90 μέτρα και ύψους 5,12 μέτρα. Τα βάθρα επάνω στα οποία εδράζεται η ανωδομή της συγκεκριμένης γέφυρας είναι τοιχωματικά και η σύνδεση μεταξύ καταστρώματος και υποδομής είναι μονολιθική.



Εικόνα 81: Η βόρεια όψη της κάτω διάβασης ΚΔ.04.Ε.Ο.3.



Εικόνα 82: Η νότια όψη της κάτω διάβασης ΚΔ.04.Ε.Ο.3.

Από την οπτική επιθεώρηση που πραγματοποιήθηκε, καταγράφηκαν οι εξής φθορές και βλάβες:

❖ Υποδομή

Το νότιο ακρόβαθρο της κάτω διάβασης (Εικόνα 83) δεν έχει ιδιαίτερες φθορές, μόνο ελάχιστες και μικρού ποσοστού κηλίδες εξάνθησης. Αντιθέτως, στο βόρειο ακρόβαθρο (Εικόνα 83) συναντάται πολύ έντονη διαβροχή καθώς και εξάνθηση του σκυροδέματος, εκτίναξη αυτού και αποκάλυψη του οπλισμού, με έντονη οξειδωση. Επιπλέον, εμφανής είναι και η απομείωση της μάζας του σκυροδέματός του, με επακόλουθο την αποκάλυψη των αδρανών υλικών.



Εικόνα 83: Απεικόνιση των φθορών του νότιου και βόρειου ακροβάθρου αντίστοιχα της κάτω διάβασης ΚΔ.04.Ε.Ο.3.

❖ Ανωδομή

Στην πλαϊνή πλευρά της κάτω παρειάς της πλάκας (Εικόνα 84, 85) παρατηρείται διαβροχή και εξάνθηση του σκυροδέματος καθώς και εκτεθειμένες ράβδοι σπλισμού με έντονη οξειδωση. Ακόμη, συναντώνται προσκρούσεις (Εικόνα 86) στην πλαϊνή πλευρά της κάτω παρειάς της πλάκας.



Εικόνα 84: Απεικόνιση των φθορών της κάτω παρειάς της πλάκας της κάτω διάβασης ΚΔ.04.Ε.Ο.3.



Εικόνα 85: Απεικόνιση των φθορών της πλαϊνής πλευράς της κάτω παρειάς της πλάκας της κάτω διάβασης
ΚΔ.04.Ε.Ο.3.



Εικόνα 86: Προσκρούσεις στην πλαϊνή πλευρά της κάτω παρειάς της πλάκας της κάτω διάβασης ΚΔ.04.Ε.Ο.3.

❖ Επιφάνεια κύλισης

Το οδόστρωμα της επιφάνειας κύλισης είναι σε πολύ καλή κατάσταση. Εξαιρετική είναι και η κατάσταση τόσο των πεζοδρομίων όσο και των κιγκλιδωμάτων (Εικόνα 87).



Εικόνα 87: Απεικόνιση της επιφάνειας κύλισης του οδοστρώματος και των κιγκλιδωμάτων της κάτω διάβασης
ΚΔ.04.Ε.Ο.3.

❖ Μεταβατικά επιχώματα

Οι πτερυγότοιχοι της κάτω διάβασης παρουσιάζουν διαβροχή του σκυροδέματος, έντονη εξάνθηση και κάποιους λεκέδες οξείδωσης. Επιπλέον, ο αριστερός πτερυγότοιχος στο σημείο επαφής του με το ακρόβαθρο χαρακτηρίζεται από εκτίναξη του σκυροδέματος και έκθεση του οξειδωμένου σπλισμού (Εικόνα 88).



Εικόνα 88: Απεικόνιση των φθορών των πτερυγότοιχων της κάτω διάβασης ΚΔ.04.Ε.Ο.3.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι γέφυρες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στους αυτοκινητοδρόμους καθώς μέσω αυτών επιτυγχάνεται η ζεύξη μεταξύ εμποδίων, εξασφαλίζοντας τη μετακίνηση ανθρώπων και τη μεταφορά υλικών. Αποτελούν ένα από τα αναπόσπαστα τεχνικά έργα, μείζονος σημασίας, του συγκοινωνιακού τομέα.

