

**Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΦΕΡΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΩΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ.***

Δ. ΖΑΡΡΗΣ⁽¹⁾, Ε. ΛΥΚΟΥΔΗ⁽²⁾, Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ⁽¹⁾

ΣΥΝΟΨΗ

Μελετάται η δημιουργία και η χρονική εξέλιξη των αποθέσεων φερτών υλικών στον ταμιευτήρα των Κρεμαστών στον π. Αχελώο. Διενεργήθηκε υδρογραφική αποτύπωση του ταμιευτήρα για τον προσδιορισμό του όγκου και της μάζας των αποθέσεων, της χωρικής κατανομής τους αλλά και της χρονικής εξέλιξής τους σε σχέση με τις διακυμάνσεις της στάθμης του ταμιευτήρα. Διαπιστώνεται ότι ο σχηματισμός των αποθέσεων στον ταμιευτήρα είναι δυναμικό φαινόμενο και εξαρτάται από τις έντονες πλημμυρικές απορροές, από τη σύσταση των φερτών υλικών και από τη μεταβολή της στάθμης του ταμιευτήρα.

EXTENDED SUMMARY

The depositional pattern of incoming sediment loads in the Kremasta reservoir is illustrated. Kremasta reservoir is located in North-Western Greece; the reservoir area at the spillway crest is 80.6 km² and the total storage volume is 4495 hm³. A key element of the proposed method is to construct the Digital Elevation Models (DEM) for two periods of interest, one prior to the dam construction (1964) and the other during the hydrographic survey (1998-99). The hydrographic survey has been carried out using a differential Global Positioning System (GPS) technique and a typical fathometer operating at the frequency of 130 kHz for depth determination. The difference in elevation of the two DEMs results in the volume of deposited sediments.

The spatial distribution of accumulated sediment in the reservoir shows profoundly that the total incoming sediment remains in the reservoir and particularly at the uppermost parts (deltaic deposits). The total sediment deposits volume was calculated equal to 66.6 hm³. The material properties of the deposited sediment were also investigated by collecting two core samples from the reservoir invert using appropriate instrumentation.

The evolution of the depositional pattern within the reservoir depends mainly on the incoming intense floods, the properties of the river sediments and the stage of the reservoir. Low reservoir stage allows erosion of deposited sediments which subsequently are carried further downstream. An illustration of this pattern is given in this paper.

Finally, the spatial distribution of the sediment deposits in the reservoir illustrates that at least for large reservoirs, the concept of designing the dead volume near the dam (i.e., below a certain constant reservoir level) is under serious doubt. Specifically, for the reservoir under study, the deposits tend to occupy a significant (in absolute terms) part of the reservoir's useful volume whilst the nominal dead volume is almost empty of sediments.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: φερτά υλικά, αποθέσεις, ταμιευτήρας Κρεμαστών, νεκρός όγκος, υδρογραφική αποτύπωση, ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου.

KEY WORDS: River sediments, deposits, Kremasta reservoir, dead volume, hydrographic survey, digital terrain model.

* THE EVOLUTION OF RIVER SEDIMENT DEPOSITS IN RESERVOIRS AS A DYNAMIC PHENOMENON. APPLICATION TO THE KREMASTA RESERVOIR.

¹ Τομέας Υδατικών Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 15780, Αθήνα.

² Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780, Αθήνα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δεδομένης της σοβαρής έλλειψης ενός ολοκληρωμένου προγράμματος μετρήσεων των στερεοπαροχών των υδατορρευμάτων στον ελληνικό χώρο (πρόβλημα που υπάρχει και σε άλλες χώρες), ο προσδιορισμός του όγκου και της μάζας των αποθέσεων φερτών υλικών σε ταμιευτήρες αποτελεί ίσως την πλέον ενδεδειγμένη λύση για τον υπολογισμό της στερεοαπορροής της ανάντη λεκάνης (π.χ. *Heinmann, 1984, Duck and McManus, 1994, Rowan et al., 1995*). Η συσσώρευση των φερτών υλικών προκαλείται από τη σταδιακή μείωση της ταχύτητας του νερού κατά την είσοδο στον ταμιευτήρα με αποτέλεσμα τα πλέον χονδρόκοκκα από τα φερτά υλικά να αποτίθενται στα ανάντη τμήματα του ταμιευτήρα σχηματίζοντας τις δελταϊκές αποθέσεις (deltaic deposits). Τα λεπτόκοκκα υλικά έχουν τη δυνατότητα να μεταφερθούν επιπλέον κατάντη προς το εσωτερικό του ταμιευτήρα και ανάλογα με το μέγεθος του ταμιευτήρα να αποτεθούν τελικά κοντά στο φράγμα. Οι δυσμενείς επιπτώσεις από την απόθεση των φερτών υλικών στους ταμιευτήρες είναι σημαντικές, όπως για παράδειγμα μείωση της αποθηκευτικότητας του ταμιευτήρα για δεδομένη στάθμη, ενδεχόμενη καταστροφή των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση εισόδου των φερτών υλικών από την υδροληψία (σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες), πιθανή υποβάθμιση της ποιότητας των νερών του ταμιευτήρα καθώς και γεωμορφολογικές επιπτώσεις στις εκβολές των ποταμών στον ταμιευτήρα.

