

## Χρήση Ραντάρ για τη Διερεύνηση Σκυροδέματος με Εγκιβωτισμένα Στοιχεία Διαφόρων Υλικών

### Κωνσταντίνος Τρέζος

*Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π., ctrezos@central.ntua.gr*

### Βασιλική Παλιεράκη

*Δρ. Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., vasopal@central.ntua.gr*

### Ιωάννης Π. Σφήκας

*Δρ. Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., gsifikas@gmail.com*

### Ερατώ Οικονομοπούλου

*Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., erato.oikonomopoulou@gmail.com*

### Κωνσταντίνος Χριστίδης

*MSc Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., kwstas\_chr@hotmail.com*

Το ωπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται συστηματικά για την κατασκευή κτηρίων και έργων υποδομής κατά την τελευταία εκατονταετία. Σε υφιστάμενες κατασκευές μεγάλης ηλικίας συχνά κρίνεται απαραίτητη η ενίσχυση, η αποκατάσταση ή η επισκευή τους. Για την πραγματοποίηση της επέμβασης είναι απαραίτητη η γνώση της εσωτερικής κατάστασης των φερόντων στοιχείων της κατασκευής. Ωστόσο, πολλές φορές τα σχέδια δεν είναι διαθέσιμα, δεν είναι πλήρη ή δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματική κατάσταση εξαιτίας: (1) ανεπιθύμητων μετακινήσεων οπλισμών κατά την κατασκευή, (2) στοιχείων διαφορετικών υλικών (μεταλλικά, ξύλινα, πλαστικά), που έχουν σκοπίμως ή αθέλητα εγκιβωτιστεί στο σκυρόδεμα, χωρίς καταγραφή, ή (3) εσωτερικών κενών.

Η μέθοδος του ραντάρ είναι μη καταστροφική και βασίζεται στη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η χρήση της μεθόδου δύναται να συμβάλει στην αποτίμηση της εσωτερικής κατάστασης των κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Το ραντάρ αποτελείται από την κεντρική μονάδα, που αποτελεί το κέντρο ελέγχου, και από μία κεραία που σύρεται στην επιφάνεια εξέτασης και αποτελεί ταυτόχρονα τον πομπό και τον δέκτη του παλμού. Όταν ο παλμός συναντήσει διεπιφάνεια υλικών διαφορετικών διηλεκτρικών σταθερών, τότε ένα μέρος-του επιστρέφει στον δέκτη, τροφοδοτώντας το σύστημα με αυτήν την πληροφορία (χρόνος επιστροφής, ένταση), ενώ το υπόλοιπο μέρος του παλμού συνεχίζει να διεισδύει σε μεγαλύτερο βάθος στο υλικό, καθώς αποσβένεται.

Με αφορμή τους προβληματισμούς που προέκυψαν κατά την προσπάθεια ερμηνείας σαρώσεων που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν σε υπάρχουσες κατασκευές στην Ελλάδα (Trezos et al., 2013) έγινε φανερό ότι πολλές από τις δυνατότητες του ραντάρ είναι απαραίτητο να γίνουν περισσότερο κατανοητές, ώστε να αξιοποιηθούν πλήρως και επιτυχώς για την απόκτηση αξιόπιστων πληροφοριών. Στόχος της περαιτέρω διερεύνησης ήταν η ελεγχόμενη εφαρμογή της μεθόδου (επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού, παράμετροι συλλογής δεδομένων και ευαισθησία απόκρισης σε αυτές, εξέταση συνθηκών σάρωσης) και η ανάλυση και ερμηνεία των ευρημάτων που προέκυψαν από τη σάρωση έξι εργαστηριακών δοκιμίων γνωστών περιεχόμενων στοιχείων διαφόρων υλικών σε γνωστά βάθη. Στους περιεχόμενους στόχους συμπεριλήφθηκαν υλικά που απαντούν στις συνήθεις κατασκευές. Για την κατασκευή των δοκιμίων, πάχους 30cm, χρησιμοποιήθηκε αυτοσυμπυκνόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας αντοχής C25/30, που προτιμήθηκε έναντι του συμβατικού διότι δεν απαιτεί δόνηση, η

