

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

<u>Διπλωματική Εργασια</u> Αποτίμηση της Εσωτερικής Κατάστασης Στοιχείων από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα με τη Χρήση Ραντάρ

Ερατώ Οικονομοπούλου

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γ. Τρέζος Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2016



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF STRUCTURAL ENGINEERING

LABORATORY OF REINFORCED CONCRETE

DIPLOMA THESIS Evaluation of the Internal Condition of Reinforced Concrete Elements via Radar Method

Erato Oikonomopoulou

Supervisor: Dr. Konstantinos G. Trezos Associate Professor N.T.U.A.

Athens, March 2016

Εγχαριστιές

Στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Τρέζο απευθύνω τις θερμές μου ευχαριστίες για την ευκαιρία που μου προσέφερε να ασχοληθώ με ένα καινοτόμο θέμα μεγάλου ενδιαφέροντος, για τη συνεχή επιστημονική του καθοδήγηση, τη συμβουλευτική διάθεση και τις πολύτιμες επισημάνσεις του καθ' όλη τη διάρκεια του παρόντος πονήματος.

Τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου εκφράζω στην κα. **Βασιλική Παλιεράκη,** διδάκτορα Ε.Μ.Π., για την ακατάπαυστη παρουσία της σε όλα τα στάδια της εργασίας, την αμέριστη βοήθειά της τόσο στο θεωρητικό υπόβαθρο όσο και στη διαδικασία της εφαρμογής και το εξαιρετικό κλίμα συνεργασίας που μου προσέφερε.

Εγκάρδιες ευχαριστίες επίσης οφείλω στην κα. **Βασιλική Νικολοπούλου**, υποψήφια διδάκτορα Ε.Μ.Π., για τη διαρκή βοήθεια και συμπαράσταση, τις καίριες συμβουλές της και τη δημιουργία αγαστών συνθηκών συνεργασίας.

Στη διδάκτορα Ε.Μ.Π. κα. **Χρυσή-Ελπίδα Αδάμη** ένα μεγάλο ευχαριστώ για την εμψύχωση και την προθυμία της να συμβάλλει συμβουλευτικά οποιαδήποτε στιγμή.

Ευχαριστίες απευθύνω στον ηλεκτρολόγο του Εργαστηρίου κ. **Παναγιώτη Κορνέζο** για τη σημαντική συνεισφορά του στη φάση διερεύνησης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Χρήστο και Γεωργία, και τους φίλους μου για την έμπρακτη και αδιάκοπη υποστήριξη και τις πάντα χρήσιμες συμβουλές που μοιράστηκαν μαζί μου όλο αυτό τον καιρό.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος της παρούσας εργασίας συνίσταται στη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της γρήσης ραντάρ ως μεθόδου αποτίμησης της εσωτερικής κατάστασης στοιγείων ωπλισμένου σκυροδέματος και στην ανάπτυξη τεχνικών για τη βελτιστοποίηση της συλλογής πληροφοριών και της ερμηνείας τους. Η μέθοδος του ραντάρ είναι μη καταστροφική και επιτρέπει την αναγνώριση του τρόπου κατασκευής των αθέατων τμημάτων των κατασκευών και τη συγκέντρωση πληροφοριών για την κατάστασή τους. Συγκεκριμένα, η μέθοδος εφαρμόζεται σε στοιχεία γνωστών περιεχομένων από αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, αλλά και αγνώστων από συμβατικό σκυρόδεμα. Εξετάζεται η επιρροή της ηλικίας, της υγρασίας, του τύπου σκυροδέματος, της συχνότητας και του προσανατολισμού της κεραίας, των περιεχόμενων στόχων και των ρυθμίσεων παραμέτρων στην ποιότητα της αποκτώμενης εικόνας. Διαπιστώνεται η μείωση της διεισδυτικής ικανότητας και ο σχηματισμός συγκεχυμένων αντανακλάσεων παρουσία υγρασίας και η διαφοροποίηση στην εκτίμηση της διηλεκτρικής σταθεράς νια αυτοσυμπυκνούμενο συγκριτικά με συμβατικό σκυρόδεμα. Επίσης, παρουσιάζεται η διαφοροποίηση των αντανακλάσεων των περιεχόμενων στόχων αναλόγως του υλικού τους και της συχνότητας της χρησιμοποιούμενης κεραίας. Επί πλέον, αξιοποιείται η εναλλαγή του προσανατολισμού της κεραίας με σκοπό το διαχωρισμό των μεταλλικών από τα μη μεταλλικά στοιχεία και τον εντοπισμό της συνύπαρξης ράβδων διαφορετικών διαμέτρων στην κατασκευή και αναπτύσσονται προτάσεις που αφορούν την καταλληλότητα των ρυθμίσεων παραμέτρων για την απόκτηση σαρώσεων υψηλής ποιότητας. Ακόμα, παρουσιάζεται η τεχνική της απόκτησης τρισδιάστατων αρχείων και η τυπική διαδικασία επεξεργασίας των σαρώσεων με τη χρήση λογισμικού ηλεκτρονικού υπολογιστή.

ABSTRACT

The purpose of the present study is the investigation of Ground Penetrating Radar (GPR) effectiveness as a method to evaluate the internal condition of reinforced concrete elements. This is a nondestructive method allowing for the structural assessment of existing real field structures. In particular, the method is applied to both, specimens from self-compacting concrete with known targets, and elements from normal-weight concrete of undefined internal condition. The effect of the following parameters on the obtained data has been taken into account: the age, the moisture and the type of concrete, the element of the embedded targets, the antenna's frequency and orientation, and the GPR's settings. More specifically, when high levels of moisture are present, it is observed that the radar's penetrating ability is reduced and the resulting reflections are vague. Furthermore, it is detected that a different dielectric constant has to be estimated for selfcompacting concrete in comparison to the normal-weight one. In addition, it is ascertained that alterations in the antenna frequency, the system's settings and the target's element provide a different visual result. An evaluation of the results associated with the orientation has proved that cross-polarized antennas are reliable for detecting metal targets and for distinguishing different rebar diameters. The technique of acquiring three-dimensional files is provided, as well as the typical data processing of scans with the use of suitable software. Various useful observations aiming at high-quality scans and appropriate data interpretation are reported for potential users.

Πινακάς Περιεχομένων

	KEΦΑΛΑΙΟ 10 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1	Συνοπτική Ιστορική Αναδρομή	5
1.2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	5
2.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2º : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	
2.1	Χαρακτηριστικά Κεραιών	11
2.2	Ιδιότητες Υλικών	
2.3	Φάσεις Λειτουργίας του Συστήματος	21
Α	ρχική επιλογή	
Pι	θμίσεις συλλογής δεδομένων	
Σι	λλογή δεδομένων	
Pι	θμίσεις αναπαραγωγής δεδομένων	
A	ναπαραγωγή δεδομένων	
2.4	Καταλληλότητα ρυθμίσεων παραμέτρων	
25		Séua-00 28
2.3 3.	KEΦΑΛΑΙΟ 3 ^o : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ	
 3. 4. ΣΚΥ 	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3º : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4º : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	32 ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40
 3. 4. ΣΚΥ 4.1 	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	32 ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40
 3. 4. ΣΚΥ 4.1 	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	
 3. 4. ΣΚΥ 4.1 Σco 	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	32 ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 45
 3. 4. ΣΚΥ 4.1 Σα 	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	
 3. 4. ΣΚΥ 4.1 Σα 	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	32 MIA ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 43 50 52
 3. 4. ΣΚΥ 4.1 Σα 	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ ΓΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	32 ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 43 45 50 52 61
 3. 4. ΣΚΥ 4.1 Σc 	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	32 MIA ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 43 45 50 52 61 64
 3. 4. ΣΚΝ 4.1 Σ(ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	32 ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 43 50 52 61 64 64 67
 3. 4. ΣΚΥ 4.1 Σα Σα Σα 	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	32 ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 43 50 50 52 61 64 64 67 68
 2.3 3. 4. ΣΚΥ 4.1 Σα <	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 43 45 50 52 61 64 64 67 68 71
 3. 4. ΣΚΥ 4.1 Σα 	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ ΓΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 45 50 52 61 64 67 68 71 74
 2.3 3. 4.1 Σ Σ Σ Σ Σ Σ Δ Σ Δ Δ<	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	32 MIA ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 43 45 50 52 61 61 64 64 67 68 71 74
 2.3 3. 4. ΣΚΥ 4.1 Σ(2) Σ(2)<	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 45 50 52 61 64 64 67 68 71 74 76 77
 2.3 3. 4. ΣΚΝ 4.1 Σ(α) Σ(α)<	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ Λοκίμιο 1 αρώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών Σκυρόδεμα ηλικίας τριών μηνών Σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών Προσανατολισμός κεραίας Σαρώσεις συναρτήσει του χρόνου αρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz αρώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz Αοκίμιο 2 Δοκίμιο 2	ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 45 50 52 61 64 67 68 71 74 76 77 79
 2.3 3. 4.1 Σ(0) Σ(ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 45 50 52 61 64 67 68 71 74 76 77 79 83
 2.3 3. 4.1 Σ(Λ) Σ(ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 45 50 52 61 64 67 68 71 74 76 77 79 83 84
 2.3 3. 4. ΣΚΥ 4.1 Σ(2) Σ(2)<	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ⁰ : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ⁰ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ Δοκίμιο 1 Δοκίμιο 1 Δοκίμιο 1 Δοκίμιο 1 Δοκύμιο 1 Δούσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών Σκυρόδεμα ηλικίας τριών μηνών Σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών Προσανατολισμός κεραίας Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz μόσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz μοώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz μοώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz Σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών Δοκίμιο 2 μοώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών Σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών	32 ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 45 50 52 61 64 64 67 68 71 74 76 77 79 83 84
 2.3 3. 4. ΣΚΥ 4.1 Σα 	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙ (ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	32 ΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ 40 42 43 45 50 52 61 64 67 68 71 74 76 77 79 83 84 90

Σ	ζαρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz	
Σ	ζαρώσεις με μαγνητόμετρο	
43	۸٥κίμιο 3	03
Σ	Δοκιριο Επικεραία συγνότητας 1600MHz	
	Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών	
	Σκυρόδεμα ηλικίας τριών μηνών	
	Σαρώσεις σε σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών	
	Προσανατολισμός κεραίας	
	Σαρώσεις συναρτήσει του χρόνου	
Σ	ζαρώσεις με την κεραία συγνότητας 900MHz	
Σ	ζαρώσεις με την κεραία συγνότητας 2600MHz	
Σ	ωγκριτικά Σχόλια	
Σ	ζαρώσεις με μαγνητόμετρο	
4.4	Δοκίμιο 4	
Σ	Δαρώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz	
	Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών	
	Σκυρόδεμα ηλικίας τριών μηνών	
	Σαρώσεις σε σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών	
	Επαναληψιμότητα μεθόδου	
	Προσανατολισμός κεραίας	
	Σαρώσεις συναρτήσει του χρόνου	
	Στατικές Δοκιμές	
Σ	ζαρώσεις με την κεραία συχνότητας 900MHz	
Σ	λαρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz	
4.5	Δοκίμιο 5	
Σ	Δαρώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz	
	Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών	
	Σκυρόδεμα ηλικίας τριών μηνών	
	Σαρώσεις σε σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών	
	Προσανατολισμός κεραίας	
	Σαρώσεις συναρτήσει του χρόνου	
	Κατακόρυφες σαρώσεις	
Σ	ζαρώσεις με την κεραία συχνότητας 900MHz	
Σ	ζαρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz	
Σ	ωγκριτικά Σχόλια	
Σ	λαρώσεις με μαγνητόμετρο	
4.6	Δοκίμιο 6	
Σ	ζαρώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz	
	Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών	
	Σκυρόδεμα ηλικίας τριών μηνών	
	Σαρώσεις σε σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών	
	Προσανατολισμός κεραίας	
	Σαρώσεις συναρτήσει του χρόνου	
Σ	ζαρώσεις με την κεραία συχνότητας 900MHz	
Σ	Δαρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz	
Σ	ωγκριτικά Σχόλια	

5. ΩΠ	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5º: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗ ΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	PIO 176
5.1	Πρώτος όροφος του Εργαστηρίου	
Δ	ιέρειστες Πλάκες	
	Πλάκες Π1-Π2:	
	Πλάκα Π2:	
	Πλάκες Π2-Π3:	
	Πλάκα Π3:	
	Πλάκες Π3-Π4	
	Πλάκα Π4:	
	Πλάκες Π4-Π5:	
	Πλάκα Π5:	
Σι	υγκεντρωτικές Παρατηρήσεις	
T	ριέρειστες πλάκες	
Y	ποστυλώματα εκατέρωθεν αρμού	
5.2	Ισόγειο του εργαστηρίου	
П	εριοχή Α	
П	εριοχή Β	
Σι	υγκεντρωτικές Παρατηρήσεις	
В	ραχύς πρόβολος	
В	άση πλαισίου δοκιμών	
5.3	Ειδικές περιπτώσεις	
П	λάκα επί υπάρχουσας πλάκας	
$\Delta $	οκίμια με ίνες χάλυβα	
П	ροεντεταμένο στοιχείο	
П	λάκα επί εδάφους	
Σ	άρωση σε άσφαλτο	
6.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ⁰ : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	253
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
8.	ПАРАРТНМА	

Η προοπτική ανίχνευσης αντικειμένων απομακρυσμένων από την επιφάνεια έχει συναρπάσει την ανθρωπότητα ανά τους αιώνες. Θα ήταν πολύ ελκυστική η ιδέα της σύλληψης μιας μοναδικής τεχνικής που θα καθιστούσε τα υπό έρευνα υλικά και τα περιεχόμενά τους ορατά και ευδιάκριτα. Σε αυτό το σκοπό έχουν προσανατολιστεί οι προσπάθειες επιστημόνων και ειδικότερα μηχανικών ώστε να επινοηθούν κατάλληλες μέθοδοι αναζήτησης. Ως σήμερα, δεν υφίσταται μία και μοναδική μέθοδος που να παρέχει ολοκληρωμένη απάντηση, ωστόσο η χρήση του Radar (<u>RA</u>dio <u>D</u>etecting <u>A</u>nd <u>R</u>anging) έχει συμβάλλει ουσιαστικά προς αυτήν την κατεύθυνση.

Η αποτίμηση της εσωτερικής κατάστασης των κατασκευών αποτελεί κρίσιμο ζητούμενο στις περιπτώσεις που επιδιώκεται η συντήρηση, η ενίσχυση ή η αναπαλαίωσή τους. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις το έργο του πολιτικού μηγανικού δυσχεραίνεται, αφού συχνά τα στατικά σχέδια μιας υφιστάμενης κατασκευής δεν είναι διαθέσιμα ή ακόμα κι αν είναι ίσως δεν έχουν εφαρμοστεί πιστά ή κρίνονται ελλιπή. Ακόμα, όμως, και στις περιπτώσεις που τα σχέδια υπάρχουν και έχουν ακολουθηθεί με σχολαστικότητα, είναι και πάλι πιθανό να υπάρχει ασυμβατότητα μεταξύ σχεδίου και πραγματικότητας, εξαιτίας αθέλητων μετακινήσεων των οπλισμών (Trezos et al., 2013). Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η υπάρχουσα εσωτερική κατάσταση είναι απαραίτητη η εφαρμογή μεθόδων που θα είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερες, χωρίς όμως να καταστρέφουν τη συνέχεια του υλικού. Για την εξυπηρέτηση αυτής της ανάγκης έχουν αναπτυχθεί μη καταστροφικές ή ελάχιστα καταστροφικές μέθοδοι οι οποίες, γρησιμοποιούμενες καθεμία ξεγωριστά ή και συνδυαστικά, μπορούν να δώσουν μια εικόνα του εσωτερικού του υλικού και ορισμένων χαρακτηριστικών του. Η χρησιμότητά του ραντάρ έγκειται στην απεικόνιση της εσωτερικής κατάστασης υλικών χωρίς να απαιτείται επέμβαση στην κατασκευή. Η τεχνική του βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς που ενδιαφέρουν τον πολιτικό μηχανικό, όπως κατασκευές από σκυρόδεμα, κατασκευές από τοιχοποιία, σήραγγες, γεφυροποιία, οδοποιία, γεωτεχνική και αρχαιολογικές έρευνες.

Η λειτουργία του ραντάρ βασίζεται στη μέθοδο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η συσκευή εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό σήμα το οποίο διαπερνά την επιφάνεια με την οποία βρίσκεται σε επαφή η κεραία. Όταν το σήμα συναντήσει υλικό με διαφορετική διηλεκτρική σταθερά από το μέσο στο οποίο διαδίδεται, τότε μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται, επιστρέφει στην κεραία και αναπαράγεται σε πραγματικό χρόνο. Ο τρόπος με τον οποίο αναπαράγονται οι λαμβανόμενες πληροφορίες δίνει την εικόνα μιας τομής της επιφάνειας που σαρώθηκε. (*Καπετανάκης, 2002*)

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του ραντάρ στην αποτίμηση της εσωτερικής κατάστασης στοιχείων από ωπλισμένο σκυρόδεμα (Ω .Σ.). Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η επιρροή της ηλικίας, της υγρασίας και του τύπου σκυροδέματος, του προσανατολισμού της κεραίας, της χρήσης κεραιών διαφορετικών συχνοτήτων, του υλικού των περιεχόμενων στόχων, των ρυθμίσεων συλλογής δεδομένων και της επεξεργασίας μέσω H/Y στην ποιότητα της εικόνας που αποκτάται. Επίσης, γίνεται αναφορά στην ακρίβεια και την επαναληψιμότητα της μεθόδου, ενώ αναπτύσσονται συμπεράσματα και χρήσιμες τακτικές για την πιο τελεσφόρα εφαρμογή της μεθόδου και τη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Για την εξυπηρέτηση του σκοπού της εργασίας σαρώθηκαν αφενός έξι δοκίμια σκυροδέματος, τα οποία κατασκευάστηκαν για το σκοπό αυτό και περιέχουν υλικά γνωστών διαστάσεων σε γνωστά βάθη, αφετέρου στοιχεία του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος, των οποίων η εσωτερική κατάσταση είναι άγνωστη. Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται η εισαγωγή στο θέμα,

συνοδευόμενη από μια σύντομη ιστορική και βιβλιογραφική αναδρομή. Το δεύτερο κεφάλαιο αφιερώνεται στην περιγραφή της μεθόδου του ραντάρ, τις απαιτούμενες ρυθμίσεις του συστήματος και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Το τρίτο κεφάλαιο διεξέρχεται το θέμα της επεξεργασίας των σαρώσεων με Η/Υ. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι σαρώσεις των δοκιμίων. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται οι σαρώσεις στοιχείων του Εργαστηρίου, ενώ παράλληλα γίνεται αναφορά στη δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης των δεδομένων που λαμβάνει το ραντάρ και παρουσιάζονται εφαρμογές από το χώρο του Εργαστηρίου. Σε κάθε υποενότητα του τέταρτου και πέμπτου κεφαλαίου διατίθεται ένας ευρύς κατάλογος σαρώσεων, ώστε να αξιολογηθεί η συνεισφορά της χρήσης του ραντάρ στη γνώση της κατάστασης του εκάστοτε στοιχείου. Στο έκτο κεφάλαιο αναπτύσσονται συμπεράσματα και προτάσεις επί πλέον έρευνας.

1.1 Συνοπτική Ιστορική Αναδρομή

Ερευνητές διαφόρων επιστημονικών πεδίων έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στις προσπάθειες εντοπισμού υλικών που περιέγονται σε κάποιο μέσον, του οποίου το εσωτερικό δεν είναι διακριτό. Η απαρχή της χρήσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για τον εντοπισμό μεταλλικών αντικειμένων σε μεγάλο βάθος από το έδαφος αποδίδεται στον Hülsmeyer το 1904 αλλά παρουσιάστηκε από τους Leimback και Löwy το 1910. Η τεχνική συνίστατο στην ταφή δίπολων κεραιών σε μια σειρά από κατακόρυφες γεωτρήσεις και στη σύγκριση του εύρους του λαμβανόμενου σήματος όταν διαδοχικά ζεύγη χρησιμοποιούνταν ως πομπός και δέκτης (Daniels, 1996). Ο Gernsback ήταν ο πρώτος που διατύπωσε το 1911 με σαφήνεια τις αρχές του ραντάρ. To 1926 ο Hülsenbeck εφαρμόζει για πρώτη φορά την τεχνική της διάδοσης ηλεκτρομαγνητικού σήματος με σκοπό της κατανόηση της μορφής των θαμμένων στοιχείων και υπογραμμίζει ότι κάθε μεταβολή της διηλεκτρικής σταθεράς προκαλεί τη δημιουργία αντανακλάσεων. Από το 1930 και έπειτα τα κύματα αξιοποιήθηκαν στην ανίχνευση στοιχείων μέσα σε πάγο, νερό, άμμο, πέτρα, ακόμα και άνθρακα, παρά τη σημαντική αποδυνάμωση που υφίστανται όταν διέρχονται μέσα από αυτόν. Κατά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο αναπτύγθηκε το αντιαεροπορικό ραντάρ και το 1940 ξεκίνησαν εντατικές προσπάθειες για την ανάπτυξη του γεωραντάρ στο ΜΙΤ. Είναι γεγονός ότι η χρήση του ραντάρ προσανατολίστηκε σε στρατιωτικούς σκοπούς αρκετά πριν τεθεί στην υπηρεσία του πολιτικού μηχανικού. Μετά το 1970, όμως, το εύρος των εφαρμογών της μεθόδου του ραντάρ είναι ολοένα διευρυνόμενο και δεν περιορίζεται στη σάρωση του εδάφους, αλλά επεκτείνεται και σε πολυάριθμες κατασκευές μηγανικού, αποδίδοντας αποφασιστικά αποτελέσματα.

1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στο πλαίσιο της εργασίας συχνά ανατρέξαμε σε βιβλιογραφικές αναφορές σχετικές με το ραντάρ, είτε αυτές ήταν δημοσιεύσεις έγκριτων επιστημονικών περιοδικών, είτε διπλωματικές εργασίες προπτυχιακών ή μεταπτυχιακών σπουδών σε Πανεπιστήμια από όλο τον κόσμο. Μια σύντομη αναφορά στο περιεχόμενο ορισμένων από αυτές τις αναφορές παρουσιάζεται παρακάτω.

<u>Δημοσιεύσεις</u>

Στο περιοδικό NDT&E International (Nondestructive Testing and Evaluation) δημοσιεύτηκε το 2001 το άρθρο των Soutsos, Bungey, Millard, Shaw, Patterson που αφορά τις διηλεκτρικές ιδιότητες του σκυροδέματος και την επιρροή αυτών στην επιθεώρηση του σκυροδέματος με ραντάρ. Μέσω πραγματοποίησης πειραμάτων συμπέραναν ότι η αγωγιμότητα και η διηλεκτρική σταθερά μειώνονται όσο ελαττώνεται η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε νερό και ότι η κατηγορία του σκυροδέματος πολύ μικρό ρόλο παίζει στις διηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού. Επίσης, οι τιμές των ιδιοτήτων δεν φάνηκε να έχουν σημαντικές διαφορές όταν το ξηρό

σκυρόδεμα βρέθηκε σε υγρό περιβάλλον και ύστερα σαρώθηκε. Ο εμποτισμός με άλατα αύξησε ελαφρώς την αγωγιμότητα ενώ τα δοκίμια που περιείχαν ίνες χάλυβα αύξησαν τη διηλεκτρική σταθερά και την αγωγιμότητα σημαντικά. Τέλος, οι σαρώσεις δοκιμίων σε διάφορες θερμοκρασίες απέδειξε ότι η επιρροή της παραμέτρου αυτής είναι σχετικά μικρή.

Το 2005 στο ίδιο περιοδικό, NDT&E International, αναρτήθηκε η δημοσίευση των Shaw, Millard, Molyneaux, Taylor και Bungey με θέμα τον εντοπισμό οπλισμού στο σκυρόδεμα με χρήση ραντάρ και νευρωνικών δικτύων. Αρχικά, παρουσίασαν τη μέθοδο επεξεργασίας των σαρώσεων με σκοπό να καταστούν όσο το δυνατόν πιο κατάλληλες για περεταίρω επεξεργασία με νευρωνικά δίκτυα. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος MLP (multi-layer perception) γιατί θεωρήθηκε κατάλληλη λόγω της φύσης των εικόνων που αποδίδει το ραντάρ. Καταρτίστηκε ένας πίνακας με την κατάταξη όλων των στοιχείων που αποτελούν μια υπερβολή και αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα της μεθόδου. Βρέθηκε ότι το επίπεδο επιτυχίας σε ό,τι αφορά την εύρεση και τον υπολογισμό του βάθους των υπερβολών ήταν πολύ υψηλό. Επίσης, προτάθηκε η ανάπτυξη της κεραίας τύπου «horn» που θα διευκολύνει την επιτόπου αναγνώριση των διηλεκτρικών ιδιοτήτων του υλικού.

Στο περιοδικό επίσης δημοσιεύτηκε την ίδια χρονιά η μελέτη των Barrile και Pucinotti που αφορά την εφαρμογή της τεχνολογίας του ραντάρ σε κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Αρχικά, περιγράφεται η μέθοδος και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της σε κτίρια της δεκαετίας 1960-1970 στην περιοχή Ρήγιο της Καλαβρίας (Ιταλία). Εξετάστηκαν η ομοιογένεια του σκυροδέματος ως μέσου, τα πιθανά ελαττώματα των κατασκευών, η ύπαρξη διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού, ενώ η έρευνα εμπλουτίστηκε και με τη χρήση παχύμετρων.

Έπειτα, το 2006 δημοσιεύτηκε από τους Soldovieri, Persico, E.Utsi, V.Utsi η μελέτη της εφαρμογής μεθόδου αντίστροφης σκέδασης για τον εντοπισμό οπλισμού σκυροδέματος με τη χρήση ραντάρ. Παρουσιάζουν πώς ένας αλγόριθμος γραμμικής αντίστροφης σκέδασης είναι δυνατόν να συμβάλει στον αυτόματο εντοπισμό των περιεχομένων ενός στοιχείου σκυροδέματος και γιατί η μέθοδος αυτή απαλλάσσει την ερμηνεία των σαρώσεων του ραντάρ από την εξάρτησή της από εξειδικευμένους χρήστες.

Στη συνέχεια, στο περιοδικό καταχωρήθηκε το 2008 το άρθρο των Viriyametanont, Laurens, Klysz, Balayssac, Arliguiea που αφορά την επιρροή των ιδιοτήτων του σκυροδέματος στην ταχύτητα διάδοσης και στο σημείο που θεωρείται έναρξη εμφάνισης αντανακλάσεων (time zero). Εξετάστηκε η μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης και της διηλεκτρικής σταθεράς σε σχέση με το πορώδες του σκυροδέματος και το περιεχόμενο νερό. Τα πειραματικά αποτελέσματα συνίστανται αρχικά στη διαπίστωση ότι, για σκυροδέματα των οποίων οι ιδιότητες δεν μεταβάλλονται με το βάθος, τα διαδιδόμενα και τα ανακλώμενα κύματα έχουν την ίδια ταχύτητα. Επιπρόσθετα, σημειώνεται ότι η διάδοση του παραγόμενου παλμού από τον πομπό στο δέκτη δεν συμβαίνει ακαριαία, για αυτό προτείνεται να χρησιμοποιείται ένας διορθωτικός χρόνος καθυστέρησης που είναι μια συνάρτηση της απόστασης πομπού και δέκτη και της ταχύτητας διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσα στο συγκεκριμένο τύπο σκυροδέματος.

Ύστερα, το 2009 οι Perez-Gracia, Di Capua, Gonzalez-Drigo, Pujades δημοσίευσαν τη μελέτη τους περί της χρήσης του ραντάρ σε εργαστηριακές δοκιμές με σκοπό την επίτευξη σαρώσεων υψηλής ανάλυσης. Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο μέσα: αέρα και άμμο. Σε ό,τι αφορά τον κατακόρυφο άξονα, οι αντανακλάσεις που ήταν σαφώς διακριτές βρέθηκε ότι προέρχονται από στόχους που απέχουν- εις βάθος- απόσταση μεγαλύτερη από ένα μήκος

κύματος. Τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας είναι δυνατό να γενικευτούν και για άλλα μέσα, τα οποία συναντώνται συχνότερα στις μετρήσεις πραγματικών περιστατικών.

Οι Hugenschmidt, Kalogeropoulos, Soldovieri και Prisco παρουσίασαν το 2010 στο ίδιο περιοδικό τεχνικές επεξεργασίας για υψηλής ανάλυσης έλεγχο σκυροδέματος με ραντάρ. Η μελέτη ασχολείται με την επιθεώρηση ενός τοίχου αντιστήριξης με την υιοθέτηση προηγμένων συσκευών λήψης δεδομένων. Η λήψη δεδομένων γίνεται με δύο κεραίες διαφορετικού προσανατολισμού πομπού και δέκτη και ακολουθούνται τρεις ξεχωριστές μέθοδοι επεξεργασίας. Σε όλες τις μεθόδους υπερείχε η σαφήνεια των αντανακλάσεων του άνω πλέγματος οπλισμού έναντι του κάτω.

Το περιοδικό Construction and Building Materials φιλοξένησε το 2013 το άρθρο των Tarussov, Vandry, De La Haza που παρουσιάζει τη χρήση του ραντάρ σε κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα και τονίζει τη συνεπικουρία των προγραμμάτων υπολογιστή στην ερμηνεία των σαρώσεων. Χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι ανάλυσης των αποκτώμενων προφίλ- αριθμητική και οπτική- και μέσω πειραματικών διατάξεων (κυρίως σε καταστρώματα γεφυρών) συγκρίνεται η αποτελεσματικότητά τους. Συμπεραίνεται ότι η οπτική ανάλυση δίνει πιο παραστατική εικόνα της κατάστασης ενός στοιχείου σκυροδέματος που έχει υποστεί αλλοίωση, ενώ και η ακρίβεια της μεθόδου θεωρείται πιο αναβαθμισμένη. Οι συγγραφείς ανέπτυξαν, επίσης, το λογισμικό RADxpertTM που συμβάλλει στη χαρτογράφηση της περιοχής που έχει βλαφθεί και που εξυπηρετεί την ταχεία ερμηνεία των στοιχείων που επεξεργάζονται με την οπτική μέθοδο.

Την ίδια χρονιά στο περιοδικό καταχωρήθηκε το κείμενο των Zanzi και Arosio για την «ευαισθησία» και την ακρίβεια κεραίας δύο διαφορετικών προσανατολισμών (dual-polarized) στον εντοπισμό μεταλλικών οπλισμών σε σκυρόδεμα. Η κεραία αυτή συλλέγει τα στοιχεία σε ένα αρχείο και αυτομάτως εξασφαλίζει ότι η συλλογή στοιχείων στις δύο κάθετες διευθύνσεις γίνεται ακριβώς στην ίδια θέση. Τονίζεται ότι είναι βασική η στατιστική ανάλυση των δεδομένων και ότι μια και μοναδική μέτρηση δεν μπορεί να είναι αξιόπιστη.

Το 2009 παρουσιάστηκε η χρήση ραντάρ για τον χαρακτηρισμό των ιδιοτήτων σκυροδέματος από τις διηλεκτρικές του ιδιότητες από τους Lai, Kou, Tsang, Poon στο περιοδικό Cement and Concrete Research. Μετά από πειραματικές διαδικασίες σε δοκίμια συμβατικού σκυροδέματος και ελαφροσκυροδέματος τεκμαίρεται ότι το νερό είναι το στοιχείο του μίγματος που περισσότερο από όλα επιδρά στη διαμόρφωση της τιμής της διηλεκτρικής σταθεράς και στα δύο ειδών σκυροδέματα και ότι η διαδικασία της ενυδάτωσης του τσιμέντου περιγράφεται από αλλαγές στις διηλεκτρικές ιδιότητες του σκυροδέματος.

Μια εναλλακτική εφαρμογή του ραντάρ παρουσίασαν το 2010 στο περιοδικό Tunnelling and Underground Space Technology οι Zhang, Xie, Huang, οι οποίοι ασχολήθηκαν με την εφαρμογή της μεθόδου στη θωράκιση σηράγγων. Με κεραίες τριών διαφορετικών συχνοτήτων επεδίωξαν να εντοπίσουν τις διεπιφάνειες σκυροδέματος, ενεμάτων και εδάφους και συνεπώς να υπολογίσουν το πάχος της ζώνης ενεμάτων. Χρειάστηκε η παρέλευση 14 ημερών από την ημέρα της κατασκευής ώστε να απεικονιστούν με αρκετή ένταση οι διεπιφάνειες. Παρατηρήθηκε ότι όσο μικρότερη ήταν η ταχύτητα συλλογής στοιχείων, τόσο καλύτερη προέκυπτε η ανάλυση των εικόνων. Σημειώθηκε ότι το έργο τους κατέστη δύσκολο, αφού η πληθώρα καλωδίων που περιέχονταν στο κομμάτι που σαρώθηκε, δημιουργούσαν ενοχλητικό θόρυβο στις σαρώσεις.

Οι Sbartaï, Laurens, Balayssac, Ballivy, Arliguie δημοσίευσαν προσφάτως- τον Οκτώβριο του 2015- τη μελέτη τους περί επιρροής της υγρασίας του σκυροδέματος στην ένταση του σήματος

του ραντάρ στο περιοδικό ACI Materials. Μέσα από πειραματικές διαδικασίες επιβεβαίωσαν ότι η αύξηση της υγρασίας του σκυροδέματος οδηγεί σε σημαντική μείωση του εύρους τόσο του διαδιδόμενου, όσο και του λαμβανόμενου παλμού. Επίσης, εξέτασαν την επαναληψιμότητα της μεθόδου και μέσω της χρήσης του συντελεστή διακύμανσης (COV) κατέληξαν ότι είναι καλή. Τέλος, επεσήμαναν ότι ο λόγος νερού προς τσιμέντο δεν επηρέασε πολύ σημαντικά την ένταση των κυμάτων, αλλά συσχέτισαν την ένταση του διαδιδόμενου παλμού με τον όγκο νερού που περιέχεται στο σκυρόδεμα.

Η L. Dojack συνέταξε τον Απρίλιο του 2012 έναν οδηγό χρήσης του ραντάρ, ο οποίος εστιάζει στον τομέα της αρχαιολογίας. Αφού αναφερθούν οι βασικές αρχές λειτουργίας της μεθόδου, παρουσιάζονται παραδείγματα σαρώσεων από το χώρο της αρχαιολογίας και γίνονται σχόλια επί της επεξεργασίας που υπέστησαν.

Διπλωματικές Εργασίες

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας που εκπόνησε η Βασιλική Παλιεράκη (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Οκτώβριος 2003) αποτέλεσε η διερεύνηση τμημάτων της τοιχοποιίας της Ιεράς Μονής Δαφνίου με χρήση δύο μεθόδων: του ραντάρ και της ενδοσκόπησης. Έγινε σάρωση τμημάτων της τοιχοποιίας εσωτερικά και εξωτερικά του μνημείου, όπως και συνδυασμός των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων. Τα αποτελέσματα στην πλειοψηφία τους αποδείχτηκε ότι συνέπεσαν και ότι ο συνδυασμός των μεθόδων επέφερε την άρση των περισσότερων αμφιβολιών, όπου αυτές υπήρχαν. Το ραντάρ, συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε στην εύρεση του πάχους των λίθων με πραγματοποίηση οριζόντιων και κατακόρυφων σαρώσεων.

Η διπλωματική εργασία που πραγματοποίησε ο Σπυρίδων Καπετανάκης (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Οκτώβριος 2002) πραγματεύτηκε την επιθεώρηση στοιχείων ωπλισμένου σκυροδέματος με ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους. Αρχικά, αξιολόγησε τη χρήση του ραντάρ SIR 2000 τόσο σε εργαστηριακές δοκιμές όσο και σε πραγματικές κατασκευές, ενώ παρουσίασε και τη μέθοδο των υπερήχων. Επίσης, ασχολήθηκε με την εύρεση τρόπου μεταφοράς των αρχείων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Η Layane Hamzeh (American University of Sharjah, Ιούλιος 2013) στην εργασία της προσανατολίστηκε στον εντοπισμό αντικειμένων σε δοκίμια τεσσάρων ειδών σκυροδεμάτων: συνήθους αντοχής, υψηλής αντοχής, αυτοσυμπυκνούμενο και ελαφροσκυρόδεμα. Οι παράμετροι στις οποίες δόθηκε βάση ήταν ο τύπος σκυροδέματος και ο τύπος, το μέγεθος, το σχήμα και το βάθος των περιεχόμενων στοιχείων. Επίσης, εξετάστηκαν η επιρροή της υγρασίας καθώς και της θερμοκρασίας. Σκοπός της πειραματικής μεθόδου υπήρξε η αξιολόγηση της χρήσης του ραντάρ για σάρωση σε γέφυρες και τα αποτελέσματά της υποδεικνύουν ποιες είναι οι εκάστοτε παράμετροι που επηρεάζουν τη θέαση των περιεχομένων των δοκιμίων.

Η εργασία του Paul Popa(Chalmers University Of Technology, Μάιος 2014) επικεντρώθηκε στην εφαρμογή της μεθόδου σε δοκίμια αλλά και σε υφιστάμενες κατασκευές. Κύριο αντικείμενο του ενδιαφέροντός του στάθηκε η μελέτη της επιρροής της υγρασίας, της ύπαρξης διάφορων μεταλλικών στοιχείων, της παρουσίας κενών και της παρουσίας υλικών που μετέβαλλαν τις ιδιότητες του μέσου. Πραγματοποίησε παρατηρήσεις σε ό,τι αφορά τους περιορισμούς της μεθόδου, ενώ ασχολήθηκε και με την ακρίβειά της.

Ο Claudel Nisingizwe (University of Louisville, Αύγουστος 2007) συνέταξε έναν κατάλογο σαρώσεων σε δοκίμια άμμου μέσα στα οποία είχε τοποθετήσει μεταλλικές ράβδους, έχοντας ως

στόχο της αξιολόγηση των δυνατοτήτων της μεθόδου. Επιλέχθηκε η άμμος ως μέσο διάδοσης του σήματος, διότι θεωρήθηκε ότι προσομοιώνει αρκετά πιστά το σκυρόδεμα. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν και επηρέασαν τα αποτελέσματα ήταν ο αριθμός των σαρώσεων ανά ίντσα, το επιθυμητό βάθος σάρωσης, οι αντανακλάσεις προερχόμενες από οπλισμούς σε διαφορετικά βάθη και η οριζόντια και εις βάθος απόσταση των ράβδων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Οι χρησιμοποιούμενες συσκευές στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ήταν κατά κύριο λόγο η κεντρική μονάδα SIR-3000 με δύο διαφορετικών συχνοτήτων κεραίες και για περιορισμένο αριθμό σαρώσεων το StructureScan mini HR. Και οι δύο συσκευές- SIR 3000 και StructureScan mini- είναι ελαφρές, φορητές και μονοκάναλες. Το σύστημα αποτελείται από την κεντρική μονάδα και την κεραία. Η κεντρική μονάδα SIR-3000 αποτελεί για το σύστημα τη «σκανδάλη παλμού», δηλαδή αποστέλλει το ηλεκτρομαγνητικό σήμα στην κεραία και προσφέρει την απαιτούμενη ισχύ. Ύστερα, το σήμα που απελευθερώνεται με συγκεκριμένη συχνότητα από τον πομπό της κεραίας διαδίδεται στο μέσον που είναι σε επαφή με την κεραία και επιστρέφει τροφοδοτώντας το σύστημα με τις πληροφορίες που συνάντησε κατά τη διάδοσή του. Στην κεντρική μονάδα απεικονίζεται το ανακλώμενο σήμα και αποθηκεύονται τα δεδομένα για μελλοντική επεξεργασία. Οι κεραίες που χρησιμοποιήθηκαν διαθέτουν ενσωματωμένο και τον πομπό και τον δέκτη σήματος. Τη λειτουργία του StructureScan mini HR διέπουν οι ίδιες αρχές. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι η συσκευή είναι ενιαία, καθώς δεν διαχωρίζεται η κεντρική μονάδα από την κεραία.



Σχήμα 2.1: SIR 3000, κεντρική μονάδα συμβατή με τις κεραίες συχνοτήτων 1600MHz και 900MHz (http://www.geophysical.com/SIR3000.htm)



Σχήμα 2.2: Κεραία 51600S, συχνότητας 1600MHz συνδεδεμένη στο τροχήλατο όχημα (http://www.geophysical.com/antennas.htm)



Σχήμα 2.3: Κεραία 3101Α, συχνότητας 900MHz (Παλιεράκη, 2003)



Σχήμα 2.4: StructureScan mini HR,συχνότητας 2600MHz (GSSI, StructureScanMini Brochure)

Το σήμα έχει την ιδιότητα να αντανακλά μέρος της ακτινοβολίας του όταν προσπέσει σε υλικό με διαφορετική διηλεκτρική σταθερά από αυτήν του μέσου. Το ανακλώμενο σήμα επιστρέφει στο

δέκτη και απεικονίζεται στην οθόνη του συστήματος με ένταση ανάλογη της διαφοράς της διηλεκτρικής σταθεράς των δύο υλικών. Η υπόλοιπη ακτινοβολία εξακολουθεί να ταξιδεύει αποσβενύμενη μέσα στο μέσο.

Υπάρχουν τρεις τρόποι με τους οποίους μπορεί το σύστημα να συλλέγει πληροφορίες:

- Συναρτήσει <u>σημείων</u>: χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε περιπτώσεις όπου η περιοχή ενδιαφέροντος έχει πολύ μεγάλο βάθος ή ιδιαιτέρως ανώμαλη επιφάνεια. Το σύστημα καταγράφει μια σάρωση κάθε φορά που πιέζεται το run/stop ή το mark του τροχήλατου οχήματος.
- Συναρτήσει της <u>απόστασης</u>: Κατά τη σάρωση με τροχήλατο όχημα, ο οριζόντιος άξονας έχει μονάδες απόστασης, αφού το σύστημα συλλέγει πληροφορίες μόνο εφόσον οι πίσω ρόδες του κινούνται. Η διανυόμενη απόσταση παρουσιάζεται στον οριζόντιο άξονα. Προκειμένου οι τιμές του οριζόντιου άζονα να έχουν ορθή τιμή, πρέπει να έχει προηγηθεί βαθμονόμηση (calibration) του συστήματος. Για λεία και επίπεδη επιφάνεια σκυροδέματος η τιμή 40,3ticks/cm (στο μετρικό σύστημα) είναι αυτή που δίνεται από τους κατασκευαστές και οδηγεί σε σωστά αποτελέσματα. Για ασυνήθιστα τραχεία επιφάνεια σκυροδέματος προτείνεται να γίνεται βαθμονόμηση όπως περιγράφεται στο manual του SIR3000. Είναι η πιο ακριβής μέθοδος συλλογής στοιχείων και προτείνεται να προτιμάται, όταν υπάρχει η δυνατότητα. Αποτελεί τη μοναδική επιλογή όταν επιδιώκεται η απόκτηση τρισδιάστατων αρχείων.
- Συναρτήσει του <u>χρόνου</u>: Ο οριζόντιος άξονας σε αυτή την περίπτωση παρά το ότι εμφανίζεται να έχει μονάδα μέτρησης απόστασης και όχι χρόνου, δεν δίνει δεδομένα αξιοποιήσιμα. Αυτό συμβαίνει γιατί τα διαστήματα του οριζόντιου άξονα είναι συνάρτηση αφενός της ταχύτητας (ρυθμός) με την οποία το ίδιο το σύστημα συλλέγει στοιχεία και αφετέρου, της ταχύτητας με την οποία κινείται η κεραία πάνω στην εξεταζόμενη επιφάνεια. Συνεπώς, τα δεδομένα του οριζόντιου άξονα δεν έχουν καμία αντιστοίχιση με πραγματικές αποστάσεις.

2.1 Χαρακτηριστικά Κεραιών

Η επιλογή της χρησιμοποιούμενης κεραίας είναι κρίσιμη για τη συλλογή δεδομένων με τη χρήση του ραντάρ. Η κεραία καθορίζει την ποιότητα των αποκτώμενων πληροφοριών και το βάθος διείσδυσης του σήματος. Οι χαμηλής συχνότητας κεραίες είναι κατάλληλες για σαρώσεις σε μεγαλύτερο βάθος και για ανίχνευση στόχων μεγαλύτερου μεγέθους, ενώ οι υψηλής συχνότητας χρησιμεύουν για σαρώσεις στοιχείων μικρότερου πάχους και για εντοπισμό μικρότερων στόχων. Γενικώς, όσο μεγαλύτερη η συχνότητα μιας κεραίας, τόσο πιο μικρό το μέγεθός της και τόσο μεγαλύτερη η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προσφέρει. Οι κεραίες που χρησιμοποιούνται συνήθως για την αποτίμηση των περιεχομένων σε στοιχεία από σκυρόδεμα είναι υψίσυχνες (GSSI Handbook For RADAR Inspection of Concrete, 2006).

Συχνότητα Κεραίας (MHz)	Διεισδυτική Ικανότητα σε Όρους Απόστασης(cm)	Σύνηθες εύρος (ns)	Διαστάσεις (cm)	Βάρος (kg)
2600	30	10	22,7*17,7 *15,2	1,63
1600	50	10-15	16,5*10*3,8	1,8
900	100	10-30	33*18*8	2,3

Πίνακας 2.1: Προτεινόμενες κεραίες για σκυρόδεμα και η διεισδυτική ικανότητά τους

Αρχές λειτουργίας της κεραίας:

Όταν η κεραία εκπέμπει στον αέρα, το σήμα σχηματίζει έναν πολύ ευρύ κώνο, σχεδόν ημισφαίριο. Ωστόσο, οι κεραίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν σε επαφή όχι με τον αέρα (air coupled), αλλά με κάποια επιφάνεια (ground coupled). Ο παλμός που εκπέμπεται έχει κωνική ελλειψοειδή μορφή. Έχει περιεχόμενη γωνία 90° κατά τη διεύθυνση κίνησης και 60° κατά την κάθετη στην κίνηση διεύθυνση (Παλιεράκη, 2003). Καθώς το βάθος διείσδυσης του σήματος αυξάνεται, μεγαλώνει και το εύρος του κώνου, όπως είναι επόμενο.





Σχήμα 2.5: Εύρος διαδιδόμενου παλμού Α)περιεχόμενη γωνία κατά τη διεύθυνση κίνησης Β) περιεχόμενη γωνία κατά την κάθετη στη διεύθυνση κίνησης

Σχήμα 2.6: Αύζηση εύρους κώνου διάδοσης σήματος με την αύζηση του βάθους (AgGeophysics YouTube Channel)

Για να αποδώσει η κεραία τα επιθυμητά αποτελέσματα πρέπει να είναι σε επαφή με το υπό εξέταση στοιχείο ή σε εγγύτητα με αυτό, σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από το $\frac{1}{10}$ του μήκους κύματος (GSSI, Handbook For RADAR Inspection of Concrete, 2006). Είναι σημαντικό να αποφεύγεται απόσταση μεγαλύτερη από την αναφερόμενη, διότι ένα μεγάλο κενό θα οδηγήσει στην αντανάκλαση των κυμάτων κυρίως έξω από το σώμα του σκυροδέματος και όχι στη διείσδυσή τους σε αυτό. Εξαιτίας της καθυστέρησης διείσδυσης των κυμάτων στο υλικό, ενδέχεται να εμφανιστούν λανθασμένες πληροφορίες (GSSI, manual SIR3000).

Οι κεραίες που χρησιμοποιήθηκαν χαρακτηρίζονται "bistatic", διότι το σύστημα ραντάρ περιλαμβάνει έναν πομπό και ένα δέκτη που εντάσσονται σε μία ενιαία συσκευή και απέχουν διάστημα συγκρίσιμο με την αναμενόμενη απόσταση στόχου. Η <u>απόσταση πομπού και δέκτη</u> στο μοντέλο 51600S (της κεραίας 1600MHz) είναι 58mm, γεγονός που καθιστά δυνατό τον εντοπισμό στοιχείων σε βάθος μεγαλύτερο ή ίσο με 58mm από την επιφάνεια. Οι στόχοι που βρίσκονται στη ζώνη [0-58]mm είναι πιθανό να απεικονίζονται με ασάφεια κατά τη συλλογή δεδομένων, εντούτοις το πρόβλημα επιλύεται κατά την επεξεργασία στον υπολογιστή (GSSI, Handbook For RADAR Inspection of Concrete, 2006). Η αντίστοιχη απόσταση στο μοντέλο 3101A (900MHz) είναι 160mm και στο μοντέλο SSmini (2600MHz) είναι 60mm.



Σχήμα 2.7: Διαμόρφωση Κεραίας 1600MHz (GSSI, Handbook For RADAR Inspection of Concrete, 2006)



Σχήμα 2.8: Γεωμετρία της κεραίας 900MHz της GSSI (Millard et al. 2002)

2.2 Ιδιότητες Υλικών

Ο τρόπος με τον οποίο αποκρίνεται ένα υλικό στο σήμα που του μεταδίδεται εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του ίδιου του υλικού. Δύο είναι οι κυρίαρχες ιδιότητες που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο:

1. <u>Ηλεκτρική Αγωγιμότητα</u>

Η ικανότητα ενός υλικού να προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα. Καθώς τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν μέσα στο υλικό, υφίστανται απόσβεση. Στην περίπτωση που το σήμα διέρχεται μέσω ενός υλικού χαμηλής αγωγιμότητας, όπως η ξηρή άμμος ή το στεγνό σκυρόδεμα, τότε είναι δυνατό να διαπεράσει το υλικό σε σημαντικό βάθος. Αυτό συμβαίνει διότι το σήμα παραμένει σε ικανοποιητικό βαθμό «άθικτο». Ωστόσο, αν το εξεταζόμενο υλικό είναι αγώγιμο, όπως η υγρή άμμος, τότε το σήμα απορροφάται πριν προλάβει να διανύσει ικανή απόσταση. Συμπερασματικά, η ηλεκτρική αγωγιμότητα ελέγχει τη διαπεραστικότητα του σήματος και όσο μικρότερη η αγωγιμότητα, τόσο μεγαλύτερη η διαπεραστικότητα. Συνεπώς, το ραντάρ είναι κατάλληλο για αποτίμηση των περιεχομένων σε στοιχεία χαμηλής αγωγιμότητας. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι σε στεγνό σκυρόδεμα, του οποίου η διαδικασία ωρίμανσης έχει ολοκληρωθεί, είναι εφικτή η διάγνωση βαθύτερων στόχων συγκριτικά με σκυρόδεμα νεαρής ηλικίας.

