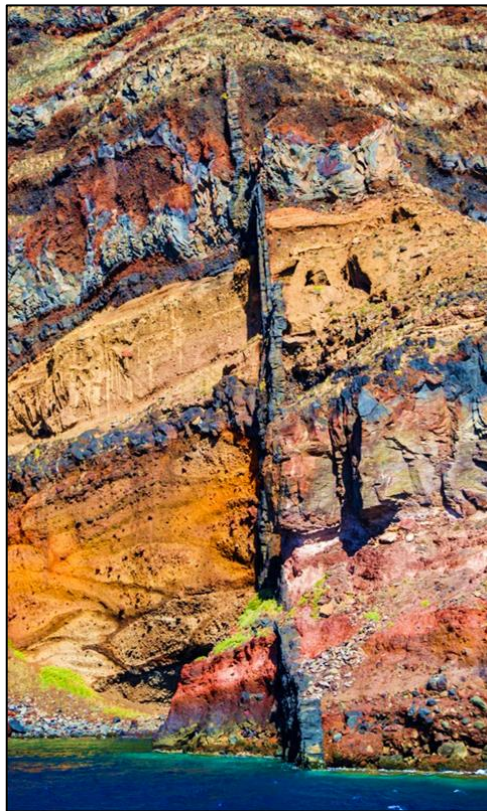




ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

# ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΣΕ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ Ν. ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

ΔΕΛΙΑΝΙΔΗΣ ΒΙΚΤΩΡ



Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Τσαγκάς Δημήτριος

Αθήνα 2022

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	4
ABSTRACT .....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	6
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ .....	7
2.1 Γεωμορφολογία .....	7
2.1.1 Κλιματικά στοιχεία και βιοκλιματική ταξινόμηση .....	9
2.1.2 Πληθυσμός .....	10
2.2 Γεωλογία .....	10
2.2.1 Μη ηφαιστειακό υπόβαθρο .....	12
2.2.2 Ηφαιστειακοί σχηματισμοί .....	12
2.3 Τεκτονική – Σεισμικότητα .....	15
2.4 Υδρογεωλογία .....	19
3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΜΕΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	22
3.1 Πληθυσμός περιοχής μελέτης .....	23
4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	23
4.1 Γεωλογία .....	23
4.2 Λιθολογία .....	24
4.3 Σεισμικότητα .....	26
4.4 Υπόγεια νερά .....	28
5. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	28
5.1 Γεωτεχνική έρευνα υπαίθρου .....	30
5.1.1 Γεωτρήσεις .....	30
5.1.2 Επί τόπου δοκιμές .....	35
5.2 Εργαστηριακές δοκιμές .....	38
6. Γεωλογική κρίση – Ποσοτικοποίηση .....	43
7. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΕΥΝΩΝ .....	44
7.1 Αντικείμενο .....	44
7.2 Αξιολόγηση γεωτρήσεων .....	45
7.3 Αξιολόγηση επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών .....	45
7.3.1 Παράμετροι σχεδιασμού .....	47
7.4 Καταρρεύσιμα εδάφη .....	47

7.5 Γεωτεχνική τομή .....	50
<b>8. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....</b>	<b>53</b>
8.1 Στοιχεία κτηρίου.....	53
8.2 Φέρουσα ικανότητα.....	54
8.3 Καθιζήσεις .....	58
<b>9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>64</b>
<b>10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>65</b>
10.1 Κείμενα .....	65
10.2 Εικόνες .....	65
10.3 Βιβλιογραφία .....	66

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην σύγχρονη εποχή η θεμελίωση κτιρίων απαιτεί εμπειρία και καλή γνώση των υπεδάφικων συνθηκών, κυρίως σε κτίρια μεγάλης οικονομικής και κοινωνικής σημασίας (νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα, σχολεία κλπ). Ο κίνδυνος αστοχίας του εδάφους είναι ένα σημαντικό ζήτημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν καθημερινά γεωλόγοι και μηχανικοί. Για το λόγο αυτό απαιτείται ορθός Γεωτεχνικός σχεδιασμός (πρόταση – υλοποίηση – αξιοποίηση της πλέον κατάλληλης ανά περίπτωση Γεωτεχνικής Έρευνας), ώστε να συνταχθεί ένα ρεαλιστικό προσομοίωμα. Η σύνταξη του γεωτεχνικού προσομοιώματος αποτελεί αντικείμενο πρωτεύουσας σημασίας, καθώς επιχειρείται η κατά το δυνατόν ρεαλιστικότερη προσομοίωση του εδάφους, ως εδάφους θεμελίωσης σημαντικών κτιριακών έργων.

Η παρούσα Διπλωματική εργασία με τίτλο **«Γεωτεχνικός Σχεδιασμός Για Τις Ανάγκες Θεμελίωσης Κτιριακών Έργων Σε Ηφαιστειακές Αποθέσεις Της Ν. Σαντορίνης»**, συντάχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, με επιβλέποντα καθηγητή τον Δρ. Τσαγκά Δημήτριο, Γεωλόγο – Γεωτεχνικό. Αφορά την μελέτη του εδάφους θεμελίωσης κατά τον γεωτεχνικό σχεδιασμό για την ορθή και ασφαλή θεμελίωση κτιρίων στις ηφαιστειακές αποθέσεις της Ν. Σαντορίνης. Το νησί ως επί το πλείωτων αποτελείται από ηφαιστειακά πετρώματα, με συνέπεια να απαιτείται ορθός γεωτεχνικός σχεδιασμός για την βέλτιστη διερεύνηση των συνθηκών υπεδάφους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

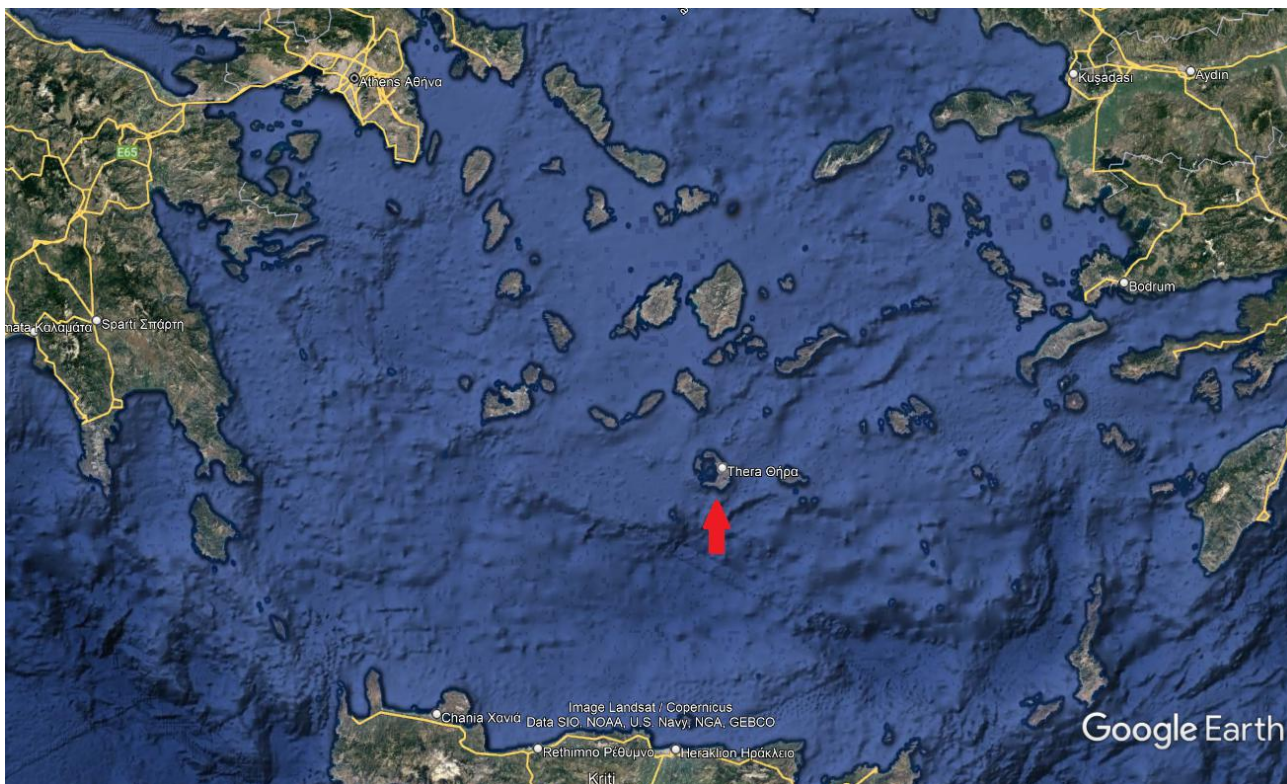
Σε αυτήν την Διπλωματική Εργασία παρουσιάζεται ο γεωτεχνικός σχεδιασμός για την θεμελίωση κτιριακών έργων σε ηφαιστειακές αποθέσεις της Ν. Σαντορίνης. Αρχικά, περιγράφονται αναλυτικά οι γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή της νήσου, όπως η γεωμορφολογία, η σεισμικότητα, η τεκτονική κ.α. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι γεωλογικές συνθήκες στην άμεση περιοχή του έργου όπου απαντώνται ηφαιστειακές αποθέσεις. Εξετάζεται η αναγκαιότητα της γεωτεχνικής έρευνας και ο τρόπος με τον οποίο πρέπει αυτή να εκτελεστεί. Στις έρευνες υπαίθρου επιλέγεται ο αριθμός των γεωτρήσεων προς εκτέλεση, τα είδη των επί τόπου δοκιμών, καθώς και τα είδη των εργαστηριακών δοκιμών. Ακολουθεί η αξιολόγηση των ερευνών και των δοκιμών που προηγήθηκαν. Επεξεργάζονται στατιστικά τα δεδομένα που προκύπτουν, επιλέγονται οι παράμετροι σχεδιασμού και κατασκευάζεται η γεωτεχνική τομή, η οποία αποτελεί μια γενική εικόνα των γεωτεχνικών συνθηκών στην περιοχή μελέτης. Επίσης, η προτεινόμενη περιοχή έρευνας αποτελεί ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον λόγω της παρουσίας παλαιών και πρόσφατων ηφαιστειακών λαβών και τόφρων, εδάφη τα οποία χαρακτηρίζονται ως καταρρευσίμα. Ύστερα πραγματοποιούνται οι γεωτεχνικοί έλεγχοι και υπολογισμοί φέρουσας ικανότητας και καθιζήσεων χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους σχεδιασμού του εδάφους. Παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι υπολογισμών, ανάλογα με τις συνθήκες του εδάφους, έτσι ώστε να ελεγχθεί σωστά η συμπεριφορά του. Τέλος, αναγράφονται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από τους υπολογισμούς, με βάση τα οποία, γίνονται κάποιες προτάσεις θεμελίωσης.

## ABSTRACT

This Diploma Thesis presents the geotechnical designing for the foundation of building projects on the volcanic deposits of the Santorini island. Firstly, the geotechnical conditions that prevail in the wide area of the island are described in detail, such as geomorphology, seismicity, tectonics etc. Afterwards, the geological conditions in the immediate area of the construction project where volcanic deposits are found, are presented. The necessity of the geotechnical investigation and the manner in which it should be performed is examined. In field surveys the number of the boreholes to be executed is selected, the types of field tests, as well as the types of laboratory tests. The evaluation of the investigations and tests that proceeded it is what follows next. The resulting data is processed statistically, the design parameters are selected and finally the geotechnical section is constructed, which portrays the geotechnical conditions in the study area in general. In addition, the proposed research area is of particular scientific interest due to the presence of old and recent volcanic lavas and tuffs, soils which are characterized as collapsible. Later, the geotechnical conditions are checked through the calculation of bearing capacity and settlements, using the design parameters of the soil. Various calculation methods are presented, depending on the soil conditions, so that its' behavior could be properly checked. Finally, the conclusions which were obtained from the calculations are listed, based on which, foundation proposals are made.

# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νησί της Σαντορίνης ή Θήρας ή Στρογγύλης (παλαιότερη ονομασία), βρίσκεται στο νότιο Αιγαίο Πέλαγος, στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων, νότια της Ίου και δυτικά της Ανάφη. Απέχει από τον Πειραιά 128 ναυτικά μίλια και 63 ναυτικά μίλια από την Κρήτη (Εικόνα 1.1). Πρωτεύουσα της είναι τα Φηρά, ενώ ο Αθηνιός, το μεγαλύτερο λιμάνι του νησιού, έχει δημιουργηθεί στον ομώνυμο όρμο. Η έκταση της είναι 76,19 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Σήμερα η Σαντορίνη είναι ένας από τους διασημότερους ταξιδιωτικούς προορισμούς του κόσμου.



Εικόνα 1.1: Το νησί της Σαντορίνης στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων (Google Earth)

Η Σαντορίνη παρουσιάζει ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον, διότι περιέχει πρόσφατες και παλαιές ηφαιστειακές λάβες και τόφφους.