οποία πιθανόν να διατάρασσε τις ακριβείς θέσεις των εγκιβωτισμένων στοιχείων, και διότι προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας ομογενούς μίγματος με λιγότερα κενά και πλήρη εγκιβωτισμό των περιεχόμενων στοιχείων. Όλα τα δοκίμια σκυροδετήθηκαν την ίδια μέρα και συντηρήθηκαν στις ίδιες συνθήκες (περιβάλλον εργαστηρίου), παρέμειναν καλουπωμένα για 7 μέρες και ύστερα τοποθετήθηκαν έτσι ώστε να υπάρχει πρόσβαση και στις δύο μεγάλες τους επιφάνειες.

Διενεργήθηκαν σαρώσεις σε διάφορες ηλικίες του σκυροδέματος, από 7 ημερών μέχρι τριών ετών. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις κεραίες διαφορετικών συχνοτήτων: 900MHz και 1600MHz, συμβατές με την ίδια κεντρική μονάδα, και 2600MHz που διέθετε δική της κεντρική μονάδα, με την οποία αποτελεί ενιαίο σύστημα. Οι σαρώσεις με τις κεραίες 1600MHz και 2600MHz πραγματοποιήθηκαν με χρήση τροχήλατου οχήματος, ενώ οι σαρώσεις με την κεραία 900MHz πραγματοποιήθηκαν χωρίς όχημα. Με το τροχήλατο όχημα συλλέγονται αρχεία συναρτήσεως της απόστασης που διανύθηκε, η οποία καταγράφεται στον οριζόντιο άξονα. Όταν δεν χρησιμοποιείται όχημα, οι αποστάσεις στον οριζόντιο άξονα δύνανται να προσδιοριστούν με το ειδικό λογισμικό του ραντάρ. Ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στον συνολικό χρόνο διαδρομής του παλμού, από την εκπομπή του από τον πομπό έως την επιστροφή στον δέκτη που επηρεάζεται από προσπτώσεις του σήματος σε διεπιφάνειες υλικών. Η ορθή μετατροπή από όρους χρόνου σε όρους απόστασης (βάθους) επιτυγχάνεται με την εισαγωγή κατάλληλης τιμής της διηλεκτρικής σταθεράς. Οι σημαντικότερες παράμετροι του συστήματος είναι το εύρος καταγραφής (βάθος διεϊσδυσσης) και η ενίσχυση ή αποδυνάμωση του σήματος σε επιλεγμένα βάθη. Οι ρυθμίσεις των δύο αυτών παραμέτρων είναι αλληλένδετες και γίνονται χειροκίνητα ή αυτόματα. Στο πλαίσιο της παρούσας διερεύνησης εξετάστηκε η επιρροή της συχνότητας κεραίας, των ρυθμίσεων σημαντικών παραμέτρων, των περιεχόμενων στόχων και της ηλικίας του σκυροδέματος στη λαμβανόμενη εικόνα.