Προκειμένου λοιπόν να εξασφαλίζεται η δομική και λειτουργική τους επάρκεια, θα πρέπει να επιθεωρούνται από εξειδικευμένα συνεργεία, να καταγράφονται τυχόν φθορές και βλάβες που συναντώνται, να αξιολογούνται και τελικώς να επιλέγεται η καταλληλότερη λύση για τη συντήρηση ή και την επισκευή τους.

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, εξήχθη το συμπέρασμα ότι η οπτική επιθεώρηση αποτελεί τη λιγότερο κοστοβόρα λύση για τον έλεγχο των γεφυρών και κάτω διαβάσεων. Είναι μία μέθοδος που μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ανύποπτο χρόνο και χωρίς την απαίτηση ειδικού εξοπλισμού. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα που δίνει, δεν παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια και έτσι κάποιες φορές υπάρχει ενδεχόμενο, να προκύψουν κενά ακόμη και ασάφειες.

Η ανάγκη για τον καλύτερο και περισσότερο εξονυχιστικό έλεγχο των γεφυρών, γέννησε την ανάγκη για την εφεύρεση καινοτόμων μη καταστροφικών μεθόδων επιθεώρησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτό συνετέλεσε και η πρόοδος της τεχνολογίας. Έτσι, μέθοδοι όπως αυτές της υπέρυθρης θερμογραφίας, της φωτογραμμετρίας, της χρήσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones), των ραντάρ διείσδυσης εδάφους (GPR), της φορητής ρομποτικής εδάφους, βρίσκουν εφαρμογή στη διαδικασία επιθεώρησης γεφυρών του εξωτερικού. Η καινοτομία αυτή εξασφάλισε την πρόσβαση σε δυσπρόσιτα σημεία και τμήματα των γεφυρών, τον περιορισμό του εργατικού κινδύνου, την ταχύτητα εξαγωγής των αποτελεσμάτων καθώς και την επιθεώρηση, χωρίς το κλείσιμο των λωρίδων κυκλοφορίας. Σε κάθε περίπτωση, προκειμένου να υπάρχει αξιοπιστία θα πρέπει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επιθεώρηση με καινοτόμες μεθόδους, να συγκρίνονται με τα ευρήματα της οπτικής με σκοπό την αποφυγή λανθασμένων συμπερασμάτων. Επομένως, ο συνδυασμός οπτικής επιθεώρησης και της χρήσης καινοτόμων μεθόδων αποτελεί την ιδανικότερη λύση για μία άρτια προσέγγιση.

Στην Ελλάδα πρόκειται να πραγματοποιηθεί ένα παρόμοιο πρωτότυπο έργο, υπό την εποπτεία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΕΕ), επ' ονόματι «Έξυπνες γέφυρες», που προβλέπει την προμήθεια και εγκατάσταση ειδικών αισθητήρων - οπτικών ινών μέτρησης φορτίου που θα καταγράφουν τη μετατόπιση των γεφυρών σε πραγματικό χρόνο, με σύγχρονες

τεχνολογικές μεθόδους. Αυτές οι πληροφορίες θα υποβάλλονται σε επεξεργασία, μέσω ειδικών αλγορίθμων που θα υπολογίζουν την αντοχή των γεφυρών. Το έργο θα συνοδεύεται από σχετικές μελέτες, από εξειδικευμένους μηχανικούς που θα τεκμηριώνουν και θα παρακολουθούν επιστημονικά τα αποτελέσματα.

