

Γεωτεχνικά θέματα του φράγματος Αποσελέμη Κρήτης – Τεχνικά στοιχεία του έργου

Μ.Καββαδάς

Αναπληρωτής Καθηγητής Τομέα Γεωτεχνικής Σχολής Πολιτικών Μηχικών Ε.Μ.Π., Ειδικός Σύμβουλος Κ/Ξ Συμβούλων Αποσελέμη

Α.Κοτσώνης

Πολιτικός Μηχανικός, Διευθυντής Δ6 Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε / Γ.Γ.Δ.Ε. / Γ.Δ.Υ.Ε.

Λ.Σωμάκος

Πολιτικός Μηχανικός, Κ/Ξ Συμβούλων Αποσελέμη

Α.Γκιόλας

Πολιτικός Μηχανικός PhD, MSc. Κ/Ξ Συμβούλων Αποσελέμη

Σ.Λαζαρίδου

Πολιτικός Μηχανικός MSc. Κ/Ξ Συμβούλων Αποσελέμη

Λέξεις κλειδιά: Κρήτη, Αποσελέμη, φράγμα, φυλλίτες, υλικά κατασκευής, στεγανοποίηση υποβάθρου, ευστάθεια φράγματος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η εργασία παρουσιάζει τα κύρια τεχνικά στοιχεία του υπό κατασκευή φράγματος Αποσελέμη, με ιδιαίτερη έμφαση στις γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες και διερευνήσεις, όπως αυτές εκτελέστηκαν και αξιολογήθηκαν κατά την εξέλιξη της κατασκευής του Κυρίως Ανάντη Προφράγματος και του Φράγματος και θα συμβάλλουν στην τελική διαμόρφωση του έργου. Αναλύονται στοιχεία σχετικά με το υπόβαθρο θεμελίωσης του φράγματος, όπως αυτά προέκυψαν από τις ερευνητικές εργασίες και από την κατασκευή της κουρτίνας τσιμεντενέσεων και στοιχεία σχετικά με τα υλικά κατασκευής του αναχώματος μετά την αξιολόγηση των ερευνών για την επάρκεια και καταλληλότητα των γεωϋλικών της περιοχής του έργου.

1 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ

Το φράγμα Αποσελέμη βρίσκεται στον ομώνυμο χείμαρρο στη νήσο Κρήτη στο νομό Ηρακλείου, σε απόσταση 1,2 km περίπου ανάντη του οικισμού Ποταμιές στο δρόμο προς το οροπέδιο Λασιθίου και σε απόσταση 30 km περίπου ανατολικά της πόλεως Ηρακλείου.

Κύριος του έργου είναι το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Επιβλέπουσα και Προϊσταμένη Υπηρεσία είναι η Διεύθυνση Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης Δ6 και Διευθύνουσα υπηρεσία επί τόπου των έργων η ΕΥΔΕ Ύδρευσης Ηρακλείου και Αγ. Νικολάου από το Φράγμα Αποσελέμη.

Η λεκάνη απορροής του φράγματος έχει έκταση 143.0 km² (62.4 km² του χ.Αποσελέμη και 80.6 km² από το Οροπέδιο Λασιθίου) και ταμειυτήρα ωφέλιμης χωρητικότητας 27.3 x 10⁶ m³, βρίσκεται στον ομώνυμο χείμαρρο και θα υδροδοτήσει με υδραγωγείο μήκους περίπου 74 km τις πόλεις του Ηρακλείου και Αγ. Νικολάου, καθώς και 6 Δήμους και 19 κοινότητες κατά μήκος του άξονα Λινοπεράσματα – Ηράκλειο – Χερσόνησος – Όρια Νομών Ηρακλείου και Λασιθίου – Νεάπολη – Αγ. Νικόλαος – Ελούντα. Η μέση ετήσια απόληψη για ύδρευση είναι περίπου 17 x 10⁶ m³.

Πρόκειται για χωμάτινο φράγμα με κεντρικό αδιαπέρατο πυρήνα, σώματα στήριξης από γαιώδη – βραχώδη υλικά (φυλλίτη), μεταβατικές ζώνες από διαβαθμισμένα υλικά ασβεστολιθικού λατομείου και εξωτερικές ζώνες προστασίας του ανάντη και κατάντη πρανούς.

Το έργο αποτελείται από το Κυρίως Ανάχωμα του Φράγματος, με ενσωματωμένο το Κυρίως Ανάντη Πρόφραγμα, τον αγωγό εκτροπής στο δεξί αντέρεισμα ο οποίος συνδυάζεται με το σύστημα υδροληψίας-εκκένωσης (κεκλιμένος οχετός με 4 υδροληψίες) και τον μετωπικό υπερχειλιστή επίσης στο δεξί αντέρεισμα.

