

ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

ΚΟΛΥΒΑΣ ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η πλειοψηφία των μη καταστρεπτικών ελέγχων ως προς την αποτελεσματικότητά τους στην ανίχνευση ελαττωμάτων σε επισκευασμένα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP). Παρατίθεται σύντομη περιγραφή των μεθόδων και τεκμηριωμένη κριτική αυτών με βάση την δυνατότητα χρήσης τους ως μέσο ελέγχου κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP). Συμπερασματικά παρουσιάζονται συνοπτικοί πίνακες με τα αποτελέσματα της έρευνας.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η χρήση ινοπλισμένων πολυμερών στην ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος αποτελεί μία επισκευαστική λύση που συνεχώς κερδίζει έδαφος. Παράλληλα όμως δημιουργείται το πρόβλημα του τρόπου ελέγχου των επισκευασμένων μελών από την στιγμή που τοποθετείται η ενίσχυση και μετά. Ένας τέτοιος έλεγχος θα χρειαζόταν για παράδειγμα μετά από έναν νέο σεισμό για τον καθορισμό των νέων επισκευών και συγχρόνως για την μελέτη της συμπεριφοράς των κατασκευών μετά την επισκευή τους, κάτι πολύ χρήσιμο για επόμενες επισκευές. Ο έλεγχος της διεπιφάνειας σκυροδέματος-πολυμερούς και του ίδιου του σκυροδέματος είναι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων αδύνατος με απλή παρατήρηση. Στο σημείο αυτό γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα ενός επί τόπου μη καταστρεπτικού ελέγχου (ΜΚΕ) για την εντόπιση τυχούσας αποκόλλησης σκυροδέματος-πολυμερούς ή ρωγμών στο σκυροδέμα.

1.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥΣ

Για αιώνες οι ιδιότητες των υλικών όπως η αντοχή τους ή το σημείο τήξης τους καθορίζονταν μέσω καταστρεπτικών μεθόδων που είχαν όμως ως προϋπόθεση την απώλεια της λειτουργικότητας των υπό εξέταση υλικών κατά την διάρκεια του ελέγχου. Οι μέθοδοι αυτές εξυπηρέτησαν την ανέγερση παλαιότερων κατασκευών, σήμερα όμως σπανίως μπορούν να χρησιμεύσουν στον σύγχρονο πολιτικό μηχανικό. Στις μέρες μας απαιτείται συνεχής έλεγχος της υγείας μιας κατασκευής, κάτι που μπορεί να γίνει σε μεγάλο βαθμό με οπτικό έλεγχο. Ωστόσο αυτός δεν αρκεί σε περιπτώσεις εσωτερικών ρωγμών, κενών ή υγρασίας, ο προσδιορισμός των οποίων απαιτεί πιο εξελιγμένες μεθόδους, όπως οι ενόργανοι μη καταστρεπτικοί έλεγχοι. Ο καλύτερος ορισμός που μπορεί να διατυπωθεί για έναν μη καταστρεπτικό έλεγχο (ΜΚΕ) είναι ο εξής:

Η διαδικασία που δεν οδηγεί σε καμία καταστροφή ή αλλαγή ενός υλικού ή στοιχείου υπό εξέταση και με την οποία είναι δυνατόν να ανιχνευθούν η παρουσία καταστάσεων ή ασυνεχειών.

Με τον όρο καμία καταστροφή εννοείται η διατήρηση της αντοχής, χημικής σύστασης και εμφάνισης του υλικού κατά την διάρκεια του ελέγχου καθώς και στη συνέχεια.

1.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει αναφορά στους περιορισμούς των ΜΚΕ. Αρχικά πρέπει να γίνει σαφές ότι ενώ ένας ΜΚΕ μπορεί να δώσει πληροφορίες για την τωρινή κατάσταση ενός υλικού δεν είναι απόλυτα ενδεικτικός για την συμπεριφορά του υλικού στο εγγύς μέλλον. Ακόμα κάθε είδος ΜΚΕ έχει δικούς του περιορισμούς που πρέπει να είναι γνωστοί πριν από την χρήση του. Συγκεκριμένα σημαντικοί παράγοντες είναι:

- το είδος του υλικού
- το πάχος του υλικού
- οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες
- η δυνατότητα τοπικής ή γενικής διάγνωσης
- η δυνατότητα επί τόπου διάγνωσης ή όχι

Τέλος πρέπει να τονισθεί ότι οι ΜΚΕ παρέχουν απλώς δεδομένα και όχι την ερμηνεία τους. Η συμβολή ενός καταρτισμένου μηχανικού είναι απαραίτητη τόσο για την κατανόηση των δεδομένων όσο και για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

1.4 ΕΙΔΙΚΑ ΓΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRP)

Σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων με FRP η πιο συνηθισμένη μορφή αστοχίας είναι η αποκόλληση των φύλλων FRP από την επιφάνεια κάτι που καταργεί την ενισχυτική τους ικανότητα. Επιγραμματικά πιθανοί λόγοι αποκόλλησης είναι: (βιβλιογρ.[14])

