

Φράγματα από ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC) Τεχνολογία κατασκευής και ποιοτικός έλεγχος

Δ.Γ. Κούμouλος
Δρ Πολιτικός Μηχανικός, ΚΑΣΤΩΡ ΕΠΕ

Θ.Π. Κοργιαλός
Πολιτικός Μηχανικός M.Sc., ΚΑΣΤΩΡ ΕΠΕ

Λέξεις κλειδιά: ισχνό RCC, φράγματα, συμμετρική διατομή, ποιοτικός έλεγχος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Φράγματα από ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC) με συμμετρική διατομή έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα και μπορούν να κατασκευαστούν με χαμηλής ποιότητας αδρανή και μικρή περιεκτικότητα σε τσιμέντο. Παρουσιάζεται η εμπειρία που αποκτήθηκε από τον ποιοτικό έλεγχο κατά την διάρκεια της κατασκευής των φραγμάτων Μαραθιάς και Άνω Μεράς Μυκόνου, ύψους 28m και 32m αντίστοιχα.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογία του ισχνού κυλινδρούμενου σκυροδέματος RCC παρουσίασε αλματώδη εξέλιξη τα τελευταία εικοσιπέντε χρόνια για την κατασκευή φραγμάτων και έχει γίνει ευρύτατα αποδεκτή σαν μια εναλλακτική μέθοδος αντί της κατασκευής λιθόρριπτων φραγμάτων ή φραγμάτων από σκυρόδεμα. Αυτό οφείλεται στην ταχύτητα κατασκευής των φραγμάτων RCC σε σχέση με τα λιθόρριπτα φράγματα και τα φράγματα από σκυρόδεμα και στις μειωμένες ποσότητες των απαιτούμενων υλικών κατασκευής σε σύγκριση με τα λιθόρριπτα και τα χωμάτινα φράγματα. Τα φράγματα RCC αποτελούν ιδεώδη λύση σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν γαιώδη υλικά για την κατασκευή χωμάτινων φραγμάτων ή όπου δεν είναι εφικτή η δημιουργία εκτεταμένων δανειοθαλάμων για περιβαλλοντικούς ή άλλους λόγους.

Το RCC είναι ένα υλικό με σημαντική συνοχή και υψηλή αντίσταση σε διάβρωση σε σχέση με συμπακνωμένα εδαφικά υλικά. Ο συνδυασμός της συμπύκνωσης και της σύνδεσης των αδρανών λόγω της παρουσίας του τσιμέντου έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου υλικού το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον Γεωτεχνικό Μηχανικό σε ένα πλήθος εφαρμογών όπως, παραδείγματος χάριν, για την κατασκευή φραγμάτων, την ενίσχυση και επισκευή υπαρχόντων φραγμάτων, την κατασκευή έργων εκτροπής κλπ.

Χαρακτηριστικό της επιτυχούς εξέλιξης της τεχνολογίας του RCC είναι το γεγονός ότι ενώ μέχρι το 1985 είχαν κατασκευαστεί μόνο επτά φράγματα, μέχρι το 2008 είχε ολοκληρωθεί ή ήταν υπό κατασκευή 397 μικρά και μεγάλα φράγματα σε όλο τον κόσμο. Λεπτομερής καταγραφή όλων αυτών των φραγμάτων δίδονται από τον M.R.H. Dunstan στην ιστοσελίδα www.rccdams.com. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία κατασκευής φραγμάτων RCC και στην αποκτηθείσα εμπειρία διεθνώς παρουσιάζονται στα Πρακτικά του 4^{ου} Διεθνούς Συμποσίου φραγμάτων RCC {10}.

2 ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΙΣΧΝΟ RCC ΜΕ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

Η Εισήγηση επικεντρώνεται σε φράγματα από ισχύο κυλινδρούμενο σκυρόδεμα με στεγανωτική πλάκα ανάντη. Τα φράγματα αυτά μπορούν να κατασκευαστούν με χαμηλής ποιότητας αδρανή και μικρή περιεκτικότητα σε τσιμέντο μη υπερβαίνουσα τα 80 έως 90kg/m³.

Για ιστορικούς λόγους αναφέρεται ότι η συμμετρική διατομή για φράγματα RCC υιοθετήθηκε για πρώτη φορά το 1976 από τον Raphael ο οποίος πρότεινε την χρήση χωματουργικών μηχανημάτων για την διάστρωση και συμπύκνωση του ισχύο σκυροδέματος {9}.

Τα πλεονεκτήματα των φραγμάτων από ισχύο RCC με συμμετρική διατομή συνοψίζονται ως εξής {8}:

- α. Οι κατακόρυφες τάσεις στο σώμα του φράγματος και στη θεμελίωσή του είναι μικρές και σχεδόν ομοιόμορφες για οποιοδήποτε ύψος νερού στον ταμιευτήρα. Η μέγιστη κατακόρυφη τάση ενός φράγματος ύψους 100m προκύπτει ότι είναι μικρότερη του 1.5MPa. Αυτό σημαίνει ότι για αντοχή του RCC σε μονοαξονική θλίψη μεταξύ 4 και 6MPa, επιτυγχάνεται συντελεστής ασφαλείας κυμαινόμενος μεταξύ 3 και 4.
- β. Δεν απαιτείται αντοχή του RCC σε εφελκυσμό γιατί δεν αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις στο σώμα του φράγματος ακόμα και στην περίπτωση σοβαρού σεισμού.
- γ. Οι αναπτυσσόμενες τάσεις διατμήσεως είναι μικρές.
- δ. Δεν απαιτείται δαπανηρή προετοιμασία της επιφάνειας του RCC πριν από την τοποθέτηση της επόμενης στρώσεως σε περίπτωση που δημιουργηθεί “ψυχρός αρμός” λόγω παρατεταμένης διακοπής των εργασιών διάστρωσης και συμπύκνωσης του RCC.
- ε. Λόγω της μικρής περιεκτικότητας του RCC σε τσιμέντο, οι αναπτυσσόμενες τάσεις λόγω θερμοκρασίας είναι σημαντικά μικρότερες από εκείνες που αναπτύσσονται σε φράγματα RCC με υψηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο και ιπτάμενη τέφρα.

Επιπλέον αυτών, το μέτρο ελαστικότητας RCC με χαμηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο είναι μικρότερο σε σύγκριση με το αντίστοιχο του RCC με υψηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο και ιπτάμενη τέφρα. Κατά συνέπεια το ισχύο RCC είναι ένα υλικό λιγότερο ψαθυρό με αποτέλεσμα να περιορίζεται σημαντικά ο κίνδυνος ρηγματώσης.

Ήδη έχουν κατασκευαστεί με επιτυχία περισσότερα από 35 μικρά και μεγάλα φράγματα από ισχύο RCC με συμμετρική διατομή σε διάφορες χώρες. Στον Πίνακα 1 αναφέρονται ενδεικτικά μερικά φράγματα το ύψος των οποίων υπερβαίνει τα 100m.