Το ανάχωμα του φράγματος έχει συνολικό όγκο $3.35 \times 10^6 \text{ m}^3$, ύψος 61.0m από την προβλεπόμενη στάθμη θεμελίωσης, πλάτος και μήκος στένης 8.0m και 660.0m αντίστοιχα και κλίση πρηνών ανάντη 1:3 και κατάντη 1:2.5.

1.1 Μορφολογικά και Υδρολογικά χαρακτηριστικά του ταμιεντήρα Αποσελέμη

Η λεκάνη απορροής του φράγματος Αποσελέμη έχει έκταση 62.4 km^2 , μέσο υψόμετρο 595.4 m και μέση ετήσια βροχόπτωση 800.6 mm. Η λεκάνη απορροής του Οροπεδίου Λασιθίου έχει έκταση 80.56 km^2 .

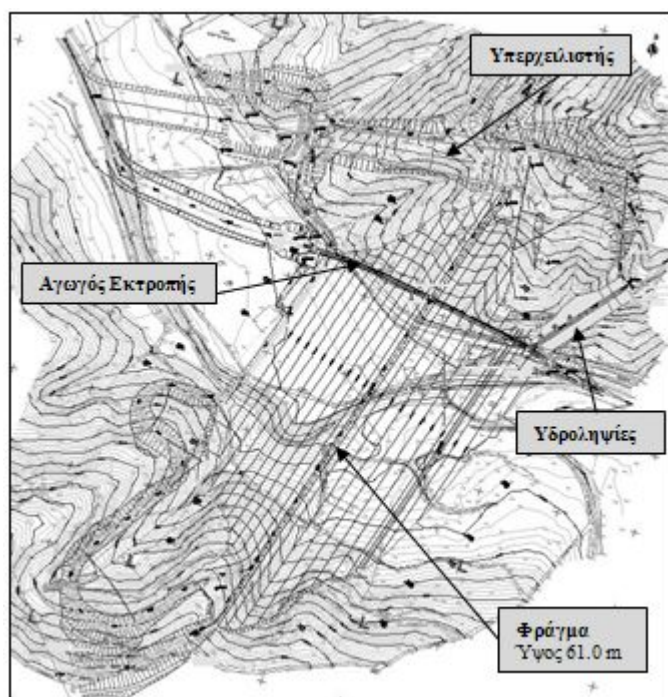
Από μορφολογική άποψη, η περιοχή χαρακτηρίζεται από το σχετικά μεγάλο εύρος της ευρύτερης κοίτης του Αποσελέμη και από το ήπιο έως μέτριο ανάγλυφο των αντερεισμάτων της λεκάνης κατάκλυσης.

1.2 Σεισμικότητα ευρύτερης περιοχής των έργων

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Τροποποίηση ΕΑΚ 2000, ΦΕΚ Β'1154/12-8-2003), η περιοχή των έργων ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II με συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης $\alpha = 0.24$.

1.3 Τεχνικά στοιχεία φράγματος και συναφών έργων

Στην εικόνα.1 παρουσιάζεται η γενική διάταξη των έργων του φράγματος Αποσελέμη και στον πίνακα 1 δίνονται τα τεχνικά στοιχεία του έργου.



Εικόνα 1: Γενική διάταξη έργων φράγματος Αποσελέμη Κρήτης

Πίνακας 1. Τεχνικά Στοιχεία Φράγματος Αποσελέμη και Συναφών Έργων

Ταμειυτήρας	Τεχνικά Στοιχεία
Συνολική χωρητικότητα ταμειυτήρα	36.2x10 ⁶ m ³
Ωφέλιμη (+216.00)	27.3x10 ⁶ m ³
Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας (Α.Σ.Π.).	+221.00
Ανώτατη Στάθμη Λίμνης (Α.Σ.Λ.).	+216.00
Κατώτατη Στάθμη Λίμνης (Κ.Σ.Λ.).	+184.00
Επιφάνεια Λίμνης	1.60 km ²
Φράγμα	
Όγκος	3.350.000 m ³
Ύψος (από τη θεμελίωση)	61.00 m
Υψόμετρο θεμελίωσης	+162.00
Υψόμετρο Στέψης	+223.00
Πλάτος Στέψης	8.00 m
Μήκος Στέψης	660.00 m
Κλίση Πρανών	ανάντη 1:3 κατάντη 1:2.5
Κυρίως Ανάντη Πρόφραγμα (Κ.Α.Π.)	
Όγκος	~300.000 m ³
Ύψος (από τη θεμελίωση)	23.00 m
Υψόμετρο θεμελίωσης	+165.00
Υψόμετρο Στέψης	+188.00
Πλάτος Στέψης	5.00 m
Μήκος Στέψης	350 m
Κλίση Πρανών	1:3
Υπερχειλιστής	
Μέγιστο πλάτος διώρυγας	40 m
Υψόμετρο Στέψης	+216.00,
Qεκρ. (1:50.000)	1000 m ³ /s
Αγωγός Εκτροπής (Ορθογωνική διατομή)	
πλάτος / ύψος (θολωτή στέψη)	4.50 m / 4.00 m
Μήκος αγωγού	324.00 m
Υψόμετρο Εισόδου	+171.00 m
Υψόμετρο Εξόδου	+169.00 m
Σύστημα Υδροληψίας	
3 στόμια υδροληψίας Φ1000	Y1 = +192.0 Y2 = +200.0, Y3 = +208.00
1 στόμιο εκκένωσης-υδροληψίας Φ1000	YE = +184.0
Αγωγός υδροληψίας- εκκένωσης	Φ1000
Αγωγός αποχέτευσης φερτών	Φ600 (+179.5)

