

Εμπειρίες από την κατασκευή των φραγμάτων Στενού Σερίφου και Ληθαίου Τρικάλων

Σ.Γ. Φελέκος

Πολιτικός Μηχανικός, ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ Ε.Π.Ε.

Λέξεις κλειδιά: Αξονοσυμμετρικό Κυλινδρούμενο Σκληρό Επίχωμα, ΑΚΣΕ, κυλινδρούμενο σκυρόδεμα, RCC

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Παρουσιάζονται τα φράγματα Στενό Σερίφου (Αξονοσυμμετρικό Κυλινδρούμενο Σκληρού Επιχώματος, ΑΚΣΕ) και Ληθαίου Τρικάλων, το οποίο είναι το πρώτο σύνθετο φράγμα στην Ελλάδα (διατομές ΑΚΣΕ και χωμάτινο, με αργιλικό πυρήνα). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις ιδιότητες των υλικών, στις παραμέτρους που επηρεάζουν τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος καθώς επίσης και τα προβλήματα που προέκυψαν κατά την κατασκευή των έργων και στις ενέργειες για την επίλυσή τους.

1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ

Το έργο του φράγματος Στενό Σερίφου κατασκευάστηκε στο ανατολικό τμήμα της νήσου Σερίφου και περίπου στο μέσο της κοιλάδας του ομώνυμου ρέματος που εκβάλει στον όρμο Λιβάδι, σε απόσταση περίπου 2.5 km από το κεντρικό λιμάνι του νησιού (Λιβάδι). Το έργο κατασκευάστηκε σε γεωλογικό σχηματισμό γρανοδιορίτη, Μειοκαινικής ηλικίας.

Το φράγμα Ληθαίου Τρικάλων κατασκευάζεται στον ποταμό Ληθαίο, σε υψόμετρο κοίτης του ποταμού περίπου +300, ΒΑ του Οικισμού Θεόπετρα και σε απόσταση περίπου 10 km από τον οικισμό, ο οποίος ανήκει Δημοτικό Διαμέρισμα Αύρας - Οικισμός Νέας Ζωής του Δήμου Καλαμπάκας. Η ευρύτερη περιοχή του έργου γεωλογικά βρίσκεται στον αδιαπέρατο σχηματισμό "Μάργες Ριζώματος της Μολάσσας" (κυρίως ιλυόλιθοι με ενστρώσεις ψαμμίτη). Κατά τη θέση του φράγματος, στο αριστερό αντρείσμα και την ευρεία κοίτη επικρατούν οι ιλυόλιθοι με ενστρώσεις ψαμμίτη (μολάσσα), αποτελούν "ημίβραχο" σε πολύ καλή φυσική κατάσταση, με R.Q.D. 80-100 %, μεγάλης αντοχής. Στο δεξιό αντρείσμα επικρατούν παλιές χερσαίες έως ποταμοχερσαίες αποθέσεις του Πλειστόκαινου πάχους μέχρι 28.0 m. Οι αποθέσεις αυτές είναι σε μεγάλα τμήματα συνεκτικές (αργιλοϊλύες) και συμπυκνωμένες (άμμοι και αμμοχάλικα) με μικρή έως μέτρια υδατοπερατότητα και ικανοποιητική αντοχή. Λόγω των παραπάνω γεωλογικών - γεωτεχνικών συνθηκών υιοθετήθηκε κατά τη Μελέτη η κατασκευή μικτού φράγματος, το οποίο στο τμήμα του αριστερού αντρείσματος και της ευρείας κοίτης κατασκευάζεται από "σκληρό επίχωμα" με ανάντη πλάκα σκυροδέματος και στο τμήμα του δεξιού αντρείσματος κατασκευάζεται ως γεώφραγμα, "χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα".

Και τα δυο έργα αποτελούνται από το φράγμα, το οποίο περιλαμβάνει και τον υπερχειλιστή, τον αγωγό εκτροπής-υδροληψίας-εκκένωσης, τον πύργο υδροληψίας, έργα οδοποιίας για την προσπέλαση των φραγμάτων κατά τη λειτουργία τους και διάφορα άλλα δευτερεύοντα έργα και εγκαταστάσεις. Στο φράγμα Στενού Σερίφου κατασκευάστηκε επίσης αυχενικό φράγμα, μεγίστου ύψους 7.25 m, με μήκος στέψης 150 m.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των έργων δίνονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τεχνικά χαρακτηριστικά έργων φραγμάτων Στενού Σερίφου και Ληθαίου Τρικάλων