Πίνακας 1. Φράγματα από ισχύο RCC με ύψος μεγαλύτερο των 100m.

Χώρα	Φράγμα	Ύψος (m)	Περιεκτικότητα σε		Βιβλιογραφική Αναφορά
			Τσιμέντο (kg/m ³)	Ιπτάμενη Τέφρα (kg/m ³)	
Βραζιλία	Irapé	206	90	0	{7}
Βραζιλία	Barra Grande	195	90	0	{7}
Βραζιλία	São Simão	120	97	0	{7}
Αγ. Δομίνικος	Monción	119	80	0	{5}
Τουρκία	Cindere	107	50	20	{3}
Τουρκία	Oyuk	100	50	30	{4}

Στη χώρα μας έχουν κατασκευαστεί τα φράγματα Μαραθιάς, Άνω Μεράς και Σερίφου, ενώ είναι υπό κατασκευή τα φράγματα Κόρης Γεφύρι στην Χίο, Ληθαίου στην Καλαμπάκα και Βαλσαμιώτη στην Κρήτη.

Με την συσσωρευθείσα εμπειρία είναι πλέον δυνατόν να κατασκευαστούν στη χώρα μας και άλλα φράγματα από ισχύο RCC με συμμετρική διατομή και μεγαλύτερα ύψη, και να αντιμετωπιστούν με επιτυχία τα συνήθη προβλήματα στεγανότητας καθώς και άλλα κατασκευαστικά θέματα.

3 ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΑΠΟ ΔΥΟ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΙΣΧΝΟΥ RCC

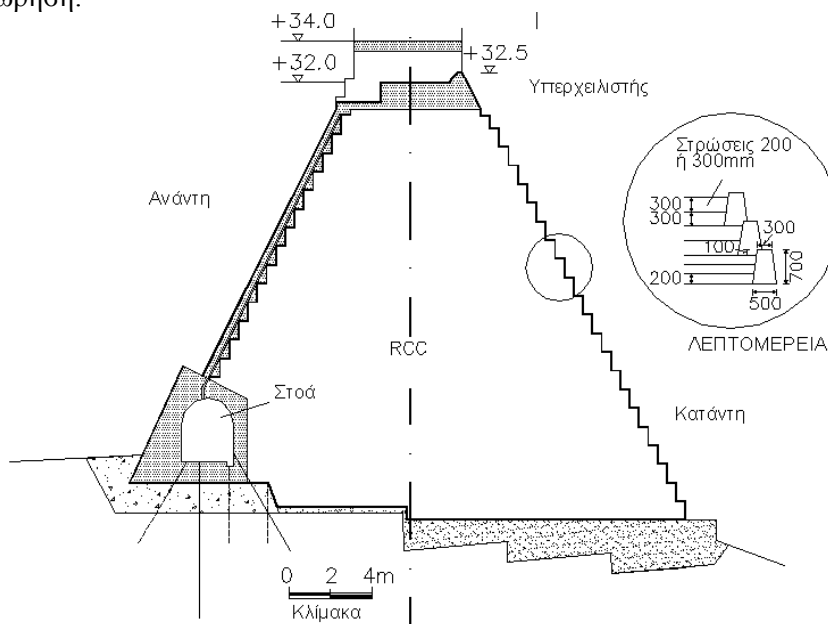
Το πρώτο φράγμα ισχύο RCC που κατασκευάστηκε στη χώρα μας είναι το φράγμα Μαραθιάς Μυκόνου. Έχει ύψος 28m και η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 1993.

Το δεύτερο φράγμα ισχύο RCC είναι το φράγμα Άνω Μεράς Μυκόνου το ύψος του οποίου είναι 32m. Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 1997.

Και τα δύο φράγματα έχουν συμμετρική διατομή και στεγανωτική πλάκα ανάντη. Τυπική διατομή των φραγμάτων δίδεται στο Σχήμα 1. Οι κλίσεις των παρειών ανάντη και κατόντη είναι 2:1. Η διάστρωση και συμπύκνωση του RCC γινόταν σε στρώσεις των 200mm ή 300mm μεταξύ στερεών εγκιβωτισμού τα οποία κατασκευάζονταν επί τόπου με ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα με ολισθαίνοντες μεταλλότυπους, τύπου Comasco. Στην λεπτομέρεια του Σχήματος 1 δίδεται η γεωμετρία των στερεών εγκιβωτισμού. Η κλίση της εσωτερικής επιφάνειας των στερεών εγκιβωτισμού επιτρέπει την κίνηση του δονητικού συμπυκνωτού ώστε να επιτυγχάνεται η συμπύκνωση του υλικού που είναι σε επαφή με τα στερεά εγκιβωτισμού.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, ο υπερχειλιστής είναι ενσωματωμένος στο σώμα του φράγματος και αυτό επιφέρει σημαντική οικονομία στο κόστος του έργου γιατί δεν απαιτείται ξεχωριστή κατασκευή υπερχειλιστού.

Η στοά είναι απαραίτητη για την αποστράγγιση τυχόν διαρροών από την ανάντη πλάκα και για επιθεώρηση.



Σχήμα 1: Τυπική διατομή φράγματος στην θέση του υπερχειλιστή.

3.1 Χρησιμοποιηθέντα Υλικά

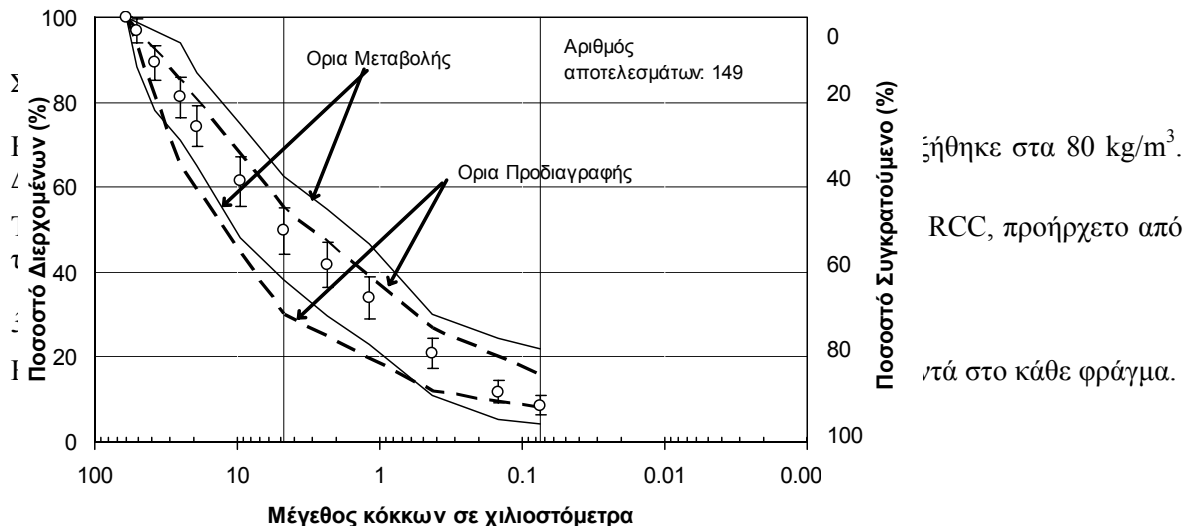
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για το RCC ήταν γρανιτικά υλικά με ελαφρά έως μέση αποσάθρωση και προήρχοντο από τα αμμογάλικά της κοίτης και από τις γενικές εκσκαφές μετά από διαλογή.