Τμήμα της επαρχιακής οδού από τις Ποταμιές μέχρι το Αβδού κατακλύζεται από τον ταμειυτήρα Αποσελέμη. Για την αποκατάσταση της κυκλοφορίας προβλέπεται, στο αριστερό αντέρεισμα, παράκαμψη μήκους 6.3 km, προς το Οροπέδιο Λασιθίου.

Για την εξυπηρέτηση των κατοίκων της περιοχής και την πρόσβαση στη στέψη του φράγματος προβλέπεται, στο δεξί αντέρεισμα, η κατασκευή αγροτικής παραλίμνιας οδού μήκους 6.8 km και πλάτους 5.0 m.

Η ονομαστική στέψη του αναχώματος του φράγματος είναι στο +223.00. Σύμφωνα με το διάγραμμα υπερύψωσης (camber), κατά το πέρας κατασκευής, η στέψη του αναχώματος, στην περιοχή των μέγιστων διατομών προβλέπεται στο +224.50.

1.4 Βοηθητικά αναχώματα – ανάχωμα προστασίας Ιερού Ναού Αγ.Κωνσταντίνου

Ο Ι.Ν. Αγ. Κωνσταντίνου, βρίσκεται εντός και στο νότιο άκρο της λεκάνης κατάκλυσης του φράγματος Αποσελέμη, περί το 1 km δυτικά του οικισμού Αβδού. Ο ναός είναι κτισμένος σε υπερυψωμένη έξαρση με υψόμετρο εδάφους +214.50 μ. Για την προστασία του ναού, προβλέπεται η κατασκευή ανοικτού περιμετρικού αναχώματος με αδιαπέρατο πυρήνα, συνολικού μήκους περίπου 470.0μ. και μέγιστου ύψους 14.0m (στέψη +221). Η κατασκευή του αναχώματος ξεκίνησε τον Αύγουστο του 2008.

Προβλέπεται και η κατασκευή δύο βοηθητικών αναχωμάτων με αδιαπέρατο πυρήνα, με σκοπό να αποτρέψουν πιθανές διαρροές μέσω ασβεστολιθικών σχηματισμών που έχουν εντοπιστεί σε δυο περιοχές, στη δυτική πλευρά του ταμιευτήρα.

1.5 Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων – Οικολογική παροχή

Η έγκριση περιβαλλοντικών όρων για την κατασκευή του Φράγματος Αποσελέμη στηρίχθηκε στις σχετικές περιβαλλοντικές μελέτες. Για τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας του Δέλτα του Αποσελέμη, εξασφαλίζεται, μέσω του υδραγωγείου, στην κεφαλή της περιοχής του υδροβιότοπου καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, σταθερή παροχή νερού 15 lt/sec που προέρχεται από το διυλιστήριο προ της επεξεργασίας.

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ

2.1 Γεωλογία περιοχής θεμελίωσης φράγματος και συναφών έργων

Η ευρύτερη περιοχή της κοίτης του Αποσελέμη καλύπτεται από τις σύγχρονες και τις παλαιότερες αποθέσεις του χειμάρρου ενώ τα αντερείσματα καλύπτονται από εκτεταμένο μανδύα εδαφικών υλικών. Η υποκείμενη σχιστο – φυλλιτικοί σχηματισμοί ανήκουν στο κάλυμμα της φυλλιτικής – χαλαζιτικής σειράς.

Στη θέση θεμελίωσης του φράγματος, επιφανειακά, στην ευρύτερη κοίτη συναντώνται οι σύγχρονες και οι παλαιότερες αποθέσεις του χειμάρρου και στα αντερείσματα εδαφικός μανδύας. Στη συνέχεια συναντώνται καστανοί, έντονα έως μέτρια αποσαθρωμένοι και κατακερματισμένοι σχιστο – φυλλιτικοί σχηματισμοί, με το βάθος ελαφρά αποσαθρωμένοι και κερματισμένοι και στη συνέχεια γκρίζα υγιής και κερματισμένη φυλλιτική βραχώμαζα.

