



Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες

Δ. Ζαρρής, Ε. Λυκούδη & Δ. Κουτσογιάννης
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Επ. Υπεύθυνος: Δ. Κουτσογιάννης

**Ερευνητικό έργο: Διερεύνηση των αποθέσεων
φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες**

**Ερευνητικό πρόγραμμα συγχρηματοδοτήσεων
(ΣΥΝ 96)**

- ◆ Έγκριση και συγχρηματοδότηση: **Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας**
- ◆ Φορέας χρήστης και συγχρηματοδότης: **Διεύθυνση Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων ΔΕΗ**
- ◆ Φορέας έρευνας: **Τομέας Υδατικών Πόρων ΕΜΠ**

Εργασίες πεδίου: Υδρογραφική αποτύπωση ταμιευτήρα Κρεμαστών



Εργασίες πεδίου: Πλωτές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις



**Εργασίες πεδίου:
Μετρήσεις
στερεοπαροχής στο
Αυλάκι και
εγκατάσταση
θολομέτρου**



Επεξεργασίες για την εκτίμηση του όγκου των αποθέσεων

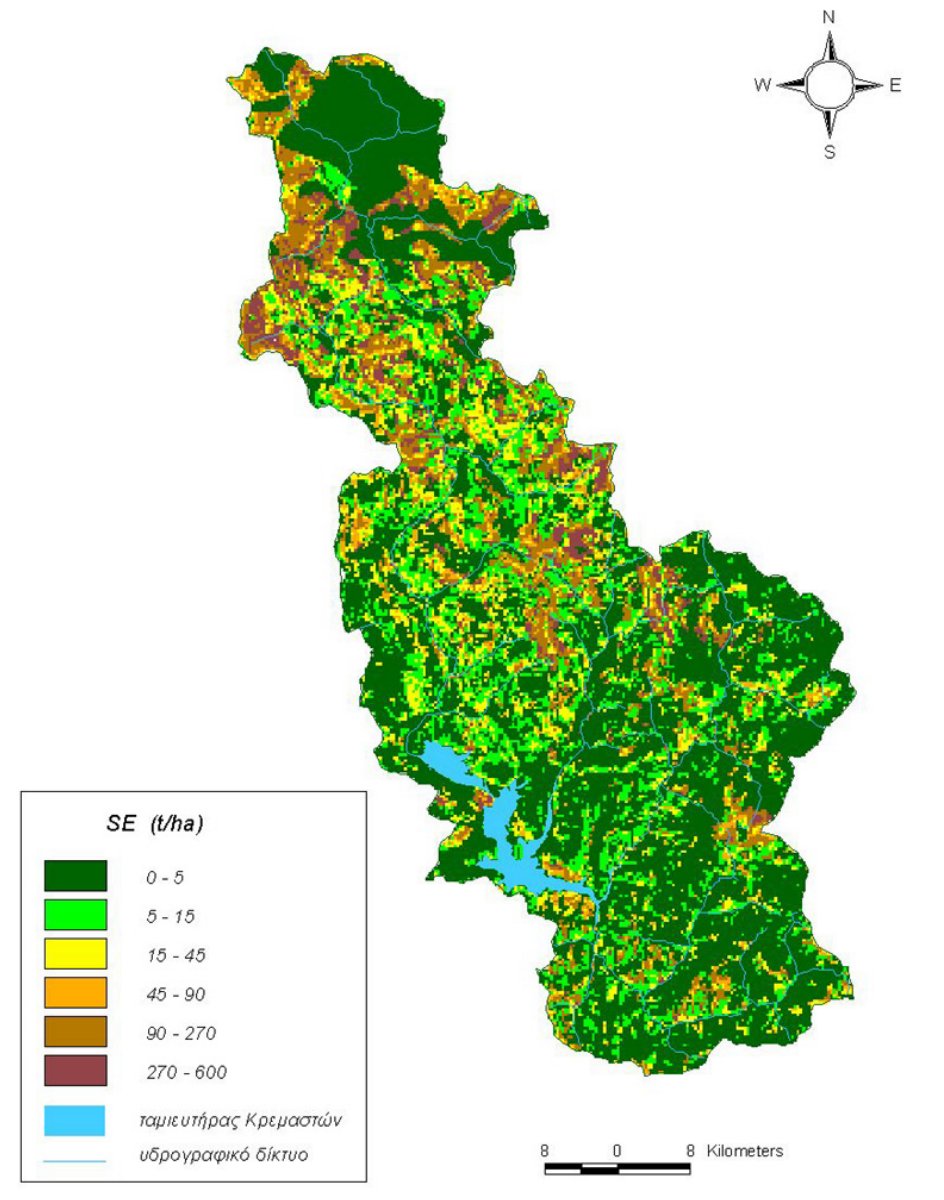
- ◆ Ψηφιοποίηση παλιών τοπογραφικών υποβάθρων - Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου παλιού αναγλύφου
- ◆ Επεξεργασία δεδομένων υδρογραφικής αποτύπωσης – Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου νέου αναγλύφου
- ◆ Συγκρίσεις, έλεγχοι και εξαγωγή εκτίμησης όγκου αποθέσεων

Εργασίες ανάλυσης

- ◆ Εκτεταμένη βιβλιογραφική επισκόπηση για διάβρωση, στερεομεταφορά και απόθεση φερτών
- ◆ Συγκέντρωση δεδομένων της ανάντη λεκάνης και δημιουργία ψηφιακών υποβάθρων σε σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας:
 - Βροχόπτωση
 - Απορροή
 - Γεωμορφολογία
 - Γεωλογία
 - Φυτοκάλυψη
 - Χρήσεις γης

Εργασίες μοντελοποίησης

- ◆ Προσαρμογή μοντέλου εδαφικής διάβρωσης της λεκάνης σε περιβάλλον συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας
- ◆ Σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με αυτά από τις μετρήσεις



Ερευνητική Ομάδα

- Δ. Κουτσογιάννης, Επ. Υπεύθ.
- Δ. Ζαρρής, Πολ. Μηχ., M.Sc. Υδρολογίας
- Ε. Λυκούδη, Δρ. Γεωλογίας
- Θ. Ζησόπουλος, ΑΤΜ, Υπ. Διδ. ΕΜΠ
- Ν. Μαμάσης, Δρ. Μηχανικός
- Ι. Κώτσης, ΑΤΜ, Υπ. Διδ. ΕΜΠ
- Α. Κουκουβίνος, ΑΤΜ

Ψηφιοποίηση
αρχικών
τοπογραφικών
διαγραμμάτων
ΔΕΗ/ΔΑΥΕ/ΤΤΜΟ

Ειδικός Σύμβουλος

- Δ. Παραδείσης, Αν. Καθηγ. ΕΜΠ, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου

Επιβλέπων

- Χ. Μακρυγιώργος, Πολ. Μηχ., ΔΕΗ/ΔΑΥΕ/ΤΣΜΥΣ

Αντικειμενικοί στόχοι ερευνητικού προγράμματος

- Εκτίμηση του ρυθμού πρόσχωσης ταμιευτήρα Κρεμαστών
- Εκτίμηση της στερεοαπορροής της συνολικής λεκάνης αλλά και των τριών κλάδων αντίστοιχα
- Εκτίμηση φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των φερτών υλικών
- Εκτίμηση της χωρικής κατανομής των αποθέσεων στον ταμιευτήρα

Ερευνητική μεθοδολογία

- Υδρογραφική αποτύπωση ταμιευτήρα με χρήση DGPS και ηχοβολιστικού βυθόμετρου
- Ψηφιοποίηση αρχικών τοπογραφικών υποβάθρων διαθέσιμων στη ΔΕΗ κλίμακας 1:5000
- Κατασκευή ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου και εξαγωγή όγκου αποθέσεων με υψομετρική αφαίρεση των αντίστοιχων ΨΜΑ

Περισσότερες πληροφορίες...

1. Δημιουργία κανάβου μεγέθους 6 m * 6 m
2. Τριγωνισμός με γραμμική παρεμβολή

Ερευνητική μεθοδολογία (συν.)

- Διενέργεια δύο δειγματοληπτικών πλωτών γεωτρήσεων στον κλάδο του Αχελώου⁽¹⁾
- Προσδιορισμός της σύστασης των φερτών υλικών, εκτίμηση της πυκνότητάς τους καθώς και των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους
- Υπολογισμός της μάζας των αποθέσεων των φερτών υλικών και της στερεοαπορροής⁽²⁾ για το διάστημα λειτουργίας του έργου (34 χρόνια)

Περισσότερες πληροφορίες...

1. Βάθος γεωτρήσεων: 20m
2. Στερεοαπορροή: Μάζα φερτών ανά km² λεκάνης και ανά έτος

