

# Πρόταση Προδιαγραφών Ποιοτικού Ελέγχου Έγχυτων Πασσάλων με Μη - Καταστροφικές Μεθόδους.

## Proposal for Specifications for the Quality Control of Bored Piles Using Non-Destructive Methods

Φίκιρης, Ι. Φ.  
Καβουνίδης, Σ.  
Ντουνιάς, Γ.

Πολιτικός Μηχανικός MSc, DIC, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.  
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.  
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.  
v. Professor Imperial College, London

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος “Αντισεισμική Προστασία Γεφυρών” (ΑΣΠΡΟΓΕ) συντάχθηκε και παρατίθεται συνοπτικά το πλαίσιο οργάνωσης, κριτηρίων επιλογής και έκτασης ενός προγράμματος ποιοτικού ελέγχου φρεατοπασσάλων για έργα θεμελιώσεων με μη-καταστροφικές μεθόδους και παρουσιάζεται πρόταση προδιαγραφών εκτέλεσης δοκιμών για τις δύο πλέον διαδεδομένες μεθόδους ποιοτικού ελέγχου: i) την υπερηχητική μέθοδο αντιδιαμετρικής διάταξης (Ultrasonic Cross-Hole) και ii) τη μέθοδο παλμικής απόκρισης (Transient Response).

**ABSTRACT :** As part of the research program entitled “ASProGe: Seismic Protection of Bridges”, the framework for the organization, selection and extend of a quality control program for foundations on bored piles using non-destructive testing methods was compiled and briefly summarized. A proposal for specifications is presented for the two most widely used quality control testing methods: i) Ultrasonic Cross-Hole method and ii) Transient Response method.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Την τελευταία δεκαπενταετία με την ευκαιρία κατασκευής των μεγάλων οδικών έργων υποδομής (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ, ΠΑΘΕ κτλ) αλλά και της έντονης αστικής ανάπτυξης, χρησιμοποιήθηκαν σε πολλές περιπτώσεις γεφυρών και κτιρίων, λύσεις θεμελιώσεων με φρεατοπασσάλους. Σε αντίθεση με τα λοιπά τμήματα των ανωδομών των κατασκευών στα οποία πέραν των απαιτούμενων ελέγχων ποιότητας υφίσταται η δυνατότητα οπτικής επιβεβαίωσης τουλάχιστον της επιθυμητής γεωμετρίας, οι θεμελιώσεις με πασσάλους αποτελούν αφανείς εργασίες η ποιότητα κατασκευής των οποίων είναι δύσκολο να ελεγχθεί άμεσα.

Ελλείπει Ελληνικών προδιαγραφών που να αφορούν κυρίως τη διαδικασία τήρησης μιας αποδεκτής μεθοδολογίας υλοποίησης ορισμένων κατ’ ελάχιστο δοκιμών ποιοτικού ελέγχου σε βαθιές θεμελιώσεις, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος “Αντισεισμική Προστα-

σία Γεφυρών” (ΑΣΠΡΟΓΕ), επιχειρήθηκε η σύνοψη των διαθέσιμων μεθόδων αλλά και η σύνταξη προδιαγραφών / διαδικασιών οι οποίες απαιτείται να τηρηθούν κατά την παραγωγή των έργων σε συνδυασμό με την ορθή χρήση των διαθέσιμων διεθνών προδιαγραφών που αφορούν την μεθοδολογία της κάθε δοκιμής καθαυτή. Οι προδιαγραφές επικεντρώνονται στην πλέον συνήθη μέθοδο ελέγχου ακεραιότητας φρεατοπασσάλων μέσω παλμικής απόκρισης [Transient Response – (TRM), ASTM D5882 (2007)] και στην πιο εξειδικευμένη υπερηχητική μέθοδο αντιδιαμετρικής διάταξης (Ultrasonic Cross-Hole (USCH), ASTM D6760 (2008) και AFNOR - NF P94-160-1 (2000)]. Αναλυτική περιγραφή των διαθέσιμων μεθόδων ποιοτικού ελέγχου βαθιών θεμελιώσεων με μη-καταστροφικές μεθόδους παρουσιάζεται από τους Rhyner & Hertlein (2005), Hertlein & Davis (2006) και το CIRIA Report 144 (1997).

ΦΙΚΙΡΗΣ Ι. Φ. & ΚΑΒΟΥΝΙΔΗΣ Σ. & ΝΤΟΥΝΙΑΣ Γ. Θ.

Πρόταση προδιαγραφών ποιοτικού ελέγχου έγχυτων πασσάλων με μη – καταστροφικές μεθόδους.

## 2. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

### 2.1 Γενικά

Η απαίτηση για υψηλού επιπέδου ποιότητας κατασκευής των τεχνικών έργων, οδήγησε στην ανάπτυξη μεθόδων μέτρησης και στην εξέλιξη ειδικών συσκευών και οργάνων (Hertlein B. & Davis A. 2006), με τη βοήθεια των οποίων παρέχονται χρήσιμες πληροφορίες για την έγκαιρη διαπίστωση κατασκευαστικών προβλημάτων, ιδίως σε τεχνικά έργα τα οποία εμπεριέχουν αφανείς εργασίες, όπως π.χ. οι πάσσαλοι θεμελίωσης.

Η προδιαγραφή ενός σύγχρονου και αποτελεσματικού συστήματος ποιοτικού ελέγχου προϋποθέτει την κατανόηση των ιδιαιτεροτήτων κάθε έργου, τη γνώση του τρόπου με τον οποίο οι μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά, αλλά και τη γνώση των συσκευών και οργάνων μέτρησης που διατίθενται στην αγορά.

Το είδος, η συχνότητα των μετρήσεων και ο τύπος των οργάνων που είναι απαραίτητα για τον ποιοτικό έλεγχο πασσάλων θεμελίωσης ή αντιστήριξης εξαρτώνται από τον τύπο, το μέγεθος και τις ειδικές απαιτήσεις κάθε έργου.