Η τάφος πυρήνα του φράγματος προβλέπεται να θεμελιωθεί σε υγιή φυλλίτη, σε βάθος 6.0 έως 8.0 m στην κοίτη του ποταμού και σε βάθος 8.0 έως 10.0 m στα αντερείσματα. Η θεμελίωση των σωμάτων στήριξης προβλέπεται σε βάθη της τάξεως των 3.0 έως 5.0 m στα αντερείσματα και περίπου 3.0 m στην περιοχή της κοίτης του χειμάρρου Αποσελέμη.

2.2 Γεωλογία λεκάνης κατάκλυσης

Η περιοχή των αντερεισμάτων της λεκάνης κατάκλυσης δομείται από τις σύγχρονες και παλαιότερες αποθέσεις της ευρύτερης κοίτης του χ. Αποσελέμη, τα πλευρικά κορήματα και αποσαθρώματα των σχηματισμών του υποβάθρου, τις χειμαρρο-λιμναίες αποθέσεις της λεκάνης Αβδού και τους σχιστο-φυλλιτικούς και ασβεστολιθικούς σχηματισμούς. Στα πρανή της λεκάνης κατάκλυσης εντοπίζονται περιορισμένης έκτασης φαινόμενα αστάθειας.

Οι σχιστοφυλλιτικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από μικρή διαπερατότητα, ενώ στις περιοχές των δυο μεγάλων ρεμάτων του αριστερού αντερείσματος εμφανίζονται έντονα καρστικοποιημένοι και διαπερατοί ασβεστόλιθοι και προβλέπεται, όπως προαναφέρθηκε, η κατασκευή αναχωμάτων.

3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΦΩΝ ΕΡΓΩΝ

3.1 Στεγανοποίηση υποβάθρου – οπές ελέγχου

Στη βάση της τάφρου θεμελίωσης του πυρήνα, προβλέπεται η κατασκευή τσιμεντενέσεων τάπητα με πεσοειδή διάταξη 3.0 x 6.0 και ελάχιστο βάθος 6.0 m.

Η κατασκευή του διαφράγματος τσιμεντενέσεων κατά μήκος του άξονα του φράγματος ξεκίνησε τον Μάρτιο του 2007 και ολοκληρώθηκε με τη διάνοιξη των πρωτεύουσών και δευτερευουσών οπών και των κεκλιμένων οπών ελέγχου. Αρχικά κατασκευάστηκαν οι πρωτεύουσες τσιμεντενέσεις ανά 8.0 m και στη συνέχεια οι δευτερεύουσες στις ενδιάμεσες θέσεις. Χρησιμοποιήθηκε τσιμεντένεμα με αναλογία νερού/τσιμέντου 3:1.

Στον πίνακα 2 δίνονται, από τα αποτελέσματα των πρωτεύουσών και δευτερευουσών τσιμεντενέσεων κατά μήκος του άξονα, τα στοιχεία των συνολικών μέσων απορροφήσεων (lt) από την επιφάνεια διάνοιξης έως τα 25.0 m βάθος. Κατά τη διάνοιξη των πρωτεύουσών οπών εκτελέστηκαν δοκιμές διαπερατότητας Lugeon, τα μέσα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Οι συνολικές απορροφήσεις ενέματος ανά οπή κυμάνθηκαν στις πρωτεύουσες από 490 έως 1555 lt και στις δευτερεύουσες από 435 έως 1580 lt. Η μικρή αρχική διαπερατότητα του φυλλίτη είχε ως αποτέλεσμα η μείωση της από την κατασκευή του διαφράγματος πρωτεύουσών οπών να είναι μικρή.

Για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας του διαφράγματος, διανοίχθηκαν κεκλιμένες οπές ελέγχου με ταυτόχρονη πυρηνοληψία, στις οποίες εκτελέστηκαν δοκιμές διαπερατότητας Lugeon. και κατόπιν πληρώθηκαν με τσιμεντένεμα.

Τριτεύουσες οπές έγιναν στην περιοχή κατασκευής του αγωγού εκτροπής. Τα αποτελέσματα των οπών ελέγχου, επιβεβαίωσαν την μικρή περατότητα του υποβάθρου και δεν κρίθηκε σκόπιμη η κατασκευή τριτεύουσών οπών τσιμεντενέσεων κατά μήκος του άξονα.

Το κατασκευασθέν διάφραγμα έχει δημιουργήσει επαρκή χαρακτηριστικά ομοιογένειας της διαπερατότητας του πετρώματος.