Ο γεωτεχνικός σχεδιασμός στη Νήσο Σαντορίνη, περιλαμβάνει δεδομένα από ερευνητικές εργασίες υπαίθρου και εργαστηριακές δοκιμές. Ακολουθούν γεωτεχνικοί έλεγχοι και υπολογισμοί (φέρουσα ικανότητα, καθιζήσεις), λαμβάνοντας υπόψη και την ιδιαιτερότητα της λιθολογικής σύστασης του εδάφους στην ευρύτερη περιοχή του έργου, με σκοπό την βέλτιστη τεchnικοοικονομική πρόταση θεμελίωσης.

Οι εργασίες στην ύπαιθρο προϋποθέτουν την εκτέλεση ερευνητικών περιστροφικών γεωτρήσεων και πρότυπων δοκιμών διείδυσης (SPT). Από την άλλη, στις εργαστηριακές δοκιμές εντάσσεται ο προσδιορισμός της φυσικής υγρασίας του εδάφους, του ειδικού βάρους του και του φαινόμενου βάρους του, των ορίων Atterberg, η κοκκομέτρηση με κόσκινα. Τέλος, προσδιορίζεται ο δείκτης κατάρρευσης του εδάφους.

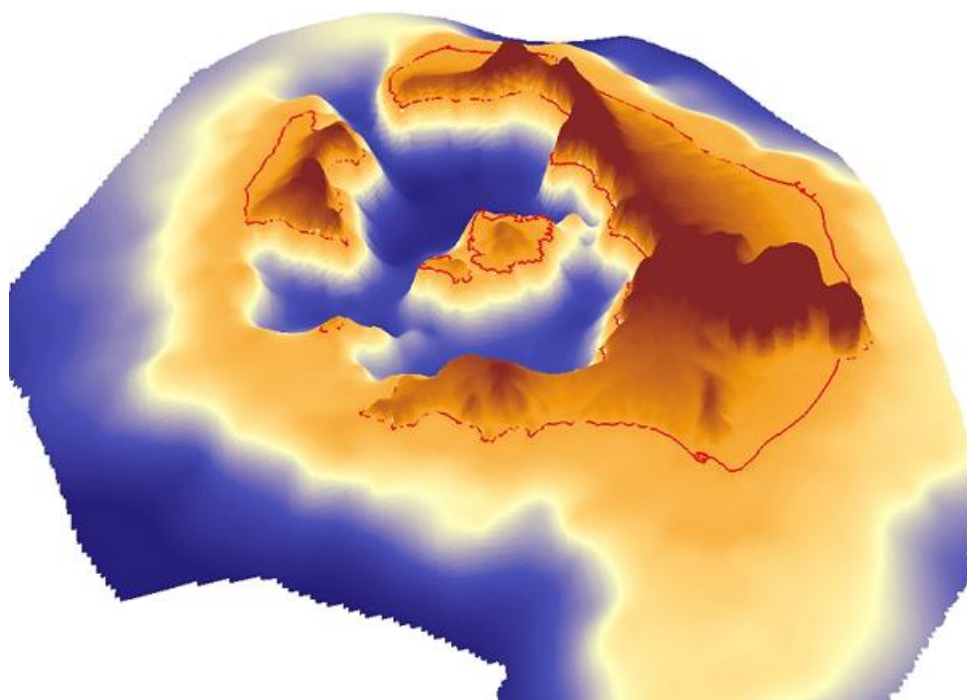
Αρχικά, θα παρουσιαστούν γενικά τα γεωλογικά στοιχεία της νήσου και της άμεσης περιοχής του έργου, ενώ στη συνέχεια, η γεωτεχνική έρευνα και η γεωτεχνική αξιολόγηση, με σκοπό την υποβολή προτάσεων για την ασφαλή κατασκευή και λειτουργία ενός έργου.

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ

### 2.1 Γεωμορφολογία

Η γεωμορφολογία του νησιού της Σαντορίνης χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, καθότι οι νησίδες Θήρα και Θηρασιά σχηματίζουν ένα σύνθετο στρωματοηφαίστειο με μια επιβλητική πολυσύνθετη καлдέρα η οποία σχηματίστηκε σταδιακά ύστερα από πολυάριθμες βίαιες εκρήξεις. Τα τοιχώματα της καлдέρας αποτελούνται από απότομα πρανή, τα οποία ανυψώνονται τη λεβητοειδή λεκάνη, σε ύψος 200 – 300 μέτρων (Εικόνα 2.1). Τα διάφορα στρώματα της ηφαίστειας σποδού, καθώς και τα διάφορα ρεύματα λάβας, ξεχωρίζουν μεταξύ τους χάρη στα χρώματά τους, των οποίων οι τόνοι ποικίλουν από το κόκκινο μέχρι το μαύρο. Πάνω από όλα αυτά τα στρώματα εκτείνεται το λευκό στρώμα της κίσηρης και της θηραϊκής γης, το οποίο έχει πάχος 30 – 50 μέτρα. Νεότερες εκχύσεις λάβας δημιούργησαν την Παλαιά και την Νέα Καμένη που βρίσκονται στο κέντρο της καлдέρας. Τα απότομα τοιχώματα της καлдέρας σχηματίστηκαν ύστερα από βίαιες εκρήξεις που θεωρείται ότι ξεκίνησαν τουλάχιστον πριν 2 Ma (Mega annum, δηλ. εκατομμύρια χρόνια) και ολοκληρώθηκαν κατά την Μινωική έκρηξη, το 1613 π.Χ. (Friedrich, 2013).

Όσον αφορά το ανάγλυφο του νησιού (Dikau, 1989), αυτό είναι πεδινό στο μεγαλύτερο μέρος του (<150 m). Εξαιρέση αποτελούν το Μεγάλο Βουνό στο βόρειο τμήμα της Θήρας και η περιοχή ανατολικά του ακρωτηρίου του Σκάρου με ύψος περίπου 300m. Επίσης, το βουνό Προφήτης Ηλίας όπου βρίσκεται η υψηλότερη κορυφή της Σαντορίνης με ύψος που φτάνει τα 565m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι περιοχές αυτές θεωρούνται λοφώδεις, επειδή έχουν υψόμετρο 150-600m και αντιστοιχούν περίπου στο 33% της συνολικής έκτασης της Σαντορίνης (πίνακας 2.1).



Εικόνα 2.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Σαντορίνης (πηγή: [https://atlantea.news/trisdiastati\\_apeikonisi\\_tou\\_ifesteiakou\\_symplegmatos\\_tis\\_santorinis/](https://atlantea.news/trisdiastati_apeikonisi_tou_ifesteiakou_symplegmatos_tis_santorinis/))

Υψόμετρο (m)	Χαρακτηρισμός
<150	Πεδινές περιοχές
150-600	Λοφώδεις περιοχές
600-900	Ημιορεινές περιοχές
>900	Ορεινές περιοχές

Πίνακας 2.1: Ταξινόμηση του αναγλύφου με βάση την υψομετρική διαφορά από την επιφάνεια της θάλασσας κατά Dikau, (1989)

Το υδρογραφικό δίκτυο της Θήρας και της Θηρασίας είναι σε γενικές γραμμές ακτινωτό (Εικόνα 2.2). Οι υδροκρίτες είναι περίπου της ίδιας διάταξης, εκτός από την περιοχή του Προφήτη Ηλία. Εκεί όπου το διαβρωμένο ανάγλυφο είναι έντονο παρατηρείται μεγάλη κατά βάθος διάβρωση και μεγάλες τιμές υδρογραφικής πυκνότητας. Αντίθετα, στις περιοχές του νησιού όπου το ανάγλυφο είναι ομαλό το υδρογραφικό δίκτυο είναι ελάχιστα ανεπτυγμένο. Το προ-Μινωικό ανάγλυφο έπαιξε καθοριστικό ρόλο στον τρόπο απόθεσης των Μινωικών ιζημάτων. Έντονη διάβρωση παρατηρείται εκεί όπου σήμερα υπάρχουν μεγάλα πάχη των νεότερων ηφαιστειακών ιζημάτων. Επίσης, οι μεγαλύτερες τιμές υδρογραφικής πυκνότητας παρατηρούνται στους κλάδους πρώτης τάξης στην περιοχή του Μ. Βουνού – Προφήτη Ηλία. Τέλος, το διαβρωμένο τμήμα σε όλες τις τάξεις παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές πυκνότητας υδρογραφικού δικτύου σε σχέση με το ομαλό τμήμα της ευρύτερης ηφαιστειακής ενότητας (Ν. Ευελπίδου 1995).





Εικόνα 2.2: Το υδρογραφικό δίκτυο των νήσων της Θήρας και της Θηρασιάς (N. Ευελπίδου 1995)

### 2.1.1 Κλιματικά στοιχεία και βιοκλιματική ταξινόμηση

Η περιοχή των Κυκλάδων χαρακτηρίζεται από τυπικό θαλάσσιο – μεσογειακό κλίμα με μικρό εύρος της ετήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας (δροσερό καλοκαίρι και ήπιο χειμώνα), υψηλή σχετική υγρασία αέρα και ισχυρούς ανέμους. Οι βροχοπτώσεις εκδηλώνονται σχεδόν αποκλειστικά τον χειμώνα. Παρ' ότι οι άνεμοι μεταφέρουν στα νησιά μεγάλες ποσότητες υγρασίας οι βροχοπτώσεις είναι σχετικά σπάνιες.

Τα παρακάτω κλιματολογικά στοιχεία της Σαντορίνης συγκεντρώθηκαν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Θήρας και της Νάξου (Προμήθεια και εγκατάσταση ενός νέου Ηλεκτροπαραγωγού Ζεύγους (Η/Ζ) ισχύος 10 MW στον ΑΣΠ Θήρας, 2010):

Η υγρασία της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια του έτους διατηρείται στα παρακάτω επίπεδα. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται τον χειμώνα, αλλά η μέγιστη τιμή που είναι 76 % σημειώνεται τον Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο, ενώ ακολουθεί ο Ιανουάριος με 75 %. Αντίθετα, οι μήνες με τη χαμηλότερη

υγρασία είναι οι καλοκαιρινοί με την ετήσια ελάχιστη τιμή 62 % τον μήνα Ιούλιο, ενώ τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο είναι 65 % και 64 % αντίστοιχα. Μεταξύ 68 % και 74 % είναι η τιμή της σχετικής υγρασίας τους υπόλοιπους μήνες. Γενικώς, το νησί της Σαντορίνης χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας σε σχέση με τα άλλα νησιά της Ελλάδας. Επίσης, λόγω αυτών των χαμηλών τιμών υγρασίας, οι κάτοικοι του νησιού υποχρεώνονται να χρησιμοποιήσουν τους υδατινούς πόρους (εδαφικούς ή βροχοπτώσεων), για να καλύψουν τις ανάγκες σε νερό στις καλλιέργειές τους.

Οι βροχοπτώσεις ακολουθούν την διακύμανση της υγρασίας της ατμόσφαιρας. Πιο συγκεκριμένα το μέγιστο ύψος βροχής παρατηρείται τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο, ενώ το υπόλοιπο έτος (Οκτώβριο – Νοέμβριο) σε ιδιαίτερα χαμηλά ή σχεδόν μηδενικά (Μάιο – Σεπτέμβριο) επίπεδα. Αξίζει να σημειωθεί πως κατά τη διάρκεια των πέντε αυτών μηνών (Μάιο – Σεπτέμβριο) οι ημέρες που παρατηρείται βροχή είναι μόλις 5. Τα πολύ χαμηλά ετήσια ύψη βροχής και η άνιση κατανομή τους μέσα στο έτος, εντείνουν το ήδη υπάρχον πρόβλημα που δημιουργείται από την χαμηλή σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας.

Όσον αφορά τους ανέμους, η επικρατέστερη διεύθυνση αυτών είναι η βόρεια. Με εξαίρεση τους μήνες από Απρίλιο έως Ιούνιο και Νοέμβριο, τους υπόλοιπους μήνες η ένταση των ανέμων διατηρείται πάνω από τους 4 βαθμούς της κλίμακας Beaufort. Ωστόσο, ιδιαίτερα μεγάλο πρόβλημα προκαλούν οι ισχυροί άνεμοι, εντάσεως ίσης ή μεγαλύτερης από τους 6 βαθμούς της κλίμακας Beaufort, οι οποίοι επικρατούν για 165 μέρες το χρόνο.

Η θερμοκρασία διατηρείται πάνω από το σημείο παγετού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η μέση μηνιαία ελάχιστη παρατηρείται τον Μάρτιο με τιμή 4,5 °C και το μέγιστό της παρατηρείται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο με τιμές 28,5 °C και 28,1 °C αντίστοιχα. Οι ημέρες πλήρους ηλιοφάνειας ξεπερνούν τις 200 σε ένα έτος, ενώ οι ημέρες με χαμηλή νέφωση φτάνουν τις 118 και αυτές με βαριά μόλις τις 45.

