

Πρόσφατες εμπειρίες από υπό κατασκευή και σε λειτουργία φράγματα στην Ελλάδα και στο Εξωτερικό

Αβραάμ Μπενσασσών

Πολιτικός Μηχανικός, Διαχειριστής Εξάρχου Νικολόπουλος Μπενσασσών Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ

Λέξεις κλειδιά: φράγμα, διάφραγμα, τσιμεντομπετονίτης, αντιπλημμυρικό, συμπεριφορά, πλημμύρα, φίλτρα, ρευστοποίηση

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Εμπειρίες κατά τη μελέτη, επίβλεψη κατασκευής ή και παρακολούθηση λειτουργίας φραγμάτων στην Ελλάδα και στην Αλγερία με αναφορά: 1. Στο υπό κατασκευή φράγμα Ιασίου Ν. Ροδόπης χωμάτινο/λιθόρριπτο με κεντρικό αργιλικό πυρήνα και διάφραγμα από τσιμεντομπετονίτη στεγάνωσης του πλειοκαινικού υποβάθρου 2. Στο αντιπλημμυρικό φράγμα Ραμπεντώσας Αττικής, λιθόρριπτο με ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα και στη συμπεριφορά του σε πλημμύρα λίγο μετά την ολοκλήρωσή του και 3. Στο υπό κατασκευή φράγμα Douera στην Αλγερία, χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα, με προβλήματα αντιμετώπισης οικιστικής εξάπλωσης στη λεκάνη κατάκλυσης και στην παραγωγή φίλτρων και στα μέτρα για την αντιμετώπιση κινδύνων ρευστοποίησης του υλικού που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή του ανάντη σώματος στήριξης.

1 ΦΡΑΓΜΑ ΙΑΣΙΟΥ ΝΟΜΟΥ ΡΟΔΟΠΗΣ

1.1 Γενικά στοιχεία

Το φράγμα Ιασίου είναι χωμάτινο/λιθόρριπτο φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα σε φάση κατασκευής και προβλέπεται να ολοκληρωθεί τους επόμενους μήνες.

Το φράγμα βρίσκεται στο νομό Ροδόπης επί του χ. Ιασίου, παραπόταμου του π. Φιλιουρή, ενώ μετά την κατασκευή των αρδευτικών δικτύων προβλέπεται η ενίσχυση των εισροών στον ταμιευτήρα με εκτροπή υδάτων της διπλανής λεκάνης του χ. Ποντικορέματος μέσω φράγματος ύψους 18 μέτρων και συνδετήριας σήραγγας.

Χαρακτηριστικά στοιχεία της λεκάνης απορροής, του φράγματος και των συναφών του έργων δίνονται στον πιο κάτω πίνακα 1.

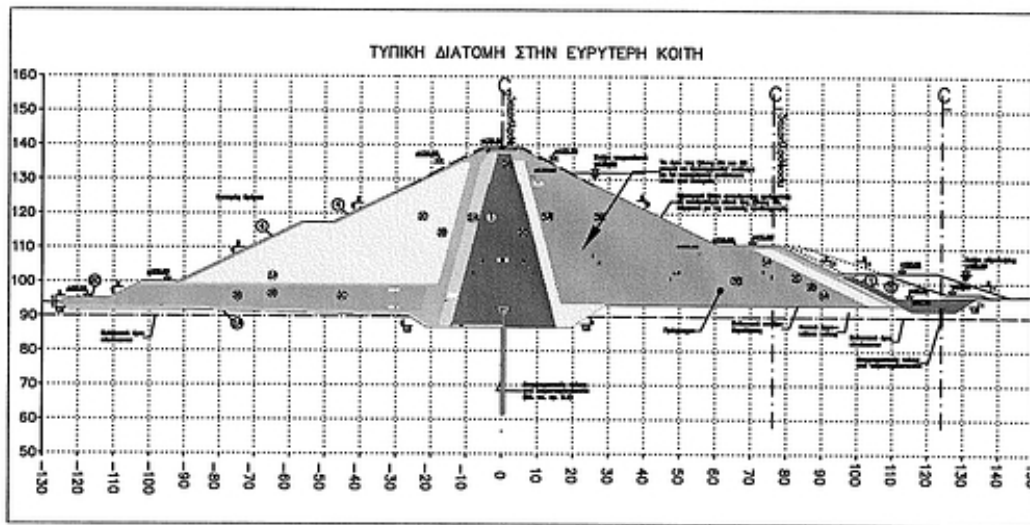
Πίνακας 1. Βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία φράγματος Ιασίου Ν. Ροδόπης

Λεκάνη απορροής

Επιφάνεια λεκάνης απορροής	km ²	63
Μέγιστο υψόμετρο λεκάνης	μυσθ	+874
Ελάχιστο υψόμετρο λεκάνης	μυσθ	+92
Μέση ετήσια βροχόπτωση	mm	700
Μέση ετήσια απορροή		
χ. Ιασίου	$\times 10^6 \text{m}^3$	15.0
χ. Ποντικορέματος στη θέση εκτροπής	$\times 10^6 \text{m}^3$	27.0
Μέγιστη παροχή πλημμύρας (πριν την ανάσχεση) για τη διαστασιολόγηση του υπερχειλιστή	m ³ /sec	602
Μέγιστη παροχή πλημμύρας (πριν την ανάσχεση) για τον καθορισμό της ανώτατης στάθμης πλημμύρας στο φράγμα	m ³ /sec	1357

