

Εφαρμογή μη-Καταστροφικών Μεθόδων για τον Ποιοτικό Έλεγχο Έγχυτων Πασσάλων

Application on Non-Destructive Testing for the Quality Control of Bored Piles

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), εκτελέστηκαν δοκιμές ποιοτικού ελέγχου σε φρεατοπασσάλους, σε τυχαία επιλεγμένο οδικό έργο. Παρατίθεται συνοπτική περιγραφή διαθέσιμων μη καταστροφικών μεθόδων ποιοτικού ελέγχου πασσάλων με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών και βασικά συμπεράσματα που αφορούν κυρίως στις δυνατότητες της υπερηχητικής μεθόδου αντιδιαμετρικής διάταξης (Ultrasonic Cross-Hole) στην ανίχνευση, εσκεμμένων και μη, κατασκευαστικών ατελειών και στη ακαταλληλότητα εφαρμογής της συνήθως χρησιμοποιούμενης μεθόδου ελέγχου παλμικής απόκρισης (Transient Response) κυρίως σε βραχώδεις σχηματισμούς.

ABSTRACT : As part of the research program entitled “ASProGe: Seismic Protection of Bridges”, quality control tests on bored piles at a randomly selected highway project were carried out. A brief description of the available non-destructive testing methods for the quality control of piles is presented, including their advantages and disadvantages. Quality control test results and key findings are presented related mainly to the capabilities of the Ultrasonic Cross-Hole method in the detection of, intentional or not, construction defects and to the non-suitability of the most commonly used in practice Transient Response method mainly in rock formations.

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 ποιοτικών ελέγχων, 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.

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος “Αντισεισμική Προστασία Γεφυρών” (ΑΣΠΡΟΓΕ), πραγματοποιήθηκαν σε τυχαία επιλεγμέ-

νο και υπό κατασκευή μεγάλο οδικό έργο, δοκιμές ποιοτικού ελέγχου σε φρεατοπασσάλους. Οι έλεγχοι εκτελέστηκαν μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής συστοιχίας αλληλοτεμνόμενων φρεατοπασσάλων αντιστήριξης για την εκτέλεση γενικών εκσκαφών στην περιοχή μεσοβάθρου γέφυρας πλησίον της πόλης των Ιωαννίνων. Στόχος του προγράμματος ήταν η διαπίστωση των δυνατοτήτων των μεθόδων ελέγχου, της ευχρηστότητας και της ταχύτητας εκτέλεσης των δοκιμών, η σύνταξη πρακτικών προδιαγραφών ελέγχων ρουτίνας (Φίκιρης κ.α. 2010), αλλά και η σύγκριση δοκιμών που εκτελούνται σχολαστικά βάσει των προδιαγραφών με εμπειρίες από τη συνήθη πρακτική εκτέλεσης δοκιμών στα έργα βάσει της σχετικής ΤΣΥ (κεφάλαιο Γ - Άρθρο Γ10) του υπ. ΥΠ.ΜΕ.ΔΙ. Χρησιμοποιήθηκαν οι δυο πλέον συνήθεις δοκιμές ελέγχου που βασίζονται στη

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

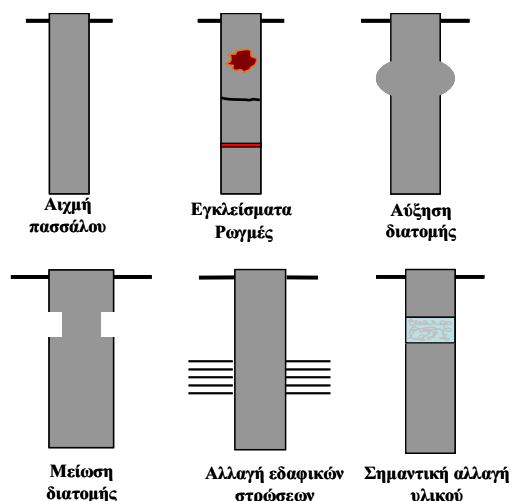
Εφαρμογή μη-καταστροφικών μεθόδων για τον ποιοτικό έλεγχο έγχυτων πασσάλων

καταγραφή διάδοσης σημάτων υπό μικρές παραμορφώσεις. Η μέθοδος παλμικής απόκρισης [Transient Response – (TRM), ASTM D5882 (2007) και AFNOR NF P94-160-4 (1994)] και η πιο εξειδικευμένη υπερηχητική μέθοδος αντιδιαμετρικής διάταξης [Ultrasonic Cross-Hole (USCH), ASTM D6760 (2008) και AFNOR - NF P94-160-1 (2000)].

Τα αίτια πρόκλησης ατελειών της ακεραιότητας πασσάλων οφείλονται είτε στη φύση και τις ιδιότητες του εδάφους εντός του οποίου κατασκευάζονται, είτε σε προβλήματα της κατασκευαστικής διαδικασίας. Ο Brown (2004) σχολιάζει τις διάφορες κατασκευαστικές τεχνικές που μπορεί να προκαλέσουν κατασκευαστικές ατέλειες σε πασσάλους. Οι επιπτώσεις των ατελειών στη συμπεριφορά τόσο μεμονωμένων πασσάλων όσο και πασσαλο-ομάδων διερευνήθηκε από τον Roulos (2005), ενώ οι Petek et. al. (2002) επιχείρησαν να ποσοτικοποιήσουν τις επιπτώσεις στη φέρουσα ικανότητα πασσάλων, λόγω ατελειών που ανιχνεύθηκαν με μη καταστροφικές μεθόδους.

2. ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

Ο έλεγχος ακεραιότητας πασσάλων (Σχήμα 1) με μεθόδους επιβολής μικρών παραμορφώσεων (low-strain integrity testing) βασίζεται στην εξέταση της απόκρισης του πασσάλου σε έναν εξωτερικώς επιβαλλόμενο παλμό (π.χ. κρούση σφύρας στην κεφαλή του πασσάλου).



Σχήμα 1. Ανιχνεύσιμες ατέλειες πασσάλων με μη-καταστροφικές μεθόδους ποιοτικού ελέγχου.

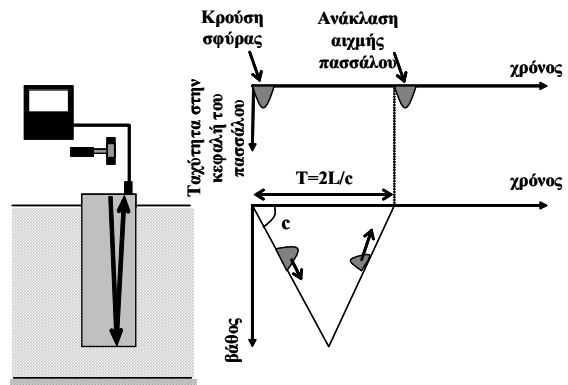
Figure 1. Detectable defects by means of non-destructive quality control testing methods.

Συνοπτική επισκόπηση των βασικότερων μεθόδων ποιοτικού ελέγχου βαθειών θεμελιώσεων με μη-καταστροφικές μεθόδους παρατίθεται ακολούθως. Αναλυτική περιγραφή των μεθόδων παρουσιάζεται μεταξύ άλλων από τους Rhyner & Hertlein (2005), Hertlein & Davis (2006) και το CIRIA Report 144 (1997).

2.1 Μέθοδος παλμικής αντήχησης - Pulse Echo

Αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο ελέγχου ακεραιότητας πασσάλων, λόγω της ευκολίας εφαρμογής και του χαμηλού κόστους. Χρησιμοποιείται από τις αρχές του 1970, βάσει του θεωρητικού υποβάθρου που πρωτοπαρουσιάστηκε από τον Pauquet (1968). Έκτοτε μόνον μικρές βελτιώσεις έχουν προστεθεί. Με τη μέθοδο μετρείται η ταχύτητα ή η επιτάχυνση που προκύπτει από την απόκριση του πασσάλου σε μια εξωτερικά επιβαλλόμενη διέγερση, η οποία δημιουργείται, συνήθως, από την κρούση της κεφαλής του πασσάλου με μικρή σφύρα (Σχήμα 2).

Με τη μέτρηση του χρόνου μεταφοράς του σήματος, θεωρώντας εύλογη ταχύτητα διάδοσης του σήματος στο σκυρόδεμα (π.χ. 3500 – 4000 m/sec), καθίσταται εφικτός ο υπολογισμός του μήκους πασσάλων ή του βάθους ατελειών. Η διαδικασία εκτέλεσης της μεθόδου τυποποιείται από το ASTM D5882 (2007).

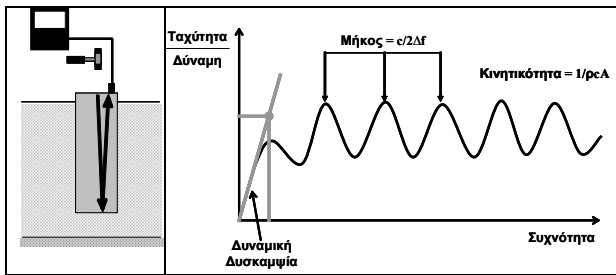


Σχήμα 2. Σχηματική παρουσίαση της μεθόδου παλμικής αντήχησης (Pulse Echo).

Figure 2. Schematic of the basic Pulse Echo test set-up.

2.2 Μέθοδος Παλμικής Απόκρισης (TRM)

Κατ' αντιστοιχία με τη μέθοδο παλμικής αντήχησης, δημιουργείται κρούση στην κεφαλή του πασσάλου (π.χ. με χρήση σφύρας) και γίνεται καταγραφή της δύναμης κρούσης. Γίνεται μεταφορά των χρονοιστοριών της κρούσης και της ταχύτητας στο πεδίο των συχνοτήτων με χρήση συνάρτησης μεταφοράς και δημιουργείται το

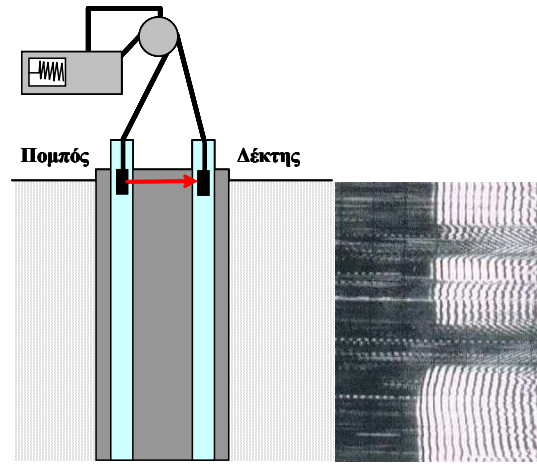


Σχήμα 3. Σχηματική παρουσίαση δοκιμής Παλμικής Απόκρισης (TRM) - διάγραμμα κινητικότητας
 Figure 3. Schematic of the basic Transient Response method set-up and mobility chart

διάγραμμα κινητικότητας (mobility plot) της θεμελίωσης (Σχήμα 3). Η κινητικότητα είναι το αντίστροφο της εμπέδισης, η οποία είναι συνάρτηση της ποιότητας του σκυροδέματος και της διατομής του πασσάλου. Τα μήκη υπολογίζονται από την απόσταση μεταξύ των μεγίστων σημείων συντονισμού που δημιουργούνται από την αιχμή του πασσάλου ή από ανωμαλίες κατά μήκος του. Οι διαδικασίες εκτέλεσης της μεθόδου τυποποιούνται από το ASTM D5882 (2007) και το AFNOR - NF P94-160-4 (1994).