Σε γενικές γραμμές ένα πρόγραμμα ποιοτικού ελέγχου φρεατοπασσάλων για να είναι οικονομικό και να παρέχει χρήσιμες, αντιπροσωπευτικές και αξιόπιστες μετρήσεις απαιτείται:

- i) να λαμβάνει υπόψη τις εφαρμοζόμενες κατασκευαστικές μεθόδους κατασκευής,
- ii) να λαμβάνει υπόψη τις επιτόπου γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες στο έργο,
- iii) να λαμβάνει υπόψη τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διαθέσιμων μετρητικών μεθόδων ποιοτικού ελέγχου.
- iv) να έχει οριοθετήσει εξ' αρχής τα προσδοκώμενα αποτελέσματα.

v) να δίνει βαρύτητα στον έλεγχο των πρώτων στη σειρά κατασκευής πασσάλων έτσι ώστε να εξασφαλίζεται και να επιβεβαιώνεται η ορθότητα / καταλληλότητα της κατασκευαστικής μεθόδου που εφαρμόζεται.

### 2.2 Συλλογή πληροφοριών πριν τις δοκιμές

Οι βασικές πληροφορίες που απαιτείται να συλλεχθούν και να αξιολογηθούν πριν την εκτέλεση οποιασδήποτε μεθόδου ποιοτικού ελέγχου πασσάλων είναι οι εξής:

- Γενικές πληροφορίες για το έργο και τις θεμελιώσεις
- Κατασκευαστικά σχέδια πασσάλων

- Διαστάσεις και τύποι πασσάλων
- Μέθοδος κατασκευής πασσάλων (διαθέσιμος εξοπλισμός, ποιότητα σκυροδέματος, διαδικασία σκυροδέτησης κτλ)
- Γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες
- Ισχύουσες προδιαγραφές ποιοτικού ελέγχου πασσάλων (ελάχιστος αριθμός ελέγχων, τύποι δοκιμών κτλ)

### 2.3 Κριτήρια επιλογής μεθόδου

Η βέλτιστη μή-καταστροφική μέθοδος ελέγχου ακεραιότητας πασσάλου απαιτείται να παρέχει πληροφορίες για όλες τις πιθανές ατέλειες (βάθος, έκταση κτλ). Οι έλεγχοι θα πρέπει να συνδυάζονται και με τις εκάστοτε οικονομικές δυνατότητες στα έργα καθώς και με την ευχρηστικότητα της κάθε μεθόδου λαμβάνοντας υπόψη και την απαίτηση απρόσκοπτης συνέχειας του ρυθμού κατασκευής του εργοταξίου. Η βέλτιστη μέθοδος ποιοτικού ελέγχου πασσάλων θα πρέπει να εξάγει αποτελέσματα σε μικρό χρονικό διάστημα και, αν είναι δυνατόν, επί τόπου ώστε να μην καθυστερούν οι εργασίες. Τα αποτελέσματα θα πρέπει να είναι σαφή και η ερμηνεία τους να οδηγεί σε αποδοχή ή απόρριψη του πασσάλου.

Κατά την επιλογή μεθόδου ελέγχου ακεραιότητας πασσάλων, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου, ωστόσο επιχειρώντας μια κατηγοριοποίηση αυτών κρίνεται ότι για βαθιές θεμελιώσεις μεγάλης διαμέτρου ( $D > 80\text{cm}$ ), η υπερηχητική μέθοδος (USCH) είναι η πιο ενδεδειγμένη. Στην περίπτωση πασσάλων μικρής διαμέτρου (Μήκος/Διάμετρος  $< 30$ ) και ιδίως εντός εδαφικών σχηματισμών οι μέθοδοι παλμικής αντήχησης (Pulse Echo) και παλμικής απόκρισης (TRM) είναι αρκετά αξιόπιστες. Σε κάθε περίπτωση η εφαρμογή περισσότερων της μιας μεθόδου ποιοτικού ελέγχου πασσάλων συνίσταται.

### 2.4 Έκταση προγράμματος ποιοτικού ελέγχου πασσάλων

Ο αριθμός των πασσάλων που θα ελεγχθεί και οι μέθοδοι ελέγχου που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε πάσσαλο πρέπει να προσδιορίζονται κατόπιν τεκμηριωμένης πρότασης που θα λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες που υπεισέρχονται για τη βέλτιστη ανάκτηση των απαιτούμενων πληροφοριών. Γενικά ο αριθμός των πασσάλων που θα ελέγχεται, αποφασίζεται με βάση πλήθος παραμέτρων όπως η γεωτεχνική κατηγορία του έργου κατά τον

ΦΙΚΙΡΗΣ Ι. Φ. & ΚΑΒΟΥΝΙΔΗΣ Σ. & ΝΤΟΥΝΙΑΣ Γ. Θ.

Πρόταση προδιαγραφών ποιοτικού ελέγχου έγχυτων πασσάλων με μη – καταστροφικές μεθόδους.

Ευρωκώδικα 7, ο αριθμός και το μέγεθος των πασσάλων (π.χ. διάμετρος και βάθος) κτλ.

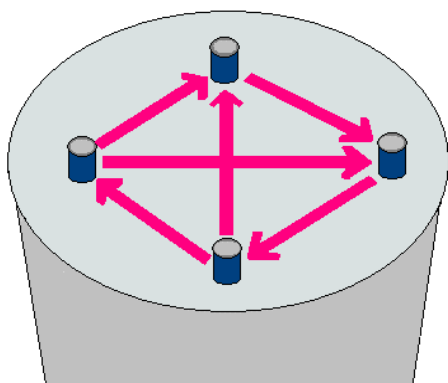
Για το ζήτημα του απαιτούμενου αριθμού των πασσάλων που θα πρέπει να ελεγχθούν δεν υφίσταται διεθνώς κάποια ισχύουσα τεχνική προδιαγραφή. Στην Ελλάδα, οι τεχνικές προδιαγραφές του Υπ. ΥΠ.ΜΕ.ΔΙ για έγχυτους πασσάλους και φρεατοπασσάλους με αφαίρεση του εδαφικού υλικού (ΤΣΥ Άρθρο Γ-10, Παρ. 10.5.3.2) αναφέρουν λακωνικά για την απαίτηση ελέγχου συνέχειας της σκυροδέτησης πασσάλων: "Ο Ανάδοχος είναι υποχρεωμένος μαζί με την υποβολή των στοιχείων της μεθόδου κατασκευής των πασσάλων (παρ. 10.5.2.1.α) να υποβάλει στην Υπηρεσία και μέθοδο ελέγχου της συνέχειας της σκυροδέτησης των πασσάλων χωρίς καταστροφή του έργου (NON DESTRUCTIVE METHODS, INTEGRITY TESTS) με ακτίνες γ, ακουστικές μεθόδους κλπ. Η παραπάνω μέθοδος θα πρέπει να έχει διαμορφωθεί σε συνεργασία με ειδικευμένο τεχνικό οίκο ή τον Οίκο Ποιοτικού Ελέγχου (ΟΠΕ) (εφόσον προβλέπεται η χρησιμοποίηση ΟΠΕ στη σύμβαση) και υποκειται στην έγκριση της Υπηρεσίας."