Λεκάνη κατάκλυσης		
Κανονική ΑΣΥ λίμνης	μυσθ	+132
Κανονική ΚΣΥ λίμνης	μυσθ	+103
Συνολική χωρητικότητα λίμνης	$\times 10^6 \text{ m}^3$	23.2
Νεκρός όγκος	$\times 10^6 \text{ m}^3$	0.3
Επιφάνεια ύδατος στη στάθμη στέψης υπερχειλιστή	$\times 10^3 \text{ m}^2$	1500
Φράγμα και συναφή έργα		
Τύπος φράγματος	ΧωμάτινοΛιθόρριπτο με αργιλικό πυρήνα	
Στάθμη στέψης προφράγματος	μυσθ	+109
Ύψος φράγματος (από τη φυσική κοίτη)	m	45.50
Μήκος στέψης	m	400
Μέγιστο ύψος φράγματος από τη θεμελίωση	m	52.5
Ονομαστικό υψόμετρο στέψης φράγματος	μυσθ	+138.50
Συνολικός όγκος αναχώματος φράγματος και προφράγματος	$\times 10^3 \text{ m}^3$	1339
Διαφραγματικός τοίχος τσιμεντομπετονίτη		
εμβαδόν (επιμετρήσιμη επιφάνεια)	m^2	12.400
μέγιστο βάθος εκσκαφής	m	35
πάχος	cm	80
Τύπος υπερχειλιστή ασφαλείας	Ελεύθερης υπερχείλισης με λεκάνη καταστροφής ενέργειας	
Μήκος στέψης υπερχειλιστή	m	28
Μέγιστη υπερχειλίζουσα παροχή πλημμύρας*	m^3/sec	785
Παροχή σχεδιασμού υπερχειλιστή (Λ.Κ.Ε.)	m^3/sec	300
Στάθμη στέψης υπερχείλισης	μυσθ	+132
Μέγιστη πλημμυρική στάθμη λίμνης	μυσθ	+137.7
Μήκος αγωγού εκτροπής	m	287
Διατομή χαλύβδινου αγωγού εκτροπής-εκκένωσης	mm	DN2200
Τυπική διατομή του φράγματος στην περιοχή της μέγιστης διατομής παρουσιάζεται στην εικόνα 1.		

* Για τη διαστασιολόγηση της λεκάνης καταστροφής ενέργειας του υπερχειλιστή έχει ληφθεί υπόψη 6ωρη βροχοπτώση $P_{100+026}$ (PMP- P_{100}) με συνολικό ύψος βροχής 161 χλσ., ενώ για την επιλογή της στάθμης στέψης του φράγματος και τη διώρυγα πτώσης η μέγιστη 6ωρη πιθανή βροχοπτώση PMP με συνολικό ύψος βροχής 340 χλσ. Οι τελικές παροχές προέκυψαν μετά και από απολογισμό της ανάλυσης.



Εικόνα 1: Φράγμα Ιασίου. Τυπική διατομή

Η κατασκευή του έργου γίνεται από την ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΑΤΕΒΕ με Δ/νουσα Υπηρεσία το Τμήμα Υδραυλικών Έργων του Νομαρχιακού Διαμερίσματος Ροδόπης της Ν.Α. Ροδόπης – Έβρου και Τεχνικό Σύμβουλο την ENM ΕΠΕ, η οποία είχε συντάξει και την Προμελέτη, την Οριστική Μελέτη και τα Τεύχη Δημοπράτησης του έργου{1} και η οποία έχοντας και μόνιμο επιτόπου προσωπικό παρακολουθεί την ποιότητα κατασκευής του έργου.

Η ευρύτερη περιοχή της θέσης του φράγματος Ιασίου δομείται από τους πλειοκαινικούς σχηματισμούς και τις πλειστοκαινικές αποθέσεις. Οι παραπάνω σχηματισμοί στην περιοχή της ευρύτερης κοίτης του χειμάρρου, καλύπτονται από τις σύγχρονες αποθέσεις και τα υλικά της νεώτερης αναβαθμίδας, ενώ στην περιοχή των αντρευσμάτων καλύπτονται από τα πλευρικά κορήματα-αποσαθρώματα και τα υλικά της παλαιότερης αναβαθμίδας.

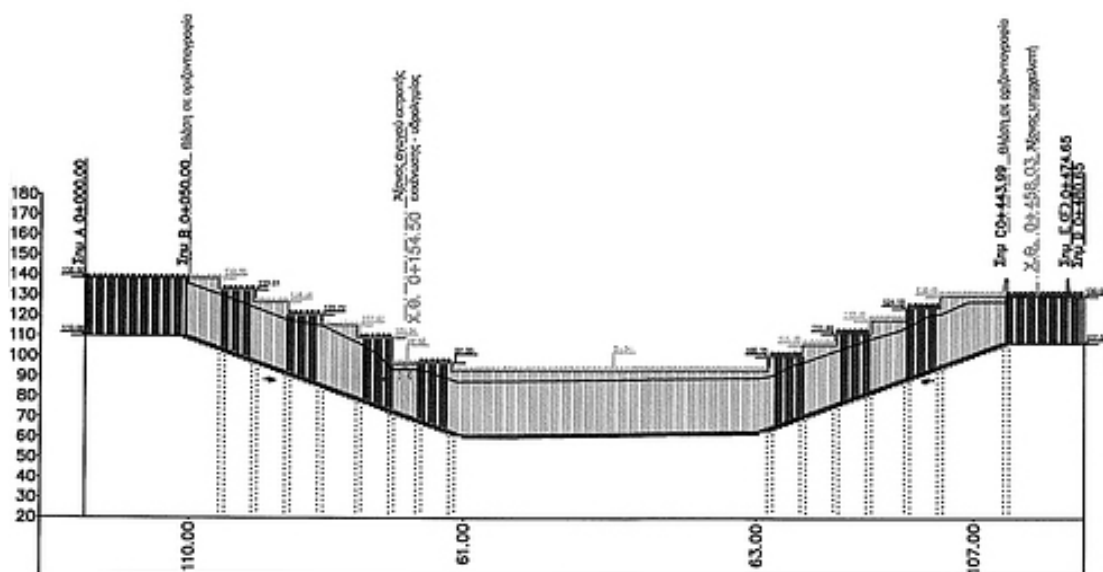
Εκτιμήθηκε ότι οι πλειοκαινικοί σχηματισμοί έχουν υποστεί προφόρτιση που αντιστοιχεί σε στοιβάδα υλικών εκτιμώμενου μέσου πάχους 90-100 m.

1.2 Θεμελίωση φράγματος

Ο πυρήνας του φράγματος θεμελιώνεται σε υγιείς πλειοκαινικούς σχηματισμούς, οι οποίοι κατά το πλείστον αποτελούνται από ψηφιδωσαμμιτοκροκαλοπαγή και τρόχμαλους μεγέθους μέχρι 20 cm, με ψαμμιτική έως αργιλοψαμμιτική συνδετική ύλη, καθώς και από ψαμμίτες και αμμώδη υλικά με συνδετική ύλη. Η διαπερατότητα των σχηματισμών προέκυψε από τις δοκιμές πεδίου από 10^{-3} cm/sec έως 10^{-6} cm/sec. Τιμές 10^{-3} έως 10^{-4} cm/sec συναντήθηκαν σε ποσοστό 30% περίπου.