2.3 Υπερηχητική μέθοδος (USCH)

Η υπερηχητική μέθοδος συνεχούς διασκόπησης βασίζεται στην αποστολή υψίσυχνων ηχητικών παλμών μεταξύ αντιδιαμετρικά εγκατεστημένων σωλήνων στον πάσσαλο, συνήθως προ της σκυροδέτησής του. Ο χρόνος άφιξης



Σχήμα 4. Σχηματική παρουσίαση της υπερηχητικής μεθόδου αντιδιαμετρικής διάταξης - USCH
 Figure 4. Schematic of the basic Ultra-Sonic Cross-Hole test set-up.

και η ένταση του σήματος είναι συνάρτηση της ποιότητας του σκυροδέματος. Για ομοιογενές σκυρόδεμα και κατακόρυφα τοποθετημένους σωλήνες σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους, οι χρόνοι άφιξης που καταγράφονται αναμένεται να είναι ίσοι μεταξύ τους για λογικές τιμές ταχύτητας και έντασης παλμού. Ατέλειες όπως υλικά καταπτώσεων, ισχνό σκυρόδεμα, κενά και εγκλείσματα προκαλούν καθυστέρηση στους χρόνους άφιξης και μείωση της έντασης του σήματος (Σχήμα 4).

Ο ελάχιστος αριθμός σωλήνων που χρησιμοποιείται είναι τρεις, ενώ για πασσάλους με διάμετρο μεγαλύτερη από 0.75m συνήθως χρησιμοποιούνται τέσσερις σωλήνες. Ο χρόνος μετάδοσης μεταξύ κάθε ζεύγους σωλήνων

Πίνακας 1. Μη- καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου πασσάλων – Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα
 Table 1. Nondestructive pile testing methods – Advantages & disadvantages

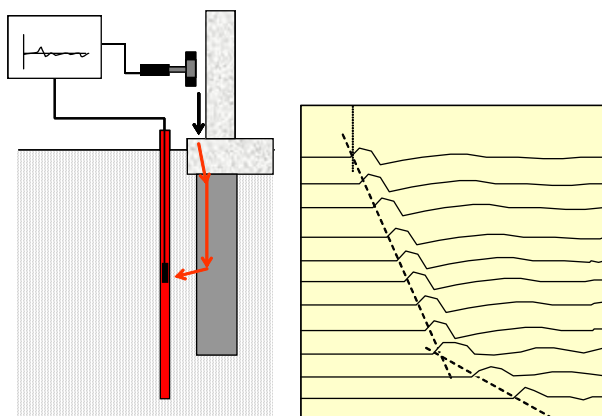
ΜΕΘΟΔΟΣ	ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
Παλμικής Αντήρησης (Pulse Echo)	- Μήκος πασσάλου - Βάθος ανωμαλιών	- Χαμηλό κόστος - Ταχεία εφαρμογή - Εφαρμόζεται και σε προκατασκευασμένους πασσάλους - Μικρή απαιτούμενη προετοιμασία	- Χρήση σε πασσάλους με βάθος < 30*D - Ανεπιθύμητες ανακλάσεις από ενδιάμεσα εδαφικά στρώματα - Απαιτήση προσβασιμότητας στην κεφαλή πασσάλου
Παλμικής Απόκρισης (Transient Response)	- Μήκος πασσάλου - Βάθος ανωμαλιών - Δυσκαμψία κεφαλής πασσάλου - Γεωμετρία διατομής πασσάλου - Ποιότητα σκυροδέματος	- Χαμηλό κόστος - Ταχεία εφαρμογή - Μικρή απαιτούμενη προετοιμασία - Κατάλληλη για έγχυτους πασσάλους - Λιγότερο υποκειμενική ερμηνεία αποτελεσμάτων	- Χρήση σε πασσάλους με βάθος < 30*D - Απόσβεση σημάτων σε περιπτώσεις πασσάλων μεγάλου μήκους, ή παρουσίας σκληρών εδαφικών στρώσεων - Απαιτήση προσβασιμότητας και επιμέλειας κεφαλής πασσάλου
Υπερηχητική αντιδιαμετρικής διάταξης (Ultrasonic Cross-Hole)	- Μήκος πασσάλου - Βάθος και έκταση ανωμαλιών διατομής πασσάλου - Ποιότητα του σκυροδέματος.	- Μήκος πασσάλου - Βάθος και έκταση ατελειών - Αξιοπιστία μεθόδου για πασσάλους με D>0.75m	- Υψηλό κόστος εφαρμογής - Έλλειψη πληροφοριών εκτός της περιοχής που είναι τοποθετημένοι σωλήνες, - Απαιτήση προεπιλογής των πασσάλων που θα ελεγχθούν - Αδυναμία ανίχνευσης μικρών ρωγμών.
Παράλληλη σεισμική διέγερση (Parallel Seismic)	- Μήκος πασσάλου - Ακεραιότητα πασσάλου	- Εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου η κεφαλή του πασσάλου δεν είναι προσβάσιμη	- Υψηλό κόστος εφαρμογής - Αδυναμία αξιολόγησης της ποιότητας και γεωμετρίας της διατομής του πασσάλου - Σημαντική απόσβεση σημάτων σε μη-συνεκτικά εδάφη

ελέγχεται διαδοχικά. Έτσι, τρεις σωλήνες δίνουν τρία ζεύγη αποτελεσμάτων ενώ τέσσερις σωλήνες δίνουν έξι. Οι μετρήσεις λαμβάνονται κάθε 10-50mm και με τον τρόπο αυτό δημιουργείται συνεχές προφίλ των χρόνων άφιξης των σημάτων. Οι διαδικασίες εκτέλεσης της μεθόδου τυποποιούνται από το ASTM D6760 (2008) και το AFNOR - NF P94-160-1 (2000).

