

Υ.Η.Ε. Μεσοχώρας – Φράγμα, γεωτεχνικά συνθήκαι και μέτρα θεμελιώσεως

Ο.Α. Παπαγεωργίου

Πολιτικός Μηχανικός. Σύμβουλος Μηχανικός, Γεν. Γραμματεús Ελληνικής Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων (Μέλος της Διεθνούς Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων ICOLD)

Λέξεις κλειδιά: φράγμα Μεσοχώρας, αλλουβιακά αποθέσεις, θεμελίωσις

ΠΕΡΙΛΗΨΙΣ: Περιγράφεται η στρωματογραφία της περιοχής του φράγματος, το βραχώδες υπόβαθρον, αι αλλουβιακά αποθέσεις και η διάστρωσίς των εις την κοίτην του ποταμού, η ανάγκη τοποθετήσεως λιθορριπής και η ανάγκη πλήρους αφαιρέσεως των εν λόγω αλλουβιακών αποθέσεων προ της τοποθετήσεως της οριστικής λιθορριπής του φράγματος.

Το Υ. Η. Έργον Μεσοχώρας (επί του ρού του Άνω Αχελώου), δια το οποίον ο γράφων ηργάσθη ως Μέλος του Συμβουλίου Εμπειρογνομώνων της Διευθύνσεως Αναπτύξεως Υ. Η. Έργων (ΔΕΗ-ΔΑΥΕ) κατά τη διάρκειαν της κατασκευής του (1990 – 1997), περιλαμβάνει λιθόρριπτον φράγμα ύψους 150 m με ανάντη πλάκα στεγανοποιήσεως εξ' ωπλισμένου σκυροδέματος και περιμετρικήν πλίνθον, σήραγγα εκτροπής και υπερχειλιστήν μετά δύο θυροφραγμάτων, διώρυγος πτώσεως και δεξαμενής εκτονώσεως επί του δεξιού ακροβάθρου, υδροληψίαν με φρέαρ θυροφραγμάτων και σήραγγα υδροληψίας (μήκους ~ 8000 m) μετά φρέατος αναπάλσεως και υπαίθριον Υ. Η. Σταθμόν (2 μονάδες 90 MVA) και μετά διώρυγος φυγής επί του αριστερού αντερείσματος.

Τα ανακύψαντα γεωλογικά – γεωτεχνικά προβλήματα είναι σχετικά με τα ανωτέρω έργα, δια τα οποία ο γράφων επιφυλλάσσει να επανέλθη με σχετικές ανακοινώσεις, η παρούσα όμως ανακοίνωσις έχει ως αντικείμενον τας εις την κοίτην του ποταμού αλλουβιακάς αποθέσεις, την διάστρωσιν και φύσιν των, τον τρόπον αποθέσεως των, την ανάγκην τοποθετήσεως λιθορριπής και την ανάγκην ολοκληρωτικής αφαιρέσεως των εν λόγω αλλουβιακών αποθέσεων προ της οιασδήποτε οριστικής τοποθετήσεως λιθορριπής του φράγματος.

1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 Προϋπάρχοντα στοιχεία

Λεπτομερή στοιχεία αφορώντα εις την γεωλογίαν της περιοχής καθώς και της θέσεως του φράγματος εκτίθενται εις την από έτους 1972 έκθεσιν της Surveyer Nenniger and Chenevert (SNC), (Montral-Canada-5 τόμοι), και συμπληρωματικώς εις αντίστοιχον εν συνεχεία γεωλογικήν έκθεσιν της ΔΑΥΕ. Εις την παρούσαν ανακοίνωσιν θα γίνη μόνον συνοπτική υπόμνησις ωρισμένων βασικών χαρακτηριστικών, τα οποία επηρεάζουν τον σχεδιασμόν, την κατασκευήν και την συμπεριφοράν του φράγματος και των συμπαρομαρτούντων έργων.

1.2 Στρωματογραφία

α'. Βραχώδες υπόβαθρον: Εις την θέσιν του φράγματος διεξήχθη γεωτεχνική έρευνα (γεωτρήσεις, στοαί και αντίστοιχοι εργαστηριακά δοκιμαί) υπό της SNC, η οποία δεικνύεται εις Εικόνα 1 (Fig. 17, Vol. 3) εν κατόψει και εις την αντίστοιχον στρωματογραφικήν στήλην (Εικόν 2: Fig. 14, Vol. 3), συμφώνως προς τα οποίας εις την θέσιν του φράγματος παρουσιάζεται εις τα κατάντη μια σειρά

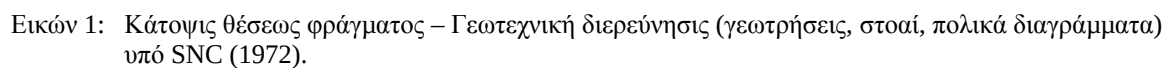
λεπτοστρωματωδών πρασίνων κερατολίθων μετά τινών λεπτοστρωματωδών πυριτιούχων ασβεστολίθων και αργιλικών σχιστολίθων (Green Chert Series), η οποία ακολουθείται (εκ των κατάντη προς τα ανάντη) από παχυστρωματώδεις (SNC – Ζώνη 1) έως λεπτοστρωματώδεις ασβεστολίθους μετά παρεμβλλομένων ενστρώσεων λεπτοστρωματωδών σχιστολίθων και κερατολίθων με ποσοστόν αυξανόμενον προς τα ανάντη (SNC – Ζώνη 5 – Red Shale Limestone), όπου η παρουσία ερυθροχρώων λεπτοστρωματωδών ενστρώσεων αργιλικών σχιστολίθων, ενώ η στρωματογραφική στήλη δίδει περιγραφήν δια τας αντιστοιχούς ζώνας και δια την γεωλογικήν ηλικίαν στρωμάτων μειουμένην προς τα άνω και εκ των κατάντη προς τα ανάντη.

Εις την Γεωλογικήν Έκθεσιν της Διευθύνσεως Αναπτύξεως Υδροηλεκτρικών Έργων (ΔΑΥΕ) ηκολούθηθη κατάταξις εις ζώνας (με αριθμήσιν αυξανομένην εκ των ανάντη προς τα κατάντη), όπως παρουσιάζεται και περιγράφεται εις αντίστοιχον στρωματογραφικήν στήλην (Εικόν 3), εις την οποίαν δίδεται και ο συσχετισμός με την στρωματογραφικήν στήλην της SNC. Η διάταξις των αντιστοιχών ζωνών δεικνύεται και εις το Σχέδιον 07-104 (Εικόν 4), εις το οποίον εμφανίζεται ότι το μεν σώμα του τελικώς σχεδιασθέντος φράγματος εκτείνεται εις όλας τας ανωτέρω αναφερθείσας ζώνας, ενώ η πλίνθος (η εκ σκυροδέματος περιμετρική βάσις) της εκ σκυροδέματος πλακός στεγανώσεως εκτείνεται επί των ζωνών 2 έως 4 της SNC (ζώναι 5 έως 3 της Γεωλογικής Εκθέσεως της ΔΑΥΕ) μετά την αφαίρεσιν κατά την εκσκαφήν θεμελιώσεως του αντιστοιχού τμήματος της ζώνης 5 της SNC (ζώνη 2 της ΔΑΥΕ).

β'. Αποθέσεις Κοίτης: Εις την θέσιν του φράγματος κατά μήκος της κοίτης του ποταμού (ίδε Εικόνα 1, Εικόνα 4) παρουσιάζονται (τυπικώς) εις διαφορετικά βάθη υπεράνω του βραχώδους υποβάθρου τρείς στρώσεις αμμοχαλίκων μετά κροκαλών καί τινών τροχμάτων (περιπτωσιακώς) καθώς και μετά ίχνους ιλύος ή αργίλου. Μεταξύ των στρώσεων αυτών παρεμβάλλονται (εις διαφορετικών βάθος εκάστη) δύο στρώσεις λεπτοκόκκου ιλυώδους άμμου ή αμμώδους ιλύος χρώματος βαθυχρού γκρί (οργανικά) πάχους εκάστη μέχρι 3.0 m (περίπου). Η SNC (έκθεσίς της – 1972 & Εικόν 5: Τομή Γεωτρήσεως UM-40, Εικόν 6: Τομή Γεωτρήσεως UM-41) δίδει την εξής περιγραφήν (Πίνακες 1 & 2), (αι υπογραμμίσεις δεικνύουν το προεξάρχον συστατικόν):

Πίνακας 1. Γεωτρήσις UM-40 (Άξων Φράγματος, Υψ. +641.40)

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 – 2.50	Καφέχρους <u>Άμμος</u> και <u>Χάλικες</u> , κροκάλες τινες, ίχνος ιλύος.
2.50 – 6.00	Γκριζόχρους <u>Ιλύς</u> μετά τινός αργίλου και άμμου, ίχνος στρογγύλων χαλίκων, τρεπομένη προς αργιλούχον αμμώδη ιλύν κάτω των 3.50 m.
6.00 – 10.40	Υπέρυθροι καφέχρους αμμώδεις στρογγυλοί <u>Χάλικες</u> μετά τινός ιλύος, περιπτωσιακώς ιλύος αργίλου και κροκάλες μετά περιπτωσιακών τροχμάτων. Περιεκτικότης κροκαλών και τροχμάτων 5 – 15%.
10.40 – 13.60	Βαθύχρους γκρίζα <u>Ιλύς</u> μετά τινός αργίλου και άμμου.
13.60 – 16.00	Καφέχρους <u>Άμμος</u> και <u>Χάλικες</u> μετά τινός ιλύος και περιπτωσιακώς ίχνος αργίλου και στρογγυλαί κροκάλαι.
16.00 – 17.30	Αποσαθρωμένος αργιλικός σχιστόλιθος (shale).



Thinly bedded pink limestone with common thin beds of chert and occasional thin beds of shale.

Red clay-shale (85%) with thinly bedded limestone and occasional nodules and thin beds of chert.

Thinly bedded red fine grained limestone with rare thin chert beds and common thin shale beds (10%).

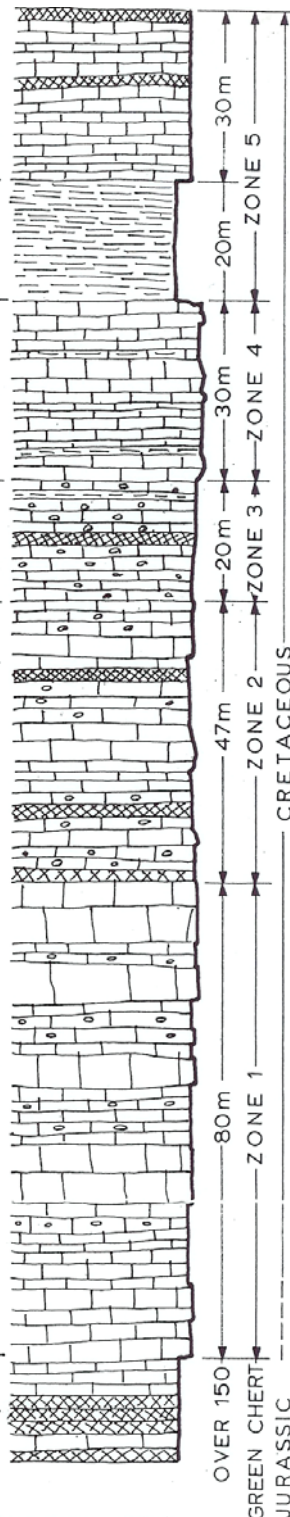
Thinly bedded pink limestone with occasional thin beds of clay-shale (10%) and chert.