Για την εξασφάλιση της στεγανότητας της θεμελίωσης του φράγματος επελέγη από τη μελέτη η κατασκευή διαφράγματος από τσιμεντομπετονίτη σε βάθος 25 m περίπου κάτω από τη θεμελίωση του πυρήνα, το οποίο στο επίπεδο της στέψης του φράγματος επεκτείνεται προς τα ανάντη κατά 50 m στο αριστερό και κατά 27 m στο δεξί αντέρεισμα.

Κατά μήκος τομή του διαφράγματος τσιμεντομπετονίτη παρουσιάζεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2: Φράγμα Ιασίου. Τομή κατά μήκος του διαφραγματικού τοίχου τσιμεντομπετονίτη

1.3 Σύνθεση του τσιμεντομπετονίτη

Η μελέτη όριζε απαιτούμενη ελάχιστη αντοχή του τσιμεντομπετονίτη 150 KPa και μέτρου ελαστικότητας 20-50 MPa με αναλογίες τσιμέντου-μπετονίτη-νερού που έπρεπε να προκύψουν από μελέτη σύνθεσης. Διαπιστώθηκε ότι, με 40 kg/m³ μπετονίτη οι τιμές αντοχής και μέτρου ελαστικότητας παρέμεναν στις 28 ημέρες χαμηλότερα από τις προδιαγραφόμενες οι οποίες μόνο σε συνθέσεις με πολύ μεγάλη περιεκτικότητα τσιμέντου (άνω των 300 kg/m³) ήταν δυνατόν να επιτευχθούν, διαπιστώθηκε όμως και ότι οι τιμές συνέχιζαν να αυξάνονται σημαντικά μέχρι και τις 100-150 ημέρες.

Τελικά επελέγη σύνθεση με 240 kg/m³ τσιμέντου και 40 kg/m³ μπετονίτη.

Μία άλλη διαπίστωση, η οποία όμως δεν μπόρεσε να διασταυρωθεί βιβλιογραφικά, ήταν ότι για την ίδια σύνθεση, με μπετονίτη που είχε ωριμάσει αλλά χρησιμοποιήθηκε με καλή ανάδευση πάντα, αλλά μετά από 10-15 ημέρες, οι τιμές αντοχής κυρίως, αλλά και μέτρου ελαστικότητας, προέκυπταν αρκετά μικρότερες.

1.4 Κατασκευή του διαφράγματος

Η κατασκευή του διαφράγματος γίνεται με εκσκαφή σε φατνώματα εναλλασσόμενα σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα.

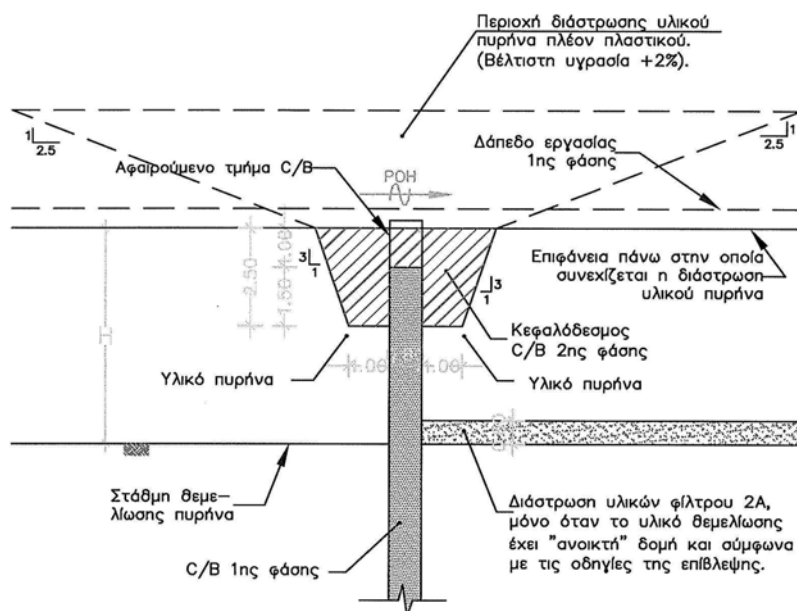
Η εκσκαφή των φατνωμάτων έγινε με μηχάνημα Bauer με υδραυλική αρπάγη μήκους 3.26 m και πλάτους 80 cm και μήκος πρωτεύοντων φατνωμάτων 3.26 m με απόσταση μεταξύ τους 2.06 m, με επικάλυψη 60 cm από κάθε πλευρά με τα δευτερεύοντα. Η επικάλυψη αυτή από έλεγχο που γίνεται των προϊόντων κατά την εκσκαφή, έχει αποδειχθεί έως τώρα επαρκής (και στα δύο άκρα κατά την εκσκαφή του δευτερεύοντος σκάβεται τσιμεντομπετονίτης).

Έως τώρα δεν έχει προκύψει κανένα πρόβλημα εκσκαψιμότητας των φατνωμάτων με το μηχάνημα που έχει αγοράσει ο Ανάδοχος, το οποίο από το 2005 είναι συνεχώς στο εργοτάξιο.

Η εκσκαφή των δευτερεύοντων φατνωμάτων γινόταν 10 ημέρες τουλάχιστον μετά την ολοκλήρωση των πρωτεύοντων, ώστε να αποφευχθούν διαρροές και καταπτώσεις με πλήρη και προς την κατεύθυνση αυτή επιτυχία.

νεται
υρεία

ν του
ε τον
του



ε να
εξ.

9.00,
ολικά

ό τις

ει, σε

συνδυασμό με τα έργα που μελετήθηκαν κατόπιν, μέρος των οποίων έχει ήδη κατασκευαστεί, πλημμύρες συχνότητας έως 1:50 έτη της πεδιάδας του Μαραθώνα και να περιορίσει τις παροχές πλημμυρών μικρότερης συχνότητας. Το φράγμα κατασκευάστηκε κατά την περίοδο 1999-2004.