2.4 Μέθοδος παράλληλης σεισμικής διέγερσης (parallel seismic)

Χρησιμοποιείται για την μέτρηση του μήκους και τον έλεγχο της ακεραιότητας υφιστάμενων πασσάλων (AFNOR 1993). Βασίζεται στην μέτρηση του χρόνου που χρειάζεται ένα κύμα να ταξιδέψει μέσα στον πάσσαλο και μέσω του εδάφους σε έναν αισθητήρα τοποθετημένο σε κατακόρυφο σωλήνα σε κοντινή απόσταση από τον πάσσαλο. Για το λόγο αυτό διανοίγεται οπή μικρής διαμέτρου (π.χ. γεώτρηση) σε απόσταση 0.5m περίπου από τον πάσσαλο και σε μήκος που υπερβαίνει το αναμενόμενο μήκος του πασσάλου (Σχήμα 5).

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός συνίσταται σε μια σφύρα συνδεδεμένη με την μονάδα καταγραφής και έναν πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα. Ο αισθητήρας τοποθετείται αρχικά στην βάση του σωλήνα και δημιουργείται κρούση στον κεφαλόδεσμο. Το κύμα που δημιουργείται ταξιδεύει στον πάσσαλο με καθοδική φορά και μέσω του εδάφους φτάνει στον αισθητήρα. Σταδιακά ο αισθητήρας ανασύρετε προς την επιφάνεια σε ίσες αποστάσεις και η δοκιμή επαναλαμβάνεται μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους. Οι διαδοχικοί χρόνοι άφιξης μετρώνται και δημιουργείται το προφίλ της διάδοσης του σήματος με το βάθος (Σχήμα 5). Στα σημεία από όπου το σήμα περνάει από μια συνεχή χωρίς ανωμαλίες θεμελίωση, οι χρόνοι άφιξης ενώνονται με ευθεία γραμμή σταθερής κλίσης.



Σχήμα 5. Μέθοδος Parallel Seismic
Figure 5. Parallel Seismic method

Όπου το σήμα συναντά ανωμαλίες ή την αιχμή του πασσάλου, προκαλείται αλλαγή της κλίσης. Το σημείο αλλαγής κλίσης συνδέεται άμεσα με το βάθος της αιχμής του πασσάλου ή της ανωμαλίας σε ομοιογενές έδαφος. Εφόσον υφίστανται διακυμάνσεις στη στρωματογραφία η αξιολόγηση των καταγραφών περιπλέκεται.

3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Εκτελέστηκαν δοκιμές ποιοτικού ελέγχου σε πέντε πασσάλους οι οποίοι αποτελούσαν τμήμα περιμετρικής πασσαλοσυστοιχίας αλληλοτεμνόμενων πασσάλων (ένας παρά ένας οπλισμένων). Το βάθος των πασσάλων ήταν 12.0m, με διάμετρο 1.00m έκαστος. Σκοπός κατασκευής της συγκεκριμένης πασσαλοσυστοιχίας ήταν η αντιστήριξη του περιβάλλοντος εδάφους για την εκτέλεση γενικών εκσκαφών για την προσέγγιση του επιθυμητού απόλυτου υψομέτρου κατασκευής των θεμελιώσεων μεσοβάθρου γέφυρας. Εξαιτίας της κοντινής γειτονίας της εκσκαφής με ποταμό αποφασί-



(α)



(β)

Φωτογραφία 1. α. Κατασκευή αλληλοτεμνόμενων πασσάλων, β. Συστοιχία πασσάλων προ της κατασκευής του κεφαλόδεσμου.

Photograph 1. α. Construction of secant piles β. Row of piles prior to the construction of pile cap

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

σθηκε η κατασκευή αλληλοτεμνόμενων πασσάλων με στόχο την παρεμπόδιση υδατικών εισροών. Το βάθος της γέφυρας βρίσκεται εντός της κοιλάδας ποταμού, η οποία κατά περιόδους καλύπτεται πλήρως με ύδατα. Τονίζεται ότι η επιλογή του έργου και του είδους των πασσάλων που ελεγχθήκαν ήταν τυχαία.

Γεωλογικά η περιοχή του μεσοβάθρου της συγκεκριμένης γέφυρας δομείται από ιλυόλιθο και εναλλαγές ιλυολίθων / ψαμμιτών. Επί του βραχώδους υποβάθρου υπέρκεινται αλλουβιακές αποθέσεις, αμμοχαλικώδους σύστασης, με ασβεστολιθικές στρωγγυλευμένες ευμεγέθεις κροκάλες (40 – 50 cm) της ευρείας κοίτης του ποταμού που διασχίζει την περιοχή. Το βάθος του υποβάθρου βάσει των διαθέσιμων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων συναντάται στα 5.0 έως 6.0m περίπου από την επιφάνεια του εδάφους. Είναι γενικά συμπαγές με υψηλές τιμές δείκτη ποιότητας βραχώμαζας ($RQD > 70\%$), εκτός τοπικά αραιών ζωνών και κυρίως της ζώνης στην περιοχή της μετάβασης των δυο διακριτών τεχνικογεωλογικών ενοτήτων της περιοχής (ιλυόλιθοι και εναλλαγές ιλυολίθων – ψαμμιτών) όπου το πέτρωμα εμφανίζεται κατάκερατισμένο ($RQD = 0-20\%$).