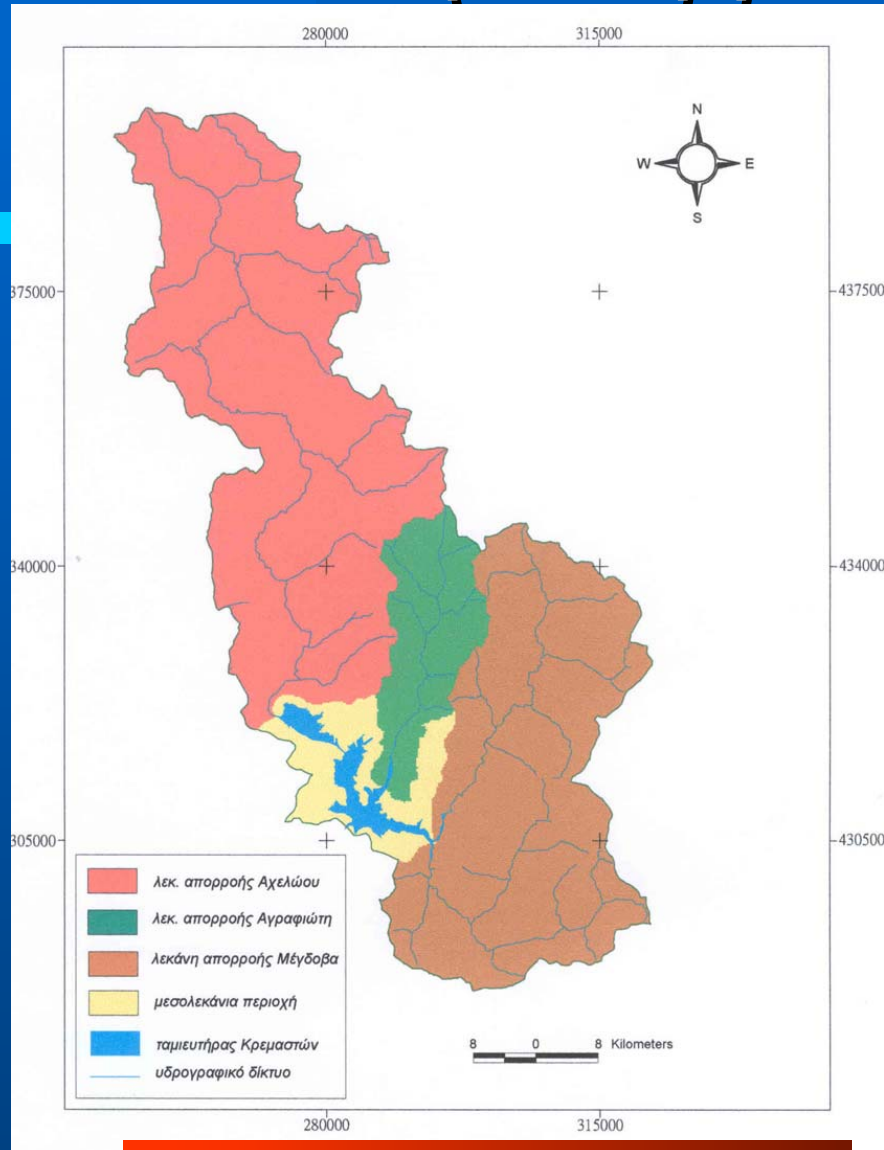
Ερευνητική μεθοδολογία (συν.)

- Υπολογισμός της μέσης ετήσιας διάβρωσης της λεκάνης απορροής με χρήση της Universal Soil Loss Equation με το μαθηματικό μοντέλο SEAGIS⁽¹⁾
- Εκτίμηση συντελεστή στερεοαπορροής (delivery ratio)⁽²⁾ και σύγκριση με άλλες λεκάνες του ελληνικού χώρου

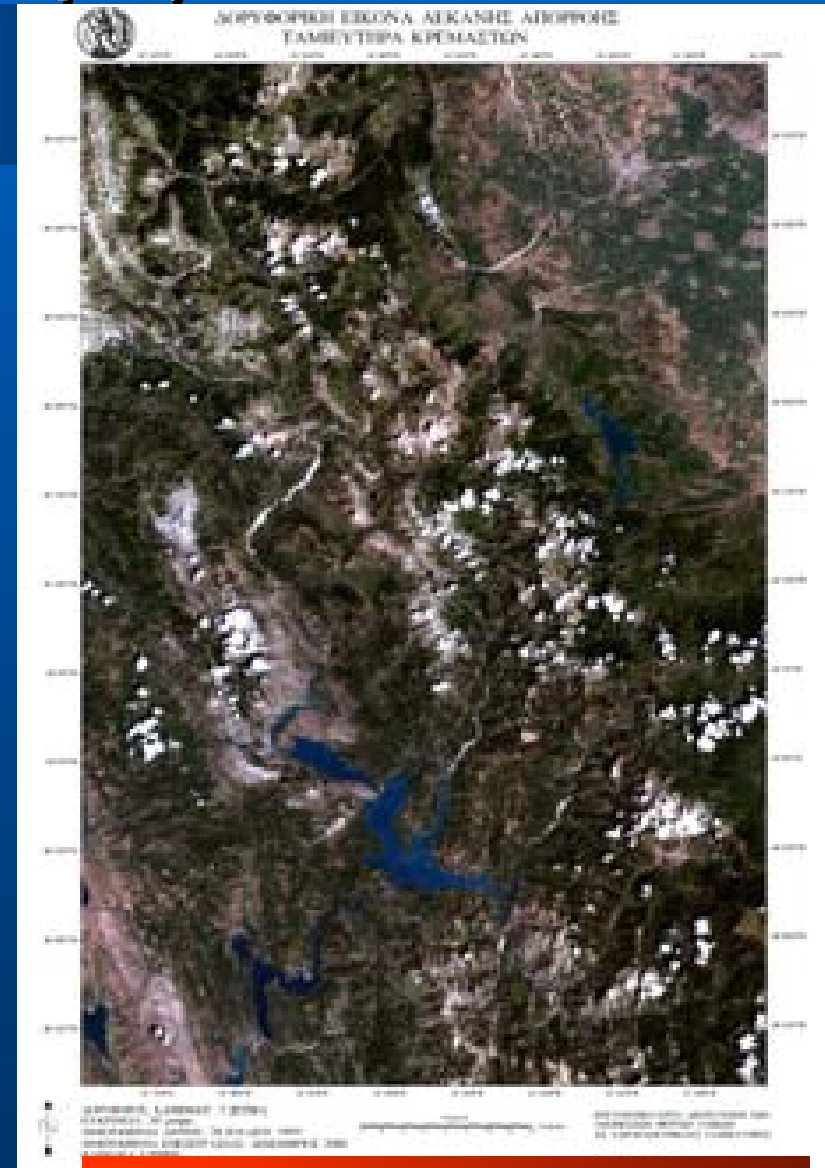
Περισσότερες πληροφορίες...

1. USLE με χρήση Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας (GIS)
2. Ο λόγος της στερεοαπορροής προς την εδαφική διάβρωση