- Υγρασία
- Μεταβολές θερμοκρασίας (συστολή-διαστολή)
- Πάχος
- Ύγρανση-ξήρανση
- Χλωρικό ασβέστιο του σκυροδέματος (χημικές αλλοιώσεις)
- Αστοχία του FRP

Αστοχίες του ίδιου του FRP σπανίως συναντώνται, γιατί η αντοχή του ξεπερνά την αντοχή της σύνδεσης του με το σκυρόδεμα, είτε χρησιμοποιείται κονίαμα, είτε ρητίνη ως συνδετικό υλικό. Μικρές ρωγμές του ίδιου του σκυροδέματος περνούν σε δεύτερη μοίρα από την στιγμή που έχει εξασφαλιστεί η λειτουργία της ενίσχυσης. Άρα πρωταρχικός στόχος είναι η διάγνωση αποκολλήσεων και μάλιστα ο προσδιορισμός τόσο του βάθους τους, όσο και του μεγέθους τους, καθώς ακόμα και μια μικρή αποκόλληση μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα με την επέκτασή της στο μέλλον.

Σύμφωνα με τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο θα ακολουθήσει μια προσπάθεια καθορισμού των ΜΚΕ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εξειδικευμένη περίπτωση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων με FRP. Ένας τέλειος μη καταστρεπτικός έλεγχος αν αυτός υπάρχει θα πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Διάγνωση μιας ευρείας γκάμας ασυνεχειών χωρίς επίδραση στην επισκευασμένη κατασκευή σε απόδοση, επισκευασιμότητα και εμφάνιση.
- Διάγνωση σε πραγματικό χρόνο μεγάλων περιοχών χωρίς απώλεια της δυνατότητας τοπικών διαγνώσεων ακριβείας.
- Δυνατότητα μεταφοράς όλων των συσκευών και ευκολία στη χρήση κάτω από δύσκολες συνθήκες, όπως για παράδειγμα η έλλειψη χώρου.
- Εξαγωγή δεδομένων αντιπροσωπευτική των πραγματικών καταστάσεων χωρίς επιρροή από περιβαλλοντολογικές αλλαγές, εκτός και αν αυτές μπορούν να υπεισέλθουν στους υπολογισμούς.

Στην πραγματικότητα για την ικανοποίηση όλων των απαιτήσεων μπορεί να είναι αναγκαία η χρήση δύο ή περισσότερων μεθόδων.

Μέχρι σήμερα είναι λίγες οι πειραματικές έρευνες που έχουν διεξαχθεί προς την κατεύθυνση του ΜΚΕ οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένου με FRP. Ωστόσο υπάρχει πλήθος ερευνών για ΜΚΕ καταστρωμάτων γεφυρών πλήρως από FRP και βαθιά γνώση για την πλειοψηφία των μεθόδων ΜΚΕ στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, αν και ο συνδυασμός FRP, ρητίνης και σκυροδέματος θεωρείται ιδιότυπος. Μέθοδοι που δεν ταιριάζουν σε κανένα από τα υλικά αυτομάτως αποκλείονται, όπως για παράδειγμα μέθοδοι βασισμένες στον μαγνητισμό που βρίσκουν χρήση μόνο σε μεταλλικά στοιχεία. Θα γίνει περισσότερο εκτενής περιγραφή μεθόδων που τελικά βρίσκουν μερική ή πλήρη χρήση και λιγότερο αυτών που παρουσιάζουν αδυναμίες. Στις πρώτες θα παρατεθούν τόσο τα πλεονεκτήματα τους, όσο και πιθανά μειονεκτήματα, ενώ στις δεύτερες αποκλειστικά τα μειονεκτήματα που τις αποκλείουν.

2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ



2.1 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο οπτικός έλεγχος είναι η απλοϊκότερη αλλά συγχρόνως η σημαντικότερη μέθοδος διάγνωσης. Εφαρμόζεται στην αρχή κάθε έρευνας και καθορίζει την ανάγκη ή όχι ενός μη καταστρεπτικού ελέγχου τον οποίο πολλές φορές προσδιορίζει. Μπορεί να χωριστεί γενικά σε άμεσο και έμμεσο οπτικό έλεγχο. Ο άμεσος οπτικός έλεγχος έχει ως όργανα, πέρα από το ανθρώπινο μάτι, φακούς για επιπλέον φωτισμό, μεγενθυτικούς φακούς (σχήμα), μέτρο, βελόνες κ.α. Στον έμμεσο οπτικό έλεγχο χρησιμοποιούνται ψηφιακές κάμερες με δυνατότητα μεγένθυσης του ειδώλου καθώς και μικροσκοπικές κάμερες σε μορφή ίνας που μπορούν να εισέλθουν σε ρωγμή. Και τα δύο όργανα φωτίζουν την περιοχή της διάγνωσης και αποθηκεύουν σε ηλεκτρονική μορφή τις λήψεις τους για περαιτέρω ανάλυση. Τα κριτήρια διάγνωσης είναι χαρακτηριστικά των ρωγμών όπως το σχήμα, το μέγεθος και η υφή και η εκτίμηση τους εξαρτάται από τις γνώσεις και την εμπειρία του μηχανικού.