### 3. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΡΟΥΤΙΝΑΣ

#### 3.1 Υπερηχητική μέθοδος (USCH)

##### 3.1.1 Επισκόπηση της Μεθόδου

Η μέθοδος βασίζεται στην αποστολή υπερηχητικών παλμών μεταξύ σωλήνων που έχουν τοποθετηθεί μέσα στον πάσσαλο. Ο χρόνος άφιξης και η ένταση του σήματος είναι συνάρτηση της ποιότητας του σκυροδέματος. Για ομοιογενές σκυρόδεμα και κατακόρυφα τοποθετημένους σωλήνες σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους,



Σχήμα 1. Σχηματική παρουσίαση της υπερηχητικής μεθόδου αντιδιαμετρικής διάταξης (USCH)  
Figure 1. Schematic of the basic Ultra-Sonic Cross-Hole test set-up.

ΦΙΚΙΡΗΣ Ι. Φ. & ΚΑΒΟΥΝΙΔΗΣ Σ. & ΝΤΟΥΝΙΑΣ Γ. Θ.

Πρόταση προδιαγραφών ποιοτικού ελέγχου έγχυτων πασσάλων με μη – καταστροφικές μεθόδους.

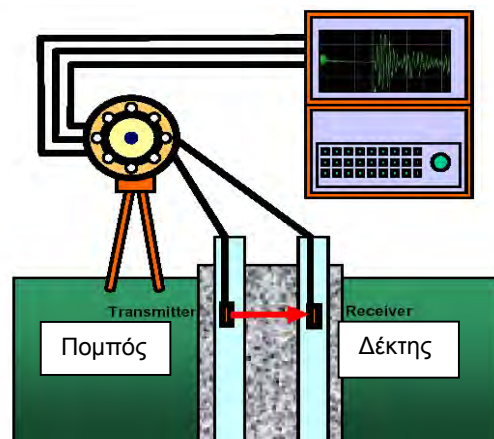
οι χρόνοι άφιξης που καταγράφονται είναι ίσοι μεταξύ τους με λογικές τιμές ταχύτητας και έντασης του παλμού. Ατέλειες όπως υλικά καταπτώσεων, ισχνό σκυρόδεμα, κενά και εγκλείσματα προκαλούν καθυστέρηση στους χρόνους άφιξης και μείωση της έντασης του σήματος. Οι διαδικασίες εκτέλεσης της μεθόδου τυποποιούνται από το ASTM D6760 (2008) και το AFNOR - NF P94-160-1 (2000).

#### 3.1.2 Απαιτήσεις Προσωπικού

α) Μηχανικός ποιοτικού ελέγχου. Απαιτείται η παρουσία εξειδικευμένου μηχανικού ποιοτικού ελέγχου για την εποπτεία της δοκιμής και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Ο μηχανικός ποιοτικού ελέγχου, εφόσον δεν προέρχεται από ανεξάρτητο ειδικευμένο τεχνικό οίκο ή τον Οίκο Ποιοτικού Ελέγχου (ΟΠΕ) δύναται να προέρχεται και από το ανθρώπινο δυναμικό του αναδόχου μόνον ωστόσο μετά την έγκριση της επιβλέπουσας Υπηρεσίας και κατόπιν της έγκαιρης ειδοποίησης αυτής με την οποία θα διαβιβάζεται και σχετικό βιογραφικό.

β) Εξειδίκευση χειριστών. Για την εκτέλεση δοκιμής απαιτείται η παρουσία εκπαιδευμένου χειριστή του εξοπλισμού εκτέλεσης των δοκιμών. Κατά τα λοιπά ισχύουν κατ' αντιστοιχία όσα ισχύουν και για το επικεφαλής Μηχανικό.

γ) Υποχρεώσεις αναδόχου. Ο ανάδοχος θα παρέχει κάθε βοήθεια, κατάλληλη πρόσβαση στην περιοχή και τις θεμελιώσεις που εξετάζονται, και προσωπικό για την υποβοήθηση στην εκτέλεση των απαραίτητων δοκιμών. Πριν από τη δοκιμή, απαιτείται να έχουν προσκομισθεί στον Μηχανικό ποιοτικού ελέγχου όλες οι απαραίτητες κατασκευαστικές πληροφορίες για τους πασσάλους και θα τηρείται πρότυπο μητρώο κατασκευαστικών πληροφοριών.



### 3.1.3 Απαιτήσεις Εξοπλισμού

Οι δοκιμές θα γίνονται με χρήση κατάλληλου συστήματος συλλογής δεδομένων που πλήρη τις ελάχιστες προδιαγραφές των σχετικών προτύπων (ASTM κτλ). Τα όργανα (πομπός – δέκτης) θα είναι διαμέτρου μικρότερης από 2.75cm για να σύρονται ελεύθερα μέσα στους σωλήνες. Τέλος, θα παρέχονται αισθητήρες βάθους ώστε να προσδιορίζονται ανά πάσα στιγμή τα βάθη των οργάνων στον πάσσαλο.