Thin to medium bedded fine grained pink limestone with occasional thick beds of coarse grained limestone and thin beds of chert. Beds part on very thin shale beds (5%).

Alternating sequences of thickly bedded buff limestone (55%) and thinly bedded fine grained pink limestone with clay-shale partings and bedded or nodular chert (45%). 1% shale in thickly bedded and about 7% shale in thinly bedded sequence.

Thinly bedded argillaceous limestone with some chert.

Thinly bedded green chert with occasional siliceous limestone beds and common shale beds (unit extends downstream).



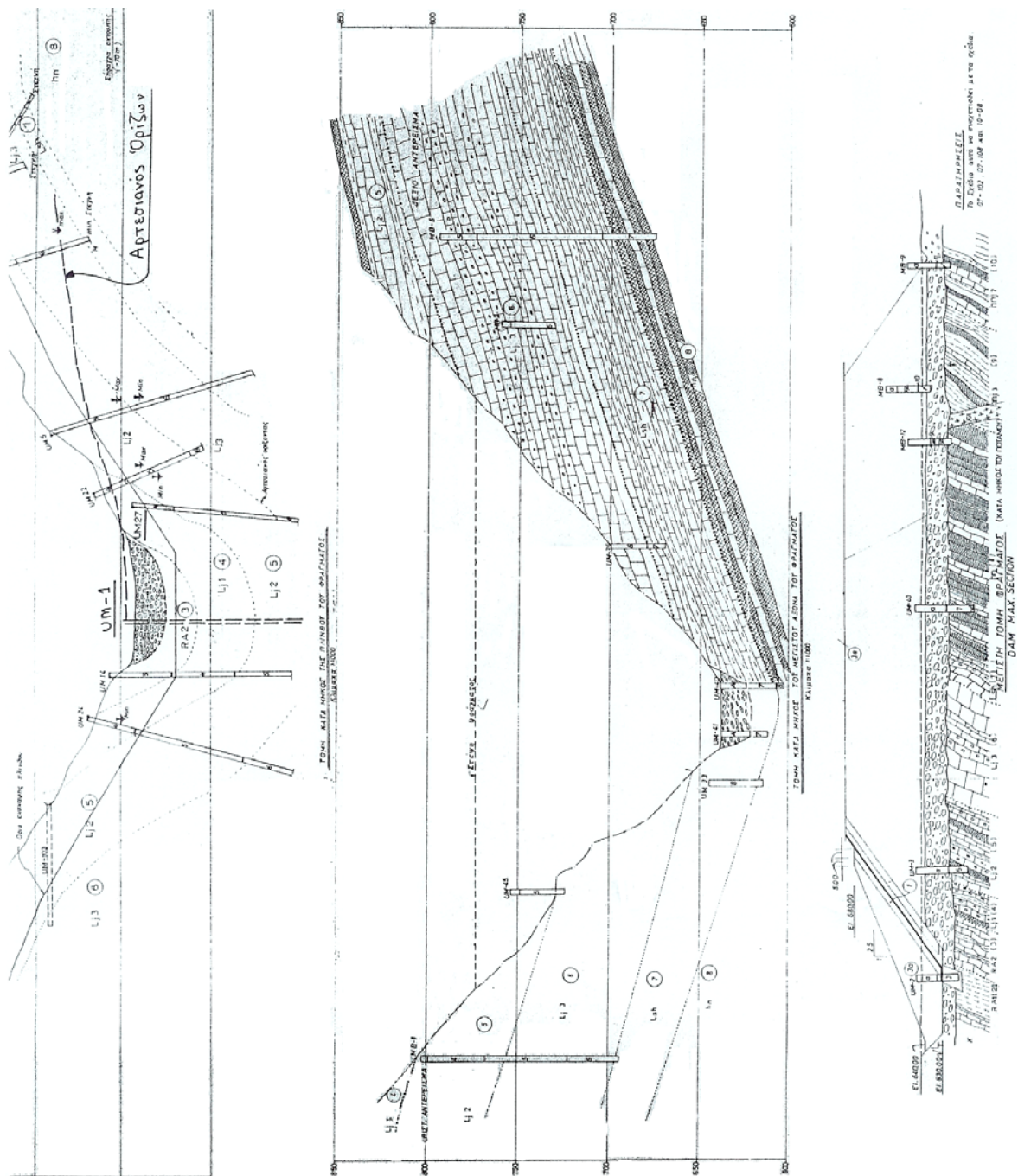
MESSOCHORA STRATIGRAPHIC COLUMN ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΜΗ

Εικόν 2: Μεσοχώρα – Στρωματογραφική στήλη (SNC, 1972).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
Στρωματογραφική στήλη Περιοχής
ΥΗ-Ε Μεσοχώρας

ΛΑΥΕ - ΓΓΓΜ		Περιγραφή	SNC	ΙΓΜΕ	
K	1	Κρητιδικός ασβεστόλιθος μέσο έως παχυστρωματώδης με παρεμβολές λεπτών στρώσεων κερατολίθων.		ΚΡΗΤΗΔΙΚΟ Πρώτος φύλλοχος ΙΓΜΕ Ζώνη 4	
RA ₁	2	Ασβεστόλιθος λεπτοστρω/δης κοκκινωπός με αρκετές στρώσεις κερατόλιθου και μερικές λεπτές στρώσεις αργιλικού σχιστόλιθου. Αργιλικού σχιστόλιθου (85%) με λίγους λεπτοστρω/δεις ασβεστόλιθους ή & κερατόλιθους.			30 m 20 m ZONE 5 ZONE 4
RA ₂	3	Λεπτοστρω/δεις ασβεστόλιθοι με ερυθροπηλίτες και λίγους κερατόλιθους,			30 m ZONE 3
LJ ₁	4	Λεπτοστρω/δης ερυθρωπός ασβεστόλιθος με λίγες παρεμβολές κερατολίθων και ερυθροπηλιτών.			20 m ZONE 2
LJ ₂	5	Μέσο-έως-παχυστρωματώδης ασβεστόλιθος με παρεμβολές στρώσεων κερατολίθων και ενστρώσεις ολίγων αργιλ. σχιστολίθων.		47 m ZONE 1	Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι με καλπινέλες ΙΓΜΕ Ζώνη 5
LJ ₃	6	Εναλλαγές, λεπτών στρώσεων ασβεστολίθων με κυρίως παχυστρω/δη ασβεστόλιθο, ή και με κερατόλιθο και σε λεπτές στρώσεις αργιλ. σχιστόλιθο.		80 m CHERT ~15 m GREEN 80-100 m 30 m	
Lsh	7	Λεπτοστρω/δεις μαργαρικού ασβεστόλιθοι αργιλ. σχιστόλιθοι και κερατόλιθοι.		JURASSIC	
hn	8	Λεπτοστρω/δεις πράσινοι κερατόλιθοι με ενστρώσεις αργιλ.σχιστόλιθου ή και με κυριτικούς ασβεστόλιθους.		80-100 m 30 m	ΙΓΜΕ Ζώνη 6
hnj ₃	9	Κερατόλιθοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι παχυστρωματώδεις και αργιλικού σχιστόλιθου.		30 m	ΙΓΜΕ Ζώνες 8 και 9
hnj ₂	10	Εναλλαγές μέσο ή λεπτοστρω/δών ασβεστολίθων και κερατολίθων.		40-50 m	ΙΓΜΕ Ζώνη 10β
hnj ₁	11	Εναλλαγές λεπτοστρω/δών ασβεστολίθων με ερυθροπηλίτες και κερατολίθους.			ΙΓΜΕ Ζώνη 10α

Εικόν 3: Στρωματογραφική στήλη περιοχής Υ.Η.Ε. Μεσοχώρας (SNC – ΙΓΜΕ).



Εικόν 4: Υ.Η.Ε. Μεσοχώρας – Διατομές φράγματος (Πλίνθος, Μέγιστος άξων φράγματος, Μεγίστη τομή φράγματος (κατά μήκος του ποταμού).

RECORD OF BOREHOLE - ΔΕΙΤΗΡ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ											
LOCATION: $X=+14,098.7$ $Y=+23,709.4$			DRILLING DATES: 21 August - 6 Sept. 1971			Messochora					
AZIMUTH: _____			RIG TYPE: ATLAS COPCO D1000			U.M.-40					
DIP: Vertical			ELEVATION DATUM: P.P.C.								
STRATIGRAPHY		BRILLING TECHNIQUE		WATER TESTING		SAMPLES		PROPERTIES		Details of Standpipe or Piezometer	
Depth Elev.	Soil Description	Stratigraphy	Elevation	Casing	Moile	Coefficient of Permeability, k , cm/sec.	Number	Type	Force	Composition	Testing
0.0	Ground surface										
641.4	BROWN SAND AND GRAVEL, SOME ROUNDED COBBLES, TRACE SILT.		640	Rotated 152/148 mm	Rotated 152/148 mm core barrel		1	RD	RD		
2.5	GREY SILT WITH SOME CLAY AND SAND, TRACE ROUNDED GRAVEL BECOMING A CLAYEY SANDY SILT BELOW 3.5 m.						2	RD	RD		
6.0	(ALLUVIUM)						3	RD	RD		
	REDDISH BROWN SANDY ROUNDED GRAVEL, SOME SILT, OCCASIONAL TRACE CLAY AND COBBLES AND OCCASIONAL BOULDER. COBBLE AND BOULDER CONTENT 5-15%.						4	RD	RD		
10.4	(ALLUVIUM)						5	RD	RD		
	DARK GREY SILT WITH SOME CLAY AND SAND.						6	RD	RD		
13.6	BROWN SAND AND GRAVEL, SOME SILT WITH OCCASIONAL TRACE CLAY AND ROUNDED COBBLES.						7	RD	RD		
16.0	(ALLUVIUM)						8	RD	RD		
17.3	WEATHERED SHALE.					No Take	9	RD	RD		
STRATIGRAPHY		BRILLING TECHNIQUE		WATER TESTING		CORE DATA		DETAILS OF STANDPIPE OR PIEZOMETER			
Depth Elev.	Rock Description	Stratigraphy	Elevation	Casing	Moile	Liters/minute	Core Recovery Percent	Fractures per meter	Testing		
17.3	Bedrock surface										
624.1	17.20-17.30: GREEN CHERT STRIES GENERALLY THINLY BEDDED GREY GREEN AND BROWN CHERT WITH OCCASIONAL THIN BEDS OF GREY LIMESTONE AND PARTINGS OF GREY SHALE.										
	17.20-18.60: THICKLY BEDDED GREY GREEN CHERT WITH LIMESTONE.										
	20.00-21.60: GREY CHERT, MODERATELY THICK BEDS.										
	20.50-21.30: VERTICAL STRONG JOINTS, BROKEN AREA, 21.60-22.80 AND 22.80-24.25.										
	24.25-25.20: THIN BEDS OF GREEN GREY CHERT WITH SOME LIMESTONE.										
	25.20-25.70: THICK BED OF FINE GRAINED RED LIMESTONE, DIP 65°.										
	25.70-28.50 AND 29.80-30.55: BROKEN.										
	28.50-29.80: CHERT, SAND SIZE, ANGULAR (PROBABLY CAUSED BY DRILLING DISTURBANCE).										
	31.50-32.30: SAND SIZE ANGULAR FRAGMENTS (PROBABLY CAUSED BY DRILLING).										
	32.30-33.10: CHERT, GRAVEL SIZE.										
	33.10-33.30: THINLY BEDDED RED LIMESTONE WITH VERY THIN BEDS OF RED SHALE. BEDDING 60°.										
	33.30-33.90: BROKEN AREA.										
	33.90-37.00: THICKLY BEDDED, MEDIUM GRAINED, GREY LIMESTONE.										
37.3	End of borehole										
604.1											
Drawn: K.S.		REMARKS:		Messochora							
Check'd: D.E.W.				U.M.-40							
App'd: J.H.											
Date: JUNE 1972											

Εικόνα 5: Δελτίο γεωτρήσεως: Μεσοχώρα - U.M.-40 (SNC-1972) (αλλουβιακά αποθέσεις).