	Φράγμα Στενού Σερίφου	Φράγμα Ληθαίου Τρικάλων
A. Ταμιευτήρας		
Ανώτατη στάθμη αποθήκευσης	+ 57.00 m	+328.00 m
Χαμηλή στάθμη υδροληψίας	+ 34.00 m	+310.00 m
Ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα	700,000 m ³	2,500,000 m ³
B. Κυρίως φράγμα (Στενού Σερίφου) - τμήμα φράγματος από σκληρό επίχωμα (Ληθαίου)		
Υψόμετρο στέψης	+ 57.75 m	+ 331.00 m
Υψόμετρο στέψης στη θέση της γέφυρας υπερχειλιστή	+ 59.00 m	+ 331.00 m
Μέγιστο ύψος φράγματος (από θεμελίωση)	30.25 m	32.00 m
Μήκος στέψεως	168.00 m	260.00 m
Πλάτος στέψεως	5.00 m	5.70 m
Κλίση κατάντη πρανούς (κατακ. : οριζόντ.)	1 : 0.7	1 : 0.8
Κλίση ανάντη πρανούς (κατακ. : οριζόντ.)	1 : 0.7	1 : 0.8
Γ. Φράγμα ανχένα (Στενού Σερίφου)		
Υψόμετρο στέψης	+ 57.75 m	—
Μέγιστο ύψος φράγματος (από θεμελίωση)	7.25 m	—
Μήκος στέψεως	150.00 m	—
Πλάτος στέψεως	3.00 m	—
Κλίση κατάντη πρανούς (κατακ. : οριζόντ.)	1 : 0.7	—
Κλίση ανάντη πρανούς (κατακ. : οριζόντ.)	1 : 0.7	—
Δ. Τμήμα γεωφράγματος (Ληθαίου)		
Υψόμετρο στέψης	—	+ 331.00 m
Μέγιστο ύψος φράγματος (από θεμελίωση)	—	27.00 m
Μήκος στέψεως	—	266.00 m
Πλάτος στέψεως	—	5.70 m
Κλίση κατάντη πρανούς (κατακ. : οριζόντ.)	—	1 : 2.25
Κλίση ανάντη πρανούς (κατακ. : οριζόντ.)	—	1 : 2.75
Δ. Ποσότητες		
Συνολικός όγκος σκληρού επιχώματος	56,250 m ³	160,000 m ³
Συνολικός όγκος γεωφράγματος	—	255,000 m ³

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΡΓΩΝ ΣΚΛΗΡΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

Το υλικό του σκληρού επιχώματος αποτελείται από διαβαθμισμένα αδρανή, μικρή ποσότητα τσιμέντου και νερό. Το υλικό αυτό και για τα δυο έργα παρασκευάστηκε στα συγκροτήματα παραγωγής σκυροδέματος, μεταφέρθηκε με φορτηγά στις θέσεις διάστρωσης και στη συνέχεια συμπτυκνώθηκε με δονητικό οδοστρώτηρα.

Τα αδρανή υλικά για το σκληρό επίχωμα κατά το φράγμα Στενού Σερίφου ήταν γρανοδιοριστικά, καλής ποιότητας, με απώλεια σε δοκιμή Los Angeles της τάξης του 30-37%. Τα αδρανή υλικά για το σκληρό επίχωμα κατά το φράγμα Ληθαίου Τρικάλων ήταν κυρίως ιλυολιθικά και λιγότερο ψαμμιτικά, πτωχής ποιότητας, με απώλεια σε δοκιμή Los Angeles της τάξης του 68-72%. Και στα δυο έργα τα αδρανή ήταν χωρισμένα σε τρία κλάσματα.

Σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές των έργων, η καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης του μείγματος των αδρανών θα πρέπει να εμπίπτει εντός καθορισμένων ορίων. Πριν την έναρξη της κατασκευής σε κάθε έργο έγινε διερεύνηση των υλικών που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή των αδρανών του σκληρού επιχώματος, με ερευνητικά σκάμματα και εργαστηριακές δοκιμές κατάταξης. Με βάση τα ως άνω αποτελέσματα, καταρτίστηκε για κάθε έργο μια "νέα προδιαγραφή" που περιέχει ξεχωριστά όρια για κάθε κλάσμα αδρανών υλικών προκειμένου να διευκολυνθούν οι Ανάδοχοι κατά την παραγωγή των υλικών. Εφόσον κάθε κλάσμα από τα παραγόμενα υλικά εμπίπτει μέσα στα όρια της "νέας προδιαγραφής", η καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης του μείγματος των αδρανών θα βρίσκεται εντός των ορίων που καθορίζονται από τις Τεχνικές Προδιαγραφές του έργου. Οι μέσες καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης των κλασμάτων αδρανών και του μείγματος αδρανών καθώς επίσης και τα ως άνω όρια των προδιαγραφών δίνονται για το φράγμα Στενού Σερίφου στην εικόνα 1 και για το φράγμα Ληθαίου Τρικάλων στην εικόνα 2.