Στα πλεονεκτήματα του οπτικού ελέγχου συγκαταλέγονται:

- ο πραγματικός χρόνος εξαγωγής αποτελεσμάτων και το μηδενικό κόστος
- Ενώ στα μειονεκτήματα του οπτικού ελέγχου συγκαταλέγονται:
- η διάγνωση μόνο αν υπάρχουν επιφανειακές ρωγμές ή ανωμαλίες
- η αδυναμία διάγνωσης σε δυσπρόσιτα και σκοτεινά σημεία
- η περίπτωση ανθρώπινου λάθους

Συμπερασματικά ο οπτικός έλεγχος μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια σημαντική συμπληρωματική μέθοδος που πρέπει να εφαρμόζεται στην αρχή κάθε διάγνωσης.

2.2 ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΟΥΣΗΣ (ACOUSTIC IMPACT TESTING)



Ο ακουστικός έλεγχος κρούσης γίνεται απλά χτυπώντας με ένα αντικείμενο (π.χ. νόμισμα) την επιφάνεια πίσω από την οποία θέλουμε να διαγνώσουμε. Αν δεν έχει δημιουργηθεί αποκόλληση των στρωμάτων FRP από το σκυρόδεμα θα παραχθεί χαμηλής συχνότητας ήχος ενώ σε αντίθετη περίπτωση υψηλής. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εμπειρία του χρήστη καθώς χρειάζεται διάκριση των ήχων σε συνδυασμό με την δύναμη του χτυπήματος, ενώ αποκολλήσεις μικρού μεγέθους είναι αδύνατον να ανιχνευθούν. Παράπλευροι ήχοι ενοχλούν την διαδικασία και έτσι η μέθοδος είναι υποκειμενική και λειτουργεί μόνο ως συμπληρωματική.



Στην ίδια αρχή με πριν βασίζεται και η ενόργανη πιο διαδεδομένη εκδοχή της μεθόδου που μειώνει τα σφάλματα που προαναφέρθηκαν. Χρησιμοποιείται μία ειδική συσκευή, σαν σφυρί, με ενισχυτή ηχητικού κύματος, μετρητή της ισχύος του αποκρουόμενου κύματος και της διάρκειας της απόκρουσης. Η σχέση ισχύος-διάρκειας μέσω μετασχηματισμού Fourier μεταφράζεται σε συχνότητα. Παρατηρείται ότι λόγω της μείωσης της δυσκαμψίας στην περιοχή αποκόλλησης μειώνεται η ισχύς του αποκρουόμενου κύματος και αυξάνεται το εύρος του παλμού του. Από πειράματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι η μέθοδος ενώ μπορεί να διαγνώσει μικρές αποκολλήσεις ή ρωγμές του FRP, αδυνατεί να κατατάξει το μέγεθος των αποκολλήσεων μετά από ένα όριο και πάνω. Παράλληλα δεν εντοπίζει το ακριβές βάθος της αποκόλλησης ή το σχήμα της όποιας ρωγμής του FRP.

Συνοψίζοντας τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- η χρηστικότητα και η ευκολία μεταφοράς των εργαλείων
- η δυνατότητα ανίχνευσης τοπικά μικρών βλαβών
- το χαμηλό κόστος

Ωστόσο παραμένει μία χονδρική επιφανειακή μέθοδος που επί προσθέτως απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό για την μετατροπή των δεδομένων σε χρήσιμες πληροφορίες.

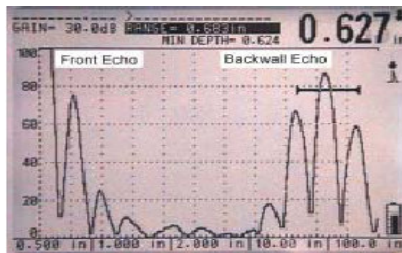
Χαρακτηρίζεται ως συμπληρωματική. (βιβλιογραφία[1],[2],[3],[13])