### 3.1.4 Σωλήνες πρόσβασης

Οι πάσσαλοι που προβλέπεται να ελεγχθούν απαιτείται να εξοπλιστούν με κατάλληλους σωλήνες πρόσβασης για την εκτέλεση των δοκιμών. Δεν συνιστάται να τοποθετούνται λιγότεροι από 4 σωλήνες σε κάθε πάσσαλο. Ως κανόνας μπορεί να ακολουθηθεί, ένας σωλήνας ανά 0.20-0.30m της διαμέτρου του πασσάλου. Οι πάσσαλοι που θα εξεταστούν επιλέγονται πριν την κατασκευή τους από τον μηχανικό ποιοτικού ελέγχου ή ορίζονται από τη μελέτη. Εάν ανιχνευθούν σημαντικές κατασκευαστικές ατέλειες, ο αριθμός πασσάλων που θα ελεγχθεί απαιτείται να αυξηθεί.

Για την ελεύθερη και ανεμπόδιστη διεξαγωγή των δοκιμών θα χρησιμοποιούνται στρογγυλοί σωλήνες με λεία εσωτερική διάμετρο 38-50mm, συμπεριλαμβανομένων των συνδέσεων τους. Συνιστάται η χρήση μεταλλικών σωλήνων λόγω καλύτερης πρόσφυσης με το σκυρόδεμα. Οι σωλήνες θα είναι υδατοστεγανοί και απαλλαγμένοι από διάβρωση με καθαρά εξωτερικά τοιχώματα για να εξασφαλισθεί η καλή πρόσφυση με το σκυρόδεμα. Οι σωλήνες μπορεί να επεκτείνονται με μηχανικές συζεύξεις. Θα εγκαθίστανται από τον ανάδοχο κατακόρυφοι και σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις γύρω από την περιφέρεια του πασσάλου, έτσι ώστε να είναι παράλληλοι μεταξύ τους και να απέχουν την μέγιστη δυνατή απόσταση με τρόπο ώστε ο πομπός και ο δέκτης να διατρέχουν ολόκληρο το μήκος του σωλήνα χωρίς εμπόδια. Απαιτείται να εκτείνονται 150mm κάτω από την αιχμή του πασσάλου, τουλάχιστον 1m πάνω από το πέρας της σκυροδέτησης και τουλάχιστον 0.6m αλλά όχι περισσότερο από 1.5m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Ο πυθμένας των σωληνώσεων απαιτείται να είναι κλειστός για να αποφευχθεί η εισροή σκυροδέματος εντός αυτών. Οι κορυφές των σωλήνων πρέπει να καλύπτονται ώστε να αποφευχθεί η εισροή ακαθαρσιών.

Σε περίπτωση που οι σωλήνες πρόσβασης

δεν έχουν εγκατασταθεί κατά την κατασκευή του πασσάλου, μπορούν να εγκατασταθούν εκ των υστέρων με διάτρηση μέσα από τον κλωβό του οπλισμού.

### 3.1.5 Χρόνος διεξαγωγής

Η δοκιμή δεν πρέπει να διεξαχθεί πριν την πάροδο 7 ημερών από την σκυροδέτηση, αλλά μέσα σε 45 μέρες από την κατασκευή, ή σε 10 μέρες εάν πρόκειται για πασσάλους στους οποίους θα πραγματοποιηθούν και δοκιμές φορτίσεως. Γενικά λόγω της αύξησης της αντοχής του σκυροδέματος με το χρόνο συνήθως συστήνεται επαρκής χρόνος αναμονής πριν την δοκιμή. Στην περίπτωση χρήσης σωλήνων PVC σημειώνεται ότι οι μεγάλοι χρόνοι αναμονής αυξάνουν το ποσοστό διαχωρισμού των σωλήνων από το σκυρόδεμα με επιβλαβείς συνέπειες για την δοκιμή.

### 3.1.6 Εφαρμογή μεθόδου

Ο πομπός και ο δέκτης πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο βάθος μέσα στους σωλήνες πρόσβασης, εκτός εάν υπάρχουν ενδείξεις για ύπαρξη ανωμαλιών οπότε μπορούν να τοποθετηθούν σε διαφορετικά βάθη για τον προσδιορισμό της έκτασης των ανωμαλιών. Η δοκιμή πρέπει να διεξάγεται μεταξύ όλων των πιθανών συνδυασμών ζευγών σωλήνων πρόσβασης.

Ο πομπός και ο δέκτης κινούνται προς τα κάτω μέχρι να φτάσουν στη βάση των σωλήνων πρόσβασης. Κατόπιν ανασηκώνονται, ταυτόχρονα, αργά και σταθερά προς την κεφαλή του πασσάλου και λαμβάνονται μετρήσεις ανά διαστήματα 50mm ή λιγότερο. Ελαττώματα που ανιχνεύονται λόγω καθυστέρησης άφιξης του σήματος ή εξασθένησής του πρέπει να καταγράφονται και να αναφέρονται άμεσα. Η διεξαγωγή επιπρόσθετων δοκιμών μπορεί να κριθεί αναγκαία για την αξιολόγηση της έκτασης τυχόν ανωμαλιών. Σε περίπτωση που υπάρχουν ενδείξεις αποκόλλησης μεταξύ των σωλήνων και του σκυροδέματος, απαιτείται εφαρμογή εναλλακτικής μεθόδου ελέγχου.

### 3.1.7 Αποτελέσματα δοκιμής

Τα τελικά αποτελέσματα υποβάλλονται σε 2 μέρες από την ολοκλήρωση της δοκιμής. Η έκθεση θα περιλαμβάνει τα προφίλ των καταγραφών του σήματος με το βάθος για κάθε ζεύγος σωλήνων και διαγράμματα με τους χρόνους άφιξης ή την ταχύτητα του παλμού με το βάθος και την ενέργεια του παλμού ή την ένταση με

ΦΙΚΙΡΗΣ Ι. Φ. & ΚΑΒΟΥΝΙΔΗΣ Σ. & ΝΤΟΥΝΙΑΣ Γ. Θ.

Πρόταση προδιαγραφών ποιοτικού ελέγχου έγχυτων πασσάλων με μη – καταστροφικές μεθόδους.