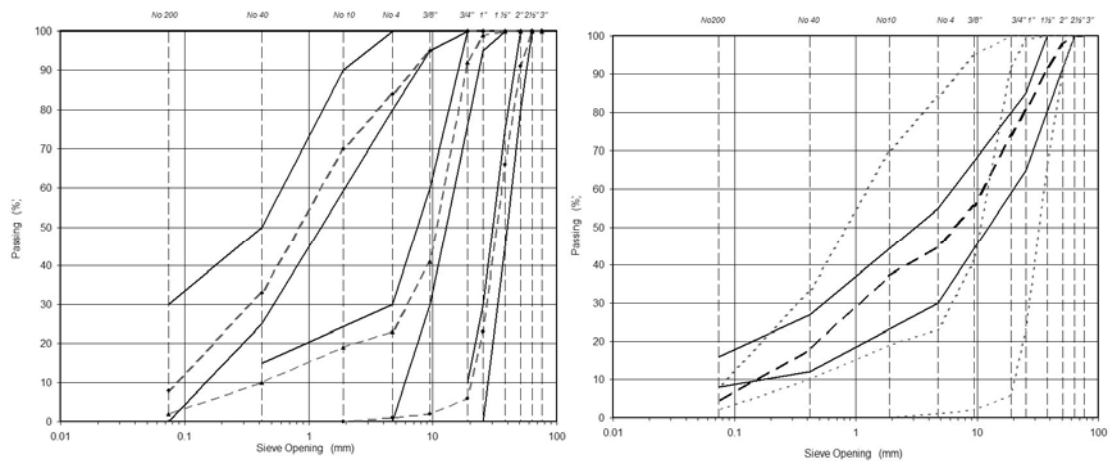
Μετά από εργαστηριακές μελέτες συνθέσεων υλικών σκληρού επιχώματος και επιβεβαίωση των ιδιοτήτων των υλικών κατά την κατασκευή χαμηλών δοκιμαστικών επιχωμάτων, τα οποία έγιναν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που επρόκειτο να κατασκευαστεί κάθε φράγμα, και στα δυο έργα καθορίστηκαν οι καταλληλότερες συνθέσεις για την παραγωγή του υλικού του σκληρού επιχώματος, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στο έργο (αναλογίες υλικών για την παραγωγή 1 m³ νωπού μείγματος):

Φράγμα Στενού Σερίφου:

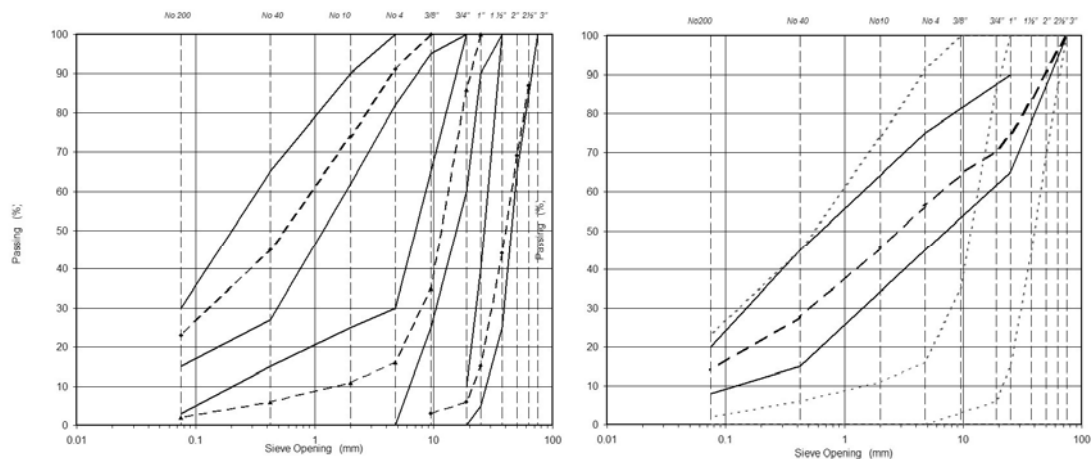
Τσιμέντο, 60 kg (2.7% επί ξηρών αδρανών)
Νερό, 145 kg (6.5% επί ξηρών υλικών)
Χονδροί χάλικες, 540 kg (25% επί ξηρών αδρανών)
Λεπτοί χάλικες - γαρμπίλι, 650 kg (30% επί ξηρών αδρανών)
Άμμος, 970 kg (45% επί ξηρών αδρανών)
Απαιτούμενη αντοχή ηλικίας 28 ημερών, 4.0 MPa

Φράγμα Ληθαίου Τρικάλων:

Τσιμέντο, 57 kg (2.8% επί ξηρών αδρανών)
Νερό, 130 kg (6.2% επί ξηρών υλικών)
Χονδροί χάλικες, 610 kg (30% επί ξηρών αδρανών)
Λεπτοί χάλικες - γαρμπίλι, 205 kg (10% επί ξηρών αδρανών)
Άμμος, 1220 kg (60% επί ξηρών αδρανών)
Απαιτούμενη αντοχή ηλικίας 28 ημερών, 2.5 MPa