2.3 ΥΠΕΡΗΧΟΙ

Πρόκειται για μία πολύ εξελιγμένη μέθοδο με ιδιαίτερα ευρεία χρήση στην διάγνωση κατασκευών. Σύμφωνα με αυτήν τα στερεά υλικά είναι καλοί αγωγοί των ηχητικών κυμάτων, τα οποία ανακλώνται σε τυχούσες εσωτερικές ατέλειες, όπως διαφορές υλικών ή ασυνέχειες και τις εντοπίζουν. Όσο ισχυρότερη η αλληλεπίδραση του υλικού με το κύμα τόσο μικρότερο είναι το μήκος του κύματος και αντιστοίχως τόσο υψηλότερη η συχνότητα του. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται υψηλή συχνότητα ώστε η διάγνωση ατελειών να είναι σαφής. Παράλληλα όμως δημιουργείται σε μη ομογενή υλικά, όπως στην περίπτωση μας, το πρόβλημα της απώλειας ακουστικής ενέργειας λόγω απορρόφησης της ή διασκόρπισης της. Επιπλέον στα φύλλα FRP η απώλεια αυτή είναι διαφορετική ανάλογα με την γωνία εκπομπής του κύματος λόγω της μονοδιάστατης διαμόρφωσης των ινών τους. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με μείωση της συχνότητας κάτι όμως που δυσκολεύει όπως προαναφέρθηκε την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Οι συσκευές υπερήχων είναι αποτελούνται από έναν πομπό υπερηχητικού κύματος, έναν ελεγκτή της συχνότητας, ένα δέκτη του σήματος με ενσωματωμένο ενισχυτή για καλύτερη κατανόηση του και μία οθόνη προβολής δεδομένων. Ανάλογα με τον τρόπο σάρωσης προκύπτουν τρεις διαφορετικοί τρόποι προβολής. Ο πιο εξελιγμένος και σημαντικά ακριβότερος είναι με σταυροειδή σάρωση (C-scan) όπου προκύπτει δισδιάστατο γράφημα μίας περιοχής, ενώ είναι δυνατή η σύνδεση με H/Y για περαιτέρω ανάλυση. Πιο απλός είναι ο A-scan όπου σε ένα σύστημα συντεταγμένων χρόνου-ενέργειας σχηματίζεται μία γραφική παράσταση όπου τα μέγιστα συμβολίζουν κενά όπως στο σχήμα.



Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι ελέγχου όπως καταβύθισης, διαπεραστική, μη επαφής, Pulse-Echo, Plate -and Lamb wave. Χρήση βρίσκουν οι δύο τελευταίες με πιο συχνή την Pulse-Echo. Σύμφωνα με αυτήν η εκπομπή του σήματος γίνεται κάθετα από την μία μόνο

πλευρά του στοιχείου. Λόγω όμως της ανώμαλης επιφάνειας του σκυροδέματος πίσω από τα φύλλα του FRP το κύμα διασκορπίζεται και η διάγνωση είναι δυνατή μόνο σε χαμηλές συχνότητες, ώστε να μειωθεί το φαινόμενο αυτό. Ως αποτέλεσμα η διάγνωση δεν είναι σαφής, κάτι που αποτελεί βασικό μειονέκτημα της μεθόδου σε συνδυασμό με τον τοπικό τη χαρακτήρα. Αντίθετα στην μέθοδο Plate- and Lamb wave χρησιμοποιούνται δύο πομποί και τα κύματα ταξιδεύουν παράλληλα με τα φύλλα του FRP. Έτσι αποκολλήσεις, μικρού όμως βάθους, μπορούν να διαγνωστούν. Οι δύο μέθοδοι μπορούν να λειτουργήσουν συνδυαστικά, καθώς οι συσκευές παρέχουν διπλή δυνατότητα εφαρμογής όπως φαίνεται στο σχήμα.

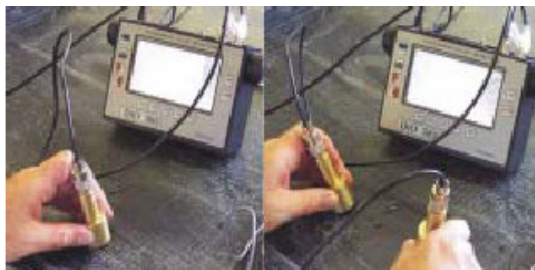
Συνοψίζοντας τα θετικά του ελέγχου με υπέρηχους είναι:

- εξαιρετική δυνατότητα μεταφοράς
- έλεγχος του στοιχείου από την μία πλευρά
- ικανοποιητικά αποτελέσματα

Τα αρνητικά του ελέγχου είναι:

- πιθανή αλλοίωση του σήματος λόγω της φύσης των υλικών (σκυρόδεμα και FRP)
- τοπικός χαρακτήρας που καθιστά χρονοβόρα την πλήρη μελέτη ενός στοιχείου
- πρόβλημα απόκρυψης μίας βαθύτερης αποκόλλησης από μία πιο ρηχή
- θερμοκρασιακές αλλαγές που επηρεάζουν την ταχύτητα του ήχου
- ιδιαίτερα υψηλό κόστος

Η μέθοδος χαρακτηρίζεται από συμπληρωματική έως πλήρως αποδεκτή. (βιβλιογρ. [1],[7])