Δοκιμές αντοχής των υλικών αυτών σε τριβή και κρούση στη μηχανή Los Angeles έδωσαν υψηλά ποσοστά απώλειας κυμαινόμενα μεταξύ ενός ελαχίστου 42 και ενός μεγίστου 55 τοις εκατό. Οι δοκιμές υγείας με χρήση θειϊκού νατρίου έδωσαν ποσοστά απώλειας κυμαινόμενα μεταξύ 2 και 13 τοις εκατό.

Η παραγωγή και αποθήκευση των αδρανών γινόταν με μικρής κλίμακας θραύση μεγάλων λίθων και κοσκίνισμα. Μέγιστη διάμετρος αδρανών ήταν 60mm. Μετά από κατάλληλη σύνθεση, οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των αδρανών ήταν εντός των ορίων μεταβολής του Σχήματος 2. Τα παραπάνω όρια περιλαμβάνουν και κοκκομετρικές διαβαθμίσεις που προέκυψαν από δείγματα μιγμάτων RCC τα οποία ελήφθησαν από τον αναμικτήρα και κατά την διάστρωση. Κατά καιρούς γινόταν εμπλουτισμός των αδρανών με αδρανή ασβεστολιθικής προελεύσεως για την βελτίωση της κοκκομετρικής διαβαθμίσεως.

Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε ήταν Πόρτλαντ Ελληνικού Τύπου Π/35 το οποίο έχει περιεκτικότητα σε ιπτάμενη τέφρα ή/και θηραϊκή γη σε ποσοστό της τάξεως του 20 τοις εκατό. Η λεπτότητα αλέσεως κατά Blaine κυμαινόταν μεταξύ 4400 και 4780 cm²/gr, και το ειδικό βάρος μεταξύ 2.93 και 2.99.

Χάλικες	Άμμος	Λεπτόκοκκα
---------	-------	------------



Η μεταφορά του RCC στο φράγμα γινόταν με φορτηγά. Ακολουθούσε διάστρωση με ισοπεδωτή και συμπύκνωση με δονητικό οδοστρωτήρα.

Συμπυκνωμένες στρώσεις RCC διατηρούνταν υγρές με συνεχή διαβροχή με νερό. Σε περίπτωση που δημιουργείτο “ψυχρός αρμός” λόγω παρατεταμένων διακοπών ή/και υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος, πριν από την τοποθέτηση της επόμενης στρώσεως γινόταν διάστρωση τσιμεντοπολτού, και σε περιπτώσεις μακροχρόνιων διακοπών γινόταν πρώτα εκτρέχυνση της υπάρχουσας επιφάνειας και μετά διάστρωση τσιμεντοπολτού.

4 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ RCC

Οι εργαστηριακές δοκιμές οι οποίες επελέγησαν για τις δοκιμαστικές συνθέσεις μιγμάτων RCC και για τον ποιοτικό έλεγχο κατά την διάρκεια της κατασκευής βασίζονται σε συνήθεις δοκιμές εδαφομηχανικής.

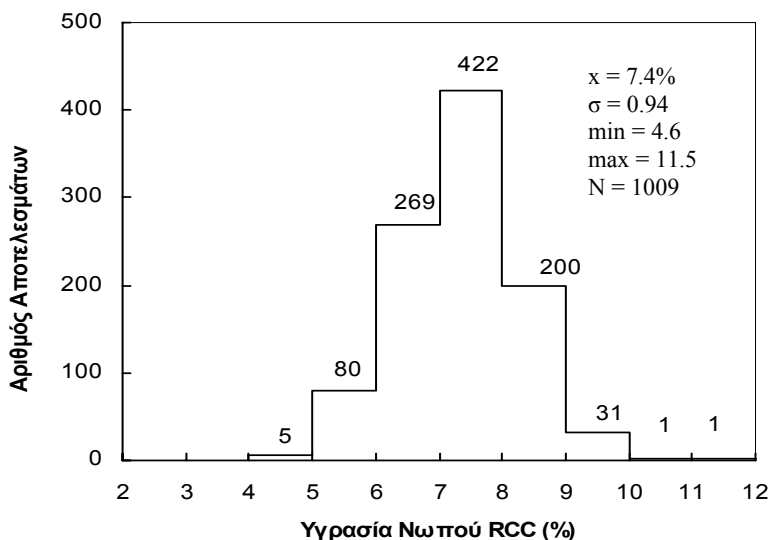
Ο ποιοτικός έλεγχος του RCC περιελάμβανε τις εξής δοκιμές:

- α. Υγρασία νωπού μίγματος RCC
- β. Συνεκτικότητα του RCC
- γ. Έλεγχοι συμπύκνωσης RCC
- δ. Αντοχή σκληρυνθέντος RCC

4.1 Υγρασία Νωπού Μίγματος RCC

Προσδιορισμοί της υγρασίας των αδρανών RCC στους σωρούς αποθήκευσης γίνονταν κάθε πρωί πριν από την έναρξη της παραγωγής RCC και μετά σε τακτικά χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια της ημέρας. Με βάση τις υγρασίες των αδρανών γινόταν προσαρμογή της απαιτούμενης ποσότητας νερού και των ποσοτήτων της άμμου και των χαλίκων.

Έλεγχοι της υγρασίας νωπών μιγμάτων RCC γινόταν συνεχώς τόσο στο συγκρότημα παραγωγής, όσο και κατά την διάστρωση του RCC.



Σχήμα 3: Στατιστική παρουσίαση αποτελεσμάτων ελέγχων υγρασίας νωπού RCC, (\bar{x} =μέσος όρος, σ =σταθερή απόκλιση, N=αριθμός αποτελεσμάτων).

Στο Σχήμα 3 δίδεται στατιστική παρουσίαση των αποτελεσμάτων 1009 ελέγχων υγρασίας, από την οποία προκύπτει ότι η υγρασία του νωπού μίγματος RCC κυμαινόταν μεταξύ σχετικά στενών ορίων από 5 έως 10 τοις εκατό με μέσο όρο ίσο με 7.4% και σταθερή απόκλιση 0.9%. Αυτό αποδεικνύει την σημασία των συνεχών ελέγχων υγρασίας στα αδρανή.