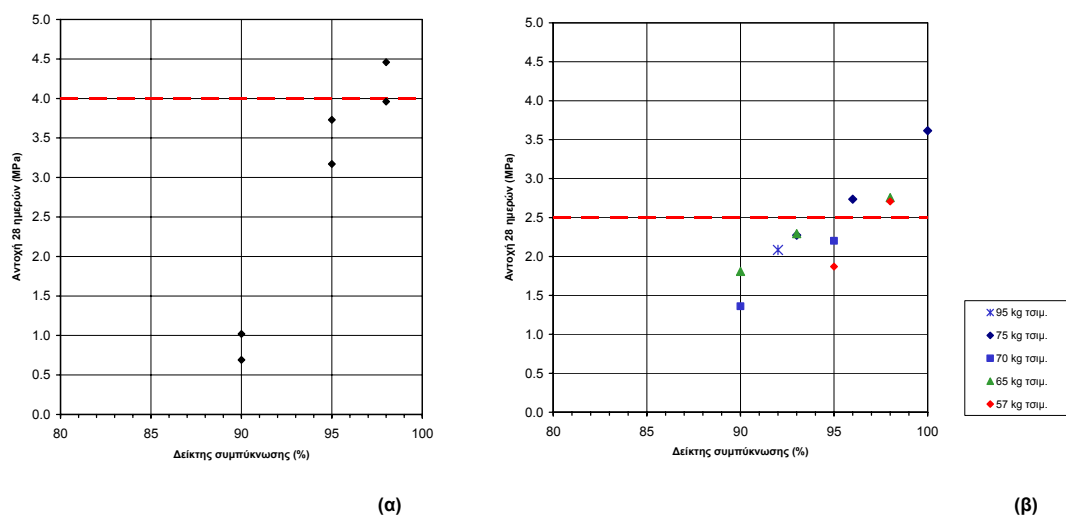
Εικόνα 1: Όρια προδιαγραφών και μέσες καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης (α) κλασμάτων αδρανών και (β) μείγματος αδρανών.



Εικόνα 2: Φράγμα Ληθαίου Τρικάλων. Όρια προδιαγραφών και μέσες καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης (α) κλασμάτων αδρανών και (β) μείγματος αδρανών.

Με σκοπό την απάντηση στο ερώτημα του κατά πόσον ένας χαμηλός δείκτης συμπίκνωσης επηρεάζει την αντοχή του υλικού, κατά την κατασκευή του προφράγματος και για τα δυο έργα παρασκευάσθηκαν δοκίμια με διαφορετικούς δείκτες συμπίκνωσης. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3, η επιρροή του δείκτη συμπίκνωσης στην αντοχή του σκληρού επιχώματος είναι σημαντικότερη από την αντίστοιχη επιρροή της περιεκτικότητας του μείγματος σε τσιμέντο.

Τα δοκίμια για τον προσδιορισμό της αντοχής κατά τους ελέγχους συμπεκνώθηκαν στο 97-98% της μεγίστης ξηρής πυκνότητας του τροποποιημένου Proctor.



Εικόνα 3: Επιρροή του δείκτη συμπίκνωσης στην αντοχή του σκληρού επιχώματος, (α) φράγμα Στενό Σερίφου και (β) φράγμα Ληθαίου Τρικάλων.

Κατά την κατασκευή και των δυο έργων, ο ποιοτικός έλεγχος των υλικών εκτελείτο συνεχώς επί τόπου του έργου από ανεξάρτητο φορέα, ο οποίος ασκούσε καθήκοντα τεχνικού συμβούλου - ποιοτικού ελέγχου. Το υλικό κατά τη διάστρωση και συμπίκνωσή του ελεγχόταν ως γαιώδες υλικό (δοκιμές Proctor, επί τόπου έλεγχου συμπίκνωσης κλπ). Το σκληρυμένο υλικό ελέγχεται ως σκυρόδεμα (δοκιμές αδρανών υλικών, δειγματοληψίες και έλεγχοι νωπού υλικού, μετρήσεις θερμοκρασίας, δοκιμές μονοαξονικής θλίψης). Μετά την ολοκλήρωση των έργων, εκτελέστηκαν δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, κατά τις οποίες λήφθηκαν πυρήνες σκληρυμένου υλικού, στους οποίους εκτελέστηκαν δοκιμές μηχανικής αντοχής.

3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ

Σύνδεση των στρώσεων σκληρού επιχώματος μετά από διακοπή εργασίας ("ψυχρός αρμός")

Κατά την κατασκευή του σκληρού επιχώματος, δεν απαιτείται καμία επεξεργασία της επιφανείας της στρώσης που έχει κατασκευαστεί, εφόσον δεν έχει παρέλθει ο τελικός πήξης του υλικού. Για το σκοπό αυτό η κατασκευή του σκληρού επιχώματος θα πρέπει να είναι συνεχής (λήξη της βάρδιας αργά το απόγευμα και συνέχιση της κατασκευής νωρίς το πρωί). Εφόσον όμως παρέλθει μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μεταξύ πέρατος της κατασκευής της στρώσης και έναρξης της κατασκευής της επόμενης, απαιτείται η δημιουργία "ψυχρού αρμού", ο οποίος έχει ως σκοπό την καλή συγκόλληση των δυο στρώσεων.