Πίνακας 2. Στοιχεία απορροφήσεων τσιμεντενέσεων και διαπερατότητας κατά μήκος του άξονα

Χ.Θ. στον άξονα	Θέση	Βάθος οπής (m)	Μέση αρχική διαπερατότητα x10 ⁻⁵ (cm/sec)	Μέση απορρόφηση τσιμεντενέματος - πρωτεύουσες οπές (lt)	Μέση απορρόφηση τσιμεντενέματος - δευτερεύουσες οπές (lt)
0+680 έως 0+600	Δεξιό αντέρεισμα Ανώτερο τμήμα	5	17	91	192
		10	13	113	137
		15	10	155	195
		20	7	216	179
		25	7	291	262
0+600 έως 0+520	Δεξιό αντέρεισμα Μεσαίο τμήμα	5	11	97	73
		10	9	129	102
		15	8	199	122
		20	8	304	158
		25	6	256	176
0+520 έως 0+440	Δεξιό αντέρεισμα Κατώτερο τμήμα	5	6	77	102
		10	5	138	107
		15	5	160	204
		20	4	245	233
		25	5	358	319
		5	10	93	60

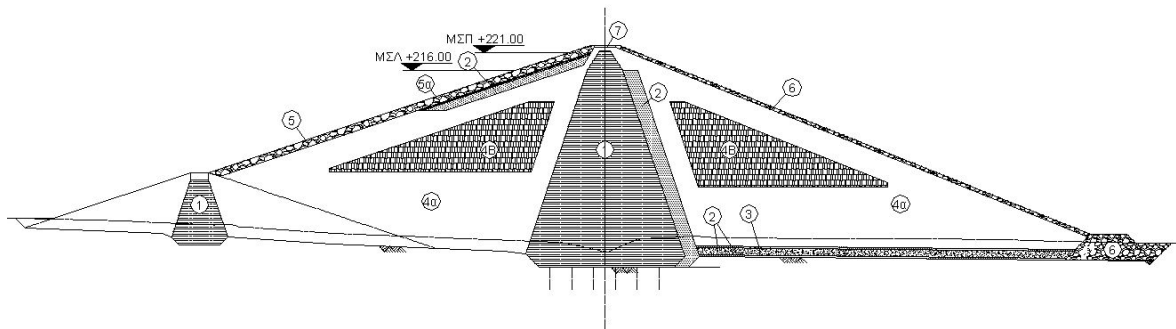
Χ.Θ. στον άξονα	Θέση	Βάθος οπής (m)	Μέση αρχική διαπερατότητα $\times 10^{-5}$ (cm/sec)	Μέση απορρόφηση τσιμεντενέματος - πρωτεύουσες οπές (lt)	Μέση απορρόφηση τσιμεντενέματος - δευτερεύουσες οπές (lt)	
0+440	Ευρύτερη κοίτη	10	7	99	90	
έως		15	5	164	128	
0+360		20	4	218	189	
		25	4	252	237	
		5	9	79	92	
0+360	Ευρύτερη κοίτη	10	5	87	108	
έως		15	5	134	145	
0+300		20	4	206	200	
		25	4	254	203	
		5	7	78	93	
0+300	Ευρύτερη κοίτη	10	5	82	120	
έως		15	4	154	176	
0+240		20	4	179	180	
		25	4	212	207	
		5	6	70	38	
0+240	Αριστερό αντέρειασμα	10	4	80	69	
έως		15	3	134	129	
0+210		Κατώτερο τμήμα	20	3	183	147
			25	2	201	178
		5	6	79	72	
0+210	Αριστερό αντέρειασμα	10	4	123	97	
έως		15	3	135	130	
0+140		Κατώτερο τμήμα	20	3	152	131
			25	3	182	148
		5	9	88	79	
0+140	Αριστερό αντέρειασμα	10	6	119	94	
έως		15	6	174	163	
0+100		Μεσαίο τμήμα	20	5	262	208
			25	6	351	252
		5	10	99	115	
0+100	Αριστερό αντέρειασμα	10	6	126	119	
έως		15	5	183	218	
0+030		Ανώτερο τμήμα	20	4	230	256
			25	5	344	299
		5	9	109	100	
0+030	Αριστερό αντέρειασμα	10	6	150	136	
έως		15	5	210	209	
0-030		Ανώτερο τμήμα	20	5	242	232
			25	4	344	283

4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ - ΔΙΑΖΩΝΙΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

4.1 Διαζώνιση φράγματος και προφράγματος

Τα υλικά κατασκευής του προφράγματος και του κυρίως φράγματος προβλέπονται από δανειοθαλάμους της λεκάνης κατάκλυσης και από τις εκσκαφές μέσα στον ταμιευτήρα. Κατά την κατασκευή του προφράγματος έγιναν διερευνήσεις για την χρήση του αποσαθρωμένου φυλλίτη ως υλικό κατασκευής τμήματος του πυρήνα του προφράγματος με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στην

εικόνα 2 που ακολουθεί φαίνεται η διαζώνιση του φράγματος Αποσελέμη και στον πίνακα 3 περιγράφονται οι ζώνες του φράγματος.