4.2 Συνεκτικότητα του RCC

Η συνεκτικότητα είναι η πιο σημαντική ιδιότητα των μιγμάτων RCC. Μίγματα με την σωστή συνεκτικότητα έχουν την κατάλληλη εργασιμότητα ώστε να διευκολύνεται η διάστρωση και η συμπίκνωση χωρίς διαχωρισμό.

Ο προσδιορισμός της συνεκτικότητας γίνεται εκ παραδόσεως με την συσκευή Vebe σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM C 1170 {1} ή την προδιαγραφή BSI 1881:1983 {2}. Η συσκευή Vebe χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της εργασιμότητας πολύ στεγνών μιγμάτων σκυροδέματος που έχουν μηδενική κάθιση. Άλλες μέθοδοι συμπίκνωσης μιγμάτων RCC στο εργαστήριο, παρουσιάζονται στην αναφορά {11}.

Κατά την κατασκευή των φραγμάτων Μαραθιάς και Άνω Μεράς αποφασίστηκε από τους Συγγραφείς η χρήση ηλεκτρικής κρουστικής σφύρας για τον έλεγχο της συνεκτικότητας των μιγμάτων RCC, την μελέτη των μεταβολών υγρασίας και των χαρακτηριστικών συμπεκνώσεως και αντοχής. Λεπτομερής περιγραφή την νέας μεθόδου δίδεται από τους Συγγραφείς στην αναφορά {6}.

Για τους ελέγχους συνεκτικότητας του RCC επελέγη ηλεκτρική σφύρα Hilti TP 80 η οποία λειτουργεί με συχνότητα 2000 κρούσεων ανά πρώτο λεπτό της ώρας. Η συχνότητα αυτή είναι παρόμοια με τη συχνότητα λειτουργίας των περισσοτέρων δονητικών οδοστρωτήρων. Στο κάτω άκρο του στελέχους της σφύρας προσαρμόστηκε πλάκα διαμέτρου 140mm. Το συνολικό βάρος της σφύρας και της πλάκας ήταν 11.5 kg.

Η συμπίκνωση των μιγμάτων RCC γινόταν σε κυλινδρικές μήτρες διαμέτρου 150mm και ύψους 300mm σε τρεις στρώσεις. Η συμπίκνωση κάθε στρώσης σταματούσε όταν εμφανιζόταν δακτύλιος κονιάματος στην περιφέρεια της δονητικής πλάκας. Η μέτρηση του χρόνου συμπίκνωσης γινόταν με χρονόμετρο με ακρίβεια δευτερολέπτου. Ο μέσος όρος των τριών μετρήσεων κατεγράφετο σαν “χρόνος κρουστικής σφύρας”.

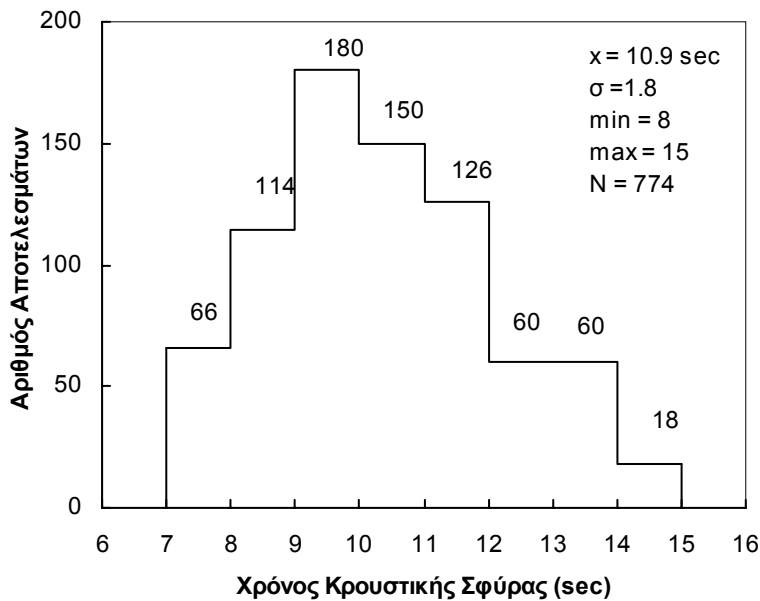
Τα συμπεκνωμένα δοκίμια χρησιμεύουν για προσδιορισμούς πυκνότητας και για δοκιμές αντοχής σε θραύση.

Προσδιορισμοί συνεκτικότητας δοκιμαστικών μιγμάτων στο εργαστήριο γίνονταν με αναπροσαρμογή των συνθέσεων σε ότι αφορούσε στα βάρη των αδρανών και του νερού διατηρώντας το βάρος του τσιμέντου σταθερό.

Κατά την διάρκεια της κατασκευής γινόταν συνεχής έλεγχος της συνεκτικότητας νωπών μιγμάτων RCC δεδομένου ότι η δοκιμή είναι εύκολη και δεν επιφέρει καθυστερήσεις.

Στο Σχήμα 4 δίδεται στατιστική παρουσίαση 774 ελέγχων συνεκτικότητας. Από το ιστόγραμμα του σχήματος αυτού προκύπτει ότι ο χρόνος της κρουστικής σφύρας κυμαινόταν μεταξύ ενός ελαχίστου 8 και ενός μεγίστου 15 δευτερολέπτων με τις περισσότερες τιμές κυμαινόμενες μεταξύ 8 και 14 δευτερολέπτων, με μέσο όρο ίσο με 11sec και σταθερή απόκλιση ίση με 1.3sec.

Από την εμπειρία που αποκτήθηκε από τα φράγματα Μαραθιάς και Άνω Μεράς απεδείχθη ότι αυτή είναι μία απλή και αποτελεσματική μέθοδος προσδιορισμού της συνεκτικότητας RCC.



Σχήμα 4: Στατιστική παρουσίαση αποτελεσμάτων ελέγχων συνεκτικότητας.