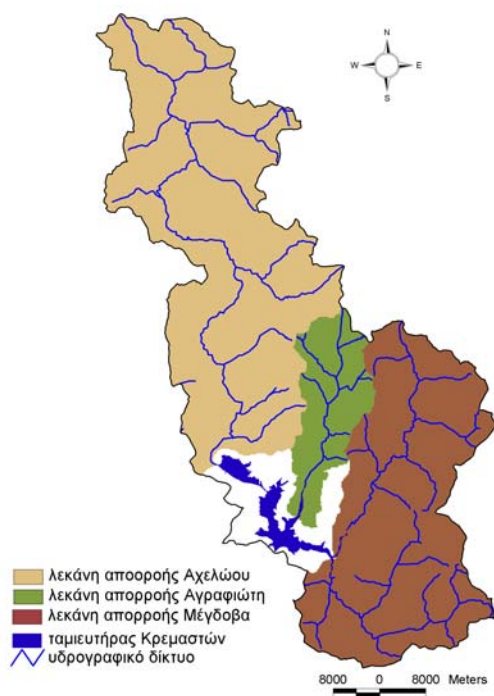
Το σημαντικότερο ποσοστό της συνολικής στερεοπαροχής στα ελληνικά ποτάμια μεταφέρεται κατά τη διάρκεια λίγων και έντονων πλημμυρικών επεισοδίων το χρόνο και είναι γνωστό με την ονομασία «φορτίο απόπλυσης» (wash load). Σε ξηρές περιόδους, αντίθετα, όπου έχουμε αποκλειστικά μεταφορά των υλικών κοίτης (bed load) είτε σε αιώρηση είτε σε σύρση, το συνολικό φορτίο κοίτης αποτελεί ένα μικρό ποσοστό του φορτίου απόπλυσης (*Syvitski, 2000, Ζαρρής κ.ά., 2001*). Τα υλικά που αποτελούν το φορτίο απόπλυσης προέρχονται από την επιφάνεια της λεκάνης απορροής και μεταφέρονται σχεδόν εξολοκλήρου σε αιώρηση.

Επομένως η στάθμη του ταμιευτήρα κατά τη διάρκεια εκείνων των πλημμυρικών επεισοδίων αποκτά ιδιαίτερα καθοριστική σημασία σε ότι αφορά την εξέλιξη των αποθέσεων. Για παράδειγμα, σχετικά υψηλή στάθμη του ταμιευτήρα θα προκαλέσει απόθεση των φερτών υλικών στα ανάντη τμήματά του, ενώ αντίθετα χαμηλή στάθμη διευκολύνει τη μεταφορά των φερτών υλικών προς το εσωτερικό του. Είναι αναγκαίο να επισημανθεί ότι στη διαστασιολόγηση των ταμιευτήρων, όχι μόνο στον ελληνικό χώρο, συχνά δεν πραγματοποιείται η προσομοίωση της εισόδου των φερτών υλικών στον ταμιευτήρα και της χωρικής κατανομής των αποθέσεων. Επομένως ο προσδιορισμός του νεκρού όγκου (dead volume) ως βασικού μεγέθους σχεδιασμού των ταμιευτήρων αποτελεί ακόμα μια νεφελώδη έννοια χωρίς εμπειρισιακό θεωρητικό υπόβαθρο και μάλιστα όπως θα διαπιστωθεί παρακάτω οδηγεί σε λανθασμένο σχεδιασμό του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ο ταμιευτήρας Κρεμαστών.