Από την οπτική επιθεώρηση που πραγματοποιήθηκε σε τρεις γέφυρες και τέσσερις κάτω διαβάσεις της Εθνικής Οδού 3 (Διασταύρωση Βεύης – Κόμβος Παραβεγορίτιδας), τα ευρήματα που εντοπίστηκαν, αφορούν σε φθορές του σκυροδέματος και του οπλισμού. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για φθορές όπως διαβροχή, εξάνθηση, αποφλοιώση, εκτίναξη, λεκέδες οξείδωσης στο σκυρόδεμα καθώς και έκθεση και οξείδωση του οπλισμού. Επίσης, γίνεται λόγος και για πλευρικές προσκρούσεις τόσο στα ακρόβαθρα όσο και στην πλαϊνή πλευρά της κάτω παρειάς της πλάκας του καταστρώματος. Επίσης και για ρηγματώσεις και μπαλώματα στην επιφάνεια κύλισης του οδοστρώματος, κυρίως στα σημεία των αρμών. Είναι οι συνηθέστερες φθορές, οι οποίες συναντώνται σε γέφυρες σε κάτω διαβάσεις πλαίσιακού τύπου των περισσότερων αυτοκινητοδρόμων. Τέλος, οι φθορές αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν αμελητέες καθιστώντας έτσι το συγκεκριμένο οδικό δίκτυο, ασφαλές για τους χρήστες του.

BIBLIOGRAFIA

A. Costa, J. Appleton, Concrete carbonation and chloride penetration in a marine environment, *Concr. Sci. Eng.* 3 (2001) 242–249.

Abdel-qader, I., Yohali, S., Abudayyeh, O., and Yehia, S. (2008). “Segmentation of thermal images for non-destructive evaluation of bridge decks.” *NDT and E Int.*, 41(5), 395–405.

Alessandrini, S. Il crollo del ponte Morandi a Genova. *Ingenio* (2020).

ASCE, Infrastructure report card, *ASCE News*, 2013.

ASCE, Infrastructure report card, *ASCE News*, 2016.

ASTM. (2014). “Standard test method for detecting delaminations in bridge decks using infrared thermography.” *D4788*, West Conshohocken, PA.

Avsar, Ö., Akca, D., Altan, O. Photogrammetric deformation monitoring of the second Bosphorus Bridge in Istanbul. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2014, 40, 71–76.

B. Chan, H. Guan, J. Jo, M. Blumenstein, Towards UAV-based bridge inspection systems: a review and an application perspective, *Struct. Monit. Maint.* 2 (3) (2015) 283–300.

Barazzetti, L., Forlani, G., Remondino, F., Roncella, R., Scaioni, M. Experiences and achievements in automated image sequence orientation for close-range photogrammetric projects. *Videometrics Range Imaging Appl.* XI 2011, 8085, 80850F.

Bellino, F. Un intervento poco risolutivo. *Il G. Dell’Ingegnere* 2019, 6, 25.

Blaschke, T. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2010, 65, 2–16.

C. Koch, S.G. Paal, A. Rashidi, Z. Zhu, M. König, I. Brilakis, S. German Paal, Achievements and challenges in machine vision-based inspection of large concrete structures, *Adv. Struct. Eng.* 17 (3) (2014) 303–318.

C.L. Barnes, J.-F. Trottier, Effectiveness of ground penetrating radar in predicting deck repair quantities, *J. Infrastruct. Syst.* 10 (2004) 69–76.

Charron, N., McLaughlin, E., Phillips, S., Goorts, K., Narasimhan, S., & Waslander, S. L. 2019, Automated bridge inspection using mobile ground robotics. *Journal of Structural Engineering*, United States.

Chen, S., Laefer, D.F., Mangina, E., Zolanvari, S.I., Byrne, J. UAV bridge inspection through evaluated 3D reconstructions. *J. Bridge Eng.* 2019, 24, 05019001.

China, 2009.

Concrete Science and Engineering, Vol. 3, December 2001, pp 242-249.

D'Amato, A. Quali Sono i Ponti e i Viadotti a Rischio Nell'Italia Che Crolla. *Nextquotidiano* (2019).

Dominici, D., Alicandro, M., Massimi, V. UAV photogrammetry in the post-earthquake scenario: Case studies in L'Aquila. *Geomat. Nat. Hazards Risk* 2017, 8, 87–103.

