

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ		
	ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ	

ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ Δ. ΚΡΙΝΗ

**ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΣΤΙΑΙΑ ΕΥΒΟΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ

Καθηγ. ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Δρ. Γιώργος Παπαθανασίου

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	4
1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	4
2. ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	6
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	6
2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ.....	7
2.3 ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ.....	7
2.4 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	8
2.5 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΩΝ.....	9
3. ΑΣΤΟΧΙΕΣ – ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	10
4. ΜΕΤΡΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	16
4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΕΣ ΣΤΗ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	16
4.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΤΗΝ ΙΣΤΙΑΙΑ ΕΥΒΟΙΑΣ.....	23
3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	24
3.2 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ.....	25
3.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	26
ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει το φαινόμενο της ρευστοποίησης εδαφών και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Ιστιαίας, στη Β. Εύβοια.

Μη συνεκτικοί κορεσμένοι εδαφικοί σχηματισμοί έχουν την τάση όταν υπόκεινται σε άμεση φόρτιση κάτω από αστράγγιστες συνθήκες να τείνουν προς συμπίκνωση, όμως λόγω της αδυναμίας μεταβολής του όγκου τους παρουσιάζεται αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων τους με ταυτόχρονη μείωση έως και μηδενισμό της διατμητικής τους αντοχής. Κατά την παραπάνω διαδικασία μετατρέπεται η κατάσταση αυτών των εδαφικών στρωμάτων από τη στερεά στη ρευστή φάση, δηλαδή προκαλείται ρευστοποίηση αυτών.

Όσον αφορά την περιοχή της Ιστιαίας, αυτή δομείται κυρίως από σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης και Νεογενείς σχηματισμούς του Αν. Μειόκαινου – Πλειόκαινου. Επίσης αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις (άμμους, κροκαλολατύπες), σχηματισμούς μαργών, ψαμμιτών και αργιλοαμμώδη υλικά.

Συνδυάζοντας τα παραπάνω με την σεισμική δραστηριότητα που έχει λάβει χώρα στην περιοχή, μπορούμε να πούμε πως πληρούνται οι προϋποθέσεις για την εμφάνιση του φαινομένου ρευστοποίησης.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ, κ. Βασίλειο Χρηστάρα, για την ανάθεση του θέματος, όπως επίσης και τον Δρ. Γιώργο Παπαθανασίου, για την άψογη συνεργασία, την καθοδήγησή του και την βοήθεια που μου παρείχε από τη θέση του επιβλέποντα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον πατέρα μου, κ. Δημήτρη Κρινή για τη βοήθεια του, όσον αφορά την ανεύρεση υλικού και δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, καθώς και για την ηθική συμπαράσταση που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

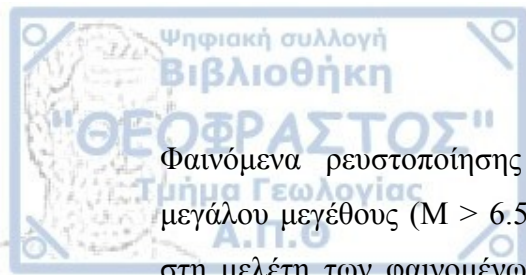
1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Η ρευστοποίηση εδάφους παρατηρείται αρκετές φορές κυρίως σε αμμώδη εδάφη, τα οποία είναι κορεσμένα με νερό, και οφείλεται στην αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων λόγω του σεισμού. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση της τριβής μεταξύ των κόκκων του υλικού, έτσι ώστε αυτό να συμπεριφέρεται ως ρευστό.

Δηλαδή, η προκαλούμενη, κατά τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων, εφαρμογή κυκλικών διατμητικών τάσεων οδηγεί τους κορεσμένους χαλαρούς αμμώδεις σχηματισμούς σε συμπίκνωση. Όμως σε αστράγγιστες συνθήκες, η αδυναμία μεταβολής του όγκου τους έχει ως αποτέλεσμα την μεταφορά της πίεσης στο νερό των πόρων. Αυτή η διαδικασία επιφέρει την αύξηση της πίεσης των πόρων με αποτέλεσμα τη μείωση έως και μηδενισμό της διατμητικής αντοχής του εδαφικού σχηματισμού και την μετατροπή της κατάστασής του σε ρευστή. Το έδαφος θα επανέλθει στην στερεή του κατάσταση μετά την εκτόνωση της πίεσης του ενδοπορικού νερού, με την ροή του νερού προς την επιφάνεια. Συγχρόνως, πραγματοποιείται αύξηση της πυκνότητας του εδαφικού σχηματισμού και μείωση του όγκου του. Ο όρος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή της παραπάνω διαδικασίας είναι «ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών» (soil liquefaction).

Η αύξηση της πίεσης των πόρων μη συνεκτικών κορεσμένων εδαφικών σχηματισμών η οποία προκαλείται από δυναμικού τύπου δονήσεις (σεισμικές ταλαντώσεις κλπ) υπό αστράγγιστες συνθήκες, μπορεί να επιφέρει τη μείωση έως και την απώλεια της διατμητικής αντοχής του υλικού δημιουργώντας το φαινόμενο της ρευστοποίησης. Η διαδικασία αυτή παρατηρείται κυρίως σε ομοιόμορφα χαλαρά, λεπτά έως μεσο-κοκκώδη, ιζήματα.

Τα φαινόμενα ρευστοποίησης διακρίνονται με βάση το μηχανισμό γένεσης σε δύο γενικές κατηγορίες: την εδαφική ροή (flow failure) και την ανακυκλική κινητικότητα (cyclic mobility).



Φαινόμενα ρευστοποίησης έχουν παρατηρηθεί στους περισσότερους σεισμούς μεγάλου μεγέθους ($M > 6.5$). Παρόλα αυτά η επιστημονική κοινότητα δεν εστίασε στη μελέτη των φαινομένων καθώς δεν προκαλούσαν μεγάλης κλίμακας εδαφικές παραμορφώσεις όπως άλλα δευτερογενή φαινόμενα, για παράδειγμα οι κατολισθήσεις.

Στην Ελλάδα δεν έχουν σημειωθεί έως τώρα μεγάλης κλίμακας καταστροφές λόγω ρευστοποίησης. Συνήθως παρατηρούνται μικρού μεγέθους εδαφικές αστοχίες, κυρίως ανάδυση λεπτόκοκκου υλικού και/ή δημιουργία κώνων άμμου, και μικρής κλίμακας κατασκευαστικές αστοχίες όπως καθιζήσεις προβλητών ή γεφυρών.

2. ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Προκειμένου να θεωρηθεί ένα έδαφος εν δυνάμει ρευστοποιήσιμο, θα πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις, η εξέταση των οποίων είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί πριν την τελική εκτίμηση της πιθανότητας ρευστοποίησης του συγκεκριμένου εδαφικού σχηματισμού.

Από τα αποτελέσματα αυτής της προκαταρκτικής εξέτασης της επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών θα προκύψει η αναγκαιότητα ή όχι της περαιτέρω μελέτης του δυναμικού ρευστοποίησης αυτών. Ως επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση ενός εδαφικού σχηματισμού ορίζεται η ικανότητα του εδάφους να ρευστοποιείται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Η γεωλογική ηλικία καθώς και το περιβάλλον απόθεσης του εδαφικού σχηματισμού αποτελούν βασικά κριτήρια για την ταξινόμηση του εξεταζόμενου εδάφους ως επιδεκτικού προς ρευστοποίηση. Κορεσμένες, χαλαρές και ψαθυρές αποθέσεις παρουσιάζουν το μεγαλύτερο βαθμό επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση (Youd, 1998). Επειδή η πυκνότητα και ο βαθμός συγκόλλησης των εδαφών αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, η αύξηση της αντοχής έναντι ρευστοποίησης των σχηματισμών θα είναι ανάλογη της ηλικίας τους. Κατά συνέπεια νεώτερες αποθέσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση από παλιότερες (Kramer, 1996). Εδαφικοί σχηματισμοί ηλικίας Άνω Ολοκαίνου είναι περισσότερο επιδεκτικοί προς ρευστοποίηση από σχηματισμούς του Ολοκαίνου, ενώ ρευστοποίηση εδαφών Πλειστοκαινικής ηλικίας έχει προκληθεί σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Τέλος, δεν έχουν παρατηρηθεί σύγχρονα φαινόμενα ρευστοποίησης σε ιζήματα προ – Πλειστοκαίνου (Obermeier, 1996) (Γ. Παπαθανασίου, Διδακτορική Διατριβή).

2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Επειδή η ρευστοποίηση συμβαίνει μόνο σε κορεσμένο έδαφος, τα αποτελέσματά του παρατηρήθηκαν συχνότερα σε περιοχές χαμηλού υψόμετρου κοντά σε νερό, όπως λίμνες ποτάμια, ακτές και ωκεανούς. Τα αποτελέσματα της ρευστοποίησης μπορεί να περιλαμβάνουν μεγάλους συρόμενους



όγκους εδάφους οι οποίοι κατρακυλάνε προς το νερό, όπως στην περίπτωση της λίμνης Merced (επάνω εικόνα).

Ο Iwasaki (1986), έχοντας επεξεργαστεί μεγάλο αριθμό δεδομένων εμφανίσεων ρευστοποίησης από σεισμούς στην Ιαπωνία, διαμόρφωσε τον παρακάτω πίνακα, στον οποίο παρουσιάζεται το δυναμικό ρευστοποίησης εδαφικών σχηματισμών ανάλογα με το γεωμορφολογικό περιβάλλον τους.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ
A	Πρόσφατος ποτάμιος βυθός, παλιός ποτάμιος βυθός, βάλτος.	Υψηλή πιθανότητα ρευστοποίησης
B	Ριπίδια, ποτάμιες προσχώσεις, πλημμυρικές πεδιάδες	Πιθανότητα ρευστοποίησης
Γ	Λόφοι, βουνά	Μη ρευστοποιήσιμα

Πίνακας 1: Ταξινόμηση εδαφών με βάση γεωμορφολογικά κριτήρια (Iwasaki, 1986)

2.3 ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ

Όπως ήδη έχει αναφερθεί πιο πάνω, απαραίτητη και αναγκαία προϋπόθεση για τη ρευστοποίηση ενός εδάφους είναι να βρίσκεται σε κορεσμένη κατάσταση, δηλαδή να βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Επομένως, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα επηρεάζει την επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση του.

Καθώς η αντοχή έναντι ρευστοποίησης ενός στρώματος σε μια στρωματογραφική στήλη αυξάνεται όταν αυξάνεται η πίεση των υπερκείμενων (γεωστατική τάση) και η ηλικία του, δηλαδή είναι ανάλογη του βάθους αφού και οι δύο παράγοντες αυξάνονται με αυτό, τότε θα αυξάνεται και με το βάθος της στάθμης του υδροφόρου

ορίζοντα. Συνεπώς, όσο πιο χαμηλή είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα τόσο μεγαλύτερη αντίσταση θα προβάλλει το συγκεκριμένο εδαφικό στρώμα σε ενδεχόμενη πιθανότητα ρευστοποίησης.