Ο ταμιευτήρας των Κρεμαστών βρίσκεται στη Βορειο-δυτική Ελλάδα και καταλαμβάνει τμήματα των νομών Αιτωλοακαρνανίας και Ευρυτανίας και συγκεντρώνει τις απορροές του ποταμού Αχελώου και των παραποτάμων του Μέγδοβα και Αγραφιώτη. Ο ταμιευτήρας στη στάθμη του υπερχειλιστή καταλαμβάνει έκταση 80.6 km² ενώ ο συνολικός αποθηκευτικός όγκος είναι ίσος με 4495 hm³. Η λεκάνη απορροής έχει επιφάνεια 3292 km² ενώ η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 1433 mm. Η μέση ετήσια εισροή στον ταμιευτήρα είναι ίση με 117.1 m³/s. Τα υψόμετρα της λεκάνης απορροής κυμαίνονται από +284 m έως +2433 m. Το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης αποτελείται κατά κύριο λόγο από το φλύσχη της ζώνης του Γαβρόβου και της Πίνδου και τους ελαφρά δολομιτιωμένους ασβεστόλιθους της ζώνης του Γαβρόβου και τους ασβεστόλιθους με ενδιαστρώσεις κερατολίθων, αργιλικών σχιστολίθων και φλύσχη της ζώνης Πίνδου (*IGRS-BP, 1971, Λυκούδη, 2000*). Η λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα των Κρεμαστών παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.

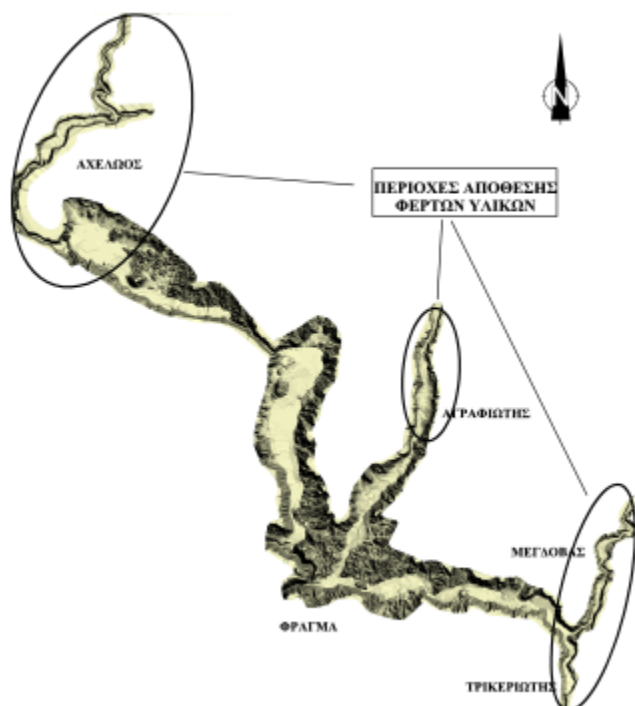


Σχήμα 1: Η λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα Κρεμαστών
 Figure 1: Kremasta reservoir watershed.

Υπολογισμός του όγκου των αποθέσεων και της χωρικής κατανομής τους.

Σημείο – κλειδί της ερευνητικής μεθοδολογίας είναι η υδρογραφική αποτύπωση του ταμιευτήρα Κρεμαστών που διενεργήθηκε κατά τη διετία 1998–1999. Η υδρογραφική αποτύπωση έγινε με τη χρήση του διαφορικού Συστήματος Δορυφορικού Εντοπισμού (differential Global Position System, GPS) για τον προσδιορισμό της θέσης και ενός ηχοβολιστικού βυθόμετρου (echo sounder) για τον προσδιορισμό του βάθους του πυθμένα. Το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (ΨΜΑ) του πυθμένα πριν την κατασκευή του φράγματος έγινε με βάση την ψηφιοποίηση των αρχικών τοπογραφικών διαγραμμάτων κλίμακας 1:5000. Αντίστοιχα το ΨΜΑ του πυθμένα στη σημερινή του μορφή έγινε από τη σύζευξη των ψηφιακών αρχείων του GPS και του ηχοβολιστικού βυθόμετρου. Ο κάρναβος των ΨΜΑ προέκυψε ύστερα από την εφαρμογή του αλγόριθμου τριγωνισμού με γραμμική παρεμβολή που είναι διαθέσιμος στο λογισμικό πακέτο SURFER. Ο υπολογισμός του όγκου των αποθέσεων έγινε μέσω της υψομετρικής αφαίρεσης των δύο ΨΜΑ και ο συνολικός όγκος των αποθέσεων φερτών υλικών στον ταμιευτήρα των Κρεμαστών ανέρχεται σε 66.6 hm³.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των αποθέσεων των φερτών υλικών. Ο συνολικός όγκος των αποθέσεων εμφανίζεται μόνο στις εκβολές των ποταμών στον ταμιευτήρα ενώ το εσωτερικό τμήμα του ταμιευτήρα είναι άδαιο από φερτά υλικά. Η παρατήρηση αυτή θέτει καταρχήν υπό σοβαρή αμφισβήτηση την έννοια του νεκρού όγκου στη διαστασιολόγηση των ταμιευτήρων, όπως αυτή εννοείται σήμερα. Το ίδιο συμπέρασμα αναφέρεται και από τους Αλμπανάκη *et al.*, (1993) για την τεχνητή λίμνη Κερκίνη. Συγκεκριμένα θεωρείται συμβατικά ότι νεκρός όγκος είναι ο όγκος του ταμιευτήρα ο οποίος βρίσκεται χαμηλότερα από μία δεδομένη στάθμη. Αυτό όμως δεν αντιστοιχεί στην πραγματική εικόνα των αποθέσεων των φερτών υλικών, αφού οι αποθέσεις καταλαμβάνουν τμήμα του ωφέλιμου όγκου, ενώ ο νεκρός όγκος είναι άδειος από φερτά υλικά.