4.3 Συσχέτιση Χρόνου Κρουστικής Σφύρας και Υγρασίας RCC

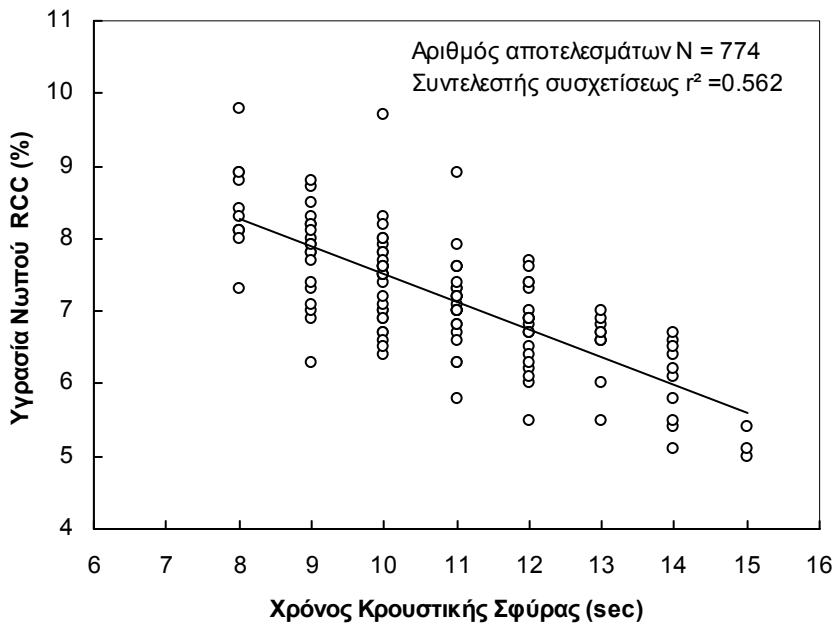
Στο διάγραμμα του Σχήματος 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω 774 μετρήσεων χρόνου κρουστικής σφύρας με τις αντίστοιχες υγρασίες νωπού RCC. Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι ο χρόνος κρουστικής σφύρας παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία σε σχέση με την υγρασία του νωπού RCC.

Το διάγραμμα του Σχήματος 5 είναι πολύ σημαντικό για τον ποιοτικό έλεγχο μιγμάτων RCC κατά την διάρκεια της κατασκευής. Με βάση το διάγραμμα αυτό είναι δυνατόν να ελέγχεται και να αναπροσαρμόζεται γρήγορα η περιεκτικότητα σε νερό κατά την διάρκεια της κατασκευής ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη εργασιμότητα του RCC.

4.4 Έλεγχοι συμπίκνωσης RCC

Η συμπίκνωση του RCC εκφράζεται σαν ποσοστό της υγρής πυκνότητας επί τόπου προς την υγρή πυκνότητα που επιτυγχάνεται στο εργαστήριο σε υλικό από το ίδιο μίγμα με την βοήθεια της ηλεκτρικής κρουστικής σφύρας σε κυλινδρικές μήτρες 150mm επί 300mm σε τρεις στρώσεις όπως περιγράφεται παραπάνω για τον έλεγχο της συνεκτικότητας του μίγματος.

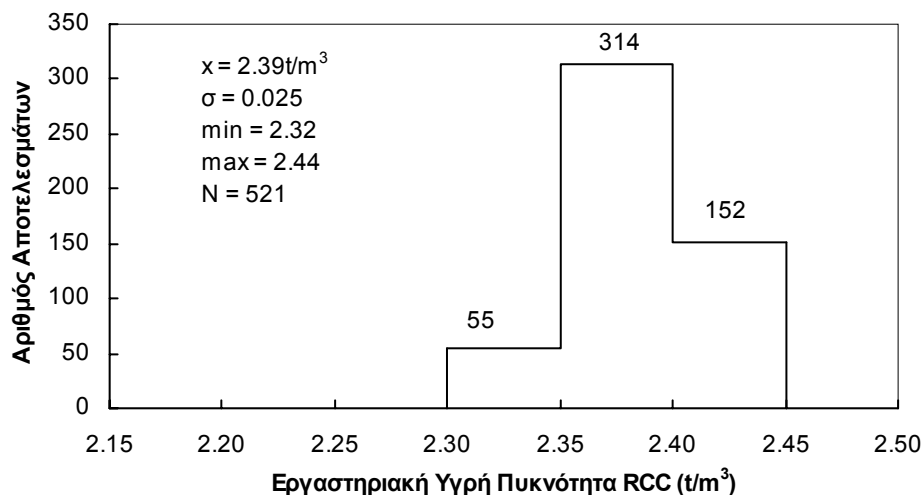
Η επί τόπου υγρή πυκνότητα προσδιορίζονταν με την μέθοδο της άμμου. Το απαιτούμενο ποσοστό συμπίκνωσης έπρεπε να είναι μεγαλύτερο του 95 τοις εκατό.



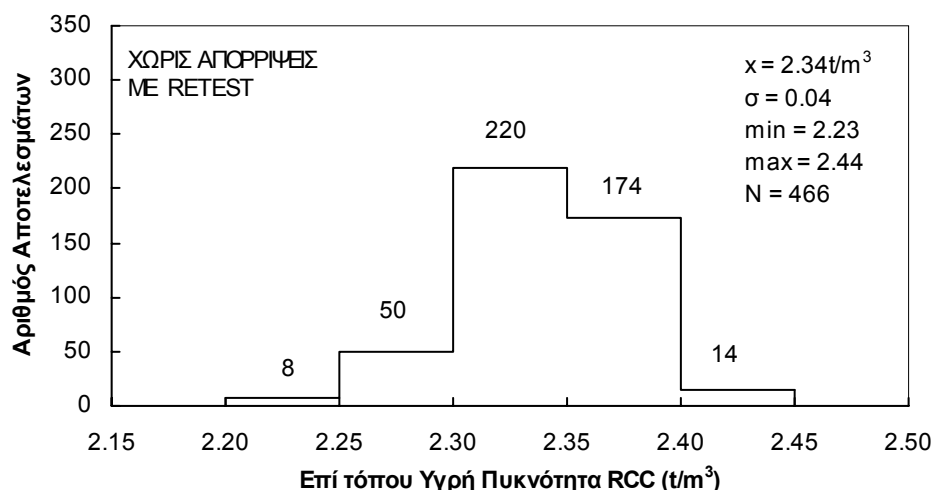
Σχήμα 5: Συσχέτιση χρόνου κρουστικής σφύρας με υγρασία νωπού RCC.

Ο ποιοτικός έλεγχος κατά την διάστρωση και συμπύκνωση κάθε στρώσεως στόχευε στην επισήμανση αμφιβόλων περιοχών και στην επανασυμπύκνωση του υλικού στις περιοχές αυτές. Αν δεν εντοπίζονταν αμφιβόλες περιοχές, οι έλεγχοι γίνονταν για την επιβεβαίωση ότι είχε επιτευχθεί ο απαιτούμενος βαθμός συμπυκνώσεως. Αυτή η μέθοδος ποιοτικού ελέγχου με επιλεκτική δειγματοληψία (purposive sampling) προϋποθέτει την παρουσία πεπειραμένου προσωπικού επί τόπου, αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι ο αριθμός των ελέγχων που γίνονται είναι σημαντικά μικρότερος από τους ελέγχους που απαιτούν οι μέθοδοι της τυχαίας δειγματοληψίας.