Αποτελέσματα γεωτεχνικών ερευνών σε θέσεις εμφάνισης ρευστοποίησης έδειξαν ότι τα περισσότερα περιστατικά παρουσιάστηκαν σε περιοχές όπου η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρισκόταν έως 3 μέτρα βάθος από την επιφάνεια, μερικές εμφανίσεις συνδέονται με βάθος στάθμης υδροφόρο έως τα 10 μέτρα, ενώ ελάχιστες είναι οι περιπτώσεις ρευστοποίησης σε θέσεις όπου η υδροστατική στάθμη βρισκόταν σε βάθη μεγαλύτερα των 15 μέτρων (Youd, 1998, Γ. Παπαθανασίου, Διδακτορική Διατριβή).

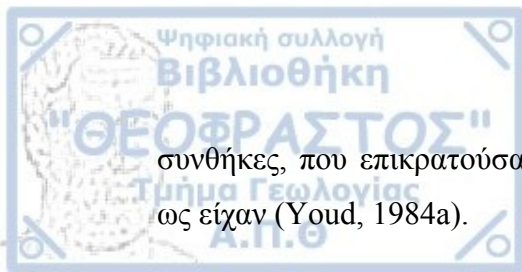
Στον πίνακα 2 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η σχέση της επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση εδαφών με το βάθος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.

ΒΑΘΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
<3 μέτρα	Πολύ υψηλή
3 έως 6 μέτρα	Υψηλή
6 έως 10 μέτρα	Μέτρια
10 έως 15 μέτρα	Χαμηλή
>15 μέτρα	Πολύ χαμηλή

Πίνακας 2: Επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών ανάλογα με το βάθος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.

2.4 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η καταγραφή ιστορικών εμφανίσεων ρευστοποίησης αποτελεί ακόμα ένα κριτήριο (Kramer, 1996) για τη διερεύνηση της επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση ενός εδάφους σε μια θέση στην ύπαιθρο. Σύμφωνα με τον Iwasaki (1986), το δυναμικό ρευστοποίησης των σχηματισμών μιας περιοχής στην οποία παρατηρήθηκαν φαινόμενα ρευστοποίησης κατά το παρελθόν είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο δυναμικό σε περιοχές όπου δεν καταγράφηκαν ιστορικά περιστατικά ρευστοποίησης. Η παραπάνω συνθήκη ισχύει μόνο σε περιπτώσεις κατά τις οποίες στη ρευστοποιημένη κατά το παρελθόν περιοχή, οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές



συνθήκες, που επικρατούσαν κατά τη στιγμή της ιστορικής εμφάνισης παραμένουν ως είχαν (Youd, 1984a).

2.5 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΛΑΦΩΝ

Η κοκκομετρική διαβάθμιση του εδάφους επηρεάζει το βαθμό επιδεκτικότητας. Καλά διαβαθμισμένα εδάφη είναι λιγότερο πιθανό να ρευστοποιηθούν σε σχέση με εδάφη ομοιομορφής διαβάθμισης καθώς η πλήρωση των κενών μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων από μικρότερους κάτω από συνθήκες πλήρους αποστράγγισης έχει ως αποτέλεσμα την συμπίκνωση σε μικρότερο όμως ποσοστό και κατά συνέπεια μικρότερη τιμή υπερπίεσης πόρων υπό αστράγγιστες συνθήκες (Kramer, 1996). Το παραπάνω συμπέρασμα έχει επιβεβαιωθεί και από ιστορικά περιστατικά ρευστοποίησης, όπου ανομοιομορφα διαβαθμισμένοι εδαφικοί σχηματισμοί προκάλεσαν αστοχίες λόγω ρευστοποίησης. Όσον αφορά το σχήμα των κόκκων, είναι φανερό ότι εδάφη αποτελούμενα από στρογγυλοποιημένους κόκκους αυξάνουν την πυκνότητα τους σε μεγαλύτερο βαθμό από εδάφη με γωνιώδεις κόκκους. Επομένως, τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση (Kramer, 1996).

3. ΑΣΤΟΧΙΕΣ – ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στην ενότητα 1, τα φαινόμενα ρευστοποίησης διακρίνονται με βάση το μηχανισμό γένεσης σε δύο γενικές κατηγορίες: την εδαφική ροή (flow failure) και την ανακυκλική κινητικότητα (cyclic mobility).



Εικόνα 1: Αποτελέσματα ρευστοποίησης του εδάφους σε κατασκευές της πόλης Niigata Ιαπωνίας, λόγω σεισμού της 16ης Ιουνίου 1964 με μέγεθος $M=7,5$ (Google image).

ΕΔΑΦΙΚΗ ΡΟΗ

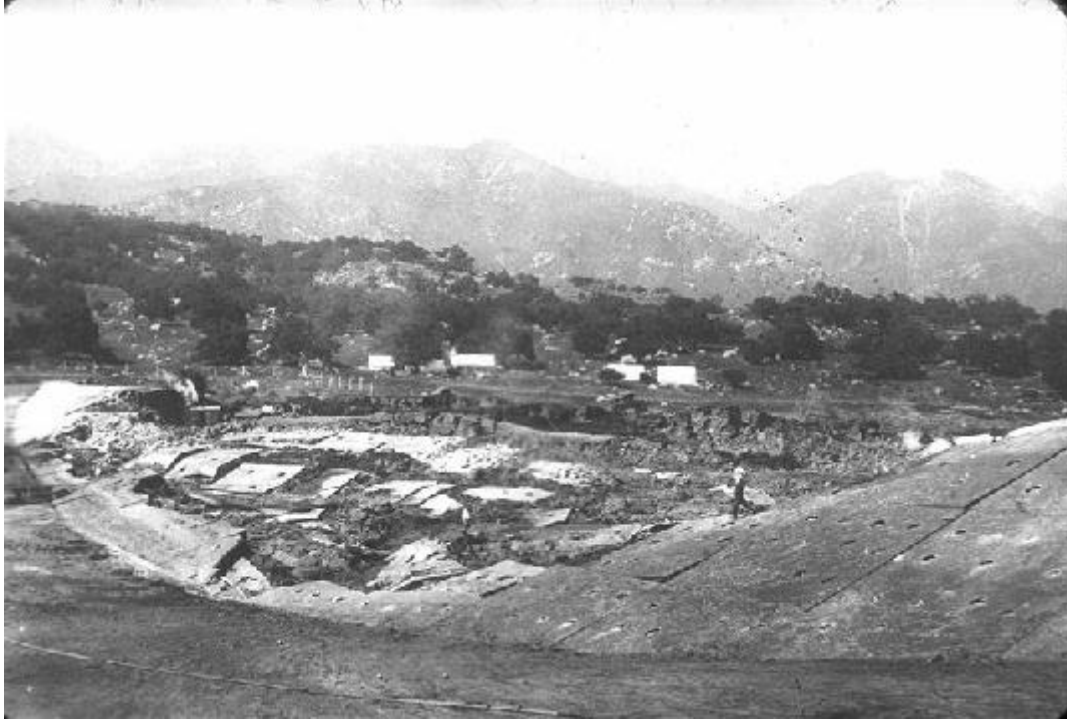
Η εδαφική ροή προκαλείται όταν η αντοχή του ρευστοποιημένου εδάφους είναι μικρότερη από τις διατμητικές τάσεις οι οποίες ασκούνται σε αυτό σε μια κεκλιμένη επιφάνεια (Kramer, 1996). Αυτό συνεπάγεται τη διατάραξη της στατικής ισορροπίας η οποία υπήρχε πριν τη ρευστοποίηση του σχηματισμού βάση της οποίας παρέμεινε σταθερό το πρηνές.

Παράδειγμα εδαφικής ροής, είναι η κατολίσθηση στην περιοχή Turnagain Heights στην Αλάσκα. Ο σεισμός του 1964, θεωρείται ότι προκλήθηκε από ρευστο-ποίηση φακών άμμου σε μια επιφάνεια 130 στρεμμάτων.



Εικόνα 2: Περιοχή Tournagain Heights (Αλάσκα 1964) (Google image).

Ακόμα ένα παράδειγμα αποτελεί το φράγμα του Sheffield, το οποίο υπέστη βλάβη ροής που προκλήθηκε από τον σεισμό Santa Barbara το 1925. Το φράγμα αποτελούνταν κυρίως από ιλυώδη άμμο και αμμώδη ιλύ.



Εικόνα 3: Το φράγμα του Sheffield μετά το σεισμό του 1925 (Πανεπιστήμιο Καλιφόρνιας).

Οι ιστορίες αυτές απεικονίζουν τις αποτυχίες της ροής, οι οποίες μπορεί να αφορούν τη ροή σημαντικού όγκου υλικών, το οποίο υφίσταται πολύ μεγάλες κινήσεις που καθοδηγήθηκαν ουσιαστικά από στατικές καταπονήσεις.

Άρα λοιπόν, μολονότι η εδαφική ροή παρουσιάζει λιγότερες πιθανότητες εμφάνισης από την ανακυκλική κινητικότητα, οι επιπτώσεις της είναι αρκετά πιο σοβαρές.

ΑΝΑΚΥΚΛΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η ανακυκλική κινητικότητα είναι ένα φαινόμενο της ρευστοποίησης, που προκαλείται από κυκλική φόρτωση, που εμφανίζεται σε αποθέσεις εδάφους με στατικές διατμητικές τάσεις χαμηλότερες από την αντοχή του εδάφους. Παραμορφώσεις λόγω της ανακυκλικής κινητικότητας αναπτύσσονται σταδιακά, λόγω των στατικών και δυναμικών καταπονήσεων που υφίστανται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Η πλευρική μετατόπιση, η καθίζηση και η εδαφική ταλάντωση, προκαλούνται λόγω ανακυκλικής κινητικότητας και δημιουργούν μετατοπίσεις μικρού έως μεσαίου μεγέθους.

Το 1976, ο σεισμός Guatemala προκάλεσε πλευρική μετατόπιση κατά μήκος του ποταμού Motagua.

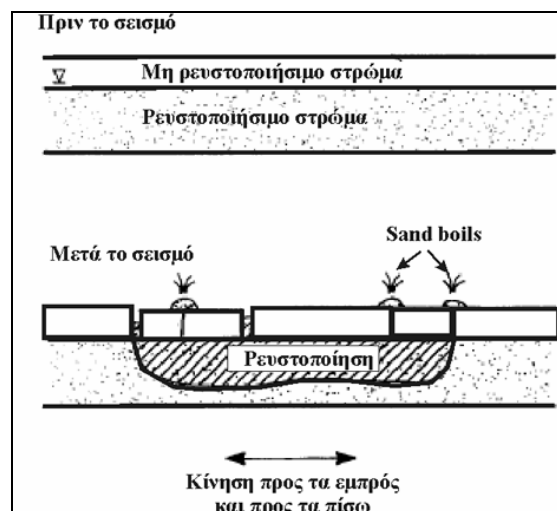


Εικόνα 4: Ποταμός Montagua. Παρατηρείστε τις ρωγμές παράλληλα με το ποτάμι (Google images).