Σε ότι αφορά τη μέθοδο κατασκευής των πασσάλων, το σύνολό τους κατασκευάστηκε με μηχανικό εξοπλισμό τύπου Casagrande. (Φωτ. 1). Κατά τη διάτρηση χρησιμοποιήθηκε σωλήνωση στα ανώτερα 6.0m περίπου για να αποφευχθούν οι εδαφικές καταπτώσεις, των ανώτερων αλλουβιακών αποθέσεων. Βαθύτερα και εντός του υποβάθρου η κατασκευή των πασσάλων έγινε με ανυποστήρικτη οπή.

4. ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ελέγχθηκε δειγματοληπτικά η ποιότητα κατασκευής των πασσάλων της περιμετρικής αντιστήριξης του μεσοβάθρου της γέφυρας, εφαρμόζοντας μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου που βασίζονται στη καταγραφή διάδοσης σημάτων υπό μικρές παραμορφώσεις.

Πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι ποιότητας με την υπερηχητική μέθοδος αντιδιαμετρικής διάταξης (USCH) σε πέντε πασσάλους. Στους πασσάλους είχε προβλεφθεί κατά την κατασκευή τους, η τοποθέτηση σε διάταξη σταυρού, τεσσάρων χαλύβδινων σωλήνων μήκους 12.0m, ίσου δηλαδή με το προβλεπόμενο βάθος των πασσάλων, οι οποίοι προ της έναρξης της δοκιμής πληρώθηκαν εξ' ολοκλήρου με νε-



(α)



(β)

Φωτογραφίες 2. Εφαρμογή (α) υπερηχητικής μεθόδου αντιδιαμετρικής διάταξης (USCH), (β) μεθόδου παλμικής απόκρισης (TRM).
Photographs 2. Application of (α) Ultra-Soinc Cross-Hole testing method, (β) Transient Response testing method.

ρό. Παράλληλα με την μέθοδο USCH εκτελέστηκαν δοκιμές στους ίδιους πασσάλους με τη μέθοδο παλμικής απόκρισης (TRM).

Για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων των μεθόδων ένας εκ των πασσάλων κατασκευάστηκε εσκεμμένα με ατέλεια. Πιο συγκεκριμένα κατά τη σκυροδέτηση ενός πασσάλου ενσωματώθηκε εντός του σώματός του, δοχείο PET πέντε (5) λίτρων πληρωμένο με νερό. Ο πάσσαλος που τοποθετήθηκε το δοχείο δεν ήταν γνωστός κατά τη διάρκεια των δοκιμών ελέγχου και υποδείχθηκε μετά το πέρας τους από τον ανάδοχο, κατόπιν της αξιολόγησης των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκε επιτόπου στο έργο με βοήθεια κατάλληλου λογισμικού.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ – ΣΧΟΛΙΑ

4.1 Υπερηχητική μέθοδος (USCH)

Εξετάστηκαν σε κάθε πάσσαλο 6 προφίλ. Τυπικά αποτελέσματα σε γραφική μορφή των δοκιμών ελέγχου παρατίθενται στο Σχήμα 6. Διαπιστώθηκε συστηματικά η καθυστέρηση της ταχύτητας μετάδοσης των σημάτων ελέγχου στα κατώτερα 1.0m με 2.0m περίπου, σε όλους τους πασσάλους. Αξιολογήθηκε ότι η καθυστέρηση αυτή οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στην συσσώρευση χαλαρών υλικών στην αιχμή του πασσάλου. Τα αίτια της συσσώρευσης μπορεί να οφείλονται είτε στην ατελή απομάκρυνση των υλικών εκσκαφής στην περιοχή της αιχμής του πασσάλου, είτε στην κατάρρευση τμημάτων τοιχωμάτων της οπής η οποία ενδεχομένως να συνδυάζεται και με την υποβάθμιση της ποιότητας της βραχώμαζας στα συγκεκριμένα βάθη. Σε όλο το υπόλοιπο

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

μήκος όλων των πασσάλων διαπιστώθηκε ομοιογενές και χωρίς ατέλειες σκυροδέμα.

Εξαιτίας της συστηματικότητας των κατασκευαστικών προβλημάτων στις καταγραφές εκτιμήθηκε ότι υφίσταται πρόβλημα της κατασκευαστικής διαδικασίας. Παρά το ότι στη συγκεκριμένη κατασκευαστική διάταξη το ζήτημα της συσσώρευσης συμπιεστού υλικού στην περιοχή της αιχμής του πασσάλου ήταν ήσσονος σημασίας (πάσσαλοι αντιστήριξης), το πρόβλημα της μη επιτυχούς κατασκευής της αιχμής των πασσάλων γενικότερα, δύναται, εφόσον παραμείνει ανεξιχνίαστο να προκαλέσει υπό προϋποθέσεις προβλήματα στη θεμελίωση, ιδίως σε περιπτώσεις που έχει γίνει παραδοχή της ασυμπίεστης περιοχής έδρασης.