Λεκάνη απορροής Κρεμαστών

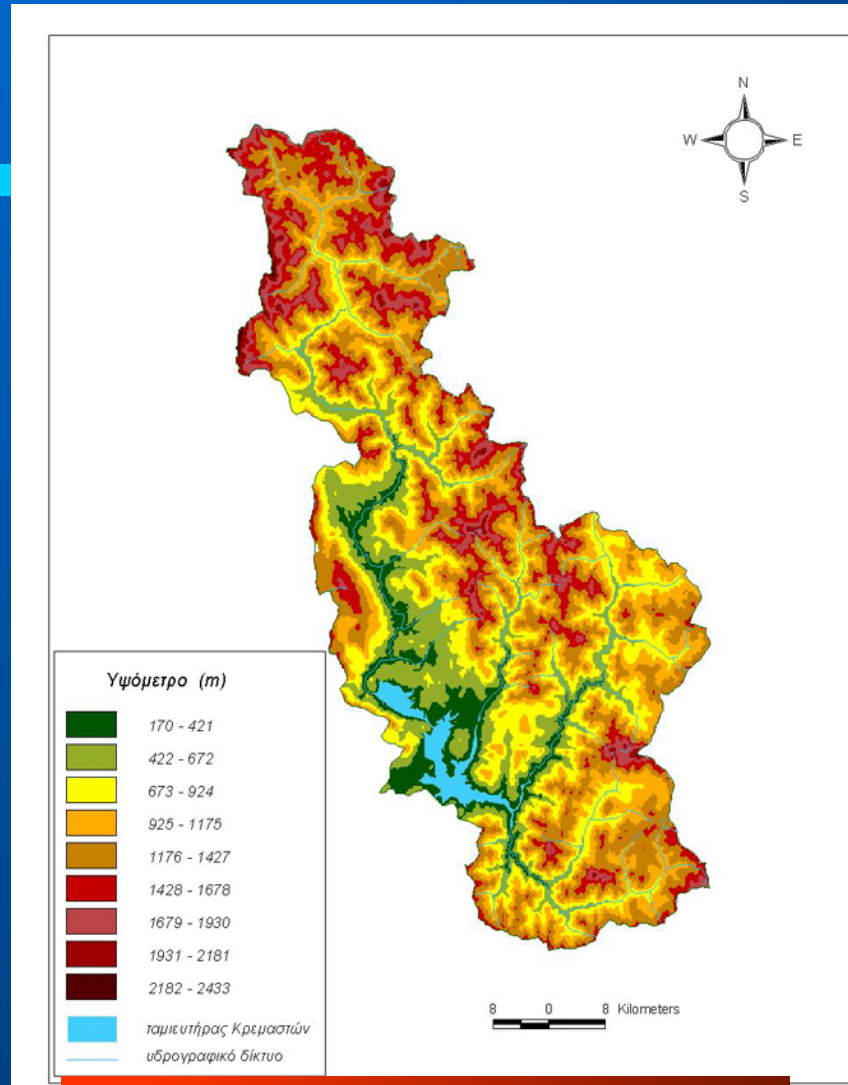


Λεκάνη απορροής Κρεμαστών

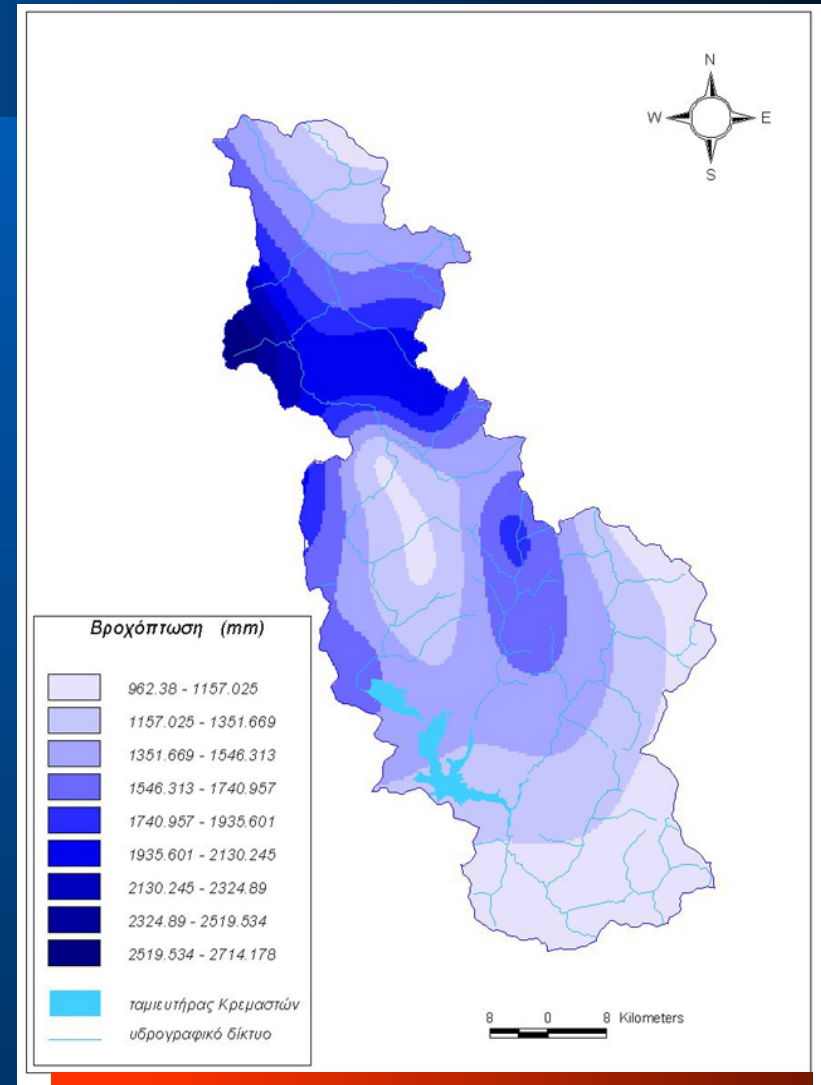


Δορυφορική Εικόνα LANDSAT 7

Λεκάνη απορροής Κρεμαστών (συν.)

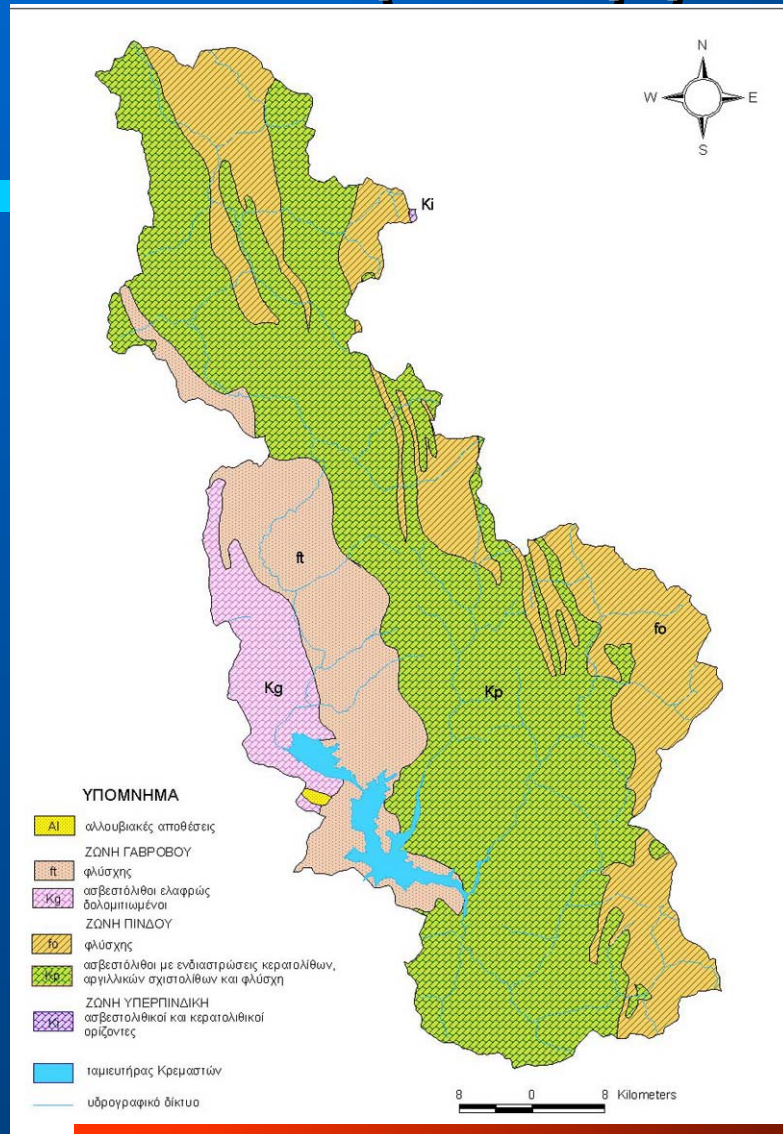


Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

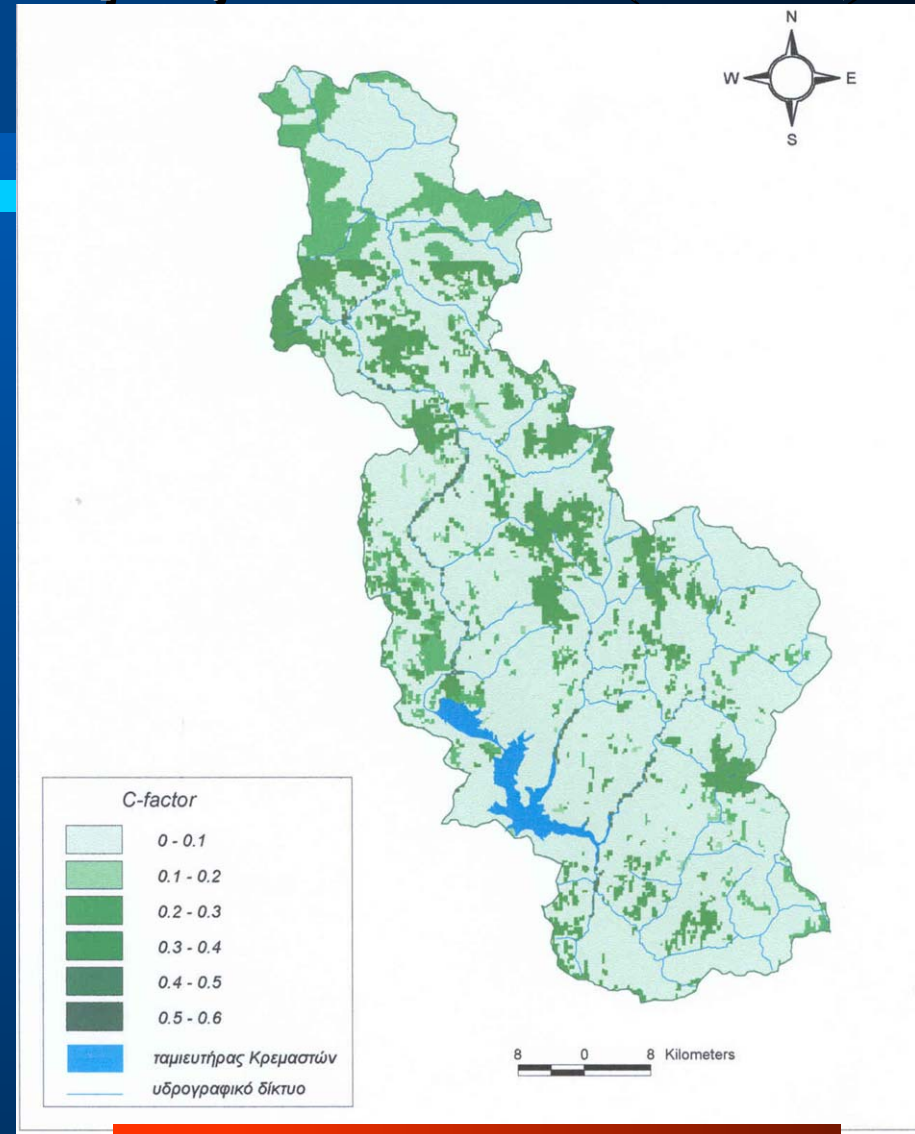


Μέση ετήσια βροχόπτωση

Λεκάνη απορροής Κρεμαστών (συν.)