Πλευρικές μετατοπίσεις δημιουργούνται λόγω ολισθητικών κινήσεων υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών πάνω σε ρευστοποιημένα στρώματα είτε προς τα κάτω λόγω βαρύτητας, σε πρανή με κλίση μικρότερη των τριών μοιρών (Youd και Garris, 1995), είτε προς την κατεύθυνση ελεύθερης όψης, όπως σε θέσεις αναχωμάτων ποταμών (Kramer, 1996). Οι κινήσεις αυτές λαμβάνουν χώρα όταν η αντοχή του ρευστοποιήσιμου σχηματισμού δεν αρκεί για να αντισταθμίσει τις πλευρικές δυνάμεις οι οποίες ενεργούν στο υπερκείμενο μη ρευστοποιήσιμο επιφανειακό στρώμα (Kramer, 1996; Cooke και Mitchell, 1999). Ο συγκεκριμένος μηχανισμός αστοχίας δημιουργεί συνήθως σχισμές και ρωγμές στο επιφανειακό στρώμα, οι οποίες είναι πιθανό να προκαλέσουν το διαχωρισμό του σε διακριτά τμήματα, καθώς επίσης και

την συμπίεση και κατά συνέπεια την κάμψη του εδάφους στον πόδα του πρανούς (Kramer, 1996). Οι σχισμές αυτές ορισμένες φορές γεμίζουν με νερό και άμμο, προερχόμενα από τον υποκείμενο ρευστοποιημένο εδαφικό σχηματισμό (Γ. Παπαθανασίου, 2006).

Το φαινόμενο της εδαφικής ταλάντωσης λαμβάνει χώρα σε θέσεις με οριζόντια (επίπεδη) επιφάνεια στις οποίες δεν παρατηρούνται φαινόμενα πλευρικής μετατόπισης (lateral spreading). Κατά την διάρκεια της σεισμικής δόνησης, οι υπερκείμενοι μη ρευστοποιήσιμοι εδαφικοί σχηματισμοί λόγω πλευρικών δυνάμεων κινούνται προς τα εμπρός και πίσω με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ρωγμές οι οποίες διαχωρίζουν το ενιαίο, πριν το σεισμό, εδαφικό κάλυμμα σε περισσότερα του ενός τμήματα. Τα τμήματα αυτά συνεχίζουν να κινούνται προς διαφορετικές κατευθύνσεις μεταξύ τους ενώ είναι πιθανή η ανάδυση, μέσω των ρωγμών, λεπτόκοκκου υλικού του ρευστοποιήσιμου σχηματισμού στην επιφάνεια. Οι παραμορφώσεις – μετατοπίσεις που προκαλούνται λόγω της εδαφικής ταλάντωσης συνήθως έχουν μικρές τιμές και επηρεάζουν κατασκευές με επιφανειακές θεμελιώσεις και πεζόδρομους (Cooke και Mitchell, 1999) (Γ. Παπαθανασίου, 2006).



Εικόνα 5: Παραμόρφωση λόγω εδαφικής ταλάντωσης (τροποποιημένο από Youd, 1984), (Γ. Παπαθανασίου, διδακτορική διατριβή).

Η σεισμική δόνηση μπορεί να προκαλέσει, εκτός από την πλευρική παραμόρφωση του εδαφικού σχηματισμού, τη συμπύκνωση και κατά συνέπεια τη μεταβολή του όγκου του. Αυτή η μεταβολή επιφέρει καθίζηση, δηλαδή παραμόρφωση κατακόρυφης διεύθυνσης της επιφάνειας, με αποτέλεσμα την αστοχία κατασκευών με επιφανειακές θεμελιώσεις και δικτύων κοινής ωφέλειας, τοποθετημένα σε μικρό βάθος.

Τόσο οι πλευρικές όσο και οι κατακόρυφες παραμορφώσεις οι οποίες προκαλούνται λόγω ρευστοποίησης εδαφικών σχηματισμών είναι δυνατό να έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση κωνοειδών εξάρσεων στην επιφάνεια αποτελούμενων συνήθως από άμμο. Οι εμφανίσεις αυτές έχουν χαρακτηριστεί ως απόδειξη ρευστοποίησης ενός υποκείμενου στρώματος και αποτελούν ένδειξη ανάπτυξης υπερπίεσης του νερού των πόρων σε αυτό. Επιπλέον, με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση μπορεί να επιτευχθεί ο προσδιορισμός του σχηματισμού προέλευσης. Μολονότι, η εμφάνιση κώνων άμμου λαμβάνεται ως απόδειξη ρευστοποίησης, η απουσία τέτοιων περιστατικών δε θα πρέπει να μας οδηγεί στο αντίθετο συμπέρασμα καθώς η δημιουργία τους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Βασική προϋπόθεση είναι η ανάπτυξη υψηλής πίεσης πόρων η οποία εκτονώνεται χάρη στην προς την επιφάνεια ροή του νερού των πόρων. Αυτή η ροή θα δημιουργήσει συνθήκες ικανές, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, για την μελλοντική επαναρευστοποίηση του σχηματισμού καθώς προκαλεί χαλάρωση των δεσμών των κόκκων στο ανώτερο μέρος του στρώματος (Γ. Παπαθανασίου, 2006).



Εικόνα 6: Ηφαίστειο άμμου (Google image).

4. ΜΕΤΡΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΕΣ ΣΤΗ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Μια κατασκευή δομή που διαθέτει ευκαμψία, πλαστικότητα και ολκιμότητα, έχει τη δυνατότητα να υποστεί μεγάλες παραμορφώσεις, ρυθμιζόμενα υποστηρίγματα για τη διόρθωση των διάφορων οικισμών, και έχοντας τέτοιον κτιριακό σχεδιασμό που να μπορεί να εκτείνεται σε μαλακά σημεία και μπορεί να μειώσει το ποσό της ζημιάς που μπορεί να υποστεί σε περίπτωση ρευστοποίησης. Για την επίτευξη αυτών των χαρακτηριστικών σε ένα κτίριο, υπάρχουν διάφορες πτυχές οι οποίες πρέπει να εξεταστούν.

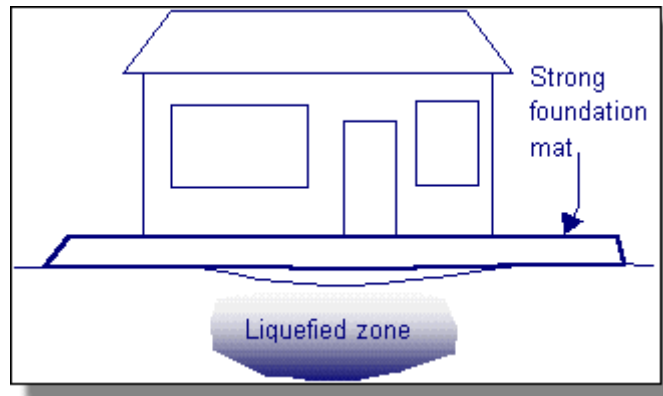
ΑΒΑΘΗ (ΡΗΧΑ) ΘΕΜΕΛΙΑ

Είναι σημαντικό όλα τα στοιχεία θεμελίωσης σε μια κατασκευή με αβαθή ρηχά θεμέλια, να είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους για να κάνουν την θεμελίωση να κινείται ή να εγκατασταθεί ομοιόμορφα, μειώνοντας έτσι το ποσό των διατμητικών τάσεων που προκαλούνται στα διαρθρωτικά στοιχεία που βρίσκονται πάνω από τα θεμέλια.

Η πρώτη φωτογραφία δείχνει τον τοίχο ενός σπιτιού υπό κατασκευή στο Κόμπε της Ιαπωνίας. Η καλά ενισχυμένη περίμετρος και το μέγεθος του εσωτερικού τοιχώματος, είναι δεμένα μεταξύ τους ώστε να μπορέσουν να γεφυρωθούν πάνω από περιοχές του τοπικού οικισμού και να προσφέρουν καλύτερη αντίσταση κατά των κινήσεων του εδάφους.



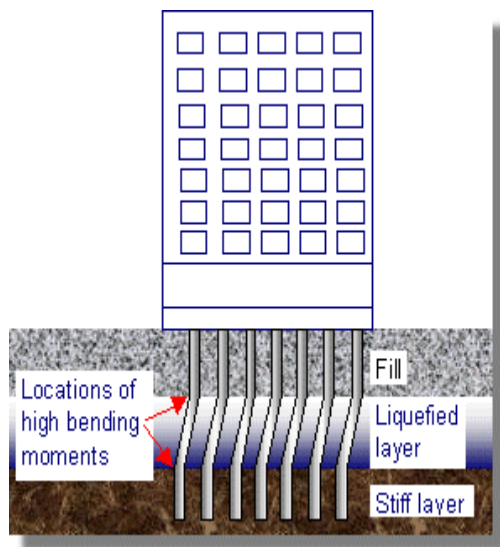
Ένα σκληρό δύσκαμπτο στρώμα θεμελίωσης (κάτω) γενικής κοιτόστρωσης, είναι ένας καλός τύπος για ρηχά θεμέλια, τα οποία μπορούν να μεταφέρουν και ανακατενέμουν τα φορτία της ανωδομής από τοπικά ρευστοποιημένες ζώνες σε παρακείμενα ισχυρότερα εδάφη.



Θαμμένα συστήματα δικτύων κοινής ωφελείας, όπως αποχετεύσεις και σωληνώσεις υδρεύσεως, διανομής φυσικού αερίου κλπ., θα πρέπει να έχουν ελαστικές και εύκαμπτες συνδέσεις με τη κατασκευή και συστήματα ελαστικής αξονικής παραμόρφωσης, ώστε να επιτρέπουν και να διευκολύνουν τις μεγάλες διαφορικές κινήσεις που μπορεί να προκληθούν λόγω ρευστοποίησης χωρίς να προκαλείται θραύση. Οι σωλήνες στη φωτογραφία συνέδεσαν τα δύο κτίρια σε μια ευθεία γραμμή πριν από τον σεισμό.



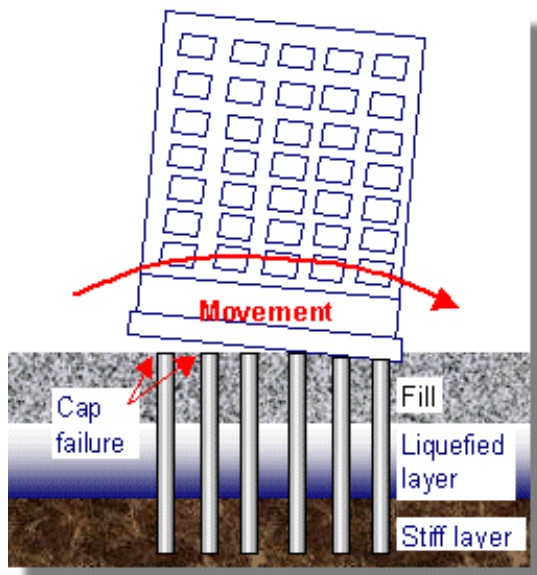
ΒΑΘΙΑ ΘΕΜΕΛΙΑ



Η ρευστοποίηση μπορεί να προκαλέσει μεγάλα πλευρικά φορτία στους πασσάλους της βαθιάς θεμελίωσης.

Οι πάσσαλοι αυτοί που διέρχονται μέσα από ένα μαλακό και, ενδεχομένως ρευστοποιήσιμο στρώμα του εδάφους και ένα σκληρό ισχυρότερο και επομένως ανθεκτικότερο στρώμα, πρέπει όχι απλώς να μεταφέρουν τα κατακόρυφα φορτία από το ανώτερο επίπεδο της ανωδομής, αλλά πρέπει επίσης να είναι ικανοί να

αντισταθούν και να παραλάβουν τα οριζόντια φορτία της σεισμικής ή άλλης οριζόντιας καταπόνησης. Πρέπει δηλαδή να είναι ικανοί να παραλάβουν με ασφάλεια τις καμπτικές ροπές και τις διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται από τις πλευρικές οριζόντιες μετακινήσεις, αν το ασθενές στρώμα ρευστοποιείται.