### 2.1.2 Πληθυσμός

Ο μόνιμος καθώς και ο πραγματικός πληθυσμός της Σαντορίνης και των γύρω νησιών σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ (Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος) δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

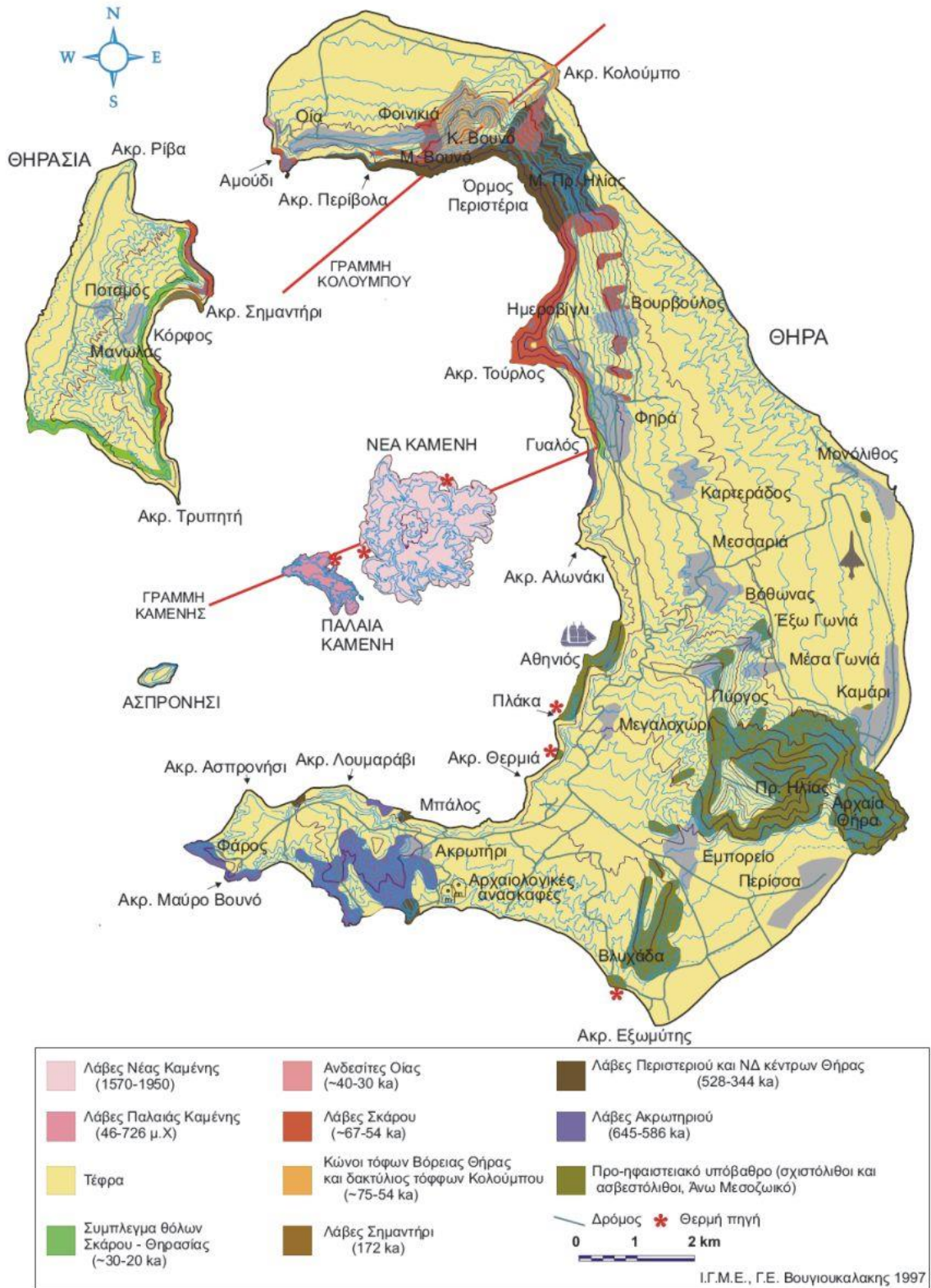
Γεωγραφικός κωδικός Καλλικράτη	Περιγραφή	Νόμιμος πληθυσμός (δημότες) 2011
60	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΘΗΡΑΣ	16.733
6001	ΔΗΜΟΣ ΘΗΡΑΣ	13.018
600101	ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΘΗΡΑΣ	11.819
600102	ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΟΙΑΣ	1.199
6002	ΔΗΜΟΣ ΑΝΑΦΗΣ	423
6003	ΔΗΜΟΣ ΙΗΤΩΝ	2.050
6004	ΔΗΜΟΣ ΣΙΚΙΝΟΥ	423
6005	ΔΗΜΟΣ ΦΟΛΕΓΑΝΔΡΟΥ	819

Πίνακας 2.2: Στοιχεία πληθυσμού της απογραφής του 2011 (ΕΣΥΕ)

### 2.2 Γεωλογία

Το νησί της Σαντορίνης αποτελείται από ένα μη ηφαιστειακό υπόβαθρο, αλλά, φυσικά, περιέχει και τους ηφαιστειακούς της σχηματισμούς.

## ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ



Εικόνα 2.3: Γεωλογικός Χάρτης Σαντορίνης (Ι.Γ.Μ.Ε., Βουγιουκαλάκης 1997)

### 2.2.1 Μη ηφαιστειακό υπόβαθρο

Η Σαντορίνη ανήκει στην Αττικοκυκλαδική γεωτεκτονική ζώνη, η οποία αποτελεί τον μεταμορφικό πυρήνα (μη ηφαιστειακό υπόβαθρο) της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα συναντώνται μεταμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα θαλάσσιας ανθρακικής και κλαστικής ιζηματογένεσης Άνω Μεσοζωϊκής ηλικίας, όπως μάρμαρα και μεταφλύσχη, σε περιορισμένες περιοχές του νησιού, όπως ο Προφήτης Ηλίας, το Μέσα Βουνό, ο Μονόλιθος, ο Πύργος, ο Αθηνιός και κατά θέσεις στα ακρωτήρια Πλάκα και Θερμά. [ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020].

Αυτά τα πετρώματα θαλάσσιας ιζηματογένεσης, θεωρείται ότι μεταμορφώθηκαν κατά την γλαυκοφανιτική φάση (πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση) που έδρασε στην Αττικοκυκλαδική ζώνη κατά το διάστημα Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου και πτυχώθηκαν κατά την Αλπική ορογένεση. Η μεταμορφική αυτή φάση ονομάζεται ενότητα κυανοσχιστολίθων των Κυκλάδων (Μουντράκης 1985, Friedrich 2007).

Επίσης, στην περιοχή του Μεγαλοχωρίου εντοπίστηκε ένας γρανίτης ηλικίας Άνω Μειοκαίνου (9,5 Ma). Η διείδυση αυτού προκάλεσε μεταμόρφωση επαφής των πετρωμάτων της περιοχής και την δημιουργία δενδριτικών και φλεβικών κοιτασμάτων πυροφυλλίτη, μαγνητίτη, χαλκοπυρίτη και τάλκη. Ακόμα, στην περιοχή του Αθηνιού, ο γρανιτικός όγκος δημιούργησε υδροθερμικά διαλύματα, τα οποία με τη σειρά τους σχημάτισαν κοιτάσματα μολύβδου και ψευδαργύρου, που περιείχαν άργυρο. Πιθανολογείται ότι μερικά από αυτά τα ορυκτά χρησιμοποιήθηκαν στις τοιχογραφίες της περιοχής (Friedrich, 2007).

### 2.2.2 Ηφαιστειακοί σχηματισμοί

Υπερκείμενοι αυτών των πετρωμάτων είναι οι ηφαιστειακοί γεωλογικοί σχηματισμοί. Καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της συνολικής έκτασης της Σαντορίνης και αποτελούν αποθέσεις δώδεκα μεγάλων εκρήξεων, καθώς και ορισμένων μικρότερων που προηγήθηκαν της Μινωικής έκρηξης. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι κυρίως στρώματα ρυοδακτινικής κίσηρης διαφόρων χρωμάτων ανάλογα με την έκρηξη από την οποία προήλθαν, αλλά και ανδεσίτες, δακίτες (λάβες και τόφοι) και πυροκλαστικά πετρώματα (τέφρα). Κάποια από τα χρώματα είναι το κόκκινο, το λευκό, το μαύρο και το καφέ. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις σημαντικότερες ηφαιστειακές δραστηριότητες της περιοχής (Friedrich 2007).

Τα αρχαιότερα ηφαιστειακά πετρώματα της Σαντορίνης, γνωστά και ως πετρώματα του Ακρωτηρίου, βρίσκονται στην περιοχή του Ακρωτηρίου και στον Φάρο είναι ηλικίας από 2 Ma έως 500 Ka, ενώ αποτελούνται κυρίως από ανδεσιτικά, δακιτικά πετρώματα και πυροκλαστικές αποθέσεις. Σύμφωνα με απολιθώματα που βρέθηκαν τα πετρώματα του Ακρωτηρίου στο αρχικό στάδιο προέκυψαν από υποθαλάσσια ηφαιστειότητα. Επίσης, στη συνέχεια πιστεύεται ότι στη περιοχή του Ακρωτηρίου κατά το Άνω Πλειόκαινο αναδύθηκε ένα μικρό ηφαιστειογενές νησί που δεν επικοινωνούσε με το ανατολικότερο νησί που αποτελούνταν από το προ-ηφαιστειακό υπόβαθρο. (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007)

Στον όρμο της Περιστερίας (περιοχή Μικρού Προφήτη) υπήρξε κατά την χρονική περίοδο από 530 Ka έως 430 Ka ένα εκτεταμένο στρωματοηφαίστειο που απόθεσε ανδεσιτικά, δακιτικά και βασαλτικά πετρώματα, ενώ τα πετρώματα αυτά τέμνονται από έναν μεγάλο αριθμό φλεβών (Σολδάτος, 2011).

Ακόμα, στις περιοχές των ακρωτηρίων Μπάλος, Μαυροραχίδι (η γνωστή Κόκκινη Παραλία) και Κοκκινόπετρας σχηματίστηκαν κώνοι σκωριών (ηλικίας 450 Ka έως 340 Ka). Στη συνέχεια, από το 350 π.Χ. έως το 250 π.Χ. δημιουργήθηκε στην σημερινή περιοχή του κέντρου της καλδέρας (περιοχή

Καμένων) το ασπιδόμορφο ηφαιστειο της Θήρας. Το ηφαιστειο αυτό απόθεσε πάνω στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο ανδειστικά και ρυοδακτιτικά πετρώματα. Τα πετρώματα παρατηρούνται από το ακρωτήριο του Σκάρου μέχρι και το Σκάρο (Σολδάτος, 2011).

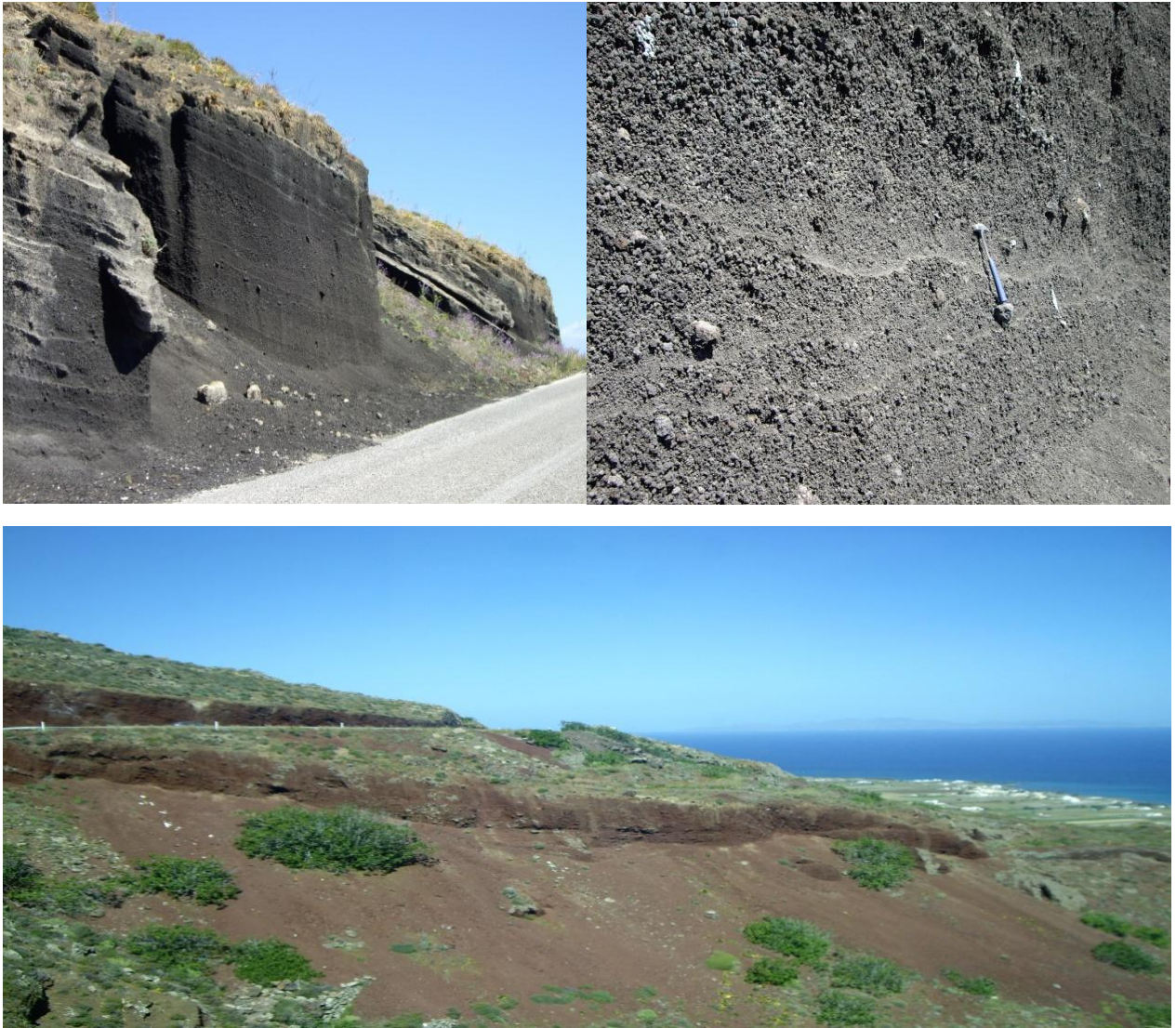
Στο ακρωτήριο Θερμιά πιστεύεται ότι έλαβαν χώρα τρεις μεγάλες εκρήξεις. Τα υλικά που αποτέθηκαν μπορούν να διακριθούν αντίστοιχα με τις τρεις εκρήξεις ότι αποτελούνται από σκωρίες και κίσηρη, ρυοδακτιτικής σύστασης κίσηρη και κοκκινόμαυρο ιγκνιμβρίτη ο οποίος εσωκλείει διοριτικής και γαββροδιοριτικής σύστασης ξενοκρυστάλλους. Τα αποτελέσματα των δράσεων αυτών των εκρήξεων είναι κυρίως εμφανή στο νότιο τμήμα της καλδέρας της Θήρας (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007).