Ellenberg, A., A. Koutsos, F. Moon, and I. Bartoli. 2016. "Bridge deck delamination identification from unmanned aerial vehicle infrared imagery." *Autom. Constr.* 72: 155–165.

FHWA (Federal Highway Administration). (2014). "2013 status of the nation's highways. Bridges, and transit: Conditions & performance." Washington, DC.

FHWA (Federal Highway Administration). (2015a). "Deficient bridges by state and highway system 2015." (Apr. 27, 2016).

FHWA (Federal Highway Administration). (2015b). "Deficient bridges by year built 2015." (Sep. 1, 2017).

Fiorillo, S., Villa, G., Marchesi, A. Tecniche di telerilevamento per il riconoscimento dei soggetti arborei appartenenti al genere *Platanus* spp. In *Proceedings of the ASITA Conference*, Lecco, Italy, 29 September–1 October 2015.

Gillins, M. N., D. T. Gillins, and C. Parrish. 2016. "Cost-effective bridge safety inspections using unmanned aircraft systems (UAS)." In *Geotechnical and Structural Engineering Congress August 2016, 1931–1940*. Reston, VA: ASCE.

Gomarasca, M.A. *Basics of Geomatics*; Springer Science Business Media: Dordrecht, The Netherlands, 2009.

Gucunski, N., et al. (2013). *Nondestructive testing to identify concrete bridge deck deterioration*, Transportation Research Board, Washington, DC.

Hashimoto, K., and Akashi, Y. (2010). "Points to consider for photography by infrared cameras with different wavelength detection region." *65th JSCE Annual Meeting*, Japan Society of Civil Engineers, Sapporo, Japan, VI-160.

Hiasa, S. (2016). "Investigation of infrared thermography for subsurface damage detection of concrete structures." Ph.D. dissertation, Univ. of Central Florida, Orlando, FL.

- Hiasa, S., Birgul, R., and Catbas, F. N. (2016a). "Infrared thermography for civil structural assessment: demonstrations with laboratory and field studies." *J. Civ. Struct. Health Monit.*, 6(3), 619–636.
- Hiasa, S., Birgul, R., and Catbas, F. N. (2017a). "Effect of defect size on subsurface defect detectability and defect depth estimation for concrete structures by infrared thermography." *J. Nondestr. Eval.*, 36(3), 57.
- Hiasa, S., Birgul, R., and Catbas, F. N. (2017b). "Investigation of effective utilization of infrared thermography (IRT) through advanced finite element modeling." *Constr. Build. Mater.*, 150, 295–309.
- Hiasa, S., Birgul, R., and Necati Catbas, F. (2017c). "A data processing methodology for infrared thermography images of concrete bridges." *Comput. Struct.*, 190, 205–218.
- Hiasa, S., Catbas, F. N., Matsumoto, M., and Mitani, K. (2016b). "Monitoring concrete bridge decks using infrared thermography with high speed vehicles." *Struct. Monit. Maint.*, 3(3), 277–296.
- Hiasa, S., Necati Catbas, F., Matsumoto, M., & Mitani, K. (2017). Considerations and issues in the utilization of infrared thermography for concrete bridge inspection at normal driving speeds. *Journal of Bridge Engineering*, 22(11), 04017101.
- K. Dinh, T. Zayed, S. Moufti, A. Shami, A. Jabri, M. Abouhamad, T. Dawood, Clustering-based threshold model for condition assessment of concrete bridge decks with ground-penetrating radar, *Transp. Res. Rec.* 2522 (2015) 81–89.
- Kashif Ur Rehman, S., Ibrahim, Z., Memon, S. A., and Jameel, M. (2016). "Nondestructive test methods for concrete bridges: A review." *Constr. Build. Mater.*, 107(Mar), 58–86.
- Kee, S., Oh, T., Popovics, J., Arndt, R., and Zhu, J. (2012). "Nondestructive bridge deck testing with air-coupled impact-echo and infrared thermography." *J. Bridge Eng.*, 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000350, 928–939.
- Li, Z. L., Wu, H. L., Zhu, X. D., Gu, H. J., Liu, Z. Y., & Yin, T. (2014). Modified Damage Assessment and Repair Design for Underpass Bridge Based on Fire Effect. In *Key Engineering Materials* (Vol. 574, pp. 67-76). Trans Tech Publications Ltd.
- Maravas, A. and Konstantinidis, D. (2003) "Time – Cost and Quality of Projects on the Egnatia Motorway". Proceedings of the 3rd Workshop of the Institute for the Management and Development in Construction, May 22, pp. 1-17.