2. Διηλεκτρική Σταθερά

Αποτελεί τη δυνατότητα ενός υλικού να αποθηκεύει φορτίο όταν του εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο. Το μέγεθος αυτό καθορίζει την ταχύτητα με την οποία διέρχεται το σήμα μέσα από ένα υλικό. Το σήμα του ραντάρ ταξιδεύει με το γρηγορότερο δυνατό τρόπο μέσα σε ένα υλικό, όμως ορισμένα υλικά επιβραδύνουν τη διαδικασία. Το ραντάρ μετρά το χρόνο που χρειάστηκε το σήμα για να φτάσει στο δέκτη από τη στιγμή που εκπέμφθηκε, οπότε, με δεδομένες την ταχύτητα διάδοσης και τη διηλεκτρική σταθερά, μετατρέπει την πληροφορία αυτή σε βάθος. Όσο η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς (dielectric constant- D.C.) αυξάνεται, τόσο πιο αργά διαδίδεται το σήμα στο μέσο, και αντιστρόφως.

Η ταχύτητα διάδοσης του σήματος μέσα σε ορισμένο υλικό δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$V_m = \frac{C}{\sqrt{E}}$$

Όπου V_m : μέση ταχύτητα διάδοσης στο υλικό σε m/s

C: tacúthta tou quitós (u \approx 300.000km/s).

Ε: διηλεκτρική σταθερά

Στις περιπτώσεις όπου η διηλεκτρική σταθερά είναι άγνωστη, όπως συνήθως συμβαίνει, η ταχύτητα διάδοσης μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (http://www.astm.org/Standards/D6432.htm)

$$V_m = \frac{2 * D}{T}$$

 $V_m = \lambda * f$

όπου D: πάχος στοιχείου σε m,

T:two-way travel time του EM κύματος σε s

ή από τη σχέση

όπου λ: το μήκος κύματος,

f: η συχνότητα του σήματος

Το σήμα που αποστέλλει το ραντάρ κινείται:

- Στον αέρα $(D.C.=1)^*$ με ταχύτητα περίπου ίση με αυτή του φωτός (u=300.000 km/s).
- Στο νερό (D.C.=81) με ταχύτητα περίπου ίση με το $\frac{1}{9}$ της ταχύτητας του φωτός (u≈33.333km/s).
- Σε υλικά με D.C. 3÷12 με ταχύτητα 17,5÷8,75cm/ns

H éntash the antanáklashe exartátai apó to suntelesth antanáklashe ${\bf r}$ (-1<r<1) tou shmatog kai dínetai apó ton túpo:

$$r = \frac{\sqrt{E_i} - \sqrt{E_{ii}}}{\sqrt{E_i} + \sqrt{E_{ii}}}$$

Όπου E_i ,: διηλεκτρική σταθερά του επιφανειακού υλικού,

Ε_{ii}: διηλεκτρική σταθερά του στόχου

^{*} Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ο όρος της σχετικής διηλεκτρικής σταθεράς, που είναι η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς των υλικών, αν η μονάδα (D.C.=1) αντιστοιχεί στον αέρα.

Τιμές Συντελεστή Αντανάκλασης	Ένταση αντανάκλασης
0 ως ±0,2	Ασθενής
±0,2 ως ±0,35	Μέτρια
±0,35 ως ±1	Δυνατή

Πίνακας 2.2: Ένταση προκύπτουσας αντανάκλασης συναρτήσει της τιμής του συντελεστή r



Σχήμα 2.9: Τιμές του συντελεστή αντανάκλασης συναρτήσει της διηλεκτρικής σταθεράς

ASPHALT DRY CLAY WET LIMESTONE									
DRY CO	NCRETE WET CONC	RETE	WE	T CLAY		SA	TURATED	D PEATS	
AIR	DRY SALT	WET SANDS	SATURATED	SANDS				W,	ATER
1	10	AND -	20	30	40	50	60	70	81

Σχήμα 2.10: Διηλεκτρική σταθερά ενδεικτικών υλικών (GSSI YouTube Channel)



Σχήμα 2.11: Η διηλεκτρική σταθερά (Relative Dielectric Permittivity) μειώνεται όσο αυζάνεται η ταχύτητα διάδοσης (Viedma Parrilla, 2006)

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι τιμές της διηλεκτρικής σταθεράς και της ταχύτητας διάδοσης ΕΜ κυμάτων για διάφορα υλικά. Για τα μη κορεσμένα εδαφικά υλικά οι τιμές της D.C. κυμαίνονται μεταξύ 3÷15, αλλά ακόμα και μικρή διαφοροποίηση στην περιεχόμενη υγρασία ενός υλικού είναι ικανή να επιφέρει αξιοσημείωτη αλλαγή της D.C. Για τα κορεσμένα εδαφικά υλικά συνήθως οι τιμές της D.C. παρουσιάζουν διακύμανση μεταξύ 8÷30.

Υλικό	Διηλεκτρική Σταθερά	Ταχύτητα Διάδοσης Παλμού (m/ns)	Αγωγιμότητα (mS/m)
Αέρας	1	0.3	0
Νερό (f,t)	81	0.033	0.10-30
Αλμυρό νερό (f,t,s)	70	0.033	400
Άμμος (ξηρή) (d)	4-6	0.15-0.12	0.0001-1
Αμμος (κορεσμένη) (d.w.f)	25	0.055	0.1-1
Λάσπη (κορεσμένη) (d,w,f)	10	0.095	1-10
Άργιλος (κορεσμένη) (d,w,f)	8-12	0.106-0.087	100-1000
Ξηρή άμμος παραθαλάσσιας περιοχής (d)	10	0.095	2
Πάγος (f,t)	4	0.15	0.1-10
Γρανίτης (ξηρός)	5	0.134	0.00001
Ασβεστόλιθος (ξηρός)	7-9	0.113-0.1	0.000001
Δολομίτης	6-8	0.122-0.106	
Χαλαζίας	4	0.15	
Γαιάνθρακας (d,w,f)	4-5	0.15-0.134	
Σκυρόδεμα (d,f, age) [*]	5-10	0.134-0.095	
Άσφαλτος	3-5	0.173-0.134	
Πάγος αλμυρού νερού (s,f,t)	4-12	0.15-0.087	
PVC (f,t)	3	0.173	

Πίνακας 2.3: Ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες υλικών, όπου: d: επιρροή της πυκνότητας, w: επιρροή του πορώδους και της υγρασίας, f: επιρροή της συχνότητας, t: επιρροή της θερμοκρασία, s: επιρροή της αλμυρότητας, p:επιρροή της πίεσης (http://www.astm.org/Standards/D6432.htm)

^{*} Η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς του σκυροδέματος συναντάται σε διάφορα εύρη στη βιβλιογραφία. Η συνήθης τιμή της ταχύτητας του παλμού στο σκυρόδεμα είναι 0.12m/ns (*Shaw et al. 2005*)



Σχήμα 2.12: Διαφοροποίηση της ταχύτητας του σήματος στο σκυρόδεμα ανάλογα με την υγρασία του. Το κόκκινο χρώμα συμβολίζει το διαδιδόμενο σήμα και το μπλε το ανακλώμενο (GSSI YouTube Channel).



Σχήμα 2.13: Διαφοροποίηση της ταχύτητας του σήματος σε ζηρή, υγρή και κορεσμένη άμμο. Το κόκκινο χρώμα συμβολίζει το διαδιδόμενο σήμα και το μπλε το ανακλώμενο. Όσο μεγαλύτερη η ένταση κάθε χρώματος, τόσο μεγαλύτερη και η ταχύτητα διάδοσης ή ανάκλασης του σήματος (GSSI YouTube Channel).

Πρακτικά, υπάρχουν δύο μέθοδοι για τον προσδιορισμό της διηλεκτρικής σταθεράς, με δεδομένο ότι είναι γνωστό το πάχος του στοιχείου που σαρώνεται:

Με χρήση τύπων:

Για να εκτιμηθεί η τιμή της ταχύτητας του σήματος μέσα στο υλικό, είναι απαραίτητο καταρχάς να βρεθεί το πάχος του υλικού εκφρασμένο σε μονάδα χρόνου. Κατά τη συλλογή ή την αναπαραγωγή δεδομένων, ο νηματόσταυρος τοποθετείται στο βάθος της αντανάκλασης που αντιπροσωπεύει το πάχος του στοιχείου και διαβάζεται η τιμή σε ns. Από την τιμή αυτή αφαιρείται το βάθος αντανάκλασης της επιφάνειας και η προκύπτουσα τιμή αντιστοιχεί στο χρόνο διαδρομής του σήματος στο υλικό, ο οποίος όμως είναι two-way travel. Στη συνέχεια, η ταχύτητα βρίσκεται με τον τύπο

$$V_m = \frac{b}{t}$$

όπου b το πραγματικό πάχος του υλικού σε μέτρα και t το εκτιμώμενο πάχος σε δευτερόλεπτα. Σημειώνεται ότι ο χρόνος t που υπεισέρχεται στην εξίσωση είναι ο μισός από αυτόν που μετρήθηκε με το νηματόσταυρο στην οθόνη της κεντρικής μονάδας, διότι είναι ο χρόνος μονής και όχι διπλής διαδρομής. Έπειτα, η εύρεση της διηλεκτρικής σταθεράς είναι δυνατή με χρήση του τύπου που έχει αναφερθεί σε προηγούμενη σελίδα

$$E = \left(\frac{C}{V_m}\right)^2$$

Με δοκιμές

Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε κατά τη συλλογή στοιχείων είτε κατά την επεξεργασία των αρχείων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με το αντίστοιχο λογισμικό και συνίσταται στην εισαγωγή διαφόρων τιμών DIEL μέχρις ότου η τιμή που αντανακλά το πάχος του στοιχείου να ταυτιστεί με την πραγματική. Αρχικά, δίνεται μια τιμή που να είναι συνήθης για το υλικό που εξετάζεται (λ.χ. 6,25 για σκυρόδεμα) και με βάση το αποτέλεσμα που δίνει η τιμή αυτή, πραγματοποιούνται οι κατάλληλες τροποποιήσεις: αν η τιμή DIEL που εισάχθηκε ήταν μεγαλύτερη από την πραγματική, τότε το πάχος του δοκιμίου εμφανίζεται μικρότερο από το πραγματικό, ενώ αντίστοιχα μια μικρότερη τιμή DIEL από την πραγματική δίνει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο πάχος. Η ακρίβεια που επιζητείται και επαρκεί για σωστή αποτίμηση βαθών είναι της τάξης του 0,5.

Η μέθοδος των δοκιμών είναι αρκετά πιο απλή και έχει προτιμηθεί στην εκτίμηση της διηλεκτρικής σταθεράς των σαρώσεων της παρούσας εργασίας. Η υπολογιστική μέθοδος προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά δεν ενδείκνυται για επιτόπου εκτιμήσεις. Οποιαδήποτε μέθοδος κι αν χρησιμοποιηθεί, αποδίδει τη διηλεκτρική σταθερά για το συγκεκριμένο σκυρόδεμα που σαρώθηκε. Ακόμα και αν η ποιότητα του σκυροδέματος μεταξύ δύο στοιχείων είναι ίδια αλλά η εσωτερική κατάστασή τους παρουσιάζει διαφορές, η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς δεν θα είναι ακριβως ίδια για τα δύο αυτά στοιχεία. Ωστόσο, είναι συχνό τα δοκίμια από ίδιο σκυρόδεμα αλλά με διαφορετικό περιεχόμενο να παρουσιάζουν πολύ κοντινές τιμές DIEL. Η διηλεκτρική σταθερά που υπολογίζεται για ένα στοιχείο σκυροδέματος που δεν περιέχει άλλα υλικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στοιχεία από το ίδιο σκυρόδεμα και με περιεχόμενα υλικά, αλλά μόνο για τη μέτρηση της απόστασης ως την πιο ρηχή αντανάκλαση, καθώς μετά από αυτήν οι ιδιότητες του υλικού ίσως επηρεάζονται και έχουν ως αποτέλεσμα διαφορετική διηλεκτρική σταθερά.

Παράμετροι επιρροής διηλεκτρικής σταθεράς σε στοιχεία σκυροδέματος (Hamzeh, 2013):

- Ο τύπος των αδρανών
- Η ύπαρξη χλωριούχων
- Ο λόγος νερού προς τσιμέντο
- Η παρουσία άλλων υλικών που περιέχονται στο μίγμα
- Η υγρασία και η θερμοκρασία
- Η ηλικία του σκυροδέματος
- Η συχνότητα της κεραίας

Η διηλεκτρική σταθερά του σκυροδέματος δεν είναι εφικτό να προσδιοριστεί με απόλυτη ακρίβεια στη βιβλιογραφία, καθώς, όπως έχει αναφερθεί, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Είναι όμως χρήσιμο να υπενθυμιστεί ότι όση προσπάθεια κι αν αφιερώνεται στη δημιουργία κατά το δυνατόν ομογενών μιγμάτων σκυροδέματος, αυτό δεν παύει να είναι ένα ετερογενές υλικό επί της ουσίας. Μπορεί να αναλυθεί στο στερεό του μέρος (αδρανή), το υγρό (νερό) και το αέριο (αέρας). Οι διηλεκτρικές ιδιότητες των τριών αυτών μερών δεν μπορεί παρά να διαφέρουν μεταξύ

τους και, ανάλογα με την υπεροχή του καθενός, να επιδρούν στις ιδιότητες του τελικού αποτελέσματος. Πιο συγκεκριμένα, η διηλεκτρική σταθερά του στερεού μέρους κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5 και εξαρτάται από την περιεκτικότητά τους σε μεταλλικά στοιχεία. Για συχνότητες από 0,1 ως 3GHz η διηλεκτρική σταθερά ενός υδατικού διαλύματος κυμαίνεται μεταξύ 40 και 81 για αλμυρό και φρέσκο νερό αντίστοιχα. Συνεπώς, η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς του σκυροδέματος θα μπορούσε να ειπωθεί ότι έχει ένα εύρος 5÷12 που εξαρτάται πρωτίστως από την υγρασία αλλά και από τη συχνότητα του σήματος. Οι μεταβολές του όγκου του νερού μέσα στους πόρους του σκυροδέματος οδηγεί σε καταλυτικές αλλαγές στην αγωγιμότητα και άρα στην ταχύτητα διάδοσης και στην απόσβεση των κυμάτων (Sbartaï et al. 2015).



Σχήμα 2.14: Ανάλογα με τη διηλεκτρική σταθερά που ορίζουμε σε ένα στοιχείο και ανάλογα με τον τύπο του σκυροδέματος, προκύπτει διαφορετικό το πάχος του στοιχείου.

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η διαφοροποίηση της εκτίμησης του πάχους που λαμβάνεται έπειτα από επεξεργασία για δύο στοιχεία ίδιου πάχους αλλά διαφορετικού τύπου σκυροδέματος, για τα οποία έχει τεθεί ένα εύρος τιμών διηλεκτρικών σταθερών. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η τιμή της εκτιμώμενης διηλεκτρικής σταθεράς, μικραίνει το λαμβανόμενο πάχος του εκάστοτε στοιχείου αλλά ταυτόχρονα ελαττώνεται και η διαφορά που προκύπτει στα πάχη μεταξύ των δύο στοιχείων. Αν ληφθεί υπόψη μόνο το σύνηθες εύρος των διηλεκτρικών σταθερώς για σκυρόδεμα (5÷12), είναι φανερό ότι για την ίδια τιμή διηλεκτρικής σταθεράς, τα πάχη των δύο στοιχείων αρκετά. Συγκεκριμένες τιμές αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

		Τιμές Διηλεκτρικής Σταθεράς						
	5	6	7	8	9	10	11	12
Λαμβανόμενο Πάχος Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος (cm)	40	36,5	33,8	31,7	30	28,5	27	26
Λαμβανόμενο Πάχος Συμβατικού Σκυροδέματος (cm)	34	30,6	28,5	27	25	23,8	22,8	21,8

Πίνακας 2.4: Διαφοροποίηση τιμής λαμβανόμενου πάχους στοιχείων συναρτήσει της τιμής διηλεκτρικής σταθεράς

Σε περίπτωση χρήσης της ίδιας διηλεκτρικής σταθεράς στο ίδιο δοκίμιο για διαφορετικές συνθήκες υγρασίας, διαφαίνεται η διαφορά στο εύρος του παλμού και στο χρόνο διάδοσης. Στο

κορεσμένο σκυρόδεμα η ένταση των αντανακλάσεων προκύπτει μικρότερη από του ξηρού σκυροδέματος, ενώ επίσης το σήμα καθυστερεί να διαδοθεί, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Σχήμα 2.15: Διάγραμμα έντασης του σήματος για ζηρό και κορεσμένο σκυρόδεμα, για δοκίμιο που εζετάστηκε ως μέρος της πειραματικής διαδικασίας των Sbartai et al. (2015)

Βάσει όλων όσα αναφέρθηκαν στο παρόν κεφάλαιο, μπορεί να συνταχθεί ένας πίνακας που να συνοψίζει πως επηρεάζονται ορισμένες παράμετροι του ραντάρ ανάλογα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τη διηλεκτρική σταθερά και τη συχνότητα της κεραίας που έχει επιλεχθεί να χρησιμοποιηθεί.

	Ηλεκτρική αγωγιμότητα		Διηλεκτρι	κή σταθερά	Συχνότητα κεραίας		
	Μεγάλη	Μικρή	Μεγάλη	Μικρή	Υψηλή	Χαμηλή	
Διεισδυτική	Μικρή	Μεγάλη			Μικρή	Μεγάλη	
ικανότητα							
Απόσβεση	Μεγάλη	Μικρή					
Ταχύτητα			Μικρή	Μεγάλη			
Διάδοσης							
Μήκος					Μικρό	Μεγάλο	
κύματος							
Ανάλυση					Υψηλή	Χαμηλή	
εικόνας							

Πίνακας 2.5: Επιρροή ορισμένων παραμέτρων του ραντάρ ανάλογα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τη διηλεκτρική σταθερά και τη συχνότητα της κεραίας.

2.3 Φάσεις Λειτουργίας του Συστήματος

Αρχική επιλογή



Σχήμα 2.16: Οθόνη έναρξης της κεντρικής μονάδας SIR-3000

- <u>TerraSIRch</u>: προτιμάται στις περισσότερες περιπτώσεις για σαρώσεις περιοχών μικρού και μεσαίου βάθους, καθώς παρέχει τη δυνατότητα χειροκίνητης ρύθμισης όλων των παραμέτρων
- Concrete Scan: είναι κατάλληλο για κατασκευές από σκυρόδεμα και συνηθίζεται να χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου απαιτείται να προηγηθεί η ταχεία εύρεση του εσωτερικού του στοιχείου, ώστε να ακολουθήσουν δειγματοληψίες. Η επιλογή αυτή είναι συμβατή με τις κεραίες 2.6GHz, 1.6GHz, 1.0GHz και, 900MHz. Οι μοναδικές παράμετροι που εισάγονται χειροκίνητα είναι το βάθος καταγραφής σε cm και η κατάσταση του σκυροδέματος (στεγνό, υγρό, σύνηθες) που επηρεάζει τη διηλεκτρική σταθερά. Είναι η πιο απλή μέθοδος συλλογής στοιχείων για σκυρόδεμα αλλά είναι σχετικά ανακριβής.
- Structure Scan: χρησιμεύει για σαρώσεις 3D υψηλής ποιότητας. Η επιλογή αυτή είναι συμβατή με τις κεραίες 2.6GHz, 1.5-1.6GHz, 1.0GHz και 900MHz. Οι μοναδικές παράμετροι που εισάγονται χειροκίνητα είναι το βάθος καταγραφής σε cm και η κατάσταση του σκυροδέματος (στεγνό, υγρό, σύνηθες) που επηρεάζει τη διηλεκτρική σταθερά.
- Utility Scan: είναι αποδοτικό σε περιπτώσεις που χρειάζεται μια ταχεία εξέταση περιοχής ώστε να εντοπιστούν περιεχόμενα εδάφους, το οποίο βρίσκεται κάτω από σκυρόδεμα ή άσφαλτο. Οι χρησιμοποιούμενες κεραίες είναι οι 270MHz, 400 MHz και 900 MHz.
- Geology Scan: χρησιμοποιείται στην αποτύπωση περιεχομένων των εδαφικών σχηματισμών και είναι πρακτικό για αποτυπώσεις αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Λειτουργεί με κεραίες συχνοτήτων 100 MHz, 200 MHz, 270 MHz και 400 MHz.
- <u>Quick 3D</u>: η επιλογή αυτή είναι σχεδιασμένη ώστε να παρέχει μια εύκολη συλλογή πληροφοριών σε τρεις διαστάσεις σε περιοχές οποιασδήποτε έκτασης και επιφάνειας. Το σύστημα επιτρέπει την εισαγωγή της επιφάνειας σάρωσης, με τη μορφή συντεταγμένων, καθώς και του κανάβου*.

Αποτιμήση Της Εσωτερικής Κατάστασης Στοιχείων Από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα Με Τη Χρήση Ραντάρ

^{*} Η επιφάνεια σάρωσης διαφοροποιείται από τον κάναβο: η πρώτη ορίζει το εμβαδό της συνολικής περιοχής που θα σαρωθεί, ενώ ο δεύτερος καθορίζει την απόσταση μεταξύ των ευθειών σάρωσης. Παραδείγματος χάριν, για μια τετραγωνική επιφάνεια 4m² οι συντεταγμένες της επιφάνειας σάρωσης σε εκατοστά είναι X_{start}=0, Y_{start}=0, X_{end}=200, Y_{end}=200, ωστόσο τα X_{linear_space} μπορούν να έχουν διαφορετικές τιμές (λ.χ. 5 ή 10 cm), αναλόγως με την πυκνότητα των πληροφοριών που επιδιώκεται να συλλεχθούν.

Η λειτουργία του συστήματος καταμερίζεται σε τέσσερις διακριτές φάσεις, ακόλουθη η μία της άλλης.

- 1. Ρυθμίσεις συλλογής δεδομένων
- 2. Συλλογή δεδομένων
- 3. Ρυθμίσεις αναπαραγωγής δεδομένων
- 4. Αναπαραγωγή δεδομένων

Ρυθμίσεις συλλογής δεδομένων

Οι ρυθμίσεις αυτές πραγματοποιούνται με ορισμένη σειρά για την επίτευξη καλύτερου οπτικού αποτελέσματος και για εξοικονόμηση χρόνου. Οι ρυθμίσεις επιλέγονται με γνώμονα τα γνωρίσματα του υλικού που θα σαρωθεί καθώς και το τι αναμένουμε να δούμε. Παρακάτω αναφέρονται οι σημαντικότερες εξ αυτών, οι οποίες πρέπει να διενεργούνται πριν από κάθε σάρωση.

- 1. Range (ns): είναι το εύρος καταγραφής και η επιλογή του βασίζεται στο εκτιμώμενο πάχος του στοιχείου που πρόκειται να σαρωθεί.
- 2. Gain: είναι ο πολλαπλασιαστής του σήματος. Το σήμα της κεραίας εξασθενεί όσο πιο βαθιά ταξιδεύει μέσα στο υλικό. Με το gain είναι δυνατό να ενδυναμωθεί ή να αποδυναμωθεί σε συγκεκριμένα βάθη.
- 3. Position (θέση έναρξης συλλογής δεδομένων): επιλέγεται η θέση αντανάκλασης της επιφάνειας που είναι σε επαφή με την κεραία.
- 4. Vertical Scale (κατακόρυφος άξονας): επιλέγονται μονάδες χρόνου ή μήκους για τον κατακόρυφο άξονα.

Κατά τη φάση ρυθμίσεων στην οθόνη της κεντρικής μονάδας εμφανίζεται ένας παλμογράφος δεξιά της εικόνας που καταγράφεται. Ο παλμογράφος (oscilloscope) είναι μια γραφική παράσταση με οριζόντιο άξονα την ένταση του ανακλώμενου σήματος και κατακόρυφο άξονα το βάθος διείσδυσης σήματος σε όρους μήκους ή χρόνου. Στο κάτω μέρος του παλμογράφου υπάρχει ένας οδηγός χρωμάτων. Ανάλογα με την ένταση του ανακλώμενου σήματος και την αντιστοιγία της στον οδηγό γρωμάτων, το κάθε σημείο ορισμένου βάθους αποκτά το αντίστοιγο γρώμα. Εκτός από τον παλμογράφο, στο ίδιο σύστημα αξόνων εμφανίζεται και μια κόκκινη τεθλασμένη γραμμή. Η γραμμή αυτή είναι η γραφική παράσταση των σημείων ενίσχυσης του σήματος (gain) εις βάθος.





μεταβολής τιμών gain εις βάθος στην κλίμακα παλμογράφου με χρώματα (Καπετανάκης, 2002) grayscale

Σγήμα 2.17: Παλμογράφος και διάγραμμα Σγήμα 2.18: Αντιστοιγία έντασης αντανακλάσεων του

Συλλογή δεδομένων

Μετά την πραγματοποίηση των απαραίτητων ρυθμίσεων, η κεραία σύρεται πάνω στην περιοχή ενδιαφέροντος και συγχρόνως ο χρήστης βλέπει την εικόνα της σάρωσης να αποτυπώνεται σε πραγματικό χρόνο στην οθόνη της κεντρικής μονάδας. Όταν έχει επιλεγεί η απόκτηση δεδομένων με τρισδιάστατη απεικόνιση, τότε χρησιμοποιείται κάναβος, ώστε η συλλογή στοιχείων να γίνει με ακρίβεια, δηλαδή οι σαρώσεις να έχουν καθορισμένο αριθμό και συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους.

Ρυθμίσεις αναπαραγωγής δεδομένων

Οι εικόνες που έχουν ληφθεί δεν μπορούν πλέον να τροποποιηθούν. Οι ρυθμίσεις γίνονται με παρόμοιο τρόπο όπως στη φάση ρύθμισης συλλογής δεδομένων, με τη διαφορά ότι οι ρυθμίσεις αυτές μόνον οπτικά βελτιώνουν την απεικόνιση του καταγεγραμμένου αρχείου. Σημειώνεται ότι αν γίνει επεξεργασία των αρχείων με κατάλληλο λογισμικό η φάση αυτή μπορεί να παραληφθεί, διότι το πρόγραμμα επεξεργασίας παρέχει περισσότερες δυνατότητες και μεγάλη ταχύτητα απόδοσης αποτελεσμάτων. Γενικώς, η φάση αυτή είναι απαραίτητη μόνο εφόσον πρέπει να γίνουν επιτόπου εκτιμήσεις.

Αναπαραγωγή δεδομένων

Σε περίπτωση που ο χρήστης αποθηκεύσει το αρχείο, μπορεί να ανατρέξει οποιαδήποτε στιγμή σε αυτό. Κατά την αναπαραγωγή του αρχείου, ο χρήστης μπορεί να παγώσει την εικόνα ώστε να λάβει αναλυτικές πληροφορίες και να αξιολογήσει την ποιότητα της σάρωσης και έτσι να αποφασίσει για τυχόν επανάληψή της με διαφορετικές παραμέτρους. Στην τελική αυτή φάση το αρχείο είναι ολοκληρωμένο και μπορεί να μεταφερθεί σε υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία.

2.4 Καταλληλότητα ρυθμίσεων παραμέτρων

Οι εύστοχες ρυθμίσεις παραμέτρων πριν τη συλλογή δεδομένων διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην απόκτηση μιας αξιόπιστης εικόνας. Οι ρυθμίσεις είναι αυτές που διαφοροποιούν μια εικόνα εύληπτη και σαφή από μια ακατανόητη και μη ερμηνεύσιμη. Η δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι η ρύθμιση των παραμέτρων καθορίζεται βάσει του ζητούμενου (όπως τον προσδιορισμό πάχους υλικού ή τον εντοπισμό στόχων) αλλά και της επιθυμητής ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Ορισμένες πρακτικές συμβουλές συνοψίζονται παρακάτω.

Σε ό,τι αφορά τη μέθοδο συλλογής δεδομένων, προτιμάται η χρήση του τροχήλατου οχήματος γιατί αποδίδει μια πιο ρεαλιστική εικόνα της εσωτερικής κατάστασης του υλικού, αφού αυτή δεν διαστρεβλώνεται ανάλογα με την ταχύτητα κίνησης της κεραίας. Επίσης, το τροχήλατο βοηθάει στη διατήρηση ευθείας πορείας κίνησης, που είναι πολύ βασική για την επίτευξη σάρωσης παράλληλα και κάθετα στους υπάρχοντες οπλισμούς.

Η ρύθμιση του εύρους καταγραφής καθορίζει το βάθος διείσδυσης του σήματος, καθώς αποτελεί το χρόνο που χρειάζεται το σήμα ώστε να διαπεράσει ένα βάθος και να επιστρέψει στην κεραία (two-way travel). Συνεπώς, μια τιμή 50ns σημαίνει ότι η βαθύτερη αντανάκλαση είναι δυνατόν να εντοπιστεί σε βάθος 25ns. (GSSI, manual SIR-3000). Σε περιπτώσεις αβεβαιότητας, καλό είναι να τίθεται μια σχετικά μεγάλη τιμή υπέρ της ασφαλείας, ώστε να μην χαθούν σημαντικές πληροφορίες που ίσως να βρίσκονται σε σχετικά μεγάλο βάθος. Το ίδιο το σύστημα βέβαια συλλέγει πάντοτε πληροφορίες λίγο πιο βαθιά από όσο επιλέγει ο χρήστης ώστε να καλύψει αυτό το περιθώριο σφάλματος. Ο χρήστης δίνει την τιμή του range σε όρους χρόνου (nanosecond) και η αντιστοιχία χρόνου και μήκους δίνεται από τον τύπο (*Καπετανάκης, 2002*):

$$R = D * T * 1.5$$

Όπου R: το range σε ns (6 < R < 2000)

D: το μέγιστο βάθος ενδιαφέροντος σε m

Τ: ο χρόνος που κάνει το σήμα να διαδοθεί στο μέσο και να επιστρέψει στην κεραία (two-way travel) se ns/m

Η τιμή που λαμβάνεται από τον παραπάνω τύπο δεν είναι ακριβής καθώς η παράμετρος Τ διαφέρει από υλικό σε υλικό και παρότι η τιμή της βρίσκεται από πίνακες, μπορεί να διαφέρει σε περιπτώσεις σαρώσεων ακόμα και στο ίδιο υλικό. Είναι, πάντως, σκόπιμο να τίθεται μια μεγαλύτερη τιμή του range για υλικά με μεγάλη διηλεκτρική σταθερά, η οποία αυξάνει το χρόνο που ταξιδεύει το σήμα στο υλικό και μειώνει τη διεισδυτικότητα των κυμάτων.

Για συμβατικό σκυρόδεμα συνήθως δίνεται T=15ns/m για στεγνή κατάσταση και T=23ns/m για υγρή κατάσταση. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σχέση του range με το επιθυμητό βάθος σάρωσης (Καπετανάκης, 2002).



Σχήμα 2.19: Αντιστοιχία βάθους με range για στεγνό και υγρό σκυρόδεμα

Η παράμετρος **DIEL** αναφέρεται στη διηλεκτρική σταθερά του υλικού, για την οποία έχει γίνει εκτενέστερος λόγος σε προηγούμενη υποενότητα. Γενικώς, η τιμή της αναπαριστά την ταχύτητα με την οποία το σήμα του ραντάρ κινείται μέσα στο υλικό. Αν είναι γνωστή η τιμή της παραμέτρου, τότε μπορεί να εισαχθεί στο σύστημα και με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η παρουσίαση των σωστών βαθών στον κατακόρυφο άξονα. Ειδάλλως, αν η τιμή της είναι άγνωστη, μπορεί να τοποθετηθεί μια τυχαία ή προσεγγιστική τιμή στο σύστημα και ύστερα, μέσω της επεξεργασίας του αρχείου, να βρεθεί αυτή με οποία προκύπτουν σωστά βάθη.

Η ρύθμιση των δειγμάτων ανά σάρωση- samples/scan- αποφασίζεται βάσει του ζητουμένου. Όσο μικρότερη η τιμή, τόσο αγνοούνται οι ασθενείς αντανακλάσεις και όσο μεγαλύτερη η τιμή, τόσο αυξάνεται το μέγεθος του αρχείου. Συνήθως η τιμή 512 είναι ικανοποιητική. Ωστόσο, όταν είναι επιθυμητός ο εντοπισμός μικρών στόχων σε μικρό βάθος, τότε καλό είναι η τιμή να αυξάνεται στα 1024 δείγματα ανά σάρωση. Η τιμή της παραμέτρου σχετίζεται άμεσα με την τιμή του range. Όσο μικρότερη τιμή samples/scan, τόσο μικρότερη η τιμή του μέγιστου δυνατού range, όπως φαίνεται από την παρακάτω σχέση (*Καπετανάκης, 2002*):



Σχήμα 2.20: Συλλογή στοιχείων με (a) 1024 samples/scan (μέγεθος στο δίσκο: 681KB) και (β)512 samples/scan (μέγεθος στο δίσκο: 337KB).Οι δύο σαρώσεις διαφέρουν μόνο ως προς αυτή την παράμετρο. Δεν εντοπίζεται διαφορά στις εικόνες.

Η επιλογή του αριθμού των τμημάτων ανά δείγμα-<u>bits/sample</u>- καθορίζεται από την επιθυμητή σαφήνεια. Αν τεθεί η τιμή 16 τότε η ποιότητα των πληροφοριών είναι πολύ εμπλουτισμένη και είναι εφικτός ο διαχωρισμός υλικών με κοντινή διηλεκτρική σταθερά. Αν επιλεγεί η τιμή 8, το μέγεθος του αποθηκευμένου αρχείου μειώνεται, αλλά υποβαθμίζεται και η ποιότητα των αποκτώμενων πληροφοριών. Αν σκοπός είναι η απόκτηση πληροφοριών τη στιγμή της σάρωσης ή αν έχει τεθεί μεγάλη τιμή samples/scan (>1024), τότε μπορεί να επιλεγεί η τιμή 8.



Σχήμα 2.21: Συλλογή στοιχείων με (α) 16 bits/sample (μέγεθος στο δίσκο: 681KB) και (β) 8 bits/sample (μέγεθος στο δίσκο: 337KB). Οι δύο σαρώσεις διαφέρουν μόνο ως προς αυτή την παράμετρο. Στη δεύτερη εικόνα οι αντανακλάσεις φαίνονται πιο έντονες και ισοδυναμούν με αυτές της πρώτης εικόνας αν σε αυτήν τεθεί display gain ίσο με 2 στο πρόγραμμα επεξεργασίας.

Η παράμετρος scans/unit αντικατοπτρίζει το ρυθμό συλλογής πληροφοριών και καθορίζει συνακόλουθα την οριζόντια διάσταση της καταγραφής. Χρησιμοποιείται το continuous mode (συνεχής καταγραφή) και επιλέγεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη τιμή (200) με σκοπό την αύξηση των σαρώσεων ανά δευτερόλεπτο. Θέτοντας μεγάλη τιμή scans/unit και κινώντας την κεραία με μια φυσιολογική ταχύτητα, για παράδειγμα 0,2m/s, τότε η απόκτηση των πληροφοριών είναι πιο λεπτομερής.



Σχήμα 2.22: Συλλογή στοιχείων με (α) 200scans/unit (μέγεθος στο δίσκο: 681KB) και (β)150 scans/unit (μέγεθος στο δίσκο: 489KB).Οι δύο σαρώσεις διαφέρουν μόνο ως προς αυτή την παράμετρο. Ενώ σαρώνεται η ίδια απόσταση, το δεύτερο αρχείο είναι μικρότερο γιατί η εικόνα είναι πιο συμπιεσμένη.

Η παράμετρος του πολλαπλασιαστή (gain) έχει σκοπό την ενδυνάμωση ή την αποδυνάμωση του σήματος σε συγκεκριμένα βάθη. Υπάρχει η δυνατότητα ορισμού ως 5 σημείων gain και η επιλογή εναπόκειται στο χρήστη. Η τιμή ενός σημείου επιτρέπεται να τεθεί μικρότερη ή ίση από την τιμή ενός επόμενου σημείου (δηλαδή ενός που βρίσκεται βαθύτερα), αλλά ποτέ μεγαλύτερη. Ανάλογα με τον αριθμό των σημείων που επιλέγονται, χωρίζεται η κατακόρυφη διάσταση του αρχείου σε ίσα κομμάτια. Το πρώτο σημείο είναι πάντα η διεπιφάνεια. Αν, παραδείγματος χάριν, επιλεγούν τρία σημεία, τότε το πρώτο θα είναι στη διεπιφάνεια, το δεύτερο στη μέση του βάθους καταγραφής και το τρίτο στο μέγιστο βάθος. Όσο πιο μεγάλο το βάθος έρευνας, τόσο μεγαλύτερη η ανάγκη ενίσχυσης του σήματος, οπότε τόσο πιο πολλά και τα σημεία ενίσχυσης.

Υπάρχουν δύο τρόποι ορισμού του gain: ο χειροκίνητος και ο αυτόματος. Κατά τη ρύθμιση με το χειροκίνητο τρόπο, είναι σύνηθες να εισάγονται αρνητικές τιμές στα αρχικά σημεία του gain ώστε το σήμα να μπορεί να διεισδύσει σε μεγαλύτερο βάθος και να μην επισκιαστούν οι βαθιοί στόχοι από τις υπερβολικές αντανακλάσεις της επιφάνειας. Επίσης, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε στο διάγραμμα του παλμογράφου η εντονότερη αντανάκλαση να μην υπερβαίνει το 75% του οριζόντιου άξονά του αλλά και η λιγότερο έντονη να μην είναι μικρότερη από το 25% του οριζόντιου άξονά του αλλά και η λιγότερο έντονη να μην είναι μικρότερη από το 25% του άξονα. Είναι σημαντικό να αποφεύγεται η δημιουργία έντονου «σκαλοπατιού» στο διάγραμμα του gain, γιατί είναι πολύ πιθανό να οδηγήσει σε εμφάνιση αντανακλάσεων στο αντίστοιχο βάθος -συνήθως με τη μορφή οριζόντιων στρωμάτων που καταλαμβάνουν όλη την έκταση του οριζόντιου άξονα που δεν αντιπροσωπεύουν πραγματικούς στόχους (GSSI, SIR3000 manual). Στον αυτόματο τρόπο αξίζει να παρατηρηθεί ότι το σύστημα προτείνει αξιόπιστες τιμές για το gain, μόνο εφόσον η κεραία είναι σε επαφή με το υπό εξέταση στοιχείο και όχι με κάποιο

άλλο. Δηλαδή, προκειμένου η συσκευή να πραγματοποιήσει auto gain χρειάζεται να πάρει κάποια «πληροφορία» για το τι πρόκειται να σαρωθεί. Πολλές φορές παρατηρείται ότι το σύστημα προτείνει ίδια τιμή- αρνητική- για τα δύο πρώτα σημεία, ιδιαίτερα όταν έχουν οριστεί 5 σημεία gain. Αυτό έχει άμεση σχέση με τη ρύθμιση του position. Αν στο position τεθεί μια σχετικά μικρή τιμή, τότε το σύστημα αντιλαμβάνεται πως τα δύο ή ακόμα και τρία πρώτα σημεία βρίσκονται σε ένα βάθος όπου δεν έχει ακόμα διαφοροποιηθεί η λαμβανόμενη εικόνα, οπότε δεν χρειάζεται ενίσχυση του σήματος.

Η θέση καταγραφής της επιφάνειας (**position**) μετράται σε ns και καθορίζει σε ποιο βάθος θα εμφανιστεί η αντανάκλαση επιφάνειας-κεραίας, η οποία ονομάζεται <u>direct coupling</u>. Πριν από αυτή, το διάγραμμα του παλμογράφου έχει μηδενικές τιμές αφού δεν έχει εισέλθει ακόμα το σήμα στο υλικό. Επιδιώκεται η αντανάκλαση της επιφάνειας να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην κορυφή του παλμογράφου. Μπορεί να ρυθμιστεί είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα και η τιμή της δηλώνει πόσα ns αποκόπτονται από το πάνω μέρος της εικόνας. Όσο πιο μεγάλη η τιμή της, τόσο πιο πολλά ns αποκόπτονται από το πάνω μέρος της εικόνας. Όσο πιο μεγάλη η τιμή της, τόσο πιο πολλά ns αποκόπτονται πάνω από την αντανάκλαση της επιφάνειας, δηλαδή τόσο πιο ψηλά στον άξονα εμφανίζεται η αντανάκλαση. Παραδείγματος χάριν, αν οριστεί ως position η τιμή 8,6ns τότε η επιφάνεια θα εμφανίζεται πιο κάτω από ότι θα εμφανιζόταν αν οριζόταν τιμή 9,6ns. Η τιμή της παραμέτρου εξαρτάται από τη χρησιμοποιούμενη κεραία και από την κατάσταση της επιφάνειας του υλικού. Στην κεραία 51600S το direct coupling είναι αρκετά μικρό ώστε να επιτρέπει τη σαφή αναγνώριση στόχων σε βάθος 3,75cm κάτω από την εμφάνεια. Στόχοι που βρίσκονται σε μικρότερο βάθος από αυτό ίσως επηρεάσουν ελαφρώς την εμφάνεια της μαύρης αντανάκλασης του direct coupling.



Σχήμα 2.23: Direct coupling (GSSI Handbook For RADAR Inspection of Concrete, 2006)

2.5 Κατανόηση των αποτελεσμάτων σε στοιχεία ωπλισμένου σκυροδέματος

Όσον αφορά την έρευνα κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα, η χρήση του ραντάρ μπορεί να συμβάλλει ποικιλοτρόπως (*Barrile et al., 2005*):

- Στην εκτίμηση πάχους στοιχείων προσβάσιμων μόνο από μια επιφάνεια
- Στον εντοπισμό στοιχείων που περιέχονται στο σκυρόδεμα αλλά έχουν διαφορετική διηλεκτρική σταθερά από αυτό, όπως οπλισμοί, καλώδια, σωλήνες ύδρευσης, τένοντες σε προεντεταμένα στοιχεία, οπτοπλινθοδομή, μονωτικά υλικά, ξύλινα στοιχεία και στην εκτίμηση μεγέθους ορισμένων στοιχείων από αυτά
- Στον εντοπισμό περιοχών του σκυροδέματος με διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως ύπαρξη κενών και διαφοροποιήσεις στην υγρασία
- Στην εκτίμηση πάχους γεμίσματος- πατώματος
- Στη διαπίστωση ύπαρξης δοκιδωτών πλακών
- Στον εντοπισμό της θεμελίωσης των υποστυλωμάτων
- Στην εκτίμηση της επικάλυψης οπλισμών

Παρουσιάζονται εν συντομία οι βασικές αρχές κατανόησης της εικόνας που λαμβάνεται από σάρωση στοιχείων ωπλισμένου σκυροδέματος.

Ένταση αντανακλάσεων:

Για να δημιουργηθεί μια αντανάκλαση πρέπει το σήμα να προσπέσει στη διεπιφάνεια μεταξύ δύο υλικών. Το ένα από τα δύο υλικά είναι το μέσον με το οποίο έρχεται σε επαφή η κεραία και στο οποίο διαδίδεται το σήμα και το άλλο υλικό είναι ο στόχος που περιέχεται στο μέσον σε κάποιο βάθος. Η <u>ένταση</u> των αντανακλάσεων είναι ανάλογη της διαφοράς των διηλεκτρικών σταθερών των δύο υλικών που βρίσκονται σε επαφή.

Οι μη μεταλλικοί στόχοι επιστρέφουν το ανακλώμενο σήμα, ενώ οι μεταλλικοί επιστρέφουν εξ ολοκλήρου το σήμα που προσπίπτει επάνω τους αλλά και ένα επιπρόσθετο σήμα που προκύπτει ως αποτέλεσμα της φόρτισής τους. Αυτό ισχύει για όλα τα μεταλλικά στοιχεία ανεξαρτήτως του πάχους τους. Η αντανάκλαση των μεταλλικών στόχων είναι έντονη και εύκολα αναγνωρίσιμη, καθώς είναι εντελώς αδιαπέραστοι από το σήμα που προσκρούει σε αυτούς. Συνεπώς, τα αντικείμενα πίσω τους είναι πιθανόν να μην μπορούν να εντοπιστούν (GSSI Handbook For RADAR Inspection of Concrete, 2006). Επίσης, το σήμα δεν μπορεί να διαπεράσει μέσα με έντονη αλατότητα, όπως το πολύ αλατισμένο νερό.

Διεπιφάνεια	Αντίθεση Διηλεκτρικής Σταθεράς Και Ένταση Παραγόμενης Αντανάκλασης
Σκυρόδεμα-Αέρας	Υψηλή (αντιστροφή πολικότητας)
Σκυρόδεμα-Μέταλλο	Υψηλή
Σκυρόδεμα-PVC	Μέτρια
Σκυρόδεμα-Νερό	Υψηλή
Πλάκα σκυροδέματος- Δοκός σκυροδέματος	Καμία
Σκυρόδεμα-Άμμος	Χαμηλή
Σκυρόδεμα-Άσφαλτος	Μέτρια

Πίνακας 2.6: Προκύπτουσα αντανάκλαση για επαφή σκυροδέματος με διάφορα υλικά





Σχήμα 2.24: Διάγραμμα έντασης αντανάκλασης συναρτήσει της υγρασίας και της πρόσθεσης χλωριούχων στο σκυρόδεμα. Στον κατακόρυφο άζονα του σχήματος μετράται η ένταση της αντανάκλασης (Popa, 2014).

Σχήμα 2.25: Απεικόνιση της δημιουργίας ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε δοκίμιο σκυροδέματος για: α)ενιαίο δοκίμιο, b)δοκίμιο με μια μικρή ασυνέχεια στην επιφάνεια c)δοκίμιο με ένα μεγάλο κενό στο πίσω του μέρος d)δοκίμιο με μια μεταλλική ράβδο (Yin, Purnell, 2010)

Μορφή αντανακλάσεων:

Όταν η κίνηση της κεραίας είναι παράλληλη σε ένα γραμμικό στόχο, τότε αυτός απεικονίζεται ως μια ευθεία γραμμή, ενώ όταν είναι κάθετη, η αντανάκλασή του έχει σχήμα υπερβολής. Αυτό συμβαίνει διότι το διαδιδόμενο από την κεραία σήμα έχει κωνικό σχήμα, με αποτέλεσμα η κεραία να μπορεί να εντοπίσει την ύπαρξη ενός στόχου πριν φτάσει ακριβώς από πάνω του, αλλά μερικά εκατοστά πριν και μετά τη θέση του. Η υπερβολή αρχίζει να σχηματίζεται όταν η κεραία προσεγγίζει το στόχο. Η κορυφή της υπερβολής σχηματίζεται τη στιγμή που το μέσον της κεραίας είναι ακριβώς πάνω από την κορυφή του στόχου. Η κωνική διάδοση του σήματος συμβάλλει στο να γίνονται ορατοί ακόμα και αρκετά μικροί σε μέγεθος στόχοι χάρη στην υπερβολική τους απεικόνιση.



Σχήμα 2.26: Σχηματική απεικόνιση της δημιουργίας μια αντανάκλασης γραμμικής μορφής (Perez-Gracia et al., 2009)



Σχήμα 2.27: Σχηματική απεικόνιση της δημιουργίας μια αντανάκλασης υπερβολικής μορφής (Viriyametanont et al. 2008)



Σχήμα 2.28: Υπερβολική αντανάκλαση ράβδου οπλισμού στο σκυρόδεμα (Shaw et al., 2004)



Σχήμα 2.29: Υπερβολική αντανάκλαση ράβδων οπλισμού στο σκυρόδεμα (http://www.ndtoolbox.org/content/bridge/gpr-physical-principle)
Πολικότητα αντανακλάσεων:

Ο διαδιδόμενος παλμός (direct coupling) αποδίδεται με μια ορισμένη αλληλουχία αντανακλάσεων: πρώτη αντανάκλαση άσπρη, δεύτερη μαύρη, πιθανώς ακολουθούμενη από μια τρίτη άσπρη. Κάθε αντανάκλαση είναι ένα αντίγραφο του διαδιδόμενου παλμού, εξ ου και στην πλειοψηφία τους οι αντανακλάσεις ακολουθούν το μοτίβο που περιγράφηκε. Ωστόσο, μια αντιστροφή της πολικότητας λαμβάνει χώρα όταν το υλικό που είναι σε επαφή με το σκυρόδεμα έχει μικρότερη διηλεκτρική σταθερά από αυτό. Παραδείγματος χάριν, το πίσω μέρος ενός τοίχου που είναι σε επαφή με αέρα πάντα θα εμφανίζει πρώτα μια αρνητική αντανάκλαση (GSSI, StructureScan Standard, Quick Start Guide).



Σχήμα 2.30: Διαφοροποίηση της πολικότητας της αντανάκλασης ανάλογα με τα υλικά που ορίζουν μια διεπιφάνεια. Αριστερά το σήμα διέρχεται από μικρή σε μεγάλη διηλεκτρική σταθερά, ενώ δεζιά συμβαίνει το αντίστροφο (Lai et al. 2009).

Σε κάθε περίπτωση, προτείνεται η σάρωση σε δύο <u>κάθετες διευθύνσεις</u>. Η τεχνική αυτή είναι απαραίτητη όχι μόνο για τη διαπίστωση της αντιστοίχισης μιας αντανάκλασης με πραγματικό στόχο, αλλά και για τον εντοπισμό αποκλίσεων ράβδων από την ευθεία. Είναι συχνό φαινόμενο να χρησιμοποιείται η μέθοδος του ραντάρ με σκοπό να ακολουθήσει δειγματοληψία ενός στοιχείου Ω.Σ. Αν κατά τη σάρωση σε μια διεύθυνση παρατηρηθούν υπερβολές, οφείλουν να γίνουν σαρώσεις και κατά την κάθετη έννοια, ακριβώς εκεί όπου σημειώθηκαν οι κορυφές των υπερβολών. Αυτό είναι κρίσιμο γιατί, μπορεί μεν οι ράβδοι να είναι οριζόντιες, αλλά να μην έχουν τοποθετηθεί κατά τη φορά που «τρέχει» η κεραία, γεγονός πολύ σημαντικό όταν πρόκειται να επακολουθήσει λήψη δείγματος με επεμβατικές μεθόδους (*Zanzi, Arosio, 2013*).



Σχήμα 2.31: Οριζόντιες ράβδοι με διαφορετικό προσανατολισμό (GSSI, Handbook For RADAR Inspection of Concrete, 2006)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ Η/Υ

Την ολοκλήρωση των σαρώσεων διαδέχεται μια σειρά από ενέργειες που εφαρμόζονται με σκοπό τη βελτίωση της λαμβανόμενης εικόνας. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των σαρώσεων από το SIR-3000 είναι το RADAN 6.6 και για το StructureScan mini είναι το RADAN 7 (<u>RA</u>dar <u>Data AN</u>alyzer). Τα συνήθη βήματα που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των σαρώσεων περιγράφονται παρακάτω με την ανάλογη σειρά.