Επαρκής αντοχή στην παραπάνω περιγραφόμενη καταπόνηση, μπορεί να επιτευχθεί με τη κατασκευή πασσάλων μεγαλύτερης διατομής ή / και πιο ενισχυμένων.

Είναι σημαντικό, οι πάσσαλοι να συνδέονται με το κάλυμμα του κεφαλόδεσμου με έναν εύκαμπτο και ελαστικό τρόπο ο οποίος να επιτρέπει κάποιου είδους περιστροφή χωρίς να σπάσει η σύνδεση. Σε περίπτωση που σπάσουν και καταστραφούν οι συνδέσεις

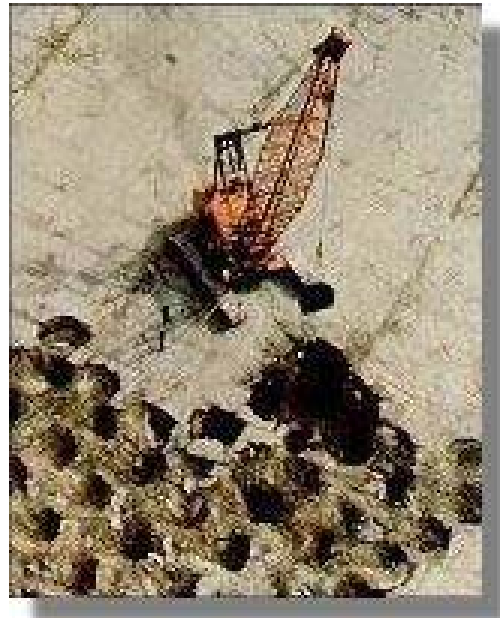
των πασσάλων με το κάλυμμα του κεφαλόδεσμου δεν μπορεί να αντέξει μεγάλες στροφικές κινήσεις από τα ανώτερα στρώματα της ανωδομής διότι αναπτύσσονται πρόσθετα κατακόρυφα φορτία στους πασσάλους (βλέπε εικόνα ανωτέρω).

4.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ο κύριος στόχος των περισσότερων τεχνικών βελτίωσης εδάφους, που χρησιμοποιούνται για τη μείωση των κινδύνων ρευστοποίησης, είναι να αποφευχθούν μεγάλες αυξήσεις της εσωτερικής πίεσης πόρων (ενδοπορική) του νερού που υπάρχει στο έδαφος κατά τη διάρκεια του σεισμού και κατά συνέπεια να μην μειωθεί ή να εκλείψει η διατμητική αντοχή του εδάφους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την συμπίκνωση του εδάφους ή / και βελτίωση της ικανότητας απορροής του νερού δηλαδή να βελτιωθεί η αποστράγγιση του εδάφους.

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

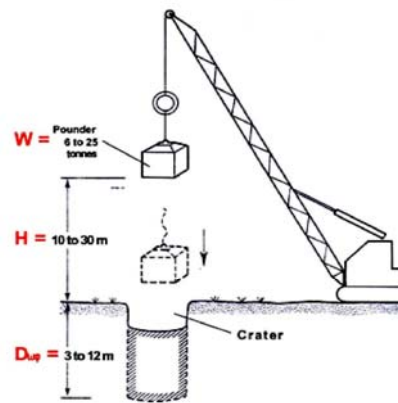
Η συμπίκνωση του εδάφους με τη μέθοδο της δυναμικής συμπίκνωσης πραγματοποιείται με τη ρίψη πτώση ενός τεμαχίου χάλυβα ή σκυροδέματος συγκεκριμένων τυποποιημένων διαστάσεων μεγάλου βάρους, από ύψος περίπου 10 έως 30 μέτρων. Η πτώση του βάρους γίνεται σε ένα προδιαγεγραμμένο σχέδιο πλέγματος κανάβου για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης συμπίκνωσης. Η μέθοδος αυτή παρέχει έναν οικονομικό τρόπο βελτίωσης του εδάφους ώστε να μειωθούν οι κίνδυνοι ρευστοποίησης.



Η ρευστοποίηση μπορεί να μετατοπισθεί κάτω από το σημείο πτώσης καθιστώντας ευκολότερο για τους κόκκους άμμου να συμπιεστούν.

Όταν η υπερπίεση του νερού των πόρων (ενδοπορικού), η οποία αναπτύσσεται από τη δυναμική φόρτιση της πτώσης του βάρους σταδιακά μειωθεί ή μηδενισθεί, τότε επέρχεται επιπλέον συμπίκνωση του εδάφους. Όπως φαίνεται και στην παραπάνω φωτογραφία ωστόσο, η διαδικασία αυτή δρα κατά τρόπο επεμβατικό. Η επιφάνεια του εδάφους μπορεί να απαιτεί ρηχή συμπίκνωση, με πιθανή προσθήκη κοκκώδους υλικού συμπληρώματος των κενών, ακολουθώντας τη δυναμική συμπίεση.

Στην παράσταση που φαίνεται παραπλεύρως αποτυπώνεται με σχηματικό τρόπο η διαδικασία της δυναμικής συμπίκνωσης και δίνονται απλά μετρικά στοιχεία του πείπτοντος βάρους, του ύψους πτώσεως και του βάθους επιρροής



Βάθος επιρροής: $D_{\omega\phi} \approx \frac{1}{2} \sqrt{WH}$

W: πείπτον βάρος (t)

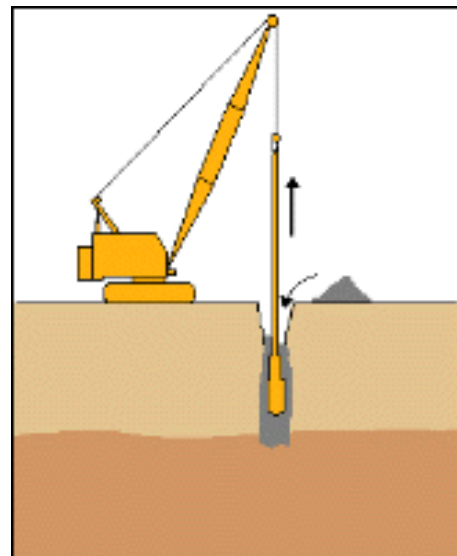
H: ύψος πτώσεως (m)

ΔΟΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ (Vibroflotation)

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε χαλαρά μη-συνεκτικά εδάφη (π.χ. με περιεκτικότητα ιλύος μικρότερη του 15% ή περιεκτικότητα αργίλου μικρότερη του 5%). Μέσω της δόνησης που επιβάλλεται στο έδαφος επιτυγχάνεται με την πλευρική εκτόπιση συμπίκνωση του εδάφους και συνεπώς σημαντική αύξηση της σχετικής πυκνότητας αυτού.

Λόγω της επακόλουθης μείωσης του εδαφικού όγκου εξ αιτίας της συμπίκνωσης, προκαλείται ταπείνωση

της επιφάνειας του εδάφους (με την δημιουργία επιφανειακών «κρατήρων») κατά την διάρκεια των εργασιών βελτίωσης. Το κενό που δημιουργείται από τη συμπίκνωση πληρούται με χαλίκι που εκχύνεται από την επιφάνεια του εδάφους. Η αύξηση της σχετικής πυκνότητας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, την μείωση των καθιζήσεων και την ελαχιστοποίηση του κινδύνου ρευστοποίησης του εδάφους, λόγω της ταχύτατα επαναλαμβανόμενης φόρτισης.



ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ

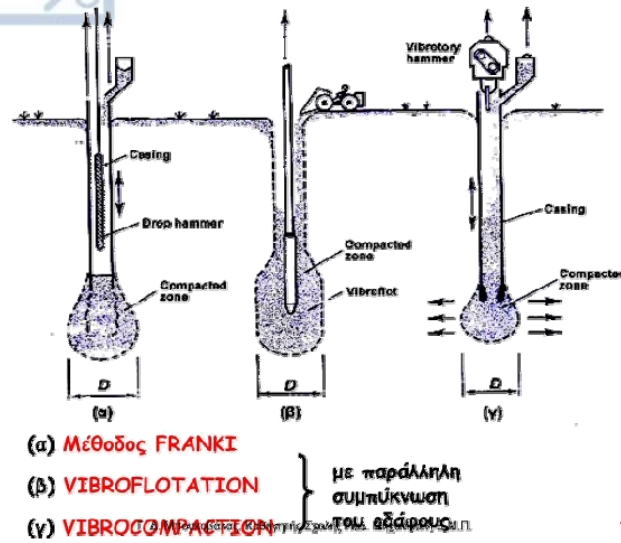
Όπως δηλώνεται από τον όρο, οι χαλικοπάσσαλοι είναι φτιαγμένοι από χαλίκι και μπορούν να κατασκευαστούν με διάφορες μεθόδους που φαίνονται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα και περιγράφεται περιληπτικά.

Η κατασκευή με τη μέθοδο FRANKI γίνεται με την έμπηξη άκαμπτου χαλύβδινου σωλήνα στο έδαφος μέχρι του τελικού προγραμματισμένου βάθους. Η έμπηξη γίνεται κρουστικά ή δονητικά με κατάλληλη σφύρα ή δονητή. Ο σωλήνας στην αιχμή φέρει κωνοειδές πώμα που είναι ικανό να ανοιγοκλείνει. Το εσωτερικό του σωλήνα γεμίζει με σκύρα από τη χοάνη τροφοδοσίας που προσαρμόζεται πλαγιομετωπικά στην κεφαλή. Το στέλεχος ανασύρεται σταδιακά, το πώμα ανοίγει και βάρος ανερχόμενο και πίπτον στο εσωτερικό του σωλήνα εισπιέζει σκύρα στο κενό που δημιουργείται από τη συμπίκνωση και τη πλευρική εκτόπιση του εδάφους. Με τη σταδιακή ανύψωση του σωλήνα δημιουργείται ο χαλικοπάσσαλος.

Η κατασκευή με τη μέθοδο της βαθιάς Δονητικής Συμπύκνωσης (Vibroflotation) γίνεται με τη χρήση ενός καθετήρα (τορπίλη) που δονείται οριζόντια λόγω έκκεντρης περιστροφής του. Ο καθετήρας μπορεί να εισχωρήσει στα κοκκώδη εδάφη σε βάθος 30 μ. Οι οριζόντιες δονήσεις του καθετήρα προκαλούν κατάρρευση της κοκκομετρικής δομής του εδάφους, πλάγια εκτόπιση και συμπίκνωση του εδάφους. Το κενό που δημιουργείται από τη συμπίκνωση πληρούται με χαλίκι το οποίο τροφοδοτείται από την επιφάνεια του εδάφους. Ο καθετήρας ανασύρεται σταδιακά μέχρι την επιφάνεια και έτσι σχηματίζεται ένας χαλικοπάσσαλος.

Η κατασκευή με τη μέθοδο της βαθιάς Δονητικής Συμπύκνωσης (Vibrocompaction) γίνεται με τη χρήση δονητικής στήλης. Το στέλεχος της δονητικής στήλης είναι από χαλύβδινο σωλήνα με χοάνη για την τροφοδοσία σκύρων στην κορυφή και ανοιγόμενο πώμα στην αιχμή. Το σύστημα εμπήγεται στο έδαφος που εκτοπίζεται πλευρικά με την βοήθεια της δονητικής σφύρας που προσαρμόζεται στην κεφαλή της στήλης. Στο προγραμματισμένο βάθος το δονητικό στέλεχος ανασύρεται σταδιακά, ανοίγεται το πώμα της αιχμής εκχύνονται τα σκύρα από το εσωτερικό του σωλήνα τροφοδοσίας και αναπληρώνουν το κενό που δημιουργείται από την πλευρική εκτόπιση και συμπίκνωση του εδάφους. Το στέλεχος εμπήγεται και συμπυκνώνει ακόμη περισσότερο τα χαλίκια και έτσι με την σταδιακή ανάδυση του στελέχους δημιουργείται ο χαλικοπάσσαλος.