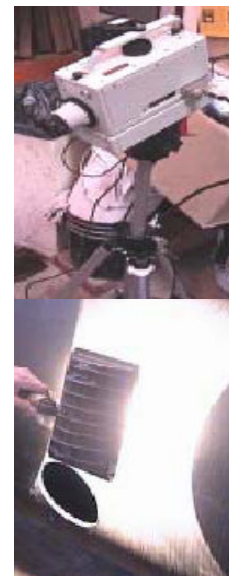


2.4 ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Πρόκειται για μία μέθοδο καταγραφής ισόθερμων. Χωρίζεται σε παθητική και ενεργητική με βασική διαφορά την διάγνωση κάτω από συνθήκες περιβάλλοντος στην παθητική, ενώ υπό εξωτερικά επιβαλλόμενες συνθήκες στην ενεργητική. Η πρώτη μπορεί να χαρακτηριστεί ως ποιοτική μέθοδος ενώ η δεύτερη ως ποσοτική. Παρά του ότι το φύλλο FRP αποτελείται από δυο υλικά, ένα σωστά τοποθετημένο φύλλο έχει ομοιογενή θερμικά χαρακτηριστικά. Σε περίπτωση αποκόλλησης ή ρωγμής εγκλωβίζεται θερμότητα στο κενό η οποία και καταγράφεται. Έτσι γίνεται διάγνωση του σημείου και της μορφής του προβλήματος. Σύμφωνα με την μέθοδο το στοιχείο συνήθως θερμαίνεται ή σπανίως ψύχεται με ειδικές συσκευές όπως λάμπες υπεριώδους ακτινοβολίας. Μια ειδική θερμογραφική κάμερα (σχήμα) καταγράφει το στοιχείο, ενώ σε μια κατά προτίμηση έγχρωμη οθόνη εμφανίζεται η καταγραφή. Βασική προϋπόθεση είναι η ομοιογενής θέρμανση του στοιχείου που πρόκειται να εξετασθεί. Για τον λόγο αυτό προτιμούνται αυτοματοποιημένες μέθοδοι.

Ο θερμογραφικός τύπος ελέγχου παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα όπως:

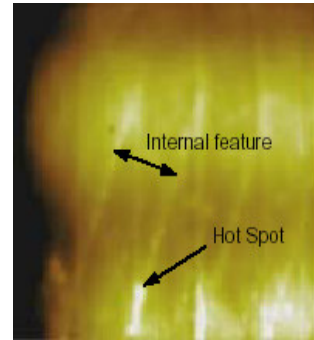
- διάγνωση με ταχύτητα τόσο μεγάλων και μικρών περιοχών
- διάγνωση από απόσταση και από την μία μόνο πλευρά κάτι που επιτρέπει έλεγχο δύσκολων σημείων όπως κόμβους
- δυνατότητα εύκολης μεταφοράς
- άριστη συνεργασία με το πολυμερές, καθώς το FRP δεν αντανακλά την υπεριώδη ακτινοβολία στην οποία υπόκειται
- σχετικά χαμηλό κόστος



Παράλληλα υπάρχουν και μειονεκτήματα όπως:

- δύσκολη διάγνωση ρωγμών σε μεγάλο βάθος, δηλαδή στο πυρήνα σκυροδέματος, εκτός αν είναι μεγάλες
- απαραίτητη εμπειρία του χρήστη για την μετατροπή των δεδομένων σε πληροφορίες

Η μέθοδος θεωρείται απόλυτα ικανοποιητική.
(βιβλιογραφία [1],[4],[5],[6])



2.5 ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ



Ο ακτινογραφικός έλεγχος είναι γνωστός από την ιατρική. Οι ακτίνες χ ή γ, που είναι μικρού κύματος ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες, διαπερνούν το στοιχείο ενώ συγχρόνως απομένει αρκετή ενέργεια για καταγραφή του ειδώλου. Η καταγραφή αυτή γίνεται είτε με ειδικό φιλμ, είτε ψηφιακά σε πραγματικό χρόνο. Ο δεύτερος τρόπος υπερτερεί καθώς επιτρέπει δυναμικό έλεγχο και επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Παράλληλα όμως απαιτεί περισσότερη ενέργεια. Και στους δύο τρόπους αναγκαία είναι η προσέγγιση του στοιχείου και από τις δύο πλευρές. Τα αποτελέσματα είναι απόλυτα ικανοποιητικά, καθώς μπορούν να διαγνωσθούν πολλαπλές αποκολλήσεις και ρωγμές στο σκυρόδεμα.

Δυστυχώς όμως η χρήση της μεθόδου σε επί τόπου ελέγχους είναι πολύ δύσκολη με βασικά αρνητικά:

- ανάγκη για υψηλή παροχή ενέργειας
- ανεπαρκής ασφάλεια των χρηστών
- υποχρεωτική προσέγγιση του στοιχείου και από τις δύο πλευρές
- υψηλό κόστος

Η μέθοδος θεωρείται αποδεκτή μόνο υπό προϋποθέσεις. (βιβλιογραφία [1],[9])



2.6 ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ



Ο έλεγχος αυτός βασίζεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συγκεκριμένης συχνότητας η οποία διαπερνά το στοιχείο και παράγει εικόνα.. Άρχισε να ερευνάται πολύ πρόσφατα με ικανοποιητικά όμως αποτελέσματα. Αν και σπανίως χρησιμοποιείται γενικά σε επισκευές κτηρίων, έχουν γίνει μερικές μελέτες ειδικά για τον εντοπισμό αποκολλήσεων FRP από σκυρόδεμα τόσο σε εργαστήρια όσο και σε κατασκευές. Σύμφωνα με τις μελέτες αυτές χρησιμοποιείται ένας δισδιάστατος σαρωτής με συσκευή ακτινοβολίας (σχήμα) και ένας καθέτηρας μικροκυμάτων με συνδεδεμένο έναν φορητό υπολογιστή για προβολή της εικόνας και επεξεργασίας της. Λόγω της διηλεκτρικής διαφοράς μεταξύ FRP, αέρα, σκυροδέματος, οποιαδήποτε αποκόλληση τοπική ή γενική μπορεί να ανιχνευθεί. Προσοχή χρειάζεται στην κάθετη εκπομπή της ακτινοβολίας στο στοιχείο.