το βάθος. Οι περιοχές του πασσάλου που περιέχουν ατέλειες πρέπει να σημειώνονται στα προφίλ καταγραφών και η τοποθεσία και η έκτασή τους πρέπει να σχολιάζονται. Οι περιοχές που περιέχουν ατέλειες προσδιορίζονται από την αύξηση πλέον του 20% του χρόνου άφιξης του σήματος σε σχέση με τον χρόνο άφιξης σε περιοχή με καλής ποιότητας σκυρόδεμα. Ο Μηχανικός ποιοτικού ελέγχου διαθέτει 2 μερες να αξιολογήσει τα αποτελέσματα και να αποφασίσει αν ο πάσσαλος είναι αποδεκτός ή όχι, ενώ στο μεσοδιάστημα ο ανάδοχος δεν θα πραγματοποιήσει καμία εργασία στον συγκεκριμένο πάσσαλο. Σε περίπτωση που δεν κριθεί ο πάσσαλος αποδεκτός, απαιτείται η επισκευή ή αντικατάστασή του από τον ανάδοχο κατόπιν τεκμηριωμένης πρότασης, που θα λάβει την έγκριση της Υπηρεσίας με έξοδα του αναδόχου και χωρίς επίπτωση στον χρόνο παράδοσης του έργου.

### 3.1.8 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της μεθόδου

Παρέχονται πληροφορίες για το μήκος του πασσάλου, το βάθος και την έκταση τυχόν κενών στο σώμα του αλλά και την ποιότητα του σκυροδέματος. Στα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγονται το υψηλό κόστος εφαρμογής, η έλλειψη πληροφοριών εκτός της περιοχής που είναι τοποθετημένοι οι σωλήνες, η απαίτηση προεπιλογής των πασσάλων που θα ελεγχθούν πριν από την κατασκευή τους και η αδυναμία ανίχνευσης μικρών ρωγμών.

## 3.2 Μέθοδος Παλμικής Απόκρισης (TRM)

### 3.2.1 Επισκόπηση της Μεθόδου

Δημιουργείται παλμός από την κρούση σφύρας στην κεφαλή του πασσάλου και μετρούνται η δύναμη κρούσης και η ταχύτητα του παλμού που αναπτύσσεται στον πάσσαλο ως συνάρτηση του χρόνου. Μεταφέροντας τα δεδομένα στο πεδίο συχνοτήτων και λαμβάνεται το διάγραμμα Κινητικότητας-Συχνότητας. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων δίνει πληροφορίες για την ακεραιότητα του πασσάλου και τις συνθήκες του περιβάλλοντος εδάφους. Οι διαδικασίες εκτέλεσης της μεθόδου τυποποιούνται από το ASTM D5882 (2007) και το AFNOR - NF P94-160-4 (1993).

### 3.2.2 Απαιτήσεις Προσωπικού

Ιδέ παράγραφο 3.1.2 ανωτέρω.

### 3.1.3 Απαιτήσεις Εξοπλισμού

Ο απαραίτητος εξοπλισμός περιλαμβάνει σφύρα εφοδιασμένη με κυψέλη φορτίου ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή της δύναμης κρούσης και ένα γεώφωνο το οποίο τοποθετείται στην κεφαλή του πασσάλου. Τα όργανα πρέπει να είναι συνδεδεμένα σε σύστημα καταγραφής δεδομένων. Ο εξοπλισμός πρέπει να μπορεί να παράγει διαγράμματα κινητικότητας μέχρι 5000 Hz.

### 3.1.4 Προετοιμασία κεφαλής πασσάλων

Η προετοιμασία της κεφαλής των πασσάλων επηρεάζει καθοριστικά την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Απαιτείται κατ' ελάχιστο:

1) να αποκαλυφθεί υγιές σκυρόδεμα και η διατομή μεταξύ του γεώφωνου και της θέσης κρούσης της σφύρας να είναι οριζόντια. Για κεκλιμένους πασσάλους η διατομή πρέπει να είναι κάθετη στον άξονα του πασσάλου,

2) οι σπλισμοί / αναμονές να καμφθούν κατά το δυνατόν ώστε να μην δημιουργούνται εμπόδια στην χρήση της σφύρας,

3) να διαμορφωθούν δυο θέσεις για την εγκατάσταση των οργάνων, μία περί το κέντρο της διατομής για τις κρούσεις με τη σφύρα και μία κοντά στην περίμετρο για το γεώφωνο. Η διάμετρος καθαρισμού σε κάθε θέση πρέπει να είναι περίπου 100mm, επίπεδη και καθαρή.

Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά γίνεται επανάληψη της δοκιμής, προετοιμάζοντας εκ νέου την κεφαλή του πασσάλου δεδομένου ότι η παρουσία ρωγμών που δεν είναι πάντα εμφανείς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα.

### 3.1.5 Χρόνος διεξαγωγής

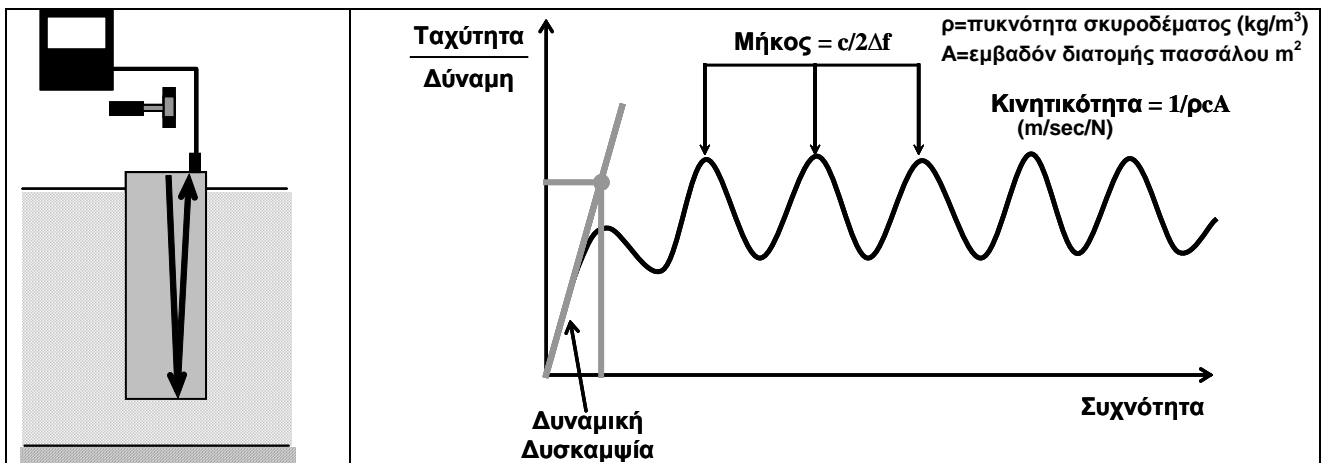
Η δοκιμή δεν πρέπει να διεξαχθεί πριν την πάροδο 7 ημερών από την σκυροδέτηση.