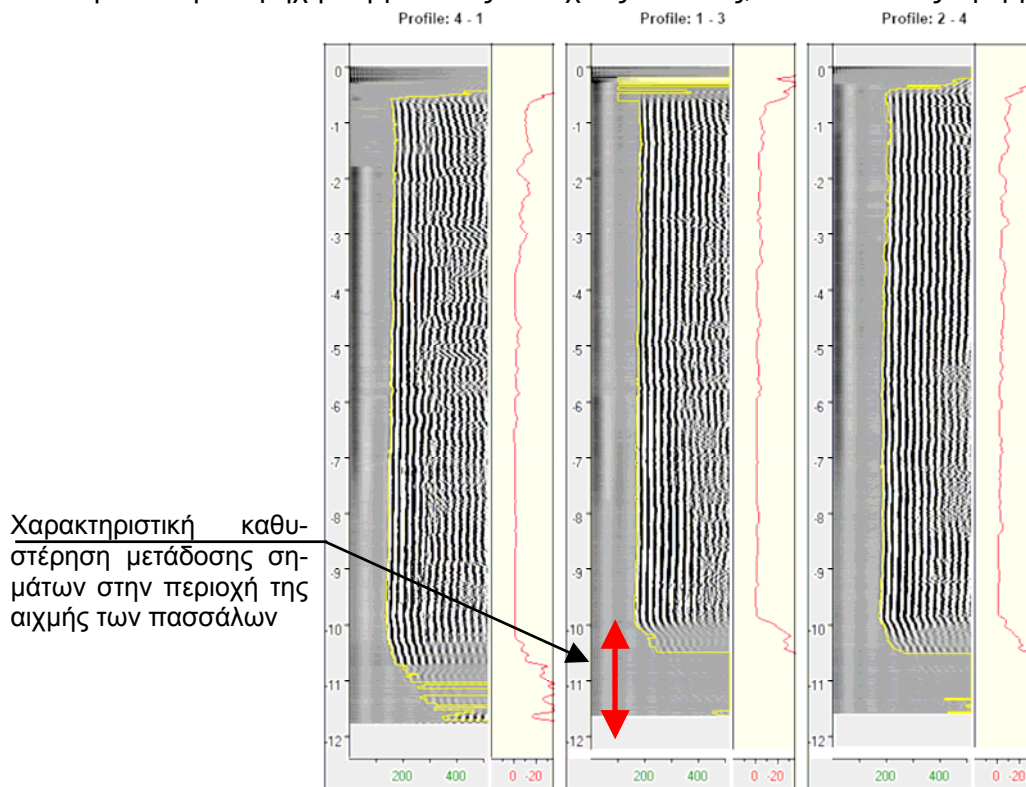
Στον υπ' αριθμό TP4 ελεγχόμενο πάσσαλο παρατηρήθηκε στο προφίλ 2-3 μια καθυστέρηση της μετάδοσης το σήματος της τάξης του 20% στο βάθος των 4.2m περίπου η οποία δεν παρατηρήθηκε σε κάποιο από τα άλλα προφίλ (Σχήμα 7). Κρίθηκε ότι στην περιοχή αυτή υφίσταται μια τοπική ανωμαλία ανάμεσα στους σωλήνες 2 και 3, γεγονός που εκ των υστέρων επιβεβαιώθηκε καθώς πρόκειται για την περιοχή όπου είχε εσκεμμένα επιδιωχθεί η κατασκευή του πασσάλου με ατέλεια, με την πρόβλεψη τοποθέτησης στο συγκεκριμένο βάθος ενός πλαστικού δοχείου (5lt) με νερό.

Από τις εμπειρίες που αποκτήθηκαν διαπιστώθηκε ότι η υπερηχητική μέθοδος συνεχούς

διασκόπησης σε αντιδιαμετρική διάταξη αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο ποιοτικού ελέγχου της ακεραιότητας πασσάλων. Με τη μέθοδο δύναται να ανιχνευθούν κατασκευαστικές ατέλειες όπως π.χ. μη συνεχής σκυροδέτηση, εγκλείσματα διαφορετικής και ανεπιθύμητης ποιότητας καθ' ύψος στον πάσσαλο (κενά ή εδαφικά συσσωματώματα εντός του πασσάλου) ή ατελής καθαρισμός του εκσκαπτόμενου υλικού στην περιοχή της αιχμής του πασσάλου.

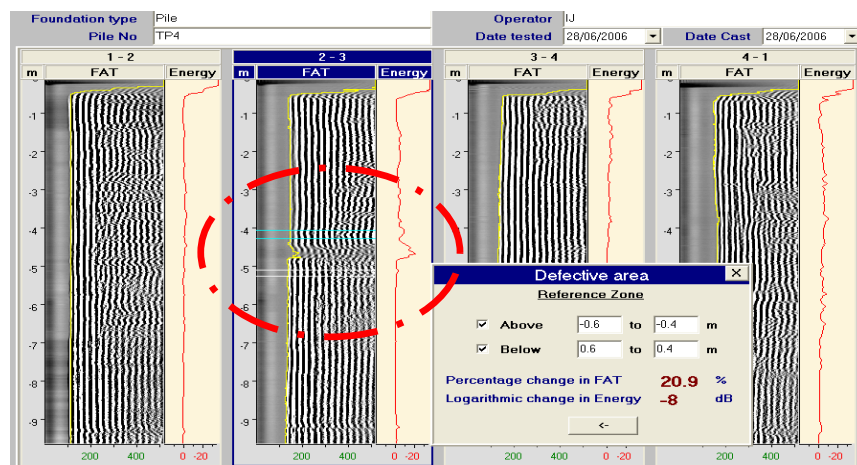
Καθώς οι αιτίες πρόκλησης κατασκευαστικών ατελειών σε πασσάλους ποικίλλουν και εξαρτώνται από πληθώρα παραγόντων, τα ανωτέρω αποτελέσματα δοκιμών σε τυχαία επιλεγμένο έργο κρίνονται μεζονος σημασίας καθώς φαίνεται ότι το ενδεχόμενο της κατασκευής στα τεχνικά έργα, πασσάλων με ατέλειες και με σημαντικές διαφοροποιήσεις στη γεωμετρία και στον τρόπο μεταβίβασης των φορτίων της ανωδομής στο έδαφος σε σχέση με τις παραδοχές που εύλογα υιοθετούνται κατά τη μελετητική διαδικασία είναι μια πραγματικότητα. Η σπουδαιότητα αυτής της πληροφορίας αποκτά πολύ μεγαλύτερη βαρύτητα δεδομένου του ότι οι συγκεκριμένες ατέλειες στην πλειοψηφία των περιπτώσεων παραμένουν καλά κρυμμένες εντός του εδάφους, καθώς η διαδικασία κατασκευής φρεατοπασσάλων θεμελίωσης είναι μια αφανής εργασία.