Καταρχάς, πρώτο μέλημα για τη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων αποτελεί η τοποθέτηση της αρχής των μετρήσεων στη σωστή θέση (time zero). Η πρώτη θετική αντανάκλαση του direct coupling (του σήματος που εκπέμπει η κεραία) τοποθετείται στην ένδειξη 0 του κατακόρυφου άξονα. Με αυτή την εντολή η εικόνα γίνεται πιο αντιληπτή, αφού η ένδειξη της διεπιφάνειας κεραίας-υλικού τοποθετείται στην αρχή των μετρήσεων. Με αυτό τον τρόπο γίνεται πιο ευχερής η εύρεση της σωστής διηλεκτρικής σταθεράς που οδηγεί σε σωστά βάθη. Αναλόγως του λογισμικού που χρησιμοποιείται, το time zero επιτυγχάνεται με διαφορετικό τρόπο.



Σχήμα 3.1: Τοποθέτηση της πρώτης θει	ικής
αντανάκλασης στην αρχή μέτρησης	του
κατακόρυφου άξονα με χρησιμοποίηση	του
wiggle, σε περιβάλλον Radan 7	



Σχήμα 3.2: Τοποθέτηση της πρώτης θετικής αντανάκλασης στην αρχή μέτρησης του κατακόρυφου άζονα με χρησιμοποίηση File Header σε περιβάλλον Radan 6.6.



Αποτιμήση Της Εσωτερικής Κατάστασης Στοιχείων Από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα Με Τη Χρήση Ραντάρ

Εν συνεχεία, η επεξεργασία των στοιχείων στο file header έχει πρωτεύουσα σημασία, αφού εκεί ρυθμίζονται οι πιο σημαντικές παράμετροι για τη σωστή ερμηνεία της σάρωσης.

- Samples/Scan: η τιμή αυτή καθορίζει το μέγεθος της κατακόρυφης διάστασης του αρχείου στην οθόνη του υπολογιστή κατά την αναπαραγωγή. Οι τιμές που μπορεί να λάβει είναι 128, 256, 512, 1024, 2048, 8192, με πιο συνήθεις τις 512, 1024 και 2048. Σε περίπτωση που το αρχείο καταγραφεί με μια τιμή samples/scan μικρότερη από αυτή που θα εισαχθεί στο πρόγραμμα, τότε τα επί πλέον δείγματα δεν θα είναι πραγματικά, αλλά εκτιμώμενα βάσει των ήδη υπαρχόντων. Συνήθως δεν τροποποιείται η παράμετρος αυτή στη φάση της επεξεργασίας.
- Bits/Sample: Αν ένα αρχείο έχει καταγραφεί με ρύθμιση 8 bits/sample, αλλάζοντας αυτήν την τιμή σε 16 διπλασιάζεται ο όγκος του αρχείου που αποθηκεύεται, χωρίς να μεταβάλλεται η εμφάνισή του και χωρίς να επηρεάζεται η περαιτέρω επεξεργασία του. Προφανώς, αυτό συμβαίνει επειδή το αρχείο έχει συλλεχθεί με δεδομένα 8 bits/samp και όχι 16. Η αντίθετη διαδικασία έχει λογική οικονομίας χώρου του σκληρού δίσκου.
- <u>Scan/Second</u>: Η τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου, αν και μπορεί να τροποποιηθεί, δεν επηρεάζει την αναπαραγωγή του αρχείου.
- <u>Scans/Meter:</u> Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση (<u>distance</u> <u>normalization</u>) της οριζόντιας διάστασης του αρχείου. Έχει ήδη τιμή όταν το αρχείο έχει καταγραφεί με την κεραία συνδεδεμένη στο τροχήλατο όχημα. Σε περιπτώσεις που δεν έγινε καταγραφή με τροχήλατο, ο χρήστης οφείλει να εισάγει προσεγγιστική τιμή αριθμού σαρώσεων ανά μέτρο.
- Μeter/Mark: Η παράμετρος αυτή ρυθμίζεται σε συνδυασμό με την προηγούμενη. Πραγματοποιεί μια αντιστοίχιση των αποστάσεων των κατακόρυφων σημαδιών (marks) του αρχείου με το πραγματικό μήκος σάρωσης. Αν τα σημάδια έχουν τοποθετηθεί κατά τη διάρκεια συλλογής στοιχείων, πρέπει μόνο να δοθεί σε αυτήν την παράμετρο η τιμή μήκους μεταξύ διαδοχικών σημαδιών. Ειδάλλως, πρέπει πρώτα να τοποθετηθούν marks σε αντανακλάσεις γνωστής απόστασης, και έπειτα να δοθεί η απόσταση αυτή.

di K	ci tubic file.		20 \CI	gascinio (r 166_	120.11100
	Scan	UserMark	DistMark	MarkName	X(m)
•	0		V	UnNamed	0
	100		~	UnNamed	0,5
	200		~	UnNamed	1
	300		I	UnNamed	1,5
	365	v		UnNamed	2
	400		~	UnNamed	2
	491	v		UnNamed	2,5
	500		v	UnNamed	2.5



Σχήμα 3.3: Πίνακας εισαγωγής mark, Radan 6.6

Σχήμα 3.4: Ορισμός απόστασης μεταξύ των scans, Radan 6.6

- DielConstant: Μέσω αυτής της εντολής εισάγεται η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς του υλικού. Η τιμή ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα όταν τα βάθη των αντανακλάσεων στον κατακόρυφο άξονα λαμβάνουν τις σωστές τιμές σε μέτρα. Η αλλαγή των μονάδων του οριζόντιου και του κατακόρυφου άξονα πραγματοποιείται με δεξί κλικ πάνω στην περιοχή του άξονα και επιλογή της επιθυμητής μονάδας.
- Position (ns): Στο Radan 6.6 όταν ανοίγει ένα αρχείο η τιμή αυτής της παραμέτρου είναι μηδέν. Δεν αντιστοιχεί στην τιμή που είχε δοθεί κατά την συλλογή στοιχείων. Προκειμένου να αποφασιστεί η σωστή τιμή, αρκεί να σύρει ο χρήστης το σταυρόνημα στην πρώτη θετική

αντανάκλαση. Ύστερα, εισάγει στο position την τιμή που διάβασε σε ns με αρνητικό πρόσημο. Στο Radan 7 η τιμή είναι μηδέν και πάλι, εκτός κι αν η κεραία που έχει χρησιμοποιηθεί είναι η 2600MHz. Όμως, η τιμή του position στο Radan 7 δεν μπορεί να μεταβληθεί στο file header.

- <u>Range (ns)</u>: Εμφανίζεται η τιμή μέγιστου βάθους καταγραφής που έχει ρυθμιστεί κατά την συλλογή στοιχείων.
- <u>Top(m)</u>, <u>Depth(m)</u>: Αν δοθούν τιμές σε αυτές τις παραμέτρους ο χρήστης μπορεί να ορίσει μια πλασματική μέτρηση της κάθετης διάστασης του αρχείου η οποία βοηθά στην εκτίμηση βάθους. Κορυφή είναι η τιμή σε μέτρα του πάνω μέρους του αρχείου και βάθος είναι η τιμή σε μέτρα του τέλους της πλασματικής κλίμακας.

Παρουσιάζεται παρακάτω ένα παράδειγμα χρήσης της εντολής **distance normalization** σε σαρώσεις συναρτήσει του χρόνου. Για την εκτέλεση της εντολής εισάγονται σημάδια (marks) σε σημεία που είναι γνωστό ότι ισαπέχουν (όπως εδώ οι ράβδοι οπλισμού) και ορίζεται ποια είναι η απόσταση αυτή. Με αυτόν τον τρόπο ο οριζόντιος άξονας λαμβάνει τις σωστές τιμές σε όρους απόστασης και αποκαλύπτει το πραγματικό μήκος που σαρώθηκε. Η ακρίβεια της μεθόδου επιτυγχάνεται με τη διατήρηση κατά το δυνατόν σταθερής ταχύτητας κατά τη σάρωση αλλά και με την προσεκτική τοποθέτηση των σημαδιών στο πρόγραμμα. Μόνος περιορισμός της μεθόδου είναι ότι πρέπει να είναι γνωστές οι αποστάσεις μεταξύ των στόχων που σημειώνονται με σημάδι.







Μια <u>παραλλαγή</u> της κανονικοποίησης της απόστασης χρησιμοποιώντας και πάλι την εντολή distance normalization είναι να τεθούν σημάδια μόνο στην αρχή και στο τέλος της σάρωσης. Έχοντας γνωστό το συνολικό ακριβές μήκος της σάρωσης και εισάγοντάς το στο πρόγραμμα ως απόσταση μεταξύ των marks εξάγεται η κανονικοποιημένη εικόνα. Έτσι, δεν είναι απαραίτητη η γνώση των αποστάσεων των ισαπέχοντων οπλισμών.

Έπειτα, είναι δυνατή η πραγματοποίηση ορισμένων διορθωτικών ενεργειών με σκοπό την ενίσχυση ή την αποδυνάμωση του gain, με χρήση της εντολής **range gain**. Η δυνατότητα αυτή που παρέχει το πρόγραμμα δεν υποκαθιστά την ανάγκη καίριων επιλογών στις ρυθμίσεις gain κατά τη σάρωση. Αυτό συμβαίνει διότι, στη φάση της επεξεργασίας, μόνο διορθωτικές μπορεί να είναι οι αλλαγές επί των καταγεγραμμένων αρχείων.

Με την εντολή αυτή, ο χρήστης μεταβαίνει σε ένα παράθυρο όπου παρουσιάζεται ο παλμογράφος. Η εγκάρσια διάσταση του αρχείου δύναται να χωριστεί σε όσα ίσα μέρη επιλέξει ο

χρήστης. Οι τιμές του gain είναι μεγαλύτερες ή ίσες του μηδενός^{*}. Υφίστανται τρεις διαφορετικοί τύποι gain:

- <u>Automatic</u>: δεν είναι δυνατός ο ορισμός διαφορετικών τιμών gain σε κάθε σημείο, οπότε η οποιαδήποτε αλλαγή πραγματοποιείται ομοιόμορφα σε όλο το αρχείο. (το ίδιο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με δεξί κλικ)
- Linear: το κάθε σημείο μπορεί να λάβει διαφορετική τιμή προσαύξησης. Η επιλογή αυτή είναι ιδιαιτέρως χρήσιμη, διότι στις περισσότερες περιπτώσεις επιδιώκεται η ενίσχυση μιας περιοχής μόνο της εικόνας και η αποδυνάμωση μιας άλλης, ώστε να γίνουν κατανοητοί οι πιο ασαφείς σχηματισμοί. Οι τιμές των σημείων είναι μη αρνητικές. Σημειώνεται ότι βοηθά πολύ η παρουσία του wiggle στην αντίληψη της στάθμης όπου αντιστοιχεί κάθε σημείο. Αν επιθυμείται η απαλοιφή μιας οριζόντιας γραμμικής αντανάκλασης, τότε στη στάθμη εκείνη προτείνεται να τοποθετείται σημείο στο οποίο δίνεται τιμή κοντά στο μηδέν.
- <u>Exponential</u>: Όπως και στο γραμμικό, ο χρήστης επιλέγει αριθμό σημείων και τιμές για αυτά. Η καμπύλη προσαύξησης είναι εκθετικής μορφής. Οι τιμές των σημείων μπορεί να είναι και θετικές και αρνητικές.



Παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της χρήσης της εντολής με linear gain.

Σχήμα 3.5: Επιλογή 6 σημείων για linear gain σε περιβάλλον Radan 6.6



* Σε περίπτωση που επιθυμείται η αποδυνάμωση του gain της συνολικής εικόνας, με τοποθέτηση αρνητικής τιμής, αυτό είναι εφικτό με δεξί κλικ. Υπάρχει πληθώρα περιπτώσεων όπου το σήμα της κεραίας αναπηδά περισσότερες από μια φορά σε αντικείμενα έντονης αντανάκλασης (λ.χ. μεταλλικά) κάνοντας παλινδρομικές κινήσεις και δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο δευτερεύουσες αντανακλάσεις (επαναλαμβανόμενες εις βάθος ίδιες αντανακλάσεις). Με τη βοήθεια της εντολής **deconvolution** το φαινόμενο αυτό εξομαλύνεται.



Σχήμα 3.6: Εντολή Deconvolution, Radan 6.6



Μια επιπρόσθετη εντολή που έχει μεγάλη αξία κυρίως στα 3D αρχεία είναι το **migration**. Σκοπός της εντολής είναι η κατάργηση των υπερβολών και η μετατροπή τους σε σημεία ("collapse of hyperbolas reflection"). Χάρη στην εντολή αυτή, είναι δυνατή η εξομάλυνση των έντονων αντανακλάσεων που προκαλεί η τομή των προεκτάσεων των υπερβολών και που δεν υποδεικνύουν πραγματικούς στόχους. Επίσης, μόνο με χρήση του migration είναι δυνατή η ορθή αναπαραγωγή ενός αρχείου 3D. Κατά το άνοιγμα της εντολής εμφανίζεται στην οθόνη μια "ghost hyperbola" της οποίας το πλάτος και η ταχύτητα (που μεταφράζεται στο πόσο οξεία ή αμβλεία είναι η κορυφή της) είναι μεταβλητά. Η υπερβολή αυτή πρέπει να προσαρμοστεί από το χρήστη πάνω σε μια αντιπροσωπευτική υπερβολή της σάρωσης, και ύστερα το migration θα εφαρμοστεί αυτόματα σε όλες τις υπερβολές. Για να ολοκληρωθεί η εντολή επιλέγεται το "Run 2D constant velocity migration" για ομογενή υλικά, όπως θεωρείται το σκυρόδεμα. Για υλικά ετερογενή, όπως το έδαφος, θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί το "next", ώστε στη συνέχεια να επιλεγεί "2D variable velocity migration", διότι η διηλεκτρική σταθερά δεν έχει σταθερή τιμή σε κάθε βάθος.



Σχήμα 3.7: Ghost hyperbola



Σχήμα 3.8: Επιλογή ταχύτητας και εύρους υπερβολής και εκτέλεση migration με σταθερή ταχύτητα, Radan 6.6







Με την εντολή **background removal** του RADAN 7 είναι δυνατή η απομάκρυνση οριζόντιων αντανακλάσεων που συνήθως δημιουργούνται από ακατάλληλες ρυθμίσεις gain και αποτελούν το λεγόμενο θόρυβο που μπορεί να σκιάσει τυχόν υπάρχουσες αντανακλάσεις. Μπορεί να επιλεγεί αν το φίλτρο θα εφαρμοστεί σε όλο το αρχείο ή σε συγκεκριμένα scans. Επειδή η εντολή απομακρύνει και την αντανάκλαση της διεπιφάνειας κεραίας και εξεταζόμενου στοιχείου, πρέπει να έχει προηγηθεί η τοποθέτηση της αντανάκλασης αυτής στη στάθμης 0 ώστε τα βάθη να έχουν ήδη αποκτήσει τη σωστή τιμή.



Επί πλέον, χρήσιμη εντολή αποτελεί το **horizontal scaling**, η οποία επηρεάζει την οριζόντια κλίμακα. Τρεις είναι οι διατιθέμενες επιλογές:

- Stacking: Χρησιμοποιείται για να μικρύνει η εικόνα κατά την οριζόντια έννοια τόσες φορές όσες εισάγει ο χρήστης στο ανάλογο κελί. Βρίσκει συνήθως εφαρμογή στις περιπτώσεις όπου το μήκος της σάρωσης είναι πολύ μεγάλο και επιθυμείται η σμίκρυνση της σάρωσης προκειμένου να μπορεί να αποθηκευτεί με τη μορφή εικόνας.
- Skipping: έχει το ίδιο αποτέλεσμα με το stacking, με τη διαφορά ότι εισάγεται ο αριθμός των scans που επιθυμείται να αγνοηθεί πριν από ένα επόμενο scan. Για παράδειγμα, η τιμή 1 σημαίνει ότι πριν από κάθε scan αγνοείται το προηγούμενό του. Συνεπώς ισοδυναμεί με συντελεστή stacking ίσο με 2.
- <u>Stretching</u>: Αξιοποιείται κυρίως όταν επιδιώκεται η μεγέθυνση της σάρωσης με σκοπό τη χονδρική εκτίμηση του μεγέθους ορισμένων στοιχείων.



Σχήμα 3.9: Horizontal scaling parameters σε περιβάλλον Radan 6.6



Τέλος, παρότι δεν πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του παρόντος πονήματος, αναφέρεται η δυνατότητα προγραμματισμού μιας αλληλουχίας ενεργειών με χρήση της εντολής **macro programming.** Σε περιπτώσεις όπου είναι απαραίτητη η επεξεργασία αρχείων που απαιτούν ίδιες διορθωτικές ενέργειες, είναι πολύ χρήσιμη η συγκρότηση αυτών σε ένα σύνολο με ορισμένη σειρά, που μπορεί να αποθηκευτεί και να εφαρμοστεί στα αντίστοιχα αρχεία, δίνοντας γρήγορα το τελικό αποτέλεσμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙΜΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Για την κατασκευή των έξι δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε SCC (self compacting concrete) κατηγορίας C25/30. Σε όλα ενσωματώθηκαν υλικά που δυνητικώς περιέχονται σε πραγματικές κατασκευές. Η επιλογή του <u>αυτοσυμπυκνούμενου</u> έναντι συμβατικού σκυροδέματος προτιμήθηκε με σκοπό την αποφυγή της μηχανικής δόνησης που θα έπρεπε να επιβληθεί και η οποία πιθανότατα θα διατάρασσε την ακριβή θέση των περιεχόμενων στοιχείων των δοκιμίων. Καθώς ο σκοπός κατασκευής τους επικεντρώθηκε στη χρησιμοποίησή τους για σαρώσεις ραντάρ, κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε άγνωστες θέσεις των περιεχόμενων υλικών, άρα σε δυσκολία επιβεβαίωσης της ακρίβειας της μεθόδου. Επιπρόσθετα, χάρη στη χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος το υλικό θεωρείται πιο ομοιογενές και με λιγότερα κενά.

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (SCC) έχει υψηλότερο περιεχόμενο σε λεπτά υλικά από ότι το συμβατικό σκυρόδεμα εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητάς του σε συνδετικό υλικό, όπως επίσης και διαφορετική κοκκομετρική καμπύλη κατανομής. Αυτές οι τροποποιήσεις, σε συνδυασμό με ειδικά προσαρμοσμένους υπερρευστοποιητές, παράγουν ρευστότητα και συμφυή ικανότητα συμπύκνωσης. Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα δημιουργεί προοπτικές χρήσης σκυροδέματος πέρα από τις συμβατικές εφαρμογές (Εγχειρίδιο Τεχνολογίας Σκυροδέματος Sika):

- Χρήση σε περιπτώσεις πολύ πυκνού οπλισμού
- Για πολύπλοκα γεωμετρικά σχήματα
- Για παραγωγή πολύ λεπτών στοιχείων
- Γενικώς οπουδήποτε η συμπύκνωση σκυροδέματος είναι δύσκολη
- Για περιπτώσεις προδιαγραφών που απαιτούν ομογενή δομή σκυροδέματος

Όλα τα δοκίμια σκυροδετήθηκαν και ξεκαλουπώθηκαν την ίδια μέρα, ενώ συντηρήθηκαν στις ίδιες συνθήκες. Η σκυροδέτηση πραγματοποιήθηκε στις 22.11.2012 σε μία φάση και δεν εφαρμόστηκε δόνηση. Ξεκαλουπώθηκαν ύστερα από 7 μέρες και τοποθετήθηκαν κάθετα έτσι ώστε να μπορούν να σαρωθούν και οι δύο τους επιφάνειες. Οι πρώτες σαρώσεις διενεργήθηκαν την 7^η ημέρα και από τότε σε εβδομαδιαία βάση για ένα μήνα. Ύστερα, σαρώθηκαν ξανά σε ηλικία 3^{ων} μηνών και μετέπειτα σε ηλικία 3^{ων} ετών. Όλα τα δοκίμια διατηρήθηκαν σε προστατευμένο περιβάλλον μέσα στο εργαστήριο, μακριά από την επίδραση βροχής, αέρα και ηλιακής ακτινοβολίας. Αρχικά, επιδιώχθηκε η εξοικείωση με το οπτικό αποτέλεσμα των αντανακλάσεων των διαφόρων υλικών, ενώ στη συνέχεια καταβλήθηκε προσπάθεια για μεγαλύτερη ευκρίνεια μέσω κατάλληλων ρυθμίσεων. Επίσης, σε ορισμένα από τα δοκίμια πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις με μαγνητόμετρο σε ηλικία 28 ημερών και 3^{ων} ετών. Όλες οι σαρώσεις ηλικίας μικρότερης των 3^{ων} ετών με το ραντάρ και το μαγνητόμετρο πραγματοποιήθηκαν και το μαγνητόμετρο πραγματοποιήθηκαν στο Σφήκα Β., τον Σφήκα Ι. και τον Χρηστίδη Κ.

Για την πραγματοποίηση του συνόλου των σαρώσεων χρησιμοποιήθηκαν κεραίες τριών διαφορετικών συχνοτήτων:

- 1600MHz, με συλλογή δεδομένων τόσο συναρτήσει της απόστασης όσο και συναρτήσει του χρόνου
- 900MHz, με συλλογή δεδομένων συναρτήσει του χρόνου
- 2600MHz, με συλλογή δεδομένων συναρτήσει της απόστασης

Παρακάτω παρατίθεται μια φωτογραφία των δοκιμίων πριν τη σκυροδέτησή τους και ο συμβολισμός που θα τηρηθεί για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 4.1: Φωτογραφία των έζι δοκιμίων πριν τη σκυροδέτησή τους

Οι αντανακλάσεις που εμφανίζονται και ερμηνεύονται με σαφήνεια συμβολίζονται με συνεχείς γραμμές, ενώ για αυτές στις οποίες υπάρχει αβεβαιότητα χρησιμοποιούνται διακεκομμένες. Επίσης, το χρώμα είναι δηλωτικό του υλικού στο οποίο αντιστοιχεί η αντανάκλαση και ορίζεται για κάθε δοκίμιο ξεχωριστά. Η κάθε σάρωση συνοδεύεται από λεζάντα η οποία παρέχει πληροφορίες για το όνομα του αρχείου, το range που χρησιμοποιήθηκε, τον αριθμό και την τιμή των σημείων gain, την τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς που επιλέχτηκε και, σε ορισμένες περιπτώσεις, λίγα απαραίτητα σχόλια.



Σχήμα 4.2: Τομή και Κάτοψη του Δοκιμίου 1



Σχήμα 4.3: Φωτογραφία πριν τη σκυροδέτηση

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz

Παρατίθενται δύο ενδεικτικές σαρώσεις με τις ερμηνείες των αντανακλάσεων:



Σάρωση στην <u>άνω</u> πλευρά του δοκιμίου:

Σάρωση 4.1: 198, 4 gain points (-20, 0, 20, 40), 13ns, D.C. 8.5





Σάρωση στην <u>κάτω</u> πλευρά του δοκιμίου:



Σάρωση 4.2: 259, 4gain points (-18, -17, 14, 20), 8ns, D.C. 8.5





Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών

Σχήμα 4.4: Σαρώσεις της <u>άνω πλευράς</u> πριν την επεξεργασία (εικόνες από RADAN 7), με διεύθυνση από το πολυαιθυλένιο προς το κενό PVC.



Σχήμα 4.5: Σαρώσεις της <u>άνω πλευράς</u> μετά την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN 6.6



Σχήμα 4.6: Σαρώσεις της <u>κάτω πλευράς</u> πριν την επεξεργασία (εικόνες από RADAN 7) με διεύθυνση από το πολυαιθυλένιο προς το κενό PVC.



Σχήμα 4.7: Σαρώσεις της <u>κάτω πλευράς</u> μετά την επεζεργασία με το points (-18, -18, 18, 18, 33), 15ns, D.πρόγραμμα RADAN 6.6

Επιρροή της υγρασίας:

Όλες οι παραπάνω σαρώσεις έχουν πραγματοποιηθεί με <u>Concrete Scan</u>. Στην περίπτωση αυτή, το gain αποφασίζεται αυτόματα από το σύστημα, ενώ ο χρήστης εισάγει μόνο το εκτιμώμενο πάχος (σε cm) του στοιχείου που σαρώνεται και την κατάσταση του σκυροδέματος (τέθηκε κατάσταση "moisturized concrete" για όλες τις ημέρες εκτός από την 28^η χωρίς διαβροχή). Οι ρυθμίσεις του gain είναι διαφορετικές για κάθε μέρα. Βάσει των ρυθμίσεων αυτών, παρατηρείται πως για την άνω πλευρά η πιο αξιόπιστη εικόνα είναι αυτή της 28^{ης} μέρας χωρίς διαβροχή- στην οποία έχουν σημειωθεί τα στοιχεία στα οποία αντιστοιχούν οι αντανακλάσεις στην επεξεργασμένη εικόνα- και ακολουθεί της 14^{ης} μέρας. Στις σαρώσεις της κάτω πλευράς, πέραν του επιφανειακού πλέγματος οπλισμού, καμία άλλη αντανάκλαση πραγματικού στόχου δεν είναι ορατή. Σημειώνεται ότι την 7^η ημέρα σε όλα τα δοκίμια παρατηρήθηκε ότι η κάτω επιφάνεια είχε περισσότερη υγρασία συγκριτικά με την άνω. Την 28^η ημέρα οι σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν μια ώρα μετά τη διαβροχή των δοκιμίων.

Είναι γεγονός ότι η ύπαρξη υγρασίας <u>θολώνει</u> σημαντικά την εικόνα, κάτι που καθιστά τον εντοπισμό στόχων δύσκολο ή αδύνατο (ακόμα και μετά την επεξεργασία, όπως συμβαίνει στις σαρώσεις της κάτω πλευράς). Επίσης, διαπιστώνεται ότι χρειάζεται να τεθεί μεγάλη τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς, προκειμένου να φανούν τα περιεχόμενα στο πραγματικό τους βάθος. Την 7^η και 14^η μέρα η τιμή **13** είναι κατάλληλη, ενώ για την 28^η μέρα χωρίς και με διαβροχή η τιμή **12** δίνει σωστά βάθη. Είναι λογικό όσο περνούν οι μέρες να αποβάλλεται υγρασία από το σκυρόδεμα οπότε μια μικρή μείωση της διηλεκτρικής σταθεράς ήταν αναμενόμενη. Επιπρόσθετα, η εικόνα της σάρωσης την 28^η μέρα με και χωρίς διαβροχή δεν διαφοροποιείται σημαντικά και αυτό διότι διακριτές διαφορές θα προέκυπταν αν το σκυρόδεμα παρέμενε <u>εμβυθισμένο</u> επί μακρόν σε νερό ώστε να αλλάξει σημαντικά η υγρασία του. Αυτό, βέβαια, εξαρτάται και από το πορώδες του.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αναμενόμενη διεισδυτική ικανότητα της κεραίας 1600MHz είναι περίπου 30÷50cm. Ωστόσο, σε σκυρόδεμα το οποίο δεν έχει ωριμάσει, η διεισδυτική ικανότητα μπορεί να μειωθεί στα 15cm ή και σε ακόμα μικρότερες τιμές.

Σημειώνεται ότι, εφόσον στις σαρώσεις της κάτω πλευράς του δοκιμίου δεν υπάρχει ένδειξη για αναγνώριση του πάχους ούτε για εντοπισμό των περιεχομένων του δοκιμίου πέραν του πλέγματος, η εισαγωγή της διηλεκτρικής σταθεράς βασίζεται απόλυτα στις αντίστοιχες σαρώσεις που έχουν γίνει στην άνω πλευρά του δοκιμίου με τις ίδιες ρυθμίσεις παραμέτρων. Ακόμα, όμως, και οι σαρώσεις της άνω πλευράς δεν αποκαλύπτουν το πάχος του δοκιμίου, με εξαίρεση αυτήν της $28^{\eta\varsigma}$ ημέρας. Στο δεξί τμήμα της εικόνας αυτής παρατηρούνται ορισμένες παρεμβολές, οι οποίες είναι πιθανό να οφείλονται στην ύπαρξη κινητού τηλεφώνου κοντά στην κεραία τη στιγμή της σάρωσης.

Εξαιτίας των ρυθμίσεων gain έχουν δημιουργηθεί αντανακλάσεις που δεν αντιστοιχούν σε υπαρκτά περιεχόμενα. Αυτό είναι κατανοητό εξαιτίας του γεγονότος ότι οι αντανακλάσεις απαντώνται στο ίδιο βάθος στις σαρώσεις της άνω και της κάτω πλευράς και εκτείνονται σε όλο το μήκος του οριζόντιου άξονα. Παρακάτω, παρουσιάζονται δύο παραδείγματα. Γενικώς, το ραντάρ δεν διαθέτει μέθοδο διάκρισης των στόχων και αυτός είναι ο λόγος που η ικανότητα του χρήστη διαδραματίζει τον πρωταρχικό ρόλο, μιας και αυτός καλείται να εξάγει συμπεράσματα για την κατάσταση του εξεταζόμενου στοιχείου, συνεκτιμώντας την εικόνα που αναμένει να δει από αυτό.



Σχήμα 4.8 :Εντοπισμός βάθους αντανακλάσεων προερχόμενων από ρυθμίσεις του gain.

Σκυρόδεμα ηλικίας τριών μηνών

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης της κεντρικής μονάδας SIR3000, <u>τρεις</u> μήνες θεωρούνται επαρκές διάστημα για την ωρίμανση στοιχείων σκυροδέματος επί του εδάφους, ενώ σε στοιχεία σε επαφή με τον αέρα το διάστημα αυτό δύναται να είναι ακόμα μικρότερο. Σε περίπτωση, όμως, που το σκυρόδεμα δεν έχει ωριμάσει επαρκώς, η διάκριση των περιεχομένων του είναι δύσκολη (GSSI, manual SIR3000). Ωστόσο, κατά τον D.J.Daniels (1996), το διάστημα που θεωρείται αρκετό ώστε να θεωρηθεί ότι η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς έχει πάρει την τελική τιμή της είναι οι <u>έξι</u> μήνες.

Δεν πρέπει να παραβλέπεται η σημασία της ύπαρξης πυκνού οπλισμού στην αναμενόμενη εικόνα. Εάν είναι γνωστό ότι συναντάται πυκνό πλέγμα ράβδων στην κατασκευή που πρόκειται να υποστεί σάρωση, τότε δεν αναμένονται σαφή αποτελέσματα εάν η ηλικία του σκυροδέματος είναι μόλις τριών μηνών. Ειδάλλως, στην περίπτωση παρουσίας στοιχείων σε μεγάλη, σχετικά, απόσταση μεταξύ τους και σε μικρό βάθος, η θέασή τους καθίσταται εφικτή.



Σχήμα 4.9: Σαρώσεις από την <u>άνω πλευρά</u> του δοκιμίου με Concrete Scan. Οι σαρώσεις έχουν υποβληθεί σε επεζεργασία.



Σχήμα 4.10: Σαρώσεις από την <u>κάτω πλευρά</u> του δοκιμίου με Concrete Scan. Οι σαρώσεις έχουν υποβληθεί σε επεζεργασία.

Επιρροή των παραμέτρων ρύθμισης:

Παρατηρείται πως όσο μεγαλώνει το depth που εισάγει ο χρήστης, τόσο πιο πολλές είναι οι πληροφορίες που συλλέγει το σύστημα εις βάθος. Εντούτοις, μειώνεται η ευκρίνεια των στοιχείων που βρίσκονται στο μικρό βάθος που μας απασχολεί στην προκειμένη περίπτωση.

Στις σαρώσεις με depth ίσο με 100cm σημειώνεται ότι το σύστημα επέλεξε να διατηρήσει ίδια τα τρία τελευταία σημεία ενίσχυσης του σήματος. Αυτό πιθανότατα προήλθε από το γεγονός ότι η εικόνα που λάμβανε το ραντάρ από μια στάθμη και κάτω δεν είχε πολλές διαφοροποιήσεις, οπότε δεν ήταν αναγκαία η ενίσχυση της έντασης του σήματος. Από τη μορφή του παλμογράφου είμαστε συχνά σε θέση να αντιληφθούμε από ποιο βάθος και μετά οι πληροφορίες είναι μη ερμηνεύσιμες. Αυτό συμβαίνει στη στάθμη η οποία ονομάζεται <u>"noise floor"</u> όπου εμφανίζονται μικρά σπασίματα στη γραμμή του παλμογράφου. Γενικά, αν είναι γνωστό το πάχος ενός στοιχείου και είναι διακριτή η αντανάκλασή του στη σάρωση, τότε καμία αντανάκλαση βαθύτερη από αυτήν δεν αξιολογείται.



Σχήμα 4.11: Προσδιορισμός του "noise floor" (GSSI Handbook For RADAR Inspection of Concrete, 2006)

Τονίζεται πως χάρη στις ρυθμίσεις είναι ορατά όλα τα περιεχόμενα του δοκιμίου από την άνω πλευρά και για depth 30 και 100cm είναι ορατό και το τέλος του δοκιμίου σε σωστό βάθος για διηλεκτρική σταθερά ίση με **11**. Είναι αναμενόμενο η διηλεκτρική σταθερά να είναι μειωμένη σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιήθηκε για τις μέρες 7÷28, παρόλα αυτά και πάλι η τιμή της υποδεικνύει ότι το ποσοστό <u>υγρασίας</u> του σκυροδέματος στους 3 μήνες είναι αυξημένο σε σχέση με αυτό που απαντάται σε σκυρόδεμα ηλικίας ετών. Και σε αυτήν την ηλικία οι αντανακλάσεις των στοιχείων από την κάτω πλευρά δεν διακρίνονται.

Σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών

Καταρχάς, διενεργείται στατική δοκιμή προκειμένου να βρεθεί η κατάλληλη τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς. Κατά τη διαδικασία αυτή, η κεραία λαμβάνει μετρήσεις συναρτήσει του χρόνου και παραμένει ακίνητη σε μια θέση της μιας πλευράς του δοκιμίου, ενώ στην απέναντι πλευρά του κινούμε μια μεταλλική ράβδο. Η αντανάκλαση που προέρχεται από το μεταλλικό αντικείμενο είναι έντονη και εύκολα αναγνωρίσιμη. Η εικόνα που εμφανίζεται στην οθόνη της κεντρικής μονάδας μεταβάλλεται όταν η ράβδος περνάει μπροστά από την κεραία. Το βάθος στο οποίο εντοπίζεται η αναταραχή ισούται με το πάχος του δοκιμίου (Παλιεράκη, 2003). Η μέτρηση γίνεται στο μέσον της μαύρης γραμμικής αντανάκλασης που διακόπτεται από της κίνηση της ράβδου (ροζ χρώμα). Έχοντας γνωστό το πάχος, είναι εφικτό να εκτιμηθεί ότι η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς είναι 8.50. Κατά τη στατική δοκιμή η κεραία ακουμπούσε στην πλευρά που μετρήθηκε να έχει πάχος 29cm. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης στατικής δοκιμής χρησιμοποιήθηκαν 4 σημεία ενίσχυσης του σήματος, όμως σημειώνεται ότι 3 μόνο σημεία gain θα ήταν επαρκή, αφού, πέραν της αντανάκλασης του μεταλλικού αντικειμένου, δεν απαιτείται λεπτομερής θέαση του εσωτερικής κατάστασης του σκυροδέματος.



Σάρωση 4.17: 048, 4 gain points(-20, -16, 22, 30), 13ns, D.C. 8.5

Προκειμένου να διαπιστωθεί η διαφορά της εικόνας που προκύπτει με Concrete Scan ανάλογα με την ηλικία του σκυροδέματος, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω σαρώσεις. Υπενθυμίζεται ότι με τη ρύθμιση αυτή οι παράμετροι του gain δίνονται αυτόματα από το σύστημα και απαιτείται μόνο η εισαγωγή του βάθους και της κατάστασης του σκυροδέματος.

Ενώ οι ρυθμίσεις είναι παρόμοιες με αυτές των 3 μηνών, η εικόνα που λαμβάνεται είναι τελείως διαφοροποιημένη. Τα περιεχόμενα του δοκιμίου, καθώς και το τέλος του στις παρακάτω σαρώσεις είναι πιο εμφανή. Συμπερασματικά, η <u>υγρασία</u> του σκυροδέματος των τριών μηνών είναι αρκετή ώστε να εμποδίζει την απόκτηση σαφούς εικόνας. Χάριν σύγκρισης, παρατέθηκαν και πάλι οι σαρώσεις των τριών μηνών για βάθος ίσο με 30cm.



Σχήμα 4.12: Σαρώσεις με Concrete Scan με depth ίσο με 30cm και κατάσταση σκυροδέματος dry. Η φορά σάρωσης των αριστερά είναι αντίθετη με των δεζιά.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται σαρώσεις που έγιναν στα δοκίμια ηλικίας τριών ετών με τις ρυθμίσεις που είχαν χρησιμοποιηθεί σε σαρώσεις των δοκιμίων στις 7 και στις 28 μέρες. Διαπιστώνεται και πάλι πόσο πολύ διαφοροποιεί η υγρασία τη λαμβανόμενη εικόνα.



Σχήμα 4.13: Σαρώσεις στην <u>άνω πλευρά</u> του δοκιμίου, με σκοπό τη σύγκριση των δυνάμει λαμβανόμενων πληροφοριών με ίδιες ρυθμίσεις σε διαφορετικές ηλικίες του σκυροδέματος



Σχήμα 4.14:Σαρώσεις στην <u>κάτω πλευρά</u>του δοκιμίου, με σκοπό τη σύγκριση των δυνάμει λαμβανόμενων πληροφοριών με ίδιες ρυθμίσεις σε διαφορετικές ηλικίες του σκυροδέματος

Ακολούθως, παρουσιάζονται εικόνες σαρώσεων με <u>νέες ρυθμίσεις</u>, με σκοπό να διαπιστωθεί ποιες είναι πιο εύστοχες για τη σαφή αποτίμηση της εσωτερικής κατάστασης του δοκιμίου. Με εξαίρεση την ασαφή εικόνα που αποδίδει το ξύλο στις σαρώσεις της κάτω πλευράς και την

έλλειψη απόκτησης πληροφοριών για το πλέγμα κατά τις σαρώσεις από την άνω πλευρά, τα στοιχεία του δοκιμίου είναι γενικώς ορατά, ενώ οι διαφοροποιήσεις στις αντανακλάσεις τους συγκεκριμενοποιούνται στις περιπτώσεις που είναι δυνατόν.



Σχήμα 4.15: Σαρώσεις στην <u>άνω πλευρά</u>

Παρατηρήσεις ως προς την απεικόνιση των στόχων:

Η αντανάκλαση του <u>πολυαιθυλενίου</u> ορθογωνικής διατομής παρουσιάζει πλατώ και δεν έχει σχήμα υπερβολής. Επίσης, είναι αντιληπτή η διαφορά υλικού από τη διαφορετική ένταση αντανάκλασης. Η περιεκτικότητα του πολυαιθυλενίου σε αέρα καθιστά την τριάδα αντανακλάσεών του πιο έντονη. Η διηλεκτρική σταθερά του πολυαιθυλενίου είναι 2.25 (*http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/tables/diel.html*). Η μέτρηση του βάθους του πολυαιθυλενίου γίνεται στην πρώτη θετική αντανάκλαση (συμβολίζεται με άσπρο), που περιέχεται μεταξύ δυο αρνητικών. Η διηλεκτρική σταθερά του πολυαιθυλενίου διαφέρει αρκετά από του σκυροδέματος (στην προκειμένη περίπτωση 8.50 είναι η διηλεκτρική όλου του δοκιμίου,

ως συνόλου), οπότε η αντανάκλαση που προκύπτει από την ανάκλαση του σήματος πάνω στη διεπιφάνεια σκυροδέματος και πολυαιθυλενίου είναι λογικό να προκύπτει έντονη.

Το <u>ξύλο</u> παρουσιάζεται με ήπια αντανάκλαση και με μορφή υπερβολική, καθώς αποτελεί λεπτό στοιχείο ορθογωνικής διατομής. Η διηλεκτρική του σταθερά δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια γιατί εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την περιεχόμενη υγρασία του. Στην προκειμένη περίπτωση μπορούμε να υποθέσουμε ότι η διηλεκτρική του σταθερά είναι κοντινή με αυτή του σκυροδέματος, διότι η αντανάκλαση που προκύπτει είναι ασθενής.

Το <u>pvc</u> έχει διηλεκτρική σταθερά 3. Ανάλογα με το αν είναι γεμάτο ή άδειο η αντανάκλαση που προκύπτει διαφέρει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το pvc είναι διαπερατό από το σήμα του ραντάρ, συνεπώς η αντανάκλαση που προκύπτει δεν είναι του ίδιου του pvc αλλά του περιεχομένου του. Δηλαδή, στη θέση του κενού σωλήνα η αντανάκλαση αντιστοιχεί στον αέρα στην άντυγα του εσωτερικού τοιχώματος, ενώ στη θέση του γεμάτου αντιστοιχεί στη ράβδο οπλισμού μέσα στο σκυρόδεμα. Στην περίπτωση του άδειου pvc η κορυφή εντοπίζεται στο μέσο της άσπρης αντανάκλασης.

Σε ό,τι αφορά την εκτίμηση της ακρίβειας των βαθών, μεγάλη σημασία έχει ο τρόπος ρύθμισης των παραμέτρων. Αν οι ρυθμίσεις είναι αυτόματες (Concrete Scan), οι μετρήσεις που λαμβάνονται στον κατακόρυφο άξονα μπορεί να αποκλίνουν κατά 20% από τις πραγματικές. Σε περίπτωση χειροκίνητης ρύθμισης (TerraSIRch), εάν έχει προηγηθεί ορθή βαθμονόμηση του οργάνου, η ακρίβεια του κατακόρυφου άξονα είναι ίση με *a* (GSSI Handbook For RADAR Inspection of Concrete, 2006):

$a = max\{0,625; 0,05 * t\}$

όπου t: το πάχος του στοιχείου

Στη Σάρωση 4.25 είναι ορατή μια ίσια γραμμή σε βάθος 0,16m. Εικάζεται ότι είναι το <u>οριζόντιο</u> σίδερο πίσω από τα στοιχεία, μιας και το βάθος του και η μορφή του οδηγεί σε αυτό το συμπέρασμα. Απεικονίζεται με την αλληλουχία άσπρο-μαύρο-άσπρο. Όταν η διεύθυνση σάρωσης είναι σχεδόν παράλληλη με ένα γραμμικό στοιχείο, τότε η αντανάκλαση που προκύπτει είναι μια σχεδόν ευθεία γραμμή.

Ο κατάλληλος τρόπος για να διαπιστωθεί αν μια ευθεία γραμμή αντιστοιχεί σε πραγματικό στόχο, είναι <u>η σάρωση σε δύο κάθετες διευθύνσεις</u>. Αν και στις δύο διευθύνσεις παρουσιάζεται στο ίδιο βάθος μια ευθεία γραμμή στη μια και μια υπερβολή στην άλλη, τότε πρόκειται για υπαρκτό στόχο. Ειδάλλως, η αντανάκλαση μορφής ευθείας γραμμής θα μπορούσε να οφείλεται σε ακατάλληλες ρυθμίσεις gain.

Στις παραπάνω σαρώσεις, η αιτία για την οποία ενισχύθηκε το σήμα με ορισμό 5 σημείων, με μεγάλη τιμή του τελευταίου και μικρή τιμή του πρώτου είναι η επιδίωξη ανίχνευσης του πίσω πλέγματος οπλισμού. Με αυτόν τον τρόπο αποδυναμώθηκε το σήμα κοντά στην επιφάνεια σάρωσης, που άλλωστε τα στοιχεία φαίνονται με πολλή σαφήνεια, και επιδιώχθηκε η ενίσχυση του σήματος εις βάθος. Ωστόσο, δεν έγινε ορατός ο πίσω οπλισμός, πιθανά λόγω του μεγάλου range, που ίσως αχρήστευσε το πέμπτο σημείο ενίσχυσης.



Σχήμα 4.16: Σαρώσεις στην <u>κάτω πλευρά</u>

<u>Παρατηρήσεις:</u>

Στην κάτω πλευρά του δοκιμίου έχει τοποθετηθεί πλέγμα οπλισμού Φ8/10. Η κορυφή ενός μεταλλικού στόχου είναι στο μέσον της πρώτης θετικής κορυφής, δεδομένου ότι θετική νοείται η λευκή αντανάκλαση. Οι υπερβολές που συναντώνται σε βάθος 3cm περίπου από τη διεπιφάνεια κεραίας-δοκιμίου αποτελούν τον οπλισμό του πλέγματος που τρέχει παράλληλα με τη διαμήκη έννοια των στόχων pvc, ξύλο και πολυαιθυλένιο. Είναι ευχερής η εκτίμηση της <u>επικάλυψης</u> του οπλισμού.

Μετράται η απόσταση μεταξύ των κατακόρυφων Φ8 και επιβεβαιώνεται ότι είναι 10cm. Μετρήθηκαν μόνο 9 από τα 12 υπάρχοντα σίδερα, καθώς το μέγεθος του τροχήλατου δεν μας επιτρέπει να σύρουμε την κεραία καθ' όλη τη διαμήκη έννοια.

Παρότι το σήμα συναντά αρχικά πυκνό οπλισμό, καταφέρνει να διεισδύσει <u>σε όλο το βάθος του</u> δοκιμίου</u> και εκτός από το την επαφή του τέλους του με τον αέρα, μπορούμε να διακρίνουμε το πολυαιθυλένιο σε βάθος 15cm, το γεμάτο σωλήνα pvc σε βάθος 18cm και τον κοίλο σε βάθος 16cm. Εξαιτίας της διαφοράς στη στάθμη των αντανακλάσεων των <u>pvc</u> είναι αντιληπτό ότι αντανακλάται το εσωτερικό τους και όχι το ίδιο το pvc. Το ξύλο δεν είναι ορατό.

Στη Σάρωση 4.27 αποδυναμώθηκε το σήμα στα 2 πρώτα σημεία και ενισχύθηκε στα 2 επόμενα, με σκοπό οι αντανακλάσεις του πλέγματος να μην μας εμποδίζουν να διακρίνουμε τα υπόλοιπα περιεχόμενα του δοκιμίου. Ωστόσο, δε σημειώθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στην εικόνα.

Επιρροή ρυθμίσεων gain

Ακολουθούν πέντε συνδυασμοί τεσσάρων σημείων gain για τη διαπίστωση της διαφοροποίησης της λαμβανόμενης εικόνας λόγω των διαφορετικών ρυθμίσεων. Σε όλες το range έχει διατηρηθεί σταθερό και έχουν χρησιμοποιηθεί τέσσερα αντί για πέντε σημεία ενίσχυσης, καθώς θεωρείται





Σχήμα 4.17: Συνδυασμοί 4 σημείων gain για τη διαπίστωση της διαφοροποίησης της λαμβανόμενης εικόνας

Στις Σάρωση 4.1 και Σάρωση 4.30 παρατηρείται πως σε βάθος 20cm παρουσιάζεται μια αλληλουχία άσπρο-μαύρο, η οποία είναι αποτέλεσμα ρυθμίσεων gain (πορτοκαλί χρώμα). Στη

Σάρωση 4.28 εξαιτίας της μεγάλης αποδυνάμωσης τα περιεχόμενα είναι με δυσκολία ορατά. Πιο ρεαλιστική εικόνα της εσωτερικής κατάστασης του δοκιμίου δίνουν η Σάρωση 4.29 και Σάρωση 4.31.

Η παραπάνω διαπίστωση θα μπορούσε να αποδοθεί σε μια παρατήρηση: κατά τη διαδικασία της προετοιμασίας της σάρωσης εισάγεται η τιμή position, η οποία όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι υπεύθυνη για τη στάθμη από την οποία ξεκινά η αρχή μέτρησης των αντανακλάσεων. Η τιμή που εισάγεται είναι τέτοια, ώστε στην οθόνη της κεντρικής μονάδας το direct coupling να ξεκινά λίγο κάτω από το 0,00. Ωστόσο, κατά τη μεταφορά των αρχείων στον υπολογιστή διαφαίνεται μια έντονη μεταβολή στο σημείο όπου ξεκινά το direct coupling, καθώς αυτό βρίσκεται πλέον πολύ χαμηλότερα συγκριτικά με τη θέση από την οποία ξεκινούσε στην κεντρική μονάδα. Το βάθος στο οποίο συλλέχθηκαν στοιχεία ήταν περίπου 60cm. Τα τέσσερα σημεία χωρίζουν τα 60cm σε τρεις περιοχές των 20cm. Βάσει της απλοποιημένης αυτής θεώρησης, το πρώτο σημείο θα βρίσκεται περίπου στα 0cm, το δεύτερο στα 20cm, το τρίτο στα 40cm και το τέταρτο στα 60cm. Σημειώνεται ότι στις δύο σαρώσεις που έχει δημιουργηθεί γραμμική απεικόνιση στη μέση του αρχείου που δεν αντιστοιχεί στην πραγματικότητα υπάρχουν δύο κοινά σημεία: πως αυτή εμφανίζεται σε βάθος 20cm και πως τα δύο πρώτα τους σημεία απείχαν αρκετές μονάδες (20÷30). Μπορεί ακόμα να σημειωθεί και μια έντονη αντανάκλαση στη στάθμη των 40cm -περίπου- στην τρίτη εικόνα. Η δημιουργία της αντανάκλασης αυτής είναι αναμενόμενη αφού η τιμή του δεύτερου σημείου (-15) απέχει πολύ από αυτήν του τρίτου (20), αλλά δεν επηρεάζει την ερμηνεία της εικόνας αφού βρίσκεται εκτός πάχους του δοκιμίου.