Marmo, F., Demartino, C., Candela, G., Sulpizio, C., Briseghella, B., Spagnuolo, R., Xiao, Y., Vanzi, I., Rosati, L. On the form of the Musmeci's bridge over the Basento river. *Eng. Struct.* 2019, 191, 658–673.

Ministry of Transportation Ontario, 2008. Ontario structural inspection manual (OSIM). St. Catharines, ON, Canada: Publications Ontario.

Moller, P. 2008. CALTRANS bridge inspection aerial robot. Rep. No. CA08-0182. Davis, CA: Univ. of California at Davis.

Moore, M., B. Phares, B. Graybeal, D. Rolander, and G. Washer, 2001, Reliability of visual inspection for highway bridges. Rep. No. FHWARD-01-020. McLean, VA: Federal Highway Administration.

N. Hallermann, G. Morgenthal, Visual inspection strategies for large bridges using Unmanned Aerial Vehicles (UAV), 7th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, Washington, D.C, 2014.

Nagataki S. et al, Condensation of Chloride ions in hardened cement matrix materials and on embedded steel bars, *ACI Materials Journal*, 90, No. 4, 1993.

Nakamura, S., Takaya, S., Maeda, Y., Yamamoto, T., and Miyagawa, T. (2013). "Spalling time prediction by using infrared thermography." *J. Jpn. Soc. Civ. Eng.*, 69(4), 450–461.

Nishikawa, T., Hirano, A., and Kamada, E. (2000). "Experimental study on thermography method for external wall removal finished with ce-ramic tile." *J. Struct. Constr. Eng.*, 65(529), 29–35.

Oh, T., Kee, S., Arndt, R., Popovics, J., and Zhu, J. (2013). "Comparison of NDT methods for assessment of a concrete bridge deck." *J. Eng. Mech.*, 10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000441, 305–314.

Paglia C., Antonietti, 2021. The air permeability, carbonation and chloride content along a concrete highway underpass. Microdurability Conference, The Hague, The Netherlands.

Phares, B. M., Rolander, D. D., Graybeal, B. A., & Washer, G. A. (2000). Studying the reliability of bridge inspection. *Public Roads*, 64(3), 15-19.

Press of China, China, 2008.

R.R. Avelano, N.F. Ortega, Characterization of concrete cracking due to corrosion of reinforcement in different environments, *Constr. Build. Mater.* 25 (2) (2011) 630–637.

Rau, J.Y., Hsiao, K.W., Jhan, J.P., Wang, S.H., Fang, W.C., Wang, J.L. Bridge crack detection using multi-rotary UAV and object-base image analysis. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2017, 42, 311.

Seo, J., Duque, L., & Wacker, J. (2018). Drone-enabled bridge inspection methodology and application. *Automation in Construction*, 94, 112-126.

SIA 262/1 Concrete construction, complimentary specifications, appendix E, 2016.

SN EN 14629 norm, products and systems for the protection and reparation of concrete structures, measurements of the concrete Chloride content, 2007.

SN EN 14630 norm, determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method, 2006.

SN EN 206-1, Concrete, specification, performance, production, conformity, 2013.

Standard for Building Structural Assessment after Fire (CECS 252:2009). China Planning Press,
Steel for the Reinforcement of Concrete - Part 2: Hot Rolled Bars (GB 1499.2-2007). Standards

Teodoro, A.C., Araujo, R. Comparison of performance of object-based image analysis techniques available in open source software (Spring and Orfeo Toolbox/Monteverdi) considering very high spatial resolution data. *J. Appl. Remote Sens.* 2016, 10, 016011.