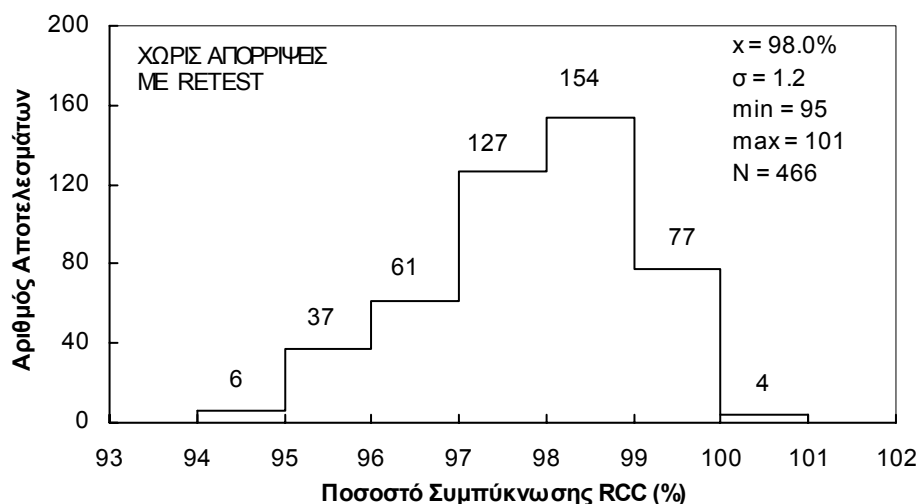
Στο ιστογράφημα του Σχήματος 6 παρουσιάζεται η κατανομή των αποτελεσμάτων προσδιορισμού υγρών πυκνοτήτων στο εργαστήριο, ενώ στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται η κατανομή των υγρών πυκνοτήτων επί τόπου με τα retest και χωρίς τις απορρίψεις. Οι μέσοι όροι των πυκνοτήτων αυτών ευρέθησαν ότι είναι ίσοι με 2.39t/m^3 και 2.34t/m^3 αντίστοιχα, που σημαίνει ότι το επιτευχθέν ποσοστό συμπυκνώσεως ήταν 98 τοις εκατό. Αυτό φαίνεται στο ιστογράφημα του Σχήματος 8 στο οποίο περιλαμβάνονται επίσης τα retest χωρίς τις απορρίψεις.



Σχήμα 6. Στατιστική παρουσίαση αποτελεσμάτων προσδιορισμών υγρών πυκνοτήτων RCC στο εργαστήριο.



Σχήμα 7: Στατιστική παρουσίαση αποτελεσμάτων υγρών πυκνοτήτων επί τόπου.



Σχήμα 8: Στατιστική παρουσίαση αποτελεσμάτων ελέγχων συμπύκνωσης RCC.

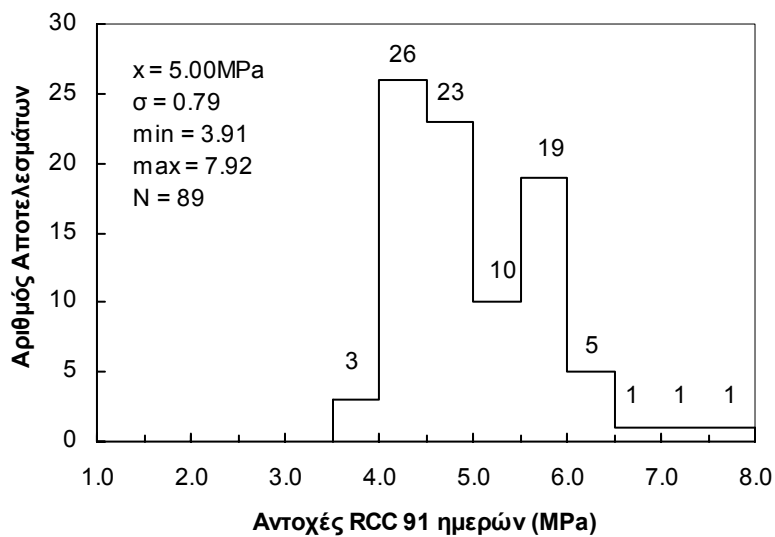
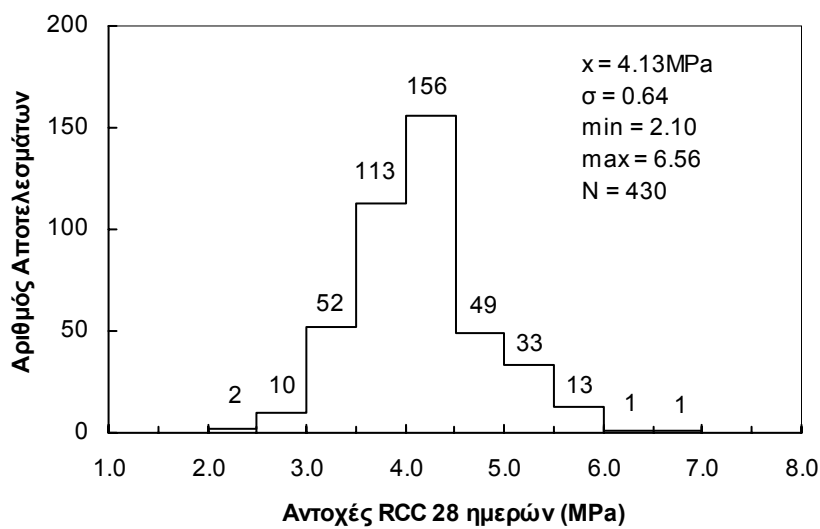
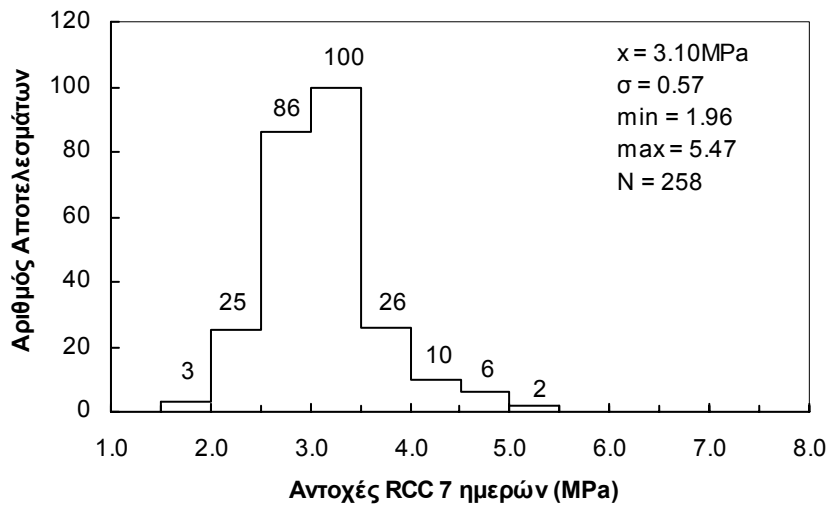
Επισημαίνεται ότι η θεωρητική υγρή πυκνότητα του RCC με 2% περιεκτικότητα σε αέρα προκύπτει ότι είναι ίση με 2.39 t/m^3 . Το γεγονός ότι η θεωρητική υγρή πυκνότητα ταυτίζεται με την εργαστηριακή υγρή πυκνότητα σημαίνει ότι τόσο η επιλογή της κρουστικής σφύρας όσο και ο τρόπος παρασκευής των δοκιμίων στο εργαστήριο ήταν επιτυχείς.