Προσανατολισμός κεραίας

Παρακάτω παρατίθενται σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν με κεραία στραμμένη κατά 90° με σκοπό να εξεταστεί η επιρροή του <u>προσανατολισμού της κεραίας</u> στη λαμβανόμενη εικόνα:



Αποτιμήση Της Εσωτερικής Κατάστασης Στοιχείων Από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα Με Τη Χρήση Ραντάρ



Σχήμα 4.19: Διαφοροποίηση εμφάνισης στοιχείων λόγω της αλλαγής πολικότητας της κεραίας: αριστερά η σάρωση έγινε με το συνήθη προσανατολισμό, ενώ δεξιά η κεραία στράφηκε 90°

Παρατηρείται πως στη Σάρωση 4.32 της άνω πλευράς το pvc που περιέχει μεταλλικό στόχο φαίνεται πολύ πιο αχνά από ό,τι φαινόταν στις σαρώσεις με το συνήθη προσανατολισμό. Επί πλέον, έχει γίνει μια αντιστροφή της πολικότητας μόνο στην αντανάκλαση του μεταλλικού στόχου. Το ξύλο φαίνεται πολύ πιο έντονα σε σύγκριση με όλες τις σαρώσεις συνήθους προσανατολισμού. Είναι πολύ εμφανής η διαφορά μεταξύ κενού και γεμάτου pvc. Η εικόνα παρουσιάζεται και επεξεργασμένη ώστε οι αντανακλάσεις να απλοποιηθούν σε σειρές γραμμών, η ένταση των οποίων είναι χαρακτηριστική της ισχύος του σήματος. Σε περίπτωση που τα αντικείμενα είναι κοντά στην επιφάνεια, οι αντανακλάσεις αυτών απαρτίζονται από περισσότερες από τρεις γραμμές υπερβολικού σχήματος. Αυτό συμβαίνει γιατί η αντανάκλαση του direct coupling συγχέεται με αυτή του αντικειμένου και το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή δευτερευουσών αντανακλάσεων. Το πόσο κοντά πρέπει να είναι ένα αντικείμενο στην επιφάνεια ώστε να συμβεί το φαινόμενο αυτό, καθορίζεται από τη συχνότητα της κεραίας (Shaw et al. 2005). Στη Σάρωση 4.33 της κάτω πλευράς, η εικόνα δεν είναι ιδιαίτερα διαφωτιστική. Το πολυαιθυλένιο και το κενό pvc είναι ορατά, καθώς και η αντανάκλαση του τέλους του δοκιμίου. Ωστόσο, η εικόνα είναι αρκετά συγκεχυμένη και δεν προσφέρει περισσότερες πληροφορίες από όσες έχουν ήδη ληφθεί. Στην περίπτωση ύπαρξης επιφανειακού πλέγματος, η στροφή της κεραίας είναι δύσκολο να αποφέρει αξιόλογο αποτέλεσμα.

Ο προσανατολισμός της κεραίας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον επιτυχή εντοπισμό στόχων. Τα δίπολα της κεραίας (πομπός και δέκτης) είναι πιο ευαίσθητα σε μεταλλικούς στόχους παράλληλους προς αυτά. Αυτό σημαίνει ότι, σαρώνοντας με το συνήθη προσανατολισμό (0°), η κεραία είναι πιο ευαίσθητη σε στόχους που βρίσκονται κάθετα στη διαδρομή της κίνησης, δηλαδή παράλληλα στα δίπολα. Σε ό,τι αφορά μεταλλικές ράβδους, ο συνήθης προσανατολισμός έχει ως αποτέλεσμα να έχουν ίδια ένταση ακόμα και ράβδοι πολύ διαφορετικών διαμέτρων (*Tarussov et al. 2013*).



Σχήμα 4.20: Κεραία 51600S στραμμένη κατά 90° συνδεδεμένη με το τροχήλατο όχημα (GSSI Handbook For RADAR Inspection of Concrete, 2006)

Στην κεραία 51600S τα δίπολα είναι παράλληλα το ένα στο άλλο και παράλληλα με τη στενή πλευρά της κεραίας.



Σχήμα 4.21: Πομπός και Δέκτης της κεραίας 51600S

Στην ανωτέρω εικόνα η κεραία είναι πιο ευαίσθητη στο μεταλλικό στόχο Α που είναι παράλληλος στα δίπολά της. Συνεπώς, η συνήθης φορά σάρωσης είναι κατάλληλη όταν κύριος σκοπός είναι η εκτίμηση της θέσης και του βάθους των στόχων που είναι κάθετοι στη διεύθυνση σάρωσης (στόχος Α στο σχήμα). Εντούτοις, αν ο σκοπός είναι η μέτρηση του πάχους ενός στοιχείου στο οποίο υπάρχει συνωστισμός οπλισμών, τότε η περιστροφή της αντένας κατά 90° συμβάλλει στην επίτευξή του.

Οι επιδράσεις της πολικότητας της κεραίας είναι αντίστροφες για τους μη μεταλλικούς στόχους. Τα σαφέστερα αποτελέσματα εξάγονται όταν η κεραία κινείται με τα δίπολα κάθετα στους στόχους (στόχος B στο σχήμα). Αυτό ισχύει στην περίπτωση που οι μεταλλικοί στόχοι αποδίδουν τόσο έντονη αντανάκλαση που δεν επιτρέπουν στους μη μεταλλικούς να γίνουν διακριτοί. Στρέφοντας την κεραία κατά 90° υποσκελίζεται η επίδραση των μεταλλικών στόχων, οι οποίοι γίνονται λιγότερο διακριτοί και έτσι είναι πιο πιθανό να σημειωθούν οι μη μεταλλικοί.

Σαρώσεις συναρτήσει του χρόνου

Στις περιπτώσεις όπου η συλλογή πληροφοριών γίνεται συναρτήσει του χρόνου, η εικόνα που αποδίδεται δεν είναι τόσο ρεαλιστική σε ό,τι αφορά τον οριζόντιο άξονα. Αυτό οφείλεται στη δυσκολία διατήρησης σταθερής ταχύτητας κίνησης της κεραίας, γεγονός που οδηγεί στη διαστρέβλωση των υπερβολών. Εξαιτίας της μη σταθερής ταχύτητας, ακόμα και αντικείμενα ίδιας διαμέτρου μπορεί να παρουσιάζονται διαφορετικά. Επομένως, δεν είναι δυνατή η εκτίμηση της διαμέτρου των κυλινδρικών στοιχείων και του πλάτους των ορθογωνικών, ούτε της απόστασης μεταξύ στοιχείων. Παρόλα αυτά, οι υπόλοιπες πληροφορίες που αφορούν τα στοιχεία μπορούν να ληφθούν (συγκεκριμένα το βάθος, η πολικότητα και ακροθιγώς το σχήμα του στόχου). Είναι αρκετά ορατά τα περιεχόμενα του δοκιμίου ακόμα και στις σαρώσεις της κάτω πλευράς, με εξαίρεση το ξύλο. Οι υπερβολές είναι διαστρεβλωμένα σχηματισμένες, όπως αναμενόταν.



Σάρωση 4.34: 309, 4 gain points(-17, -12, 11, 16), 10ns, D.C. 8.5

D.C. 8.5

Σχήμα 4.22 Σαρώσεις της άνω πλευράς του δοκιμίου



Ακολουθούν <u>κατακόρυφες</u> σαρώσεις (πράσινο βέλος) από την άνω πλευρά με σκοπό τον εντοπισμό του βάθους του πολυαιθυλενίου.



Σχήμα 4.24: Κατακόρυφες σαρώσεις διερχόμενες κατά μήκος του πολυαιθυλενίου, στην <u>άνω πλευρά</u>του δοκιμίου

Και στις δύο παραπάνω σαρώσεις το πολυαιθυλένιο εντοπίζεται περίπου στα 14cm βάθος. Η μέτρηση γίνεται στο μέσον της άσπρης αντανάκλασης. Λόγω της κωνικής διάδοσης του σήματος ο στόχος είναι ορατός ακόμα και αν η κεραία δεν διέρχεται ακριβώς πάνω από αυτόν. Στη

Σάρωση 4.39 διακρίνονται τέσσερις αντανακλάσεις άσπρου χρώματος, σε απόσταση περίπου 2cm από την πίσω πλευρά του δοκιμίου. Θα μπορούσε να υποτεθεί ότι αποτελούν μια ένδειξη ύπαρξης οπλισμού πλέγματος της κάτω πλευράς του δοκιμίου.



Έπεται η κατακόρυφη σάρωση από την κάτω πλευρά του δοκιμίου, κατά μήκος του κενού pvc, σε απόσταση 23cm από την άκρη του δοκιμίου, δηλαδή ακριβώς επάνω στο σωλήνα.

Σάρωση 4.40: Στην κάτω πλευρά του δοκιμίου, 276, 4 gain points(-13, -7, 13, 21), 10ns, D.C. 8.5

Στο εργαστήριο τα δοκίμια τοποθετήθηκαν πάνω σε ξύλινα καδρόνια, ώστε να μην ακουμπούν απευθείας στο δάπεδο. Συνεπώς, μεταξύ του δοκιμίου και του δαπέδου υπάρχει ένα στρώμα αέρα. Το τέλος είναι δυσδιάκριτο αφενός λόγω του μικρού μήκους σάρωσης, που την καθιστά ευεπηρέαστη από τον αέρα (ροζ χρώμα), αφετέρου λόγω της ύπαρξης επιφανειακού πλέγματος οπλισμού. Ο κενός σωλήνας pvc (μωβ χρώμα) εντοπίζεται σε βάθος 15cm περίπου και απεικονίζεται με την αλληλουχία άσπρο-μαύρο-άσπρο. Η μέτρηση γίνεται στο μέσον του μαύρου. Παρότι διασχίζεται τμήμα της απόμιξης που έχει υποστεί το σκυρόδεμα, δε διαφαίνεται καμία διαταραχή στην αντανάκλαση της επιφάνειας.



Σχήμα 4.25: Περιοχή απόμιζης στην κάτω πλευρά του δοκιμίου 1

Η επόμενη σάρωση έχει γίνει από την άνω πλευρά του δοκιμίου σε περιοχή όπου τα περιεχόμενα του δοκιμίου δεν εμπόδισαν το πίσω πλέγμα να γίνει ορατό. Είναι η μοναδική σάρωση της άνω πλευράς που διακρίνεται η ύπαρξη του πλέγματος της κάτω πλευράς (θαλασσί χρώμα). Ωστόσο, συγκρίνοντας το πώς παρουσιάζεται ένα πλέγμα αν βρίσκεται κοντά στην κεραία με το αν είναι μακριά από αυτήν, η διαφορά είναι σαφής: το πλέγμα που είναι μακριά από την κεραία, όπως στην προκειμένη σάρωση, απεικονίζεται με αντανακλάσεις που δεν σχηματίζουν κανονικές
υπερβολές και είναι θολές. Συνεπώς, μολονότι είναι ορατό το απομακρυσμένο από την επιφάνεια πλέγμα, σημειώνεται μια χειροτέρευση στην ανάλυση -δηλαδή στην ποιότητα- της λαμβανόμενης εικόνας (Hugensmidth et al., 2010). Σε μια πραγματική κατασκευή, η παρουσία άλλων στοιχείων μέσα στο σκυρόδεμα είναι πολύ πιθανό να αποκρύψει ή να σκιάσει την ύπαρξη των μεταλλικών στοιχείων σε μεγάλο βάθος.





Σάρωση 4.41: 288, 5 gain points(-20, -20, -5, 15, 30), 10ns, D.C. 8.5

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 900MHz

Στατική δοκιμή:



Σάρωση 4.42: 409, 4 gain points(-10, -5, 8, 12), 12ns, D.C. 8.5

Η μορφή της στατικής δοκιμής είναι παρόμοια με αυτήν που προκύπτει για την κεραία 51600S. Η διαφορά έγκειται στο <u>πάχος των αντανακλάσεων</u>. Στην κεραία 3101A οι γραμμές είναι αρκετά πιο παχιές και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι κατάλληλη για αποτίμηση περιεχομένων στοιχείων μεγάλου πάχους, οπότε η χρήση της σε λεπτά στοιχεία δίνει μια αρκετά ασαφή και συγκεχυμένη εικόνα. Τα αποτελέσματα που δίνει είναι αδρομερή, επομένως μόνο χονδρικές

εκτιμήσεις είναι εφικτές με τη χρήση της. Στη στατική δοκιμή, το τέλος του δοκιμίου εντοπίζεται στο μέσον της μαύρης γραμμής (ροζ χρώμα), περίπου στα 30cm πάχος, και είναι αντιληπτό γιατί διακόπτεται από τη διέλευση της μεταλλικής ράβδου.



Σάρωση 4.43: Στην <u>άνω πλευρά</u> του δοκιμίου, 403, 5 gain points(-8, -8, -3, 9, 21), 12ns, D.C. 8.5

Οι αντανακλάσεις όλων των στοιχείων είναι μεν ορατές αλλά όχι σαφείς. Είναι αρκετά έντονη η διαφορά μεταξύ του κενού και του γεμάτου pvc, ενώ παρατηρείται και αντιστροφή πολικότητας, ενώ η πιο έντονη αντανάκλαση προκύπτει και πάλι από το πολυαιθυλένιο. Επίσης, παρατηρείται μια αντιστροφή της πολικότητας της αντανάκλασης της διεπιφάνειας κεραίας-σκυροδέματος,. Το μοναδικό στοιχείο που εμφανίζει πρώτη μια αρνητική αντανάκλαση είναι το μεταλλικό. Δεν είναι κατανοητό ποια αντανάκλαση ορίζει το πάχος του δοκιμίου. Στην παρακάτω σάρωση της κάτω πλευράς, μετά δυσκολίας διακρίνονται ως διαφορετικοί στόχοι οι οπλισμοί του πλέγματος, ενώ πολύ αχνά φαίνεται και το πολυαιθυλένιο.



Σάρωση 4.44: Στην κάτω πλευρά του δοκιμίου, 404, 3 gain points(-6, 0, 10), 12ns, D.C. 8.5

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz

Στο StructureScan mini HR ο χρήστης επιλέγει μόνο το βάθος σάρωσης, ενώ δεν έχει καμία ανάμιξη στη ρύθμιση του gain και του position. Τα αρχεία του είναι επεξεργάσιμα με το λογισμικό RADAN 7 και όχι με το RADAN 6.6, εξ ου και η ελαφρά διαφοροποίηση στην εικόνα.

Η ανάλυση της εικόνας κατά τον οριζόντιο άξονα είναι διαφορετική από αυτή της κεραίας 51600S.



Σάρωση 4.45: Στην <u>άνω πλευρά</u> του δοκιμίου, 004, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 8.5

Είναι αξιοσημείωτη η διαφορά των αντανακλάσεων συγκριτικά με τις προηγούμενες εικόνες: στη συγκεκριμένη περίπτωση οι στόχοι αναδεικνύονται πολύ λεπτομερώς. Το πολυαιθυλένιο και το ξύλο παρουσιάζονται με εμφανές πλατώ, που τα διαφοροποιεί από κυλινδρικά στοιχεία. Τα pvc ανάλογα με το περιεχόμενό τους διαφοροποιούνται πολύ. Στο άδειο η εικόνα είναι πιο συνήθης, ενώ στο γεμάτο η υπερβολή μοιάζει διαστρεβλωμένη. Αυτό είναι σύνηθες χαρακτηριστικό για σύνθετους στόχους, όπως pvc που περιέχουν, για παράδειγμα, ηλεκτρικά καλώδια. Ο στόχος του γεμάτου pvc είναι φανερό ότι είναι σημειακός- ράβδος Φ8- σε σχέση με το κενό pvc. Ούτε με αυτή την κεραία έγινε εφικτό να διακριθεί το πλέγμα οπλισμού της κάτω πλευράς. Σημειώνεται ότι οι τρεις κεραίες που χρησιμοποιήθηκαν για τη σάρωση του δοκιμίου δεν έχουν τόσο μεγάλες διαφορες συχνοτήτων που να δημιουργούν ανάγκη μεταβολής της διηλεκτρικής σταθεράς.



Σάρωση 4.46: Στην <u>κάτω πλευρά</u> του δοκιμίου, 005, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 8.5

Είναι φανερή η μεγάλη διαφορά στο βάθος όπου συναντώνται οι σωλήνες pvc. Ο άδειος σωλήνας είναι σε βάθος 15cm ενώ ο γεμάτος σε βάθος 22cm. Ο άδειος σωλήνας συναντάται στο σωστό βάθος, όμως ο γεμάτος όχι, καθώς θα αναμενόταν να βρεθεί σε βάθος 17-18cm. Δεν είναι απίθανο η ράβδος μέσα στο σωλήνα Pvc να μην είναι ακριβώς στο μέσον του σωλήνα ή να μην είναι εντελώς κατακόρυφη, και αυτή να είναι η αιτία για την οποία βρίσκεται στο βάθος αυτό. Άλλωστε, είναι σημαντικό το ότι από το διαφορετικό βάθος της αντανάκλασής τους, αλλά και από την αντίθετη πολικότητά τους, μπορεί να συναχθεί ότι δεν πρόκειται για δύο όμοιους σωλήνες.

Για στόχους διαμέτρου μεγαλύτερης των 5cm είναι δυνατό να εκτιμηθεί το μέγεθός τους με χρήση της εντολής stretching. Ενδεικτικά παρατίθεται η μεγέθυνση της σάρωσης της άνω πλευράς του δοκιμίου, ώστε να εκτιμηθεί χονδρικά η διάμετρος του κενού pvc, μετρώντας το μήκος του <u>επίπεδου τμήματος</u> στην κορυφή της υπερβολής. Παρατηρείται ότι το επίπεδο τμήμα του γεμάτου pvc εμφανίζεται ελαφρώς μικρότερο. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η αντανάκλαση που διακρίνεται αφορά κυρίως τη ράβδο που εμπεριέχεται στο σωλήνα, της οποίας η διάμετρος είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, στο κενό pvc είναι ορατός θεωρητικά όλος ο χώρος που καταλαμβάνει ο αέρας, δηλαδή η πλήρης διάμετρος του σωλήνα. Το επίπεδο τμήμα του κενού pvc μετράται ίσο με 6cm, περίπου όσο είναι στην πραγματικότητα. Υπογραμμίζεται ότι στη μέτρηση να λαμβάνεται υπόψη αυστηρά μόνο το επίπεδο μέρος της υπερβολής και όχι τμήμα από όπου ξεκινά η καμπύλωση.



Σάρωση 4.45: Μεγέθυνση της σάρωσης της άνω πλευράς του δοκιμίου για την εκτίμηση της διαμέτρου του κενού pvc

Στην κατακόρυφη σάρωση της άνω πλευράς το πολυαιθυλένιο είναι σε βάθος 14cm στο μέσον της άσπρης γραμμής. Έχουν δημιουργηθεί ορισμένες αντανακλάσεις στην εικόνα εξαιτίας των ρυθμίσεων gain (όπως η ευθεία γραμμή σε βάθος 20cm). Η ένδειξη του τέλους του δοκιμίου δεν είναι στο σωστό βάθος. Στη σάρωση της κάτω πλευράς είναι εμφανής η αντανάκλαση του άδειου pvc σε βάθος 15cm στο μέσον της μαύρης γραμμής. Κάτω από τα σημεία τομής των υπερβολών του πλέγματος σχηματίζονται μικρότερες υπερβολές αντίστροφης πολικότητας. Όμως, είναι κατανοητό ότι δεν πρόκειται για δεύτερο στρώμα οπλισμού: αν συνέβαινε κάτι τέτοιο, δεν θα σημειωνόταν αντιστροφή της πολικότητας, εφόσον το υλικό και στις δύο στρώσεις θα ήταν το ίδιο (χάλυβας). Συνεπώς, οι υπερβολές αυτές δημιουργούνται απλώς από την τομή των υπερβολών οπλισμού και δεν αντιστοιχούν σε υπαρκτά στοιχεία. Επί πλέον, παρατηρείται στη Σάρωση 4.48 ότι η επικάλυψη των οπλισμών που είναι κάθετοι στο μήκος των περιεχομένων του δοκιμίου είναι μεγαλύτερη (≈3cm) από των οπλισμών που είναι παράλληλοι σε αυτό (≈2cm, Σάρωση 4.46). Το πάχος του δοκιμίου δεν είναι ορατό.





Σχήμα 4.27: Συγκρίσεις κατακόρυφων σαρώσεων με δύο διαφορετικές κεραίες. Αριστερά: σάρωση κατά μήκος του πολυαιθυλενίου. Δεζιά: σάρωση κατά μήκος του κενού pvc



Σχήμα 4.28: Συγκρίσεις σαρώσεων κάτω πλευράς με κατεύθυνση από το άδειο pvc προς το πολυαιθυλένιο, με δύο διαφορετικές κεραίες



Σχήμα 4.29: Συγκρίσεις σαρώσεων άνω πλευράς με κατεύθυνση από το πολυαιθυλένιο προς το άδειο pvc, με τρεις διαφορετικές κεραίες

Σαρώσεις με μαγνητόμετρο

Η μέθοδος του ραντάρ δεν είναι τόσο ακριβής σε ό,τι αφορά την επικάλυψη του επιφανειακού οπλισμού, καθώς, όπως έχει αναφερθεί, η αντανάκλαση ενός ρηχού μεταλλικού αντικειμένου μπορεί να επηρεάσει ελαφρώς το direct coupling. Συνεπώς, για την επιβεβαίωση της επικάλυψης του οπλισμού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του μαγνητόμετρου που βασίζεται στην αλληλεπίδραση των ράβδων του οπλισμού και ενός, χαμηλής συχνότητας, ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Το μαγνητόμετρο που χρησιμοποιήθηκε ανήκει στην κατηγορία αυτών που στηρίζονται στην αρχή της μαγνητικής αντίστασης. Για δεδομένη επικάλυψη, η ένδειξη του οργάνου εξαρτάται από το εμβαδόν της ράβδου και τις μαγνητικές ιδιότητές της, καθώς επίσης και από την παρουσία σιδηρούχων αδρανών στο σκυρόδεμα. Αν η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ράβδων είναι μικρότερη από μία κρίσιμη απόσταση, τότε το όργανο τις αντιλαμβάνεται ως ενιαίο μεταλλικό στόχο. Επίσης, σε περίπτωση ύπαρξης δύο επάλληλων στρώσεων οπλισμού, η δεύτερη στρώση δεν είναι δυνατό να διακριθεί επειδή το σήμα της πρώτης στρώσης είναι ιδιαίτερα ισχυρό (*Τρέζος et al., 2001*). Το όργανο εντοπίζει τον οπλισμό στο σκυρόδεμα και δεδομένης είτε της επικάλυψης είτε της διαμέτρου της ράβδου, μπορεί να εκτιμήσει το δεύτερο, άγνωστο, μέγεθος.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση της επικάλυψης του οπλισμού δεδομένης της διαμέτρου των ράβδων είναι το Ferroscan FS10 της εταιρείας Hilti. Το όργανο αποτελείται από μια κεντρική μονάδα και από μια κεραία προσαρμοσμένη σε τροχήλατο όχημα που συνδέεται με την κεντρική μονάδα μέσω ενός καλωδίου. Η διεισδυτική ικανότητα του σήματος ισούται με 10cm. Το τροχήλατο όχημα σύρεται πάνω στην επιφάνεια ενδιαφέροντος και όταν συναντήσει μεταλλικό στοιχείο εκτιμά την επικάλυψή του αφού πρώτα έχει λάβει ως δεδομένη μια διάμετρο. Μεταβάλλοντας την τιμή της διαμέτρου, η εκτίμηση της επικάλυψης αλλάζει. Για δεδομένη μικρής τιμής της διαμέτρου έχει ως αποτέλεσμα την εκτίμηση μικρότερης τιμής επικάλυψης και αντιστρόφως.



Σχήμα 4.30: Hilti Ferroscan FS10 system (http://www.sungwootech.co.kr/comp06.php)

Όπως φαίνεται παρακάτω, συναντώνται 10 από τις συνολικά 12 ράβδους του πλέγματος. Η επικάλυψη βρίσκεται κατά μέσον όρο ίση με 20mm για διάμετρο οπλισμού 8m. Η τιμή αυτή είναι πολύ κοντά στην τιμή των 19mm που αναγράφεται στο σχέδιο ως επικάλυψη του πλέγματος. Η επικάλυψη που εκτιμάται από το όργανο είναι η καθαρή επικάλυψη της ράβδου, καθώς μετράται από την περιφέρειά της και όχι από το μέσον της. Επίσης, διαπιστώνεται ότι όντως η απόσταση

των οπλισμών ισούται με 10cm, όπως φαίνεται στον οριζόντιο άξονα. Η σάρωση πραγματοποιήθηκε σε ηλικία 28 ημερών.



Σχήμα 4.31: Σάρωση της κάτω πλευράς του δοκιμίου με το μαγνητόμετρο



Σχήμα 4.32: Τομή και Κάτοψη του Δοκιμίου 2



Σχήμα 4.33: Φωτογραφία πριν τη σκυροδέτηση

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz

Σάρωση στην <u>άνω</u> πλευρά του δοκιμίου:



Σάρωση 4.49: 317, 4 gain points (-20, -13, 19, 29), 12ns, D.C. 9



 m
 00
 0.50

 -0.10

 0.0

 0.0

 0.10

 0.10

 0.10

 0.10

 0.10

 0.10

 0.20

 0.30

 0.40

Σάρωση στην <u>κάτω</u> πλευρά του δοκιμίου:

Direct Coupling

Ράβδοι Φ16

Ράβδοι Φ8

Επαφή δοκιμίου με τον αέρα

Σάρωση 4.50:319, 5 gain points(-20, -13, 19, 29), 12ns, D.C. 9



Αποτιμήση Της Εσωτερικής Κατάστασης Στοιχείων Από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα Με Τη Χρήση Ραντάρ



Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών

Σχήμα 4.34: Σαρώσεις της <u>άνω πλευράς</u> πριν την επεζεργασία με το πρόγραμμα RADAN



Σχήμα 4.35: Σαρώσεις της <u>άνω πλευράς</u> μετά την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN



Σχήμα 4.36: Σαρώσεις της κάτω πλευράς πριν την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN



Σχήμα 4.37: Σαρώσεις της <u>κάτω πλευράς</u> μετά την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN

<u>Παρατηρήσεις:</u>

Και στην περίπτωση του δοκιμίου 2, η επίδραση της υγρασίας παίζει καθοριστικό ρόλο. Στην άνω πλευρά είναι ορατές μόνο δύο ως τρεις από τις κατακόρυφες ράβδους, ενώ στην κάτω πλευρά είναι όλες οι ράβδοι ορατές. Σε όλες τις σαρώσεις η επιλογή της διηλεκτρικής σταθεράς έγινε με βάση τα βάθη των κατακόρυφων ράβδων, καθώς το τέλος του δοκιμίου δεν είναι διακριτό στις περισσότερες σαρώσεις. Βρέθηκε ότι η κατάλληλη τιμή κυμαίνεται μεταξύ 12÷13. Μόνο τη 14^η και την 28^η ημέρα χωρίς διαβροχή μπορούν να ληφθούν αξιόλογες πληροφορίες χωρίς επεξεργασία από το πρόγραμμα. Η ένταση της αντανάκλασης των οπλισμών μειώνεται όσο αυξάνεται το βάθος τους. Παρατηρείται ότι από την πλευρά που υπάρχουν ράβδοι εγγύτερα στην κεραία (κάτω πλευρά), οι γραμμικές αντανακλάσεις που προκύπτουν ως θόρυβος είναι σημαντικά περισσότερες. Αυτό συμβαίνει διότι σε περιβάλλον υγρασίας εντείνεται το πρόβλημα δημιουργίας ανεπιθύμητων αντανακλάσεων εις βάθος εξαιτίας της πρόσπτωσης του κύματος πάνω σε μεταλλικό στοιχείο.



Σκυρόδεμα ηλικίας τριών μηνών

Σχήμα 4.38: Σαρώσεις από την <u>άνω πλευρά</u> του δοκιμίου με Concrete Scan

Δεν ανιχνεύονται και οι πέντε ράβδοι στις σαρώσεις της άνω πλευράς στο σκυρόδεμα ηλικίας 3 μηνών. Αυτό οφείλεται στις τιμές του gain. Παραδείγματος χάριν, για βάθος ίσο με 50 cm (13ns) θα ήταν σκόπιμο να έχουν ενισχυθεί το τρίτο και τέταρτο σημείο. Αντιθέτως, όπως φαίνεται παρακάτω, στις σαρώσεις της κάτω πλευράς είναι όλοι οι οπλισμοί εμφανείς, γεγονός που σχετίζεται με τα μικρότερα βάθη στα οποία συναντώνται. Η πιο κατάλληλη επιλογή βάθους δεδομένου του πάχους του δοκιμίου κρίνονται τα **30cm** και η διηλεκτρική σταθερά τέθηκε **11**. Το σύστημα πάντα συλλέγει πληροφορίες σε ένα βάθος ελαφρώς μεγαλύτερο από αυτό που εισάγεται, με σκοπό την αποφυγή πιθανής απώλειας σημαντικών στοιχείων. Είναι αξιοσημείωτο

ότι, όπως και στην περίπτωση του δοκιμίου 1, για βάθη ίσα με 30cm και 100cm η επαφή του δοκιμίου με τον αέρα είναι κατανοητή για σαρώσεις από την άνω πλευρά. Ωστόσο, για βάθος ίσο με 50cm με δυσκολία διακρίνεται το πάχος του δοκιμίου.



Σαρώσεις σε σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών

Στατικές Δοκιμές:

Το πάχος του δοκιμίου κυμαίνεται μεταξύ 29,5 και 30cm, οπότε θεωρείται σχεδόν σταθερό. Η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς που χρησιμοποιήθηκε είναι 9. Η ταχύτητα με την οποία κινείται η ράβδος είναι αυτή που επηρεάζει το σχήμα της αντανάκλασης.



Σάρωση 4.65:181, 4 gain points (-20,-16, 22, 30), 13ns, D.C.9. Η κεραία τοποθετείται ακίνητη στην «κάτω» πλευρά του δοκιμίου. Η κίνηση της ράβδου δεν είναι προς μια κατεύθυνση. Διέρχεται εναλλάζ πρώτα από τον πομπό και μετά από το δέκτη της κεραίας και αντιστρόφως.



Σάρωση 4.66:182, 4 gain points (-20,-16, 22, 30), 13ns, D.C.9. Η κεραία τοποθετείται ακίνητη στην «άνω» πλευρά του δοκιμίου. Η ράβδος διέρχεται εναλλάζ πρώτα από τον πομπό και μετά από το δέκτη της κεραίας και αντιστρόφως.

Στη συνέχεια, παρατίθενται σαρώσεις με την επιλογή ConceteScan αλλά και σαρώσεις με τις ρυθμίσεις της 7^{ης} μέρας, που αποσκοπούν στη σύγκριση των αποτελεσμάτων για διάφορες ηλικίες σκυροδέματος.



Σχήμα 4.40: : Σαρώσεις με Concrete Scan με depth ίσο με 30cm και κατάσταση σκυροδέματος dry

Και στις δύο πλευρές είναι όλες οι ράβδοι εμφανείς, όπως επίσης και το τέλος του δοκιμίου. Συγκριτικά με το σκυρόδεμα ηλικίας 3^{ων} μηνών, η εικόνα είναι πιο σαφής, με ελάχιστες παρεμβολές. Λαμβάνουμε ως αρχή την άσπρη αντανάκλαση και ως τέλος του δοκιμίου την πρώτη μαύρη. Για τους μεταλλικούς στόχους, ως σημείο εκτίμησης του βάθους τους λαμβάνεται το μέσον της άσπρης αντανάκλασης. (GSSI, manual SIR3000)

Αποτιμήση Της Εσωτερικής Κατάστασης Στοιχείων Από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα Με Τη Χρήση Ραντάρ





Σχήμα 4.42: Σαρώσεις από την άνω πλευρά με τις ρυθμίσεις gain της 7^{ης} ημέρας

Παρατηρείται η διαφοροποίηση στο εύρος των υπερβολών και στο μέγεθος των αρχείων μεταξύ των παραπάνω σαρώσεων. Αυτό οφείλεται στη διαφορετική ρύθμιση της παραμέτρου scan/unit κατά τη συλλογή δεδομένων. Στην αριστερά σάρωση η παράμετρος πήρε τιμή 400scans/cm, ενώ η δεξιά 200scans/cm, όπως αυτές εμφανίζονται στο file header του Radan. Όσο μικρότερη η απόσταση των scans, τόσο πιο ευρείες προκύπτουν οι υπερβολές. Επίσης, στο σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών όλες οι ράβδοι είναι ορατές, όπως επίσης και το πάχος του δοκιμίου.

Στις επόμενες σαρώσεις, που πραγματοποιούνται με TerraSIRch οι ρυθμίσεις δεν είναι αυτόματες.





Όλες οι ράβδοι είναι ορατές σε σωστό βάθος, μολαταύτα δεν είναι δυνατή η διάκριση των ράβδων σε Φ8 και Φ16, γεγονός για το οποίο ευθύνονται δύο παράμετροι: το μικρό μέγεθος των

στόχων και η <u>κλιμακωτή</u> τοποθέτησή τους. Αν η τοποθέτηση των ράβδων είχε γίνει σε ενιαίο βάθος, ίσως μια ελαφρώς εντονότερη αντανάκλαση να ήταν διακριτή για το Φ16. Εξαιτίας του κλιμακούμενου βάθους, οι πιο ρηχοί οπλισμοί αποδίδονται με περισσότερη ένταση, ανεξάρτητα από τη διάμετρό τους. Γενικώς, τα μεταλλικά αντικείμενα που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια (σε απόσταση από αυτήν μικρότερη ή ίση των 5cm) μπορεί να έχουν 50% εντονότερη αντανάκλαση και βρίσκονται πιο βαθιά (GSSI, Radan 6 manual).

Προσανατολισμός κεραίας

Οι στόχοι μεγάλης διαμέτρου παράγουν ισχυρότερες αντανακλάσεις και μεγαλύτερου εύρους υπερβολές συγκριτικά με στόχους μικρότερης διαμέτρου που βρίσκονται στο ίδιο βάθος. Ωστόσο, το σχήμα της υπερβολής δεν μεταβάλλεται για στόχους διαμέτρου μικρότερης από 5cm, καθώς οι στόχοι αυτοί γίνονται αντιληπτοί από το ραντάρ ως σημειακοί, αφού το μέγεθός τους είναι ένα κλάσμα μόνο του μήκους κύματος που εκπέμπεται. Ωστόσο, μια μέθοδος που θα μπορούσε να συμβάλλει στην προσπάθεια ανάδειξης διαφορετικών διαμέτρων οπλισμού, παρά τη μικρή τάξη μεγέθους των μηκών, είναι αυτή της <u>αλλαγής προσανατολισμού της κεραίας</u>. Παρατίθενται παρακάτω σαρώσεις που αποδεικνύουν τα αποσαφηνιστικά αποτελέσματα που μπορεί να επιφέρει η μέθοδος.



Σχήμα 4.45: Σαρώσεις με προσανατολισμό κεραίας 90°

Παρατηρείται ότι οι ράβδοι Φ16 έχουν εντονότερη αντανάκλαση από τις Φ8, παρότι θα αναμενόταν ότι δεν μπορούν να διακριθούν τόσο λεπτές διαφορές. Επίσης, είναι αξιοπρόσεκτη η <u>αλλαγή της πολικότητας των υπερβολών</u>, αλλά όχι του direct coupling. Φυσικά, δεν μπορεί να γίνει υπόθεση για τα μεγέθη των ράβδων, αλλά απλώς σύγκριση μεταξύ τους: οι ράβδοι Φ16 απεικονίζονται πιο έντονα από τις Φ8, επομένως είναι αντιληπτό ότι πρόκειται για ράβδους μεγαλύτερης διαμέτρου. Επί πλέον, στις σαρώσεις με στραμμένη κεραία είναι αρκετά <u>πιο σαφής</u> <u>η επαφή του αέρα με το δοκίμιο</u>. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει διαφοροποίηση στην εικόνα για προσανατολισμό κεραίας 0° και 180° και για 90° και 270° αντίστοιχα, γεγονός που απορρέει από την κωνική διάδοση σήματος και φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.46: Επίδραση του προσανατολισμού της κεραίας στη λαμβανόμενη εικόνα, σαρώσεις κάτω πλευράς

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 900MHz

Στατική Δοκιμή:



Σάρωση 4.81:188, 4 gain points(-5, 0, 9, 14), 13ns, D.C. 9



Σάρωση 4.82:468, κάτω πλευρά, 4 gain points(-10, -5, 10, 16), 12ns, D.C. 9



Σάρωση 4.83:466, άνω πλευρά, 4 gain points(-10, -5, 10, 16), 9ns, D.C. 9

Εξαιτίας του γεγονότος της απουσίας συνωστισμού οπλισμού στο δοκίμιο, οι πληροφορίες που λαμβάνονται από την κεραία αυτή είναι επαρκείς. Τα περιεχόμενα φαίνονται αρκετά καθαρά, τα βάθη είναι σωστά και οι υπερβολές είναι ικανοποιητικά σχηματισμένες. Όμως, από το πάχος των αντανακλάσεων συμπεραίνεται πως δεν είναι η κατάλληλη κεραία για να αποδώσει λεπτές διαφορές σε τόσο μικρά πάχη στοιχείων.

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz

Οι σαρώσεις με την κεραία 2600MHz είναι πολύ ευκρινείς, τόσο ως προς τον εντοπισμό των στόχων, όσο και ως προς την αντανάκλαση που σηματοδοτεί το πάχος του δοκιμίου. Οι αυτόματες ρυθμίσεις gain έχουν δημιουργήσει αναμφίβολα ορισμένο θόρυβο στη ζώνη μεταξύ direct coupling και ράβδων, ο οποίος όμως δεν δυσχεραίνει την ερμηνεία των εικόνων. Τα βάθη στα οποία εντοπίζονται οι ράβδοι είναι σωστά, με αρκετά μεγάλη ακρίβεια. Στη δεύτερη από τις παραπάνω εικόνες έχει σημειωθεί ακριβώς το σημείο στο οποίο λαμβάνεται η μέτρηση του βάθους.



Σάρωση 4.84:011, κάτω πλευρά, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9



Σάρωση 4.85:009, άνω πλευρά, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9

Σαρώσεις με μαγνητόμετρο

Σε ηλικία 28 ημερών σαρώθηκε το δοκίμιο με το μαγνητόμετρο από την κάτω πλευρά. Γνωρίζουμε ότι περιέχει ράβδους Φ8 και Φ16 εναλλάξ. Εφόσον η διεισδυτική ικανότητα του οργάνου είναι 10cm είναι ορατές οι τρεις από τις πέντε συνολικά ράβδους. Τίθεται Φ8 προκειμένου να βρεθεί η επικάλυψη της πρώτης και τρίτης ράβδου, και Φ16 για τη δεύτερη ράβδο. Οι επικαλύψεις των ράβδων, όπως αυτές αναγράφονται στο σχέδιο, είναι 3,5cm, 6,3cm και 9,5cm. Σε καθεμία από τις παρακάτω σαρώσεις μετράται η επικάλυψη της ράβδου που σημειώνεται με βέλος. Στην αριστερά σάρωση βρέθηκε πως η επικάλυψη της πρώτης ράβδου είναι 3,5cm και της τρίτης 9,2cm. Στη δεξιά σάρωση βρέθηκε ότι η δεύτερη ράβδος έχει επικάλυψη 6,6cm. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η επικάλυψη, τόσο μειώνεται η ακρίβεια των μετρήσεων που λαμβάνονται.



Σχήμα 4.47:Σάρωση της κάτω πλευράς του δοκιμίου με Φ8

Σχήμα 4.48: Σάρωση της κάτω πλευράς του δοκιμίου με Φ16



4.3 **Δοκίμιο 3**

Σχήμα 4.49: Τομή και Κάτοψη του Δοκιμίου 3



Σχήμα 4.50: Φωτογραφία πριν τη σκυροδέτηση

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz

Σάρωση στην <u>άνω</u> πλευρά του δοκιμίου:



Σάρωση 4.86: 474, 4 gain points(-20, -14, 21, 23), 13ns, D.C. 9



Σάρωση στην <u>κάτω</u> πλευρά του δοκιμίου:



Επικάλυψη πλέγματος Φ8/10 Ράβδος Φ8 Ράβδος Φ16 Σωλήνας κοίλος μεταλλικός Φ26 Σωλήνας κοίλος μεταλλικός Φ48

Επαφή δοκιμίου με τον αέρα

Σάρωση 4.87: 470, 4 gain points (-14, -14, 18, 20), 13ns, D.C. 9



Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών







Σχήμα 4.52: Σαρώσεις της <u>άνω πλευράς</u> μετά την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN



Σχήμα 4.53: Σαρώσεις της <u>κάτω πλευράς</u> πριν την επεζεργασία με το πρόγραμμα RADAN, με κατεύθυνση από το Φ8 προς το Φ48



Σχήμα 4.54: Σαρώσεις της <u>κάτω πλευράς</u> μετά την επεζεργασία με το πρόγραμμα RADAN

<u>Παρατηρήσεις:</u>

Ακόμα και μετά από την επεξεργασία, καμία από τις σαρώσεις δεν παρέχει πληροφορίες για τα περιεχόμενα του δοκιμίου, εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας σε υγρασία, σε συνδυασμό με την παρουσία πυκνού οπλισμού και από τις δύο πλευρές του δοκιμίου. Η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς ορίστηκε προσεγγιστικά με βάση τις σαρώσεις των υπόλοιπων δοκιμίων, θεωρώντας ότι η ύπαρξη πυκνού οπλισμού δεν επηρεάζει δραματικά τη διηλεκτρική σταθερά του συνόλου. Μοναδικό στοιχείο ελέγχου της ορθής επιλογής διηλεκτρικής σταθεράς αποτέλεσε η επικάλυψη των πλεγμάτων, στο οποίο όμως δεν θα μπορούσαμε να στηριχθούμε αποκλειστικά. Θα μπορούσε να υποτεθεί ότι ένα άλλο στοιχείο ελέγχου είναι οι μαύρες γραμμικές αντανακλάσεις (που με χρήση διηλεκτρικής σταθεράς 12÷13 βρίσκονται στο επίπεδο των 30c που αποτελεί το πάχος του δοκιμίου) αλλά δεν αξιοποιήθηκε καθώς θεωρήθηκε ότι ίσως είναι τυχαίοι σχηματισμοί που πιθανότατα δεν αντιστοιχούν στην πραγματικότητα.

Σκυρόδεμα ηλικίας τριών μηνών

Στις σαρώσεις τις άνω πλευράς το επιφανειακό πλέγμα φαίνεται πως κατά πάσα πιθανότητα υπέστη κάποια αθέλητη μετακίνηση κατά τη σκυροδέτηση, όπως συμπεραίνεται από την κλίση που έχει λάβει. Για διηλεκτρική σταθερά ίση με 11 το βάθος εντοπίζεται στη σωστή τιμή του. Κανένα περιεχόμενο του δοκιμίου δεν είναι εμφανές.



Σχήμα 4.55: Σαρώσεις από την <u>άνω πλευρά</u> του δοκιμίου με Concrete Scan

Στις σαρώσεις τις κάτω πλευράς εμφανίζονται αδρά οι υπερβολές των μεταλλικών στοιχείων, με εντονότερη αυτή του κοίλου σωλήνα Φ48 (μωβ χρώμα). Προκειμένου η αντανάκλαση αυτή να μεταφερθεί στο σωστό βάθος, χρησιμοποιήθηκε η διηλεκτρική σταθερά **11**. Το τέλος του δοκιμίου δεν είναι εμφανές.



Σαρώσεις σε σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών Στατικές Δοκιμές:



Η τιμή **9** της διηλεκτρικής σταθεράς είναι αυτή που οδηγεί στη σωστή απεικόνιση του πάχους του δοκιμίου, όπως φαίνεται στις παρακάτω σαρώσεις.



Σάρωση 4.102: 183, 4 gain points(-20, -16, 22, 30), 13ns, D.C. 9. Η κεραία είναι ακίνητη στην άνω πλευρά.



Σάρωση 4.103:184, 4 gain points(-20, -16, 22, 30), 13ns, D.C. 9. Η κεραία είναι ακίνητη στην κάτω πλευρά.

Οι σαρώσεις με Concrete Scan που παρουσιάζονται παρακάτω διενεργούνται σε σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών καθιστούν τον εντοπισμό στόχων πολύ πιο ευχερή, σε σχέση με τις αντίστοιχες σαρώσεις σε μικρότερες ηλικίες. Στη σάρωση της άνω πλευράς διακρίνονται μόνο οι κοίλοι σωλήνες, ενώ στης κάτω πλευράς διακρίνονται όλα τα μεταλλικά στοιχεία. Οι υπερβολές είναι ευδιάκριτες παρά τα πυκνά πλέγματα, αλλά δεν είναι ορατό το τέλος του δοκιμίου στο σωστό βάθος.



Σχήμα 4.57: Σαρώσεις με Concrete Scan με depth ίσο με 30cm και κατάσταση σκυροδέματος dry

Ακολουθούν οι σαρώσεις με τη ρύθμιση TerraSIRch, όπου οι παράμετροι εισάγονται χειροκίνητα και όχι αυτόματα. Παρουσιάζονται πρώτα αυτές τις άνω πλευράς. Κατά κανόνα, το σήμα του ραντάρ διαπερνά ένα μεταλλικό πλέγμα όταν η απόσταση των οπλισμών είναι μεγαλύτερη από 10cm. Ένα πλέγμα 5x5cm θεωρείται μη διαπερατό από το σήμα, με αποτέλεσμα να επισκιάζει τα αντικείμενα που βρίσκονται πίσω από αυτό. Οι αποστάσεις μεταξύ των ράβδων επιβεβαιώνεται πως είναι 5cm, όπως αναγράφονται και στο σχέδιο. Το μήκος κύματος της κεραίας 1600MHz σε ένα κοινό σκυρόδεμα είναι περίπου 7,5cm. Για κεραίες 1÷2GHz το μήκος κύματος είναι 5÷10cm
(Zanzi, Arosio, 2013). Όμως, όσο η συχνότητα μεγαλώνει, τόσο το μήκος κύματος μικραίνει. Το μήκος κύματος της κεραίας 2600MHz, φερ' ειπείν, είναι 4,5cm (Popa, 2014). Στις περισσότερες περιπτώσεις δύο στόχοι στο ίδιο βάθος με απόσταση μικρότερη ή ίση των 5cm εμφανίζονται ως ένας ενιαίος στόχος. Παρόλα αυτά, στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι δυνατός ο εντοπισμός όχι μόνο δύο εκ των περιεχομένων του δοκιμίου (των μεγαλύτερων), αλλά και η επαφή του με τον αέρα. Ο διαχωρισμός των ράβδων που είναι τοποθετημένες εγγύτερα από 5cm δυσχεραίνει σημαντικά όσο αυξάνεται το βάθος (Nisingizwe, 2007).



Σάρωση 4.108: 472, 5 gain points(-20, -14, 21, 23), 13ns, D.C. 9 Σάρωση 4.109: 471, 5 gain points (-14, -14, 18, 20), 13ns, D.C. 9

0.50

Σχήμα 4.59: Σαρώσεις της κάτω πλευράς, με αντίθετη φορά μεταξύ τους

0.50

Η απόσταση μεταξύ των ράβδων του πλέγματος της κάτω πλευράς είναι 10cm. Δεν είναι εμφανές το πίσω πλέγμα Φ8/5. Η αιτία που πιθανόν δεν φαίνεται ούτε το ξύλο ούτε το μπλοκ σκυροδέματος είναι επειδή οι διηλεκτρικές σταθερές τους είναι πολύ κοντινές με αυτήν του σκυροδέματος που αποτελεί το σώμα του δοκιμίου. Στην απουσία εμφάνισής τους συντελεί και το γεγονός της ύπαρξης πλέγματος οπλισμού μπροστά από αυτά. Όλες οι ράβδοι είναι αρκετά εμφανείς, ωστόσο δεν είναι αντιληπτή η διαφορά των μεγεθών τους καθώς και η παρουσία ή μη <u>ραβδώσεων</u> του χάλυβα. Τα στοιχεία από χάλυβα, είτε είναι κοίλα είτε συμπαγή, έχουν πανομοιότυπη αντανάκλαση, εφόσον ο χάλυβας δεν είναι διαπερατός από το σήμα του ραντάρ. Επομένως, δεν είναι δυνατή η διάκριση μεταξύ κοίλων και μη σωλήνων. Κάτω από τις ράβδους σε βάθος 18cm σχηματίζεται μια έντονη αντανάκλαση και στα δύο αρχεία, παρότι έχουν πραγματοποιηθεί σε διαφορετικά ύψη του δοκιμίου. Η διαπίστωση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η παρουσία τους οφείλεται στη μη ομαλή μετάβαση του gain.

Προσανατολισμός κεραίας

Στρέφοντας την κεραία κατά 90° δεν βελτιώνεται σημαντικά η δυνατότητα ανίχνευσης αντικειμένων στη συγκεκριμένη περίπτωση. Στη σάρωση της κάτω πλευράς διακρίνονται οι δύο κοίλοι σωλήνες, η ράβδος Φ16 καθώς και το τέλος του δοκιμίου. Στη σάρωση της άνω πλευράς είναι ορατός μόνο ο σωλήνας Φ48. Σε καμία από τις δύο πλευρές δεν είναι σχηματισμένες σαφώς οι υπερβολές του επιφανειακού πλέγματος, ούτε φαίνεται καθαρά η επαφή του πίσω μέρος του δοκιμίου με τον αέρα. Επίσης, υπάρχει μια περιοχή στη σάρωση της άνω πλευράς, που σημειώνεται με κίτρινο χρώμα, όπου η αντανάκλαση του πλέγματος μοιάζει να αποδυναμώνεται. Δεν υπάρχει ανάλογη περιοχή στις σαρώσεις με το συνήθη προσανατολισμό.



Σχήμα 4.60: Σαρώσεις με κεραία προσανατολισμού 90°

Σαρώσεις συναρτήσει του χρόνου

Η επόμενη σάρωση έγινε στην κάτω πλευρά, στο μέσον του ύψους δοκιμίου, συνεπώς δεν διήλθε από ξύλινο στοιχείο. Ανιχνεύονται όλα τα κατακόρυφα περιεχόμενα του δοκιμίου. Και πάλι, δεν εντοπίστηκε το μπλοκ σκυροδέματος.



Σάρωση 4.112: 297, 5 gain points(-20, -16, 15, 36), 12ns, D.C. 9

Η παρακάτω σάρωση πραγματοποιήθηκε κατά μήκος του οριζόντιου σίδερου που χρησιμοποιήθηκε για τη συγκράτηση των κατακόρυφων οπλισμών και σωλήνων στη σωστή θέση. Το σίδερο αυτό ανιχνεύεται σε βάθος 14cm (θαλασσί χρώμα) και η αντανάκλαση του χαρακτηρίζεται αρκετά ήπια, μιας και η κεραία δεν είναι ευαίσθητη σε μεταλλικά στοιχεία των οποίων το μήκος είναι παράλληλο στη διεύθυνση κίνησής της.. Η υπόλοιπη εικόνα είναι αρκετά ασαφής. Το κομμάτι ξύλου δεν είναι εμφανές, ούτε το μπλοκ σκυροδέματος.



Σάρωση 4.113: 298, 4 gain points(-15, -10, 20, 35), 12ns, D.C. 9

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 900MHz

Παρά τον πυκνό οπλισμό κατέστη δυνατή η αναγνώριση της αντανάκλασης της κινούμενης ράβδου. Οι αντανακλάσεις έχουν πολύ μεγάλο πάχος, γεγονός που μειώνει την ακρίβεια της μέτρησης του πάχους. Εξαιτίας των πλεγμάτων δεν ήταν εφικτή η αναγνώριση των περιεχομένων του δοκιμίου με χρήση αυτής της κεραίας, και για αυτό το λόγο δεν παρατίθενται σαρώσεις ενδεικτικές του περιεχομένου.