Triggs, B., McLauchlan, P.F., Hartley, R.I., Fitzgibbon, A.W. Bundle adjustment—A modern synthesis. In *International Workshop on Vision Algorithms*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 1999, pp. 298–372.

Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., Reynolds, J.M. Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 2012, 179, 300–314.

Zink, J., and B. Lovelace. 2015. Unmanned aerial vehicle bridge inspection demonstration project. No. MN/RC 2015-40. Washington, DC: Transportation Research Board.

Zollini, S., Alicandro, M., Dominici, D., Quaresima, R., & Giallonardo, M. (2020). UAV photogrammetry for concrete bridge inspection using object-based image analysis (OBIA). *Remote Sensing*, 12(19), 3180.

Ανθεκτικότητα ωπλισμένου σκυροδέματος έναντι περιβαλλοντικών δράσεων, Τάσιος Π.Θ., Αλιγιζάκη Κ., Αθήνα 1993.

Γ. Νικολακόπουλος, Μηχανισμοί Διάβρωσης – Μέθοδοι Προστασίας του Ο.Σ. από διάβρωση, 20^ο Φοιτητικό Συνέδριο, Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών, Πάτρα, Φεβρουάριος, 2014.

Διαδραστική Εργαλειοθήκη Γέφυρας: http://asm.aviyaan.com/bridge_toolkit/ Πρόσβαση 14-01-2022.

Ηλεκτρονική Εφημερίδα: https://www.imerisia.gr/oikonomia/57229_i-ellada-apokta-exyprnes-gefyres

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αφού χορηγήθηκε άδεια από τον κ. Βούρα Αθανάσιο, Προϊστάμενο του Τμήματος Εκτέλεσης Συγκοινωνιακών Έργων της Π.Ε. Κοζάνης, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η φωτογράφιση και στη συνέχεια ο οπτικός έλεγχος των συγκεκριμένων τεχνικών, ξεκίνησε η διαδικασία της επιθεώρησης και η καταγραφή των φθορών και βλαβών που αντιμετωπίζουν 7 τεχνικά, 3 γέφυρες και 4 κάτω διαβάσεις αντίστοιχα.

Παρακάτω απεικονίζεται η αίτηση (Εικόνα 92) προς τη Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών της Περιφερειακής Ενότητας Κοζάνης με θέμα την χορήγηση αδειας.

ΑΙΤΗΣΗ

ΠΡΟΣ

Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών Π.Ε. Κοζάνης

Τμήμα Εκτέλεσης Συγκοινωνιακών Έργων

Υπόψη: κ. Βούρα Αθανασίου

Επώνυμο: Τσεσμετζή

Όνομα: Μαρία Ζωή

Όνομα Πατέρα: Γεώργιος

Τόπος κατοικίας: Σκλήθρο-Φλώρινας

Τ.Κ: 53075

ΘΕΜΑ: Χορήγηση άδειας για τη φωτογράφιση και την επιθεώρηση των τεχνικών έργων (γεφυρών και κάτω διαβάσεων) της Ε.Ο. 3 (Βεύης-Παραβεγορίτιδας).

Παρακαλώ όπως μου χορηγήσετε την άδειά σας προκειμένου να φωτογραφίσω, να επιθεωρήσω και να καταγράψω τυχόν φθορές που συναντώνται στις γέφυρες και κάτω διαβάσεις της Ε.Ο. 3 (Βεύης - Παραβεγορίτιδας), στοιχεία τα οποία θα χρησιμοποιήσω για τη συγγραφή μέρους της Διπλωματικής Μεταπτυχιακής μου Εργασίας στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Τεχνικών Έργων» του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος.

Κοζάνη, 03/11/2022

Η ΑΙΤΟΥΣΑ



Τσεσμετζή Μαρία Ζωή

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια

Εικόνα 89: Αίτηση προς τη Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών Π.Ε. Κοζάνης για τη χορήγηση άδειας φωτογράφισης και επιθεώρησης των τεχνικών έργων της Ε.Ο. 3