Αποτέλεσμα δύο μεγάλων εκρήξεων είναι τα στρώματα λευκόχρωμου τόφφου περίπου 30m πάχους που διακρίνονται στα τοιχώματα της καλδέρας από το ακρωτήριο Αλωνάκι έως και το ακρωτήριο Τούρλος (Σκάρος) και κάτω από την Οία (όπου έχει μικρότερο πάχος). Οι αποθέσεις αυτές ονομάστηκαν από τον Neumann van Bimsstein ως Κατώτερο Στρώμα Κίσηρης (Bu). Το στρώμα αυτό χωρίζεται σε δύο επιμέρους στρώματα το Bu<sub>1</sub> και το Bu<sub>2</sub>, η σύσταση των οποίων ήταν κίσηρης με αποθέσεις ιγκνιμβρίτη ή τέφρας. Συγκρίνοντας το πάχος του στρώματος Bu με τις μινωικές αποθέσεις πιστεύεται ότι οι εκρήξεις που το δημιούργησαν ήταν ισχυρότερες της Μινωικής (Friedrich, 2000).

Το ασπιδόμορφο ηφαιστειο Σημαντήρι σχηματίζεται από ανδειστικές- βασαλτικές λάβες και σκωρίες ηλικίας περίπου 170 Ka. Το κέντρο του ηφαιστείου ήταν το κέντρο της καλδέρας του Κατώτερου Στρώματος Κίσηρης. (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007)

Το Μεσαίο Στρώμα Κίσηρης (Bm) δημιουργήθηκε από μια μεγάλη έκρηξη του ηφαιστείου της Θήρας. Το στρώμα είναι εμφανές στο λιμάνι των Φηρών ως ένας μαύρος, δακτιτικής σύστασης σχηματισμός. Αναλυτικότερα το στρώμα Bm αποτελείται από τόφφους με χρώμα από κόκκινο (κάτω από το Ημεροβίγλι) έως κατάνταυρους στα Φηρά, επιπλέον η συγκολλημένη κίσηρης του σχηματισμού αλλάζει επίσης χρώμα από καφέ έως λευκό. Το κέντρο της έκρηξης του στρώματος Bu θεωρείται ότι βρισκόταν κάτω από το Ημεροβίγλι (Friedrich , 2007).

Πάνω στο Μεσαίο Στρώμα Κίσηρης αποτέθηκαν οι δακτύλιοι τόφφων στο Ασπρονήσι και οι Κώνοι σκωριών στο Κόκκινο Βουνό και στο Μεγάλο Βουνό (μαύρες σκωρίες)(Εικόνα 2.4). Αργότερα έχουμε την έκρηξη του Βουρβούλου με ανδειστικής σύστασης λάβες. Επίσης, παράλληλα είχαμε την απόθεση δακτυλίων τόφφων στο ακρωτήριο του Κολούμπο. Οι πιο αξιόπιστες ηλικίες αυτών των στρωμάτων των ανώτερων Σκωριών υπολογίστηκαν γύρω στα 40 Ka (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007).



*Εικόνα 2.4: Φωτογραφίες από το Μεγάλο βουνό/μαύρες σκωρίες (πάνω σειρά) και φωτογραφία από το Κόκκινο Βουνό/κόκκινες σκωρίες (κάτω σειρά) (ΤΣΙΜΠΙΡΗ ΣΤΕΛΛΑ-ΧΡΥΣΗ, Γεωλογική και γεωμορφολογική μελέτη της Σαντορίνης με τη χρήση Τηλεπισκόπησης και GIS, 2017)*

Το ασπιδόμορφο ηφαιστειο του Σκάρου αποτελείται από βασαλτικής έως δακτιτικής σύστασης λάβες που προς τα ανώτερα τμήματα γίνονται πιο λεπτόκοκκες. Πάνω στις αποθέσεις του ηφαιστείου του Σκάρου βρίσκονται υαλώδεις ανδεσιτικές λάβες (Μεγάλο Βουνού), σκωρίες και λάβες του Μεγάλου και του Κόκκινου Βουνού (Friedrich, 2000).

Στο Ακρωτήριο του Ρίβα έλαβε χώρα η τελευταία μεγάλη έκρηξη πριν την Μινωική έκρηξη κατά την οποία αποτέθηκε ο Ιγκνιμβρίτης του Ρίβα ηλικίας 21 Ka (εικόνα 2.5). Η καλδέρα η οποία σχηματίστηκε αποκαλείται και Στρογγυλή καλδέρα και κέντρο της έκρηξης ήταν το ακρωτήριο του Ρίβα. Τα υλικά αυτής της έκρηξης εντοπίζονται τόσο στη Θήρα όσο και στην Θηρασία (Friedrich, 2007).



Εικόνα 2.5: Ο Ιγκνιμβρίτης του Ρίβα (ΤΣΙΜΠΙΡΗ ΣΤΕΛΛΑ-ΧΡΥΣΗ, Γεωλογική και γεωμορφολογική μελέτη της Σαντορίνης με τη χρήση Τηλεπισκόπησης και GIS, 2017)

Ακολουθεί η απόθεση του Ανώτερου Στρώματος Κίσηρης (Bo) που είναι αποτέλεσμα της Μινωικής έκρηξης. Τα προϊόντα της Μινωικής έκρηξης αποτελούνται από μια πορώδους, ελάχιστου βάρους υαλώδης κίσηρη. Στην εικόνα 2.3 απεικονίζονται οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί της Σαντορίνης.

### 2.3 Τεκτονική – Σεισμικότητα

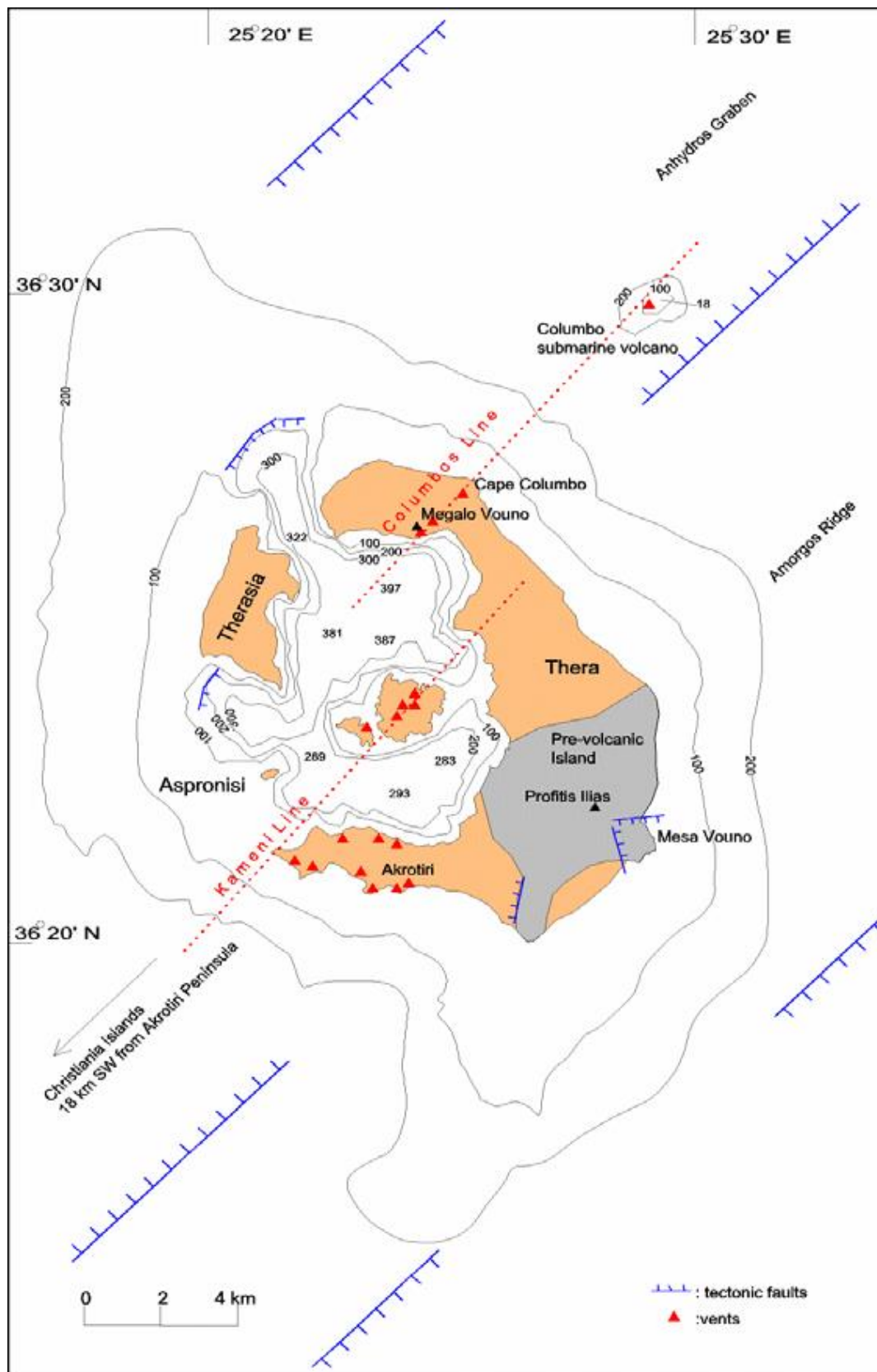
Η Σαντορίνη είναι ένα από τα μεγαλύτερα Τεταρτογενή ηφαιστειακά κέντρα του Αιγαίου, βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του Ελληνικού Ηφαιστειακού Τόξου και είναι το πιο ενεργό. Το ηφαιστειακό πεδίο της Σαντορίνης αποτελείται από την Σαντορίνη, τα νησιά Χριστιανά (περίπου 20km νοτιοδυτικά από την Σαντορίνη) και το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο (Σολδάτος, 2011). Το νησί της Σαντορίνης απαρτίζεται από ένα ενεργό ηφαιστειακό σύμπλεγμα πέντε νησιών (Θήρα, Θηρασιά, Ασπρονήσι, Παλαιά και Νέα Καμένη), το οποίο είναι μερικώς τοποθετημένο πάνω σε ένα ΝΔ-ΒΑ (40°) τεκτονικό κέρας που ονομάζεται Ράχη Αμοργού (Amorgos Ridge) (Εικόνα 2.6).

Υπάρχουν δύο κύριες τεκτονικές γραμμές στη Σαντορίνη και ακολουθούν τη ΝΔ-ΒΑ (40°) διεύθυνση (Heiken και McCoy, 1984). Η πρώτη είναι η τεκτονική γραμμή Κεμένης (Cameni Line), που διέρχεται από την Παλαιά και Νέα Καμένη, έχει πάχος 600m και μήκος 4,5km. Από την άλλη, η δεύτερη κύρια γραμμή είναι η Κολούμπο (Columbo Line) και διέρχεται από το Μεγάλο Βουνό (βόρεια του λαϊμού της Θήρας), τον δακτύλιο των τόφφων του ακρωτηρίου Κολούμπο και το αντίστοιχο υποθαλάσσιο ηφαίστειο (Σολδάτος, 2011)(Εικόνα 2.6).