Η λεκάνη απορροής του χ. Σκόρπιο Ποτάμι της λεκάνης Μαραθώνα έχει έκταση 41.76 km² και κατά τη διάρκεια των πλημμυρών τα νερά κατάκλυζαν μεγάλα τμήματα της πεδιάδας Μαραθώνα καταλήγοντας ανάντη της λεωφόρου Μαραθώνα την οποία υπερπηδούσαν συχνά στην περιοχή Πατητήρια.

Η μέγιστη παροχή στη θέση του φράγματος που έχει λεκάνη απορροής 24.94 km² είναι 317 m³/s για συχνότητα 1:50. Η παροχή αυτή μετά την κατασκευή του φράγματος δεν υπερβαίνει τα 7.64 m³/s.

Το φράγμα είναι λιθόρριπτο με ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα. Τα βασικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 2. Το αριστερό αντέρεισμα του φράγματος δομείται από μαρμαργιακούς σχιστόλιθους ενώ το δεξί από ασβεστιτικά μάρμαρα με ενστρώσεις ή προσμίξεις σχιστολίθων και από παχυστρωματώδη καρστικοποιημένα μάρμαρα. Τυπική διατομή του φράγματος δίνεται στην εικόνα 4.

Πίνακας 2. Βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία φράγματος Ραμπεντώσας

Λεκάνη απορροής	
Επιφάνεια λεκάνης απορροής ρέματος Ραμπεντώσας	41.76 km ²
Επιφάνεια λεκάνης απορροής στη θέση του φράγματος	24.94 km ²
Μέγιστη παροχή πλημμύρας εισόδου (T = 50 έτη)	317 m ³ /sec
Μέγιστη παροχή πλημμύρας εισόδου (T = 500 έτη)	542 m ³ /sec
Λεκάνη Κατάκλυσης	
Νεκρός όγκος (στάθμη +154,0)	150,000 m ³
Χωρητικότητα λίμνης στο κατώφλι του αγωγού διόδευσης πλημμύρας (στάθμη +157,0)	260,000 m ³
Χωρητικότητα λίμνης στη στάθμη στέψης υπερχειλιστή	1,285,000 m ³
Φράγμα	
Τύπος φράγματος	CFRD
Ανώτατη στάθμη πλημμύρας (T=1000)	+172.94
Ελάχιστο περιθώριο ασφαλείας	+1.56 m
Στάθμη στέψης φράγματος	+174.50
Μήκος στέψης φράγματος	145 m
Μέγιστο ύψος φράγματος (από τη θεμελίωση της πλίνθου)	38.7 m
Όγκος σώματος φράγματος	155,500 m ³
Αγωγός Εκτροπής	
Μήκος αγωγών εκτροπής	225 m
Διάμετροι αγωγών εκτροπής	2000mm+1200mm
Υπερχειλιστής	
Στάθμη στέψης υπερχειλιστή	+170.50
Μήκος στέψης υπερχειλιστή	20 m
Παροχή υπερχείλισης σχεδιασμού	110 m ³ /sec
Παροχή υπερχείλισης ελέγχου	165 m ³ /sec
Αγωγός εκκένωσης-υδροληψίας	

Κατώφλι αγωγού εκκένωσης/υδροληψίας	+154.00
Αγωγός διόδευσης πλημμύρας	
Κατώφλι υδροληψίας αγωγού διόδευσης πλημμύρας	+157.00
Στάθμη πυθμένα στην έξοδο	+140.00
Διάμετρος στομίου εξόδου αγωγού διόδευσης πλημμύρας	Φ700
Μέγιστη παροχή αγωγού διόδευση πλημμύρας	7.64 m ³ /sec



Εικόνα 4: Φράγμα Ραμπεντώσας. Τυπική διατομή

Η διόδευση των πλημμυρικών παροχών συχνότητας έως 1:50 έτη γίνεται μέσω του έργου διόδευσης πλημμύρας με αγωγό Φ2000 που καταλήγει σε στόμιο Φ700, ενώ για πλημμυρικές παροχές μικρότερης συχνότητας θα αρχίσει να λειτουργεί και ο υπερχειλιστής ασφαλείας του φράγματος.

Το έργο διόδευσης έχει υδροληψία από δύο στάθμες +154.00 και +157.00.

Η υδροληψία στη στάθμη +154.00 είναι ελεγχόμενη μέσω δικλείδας κατάντη, ενώ η υδροληψία στη στάθμη +157.00, για λόγους ασφαλείας, λειτουργεί χωρίς δυνατότητα ανθρώπινης παρέμβασης, αλλά και χωρίς δυνατότητα ανθρώπινου λάθους. Η λύση αυτή επελέγη και με το δεδομένο ότι το έργο δεν θα είχε μόνιμο προσωπικό λειτουργίας.

Σύμφωνα με την εγκεκριμένη οριστική μελέτη{4} τα κατάντη έργα περιλαμβάνουν δύο βασικούς συλλεκτήρες τους P1 και P1A που εκβάλλουν στον όρμο του Μαραθώνα, διοχετευτικής ικανότητας 21 m³/s και 23 m³/s αντίστοιχα, ενώ ανάντη της λεωφόρου Μαραθώνα προβλέπεται και συνδετήριο αγωγός των δύο συλλεκτήρων διοχετευτικότητας 18 m³/s.

2.2 Συμπεριφορά των έργων στην πρώτη πλημμύρα το Νοέμβριο 2005

Ένα χρόνο μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του φράγματος, τη νύχτα της 23 έως 24 Νοεμβρίου 2005, παρατηρήθηκε ιδιαίτερα ισχυρή βροχοπτώση με τα εξής χαρακτηριστικά (Τρίτη απόγευμα έως Τετάρτη 24/11 μεσημέρι).

Σταθμός Διονύσου Πεντέλης 116 χλσ. (εντός λεκάνης απορροής)

Σταθμός Πεντέλης 71 χλσ.