Για τη δημιουργία του "ψυχρού αρμού" θα πρέπει να γίνει πολύ καλή αφαίρεση του επιφανειακού χαλαρού υλικού, π.χ. με τρίψιμο με συρματοβουρτσα, μέχρις αποκαλύψεως των αδρανών. Στη συνέχεια γίνεται πολύ καλός καθαρισμός και απομάκρυνση της σκόνης με πεπιεσμένο αέρα και ελαφρά διαβροχή της επιφανείας που θα δεχτεί την επόμενη στρώση. Πρόκειται για πολύ σημαντική διαδικασία, τα βήματα της οποίας θα πρέπει να έχουν δοκιμαστεί και αποφασιστεί πριν την έναρξη της κατασκευής του σκληρού επιχώματος (στα δοκιμαστικά επιχώματα).

Διαμόρφωση πρανών σκληρού επιχώματος

Κατά την κατασκευή του φράγματος Στενού Σερίφου, ο κυριότερο πρόβλημα που εμφανίστηκε ήταν η διαμόρφωση των πρανών του σκληρού επιχώματος, ιδιαίτερα του κατάντη πρανούς, το οποίο δεν προστατεύεται με την πλάκα σκυροδέματος αλλά παραμένει εκτεθειμένο στις καιρικές συνθήκες. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκε μηχανήμα Gomaco, το οποίο είχε υποστεί διάφορες μετατροπές. Κατά τις μετατροπές αυτές είχε αλλάξει η φορά κίνησης του μηχανήματος και η θέση του καλουπιού και είχαν τοποθετηθεί δονητικές πλάκες με δονητές επιφανείας. Επίσης το υλικό των ακραίων σειραδιών εμπλουτίστηκε δραστικά σε τσιμέντο, με σκοπό την ανθεκτικότητα του υλικού σε αποσάθρωση αλλά και την επίτευξη της απαιτούμενης αντοχής, καθόσον το υλικό αυτό δε συμπυκνώνεται επαρκώς (επιτυγχανόμενος δείκτης συμπίκνωσης της τάξης του 85%). Το υλικό αυτό, λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητάς του σε τσιμέντο, είναι υλικό με μικρότερη υδατοπερατότητα από το υλικό του σκληρού επιχώματος. Προς αποφυγή ανάπτυξης πιέσεων ύδατος πάνω στην αδιαπέρατη κατάντη ακραία ζώνη του φράγματος σε περίπτωση που το σκληρό επίχωμα κατακλυστεί από νερό, τοποθετήθηκαν σωλήνες αποστράγγισης από PVC, διαμέτρου $\Phi 50$ mm. Οι σωλήνες αυτοί τοποθετήθηκαν στο κατάντη πρανές του σκληρού επιχώματος σε κάναβο 4x2 m, από το υψόμετρο +46 και κάτω.

Με σκοπό τη διερεύνηση της επιρροής της περιεκτικότητας τσιμέντου στην ανθεκτικότητα του υλικού εκτελέστηκαν δοκιμές ανθεκτικότητας (slake durability). Από τα αποτελέσματα των δοκιμών συμπεραίνεται ότι με περιεκτικότητα τσιμέντου 70 kg/m^3 , ο δείκτης χαλάρωσης προσδιορίστηκε $I_d=66\%$ (μέτρια ανθεκτικότητα), ενώ με περιεκτικότητα τσιμέντου 150 kg/m^3 νωπού υλικού ο δείκτης χαλάρωσης προσδιορίστηκε $I_d=89\%$ (μέτρια υψηλή ανθεκτικότητα), βλ. εικόνα 4.



70 kg τσιμέντο / m^3
Δείκτης χαλάρωσης $I_d=66\%$
(μέτρια ανθεκτικότητα)



150 kg τσιμέντο / m^3
Δείκτης χαλάρωσης $I_d=89\%$
(μέτρια υψηλή ανθεκτικότητα)

Εικόνα 4: Επιρροή της περιεκτικότητας τσιμέντου στην ανθεκτικότητα του υλικού στα πρανή του σκληρού επιχώματος (φράγμα Στενού Σερίφου).