Γεωλογικοί σχηματισμοί



Χρήσεις γης

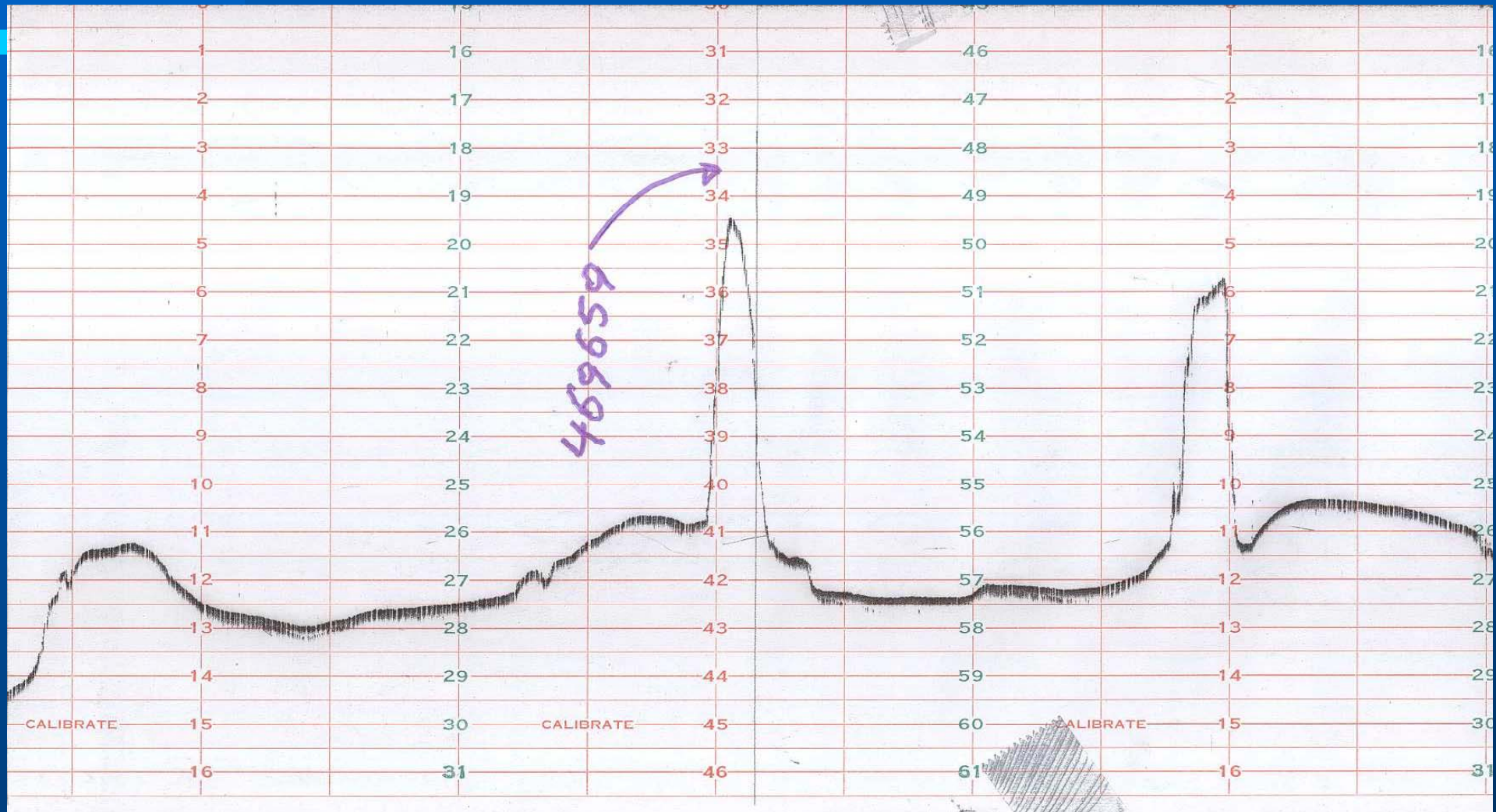
Υδρογραφική αποτύπωση ταμιευτήρα

- **Εντοπισμός:** Διαφορικό Δορυφορικό Σύστημα Εντοπισμού (DGPS) (σταθμός αναφοράς και κινούμενος δέκτης) με οριζοντιογραφική ακρίβεια 2-5 m⁽¹⁾
- **Απόσταση μεταξύ βολιστικών γραμμών** κυμαινόμενη από 50 έως 150 m, επιπλέον των γραμμών ελέγχου.
- **Προσδιορισμός βάθους:** Χρήση υδρογραφικού βυθόμετρου Raytheon DE 719B συχνότητας 200 kHz⁽²⁾

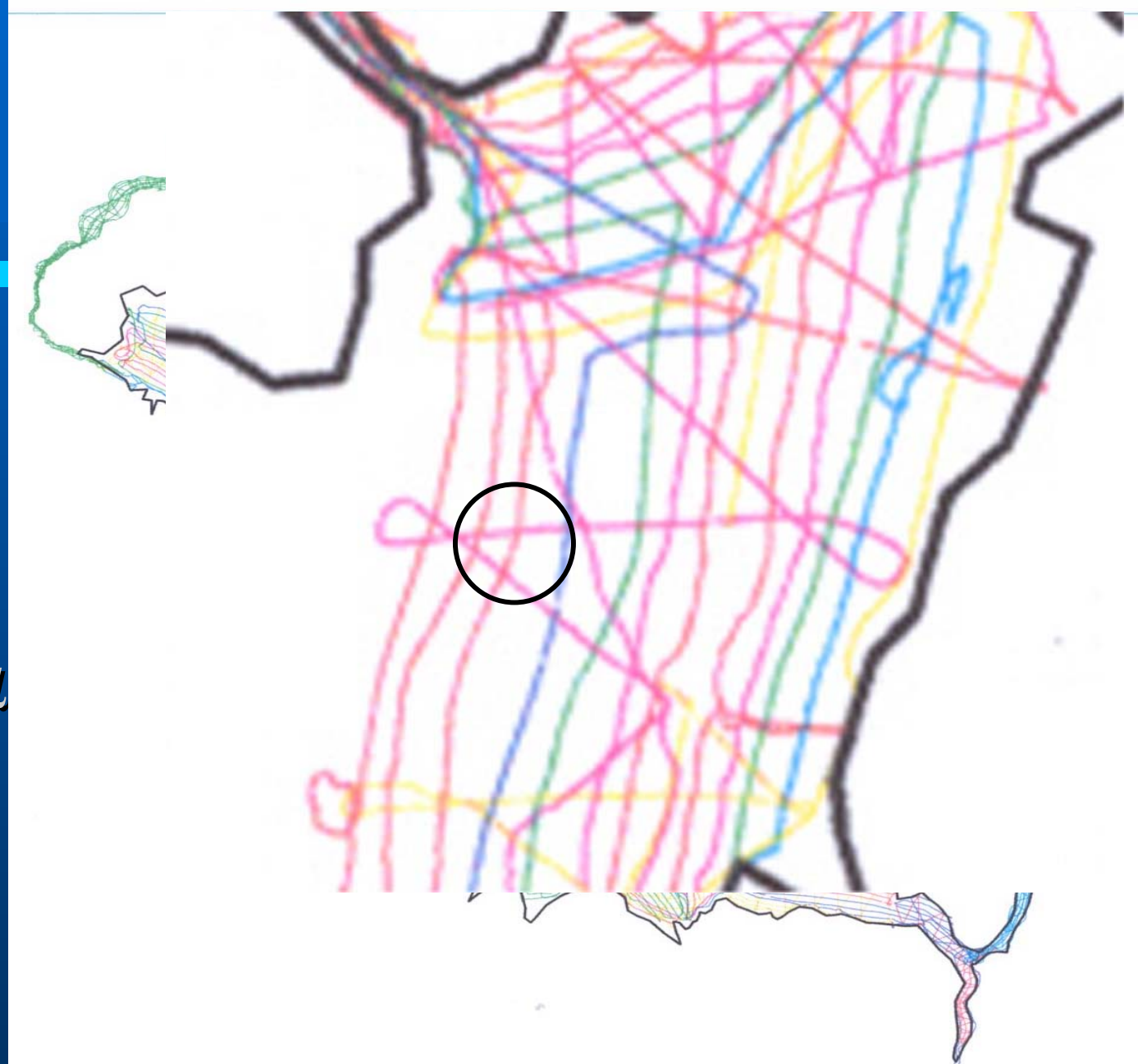
Περισσότερες πληροφορίες...

1. Σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% με επιλεκτική διαθεσιμότητα
2. Σφάλμα μέτρησης βάθους: 0.5%±1 in του συνολικού βάθους.