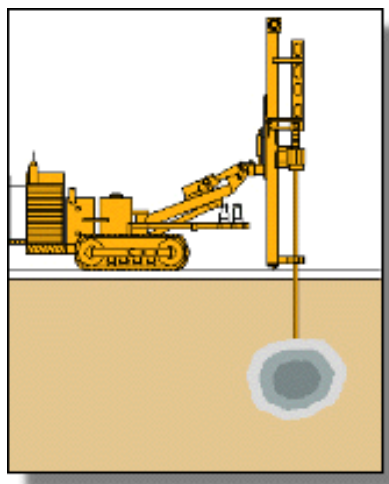
Συνήθεις μέθοδοι κατασκευής χαλικοπασσάλων:



Εικόνα 7: Συνήθεις μέθοδοι κατασκευής χαλικοπασσάλων (ΕΜΠ).

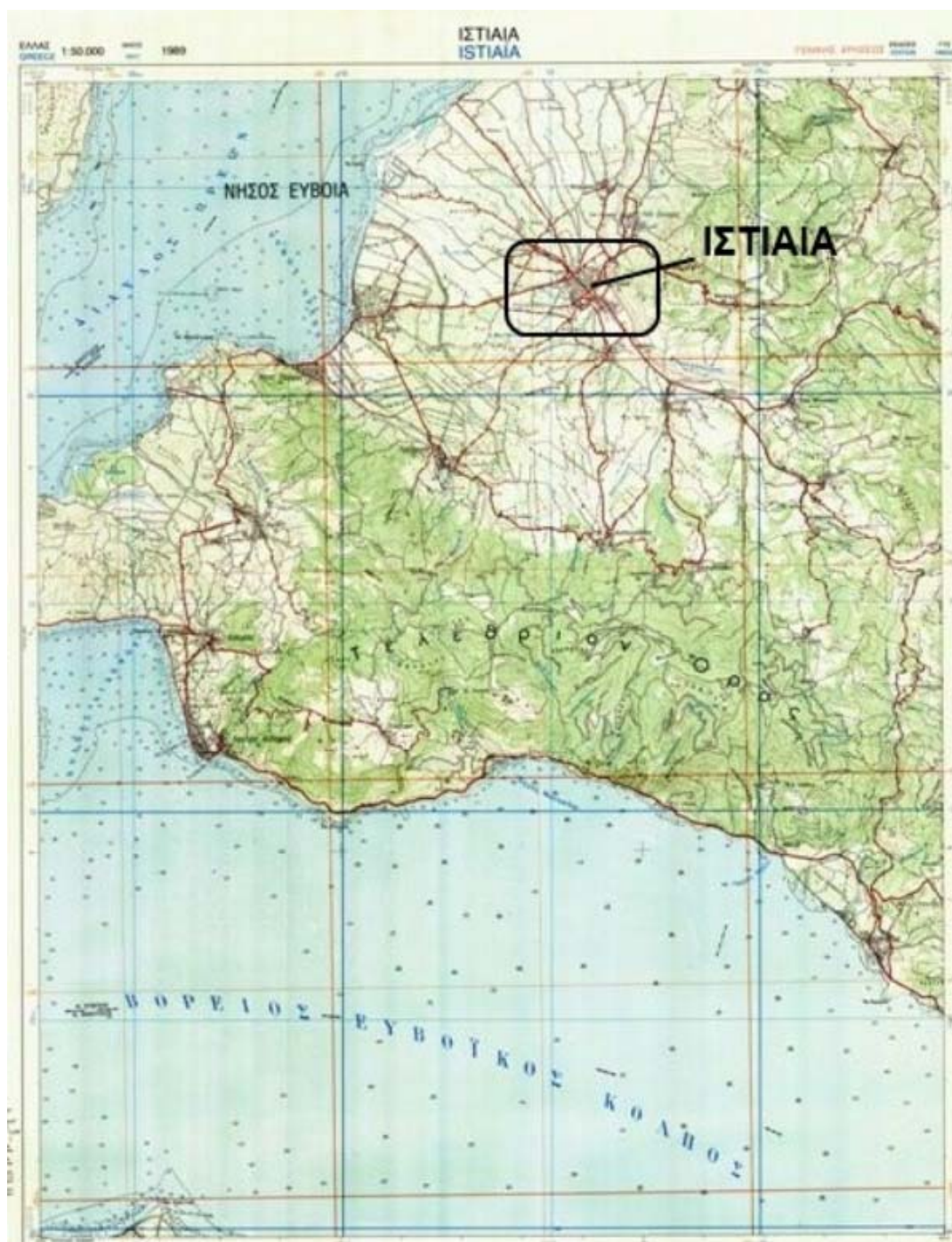
ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΙΣ

Οι τσιμεντενέσεις, είναι μια τεχνική με την οποία αργή ροή μίγματος νερού / άμμου / τσιμέντου εκχύνεται υπό πίεση σε ένα κοκκώδες έδαφος. Τα ενέματα σχηματίζουν έναν βολβό που μετατοπίζεται και ως εκ τούτου συμπιέζει το περιβάλλον χώμα (εικόνα κάτω). Οι τσιμεντενέσεις, είναι μια καλή επιλογή αν τα θεμέλια ενός υπάρχοντος κτιρίου απαιτούν βελτίωση, εφόσον είναι δυνατόν να εκχυθεί το ένεμα πλευρικά ή υπό γωνία για να φτάσει κάτω από το κτίριο.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΤΗΝ ΙΣΤΙΑΙΑ ΕΥΒΟΙΑΣ

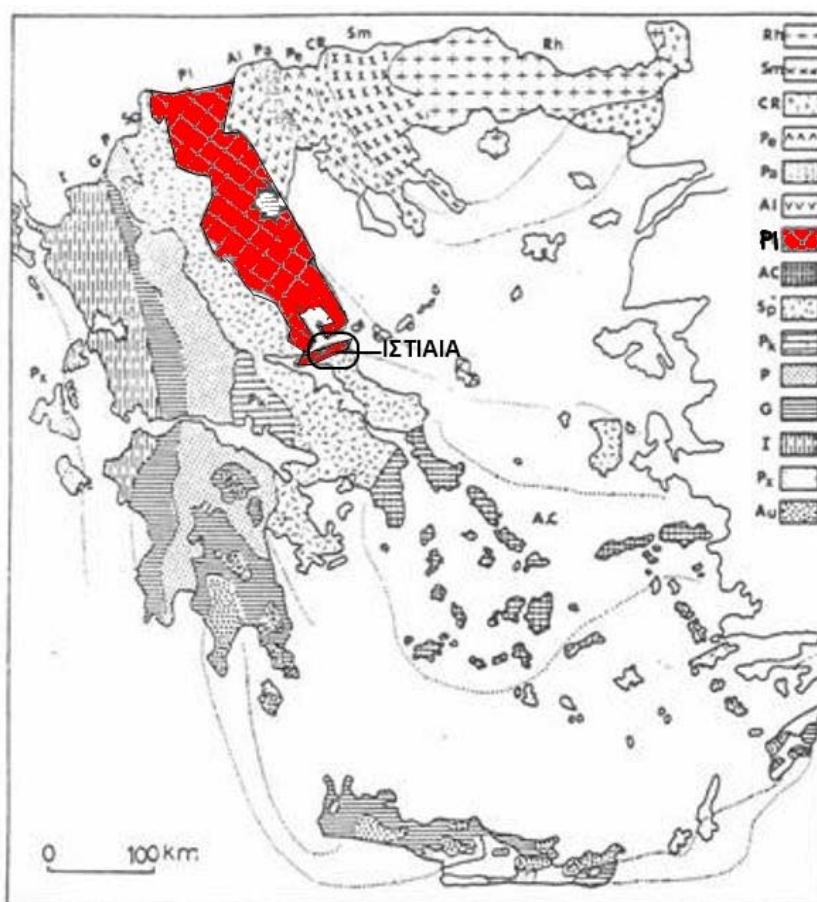
Η περιοχή που αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας μελέτης, βρίσκεται στο βορειότερο τμήμα της Εύβοιας, κατά μήκος και ενδοχωρικά του Δίαυλου των Ωρεών. Στο κέντρο της τριγωνικής σχεδόν περιοχής, βρίσκεται η κωμόπολη της Ιστιαίας.



Εικόνα 8: Φύλλο χάρτη, Ιστιαία, κλίμακα 1:50.000 (Γ.Υ.Σ)

3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή δομείται κυρίως από σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης (κάποιοι υποστηρίζουν ότι ανήκει στην Υποπελαγονική ζώνη ή γενικά βρίσκεται στο όριο μεταξύ των 2 ζωνών) και Νεογενείς σχηματισμούς του Αν. Μειόκαινου – Πλειόκαινου (από Οριστική Υδρογεωλογική Μελέτη Β. Εύβοιας, ανάδοχος 'ΥΔΡΟΓΑΙΑ'). Οι σχηματισμοί αυτοί είναι ποταμολιμναίας φάσεως με συμμετοχή κυρίως μαργαϊκών τραβερτινοειδών ασβεστόλιθων, κροκαλοπαγών, κροκαλολατυποπαγών με ασβεστολιθικά και δολομιτικά στοιχεία, συμπαγών μαργών και ψαμμιτών καθώς και αδρομερών κροκαλοπαγών. Επίσης στην περιοχή εμφανίζονται σε περιορισμένη έκταση, κυρίως στα ανατολικά, οφειολιθικοί σχηματισμοί, η σχιστοκερατολιθική διάπλαση του Μ.–Α. Ιουρασικού και Μεσοζωικοί ανθρακικοί σχηματισμοί (κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες). Στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής εμφανίζονται, επίσης Νεοπαλαιοζωικοί – Μεσοτριάδικοί μετακλαστικοί σχηματισμοί και το Παλαιοζωικό κρυσταλλικό υπόβαθρο (γενέσιοι, γενυσιοσχιστόλιθοι, αμφιβολίτες).



Εικόνα 9: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η Πελαγονική ζώνη (Μουντράκης, 1983).

Στην ευρύτερη περιοχή της Β. Εύβοιας, έχουν λάβει χώρα κατά το παρελθόν διάφοροι σεισμοί οι οποίοι σχετίζονται με το φαινόμενο της ρευστοποίησης. Μερικοί από αυτούς (για τους οποίους υπάρχουν ιστορικά δεδομένα – «Οι σεισμοί της Ελλάδας», Β. Παπαζάχου) παρατίθενται πιο κάτω.

18 Μαρτίου 1874, Βοιωτία – Ερέτρια

Ο σεισμός έπληξε την Ερέτρια και την Β. Εύβοια και έγινε αισθητός μέχρι τη Λαμία και το βουνό Όλυμπος. Το μέγεθός του $M = 6$.

31 Μαρτίου 1930, Μαγνησία

Ο σεισμός έγινε έντονα αισθητός σε ολόκληρη σχεδόν τη Θεσσαλία μέχρι το Μέτσοβο στην Ήπειρο, στην Κατερίνη, Λαμία, Άμφισσα, Αθήνα, Ιστιαία, Εύβοια και Σκιάθο. Το μέγεθός του $M = 6,1$.