Παρά τις αυξημένες απαιτήσεις προετοιμασίας, και το κόστος εφαρμογής, κρίνεται ότι η



Σχήμα 6. Τυπικό προφίλ καταγραφών της υπερηχητικής μεθόδου αντιδιαμετρικής διάταξης
Figure 6. Typical profile with results of the Ultra-Soinc Cross-Hole testing method.

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



Σχήμα 7. Ανίχνευση εσκεμμένης κατασκευαστικής ατέλειας
Figure 7. Detection of intentional constructed defect.

χρήση της μεθόδου USCH σε έργα θεμελιώσεων επί φρεατοπασσάλων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την επιβεβαίωση της βέλτιστης κατασκευαστικής μεθόδου που θα πρέπει να εφαρμοσθεί, ιδίως στους πρώτους κατασκευαζόμενους πασσάλους έτσι ώστε να δοθεί έγκαιρα η δυνατότητα διορθωτικών ενεργειών. Τέλος, πέραν των κατασκευαστικών σφαλμάτων που έγκαιρα απαιτείται να κατανοούνται, ιδιαίτερη σημασία έχει η λεπτομερής γνώση των εδαφικών συνθηκών και η εκτίμηση του τρόπου απόκρισης αυτού λόγω της εκάστοτε υιοθετηθείσας κατασκευαστικής διαδικασίας.

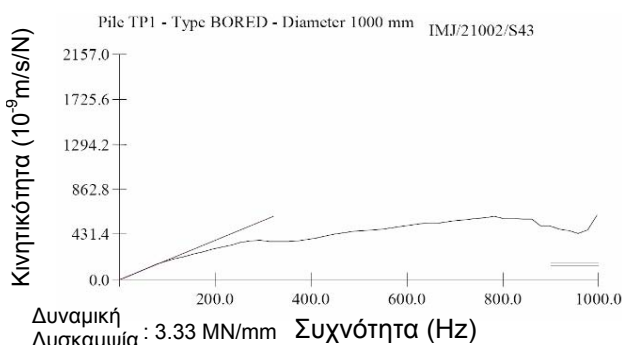
4.2 Μέθοδος παλμικής απόκρισης (TRM)

Τυπικά αποτελέσματα διαγραμμάτων κινητικότητας από τις δοκιμές παρατίθενται στο Σχήμα 8. Διαπιστώθηκε συστηματικά η δυσκολία της επιστροφής του σήματος εξαιτίας της διάταξης των πασσάλων (αλληλοτενυόμενη συστοιχία) και του βραχώδους υποβάθρου εντός του οποίου κατασκευάστηκε το βαθύτερο τμήμα των πασσάλων.

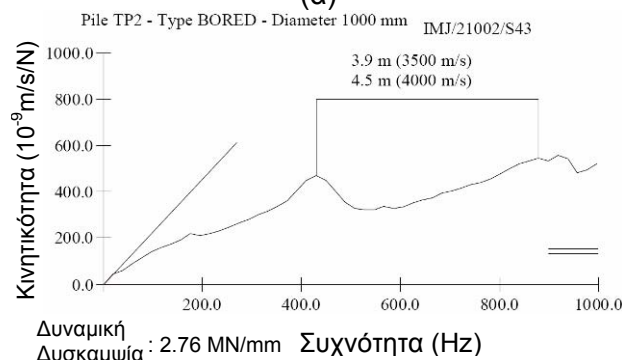
Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε απόσβεση στην απόκριση που καταγράφηκε, δίχως ένδειξη κάποιας σημαντικής αλλαγής στην εμπέδιση. Οι τιμές της δυναμικής δυσκαμψίας και της μέσης κινητικότητας ήταν φυσιολογικές. Δεν κατέστη δυνατή η εξακρίβωση της συνέχειας της σκυροδέτησης σ'όλο το μήκος του πασσάλου, συνεπώς και του βάθους της αιχμής αυτού, αλλά μόνο η έλλειψη απόκρισης από το επάνω τμήμα του πασσάλου που υποδηλώνει και έλλειψη ανωμαλιών σε αυτό. Η διατομή του πασσάλου και η ποιότητα του σκυροδέματος κρίθηκαν φυσιολογικές, τουλάχιστον στο άνω τμήμα του πασσάλου (Σχήμα 8α).

Σε έναν μόνο πάσσαλο (TP2) παρατηρήθη-

κε αύξηση της εμπέδισης σε βάθος 4.0m (Σχήμα 8β). Η τιμή της δυναμικής δυσκαμψίας ήταν φυσιολογική προς υψηλή και της μέσης κινητικότητας φυσιολογική προς χαμηλή. Η αύξηση της εμπέδισης οφείλεται πιθανότατα σε ύπαρξη δύσκαμπτης ενδιάμεσης εδαφικής στρώσης που βάσει των γεωτεχνικών πληροφοριών συμπίπτει και με το βάθος που συναντάται το βραχώδες υπόβαθρο. Δεν κατέστη δυνατή η ανίχνευση της εσκεμμένης κατασκευαστικής ατέλειας στον έναν πάσσαλο.