Στο φράγμα Ληθαίου Τρικάλων, το κατάντη πρανές κατασκευάστηκε με προκατασκευασμένα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα. Για την κατασκευή του ανάντη πρανούς, στην άκρη του βραχίονα ενός μεγάλου ερπυστιοφόρου εκσκαφέα, προσαρμόστηκε μεταλλική πλάκα διαστάσεων 6.0 x 1.0 m (εικόνα 5). Η πλάκα αυτή χρησιμοποιείται ως καλούπι. Πίσω από το καλούπι αυτό διαστρώνεται με φτυάρια υλικό σκληρού επιχώματος, σε στρώση πάχους 15 cm. Το υλικό συμπυκνώνεται με δυο φορητά μηχανήματα συμπίκνωσης, αρχικά με δονητικό "βάτραχο" και στη συνέχεια με φορητό δονητικό κύλινδρο. Ακολούθως, συμπυκνώνεται με μεταλλική πλάκα, που είχε προσαρμοστεί στο σφυρί μικρού εκσκαφέα. Στη συνέχεια, στην ίδια θέση η διαδικασία επαναλαμβάνεται και κατασκευάζεται και δεύτερη ή και τρίτη στρώση, πάχους 15 cm εκάστη. Μετά την κατασκευή των δυο ή τριών στρώσεων στη συγκεκριμένη θέση (ήτοι πρανούς ύψους 0.30-0.45 m), το καλούπι μετακινείται στη διπλανή θέση και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Για την επίτευξη της συνοχής του υλικού πριν τη σκλήρυνση, κάτι που απαιτείται για να στέκεται το απότομο πρανές, απαιτήθηκε η διαφοροποίηση της σύνθεσης του υλικού, η οποία περιλαμβάνει αναπόφευκτα και μικρή αύξηση του τσιμέντου στο μείγμα. Με την ως άνω μέθοδο κατασκευής, επιτυγχάνεται δείκτης συμπίκνωσης για το πρανές της τάξης του 98%, ο οποίος κρίνεται πολύ ικανοποιητικός.



Εικόνα 5: Φράγμα Ληθαίου Τρικάλων, κατασκευή ανάντη πρανούς σκληρού επιχώματος.

Σύστημα εγκιβωτισμού σωλήνων αποστράγγισης στο ανάντη πρανές του σκληρού επιχώματος (πίσω από την πλάκα)

Κατά την κατασκευή του φράγματος Στενού Σερίφου ο εγκιβωτισμός των σωλήνων αποστράγγισης στο ανάντη πρανές του σκληρού επιχώματος έγινε με πορώδες σκυρόδεμα (εικόνα 6). Στο φράγμα Ληθαίου Τρικάλων, ο εγκιβωτισμός των σωλήνων γίνεται με χαλίκια ή θραυστά υλικά. Η «εγκοπή» κλείνει με ταινία γεωφάσματος και γεωπλέγματος (εικόνα 7).



Εικόνα 6: Φράγμα Στενό Σερίφου, εγκιβωτισμός σωλήνων αποστράγγισης με πορώδες σκυρόδεμα.



Εικόνα 7: Φράγμα Ληθαίου Τρικάλων, εγκιβωτισμός σωλήνων αποστράγγισης με χαλίκια, γεωύφασμα και γεώπλεγμα.

Ο εγκιβωτισμός του σωλήνα με πορώδες σκυρόδεμα είναι μια απλή και εύκολη κατασκευαστικά διαδικασία. Αντίθετα, ο εγκιβωτισμός με χαλίκια, γεωύφασμα και γεώπλεγμα είναι πολύ πιο δύσκολος και πολλές φορές επέρχεται αστοχία, ιδιαίτερα όσο αυξάνει το ύψος του επιχώματος.

Κατασκευή μανδύα στεγανότητας (ανάντη πλάκα σκυροδέματος)

Το δυσκολότερο τμήμα του έργου είναι η κατασκευή του ανάντη μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα, ο οποίος κατασκευάζεται κατά τμήματα-ζώνες, με κυλιόμενο μεταλλότυπο. Σε κάθε τμήμα ο μανδύας σκυροδετείται χωρίς διακοπή. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται επίσης στα συστήματα αρμών στεγάνωσης μεταξύ μανδύα στεγανότητας και πλίνθου, μεταξύ των τμημάτων της πλίνθου και μεταξύ των τμημάτων του μανδύα στεγανότητας.

Κατά την κατασκευή του μανδύα στεγανότητας στο φράγμα Στενό Σερίφου (εικόνα 8), αμέσως μετά την ολοκλήρωση του σκληρού επιχώματος και πριν την έναρξη των εργασιών σκυροδέτησης, άρχισαν οι εργασίες αποκάλυψης της πλίνθου και των στεγανωτικών υλικών. Μετά την αποκάλυψη ακολούθησε σχολαστικός καθαρισμός της περιοχής του στεγανωτικού αρμού από κάθε ξένο σώμα (χαλίκια, χώματα, τεμάχια σκυροδέματος κλπ). Η διαδικασία καθαρισμών και αποκαταστάσεων της περιοχής του στεγανωτικού αρμού γινόταν τμηματικά και εις τρόπον ώστε να αποκλείεται οποιαδήποτε περαιτέρω σημαντική διαταραχή μετά τις ως άνω αποκαταστάσεις (από τυχόν νέες πτώσεις υλικών κλπ).