19 Απριλίου 1955, Μαγνησία

Ο σεισμός έπληξε έντονα την περιοχή του Βόλου και έγινε αισθητός μέχρι τη Β. Εύβοια, όπου και προκάλεσε ελαφριές βλάβες.

8 Μαρτίου 1957, Βελεστίνο Μαγνησίας

Επτά λεπτά πριν από τον κύριο σεισμό έγινε μεγάλος προσεισμός του οποίου οι συνέπειες δεν μπορούν να διακριθούν από τις συνέπειες του κύριου σεισμού. Ακολούθησε μεγάλος αριθμός μετασεισμών, οι οποίοι προκάλεσαν σοβαρές βλάβες στους νομούς Μαγνησίας, Β. Εύβοιας, Λάρισας, Καρδίτσας και Τρικάλων.

3.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στην παρούσα εργασία για την μελέτη της υδρογεωλογίας της περιοχής χρησιμοποιήσαμε δεδομένα και στοιχεία από:

α. Τον γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος φύλλο ΙΣΤΙΑΙΑ κλ. 1: 50.000 και την «Υδρογεωλογική έρευνα επί του φαινομένου εμφάνισης «ρέουσας άμμου» στις γεωτρήσεις του κάμπου Ιστιαιάς του Ι.Γ.Μ.Ε.

β. Την «Οριστική υδρογεωλογική Μελέτη Βόρειας Ευβοίας», που εκπονήθηκε από την Υδρο-γαία Ε.Π.Ε, στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος του Υπουργείου Γεωργίας, / IV Περιφερειακή Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων (Π.Δ.Ε.Β.), επ' ωφελεία της Δ/σης Εγγείων Βελτιώσεων του Ν. Ευβοίας.

γ. Τα φύλα χάρτη «Ιστιαία» και «Αργαλαστή» κλ. 1:50.000 της Γ.Υ.Σ

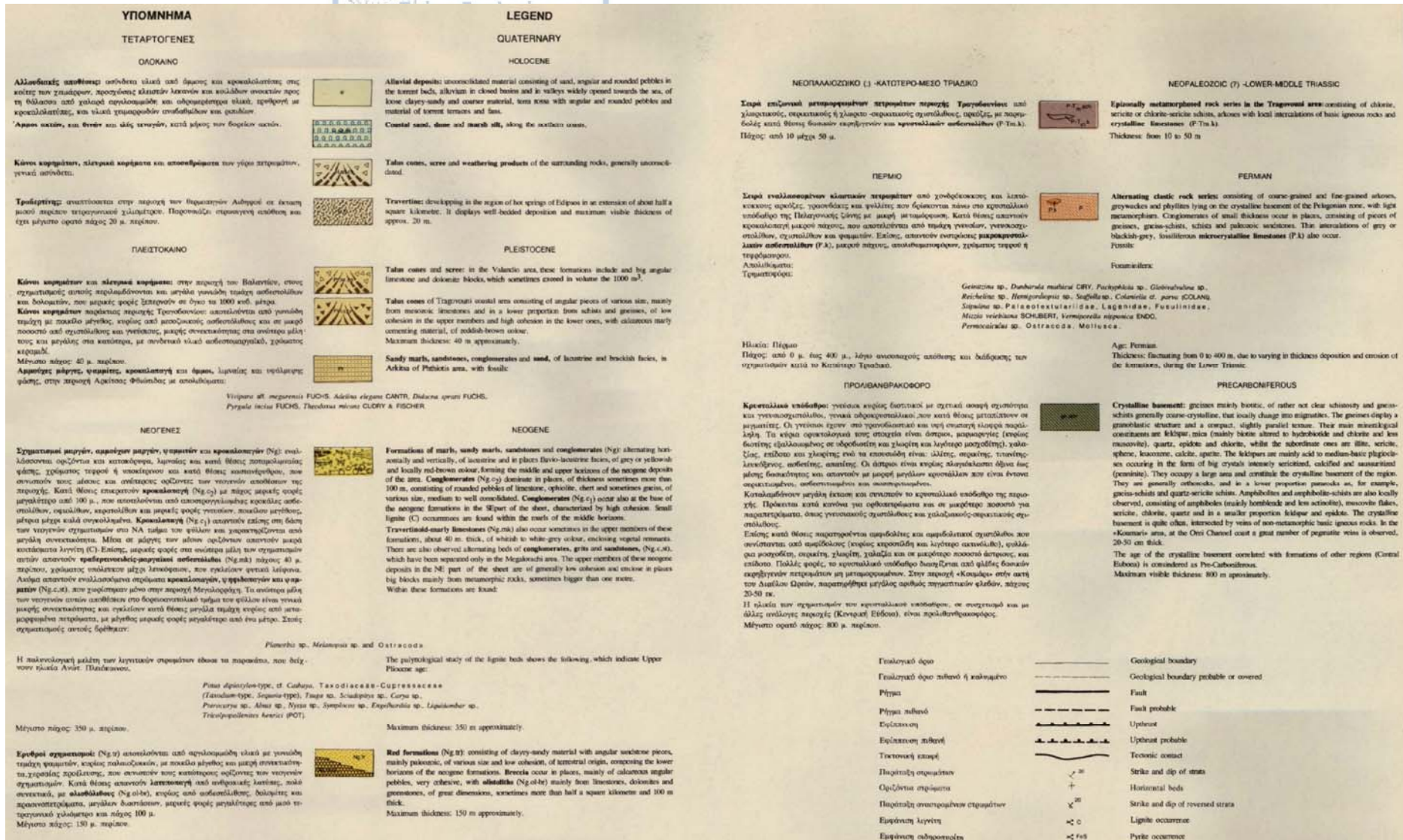
Στον γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος φύλλο ΙΣΤΙΑΙΑ κλ. 1: 50.000 του ΙΓΜΕ (εικόνα 10) η περιοχή μελέτης που μας ενδιαφέρει και στην οποία υπάρχουν τα σημεία υδροληψίας (γεωτρήσεις φρέατα πηγές κ.λπ.), αποτυπώνεται με λευκό χρώμα και έχει τριγωνική - χωνοειδή μορφή. Οριοθετείται Βόρεια από τη θάλασσα (Δίαυλος Ωρεών), Ανατολικά από τον οικισμό Ασμηνίου, τον οικισμό της Ν. Σινασσού, την περιαστική περιοχή πόλεως Ιστιαιάς και τον οικισμό Κ. Μονοκαρνάς, Νότια από τούς οικισμούς Καμαρίων, Αγ. Γεωργίου και Ν. Ταξιάρχη και Δυτικά από τους παραλιακούς οικισμούς Ν. Πύργου και Ωρεών.

Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει στο σύνολό της σχεδόν τη λεκάνη απορροής του κάτω ρου του Κάλλα π. (Ξηριά ρ.) εξ ου και το όνομα «Ξηροχώρι» με το οποίο ονομάζεται ακόμη η πόλη της Ιστιαιάς.

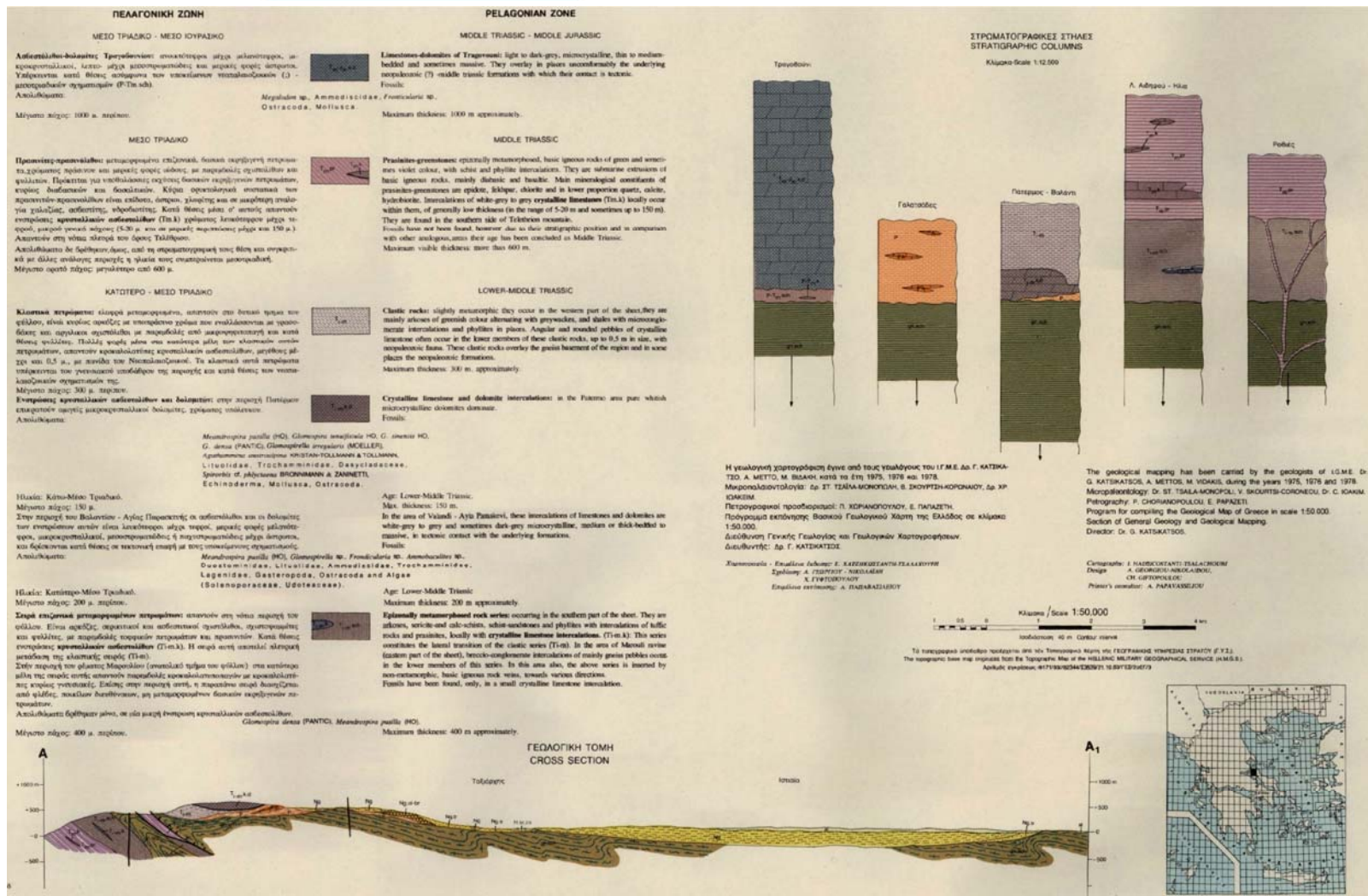
Όπως αναφέρεται στο υπόμνημα του ανωτέρω γεωλογικού χάρτη, (εικόνες 11α και 11β) η γεωλογική σύσταση της περιοχής που μας ενδιαφέρει και περιγράφεται παραπάνω, αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις: Ασύνδετα υλικά από άμμους και κροκαλολατύπες στις κοίτες των χειμάρρων, προσχώσεις κλειστών λεκανών και κοιλάδων ανοικτών προς τη θάλασσα από χαλαρά αργιλοαμμώδη και αδρομερέστερα υλικά, ερυθρογή με κροκαλολατύπες και υλικά χειμαρρωδών αναβαθμίδων και ριπιδίων. Άμμους ακτών και θινών και ιλύς τεναγών κατά μήκος των βορείων ακτών καθώς και από τραβερτίνες ηλικίας Ολόκαινου Τεταρτογενούς. Γύρω από αυτήν την περιοχή, έχουμε σχηματισμούς μαργών, αμμούχων μαργών, ψαμμιτών και κροκαλοπαγών ηλικίας Νεογενούς.