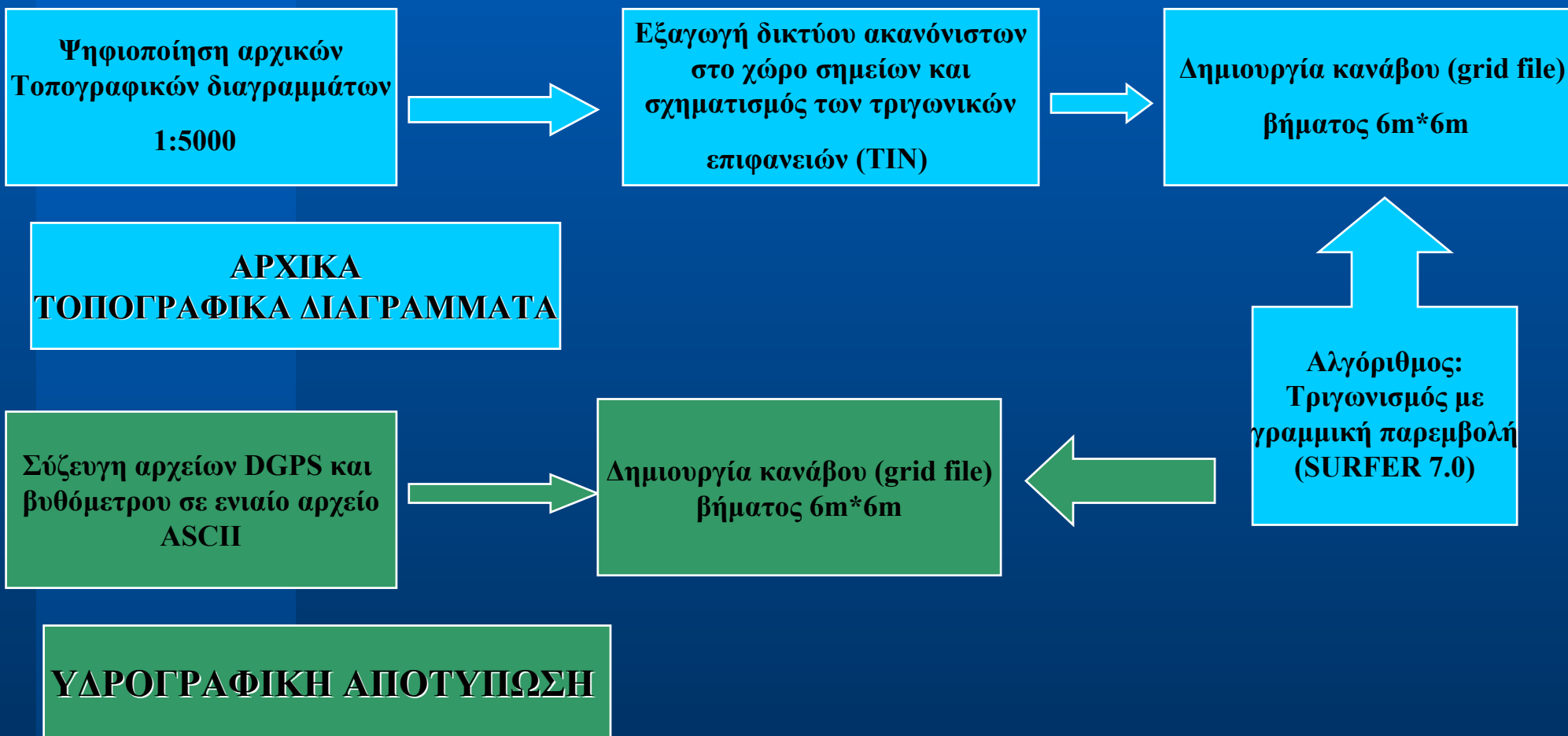
Παράδειγμα καταγραφής βάθους



Βολιστικές
γραμμές
σάρωσης
ταμιευτήρα



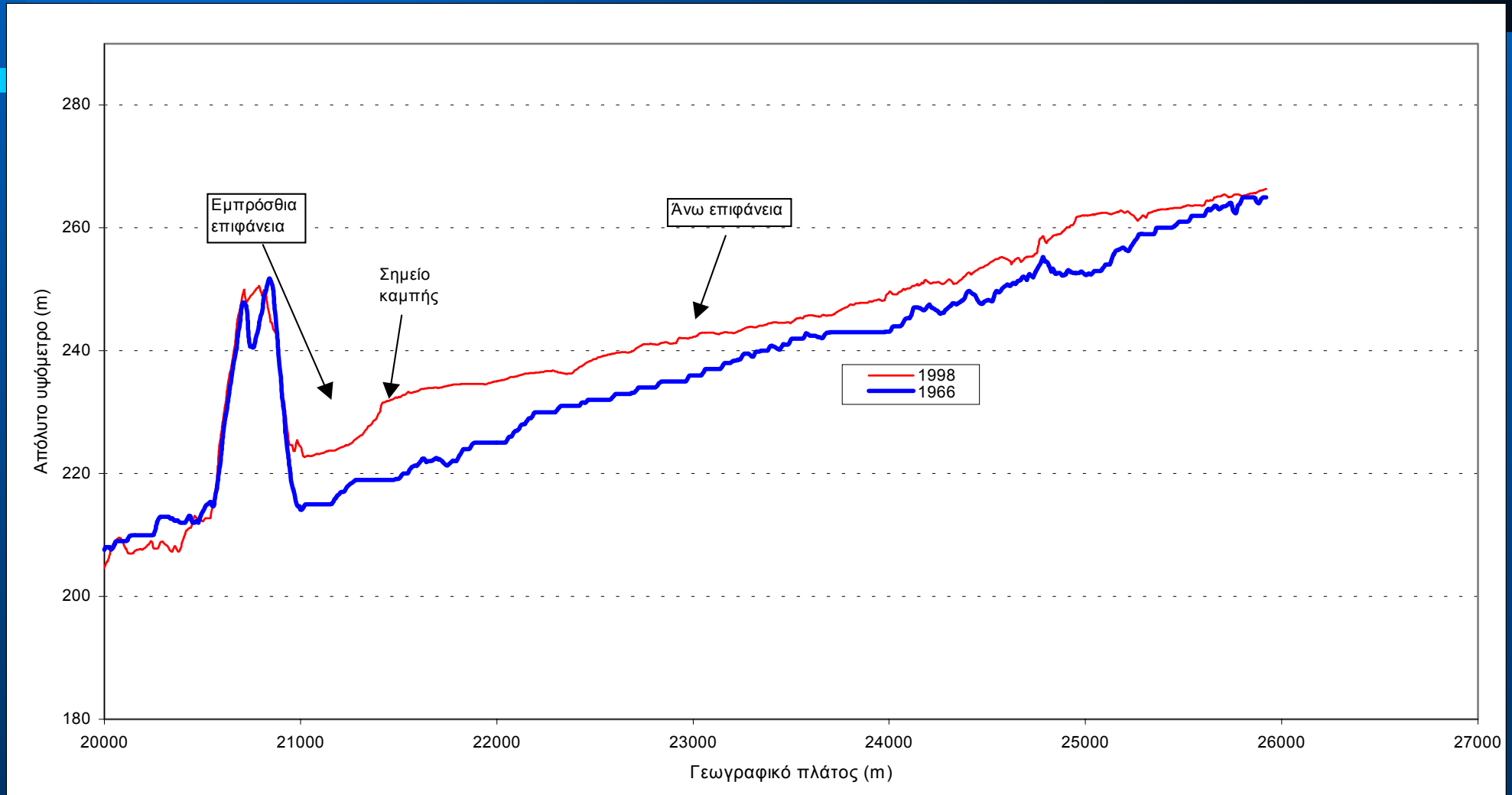
Δημιουργία ΨΜΑ και υπολογισμός του όγκου των αποθέσεων



Δημιουργία ΨΜΑ και υπολογισμός του όγκου των αποθέσεων (συν.)

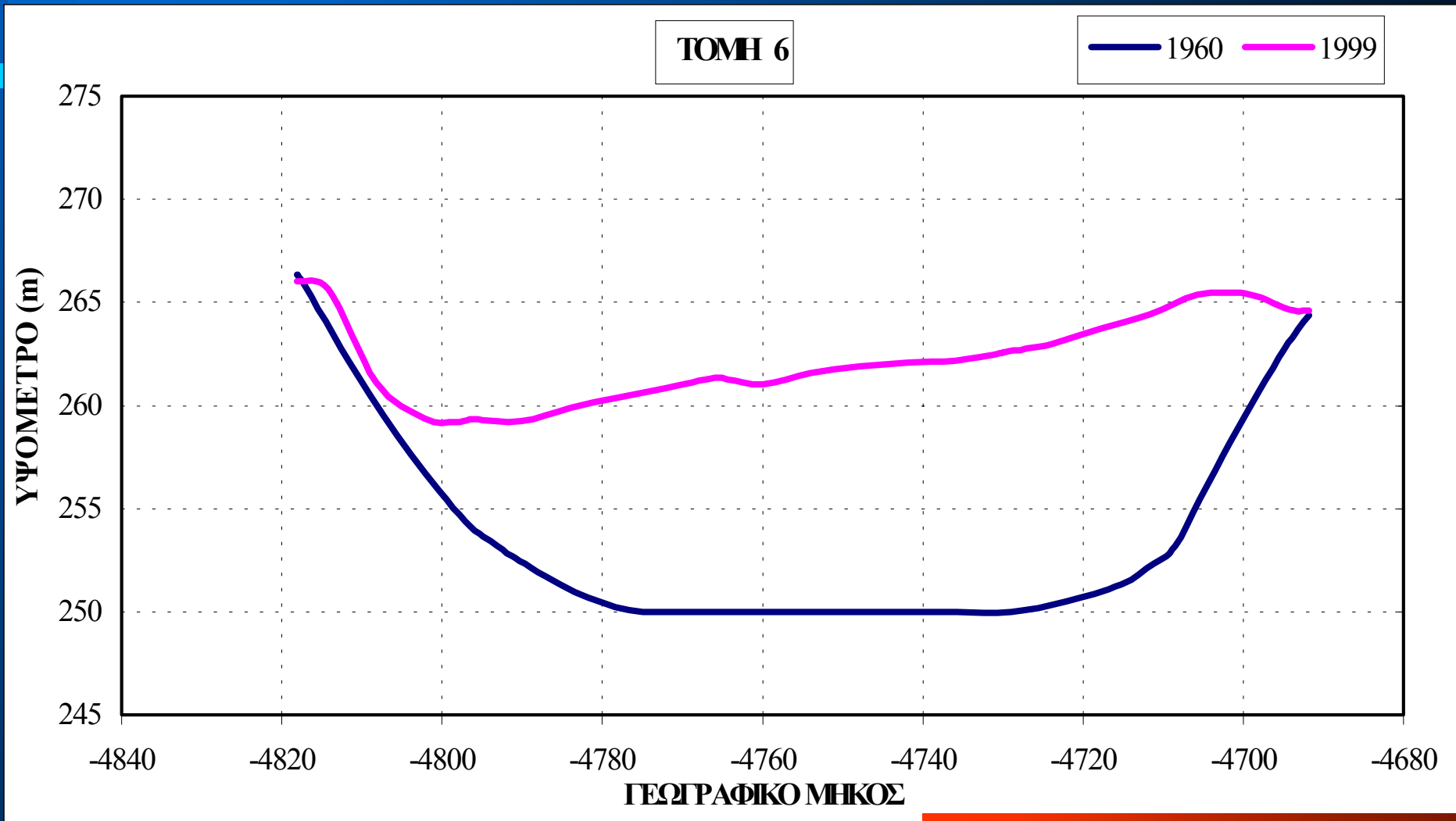
- Έλεγχος των αποτελεσμάτων και προσδιορισμός τμημάτων εμφάνισης αποθέσεων.
- Δημιουργία ενδεικτικών εποπτικών τομών παράλληλων και κάθετων στην αρχική κοίτη των ποταμών και προσδιορισμός ασυνεπειών
- Υπολογισμός του όγκου των αποθέσεων μόνο για τα τμήματα εκείνα που παρουσιάζουν αποθέσεις με την υψομετρική αφαίρεση των ΨΜΑ