### 3.1.6 Εφαρμογή μεθόδου

Δημιουργείται κρούση στην κεφαλή του πασσάλου με την χρήση σφύρας και γίνεται καταγραφή της δύναμης κρούσης για να αξιολογηθεί το σήμα απόκρισης. Γίνεται μεταφορά των σημάτων κρούσης - ταχύτητας στο πεδίο συχνοτήτων και χρησιμοποιείται συνάρτηση μεταφοράς για τη δημιουργία διαγράμματος κινητικότητας. Η κινητικότητα είναι το αντίστροφο της εμπέδωσης, η οποία είναι συνάρτηση της ποιότητας του σκυροδέματος και της διατομής του πασσάλου. Το μήκος υπολογίζεται από την

ΦΙΚΙΡΗΣ Ι. Φ. & ΚΑΒΟΥΝΙΔΗΣ Σ. & ΝΤΟΥΝΙΑΣ Γ. Θ.

Πρόταση προδιαγραφών ποιοτικού ελέγχου έγχυτων πασσάλων με μη – καταστροφικές μεθόδους.



Σχήμα 2. Σχηματική παρουσίαση μεθόδου Παλμικής Απόκρισης (TRM) - διάγραμμα κινητικότητας  
 Figure 2. Schematic of the basic Transient Response testing method set-up and mobility chart

απόσταση μεταξύ των μέγιστων σημείων συντονισμού που δημιουργούνται από την αιχμή του πασσάλου ή από ανωμαλίες κατά μήκος του, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$L = \frac{c}{2 \times \Delta f} \quad (1)$$

όπου L το μήκος (m), c η ταχύτητα διάδοσης επιμήκων κυμάτων στο σκυρόδεμα σε m/s και Δf η απόσταση μεταξύ δύο σημείων συντονισμού σε Hz. Θεωρείται γενικά ότι η ταχύτητα κύματος σε κοινής ποιότητας σκυρόδεμα (π.χ. C20/25) είναι 3500-4000m/s. Πολύ πυκνό ή μεγάλο μέτρου ελαστικότητας σκυρόδεμα μπορεί να έχει ελαφρώς μεγαλύτερη ταχύτητα π.χ. 4000m/s, ενώ αντίστοιχα είναι δυνατόν σκυρόδεμα χαμηλότερης ποιότητας ή πάσσαλοι τσιμεντενέματος να έχουν ταχύτητα μικρότερη από 3500m/s

### 3.1.7 Αποτελέσματα δοκιμής

Η έκθεση με τα αποτελέσματα της δοκιμής πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

- 1) Διαγράμματα κινητικότητας / συχνότητας για όλους τους πασσάλους που ελέγχθηκαν,
- 2) Σύντομη περιγραφή της γεωμετρίας και των υλικών του πασσάλου και των γεωτεχνικών συνθηκών,
- 3) Πίνακα αποτελεσμάτων με τον αριθμό του πασσάλου, την δυναμική δυσκαμψία, τα βάθη απόκρισης και σχόλια,
- 4) Ερμηνεία των αποτελεσμάτων με σχολιασμό των πιθανών ατελειών και σαφή αναφορά στους περιορισμούς της μεθόδου για τον συγκεκριμένο τύπο πασσάλου και εδάφους. Η αξιολόγηση προϋποθέτει σειρά παραδοχών π.χ. περί της ταχύτητας διάδοσης των κυμά-

των στο σκυρόδεμα αλλά και μια κατηγοριοποίηση των συνηθέστερων μορφών διαγραμμάτων έτσι ώστε να επιχειρηθεί μια τυποποίηση της κατάταξης της ποιότητας των πασσάλων,

5) Ειδική αναφορά σε περίπτωση που κάποιος πάσσαλος επιδειξει ασυνήθιστα χαμηλή δυναμική δυσκαμψία.

Ο Μηχανικός ποιοτικού ελέγχου διαθέτει 2 ημέρες να αξιολογήσει τα αποτελέσματα και να αποφασίσει αν ο πάσσαλος είναι αποδεκτός ή όχι, ενώ στο μεσοδιάστημα ο ανάδοχος δεν θα πραγματοποιήσει καμία εργασία στον συγκεκριμένο πάσσαλο. Σε περίπτωση που ο Μηχανικός ποιοτικού ελέγχου κρίνει ότι ο πάσσαλος δεν είναι αποδεκτός, πρέπει να γίνει επισκευή ή αντικατάστασή του από τον ανάδοχο, ο οποίος θα επιβαρυνθεί και το όποιο κόστος προκύψει, κατόπιν τεκμηριωμένης πρότασής του που θα λάβει την έγκριση της Υπηρεσίας και χωρίς επίπτωση στον χρόνο παράδοσης του έργου.