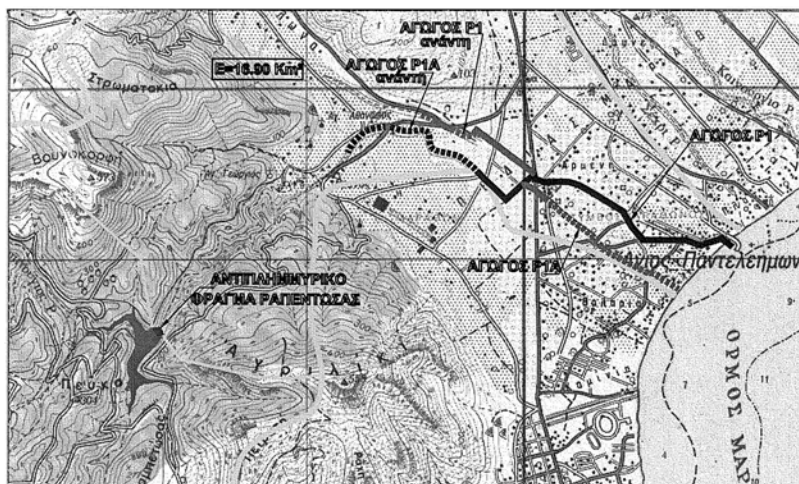
Σταθμός Ζωγράφου 103 χλσ.

Ο συνολικός όγκος απορροής εκτιμήθηκε σε 850,000 m³.

Το νερό στη λίμνη στην αρχή της βροχόπτωσης ήταν στη στάθμη +150 περίπου, ενώ κατά τη διάρκεια της πλημμύρας έφθασε μέχρι τη στάθμη +161 περίπου. Η εξερχόμενη από το έργο διόδευσης μέγιστη παροχή εκτιμήθηκε σε 5.5 m³/s περίπου, ενώ η εισερχόμενη στον ταμιευτήρα παροχή εκτιμήθηκε σε 50 m³/s.

Από τα κατάντη του φράγματος έργα είχαν κατασκευαστεί κατά τον υπόψη χρόνο 3 αναβαθμοί συγκράτησης φερτών κατάντη του φράγματος η κατασκευή των οποίων είχε προηγηθεί της κατασκευής του φράγματος και ήταν ήδη πλήρεις φερτών τα έργα διάβασης των δύο συλλεκτήρων κάτω από τη λεωφόρο Μαραθώνος, ο συλλεκτήρας P1 από τη Μαραθώνος μέχρι τη θάλασσα, ο συνδετήριος αγωγός των 2 συλλεκτήρων, σύστημα φρεατίων υδροσυλλογής στα Πατητήρια, τμήμα του συλλεκτήρα P1A, ανάντη του συνδετήριου αγωγού, με σύστημα φρεατίων υδροσυλλογής κατά μήκος αυτού και έργο υδροσυλλογής στο ανάντη άκρο του.

Τα ανάντη προβλεπόμενα έργα, καθώς και το κατάντη της Μαραθώνος τμήμα του συλλεκτήρα P1A δεν είχαν κατασκευαστεί, ενώ λόγω καταπατήσεων η υφιστάμενη κοίτη στο ανοιχτό πεδινό τμήμα ήταν τελείως ανεπαρκής. Στην εικόνα 5 δίνεται διάγραμμα με τα προβλεπόμενα και κατασκευασμένα κύρια έργα κατάντη του φράγματος Ραμπεντώσας.



κομμένη τα προς κατασκευή έργα)

η συνεισφορά της υπόλοιπης
μοκήπια και καλλιέργειες ήταν
ιύρας το φράγμα Ραμπεντώσας,
ι στις κατάντη της λεωφόρου

υρήνα, βρίσκεται στην Αλγερία
α από την πρωτεύουσα και
ση του υπόγειου της ορίζοντα.

Η λεκάνη απορροής του σε σχέση με τον όγκο του ταμιευτήρα είναι ελάχιστη, μόλις 10 km² και ο ταμιευτήρας προβλέπεται να γεμίζει με νερό του ποταμού Oued El Harrach μέσω φράγματος εκτροπής, αντλιοστασίου και αγωγού μήκους 20 km DN 2000 τα οποία κατασκευάζονται παράλληλα με άλλη εργολαβία.

Συμπληρωματικά{5} και αν χρειαστεί υπάρχει μελέτη για ενίσχυση και από τον ποταμό Qued Mazafran με αντίστοιχο αλλά μεγαλύτερου μήκους αγωγό μεταφοράς.

Οι μελέτες δημοπράτησης του φράγματος Douera είχαν συνταχθεί το 1995{5}. Στην Αλγερία συνηθίζεται η σύνταξη προχωρημένης προμελέτης (Avant projet détaillé) και τευχών δημοπράτησης, ενώ την κατασκευαστική μελέτη (étude d' exécution) τη συντάσσει συνήθως γραφείο μελετών ή κοινοπραξία γραφείων (Bureau d' études) που επιλέγεται μετά από διεθνή διαγωνισμό. Το γραφείο μελετών επιβλέπει και το έργο μαζί και με την Υπηρεσία Φραγμάτων και Υδραγωγείων (Agence Nationale de Barrages et Transferts).

Ο Ανάδοχος του έργου, η Τουρκική εταιρία NUROL, εγκαταστάθηκε το Μάρτιο 2005 ενώ ταυτόχρονα περίπου εγκαταστάθηκε και η Ελληνοϊταλική κοινοπραξία των εταιριών ENB Ltd και INCO-MAG S.r.l. για την κατασκευαστική μελέτη{6} και επίβλεψη του έργου.

3.2 Αντιμετώπιση οικιστικής ανάπτυξης της Douera

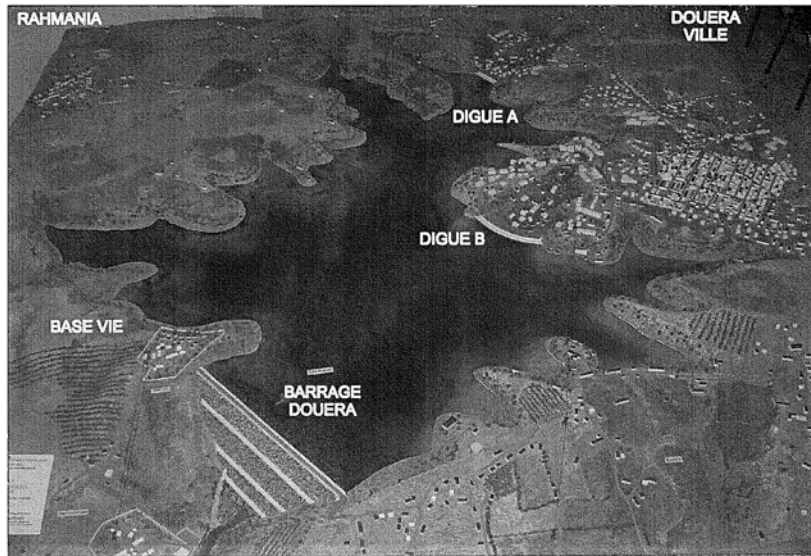
Στο όριο της λεκάνης απορροής, φθάνοντας κατά το 1990 μέχρι τα όρια περίπου της λεκάνης κατάκλυσης που προβλεπόταν στην προμελέτη του 1993, βρίσκεται η πόλη Douera. Η Douera κατά το χρόνο εγκατάστασης του Αναδόχου είχε εξαπλωθεί σημαντικά μέσα στη λεκάνη κατάκλυσης. Η κατασκευή του φράγματος όπως είχε αρχικά μελετηθεί, θα απαιτούσε πλέον τη μετεγκατάσταση πληθυσμού άνω των 6000 ατόμων.