RECORD OF BOREHOLE - ΔΕΛΤΙΟΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ																			
LOCATION: $X=-14,093.4$ $Y=+23,691.2$				DRILLING DATES: 8 Sept. — 21 Sept. 1971				Messochora											
AZIMUTH: —				RIG TYPE: ATLAS COPCO D1000				U.M.—41											
DIP: Vertical				ELEVATION DATUM: P.P.C.															
STRATIGRAPHY			DRILLING TECHNIQUE		WATER TESTING				SAMPLES			PROPERTIES				Details of Standpipe or Piezometer			
Depth Elev.	Soil Description	Stratigraphy	Elevation	Casing	Hole	Coefficient of Permeability, k , cm/sec.				Number	Type	Force	Composition						
						10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}				% Gravel	% Sand	% Silt		% Clay	Water Content	Other Testing
0.0 640.8	Ground surface																		
	BROWN SAND AND ROUNDED GRAVEL, SOME ROUNDED COBBLES AND BOULDERS (10-20%) AND A TRACE OF SILT AND CLAY.		640	Rotated 152/146 mm															WL during drilling at elev 641.5 Sept 1971
3.7	DARK BROWNISH GREY SILTY FINE SAND, TRACE CLAY AND GRAVEL.																		M
5.7																			M
	SAME AS 0-3.7 m.																		M
10.9																			M
	DARK BROWNISH GREY SILTY FINE SAND, OCCASIONAL TRACE GRAVEL, TO A SILT WITH SOME CLAY, SAND AND ROUNDED GRAVEL.		630	Rotated 128/119 mm															M
13.7																			M
	LIGHT BROWN SAND AND GRAVEL, TRACE TO SOME SILT COBBLES AND BOULDERS, OCCASIONAL TRACE CLAY. (ALLUVIUM)																		M
16.8																			M
STRATIGRAPHY			DRILLING TECHNIQUE		WATER TESTING				CORE DATA				DETAILS OF STANDPIPE OR PIEZOMETER						
Depth Elev.	Rock Description	Stratigraphy	Elevation	Casing	Hole	$K = \text{cm/sec.}$				Core Recovery Percent		Fractures per meter		Testing					
						Liters/minute				25	50	75	Modified Core Recov. %						
16.8 624.0	Bedrock surface																		
	16.80-26.80: GREEN CHERT SERIES. GREEN, PALE GREY AND BROWN CHERT AND OCCASIONAL LIMESTONES AND PARTINGS AND THIN BEDS OF RED SHALE. GENERALLY THINLY BEDDED AVERAGING 10' cm. 16.80-17.90, 21.10-21.80: PARTINGS OF GREEN SHALE. 17.8-18.15, 21.10-24.40: BROKEN CORE WITH IRON STAINING. 17.90-21.10: THINLY BEDDED, BROWN AND GREEN CHERT, RED FINE GRAINED LIMESTONE WITH INTERBEDDED RED AND GREEN SHALE. BEDDING DIPS 65° 21.80-26.80: GREY-GREEN CHERT AND GREY LIMESTONE WITH PARTINGS OF RED AND GREEN SHALE AND CLAY.		620	No casing															
26.9 613.9	End of borehole																		

Drawn: K.S.
Check'd: D.E.W.
App'd:
Date: JUNE 1972

REMARKS:

Messochora

U.M.—41

Εικόν 6: Δελτίον γεωτρήσεως: Μεσοχώρα – U.M.-41 (SNC-1972) (αλλουβιακάι αποθέσεις).

Πίνακας 2. Γεώτρησις UM-41 (Αξών Φράγματος, Υψ. +640.80)

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.30 – 3.70	Καφέχρους <u>Άμμος</u> και στρογγυλοί <u>Χάλικες</u> μετά τινών στρογγυλών κροκαλών και τροχμάλων (10 – 20%) και τινός ίχνους ιλύος και αργίλου.
3.70 – 5.70	Βαθύχρους καφέχρους γκρίζα <u>Ιλύς</u> , λεπτόκοκκος άμμος, ίχνος αργίλου και χαλίκων.
5.70 – 10.90	Καφέχρους <u>Άμμος</u> και στρογγυλοί <u>Χάλικες</u> μετά τινών στρογγυλών κροκαλών και τροχμάλων (10 – 20%) και τινός ίχνος ιλύος και αργίλου.
10.90 – 13.70	Βαθύχρους καφέχρους γκρίζα <u>Ιλύς</u> , λεπτόκοκκος <u>άμμος</u> , περιστασιακώς ίχνος χαλίκων, μέχρι ιλύος μετά τινός αργίλου, άμμου και στρογγυλών χαλίκων.
13.70 – 16.80	Ανοιχτόχρους καφέχρους <u>Άμμος</u> και <u>Χάλικες</u> , ίχνος μέχρι τινός ιλύος, κροκαλών και τροχμάλων, περιστασιακώς ίχνος αργίλου.

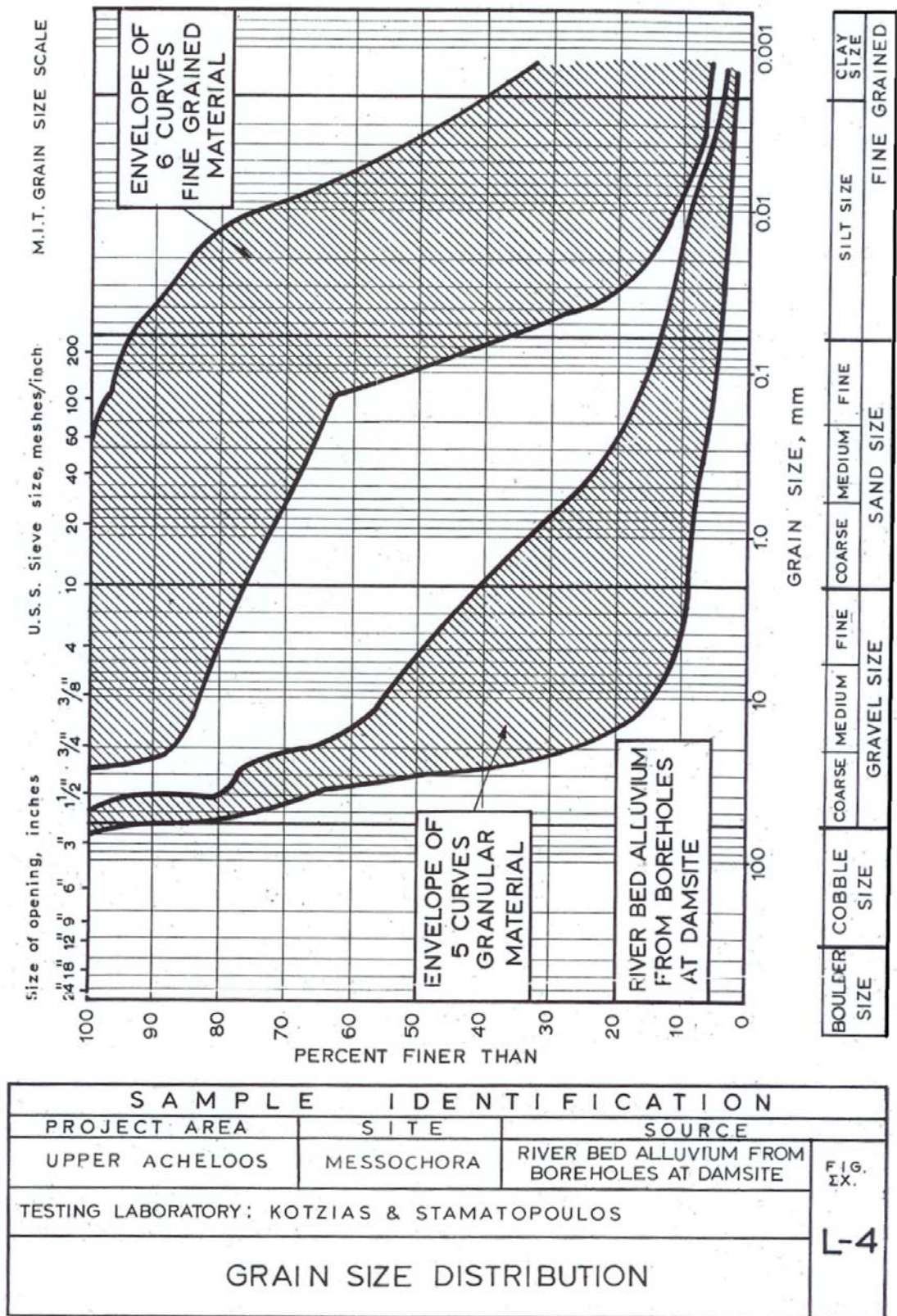
Η κοκκομετρική διαβάθμιση των εν λόγω λεπτοκόκκων ιλυωδών άμμων ή αμμοδών ιλύων ευρίσκεται εις το άνω μέρος του αντιστοίχου φάσματος του δεικνυομένου υπό της SNC (Εικόν 7).

Ως προκύπτει και εκ της ανωτέρω περιγραφής, αι εν λόγω λεπτόκοκκοι στρώσεις απετέθησαν εκάστη εις μίαν αντίστοιχον λίμνην σχηματισθείσαν (εις το γεωλογικόν παρελθόν) λόγω της εις τινα κατάντη θέσιν εμφράξεως της κοιλάδος υπό κατολισθήσεως (ως π.χ. η επισυμβούσα πρό είκοσι οκτώ 28 ετών περίπου ανάντη της θέσεως φράγματος Συκιάς, αλλά και προσφάτως εις την θέσιν του –υπό κατασκευήν- φράγματος Συκιάς με αποτέλεσμα πλημμύρισιν των εργοταξιακών οδών και διακοπήν των εργασιών), ενώ τα υπεράνω των εν λόγω στρώσεων αμμοχάλικα απετέθησαν μετά την κατάργησιν των ανωτέρω λιμνών (δια πληρώσεως ή άλλως). Ο τοιοῦτος τρόπος αποθέσεως των εν λόγω στρώσεων είναι όμοιος δι’ αμφοτέρας (απόθεσις εντός λιμνάζοντος ύδατος) και ως εκ τούτου και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά αυτών είναι όμοια.