Ενδεικτική μηκοτομή αρχικού και σημερινού υποβάθρου



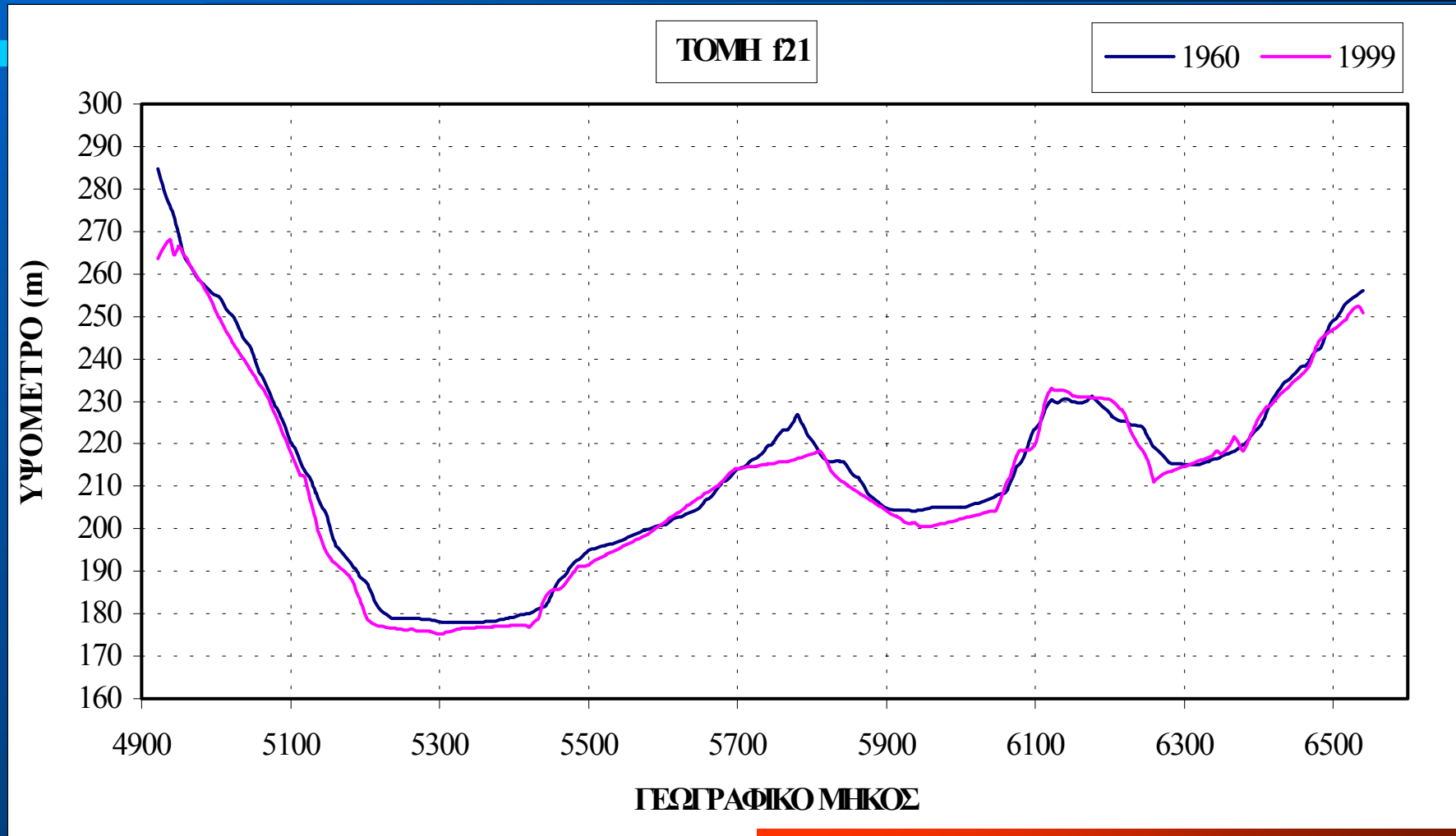
Κοίτη Αγραφιώτη στα Κρεμαστά

Ενδεικτική τομή αρχικού και σημερινού υποβάθρου



Κοίτη Αχελώου στο ανάντη τμήμα

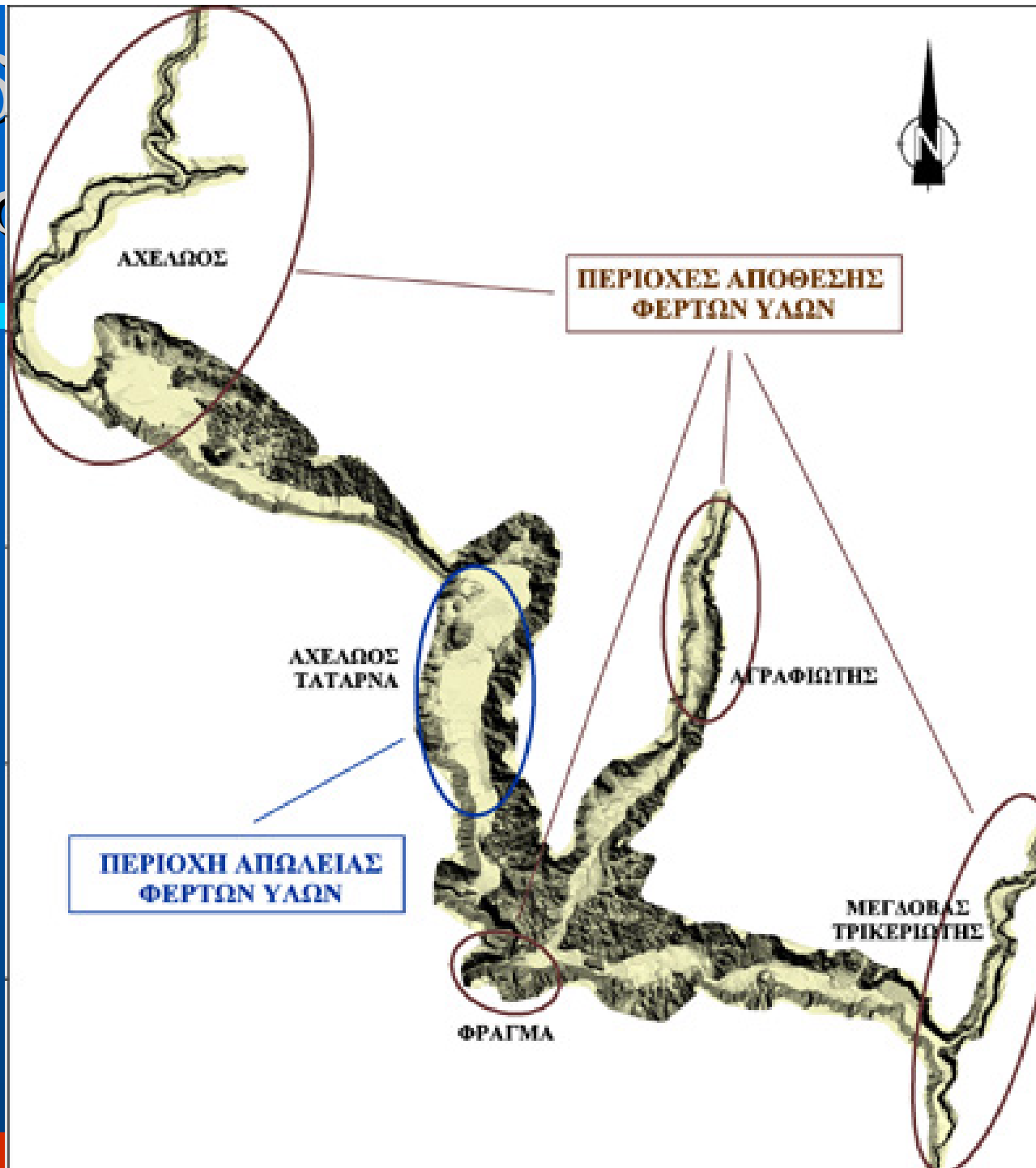
Ενδεικτική τομή αρχικού και σημερινού υποβάθρου



Τομή στο κεντρικό τμήμα του ταμιευτηέρα

Προσδ
αποθέσ

φάνιση



Αποτελέσματα – Όγκοι αποθέσεων

Τμήματα λεκάνης κατάκλυσης	Όγκος αποθέσεων (hm ³)	Έκταση αποθέσεων (km ²)
ΑΧΕΛΩΟΣ	41.3	5.7
ΑΓΡΑΦΙΩΤΗΣ	13.1	
ΜΕΓΛΟΒΑΣ - ΤΡΙΚΕΡΙΩΤΗΣ	12.2	
ΣΥΝΟΛΟ	66.6	

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ
ΠΕΝΤΗΚΟΝΤΑΕΤΙΑΣ
ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ
394 hm³**

Προσδιορισμός μάζας αποθέσεων

- Διενέργεια δύο πλωτών γεωτρήσεων στον κλάδο του Αχελώου

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΑΖΑ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ
112.5 Mt

- Έμφαση αδιόριστων
- | ΑΧΕΛΩΟΣ | ΑΓΡΑΦΙΩΤΗΣ | ΜΕΓΛΟΒΑΣ |
|----------------|-------------------|-----------------|
| 69.8 Mt | 22.1 Mt | 20.6 Mt |

Περισσότερα

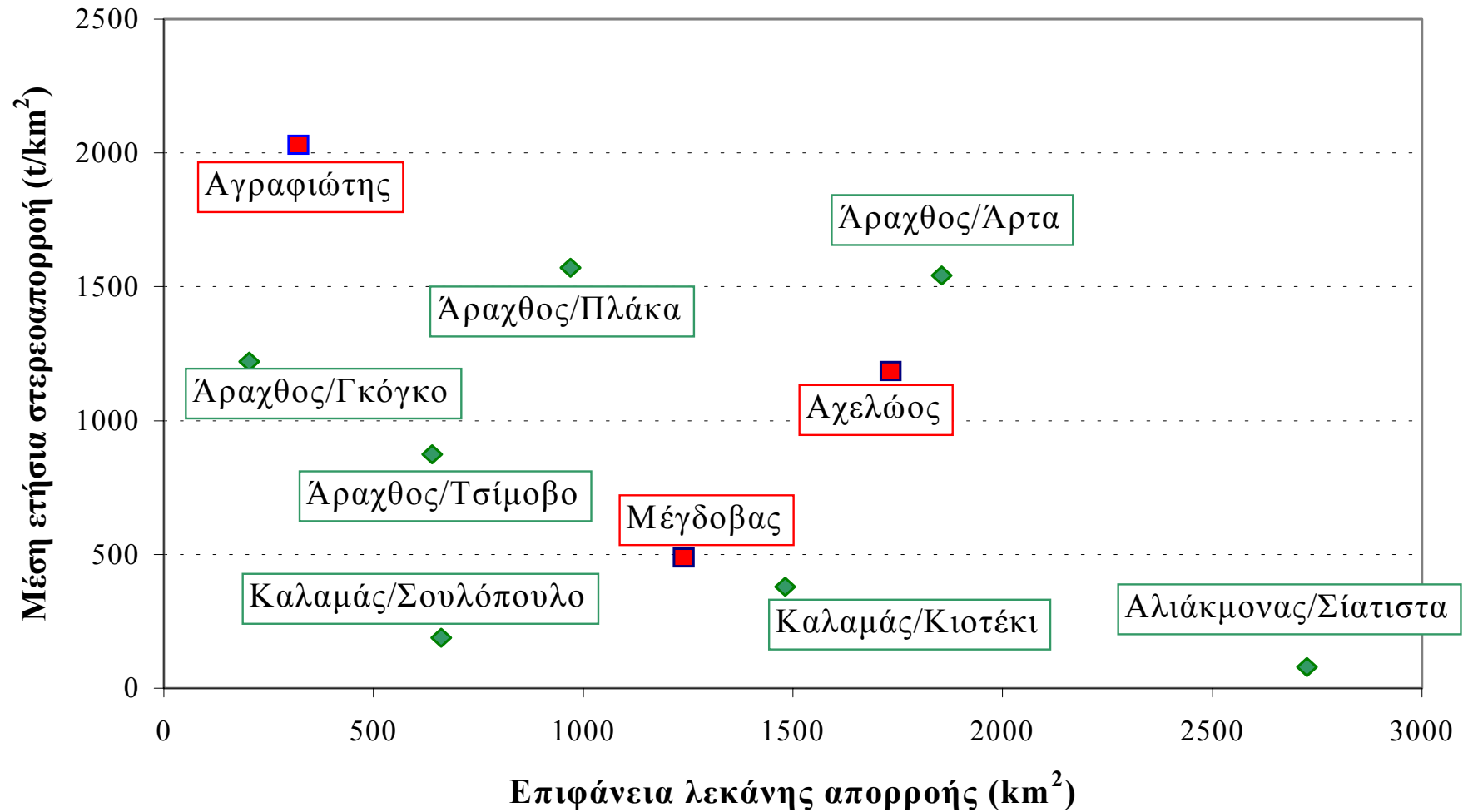
- (1) Χρήση σχέσης Lane and Kolzer με δεδομένα ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου (αντίστοιχα 71.9% άμμο, 23.3% ιλύ και 4.8% άργιλο)
- (2) Εκτίμηση πυκνότητας με 34 χρόνια λειτουργίας 1692kg/m³