Σάρωση 4.114: 185, 4 gain points (-5, 0, 13, 18), 13ns, D.C. 9

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz

Είναι κατανοητό από τις αντανακλάσεις ότι πρόκειται για στοιχεία πιθανότατα ίδιου υλικού (λόγω ίδιας πολικότητας) και σε ίδιο βάθος. Δεν είναι ευδιάκριτες οι διαφορές των μεγεθών, όμως το γεγονός ότι η μεσαία (άσπρη) αντανάκλαση του Φ48 είναι εντονότερη από τις υπόλοιπες, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο στόχος έχει μεγαλύτερη διάμετρο από τους άλλους.



Σάρωση 4.115: 013, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9

Πέρα από το πλέγμα οπλισμού δεν διακρίνεται κανένα άλλο στοιχείο. Οι αποστάσεις των οπλισμών πλέγματος είναι σαφείς και μετρώνται 5cm.



Σάρωση 4.116: 016, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9

Στην αριστερά πλευρά της εικόνας, στα πρώτα 20cm περίπου η κεραία διέρχεται από την περιοχή του ξύλου, καμία ένδειξη του οποίου δεν παρατηρείται. Σε βάθος 15cm περίπου συναντάται ένα οριζόντιο σίδερο, του οποίου η αντανάκλαση διακόπτεται μετέπειτα από τις παραβολικές αντανακλάσεις των κατακόρυφων μεταλλικών στοιχείων. Προκειμένου να αποκτηθούν περισσότερες λεπτομέρειες, επαναλήφθηκε η σάρωση με μικρότερο depth. Ακολουθήθηκε η αντίθετη κατεύθυνση. Οι αντανακλάσεις των κοίλων σωλήνων είναι ελαφρώς εντονότερες από αυτές των συμπαγών ράβδων.



Σάρωση 4.117: 014, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9



Σάρωση 4.118: 035, depth 20cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9

Η πολικότητα της αντανάκλασης που προκύπτει από την κατά μήκος σάρωση στοιχείων εξαρτάται από το υλικό των στοιχείων αυτών. Διαφορετική αλληλουχία χρωμάτων δημιουργείται αν σαρωθεί μια ράβδος οπλισμού κατά το μήκος της συγκριτικά με ένα μπλοκ πολυαιθυλενίου. Υπενθυμίζονται οι σαρώσεις κατά μήκος του πολυαιθυλενίου και του κενού pvc του δοκιμίου 1, για να φανεί η αντιδιαστολή τους με την παραπάνω σάρωση κατά μήκος χαλύβδινου στοιχείου του δοκιμίου 3.



Σχήμα 4.61: Διαφορετική πολικότητα αντανάκλασης ανάλογα με το υλικό του στοιχείου που σαρώνεται



Η κατακόρυφη σάρωση έγινε κατά μήκος του μπλοκ σκυροδέματος, αλλά δεν υπάρχει καμία αντανάκλαση που να υποδεικνύει ύπαρξη διεπιφάνειας σε βάθος 16cm περίπου.

Σάρωση 4.119: 033, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9

Συγκριτικά Σχόλια



Σχήμα 4.62: Συγκρίσεις κατακόρυφων σαρώσεων με δύο διαφορετικές κεραίες



Σχήμα 4.63: Συγκρίσεις σαρώσεων με δύο διαφορετικές κεραίες

Σαρώσεις με μαγνητόμετρο

Όπως είναι φανερό στα παρακάτω σχήματα, θέτοντας τη σωστή τιμή της διαμέτρου του οπλισμού πλέγματος της κάθε πλευράς, βρίσκεται η τιμή της επικάλυψης κάθε πλέγματος. Παρατηρείται ότι στις σαρώσεις διαφορετικής ηλικίας τα αποτελέσματα που λαμβάνονται είναι σχεδόν πανομοιότυπα, αφού οι διαφορές τους είναι της τάξης του ενός χιλιοστού. Το πλέγμα της άνω πλευράς έχει διπλάσια επικάλυψη στο ένα άκρο του δοκιμίου συγκριτικά με το άλλο. Η τιμή της επικάλυψης όπως αυτή αναγράφεται στο σχέδιο είναι 15mm. Στη σάρωση με το ferroscan σε ηλικία τριών ετών βρίσκεται ότι η επικάλυψη ξεκινά από 14mm και φτάνει έως 31mm. Εντοπίζονται 20 από τα 22 σίδερα. Το πλέγμα της άνω πλευράς έχει επικάλυψη 20mm σύμφωνα με το σχέδιο. Στη σάρωση με το μαγνητόμετρο σε ηλικία τριών ετών φαίνεται η τιμή να κυμαίνεται από 17mm έως 19mm, με μέση τιμή τα 18mm, πολύ κοντινή στην αναγραφόμενη στο σχέδιο. Εντοπίζονται 9 από τα 12 σίδερα. Επίσης, για ηλικία 28 ημερών παρατίθενται οι κάναβοι που είναι δηλωτικοί της διαφορετικής πυκνότητας πλεγμάτων.



Σχήμα 4.64: Σάρωση της άνω πλευράς του δοκιμίου με το μαγνητόμετρο σε ηλικία 28 ημερών

Σχήμα 4.65: Σάρωση της άνω πλευράς του δοκιμίου με το μαγνητόμετρο σε ηλικία 3^{ων} ετών



Σχήμα 4.66: Σάρωση της κάτω πλευράς του δοκιμίου με το μαγνητόμετρο σε ηλικία 28 ημερών

Σχήμα 4.67: Σάρωση της κάτω πλευράς του δοκιμίου με το μαγνητόμετρο σε ηλικία 3^{ων} ετών



Σχήμα 4.68: Σάρωση σε κάναβο της άνω πλευράς του δοκιμίου με το μαγνητόμετρο σε ηλικία 28 ημερών



Σχήμα 4.69: Σάρωση σε κάναβο της κάτω πλευράς του δοκιμίου με το μαγνητόμετρο σε ηλικία 28 ημερών

4.4 **Δοκίμιο 4**



Σχήμα 4.70:Τομή και Κάτοψη του Δοκιμίου 4



Σχήμα 4.71: Φωτογραφία πριν τη σκυροδέτηση

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz

Σάρωση στην <u>άνω</u> πλευρά του δοκιμίου:





Σάρωση 4.120: 380, 5 gain points(-17, -17, 20, 26, 26), 13ns, D.C. 9



Αποτιμήση Της Εσωτερικής Κατάστασης Στοιχείων Από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα Με Τη Χρήση Ραντάρ

Σάρωση στην <u>κάτω</u> πλευρά του δοκιμίου:



Σάρωση 4.121: 374, (-20, -10, 0, 10, 20), 13ns, D.C. 9



Επαφή δοκιμίου με τον αέρα

Direct Coupling

Ράβδοι Φ16

Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών



Σχήμα 4.72: Σαρώσεις της <u>άνω πλευράς</u> πριν την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN



Σχήμα 4.73: Σαρώσεις της <u>άνω πλευράς</u> μετά την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN



Σχήμα 4.74: Σαρώσεις της κάτω πλευράς πριν την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN



Σχήμα 4.75: Σαρώσεις της <u>κάτω πλευράς</u> μετά την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN

<u>Παρατηρήσεις:</u>

Το δοκίμιο αυτό είναι όμοιο με το δοκίμιο 2, με μοναδική διαφορά ότι όλες οι κατακόρυφες ράβδοι του έχουν διάμετρο Φ16. Παρότι οι ρυθμίσεις ήταν ίδιες, δεν είναι πανομοιότυπες οι εικόνες μεταξύ των δοκιμίων 2 κι 4. Για παράδειγμα, η σάρωση της κάτω πλευράς με διαβροχή του δοκιμίου 4 παρουσιάζει μια άσπρη αντανάκλαση σε βάθος 23cm, που δεν εμφανίζεται στην αντίστοιχη σάρωση του δοκιμίου 2. Κατά τα άλλα, ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις με αυτές του δοκιμίου 2 περί επιρροής της υγρασίας στην αποκτώμενη εικόνα και η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς που επιλέχθηκε ήταν 12÷13. Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι μόνο στα δοκίμια που περιείχαν περιορισμένο αριθμό οπλισμών κατέστη δυνατή η αξιοποίηση και η σχετικά σαφής ερμηνεία των σαρώσεων που λήφθηκαν τον πρώτο μήνα.



Σχήμα 4.76: Παρά την ομοιότητα των δύο δοκιμίων και τις ίδιες ρυθμίσεις παραμέτρων, οι γραμμικές ανεπιθύμητες αντανακλάσεις δεν προκύπτουν όμοιες. Αριστερά: δοκίμιο 4, δεζιά: δοκίμιο 2

Σκυρόδεμα ηλικίας τριών μηνών

Στις σαρώσεις της άνω πλευράς διακρίνονται μόνο τέσσερα από τα συνολικά πέντε υπάρχοντα σίδερα στις σαρώσεις με depth 50cm και 100cm, ενώ για depth ίσο με 30cm εντοπίζονται μόνο τρία σίδερα. Συνεπώς, το μεγαλύτερο depth συνεπάγεται καλύτερη θέαση των περιεχομένων του δοκιμίου, παρά το ότι υπό άλλες συνθήκες θα ήταν αρκετά τα 30cm. Το σωστό βάθος προκύπτει για διηλεκτρική σταθερά **11**, όπως και στο δοκίμιο 2. Το πάχος του δοκιμίου έγινε αρκετά εμφανές με τη χρήση των depth 30cm και 100cm. Στην κάτω πλευρά όλες οι κατακόρυφες ράβδοι είναι ορατές, ωστόσο το πάχος του δοκιμίου δεν είναι ευδιάκριτο. Λόγω της παρουσίας οπλισμού κοντά στην επιφάνεια σάρωσης, το σήμα δεν διαπερνά με επιτυχία όλο το πάχος του δοκιμίου ώστε να προσκρούσει στη διεπιφάνειά του με τον αέρα.



Σχήμα 4.77: Σαρώσεις από την <u>άνω πλευρά</u> του δοκιμίου με Concrete Scan





Σαρώσεις σε σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών

Στατική Δοκιμή:



Σάρωση 4.136: 158, 4 gain points(-20, -16, 22, 30), 13ns, D.C. 9. Η κεραία παρέμεινε ακίνητη στην κάτω πλευρά του δοκιμίου, στην περιοχή με πάχος 31cm.

Η τιμή 9 της διηλεκτρικής σταθεράς είναι αυτή που δίνει το σωστό πάχος και αυτή θα χρησιμοποιηθεί στο εξής στις επόμενες σαρώσεις του δοκιμίου.

Προκειμένου να πραγματοποιηθούν συγκρίσεις μεταξύ των εικόνων στεγνού και υγρού σκυροδέματος, επαναλήφθηκαν σαρώσεις με τη λειτουργία Concrete Scan στο σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών, θέτοντας τύπο σκυροδέματος ξηρό.



Οι εικόνες είναι πολύ κατατοπιστικές και καθιστούν σαφές το περιεχόμενο του δοκιμίου, σε αντίθεση με αυτές που προέκυψαν στο σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών. Η διαφορά των πληροφοριών οι οποίες γνωστοποιούνται σε κάθε ηλικία παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.80: Σύγκριση σαρώσεων με Concrete Scan σε ηλικία τριών μηνών (αριστερά) και τριών ετών (δεζιά)

Οι ράβδοι που βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος απεικονίζονται με πιο ήπια αντανάκλαση και πιο πλατιά υπερβολή, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι έχουν διαφορά διαμέτρου από τις υπόλοιπες. Με τη βοήθεια της ghost hyperbola της εντολής **migration** είναι αντιληπτή η διεύρυνση των υπερβολών με το βάθος:



Σχήμα 4.81: Αυζανομένου του βάθους διευρύνονται οι υπερβολές που αντιστοιχούν σε ίδιας διαμέτρου ράβδους

Παρουσιάζονται κατόπιν οι σαρώσεις με τις ρυθμίσεις των 7, 14 και 28 ημερών και παρατηρείται ότι οι ίδιες ρυθμίσεις έχουν πολύ διαφορετικό αποτέλεσμα για διαφορετικές συνθήκες υγρασίας. Οι σαρώσεις της ηλικίας τριών ετών παρέχουν πολύ πιο διαφωτιστικές πληροφορίες με τις αντίστοιχες της μικρότερης ηλικίας.



Σχήμα 4.82: Σαρώσεις με τις ρυθμίσεις της 7^{ης} ημέρας



Σχήμα 4.83: Σαρώσεις με τις ρυθμίσεις της 14^{ης} ημέρας





Στη συνέχεια, παρατίθενται οι σαρώσεις που έχουν καταγραφεί με νέες ρυθμίσεις. Στην τρίτη σάρωση συναντάται ο κεκλιμένος οριζόντιος οπλισμός που συγκρατεί τις ράβδους στη θέση τους.



Σχήμα 4.85: Σαρώσεις με νέες ρυθμίσεις

Παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο απαλλασσόμαστε από το θόρυβο, αλλάζοντας το gain γραμμικά (linear gain). Με αυτό τον τρόπο αποδυναμώνεται η περιοχή του θορύβου, με αποτέλεσμα να μη δημιουργεί σύγχυση σε ό,τι αφορά την ερμηνεία της εικόνας.



Στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει συνωστισμός οπλισμών, οι σωστές ρυθμίσεις gain δεν αποβλέπουν στην εμφάνιση αντικειμένων που λόγω χαμηλής αντανάκλασης είναι δύσκολα ανιχνεύσιμα, αλλά στην αποφυγή δημιουργίας αντανακλάσεων που δεν αντικατοπτρίζουν υπάρχοντα περιεχόμενα, όπως αυτή που σημειώνεται με πορτοκαλί χρώμα.



Σχήμα 4.87: Συνδυασμοί 4 σημείων gain για τη διαπίστωση της διαφοροποίησης της λαμβανόμενης εικόνας

Επαναληψιμότητα μεθόδου

Η πιστότητα μιας μεθόδου εξακριβώνεται με την <u>επαναληψιμότητα</u> (repeatability). Ως επαναληψιμότητα ορίζεται η δυνατότητα της μεθόδου να δίνει το ίδιο αποτέλεσμα σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του ίδιου δείγματος και είναι συνώνυμο με τη συνέπεια. Παρακάτω παρουσιάζονται δύο σαρώσεις ακριβώς της ίδιας διαδρομής, με ίδιες ρυθμίσεις παραμέτρων, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Τα αποτελέσματα είναι πανομοιότυπα.



Σχήμα 4.88: Εζέταση της επαναληψιμότητας της μεθόδου

Προσανατολισμός κεραίας

Και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται μια αντιστροφή της πολικότητας των αντανακλάσεων, όμως είναι εμφανής η διαφορά σε σχέση με τις αντίστοιχες σαρώσεις του δοκιμίου 2. Εδώ δεν εμφανίζονται εις βάθος πιο έντονες αντανακλάσεις, διότι όλες οι ράβδοι έχουν ίδια διάμετρο. Η τρίτη σάρωση του πίνακα έγινε πάνω στο οριζόντιο σίδερο που συγκρατεί τα κατακόρυφα. Είναι αναμενόμενη η πιο έντονη απεικόνιση των δύο πρώτων ράβδων, παρότι είναι ίδιας διαμέτρου, διότι βρίσκονται εγγύτερα στην επιφάνεια σάρωσης. Συνάγεται το συμπέρασμα ότι χάρη στην αντιστροφή της πολικότητας της κεραίας είναι δυνατό να σημειωθούν διαφορές στις διαμέτρους των οπλισμών. Οι συγκεκριμένες διάμετροι απείχαν 4 κλάσεις (Φ8 και Φ16).





Σχήμα 4.90: Εντοπισμός διαφορετικών διαμέτρων ράβδων με χρήση διαφορετικού προσανατολισμού κεραίας. Αριστερά: δοκίμιο 2, Δεζιά: δοκίμιο 4

Σαρώσεις συναρτήσει του χρόνου



Σάρωση 4.159: 277,5 gain points (-12, -12, 23, 32), 10ns, D.C. 9

Στατικές Δοκιμές

Ακολουθούν στατικές δοκιμές στις οποίες η ράβδος κινείται προς μία κατεύθυνση κάθε φορά. Η κεραία είναι ακίνητη στην κάτω πλευρά του δοκιμίου. Παρατηρείται ότι το σχήμα της υπερβολής δεν επηρεάζεται από τις διαφορετικές φορές κίνησης αλλά από την ταχύτητα της κίνησης της ράβδου μόνο. Όσο πιο μεγάλη η ταχύτητα, τόσο πιο στενές οι υπερβολές. Λόγω της κωνικής διάδοσης του σήματος, δεν παρατηρείται διαφορά μεταξύ της έλευσης της ράβδου πρώτα από τον πομπό και μετά από το δέκτη και αντιστρόφως.



Σάρωση 4.160: 216, 4 gain points(-16, -2, 23, 24), 13ns, D.C. 9. Η ράβδος κινήθηκε με τέτοια φορά ώστε να συναντά πρώτα τον πομπό της κεραίας και ύστερα το δέκτη, με αργή ταχύτητα.



Σάρωση 4.161: 217, 4 gain points(-16, -2, 23, 24), 13ns, D.C. 9. Η ράβδος κινήθηκε με τέτοια φορά ώστε να συναντά πρώτα το δέκτη της κεραίας και ύστερα τον πομπό, με αργή ταχύτητα.



Σάρωση 4.162: 219, 4 gain points(-16, -2, 23, 24), 13ns, D.C. 9. Η ράβδος κινήθηκε με τέτοια φορά ώστε να συναντά πρώτα τον πομπό της κεραίας και ύστερα το δέκτη, με γρήγορη ταχύτητα.



Σάρωση 4.163: 221, 4 gain points(-16, -2, 23, 24), 13ns, D.C. 9Η ράβδος κινήθηκε με τέτοια φορά ώστε να συναντά πρώτα τον πομπό της κεραίας και ύστερα το δέκτη. Στο σημείο που συναντούσε το μέσον της κεραίας, πραγματοποιούνταν μια στάση.

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 900MHz

Οι εικόνες από την κεραία 900MHz είναι αρκετά ικανοποιητικές σε αυτό το δοκίμιο. Χάρη στην ικανή απόσταση μεταξύ των ράβδων, μπορούν να εντοπιστούν οι υπερβολές με σαφήνεια. Και οι δύο σαρώσεις έχουν γίνει από την ίδια πλευρά του δοκιμίου, με την αντανάκλαση της πιο ρηχής ράβδου να εμπλέκεται στο direct coupling. Όπως και στην κεραία 1600MHz οι πιο βαθιές αντανακλάσεις είναι και λιγότερο έντονες.



Σάρωση 4.164: 304, 4 gain points(-2, -2, -2, 15), 10ns, D.C. 9

Σάρωση 4.165: 305, 4 gain points (-5, 0, 5, 8), 10ns, D.C. 9

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz

Η εικόνα που λαμβάνεται είναι πολύ διαφωτιστική, ενώ παρατηρείται πως ο θόρυβος ο οφειλόμενος στις ρυθμίσεις gain δεν είναι ενοχλητικός. Η εικόνα είναι σχεδόν πανομοιότυπη με αυτή του δοκιμίου 2, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σάρωση 4.166: 024, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9



Σχήμα 4.91: Σάρωση με την κεραία 2600MHz στο δοκίμιο 2 (πάνω) και στο δοκίμιο 4 (κάτω)

4.5 **Δοκίμιο 5**



Σχήμα 4.92: Τομή και Κάτοψη του Δοκιμίου 5



Σχήμα 4.93: Φωτογραφία πριν τη σκυροδέτηση

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz

Σάρωση στην <u>άνω</u> πλευρά του δοκιμίου:







Αποτιμήση Της Εσωτερικής Κατάστασης Στοιχείων Από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα Με Τη Χρήση Ραντάρ

Σάρωση στην <u>κάτω</u> πλευρά του δοκιμίου:



Σάρωση 4.168: 283, 4 gain points (-16, -16, 6, 23, 29), 11Ns, D.C. 9



Διεύθυνση σάρωσης



Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών





Σχήμα 4.95 : Σαρώσεις της <u>άνω πλευράς</u> μετά την επεζεργασία με το πρόγραμμα RADAN






Σχήμα 4.97: Σαρώσεις της <u>κάτω πλευράς</u> μετά την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN

<u>Παρατηρήσεις:</u>

Στην περίπτωση του δοκιμίου 5 η διηλεκτρική σταθερά που κρίνεται κατάλληλη για τη σάρωση εντός των πρώτων 28 ημερών είναι η τιμή 12. Από την άνω πλευρά είναι ορατές όλες οι ράβδοι που περιέχονται στο δοκίμιο. Αυτό οφείλεται σε δύο γεγονότα. Αφενός η αντανάκλαση τους δεν σκιάζεται από άλλες αντανακλάσεις οπλισμών κοντινότερων στην επιφάνεια σάρωσης, αφετέρου οι ράβδοι βρίσκονται σε αποστάσεις που κυμαίνονται μεταξύ 10-15cm από την επιφάνεια σάρωσης, δηλαδή όσο εκτιμάται ότι διαπερνά το σήμα της κεραίας υπό συνθήκες υγρού σκυροδέματος. Από την κάτω πλευρά είναι δυνατό να διακριθεί μόνο το επιφανειακό πλέγμα και κανένα στοιχείο πίσω από αυτό, όπως συνέβη και με τα δοκίμια 1 και 3. Επειδή οι γραμμικές αντανακλάσεις της κάτω πλευράς είναι πολυάριθμες, ακόμα και αν κάποια συμπίπτει με το βάθος 30cm, θα ήταν επισφαλές να λεχθεί με βεβαιότητα ότι απεικονίζει το πάχος του δοκιμίου.





Σχήμα 4.98: Σαρώσεις από την <u>άνω πλευρά</u> του δοκιμίου με Concrete Scan

Διαπιστώνεται ότι στην περίπτωση αυτού του δοκιμίου δεν μειώνεται η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς για ηλικία σκυροδέματος τριών μηνών σε σχέση με μικρότερες ηλικίες. Στις προηγούμενες ενότητες παρατηρήθηκε ότι για ηλικία 7÷28 ημερών μια εύλογη τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς ήταν 12÷13, με μείωση 1÷2 μονάδων αντίστοιχα για ηλικία τριών μηνών. Οι διαφορές είναι, όμως, λεπτές και έτσι δεν προκαλεί εντύπωση το ότι το μοτίβο αυτό δεν επαναλαμβάνεται και σε αυτό το δοκίμιο. Αυτό που ισχύει σε όλα τα δοκίμια που διαθέτουν πλέγμα είναι ότι η διηλεκτρική σταθερά για ηλικίες μικρότερες των τριών ετών αποφασίζεται βάσει της θέσης των περιεχομένων που δεν σκιάζονται από το πλέγμα. Όπως είναι εμφανές στις παρακάτω σαρώσεις της κάτω πλευράς, δεν είναι τίποτα άλλο διακριτό πέραν του πλέγματος. Στια σαρώσεις με depth 30cm και 50cm, σε βάθος 15cm περίπου, διαφαίνονται ενδείξεις για υπαρκτούς στόχους (θαλασσί χρώμα), αλλά δεν είναι αξιόπιστες.



Σχήμα 4.99: Σαρώσεις από την κάτω πλευρά του δοκιμίου με Concrete Scan

Σαρώσεις σε σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών Στατική Δοκιμή:



Σάρωση 4.183: 180, 4 gain points (-20, -16, 22, 30), 13ns, D.C. 9

Επιλέγεται διηλεκτρική σταθερά ίση με 9. Παρατηρείται πως σε όλα τα δοκίμια, ανεξάρτητα από την ποσότητα των περιεχομένων που διαθέτουν, η στατική δοκιμή έχει εξίσου σαφές αποτέλεσμα. Αυτό οφείλεται στο μικρό πάχος των στοιχείων και στην αρκετή απόσταση που τηρήθηκε μεταξύ

τους κατά την τοποθέτησή τους. Αν τα δοκίμια παρατάσσονται τόσο κοντά ώστε να μην υπάρχει αρκετός αέρας μεταξύ τους, δυσχεραίνεται ακόμα και η αντίληψη της ύπαρξης μεταλλικού στόχου πίσω από κάθε ένα δοκίμιο.

Ακολουθεί η παρουσίαση των σαρώσεων με Concrete Scan σε ξηρό σκυρόδεμα. Όλοι οι στόχοι φαίνονται πολύ ευκρινώς, με ένταση ανάλογη της διαμέτρου τους. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε περίπτωση που ράβδοι διαφορετικών διαμέτρων βρίσκονται σε ίδιο βάθος και περιέχονται στο ίδιο σκυρόδεμα, τότε οι αντανακλάσεις που προκύπτουν είναι διαφορετικής έντασης, με περισσότερο έντονη την αντανάκλαση της μεγαλύτερης ράβδου. Η μέτρηση του μεγέθους της διαμέτρου ή ο υπολογισμός της ποσοτικής διαφοράς μεταξύ των διαμέτρων δεν είναι δυνατό να επιτευχθούν. Είναι αξιοπρόσεκτο ότι, ενώ στη σάρωση της άνω πλευράς είναι ορατό το πάχος του δοκιμίου, δεν συμβαίνει το ίδιο και με αυτήν της κάτω πλευράς. Σχηματίζεται μια οριζόντια αντανάκλαση, της οποίας το μαύρο τμήμα είναι σε βάθος 33cm, δηλαδή όχι στο ορθό, που είναι τα 30cm.





Επιρροή παραμέτρου scans/unit κατά τη συλλογή στοιχείων

Οι επόμενες σαρώσεις δεν έχουν συλλεχθεί με ίδιες ρυθμίσεις. Η δεύτερη στήλη σαρώσεων έχει το διπλάσιο αριθμό scans/unit από την πρώτη, γεγονός που αποδεικνύεται από το ότι έχουν διπλάσιο μέγεθος, παρόλο που πραγματοποιήθηκαν στην ίδια ακριβώς περιοχή. Όσο περισσότερα scans/unit επιλέγονται, τόσο πιο ευρείες υπερβολές σχηματίζονται. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπου τα περιεχόμενα του δοκιμίου δεν είναι πολυάριθμα, οι πληροφορίες που αποκτώνται από τις δύο εικόνες κρίνονται ισάξιες. Εντούτοις, τις περισσότερες φορές προτιμάται να τίθεται μεγάλος αριθμός scans/unit, ώστε να είναι όλες οι αντανακλάσεις όσο πιο σαφείς και εύληπτες γίνεται. Κατά την επεξεργασία με το RADAN, δεν μεταφέρεται αυτούσια η παράμετρος scans/unit, αλλά η έννοιά της περιγράφεται από το File Header ως ένας συνδυασμός των scans/sec και scans/m. Οι τιμές τους εξαρτώνται από την τιμή scans/unit που εισήχθη κατά τη συλλογή στοιχείων και από τη σωστή βαθμονόμηση του οργάνου, όταν αυτό λειτουργεί συναρτήσει της απόστασης.



<u>Χρήση της εντολής linear gain</u>

Η σάρωση που έπεται υπέστη επεξεργασία για την αφαίρεση της γραμμικής αντανάκλασης που βρίσκεται σε βάθος 20cm και που δημιουργείται εξαιτίας ρυθμίσεων gain και δευτερογενών αντανακλάσεων. Χρησιμοποιήθηκε η εντολή Range Gain του RADAN και συγκεκριμένα τέθηκαν τιμές κοντά στο μηδέν στο βάθος που επιδιώχθηκε η μείωση του θορύβου, δηλαδή στα σημεία 4 και 5. Η εντολή αυτή λαμβάνει υπόψη και την περιοχή που βρίσκεται πάνω από το direct coupling, όπως φαίνεται στη σχηματική απεικόνιση των σημείων στη δεξιά σάρωση.



Σχήμα 4.102: Σάρωση της άνω πλευράς πριν και μετά την επεξεργασία

Προσανατολισμός κεραίας

Το δοκίμιο 5 ενδείκνυται για την απόδειξη της αξιοπιστίας της μεθόδου αλλαγής προσανατολισμού της κεραίας με σκοπό την ανάδειξη ράβδων διαφορετικών διαμέτρων. Αποδεικνύεται ότι η ένταση κάθε ράβδου διαφέρει από οποιασδήποτε άλλης, όπως δηλαδή συμβαίνει και με τις διαμέτρους τους.



Σάρωση 4.192: 158, κάτω πλευρά, 5 gain points(-20, -10, 0, 10, 20), 13ns, D.C. 9, πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την επεξεργασία με κεραία στραμμένη κατά 90 ⁰

Στις σαρώσεις της κάτω πλευράς, παρά το σχετικά πυκνό πλέγμα, είναι ορατές όλες οι ράβδοι. Η επεξεργασία με το RADAN αποδείχτηκε απαραίτητη, γιατί η ανεπεξέργαστη εικόνα δεν παρείχε

τις απαιτούμενες πληροφορίες εκ πρώτης όψης. Εκτελέστηκε η εντολή deconvolution για τη μείωση των δευτερευουσών αντανακλάσεων. Η αιτία για την οποία διαθέτουν τόση ένταση οι οπλισμοί του πλέγματος είναι το μικρό τους βάθος. Στις σαρώσεις της άνω πλευράς ισχύουν ακριβώς όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, με την επιπρόσθετη παρατήρηση ότι το τέλος του δοκιμίου είναι πολύ πιο ευκρινές για στραμμένη κεραία από ότι για συνήθους προσανατολισμού με τις ίδιες ρυθμίσεις.



Σχήμα 4.103: Σαρώσεις άνω πλευράς με διαφορετικούς προσανατολισμούς κεραίας

Σαρώσεις συναρτήσει του χρόνου

Και οι δύο επόμενες σαρώσεις είναι κατατοπιστικές ως προς το περιεχόμενο του δοκιμίου.



Σάρωση 4.197: 292, 5 gain points(- Σάρωση 4.198: 291, 4 gain points (-20, -5, 20, 29), 12Ns, D.C. 9 20, -15, 10, 30, 35), 12ns, D.C. 9

Παρατίθενται παρακάτω δύο σαρώσεις που έγιναν σε δύο κάθετες διευθύνσεις. Αποδεικνύεται πως, αν πραγματοποιηθεί μια κατακόρυφη σάρωση σε ένα σημείο όπου το σκέλος της υπερβολής βρίσκεται σε ορισμένο βάθος, τότε η γραμμική αντανάκλαση του στοιχείου συναντάται επίσης στο βάθος αυτό. Αυτό βέβαια ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι δεν στοχεύονται σημεία των σκελών πολύ απομακρυσμένα από την κορυφή της υπερβολής.



Σχήμα 4.104: Σαρώσεις που έγιναν σε δύο κάθετες διευθύνσεις

Κατακόρυφες σαρώσεις

Πραγματοποιήθηκαν κατακόρυφες σαρώσεις κατά μήκος του σωλήνα Φ48 με σκοπό να διαπιστωθεί η αλλαγή στο βάθος απεικόνισης ενός στόχου συναρτήσει της απόστασης της ευθείας της σάρωσης από αυτό. Με το κόκκινο βέλος απεικονίζεται η έναρξη μέτρησης των θέσεων στις οποίες έγιναν οι σαρώσεις και με το πράσινο η φορά της σάρωσης. Στις περισσότερες διακρίνεται εμφανώς ο κοίλος σωλήνας Φ48, παρότι η κεραία δεν διέρχεται ακριβώς κατά μήκος του, χάρη στην κωνική διάδοση του σήματος Ο σωλήνας έχει διάμετρο 4,8cm, συνεπώς σε όλες τις σαρώσεις που απέχουν 22÷27cm από το άκρο του δοκιμίου είναι ορατός σε σωστό βάθος.



Σαρώσεις όπου ο σωλήνας φαίνεται στο πραγματικό του βάθος



Σάρωση 4.201: 188, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13Ns, D.C.9,**21cm**



Σάρωση 4.202:193, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13Ns, D.C.9, **22cm**



Σάρωση 4.203:194, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13Ns, D.C.9, **23cm**



Σάρωση 4.205: 196, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13Ns, D.C.9, **25cm**



Σάρωση 4.207:198, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13Ns, D.C.9, **27cm**



Σάρωση 4.204: 195, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13Ns, D.C.9, **24cm**



Σάρωση 4.206: 197, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13Ns, D.C.9, **26cm**

Σαρώσεις απομακρυσμένες από το σωλήνα:



Σάρωση 4.208: 190, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13Ns, D.C.9, **15cm**



Σάρωση 4.210: 191, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13Ns, D.C.9, **30cm**



Σάρωση 4.209:189, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13Ns, D.C.9, **18cm**



Σάρωση 4.211: 192, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13Ns, D.C.9, **33cm**

Όσο απομακρύνεται η ευθεία της σάρωσης από το σωλήνα, αυξάνεται το βάθος στο οποίο αυτός εμφανίζεται. Αυτό συμβαίνει διότι η απόσταση στην οποία εμφανίζεται πλέον ο σωλήνας δεν είναι η κάθετη από την επιφάνεια (που αποτελεί το πραγματικό του βάθος) αλλά η υποτείνουσα του τριγώνου που σχηματίζεται από το σωλήνα, τη θέση της κεραίας και του πραγματικού βάθους του σωλήνα.



Σχήμα 4.105: Η υποτείνουσα του κόκκινου τριγώνου θα εμφανιστεί ως βάθος του σωλήνα εάν η κεραία σύρεται πάνω στην ευθεία που σημειώνεται με διακεκομμένη γραμμή.

Παραδείγματα της απόκλισης που μπορεί να έχει το βάθος της αντανάκλασης λόγω απομακρυσμένης από το αντικείμενο σάρωσης δίνονται ενδεικτικά παρακάτω:

>
$$\sqrt{(22-15)^2+10,4^2} = 12,54$$
 cm >10,4cm

▶
$$\sqrt{(22-18)^2+10,4^2} = 11,14$$
cm >10,4cm

▶
$$\sqrt{(33-27)^2+10,4^2} = 12,01cm > 10,4cm$$

>
$$\sqrt{(30-27)^2+10,4^2} = 10,82cm > 10,4cm$$

Όπως συμπεραίνεται, αποκλίσεις ανεκτές, δηλαδή μικρότερες ή ίσες του ενός εκατοστού, προκύπτουν όταν οι αποστάσεις των σαρώσεων από τη θέση του στόχου είναι μικρότερες των 4cm.

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 900MHz

Δεν είναι διακριτό το πάχος του δοκιμίου, όμως όλα τα υπόλοιπα στοιχεία είναι εμφανή. Χρησιμοποιώντας αυτήν την κεραία δεν διακρίνονται εύκολα οι διαφορετικές εντάσεις που μαρτυρούν τη διαφορετικότητα στις διαμέτρους. Και σε αυτή την περίπτωση, όπως και σε πολλές προηγούμενες, δεν εντοπίζεται το πάχος.



Σάρωση 4.212: 464, 4 gain points (-10,-5, 12, 15), 12ns, D.C. 9

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz Συλλογή πληροφοριών 2D

Όλα τα στοιχεία φαίνονται με μεγάλη σαφήνεια και παρατηρείται πως οι δύο σωλήνες έχουν μεγαλύτερη ένταση από τα υπόλοιπα στοιχεία αλλά διαφέρουν εμφανώς και μεταξύ τους.



Σάρωση 4.213: 018, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9



Σάρωση 4.214: 020, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9

Συλλογή πληροφοριών 3D

Η δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης των αποτελεσμάτων του ραντάρ είναι καινοτόμα και απλοποιεί τη διαδικασία ερμηνείας, καθώς παρουσιάζει τους στόχους με περισσότερο ρεαλισμό και δίνει τη συνολική εικόνα της περιοχής που εξετάζεται. Μια τρισδιάστατη εικόνα δημιουργείται από μια αλληλουχία συμβατικών (2D) σαρώσεων, πραγματοποιημένων σε συγκεκριμένες αποστάσεις.

Παρακάτω, παρουσιάζεται ένα time-slice, δηλαδή μια οριζόντια τομή της εξεταζόμενης περιοχής σε συγκεκριμένο βάθος. Ο κατακόρυφος άξονας των σαρώσεων είναι σε μονάδες χρόνου, για αυτό έχει επικρατήσει η τομή αυτή να ονομάζεται time-slice, αντί του depth-slice, που θα ήταν ορθότερο. Οι διαστάσεις της τομής είναι ίσες με τις διαστάσεις της επιφάνειας που σαρώθηκε.

Η πραγματοποίηση του migration είναι καθοριστική για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου που να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Η κάθε αντανάκλαση οφείλει να αποφέρει ένα μόνο γραμμικό στόχο. Αυτό επιτυγχάνεται μόνο με την κατάρρευση των υπερβολών σε σημεία. Όταν τα τρισδιάστατα αρχεία συλλέγονται με το StructureScan mini και επεξεργάζονται στο RADAN 7, το migration πραγματοποιείται αυτόματα. Ωστόσο, με τη συλλογή στοιχείων με την κεραία 1600MHz δεν παρέχεται αυτή η διευκόλυνση, επομένως το migration γίνεται χειροκίνητα. Εξαιτίας των πιθανών διαφοροποιήσεων του μεγέθους των υπερβολών μέσα στο ίδιο αρχείο, είναι δύσκολη η επίτευξη ενός απολύτως επιτυχούς migration.

Στην περίπτωση του δοκιμίου έγινε σάρωση μόνο από την άνω πλευρά, όπου υπήρχε πλέγμα οπλισμού. Εξαιτίας της μικρής επιφάνειας σάρωσης αλλά και του πυκνού οπλισμού δεν εμφανίζονται οι κατακόρυφες ράβδοι και οι σωλήνες που βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος. Ο επιφανειακός οπλισμός παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες.



Σχήμα 4.106: Grid 004, time-slice, επιφάνεια σάρωσης 30x30, κάναβος 5x5, screenshot τη στιγμή της σάρωσης με την κεραία 2600MHz



Σάρωση 4.215: Grid 004, auto gain (-12.91), depth 40cm, D.C. 9

Συγκριτικά Σχόλια

•0.10 • Ολα τα περιεχόμενα είναι ορατά αλλά οι αντανακλάσεις είναι θολές, χωρίς σαφή όρια •.10 • Ολα τα περιεχόμενα είναι ορατά αλλά οι αντανακλάσεις είναι θολές, χωρίς σαφή όρια •.20 • Δεν διακρίνεται το τέλος •.40 • Ολα τα περιεχόμενα είναι ορατά αλλά οι αντανακλάσεις είναι θολές, χωρίς σαφή όρια • Δεν διακρίνεται το τέλος • Δεν διακρίνεται το τέλος
 Ολα τα περιεχόμενα είναι ορατά αλλά οι αντανακλάσεις είναι θολές, χωρίς σαφή όρια Δεν διακρίνεται το τέλος Δεν διακρίνεται το τέλος
0.0^{-1} 0.0^{-1} 0.00^{-1}
0.10^{-1} 0.25^{-1} 0.50^{-1} 0.75^{-1} KEPAIA 1600MHz 0.00^{-1} 0.40^{-1} 0.25^{-1} 0.75^{-1} KEPAIA 1600MHz 0.00^{-1} 0.40^{-1} 0.75^{-1} 0.40^{-1} 0.25^{-1} 0.00^{-1} 0.50^{-1} 0.75^{-1} 0.75^{-1} 0.75^{-1} 0.00^{-1} 0.75^{-1} 0.75^{-1} 0.75^{-1} 0.75^{-1}
 Δεν διακρινεται το τελος Ολα τα περιεχόμενα είναι ορατά με πιο έντονο το σωλήνα
0.20 0.30 0.40 -0.0
0.20 0.30 0.40 - - 0.40 - - 0.0 - 0.0 - 0.0 - 0.0 - 0.0 - 0.0 - 0.0 - 0.0 - 0.50 0.75 - - 0.75 - - Ολα τα περιεχόμενα είναι ορατά με πιο έντονο το σωλήνα
0.30 0.40 0.40 0.40 0.25 0.50 0.75 ΚΕΡΑΙΑ 1600MHz Ολα τα περιεχόμενα είναι ορατά με πιο έντονο το σωλήνα
0.30
• Ολα τα περιεχόμενα είναι ορατά με πιο έντονο το σωλήνα
 ^m ^{b0} 0.25 0.50 0.75 KEPAIA 1600MHz Όλα τα περιεχόμενα είναι ορατά με πιο έντονο το σωλήνα
 Ολα τα περιεχόμενα είναι Ολα τα περιεχόμενα είναι ορατά με πιο έντονο το σωλήνα
 Ολα τα περιεχόμενα είναι Ολα τα περιεχόμενα είναι ορατά με πιο έντονο το σωλήνα
- ορατά με πιο έντονο το σωλήνα
Ε Αιακοίνεται σαφώς το τέλος
0.20
- A CONTRACT OF A CONTRACT
0.30
And the second se
0.40
A STATE AND A STAT
0.50
cm 0 20 40 60 80 <u>KEPAIA 2600MHz</u>
- Ολα τα περιεχόμενα είναι
ορατά με πιο έντονους τους
1- δύο κοίλους σωλήνες
μεγαλύτερων διαμέτρων
μεγωνοιερων οιαμετρων
- Διακρίνεται σαφώς το τέλος
- Διακρίνεται σαφώς το τέλος 20_ 21_ 22_ 22_
 Διακρίτερων σιαμετρων Διακρίνεται σαφώς το τέλος Υπαρξη κάποιου θορύβου κάτω από την αντανάκλαση
 Διακρίνεται σαφώς το τέλος Υπαρξη κάποιου θορύβου κάτω από την αντανάκλαση Φ48
 Διακρίνεται σαφώς το τέλος Υπαρξη κάποιου θορύβου κάτω από την αντανάκλαση Φ48
 Διακρίτερων σταματρων Διακρίνεται σαφώς το τέλος Υπαρξη κάποιου θορύβου κάτω από την αντανάκλαση Φ48
 Διακρίτερων σταμιτρων Διακρίνεται σαφώς το τέλος Υπαρξη κάποιου θορύβου κάτω από την αντανάκλαση Φ48
 Διακρίτερων σταματρων Διακρίνεται σαφώς το τέλος Υπαρξη κάποιου θορύβου κάτω από την αντανάκλαση Φ48

Σχήμα 4.107: Συγκρίσεις σαρώσεων άνω πλευράς με κατεύθυνση με τρεις διαφορετικές κεραίες



Σχήμα 4.108: Συγκρίσεις σαρώσεων κάτω πλευράς με κατεύθυνση από Φ8 προς Φ48 με δύο διαφορετικές κεραίες

Σαρώσεις με μαγνητόμετρο

Σαρώνεται η κάτω πλευρά του δοκιμίου σε ηλικία τριών ετών σε δύο κάθετες διευθύνσεις. Οι οπλισμοί στη διεύθυνση των οποίων η επικάλυψη ισούται με 20mm σύμφωνα με το σχέδιο, παρουσιάζεται να έχουν 18mm επικάλυψη, αν τεθεί διάμετρος οπλισμού Φ8. Σαρώνονται 10 από τα 12 υπάρχοντα σίδερα. Για τους οπλισμούς που έχουν 28mm επικάλυψη σύμφωνα με το σχέδιο, αυτή ακριβώς η τιμή βρίσκεται και με το ferroscan. Σαρώνονται 5 σίδερα.



Σχήμα 4.109: Σάρωση της κάτω πλευράς του δοκιμίου με το μαγνητόμετρο (οπλισμοί επικάλυψης 20mm σύμφωνα με το σχέδιο)



Σχήμα 4.110: Σάρωση της κάτω πλευράς του δοκιμίου με το μαγνητόμετρο(οπλισμοί επικάλυψης 28mm σύμφωνα με το σχέδιο)

4.6 Δοκίμιο 6



Σχήμα 4.111: Τομή και Κάτοψη του Δοκιμίου 6



Σχήμα 4.112: Φωτογραφία πριν τη σκυροδέτηση

Τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο Α

Τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο Β

Τούβλο

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 1600MHz



Σκυρόδεμα ηλικίας 7-28 ημερών

Σχήμα 4.113: Σαρώσεις στην περιοχή του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου Β (μετά την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN)



Σχήμα 4.114: Σαρώσεις στην περιοχή του κυματοειδούς χαλυβδόφυλλου (μετά την επεζεργασία με το πρόγραμμα RADAN)



Σχήμα 4.115: Σαρώσεις στην περιοχή του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου Α (μετά την επεξεργασία με το πρόγραμμα RADAN)



<u>Παρατηρήσεις</u>

Οι σαρώσεις του δοκιμίου αυτού παρουσιάζονται μόνο έπειτα από επεξεργασία, αλλά παραμένει δύσκολη η ερμηνεία τους. Μοναδικό σημείο ελέγχου της τιμής της διηλεκτρικής σταθεράς αποτέλεσαν οι σαρώσεις της 14^η⁶ και 28^η⁶ ημέρας στην περιοχή του χαλυβδόφυλλου Β. Χάρη στον εντοπισμό του τούβλου και των κυματισμών του χαλυβδόφυλλου, αποφασίστηκε πως η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς και σε αυτό το δοκίμιο κυμαίνεται μεταξύ 12÷13. Συγκεκριμένα, μετρήθηκε πως η εσοχή του χαλυβδόφυλλου είναι ίση με 8cm και πως το τούβλο βρίσκεται σε βάθος 12cm. Συνεπώς, γνώμονας για την απόφαση της διηλεκτρικής σταθεράς ήταν το να τεθεί το βάθος του χαλυβδόφυλλου ίσο με 22cm και του τούβλου ίσο με 12cm. Είναι πολύ εμφανής η επιρροή της υγρασίας αλλά και των ρυθμίσεων gain. Το δοκίμιο αυτό, που τίποτα άλλο δεν διαθέτει εκτός από χαλυβδόφυλλα τοποθετημένα στη μία πλευρά του και ένα τούβλο σε μία ορισμένη περιοχή, εμφανίζει πολλές γραμμικές αντανακλάσεις στα βάθη από τα 20cm και μετά. Υπενθυμίζεται ότι η υγρασία δεν είναι σε θέση μόνο να θολώσει την εικόνα από άποψη μείωσης έντασης, αλλά μπορεί και να δημιουργήσει τον λεγόμενο θόρυβο.



Σκυρόδεμα ηλικίας τριών μηνών





Σχήμα 4.118: Σαρώσεις στην περιοχή του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου Α

Για την απόφαση της διηλεκτρικής σταθεράς και σε αυτήν την ηλικία σκυροδέματος ίσχυσαν οι ίδιες παρατηρήσεις με προηγουμένως. Η διηλεκτρική σταθερά έχει την τιμή **12**. Μόνο η περιοχή του χαλυβδόφυλλου Β είχε εμφανώς βελτιωμένη εικόνα, με σαφή σχηματισμό υπερβολών που αποτελούν τις <u>εσοχές</u> του φύλλου. Ωστόσο, και στις σαρώσεις των άλλων δύο χαλυβδόφυλλων είναι εμφανής μια μαύρη αντανάκλαση σε βάθος 30cm που πιστεύεται ότι είναι το πάχος του δοκιμίου. Αυτό θεωρείται λογικό γιατί κανένα από τα δυο αυτά φύλλα δεν έχει μεγάλες εσοχές, ικανές να σχηματίσουν την αίσθηση μιας «κυματοειδούς» γραμμής στη θέση του πάχους του

δοκιμίου, δεδομένης της μικρής ηλικίας του δοκιμίου. Πιο κατατοπιστικές κρίθηκαν οι σαρώσεις με depth 30cm.

Σαρώσεις σε σκυρόδεμα ηλικίας τριών ετών

Η στατική δοκιμή πραγματοποιήθηκε με κίνηση της κεραίας αποκλειστικά στην περιοχή πάνω από το τούβλο, καθώς είναι η μοναδική που δεν είναι καλυμμένη με χαλυβδόφυλλα. Βρέθηκε πως η τιμή που αποδίδει το σωστό πάχος του δοκιμίου ήταν **9.50**, δηλαδή μισή μονάδα μεγαλύτερη από αυτή των δοκιμίων 2,3,4, 5 και μία μονάδα μεγαλύτερη από του δοκιμίου 1.





Σχήμα 4.119: Περιοχή όπου κινήθηκε η ράβδος για τη στατική δοκιμή, με πάχος 30cm

Σάρωση 4.237: 199, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13ns, D.C. 9.5

Επιχειρήθηκε η σάρωση των τριών διαδρομών με Concrete Scan θέτοντας depth 50cm για να διαπιστωθούν οι διαφορές με την ηλικία τριών μηνών. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι διαφοροποιήσεις είναι πολύ φανερές.



Οι σαρώσεις αυτές είναι πολύ κατατοπιστικές σε ό,τι αφορά το σχήμα του κάθε φύλλου. Στην πρώτη εικόνα είναι κατανοητό ότι πρόκειται για ένα χαλυβδόφυλλο (Α)με πτυχώσεις, οι οποίες όμως δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες. Στη δεύτερη εικόνα είναι εμφανές ότι το χαλυβδόφυλλο (κυματοειδές) διαθέτει ήπιες κυματώσεις, που παρουσιάζονται απλώς σαν μικρές κουκκίδες μέσα σε μια γραμμική αντανάκλαση σε βάθος ίσο με το πάχος του δοκιμίου. Η τρίτη εικόνα είναι η πλέον αντιπροσωπευτική ενός χαλυβδόφυλλου (Β) του οποίου οι εσοχές απέχουν πολύ (εις βάθος) από τις εξοχές, και για αυτό οι εσοχές έχουν τόσο έντονη αντανάκλαση. Τονίζεται ότι στην περίπτωση των τραπεζοειδών φύλλων δεν είναι ορατή και η «ρηχή» και η «βαθιά» πτύχωση. Αυτό συμβαίνει διότι το φύλλο είναι ένα συνεχές μεταλλικό στοιχείο και είναι λογικό οι πιο κοντινές στην κεραία πτυχώσεις του να προκαλούν αντανάκλαση έντονη και ικανή να σκιάσει τις πιο απομακρυσμένες πτυχώσεις.

Στην τρίτη εικόνα είναι, επίσης, εμφανής η αντανάκλαση που προκύπτει από το τούβλο και παρουσιάζεται αρκετά έντονη, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητάς του σε αέρα. Όμως, οποιαδήποτε αντανάκλαση κάτω από την περιοχή του τούβλου δεν είναι αξιολογήσιμη. Αυτό συμβαίνει διότι το τούβλο έχει ένα πάχος (18cm) ικανό να μεταβάλλει τη διηλεκτρική σταθερά του συνόλου που βρίσκεται πίσω από αυτό, οπότε είναι δυνατή μόνον η εκτίμηση του βάθους του και όχι του πάχους του (*Popa, 2014*). Με τη μωβ γραμμή σημειώνεται η αντανάκλαση του πάχους του τούβλου, η οποία ενώ θα έπρεπε να βρίσκεται σε βάθος 30cm, συναντάται σε πιο ρηχή στάθμη. Επίσης, είναι χονδρικώς μόνο δυνατή η εκτίμηση του πλάτους του, αφού επηρεάζεται από την αντανάκλαση του αέρα.