Κατά τας προσφάτους τότε εκσκαφάς απεκαλύφθη το υλικόν των εν λόγω στρώσεων εις πλήρες μέτωπον, ο δε γράφων διεπίστωσεν κατά την πρόσφατον τότε (10-10-1990) επί τόπου επίσκεψιν, ότι το εν λόγω υλικόν της στρώσεως δεν είναι ενιαίον, αλλά παρουσιάζει διαστρώσιν εξ αλληλοδιαδεχομένων λεπτοτέρων στρώσεων (ιλυώδους) άμμου αφ’ ενός (χειμεριναί αποθέσεις) και ιλύος ή αργιλώδους ιλύος αφ’ ετέρου (αποθέσεις ανοίξεως-θέρους: varved deposits), εάν δε καθίστατο δυνατή η (εις αδιατάρακτον κατάστασιν) μέτρησις του αριθμού των εν λόγω (μερικωτέρων) στρώσεων, θα ήτο δυνατή η κατά προσέγγισιν εκτίμησις της διάρκειας ζωής εκάστης αντιστοίχου λίμνης.

Το υλικόν των ανωτέρω στρώσεων εις κεκορεσμένην κατάστασιν (ως εις την κοίτην του ποταμού) δύναται να ίσταται εις κατακόρυφον μέτωπον εκσκαφής χάρις εις την «φαινομένην συνοχήν» (apparent cohesion) την δημιουργούμενην υπό των μηνίσκων των τριχοειδών εφελκυστικών δυνάμεων, αι οποίαι δια τοιούτου είδους λεπτόκοκκα (μη συνεκτικά) υλικά (λεπτόκοκκος ιλυώδης άμμος, αμμόδης ιλύς) δύνανται να ανέρχονται εις σημαντικά μεγέθη κινητοποιούντα και τας μεταξύ των κόκκων δυνάμεις τριβής.

Τα αναφερόμενα υπό της SNC (εις την από του 1972 γεωλογικήν έκθεσίν της) αποδεικνύουν ότι η ύπαρξις εις την κοίτην των δύο συγκεκριμένων στρώσεων ιλύος ήτο έκτοτε γνωστή.



Εικόν 7: Κοκκομετρικά καμπύλαι δειγμάτων γεωτρήσεων, αλλουβιακαί αποθέσεις κοίτης (SNC-1972: L-4).

1.3 Τεκτονική

Αναφέρονται συνοπτικώς κύρια χαρακτηριστικά, δεδομένου ότι αυτά αφορούν το βραχώδες υπόβαθρον (περισσότερα στοιχεία παρατίθενται εις υπ' αρ. ΘΕΣ-2207/20-11-90 έκθεσιν του γράφοντος). Η θέσις του φράγματος Μεσοχώρας ευρίσκεται εντός της Ζώνης Πίνδου με τα μεγάλα τεκτονικά ρήγματα επωθήσεως (με κυρίαν παράταξιν Β-Ν) και τα επαναλαμβανόμενα τεκτονικά λέπια. Λόγω της τεκτονικής καταπονήσεως τα μεν ψαθυρότερα στρώματα (κερατόλιθοι, ασβεστόλιθοι) παρουσιάζουν κερματισμόν, ενώ οι (λεπτοστρωματώδεις) αργιλικοί σχιστόλιθοι, οι παρεμβαλλόμενοι μεταξύ των ασβεστολίθων και κερατολίθων, έχουν υποστεί διάτμησιν (τεκτονικήν: παραλλήλως ή και διαγωνίως) και έχουν μετατραπεί εις αργιλικάς ενστρώσεις με διατμητικήν αντοχήν μέχρι της παραμενούσης τοιαύτης.

Η παράταξις των στρωμάτων είναι γενικώς Β-Ν και η κλίσις των 50° - 70° (κατά μέσον όρον 60°) προς την κοίτην. Αναφέρονται τρία τεκτονικά ρήγματα, δήλον ότι το F_A εις τον κατάντη πόδα του φράγματος (κανονικόν τεκτονικόν ρήγμα περίπου κατακόρυφον, εγκάρσιον προς την κοίτην, με μετάπτωσιν 40 – 50 m και ανελθόν το προς τα κατάντη τέμαχος), το F_B εις την δεξιάν πλευράν της εισόδου εις τον υπερχειλιστήν (περίπου κατακόρυφον: εικάζεται), και το F_T εις το δεξιόν ακρόβαθρον (περίπου κάθετον επί την κλίσιν των στρωμάτων και με κλίσιν προς τα κατάντη: 15° – 25°).

Υπάρχουν τρία συστήματα διακλάσεων (Εικόν 1), δήλον ότι το σύστημα “β” παρακατακόρυφον κάθετον επί την παράταξιν και παράλληλον προς τον ποταμόν διαπερά τα δύο ακρόβαθρα εγκαρσίως (διαφυγαί και σιμεντενέσεις), το σύστημα “C” με κλίσιν 20° – 50° προς τα κατάντη και ελαφρώς προς την κοίτην (εις το δεξιόν) και το σύστημα “d” με κλίσιν 20° – 50° προς τα κατάντη και προς το εσωτερικόν του πρανούς εις το αριστερόν.

1.4 Υδρογεωλογία

Εις την θέσιν του φράγματος οι ασβεστόλιθοι (SNC: Ζώναι 1 έως 4) περιορίζονται μεταξύ δύο στεγανών σχηματισμών, δήλον ότι των πρασίνων κερατολίθων εις τα κατάντη και των ερυθροχρόων αργιλικών σχιστολίθων (SNC: Ζώνη 5) εις τα ανάντη.

Η κυκλοφορία ύδατος αναπτύσσεται εντός των στρωμάτων των καρστικοποιημένων ασβεστολίθων καθώς και κατά μήκος των διακλάσεων ιδίως του συστήματος “β”, εντός δε αμφοτέρων παρατηρήθησαν δίοδοι χημικής διαλύσεως (καρστικάι), ενώ εκ των εν λόγω ασβεστολιθικών στρωμάτων αναβλύζουν πηγαί παρά την κοίτην (αριστερά), εντός δε αυτών αναπτύσσονται και αρτεσιανοί ορίζοντες (Γεωτρήσεις UM-27 και UM-1 παρά τον ανάντη πόδα του δεξιού και του αριστερού ακροβάθρου αντιστοίχως: Εικόν 1, Εικόν 4).

1.5 Γεωμορφολογία

Εις τη θέσιν του φράγματος ο ποταμός διέβρωσεν την κοίτην του εγκαρσίως προς την παράταξιν των στρωμάτων (διάβρωσις διεπομένη υπό των συστημάτων διακλάσεων) με αποτέλεσμα τον σχηματισμόν στενωπού με αποτόμους παρειάς (κλίσιν 40° – 60°). Λόγω κατακερματισμού πυκνοτέρου των πλέον λεπτοστρωματωδών μελών, της παρουσίας των διατετμημένων αργιλικών ενστρώσεων και του συνδυασμού των συστημάτων διακλάσεων εδημιουργήθη ταχύτερα φθορά των πλέον λεπτοστρωματωδών ζωνών με αποτέλεσμα την δημιουργίαν αποτόμων αλλαγών κλίσεων (ιδίως εις το αριστερόν) και προβόλων υπό των πλέον παχυστρωματωδών μελών (ιδίως εις το δεξιόν). Τα χαρακτηριστικά αυτά πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν από απόψεως συμβατότητος παραμορφώσεων μεταξύ πλίνθου και ανάντη πλακός και αποφυγής ρηγματώσεως της ανάντη πλακός.

2.1 Σχεδιασμός

α'. Το φράγμα Μεσοχώρας έχει (συμφώνως προς τα σχέδια δημοπρατήσεως) τα εξής χαρακτηριστικά, δηλόν ότι ονομαστικόν υψόμετρον θεμελιώσεως φράγματος +629.10, στέψεως +775.00, κλίσις (οριζόντιος : κατακόρυφος) $H = 1.4 : V = 1$ ($\alpha = 35.56^\circ$) ανάντη και κατάντη πρανούς, η ανάντη πλάξ στεγανοποιήσεως καταλήγει εις κατακόρυφον τοίχον στέψεως (εκ σκυροδέματος) εδραζόμενον (επί της ζώνης 2B) εις υψόμετρο +772.25 και με (ονομαστικόν) υψόμετρον στέψεως +776.20 (πλάτος βάσεως +3.20 m). Δια τον ταμιευτήρα, η ελαχίστη στάθμη λειτουργίας είναι εις το υψόμετρον +731.00, η μεγίστη κανονική στάθμη λειτουργίας εις το υψόμετρον +770.00 και η μεγίστη στάθμη πλημμύρας εις το υψόμετρον +773.00 (το υψόμετρον κατωφλίου του υπερχειλιστού +757.50).

β'. Καθ' οριζοντίαν έννοιαν ανακύπτουν περιορισμοί ως προς την έκτασιν της βάσεως του φράγματος, αφ' ενός μεν διότι εκ λόγων γεωλογικών (στρωματογραφία, τεκτονική, γεωμορφολογία) η πλίνθος και η πλάξ επιφανειακής στεγανώσεως δεν δύνανται να μετατεθούν προς τα ανάντη, αφ' ετέρου δε διότι εις τα κατάντη υφίσταται το έργον εξόδου της ήδη κατασκευασμένης και εν λειτουργία σήραγγος εκτροπής και αμέσως ανάντη αυτού έχει εκσκαφεί η λεκάνη αποτονώσεως του υπερχειλιστού, από την οποίαν ο κατάντη πους του φράγματος πρέπει να έχει μίαν απόστασιν ασφαλείας ένταντι διαβρώσεων και υποσκαφών υπό των εκφορτίσεων του υπερχειλιστού, εν όψει μάλιστα και της εκεί διαπιστωθείσης υπάρξεως των δύο λεπτοκόκκων στρώσεων (ιλυώδης λεπτόκοκκος άμμος) μικράς αντοχής και ευχερώς διαβρωσίμων (Εικόνες 8, 9, 10 και 11). Τα ανωτέρω σημαίνουν ότι έκτοτε (10-10-1990) δεν υφίσταντο πλέον μεγάλα περιθώρια και δυνατότητες ανασχεδιασμού και αναπροσαρμογών του φράγματος.

2.2 Σεισμικότης

Εν όψει των καταστροφικών δια την περιοχήν σεισμών των ετών 1967 ($M=6.5$ της κλίμακος Richter) και 1969 ($M=5.7$) με σεισμικά επίκεντρα εις απόστασιν 5 – 10 km από την θέσιν του φράγματος, συνετάγη (δια λογαριασμόν του εργολάβου, Μάιος και Ιούλιος 1989) μελέτη σεισμικότητος, κατά την οποίαν εξετιμήθη ότι δια σεισμόν $M = 6.5$ R η επιτάχυνσις αιχμής της θεμελιώσεως εις $0.35g$ ($g = 9.81 \text{ m}^2/\text{sec}$ επιτάχυνσις βαρύτητος) με κυριαρχούσας περιόδους 0.10 – 0.35sec και ότι λόγω της στενότητος της κοιλάδος το φράγμα θα διεγείρεται εις ταλάντωσιν όχι μόνον από την βάσιν του (όπως εν φράγμα απείρου μήκους) αλλά και από τας πλευράς του.

Ανεξαρτήτως των εκτιμήσεων της ως άνω μελέτης (δια τας οποίας ο γράφων υπέβαλλεν εις ΔΑΥΕ-ΔΕΗ τας απόψεις του δια της εκθέσεώς του υπ' αρ. ΘΕΣ-2207/20-4-1990), το γεγονός παραμένει ότι η θέσις του φράγματος Μεσοχώρας υπόκειται εις έκδηλον σεισμικότητα, η οποία οδηγεί εις ρευστοποίησιν οιαδήποτε στρώσεων ιλύος (ως αι ανεφερθείσαι ανωτέρω, εφ' όσον οιαδήποτε εξ αυτών ήθελεν παραμείνι υπό το φράγμα, ως θα αναφέρει ο γράφων και εις επομένους παραγράφους).