Στερεοαπορροή λεκάνης Κρεμαστών

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	Μέση ετήσια στερεοαπορροή S_y (t/km ²)	Μέση ετήσια στερεοπαροχή Q_s (kg/s)	Έκταση λεκάνης απορροής A (km ²)
ΑΧΕΛΩΟΣ	1184.6	66.0	1733
ΑΓΡΑΦΙΩΤΗΣ	2034.8	20.9	320
ΜΕΓΔΟΒΑΣ - ΤΡΙΚΕΡΙΩΤΗΣ	489.4	19.5	1239
ΣΥΝΟΛΟ	1005.6	106.4	3292

Σύγκριση με άλλες λεκάνες στον Ελληνικό χώρο

Μετρημένες τιμές της στερεοαπορροής στον Ελληνικό χώρο

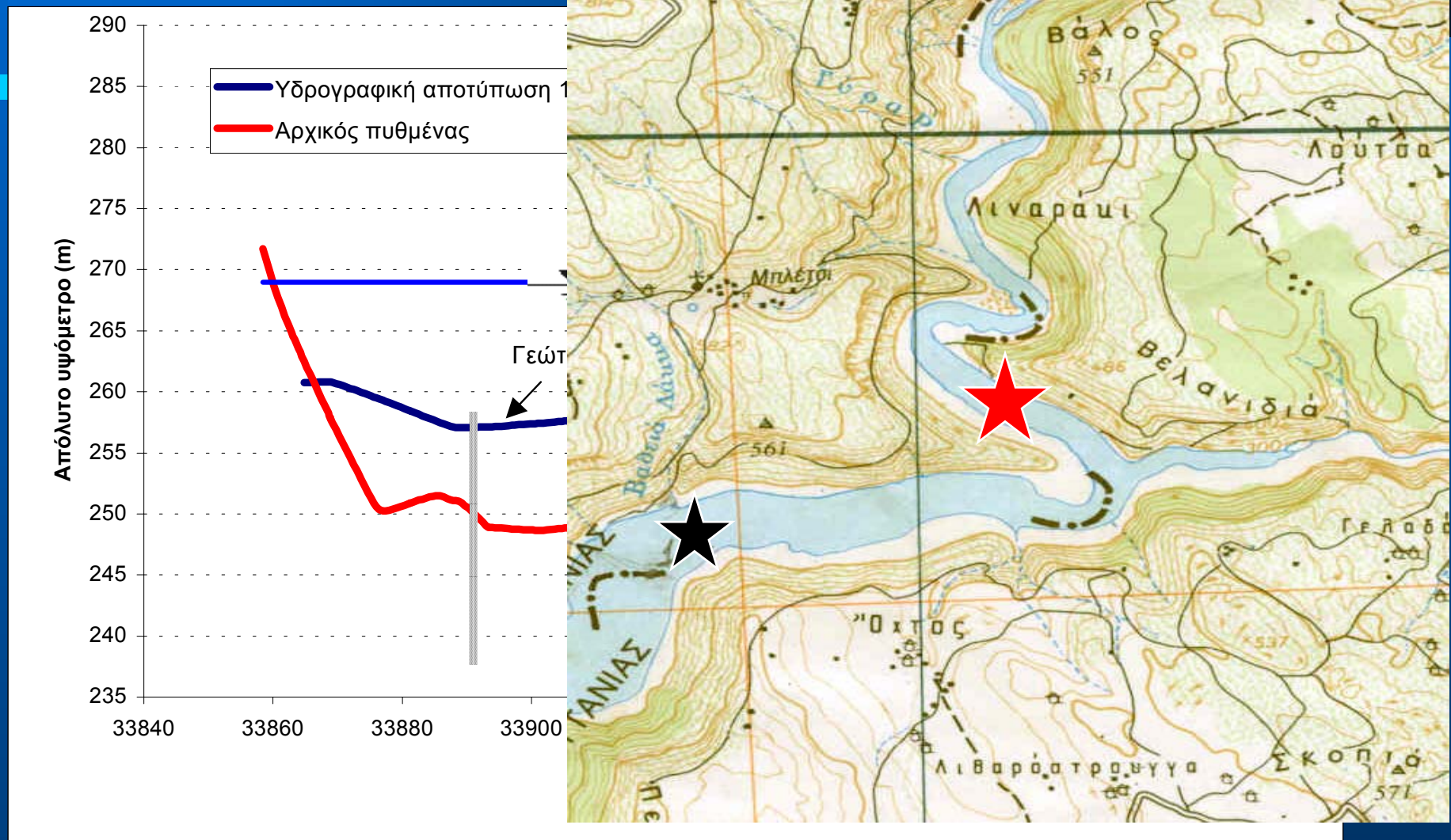


Διενέργεια πλωτών γεωτρήσεων



Σεπτέμβριος 2001

Παράδειγμα δειγματοληπτικής γεώτρησης



Εξέλιξη αποθέσεων με τη στάθμη του ταμιευτήρα



Βάθος νερού 1 m

Στάθμη νερού 07/1998: +269 m

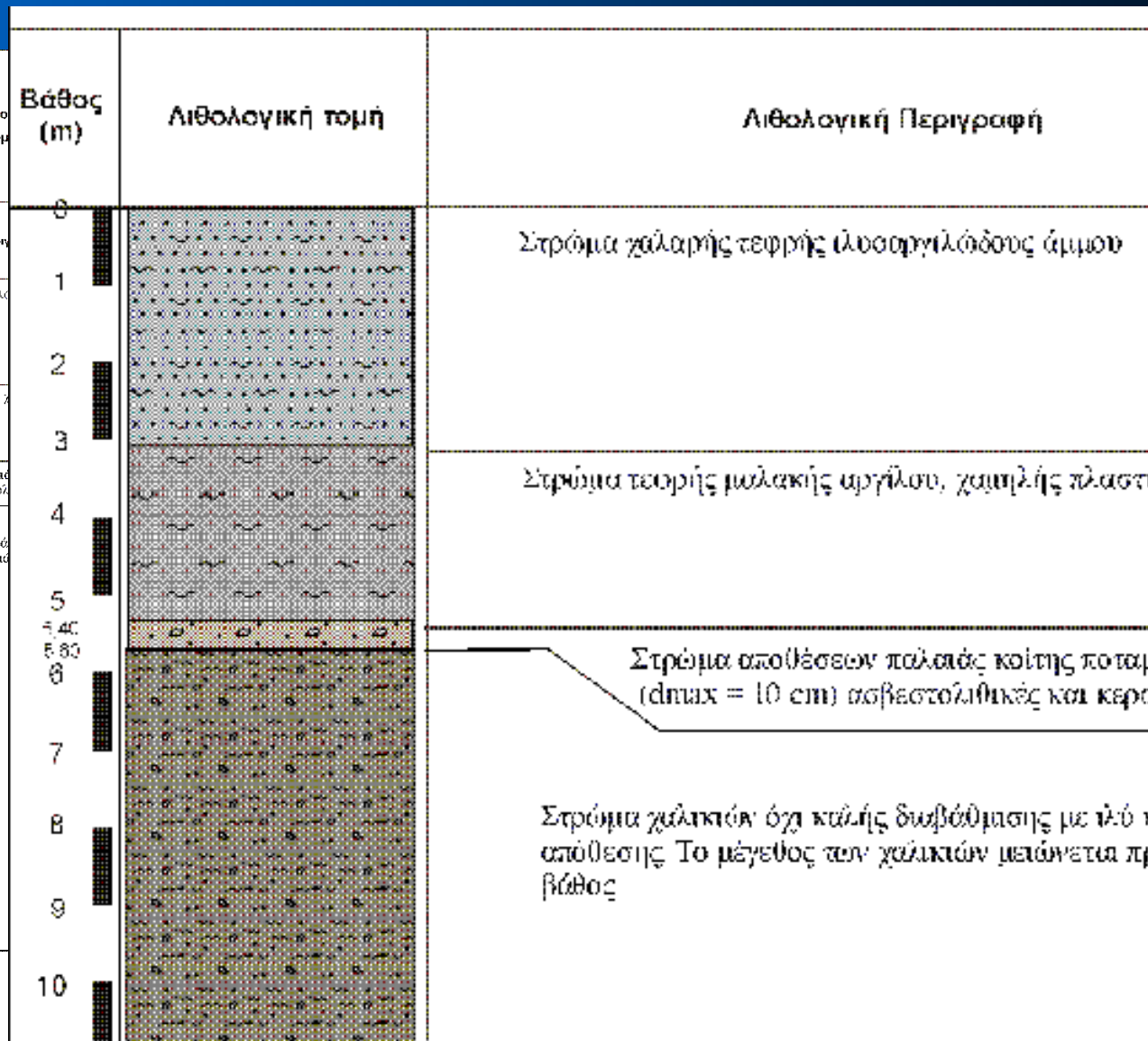
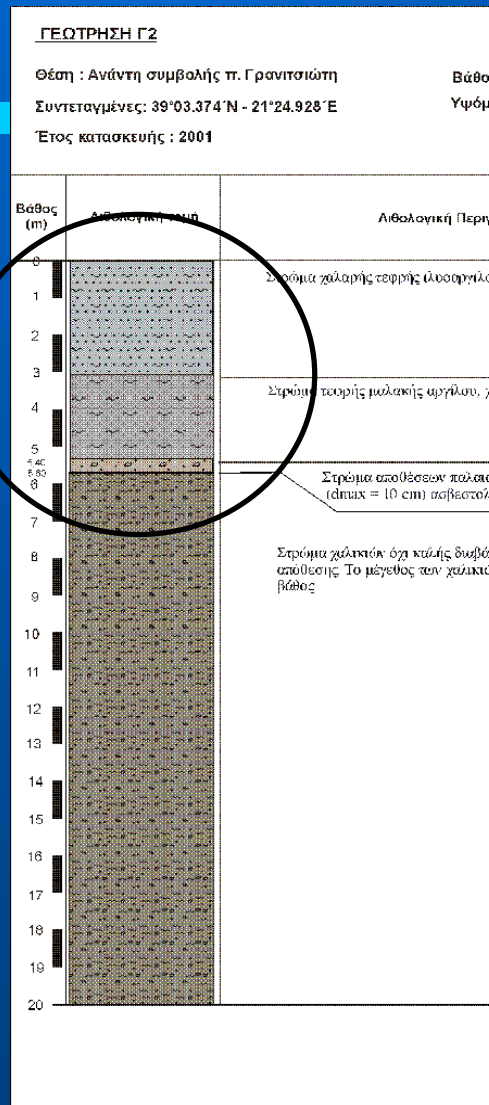
Min Στάθμη νερού: +250.82 m (12/2000)