(α)



(β)

Σχήμα 8. Διαγράμματα κινητικότητας από δοκιμές παλμικής απόκρισης (TRM).
Figure 8. Mobility charts obtained from tests according to the Transient Response method.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μη-καταστροφικές μέθοδοι ποιοτικού ελέγχου πασσάλων αποτελούν ισχυρό εργαλείο επιβεβαίωσης της υλοποίησης των προβλέψεων των μελετών στο έργο, αλλά και εξασφάλισης έναντι ατελειών που μπορεί να προκληθούν από την κατασκευαστική διαδικασία.

Παρά το ότι στις ημέρες μας είναι σχετικά εύκολο με τα διαθέσιμα πλέον όργανα να λαμβάνονται υψηλού επιπέδου και αξιοπιστίας καταγραφές σημάτων ως αποτέλεσμα μιας πηγής προέλευσης (π.χ. σφύρας), δεν είναι ακόμη εφικτό να απομονωθούν οι αβεβαιότητες που απορρέουν από την αλληλεπίδραση πασσάλων – περιβάλλοντος εδάφους. Επίσης, παρά τη σχετική απλότητα της διαδικασίας εκτέλεσης των δοκιμών και του φιλικού προς το χρήστη γραφικού περιβάλλοντος παρουσίασης των αποτελεσμάτων των δοκιμών, η ερμηνεία των καταγραφών για την ύπαρξη πιθανών κατασκευαστικών ατελειών προϋποθέτει την εμπειρία του χρήστη και την κατανόηση του θεωρητικού υποβάθρου κάθε δοκιμής.

Είναι σαφές ότι τα αποτελέσματα της πλέον διαδεδομένης, στην καθημερινή πράξη, μεθόδου ελέγχου της ακεραιότητας πασσάλων, Παλμικής Απόκρισης TRM, εμπεριέχουν σε πολλές περιπτώσεις μη αξιοποιήσιμες πληροφορίες, λόγω της σημαντικής απόσβεσης στην οποία ενδεχομένως να υπόκειται η προκαλούμενη διέγερση. Η επιλογή δηλαδή της καταλληλότερης κάθε φορά μεθόδου ποιοτικού ελέγχου απαιτείται να λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες κάθε μεθόδου, αλλά και τις γεωτεχνικές συνθήκες ανά περίπτωση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μη γενική καταλληλότητα της μεθόδου TRM σε φρεατοπασσάλους εντός ημι-βραχωδών / βραχωδών σχηματισμών.

Η υπερηχητική μέθοδος συνεχούς διασκόπησης σε αντιδιαμετρική διάταξη δεν επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση πασσάλου – περιβάλλοντος εδάφους και δύναται να παρέχει πληροφορίες για το βάθος και τη συνέχεια της σκυροδέτησης καθ' αυτής, αλλά και για την κατάσταση στην κρίσιμη περιοχή της αιχμής του πασσάλου.

Κρίνεται ότι ο έλεγχος της κατασκευαστικής διαδικασίας, μέσω κατάλληλα επιλεγμένων μεθόδων ελέγχου της ακεραιότητας πασσάλων με μη-καταστροφικές μεθόδους είναι απαραίτητος κατά τα πρώτα στάδια κατασκευής, εξασφαλίζοντας ότι θα υλοποιηθούν στο έργο όλες οι παραδοχές που υιοθετούνται κατά το στάδιο της μελέτης.

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι δοκιμές ποιοτικού ελέγχου σε φρεατοπασσάλους πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος “Αντισεισμική Προστασία Γεφυρών” (ΑΣΠΡΟΓΕ) που συνχρηματοδοτήθηκε από την Γ.Γ.Ε.Τ. Ευχαριστούμε για τη συμβολή της στο έργο την κα. Α. Γιαννακού, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό. Οι δοκιμές ποιοτικού ελέγχου εκτελέστηκαν από την εξειδικευμένη Βρετανική εταιρία Test Consult Ltd.

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”.
- Brown, D.A. (2004). “Zen and the Art of Drilled Shaft Construction: The Pursuit of Quality”. Proc. of GeoSupport: Drilled Shafts, Micropiling, Deep Mixing, Remedial Methods, and Specialty Foundation Systems. ASCE. Geotech. Special Publ. No. 124, pg. 19-33.
- 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.
- Petek, K., Felice, C. W., & Holtz, R. D. (2002). “Capacity Analysis of Drilled Shafts with Defects”. Proc. Intern. Deep Foundations Congress: An International Perspective on Theory, Design, Construction, and Performance. ASCE. Geotech. Special Publ. No. 116, pg. 1120-1135.
- Poulos, H. (2005). “Pile behavior – consequences of geological and construction imperfections”. J. Geotech. & Geoenv. Eng. ASCE, Vol. 131, No. 5. pg. 538 – 563.
- 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.
- Φίκιρης, Ι.Φ., Καβουνίδης, Σ. & Ντουνιάς, Γ.Θ. (2010). “Πρόταση προδιαγραφών ποιοτικού ελέγχου έγχυτων πασσάλων με μη – καταστροφικές μεθόδους”. Πρακτ. 6^ο Πανελλήνιο Συν. Γεωτεχ. & Γεωπεριβαλ. Μηχ. Βόλος.

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