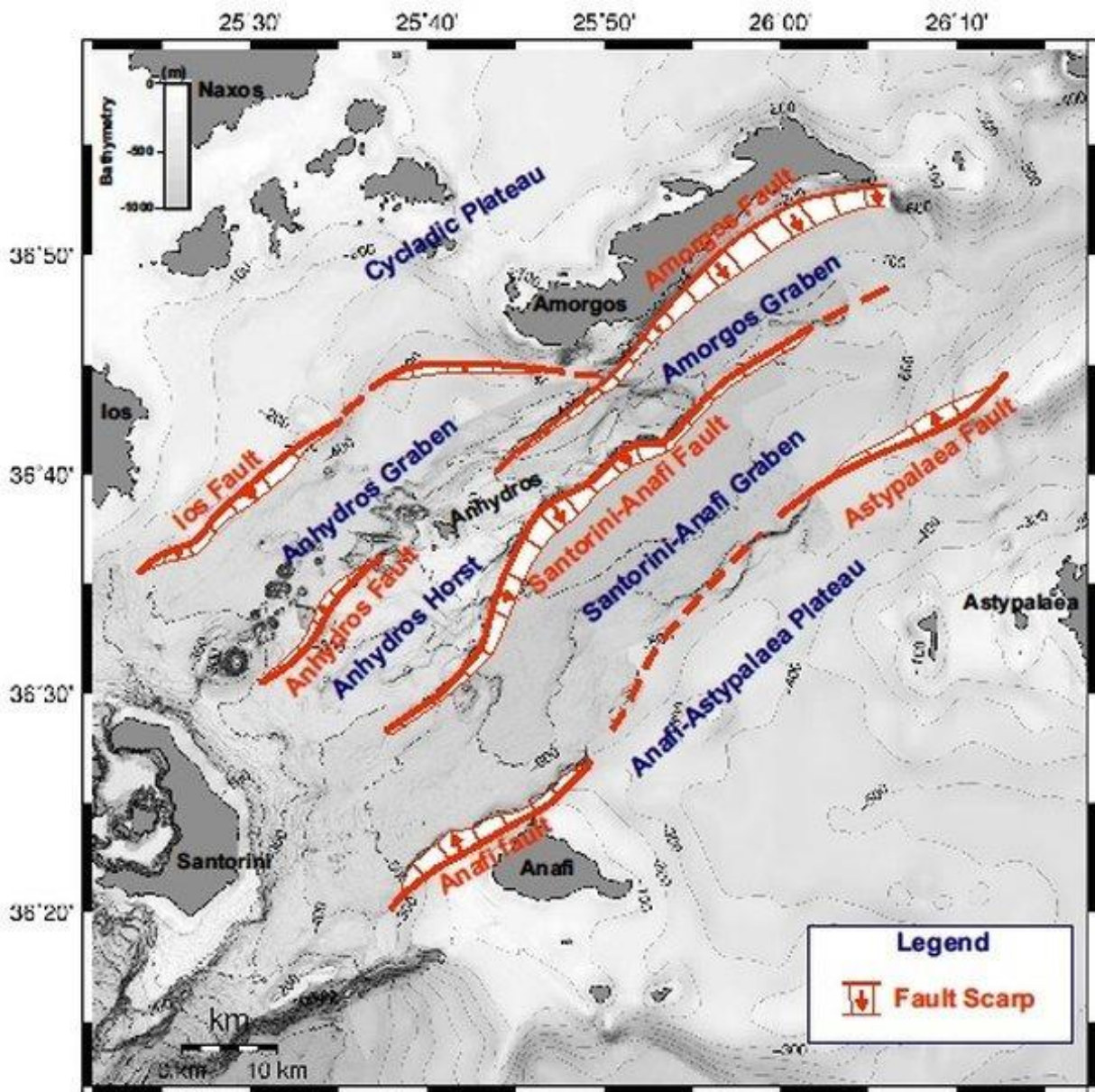
Επίσης, πέρα από τα κύρια ρήγματα με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ διακρίνονται και δύο ακόμα διευθύνσεις ρηγμάτων με περιορισμένο αριθμό εμφανίσεων, οι οποίες είναι οι ΒΒΑ-ΝΝΔ ( $10^\circ$ ) και ΒΔ-ΝΑ ( $150^\circ$ ) (Εικόνα 2.6) (Mountrakis et al., 1996).

Η κύρια σεισμικότητα συνδέεται με το κανονικό ρήγμα της Αμοργού και τις παράλληλες σε αυτό ρηξιγενείς δομές, κυρίως ανατολικά και βόρεια της Σαντορίνης, οι οποίες κλίνουν προς τα νοτιοανατολικά (Εικόνα 2.7). Έδωσαν τον ισχυρότερο επιφανειακό σεισμό του 20<sup>ου</sup> αιώνα στην Ευρώπη το 1956 με μέγεθος  $M \sim 7.5$ . Τα μικρότερα ρήγματα δίνουν κατά διαστήματα μικρότερους αλλά ισχυρούς σεισμούς που ενίοτε προκαλούν βλάβες στην Σαντορίνη (π.χ. ο σεισμός του 1919,  $M=6.1$  με βλάβες σε Φηρά και Οία).





Εικόνα 2.6: Χάρτης της Σαντορίνης και της καλδέρας, όπου παρουσιάζονται με τρίγωνα τα ηφαιστειακά κέντρα, με διακεκομμένες κόκκινες γραμμές οι δύο σεισμικές γραμμές Καμένης και Κολούμπο και με μπλε γραμμές τα κυριότερα τεκτονικά ρήγματα (από Heiken και McCoy, 1984)



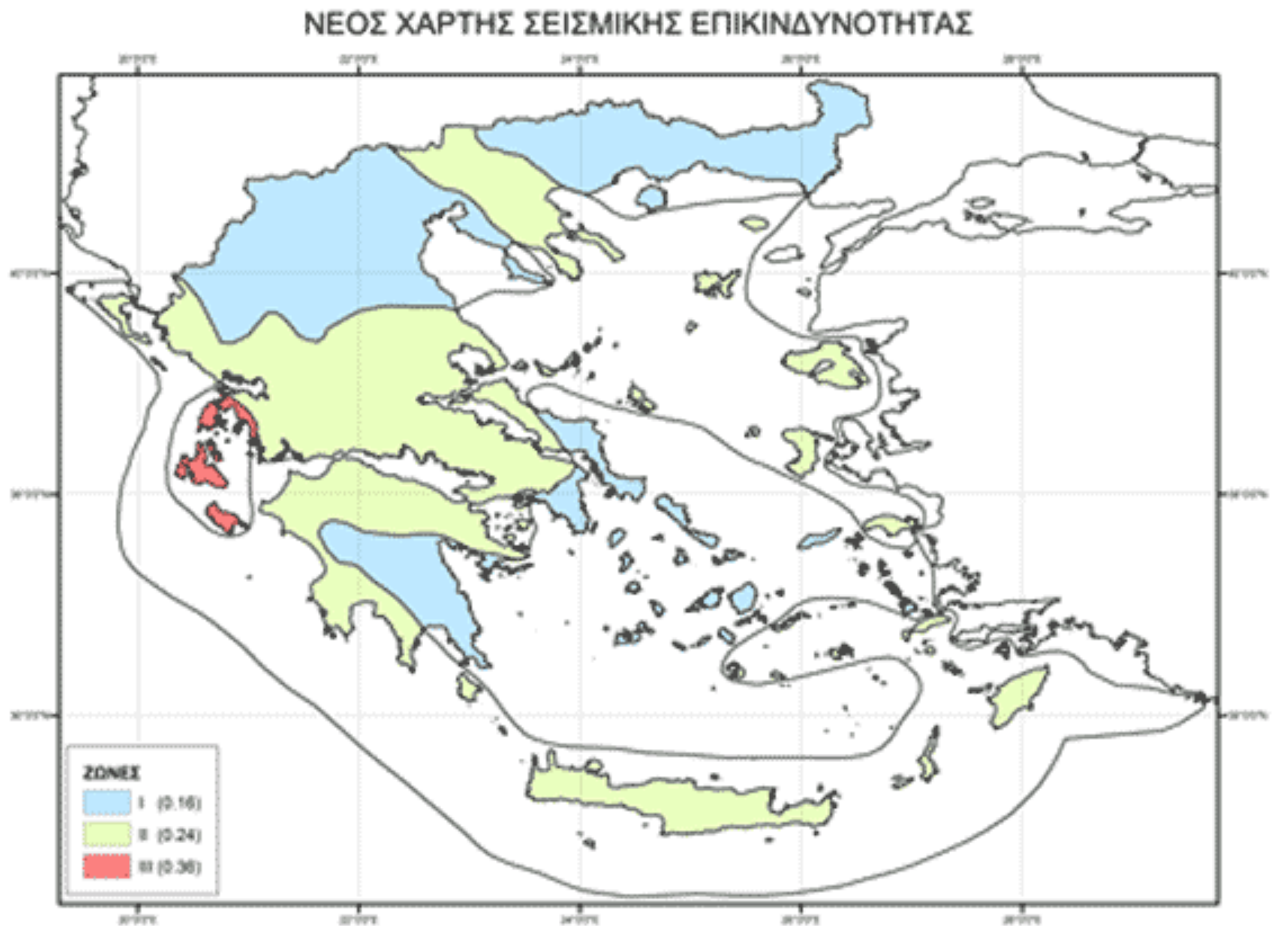
Εικόνα 2.7: Το ρήγμα της Αμοργού και άλλα ρήγματα με ίδια διεύθυνση ανατολικά και βορειοανατολικά του νησιού της Σαντορίνης (P.Nomikou, C.Hübscher, D.Paranikolaou, G.P.Farangitakis, M.Ruhnau D.Lampridou, 2018)

Ο χάρτης (Εικόνα 2.8) με τα όρια των Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας προσδιορίζει τη σεισμική παράμετρο σχεδιασμού, δηλαδή την μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA), με βάση την οποία σχεδιάζονται οι κατασκευές σε κάθε περιοχή. Η Ελλάδα σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Σχεδιασμό (ΕΑΚ-2000) υποδιαιρείται σε τρεις Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας, με τιμές σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους ανά ζώνη που έχουν προκύψει από μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας και αντιστοιχούν σε σεισμό με πιθανότητα υπέρβασης 10% εντός του συμβατικού χρόνου ζωής του κτιρίου των 50 ετών. Το νησί της Σαντορίνης ανήκει στην ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II και για την ζώνη αυτή η σεισμική επιτάχυνση εδάφους είναι  $A=0,24g$  (πίνακας 2.3). Η επιτάχυνση στο έδαφος θεμελίωσης ονομάζεται Σεισμική εδαφική επιτάχυνση ή Εδαφική επιτάχυνση αναφοράς ή Σεισμική επιτάχυνση εδάφους, όπως

συνήθως αναφέρεται στους αντισεισμικούς κανονισμούς και αποτελεί βασική παράμετρο Αντισεισμικού Σχεδιασμού που εισάγεται σε κάθε αντισεισμικό κανονισμό.

Ζώνη επικινδυνότητας	Σεισμική επιτάχυνση εδάφους (g: επιτάχυνση βαρύτητας)
I	0,16
II	0,24
III	0,36

Πίνακας 2.3: Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας και οι αντίστοιχες τιμές σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους σύμφωνα με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ).