3 ΦΑΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

3.1 Φράγμα και συμπαρομαρτούντα έργα

Περί το τέλος Σεπτεμβρίου του έτους 1990 είχαν αποπερατωθεί η σήραγξ εκτροπής (δεξιόν ακρόβαθρον) και η δι' αυτής εκτροπή του ποταμού, ευρίσκετο υπό αποπεράτωσιν το ανάντη πρόφραγμα, διεξήγοντο εκσκαφαί (δεξιόν ακρόβαθρον) δια την διώρυγα προσαγωγής και το έργον θυροφραγμάτων του υπερχειλιστού, είχαν αποπερατωθή η εκσκαφή των σιηράγγων σιμεντενέσεων – αποστραγγίσεως εις το αριστερόν ακρόβαθρον (2 επίπεδα) και του ορύγματος δια το φρέαρ θυροφραγμάτων και διεξήγοντο εκσκαφαί εις την κοίτην του ποταμού δια την θεμελίωσιν του

φράγματος (υψόμετρον επιφανείας αλλουβίων κοίτης +641–642 περίπου και υψόμετρον βραχώδους υποβάθρου +624).

3.2 *Αποκατάστασις συγκοινωνίας μετά των επί της δεξιάς όχθης χωρίων*

α'. Λόγω των επί του δεξιού ακροβάθρου διεξαγομένων εργασιών (εκρηκτικά, εκσκαφαί, αγκυρώσεις κλπ) δεν ήτο δυνατή η χρησιμοποίησις υπό των κατοίκων της ανάντη του φράγματος ευρισκομένης οδικής γεφύρας επί του Αχελώου, λόγος δια τον οποίον ο Εργολάβος (σύμβασις ΜΕΗ-2D) είχεν αναλάβη την υποχρέωσιν (πέραν της αφαιρέσεως όλων των στρώσεων αλλουβιακών αποθέσεων, δηλ. τριών (3) στρώσεων αμμοχαλικών και δύο ενδιαμέσων στρώσεων ιλύος – Παρα. 2.2-β' ανωτέρω, ανάντη του άξονος του φράγματος: θεμελίωσις της πλίνθου επί του βραχώδους υποβάθρου) να αποκαταστήσῃ την δυνατότητα συγκοινωνίας δια τους κατοίκους των επί της δεξιάς όχθης χωρίων (Αετός, Αρματωλικόν κλπ).

β'. Ο Εργολάβος μετά την αφαίρεσιν των δύο υψηλοτέρων στρώσεων (αμμοχάλικα, ιλύς – Παρα. 2.2-β') κατάντη του άξονος του φράγματος απέθεσεν και συνεπύκνωσεν την τελικὴν λιθορριπὴν του φράγματος εν τη ουσία επί των τριών υποκειμένων στρώσεων δήλον ὅτι δύο (2) στρώσεων αμμοχαλικού και της ενδιαμέσου μεταξύ αυτών στρώσεως ιλύος (Παρα. 2.2-β' ανωτέρω).

3.3 *Εξέτασις υπό του γράφοντος των προβλημάτων θεμελιώσεως*

α'. Κατά την αφαίρεσιν των αλλουβιακών ιζημάτων και ιδίως των πλέον λεπτοκόκκων ενδιαστρώσεων ανάντη του άξονος του φράγματος συνέβησαν βυθίσεις εντός των ανωτέρω στρωμάτων (λόγω ασθενούς αντοχής) των μηχανημάτων του Εργολάβου, ιδίως δε μηχανημάτων ως οι προωθηταί (μπουλντόζερ) προκαλούντων κραδασμούς και την ἐξ' αυτών επακολουθούσαν ρευστοποίησιν (liquefaction) του πλέον λεπτοκόκκου υλικού παρά την μεγάλην επιφάνειαν στηρίξεώς των (ερπύστρια) και την αντίστοιχον μικροτέραν εξασκούμενην τάσιν επί του εδάφους, με συνέπειαν την αδυναμίαν των εν λόγω μηχανημάτων να ἐξέλθουν δι' ιδίων δυνάμεων εκ των εν λόγω βυθίσεων.

β'. Ο γράφων, Σύμβουλος τότε της ΔΑΥΕ-ΔΕΗ, προσεκλήθη υπό της ΔΑΥΕ ὡπως μεταβή εις το εργοτάξιον (Τετ-Παρ: 26-28/9/1990) προς άμεσον εξέτασιν των προβλημάτων θεμελιώσεως του φράγματος των παρουσιασθέντων κατά τας εκσκαφάς εις την κοίτην του ποταμού και ὡπως συμμετάσχῃ εις το Συμβούλιον Εμπειρογνομόνων (8-16/9/1990), το οποίον ἐξήτασεν τα τότε προβλήματα σχεδιασμού και κατασκευής των έργων (Σύμβασις ΜΕΗ-2D).

Η άμεσος εξέτασις αφεώρα μεταξύ άλλων κυρίως την παρουσίαν δύο στρωμάτων ἐξ' ιλυώδους άμμου ή αμμώδους ιλύος (βαθύχρουν γκρί χρώμα: περιεκτικότης οργανικών) πάχους ἕως 3.00 m (περίπου) ἑκάστον, παρεμβαλλομένων μεταξύ αμμοχαλικωδών στρωμάτων υπό την θεμελίωσιν του φράγματος (Παρα. 2.2-β' ανωτέρω), την συμπεριφοράν της υπό της τελικῆς λιθορριπῆς του φράγματος επικαλυφθείσης κατωτέρας στρώσεως ιλύος (Παρα. 4.2-β' ανωτέρω) και τους εκ της ρευστοποίησεως αὐτῆς (στατική φόρτισις, δυναμική φόρτισις-σεισμική) δημιουργουμένους κινδύνους καταρρεύσεως τόσοσιν δια το φράγμα Μεσοχώρας ὅσον και δια τα κατάντη αὐτοῦ ἔργα (π.χ. Άγιος Γεώργιος, Συκιά, Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος).

γ'. Κατά την παραμονήν του εις το εργοτάξιον ο γράφων ἐξήτασεν το υλικόν της εκσκαφείσης λεπτοκόκκου στρώσεως (Παρα. 4.3-α') δια μιας απλῆς γεωτεχνικῆς δοκιμῆς δονήσεως (shaking test) επαρκούς δια την διάκρισιν μεταξύ ιλύος και αργίλου (δόνησις ποσότητος υλικού κεκορεσμένου εντός της παλάμης: συστολική συμπεριφορά κατά την δόνησιν και διασταλτική συμπεριφορά κατά την επακολουθείσαν φάσιν διατμήσεως) και διεπίστωσεν ὅτι ἐπρόκειτο περί ιλύος (ὄχι αργίλου, η οποία δεν ανταποκρίνεται εις το shaking test).

Το συμπέρασμα αὐτό επιβεβαιούται αφ' ενός μεν εκ του ὁμοίου τρόπου αποθέσεως του υλικού των δύο στρώσεων ιλύος (Παρα. 2.2-β'), αφ' ετέρου δε και εκ των αποτελεσμάτων δοκιμῶν διεξαχθεισῶν ἐπὶ δειγμάτων του εν λόγω υλικού εκ γεωτρήσεων, τα ὁποία ἔδειξαν ὅτι τούτο ἔχει εσωτερικήν δομήν (χαμηλόν ξηρόν φαινόμενον βάρος $\gamma_d = 1.49 \text{ t/m}^3$), η οποία είναι μετασταθῆς

και καταρρεύσιμος (αποτελέσματα εργαστηρίου Γεωέρευνας καθώς και αποτελέσματα εργαστηρίου ΚΔΕΠ-ΔΕΗ: δοκιμαί συνιζήσεως και τριαξονικής θλίψεως).

Εις την ύπαρξιν της ανωτέρω μετασταθούς καταρρεύσιμης δομής του ως άνω υλικού οφείλονται και αι σημειωθείσαι ρευστοποιήσεις και αι αντίστοιχοι βυθίσεις προωθητών (bulldozer) λόγω της υπ' αυτών κραδασμικής καταπονήσεως της αντιστοίχου ως άνω στρώσεως.

δ'. Εκ των ανωτέρω καθίσταται φανερόν ότι ανέκλυπτεν κίνδυνος καταρρεύσεως του φράγματος Μεσοχώρας τόσο εκ φορτίσεως στατικής όσον και δυναμικής (σεισμός), εάν αφίνετο υπό το φράγμα υλικόν στρώσεως ιλύος (ρευστοποιήσις) υπό οιονδήποτε πρόσχημα, ως το πραγματοποιηθέν συμφώνως προς την παράγραφον 4.2-β' ανωτέρω (τοποθέτησις και συμπίκνωσις τελικής λιθορριπής φράγματος).

3.4 *Επόμεναι ενέργειαι του γράφοντος*

Λόγω του επείγοντος λήψεως αμέσου αποφάσεως ενώπιον της προϊούσης κατασκευής υπό του Εργολάβου του φράγματος και προς άμεσον αναπροσαρμογήν του Προγράμματος Κατασκευής δια την αντιμετώπισιν των σχετικών με τα ανωτέρω σοβαρών προβλημάτων των επηρεαζόντων την ασφάλειαν του φράγματος Μεσοχώρας αλλά και των υπολοίπων κατάντη αυτού υδροηλεκτρικών έργων και περιοχών, ο γράφων κατά την επιστροφήν τους εις Αθήνας υπέβαλλεν εις ΔΑΥΕ πρόδρομον επείγουσαν συνοπτικήν έκθεσιν (ΔΑΥΕ: ΘΕΣ-1813/1-10-1990) προτείνων την καθολικήν αφαίρεσιν καθ' όλην την έκτασιν εδράσεως του φράγματος και των δύο στρώσεων αμμοιλύος και εν συνεχεία υπέβαλλεν εκτεταμένην έκθεσιν, η οποία ομού μετά σχετικής εισηγήσεως υπεβλήθη υπό του τότε Γενικού Διευθυντού εις το Διοικητικόν Συμβούλιον της ΔΕΗ, το οποίον με την υπ' αρ. 355/6-11-90 απόφασιν του ενέκρινε «... την απόφαση της ΔΑΥΕ για αφαίρεση του τοποθετηθέντος υλικού αναχώματος Φράγματος Μεσοχώρας ... και την εν συνεχεία εκσκαφή του υποκειμένου στρώματος αμμοιλύος μέχρι το υψόμετρο 625 περίπου προς επίτευξη των ιδίων συνθηκών θεμελίωσης καθ' όλην την επιφάνεια του φράγματος, καθώς και τις σχετικές δαπάνες που συνεπάγεται η απόφαση αυτή της ΔΑΥΕ, οι οποίες θα ανακοινωθούν στο Δ. Συμβούλιο...». Τελική έκδοση της ανωτέρω εκτεταμένης εκθέσεως του γράφοντος είναι η υπ' αρ. ΘΕΣ-2207/20-11-1990.