Σχήμα 2: Χωρική κατανομή των αποθέσεων φερτών υλικών στον ταμιευτήρα Κρεμαστών.

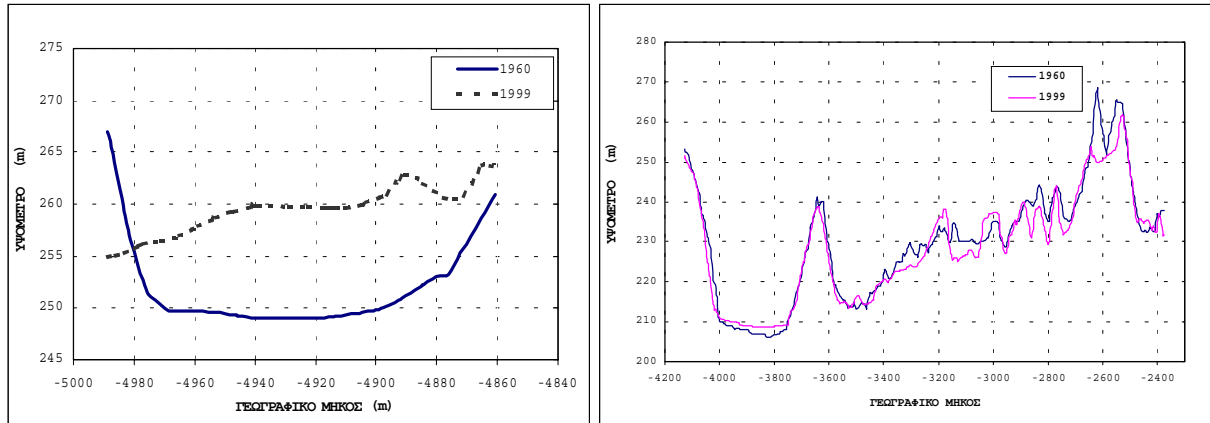
Figure 2: Spatial distribution of sediment deposits in Kremasta reservoir.

Η μορφολογία του συγκεκριμένου ταμιευτήρα σε συνδυασμό με την παρατηρημένη χωρική κατανομή των αποθέσεων δίνει τη δυνατότητα για τη μελέτη της στερεοαπορροής τριών διαφορετικών λεκανών απορροής (Αχελώος, Αγραφιώτης και Μέγδοβας). Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι όγκοι και η έκταση των αποθέσεων για κάθε ένα κλάδο του ταμιευτήρα.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά μεγέθη των αποθέσεων φερτών υλικών.
Table 1: Characteristic values of sediment deposits.