### 3.1.8 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της μεθόδου

Με την μέθοδο TRM παρέχονται πληροφορίες για το μήκος του πασσάλου και το βάθος των ανωμαλιών στο σώμα του, τη δυσκαμψία της κεφαλής του πασσάλου, τη διατομή του και την ποιότητα του σκυροδέματος. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνονται το χαμηλό κόστος και η δυνατότητα ελέγχου μεγάλου αριθμού πασσάλων (περίπου 200/ημέρα). Η μέθοδος είναι κατάλληλη για έγχυτους πασσάλους όπου και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι λιγότερο υποκειμενική. Στους περιορισμούς της μεθόδου συγκαταλέγεται η αδυναμία ερμηνείας αποτελεσμάτων λόγω μεγάλης απόσβεσης του σήματος. Αυτό μπορεί να συμ-

βεί σε περιπτώσεις πασσάλων μεγάλου μήκους, ή παρουσίας σκληρών εδαφικών στρώσεων, ή συνδυασμού των δύο και έχει ως αποτέλεσμα το σήμα που φτάνει στην κεφαλή του πασσάλου να είναι τόσο ασθενές ώστε να είναι πρακτικά μη-ανιχνεύσιμο. Τέλος, η εν λόγω μέθοδος απαιτεί την προετοιμασία της κεφαλής του πασσάλου και φυσικά την έλλειψη σκυροδετημένου κεφαλόδεσμου.

#### 4. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

##### 4.1 Γενικά

Εφόσον διαπιστωθεί η ύπαρξη πιθανού προβλήματος σε πάσσαλο απαιτείται σειρά ενεργειών για την επιβεβαίωση των ενδείξεων και τον προσδιορισμό της θέσης αλλά και έκτασης του προβλήματος προ της λήψης μέτρων αποκατάστασης. Ακολούθως παρατίθενται κατευθύνσεις πιθανών μέτρων αποκατάστασης τα οποία θα πρέπει να υλοποιούνται σε κάθε περίπτωση κατόπιν ειδικής μελέτης.

##### 4.2 Επιβεβαιωτικοί έλεγχοι προβλημάτων

Για την επιβεβαίωση πιθανών κατασκευαστικών προβλημάτων σε πασσάλους συνίσταται η διασταύρωση των αποτελεσμάτων κατ'αρχήν με άλλο χρήστη του διαθέσιμου εξοπλισμού και εφόσον υπάρχει δυνατότητα με χρήση μιας διαφορετικής μεθόδου ελέγχου.

Κατόπιν της εξαντλήσεως των επιβεβαιωτικών ελέγχων απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγαλύτερης κλίμακας και κόστους εργασιών. Έτσι, στην περίπτωση όπου το βάθος μιας κατασκευαστικής ατέλειας έχει ανιχνευθεί στα ανώτερα τμήματα ενός πασσάλου κατ' αρχήν θα εξετάζεται η εφικτότητα αποκάλυψης των ανώτερων τμημάτων του έτσι ώστε να διαπιστωθεί και μακροσκοπικά το πρόβλημα, με όλα τα πλεονεκτήματα που αυτό συνεπάγεται και στην επισκευαστική διαδικασία. Μεταξύ των πιθανών λύσεων που θα μπορούσαν να εξετασθούν αναφέρονται οι τοπικές τσιμεντενέσεις, οι συμπληρωματικές σκυροδετήσεις, τεχνικές ενισχύσεων με μανδύες κτλ.

Για την περίπτωση που το πρόβλημα εντοπίζεται σε μεγάλο βάθος, και κρίνεται καθοριστικός ο λεπτομερής εντοπισμός της έκτασης και της σοβαρότητας του προβλήματος, τότε δύναται να διανοιχθούν διερευνητικές οπές με χρήση δειγματοληψίας. Οι οπές απαιτείται να διανοιχθούν με μικρή ταχύτητα και όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην περιοχή που έχει εντοπιστεί το πιθανό κενό ή το ετερογενές

υλικό. Χρήσιμο δε είναι το ετερογενές υλικό να εξαχθεί σε όλο του το πάχος, εφόσον αυτό είναι δυνατόν. Η αξιολόγηση του δείγματος πρέπει να γίνει από εξειδικευμένο Μηχανικό, μιας και το ετερογενές υλικό θα έχει διαταραχθεί κατά την διάτρηση και την εξαγωγή. Ακολούθως το δείγμα απαιτείται να υποβληθεί σε δοκιμές μονοαξονικής θλίψης για να διαπιστωθεί η αντοχή της προβληματικής ζώνης και με τα δεδομένα αυτά να επαναξιολογηθεί η αντοχή του πασσάλου σε κατακόρυφη και εγκάρσια φόρτιση. Η χρήση κάμερας μέσα στην οπή ώστε να γίνει έλεγχος σε όλο το μήκος της και στην περιοχή της ανωμαλίας αποτελεί επίσης μια αποτελεσματική λύση σχετικά χαμηλού κόστους. Έλεγχοι τέτοιου τύπου δίνουν πολλές πληροφορίες στις οποίες μπορούν να βασιστούν μετέπειτα επιδιορθώσεις.

Έναν άλλον αξιόπιστο τρόπο ελέγχου των κατασκευαστικών ατελειών σε πασσάλους αποτελούν οι δοκιμές εισπίεσεων νερού αντίστοιχες με αυτές που εκτελούνται κατά τις γεωτεχνικές έρευνες (π.χ. τύπου Lugeon). Απομονώνοντας σταδιακά καθ' ύψος με κατάλληλα παρεμβύσματα τμήματα οπών που απαιτείται να διατρηθούν εντός του πασσάλου και εισπίζοντας νερό, εξάγονται συμπεράσματα για την έκταση των ανωμαλιών και τον τύπο του ενέματος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατά την επιδιόρθωση, εφόσον τελικά επιλεγεί τέτοιου τύπου επισκευή.

#### 5. ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΤΕΛΕΙΩΝ

Η απόφαση λήψης μέτρων αποκατάστασης των κατασκευαστικών ατελειών πασσάλων, εφόσον αποφασισθεί ότι απαιτείται αυτές να επισκευαστούν, προϋποθέτει την επαρκή κατανόηση της έκτασης και της θέσης του προβλήματος. Πιθανές εναλλακτικές λύσεις αποκατάστασης των κατασκευαστικών ατελειών παρατίθενται ακολούθως. Σε κάθε περίπτωση κατόπιν της όποιας επισκευής, απαιτείται η επαναξιολόγηση της συνέχειας της σκυροδέτησης με χρήση της ίδιας μεθόδου με την οποία ανιχνεύθηκε το πρόβλημα.