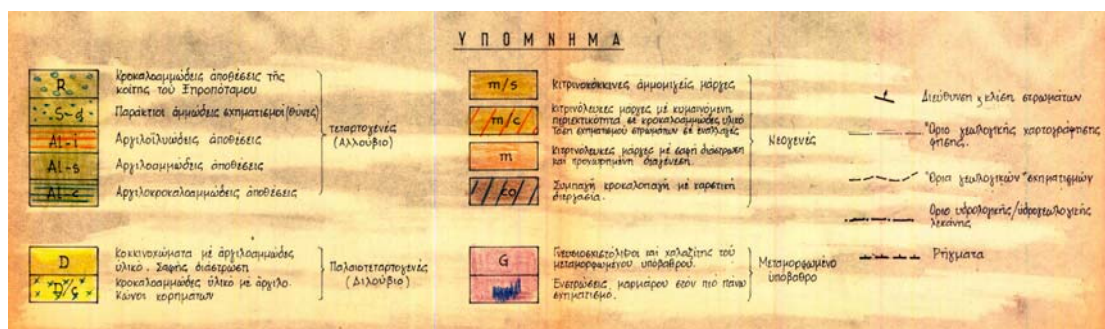
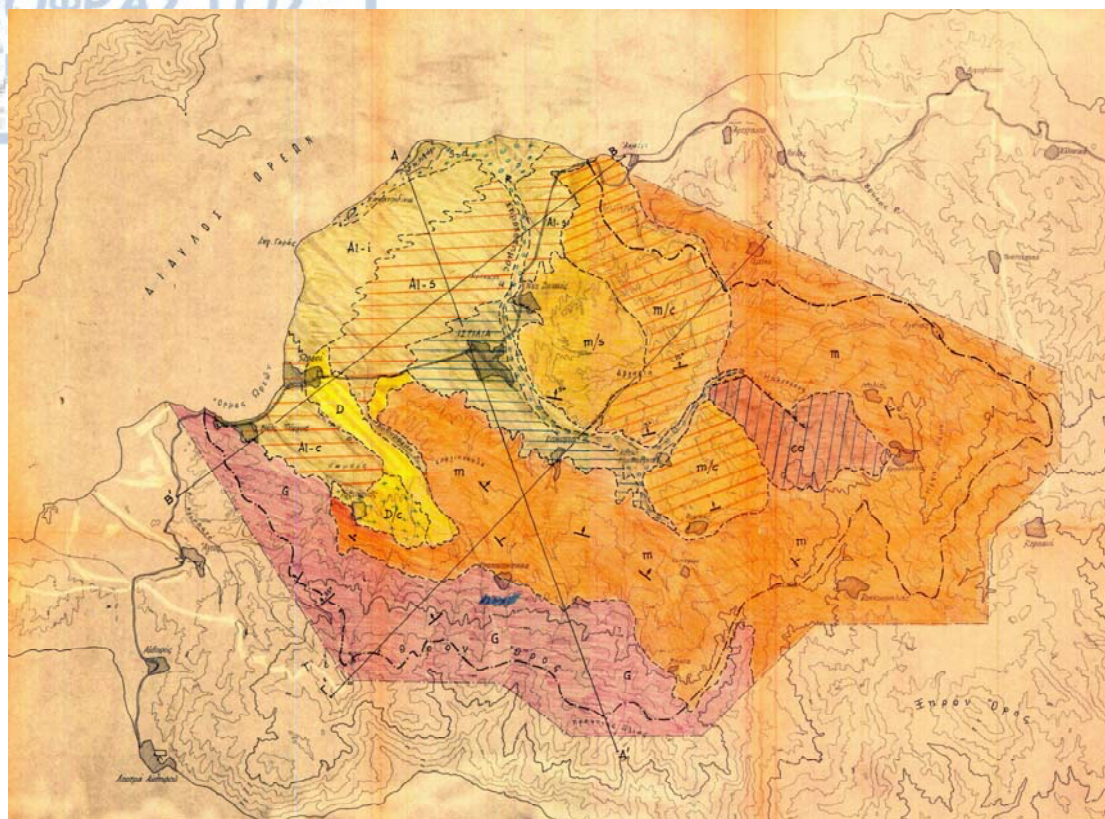
Εικόνα 10: Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Ιστιαία, κλίμακα 1:50.000 (Ι.Γ.Μ.Ε.).



Εικόνα 11α: Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη, φύλλο Ιστιαία (Ι.Γ.Μ.Ε.).



Εικόνα 12β: Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη, φύλλο Ιστιαία (Ι.Γ.Μ.Ε.)



Χάρτης 1: Γεωλογικός χάρτης Β. Εύβοιας, περιοχή Ιστιαίας.

Στη συνέχεια, παρατίθεται πίνακας με τα δεδομένα των σημείων υδροληψίας (γεωτρήσεις, φρέατα πηγές), που έχουν εντοπισθεί στην οριστική υδρογεωλογική μελέτη της Βόρειας Εύβοιας για τα οποία έχουν ληφθεί υδρολογικά στοιχεία. Στον πίνακα αυτόν αναφέρονται το όνομα του σημείου υδροληψίας, οι συντεταγμένες του X, Y στο σύστημα ΕΓΣΑ 87, καθώς και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα..

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ

ΟΝΟΜΑ ΣΗΜΕΙΟΥ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ	ΤΕΤΜΗΜΕΝΗ (X)	ΤΕΤΑΓΜΕΝΗ (Y)	ΒΑΘΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ (m)
A II 1	426.001,99	4.317.419,66	-1,21
A II 2	426.576,80	4.317.351,39	-1,18
A II 3	426.557,80	4.317.021,98	-1,93
A II 4	425.230,24	4.316.800,94	-1,15
A III 1	428.733,25	4.317.039,69	-2,45
A III 2	427.629,77	4.316.977,83	-1,75
B I 1	423.122,93	4.316.180,34	-1,05
B I 2	422.909,48	4.315.747,11	-1,77
B I 3	422.897,30	4.315.332,11	-2,18
B I 4	422.250,55	4.314.428,45	-1,30
B I 5	422.713,25	4.314.312,20	-1,62
B II 1	424.690,95	4.316.614,74	-1,71
B II 2	424.356,88	4.316.491,08	-1,10
B II 3	423.438,15	4.316.154,81	-1,23
B II 4	425.732,50	4.315.655,00	-1,55
B II 5	423.589,78	4.316.025,65	-1,00
B II 6	423.882,76	4.315.673,78	-1,70
B II 7	424.377,50	4.315.790,00	-1,65
B II 8	426.528,92	4.315.975,19	-0,95
B II 9	426.733,82	4.315.416,07	-1,90
B II 10	424.362,46	4.315.158,68	-1,10
B II 11	425.153,94	4.315.146,32	-1,42
B II 12	426.121,08	4.315.043,14	-2,14
B II 13	423.521,73	4.314.471,40	-6,05
B II 14	424.553,89	4.314.268,48	-0,58
B II 15	426.750,05	4.314.496,70	-2,75
B II 16	424.828,73	4.313.943,15	0,00
B II 17	425.004,27	4.314.240,76	-0,33
B II 18	425.696,83	4.313.853,71	-1,93
B III 1	428.037,08	4.316.191,71	-2,05
B III 2	428.097,10	4.315.789,00	-1,45
B III 3	427.999,86	4.315.456,85	0,00
B III 5	427.637,71	4.314.676,53	-4,50
Γ I 1	421.703,56	4.313.782,09	-1,00
Γ I 2	422.549,86	4.313.525,81	-1,63
Γ I 3	422.835,79	4.313.175,12	-1,38
Γ I 4	421.642,06	4.313.159,49	-2,55
Γ I 5	421.151,82	4.312.976,50	-1,73

Γ Ι 6	422.086,03	4.312.929,20	-1,93
Γ Ι 7	421.632,56	4.312.764,34	-1,36
Γ Ι 8	421.811,04	4.312.199,45	-2,23
Γ Ι 9	421.450,30	4.311.765,03	-3,98
Γ Ι 10	422.938,34	4.311.817,94	-2,60
Γ ΙΙ 1	423.755,99	4.314.033,59	0,00
Γ ΙΙ 2	426.240,06	4.313.222,04	-3,45
Γ ΙΙ 3	424.648,77	4.313.324,20	-2,30
Γ ΙΙ 4	424.341,79	4.313.198,18	-2,25
Γ ΙΙ 5	425.536,23	4.313.380,61	-3,35
Γ ΙΙ 6	426.212,73	4.312.614,61	-4,80
Γ ΙΙ 7	426.521,95	4.312.782,41	-4,60
Γ ΙΙ 8	423.210,13	4.312.786,85	-0,71
Γ ΙΙ 9	423.778,28	4.312.987,06	-1,90
Γ ΙΙ 10	425.189,34	4.312.761,68	-4,65
Γ ΙΙ 11	427.149,50	4.312.886,50	-5,35
Γ ΙΙ 12	424.708,34	4.312.366,61	-3,38
Γ ΙΙ 13	424.742,48	4.311.502,74	-5,40
Δ Ι 1	422.251,46	4.311.201,85	-23,00
Δ Ι 2	420.784,52	4.310.898,87	0,00
Δ Ι 3	420.795,80	4.310.674,19	0,00
Δ Ι 4	420.934,36	4.310.501,89	-0,10
Δ Ι 5	420.387,51	4.310.326,19	-1,95
Δ Ι 6	421.203,35	4.310.403,54	0,00
Δ Ι 7	421.144,61	4.310.270,82	0,00
Δ Ι 8	420.019,86	4.310.099,14	0,00
Δ Ι 9	421.802,35	4.309.917,00	-3,85
Δ Ι 10	420.573,62	4.309.437,04	0,00
Δ Ι 11	420.821,77	4.309.511,80	-2,03
Δ Ι 12	421.219,96	4.309.404,22	0,00
Δ Ι 13	421.902,46	4.309.454,91	0,00
Δ Ι 14	421.242,52	4.309.153,31	0,00
Δ Ι 15	422.122,96	4.309.266,91	-9,00
Δ Ι 16	420.299,93	4.309.027,24	-5,00
Δ Ι 17	421.335,66	4.308.819,24	-4,50
Δ Ι 18	421.928,91	4.308.942,99	0,00
Δ ΙΙ 1	427.212,01	4.310.848,25	-8,30
Δ ΙΙΙ 1	427.695,62	4.309.934,06	-8,50
Δ ΙΙΙ 2	427.943,83	4.309.458,01	-9,25
Δ ΙΙΙ 3	429.320,60	4.309.254,49	-9,95
Δ ΙΙΙ 4	429.627,65	4.308.727,77	-10,75
Δ ΙΙΙ 5	430.078,43	4.308.939,02	-14,60

Πίνακας 3: Σημεία εμφάνισης ύδατος.

Με τη χρήση σχεδιαστικού προγράμματος γεωαναφέρθηκαν τα φύλλα χάρτου Ιστιαία & Αργαλαστή κλ. 1:50000 της Γ.Υ.Σ και δημιουργήθηκε ο χάρτης της περιοχής.