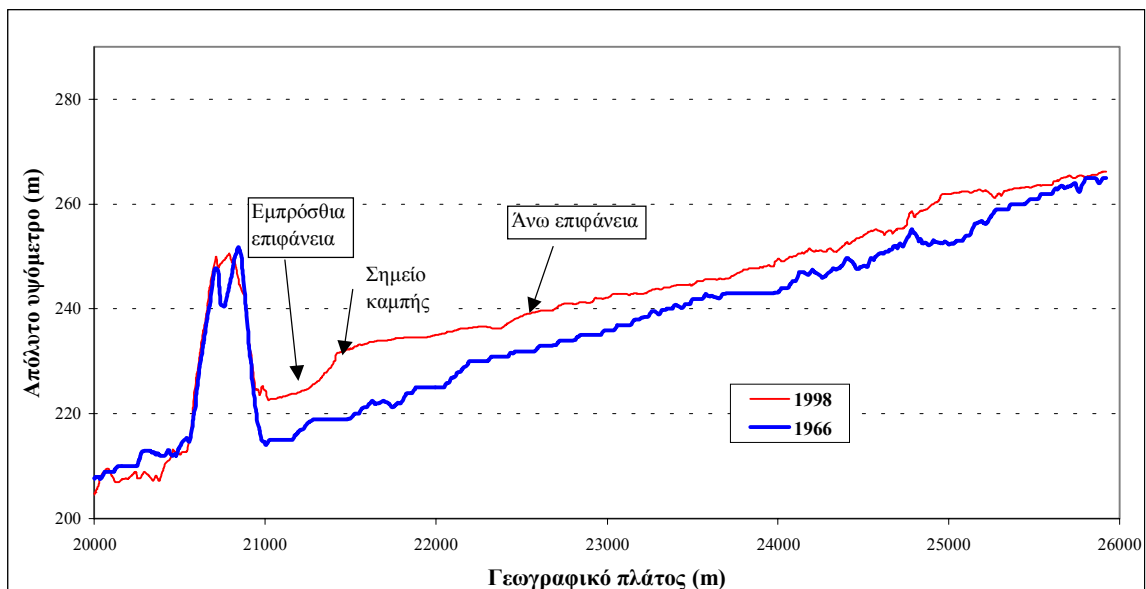
Τμήματα λεκάνης κατάκλυσης	Επιφάνεια λεκάνης απορροής (km ²)	Όγκος αποθέσεων (hm ³)	Έκταση αποθέσεων (km ²)
Αχελώος	1733	41.3	5.7
Αγραφιώτης	320	13.1	2.5
Μέγδοβας (Ταυρωπός)	1239	12.2	2.2
ΣΥΝΟΛΟ	3292	66.6	10.4

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικές εγκάρσιες τομές του πυθμένα του ταμιευτήρα όπου φαίνονται οι αποθέσεις των φερτών υλικών. Στην αριστερή τομή (στο ανάντη τμήμα του ταμιευτήρα στον κλάδο του Αχελώου) φαίνεται πολύ καθαρά η σημαντική απόθεση των φερτών υλικών που στη διατομή αυτή φτάνει τα 10 m. Αντίθετα στη δεξιά εγκάρσια τομή (στο εσωτερικό, κεντρικό τμήμα του ταμιευτήρα) φαίνεται ότι δεν υπάρχουν καθόλου αποθέσεις. Παρατηρείται ότι παρά την εξαιρετικά έντονη μορφολογία του πυθμένα γενικά υπάρχει ικανοποιητική ταύτιση των δύο αναγλύφων. Υπάρχουν βέβαια κάποιες περιοχές που φαίνεται να υπάρχει ακόμα και διάβρωση αλλά αυτό οφείλεται στα αναπόφευκτα σφάλματα της μεθόδου υπολογισμού. Τα σφάλματα αυτά προέρχονται κατά κύριο λόγο από την απόσταση των βολιστικών γραμμών της υδρογραφικής αποτύπωσης, την επιλεκτική διαθεσιμότητα του GPS καθώς βεβαίως και από τα σφάλματα στις αρχικής τοπογραφικής αποτύπωσης. Σε κάθε περίπτωση πάντως η ακρίβεια στον υπολογισμό του όγκου των αποθέσεων της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ικανοποιητική ως προς το σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιείται.



Σχήμα 3: Χαρακτηριστικές εγκάρσιες τομές του πυθμένα του ταμιευτήρα Κρεμαστών σε δύο διαφορετικές περιόδους.
 Figure 3: Characteristic cross sections of Kremasta reservoir's invert in two different time periods.