Προσανατολισμός κεραίας



Οι διαφορές με την αλλαγή προσανατολισμού της κεραίας δεν είναι τόσο σημαντικές σε αυτό το δοκίμιο. Παρατηρείται πως η εικόνα που αποκτάται δεν έχει επί της ουσίας διαφορές με τις προηγούμενες. Αυτό που μεταβάλλεται είναι το ότι στη σάρωση του φύλλου Β δεν εντοπίζονται οι έντονες υπερβολές μετά τα 30cm βάθος, οι οποίες υπήρχαν στο αντίστοιχο αρχείο με το συνήθη προσανατολισμό.

Σαρώσεις συναρτήσει του χρόνου

Καταρχάς, πραγματοποιήθηκαν δύο στατικές δοκιμές διαφορετικές από τις συνήθεις, διότι η κίνηση της μεταλλικής ράβδου στην κάτω πλευρά του δοκιμίου έγινε στη μεν πρώτη σάρωση πάνω στα χαλυβδόφυλλα και στο ξύλο που τα διαχωρίζει, στη δε δεύτερη πάνω στο τούβλο. Στην πρώτη σάρωση η αντανάκλαση που φαίνεται προέρχεται από το σήμα που καταφέρνει να διαπεράσει το ξύλο.



Σάρωση 4.243: 200, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13ns, D.C. 9.5, ζύλο



Σάρωση 4.244:201, 5 gain points (-15, -15, 13, 16, 22), 13ns, D.C. 9.5, τούβλο



Σχήμα 4.122: Η ράβδος κινήθηκε πάνω στα χαλυβδόφυλλα και στο ζύλο που τα διαχωρίζει



Σχήμα 4.123: Η ράβδος κινήθηκε πάνω στο τούβλο

Είναι εμφανής η έντονη διαφορά των δύο στατικών δοκιμών μεταξύ τους, αλλά και με τη στατική δοκιμή που παρουσιάστηκε στην αρχή της προηγούμενης υποενότητας. Στη σάρωση με το ξύλο παρατηρείται αφενός μικρή ένταση των αντανακλάσεων, διότι το πάχος του ξύλου είναι μόλις 1cm και πάνω και κάτω από αυτό υπάρχουν μεταλλικά φύλλα που δεν επιτρέπουν τη διέλευση του σήματος. Συνεπώς, η επιφάνεια πάνω στην οποία έγινε αντιληπτή η κίνηση της ράβδου από την κεραία ήταν πολύ μικρή. Επίσης, παρά το ότι το σήμα διαπέρασε δύο διαφορετικά υλικά (σκυρόδεμα και ξύλο), δε φαίνεται κάποια διαφοροποίηση στην απεικόνιση του πάχους του δοκιμίου, πιθανόν λόγω κοντινών τιμών των διηλεκτρικών σταθερών των δύο υλικών. Αντιθέτως, στη σάρωση με το τούβλο και η ένταση των αντανακλάσεων ήταν μεγάλη και το πάχος δεν απεικονίζεται στο σωστό βάθος. Το πρώτο γεγονός συμβαίνει εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας του τούβλου σε αέρα, ενώ το δεύτερο λόγω της πολύ διαφορετικής διηλεκτρικής σταθεράς σκυροδέματος και τούβλου.

Στη συνέχεια, διενεργήθηκε μια κατακόρυφη σάρωση στην περιοχή που υπάρχει σκυρόδεμα πάνω από το τούβλο, με κατεύθυνση προς αυτό. Όσο διασχίζεται το σκυρόδεμα το πάχος απεικονίζεται στο σωστό βάθος των 30cm, ενώ με την έλευση της κεραίας στο τούβλο παύει να συνεχίζεται η ίδια γραμμική αντανάκλαση του τέλους. Το τούβλο εντοπίζεται στα 12cm βάθος, όπως και όντως συμβαίνει.



Σάρωση 4.245:279, 5 gain points (-20, -11, 14, 21, 29), 13ns, D.C. 9.5, κατακόρυφη

Ύστερα, διατηρώντας όσο το δυνατόν πιο σταθερή ταχύτητα στο τροχήλατο, επιτυγχάνεται να αποδοθεί ρεαλιστικά το σχήμα των υπερβολών. Στην αριστερά σάρωση, όμως, πριν το τούβλο, μια καθυστέρηση στην κίνηση δημιούργησε ένα τμήμα που διαστρεβλώνει την πραγματική εικόνα του εσωτερικού του δοκιμίου. Τονίζεται ότι τα μεταλλικά φύλλα που έχουν έντονες πτυχώσεις, παρότι το πραγματικό τους σχήμα καθόλου δεν σχετίζεται με ράβδους μεταλλικές, παρουσιάζουν υπερβολές οι οποίες είναι πολύ δύσκολο να διακριθούν από αυτές που δημιουργούνται από την ύπαρξη ράβδων οπλισμού μέσα στο σκυρόδεμα. Πάντως, όσο μικρό πάχος και αν διαθέτουν τα χαλυβδόφυλλα, δεν επιτρέπουν το σήμα να τα διαπεράσει.





Σάρωση 4.246: 296, 4 gain points(-11, -11, 17, 30), 12ns, D.C. 9.5

Σάρωση 4.247: 295, 4 gain points (-11, -11, 26, 36), 12ns, D.C. 9.5

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 900MHz

Η στατική δοκιμή γίνεται και πάλι στο σημείο όπου υπάρχει σκυρόδεμα χωρίς κανένα άλλο στοιχείο μέσα στο δοκίμιο. Εν αντιθέσει με τις αντίστοιχες σαρώσεις των άλλων δοκιμίων με την κεραία 900MHz, η εικόνα είναι πολύ καθαρή μέχρι τη στάθμη των 30cm όπου συναντάται η διεπιφάνεια σκυροδέματος και ράβδου. Αυτό δεν οφείλεται μόνο στις ρυθμίσεις gain οι οποίες δεν δημιουργούν ψευδείς αντανακλάσεις, αλλά και στο γεγονός ότι το δοκίμιο δεν έχει κανένα περιεχόμενο στοιχείο του οποίου η αντανάκλαση να συναντάται ενδιαμέσως.



Σάρωση 4.248: 195, 4 gain points (-5, 0, 9, 14), 13, D.C. 9.5

Οι σαρώσεις με την κεραία 900MHz δεν μπορούν να αποδώσουν με λεπτομέρεια τους σχηματισμού των χαλυβδόφυλλων, γιατί αυτή δεν είναι σε θέση να δημιουργήσει λεπτούς σχηματισμούς για τόσο μικρού πάχους δοκίμια. Συνεπώς, το σχήμα των φύλλων παρουσιάζεται

πιο χονδρικά, αλλά και πάλι δίνει την αίσθηση ότι πρόκειται για πολύ διαφορετικού σχήματος φύλλα.



Σάρωση 4.249: 458, 4 gain points (0, 0, 4, 16), 12ns, D.C. 9.5, χαλυβδόφυλλο Α



Σάρωση 4.250: 457, 4 gain points (0, 0, 4, 16), 12ns, D.C. 9.5, κυματοειδές χαλυβδόφυλλο



Σάρωση 4.251: 458, 4 gain points (0, 0, 4, 16), 12ns, D.C. 9.5, χαλυβδόφυλλο B

Το χαλυβδόφυλλο Α είναι εμφανές ότι δεν πρόκειται για ένα λείο φύλλο (άλλωστε έχει απόσταση πτυχώσεων ίση με 4cm), αλλά οι υπερβολές του δεν σχηματίζονται καθαρά, αφήνοντας της εντύπωση μιας ασαφούς πτύχωσης. Αντιθέτως, το χαλυβδόφυλλο Β και το τούβλο είναι αρκετά ορατά, αλλά το πάχος των αντανακλάσεων είναι ιδιαίτερα έντονο. Τέλος, το κυματοειδές χαλυβδόφυλλο, λόγω των ήπιων κυμάτων του, των οποίων η απόσταση εσοχών και εξοχών δεν ξεπερνά τα 2 cm, εμφανίζεται σαν ένα εντελώς λείο μεταλλικό στοιχείο με πολύ σαφή τριάδα αντανάκλασης, ίδια με αυτή που συναντάται όταν διασχίζει η κεραία ένα μεταλλικό οπλισμό κατά μήκος. Επομένως, όπως φάνηκε από τις παραπάνω εικόνες, η κεραία 900MHz δεν είναι σε θέση να αποδώσει διαφορετικά βάθη μεταλλικών πτυχώσεων όταν αυτές είναι μικρότερες των 4cm περίπου.

Σαρώσεις με την κεραία συχνότητας 2600MHz

Χαρακτηριστικό της κεραίας 2600MHz είναι η ικανότητα απόδοσης λεπτών διαφορών στα περιεχόμενα δοκιμίων πάχους ως 30cm, χάρη στην υψηλή συχνότητα με την οποία εκπέμπει κύματα. Το σχήμα σε όλα τα χαλυβδόφυλλα διακρίνεται πολύ καλά, καθώς αποδίδεται με λεπτομέρεια η διαφορετικότητα των πτυχώσεων. Συγκεκριμένα, στο χαλυβδόφυλλο B είναι εμφανείς όχι μόνο οι εσοχές, αλλά και οι εξοχές του φύλλου, που απέχουν μεταξύ τους 8cm. Όπως φαίνεται και στη φωτογραφία, οι κορυφές που βρίσκονται πιο κοντά στην κεραία έχουν μικρότερο πλάτος από αυτές που βρίσκονται πιο μακριά. Έτσι, λόγω του υπερδιπλάσιου πλάτους τους, οι κορυφές που βρίσκονται σε βάθος 30cm καταφέρνουν να φανούν στα τμήματα μεταξύ των υπερβολών των ρηχότερων κορυφών. Αυτό απεικονίζεται με πράσινο χρώμα στη σάρωση του χαλυβδόφυλλου B. Δεν είναι ορατή η πιο απομακρυσμένη από το τούβλο κορυφή, γιατί στο σημείο αυτό του δοκιμίου υπάρχει άγκιστρο για τη διευκόλυνση τυχόν μετακίνησής του.



Σάρωση 4.252: 28, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9.5



Σάρωση 4.253: 029, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9.5



Σάρωση 4.254: 030, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9.5



Σχήμα 4.124: Φωτογραφία χαλυβδόφυλλου Β όπου φαίνεται η διαφοροποίηση του πλάτους των εσοχών και των εξοχών

Όσον αφορά την κατακόρυφη σάρωση πάνω από το τούβλο και με κατεύθυνση προς αυτό, η εικόνα που προκύπτει είναι όμοια με αυτή της κεραίας 1600MHz. Η αντανάκλαση του τούβλου είναι πολύ έντονη και πριν η κεραία φτάσει στο τούβλο ήταν αρκετά έντονη και η αντανάκλαση του πάχους του δοκιμίου.



Σάρωση 4.255: 031, depth 40cm, 1 gain point (-12.7) auto, D.C. 9.5

Συγκριτικά Σχόλια

	 <u>ΚΕΡΑΙΑ 900MHz</u> Διακριτές οι εσοχές του φύλλου, αλλά πολύ θολές Έντονη αλλά θολή αντανάκλαση τούβλου Δεν δημιουργούνται αντανακλάσεις εξαιτίας ρυθμίσεων gain
0.10 0.0 0.10 0.10 0.20 0.30 0.40	 <u>ΚΕΡΑΙΑ 1600MHz</u> Πολύ διακριτές οι εσοχές του φύλλου Έντονη αντανάκλαση τούβλου Δεν δημιουργούνται αντανακλάσεις εξαιτίας ρυθμίσεων gain
	 <u>ΚΕΡΑΙΑ 2600MHz</u> Πολύ διακριτές οι εσοχές και οι εξοχές του φύλλου Έντονη αντανάκλαση τούβλου Δημιουργείται θόρυβος εξαιτίας ρυθμίσεων gain

Σχήμα 4.125: Συγκρίσεις σαρώσεων του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου Β με τρεις διαφορετικές κεραίες



Σχήμα 4.126: Συγκρίσεις σαρώσεων του κυματοειδούς χαλυβδόφυλλου με τρεις διαφορετικές κεραίες


Σχήμα 4.127: Συγκρίσεις σαρώσεων του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου Α με τρεις διαφορετικές κεραίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος είναι κατασκευασμένο σε δύο φάσεις. Στην εικόνα ο αρμός μεταξύ των τμημάτων των διαφορετικών φάσεων συμβολίζεται με τη διακεκομμένη γραμμή, ενώ επίσης σημειώνεται και ο προσανατολισμός δύο όψεων. Το τμήμα πάνω από τη γραμμή είναι το νέο. Το εργαστήριο απαρτίζεται από τρία επίπεδα. Σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν σε ορισμένους χώρους του ισογείου και του Ά ορόφου. Οι διαστάσεις των χώρων αυτών μετρήθηκαν και στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται οι αντίστοιχες κατόψεις.



Σχήμα 5.1: Αεροφωτογραφία Εργαστηρίου Ω.Σ. (map.ntua.gr)

Όσον αφορά το ισόγειο του εργαστηρίου, έγιναν σαρώσεις μόνο στις πλάκες και τον βραχύ πρόβολο του παλαιού τμήματος και στη βάση πλαισίου δοκιμών που στεγάζει το νέο κτίριο, η οποία όμως δεν παρουσιάζεται στην κάτοψη. Στον Ά όροφο έγιναν σαρώσεις στις πλάκες του παλιού και νέου τμήματος καθώς και λίγες ενδεικτικές του υποστυλώματος εκατέρωθεν του αρμού. Παρουσιάζονται πρώτα τα αποτελέσματα του ορόφου, καθώς κρίνονται πιο σαφή και κατατοπιστικά.





Αποτιμήση Της Εσωτερικής Κατάστασης Στοιχείων Από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα Με Τη Χρήση Ραντάρ

5.1 Πρώτος όροφος του Εργαστηρίου

Διέρειστες Πλάκες

Πλάκες Π1-Π2:

Σάρωση κάθετα στη δοκό



Στην ακόλουθη σάρωση φαίνεται στα αριστερά του αρχείου το πάχος της πλάκας Π2 και στα δεξιά το πάχος της Π1, ενώ ενδιαμέσως υπάρχει δοκός ύψους ενός μέτρου. Παρατηρείται ότι τα πάχη των δύο πλακών είναι ίσα και κυμαίνονται μεταξύ 16÷17cm, χωρίς να προσμετρείται η επικάλυψη, της οποίας το πάχος είναι 10cm περίπου, όπως φαίνεται από τη γραμμική αντανάκλαση που υπάρχει σε αυτό το βάθος. Το πάχος αυτό του μωσαϊκού δικαιολογείται από την επιδίωξη της ύπαρξης μιας επαρκούς επικάλυψης πάνω από το σκυρόδεμα ώστε να το προστατεύει από τυχόν κρούσεις. Η σάρωση έγινε κάθετα στο μήκος της δοκού, συνεπώς οι οπλισμοί που είναι ορατοί αποτελούν τη διανομή των πλακών και τα άνω σίδερα (montage) της δοκού.



Σάρωση 5.1: 515, 4 gain points(-15, -15, 4, 15), 15ns, D.C. 6.25

Πλάκα Π2: Κύριος οπλισμός

Παρακάτω παρουσιάζονται σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν στην Π2 με διεύθυνση παράλληλη στη δοκό μεταξύ Π2 και Π3. Η απόσταση κάθε σάρωσης μετράται από την παρειά του υποστυλώματος, από την πλευρά της Π2. Η πρώτη σάρωση είναι σε απόσταση 2,80m από το

σημείο αυτό και έπειτα παράλληλες σαρώσεις επαναλαμβάνονται ανά 40cm. Σκοπός είναι η εύρεση του σημείου από το οποίο ξεκινά το σπάσιμο των οπλισμών και ο εντοπισμός των οπλισμών που τοποθετούνται στη στήριξη άνω (καπάκια), καθώς και των συνδετήρων της δοκού.





Σάρωση 5.6: 460, 5 gain points (-15,-10, 0, 5,10), 10ns, D.C. 6.25,1.20m

Σε όλες τις παράλληλες σαρώσεις, μέχρι και σε αυτήν που απέχει 1,20m από την παρειά της δοκού, η εμφάνιση των οπλισμών δεν παρουσιάζει καμία μεταβολή Μέσα σε μήκος ενός μέτρουόπως οριοθετείται από τις εστιγμένες μαύρες γραμμές στο σχήμα- μετρώνται 6 υπερβολές (κόκκινο χρώμα). Δύναται να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η πλάκα διαθέτει κύριο οπλισμό Φ?/16. Επίσης, το πάχος της πλάκας (ροζ χρώμα) χωρίς την επικάλυψη (πορτοκαλί χρώμα) μετράται 16÷17cm. Ο σχηματισμός υπερβολής στη διεπιφάνεια κεραίας και πλάκας οφείλεται στην ύπαρξη μεταλλικού αρμού. Επιλέχθηκε να εξεταστεί η περιοχή από 1,00m ως 2,00m διότι δεν επηρεάζεται από την αντανάκλαση του μεταλλικού αρμού. Η επικάλυψη των οπλισμών από την κάτω ίνα του σκυροδέματος μετράται περίπου 2cm. Στο παράρτημα γίνεται πιο ενδελεχής αναφορά στο θέμα της επικάλυψης των οπλισμών.



Σχήμα 5.3: Μεταλλικοί αρμοί μωσαϊκού



Σάρωση 5.7: 461, 5 gain points (-15,-10, 0, 5,10), 10ns, D.C. 6.25, 0.80m

Σε απόσταση ίση με 0,80m από την παρειά της δοκού μετρώνται 4 σίδερα άνω και 4÷5 σίδερα κάτω μέσα σε μήκος ενός μέτρου. Αυτό σημαίνει ότι ήδη ο μισός οπλισμός της πλάκας έχει ανυψωθεί εν όψει της κοντινής στήριξης και πως ένα από τα άνω σίδερα της γειτονικής πλάκας (Π3) ή ένα καπάκι είναι ορατό μέσα στην πλάκα Π2.



Σάρωση 5.8: 462, 5 gain points (-15,-10, 0, 5,10), 10ns, D.C. 6.25,**0.40m**



Σάρωση 5.9: 463, 5 gain points (-15,-10, 0, 5,10), 10ns, D.C. 6.25, 0.00m

Στις δύο παραπάνω σαρώσεις δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές, παρότι έγιναν σε διαφορετικές θέσεις. Και στις 2 παρουσιάζονται πολύ κοντινές ράβδοι οι οποίες είναι δύσκολο να διαχωριστούν. Δύο ράβδοι που απέχουν 5÷7,5cm (όσο το μήκος κύματος της 51600S) παρουσιάζουν οριακά ξεχωριστές αντανακλάσεις. Μόνο οι άνω ράβδοι είναι διακριτές και μετρώνται 9 από αυτές σε διάστημα 1m, όπως φαίνεται μέσα στο σχήμα (κόκκινο χρώμα). Είναι εύλογη υπόθεση το να θεωρηθεί ότι οι 3 προέρχονται από τη μια πλάκα, ακόμα 3 από την άλλη και οι υπόλοιπες 3 είναι καπάκια.





Η μέτρηση των οπλισμών που βρέθηκαν στη σάρωση κατά μήκος της δοκού δεν είναι ευχερής, διότι οι αντανακλάσεις είναι πολλές σε αριθμό και συγχέονται μεταξύ τους, μην επιτρέποντας τη διεξαγωγή ενός ασφαλούς αποτελέσματος. Σημειώνεται ότι τα άνω σίδερα που σαρώθηκαν έχουν επικάλυψη 6cm από την άνω ίνα του σκυροδέματος, δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από αυτή που έχουν τα κάτω σίδερα από την κάτω ίνα σκυροδέματος στα ανοίγματα.

<u>Δευτερεύων οπλισμός</u>

Παρουσιάζονται στη συνέχεια οι σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν στην πλάκα Π2 και που έχουν διεύθυνση κάθετη στο μήκος των δοκών.



Σάρωση 5.11: 466, 5 gain points (-15,-10, 0, 5,10), 10ns, D.C. 6.25, από Π2 προς Π3

Φαίνεται ότι η πλάκα Π2 παρουσιάζει μια ελαφρά κλίση, αφού το πάχος της φαίνεται να μην είναι εντελώς σταθερό σε όλο το μήκος της διαδρομής. Το πάχος της κυμαίνεται στα 16÷17cm και είναι διακριτοί οι οπλισμοί διανομής. Συναντάται αραιός οπλισμός διανομής (κόκκινο χρώμα), ενώ κοντά στις στηρίξεις διακρίνεται από ένας ακόμα οπλισμός διανομής (μπλε χρώμα) που πιθανόν εδράζεται στον κύριο οπλισμό που ανυψώνεται κοντά στις στηρίξεις (πράσινο χρώμα).

Ομοίως, το ίδιο συμπέρασμα λαμβάνεται και από την παρακάτω σάρωση. Συνάγεται ότι, εφόσον για 4 μέτρα σάρωσης βρέθηκαν 4 οπλισμοί διανομής κάτω και 2 άνω κοντά στις στηρίξεις, έχει τοποθετηθεί περίπου 1 οπλισμός διανομής ανά 1 μέτρο και έχει τοποθετηθεί ένας ακόμα πλησίον κάθε στήριξης.



Σάρωση 5.12: 515, 4 gain points(-15, -15, 4, 15), 15ns, D.C. 6.25

Πλάκες Π2-Π3: Συλλογή πληροφοριών 3D



Σχήμα 5.4: Περιοχή πραγματοποίησης τρισδιάστατης σάρωσης σε επιφάνεια 300x200, κάναβο 10x10, με χρήση της κεραίας 1600MHz, GRID 011, 5 gain points(-20, -10, 0, 10, 20), 10ns, D.C. 6.25



Σχήμα 5.5: Τρισδιάστατη απεικόνιση σε βάθος
 a) 17cm, b)24cm, c)30cm

Τα πρώτα 10cm του βάθους αντιστοιχούν σε μωσαϊκό, συνεπώς η εικόνα δεν είναι κατατοπιστική, μιας και καμία αντανάκλαση πέραν των μεταλλικών αρμών δεν είναι εμφανής. Έπειτα, στα 16cm βάθους διαφαίνεται αφενός ο κύριος οπλισμός των πλακών Π2 και Π3, ο οποίος έχει καμφθεί προς τα άνω κοντά στην στήριξη, αφετέρου οι οπλισμοί διανομής που έχουν

και εκείνοι ανυψωθεί εκατέρωθεν της στήριξης. Έπειτα, σε βάθος 24cm αρχίζουν να εμφανίζονται οι κύριοι οπλισμοί που έχουν παραμείνει στο κάτω μέρος των πλακών, μακριά από τη δοκό. Τέλος, σε βάθος 30cm απεικονίζεται με γκρι χρώμα η περιοχή των πλακών που είναι σε επαφή με τον αέρα και με μαύρο χρώμα η περιοχή της δοκού η οποία δεν έχει ίδιο πάχος με τις πλάκες, οπότε έχει και διαφορετική αντανάκλαση αφού δεν έχει επαφή με τον αέρα στο συγκεκριμένο βάθος. Οι παρατηρήσεις αυτές παρουσιάζονται στο παραπάνω σχήμα.

Για να συλλεχθεί το τρισδιάστατο αρχείο μεγέθους 2x3m απαιτήθηκε ο συνδυασμός 52 δισδιάστατων σαρώσεων. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα που αποτελεί μία από αυτές, η κεραία διατρέχει το μήκος ενός οπλισμού που έχει ανυψωθεί στην στήριξη(κόκκινο χρώμα). Ο οπλισμός αυτός μπορεί να είναι είτε κύριος οπλισμός, προερχόμενος από μια εκ των δύο πλακών, είτε καπάκι.



Σάρωση 5.13: GRID 011, file 011







Σάρωση 5.14: 122, 5 gain points (-13, -13, -3, -3, 11), 10ns, D.C. 6.25

Η διεύθυνση της σάρωσης είναι κάθετη στον κύριο οπλισμό της πλάκας και η θέση είναι απομακρυσμένη από στήριξη. Η πλάκα φαίνεται ότι διαθέτει κύριο οπλισμό Φ?/16. Παρατηρείται ότι παρόλο που τα πρώτα τέσσερα σημεία gain είναι αρνητικά, αποδυναμώνοντας το σήμα, η εικόνα είναι σαφής σε ικανοποιητικό βαθμό ώστε να μπορέσουν να εντοπιστούν οι οπλισμοί μέσα στην πλάκα. Το γεγονός ότι η πλάκα δεν διαθέτει στο μέσον της οπλισμούς σε κλιμακωτά βάθη, καθιστά απλούστερο τον εντοπισμό τους. Η πλάκα έχει πάχος περίπου 17cm, αφαιρουμένου του μωσαϊκού.

Αξιοποιώντας τις δισδιάστατες σαρώσεις που συνθέτουν το τρισδιάστατο μοντέλο που παρουσιάστηκε προηγουμένως, παρατίθενται ορισμένες σαρώσεις της πλάκας Π3 που απέχουν μεταξύ τους 10cm και αφορούν τον κύριο οπλισμό της (αρχεία διεύθυνσης Y). Όπως παρατηρείται παρακάτω, στην πρώτη εικόνα βρίσκονται όλα τα σίδερα κάτω. Στη δεύτερη υπάρχει μεν ο ίδιο αριθμός οπλισμών κάτω (6), όμως συναντώνται και 3÷4 άνω σίδερα μέσα σε λωρίδα πλάτους ενός μέτρου, που σημαίνει ότι τα ανυψωμένα σίδερα της γειτονικής πλάκας (Π2) έχουν εισχωρήσει στην Π3, λίγο πριν καμφθούν και τα μισά δικά της. Στην τρίτη εικόνα διαφαίνεται ότι υπάρχει κάποιος οπλισμός κάτω, ωστόσο με ένταση παρουσιάζονται μόνον τα άνω σίδερα, τα οποία σε πλάτος ενός μέτρου είναι 6 σε αριθμό. Θεωρείται πως έχουν καμφθεί και οι μισοί οπλισμοί της Π3 πλέον. Στην τελευταία εικόνα οι άνω υπερβολές είναι 9, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σε ένα μέτρο υφίστανται 3 καπάκια.



Σχήμα 5.6: Σαρώσεις κάθετα στον κύριο οπλισμό της πλάκας Π3. Οι αποστάσεις μεταξύ των σαρώσεων είναι 10cm.Οι σαρώσεις αποτελούν αρχεία του GRID 011.

Η Σάρωση 5.15 πραγματοποιήθηκε στην πλάκα, παράλληλα στη δοκό μεταξύ Π3 και Π4 και σχετικά κοντά στη δοκό. Παρατηρείται ότι είναι ορατές δύο στρώσεις οπλισμών. Η μια είναι σε βάθος 26cm από την επιφάνεια και η άλλη σε 16cm. Είναι φανερό πως τα μισά σίδερα της πλάκας σπάνε για να ανέβουν στη δοκό, ενώ τα υπόλοιπα μισά παραμένουν στο κάτω μέρος της πλάκας. Λόγω της επεξεργασίας με το RADAN, είναι αρκετά διακριτή η αντανάκλαση του μωσαϊκού. Η ευθεία που σαρώθηκε δεν έχει επηρεαστεί από τους οπλισμούς της γειτονικής πλάκας. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση της γειτνίασης της πλάκας Π3 με την Π4, δεν συμβαίνει το ίδιο που παρατηρήθηκε με αυτήν της Π3 με την Π2. Εδώ είναι εμφανές πως πρώτα «έσπασαν» τα σίδερα της ίδιας της Π3, πριν εμφανιστούν στη σάρωση τα σίδερα που εισέρχονται στην Π3 από την Π4.





Σάρωση 5.15: 121, 5 gain points (-13, -13, -3, -3, 11), 10ns, D.C. 6.25

Δευτερεύων οπλισμός



Σάρωση 5.16: 515, 4 gain points(-15, -15, 4, 15), 15ns, D.C. 6.25

Ισχύουν τα ίδια με όσα αναφέρθηκαν για την πλάκα Π2.

Πλάκες Π3-Π4 Σαρώσεις κάθετα στη δοκό



Οι πλάκες Π3 και Π4 επιβεβαιώνεται ότι έχουν ελαφρώς διαφορετικό πάχος, με μικρότερη την Π3, όπως φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες, όπου η αριστερά πλάκα είναι η Π4 και η δεξιά η Π3. Θέτοντας range ίσο με 10ns είναι πολύ διακριτά τα πάχη των πλακών. Προκειμένου να βρεθεί το πάχος της δοκού που είναι περίπου τριπλάσιο του πάχους της πλάκας, είναι λογικό να τεθεί τριπλάσιο gain. Παρότι η κεραία 1600MHz δεν είναι κατάλληλη για εντοπισμό στόχων σε απόσταση μεγαλύτερη των 15÷20ns, στη συγκεκριμένη περίπτωση η επαφή του κάτω μέρους της δοκού με τον αέρα φαίνεται σε σωστό βάθος. Πέραν των άνω οπλισμών της δοκού, κανένα άλλο στοιχείο δεν μπορεί να εντοπιστεί.



Σάρωση 5.17: 124, 5gain points (-9, -9, 14, 14, 31), 15ns, D.C. 6.25 Σάρωση κατά μήκος της δοκού

Σάρωση 5.18: 126, 5gain points (-18, -4, 18, 22, 36), 30ns, D.C. 6.25





Σχήμα 5.7: Σάρωση κατά μήκος του μαρμάρου, κεντρικά της δοκού, μεταζύ Π3 και Π4

Η σάρωση πραγματοποιείται κατά μήκος της δοκού, στο μέσον του πλάτους της, στην άνω πλευρά της. Στην πρώτη εικόνα το range δεν έχει αυξηθεί κατάλληλα, καθώς δεν αποτελούσε σκοπό να φανεί ολόκληρο το ύψος της δοκού. Το gain ήταν αυτόματο και παρατηρείται ότι τα 4 πρώτα σημεία είναι αρνητικά, επειδή ο συνωστισμός οπλισμού δεν θα άφηνε το σήμα να περάσει, εάν δεν αποδυναμωνόταν η αντανάκλασή του. Είναι και πάλι ορατό το πάχος της επικάλυψης. Οι υπερβολές αντιστοιχούν συνολικά στο άνω τμήμα των συνδετήρων της δοκού, στα κεκαμμένα σίδερα των εκατέρωθεν πλακών και στα καπάκια που τοποθετούνται στη στήριξη. Ο διαχωρισμός τους, ωστόσο, δεν έχει καταστεί δυνατός. Στη δεύτερη εικόνα, η κεραία 51600S κατάφερε να δείξει το πάχος της δοκού, παρότι δεν προορίζεται για χρήση σε στοιχεία τόσο μεγάλου πάχους. Η αιτία για την οποία είναι εφικτή η θέαση του κάτω μέρους της δοκού είναι το γεγονός ότι η αντανάκλαση που προκύπτει από τη διεπιφάνεια σκυροδέματος και αέρα είναι πολύ έντονη, ενώ τα ρηχά μεταλλικά στοιχεία επισκιάζουν τα βαθύτερα.



Σάρωση 5.19: 120, 5 gain points(-13, -13, -3, -3, 11), 10ns, D.C. 6.25



Σάρωση 5.20: 129, 5 gain points(-12, -12, 16, 16, 19), 30ns, D.C. 6.25

Στην περίπτωση της δοκού, η χρήση της κεραίας 900MHz δεν προσέφερε παραπάνω στοιχεία, αφού μόνο το πάχος της δοκού είναι αρκετά εμφανές στην παρακάτω σάρωση. Οι τοποθετημένοι άνω οπλισμοί δεν απεικονίζονται με καλοσχηματισμένες καμπύλες, όχι μόνο εξαιτίας των διακυμάνσεων στην ταχύτητα κίνησης της κεραίας, αλλά και λόγω του μεγάλου αριθμού των οπλισμών.



Σάρωση 5.21: 477, 4 gain points(-9, -9, 7, 20), 25ns, D.C. 6.25, 900MHz

Πλάκα Π4:

Δεν έχει διενεργηθεί σάρωση για εύρεση του κύριου οπλισμού.

<u>Δευτερεύων οπλισμός</u>



Είναι εμφανής μια σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με τις προηγούμενες όμοιες σαρώσεις. Σε αυτήν την πλάκα συναντώνται περίπου 4 οπλισμοί διανομής μέσα σε ένα μέτρο πλάκας, δηλαδή ο **οπλισμός διανομής** είναι **Φ?/25**. Το πάχος της πλάκας σκυροδέματος βρίσκεται ίσο με 19÷20cm.



Σάρωση 5.22: 515, 4 gain points(-15, -15, 4, 15), 15ns, D.C. 6.25

Πλάκες Π4-Π5:

Σαρώσεις κάθετα στη δοκό:





Σάρωση 5.23: 476, 4 gain points(-16, -2, 15, 30), 25ns, D.C. 6.25, 900MHz.

Η χρήση της κεραίας συχνότητας 900MHz έχει ως αποτέλεσμα τη σαφή απεικόνιση των παχών των στοιχείων. Οι πλάκες Π4(κόκκινο χρώμα) και Π5(κίτρινο χρώμα) έχουν πάχος περίπου 30cm μαζί με το μωσαϊκό, μετρώντας στο μέσον της μαύρης αντανάκλασης, ενώ η αντανάκλαση του πάχους της δοκού (μπλε χρώμα) συναντάται σε βάθος 1m. Εξαιτίας της σχετικά χαμηλής συχνότητας, δεν είναι αρκετά εμφανή τα περιεχόμενα των πλακών, για αυτό προτιμάται η χρήση του μοντέλου 3101A για την εύρεση των παχών και του 51600S για την αποσαφήνιση των περιεχομένων των πλακών.



Σάρωση 5.24: 112, 5 gain points (-18, -18, 0, 0, 19), 10ns, D.C. 6.25, από την Π5 προς την Π4

Κατά τα πρώτα 65cm της σάρωσης, στην επιφάνεια της πλάκας Π5 συναντάται τσιμεντοκονία και, εξετάζοντας την οροφή του ισογείου, παρατηρείται ότι στο σημείο αυτό υπάρχει μεταλλικό στοιχείο. Έτσι ερμηνεύεται αφενός η διαταραχή που προκαλείται στην αντανάκλαση της επιφάνειας, αφετέρου η έντονη αντανάκλαση που συμβαίνει κάτω από τη διαταραχή αυτή (κόκκινο χρώμα).



Σχήμα 5.8: Μεταλλικό στοιχείο τοποθετημένο στην οροφή του ισογείου, πλησίον των οπών

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η σάρωση της ίδιας περιοχής με διαφορετικές ρυθμίσεις gain. Παρατηρείται πως οι ρυθμίσεις της δεύτερης εικόνας αποδίδουν ελαφρώς σαφέστερα αποτελέσματα.



Σάρωση 5.25: 116, 5 gain points (-20, -17, 2, 2, 20), 10Ns, D.C. 6.25



Σάρωση 5.26: 117, 5 gain points (-17, -17, 8, 15, 15), 10ns, D.C. 6.25

Σαρώνονται δύο πλάκες και το μεταξύ τους δοκάρι, κάθετα στη δοκό. Καταρχάς, παρατηρείται ότι σε ένα μέτρο συναντώνται 4 σίδερα κάτω, που αποτελούν τον <u>οπλισμό διανομής της πλάκας</u> <u>Π5 (κόκκινο χρώμα</u>). Ομοίως συμβαίνει και με τον οπλισμό διανομής της πλάκας Π4 (πράσινο χρώμα). Η περιοχή στην οποία χάνεται η ένδειξη του πάχους της πλάκας είναι η περιοχή του δοκαριού, πλάτους 45cm. Η κρέμαση του δοκαριού έχει μετρηθεί 70cm οπότε το συνολικό του ύψος υπολογίζεται 1,0m. Το ύψος του δεν θα μπορούσε να γίνει ορατό στην παραπάνω εικόνα εξαιτίας της μικρής τιμής range.



Σάρωση 5.27: 515, 4 gain points(-15, -15, 4, 15), 15ns, D.C. 6.25





Σάρωση 5.28:110, 4 gain points (-20, 8, 15, 39), 30ns, D.C. 6.25



Σχήμα 5.9: Οπή στην πλάκα: με κόκκινο χρώμα συμβολίζεται η διεπιφάνεια μεταζύ μωσαϊκού και σκυροδέματος

Η παραπάνω σάρωση παρουσιάζει δύο διαφορετικά στοιχεία σε αντιπαραβολή: αριστερά της κόκκινης γραμμής σαρώνεται η διέρειστη πλάκα σκυροδέματος με επικάλυψη μωσαϊκού και δεξιά σαρώνεται τοιχίο σκυροδέματος πάχους 15 cm μακριά από την περιοχή του κρυφού υποστυλώματος. Συναντώνται τρεις οπές στην πλάκα, από τις οποίες είναι δυνατόν να μετρηθεί το πάχος της καθώς και το πάχος της επικάλυψης. Η πλάκα έχει πάχος 29cm συμπεριλαμβανομένου του γεμίσματος-πατώματος, ενώ αυτό έχει πάχος 10cm. Χρησιμοποιήθηκε η διηλεκτρική σταθερά **6.25** για τις σαρώσεις όλων των πλακών του ορόφου του εργαστηρίου, αφού διαπιστώθηκε ότι αυτή η τιμή αποδίδει το πραγματικό πάχος της πλάκας Π5, όπως αυτό μετρήθηκε από την οπή.

Η επιλογή του range δεν ήταν καίρια, διότι τα στοιχεία καταλαμβάνουν ένα μικρό μόνο μέρος του κατακόρυφου άξονα, ενώ το υπόλοιπο αποτελεί μη αξιολογήσιμο αποτέλεσμα. Παρατηρείται ότι μετά τα 1,25m βάθος επαναλαμβάνεται η αντανάκλαση της επιφάνειας με ανεστραμμένη πολικότητα.

Η σάρωση πραγματοποιήθηκε κατά μήκος της μεγάλης διάστασης της διέρειστης πλάκας μακριά από στήριξη, με αποτέλεσμα ο κύριος οπλισμός να είναι κάθετος στην κίνηση του τροχήλατου οχήματος. Εκτιμάται και πάλι πως η επικάλυψη των οπλισμών είναι περίπου 2cm και πως σε ένα μέτρο συναντώνται 6 σίδερα. Σε ό,τι αφορά το τοιχίο, παρουσιάζεται η διαφορά στο πάχος, αλλά και στην αντανάκλαση της επιφάνειας, κοντά στην οποία το ραντάρ ανιχνεύει οπλισμό.

Θέτοντας range 3 φορές μικρότερο από την πρώτη σάρωση (από 30ns σε 10ns) η εικόνα που λαμβάνεται είναι πιο ευκρινής και δεν περιέχει πολλές πληροφορίες μη σχετικές με το υπό μελέτη στοιχείο. Το πάχος του μωσαϊκού βρίσκεται 10 cm ενώ της πλάκας 29 cm, με τα σίδερα να εντοπίζονται στα 27cm. Ο κύριος οπλισμός και σε αυτήν την περίπτωση είναι **Φ**?/16.



Σάρωση 5.29: 113, 5 gain points (-18, -18, 0, 0, 19), 10ns, D.C. 6.25

Συγκεντρωτικές Παρατηρήσεις

Σε όλες τις πλάκες το πάχος του μωσαϊκού μετρήθηκε στα 10cm. Με χρήση της ίδιας διηλεκτρικής σταθεράς, το καθαρό πάχος σκυροδέματος βρέθηκε ίσο με το αναγραφόμενο στον πίνακα. Επίσης, στον πίνακα περιλαμβάνονται και οι οπλισμοί που φάνηκε να διαθέτουν οι πλάκες. Δεν μπορεί να εκτιμηθεί η διάμετρός τους.

	Π1	П2		П3		П4		П5	
Πάχος (cm)	16÷17	16÷17		17		19÷20		19÷20	
Κύριος	-	Φ?/16		Φ?/16		-		Φ?/16	
Δευτερεύων	-	Φ?/100		Φ?/100		Φ?/25		Φ?/25	
Στηρίξεων	-		Φ?/33		-		-		

Πίνακας 5.1:Πάχη και οπλισμοί των πλακών Ά ορόφου. Τα κελιά όπου υπάρχουν παύλες είναι αυτά για τα οποία δεν υπάρχουν στοιχεία από την παρούσα εργασία.

Ο οπλισμός διανομής και τα πάχη των πλακών διακρίνονται με ενάργεια στην παρακάτω σάρωση.



Σάρωση 5.30: 515, 4 gain points(-15, -15, 4, 15), 15ns, D.C. 6.25

Τριέρειστες πλάκες

Σαρώσεις κάθετα στις δοκούς:

Μετράται το πάχος των τριέρειστων πλακών ίσο με 22cm στο ελεύθερο άκρο τους. Οι πλάκες στηρίζονται σε δοκούς μεταβλητού ύψους, το αρχικό-μικρότερο-ύψος των οποίων είναι 45cm ενώ το μεγαλύτερο 72cm και το πλάτος τους είναι 60cm.





Σχήμα 5.10: Τριέρειστη πλάκα

Σχήμα 5.11: Δοκός μεταβλητού ύψους

Εξετάζεται η πλάκα Π6, η οποία αντιστοιχεί στο «δωμάτιο 1» της κάτοψης.



Σάρωση 5.31: 155, 5 gain points(-18, -18, 9, 9, 24), 12ns, D.C. 7

Με την επιλογή διηλεκτρικής σταθεράς ίσης με 7, το πάχος της πλάκας (ροζ χρώμα) αποκτά σωστή τιμή ίση με 22cm (πρώτη αρνητική αντανάκλαση). Διακρίνονται δύο στρώσεις οπλισμού στην πλάκα: το άνω (κόκκινο χρώμα), που εντοπίζεται σε βάθος 8cm από την επιφάνεια και αποτελείται από 13 σίδερα και το κάτω (πράσινο χρώμα), σε βάθος 19cm, που αποτελείται από 11 σίδερα. Η επαρκής απόσταση της άνω στρώσης από την κάτω συνεισφέρει στον εντοπισμό της δεύτερης. Όταν κάτω ακριβώς από μια ράβδο τοποθετείται μια δεύτερη, τότε αυτή είναι πιο εύκολα ορατή αν η απόστασή τους στον κατακόρυφο άξονα είναι της τάξης των 10÷12cm (Nisingizwe, 2007). Εάν, επίσης, η οριζόντια απόσταση των ράβδων είναι μεγαλύτερη των 2,50cm τότε είναι πολύ πιθανό να εντοπιστεί το δεύτερο στρώμα. Το μωσαϊκό δεν έχει τόσο μεγάλο πάχος όσο στις διέρειστες πλάκες του παλιού τμήματος του εργαστηρίου και για το λόγο αυτό η αντανάκλαση του δεν είναι εμφανής στη σάρωση. Αν θεωρηθεί ένα σύνηθες πάχος μωσαϊκού, λ.χ. 5cm, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η πλάκα έχει πάχος σκυροδέματος ίσο με 17 cm περίπου. Σε ό,τι αφορά την πλάκα, ο οπλισμός που μπορούμε να συνάγουμε ότι έχει τοποθετηθεί είναι Φ?/16 άνω και Φ?/20 κάτω. Μεταξύ της πλάκας και των δύο δοκών (σε απόσταση περίπου 40cm από την άκρη των δοκών) δε φαίνεται να υπάρχει οπλισμός κάθετα στην κίνηση του τροχήλατου.

Στη Σάρωση 5.32 καταβλήθηκε προσπάθεια να γίνει εμφανές το πάχος των δοκών διπλασιάζοντας το range, εντούτοις αυτό δεν κατέστη δυνατό. Στο αριστερά μέρος της εικόνας, στα πρώτα εκατοστά της σάρωσης φαίνεται το συνολικό πάχος της διέρειστης πλάκας (~30cm). Ακριβώς από πάνω, η ύπαρξη τσιμεντοκονίας θολώνει την αντανάκλαση της επιφάνειας (μπλε χρώμα). Το καθένα από τα δύο δοκάρια διαθέτει 4 διαμήκη σίδερα άνω, ίσως ίδιας διαμέτρου με τα άνω σίδερα της πλάκας, αφού οι αντανακλάσεις τους δε φαίνεται να έχουν διαφορά στην ένταση, παρότι βρίσκονται στο ίδιο βάθος.



Σάρωση 5.32: 156, 5 gain points(-20, -7, 14, 23, 23), 25ns, D.C. 7



Σχήμα 5.12: Σάρωση που διήλθε πάνω από τσιμεντοκονία

Στη συνέχεια, στη Σάρωση 5.33, που διήλθε πάνω από την τσιμεντοκονία που υποδεικνύει τη θέση του αρμού μεταξύ των δύο τμημάτων, είναι εμφανής και πάλι η διαφορά παχών μεταξύ διέρειστης και τριέρειστης. Επίσης, η επιφάνεια παρουσιάζει θολή αντανάκλαση στο σημείο όπου υπάρχει τσιμεντοκονία και όχι μωσαϊκό.



Σάρωση 5.33: 160, 5 gain points (-20, -15, 18, 31, 31), 25ns, D.C. 7

Τέλος, σαρώνοντας στην κάθετη προς το ελεύθερο άκρο είναι ορατός ο κάτω και ο άνω οπλισμός κατά την κάθετη διεύθυνση από αυτή που ως τώρα εξετάστηκε. Είναι σαφώς ορατή η πύκνωση που αναμενόταν να υπάρχει στο ελεύθερο άκρο, σε διάστημα 1m. Ο οπλισμός που βρέθηκε κατά αυτήν την έννοια είναι Φ?/33 άνω και Φ?/33 κάτω. Η σάρωση πραγματοποιήθηκε κατά μήκος

ενός άνω οπλισμού κάθετου στο ελεύθερο άκρο, όπως υποδεικνύει η γραμμική αντανάκλαση βάθους 12cm (κόκκινο χρώμα).



Σάρωση 5.34: 469, 5 gain points (-15, -10, 0, 5, 10), 10ns, D.C. 7

Υποστυλώματα εκατέρωθεν αρμού





Σχήμα 5.13: Παλιό και νέο τμήμα υποστυλώματος και μεγέθυνση περιοχής αρμού

Σάρωση 5.35: 168, οριζόντια, 5 gain points (-20, -15, 8, 8, 16), 12ns, D.C. 6.25

Στην παραπάνω σάρωση η διαδρομή είναι οριζόντια και διαπερνά και το παλιό και το νέο κομμάτι. Αφετηρία κίνησης ήταν το παλιό κομμάτι. Είναι ορατή μια αναταραχή στην αντανάκλαση της επιφάνειας στο σημείο όπου υπάρχει αρμός (μπλε χρώμα). Γενικώς στις κατασκευές οι περισσότερες ρωγμές είναι πολύ μικρού εύρους για να προκαλέσουν μεταβολές στην αντανάκλαση του σήματος. Μόνο σε περιπτώσεις εύρους 2÷3cm ή και μεγαλύτερου μπορούν να παραχθούν αντανακλάσεις της ρωγμής ή εξασθένισης του σήματος, όπως συμβαίνει στην περίπτωση αυτή (*Tarussov et al. 2013*). Σε βάθος 23cm και στα δύο τμήματα εμφανίζεται μια έντονη αντανάκλαση, που πρόκειται για υπαρκτό αντικείμενο, ειδάλλως δεν θα διακοπτόταν στην περιοχή της ρωγμής. Ίσως να πρόκειται για μεταλλικό στοιχείο.

Όλες οι επόμενες σαρώσεις άρχισαν από το ίδιο σημείο του ύψους του υποστυλώματος και έγιναν με κατεύθυνση προς το κάτω μέρος του. Τόσο στο παλιό όσο και στο νέο τμήμα υπάρχουν 6 συνδετήρες μέσα σε μήκος 1,5 μέτρων, εντούτοις είναι διαφορετικά κατανεμημένοι. Στο νέο τμήμα παρατηρείται πως οι συνδετήρες είναι πυκνά τοποθετημένοι στο κατώτερο 1 μέτρο του ύψους, ενώ στο παλιό τμήμα οι αποστάσεις τους είναι μεγαλύτερες. Αυτό ίσως προκύπτει από το γεγονός ότι στις παλαιότερες κατασκευές δε συνηθιζόταν η τακτική της πύκνωσης των συνδετήρων στις περιοχές της κεφαλής και του πόδα του υποστυλώματος. Επίσης, παρατηρείται ότι στο νέο τμήμα η επικάλυψη των οπλισμών είναι πολύ μικρότερη και ότι δεν έχει ίσο πάχος καθ' ύψος (όσο κινούμαστε προς τα κάτω, τόσο μειώνεται η επικάλυψη). Σε όλες τις σαρώσεις είναι εμφανές ένα διάμηκες σίδερο σε βάθος λίγο μεγαλύτερο από των συνδετήρων. Στο νέο τμήμα, το διάμηκες σίδερο εμφανίζεται να γέρνει. Σε καμία σάρωση δεν είναι δυνατή η εμφάνιση του πάχους του στοιχείου, δεδομένου ότι αυτό είναι ίσο με 1,20m. Επίσης, υπάρχουν αρκετές αντανακλάσεις βάθους 0,20÷0,30m, όμως δεν αξιολογούνται.



Σάρωση 5.36: 165, νέο τμήμα, 5 gain points (-18, -18, 7, 16, 23), 12ns, D.C. 6.25



Σάρωση 5.38: 167, νέο τμήμα, 5 gain points (-15, -13, 7, 16, 23), 12ns, D.C. 6.25



Σάρωση 5.37: 164, παλιό τμήμα, 5 gain points (-18, -18, 7, 16, 23), 12ns, D.C. 6.25



Σάρωση 5.39: 166, παλιό τμήμα, 5 gain points (-15, -13, 7, 16, 23), 12ns, D.C. 6.25





ΣΤΑΤΙΚΗ ΤΟΜΗ Α-Α'

5.2 Ισόγειο του εργαστηρίου

Περιοχή Α

Κάθετα στις δοκούς της οροφής ισογείου





Σχήμα 5.14: Διεύθυνση σάρωσης

Η σάρωση γίνεται κάθετα στο δοκάρια που φαίνονται από τον άνω όροφο. Η αφετηρία της είναι στην περιοχή της πόρτας του παραπάνω και η λήξη της είναι η περιοχή πλησίον του μεταλλικού στοιχείου, συνεπώς σαρώνεται η περιοχή Α-4. Σε απόσταση 2,50m από την αρχή μέτρησης διαφαίνεται μια έντονη αλλά ασαφής αναταραχή κυρίως από το βάθος των 40cm και κάτω. Δεν είναι πολύ εμφανής καμία υπερβολή αλλά μόνο μια γραμμική αντανάκλαση σε βάθος 40cm περίπου με μεταβλητό, ωστόσο, βάθος (κόκκινο χρώμα). Το πάχος δεν είναι ευδιάκριτο. Σε βάθος περίπου 13cm είναι ορατή μια γραμμική αντανάκλαση (μπλε χρώμα). Είναι βέβαιο ότι η εικόνα που αποδίδεται δεν παραπέμπει σε καμία περίπτωση σε συμβατική πλάκα ορόφου, μιας και δεν τηρείται κάποια συνέπεια στη μορφή και στις αποστάσεις των αντανακλάσεων.