Η ανωτέρω απόφασις του Διοικητικού Συμβουλίου της ΔΕΗ εφηρμόσθη δια τροποποιήσεως του Προγράμματος Κατασκευής του έργου και δι' αφαιρέσεως τόσο της μέχρι τότε τοποθετηθείσης λιθορριπής δια το φράγμα, όσον και όλων των ανωτέρω αλλουβιακών αποθέσεων μέχρι του υψομέτρου +625, ώστε το φράγμα να θεμελιωθή καθ' όλην την έκτασιν του επί του βραχώδους υποβάθρου.

Σχετική με την ανωτέρω απόφασιν του Διοικητικού Συμβουλίου της ΔΕΗ και την αντίστοιχον τροποποίησιν του προγράμματος εκσκαφών και κατασκευής του φράγματος Μεσοχώρας είναι και η αναφορά του τότε γεωλόγου της ΔΑΥΕ (αποθανόντος τώρα) Δημητρίου Λιάκουρη (κατόπιν ανεξαρτήτου υπ' αυτού διερευνήσεως των σχετικών γεγονότων) εις το βιβλίον του «Η Γεωλογία και τα Φράγματα της ΔΕΗ» (σελ. 142-144).

4 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΣ

4.1 *Πρόσθετα γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία*

Παραλλήλως προς τα ανωτέρα εκτεθέντα ο γράφων προέτεινε και εγένετο αποδεκτή η περαιτέρω γεωτεχνική έρευνα εις την περιοχήν θεμελίωσης του φράγματος εις την κοίτην αλλά και κατάντη αυτού αφ' ενός μεν δια γεωτρήσεων και αντιστοίχων εργαστηριακών δοκιμών, αφ' ετέρου δε δι' αξιολογήσεως και αξιοποιήσεως μέχρι τότε υπάρχοντων σχετικών εργοταξιακών στοιχείων.

4.2 Γεωτρήσεις

α'. Η διάταξις των εις την περιοχίν της κοίτης του ποταμού διεξαχθεισών γεωτρήσεων εμφανίζεται εν κατόψει εις την Εικόνα 8, η οποία δεικνύει και το σύνολον του φράγματος Μεσοχώρας μετά των συμπαραομαρτούντων έργων.

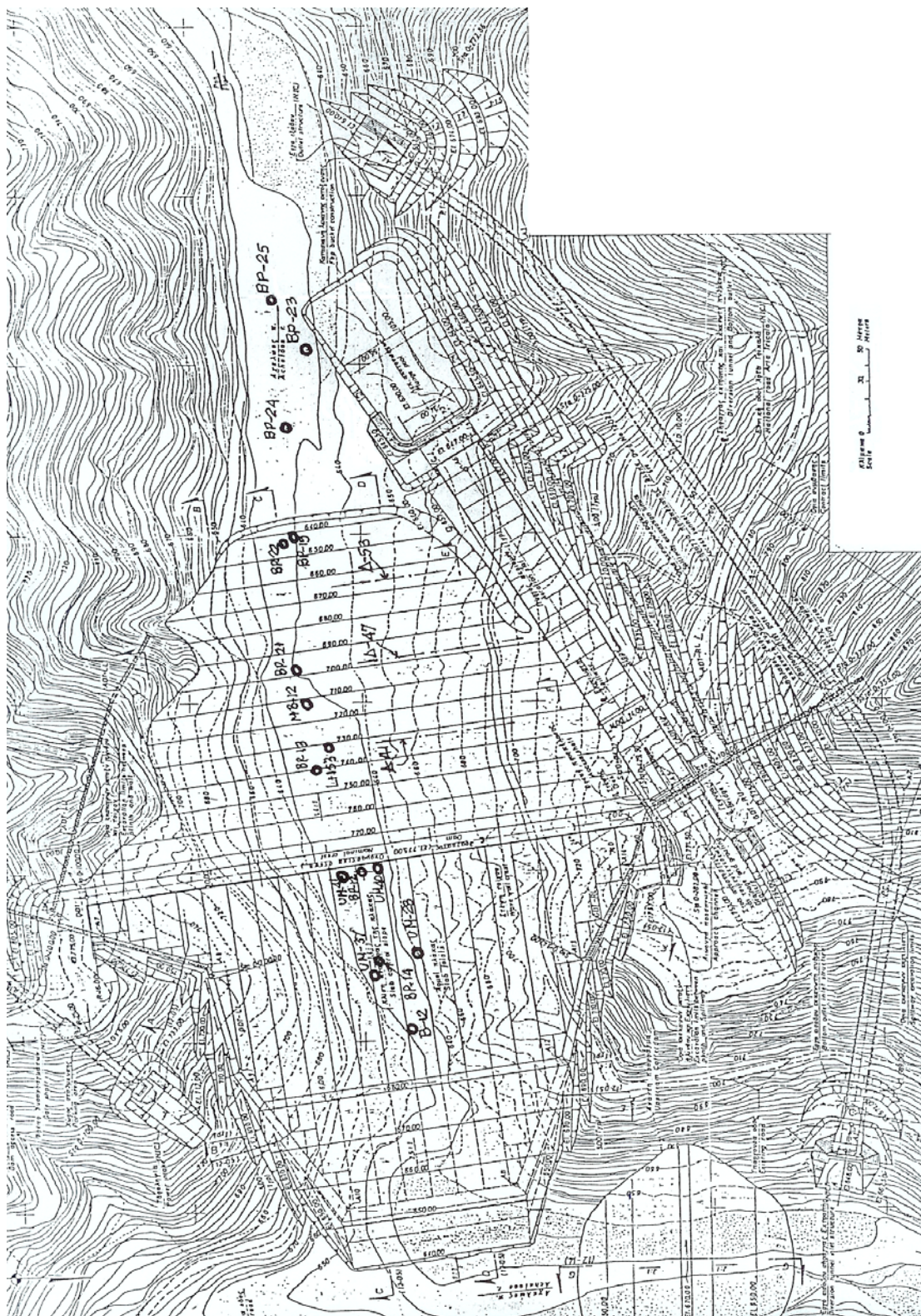
β'. Βάσει των αποτελεσμάτων όλων των σχετικών γεωτρήσεων κατηρτίσθη, καθ' οδηγίας του γράφοντος, η μηκοτομή (Εικόν 9), η οποία δεικνύει την μηκοτομήν της κοίτης του ποταμού μετά των σχετικών γεωτρήσεων και το αντίστοιχον περίγραμμα των παρειών του φράγματος.

4.3 Διατομαί της κατάντη του άξονος κοιλάδος

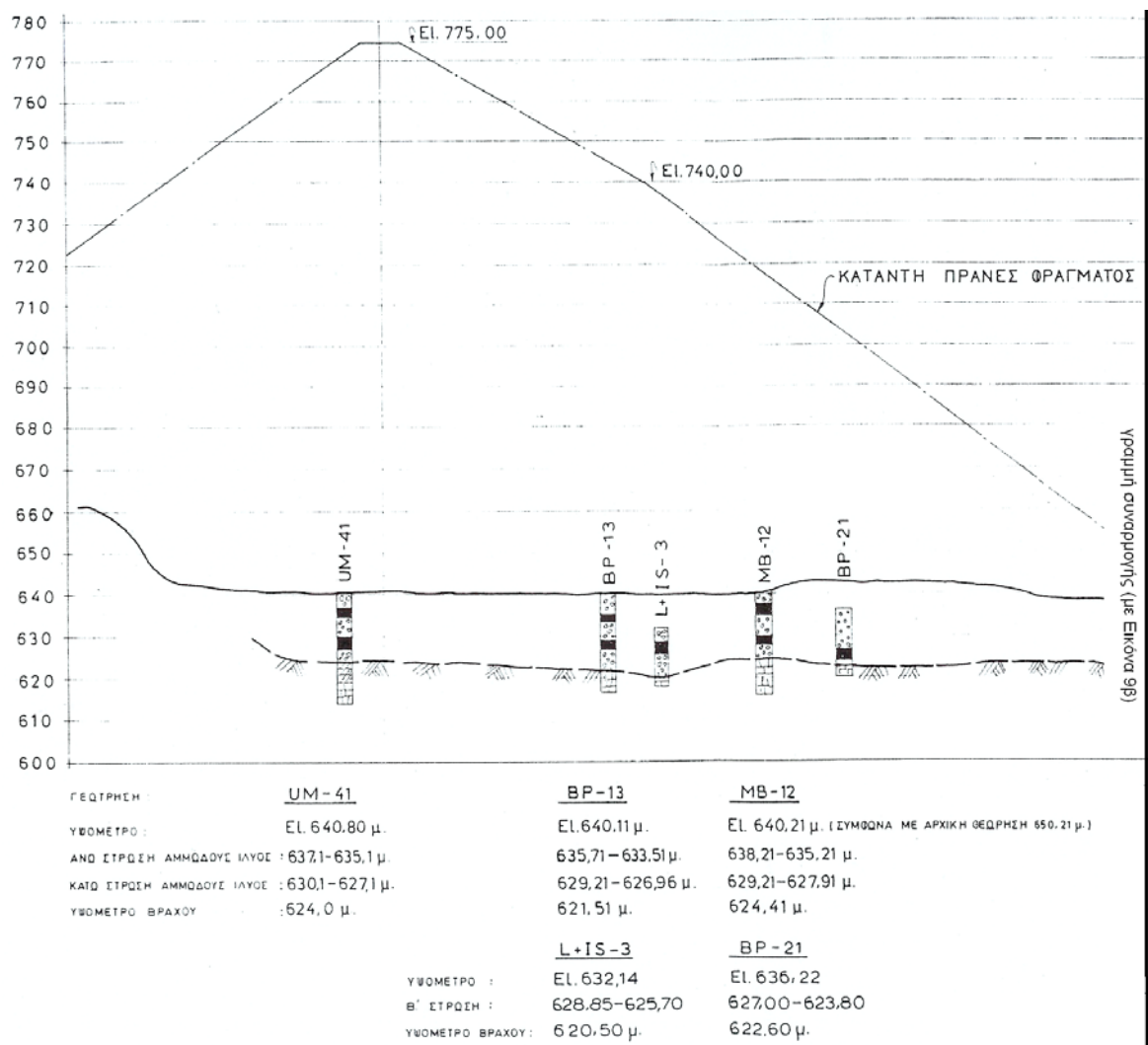
Βάσει αξιολογήσεως των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων καθώς και των αντιστοιχών εργοταξιακών στοιχείων κατηρτίσθησαν τέσσερις διατομαί της (κατάντη του άξονος του φράγματος) κοιλάδος (της τελευταίας εις απόστασιν 160 m κατάντη του άξονος) δεικνύουσας (Εικόνες 10 και 11) το περίγραμμα του βραχώδους υποβάθρου, την κατωτέραν στρώσιν ιλύος και την έκτασιν της ήδη τότε εχούσης τοποθετηθεί λιθορριπής του φράγματος κατ' αντιστοιχούς ημερομηνίας (28-9-90 και 4-10-90).