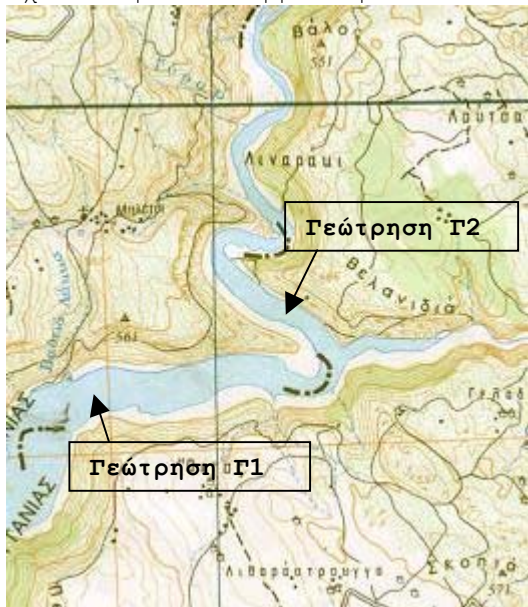
Στο Σχήμα 4 φαίνεται η μηκοτομή της κοίτης του π. Αγραφιώτη στο τμήμα που καταλαμβάνει ο ταμιευτήρας Κρεμαστών στην αρχική και στη σημερινή του μορφή. Καταρχήν διαπιστώνονται οι αποθέσεις των φερτών υλικών η μορφή των οποίων δείχνει να ακολουθεί την τυπική μορφή των αποθέσεων που αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία (π.χ. Graf, 1971, Sloff, 1991). Πράγματι παρατηρείται ότι η σημερινή κοίτη του π. Αγραφιώτη έχει κλίση μικρότερη από την αρχική δημιουργώντας την άνω επιφάνεια (topset bed), η οποία αντιστοιχεί μεταξύ του 1/2 και των 2/3 της αντίστοιχης κλίσης της αρχικής επιφάνειας. Η επιφάνεια αυτή διακόπτεται στο σημείο καμψής, από το οποίο ξεκινά η εμπρόσθια επιφάνεια (frontset bed), επίσης τυπικό χαρακτηριστικό σε δελταϊκές αποθέσεις. Η κλίση της εμπρόσθιας επιφάνειας είναι συνήθως πέντε φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της άνω επιφάνειας. Το σημείο τομής της άνω επιφάνειας με την εμπρόσθια επιφάνεια δημιουργείται από τη μέγιστη υπερειρήσια ταπείνωση της στάθμης του ταμιευτήρα, και ιδιαίτερα όταν αυτή η ταπείνωση χρονικά συμπίπτει με την έναρξη της υγρής περιόδου, γεγονός που συνήθως συμβαίνει σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες. Πράγματι, το σημείο καμψής εμφανίζεται σε απόλυτη στάθμη +231.4 m το οποίο είναι ίσο με το μέγιστο καταβίβασμό της στάθμης του ταμιευτήρα ο οποίος παρατηρήθηκε το Σεπτέμβριο 1983. Η έξαρση του αναγλύφου στο αριστερό τμήμα της μηκοτομής οφείλεται σε στροφή της κοίτης του ποταμού Αγραφιώτη (μαιανδρισμός).



Σχήμα 4: Μηκοτομή της κοίτης του π. Αγραφιώτη στον ταμιευτήρα των Κρεμαστών.
 Figure 4: Longitudinal section of R. Agrafiotis at Kremasta reservoir.

Διενέργεια δειγματοληπτικών πλωτών γεωτρήσεων

Για την επαλήθευση των υπολογισμών και του πάχους των αποθέσεων αλλά κυρίως για τον υπολογισμό της φυσικοχημικής σύστασης (π.χ. πυκνότητα, κοκκομετρική διαβάθμιση) και της ορυκτολογικής προέλευσης των φερτών υλικών διενεργήθηκαν δύο πλωτές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις το Σεπτέμβριο του 2001. Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται οι θέσεις των δύο γεωτρήσεων στον κλάδο του Αχελώου με το συμβολισμό Γ1 και Γ2.



Σχήμα 5: Οι θέσεις διενέργειας των πλωτών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στον κλάδο του π. Αχελώου στον ταμιευτήρα Κρεμαστών.

Figure 5: Sites of two core sampling wells at R. Acheloos at Kremasta reservoir.

Οι πλωτές γεωτρήσεις διενεργήθηκαν σε βάθος εξόρυξης 20 m η καθεμία με το γεωτρήπανο LONGYEAR 36. Καταρχήν διαπιστώθηκε ότι το πάχος των αποθέσεων στα δύο αυτά σημεία συμφωνεί σε ικανοποιητικό βαθμό με τις υπολογισθείσες τιμές από την υδρογραφική αποτύπωση. Το όριο των αποθέσεων με την κοίτη του Αχελώου προ της κατασκευής του φράγματος είναι και στις δύο περιπτώσεις ευδιάκριτο με σημαντική μεταβολή του υλικού στη διεπαφή. Πράγματι, τα φερόμενα ως στρώματα αποθέσεων αποτελούνται από πολύ λεπτόκοκκο υλικό ιλυώδους αργίλου κατά κύριο λόγο με πλήρη απουσία χονδροκόκκων υλικών που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως υλικό κοίτης. Αυτό οφείλεται κυρίως στη σημαντική απόσταση της θέσης των γεωτρήσεων από την αρχή του ταμιευτήρα στη μέγιστη στάθμη και στη μείωση της ταχύτητας ροής που είναι ιδιαίτερα σημαντική. Για παράδειγμα, στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται σε συνοπτική μορφή η λιθολογική τομή της γεώτρησης Γ2.

Πίνακας 2: Λιθολογική τομή γεώτρησης Γ2.

Table 2: Lithological section of core well C2.