Στον χάρτη αυτό αποτυπώθηκαν τα σημεία υδροληψίας του ανωτέρω πίνακα. Και έτσι δημιουργήθηκε ένα νέος χάρτης στον οποίο αποτυπώνονται οι θέσεις, τα ονόματα και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα των σημείων υδροληψίας.

(Εικόνα 12)

Από την μελέτη των στοιχείων αυτών παρατηρούμε ότι :

α, Υπάρχει ικανοποιητική πυκνότητα και κατανομή των σημείων στο χώρο οπότε αναμένουμε αξιόπιστο αποτέλεσμα.

β. Μεγάλος αριθμός σημείων υδροληψίας εμφανίζει μηδενικό βάθος υδροφόρου ορίζοντα λόγω αρτεσιανισμού. Το φαινόμενο του αρτεσιανισμού είναι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της περιοχής και χρήζει ιδιαίτερης μελέτης για την αξιοποίηση υπόγειου νερού ενός σημαντικού φυσικού πόρου που σήμερα καταλήγει μέσω του υφισταμένου δικτύου τάφρων αποστράγγισης (ποτόκια) στη θάλασσα.

γ. Στις περιοχές που ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ψηλά οι υψομετρικές διαφορές αυτού είναι μικρές.

δ. Στην παραλιακή ζώνη επειδή η στάθμη του φυσικού εδάφους είναι υψηλότερη της εσωτερικής η στάθμη του υδροφόρου εμφανίζεται βαθύτερη.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια της μεθόδου της γραμμικής παρεμβολής ακεραίων υψομέτρων μεταξύ των υψομέτρων γειτονικών σημείων τριγωνικού δικτύου σχεδιάστηκαν οι πολυγωνικές των ισοβαθών γραμμών ακεραίων υψομέτρων με μοναδιαίο βήμα μεταβολής 1μ. Στη συνέχεια έγινε εξομάλυνση των πολυγωνικών και οι ισοβαθείς γραμμές αποτυπώθηκαν στο χάρτη της περιοχής (Εικόνα 13)

Με τη βοήθεια του προγράμματος Surfer και με την εισαγωγή των στοιχείων του πίνακα επαναλήφθηκε η εργασία και αποτυπώθηκαν οι ισοβαθείς στο χάρτη της περιοχής.

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η αναφορά στο φαινόμενο της ρευστοποίησης εδαφικών σχηματισμών και πιο συγκεκριμένα η ανάλυσή του φαινομένου αυτού στην περιοχή της Ιστιαίας στη Β. Εύβοια. Όπως ήδη έχει αναφερθεί πιο πάνω, απαραίτητη και αναγκαία προϋπόθεση για τη ρευστοποίηση ενός εδάφους είναι να βρίσκεται σε κορεσμένη κατάσταση, δηλαδή να βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Επομένως, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα επηρεάζει την επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση του (**παράγραφος 2.3**).

Όσο πιο χαμηλή είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα τόσο μεγαλύτερη αντίσταση θα προβάλλει το συγκεκριμένο εδαφικό στρώμα σε ενδεχόμενη πιθανότητα ρευστοποίησης.

Επίσης, ανάλογα με τους εδαφικούς σχηματισμούς που απαρτίζουν την περιοχή μας, μπορούμε να εξετάσουμε την επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση (**παράγραφος 2.2 και πίνακας 1**).

Έτσι, στην παρούσα μελέτη και συγκεκριμένα στον χάρτη της περιοχής μας (**Εικόνα 14**) επισημάνθηκε η εδαφική περιοχή που εμφανίζει βάθος υδροφόρου μικρότερο των 3.0 μέτρων με κόκκινο χρώμα. Με τον ίδιο τρόπο και ανάλογα με το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα επισημάνθηκαν και οι υπόλοιπες περιοχές, σύμφωνα με τον **πίνακα 4**.

ΒΑΘΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ	ΧΡΩΜΑ
<3 μέτρα	Πολύ υψηλή	Κόκκινο
3 έως 6 μέτρα	Υψηλή	Ροζ
6 έως 10 μέτρα	Μέτρια	Γαλάζιο
10 έως 15	Χαμηλή	Χωρίς χρώμα

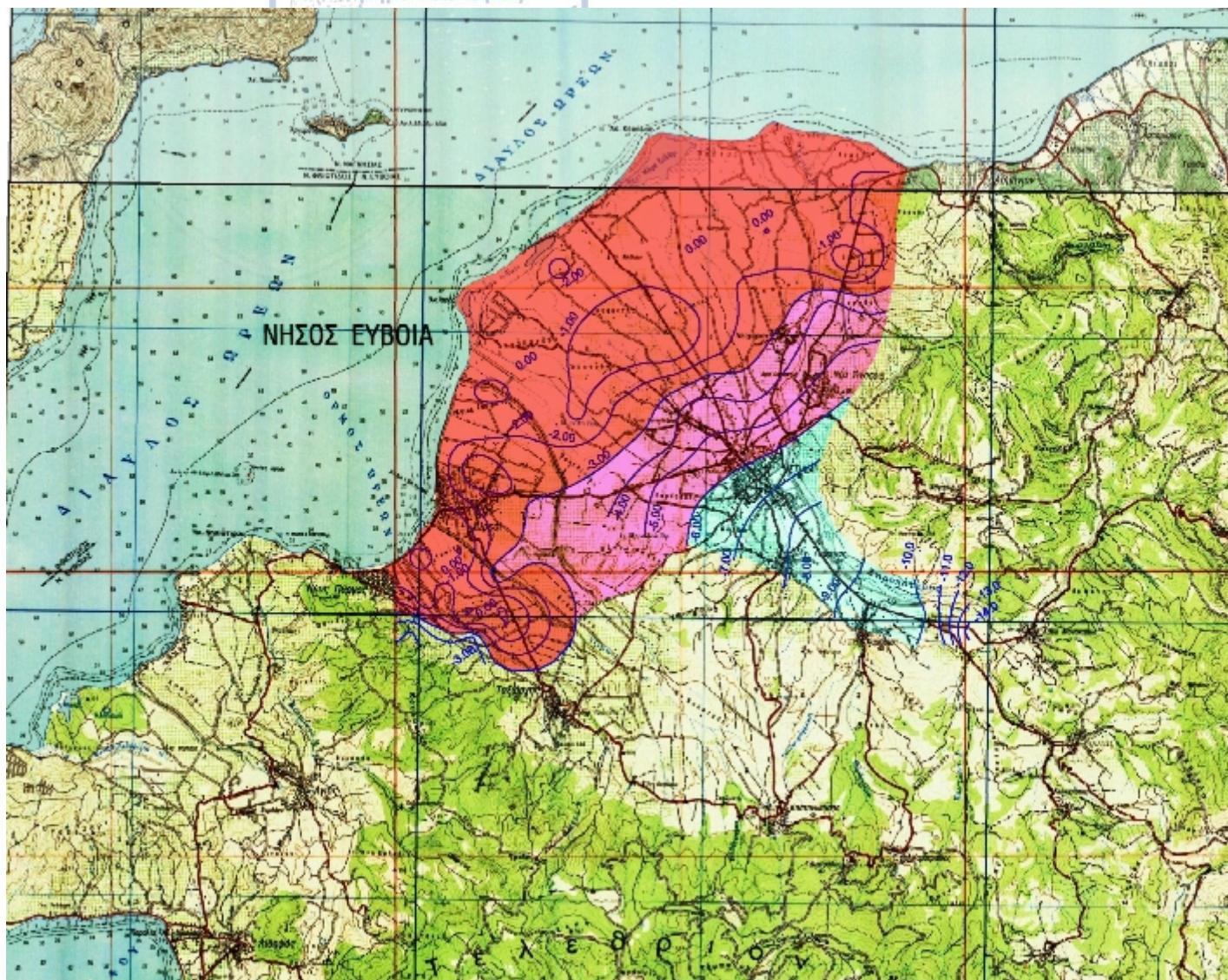
Πίνακας 4: Υπόμνημα Εικόνας – χάρτη 14.



Εικόνα 12. Χάρτης περιοχής Ισθμιάς με τα σημεία υδροληψίας (Πηγή Γ.Υ.Σ)



Εικόνα 13. Χάρτης περιοχής Ισθμιαίας με τις καμπύλες ισοβαθών υδροφόρου (Πηγή Γ.Υ.Σ.).



Εικόνα 14. Χάρτης περιοχής Ιστιαίας με τις καμπύλες ισοβαθών υδροφόρου χρωματισμένες (Πηγή Γ.Υ.Σ)

ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα λοιπόν με όσα αναφέρθηκαν στο **Κεφάλαιο 2**, και συγκεκριμένα στις **παραγράφους 2.1 και 2.2**, οι σχηματισμοί αυτοί που απαρτίζουν την περιοχή μελέτης μας, αποτελούν εδάφη τα οποία είναι επιδεκτικά σε ρευστοποίηση.

Από τα ανωτέρω παρατηρούμε ότι υπάρχει μια ζώνη πλησίον της παραλίας στην οποία το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα είναι μικρότερο των τριών μέτρων (κόκκινο χρώμα) και στην οποία η επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση είναι πολύ υψηλή.

Η ζώνη αυτή με εξαίρεση τους θύλακες των οικισμών Ν. Πύργου, Ωρεών Κανατάδικα, είναι καθαρά γεωργική και μάλιστα είναι γη υψηλής παραγωγικότητας.

Κατά την διαδικασία μελέτης κατασκευής οποιουδήποτε οικοδομικού έργου στη ζώνη αυτή καθώς και στις 2 επόμενες (περιοχές με ροζ και γαλάζιο χρώμα), πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη οι ανωτέρω διαπιστώσεις και να λαμβάνονται, κατά περίπτωση, τα μέτρα που είναι απαραίτητα για τη βελτίωση του εδάφους και την αποτροπή του κινδύνου καταστροφής του έργου.

1. Υπουργείο Γεωργίας,
IV Περιφερειακή Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων (IV Π.Δ.Ε.Β.).
2. Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ).
3. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., “Προσωρινές εθνικές τεχνικές προδιαγραφές”.
4. Μικροζωνική μελέτη Π.Σ. Βόλου – Ν. Ιωνίας. Εργαστήριο εδαφομηχανικής και θεμελιώσεων - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., Κεφάλαιο 8.
5. Γ. Κούκης – Ν. Σαμπατακάκης, Πανεπιστήμιο Πάτρας, «Τεχνική Γεωλογία», 2002.
6. Γ. Παπαθανασίου 2006, "Φαινόμενα ρευστοποίησης εδαφών στον ελληνικό χώρο". Διδακτορική Διατριβή
7. Γ. Καλλέργης, “Φαινόμενα ρεώσεως άμμου παρατηρηθέντα κατά την εκτέλεσιν υδρογεωτρήσεων εις Δυτ. Θεσσαλίαν”.
8. “Η πιθανή εσωτερική δομή της περιοχής Ιστιαίας (Β. Εύβοια) όπως αυτή συνάγεται από ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου της”, Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Ορυκτολογίας – Γεωλογίας.
9. Ηλεκτρονική δημοσίευση Πανεπιστημίου Ουάσιγκτον:
<http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/main.html>
10. Γ. Μπουκοβάλας, Ειδικά θέματα θεμελιώσεων, ΕΜΠ.
<http://users.ntua.gr/gbouck/foundation-engineering.shtml>