4.4 Συμπέρασμα

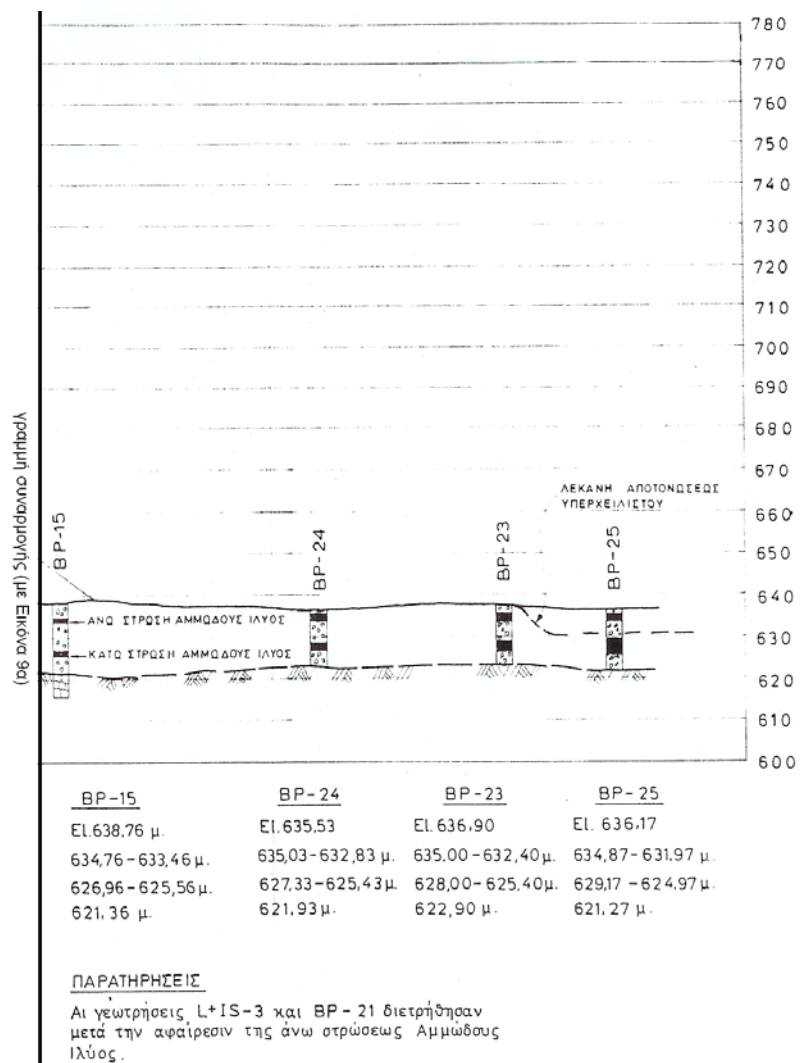
Η διεξαχθείσα πρόσθετος γεωτεχνική έρευνα και αι σχεδιασθείσαι μηκοτομή και διατομαί της κοιλάδος εις την περιοχίν του φράγματος Μεσοχώρας επιβεβαιούν τόσον τον τρόπον και την σύστασιν και διάστρωσιν των εις την κοίτην εναποτεθεισών ιδίως δε των εξ' αυτών λεπτοκόκκων (ιλύς) αποθέσεων, όσον και τους αναφερθέντας κινδύνους καταρρεύσεως του φράγματος (ρευστοποίησις λόγω στατικής ή δυναμικής εξαιτήσεως) εις περίπτωσιν μη ολοκληρωτικής αφαιρέσεως των οιωνδήποτε υπό το φράγμα αλλουβιακών αποθέσεων, ιδίως δε των πλέον λεπτοκόκκων εξ' αυτών (αμμώδης ιλύς ή ιλυώδης λεπτόκοκκος άμμος), αι οποίαι χαρακτηρίζονται (ως απέδειξαν και εργαστηριακαί δοκιμαί) από χαμηλόν ξηρόν φαινόμενον βάρος ($\gamma_d = 1.49 \text{ t/m}^3$), συστολικήν συμπεριφοράν ακόμη και υποβαλλόμεναι εις υψηλάς πιέσεις συνιζήσεως, υψηλήν φυσικήν υγρασίαν, μετασταθή εσωτερική δομήν και καταρρεύσιμον ιστόν είτε υπό στατικήν ιδίως όμως κατά την διάρκειαν σεισμικής διεγέρσεως και φορτίσεως, ανεμπόδιστον εξάπλωσιν ιδίως του κατάντη τμήματος και ποδός του φράγματος (μεγίστη λοξότης της μεγίστης κυρίας τάσεως σ_1 , μέγισται διατμητικάί τάσεις) εντός της λεκάνης ηρεμήσεως του υπερχειλιστού με αντίστοιχον διάβρωσιν της εξαπλουμένης στοιβάδος του φράγματος υπό των πλημμυρικών του εκφορτίσεων.



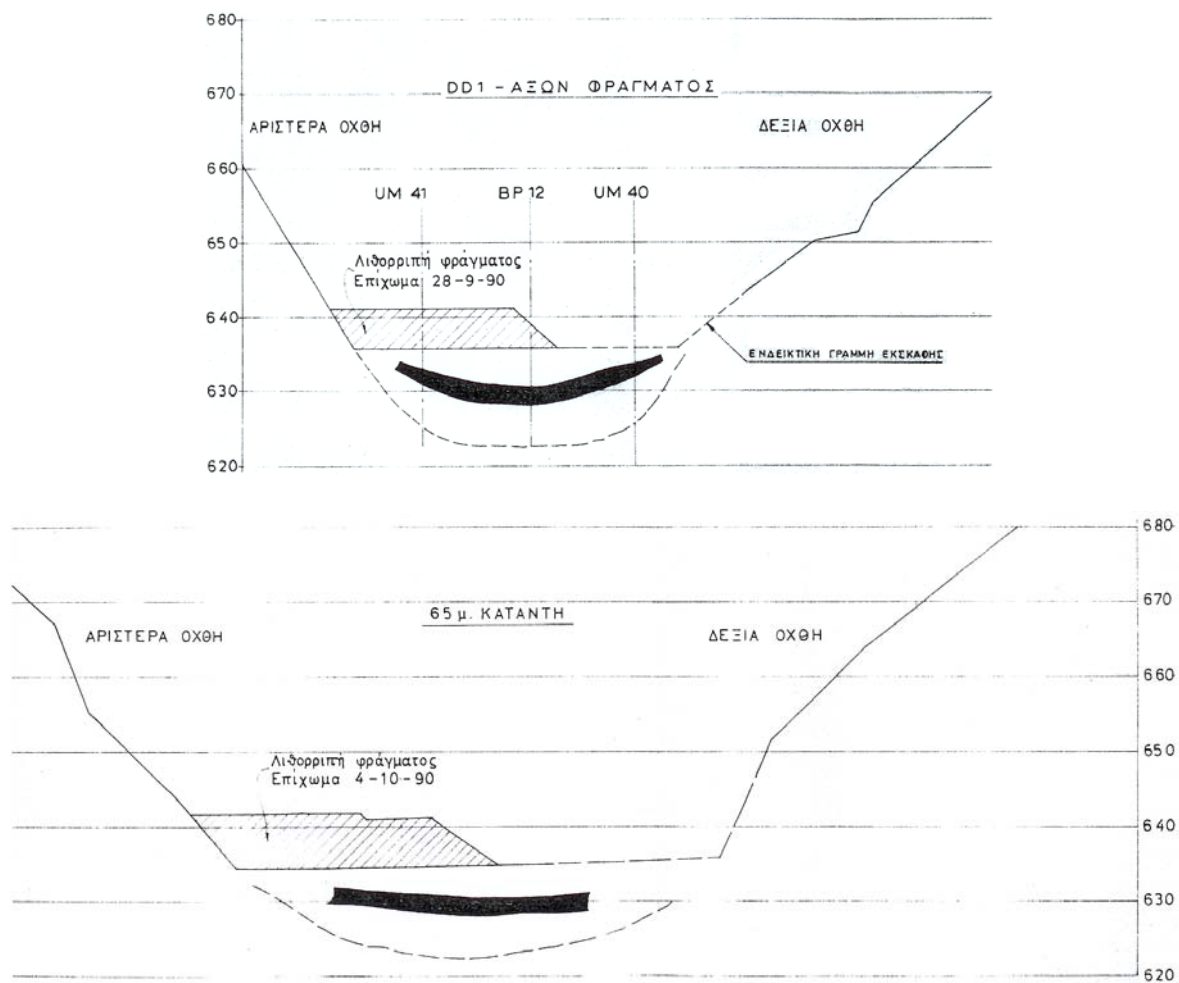
Εικόν 8: Υ.Η.Ε. Μεσοχώρας: Φράγμα, Κάτοψεις: Γεωτρήσεις κοίτης & θέσεις διατομών.



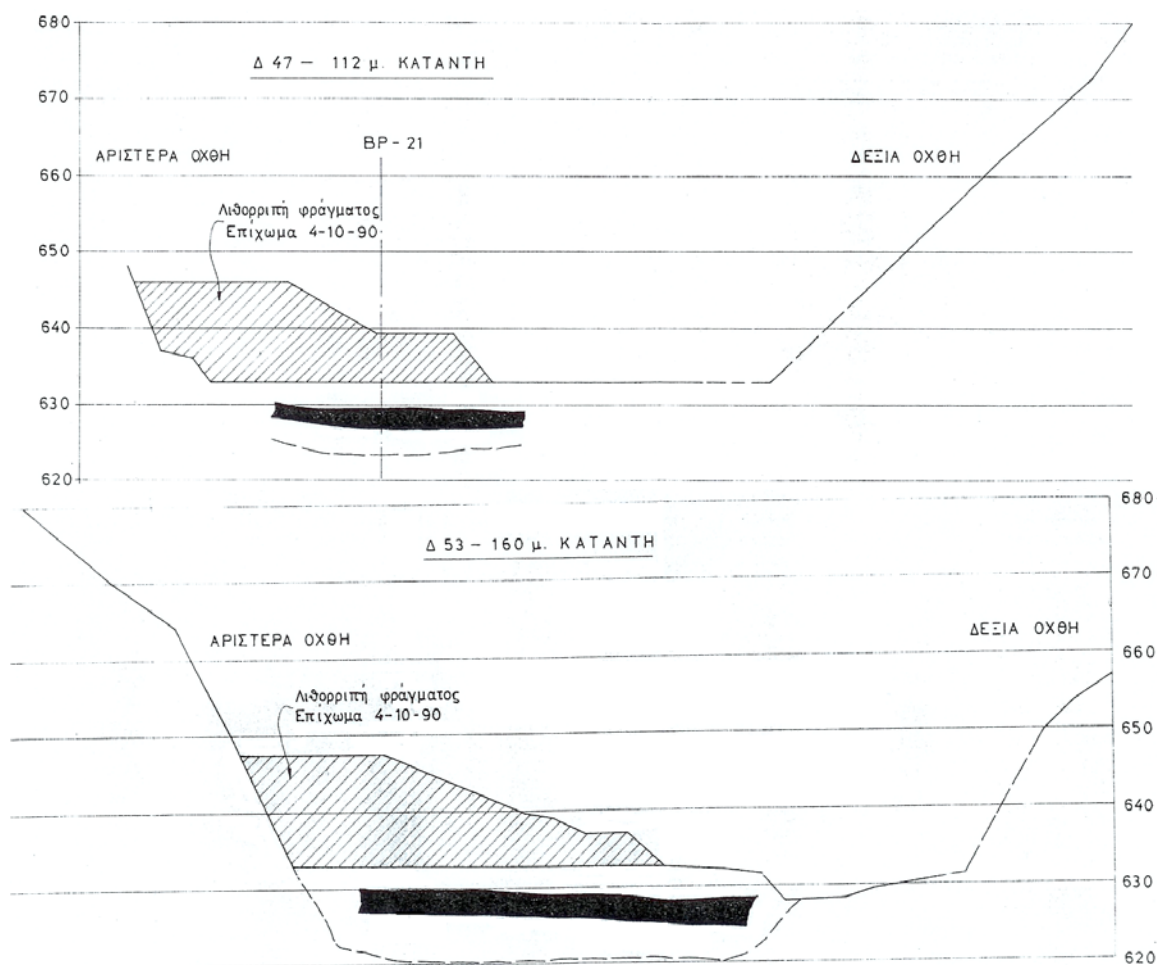
Εικόν 9α Υ.Η.Ε. Μεσοχώρας: Θεμελίωσης Φράγματος, Μηκοτομή κοίτης; Γεωτρήσεις (συνέχεια στην Εικόνα 9β)