α/α	Βάθος δείγματος (m)	Χαρακτηρισμός εδαφικού στρώματος
1.	0.00–3.00 m	Στρώμα χαλαρής τεφρής ιλυοαργιλώδους άμμου.
2.	3.00–5.40 m	Στρώμα τεφρής μαλακής αργίλου χαμηλής πλαστικότητας.
3.	5.40–5.60 m	Στρώμα αποθέσεων παλαιάς κοίτης ποταμού με ευμεγέθεις ($d_{max} = 10 \text{ cm}$) κροκάλες ασβεστόλιθου και κερατόλιθου.
4.	5.60–20.00 m	Στρώμα χαλικών όχι καλής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο πυκνής απόθεσης. Το μέγεθος των χαλικών μειώνεται προοδευτικά με το βάθος.

Είναι φανερό ότι το πάχος των αποθέσεων στη γεώτρηση αυτή είναι ίσο με 5.4 m καθώς είναι ολοφάνερη η μεταβολή του υλικού στη διεπιφάνεια αυτή. Στη θέση της γεώτρησης Γ2, όπου το βάθος του νερού ήταν μόνο 1 m περίπου, παρατηρήθηκε στην κοίτη μια σημαντικά εγκάρσια αναβαθμίδα με σημαντικό κατά μήκος μέτωπο παράλληλα στη φυσική ροή του ποταμού, η οποία παρουσιάζεται στη Φωτογραφία 1. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αναβαθμίδα αυτή δεν είχε εντοπιστεί κατά τη διάρκεια της υδρογραφικής αποτύπωσης.



Φωτογραφία 1: Αποψη της αναβαθμίδας εγκάρσια της κοίτης του ταμιευτήρα στη θέση της γεώτρησης Γ2. Το κατάντη τμήμα είναι προς τα δεξιά.

Photograph 1: View of the river terrace across the reservoir bed at the position of core well C2. The downstream part of the reservoir lies on the right of the photograph.

Θα ήταν ενδιαφέρον εδώ να εξετάσει κανείς την «ιστορία» του ταμιευτήρα από την ημερομηνία διενέργειας της υδρογραφικής αποτύπωσης έως τη διενέργεια της δειγματοληπτικής γεώτρησης το Σεπτέμβριο του 2001. Από το καλοκαίρι του 1999 και ένθεν ακολούθησαν δύο ξηρά υδρολογικά έτη, που σε συνάρτηση με την πολιτική διαχείρισης του ταμιευτήρα, είχε ως αποτέλεσμα η στάθμη του να εμφανίζει σημαντική πτώση με μέγιστο ελάχιστο στα +250.82 m το Δεκέμβριο του 2000. Η στάθμη αυτή είναι κατά 8 m χαμηλότερη από την αντίστοιχη στάθμη κατά τη δειγματοληψία, γεγονός που δείχνει ότι η συγκεκριμένη περιοχή ήταν εκτός ταμιευτήρα για τουλάχιστον ένα έτος και στην περιοχή εκείνη ο Αχελώος είχε την κανονική του ροή. Η στάθμη του ταμιευτήρα κατά την περίοδο της υδρογραφικής αποτύπωσης ήταν στο +269 m περίπου, ενώ κατά την περίοδο της δειγματοληπτικής γεώτρησης η αντίστοιχη στάθμη ήταν στο +258 m. Τα σταθμημετρικά δεδομένα του ταμιευτήρα προέρχονται από το σταθμήμετρο που είναι εγκατεστημένο από τη ΔΕΗ στη θέση του φράγματος. Με τις πρώτες χειμερινές πλημμύρες του υδρολογικού έτους 2000-2001, οι οποίες πλέον στο σημείο εκείνο είχαν μικρότερη μείωση της ταχύτητας ροής (λόγω της καμπύλης υπερύψωσης από τον ταμιευτήρα) απότι θα είχαν σε άλλη περίπτωση (με υψηλότερη στάθμη στον ταμιευτήρα), έγινε διάβρωση (εκσκαφή) των επιφανειακών στρωμάτων των αποθέσεων στο δυτικό τμήμα της διατομής. Όπως φαίνεται και στη φωτογραφία, το υλικό των αποθέσεων που αποκαλύπτεται από την αναβαθμίδα (και ουσιαστικά προσφέρει μια αποκαλυπτική τομή των αποθέσεων) είναι κατά κύριο λόγο πολύ μικρής διαμέτρου κόκκου (ιλυοαργιλώδης άμμος) και πολύ εύκολα διαβρώσιμο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η υδρογραφική αποτύπωση των ταμιευτήρων μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ ικανοποιητικό εργαλείο για την αξιόπιστη εκτίμηση της στερεοαπορροής της ανάντη λεκάνης. Οι αποθέσεις των φερτών υλικών στον ταμιευτήρα των Κρεμαστών περιορίζονται μόνο στα ανάντη τμήματα του ταμιευτήρα και ο όγκος τους μετρήθηκε ίσος με 66.6 hm³. Ο όγκος των αποθέσεων υπολογίστηκε από την