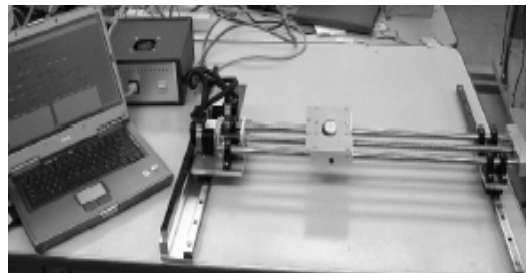
Πλεονεκτήματα της μεθόδου θεωρούνται:

- η δυνατότητα μεταφοράς των συσκευών
- τα ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο σε μεγάλες όσο και μικρές περιοχές

Μειονεκτήματα της μεθόδου θεωρούνται:

- η έλλειψη αρκετών ερευνών και τυποποιημένων συσκευών

Χαρακτηρίζεται ως πολλά υποσχόμενη, ικανοποιητική μέθοδος. (βιβλιογραφία [10],[11],[12])



2.7 ΕΚΠΟΜΠΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ (ACOUSTIC EMISSION)

Πρόκειται για μία παθητική μέθοδο με ομοιότητες με την μέθοδο υπερήχων καθώς και εδώ γίνεται χρήση υπερηχητικών κυμάτων. Βασική διαφορά είναι ότι εδώ γίνεται επεξεργασία κυμάτων που δημιουργούνται κατά την εμφάνιση βλαβών τις ίδιες της κατασκευής κάτω από συνθήκες φόρτισης. Επίσης ενώ στη μέθοδο υπερήχων γίνεται ποσοτικός έλεγχος, στη μέθοδο εκπομπής ακουστικών κυμάτων γίνεται μόνο ποιοτικός κάτι που την κατατάσσει γενικά ως συμπληρωματική μέθοδο. Γίνεται χρήση παρόμοιων συσκευών με την μέθοδο υπερήχων για την καταγραφή των κυμάτων, ενώ χρειάζεται συγκεκριμένη τράπεζα δεδομένων για ερμηνεία του κάθε ήχου. Πολλοί ήχοι έχουν καταγραφεί για αστοχίες σκυροδέματος και αρκετοί για αστοχίες στοιχείων FRP, αν και δεν υπάρχει κάτι για αποκολλήσεις του. Η μέθοδος χρησιμοποιείται για μακράς διάρκειας διάγνωση και εξαγωγή του ιστορικού της κατασκευής, ενώ προγενέστερες βλάβες δεν μπορούν να ανιχνευθούν. Συνοψίζοντας τα βασικά αρνητικά τις μεθόδου είναι:

- έλλειψη δεδομένων για FRP
 - αδυναμία επανάληψης των μετρήσεων
 - μακράς διάρκειας διάγνωση
 - αδυναμία διάγνωσης παλαιότερων βλαβών
 - απαραίτητη ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού
- Η μέθοδος κρίνεται ακατάλληλη. (βιβλιογρ. [1],[17])



2.8 ΕΛΕΓΧΟΣ “EDDY CURRENT”

Ο έλεγχος αυτός αφορά μεταλλικά στοιχεία. Ωστόσο λειτουργεί μερικώς και στο FRP λόγω των αγώγιμων ινών που περιέχει, ειδικά σε περιπτώσεις όπου η πυκνότητα αυτών είναι μεγάλη. Βέβαια η ηλεκτρική αντίσταση των ινών μέσα στο FRP είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν των μετάλλων και επομένως η αγωγιμότητα τους μικρή. Παρά όλα αυτά όμως μπορεί να διαγνώσει ρωγμές του ίδιου του FRP αλλά όχι αποκολλήσεις του.