Εικόνα 2.8: Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδος (ΕΑΚ-2000)

## 2.4 Υδρογεωλογία

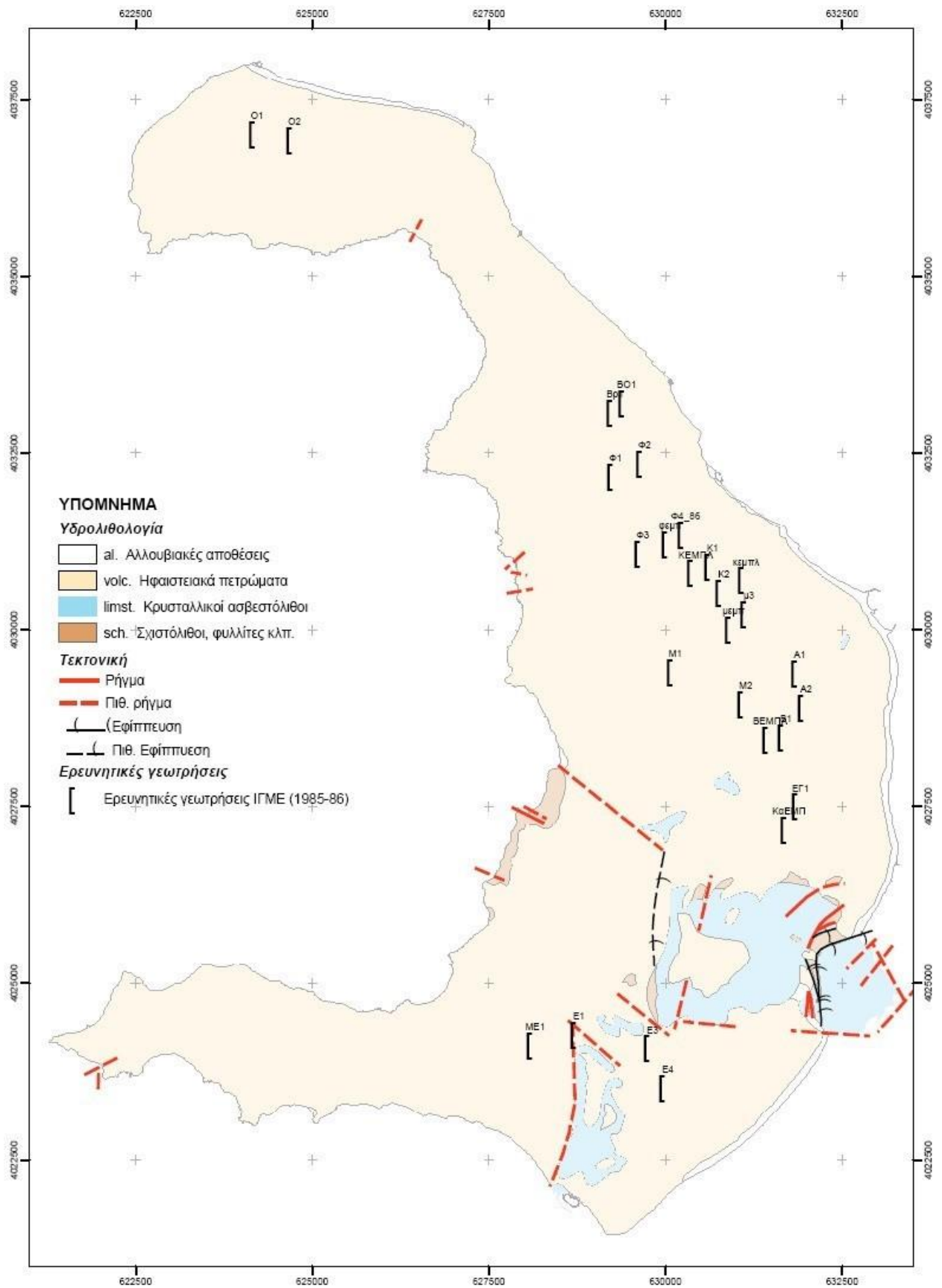
Οι υδρογεωλογικές συνθήκες στο νησί είναι αρκετά δυσμενείς, διότι οι λιθολογικοί σχηματισμοί που το δομούν παρουσιάζουν γενικά χαμηλές έως πολύ χαμηλές υδροπερατότητες και αντίστοιχες υδροχωρητικότητες, αφού αποτελούνται από ημιπερατούς έως αδιαπέρατους σχηματισμούς. Επίσης, συμπεριλαμβανομένων των χαμηλών ετήσιων βροχοπτώσεων, της υψηλής εξατμισοδιαπνοής και της

ταχείας επιφανειακής απορροής, είναι αδύνατη η δημιουργία μεγάλων αποθεμάτων υπόγειου νερού. Μελετώντας την υδρολιθολογική συμπεριφορά των σχηματισμών που συγκροτούν την επιφάνεια, διαπιστώθηκαν τα παρακάτω:

Εξετάζοντας την υδρολογική συμπεριφορά των τριών κυριότερων επιφανειακών σχηματισμών της Σαντορίνης, διαπιστώνεται ότι οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι (μάρμαρα) του προαλπικού υποβάθρου έχουν χαμηλή έως μεταβαλλόμενη κατά θέσεις υδροπερατότητα. Αυτό οφείλεται στο ότι οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι μέτρια τεκτονισμένοι. Από την άλλη, στην περιοχή Εμπορείου – Περίσσης, σύμφωνα με διάφορα γεωτρητικά δεδομένα έχει αποδειχθεί η ύπαρξη ενός ενιαίου καρστικού υδροφόρου ορίζοντα. Γενικότερα, οι καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες που διαμορφώνονται στους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους είναι ασθενείς και επιδεκτικοί στην υφαλμύρωση, αφού επικοινωνούν άμεσα ή έμμεσα με την θάλασσα. Επίσης, ο μεταφλύσχος στο σύνολό του συμπεριφέρεται ως πρακτικά υδατοστεγής (Κουρμούλης – Κουρής, 2002).

Ο σημαντικότερος σχηματισμός για τις θεμελιώσεις στο νησί είναι το επιφανειακό στρώμα κίσηρης, αφού καταλαμβάνει το μεγαλύτερο κομμάτι της έκτασής του. Η υδατοπερατότητα της κίσηρης είναι εξαιρετικά αυξημένη και ιδιαίτερα σε περιοχές όπου τα υλικά είναι μεταφερμένα και πιο χαλαρά. Όμως λόγω της μακρόχρονης και εντατικής εκμετάλλευσης των υδροφόρων οριζόντων σε αυτό το σχηματισμό, η ποιοτική τους κατάσταση έχει υποβαθμιστεί, αφού λαμβάνει χώρα προοδευτική διείσδυση θαλασσινού νερού (υφαλμύρωση) (Κουρμούλης – Κουρής, 2002).

Επομένως, οι σχηματισμοί που παρουσιάζουν τις σημαντικότερες υδροφορίες στο νησί είναι το επιφανειακό στρώμα κίσηρης και οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι (Εικόνα 2.9).

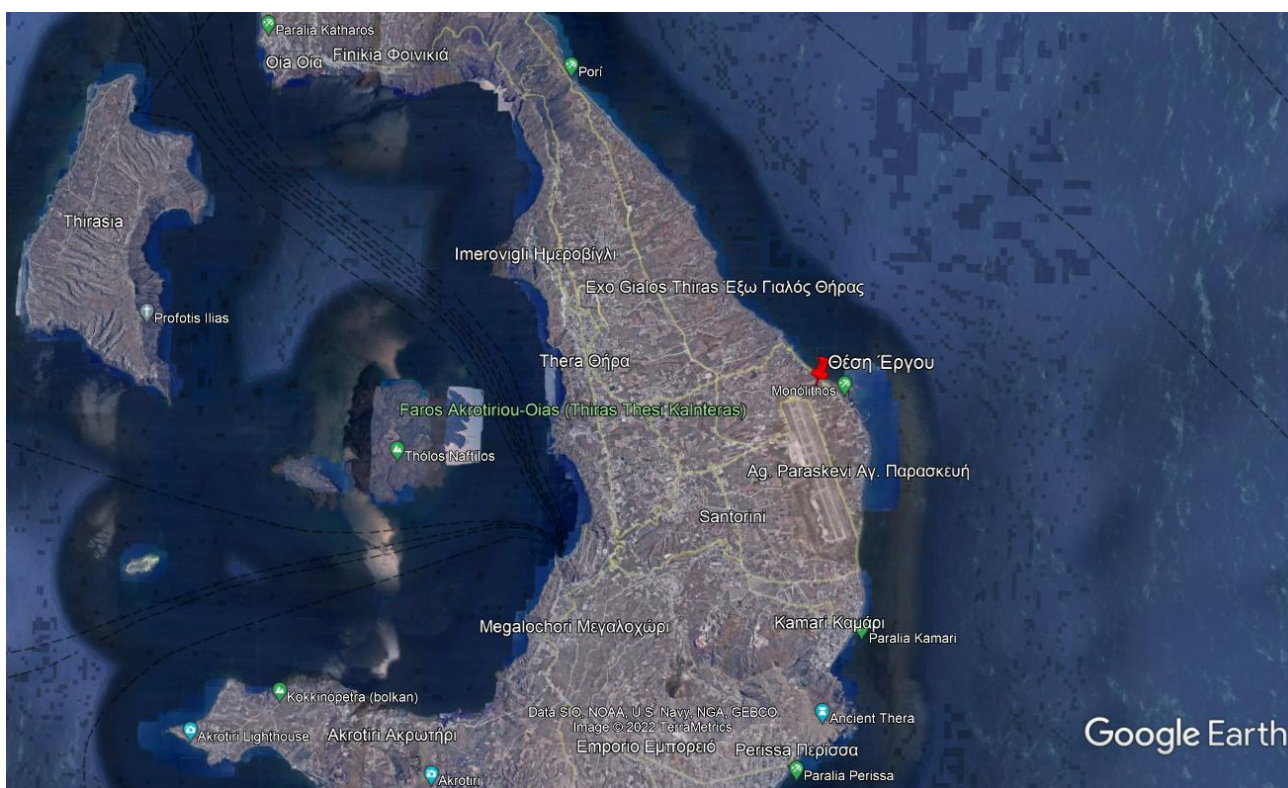


Εικόνα 2.9: Υδρολιθολογικός χάρτης της Ν. Σαντορίνης (Pichler et. al., 1980)

### 3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΜΕΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Για την γεωτεχνική έρευνα του ηφαιστειακού εδάφους της Ν. Σαντορίνης θα μελετηθεί μία συγκεκριμένη περίπτωση θεμελίωσης ενός κτιριακού έργου. Πρόκειται για την κατασκευή των εγκαταστάσεων ενός νέου υποσταθμού (GIS), οι οποίες περιλαμβάνουν υποσταθμό κλειστού τύπου (Gas Insulated Substation – GIS) και στατό σύστημα αντιστάθμισης (Static Var Compensator – SVC). Η έρευνα αυτή έχει σκοπό την συλλογή των στοιχείων του υπεδάφους προκειμένου να εκτιμηθεί η ανεκτή τάση έδρασης τόσο από άποψη φέρουσας ικανότητας όσο και καθιζήσεων. Με αυτόν τον τρόπο θα γίνουν προτάσεις θεμελίωσης των κτιριακών εγκαταστάσεων. Επίσης, θα δοθούν συμβουλές τόσο για την εκσκαφή κάποιων απαραίτητων πρηνών (βόρεια του υποσταθμού GIS και του χώρου εγκατάστασης SVC), όσο και για την αντιστήριξη αυτών εάν απαιτηθεί. Τέλος, θα γίνουν προτάσεις για την διαμόρφωση επιχώματος μικρού ύψους που προκύπτει στη νοτιοανατολική πλευρά των εγκαταστάσεων.

Ο χώρος στον οποίο εκτελέστηκε το έργο βρίσκεται στην περιοχή Μονόλιθος της νήσου Σαντορίνης, 0,8 km περίπου βορειοδυτικά του οικισμού, 4,0 km περίπου ανατολικά της πόλης των Φηρών και σε απόσταση περίπου 200 m από τη θάλασσα, πολύ κοντά, δηλαδή, στην παραλία του Μονόλιθου (εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Η θέση του έργου (Google Earth)

Όσον αφορά την κλίση του εδάφους στην περιοχή του έργου, αυτή έχει διεύθυνση από τα ΒΔ προς τα ΝΑ (της τάξης του 12%), καθώς υψομετρικά ο χώρος του οικοπέδου βρίσκεται μεταξύ 9,0 – 24,0 m πάνω από τη Μέση Στάθμη της Θάλασσας (Μ.Σ.Θ.) [ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020].

Πιο συγκεκριμένα, στο βορειοδυτικό κομμάτι του γηπέδου όπου έγινε η κατασκευή των εγκαταστάσεων του συστήματος αντιστάθμισης (SVC), οι κλίσεις είναι της τάξης του 15%, με μέγιστη υψομετρική διαφορά τα 10 m, καθώς ο χώρος υψομετρικά βρίσκεται 14,0 – 24 m πάνω από τη Μ.Σ.Θ. Στο νοτιοανατολικό τμήμα του γηπέδου, όπου πρόκειται να θεμελιωθούν οι εγκαταστάσεις του υποσταθμού (GIS), η κλίση του εδάφους είναι της τάξης του 9% με μέγιστη υψομετρική διαφορά τα 9 m, ενώ ο χώρος είναι σε υψόμετρο μεταξύ 9,0 – 16,0 m πάνω από τη Μ.Σ.Θ. [ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020].

Η στάθμη επιπέδωσης που αποφασίστηκε για την εγκατάσταση του υποσταθμού (GIS) είναι σε απόλυτο υψόμετρο +11,00 m. Για την επίτευξη αυτής της στάθμης δημιουργήθηκαν εκσκαφές ύψους 9,00 m περίπου προς τα βορειοδυτικά και επιχώσεις μέγιστου ύψους 2,00 m προς τα ανατολικά και νότια [ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020].

Επιπροσθέτως, η στάθμη επιπέδωσης του συστήματος αντιστάθμισης (SVC) είναι σε υψόμετρο +15,00 m. Για την επίτευξη της στάθμης ισοπέδωσης δημιουργήθηκαν εκσκαφές μέγιστου ύψους 8,00 m προς τα βόρεια – βορειοδυτικά, ενώ στην νοτιοανατολική πλευρά κατασκευάστηκε ένας τοίχος αντιστήριξης μέγιστου ύψους 3,50 m. Η μετάβαση από τον χώρο του SVC στο χώρο του υποσταθμού γίνεται με τη δημιουργία πρανούς ύψους 4,00 m [ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020].