Εικόνα 2: Τυπική Διατομή Φράγματος

Πίνακας 3. Συνοπτική περιγραφή διαζώνισης τυπικής διατομής φράγματος

Ζώνη	Περιγραφή
1	Αδιαπέρατος πυρήνας
2	Φίλτρο (επεξεργασμένα, διαβαθμισμένα θραυστά υλικά λατομείου)
3	Στραγγιστήριο (επεξεργασμένα, θραυστά υλικά λατομείου)
4α	Σώματα στήριξης (αποσαθρωμένος φυλλίτης)
4β	Σώματα στήριξης (βραχώδη προϊόντα φυλλίτη)
5	Λιθορριπή προστασίας ανάντη πρανούς (βραχώδη υλικά λατομείου)
5α	Μεταβατική ζώνη (θραυστός βράχος λατομείου)
6	Λιθορριπή προστασίας κατόντη πρανούς (θραυστός βράχος λατομείου)
7	Στέψη (βάση και ασφαλτικές στρώσεις)

4.1.1 Υλικά πυρήνα - γεωτεχνικά χαρακτηριστικά υλικών

Τα υλικά κατασκευής της ζώνης 1 (αδιαπέρατος πυρήνας) προβλέπονται από συμβατικούς δανειοθαλάμους στην περιοχή της λεκάνης κατάκλυσης.

Η προδιαγραφή διάστρωσης των υλικών προβλέπει υλικά με περιεκτικότητα τουλάχιστον εξήντα τοις εκατό (60%) κατά βάρος διερχόμενα από το πρότυπο κόσκινο Νο 4 και είκοσι τοις εκατό (20%) κ.β. διερχόμενα από το κόσκινο Νο 200, μετά τη συμύκνωση στο ανάχωμα του φράγματος.

Τα υλικά της ζώνης 1 διαστρώνονται σε στρώσεις πάχους είκοσι (20) cm και η επιτυγχανόμενη συμύκνωση πρέπει να είναι 98% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας (Standard Proctor).

Για την κατασκευή του προφράγματος χρησιμοποιήθηκε άργιλος (λεκάνη κατάκλυσης) και αποσαθρωμένος φυλλίτης από το αριστερό αντέρεισμα. Σύμφωνα με τα στοιχεία κατασκευής, η χρησιμοποιούμενη άργιλος έχει τα εξής μέσα χαρακτηριστικά:

Το ποσοστό διερχόμενου υλικού από το κόσκινο Νο 4 (4.76 mm) είναι της τάξης του 90% και από το κόσκινο Νο 200 (0.074 mm) της τάξης του 65%. Το όριο υδαρότητας είναι της τάξης του 32% και ο δείκτης πλαστικότητας της τάξης του 15%. Τα υπόψη υλικά χαρακτηρίζονται ως ανόργανη άργιλος και ταξινομούνται στην ομάδα CL του χάρτη πλαστικότητας. Η μέγιστη ξηρή πυκνότητα του υλικού, σύμφωνα με την πρότυπη δοκιμή συμύκνωσης (Standard Proctor) έδωσε τιμές της τάξης του 1.88 kg/cm³ και βέλτιστη υγρασία της τάξης του 14.4%.

Ο αποσαθρωμένος φυλλίτης έχει τα εξής μέσα χαρακτηριστικά: Το ποσοστό διερχόμενου υλικού από το κόσκινο Νο 4 (4.76 mm) είναι της τάξης του 80% και από το κόσκινο Νο 200 (0.074 mm) της τάξης του 40%. Το όριο υδαρότητας είναι της τάξης του 30% και ο δείκτης πλαστικότητας της

τάξης του 10%. Το υλικό αυτό χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του πυρήνα του ΚΑΠ από την στάθμη +180.00 έως τη στάθμη του πυρήνα +186.00.

Κατά τη διάστρωση και συμπύκνωση, για την επίτευξη μεγαλύτερου βαθμού κορεσμού και τον περιορισμό των παραμορφώσεων (κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα και την αποκατάσταση συνθηκών μόνιμης ροής στον πυρήνα), το υλικό διαβρεχόταν και αναμοχλευόταν για την ομοιόμορφη διανομή της υγρασίας σε επίπεδα της τάξεως του 0.5-1.5% υψηλότερα της work . Η επιτυγχανόμενη συμπύκνωση είναι της τάξης του 98%-99% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας (Standard Proctor).

4.1.2 Σώματα στήριξης- γεωτεχνικά χαρακτηριστικά υλικών

Τα σώματα στήριξης του ΚΑΠ κατασκευάζονται από αποσαθρωμένο φυλλίτη με περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα από 9% έως 20%. Λόγω της κάπως μειωμένης διαπερατότητας των υλικών των σωμάτων στήριξης και προκειμένου να εξασφαλίζεται η ευστάθεια του ανάντη σώματος έναντι απότομου καταβιβασμού της στάθμης του ταμιευτήρα, τοποθετήθηκε στραγγιστική στρώση πάχους 2.00 m στην ανάντη παρειά κάτω από την ανάντη λιθορριπή.