Στάθμη νερού 09/2001: +258.0 m

Εμφάνιση παρόμοιων σχηματισμών με τον καταβιβασμό της στάθμης



Λιθολογική τομή γεώτρησης



Υδρολογικό μοντέλο στερεοαπορροής SEAGIS (Soil Erosion Assessment using GIS)

- Λογισμικό της Danish Hydraulic Institute (DHI)
- Εφαρμογή της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας
- Λειτουργεί ως εφαρμογή του GIS/ArcView
- Απαραίτητα Δεδομένα
 - Συντελεστής Διαβρωτικότητας Βροχόπτωσης (R) [MJ mm / ha h]
 - Συντελεστής Διαβρωσιμότητας Εδάφους (K) [t h / MJ mm]
 - Τοπογραφικός Συντελεστής (LS) [-]
 - Συντελεστής Φυτοκάλυψης (C) [-]
 - Συντελεστής Διαχείρισης κατά της Διάβρωσης (P) [-]
- Επιφανειακή διάβρωση [t/ha] $A = R K L S C P$

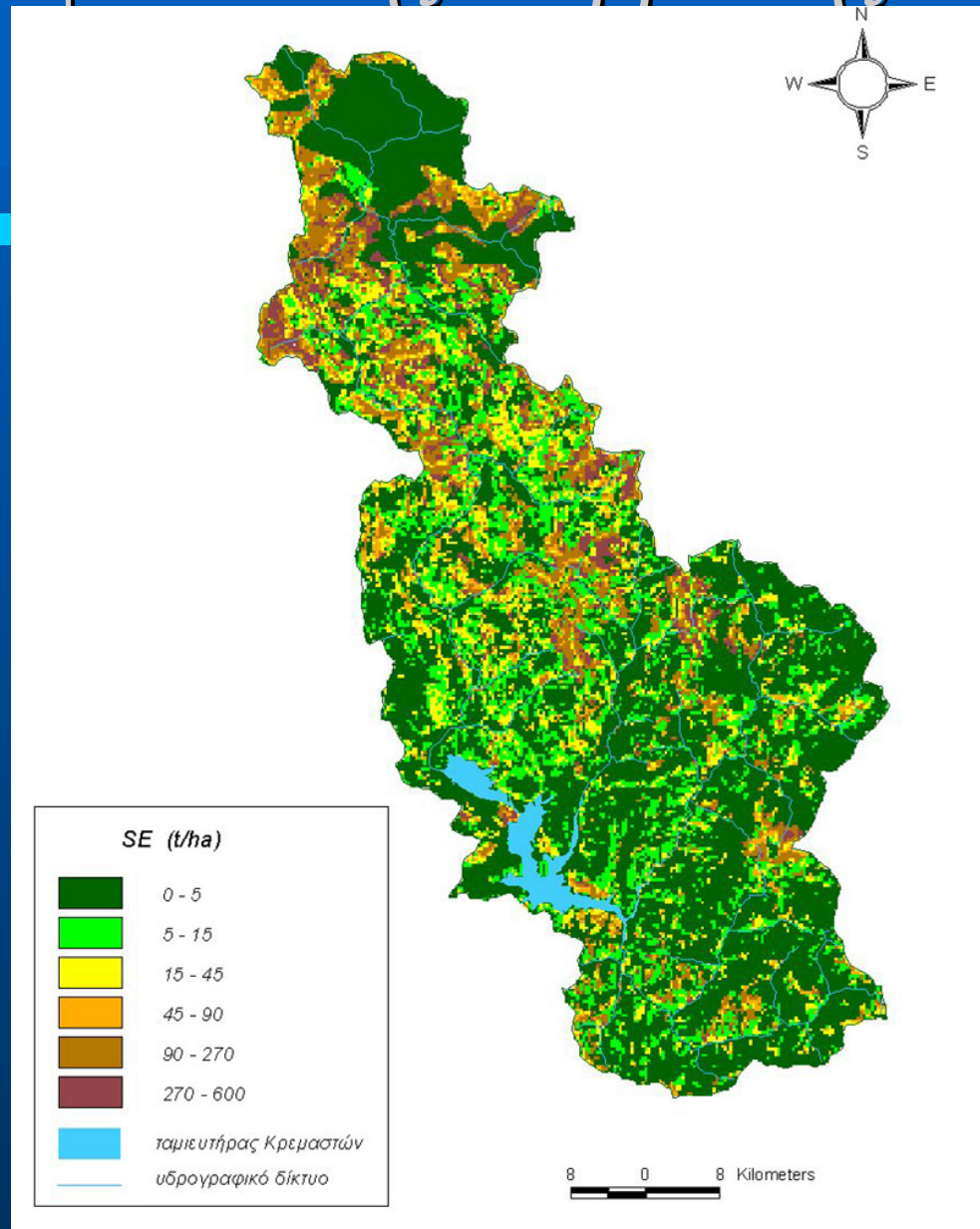
Πλεονεκτήματα χρήσης ΠΕΕΑ

- Απλή στη χρήση και εφαρμογή
- Συνυπολογισμός πολλών διαφορετικών μεγεθών
- Αξιόπιστη για αρχικές εκτιμήσεις

Μειονεκτήματα χρήσης ΠΕΕΑ

- Προέλευση από δεδομένα σε λεκάνες των ΗΠΑ
- Υψηλές απαιτήσεις σε δεδομένα
- Δυσχέρεια εφαρμογής σε λεκάνες μεγάλης κλίμακας
- Πολλαπλασιασμός ανόμοιων μεγεθών

Χάρτης επιφανειακής διάβρωσης



Υπολογισμός εδαφικής διάβρωσης και εκτίμηση συντελεστή στερεοαπορροής

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	Μέση ετήσια στερεοαπορροή S_y (t/km ²)	Επιφανειακή διάβρωση A (t/km ² /y)	Συντελεστής στερεοαπορροής
ΑΧΕΛΩΟΣ	1184.6	7077	0.17
ΑΓΡΑΦΙΩΤΗΣ	2034.8	4847	0.42
ΜΕΓΔΟΒΑΣ - ΤΡΙΚΕΡΙΩΤΗΣ	489.4	2251	0.22
ΣΥΝΟΛΟ	1005.6	5040	0.20

Τελικά συμπεράσματα

- Ο ρυθμός απόθεσης φερτών υλικών στον ταμιευτήρα είναι πολύ μικρότερος από την αρχική εκτίμηση, είναι όμως από τους μεγαλύτερους που έχουν καταγραφεί διεθνώς
- Οι αποθέσεις εντοπίζονται κυρίως στις εκβολές των ποταμών και είναι σχεδόν μηδενικές στον κυρίως ταμιευτήρα
- Η ικανότητα κατακράτησης των φερτών από τον ταμιευτήρα είναι πλήρης

Τελικά συμπεράσματα (συν.)

- Η υδρογραφική αποτύπωση ταμιευτήρων αποτελεί αξιόπιστο εργαλείο εκτίμησης της στερεοαπορροής
- Το φορτίο απόπλυσης συνεισφέρει το σημαντικότερο ποσοστό των φερτών υλικών
- Ανάγκη επανεξέτασης της διαδικασίας διενέργειας των στερεοϋδρομετρήσεων

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Εκτέλεση μετρήσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα για τα τμήματα που παρουσιάζουν αποθέσεις
- Εκτέλεση μετρήσεων και σε άλλους ταμιευτήρες
- Επανάναρξη των στερεοϋδρομετρήσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα
- Επαναπροσδιορισμός των καμπυλών παροχής - στερεοπαροχής
- Χρήση νέων τεχνολογιών έμμεσης μέτρησης της στερεοπαροχής