Η άμεση σχεδόν πρόταση του γραφείου μελετών ήταν να κατέβει κατά 10 μέτρα η στάθμη του ταμιευτήρα και να κατασκευαστούν 2 φράγματα προστασίας οικισμών της πόλης, πρόταση που έγινε τελικά δεκτή. Η κατασκευαστική μελέτη του φράγματος συντάχθηκε για τη χαμηλότερη στέψη και το ανάχωμα του φράγματος έχει κατά τα μέσα Σεπτεμβρίου 2008 ήδη κατασκευαστεί κατά 60% περίπου.

Παράλληλα, με σημαντική διαφορά φάσης, λόγω γραφειοκρατικών διαδικασιών, άρχισε από το γραφείο μελετών η σύνταξη της προμελέτης και κατασκευαστικής μελέτης των 2 φραγμάτων προστασίας Α και Β που ο κύριος του έργου προτίθεται να αναθέσει με συμπληρωματική σύμβαση στον ίδιο Ανάδοχο κατασκευής. Τα βασικά χαρακτηριστικά του κύριου φράγματος αλλά και των δύο φραγμάτων προστασίας δίνονται στον πίνακα 3, ενώ στην εικόνα 6 φαίνονται το φράγμα Douera, τα φράγματα Α και Β και οι λεκάνες κατάκλυσης και απορροής.

Πίνακας 3. Βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία έργων φράγματος Douera

Επιφάνεια λεκάνης απορροής	km ²	10
Όγκος λεκάνης κατάκλυσης	× 10 ³ m ³	75
Ωφέλιμος ετήσιος όγκος	× 10 ³ m ³	87
Όγκος φράγματος Douera	× 10 ³ m ³	6500
Όγκος φράγματος Α	× 10 ³ m ³	110
Όγκος φράγματος Β	× 10 ³ m ³	900
Ύψος φράγματος Douera από θεμελίωση	m	80
Ύψος φράγματος Α από θεμελίωση	m	21
Ύψος φράγματος Β από θεμελίωση	m	38
Ανώτατη στάθμη αποθήκευσης	μυσθ	+138.00
Στάθμη στέψης φράγματος	μυσθ	+142.00
Επιφάνεια ταμιευτήρα στη στάθμη +138	km ²	3.5



ακλυσής και οικισμών

τοίκων που χρειάζεται να

δή) προβλέπεται η κατασκευή
αι αντλιοστασίων ακαθάρτων,
για την πλήρη εξυγίανση του

ακλυσής και οικισμών

3.3 Θεμελίωση του φράγματος Douera

Το φράγμα Douera θεμελιώνεται σε αργιλική γκρίζα-μπλε μάργα, ενώ στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχουν ορισμένες ζώνες με ψαμιτική μάργα και μια ζώνη κροκαλοπαγών. Οι διαπερατότητες της θεμελίωσης ήταν πολύ χαμηλές και δεν προβλέφθηκε σύστημα στεγάνωσης στον άξονα, πέρα από τη θεμελίωση του πυρήνα μέσα σε υγιή μάργα, προβλέφθηκε όμως και κατασκευάζεται αργιλικός τάπητας ανάντη, συνδεδεμένος με τον πυρήνα, στο αριστερό αντέρεισμα, στην περιοχή εμφάνισης των ολιγότερο αδιαπέρατων ζωνών.

3.4 Υπερχειλιστής ασφαλείας

Ο όγκος της μέγιστης δυνατής πλημμύρας μπορεί να αποθηκευτεί με αύξηση της μέγιστης στάθμης κανονικής λειτουργίας κατά 80 cm, ενώ το σύστημα μεταφοράς νερού έχει διοχετευτικότητα $8 \text{ m}^3/\text{s}$, για να υψωθεί συνεπώς άλλο ένα μέτρο η στάθμη της λίμνης θα έπρεπε να συνεχίσει να αντλείται νερό επί 5 ημέρες. Κατόπιν τούτου, με εισήγηση του γραφείου μελετών, δεν κατασκευάζεται πλέον υπερχειλιστής ασφαλείας.

3.5 Φίλτρα και στραγγιστήρια

Σύμφωνα με τα τεύχη δημοπράτησης, το υλικό για φίλτρα και στραγγιστήρια θα προερχόταν κυρίως από 2 δανειοθαλάμους, 1.2 km περίπου κατάντη του φράγματος, το υλικό των οποίων επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί και για την κατασκευή των σωμάτων στήριξης. Ο δεξιός δανειοθάλαμος το 2005 ήταν ήδη πυκνοκατοικημένος και αποκλείστηκε η χρησιμοποίησή του, το δε υλικό του αριστερού δανειοθαλάμου αποδείχθηκε ακατάλληλο για την παραγωγή φίλτρων ή στραγγιστηρίων.

Χρησιμοποιήθηκε τελικά για φίλτρα και στραγγιστήρια υλικό από την κοίτη του Oued El Harrach σε απόσταση 30 km περίπου. Το υλικό είχε δυστυχώς μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο, 10%-12%

συνήθως. Ως αποτέλεσμα, η λεπτή άμμος παρασυρόταν κατά την πλύση του υλικού και το απομένον υλικό ήταν ακατάλληλο για λεπτό φίλτρο. Μετά από πολλές δοκιμές το νερό πλύσης οδηγήθηκε σε 3 υδροκυκλώνες όπου γινόταν διαχωρισμός της λεπτής άμμου η οποία επέστρεφε στην εγκατάσταση κοσκινίσματος, ενώ κατασκευάστηκε και σύστημα ανακύκλωσης των νερών πλύσης με δεξαμενές για μείωση της ρύπανσης με λάσπη προς τα κατάντη και οικονομία νερού.