4.1.3 Φίλτρα και στραγγιστήρια - γεωτεχνικά χαρακτηριστικά υλικών

Τα υλικά των φίλτρων και στραγγιστηρίων προέρχονται από ασβεστολιθικό λατομείο, μετά από κοσκίνισμα με ταυτόχρονη πλύση. Κατάντη του πυρήνα, κατασκευάστηκε κατακόρυφη ζώνη φίλτρου πάχους 4.00 m. Στη βάση του κατάντη σώματος στήριξης τοποθετήθηκε οριζόντια στραγγιστική στρώση πάχους 2.00 m η οποία περιβάλλεται από άνω και κάτω φίλτρο πάχους 0.50 m. Όπως απαιτείται και από τις προδιαγραφές, το φίλτρο, μετά τη συμπύκνωση, θα πρέπει να περιέχει λεπτόκοκκα σε ποσοστό μικρότερο του 5%.

4.1.4 Ζώνες προστασίας ανάντη και κατάντη πρανούς

Στο ανάντη κεκλιμένο πρανές του φράγματος, προβλέπεται λιθορριπή προστασίας από επεξεργασμένα βραχώδη υλικά λατομείου. Το κατάντη κεκλιμένο πρανές προστατεύεται από επεξεργασμένους θραυστούς βράχους λατομείου.

4.1.5 Αναλύσεις ευστάθειας φράγματος

Στον πίνακα 4 δίνονται οι παράμετροι σχεδιασμού των ζωνών του φράγματος, όπως λήφθηκαν στη φάση σχεδιασμού και διερεύνησης της ευστάθειας του {2}. Στον πίνακα 5 συνοψίζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

Πίνακας 4. Παράμετροι σχεδιασμού των ζωνών του φράγματος για τις αναλύσεις ευστάθειας

Ζώνη	γ_{ξ} kN/m ³	γ_{κ} kN/m ³	E Mpa	ν	c_u (kPa)	ϕ_u ($^{\circ}$)	c' (kPa) στατική	c' (kPa) σεισμική	ϕ' ($^{\circ}$)	τ_u
1	19	19.5	20	0.30	125	8	20	25	25	0.40
2	17	20					0		36	0.00
4α – 4β	18.5	20	30	0.30	125	12	25	30	28	0.25
Υπέδαφος – άνωτερη στρώση έως +162.00	19	20	20	0.30	125	0	25	30	26	0.30
Υπέδαφος – μεσαία στρώση έως +155.00	19	20	50	0.30	200	0	35	40	28	0.20
Υπέδαφος – κατώτερη στρώση από +155.00	20	21	200	0.30	300	0	60	60	28	0.00

Πίνακας 5. Αποτελέσματα αναλύσεων ευστάθειας

Πέρασ κατασκευής		Ανάλυση ολικών τάσεων	
Φόρτιση	Πρανές φράγματος	Συντελεστής ασφάλειας	Ελάχιστος αποδεκτός Σ.Α.
Στατική	ανάντη	1.531	1.30
Στατική	κατάντη	1.398	1.30
Σεισμική (ε=0.10)	ανάντη	1.142	1.00
Σεισμική (ε=0.10)	κατάντη	1.092	1.00
Πέρασ κατασκευής		Ανάλυση ενεργών τάσεων	
Φόρτιση	Πρανές φράγματος	Συντελεστής ασφάλειας	Ελάχιστος αποδεκτός Σ.Α.
Στατική	ανάντη	1.580	1.30
Στατική	κατάντη	1.403	1.30
Σεισμική (ε=0.10)	ανάντη	1.132	1.00
Σεισμική (ε=0.10)	κατάντη	1.061	1.00
Λειτουργία			
Φόρτιση	Πρανές φράγματος	Συντελεστής ασφάλειας	Ελάχιστος αποδεκτός Σ.Α.
Στατική	κατάντη	1.695	1.50
Σεισμική (ε=0.16)	κατάντη	1.124	1.10
Σεισμική (ε=0.21) – στάθμη +219	κατάντη	1.001	1.00
Σεισμική (ε=0.21) – στάθμη +215	κατάντη	1.038	1.00
Ταχύς καταβιβασμός			
Φόρτιση	Πρανές φράγματος	Συντελεστής ασφάλειας	Ελάχιστος αποδεκτός Σ.Α.
Στατική	ανάντη	1.677	1.40
Σεισμική (ε=0.10)	ανάντη	1.159	1.10
Σεισμική (ε=0.16)	ανάντη	1.000	1.00

Στη φάση κατασκευής του προφράγματος, προκειμένου να διαπιστωθεί η ορθότητα των παραμέτρων αντοχής των επιμέρους ζωνών των αναλύσεων ευστάθειας, διενεργήθηκαν σε αντιπροσωπευτικά δείγματα, εργαστηριακές δοκιμές αντοχής και εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές συμπίκνωσης. Από τις δοκιμές στα υλικά πυρήνα (άργιλος) προέκυψε μέση $c' = 20$ kPa και $\phi' = 30^\circ$ και από τις δοκιμές στα υλικά πυρήνα των σωμάτων στήριξης (αποσαθρωμένος φυλλίτης) προέκυψε μέση $c' = 12$ kPa και $\phi' = 36^\circ$.