Εικόν 9β Υ.Η.Ε. Μεσοχώρας: Θεμελίωσις Φράγματος, Μηκοτομή κοίτης: Γεωτρήσεις (συνέχεια στην Εικόνα 9α)



Εικόν 10 (Διατομαί 10α και 10β): Υ.Η.Ε. Μεσοχώρας: Φράγμα, Διατομαί κοίτης: Λιθορριπή Φράγματος & Κατωτέρα στρώσις ιλύος. Παρατηρήσεις: α) Δια μελανού χρώματος δεικνύεται η κάτω στρώσις γενικώς ιλυώδης λεπτόκοκκος άμμος ή αμμώδης ιλύς (περιπτωσιακώς ίχνη αργίλου), β) η άνω στρώσις έχει αφαιρεθή



Εικόν 11 (Διατομαί 11α και 11β): Υ.Η.Ε. Μεσοχώρας: Φράγμα, Διατομαί κοίτης: Λιθορριπή Φράγματος & Κατωτέρα στρώσις ιλύος. Παρατηρήσεις: α) Δια μελανού χρώματος δεικνύεται η κάτω στρώσις γενικώς ιλυώδης λεπτόκοκκος άμμος ή αμμώδης ιλύς (περιπτωσιακώς ίχνη αργίλου), β) η άνω στρώσις έχει αφαιρεθή

5 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

α'. Αναφέρονται συνοπτικώς τα εκ των ανωτέρω εις προηγουμένας παραγράφους αναπτυχθέντα σχετικώς με τα συμπεράσματα και αντίστοιχα ανακύψαντα κριτήρια. Λεπτομερέστερος σχολιασμός έχει παρατεθεί υπό του γράφοντος εις την έκθεσιν του υπ' αρ. ΘΕΣ-2207/20-11-90 την υποβληθείσαν εις ΔΑΥΕ.

β'. Τόσον η διεξαγωγή της εργοταξιακής δοκιμής «δονήσεως» (shaking test) υπό του γράφοντος (Παρα. 4.3-γ') όσον και η πραγματική συμπεριφορά επί τόπου (ρευστοποίησης – Παρα. 4.3-α) του λεπτοκόκκου υλικού απέδειξαν ότι επρόκειτο περί ιλύος με μετασταθή καταρρεύσιμον ιστόν ($\gamma_d = 1.49 \text{ t/m}^3$ με ηυξημένην φυσικήν υγρασίαν) και όχι περί αργίλου. Τούτο ήτο γνωστόν και εκ της εκθέσεως της SNC από του έτους 1972 (Παρα. 2.2-β'). Το λεπτόκοκκον υλικόν αυτό απετέθη εις δύο διακριτάς στρώσεις εντός δύο λιμνών σχηματισθεισών εις το γεωλογικόν παρελθόν λόγω

εμφράξεως της κοιλάδος υπό κατάντη κατολισθήσεως (Παρα. 2.2-β') και εκτείνεται και κατάντη του φράγματος (Παρα. 5.4). Αι δύο τοιαύται στρώσεις όχι μόνον δεν εγκιβωτίζονται προς τα κατάντη αλλ' απεναντίας απογυμνούνται και εκτίθενται εις διάβρωσιν και αστοχίαν λόγω των εκσκαφών δια την παρακείμενην λεκάνην αποτονώσεως του υπερχειλιστού (Παρα. 5).

γ'. Η θέσις του φράγματος Μεσοχώρας υπόκειται εις έκδηλον σεισμικότητα (Παρα. 3.2). Η σεισμικότης αὕτη οδηγεί εις ρευστοποίησιν στρώσεως ιλύος με μετασταθὴ καταρρευσίμον ιστόν, ως η ανωτέρω, εις περίπτωσιν μάλιστα εγκλεισμού της υπό την λιθορριπὴν του φράγματος, ως ο πραγματοποιηθεὶς (Παρα. 4.2-β' ανωτέρω).

δ'. Επίκλισις αψιδώσεως (arching) της λιθορριπῆς του φράγματος εἶναι αδόκιμος, διότι δεν εἶναι θέμα ποσοστού ἀλλὰ συσχετισμοῦ των ἀπολύτων μεγεθῶν (πλάτος κοίτης προς ὕψος λιθορριπῆς) και ὡς ἐκ τούτου δύναται να συμβῇ αστοχία του λεπτοκόκκου υλικοῦ θεμελιώσεως προ της ἀναπτύξεως «αψιδώσεως», κατ' ἐξοχὴν δε πλησίον του κατάντη ποδὸς του φράγματος, ὅπου ἐπιβάλλονται η μεγίστη λοξότης της κυρίας τάσεως σ_1 και αι μέγιστα διατμητικαὶ τάσεις, ἐνὼ το ἀντίστοιχον ὕψος λιθορριπῆς δεν εὐνοεῖ την ἀνάπτυξιν αψιδώσεως. Το σημαντικότερον ὅμως και το ἐπισημειώτερον εἶναι ὅτι η ἐν λόγω παραδοχὴ (μελέτης και σχεδιασμοῦ) ἀγνοεῖ το γεγονός ὅτι τοιαύτη ἀψὶς καταρρέει λόγω ἐρπυσμοῦ της λιθορριπῆς και ὅτι εις περίπτωσιν σεισμικῆς φορτίσεως (κατακορύφου, ὁριζοντίας) οιαδήποτε τυχόν ἀναπτυχθεῖσα «αψιδώσις» καταρρέει λόγω χαλαρώσεως της δομῆς της λιθορριπῆς ὑπὸ των κραδασμῶν (κατακορύφων και ὁριζοντίων) και ἀναδιατάξεως των κόκκων της, ὁπότε ἐπέρχεται σχεδόν κρουστικὴ πλεόν ἀύξεισις της φορτίσεως ὑπὸ το φράγμα ἐγκλεισθέντος τμήματος (Παρα. 4.2-β') ἐξαιτίας μετασταθοῦς καταρρευσίμου ιστοῦ των ἐν λόγω ιδίως δε των ἐξ' αὐτῶν λεπτοκόκκων στρώσεων (ιλύς) και ρευστοποιήσεώς των με ὅλας τα καταστροφικὰς συνεπειὰς τας ἀναφερθεῖσας εις προηγουμένας παραγράφους.

ε'. Η πρόσθετος διεξαχθεῖσα, κατόπιν προτάσεως του γράφοντος, γεωτεχνικὴ ἐρευνα (Παρα. 5: μηχανοτομή, διατομαί) ἀπέδειξεν την συνέχισιν των λεπτοκόκκων στρώσεων (ιλύς μετασταθοῦς δομῆς) εις την κοιλάδα κατάντη του φράγματος, την ἀνεμπόδιστον προς τα κατάντη ἐξάπλωσιν του υλικοῦ του φράγματος μετὰ την κατάρρευσίν του λόγω του μετασταθοῦς καταρρευσίμου ιστοῦ της ὑπὸ το φράγμα ἐγκλεισθείσης (Παρα. 4.2-β') κατωτέρας στρώσεως ιλύος (Εἰκόνες 8, 9, 10 και 11), την ἀναπόφευκτον διάβρωσιν του καταρρευσαντος φράγματος ἐντὸς της ἐκσκαφείσης και διαβρωθείσης δεξαμενῆς ἡρεμήσεως ὑπὸ των πλημμυρικῶν ἐκφορτίσεων του υπερχειλιστοῦ, και τας καταστροφικὰς συνεπειὰς ἐκ της καταρρεύσεως του φράγματος δια τα κατάντη αὐτοῦ ἔργα και ἀντιστοίχους περιοχάς.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ἐκ των ἀνωτέρω ἐκτεθέντων προκύπτει το ἀναπόφευκτον και η ὀρθότης της ληφθείσης ἀποφάσεως ἀφαιρέσεως καθ' ὅλην την ἑκτασιν του φράγματος Μεσοχώρας τόσον της ἤδη τότε (Σεπτέμβριος 1990) ἐχούσης τοποθετηθῇ και συμπυκνωθῇ λιθορριπῆς του φράγματος ὅσον και ὅλων των ἀλλουβιακῶν και ιδίως των ἐξ' αὐτῶν λεπτοκόκκων ἀποθέσεων (δύο στρώσεις ιλύος μετασταθοῦς καταρρευσίμου δομῆς), ὥστε το φράγμα να θεμελιωθῇ καθ' ὅλην την ἑκτασίν του ἐπὶ του βραχώδους υποβάθρου.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Cooke, J.B. & Sherard, J.L. (1985), Editors, "Concrete Face Rockfill Dams: Design, Construction and Performance", ASCE Convention, Detroit, October 21
2. Zaruba, Q. & Mencl, V. (1976), "Engineering Geology", Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York.
3. Μαρῖνος, Π. (1995), Ἐπιμέλεια, "Γεωλογία και Φράγματα, Ἐμπειρίες ἀπὸ τον Ἑλληνικὸ χώρο", Ἑλληνικὴ Ἐπιτροπὴ Τεχνικῆς Γεωλογίας, Ἑλληνικῆς Ἐπιτροπῆς Γεωλογικῆς Ἐταιρείας, Ἐθνικὸ Ἰδρυμα Ἐρευνῶν

4. Λιάκουρης, Δ. (1995), “Η Γεωλογία και τα Φράγματα της ΔΕΗ”, Έκδοσις της Δ/σεως Εκπαιδεύσεως ΔΕΗ
5. Παπαγεωργίου, Ορ. (1990), “Υ.Η.Ε. Μεσοχώρας, Φράγμα και Συναφή Έργα, Προβλήματα Σχεδιασμού και Κατασκευής”, ΔΕΗ-ΔΑΥΕ: Αρ. Πρωτ. ΘΕΣ-2207/20-11-1990 (Ανέκδοτος Έκθεσις).
6. Παπαγεωργίου, Ορ. (2008), “Τύποι Φραγμάτων, Γεωτεχνικά Προβλήματα και Συμπαρομαρτούντα Έργα”, Πρακτικά, 1^ο Πανελλήνιον Συνέδριον Μεγάλων Φραγμάτων, ΤΕΕ Κεντρικής και Δυτικής Θεσσαλίας, Λάρισα, 13-15 Νοεμβρίου
7. Terzaghi, K., Peck, R. B. & Mesri, G. (1996), “Soil Mechanics in Engineering Practice”, 3rd Edition, John Wiley & Sons

H. E. Project of Mesochora – Dam, geotechnical conditions and foundation measures

O.A.Papageorgiou

Civil Engineering, Consultant Engineering, General Secretary of Greek Committee of Large Dams. (Member of International Committee of Large Dams –ICOLD)

ABSTRACT: A description is presented of the stratigraphy of the dam area, of the rock basement, of the alluvial deposits and their stratigraphy in the river bed, the necessity of placement of rock fill and the necessity of complete removal of said alluvial deposits before the final deposition of any dam rock fill.