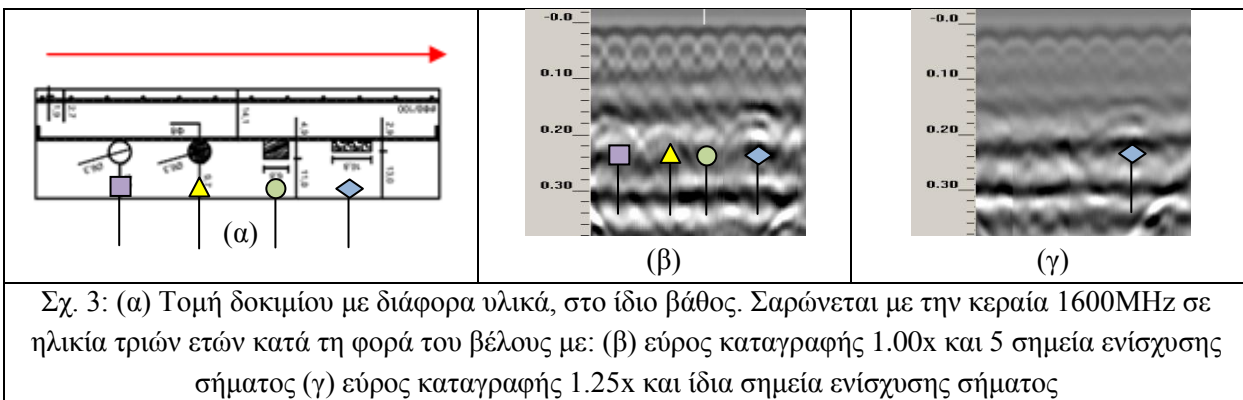
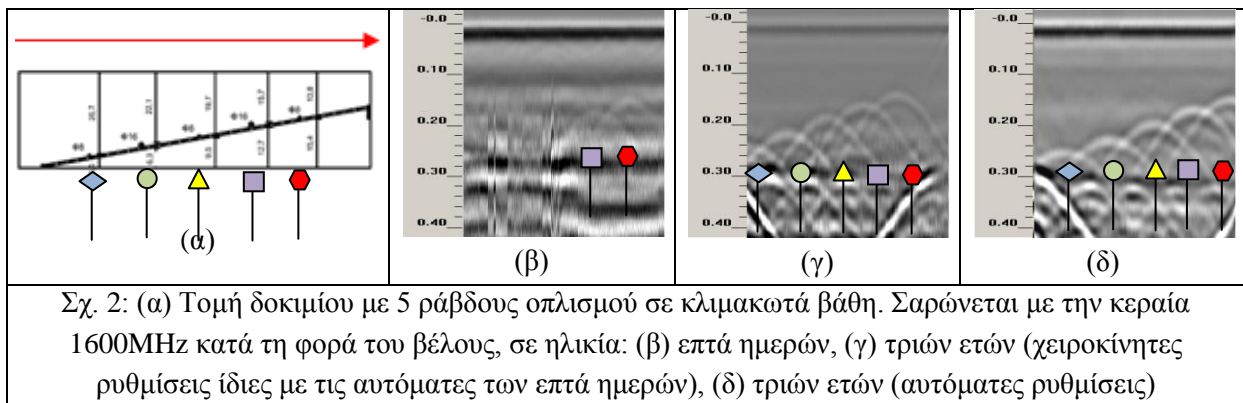
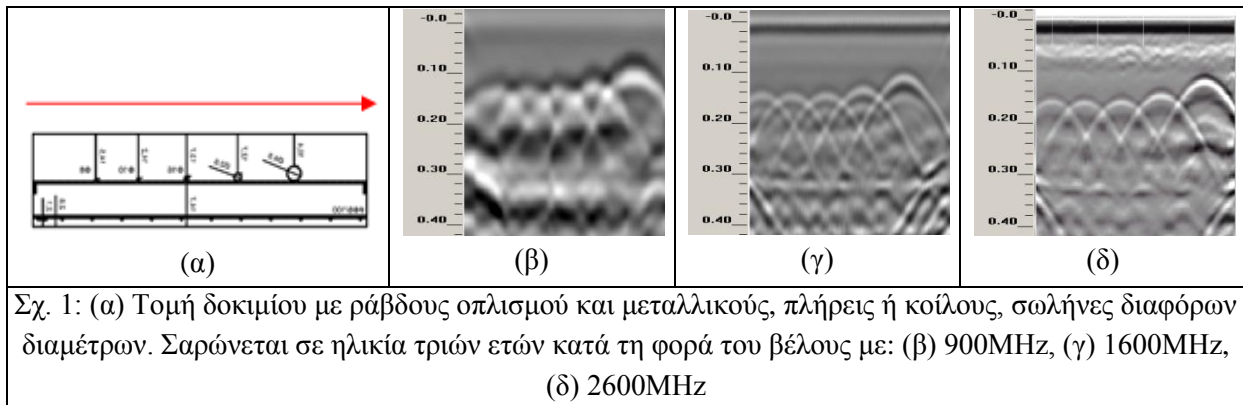
Τα σημαντικότερα ευρήματα στο παρόν στάδιο της μελέτης περιλαμβάνουν τα εξής:

**(α)** Είναι γνωστό και κοινώς αποδεκτό (Daniels, 1996) ότι μικρότερη συχνότητα κεραίας συνεπάγεται αυξημένη διεϊσδυτική ικανότητα, αλλά μειωμένη ευκρίνεια εικόνας. Για τα δοκίμια που εξετάστηκαν (Σχ.1α) σε ηλικία τριών ετών προέκυψε ότι η κεραία 1600MHz είναι πιο κατάλληλη από την κεραία 900MHz, αφού προσφέρει καλύτερα σχηματισμένες αντανακλάσεις (Σχ.1β,γ). Σε αντίστοιχες μετρήσεις με την κεραία 2600MHz παρατηρήθηκε «θόρυβος», που αποδόθηκε στις υποχρεωτικώς αυτομάτως, λόγω περιορισμού κεντρικής μονάδας, ρυθμιζόμενες παραμέτρους (Σχ.1δ). Η επιλογή κατάλληλης συχνότητας γίνεται ανάλογα με το πάχος και το υλικό του εξεταζόμενου στοιχείου.

**(β)** Την παρατήρηση ότι όσο μικρότερη είναι η ηλικία του δοκιμίου, τόσο μικρότερη η διεϊσδυτική ικανότητα του οργάνου. Στην περίπτωση όπου το σκυρόδεμα δεν έχει ωριμάσει επαρκώς, όπως στην ηλικία των επτά ημερών, η διάκριση των περιεχομένων είναι πιο δύσκολη (Σχ. 2β). Αντιθέτως, στην ηλικία των τριών ετών όλοι οι στόχοι εντοπίζονται εξίσου ευκρινώς είτε με τις ρυθμιζόμενες παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν στη σάρωση σε ηλικία επτά ημερών (Σχ. 2γ) είτε με αυτόματες ρυθμίσεις (Σχ. 2δ). Η παρατήρηση αυτή αποδόθηκε στην παρουσία αυξημένης υγρασίας κατά τις μικρές ηλικίες, που σταθεροποιήθηκε σταδιακά (εν χρόνω) σε μια πολύ χαμηλότερη τιμή, υπό το σχετικώς σταθερό κλιματικό περιβάλλον του εργαστηρίου.

**(γ)** Τη διαπίστωση ότι οι ρυθμίσεις των παραμέτρων της σάρωσης επηρεάζουν σημαντικά τη σαφήνεια της λαμβανόμενης εικόνας. Μεγάλη προσοχή απαιτείται στη ρύθμιση της ενίσχυσης σήματος (πλήθος σημείων ενίσχυσης και αντίστοιχοι πολλαπλασιαστές) συναρτήσεως του εύρους καταγραφής. Η αλλαγή του εύρους καταγραφής μιας σάρωσης χωρίς ταυτόχρονη μεταβολή της ενίσχυσης σήματος διαφοροποιεί τη λαμβανόμενη εικόνα: στο Σχήμα 3β οι ρυθμίσεις επιτρέπουν τον εντοπισμό των στόχων, ενώ στο Σχήμα 3γ οι στόχοι είναι, γενικώς, δυσδιάκριτοι.

Συνοψίζοντας, με ορθή εφαρμογή της μεθόδου από έμπειρους χρήστες και επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού και παραμέτρων σάρωσης, είναι δυνατή η εκτίμηση του πάχους των στοιχείων και της επικάλυψης των οπλισμών, αλλά και ο εντοπισμός εγκιβωτισμένων στοιχείων διαφορετικών υλικών και περιοχών αυξημένης υγρασίας. Περισσότερες πληροφορίες είναι δυνατόν να αποκτηθούν όταν η διερεύνηση πραγματοποιείται συνδυαστικά με κεραίες διαφορετικών συχνοτήτων ή/και με άλλες, μη ή ελάχιστα καταστροφικές, μεθόδους, για την ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων.



### Βιβλιογραφία

- Trezos K., Palieraki V., Sfikas I. (2013) *Effectiveness of GPR on Structural Assessment: Hints for the Potential User*. Proceedings of the IABSE Spring Conference, Rotterdam, Netherlands. IABSE Symposium Report 99(30):207-214.
- Daniels D.J. (1996) *Surface-penetrating radar*. Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series. The Institution of Electrical Engineers, London, UK.