### 3.1 Πληθυσμός περιοχής μελέτης

Ο μόνιμος καθώς και ο πραγματικός πληθυσμός της περιοχής μελέτης σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ δίνονται στον πίνακα 3.1.

Περιοχής μελέτης Δήμοι / Οικισμοί	Μόνιμος πληθυσμός		Πραγματικός πληθυσμός	
	2001	1991	2001	1991
<b>Δ.Δ. Μεσαριάς</b>				
Μεσαριά	1.089	730	1.075	735
Μονόλιθος	372	244	405	247
<b>Σύνολο περιοχής μελέτης</b>	<b>1.461</b>	<b>974</b>	<b>1480</b>	<b>982</b>

Πίνακας 3.1: Μόνιμος και πραγματικός πληθυσμός της περιοχής μελέτης (ΕΣΥΕ)

## 4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

### 4.1 Γεωλογία

Στην παράκτια περιοχή του Μονόλιθου όπως και στις γειτονικές παράλιες ζώνες, σε ένα μέσο πλάτος περί τα 100 – 150 m, κυριαρχούν οι τεταρτογενείς αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις. Προς το εσωτερικό

του νησιού υπάρχει μία πεδινή περιοχή που εκτείνεται μέχρι την κορυφογραμμή που ακολουθεί το κοίλο σχήμα του νησιού. Τα πετρώματα σε αυτή τη περιοχή είναι, όπως προαναφέρθηκε, αποτέλεσμα των εκρήξεων του ηφαιστείου και αποτελούνται από Ανώτερες Σειρές Κίσηρης με έναν υποκείμενο παλαιοεδαφικό ορίζοντα. Οι δύο αυτές σειρές προσφέρουν υλικό στην παράκτια ζώνη μέσω του υδρογραφικού δικτύου [Προμήθεια και εγκατάσταση ενός νέου Ηλεκτροπαραγωγού Ζεύγους (Η/Ζ) ισχύος 10 MW στον ΑΣΠ Θήρας, 2010].

Στην περιοχή του έργου, σε άμεση επαφή με την παραλία βρίσκεται η μεταφερμένη Ανώτερη Σειρά Κίσηρης με τεφρή έως καστανωπή απόχρωση και υλικά τέφρας με φακοειδείς παρεμβολές ογκολίθων. Το βάθος φθάνει τα 15 m. Σε λίγο μεγαλύτερο υψόμετρο, κάνει την εμφάνισή της η κυρίως Ανώτερη (Ρυοδακτιτική) Σειρά Κίσηρης με μέσο βάθος από 1 έως 5 μέτρα η οποία αποτελείται από χονδρόκοκκη κίσηρη που καλύπτεται από τέφρα. Επομένως, στην θέση του έργου συναντώνται πυροκλαστικές αποθέσεις αποτελούμενες κυρίως από τέφρα και λάβες [Προμήθεια και εγκατάσταση ενός νέου Ηλεκτροπαραγωγού Ζεύγους (Η/Ζ) ισχύος 10 MW στον ΑΣΠ Θήρας, 2010] (Εικόνες 4.1 και 4.2).



*Εικόνα 4.1: Ο γεωλογικός σχηματισμός στη θέση του έργου (άποψη από νότια)(Αρχείο Δ. Τσαγκάς)*



*Εικόνα 4.2: Ο γεωλογικός σχηματισμός στη θέση του έργου (άποψη από ΒΔ) (Αρχείο Δ. Τσαγκάς)*

## 4.2 Λιθολογία

Η λιθολογία της θέσης του έργου είναι τα ασύνδετα πυροκλαστικά υλικά (ηφαιστειακή τέφρα), τα οποία είναι μία μορφή ιλυώδους άμμου (SM), μέσης πυκνότητας ως πυκνής, ανοικτού καστανού ως καστανόφαιου χρώματος, με λεπτά χαλίκια κατά θέσεις [ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020] (Εικόνες 4.3α,β).





*Εικόνα 4.3α: Ηφαιστειακή τέφρα στην περιοχή του έργου (Αρχείο Δ. Τσαγκάς)*



*Εικόνα 4.3β: Ηφαιστειακή τέφρα στην περιοχή του έργου (Αρχείο Δ. Τσαγκάς)*

### 4.3 Σεισμικότητα

Το έδαφος της περιοχής του έργου σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Σχεδιασμό (ΕΑΚ-2000) (Πίνακας 4.1) κατατάσσεται στην κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας [B] (στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5 m ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70 m). Οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων για αυτή τη κατηγορία εδάφους είναι:  $T_1=0,15$  sec και  $T_2=0,60$  sec.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
B	Εντόνως αποσασθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας ( $I_p > 50$ ) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
X	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοίλιωδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. (Βλ.π. και παρ. 5.1[3]). Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

Πίνακας 4.1: Ταξινόμηση εδαφών κατά Ε.Α.Κ. 2000 (ΟΑΣΠ)

Επιπλέον, σύμφωνα με τον Ευροκώδικα (EC-8) (Πίνακας 4.2) το έδαφος κατατάσσεται στην κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας [C] (αποθέσεις πυκνής άμμου, χαλικιών ή σκληρής άμμου, χαλικίων ή σκληρής αργίλου, πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρα)( $v_s$ , 30 = 180-360 m/s,  $N_{SPT} = 15-50$  (κρούσεις / 30cm),  $c_u = 70-250$  kPa). Για την συγκεκριμένη κατηγορία εδάφους και για φάσματα τύπου 1 ( $M_s > 5,5$  της κλίμακας Richter) ο συντελεστής εδαφικής κατηγορίας και οι χαρακτηριστικές ιδιοπερίοδοι είναι:

$$S = 1.15$$

$T_B = 0,20 \text{ sec} / T_C = 0,6 \text{ sec} / T_D = 2,0 \text{ sec}$

Κατάταξη εδαφών

Κατηγορία εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$v_{s,30}$	$N_{SPT}$	$C_u$ (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός που περιλαμβάνει το πολύ 5 m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού	> 800	-	-
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικών, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος	360 - 800	> 50	> 250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλικών ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων	180 - 360	15 - 50	70 - 250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά	< 180	< 15	< 70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ιλύος με τιμές $v_s$ κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5 m και 20 m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με $v_s > 800 \text{ m/s}$			
$S_1$	Αποθέσεις που αποτελούνται ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλών με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ( $PI > 40$ ) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό	< 100 (ενδεικτικό)	-	10 - 20
$S_2$	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή $S_1$			

Πίνακας 4.2: Κατάταξη εδαφών κατά τον Ευρωκώδικα (EC-8)

#### 4.4 Υπόγεια νερά

Στο νοτιοανατολικό τμήμα του χώρου του έργου υπάρχουν πολλές θέσεις υδροληψίας με τη μορφή πηγαδιών, υδρογεωτρήσεων και υδατοδεξαμενών, που καλύπτουν τις αρδευτικές ανάγκες των αγροτεμαχίων της περιοχής. Γενικώς, έχουν καταγραφεί 15 τουλάχιστον γεωτρήσεις και πηγάδια στην ευρύτερη γύρω περιοχή, προς το εσωτερικό του νησιού. Αυτά μαρτυρούν την ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα. Εντός ενός πηγαδιού, που βρίσκεται σε υψόμετρο +9,00 m, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρέθηκε σε βάθος +8,50 m, δηλαδή σε υψόμετρο +0,50 m. Έτσι, εκτιμάται ότι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (+0,50 m) είναι λίγο πάνω από την στάθμη της θάλασσας (+0,00 m) [ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020].

Η κίνηση του υπόγειου νερού είναι από το εσωτερικό του νησιού προς την παραλία και η στάθμη του διαμορφώνεται στις λίγες δεκάδες εκατοστά πάνω από την στάθμη της θάλασσας. Κατά τη θερινή περίοδο ο παράκτιος υδροφορέας δέχεται έντονες πιέσεις, λόγω της υπεράντλησης, με αποτέλεσμα την ποιοτική υποβάθμιση του υπόγειου νερού, από την διείσδυση του θαλασσινού νερού. Έτσι, παρατηρούνται αρνητικές τιμές πιεζομετρίας και έντονη υφαλμύριση των υπόγειων νερών. Όσον αφορά την υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή μελέτης, δεν υπάρχει μία ενιαία τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας, αλλά κάποιες ζώνες με διαφορετικές τιμές. Ο καθορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας έγινε με βάση έναν χάρτη – υπόβαθρο του Ι.Γ.Μ.Ε. Τελικά, η υδραυλική αγωγιμότητα των σχηματισμών στην περιοχή του έργου, κυμαίνεται μεταξύ  $1,15 \times 10^{-7}$  –  $5,7 \times 10^{-5}$  m/s, δηλαδή χαρακτηρίζονται από λίγο διαπερατά έως διαπερατά. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως δεν υπάρχει καμία υδρογεώτρηση ή πηγάδι υδροληψίας για πόσιμο νερό σε απόσταση 500 m από την θέση του έργου. Οι ανάγκες για πόσιμο νερό της Σαντορίνης καλύπτονται κυρίως από αφαλάτωση και σε μικρότερο ποσοστό από νερό που μεταφέρεται μέσω αγωγών από την ορεινή περιοχή της νήσου (Προμήθεια και εγκατάσταση ενός νέου Ηλεκτροπαραγωγού Ζεύγους (H/Z) ισχύος 10 MW στον ΑΣΠ Θήρας, 2010).

### 5. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Ο γεωτεχνικός σχεδιασμός για τη θεμελίωση του νέου υποσταθμού (GIS) και για οποιοδήποτε άλλο έργο θεμελίωσης στους ηφαιστειακούς σχηματισμούς της Σαντορίνης, περιλαμβάνει τις ερευνητικές εργασίες υπαίθρου και τις εργαστηριακές δοκιμές.

Πριν την εκτέλεση μίας γεωτεχνικής έρευνας, εξετάζεται η αναγκαιότητά της, δηλαδή κατά πόσο είναι αυτή απαραίτητο να εκτελεστεί, με βάση τη σημαντικότητα του κτιριακού έργου. Αρχικά, λαμβάνεται υπόψη η ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας στην οποία ανήκει και η αντίστοιχη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους της περιοχής (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 -2022). Σύμφωνα με τον ΕΑΚ – 2000, η ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας είναι η II και η σεισμική επιτάχυνση του εδάφους, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, είναι 0,24g αντίστοιχα. Επίσης, με βάση τον πίνακα 5.1, το υπό μελέτη έργο ανήκει στην κατηγορία σπουδαιότητας Σ4, διότι αποτελεί κτίριο παραγωγής ενέργειας.

Κατηγορία σπουδαιότητας κτιρίων		γ <sub>1</sub>
Σ1	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού. π.χ. αγροτικά οικήματα, υπόστεγα, στάβλοι κλπ.	0.85
Σ2	Συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία κλπ.	1.00
Σ3	Εκπαιδευτικά κτίρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου.  Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας (π.χ. κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες) κλπ.	1.15
Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών.  Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία κλπ.).	1.30

Πίνακας 5.1: Κατηγορίες σπουδαιότητας κτιρίων αντισεισμικού κανονισμού (ΕΑΚ)

Στη συνέχεια, σημαντική προϋπόθεση αποτελεί η κατάταξη του εδάφους στο οποίο θεμελιώνεται ένα κτιριακό έργο. Όπως είναι ήδη γνωστό από το κεφάλαιο 4.3, το έδαφος στο οποίο πρόκειται να εδραστεί το υπό μελέτη έργο, κατά ΕΑΚ – 2000, κατατάσσεται στην κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας [B], ενώ σύμφωνα με τον Ευροκώδικα (EC – 8), στην κατηγορία C. Το 2003 πραγματοποιήθηκε τροποποίηση των διατάξεων του «Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ – 2000» (Φ.Ε.Κ. Β' 1154/12-8-2003, Απόφαση Αριθμ. Δ17α/115/9/ΦΝ275) και προέκυψαν συμπεράσματα που αφορούν τις απαιτούμενες γεωτεχνικές έρευνες σε κτίρια. Με βάση τα παραπάνω, στα κτίρια σπουδαιότητας Σ4, τα οποία ανήκουν στην ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II, το έδαφός τους κατατάσσεται στην κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας [B] και η επιφάνεια κατόψεως θεμελίωσής τους ξεπερνάει τα 500m<sup>2</sup>, οφείλει να εκτελεστεί ικανός αριθμός γεωτρήσεων ή και πενетроμετρήσεων (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 -2022) (πίνακας 5.2).