4.5 Αντοχή σκληρυθέντος RCC

Όλες οι δοκιμές αντοχής σε θραύση έγιναν σε κυλινδρικά δοκίμια σκληρυθέντος RCC διαμέτρου 150mm και ύψους 300mm τα οποία παρασκευάστηκαν με την κρουστική σφύρα σε τρεις στρώσεις όπως περιγράφεται παραπάνω για τον έλεγχο της συνεκτικότητας του μίγματος.

Οι θραύσεις των δοκιμίων έγιναν σε 7, 28 και 91 ημέρες. Τα ιστογραφήματα του σχήματος 9 δίδουν τις κατανομές των αντοχών RCC σε 7, 28 και 91 ημέρες οι μέσοι όροι των οποίων ήταν ίσοι με 3.10MPa, 4.13MPa και 5.00MPa αντίστοιχα.

Η αύξηση της αντοχής μεταξύ 7 και 91 ημερών ήταν της τάξεως του 61 τοις εκατό.



Σχήμα 9: Στατιστική παρουσίαση αποτελεσμάτων αντοχών RCC 7, 28 και 91 ημερών.

4.6 Δοκιμές Μονοαξονικής Θλίψης σε Πυρήνες από το Σώμα του Φράγματος

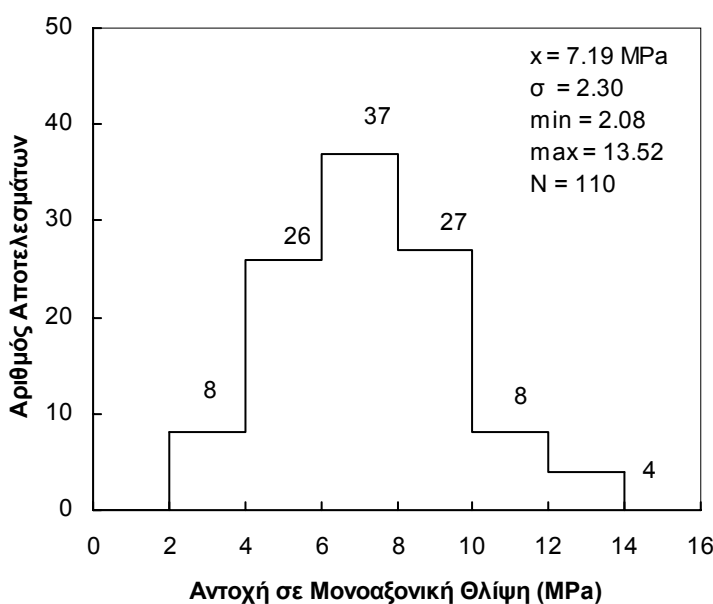
Από το σώμα του φράγματος Άνω Μεράς ελήφθησαν πυρήνες RCC με περιστροφικές γεωτρήσεις χωρίς την χρήση νερού ή αέρα. Τα αποτελέσματα 110 δοκιμών μονοαξονικής θλίψης σε πυρήνες από διάφορα υψόμετρα ένα χρόνο μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του φράγματος έχουν ως εξής (μέσοι όροι \pm μια σταθερή απόκλιση):

Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη 7.19 ± 2.30 MPa

Μέτρο ελαστικότητας 1038 ± 371 MPa

Στατιστική παρουσίαση των αποτελεσμάτων αντοχής δίδεται στο Σχήματος 10. Παρόμοια αποτελέσματα ελήφθησαν και από το φράγμα Μαραθιάς..

Τονίζεται ότι παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση κατά 74 τοις εκατό των αντοχών των πυρήνων σε σχέση με τις αντοχές των 28 ημερών των δοκιμών τα οποία παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο.

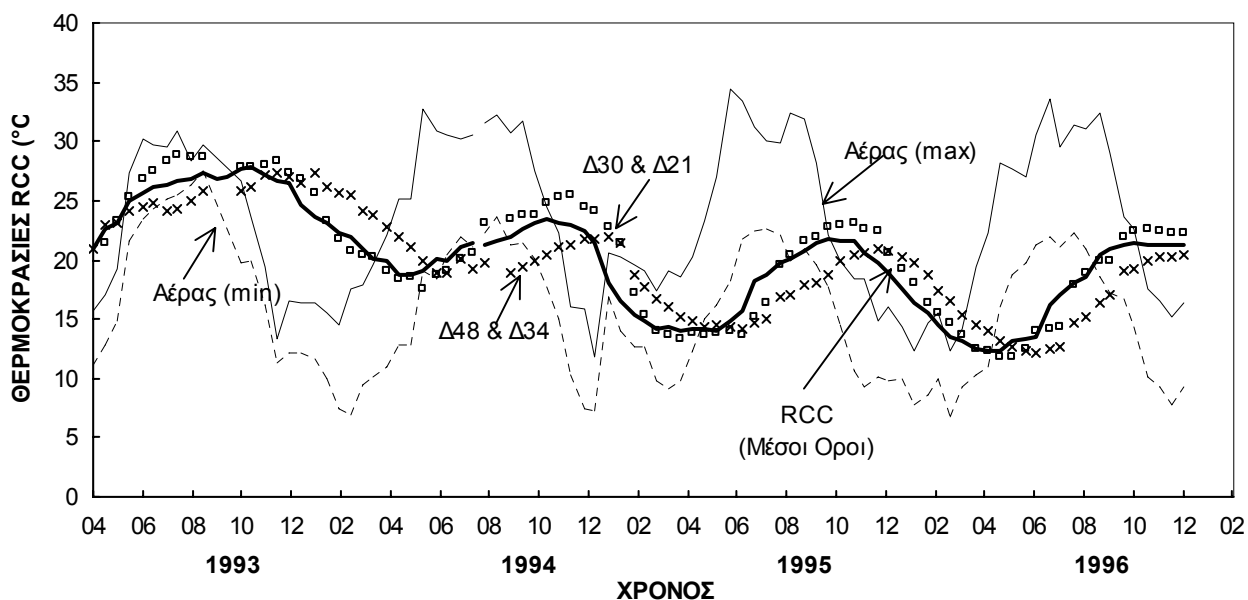


Σχ. 10. Στατιστική παρουσίαση αντοχών πυρήνων RCC.