3.6 Υλικό σωμάτων στήριξης

Μεγάλο πρόβλημα αντιμετώπισε η κατασκευαστική μελέτη με το υλικό κατασκευής των σωμάτων στήριξης. Το μόνο διαθέσιμο στην περιοχή του έργου ήταν αυτό του αριστερού δανειοθαλάμου που ήταν ως επί το πλείστον λεπτόκοκκος ψαμμίτης με πολύ αδύναμο συνδετικό υλικό αλλά και πολύ μεγάλο ποσοστό από σκέτη λεπτόκοκκη άμμο. Το υλικό αυτό είναι δυνάμει ρευστοποιήσιμο.

Το πρόβλημα έπρεπε να αντιμετωπιστεί κυρίως στο κορεσμένο με νερό ανάντη σώμα στήριξης για την περίπτωση σεισμού. Το φράγμα βρίσκεται κοντά σε πολλά γνωστά μεγάλα ρήγματα, ένα από τα οποία έδωσε και τον πιο πρόσφατο μεγάλο σεισμό της Αλγερίας στο Boumerdès το 2003.

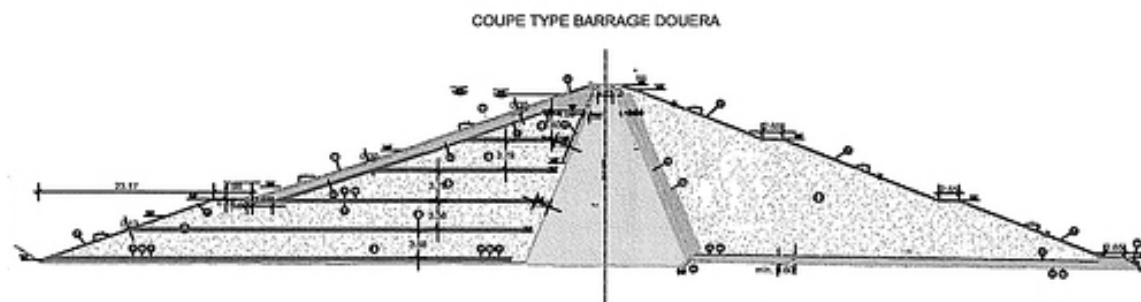
Οι κατευθύνσεις ενέργειες και λύσεις που δόθηκαν τελικά από το μελετητή ήταν :

- Τροποποίηση των συμβατικών ορίων της κοκκομετρικής σύνθεσης του υλικού ώστε να απαιτείται πιο χονδρόκοκκο υλικό από το αριστερό συμβατικό όριο για το ανάντη πρανές, και να επιτρέπεται πιο λεπτόκοκκο από το αριστερό συμβατικό όριο για το κατάντη πρανές. Αυτό απαίτησε μία πρόσθετη διαλογή υλικού από τον Ανάδοχο.
- Αύξηση του αριθμού των διελεύσεων του εξοπλισμού συμπύκνωσης στο ανάντη πρανές σε 12 δυναμικές πλέον 2 στατικές, ώστε ο ελάχιστος βαθμός συμπύκνωσης να μην υπολείπεται του 98% της τροποποιημένης δοκιμής Proctor. Στο κατάντη πρανές ζητήθηκε 95% κατ' ελάχιστον της τροποποιημένης επίσης δοκιμής Proctor.
- Έγιναν πέντε συνολικά δοκιμαστικά αναχώματα για το υλικό αυτό. Στα τέσσερα τελευταία έγιναν επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας και δοκιμές προτύπου διεισδύσεως.
- Πρόσθετες δοκιμές σε κλίμακα κατασκευής έγιναν στο πρόφραγμα που κατασκευάστηκε ανάντη του φράγματος και στα πρώτα 15 μέτρα κατασκευής του ανάντη σώματος στήριξης με καλά αποτελέσματα.
- Συνετάγη από εξωτερικό συνεργάτη του γραφείου μελετών (BRGM) μελέτη σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας του φράγματος Douera το Φεβρουάριο 2006.
- Συνετάγη από το γραφείο μελετών σε συνεργασία με τον καθηγητή ΕΜΠ κ. Γιώργο Γκαζέτα μελέτη εκτίμησης της σεισμικής απόκρισης και του δυναμικού ρευστοποίησης του φράγματος το Μάιο 2007.
- Το κρίσιμο ανάντη πρανές κρίθηκε μη ρευστοποιήσιμο για το σεισμό σχεδιασμού και οριακά μη ρευστοποιήσιμο για το μέγιστο πιθανό σεισμό.
- Προβλέφθηκαν οριζόντιες στρώσεις στραγγιστηρίου, πάχους 0.5 m, με λεπτό φίλτρο πάχους 0.3 m εκατέρωθεν, ανά 12 περίπου μέτρα, οι οποίες βοηθάνε στη μείωση των πιέσεων πόρων κατά τον απότομο καταβιβασμό της στάθμης του φράγματος, κυρίως όμως στη μερική μείωση των πιέσεων πόρων κατά τη διάρκεια του σεισμού, περιορίζοντας, ακόμη σε περίπτωση ρευστοποίησης τις προκαλούμενες παραμορφώσεις.

Μια πανοραμική όψη της κατασκευής του φράγματος Douera δίνεται στην εικόνα 7, ενώ στην εικόνα 8 δίνεται η τυπική διατομή του φράγματος στην περιοχή της κοίτης του ρέματος.