υψομετρική αφαίρεση των δύο ΨΜΑ που προέκυψαν για την λεκάνη κατάκλυσης του ταμιευτήρα πριν από την κατασκευή του φράγματος και για την υδρογραφική αποτύπωση του ταμιευτήρα στη σημερινή του μορφή. Η παντελής απουσία των αποθέσεων κοντά στο φράγμα, δηλαδή στην περιοχή που καταλαμβάνει ο νεκρός όγκος του φράγματος, δείχνει ότι απαιτείται μια διαφορετική προσέγγιση στην έννοια του νεκρού όγκου, τουλάχιστον για τους μεγάλους ταμιευτήρες.

Η μορφή των αποθέσεων των φερτών υλικών είναι συνάρτηση των πλημμυρικών απορροών, της σύστασης των φερτών υλικών και της στάθμης του ταμιευτήρα. Η μορφολογική εξέλιξη των αποθέσεων είναι διαρκής και αποτελεί ένα δυναμικό φαινόμενο. Η εξέλιξη αυτή δεν είναι μόνο αποτέλεσμα της επιπλέον εισροής φερτών υλικών στον ταμιευτήρα αλλά και της εσωτερικής μετακίνησης των αποθέσεων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή αποτελεί τμήμα του ερευνητικού προγράμματος που χρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) και τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) στα πλαίσια του προγράμματος ΣΥΝ 96. Οι συγγραφείς επιθυμούν να ευχαριστήσουν τους Θ. Ζησόπουλο, Ι. Κώτση και Δ. Παραδείση για την πολύτιμη συμβολή τους στη διενέργεια της υδρογραφικής αποτύπωσης του ταμιευτήρα Κρεμαστών. Επίσης τους συναδέλφους στον Τομέα Τοπογραφίας και Μελετών Οδοποιίας της ΔΕΗ για την ψηφιοποίηση των αρχικών τοπογραφικών διαγραμμάτων της λεκάνης κατάκλυσης του ταμιευτήρα. Επίσης το τεχνικό γραφείο γεωτεχνικών μελετών ΠΑΝΓΑΙΑ ΑΕ και προσωπικά τον κ. Χ. Τσατσάνυφο για την πολύτιμη συμβολή τους στην εκτέλεση των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αλμπανάκης, Κ., Ψιλοβίκος, Α. και Ε. Παπαφιλίππου - Πέννου, 1993, Εξέλιξη της δελταϊκής ιζηματογένεσης στην Τεχνητή Λίμνη Κερκίνη από την κατασκευή της ως σήμερα, *Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας*, 26-29 Απριλίου, Ρόδος, σσ.276-279.

Ζαρρής, Δ., Ε. Λυκούδη και Δ. Κουτσογιάννης, 2001, Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες, Ερευνητικό πρόγραμμα, Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Λυκούδη, Ε., 2000, Γεωμορφολογική εξέλιξη της λεκάνης απορροής του άνω ρου του Αχελώου ποταμού, *Διδακτορική διατριβή*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Duck, R.W. and J. McManus, 1994, A long term estimate of bedload and suspended sediment yield derived from reservoir deposits, *Journal of Hydrology*, 159, 365-373.

Graf, W.H., 1971, *Hydraulics of sediment transport*, McGraw-Hill, New York

Heineman, H.G., 1984, Reservoir trap efficiency, In: *Erosion and sediment yield: some methods of measurement and modelling*, pp. 201-217, University Press, Cambridge.

IGRS-BP, 1971, Institut de Geologie et Recherches du Sous-sol et British Petroleum Ltd. Co, Athenes-Londres. The geological Results of Petroleum Exploration in Western Greece. Athens, IGRS, No 10.

Rowan, J.S., P. Goodwill and M. Greco, 1995, Temporal variability in catchment sediment yield determined from repeated bathymetric surveys: Abbeystead Reservoir, UK, *Phys. Chem. Earth*, (20) 2, 199-206.

Sloff, C.G., 1991, Reservoir sedimentation: A literature survey, *Communications on hydraulic and geotechnical engineering*, Delft University of Technology.

Syvitski, J.P., M.D. Morehead, D.B. Bahr, and T. Mulder, 2000, Estimating fluvial sediment transport: The rating parameters, *Water Resources Research*, 36, 9, pp. 2747-2760.