5 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ RCC ΣΤΟ ΣΩΜΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η μεταβολή των θερμοκρασιών RCC στο σώμα του φράγματος με τον χρόνο για μια περίοδο 44 μηνών μαζί με τις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες του αέρα. Οι μετρήσεις αυτές προέρχονται από το φράγμα Μαραθιάς στο σώμα του οποίου είχαν εγκατασταθεί τέσσερις ηλεκτρικοί αισθητήρες.

Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες του RCC παρατηρήθηκαν τον Νοέμβριο και οι ελάχιστες τον Απρίλιο κάθε έτους. Παρατηρείται επίσης μια σταδιακή μείωση των θερμοκρασιών του RCC. Συγκεκριμένα οι μέγιστες θερμοκρασίες στο σώμα του φράγματος μειώθηκαν από 28° C στους 24° C περίπου εντός μιας περιόδου 3 ετών. Οι μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες αέρα ήταν της τάξεως των 34° C και 6° C αντίστοιχα.



Σχήμα 11: Μεταβολή θερμοκρασιών RCC στο σώμα του φράγματος με τον χρόνο.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ισχύο κυλινδρούμενο σκυρόδεμα είναι ένα σχετικά νέο υλικό στην υπηρεσία του Γεωτεχνικού Μηχανικού με σημαντική αντοχή και υψηλή αντίσταση σε διάβρωση σε σχέση με συμπακνωμένα εδαφικά υλικά.

Φράγματα από ισχύο RCC με συμμετρική διατομή παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα και αποτελούν ιδανική λύση σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν γαιώδη υλικά για την κατασκευή χωμάτινων φραγμάτων ή όπου δεν είναι εφικτή η δημιουργία δανειοθαλάμων για περιβαλλοντικούς ή άλλους λόγους.

Για την σύνθεση και τον ποιοτικό έλεγχο ισχών μιγμάτων RCC μπορούν να εφαρμοστούν κατά βάση εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής με μικρές τροποποιήσεις. Η χρήση της ηλεκτρικής κρουστικής σφύρας για τον έλεγχο της συνεκτικότητας μιγμάτων RCC διευκολύνει την παρακολούθηση των μεταβολών υγρασίας και των χαρακτηριστικών συμπακνώσεως ώστε να είναι δυνατόν να γίνονται εγκαίρως οι απαιτούμενες ρυθμίσεις και αναπροσαρμογές. Τα συμπακνωμένα δοκίμια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ελέγχους αντοχής.

Κατά την κατασκευή των φραγμάτων Μαραθιάς και Άνω Μεράς επετεύχθησαν ποσοστά συμπακνώσεως του ισχύου RCC της τάξεως του 98 τοις εκατό.

Οι αντοχές σε μονοαξονική θλίψη των δοκιμών RCC τα οποία παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο με την βοήθεια της κρουστικής σφύρας παρουσίασαν αύξηση της τάξεως του 61 τοις εκατό μεταξύ 7 και 91 ημερών.

Σημαντική αύξηση της αντοχής του RCC κατά 74 τοις εκατό παρατηρήθηκε σε πυρήνες από το σώμα του φράγματος σε σχέση με τις αντοχές 28 ημερών των δοκιμών τα οποία παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο.

Τέλος, από μετρήσεις θερμοκρασιών στο σώμα του φράγματος για μια περίοδο 44 μηνών παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας του RCC με τον χρόνο.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Η μελέτη και η κατασκευή των δύο φραγμάτων RCC στη Μύκονο έγιναν υπό την εποπτεία του Υπουργείου Γεωργίας. Μελετητής ήταν ο αείμνηστος Δ. Φραγκιδάκης εκ μέρους του Γραφείου Υδροσύστημα ΕΠΕ με Σύμβουλο τον εκλιπόντα Δρ Ρ. Londe. Η μελέτη συνθέσεων RCC και ο ποιοτικός έλεγχος κατά την διάρκεια της κατασκευής έγιναν από την ΚΑΣΤΩΡ ΕΠΕ.

7 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. ASTM C1170. Determining consistency and density of roller-compacted concrete using a vibrating table. American Society for Testing and Materials, Vol 04.02 Concrete and Aggregates.
2. BSI 1881: 1983. "Method for determination of Vebe time", British Standards Institution, Part 104.
3. Batmaz, S. 2003. Cindere Dam - 107m high Roller Compacted Hardfill Dam (RCHD), Proceedings 4th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams, 17-19 November 2003, Madrid, 121-126.
4. Batmaz, S., Köksal, A., Ergeneman, I. & Pekçağlıyan, D. 2003. Design of the 100m high Oyuk hardfill dam, International Journal on Hydropower and Dams, Vol 10, Issue 5, 138-142.
5. Capote, A., Saenz de Ormijana y Valdés, F. & Mohedano, V. 2003. Contaembalse de Monción: a hardfill dam constructed in the Dominican Republic. Proceedings 4th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams, 17-19 November 2003, Madrid, 417-420.
6. Coumoulos, D.G., Koryalos, T.P. 2003. Lean RCC dams – Laboratory testing methods and quality control during construction. Proceedings 4th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams, 17-19 November 2003, Madrid, 233-238.
7. Graça, N.G., Batista, E.L., Bittencourt, R.M. & Andrade W.P. 2003. Proceedings 4th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams, 17-19 November 2003, Madrid, 267-272.
8. Londe, P. & Lino M. 1992. The faced symmetrical hardfill dam: a new concept for RCC, Water Power and Dam Construction, February 1992, 19-24.
9. Raphael, J.M. 1992. The optimum gravity dam, Proceedings Roller Compacted Concrete III, American Society of Civil Engineers, San Diego, California, 2-5 February 1992, 5-19.
10. RCC Dams 2003. Proceedings 4th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams, 17-19 November 2003, Madrid, AA Balkema Publishers, 1-1220
11. Schrader, E. 2003. Appropriate laboratory compaction methods for different types of Roller Compacted Concrete (RCC). Proceedings 4th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams, 17-19 November 2003, Madrid, 1037-1044.

Lean Roller Compacted Concrete (RCC) dams – Technology and Quality Control

D.G. Coumoulos

Civil Engineer, Ph.D (Cantab.), Partner, CASTOR LTD Geotechnical Engineering Consultants

T.P. Koryalos

Civil Engineer, M.Sc., Partner, CASTOR LTD Geotechnical Engineering Consultants

Key words: lean RCC, dams, symmetrical cross section, quality control

SUMMARY: Lean Roller Compacted Concrete (RCC) dams with symmetrical cross section have certain advantages as they can be built using poor quality aggregates and low cement content. The Paper presents the experience gained from the quality control during construction of the Marathia and Ano Mera dams on Mykonos island, 28m and 32m high respectively.