Εικόνα 7: Φράγμα Douera. Πανοραμική όψη της κατασκευής του φράγματος την 15η Φεβρουαρίου 2008

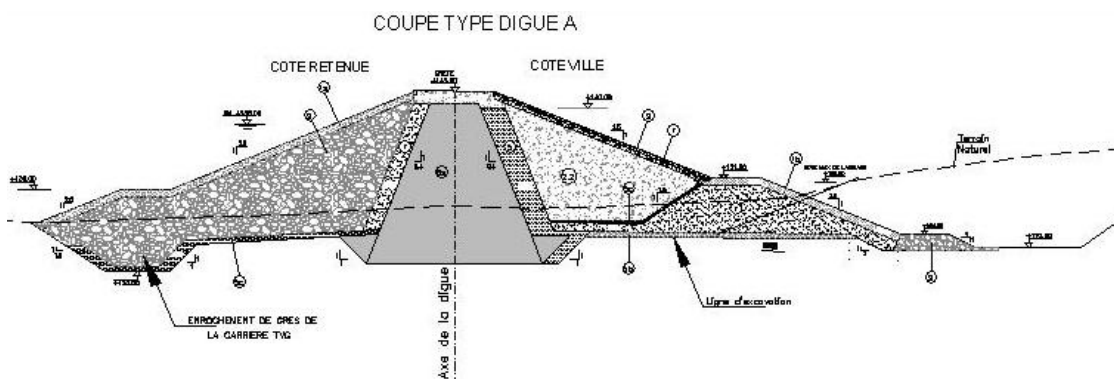


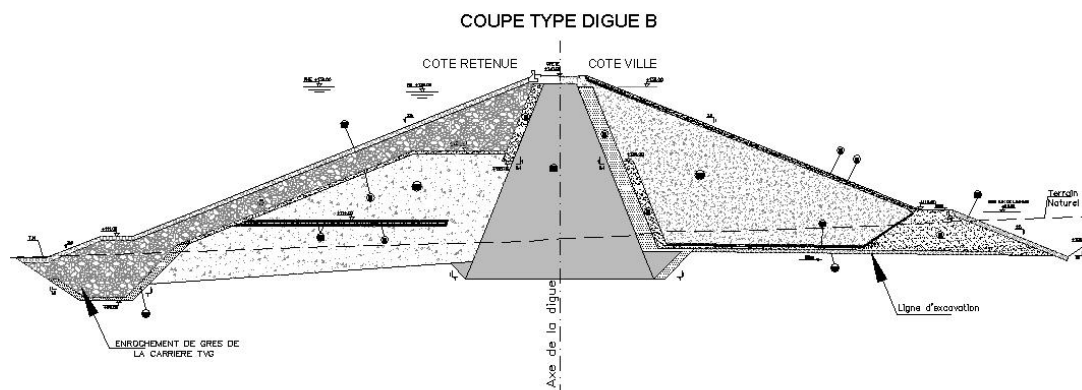
Εικόνα 8: Φράγμα Douera. Τυπική διατομή

3.7 Φράγματα Α και Β

Η μελέτη των φραγμάτων Α και Β προβλέπει την ίδια πρακτικά διατομή με το φράγμα Douera με ορισμένες απλοποιήσεις λόγω του μικρότερου μεγέθους τους. Τυπικές διατομές δίνονται στις εικόνες 9 και 10.

Εικόνα 9: Έργο Douera. Φράγμα Α προστασίας οικισμού





Ε1

Η

/ υγιή

γκρίζα μπλε μάργα χωρίς να απαιτούνται άλλα μέτρα στεγάνωσης.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Οριστική μελέτη φράγματος Ιασιού Ν. Ροδόπης, Π.Α.Μ.Θ., Απρίλιος 1999. Εξάρχου Νικολόπουλος Μπενσασσών Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ.
2. Οριστική μελέτη φράγματος Ραμπεντώσας, ΕΥΔΑΠ ΑΕ, Δεκέμβριος 1998. Εξάρχου Νικολόπουλος Μπενσασσών Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ, Υδροτέκ ΕΠΕ Υδραυλικές Μελέτες, ΑΔΚ Αρώνης-Δρέττας-Καρλαύτης Σύμβουλοι Μηχανικοί ΑΕ.
3. Μερική τροποποίηση οριστικής μελέτης φράγματος Ραμπεντώσας, ΕΥΔΑΠ ΑΕ, Μάρτιος 2002. Εξάρχου Νικολόπουλος Μπενσασσών Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ, Υδροτέκ ΕΠΕ Υδραυλικές Μελέτες, ΑΔΚ Αρώνης-Δρέττας-Καρλαύτης Σύμβουλοι Μηχανικοί ΑΕ.
4. Επείγοντα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας των περιοχών Αττικής που επλήγησαν από τις πυρκαϊές του Ιουλίου-Αυγούστου 1998, Οριστική μελέτη αγωγών: P₁Α_{ανάντι} (Χ.Θ. 0+0.00÷1+183.00) P₁Α (Χ.Θ. 1+500.00÷1+852.00) P₁Α_{ανάντι} (Χ.Θ. 0+0.00÷2+565.00), Φεβρουάριος 2000. Εξάρχου Νικολόπουλος Μπενσασσών Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ, Υδροτέκ ΕΠΕ Υδραυλικές Μελέτες, ΑΔΚ Αρώνης-Δρέττας-Καρλαύτης Σύμβουλοι Μηχανικοί ΑΕ.
5. Barrage de Douera et derivation de l' Oued Mazafran pour son alimentation. Avant Projet détaillé, Agence Nationale des Barrages (ANB), Octobre 1995. COBA
6. ETUDES D' EXECUTION et surveillance des travaux de réalisation du barrage Douera dans la Wilaya d' Alger, Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) Mai 2005 – Juin 2008. INCO-MAG S.r.l. – Exarchou & Nikolopoulos Consulting Engineers Overseas Ltd (ENB Ltd).

Recent experience from dams under construction and under operation in Greece and abroad

Abraham Bensasson

Managing Director Exarchou Nikolopoulos Bensasson Consulting Engineers Ltd

ABSTRACT: Experience in the design, supervision of construction and operation review in Greece and Algeria; namely: 1. Iassion earth/rockfill dam under construction in Rodopi prefecture in Northern Greece with central clay core and cement-bentonite cutoff wall to address possible seepage through the pleiocenic foundation bedrock 2. Rapendosa CFRD dam in Attiki and its behaviour during a storm, soon after its completion 3. Douera earthfill dam in the Algiers Wilaya in Algeria under construction with central clay core addressing problems of urban expansion in the future reservoir, problems in the production of filters and on the measures to use potentially liquefiable materials in the construction of the upstream dam shell.