Με δεδομένο ότι οι αποκόλληση του FRP είναι σαφώς συχνότερο και πιθανότερο φαινόμενο, η μέθοδος απορρίπτεται. (βιβλιογρ. [1])

2.9 ΔΙΑΠΕΡΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε μη πορώδη υλικά και σύμφωνα με αυτήν διαχέεται ή ψεκάζεται ειδικό υγρό στη ρωγμή το οποίο στη συνέχεια γίνεται ορατό με ειδικά χημικά ή με ειδικό φωτισμό. Ακολουθεί απομάκρυνση του υγρού και προσεκτικός καθαρισμός. Πρόκειται για μία απλή και φτηνή μέθοδο με βασικά όμως μειονεκτήματα στη περίπτωση που αναλύεται:

- ανιχνεύει μόνο το μήκος ρωγμών που έχουν φτάσει στην επιφάνεια χωρίς να υπολογίζει το βάθος τους ή πιθανή αποκόλληση ενός βαθύτερου στρώματος FRP
- εμποδίζεται η διείσδυση του υγρού σε μια πιθανή ρωγμή λόγω τραχύτητας του FRP. Επομένως η μέθοδος αυτή απορρίπτεται. (βιβλιογρ. [1])



2.10 ΕΛΑΦΟ-ΔΙΑΠΕΡΑΣΤΙΚΟ RADAR (GROUND-PENETRATING RADAR)



Και αυτή η μέθοδος βασίζεται σε εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων διαφόρων συχνοτήτων, αυτή την φορά από μία αντένα, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται στα αεροδρόμια για τον προσδιορισμό κινούμενων αντικειμένων. Λειτουργεί και σε σταθερά αντικείμενα όπου τα κύματα που αντανακλώνται δίνουν πληροφορίες για κενά ή ρωγμές, λόγω της διηλεκτρικής διαφοράς σκυροδέματος-αέρα. Χρησιμοποιείται η αντένα για εκπομπή και λήψη των κυμάτων και μία οθόνη προβολής των αποτελεσμάτων. Πρόσφατα άρχισε να χρησιμοποιείται σε διάγνωση ρωγμών οπλισμένου σκυροδέματος και αποκολλήσεων σκυροδέματος σε προεντεταμένα καταστρώματα γεφυρών. Ωστόσο δεν έχει βρει εφαρμογή σε διαγνώσεις FRP. Παράλληλα αδυνατεί να εντοπίσει κενά σε μικρό βάθος, όπως είναι οι αποκολλήσεις. Συνοψίζοντας βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- μη ύπαρξη παλαιότερων διαγνώσεων στοιχείων FRP
- αδυναμία εντόπισης βλαβών μικρού βάθους, όπως οι αποκολλήσεις
Επομένως η μέθοδος αυτή απορρίπτεται. (βιβλιογρ. [1],[16])

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ

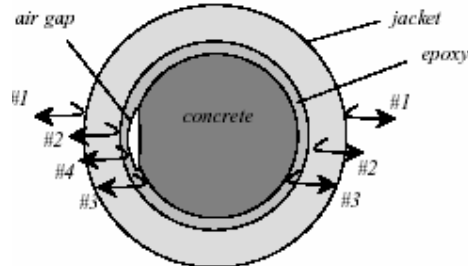
Προηγήθηκε σύντομη περιγραφή και κριτική της πλειοψηφίας των μη καταστρεπτικών μεθόδων όσον αφορά την διάγνωση αστοχιών σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων με FRP. Απαραίτητη τώρα είναι η κατάταξη των μεθόδων, που θα γίνει με βάση δύο βασικά κριτήρια την διαγνωστική ικανότητα και την πρακτικότητα

Με τον όρο διαγνωστική ικανότητα εννοείται:

- η διάγνωση πολλών τύπων αστοχιών και κυρίως της αποκόλλησης (σχήμα)
- η διάγνωση της μικρότερης δυνατής αστοχίας
- η διάγνωση σε όλα τα βάθη

Με τον όρο πρακτικότητα εννοείται:

- η δυνατότητα εύκολης μεταφοράς
- η δυνατότητα τοπικού και γενικού ελέγχου
- η δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο
- η ευκολία ερμηνείας των αποτελεσμάτων
- το κόστος



Με βάση την ανάλυση και κριτική των μεθόδων που προηγήθηκε προκύπτει ο σχετικός πίνακας βαθμολόγησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΛΕΓΧΩΝ*

Έλεγχος	Ικανότητα διάγνωσης	Πρακτικότητα
Οπτικός	+++	+++++
Ακουστικός κρούσης	+++	+++++
Υπέρηχοι	++++	++++
Θερμογραφικός	+++++	++++
Ακτινογραφικός	++++	+++
Μικροκυμάτων	++++	++++
Εκπομπής ακουστικών κυμάτων	+	+++
“Eddy Current”	--	++
Διαπεραστικός	--	++
Εδαφο-διαπεραστικό radar	--	++

*Βαθμολόγηση από μηδέν (--) έως πολλά θετικά στοιχεία (+++++)

3.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ

Σύμφωνα με την βαθμολόγηση βάσει κριτηρίων οι μέθοδοι θα καταταχτούν σε:

- Πλήρως αποδεκτές:
Μέθοδοι που ικανοποιούν στο μέγιστο βαθμό τα κριτήρια της διαγνωστικής ικανότητας και της πρακτικότητας.
- Αποδεκτές υπό προϋποθέσεις:
Μέθοδοι που πληρούν τα κριτήρια αλλά με συγκεκριμένους περιορισμούς (π.χ. ο έλεγχος μικροκυμάτων που χρήζει εκτενέστερης έρευνας).
- Συμπληρωματικές:
Μέθοδοι που πληρούν μερικώς τα κριτήρια αλλά είναι απαραίτητες για μία αρχική, οικονομική και γρήγορη προσέγγιση του ελέγχου.
- Απορριπτές:
Μέθοδοι που δεν ταιριάζουν καθόλου με το είδος του ελέγχου που εξετάζεται Έτσι προκύπτει ο σχετικός πίνακας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ

ΠΛΗΡΩΣ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ	ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ
ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΥΠΟ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ	ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ
ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ	ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΟΥΣΗΣ
ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΕΣ	ΕΚΠΟΜΠΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΣ “EDDY CURRENT” ΔΙΑΠΕΡΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΔΑΦΟ-ΔΙΑΠΕΡΑΣΤΙΚΟ RADAR

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στις μέρες μας η χρήση των ινοπλισμένων πολυμερών για την επισκευή στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος κερδίζει την εμπιστοσύνη όλο και περισσότερων Πολιτικών Μηχανικών κάτι που αφήνει υποσχέσεις για συχνή εφαρμογή τους στο μέλλον. Παράλληλα όμως δημιουργείται το πρόβλημα της μη καταστρεπτικής διάγνωσης των επισκευασμένων στοιχείων. Για το λόγο αυτό έγινε περιγραφή και σχετική κριτική, στο μέτρο του δυνατού, της πλειοψηφίας των μη καταστρεπτικών μεθόδων βάσει ερευνών και εφαρμογών τους. Το αποτέλεσμα ήταν η γενική κατάταξή τους με βάση την αποτελεσματικότητά τους. Η έρευνα αυτή αποτελεί μία προσπάθεια προσέγγισης του θέματος και έναυσμα για περαιτέρω διερεύνηση, ώστε να έχει ο Πολιτικός Μηχανικός μεγαλύτερη δυνατότητα επιλογής στο έργο του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kaiser Henning, Vistasp M. Karbhari, *Quality and monitoring of structural rehabilitation measurew, Part 2, Review and assessment of Non-destructive Testing (NDT) Techniques.*
2. N.Maerz, G.Galecki, and A.Nanni, *Experimental non-destructive testing of FRP materials, installation, and performance, Dallas county bridge, Missouri, USA.*
3. M.Ekenel, J.J.Myers, *Nondestructive testing of Dallas county bridge in Missouri, USA.*
4. R.L.Limerick, P.V.Mtenga and K.S.Tewfiq, *IRT evaluation of bond layer thickness for CFRP bonded to concrete.*
5. John M.Lever, H.R.Hamilton III, *Nondestructive evaluation of Carbon Fiber-Reinforced Polymer-Concrete bond using infrared thermography.*
6. A. Kamoi¹, M. Yamada², Y. Okamoto³, and S. M. Shepard⁴, *Study on the detectability of buried Defects in Concrete Structures by using transient infrared thermography for health monitoring.*
7. Martin Krause, Frank Mielentz, Boris Milmann, Doreen Streicher *Ultrasonic imaging of concrete elements, state of the art using 2D synthetic aperture.*
8. Center of Excellence Project-thermal, *Conductive behaviours of FRP composites.*
9. Maria Q. Feng, Franco De Flaviis, Yoo Jin Kim, and Rudy Diaz, *Application of Electromagnetic Waves in Damage Detection of Concrete Structures.*
10. V. Stephen, S. Kharkovsky, J. Nadakuduti, R. Zoughi, *Microwave field measurement of delaminations in CFRP concrete members in a bridge.*
11. Yoo Jin Kim¹, Luis Jofre², Franco De Flaviis, and Maria Q. Feng, *Microwave sub-surface imaging technology for damage detection of concrete structures.*
12. Oral Buyukozturk, Joonsang Park, and Ching Au, *Non-Destructive Evaluation of FRP-Confinde Concrete Using Microwaves.*
13. Chih-Hung Chiang, Chia-Chi Cheng, and Tine-Che Liu, *Improving signal processing of the impact-echo method using continuous wavelet transform.*
14. Ronald S. Harichandran, *Sensors to Monitor Bond in Concrete Bridges Rehabilitated with FRP.*
15. A. Nanni, and A. Lopez, *Validation of FRP composite technology through field testing.*
16. T. De Souza¹, A.P. Annan¹, J.D. Redman¹, and N. Hu ¹, *Monitoring the GPR response of curing concrete.*
17. G.Kalogiannakis¹, D. Van Hemelrijck¹, F. Boulpaep¹ and B. De Lhoneux², *Acoustic emission activity in ductile fiber reinforced cementitious composites.*

Γενικά βοήθησαν οι παρακάτω ηλεκτρονικές διευθύνσεις:

<http://www.ndt.net/article/ndtce03/toc.htm>

<http://www.ndt.net/article/wcndt00/toc/civ.htm>

http://www.ndt.net/article/wcndt2004/civil_structures.htm

<http://www.ndt.net/>