Στη συνέχεια στήνεται ο κυλιόμενος μεταλλότυπος στη θέση του τμήματος που πρόκειται να σκυροδετηθεί. Μετά τον νέο καθαρισμό της περιοχής του στεγανωτικού αρμού, καλουπώνεται το κάτω μέρος της πλάκας (το οποίο είναι σχεδόν τριγωνικό) με συμβατικό - σταθερό μεταλλότυπο. Κατά τη διάρκεια των ως άνω εργασιών, στην περιοχή του στεγανωτικού αρμού αναπόφευκτα πέτουν εκ νέου υλικά από την επιφάνεια του σκληρού επιχώματος. Τα υλικά αυτά απομακρύνονται την τελευταία στιγμή πριν τη διαβροχή και την έναρξη της σκυροδέτησης, με εφαρμογή πεπιεσμένου αέρα. Ακολουθεί η σκυροδέτηση του κάτω τριγωνικού τμήματος (τμήμα καλουπωμένο με συμβατικό - σταθερό μεταλλότυπο).

Στη συνέχεια γίνεται μετακίνηση προς τα κάτω του κυλιόμενου μεταλλοτύπου, ο οποίος συνδέεται με το σταθερό τμήμα. Ο κυλιόμενος μεταλλότυπος αποτελείται από δυο πλατφόρμες εργασίας. Οι εργασίες τοποθέτησης και συμπύκνωσης του σκυροδέματος εκτελούνται από την άνω πλατφόρμα. Από την κάτω πλατφόρμα εκτελούνται οι χειρισμοί ανύψωσης καθώς επίσης και οι τυχόν εργασίες άμεσων επισκευών της επιφανείας του νωπού σκυροδέματος. Η μετακίνηση του μεταλλοτύπου γίνεται με δυο γρύλους οι οποίοι κοντράρουν σε ανηρτημένα συρματόσχοινα. Κρίσιμα στοιχεία για την μετακίνηση του μεταλλοτύπου είναι οι σιδηροτροχιές επάνω στις οποίες κινείται ο μεταλλότυπος, οι οποίες πρέπει να είναι απόλυτα παράλληλες μεταξύ τους, με ανοχή 5 mm καθ' όλο το ύψος του υπό σκυροδέτηση τμήματος. Το πλάτος του μεταλλοτύπου είναι 10 m και το ύψος του 2 m.

Η σκυροδέτηση γίνεται σε στρώσεις των 30 cm, με την ίδια πάντα φορά. Ταυτόχρονα το σκυρόδεμα συμπυκνώνεται με δονητή. Κατά την εφαρμογή του σκυροδέματος λαμβάνεται μέριμνα για την ορθή τοποθέτηση και συμπύκνωση του σκυροδέματος στις περιοχές των στεγανωτικών αρμών καθώς επίσης και κάτω από τον οπλισμό. Οι εργασίες σκυροδέτησης διακόπτονται μόλις πληρωθεί ο μεταλλότυπος με σκυρόδεμα. Στη συνέχεια και κατά τακτά χρονικά διαστήματα γίνεται έλεγχος πήξης του σκυροδέματος με μεταλλική ράβδο διαμέτρου 12 mm, η οποία εμπεγνύεται με δύναμη στο σκυροδετηθέν τμήμα. Η πήξη του σκυροδέματος θεωρείται ικανοποιητική για μετακίνηση του μεταλλοτύπου, όταν η έμπτυξη της ράβδου δεν είναι δυνατή στο κατώτερο τμήμα του σκυροδέματος ύψους 20 cm.

Στη συνέχεια γίνεται μετακίνηση του μεταλλοτύπου προς τα άνω και επανέναρξη της σκυροδέτησης. Μετά από διάφορες δοκιμές καθορίστηκε ο καταλληλότερος κύκλος των εργασιών, ήτοι μεταφορά σκυροδέματος 2 m³ ανά ώρα περίπου, μετακίνηση περί τα 0.30 m ανά μισή ώρα

και προχώρηση περί τα 0.60 m ανά ώρα. Ο ως άνω κύκλος εργασιών τυποποιήθηκε απόλυτα και σταθεροποιήθηκε.

Καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών και σε κάθε μεταφορά σκυροδέματος το Εργαστήριο διενεργούσε συνεχώς δειγματοληψίες και μετρήσεις κάθισης του σκυροδέματος, καθόσον η εργασιμότητα του νωπού σκυροδέματος είναι μέγεθος ιδιαίτερα κρίσιμο για την ομαλή πορεία των εργασιών. Το σκυρόδεμα θα πρέπει να έχει τη μικρότερη δυνατή κάθιση έτσι ώστε να επιταχύνονται οι εργασίες μετακινήσεων του μεταλλοτύπου, θα πρέπει όμως να δύναται να αντληθεί από την πρέσα. Κατά την εφαρμογή στο έργο το σκυρόδεμα είχε γενικά κάθιση 7-8 cm, στο κάτω όριο δηλαδή του σκυροδέματος που είναι δυνατό να εφαρμοστεί με άντληση.

Η όλη αυτή διαδικασία, η οποία απαιτεί αξιόπιστο εξοπλισμό και εξειδικευμένο-έμπειρο προσωπικό, έγινε χωρίς κανένα πρόβλημα και χωρίς να απαιτηθεί η διαμόρφωση ψυχρού αρμού σε οποιαδήποτε θέση.