Σάρωση 5.40: 133, 5 gain points (-15, -7, 25, 25, 33), 30ns, D.C. 7

Μια σάρωση της περιοχής ίση με 12 μέτρα κάλυψε τις περιοχές A-2, A-3, A-4. Η έναρξη είναι στη θέση του ενδιάμεσου υποστυλώματος μεταξύ περιοχών A-5 και A-4. Η εικόνα παρουσιάζεται παρακάτω και είναι αρκετά δηλωτική της διαφοροποίησης των ενδείξεων σε κάθε περιοχή. Σε κάθε θέση όπου συναντάται υποστύλωμα, χαράσσεται από μια εστιγμένη γραμμή. Είναι εμφανές ότι στην πρώτη περιοχή που σαρώθηκε δεν είναι ορατό το βάθος ή κάποια ορισμένη διάταξη οπλισμών. Στις υπόλοιπες δύο περιοχές υπάρχει σαφής ένδειξη που θα μπορούσε να αποτελεί το πάχος των πλακών. Πιο αναλυτικά σχολιάζεται η σάρωση παρακάτω, όπου είναι χωρισμένη στις ανάλογες περιοχές.



Σάρωση 5.41: 516, 5 gain points(-15, -10, 5, 20, 25), 15ns, D.C. 6.25

Παρατηρείται ότι στο πρώτο μέρος διακρίνονται τρεις υπερβολές βάθους 10cm περίπου, πάνω από μια αρκετά έντονη αντανάκλαση σε βάθος 12÷13cm. Η διαταραχή αυτή εντοπίζεται μεταξύ δύο μεταλλικών αρμών του μωσαϊκού. Η ένδειξη αυτή είναι πολύ έντονη και εικάζεται ότι πρόκειται για ενισχυμένη ζώνη. Η θεώρηση μιας κοινής στάθμης στην οποία συναντώνται όλα τα θεμέλια των υποστυλωμάτων είναι εύλογη. Η περιοχή του σκάμματος (γύρω από το οποίο υπάρχουν οι βραχείς πρόβολοι), καθώς και ο ηλεκτρικός υποσταθμός του Εργαστηρίου βρίσκονται σε πολύ χαμηλότερο επίπεδο από τις πλάκες του ισογείου. Συνεπώς, γίνεται η εκτίμηση ότι τα θεμέλια βρίσκονται σε ένα ενιαίο βάθος μαζί με τα συνδετήρια δοκάρια, άρα οι περιοχή που αυτή δεν αποτελεί συνδετήρια δοκό.

Λαμβάνοντας μόνο το πρώτο τμήμα της προηγούμενης εικόνας, δηλαδή αυτό που αντιστοιχεί στην περιοχή A-4, διακρίνεται ότι υπάρχουν και άλλες αντανακλάσεις στην εικόνα, όπως οι υπερβολές βάθους 20cm περίπου που σημειώνονται με κίτρινο χρώμα ή η έντονη αντανάκλαση που σημειώνεται με βέλους ίδιου χρώματος, όμως καμία από αυτές δεν μπορεί να ερμηνευτεί με ασφάλεια. Όσες αντανακλάσεις σημειώνονται με κίτρινο βέλος (στα 35cm βάθος, περίπου) θα μπορούσαν να σηματοδοτούν την ύπαρξη διεπιφάνειας, αφού διαθέτουν μια τριάδα χρωμάτων.



Σάρωση 5.42: 516, 5 gain points(-15, -10, 5, 20, 25), 15ns, D.C. 6.25

Όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα, σε απόσταση 6 μέτρων από την αρχή, σημειώνεται μια πολύ έντονη αντανάκλαση που αντιστοιχεί σε μεταλλικό στοιχείο, το οποίο δεν είναι δυνατόν να γίνει διαπερατό από το σήμα. Πριν από αυτήν, διακρίνεται η διαταραχή που παρατηρήθηκε και στη Σάρωση 5.40. Αριστερά της εστιγμένης γραμμής υπάρχει η περιοχή A-4, ενώ δεξιά η A-3. Πάνω ακριβώς στη γραμμή εντοπίζεται μια αναταραχή. Μετά το μεταλλικό στοιχείο και ως το τέλος της σάρωσης (δηλαδή σε όλη την περιοχή A-3) η μαύρη γραμμή της συνεχούς αντανάκλασης βρίσκεται σε βάθος **13cm** περίπου (ροζ χρώμα).



Σάρωση 5.43: 516, 5 gain points(-15, -10, 5, 20, 25), 15ns, D.C. 6.25
Στο τρίτο μέρος της σάρωσης συνεχίζεται, όπως διακρίνεται στην εικόνα, το ίδιο μοτίβο της γραμμικής αντανάκλασης βάθους **13cm**. Η περιοχή που σαρώνεται είναι η A-2.



Σάρωση 5.44: 516, 5 gain points(-15, -10, 5, 20, 25), 15ns, D.C. 6.25

Παράλληλα με τις δοκούς της οροφής ισογείου



Γίνεται σάρωση σε διεύθυνση κάθετη από την προηγούμενη, προκειμένου να διαπιστωθεί περί τίνος πρόκειται η αντανάκλαση που έχει υποτεθεί ότι είναι ενισχυμένη ζώνη. Απαντάται και πάλι, σε βάθος 12cm, η ίδιας πολικότητας συνεχής αντανάκλαση με την προηγούμενη σάρωση, πάνω από την οποία, όμως, μετρώνται 8÷9 υπερβολές. Η έντονη αντανάκλαση που διαπιστώνεται ότι υπάρχει και στις δύο φορές σάρωσης είτε πρόκειται για μεταλλικό στοιχείο, είτε για κενό. Ωστόσο, η πολικότητα και η ένταση της αντανάκλασης οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πιθανότερο είναι να αποτελεί μεταλλικό στοιχείο.



Περιοχή που σαρώνεται κατά την κάθετη διεύθυνση

Σάρωση 5.45: 255, 5 gain points (-15, -12, 26, 29), 20ns, D.C. 6.25

Στη σάρωση της περιοχής Α-3 που ακολουθεί εντοπίζεται μια συνεχής αντανάκλαση σε βάθος 12cm. Τείνουμε, συνεπώς, στο συμπέρασμα ότι μάλλον το πάχος των περιοχών Α-3 και Α-2 του ισογείου είναι 12cm, μαζί με την επικάλυψη, η οποία είναι γνωστό πως είναι 5cm.





Σάρωση 5.46: 132, 5 gain points (-15, -7, 25, 25, 33), 30ns, D.C. 7

Περιοχή Β Κάθετα στις δοκούς της οροφής ισογείου



Σχήμα 5.15: Διεύθυνση Σάρωσης

Σε αυτήν την περίπτωση πραγματοποιήθηκε μια σάρωση 16m στην οποία φαίνονται με εστιγμένη γραμμή οι διαφορετικές περιοχές που σαρώθηκαν. Η έναρξη της σάρωσης ήταν στην περιοχή B-4, στο σημείο από όπου ξεκίνησε και η αντίστοιχη σάρωση της περιοχής A. Και πάλι είναι αξιοπρόσεκτη μια μεταβολή στις αντανακλάσεις από ένα σημείο και έπειτα, όπως συνέβαινε και στην περιοχή A.



Σάρωση 5.47: 517, 5 gain points(-15, -10, 5, 20, 25), 15ns, D.C. 6.25

Για να διερευνηθεί καλύτερη η περιοχή που σημειώθηκε παραπάνω στο κόκκινο πλαίσιο, μεταξύ B-4 και B-3, διενεργείται μια σάρωση ακόμα. Καταρχάς, σε αυτήν την επόμενη σάρωση παρατηρείται σε βάθος 12cm περίπου η ύπαρξη αντανακλάσεων παρόμοιων με αυτές που θεωρήθηκαν ενισχυμένη ζώνη στην προηγούμενη υποενότητα. Ύστερα, μια έντονη αντανάκλαση αντίστροφης πολικότητας (μπλε χρώμα) υπάρχει κοντά στην προαναφερθείσα περιοχή και δίπλα από αυτήν διαφαίνεται μια άλλη περιοχή αναταραχής χωρίς κατανοητούς σχηματισμούς. Τέλος, πριν την «ενισχυμένη ζώνη» εμφανίζεται μια συνεχής αντανάκλαση βάθους **25cm** (κίτρινο χρώμα) ενώ μετά την περιοχή αναταραχής μια συνεχής αντανάκλαση όμοιας πολικότητας βρίσκεται σε βάθος **12cm**.



Σάρωση 5.48: 169, 5 gain points (-15, -10, 15, 25, 30), 20ns, D.C. 6.25

Όταν παρατηρούνται επαναλαμβανόμενα μοτίβα στις γραμμικές αντανακλάσεις, τότε συνήθως η πρώτη αντανάκλαση είναι αυτή που αντιστοιχεί σε πραγματική ένδειξη. Η σημείωση αυτή αφορά κυρίως την εκτίμηση του πάχους στοιχείων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι αντανακλάσεις που βρίσκονται κάτω από τις συνεχείς βάθους 25cm και 12cm σε κάθε πλευρά αντιστοίχως, δεν αξιολογούνται.



Παράλληλα με τις δοκούς της οροφής ισογείου

Γίνεται σάρωση σε διεύθυνση κάθετη από την προηγούμενη, πάνω στην περιοχή που μας απασχόλησε ως πιθανή ενισχυμένη ζώνη. Αυτή βρίσκεται ανάμεσα σε δύο αρμούς, που «τρέχουν» κατά τη φορά σάρωσης. Διατίθεται αρκετός ελεύθερος χώρος, οπότε σαρώθηκαν περισσότερα μέτρα, συγκριτικά με την αντίστοιχη σάρωση της περιοχής Α. Το μοτίβο είναι όμοιο και διαπιστώνεται ότι οι κάθετοι στη διεύθυνση κίνησης οπλισμοί δεν είναι διαμοιρασμένοι ανά ίσες αποστάσεις.



Σάρωση 5.49: 139, 5 gain points (-10, -5, 16, 25, 25), 20ns, D.C. 6.25

Ακολουθεί μια σάρωση στην περιοχή B-3, με τη φορά που φαίνεται στο σκαρίφημα. Η σάρωση είναι απομακρυσμένη από την περιοχή μεταξύ των δύο αρμών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σαρώνεται μέρος της περιοχής όπου το πάχος θεωρείται ίσο με 12÷13cm. Και σε αυτή τη

σάρωση η υπόθεση αυτή επιβεβαιώνεται, ενώ όμως και πάλι δεν είναι καθόλου ορατός ο τρόπος όπλισης της πλάκας. Διακρίνονται μόνο κάποιες απομακρυσμένες υπερβολές σε τυχαίες θέσεις.





Σάρωση 5.50: 518, 5 gain points(-15, -10, 5, 20, 25), 15ns, D.C. 6.25

Συγκεντρωτικές Παρατηρήσεις

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται τα πάχη των περιοχών όπως συμπεραίνονται από το σύνολο των σαρώσεων του ισογείου, χωρίς να γίνει αφαίρεση του πάχους του μωσαϊκού. Το μωσαϊκό, όμως, θεωρείται προσεγγιστικά ότι θα έχει πάχος ίσο με 5cm.

	Περιοχή 1	Περιοχή 2	Περιοχή 3	Περιοχή 4	Περιοχή 5
Πάχος (cm)	-	13	13	25	-

Πίνακας 5.2:Πάχη περιοχών ισογείου. Τα κελιά όπου υπάρχουν παύλες είναι αυτά για τα οποία δεν υπάρχουν στοιχεία από την παρούσα εργασία

Στο επόμενο σχέδιο φαίνονται με πράσινο χρώμα οι πιθανές θέσεις ενισχυμένων ζωνών, όπως αυτές εμφανίστηκαν στις σαρώσεις.



Βραχύς πρόβολος

Στην περιοχή Α του ισογείου του εργαστηρίου συναντάται, κάτω από την πλάκα Π5 του ορόφου (περιοχή Α-5 του ισογείου), ένα σκάμμα με υποβιβασμό επιπέδου ίσο με 1,96m. Σε δύο απέναντι πλευρές του σκάμματος υπάρχουν δύο βραχείς πρόβολοι. Ο ένας από αυτούς σαρώνεται με σκοπό την εξέταση του τρόπου όπλισής του. Δεν αναμένεται ο πρόβολος να είναι συμβατικά ωπλισμένος, διότι γύρω από το σκάμμα εδράζονται οι στύλοι μίας γερανογέφυρας. Στο σχέδιο παρουσιάζεται μια διατομή του βραχέος προβόλου και ο οπλισμός, όπως αυτός βρέθηκε από τις σαρώσεις.





Σχήμα 5.16: Μετρήσεις πάχους και πλάτους βραχέος προβόλου

Σαρώσεις κατά Υ

Ο άνω διαμήκης οπλισμός είναι πολύ εμφανής και είναι ίσος με **5Φ**?. Με κίτρινο σημειώνονται ορισμένες αντανακλάσεις που είναι ενδεικτικές της ύπαρξης του κάτω διαμήκους οπλισμού. Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι εγκάρσιοι οπλισμοί που βρίσκονται πάνω από τα διαμήκη σίδερα.



Σάρωση 5.51: 172, 5 gain points (-20, -20, 3, 20, 28), 15ns, D.C. 6.25

Σάρωση 5.52: 245, 5 gain points (-15, -15, 24, 32, 38), 22ns, D.C. 6.25

Σάρωση 5.53: 247, 5 gain points (-11, -11, 25, 25, 25) 25ns, D.C. 6.25

Χρησιμοποιώντας την κεραία των 900MHz δεν αποκτήθηκαν πρόσθετα αποτελέσματα, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Η σάρωση ξεκίνησε από τη διπλανή περιοχή του εργαστηρίου (A-4) και διασχίστηκε η θεωρούμενη ως ενισχυμένη ζώνη. Στην πρώτη σάρωση είναι δυνατόν να εκτιμηθεί το πάχος του στοιχείου από την αντανάκλαση του αέρα (ροζ χρώμα).



Σάρωση 5.54: 481, 4 gain points (-10, 5, 25, 35), 25ns, D.C. 6.25, 900MHz

<u>Σαρώσεις κατά Χ</u>

Σε αυτές τις σαρώσεις γίνεται γνωστός ο εγκάρσιος οπλισμός του βραχέος προβόλου, ο οποίος ισούται με Φ?/11, εφόσον σε πλάτος ενός μέτρου συναντώνται 9 υπερβολές σε ελαφρώς διαφορετικά βάθη. Στη δεύτερη εικόνα η οριζόντια αντανάκλαση που εμποδίζει την πλήρη ανάπτυξη των σκελών των υπερβολών αντιστοιχεί σε ένα διαμήκη οπλισμό που συναντήθηκε στην ευθεία της σάρωσης. Είναι γνωστό ότι στο κάτω μέρος του στοιχείου έχουν συγκολληθεί λαμαρίνες, ωστόσο δεν σχηματίζεται καμία έντονη αντανάκλαση σε βάθος 50cm που να σηματοδοτεί την ύπαρξη είτε αέρα, είτε μετάλλου.



Σάρωση 5.55: 248, 5 gain points(-20, -11, 18, 33, 38), 23ns, D.C. 6.25



Σάρωση 5.56: 249, 5 gain points(-20, -11, 18, 33, 38), 23ns, D.C. 6.25



Σχήμα 5.18: Εικόνα του κάτω μέρους του βραχέος προβόλου, όπου είναι συγκολλημένες μεταλλικές λαμαρίνες.

Σαρώσεις κατά Χ1

Οι σαρώσεις σε αυτή τη διεύθυνση πραγματοποιήθηκαν με δύο κεραίες και χωρίστηκαν σε τρεις διαδρομές: άνω (πράσινη διαδρομή), μέσον (κόκκινη διαδρομή) και κάτω (μπλε διαδρομή).



Άνω διαδρομή:



Σάρωση 5.57: 490, 5 gain points(-20, -5, 5, 20, 35), 20ns, D.C. 6.25, άνω



Σάρωση 5.58: 485, 4 gain points (-10, 5, 25, 35), 25ns, D.C. 6.25, 900MHz, άνω

Μεσαία διαδρομή:



Σάρωση 5.59: 489, 5 gain points(-20, -5, 5, 20, 35), 20ns, D.C. 6.25, μέσον



Σάρωση 5.60: 482, 4 gain points(-15, 0, 20, 30), 25ns, D.C. 6.25, 900MHz, μέσον

Κάτω διαδρομή:



Σάρωση 5.61: 488, 5 gain points(-20, -5, 5, 20, 35), 20ns, D.C. 6.25, κάτω



Σάρωση 5.62: 483, 4 gain points (-15, 0, 20, 30), 25ns, D.C. 6.25, 900MHz, κάτω

Σχόλια:

Οι οπλισμοί που συναντώνται στην <u>άνω διαδρομή</u> είναι περισσότεροι από αυτούς που βρέθηκαν στις σαρώσεις διεύθυνσης Χ. Σε βάθος 10÷15cm είναι ελαφρώς εμφανής μια κεκλιμένη γραμμική αντανάκλαση που πιθανόν να αποτελεί κάποιο διάμηκες βαθύτερο σίδερο. Σε βάθος 40cm περίπου διαφαίνεται με σαφήνεια μια ακόμα γραμμική αντανάκλαση αντίστροφης πολικότητας με την προηγούμενη, η οποία όμως δεν αξιολογήθηκε. Η αντίστοιχη σάρωση με την κεραία 900MHz δεν θεωρείται κατατοπιστικότερη, αντιθέτως είναι πολύ πιο θολή. Παρατηρείται ότι δεν βρίσκονται όλες οι υπερβολές στην ίδια ακριβώς στάθμη. Ίσως οι πολυάριθμες αυτές αντανακλάσεις που εμφανίζονται βαθύτερα από τις υπόλοιπες να αποτελούν συνδετήρες κάποιων βαθύτερων διαμηκών οπλισμών.

Ακριβώς τα ίδια σχόλια με προηγουμένως ισχύουν και για τη μεσαία διαδρομή. Οι οπλισμοί που μετρώνται μέσα σε ένα μέτρο είναι περίπου όσοι και πριν και παρατηρείται και πάλι η ανισοσταθμία των βαθών τους

Στις σαρώσεις της κάτω διαδρομής με την κεραία 1600MHz ο οπλισμός που συναντάται είναι εμφανώς πιο αραιός σε σχέση με τις προηγούμενες σαρώσεις, αφού διακρίνονται μόνο 6÷7 οπλισμοί ανά μέτρο. Όπως σημειώνεται με μπλε χρώμα, σε ένα βάθος από 15cm ως 55cm περίπου διακρίνεται μια αναταραχή που αποτελείται από υπερβολές σε μια ορισμένη περιοχή. Και στις προηγούμενες σαρώσεις στην ίδια απόσταση από την αρχή παρατηρήθηκε μια ελαφρά αναταραχή, αλλά σε αυτή τη διαδρομή αποσαφηνίστηκε ότι πρόκειται για μια υπαρκτή αντανάκλαση, που όμως δεν αναγνωρίζεται σε τι αντιστοιχεί. Μολονότι η διαδρομή αυτή είναι η πλέον κοντινή στις λαμαρίνες που έχουν τοποθετηθεί στο κάτω μέρος του στοιχείου, καμία ένδειξη δε μαρτυρά την ύπαρξή τους. Στη σάρωση με την κεραία των 900MHz παρατηρήθηκαν ορισμένες υπερβολές βάθους 20÷25cm, οι οποίες περικλείνονται με θαλασσί χρώμα. Είναι πιθανό να αποτελούν τους συνδετήρες κάποιων βαθύτερων διαμηκών οπλισμών.

Βάση πλαισίου δοκιμών

Σαρώθηκε μέρος της βάσης πλαισίου για δοκιμές σε τοιχοπληρωμένα πλαίσια Ω.Σ., η οποία κατασκευάστηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος INSYSME (INNOVATIVE SYSTEMS FOR EARTHQUAKE RESISTANT MASONRY ENCLOSURES IN RC BUILDINGS) με επιστημονική υπεύθυνη την κα. Ελισάβετ Βιντζηλαίου.

Η βάση του πλαισίου δοκιμών βρίσκεται στο νέο τμήμα του εργαστηρίου, έχει ύψος 60cm, εδράζεται πάνω σε σκυρόδεμα και είναι οπλισμένη πυκνά. Δεδομένων των παραγόντων αυτών, δεν είναι δυνατός ο εντοπισμός του ύψους του στοιχείου, αλλά ούτε και η λεπτομερής απεικόνιση όλων των οπλισμών που περιέχονται σε αυτό. Είναι ευχερής ο εντοπισμός του επιφανειακού οπλισμού και κύριο σκοπό των σαρώσεων αποτέλεσε η διαπίστωση της ύπαρξης ή μη διαφορών μεταξύ των διαφορετικών διαμέτρων οπλισμού που έχουν χρησιμοποιηθεί. Παρακάτω αριθμούνται τα αγκύρια μεταξύ των οποίων πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις και σημειώνονται οι άξονες X και Y. Διενεργήθηκαν σαρώσεις μόνο στο οριζόντιο επίπεδο της βάσης. Είναι γνωστό ότι κατά τη διεύθυνση X συναντώνται κάθετα οπλισμοί Φ10, ενώ κατά τη διεύθυνση Y συναντώνται κάθετα οπλισμοί Φ16.



Σχήμα 5.19: Αρίθμηση μεταλλικών αγκυρίων βάσης πλαισίου δοκιμών



Σχήμα 5.20: Αρίθμηση μεταλλικών αγκυρίων και σημείωση αξόνων κίνησης τροχήλατου οχήματος

<u>Σαρώσεις κατά Χ</u>

Η αριστερά από τις παρακάτω σαρώσεις έγινε μεταξύ των αγκυρίων 5 και 7, για αυτό έχει μικρότερο μήκος από τη δεξιά, που έγινε στην άκρη της βάσης, έξω από τα αγκύρια 5 και 7. Λαμβάνονται αρκετά διαφορετικές εικόνες, παρότι οι περιοχές είναι πολύ κοντινές. Στην πρώτη εικόνα οι οπλισμοί φαίνεται να διαθέτουν επικάλυψη 8cm και σε βάθος 16cm εντοπίζεται η κορυφή μια υπερβολής. Στη δεύτερη εικόνα ο επιφανειακός οπλισμός (κόκκινο χρώμα) έχει την ίδια επικάλυψη, όμως είναι δυνατό να διακριθεί μια δεύτερη στρώση οπλισμού (πράσινο χρώμα) σε βάθος 20cm περίπου. Μια αρκετά έντονη αντανάκλαση είναι ορατή σε βάθος 25cm τη στιγμή που το τροχήλατο διέρχεται δίπλα από το αγκύριο 5 (μπλε χρώμα). Παρότι και στις δύο σαρώσεις υπάρχει μια γραμμική αντανάκλαση βάθους 54cm, δεν θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι αποτελεί τη διεπιφάνειά του με το πάτωμα. Μια τέτοια υπόθεση παρά το ότι μοιάζει εύλογη, θα ήταν σίγουρα επισφαλής. Όπως θα φανεί και στις επόμενες σαρώσεις, αν μια γραμμική αντανάκλαση βάθους και στις επόμενες σαρώσεις, αν μια γραμμική αντανάκλαση βάθους και στις επόμενες σαρώσεις, αν μια τους δύο προσανατολισμούς κεραίας, τότε μπορεί με σχετική βεβαιότητα να θεωρηθεί ότι οφείλεται σε ρυθμίσεις gain.



Σάρωση 5.63: 235, 4 gain points(-12, -12, 22, 31), Σάρωση 5.64: 286, 4 gain points(-12, -12, 22, 31), 13ns, D.C. 6.25

Στη συνέχεια, στο ίδιο αρχείο αποθηκεύτηκαν δύο σαρώσεις πανομοιότυπης διαδρομής αλλά με διαφορετικό προσανατολισμό κεραίας. Η κίνηση έγινε με αφετηρία το αγκύριο 5 και λήξη στο αγκύριο 1. Όλοι οι οπλισμοί που συναντήθηκαν είναι διαμέτρου Φ10. Με mark σημειώνεται η θέση όπου άλλαξε ο προσανατολισμός της κεραίας: πριν το σημάδι η κεραία έχει το συνήθη προσανατολισμό, ενώ μετά από αυτό έχει στραφεί κατά 90°. Είναι εμφανές ότι διαπερνάται ένας οπλισμός σε όλο το μήκος σάρωσης με την κεραία 90°, ο οποίος βρίσκεται κάτω από τις υπερβολές. Ο οπλισμός αυτός δεν εμφανίστηκε στο κομμάτι της σάρωσης συνήθους προσανατολισμού, αφού σε αυτήν την περίπτωση η κεραία δεν είναι τόσο ευαίσθητη στους οπλισμούς που «τρέχουν» κατά την ευθεία της σάρωσης.



Σάρωση 5.65: 292, 5 gain points(-20, -12, 10, 29, 38), 15ns, D.C. 6.25

<u>Σάρωση κατά Υ</u>

Η κίνηση έγινε με αφετηρία το άκρο της βάσης και λήξη τον τοίχο. Όλοι οι οπλισμοί που συναντήθηκαν είναι διαμέτρου Φ16. Με mark σημειώνεται η θέση όπου άλλαξε ο προσανατολισμός της κεραίας: πριν το σημάδι η κεραία έχει το συνήθη προσανατολισμό, ενώ μετά από αυτό έχει στραφεί κατά 90°. Είναι πολύ διακριτή η μεταβολή της πολικότητας των στοιχείων.



Σάρωση 5.66: 293, 5 gain points(-20, -12, 10, 29, 38), 15ns, D.C. 6.25

Συνδυασμός διευθύνσεων Χ και Υ

Με στραμμένη κεραία κατά 90° σαρώνεται πρώτα η διεύθυνση X και ύστερα η διεύθυνση Y. To mark διαχωρίζει τις δύο διαφορετικές φορές σάρωσης. Υπερισχύουν οι αντανακλάσεις των οπλισμών που είναι παράλληλοι στη διεύθυνση κίνησης. Κατά τη φορά Y δεν είναι δυνατό να εντοπιστούν με σαφήνεια υπερβολές, ώστε να γίνει η σύγκρισή τους με αυτές της φοράς X. Στο τμήμα της φοράς X οι υπερβολές μοιάζουν περισσότερο με σημεία, αφού η ισχυρή αντανάκλαση

ενός οπλισμού που βρίσκεται ακριβώς από κάτω τους δεν επιτρέπει την ανάπτυξη των σκελών τους. Σε βάθος 20cm (το οποίο δεν είναι σταθερό, αλλά μεταβάλλεται ελαφρώς) παρατηρείται μια αρκετά έντονη αντανάκλαση.



Σάρωση 5.67: 298, 5 gain points(-20, -12, 10, 29, 38), 15ns, D.C. 6.25, κεραία 90°

Τρεις διαφορετικές διαδρομές έχουν πραγματοποιηθεί, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα, στο ίδιο αρχείο με κεραία 90°: η πρώτη κατά τη διεύθυνση Χ μεταξύ των αγκυρίων 5 και 7, η δεύτερη κατά τη διεύθυνση Υ στη μέση της απόστασης των αγκυρίων 5 και 7 και η τρίτη κατά τη διεύθυνση Υ δεξιά των αγκυρίων 6 και 7. Στη μεσαία σάρωση ο οπλισμός που συναντήθηκε κατά το μήκος της δεν επέτρεψε τη θέαση άλλων στοιχείων. Η <u>διαφορά της έντασης</u> αντανακλάσεων μεταξύ του πρώτου και τρίτου τμήματος είναι <u>δηλωτική της διαφοράς των διαμέτρων</u>: στην πρώτη διαδρομή (κόκκινο χρώμα) οι οπλισμοί είναι Φ10 και είναι ηπιότερης αντανάκλασης από τους αντίστοιχους Φ16 της τρίτης διαδρομής (πράσινο χρώμα).



Σχήμα 5.21:Διεύθυνση σαρώσεων



Σάρωση 5.68: 304, 5 gain points(-20, -12, 10, 29, 38), 15ns, D.C. 6.25, **90**⁰

Συνδυασμός μη καταστροφικών μεθόδων με καταστροφική μέθοδο

Γνωρίζοντας ότι η επικάλυψη των συνδετήρων (Φ10) της βάσης πλαισίου δοκιμών είναι ίση με 60mm σύμφωνα με το σχέδιό του, επιδιώχθηκε η επιβεβαίωση του στοιχείου αυτού. Σαρώθηκε με το ραντάρ και με το μαγνητόμετρο η πλάγια πλευρά του πλαισίου, δηλαδή το κάθετο επίπεδο σε σχέση με αυτό που ως τώρα εξετάστηκε και παρουσιάστηκε. Και με τις δύο μεθόδους παρατηρήθηκε ότι η επικάλυψη ορισμένων συνδετήρων προέκυπτε μικρότερη από την αναγραφόμενη. Συγκεκριμένα, θέτοντας στο μαγνητόμετρο διάμετρο Φ10, η επικάλυψη έπαιρνε την τιμή 39mm. Προκειμένου να διαπιστωθεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων των μη καταστροφικών μεθόδων, πραγματοποιήθηκε καταστροφική μέθοδος, η οποία απέδειξε ότι, όντως, η επικάλυψη του συνδετήρα που εξετάστηκε ήταν ίση με 38mm, δηλαδή μικρότερη από την αναγραφόμενη στο σχέδιο.



Σχήμα 5.22: Επίπεδο σάρωσης με ραντάρ και μαγνητόμετρο



Σχήμα 5.23: Σάρωση με ραντάρ



Σχήμα 5.24: Σάρωση με μαγνητόμετρο



Σχήμα 5.25: Καταστροφική μέθοδος: εύρεση επικάλυψης οπλισμού

5.3 Ειδικές περιπτώσεις

Πλάκα επί υπάρχουσας πλάκας

Σαρώνεται η πλάκα επί εδάφους που βρίσκεται στη δυτική όψη της εξωτερικής πλευράς του Εργαστηρίου Ω.Σ. Για την κατασκευή της χρησιμοποιήθηκε αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, ίδιου τύπου με των δοκιμίων που κατασκευάστηκαν αποκλειστικά για την σάρωσή τους με το ραντάρ και παρουσιάστηκαν στο 4° κεφάλαιο. Η πλάκα σκυροδετήθηκε επί μιας <u>προϋπάρχουσας</u> <u>πλάκας</u>, η οποία εδράζεται σε έδαφος. Όπως είναι ορατό στη φωτογραφία, τον οπλισμό της πλάκας συνιστά ένα πλέγμα τοποθετημένο κάτω.



Σχήμα 5.26: Σκυροδέτηση πλάκας επί εδάφους



Σχήμα 5.27: Τελική διαμόρφωση πλάκας

Συλλογή πληροφοριών 2D



ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ

Σάρωση κατά Χ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ



Η περιοχή που σαρώθηκε ξεκίνησε από το λεπτό τμήμα. Θα ήταν πολύ δύσκολο να σημειωθεί με ασφάλεια η διεπιφάνεια μεταξύ διαφορετικών σκυροδεμάτων. Είναι διακριτή μια αντανάκλαση σε βάθος 12cm περίπου, που θα μπορούσε να αποτελεί το πάχος της πλάκας(πράσινο χρώμα). Δύο ακόμα αντανακλάσεις διακρίνονται, στα 20cm (μπλε χρώμα) και στα 30cm (κόκκινο χρώμα). Χρησιμοποιήθηκε η διηλεκτρική σταθερά 9, αφού αυτή η τιμή κρίθηκε καταλληλότερη για αυτόν τον τύπο σκυροδέματος βάσει των σαρώσεων των δοκιμίων. Οι αποστάσεις μεταξύ των υπερβολών είναι περίπου 25cm. Η επικάλυψη τους κυμαίνεται από 6 ως 8cm.



Σάρωση 5.69: 256, 4 gain points(-10, -10, 21, 31), 13ns, D.C.9

<u>Σάρωση κατά Υ</u>

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ



<u>_+0.00</u>

Η περιοχή που σαρώθηκε ξεκίνησε ξανά από το λεπτό τμήμα. Η ένδειξη που θεωρείται ότι αντιστοιχεί στο διεπιφάνεια της πλάκας με την προϋπάρχουσα είναι μια κεκλιμένη αντανάκλαση (πράσινο χρώμα). Αυτό είναι λογικό καθώς είναι γνωστό πως το πάχος δεν είναι σταθερό. Άλλωστε, και η φορά της σάρωσης δικαιολογεί αυτή την υπόθεση, αφού από ένα τμήμα 10cm οδεύουμε προς ένα τμήμα 12cm. Βέβαια, η αντανάκλαση δεν είναι έντονη, γεγονός που οφείλεται στην καλή επαφή του νέου με το παλιό σκυρόδεμα. Και σε αυτή την εικόνα εντοπίζεται η αντανάκλαση βάθους 20cm. Σε βάθος 30cm είναι ορατή μια αρκετά έντονη τριάδα μαύρο-άσπρομαύρο. Μία από τις δύο αυτές αντανακλάσεις είναι εύλογο να θεωρηθεί πως σηματοδοτεί τη διεπιφάνεια της παλιάς πλάκας με το έδαφος. Ωστόσο, δεν είναι γνωστός ο τύπος του

σκυροδέματος της παλαιάς πλάκας, οπότε, λόγω πιθανής διαφοροποίησης της διηλεκτρικής της σταθεράς, οποιαδήποτε εκτίμηση του πάχους της δεν θα είναι ακριβής.



Σάρωση 5.70: 257, 4 gain points(-10, -10, 21, 31), 13ns, D.C.9

Η απόσταση μεταξύ των υπερβολών είναι και πάλι 25cm και η επικάλυψή τους είναι 8cm. Αυτό συμφωνεί και με την εικόνα των οπλισμών από τη φωτογραφία που διαθέτουμε πριν από τη σκυροδέτηση. Συνεπώς, συμπεραίνεται ότι η πλάκα είναι οπλισμένη με πλέγμα Φ?/25 κάτω.

Συλλογή πληροφοριών 3D

Κεραία 1600MHz, πρόγραμμα επεξεργασίας RADAN 6.6



Σχήμα 5.28: Κάναβος 5x5, επιφάνεια σάρωσης 60x60

Η σάρωση αυτή πραγματοποιείται κοντά στην περιοχή μεγαλύτερου πάχους (17÷22cm). Οι οπλισμοί που βρίσκονται κατά τη διεύθυνση Χ έχουν επικάλυψη 8cm και αυτοί της διεύθυνσης Υ διαθέτουν 10cm. Στην εικόνα φαίνονται τα διαδοχικά δισδιάστατα αρχεία, των οποίων η αλληλουχία συνιστά το τρισδιάστατο αρχείο που θα παρουσιαστεί παρακάτω. Η διακεκομμένη γραμμή διαχωρίζει τα αρχεία της διεύθυνσης Χ από αυτά της Υ. Πέρα από τους επιφανειακούς οπλισμούς, δεν αποκτάται καμία πληροφορία για το πάχος της πλάκας.



Σάρωση 5.71: GRID 012, 4 gain points(-17, -6, 17, 32), 10ns, D.C. 9



Σάρωση 5.72: GRID 012, 4 gain points(-17, -6, 17, 32), 10ns, D.C. 9



Σχήμα 5.29: time-slice σε βάθος 8cm από την επιφάνεια σάρωσης

<u>Κεραία 2600MHz, πρόγραμμα επεξεργασίας RADAN 7</u>

Περιοχή μικρού πάχους

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ



₽^{....}

Σαρώνεται μια περιοχή κοντά στη γωνία πάχους 12cm. Οι οπλισμοί συναντώνται σε βάθος 6cm περίπου. Όπως φαίνεται στις παρακάτω σαρώσεις της διεύθυνσης X, υπάρχει μια αντανάκλαση βάθους 13cm (μετράται στο μέσον της πρώτης μαύρης αντανάκλασης) που θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τη διεπιφάνεια της νέας με την υποκείμενη πλάκα σκυροδέματος. Το σύστημα πραγματοποιεί αυτόματα την εντολή migration. Εξαιτίας αυτής της αυτοματοποίησης δημιουργείται μια ασάφεια, καθώς οι υπερβολές που αντιστοιχούσαν στους οπλισμούς δεν έχουν γίνει σημεία αλλά ανάποδες υπερβολές.



 $\Sigma_{\chi \eta \mu \alpha}$ 5.30: Δύο από τις δισδιάστατες σαρώσεις κατά X που συγκροτούν το τρισδιάστατο αρχείο





Σχήμα 5.32: Τρισδιάστατη απεικόνιση σε κάναβο 60x60, D.C. 9

Σχήμα 5.31: Grid 002, επιφάνεια σάρωσης 60x60, κάναβος 5x5 screenshot τη στιγμή της σάρωσης με την κεραία 2600MHz

Περιοχή μεγάλου πάχους

Σαρώνεται μια περιοχή μεταξύ των γωνιών πάχους 17÷22cm. Η αριστερά σάρωση που πραγματοποιήθηκε κατά τη διεύθυνση X παρουσιάζει μια κεκλιμένη γραμμική αντανάκλαση σε βάθος 9cm και μια άλλη πολύ αχνή σε βάθος 17cm. Η δεξιά σάρωση (της διεύθυνσης Y) δείχνει επίσης μια γραμμική αντανάκλαση σε βάθος 8cm και μια δεύτερη αχνή βάθους 18cm. Η εκτίμηση των βαθών κρίνεται ορθή, δεδομένου του πάχους της πλάκας που σημειώθηκε στην περιοχή αυτή. Είναι, ωστόσο, περίεργο που τα σίδερα της πλάκας βρίσκονται τόσο ψηλά. Όπως είναι ορατό από τις παρακάτω δύο σαρώσεις, ο οπλισμός που «τρέχει» κατά τη διεύθυνση X βρίσκεται σε χαμηλότερη στάθμη από αυτόν της Y.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ







Σχήμα 5.33: Δισδιάστατες σαρώσεις που συγκροτούν το τρισδιάστατο αρχείο. Αριστερά: διεύθυνση Χ, Δεζιά: διεύθυνση Υ



Σχήμα 5.34 Grid 001, Τρισδιάστατη απεικόνιση σε κάναβο 60x60, D.C. 9



Είναι εμφανές ότι η στάθμη του οπλισμού δεν είναι σταθερή σε όλη την περιοχή της σάρωσης. Στις σαρώσεις της διεύθυνσης Υ παρατηρείται πως οι οπλισμοί βρίσκονται σε περίπου ενιαίο βάθος. Όμως στη διεύθυνση Χ υπάρχουν οπλισμοί που για ίδια διηλεκτρική σταθερά εντοπίζονται σε βάθος 5cm και άλλοι σε βάθος 9 cm. Αυτά τα 4 cm αποτελούν μια σημαντική απόκλιση για οπλισμούς ίδιας διεύθυνσης. Παρατηρείται ότι στα πρώτα αρχεία της διεύθυνσης Χ ο οπλισμός σταδιακά φαινόταν όλο και πιο ρηχά. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι πρώτες διαδρομές πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της πλάκας που είχε πάχος ελαφρώς μεγαλύτερο. Το πάχος αυτό σταδιακά μειώνεται και για αυτό πιθανά παρουσιάζεται και μειωμένο το βάθος των υπερβολών. Παρακάτω παρατίθενται αρχεία της διεύθυνσης Χ του κανάβου με τη σειρά πραγματοποίησής τους, όπως φαίνεται από την αρίθμηση.



Δοκίμια με ίνες χάλυβα

Οι επόμενες σαρώσεις έχουν διενεργηθεί σε δοκίμια που έχουν κατασκευαστεί στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Διερεύνηση των χαρακτηριστικών του υλικού και της απόκρισης σε σεισμό δομικών στοιχείων από ελαφροσκυρόδεμα υψηλής επιτελεστικότητας» με επιστημονικό υπεύθυνο τον κ. Χρήστο Ζέρη. Το μήκος των δοκιμίων ελαφροσκυροδέματος είναι 1,50m, το πλάτος τους 0,50m και το πάχος τους 0,30m. Σε ορισμένα από αυτά έχουν τοποθετηθεί <u>ίνες χάλυβα</u>, πέρα από τον οπλισμό που παρουσιάζεται στο σχέδιο. Ο οπλισμός απαρτίζεται από 4 διαμήκη σίδερα διαμέτρου Φ16 και από 10 κλειστούς συνδετήρες διαμέτρου Φ8. Σύμφωνα με πειραματικές μελέτες (*Hamzeh, 2013*) έχει αποδειχτεί ότι το ελαφροσκυρόδεμα έχει μεγαλύτερη διηλεκτρική σταθερά από αυτή του συνήθους σκυροδέματος. Τέθηκε η τιμή **8**, η οποία πιστεύεται ότι αποδίδει τα κατά το δυνατόν ορθότερα αποτελέσματα. Επειδή η απόσταση μεταξύ των δοκιμίων ήταν πολύ μικρή (της τάξης των 25cm) η ένδειξη του πάχους τους είναι δυσδιάκριτη.



Σχήμα 5.35: Σχέδιο δοκιμίου (Cheilakou et al., 2012)



Σχήμα 5.36: Φωτογραφία πριν τη σκυροδέτηση



Σχήμα 5.37: Διαστάσεις δοκιμίου (Cheilakou et al., Σχήμα 5.38: Ίνες χάλυβα, όπως φαίνονται μέσα από 2012)



μεγάλου εύρους ρωγμή

Αρχικά, παρουσιάζονται οι σαρώσεις δοκιμίου που περιέχει ίνες χάλυβα. Παρά την παρουσία τους, οι οποίες δυσχεραίνουν πολύ την αποτίμηση της εσωτερικής κατάστασης του στοιχείου, διαφαίνεται μια υπερβολή κοντά στην επιφάνεια στη σάρωση της διεύθυνσης Χ (κόκκινο χρώμα), όπως επίσης και μια καμπύλη αντανάκλαση σε βάθος 30cm που ίσως υποδεικνύει το πάχος του δοκιμίου. Ωστόσο, ως επί το πλείστον, η ύπαρξη ινών χάλυβα μέσα σε σκυρόδεμα παρεμποδίζει σημαντικά την αποτελεσματική χρήση του ραντάρ, μιας και οι σαρώσεις δεν ερμηνεύονται ικανοποιητικά (Nord, 2011).



Η εικόνα είναι πολύ διαφορετική στην περίπτωση δοκιμίου χωρίς ίνες χάλυβα. Οι επιφανειακοί οπλισμοί είναι ορατοί και κατά τις δύο διευθύνσεις, σε βάθος 4cm, το οποίο είναι σωστό βάσει των σχεδίων. Κατά τη διεύθυνση Χ εντοπίστηκαν 8 από τα 10 σίδερα, ενώ κατά τη διεύθυνση Υ εντοπίστηκαν 3 από τα 4. Σημειώνεται το βάθος στο οποίο πιθανολογείται ότι αντιστοιχεί στο πάχος του δοκιμίου.



Σε ένα άλλο δοκίμιο του οποίου δύο σαρώσεις κατά Χ παρατίθενται παρακάτω, ο οπλισμός βρίσκεται σε διαφορετικό βάθος από το προηγούμενο (στα 8cm) και καμία ένδειξη του τέλους δεν είναι πλέον ορατή. Στην αριστερά εικόνα η σάρωση έγινε κατά μήκος ενός διαμήκους

οπλισμού, εξ ου και η διαφορά στην αντανάκλαση των ίδιων οπλισμών συγκριτικά με τη δεξιά εικόνα.



Στην πρώτη εικόνα με κεραία προσανατολισμού 0° γίνεται πρώτα σάρωση κατά X και ύστερα κατά Y (διαχωρισμός με διακεκομμένη γραμμή) ενώ στη δεύτερη με κεραία προσανατολισμού 90° γίνεται πρώτα σάρωση κατά Y και έπειτα κατά X. Ενώ στην αριστερά εικόνα οι αντανακλάσεις φαίνονται ισοδύναμες, στη δεξιά διακρίνεται η διαφορά τους: οι οπλισμοί που συναντώνται κατά Y και είναι Φ16(πράσινο χρώμα) παρουσιάζονται <u>πιο έντονοι</u> από αυτούς που συναντώνται κατά X και είναι Φ8 (κόκκινο χρώμα). Επίσης, με τη στραμμένη κατά 90° κεραία είναι ορατές ορισμένες αντανακλάσεις σε βάθος 18cm και κατά τις δύο διευθύνσεις.



Αποτιμήση Της Εσωτερικής Κατάστασης Στοιχείων Από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα Με Τη Χρήση Ραντάρ

Προεντεταμένο στοιχείο



Σχήμα 5.40: Φωτογραφίες πριν τη σκυροδέτηση

Η εμφάνιση των τενόντων στις σαρώσεις προεντεταμένων στοιχείων είναι όμοια με αυτή των μεταλλικών στοιχείων, διότι το σύστημα δεν διαθέτει επαρκή ανάλυση ώστε να εντοπίσει και να απεικονίσει ξεχωριστά το σύνολο των συρματόσχοινων που αποτελούν τον τένοντα. Σε περίπτωση όμως αυτά τοποθετούνται μέσα σε πλαστικούς αγωγούς, η αντανάκλασή τους είναι πιθανό να διαφοροποιείται ελαφρώς.

Γενικά, αναλόγως με την πλευρά η οποία σαρώνεται, οφείλουν να είναι διαφορετικές και οι ρυθμίσεις των παραμέτρων. Αν σαρώνεται η δοκός από την άνω πλευρά, χρειάζεται περισσότερη ενίσχυση και μεγαλύτερο range προκειμένου να φανεί η χάραξη του τένοντα. Όταν σαρώνεται η κάτω πλευρά δεν χρειάζεται εξίσου μεγάλη ενίσχυση και εύρος, εφόσον το μεγαλύτερο μέρος του τένοντα είναι κοντά στην επιφάνεια σάρωσης και τα αποτελέσματα είναι πιο σαφή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η σάρωση της κάτω πλευράς δεν κατέστη δυνατή εξαιτίας της ύπαρξης προεξεχόντων καρφιών που αναγκαστικά θα διέκοπταν συχνά την πορεία κίνησης του τροχήλατου οχήματος. Οι δύο πλευρές που σαρώθηκαν σημειώνονται στην παρακάτω διατομή με βέλη.



Χρήση κεραίας συχνότητας 2600MHz

Οι παρακάτω σαρώσεις διενεργήθηκαν σε σκυρόδεμα ηλικίας μερικών μηνών (2÷3) και για το λόγο αυτό έχει επιλεγεί τιμή διηλεκτρικής σταθεράς ίση με **8.50**, θεωρώντας πως η ύπαρξη υγρασίας επιβάλλει μια αυξημένη τιμή συγκριτικά με τη συνήθη. Στην πρώτη εικόνα η σάρωση γίνεται από την πλευρά που σημειώνεται με μπλε τόξο στο σχέδιο της διατομής της προεντεταμένης δοκού. Είναι πολύ εμφανής η αντανάκλαση των συνδετήρων και σε βάθος 10cm φαίνεται η χάραξη ενός τένοντα (μπλε χρώμα). Παρά το ότι ο τένοντας σε όλο το μήκος σάρωσης βρίσκεται σε ενιαίο βάθος και θα έπρεπε να εμφανίζεται ως μια ευθεία αντανάκλαση, αυτό δεν συμβαίνει εξαιτίας της κωνικής διάδοσης του σήματος. Σε βάθος 25cm είναι εμφανής μια έντονη μαύρη αντανάκλαση η οποία αντιστοιχεί στο πάχος του στοιχείου στην πλευρά από την οποία σαρώθηκε (ροζ χρώμα).



Σάρωση 5.81: 042, auto gain (-12.90), depth 40cm, D.C. 8.50

Η επόμενη σάρωση πραγματοποιήθηκε από την πάνω πλευρά του δοκιμίου, όπως σημειώνεται με κόκκινο βέλος στη διατομή της δοκού. Η χάραξη του τένοντα δεν είναι ορατή γιατί το πάχος του στοιχείου είναι μεγάλο και η ηλικία του νεαρή. Τα μόνα αξιολογήσιμα στοιχεία ανήκουν στους συνδετήρες, των οποίων η στάθμη διαφοροποιείται λίγο στην περιοχή που περικλείεται στο κόκκινο πλαίσιο.



Σάρωση 5.82: 041, auto gain (-12.90), depth 40cm, D.C. 8.50

Χρήση κεραίας συχνότητας 1600MHz

Η επόμενη σάρωση γίνεται σε ηλικία σκυροδέματος μεγαλύτερη κατά 4 μήνες σε σχέση με τις προηγούμενες σαρώσεις. Είναι γνωστό ότι η ηλικία του δοκιμίου στη σάρωση αυτή υπερβαίνει τους έξι μήνες. Διενεργείται και πάλι στην πλευρά που σημειώνεται με μπλε βέλος στο σχέδιο της διατομής. Για να απεικονιστούν ο τένοντας και η αντανάκλαση του τέλους στην ίδια στάθμη με του αρχείου που πραγματοποιήθηκε στην ίδια περιοχή σε νεώτερη ηλικία χρησιμοποιείται τιμή διηλεκτρικής σταθεράς **6.50**. Καμία επιπρόσθετη πληροφορία ως προς την εσωτερική κατάσταση του στοιχείου δεν αποκτήθηκε.



Σάρωση 5.83:492, 5gain points (-20, -10, 5, 20, 30), 11ns, D.C. 6.50

Πλάκα επί εδάφους

Σαρώθηκε μια πλάκα επί εδάφους της δυτικής όψης του Εργαστηρίου. Το πάχος της πλάκας δεν είναι δυνατό να μετρηθεί, αλλά είναι σημαντικά μικρότερο από αυτό της πλάκας επί υπάρχουσας πλάκας που βρίσκεται ακριβώς δίπλα. Η απόφαση της διηλεκτρικής σταθεράς δεν μπορεί να ελεγχθεί μέσω εντοπισμού αντανακλάσεων γνωστών βαθών, συνεπώς επιλέγεται η τιμή **6.25** που θεωρείται αντιπροσωπευτική για συμβατικό σκυρόδεμα.



ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ



Σχήμα 5.41: Φωτογραφία της πλάκας επί εδάφους: σημειώνονται οι διευθύνσεις σάρωσης και με διακεκομμένες γραμμές απεικονίζονται τα όρια της πλάκας

Σαρώσεις κατά Χ

Η σάρωση που ακολουθεί έχει γίνει στη διαδρομή που είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στον δρόμο. Η έναρξή της ήταν στην περιοχή της πλάκας επί υπάρχουσας πλάκας που εξετάστηκε σε προηγούμενη ενότητα. Η περιοχή που έχει έντονες αντανακλάσεις αντιστοιχεί σε ένα εξόγκωμα (κόκκινο χρώμα) που συναντάται στη διαδρομή. Το εξόγκωμα αυτό είναι στην επέκταση της περιοχής του αρμού μεταξύ του παλιού και του νέου τμήματος του Εργαστηρίου, όπως φαίνεται από τη θέση της διακεκομμένης γραμμής. Πέραν αυτού του στοιχείου, κανένα άλλο δεν γίνεται εμφανές μέσω της σάρωσης.