Από τις εργαστηριακές δοκιμές, βρέθηκε ότι η διατμητική αντοχή του αποσαθρωμένου φυλλίτη εξαρτάται σημαντικά από το γεγονός ότι το επί τόπου υλικό περιλαμβάνει ευμεγεθείς κόκκους (κλάσμα > 19 mm – κόσκινο $\frac{3}{4}$ ") οι οποίοι συντελούν σε σημαντική αύξηση της γωνίας τριβής. Τα αποτελέσματα κρίθηκαν να πληρούν τις απαιτήσεις της μελέτης ευστάθειας του φράγματος.

5 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΥ – ΕΙΔΙΚΟΙ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΚΥΡΙΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η κατασκευή του φράγματος εκτελείται από την εταιρεία «ΑΚΤΩΡ» Α.Τ.Ε. Σύμβουλος Διαχείρισης του Έργου είναι η «Κ/Ξ Συμβούλων Αποσελέμη» («ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ» Λ. Λαζαρίδης & Σια ΕΕ, Ε.Ν.Μ. Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε., Γραφείο Μαχαίρα ΑΕ, ΓΡ.&Μ. Καφετζόπουλος – Δ. Μπενάκης & Σια ΕΕ, ELXIS ENGINEERING Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε., Ο.Τ.Μ. Τ.Ε.Π.Ε., ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε., «ΗΛΙΔΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ» Ε.Ε.) Εμπειρογνώμονες του Συμβούλου Διαχείρισης, για την κατασκευή του φράγματος, είναι οι κ. V. Milligan, Π.Μαρίνος, Μ.Καβαδάς.

6 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο υπό κατασκευή φράγμα Αποσελέμη Κρήτης, ορισμένα από τα γεωτεχνικά θέματα που έχουν διερευνηθεί μέχρι στιγμής, αφορούν στα υλικά κατασκευής του Κυρίως Ανάντη Προφράγματος και του φράγματος και την κατασκευή του διαφράγματος τσιμεντενέσεων κατά μήκος του άξονα.

Από την κατασκευή του διαφράγματος τσιμεντενέσεων, βάθους 25.0 m, και έπειτα από τη διάνοιξη των οπών ελέγχου, διαπιστώθηκε ότι στο υπόβαθρο θεμελίωσης του φράγματος, έχουν επιτευχθεί χαρακτηριστικά ομοιογένειας της διαπερατότητας του πετρώματος και δεν κρίθηκε απαραίτητη η εκτέλεση τριτενυσών οπών τσιμεντενέσεων.

Διερεύνηση σχετική με τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών κατασκευής του πυρήνα και των σωμάτων στήριξης, επιβεβαίωσε τον αρχικό σχεδιασμό για την ευστάθεια του φράγματος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε./ΔΕΥΑ/Δ6, «Υδρευση Ηρακλείου και Αγ. Νικολάου από το φράγμα Αποσελέμη. Κατασκευή φράγματος Αποσελέμη - Αναθεώρηση Οριστικής μελέτης φράγματος Αποσελέμη», 10/2003
2. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε./ΔΕΥΑ/Δ6, «Οριστική μελέτη φράγματος Αποσελέμη Ν.Ηρακλείου Κρήτης - Εδαφοστατική μελέτη του χωμάτινου αναχώματος», 07/2003

Geotechnical aspects of Aposelemis dam in Crete island – Project technical data

M.Kavvadas

*Associate Professor, Department of Geotechnical Engineering, School of Civil Engineering N.T.U.A.,
Technical Expert of Aposelemis Consultants J/V*

A.Kotsonis

Civil Engineer, Head Manager D6 /Hellenic Ministry for the Environment Physical Planning and Public Works / General Secretariat of Public Works

L.Somakos

Civil Engineer, Aposelemis Consultants J/V

A.Giolas

Civil Engineer PhD, MSc, Aposelemis Consultants J/V

S.Lazaridou

Civil Engineer MSc, Aposelemis Consultants J/V

Key Words: Crete, Aposelemis dam, phyllite, embankment fill materials, grouting, dam stability

ABSTRACT: In this paper, the main technical aspects of the Aposelemis Dam, currently under construction in Crete island, are presented, focusing on some of the geotechnical issues confronted during the construction of the cofferdam and the dam axis grout curtain. Data related to the embankment materials and their geotechnical parameters are analyzed. Results from the construction of the grout curtain along the dam axis are presented. Finally, the stability analysis results and investigations in order to confirm the initial design are also presented.