Εικόνα 8: Φράγμα Στενό Σερίφου, κατασκευή μανδύα στεγανότητας (ανάντη πλάκα σκυροδέματος).

Φράγμα Ληθαίου Τρικάλων, συναρμογή πυρήνα τμήματος γεωφράγματος με το σκληρό επίχωμα

Η συναρμογή του πυρήνα του τμήματος γεωφράγματος με το σκληρό επίχωμα αποτελεί το ευπαθέστερο σημείο της κατασκευής του φράγματος Ληθαίου Τρικάλων. Κατά την κατασκευή θα πρέπει να προηγηθεί καλός καθαρισμός και απομάκρυνση της σκόνης από την πλάκα σκυροδέματος του σκληρού επιχώματος. Το υλικό πυρήνα που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να έχει αρκετά μεγάλη πλαστικότητα και υγρασία κατά τι μεγαλύτερη από τη βέλτιστη. Η συμπίκνωση του υλικού θα γίνει με βαρύ ελαστικοφόρο μηχάνημα.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από απόψεως κατασκευής, ένα φράγμα από αξονομετρικό κυλινδρούμενο σκληρό επίχωμα αποτελεί συνδυασμό δυο τύπων φραγμάτων:

- το τυπικό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC),
- τα στοιχεία στεγάνωσης του λιθόρριπτου φράγματος με ανάντη πλάκα σκυροδέματος (CFRD), (πλίνθος, ανάντη πλάκα...).

Τα προβλήματα που τυχόν προκύπτουν κατά την κατασκευή του έργου επιλύονται εύκολα, απαιτείται όμως οργάνωση και πειθαρχία, καθόσον μη έγκαιρη και έντεχνη επίλυσή τους επηρεάζει σημαντικά το έργο (π.χ. διαμόρφωση ψυχρού αρμού στο σκληρό επίχωμα και στην ανάντη πλάκα σκυροδέματος κλπ). Το δυσκολότερο τμήμα του έργου είναι η κατασκευή του ανάντη μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα, διαδικασία που απαιτεί αξιόπιστο εξοπλισμό και εξειδικευμένο-έμπειρο προσωπικό.

Πρόκειται για τύπο φράγματος που ταιριάζει πολύ στις γεωλογικές συνθήκες της Ελλάδας, ιδιαίτερα όσον αφορά τα υλικά κατασκευής (μεγάλο πλεονέκτημα οι χαμηλές απαιτήσεις των αδρανών).

5 ΦΟΡΕΙΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ

Φράγμα Στενό Σερίφου

Εργοδότης: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων

Μελετητής: ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ Ε.Π.Ε.

Ανάδοχος: EDRACO Α.Τ.Ε.

Τεχνικός Σύμβουλος-Ποιοτικός Έλεγχος: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ Ε.Π.Ε.

Φράγμα Ληθαίου Τρικάλων

Εργοδότης: Περιφέρεια Θεσσαλίας / Π.Ε. Τρικάλων

Μελετητής: ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ Ε.Π.Ε.

Ανάδοχος: Κ/Ξ ΜΕΛΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΛΦΑ Α.Ε. - ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗ Α.Ε.

Τεχνικός Σύμβουλος-Ποιοτικός Έλεγχος: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ Ε.Π.Ε. - ΥΔΡΟ Κ. Λαγαριάς Α. Λουμπιέ & ΣΙΑ Ε.Ε.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Φελέκος, Σ.Γ., Γιάγκος, Α.Ν., "Αξονοσυμμετρικό Φράγμα Στενού Σερίφου από κυλινδρούμενο σκληρό επίχωμα", 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων, Λάρισα, 13-15 Νοεμβρίου 2008, τόμος 1, σελ. 197-203.
2. ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕ, 1994. Φράγμα στη θέση Στενό Σερίφου. Οριστική Μελέτη.
3. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ ΕΠΕ, 2003. Φράγμα Στενό Σερίφου. Τελική έκθεση Τεχνικού Συμβούλου.
4. ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕ, 2004. Λιμνοδεξαμενές Νομού Τρικάλων - Φράγμα Ληθαίου. Οριστική Μελέτη.

"Εμπειρίες από την κατασκευή των φραγμάτων Στενού Σερίφου και Ληθαίου Τρικάλων"

Σ.Γ. Φελέκος
Πολιτικός Μηχανικός, ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ Ε.Π.Ε.

"Experience during construction of the Steno Serifos and Lithaios Trikala dams "

S.G. Felekos,
Civil Engineer, GEOTECHNIKI THEMELIOSSEON Ltd.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΜΕΓΑΛΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Ημερίδα με θέμα:

**«ΑΞΟΝΟΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΛΗΡΟΥ
ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ»**

Τρίτη 27 Νοεμβρίου 2012, αίθουσα τελετών του Κτηρίου Διοίκησης του ΕΜΠ,
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.