Σχήμα 5.42: Σημειώνονται το εξόγκωμα, η θέση του ως προς τον αρμό και η περιοχή και η φορά της σάρωσης



Σάρωση 5.84: 174, 4 gain points(-11, -11, 19, 30), 10ns, D.C. 6.25

Η ίδια διαδρομή επαναλαμβάνεται με τις ίδιες ρυθμίσεις σε διαβρεγμένη πλάκα, για να αξιολογηθεί η <u>επιρροή της διαβροχής</u>. Όπως είναι εμφανές, δεν υπάρχει καμία διαφορά στην εκτίμηση των βαθών, αλλά μόνο στην ένταση των αντανακλάσεων: σε συνθήκες περιστασιακής υγρασίας οι αντανακλάσεις προκύπτουν ελαφρώς πιο ήπιες. Σε ό,τι αφορά την περιοχή που σημειώνεται με κόκκινο, μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι αποτελεί τμήμα του ρείθρου του παλιού πεζοδρομίου.



Σάρωση 5.85: 242, 4 gain points(-11, -11, 19, 30), 10ns, D.C. 6.25

Έπεται μια σάρωση που γίνεται στο μέσον της πλάκας, κατά τη διεύθυνση X και με φορά όπως προηγουμένως. Στα πρώτα 1,50m σε βάθος 16cm αναγνωρίζονται ορισμένες αντανακλάσεις που μοιάζουν με διαστρεβλωμένες υπερβολές (κίτρινο χρώμα). Ύστερα, από τα 1,50m έως τα 3,00m παρατηρείται μια γραμμικής μορφής αντανάκλαση αντίστροφης πολικότητας μεταβλητού βάθους (από 12cm έως 6cm, σημειώνεται με πράσινο χρώμα). Στη συνέχεια, σε απόσταση 4,40m από την αρχή είναι ορατή μια υπερβολή βάθους 20cm περίπου που θα μπορούσε να είναι οπλισμός. Η υπερβολή αυτή βρίσκεται στο σημείο που μόλις ξεκινά το εξόγκωμα. Οι υπόλοιπες αντανακλάσεις της εικόνας θυμίζουν πιο πολύ θόρυβο, παρά υπαρκτά αντικείμενα.



Σχήμα 5.43: Διεύθυνση Σάρωσης



Σάρωση 5.86: 175, 4 gain points(-11, -11, 19, 30), 10ns, D.C. 6.25

Ύστερα, πραγματοποιήθηκε μια σάρωση η οποία ξεκίνησε ακριβώς πάνω από το μέσον του εξογκώματος. Παρατηρείται το ευθύγραμμο τμήμα βάθους 19cm και αμέσως δεξιά από αυτό είναι ορατή η υπερβολή που φαίνεται στα τελευταία εκατοστά της Σάρωση 5.84. Συνεπώς, αυτά τα δύο πρώτα στοιχεία ήταν ήδη γνωστά από προηγούμενες σαρώσεις. Ωστόσο, στη συνέχεια συναντάται μια ακόμα υπερβολή και δίπλα μια γραμμική αντανάκλαση βάθους επίσης 19cm.



Σχήμα 5.44: Η σάρωση διέρχεται από το εξόγκωμα



Σάρωση 5.87: 238, 4 gain points(-20, 7, 18, 23), 15ns, D.C. 6.25

<u>Σαρώσεις κατά Υ</u>

Σαρώνεται μια περιοχή κοντά στην πλάκα επί υπάρχουσας πλάκας με φορά από το Εργαστήριο προς το δρόμο. Η σάρωση σταμάτησε στο σημείο από το οποίο ξεκινά η ομαλή μετάβαση από την πλάκα στο δρόμο. Παρατηρείται μια γραμμική αντανάκλαση βάθους 14cm περίπου, η οποία όμως καμπυλώνεται σε μια περιοχή μήκους 60cm. Πιθανόν να πρόκειται για το πάχος της πλάκας, της οποίας το έγχυτο σκυρόδεμα κατά τη σκυροδέτηση να γέμισε κάποια υπάρχουσα λακκούβα βάθους 6÷7cm του εδάφους. Υπάρχουν ορισμένες υπερβολικές αντανακλάσεις κατά τόπους οι οποίες σημειώνονται με κίτρινο βέλος, αλλά καμία ένδειξη κάποιας συνεπούς διάταξης όπλισης δεν είναι εμφανής. Στο τέλος της διαδρομής του τροχήλατου διακρίνεται μια έντονη αντανάκλαση βάθους 12cm περίπου και μια όμοιας έντασης βάθους 40cm. Είναι πιθανό το πάχος της πλάκας στην περιοχή αυτή να κυμαίνεται μεταξύ 12÷14cm και αυτές να είναι οι αντανακλάσεις της επαφής της με το έδαφος. Σε ό,τι αφορά τη βαθιά ένδειξη στα 40cm, πρόκειται για κάποια διεπιφάνεια, αλλά επειδή το σήμα διαπερνά υλικά διαφορετικών διηλεκτρικών ιδιοτήτων μέχρι να προσκρούσει σε αυτήν, η εκτίμηση του βάθους της κρίνεται επισφαλής.



Σχήμα 5.45: Διαδρομή σάρωσης



Σάρωση 5.88: 237, 4 gain points(-20, 7, 18, 23), 15ns, D.C. 6.25

Στη συνέχεια, σαρώνεται το μέσον της πλάκας κατά τη διεύθυνση Υ αλλά δεν φτάνει μέχρι το άκρο της πλάκας. Όπως παρατηρείται, και σε αυτήν τη σάρωση, όπως και στην προηγούμενη, το πρώτο ένα μέτρο μήκους είναι αυτό που παρέχει πληροφορίες για την εσωτερική κατάσταση της πλάκας. Σε βάθος 14cm και πάλι είναι ορατές δύο αντανακλάσεις των οποίων το σχήμα μοιάζει με υπερβολικό αυτή τη φορά. Δίπλα από αυτές, εντοπίζονται μικρότερες υπερβολικές αντανακλάσεις ίδιου και ελαφρώς μεγαλύτερου βάθους. Θα μπορούσαν να δοθούν δύο ερμηνείας της αποκτώμενης εικόνας: είτε ότι οι αντανακλάσεις αυτές αποτελούν τη διεπιφάνεια του σκυροδέματος με ένα εξόγκωμα του εδάφους (εν αντιθέσει με τη λακκούβα της προηγούμενης σάρωσης), είτε ότι συνιστούν υπερβολές ενός πλέγματος βάθους 14cm, παράλληλα σε ένα σίδερο στο οποίο «έτρεξε» η προηγούμενη σάρωση.



Σχήμα 5.46: Διαδρομή σάρωσης



Σάρωση 5.89: 236,4 gain points(-20, 7, 18, 23), 15ns, D.C. 6.25

Τέλος, σαρώνεται μια περιοχή κοντά στο εξόγκωμα, όπου εκτιμάται ότι υπόκειται το ρείθρο του παλιού πεζοδρομίου. Στην αρχή της σάρωσης ξεκινά σε βάθος 40cm μια αντανάκλαση που σε απόσταση ενός μέτρου έχει ανέλθει στα 34cm περίπου. Σε βάθος 9cm εντοπίζεται μια αντανάκλαση γραμμική η οποία θα μπορούσε να μαρτυρά τη διεπιφάνεια σκυροδέματος – εδάφους. Η εικόνα δεν είναι διαφωτιστική ως προς τον τρόπο όπλισης, αλλά υπάρχουν ενδείξεις ύπαρξης πιθανών οπλισμών στις θέσεις που σημειώνονται με το βέλος. Αυξανομένης της διανούμενης απόστασης, μεγαλώνει και το πάχος της πλάκας, αφού το τροχήλατο στα τελευταία εκατοστά της διαδρομής του διέρχεται από την περιοχή του εξογκώματος. Για αυτό και η τελευταία αντανάκλαση, σε απόσταση που σημειώνεται με mark, είναι σε βάθος 14cm.



Σχήμα 5.47: Διαδρομή σάρωσης



Σάρωση 5.90: 239, 4 gain points(-13, -1, 20, 20), 10ns, D.C. 6.25

Συμπερασματικά, η πλάκα επί εδάφους που σαρώθηκε δεν έδωσε δείγματα μια σαφούς όπλισης, χαρακτηριστικό που παραπέμπει και στις πλάκες του ισογείου του Εργαστηρίου. Βάσει των εκτιμήσεων που έγιναν, παρατίθεται μια εικόνα στην οποία με εστιγμένες γραμμές οριοθετείται η περιοχή που εκτιμάται ότι αντιστοιχεί στο ρείθρο του παλιού πεζοδρομίου και με κόκκινες γραμμές οι θέσεις των υπερβολών που βρέθηκαν. Το βάθος των αντανακλάσεων που αντιστοιχούν στην περιοχή αυτή είναι 19÷20cm.



Σχήμα 5.48:Περιοχή στην οποία εκτιμάται ότι υπόκειται το ρείθρο του παλιού πεζοδρομίου



Σάρωση σε άσφαλτο

Σχήμα 5.49: Διεύθυνση σάρωσης

Σαρώθηκε κατά τη διεύθυνση που φαίνεται στο σχήμα τμήμα του οδοστρώματος της δυτικής όψης του Εργαστηρίου. Η επιλογή της διηλεκτρικής σταθεράς έγινε βάσει των βιβλιογραφικών αναφορών, μιας και δεν υπήρχε τρόπος επαλήθευσης της ορθότητας της τιμής. Ένα σύνηθες εύκαμπτο οδόστρωμα χονδρικά αποτελείται από την ασφαλτική στρώση, τη βάση και την υπόβαση. Καταβάλλεται μια προσπάθεια ώστε να εκτιμηθούν τα πάχη των εκάστοτε στρώσεων. Στην εικόνα που ακολουθεί σημειώνονται με κόκκινο χρώμα οι υπερβολές που εντοπίζονται και με πράσινο οι διεπιφάνειες που εκτιμάται προσεγγιστικά ότι αντιστοιχούν σε μεταβολή στρώσης. Φυσιολογικά, δεν θα ήταν αναμενόμενος ο εντοπισμός μεταλλικών στοιχείων σε μια τυπική υπόβαση εύκαμπτου οδοστρώματος. Παρόλα ταύτα, όπως φαίνεται στη σάρωση, δεν αποκλείεται η ύπαρξή τους. Ο σχηματισμός σε απόσταση 2m από την έναρξη και βάθους 26cm θυμίζει διάταξη υπερβολών πολύ κοντινών η μια στην άλλη. Η απόστασή τους θα μπορούσε να εκτιμηθεί ότι είναι μικρότερη ή ίση των 5cm. Εξαιτίας της ηλικίας και της θέσης του οδοστρώματος, μπορούμε να υποθέσουμε ότι δεν έχουν τηρηθεί τα πάχη που επιβάλλουν οι διατάξεις βάσει των σημερινών δεδομένων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν μπορεί να γίνει μια ασφαλής εκτίμηση των παχών στρώσεων που συγκροτούνται από διαφορετικά υλικά, εξαιτίας της διαφοροποίησης της διηλεκτρικής σταθεράς τους. Λόγω της ύπαρξης μεγάλου αριθμού αντανακλάσεων, υποχρεούμαστε να αγνοήσουμε ορισμένες, οι οποίες είναι πιθανόν να οφείλονται σε ξένα υλικά που τυχαία έχουν εναποτεθεί, ώστε να δοθεί σημασία στις πιο αντιπροσωπευτικές.

Στρώση	Πάχος (cm)
Ασφαλτική	6
Βάση	10
Υπόβαση	24



Πίνακας 5.3: Προσεγγιστικά πάχη στρώσεων οδοστρώματος

Σάρωση 5.91: 243, 4 gain points(-15, -6, 18, 18), 10ns, D.C. 5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας υπήρξε η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου του ραντάρ σε δοκίμια σκυροδέματος και σε πραγματικές κατασκευές σκυροδέματος καθώς και η ανάπτυξη συμπερασμάτων που καθιστούν σαφή τα οφέλη και τους περιορισμούς της μεθόδου. Παρουσιάστηκαν οι κυριότερες παρατηρήσεις που προέκυψαν, προσανατολισμένες στις κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα, με σκοπό να σταθούν επιβοηθητικές στους δυνητικούς χρήστες του ραντάρ. Μια ανασκόπηση των παρατηρήσεων και των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται σε αυτό το συμπερασματικό κεφάλαιο.

Καταρχάς, τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι πολυάριθμα και αξιοσημείωτα. Παρέχει ταχεία επιτόπου αποτίμηση της εσωτερικής κατάστασης, συνδυάζοντας ακρίβεια θέσεων και εντοπισμό στόχων όχι απαραιτήτως μεταλλικών. Ως μη καταστροφική μέθοδος δεν επεμβαίνει καθόλου στην κατάσταση του εξεταζόμενου στοιχείου. Έπειτα, προσφέρει δυνατότητα σάρωσης με διαφορετική διεισδυτική ικανότητα με χρήση κεραιών διαφορετικών συχνοτήτων, αναλόγως με τα ζητούμενα κάθε περίστασης. Διαθέτει εύχρηστο εξοπλισμό και λειτουργεί με μπαταρίες, οπότε μπορεί να εφαρμόζεται και σε μη ηλεκτροδοτούμενες περιοχές, ενώ εξασφαλίζεται η λειτουργία της και σε αντίξοες συνθήκες, καθώς ανταποκρίνεται και σε απαιτήσεις στρατιωτικών επιχειρήσεων. Επί πλέον, επιτρέπει τη συλλογή στοιχείων τρισδιάστατης απεικόνισης με σκοπό τη βελτιωμένη εποπτεία, παρέχει δυνατότητα ευέλικτων ρυθμίσεων για απόκτηση καλύτερης δυνατής εικόνας.

Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος αναπόφευκτα παρουσιάζει και ορισμένους περιορισμούς. Ο σημαντικότερος από αυτούς συνίσταται στο γεγονός ότι η κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων και η ορθή ερμηνεία των αποτελεσμάτων προϋποθέτει εμπειρία και απαιτεί εξειδίκευση. Επιπρόσθετα, η θέαση αντικειμένων υπό δυσμενείς συνθήκες (λ.χ. πυκνό επιφανειακό πλέγμα, υγρασία, ύπαρξη μεγάλων μεταλλικών αντικειμένων, διεπιφάνεια διαφορετικών σκυροδεμάτων χωρίς αρμό) δεν είναι δεδομένη, καθιστώντας την ανάγκη συνδυασμού της μεθόδου με άλλες, καταστροφικές, αναπόδραστη. Βάσει των σαρώσεων που διενεργήθηκαν, είναι φανερό ότι ο εντοπισμός οπλισμού κείμενου πίσω από άλλα μεταλλικά στοιχεία καθίσταται από δυσχερής έως αδύνατος. Το γεγονός αυτό εντείνεται όσο αυξάνεται η πυκνότητα των πλεγμάτων οπλισμού που βρίσκονται εγγύτερα στην επιφάνεια σάρωσης και οφείλεται στη σκίαση των ράβδων μεγάλου

Σε ό,τι αφορά την εφαρμογή της μεθόδου, η επιλογή της συχνότητας της κεραίας διαδραματίζει τον πρωταρχικό ρόλο. Για τη σάρωση των δοκιμίων (πάχος 30cm) αποδείχτηκαν πιο κατάλληλες οι κεραίες 1600MHz και 2600MHz συγκριτικά με την 900MHz. Οι αντανακλάσεις που προέκυψαν από την κεραία συχνότητας 1600MHz ήταν ευκρινείς και επαρκώς διακριτές για τα δοκίμια και τα στοιχεία εργαστηρίου που είχαν πάχος έως 50cm. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κεραία 2600MHz θεωρείται στη βιβλιογραφία πιο κατάλληλη από την 1600MHz για σαρώσεις σε σκυρόδεμα πάχους μικρότερο των 30cm, ωστόσο τα αποτελέσματα που παρείχε δεν ήταν σημαντικά πιο διαφωτιστικά σε σχέση με αυτά που παρείχε η κεραία 1600MHz για τα δοκίμια. Η κεραία 900MHz είναι αρκετά δύσχρηστη για σάρωση λεπτών στοιχείων, όπως τα δοκίμια, διότι παρουσιάζει συγκεχυμένες, θολές, μη καλοσχηματισμένες αντανακλάσεις. Το μήκος της είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό του πάχους στοιχείων έως 1m και των περιεχομένων του.

Συνεπώς, για συνήθεις κατασκευές σκυροδέματος με στοιχεία πάχους ως 50cm συνιστάται η χρήση της κεραίας συχνότητας 1600MHz. Για πιο παχιά στοιχεία, ως 1m είναι απαραίτητη η χρήση της κεραίας συχνότητας 900MHz, η οποία όμως δεν αποδίδει τη ζητούμενη σαφήνεια στις αντανακλάσεις. Για πολύ λεπτά στοιχεία ως 30cm είναι δυνατή η χρήση της κεραίας συχνότητας 2600MHz, η οποία, ωστόσο, συχνά δημιουργεί στη σάρωση γραμμικές αντανακλάσεις που προκύπτουν από την αυτόματη ρύθμιση gain και απαιτεί προσεκτική ερμηνεία.

Ο ορισμός των **ρυθμίσεων παραμέτρων** του συστήματος πρέπει να προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη το σκοπό κάθε σάρωσης. Το range οφείλει να είναι τέτοιο ώστε να μη χάνονται απαιτούμενες πληροφορίες αλλά και να μη συλλέγονται μη αξιολογήσιμες, ομοίως και το position. Ο αριθμός των σημείων gain μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τις απαιτήσεις της σάρωσης: για μια στατική δοκιμή αρκούν τρία σημεία, για μια συνήθη σάρωση τέσσερα, ενώ για μια σάρωση όπου συναντώνται πολλά και συγκεχυμένα περιεχόμενα θα χρειαστούν πέντε. Η τιμές των σημείων επιδρούν καθοριστικά στη λαμβανόμενα εικόνα, αφού μια μεγάλη απόκλιση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων πιθανότατα θα προκαλέσει τη δημιουργία μιας γραμμικής ψευδοαντανάκλασης που θα δυσχεράνει την ερμηνεία. Η καταλληλότητα των τιμών συναρτάται και από τη συχνότητα της κεραίας. Σε κάθε περίπτωση, όμως, επιλέγεται μικρή τιμή για τα πρώτα σημεία, με τις τιμές των επόμενων σημείων να ακολουθούν μια ήπια αύξηση. Επίσης, η οικονομία χρόνου απαιτεί την πραγματοποίηση των ρυθμίσεων με συγκεκριμένη σειρά. Τέλος, προτείνεται να προτιμάται η χειροκίνητη ρύθμιση παραμέτρων έναντι της ταξης του 20% στις εκτιμήσεις των βαθών.

Προτεινόμενες	Συχνότητα Κεραίας (MHz)			
Ρυθμίσεις Παραμέτρων	900 (Μοντέλο 3101Α)	1600 (Μοντέλο 51600S)	2600 (StructureScan mini)	
Συλλογή στοιχείων συναρτήσει	Χρόνου	Απόστασης	Απόστασης	
Range (συνήθεις τιμές)	≤30ns (20-25)	≤20ns (10-15)	≤30cm	
Samples per Scan	512	512/1024	256	
Scans per Unit	200	200	Αυτομάτως	
Format (bits)	16	16	32	
Number of Gain Points	4-5	3 στατική δοκιμή 4 συνήθεις περιπτώσεις 5 απαίτηση μεγάλης ευκρίνειας	Αυτομάτως (1)	

Πίνακας 6.1: Προτεινόμενες ρυθμίσεις παραμέτρων συναρτήσει της συχνότητας της κεραίας

Μια αρκετά σημαντική παράμετρος που συντελεί στη διευκόλυνση της ερμηνείας των σαρώσεων είναι η πραγματοποίησή τους με το **τροχήλατο όχημα**, όποτε αυτό είναι δυνατόν. Χάρη στη συλλογή στοιχείων συναρτήσει της απόστασης και όχι του χρόνου, δημιουργείται μια σαφής εικόνα που δίνει την αίσθηση της τομής της υπό σάρωσης επιφάνειας. Στην περίπτωση σάρωσης συναρτήσει του χρόνου οι υπερβολές διαστρεβλώνονται και το μήκος των γραμμικών αντανακλάσεων βραχύνεται ή επεκτείνεται ανάλογα με την ταχύτητα κίνησης. Προτείνεται να μη χρησιμοποιείται η συλλογή στοιχείων συναρτήσει του χρόνου, παρά μόνο σε περιπτώσεις όπου το τροχήλατο όχημα δεν έχει χώρο ή επαρκώς επίπεδη επιφάνεια να κινηθεί. Επί πλέον, η σάρωση

σε δύο κάθετες διευθύνσεις ή και η συλλογή στοιχείων σε τρισδιάστατο αρχείο με τη χρήση του τροχήλατου είναι καλό να επιδιώκονται όταν διατίθεται ο απαιτούμενος χώρος, γιατί έτσι αποκτάται μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του εσωτερικού του στοιχείου και της μορφής των περιεχόμενων στόχων.

Μεγάλη σημασία πρέπει να δίνεται στο είδος της επιφάνειας η οποία σαρώνεται. Κάθε υλικό διαθέτει ιδιότητες που το καθιστούν διαφορετικό από οποιοδήποτε άλλο. Η χρήση σωστής τιμής της διηλεκτρικής σταθεράς εξαρτάται άμεσα από τη γνώση του υλικού που σαρώνεται και της κατάστασής του. Από τη σωστή εκτίμηση αυτής της τιμής εξαρτάται η ορθή ερμηνεία των βαθών των εντοπισμένων στόχων. Για αυτό πρέπει να γίνεται οποιαδήποτε ενέργεια κρίνεται απαραίτητη προς αυτήν την κατεύθυνση. Προτείνεται να διενεργείται πάντα στατική δοκιμή στις περιπτώσεις που αυτό είναι εφικτό από τη γεωμετρία και τη διάταξη του στοιχείου. Ειδάλλως, ο χρήστης είναι σκόπιμο να είναι ευρηματικός, αναζητώντας άλλα στοιχεία, δομημένα με το υλικό που τον απασχολεί, στα οποία η εκτίμηση της διηλεκτρικής σταθεράς να είναι πιο ευχερής, ώστε να μεταφέρει τα συμπεράσματά του στην εξεταζόμενη περίπτωση.

Η ποιότητα του σκυροδέματος επηρεάζει την εύρεση της κατάλληλης τιμής της διηλεκτρικής σταθεράς. Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα βρέθηκε ότι έχει μεγαλύτερη διηλεκτρική σταθερά κατά 2÷3 μονάδες από το συμβατικό. Αυτό οφείλεται το γεγονός ότι περιέχει μικρότερο ποσοστό κενών, συνεπώς συνολικά η διηλεκτρική σταθερά αυξάνεται. Παρόλα αυτά, η μορφή της εικόνας που προκύπτει είτε για συμβατικό είτε για αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι ίδια.

Σε περίπτωση ύπαρξης υλικού με πολύ διαφορετική διηλεκτρική σταθερά από του συνόλου στο οποίο περιέχεται (όπως είναι το πολυαιθυλένιο και το τούβλο μέσα στο σκυρόδεμα) διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο το πάχος του υλικού αυτού. Εάν το υλικό είναι αρκετά παχύ σε σχέση με το σύνολο του πάχους του στοιχείου, τότε δεν αξιολογούνται τα βάθη των αντανακλάσεων κάτω από αυτό, γιατί η παρουσία του έχει διαστρεβλώσει την τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς. Αντίθετα, αν το υλικό έχει μικρό πάχος σε σχέση με το συνολικό (λ.χ. καταλαμβάνει το 10% του πάχους) τότε η επιρροή του στην τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς αμελητέα και τα βάθη των αντανακλάσεων κάτω από αυτό γιατή η παρουσία του στην τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς στου πάχους) τότε η επιρροή του στην τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς αυτή γίνεται αποφασιστική στις περιπτώσεις ύπαρξης στρώσεων σημαντικού πάχους και διαφορετικών διηλεκτρικών σταθερών, όπως για παράδειγμα στρώσεις διαφορετικού σκυροδέματος ή διαφορετικές εδαφικές στρώσεις. Τότε, μόνο το πάχος και τα βάθη των περιεχομένων της υπερκείμενης στρώσης μπορούν να εκτιμηθούν με ασφάλεια.

Η υγρασία, ως αποτέλεσμα της επιρροής της ηλικίας σκυροδέματος, επιδρά καταλυτικά στην απόκτηση μιας καλής και ερμηνεύσιμης εικόνας. Όσο αυξάνεται η υγρασία, αυξάνεται η διηλεκτρική σταθερά και μειώνεται η ταχύτητα διείσδυσης των κυμάτων στο υλικό. Στα δοκίμια αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος διαπιστώθηκε ότι τους τρεις πρώτους μήνες ηλικίας του σκυροδέματος η διηλεκτρική σταθερά είναι αυξημένη κατά 2÷4 μονάδες και η διεισδυτική ικανότητα της κεραίας 1600MHz περιορίζεται στα 15cm περίπου. Η συνεχής παρουσία της υγρασίας εις βάθος του στοιχείου είναι αυτή που επηρεάζει σημαντικά, και όχι η επιφανειακή, όπως για παράδειγμα αυτή που προκύπτει από έκθεση του στοιχείου σε βροχή μικρής διάρκειας.

Η μορφή των στόχων που προκαλούν την κάθε μια αντανάκλαση μπορεί πολλές φορές να καταστεί γνωστή εξετάζοντας την ένταση, τη μορφή και την πολικότητα αυτών των αντανακλάσεων. Τα στοιχεία που έχουν πολύ διαφορετική διηλεκτρική σταθερά από του σκυροδέματος παρουσιάζουν έντονες αντανακλάσεις και διαφορετική πολικότητα, ανάλογα με το αν έχουν μικρότερη ή μεγαλύτερη διηλεκτρική σταθερά από αυτό. Συνεπώς, τα μεταλλικά

στοιχεία και ο αέρας είναι συνήθως πολύ εμφανή. Η μορφή της αντανάκλασης, υπερβολική ή γραμμική, μπορεί να πληροφορήσει για τη διεύθυνση των στοιχείων που διαπερνά η σάρωση, και έτσι να εξαχθούν συμπεράσματα για τον τρόπο όπλισης των εξεταζόμενων στοιχείων.

	Ένταση Αντανάκλασης		
Υλικό σε επαφή	Αυτοσυμπυκνούμενο	Συμβατικό	Ελαφροσκυρόδεμα
με το σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα	με Ίνες Χάλυβα
Μεταλλικός	ισχυρή ↑↑	ισχυρή ↑↑	ασθενής ↓↓
υπλισμός			
Κοίλος Σωλήνας	ισχυρή ↑↑	-	-
Μεταλλικός			
Χαλυβδόφυλλο	ισχυρή ↑↑	-	-
Πολυαιθυλένιο	ισχυρή ↑↑	-	-
Κοίλος Σωλήνας ΡVC	ισχυρή ↑↑	-	-
Σωλήνας PVC γεμάτος	ισχυρή ↑↑	-	-
Οπτοπλινθοδομή	ισχυρή ↑↑	-	-
Ξύλο	ασθενής ↓	-	-
Σκυρόδεμα	ασθενής ↓↓	-	-

Πίνακας 6.2: Ένταση αντανάκλασης ανάλογα με τους στόχους που περιέχονται στο σκυρόδεμα. Τα κελιά που περιέχουν παύλες είναι αυτά για τα οποία δεν διατίθενται στοιχεία από την παρούσα εργασία.

Το μέγεθος της υπερβολής δεν μεταβάλλεται για στόχους διαμέτρου μικρότερης από 5cm, καθώς οι στόχοι αυτοί γίνονται αντιληπτοί από το ραντάρ ως σημειακοί, αφού η διάμετρός τους είναι ένα κλάσμα μόνο του μήκους κύματος που εκπέμπεται. Για αυτό το λόγο δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός της διαμέτρου οπλισμών, ούτε η διαπίστωση της διαφοροποίησης μεταξύ ραβδωτών και μη στοιχείων. Μόνο συγκρίσεις μπορούν να επιχειρηθούν για τα μεγέθη των ράβδων. Χρησιμοποιώντας την κεραία με το συνήθη προσανατολισμό των 0° δεν είναι δυνατή η διάκριση της διαφοροποίησης των διαμέτρων οπλισμών. Αντιθέτως, με την κεραία στραμμένη κατά 90° η διάκριση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε αρκετές περιπτώσεις. Οι ράβδοι μεγαλύτερης διαμέτρου παρουσιάζονται πιο έντονες από τις πιο λεπτές. Συνεπώς, ο προσανατολισμός της κεραίας είναι πρωτεύουσας σημασίας στην εύρεση οπλισμών διαφορετικών διαμέτρων. Πέραν αυτού του πλεονεκτήματος, χάρη στην αποδυνάμωση της έντασης των αντανακλάσεων μεταλλικών στόχων, η αλλαγή προσανατολισμού μπορεί να συμβάλλει στην πιο σαφή ένδειξη του πάχους του στοιχείου. Η αποδοτικότητα της μεθόδου, όμως, μειώνεται σημαντικά όσο αυξάνεται ο συνωστισμός οπλισμού μέσα στο στοιχείο

Μια ακόμα παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη χρήση της μεθόδου είναι η **σκίαση** στόχων από άλλους. Καταρχάς, ένα πλέγμα οπλισμού για να θεωρείται ότι δεν σκιάζει τους υποκείμενους σε αυτό στόχους πρέπει να είναι 10x10cm ή μεγαλύτερο. Ένα πλέγμα μικρότερο ή ίσο του 5x5cm ή η παρουσία ινών χάλυβα το πιθανότερο είναι ότι καθιστούν σχεδόν αδιαπέραστο το υλικό από το ηλεκτρομαγνητικό σήμα. Γενικώς, ο συνωστισμός οπλισμών μειώνει πολύ την ποσότητα των αποκτώμενων πληροφοριών που αφορούν στοιχεία που βρίσκονται κάτω από αυτούς. Επίσης, ράβδοι με μεταξύ του απόσταση ως 5cm είναι οριακά ορατές ως ξεχωριστές υπερβολές για την κεραία 1600MHz και αν η απόστασή τους μειωθεί θα απεικονίζονται ως

ενιαίος στόχος. Σε περίπτωση ύπαρξης οπλισμού σε δύο στρώσεις, η επαρκής απόσταση της άνω στρώσης από την κάτω συνεισφέρει στον εντοπισμό της δεύτερης. Όταν κάτω από μια ράβδο τοποθετείται μια δεύτερη, τότε αυτή είναι πιο εύκολα ορατή αν η απόστασή τους στον κατακόρυφο άξονα του αρχείου είναι της τάξης των 10÷12cm. Ωστόσο, ο βαθύτερος στόχος ενδέχεται να παραμείνει μη ορατός σε περίπτωση που βρίσκεται ακριβώς κάτω από τον ρηχότερο. Η οριζόντια απόσταση που απαιτείται ώστε να φανούν ως διακριτοί, ξεχωριστοί στόχοι είναι 2,50cm.

Εξετάζοντας την επαναληψιμότητα της μεθόδου, διεξάχθηκε το ακόλουθο συμπέρασμα: εάν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σαρωθεί ένα υλικό στο περιβάλλον του οποίου επικρατούν οι ίδιες συνθήκες, ενώ και οι ρυθμίσεις συλλογής δεδομένων είναι ίδιες αλλά και η διαδρομή της σάρωσης, τότε η λαμβανόμενη εικόνα θα προκύψει ίδια. Συνεπώς, η μέθοδος χαρακτηρίζεται από ένα υψηλό επίπεδο επαναληψιμότητας. Επίσης, η **ακρίβεια** της μεθόδου κρίνεται πολύ ικανοποιητική, καθώς για στοιχεία πάχους 20÷30cm μπορεί να υποδείξει διαφορές βαθών ίσες με 1÷1,5cm, με την προϋπόθεση της σωστής ερμηνείας και της χρήσης ορθής τιμής διηλεκτρικής σταθεράς.

Προτάσεις επί πλέον έρευνας

Παρατίθενται ορισμένες προτάσεις οι οποίες θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στην επέκταση της υπάρχουσας γνώσης γύρω από τη μέθοδο του ραντάρ, ώστε να διερευνηθεί διεξοδικότερα η αποτελεσματικότητά της στις κατασκευές ωπλισμένου σκυροδέματος. Καταρχάς, είναι απαραίτητη η εξέταση της επιρροής της διάβρωσης του οπλισμού στην αποκτώμενη εικόνα, ώστε να διαπιστωθεί η διαφοροποίηση της λαμβανόμενης αντανάκλασης. Για αυτό, προτείνεται η κατασκευή τριών δοκιμίων από το ίδιο σκυρόδεμα, όπου στο πρώτο θα συνυπάρχουν ήδη διαβρωμένες και μη διαβρωμένες ράβδοι, στο δεύτερο θα περιέχονται μόνο μη διαβρωμένες ράβδοι και οι συνθήκες έκθεσης του δοκιμίου δεν θα επιτρέπουν τη διάβρωση και στο τρίτο θα περιέχονται μη διαβρωμένες ράβδοι, αλλά οι συνθήκες έκθεσης θα είναι τέτοιες που θα επιφέρουν διάβρωση. Ύστερα, προκειμένου να διερευνηθεί το εύρος των εσωτερικών ρωγμών που μπορεί να γίνει αισθητό από την κεραία, συστήνεται η προσομοίωση ρωγμών σε δοκίμια με την τοποθέτηση φύλλων χαρτονιού διαφορετικών παχών και σε διαφορετικά βάθη. Έπειτα, θεωρώντας σημαντική τη γνώση της επιρροής των αποτελεσμάτων της μεθόδου από τις συνθήκες στις οποίες έχει εκτεθεί το εξεταζόμενο στοιχείο, προτείνεται να σαρωθούν δοκίμια που έχουν υποστεί είτε κύκλους ψύξης-απόψυξης, είτε πυρκαγιά. Τέλος. στογεύοντας στη λεπτομερέστερη αποτίμηση του επιπέδου ακρίβειας της μεθόδου του ραντάρ και στην ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται από αυτήν, θεωρείται εξαιρετικά γρήσιμος ο συνδυασμός της μεθόδου με άλλες μεθόδους εξέτασης εσωτερικής κατάστασης στοιγείων, καταστροφικές και μη.

- [1] Barrile V., Puccinoti R., Application of radar technology to reinforced concrete structures: a case study, *NDT & E International*, 2005, pp. 596-604
- [2] Daniels D.J., Surface-Penetrating Radar, *The Institution of Electrical Engineers*, 1996, p.300
- [3] Dojack L., Ground Penetrating Radar Theory, Data Collection, Processing, and Interpretation: A Guide for Archaeologists, April 2012, p.94
- [4] GSSI, GSSI Handbook For RADAR Inspection of Concrete, August 2006, p.34
- [5] GSSI, SIR System-3000 Manual, December 2009, p.91
- [6] GSSI, StructureScan Standard, Quick Start Guide
- [7] GSSI, Radan 6.6, Radan 7 Manuals (Ηλεκτρονική πηγή)
- [8] Hamzeh Layane, Ground Penetrating Radar Technique For Bridge Deck Inspection, Master's Thesis, American University of Sharjah, July 2013, p.116
- [9] Hugensmith J., Kalogeropoulos A., Soldovieri F., Pisco G., Processing strategies for high-resolution GPR concrete inspections, *NDT & E International*, 2010, pp. 334-342
- [10] Kalogeropoulos Alexis, Non-Destructive Determination of Chloride and Water Content in Concrete Using Ground Penetrating Radar, *Ph.D., Ecole Polytechnique Federale de Lausanne*, April 2012, p.81
- [11] Lai, Kou, Tsang, Poon, Characterization of concrete properties from dielectric properties using ground penetrating radar, *Cement and Concrete Research*, May 2009, pp. 687-695
- [12] Millard, Shaari, Bungey, Field pattern characteristics of GPR antennas, NDT & E International, April 2002, pp. 473-482
- [13] Nisingizwe Claudel, Development Of Ground Penetrating Radar Image Library For Setup Parameters, *Master's Thesis, University of Louisville*, August 2007, p.101
- [14] Nord M., Recommendations for guidelines for the use of GPR in bridge deck surveys, May 2011 (Ηλεκτρονική πηγή)
- [15] Perez-Gracia, Di Capua, Gonzalez-Drigo, Pujades, Laboratory characterization of a GPR antenna for high-resolution testing: Radiation pattern and vertical resolution, NDT & E International, 2009, pp. 336-344
- [16] Popa Paul, Evaluation of Ground Penetrating Radar as a Non-Destructive Investigation Method in Concrete Elements, *Master's Thesis, Chalmers University of Technology*, 2014, p.47
- [17] Sbartaï Z.M., Laurens S., Balayssac J. P., Ballivy G., Arliguie G., Effect of Concrete Moisture on Radar Signal Amplitude, *ACI Materials Journal*, October 2015, pp. 419-426
- [18] Shaw M.R., Millard S.G., Molyneaux T.C.K, Taylor M.J, Bungey J.H., Location of steel reinforcement in concrete using ground penetrating radar and neural networks, NDT & E International, 2004, pg. 203-212
- [19] Sika, Εγχειρίδιο Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Ηλεκτρονική πηγή)
- [20] Soldovieri F., Persico R., Utsi E., Utsi V., The application of inverse scattering techniques with ground penetrating radar to the problem of rebar location in concrete, NDT & E International, 2006, pp. 602-607

- [21] Soutsos M.N., Bungey J.H., Millard S.G., Shaw M.R., Patterson A., Dielectric properties of concrete and their influence on radar testing, *NDT & E International*, 2001, pg. 419-425
- [22] Tarussov A., Vandry M., De La Haza A. Condition assessment of concrete structures using a new analysis method: Ground-penetrating radar computer-assisted visual interpretation, *Construction and Building Materials*, 2013, pp. 1246-1254
- [23] Trezos K., Palieraki V., Sfikas I., Effectiveness of GPR on Structural Assessment: Hints for the Potential User, *IABSE Spring Conference 2013*, 2013 (Ηλεκτρονική πηγή)
- [24] Viedma Parrilla D. GPR for road monitoring and damage detection: The Layer-Stripping Algorithm, *Master's Thesis, Universitö degli studi Roma Tre*, October 2006, p.76
- [25] Viriyametanont, Laurens, Klysz, Balayssac, Arliguiea, Radar survey of concrete elements: Effect of concrete properties on propagation velocity and time zero, NDT & E International, 2008, pp. 198-207
- [26] Yelf R.J., Application of Ground Penetrating Radar to Civil and Geotechnical Engineering, *Georadar Research Pty Ltd, Australia*, 2007, p. 117
- [27] Zanzi L., Arosio D., Sensitivity and accuracy in rebar diameter measurements from dualpolarized GPR data, *Construction and Building Materials*, 2013, pp. 1293-1301
- [28] Zhang, Hie, Huang, Application of ground penetrating radar in grouting evaluation for shield tunnel construction, *Tunnelling and Underground Space Technology*, October 2009, pp. 99-107
- [29] Καπετανάκης Σπυρίδων, Αποτίμηση Καταστάσεως Κατασκευών με Ηλεκτρομαγνητικές Μεθόδους, Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π., Οκτώβριος 2002, σελ. 147
- [30] Παλιεράκη Βασιλική, Η χρήση ραντάρ και ενδοσκοπήσεων για τη διερεύνηση παλαιών τοιχοποιιών: Εφαρμογή στη Μονή Δαφνίου, Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π., Οκτώβριος 2003, σελ. 174
- [31] Τρέζος Κ., Σπανός Χ., Σπιθάκης Μ., Μέθοδοι για την επιτόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, ΤΕΕ, Αντισεισμική θωράκιση υφιστάμενων κατασκευών, Ομάδα Εργασίας Π-3, Μάιος 2001, σελ. 120

[32] Ιστοσελίδες:

- http://www.astm.org/Standards/D6432.htm
- http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/tables/diel.html
- http://www.ndtoolbox.org/content/bridge/gpr-physical-principle
- http://www.sungwootech.co.kr/comp06.php
- [33] Youtube Channels:
- GSSI: "What is GPR? And how does it work?"
- AgGeophysics: "Ground Penetrating Radar Jim Doolittle, USDA-NRCS, National Soil Survey Center"

ПАРАРТНМА

Πραγματοποιείται ένας προσεγγιστικός υπολογισμός με σκοπό τη σύγκριση του υπάρχοντος οπλισμού των πλακών του Α ορόφου του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος με αυτόν που θα αναμενόταν να υπάρχει,. Επειδή είναι γνωστό πως το παλιό τμήμα του Εργαστηρίου οικοδομήθηκε περί το 1960, έχει ληφθεί υπόψη άλλη κατηγορία χάλυβα οπλισμού από αυτόν που χρησιμοποιείται σήμερα. Επίσης, το Εργαστήριο θεωρήθηκε ότι αποτελεί κτίριο για το οποίο οι απαιτήσεις ανάληψης φορτίων είναι αυξημένες, αφού φέρει βαρύ εξοπλισμό τόσο ως νεκρό όσο και ως ωφέλιμο φορτίο.

Προσεγγιστικές παραδοχές φορτίων πλακών

Επικαλύψεις: 2,00kN/m²

Πρόσθετα μόνιμα: 1,50 kN/m²

Κινητά: 5,00kN/m²

<u>Υλικά</u>

Σκυρόδεμα C20/25

Χάλυβας οπλισμού κοινός, κατηγορίας Ι, με όριο διαρροής ίσο με 220MPa

<u>Διεύθυνση Κάμψης</u>

Κάμψη κατά μία διεύθυνση, καθώς

 $\frac{16,30}{5,15} \approx 3,17 > 2$

Συνεπώς, για διέρειστες πλάκες εξετάζεται λωρίδα πλάτους 1,00m.

Θεωρητικά ανοίγματα

Για όλες τις πλάκες απλοποιητικά δεχόμαστε *h=0,19cm* για τον υπολογισμό των θεωρητικών ανοιγμάτων (αλλά στην επίλυση τέθηκε το πάχος της κάθε πλάκας όσο βρέθηκε κατά τη σάρωση).

$$l = 4,58 + \frac{0,19}{2} + \frac{0,19}{2} = 4,77m$$
$$l = l_{net} + \sum_{i=1}^{2} a_i$$
$$a_i = \min\left\{\frac{b}{2}, \frac{h}{2}\right\} = \frac{h}{2}$$

Υπολογισμός φορτίων

Κινητά:

$$q = 5,00 \frac{kN}{m^2} * 1,00m = 5,00 \frac{kN}{m}$$

Μόνιμα: $g_{i\delta\iota\sigma\ \beta\dot{\alpha}\rho\sigma\varsigma} = \gamma_b * h * b = 25,00 \frac{kN}{m^3} * 0,19m * 1,00m = 4,75 \frac{kN}{m}$

$$g_{\varepsilon\pi\iota\kappa\alpha\lambda\dot{\upsilon}\psi\varepsilon\iota\varsigma} = 2,00\frac{kN}{m^2} * 1,00m = 2,00\frac{kN}{m}$$

$$g_{\lambda\dot{\upsilon}\gamma\omega\mu\dot{\upsilon}\nu\iota\rho\upsilon} = 1,50\frac{kN}{m^2} * 1,00m = 1,50\frac{kN}{m}$$

$$g_{\lambda\dot{\upsilon}\gamma\omega\mu\dot{\upsilon}\nu\iota\rho\upsilon} = 4,75 + 1,50 + 1,50 = 8,25\frac{kN}{m}$$

Δυσμενής φόρτιση: 1,35g + 1,50q = 18,64 $\frac{kN}{m}$,

Ευμενής φόρτιση: 1,00 $g = 8,25 \frac{kN}{m}$

Διαστασιολόγηση σε κάμψη:

Αφού πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι συνδυασμοί φορτίσεων (καθένας εκ των οποίων παρατίθεται μετά τη λήξη των υπολογισμών) προκύπτουν τα ακόλουθα:

Κύριος οπλισμός:

Για πάχος πλάκας ίσο με 19cm: Στατικό ύψος d=16cm

Για πάχος πλάκας ίσο με 17cm: Στατικό ύψος d=14cm

Δυσμενέστερο άνοιγμα:

$$\mu = \frac{maxM}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{37,93}{1 * 0,14^2 * 0,85 * \frac{20000}{1,50}} = 0,171$$

Με γραμμική παρεμβολή προκύπτει $\omega = 0,1892$

$$A_{s} = \frac{\omega * b * d * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,1892 * 1,00 * 0,14 * 0,85 * \frac{20}{1,50}}{\frac{220}{1,15}} = 15,69\frac{cm^{2}}{m}$$

Τοποθέτηση Φ18/16 κάτω (αποδίδουν 15,90 $\frac{cm^2}{m}$)

Δυσμενέστερη στήριζη:

$$\mu = \frac{maxM}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{47,89}{1 * 0,14^2 * 0,85 * \frac{20000}{1,50}} = 0,216$$

Προκύπτει ω = 0,2464

$$A_{s} = \frac{\omega * b * d * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,2464 * 1,00 * 0,14 * 0,85 * \frac{20}{1,50}}{\frac{220}{1,15}} = 20,44 \frac{cm^{2}}{m}$$

Οπλισμός στηρίζεων:

Απαίτηση πρόσθετου άνω οπλισμού (καπάκια) με παραδοχή αναλογίας μεταξύ ροπής αντοχής και εμβαδού οπλισμού:

$$20,44\frac{cm^2}{m} - 15,90\frac{cm^2}{m} = 4,54\frac{cm^2}{m}$$

Τοποθέτηση Φ14/33 άνω (αποδίδουν 4,66 $\frac{cm^2}{m}$)

Δευτερεύων οπλισμός:

$$A_{s,\delta\varepsilon\upsilon\tau\varepsilon\rho} = 20\% A_{s,\pi\rho\omega\tau} = 0.2 * 15.69 = 3.138 \frac{cm^2}{m}$$

Τοποθέτηση Φ10/25 κάτω (αποδίδου
ν ${\bf 3,}{\bf 14}\frac{cm^2}{m})$

ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Τέθηκε πάχος πλακών **0,1,2** ίσο με 17cm και πάχος πλακών **3,4** ίσο με 19cm.

ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ:

Στήριξη 1





Στήριξη 2



Στήριξη 3





Στήριξη 4





ANOIFMATA:

Ανοίγματα 0, 2 και 4





Ανοίγματα 1 και 3





ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ:



Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μια σάρωση με το μαγνητόμετρο που πραγματοποιήθηκε στο μέσον της κάτω πλευράς της πλάκας Π3 του ορόφου με στόχο την επαλήθευση των αποστάσεων των ράβδων και την προσεγγιστική εκτίμηση της επικάλυψης των οπλισμών. Όντως, μέσα σε ένα μέτρο συναντώνται 6 ράβδοι κύριου οπλισμού, αλλά οι μεταξύ τους αποστάσεις δεν είναι απολύτως ίσες, άρα δεν έχουν τηρηθεί με απόλυτη ακρίβεια. Η επικάλυψή τους φαίνεται πως είναι πολύ μικρή, αν ληφθεί υπόψη και η ύπαρξη του σοβά, όποια τιμή διαμέτρου κι αν τεθεί. Θέτοντας τιμή Φ16 η επικάλυψη προκύπτει περίπου 16mm.



Εικόνα i: Σάρωση της κάτω πλευράς της πλάκας Π3 με το μαγνητόμετρο

Καταβλήθηκε προσπάθεια να αξιοποιηθούν τα δεδομένα που μπορούν να προκύψουν από τις οπές που υπάρχουν στην πλάκα Π5 του ορόφου. Παρατηρήθηκε ότι η μεγαλύτερη από τις τρεις οπές παρουσιάζει ορισμένα στοιχεία διαφορετικού χρωματισμού από τα υπόλοιπα και προκειμένου να αποσαφηνιστεί αν όντως πρόκειται ή όχι για οπλισμούς, χρησιμοποιήθηκε ένας μαγνήτης. Οι ράβδοι, ως μεταλλικά στοιχεία, έλκουν το μαγνήτη και χάρη στο χαρακτηριστικό αυτό διαπιστώθηκε η παρουσία τους. Στις επόμενες εικόνες φαίνονται οι θέσεις που συναντώνται τεμνόμενοι οπλισμοί. Είναι αναμενόμενο οι δύο θέσεις όπου συναντάται κύριος οπλισμός και οι αντίστοιχες δύο θέσεις όπου υπάρχει οπλισμός διανομής να βρίσκονται μεταξύ τους απέναντι. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε παχύμετρο για να εκτιμηθεί η διάμετρος των οπλισμών. Λόγω της διεύθυνσης της τομής σε σχέση με τη διεύθυνση των οπλισμών, αυτοί δεν έχουν τη μορφή μιας συνήθους κυκλικής διατομής, αλλά μιας έλλειψης. Το μέγεθος που μετράται είναι το μήκος του μικρότερου άξονα της έλλειψης, δηλαδή το κατακόρυφο, όπως φαίνεται και στις εικόνες. Ύστερα από δοκιμές διαφορετικών διαμέτρων, οι οποίες παρατίθενται παρακάτω, βρέθηκε κατά προσέγγιση ότι οι κύριοι οπλισμοί είναι τάξης Φ16 κατά πάσα πιθανότητα, ενώ οι οπλισμοί διανομής Φ6. Όπως φαίνεται από τη σύγκριση των μεγεθών, το πάχος της επικάλυψης των κύριων οπλισμών είναι πολύ μικρότερο από αυτό της διανομής και είναι και πολύ πιο μικρό από αυτό που θα αναμενόταν.

Σημεία εύρεσης οπλισμών



Εικόνα ii: Θέση που βρέθηκε οπλισμός διανομής



Εικόνα iii: Θέση Α που βρέθηκε κύριος οπλισμός και οπλισμός διανομής



Εικόνα iv: Θέση Β που βρέθηκε κύριος οπλισμός

<u>Κύριος Οπλισμός</u>



Εικόνα ν: Οπλισμός Β και παχύμετρο με άνοιγμα Φ20



Εικόνα vi: Οπλισμός Α και παχύμετρο με άνοιγμα Φ20



Εικόνα νii: Οπλισμός Β και παχύμετρο με άνοιγμα Φ18



Εικόνα viii: Οπλισμός Β και παχύμετρο με άνοιγμα Φ16



Εικόνα ix: Οπλισμός Α και παχύμετρο με άνοιγμα Φ16



Εικόνα x: Οπλισμός Β και παχύμετρο με άνοιγμα Φ14



Εικόνα xi: Οπλισμός Α και παχύμετρο με άνοιγμα Φ14

<u>Οπλισμός διανομής</u>



Εικόνα xii: Οπλισμός διανομής και παχύμετρο με άνοιγμα Φ8



Εικόνα xiii: Οπλισμός διανομής και παχύμετρο με άνοιγμα Φ6