##### 5.1 Εκσκαφή

Η αποκάλυψη του πασσάλου αποτελεί τον πλέον άμεσο και αποτελεσματικό μέτρο αποκατάστασης προβληματικών πασσάλων, εφόσον έχει διαπιστωθεί ότι το πρόβλημα εντοπίζεται στα ανώτερα τμήματα. Εκ των υστέρων δύναται να εφαρμοστούν τεχνικές τσιμεντενέσεων ή συμπληρωματικών σκυροδετήσεων.

ΦΙΚΙΡΗΣ Ι. Φ. & ΚΑΒΟΥΝΙΔΗΣ Σ. & ΝΤΟΥΝΙΑΣ Γ. Θ.

Πρόταση προδιαγραφών ποιοτικού ελέγχου έγχυτων πασσάλων με μη – καταστροφικές μεθόδους.



Φωτογραφία 1. Κατασκευαστικά ελαττώματα πασσάλων

Photograph 1. Construction defects of piles

## 5.2 Δοκιμαστική φόρτιση

Εφόσον μια κατασκευαστική ατέλεια πασσάλου δεν δύναται να διασταυρωθεί μέσω κάποιας άλλης εναλλακτικής μεθόδου ή όταν το κόστος των επισκευαστικών επεμβάσεων προκύπτει σημαντικό, μια πιθανή λύση αποτελεί η δοκιμαστική φόρτιση του πασσάλου. Λόγω του υπερσχεδιασμού σε πολλές περιπτώσεις των λύσεων θεμελίωσης, ενδεχομένως να αποδειχθεί ότι οι ελάχιστες απαιτήσεις της οικείας μελέτης ικανοποιούνται με αποτέλεσμα την κατάργηση της απαίτησης εφαρμογής επισκευαστικών εργασιών. Η τελική βέβαια απόφαση απαιτείται να διερευνήσει και την μακροχρόνια εξασφάλιση της επάρκειας του πασσάλου (π.χ. κίνδυνοι διάβρωσης των οπλισμών εξαιτίας της κατασκευαστικής ατέλειας).

## 5.3 Τσιμεντενέσεις

Οι τσιμεντενέσεις αποτελούν συνήθη τρόπο αποκατάστασης ελαττωμάτων σε βαθιές θεμελιώσεις που εντοπίζονται με μή-καταστροφικές μεθόδους ποιοτικού ελέγχου. Η διαδικασία αποκατάστασης περιλαμβάνει:

- 1) Διάνοιξη οπής στον πάσσαλο σε επαρκές βάθος που διαπερνά εξ' ολοκλήρου την ελαττωματική περιοχή
- 2) Εισπίεση νερού σε υψηλές πιέσεις (της τάξεως των 30 MPa) για τον καθαρισμό και την θραύση του ελαττωματικού σκυροδέματος
- 3) Ανάσυρση με τεχνικές αντλήσεων του ελαττωματικού υλικού
- 4) Οπτικός έλεγχος της ελαττωματικής περιοχής με χρήση κάμερας
- 5) Εισπίεση τσιμεντενέματος, με χρήση, εάν απαιτείται, παρεμβυσμάτων.

Κατόπιν επτά (7) ημερών από τις επισκευές απαιτείται η επαναξιολόγηση της ακεραιότητας του πασσάλου, με χρήση της ίδιας μεθόδου που εφαρμόστηκε για την ανίχνευση της ατέλειας.

ΦΙΚΙΡΗΣ Ι. Φ. & ΚΑΒΟΥΝΙΔΗΣ Σ. & ΝΤΟΥΝΙΑΣ Γ. Θ.

Πρόταση προδιαγραφών ποιοτικού ελέγχου έγχυτων πασσάλων με μη – καταστροφικές μεθόδους.

## 5.4 Ενίσχυση θεμελίωσης

Στην περίπτωση ανεπιτυχούς εφαρμογής μιας εκ των προαναφερθέντων τεχνικών αποκατάστασης είναι μονοσήμαντη η απαίτηση λήψης μέτρων ενίσχυσης της θεμελίωσης. Ως πιθανές τεχνικές λύσεις αναφέρονται η κατασκευή νέου, γειτονικού πασσάλου, στον οποίο θα μεταβιβαστούν τα υπολειπόμενα φορτία μέσω επέκτασης ενός κεφαλόδεσμου, η κατασκευή μικροπασσάλων πλησίον του ελαττωματικού πασσάλου για την ανάληψη μέρους των φορτίων σχεδιασμού ή η αγκύρωση του πασσάλου για την ενίσχυση της καμπτικής του δυσκαμψίας σε περίπτωση που αυτός αποτελεί τμήμα π.χ. πασσαλοσυστοιχίας αντιστήριξης. Σε κάθε τέτοια περίπτωση η βέλτιστη τεχνικοοικονομικά λύση θα προκύψει κατόπιν εκπόνησης ειδικής μελέτης.

## 6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι προδιαγραφές συντάχθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος “Αντισεισμική Προστασία Γεφυρών” (ΑΣΠΡΟΓΕ) που συγχρηματοδοτήθηκε από την Γ.Γ.Ε.Τ. Ευχαριστούμε για την συμβολή της στο έργο την κα. Α. Γιαννακού, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASTM D5882 (2007). “Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations”.
- ASTM D6760 (2008). “Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing”.
- AFNOR - Association Francaise de Normalisation (2000). “NF P94-160-1 Sols: Auscultation d'un élément de foundation”. Partie 1 : Méthode par transparence”.
- AFNOR - Association Francaise de Normalisation (1994). “NF P94-160-4 Sols: Auscultation d'un élément de foundation”. Partie 4 : Méthode par impedance”.
- CIRIA Report 144 (1997). “Integrity testing in piling practice”.
- Hertlein, A. and Davis, A. (2006). “Non destructive testing of deep foundations”. John Wiley & Sons Ltd. U.K.
- Rhyner, F.C. and Hertlein, B. (2005). “Manual for Non Destructive Testing and Evaluation of Drilled Shafts”. DFI Drilled Shaft Committee. Chernauskas L.E. Editor.