Κατηγορία εδάφους	Κτίρια επιφάνειας κατόψεως θεμελίωσης έως 500m <sup>2</sup> και έως 5 ορόφους		Κτίρια επιφάνειας κατόψεως θεμελίωσης άνω των 500m <sup>2</sup> ή άνω των 5 ορόφων	
	Ζώνη I	Ζώνη II , III	Ζώνη I	Ζώνη II , III
A	Τουλάχιστον μία γεώτρηση	Ικανός αριθμός γεωτρήσεων ή και πενетроμετρήσεων	Ικανός αριθμός γεωτρήσεων ή και πενетроμετρήσεων	
B				
Γ				
Δ				
Χ	Ικανός αριθμός γεωτρήσεων ή και πενетроμετρήσεων			

Πίνακας 5.2: Συμπεράσματα για τις απαιτούμενες γεωτεχνικές έρευνες σε κτίρια κατηγορίας σπουδαιότητας Σ3, Σ4 (ΕΑΚ)

Συμπερασματικά, για την κατασκευή του νέου υποσταθμού (GIS) η γεωτεχνική έρευνα είναι απαραίτητη. Σύμφωνα με τους κανονισμούς του ΕΑΚ – 2000, εκεί όπου πρόκειται να γίνουν οι εγκαταστάσεις, πρέπει να εκτελεστεί πάνω από μία γεώτρηση ή/και πενетроμετρήσεις.

## 5.1 Γεωτεχνική έρευνα υπαίθρου

Για την θεμελίωση του νέου υποσταθμού (GIS) στις ηφαιστειακές αποθέσεις, εκτελέστηκαν δύο περιστροφικές γεωτρήσεις και πρότυπες δοκιμές διείσδυσης (SPT) σε κάθε μία από αυτές. Η πρώτη στον χώρο κατασκευής των εγκαταστάσεων του υποσταθμού (GIS), ενώ η δεύτερη στον χώρο κατασκευής των εγκαταστάσεων του συστήματος αντιστάθμισης (SVC).

### 5.1.1 Γεωτρήσεις

Πριν από την πραγματοποίηση των γεωτρήσεων, πρέπει να εκτιμηθεί το πλήθος, η διάταξη και το βάθος περαιώσης αυτών, ανάλογα του είδους του τεχνικού έργου που θα κατασκευαστεί.

Εκτός από την λήψη δειγμάτων και την εκτέλεση επί τόπου δοκιμών, από τις γεωτρήσεις συγκεντρώνονται πληροφορίες για την στρωματογραφία του υπεδάφους, την τεκτονική και την υδρογεωλογική κατάσταση του υπεδάφους (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 -2022). Τα δείγματα φυλάσσονται σε κατάλληλα ξυλοκιβώτια και μεταφέρονται στο εργαστήριο. Για παράδειγμα, αυτά που ελήφθησαν από τις δύο γεωτρήσεις στο έργο του νέου υποσταθμού (GIS), ήταν ημιδιαταραγμένα και διαταραγμένα. Δεν ήταν δυνατόν να ληφθούν αδιατάρακτα δείγματα λόγω της φύσης του εδάφους (χαλαρές έως πυκνές ιλυώδεις άμμοι) (σύμφωνα με τις «Τεχνικές Προδιαγραφές Δειγματοληπτικών Γεωτρήσεων Ξηράς για Γεωτεχνικές Έρευνες» του ΥΠΕΧΩΔΕ – ΦΕΚ 363 Β'/24-6-83 – αδιατάρακτα δείγματα λαμβάνονται σε μαλακά συνεκτικά εδάφη). Οι εξωτερικές επιφάνειες των δειγμάτων συνεκτικού εδάφους, που προορίζονται για εργαστηριακές δοκιμές, πρέπει να καλυφθούν αεροστεγώς με διπλή πλαστική μεμβράνη. Κλείνονται μέσα σε πλαστικές σακούλες δεμένες η κάθε μία ξεχωριστά, αφού έχει αφαιρεθεί ο πλεονάζων αέρας, για να διατηρηθεί η φυσική υγρασία του εδάφους [ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020] (εικόνα 5.1).



*Εικόνα 5.1: Παράδειγμα δειγματοληψίας σε μία από τις δύο γεωτρήσεις [ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020]*

Επίσης, κατά τον γεωτεχνικό σχεδιασμό για την θεμελίωση κτιριακών έργων απαιτείται ο καθορισμός του βάθους διάτρησης και η διάταξη των ερευνητικών γεωτρήσεων στον χώρο του έργου. Το ενδεικτικό βάθος κάθε γεώτρησης καθορίζεται πριν από την έναρξη των εργασιών διάτρησης, ανάλογα με (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 -2022):

- 1) Το είδος και το μέγεθος του σχεδιαζόμενου τεχνικού έργου
- 2) Τις επί τόπου γεωλογικές συνθήκες που αναμένεται να συναντηθούν στη θέση του έργου
- 3) Τον σκοπό για τον οποίο γίνεται η γεώτρηση

Το τελικό βάθος της γεώτρησης οριστικοποιείται κατά την πρόοδο της διάτρησης, ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες του υπεδάφους που συναντώνται. Το ενδεικτικό και το τελικό βάθος της γεώτρησης θα πρέπει, θεωρητικά, να είναι παραπλήσια. Γενικότερα για τον καθορισμό του τελικού βάθους διάτρησης μιας γεώτρησης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω βασικά στοιχεία (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 - 2022):

- Η διάτρηση οφείλει να συνεχιστεί μέχρι να διαπιστωθεί εδαφική στρώση με ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα. Σε περίπτωση που υπάρχει επιφανειακά ανθεκτικός γεωλογικός σχηματισμός θα πρέπει να διερευνηθεί μήπως αμέσως κάτω από αυτόν υπάρχει άλλος ασθενέστερος.
- Σε εδάφη που υπόκεινται σε σημαντικές καθιζήσεις (π.χ. μαλακές άργιλοι), οι γεωτρήσεις πρέπει να φθάνουν σε τέτοιο βάθος που τα φορτία της προβλεπόμενης κατασκευής δεν θα επηρεάζουν το υπέδαφος στο βάθος αυτό από πλευράς καθιζήσεων και ευστάθειας. Το βάθος αυτό εξαρτάται από το είδος του έργου που μελετάται (δηλαδή τα αναμενόμενα φορτία, το εύρος των καθιζήσεων, κ.λπ.).
- Σε περίπτωση διαπίστωσης βραχώδους σχηματισμού σε σχετικά μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους θα πρέπει να πραγματοποιηθεί διερεύνηση του βράχου για τουλάχιστον 5m από την επιφάνεια συνάντησής του, ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η συνέχεια του σχηματισμού αυτού και αν υπάρχουν τυχόν καρστικά έγκοιλα.

Ως οδηγός για το ενδεικτικό βάθος των προτεινόμενων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στο αρχικό στάδιο σχεδιασμού ενός τεχνικού έργου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 5.3.



Είδος έργου – Περιοχή έρευνας	Βάθος γεωτρήσεων
Μεγάλες κατασκευές με μεμονωμένα πέδιλα σε μικρή απόσταση μεταξύ τους.	Μέχρι η αύξηση της κατακόρυφης τάσης που προκύπτει από την επαλληλία των φορτίων των πεδύλων να γίνει μικρότερη του 10% της ενεργής των υπερκειμένων. Γενικά όμως όχι μικρότερο των 10m από την βάση του θεμελίου εκτός και αν συναντηθεί βράχος.
Άκαμπτες θεμελιώσεις.	Μέχρι η κατακόρυφη τάση λόγω του έργου απομειώνεται στο 10% της επιβαλλόμενης. Γενικά όμως, όχι μικρότερο των 10 m από τη βάση της θεμελίωσης εκτός και αν συναντηθεί βράχος.
Μεγάλα διαφράγματα και κρηπιδότοιχοι.	Από 3/4 μέχρι 1 1/2 φορές το ύψος του τοίχου. Όπου η στρωματογραφία δείχνει πιθανά προβλήματα αστάθειας, μερικές γεωτρήσεις πρέπει να φθάσουν σε "σκληρό" στρώμα.
Ευστάθεια πρανών — κατολισθήσεις.	Μέχρι το υψόμετρο που αντιστοιχεί κάτω από την ενεργή ή πιθανή επιφάνεια ολίσθησης και μέσα σε "σταθερό" στρώμα, ή μέχρι που μια πιθανή ολίσθηση είναι αδύνατη λόγω γεωμετρίας του πρανούς.
Βαθιά ορύγματα.	Κάτω από τη βάση, από 3/4 μέχρι 1 φορά το πλάτος της βάσης. Πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα σε "σταθερά" υλικά, 5 m κάτω από τη βάση είναι αρκετά. Κάτω από τον Υ.Ο. χρειάζεται διερεύνηση των διαπερατών στρωμάτων κάτω από τη βάση.
Υψηλά επιχώματα.	Υψηλά επιχώματα. Από 1/2 έως 1 1/2 φορά την οριζόντια απόσταση των πλευρών. Όταν συναντηθούν "μαλακά" στρώματα μέχρι να συναντηθούν τα "σταθερά".
Φράγματα.	Μέχρι 1/2 φορά το πλάτος της βάσης (στα χωμάτινα) ή 1 1/2 φορές το ύψος στα βαρύτητα. Οι γεωτρήσεις μπορούν να περατωθούν 5 – 7 m μέσα σε σκληρά και αδιαπέρατα στρώματα αν η συνέχειά τους είναι γνωστή υπό την τεχνικογεωλογική μελέτη.

*Πίνακας 5.3: Ενδεικτικό βάθος δειγματοληπτικών γεωτρήσεων σε σχέση με το είδος ενός τεχνικού έργου (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 -2022)*

Η θεμελίωση του κτηριακού έργου στους ηφαιστειακούς σχηματισμούς της Ν. Σαντορίνης πρόκειται να γίνει είτε με πεδילוδοκούς, είτε με γενική κοιτόστρωση. Επομένως, με βάση τις δύο πρώτες γραμμές του πίνακα 5.3, το βάθος διάτρησης για δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σε γεωτεχνική έρευνα έργων θεμελίωσης κτιρίων με άκαμπτα θεμέλια, πρέπει να είναι μεγαλύτερο από τα 10m. Στο υπό μελέτη έργο το βάθος των δύο γεωτρήσεων είναι 15,45m, οπότε κρίνεται ικανοποιητικό.

Όσον αφορά τη διάταξη και τον αριθμό των γεωτρήσεων, αυτά εξαρτώνται από το είδος του έργου, καθώς και από την πολυπλοκότητα των γεωλογικών σχηματισμών στην συγκεκριμένη θέση, σε συνάρτηση με το κόστος. Στα κτιριακά έργα οι γεωτρήσεις εκτελούνται σε κάνναβο με πλευρές 30m περίπου ή εκεί όπου πρόκειται να εδραστούν τα κεντρικά θεμέλια. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου έργου οι γεωτρήσεις γίνονται εκεί όπου πρόκειται να θεμελιωθούν τα κεντρικά κτίρια (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ

ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 - 2022).

Για μία πρώτη εκτίμηση της διάταξης των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ο γενικής χρήσης, πίνακας 5.4.

Είδος έργου – Περιοχή έρευνας	Διάταξη γεωτρήσεων
Νέα περιοχή μεγάλης έκτασης	α. Ορθογώνιος κάνναβος σε απόσταση 70 – 150 m ώστε κάθε τετράγωνο να περιέχει 10% της συνολικής έκτασης έρευνας β. Πύκνωση κατά επιθυμητές διευθύνσεις για αξιόπιστες τεχνικογεωλογικές τομές
Ανάπτυξη περιοχής σε μαλακά συμπιεστά εδάφη	α. Κάνναβος σε απόσταση 40 -70 m σε πιθανές θέσεις προβλεπόμενων κατασκευών. β. Πύκνωση ενδιάμεσα με οριστικοποίηση κατασκευών
Μεγάλες (βαριές) κατασκευές με μεμονωμένα πέδιλα σε μικρή απόσταση	Κάνναβος σε απόσταση 15 m περίπου σε όλη την έκταση συμπεριλαμβάνοντας και θέσεις εξωτερικών τοίχων, φρεατίων κ.λπ.
Ελαφρές κατασκευές μεγάλης επιφάνειας	Τουλάχιστον 4 γεωτρήσεις στις γωνίες και μερικές ενδιάμεσες για τον καθορισμό των υπεδαφικών συνθηκών.
Άκαμπτες θεμελιώσεις εμβαδού 250- 1000 m <sup>2</sup>	α. Τουλάχιστον 3 γεωτρήσεις στην περίμετρο. β. Ενδιάμεσες ανάλογα με τα αποτελέσματα.
Άκαμπτες θεμελιώσεις εμβαδού λιγότερο από 250 m <sup>2</sup>	α. Τουλάχιστον 2 γεωτρήσεις σε αντίθετες ακραίες πλευρές β. Ενδιάμεσες σε περίπτωση ανομοιομορφίας.
Μεγάλες κατασκευές συγκράτησης νερού (π.χ. δεξαμενές)	α. Κάνναβος σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 15 m β. Ενδιάμεσες σε κρίσιμες θέσεις όπως πηγάδια άντλησης, θύρες πλήρωσης κ.λπ.
Μεγάλα διαφράγματα ή κρηπιδότοιχοι	α. Απόσταση 70 m κατά μήκος του τοίχου β. Ενδιάμεσες ανάντι και κατόντι του τοίχου . Ο αριθμός θα εξαρτηθεί από το (α) για τη διερεύνηση αφ' ενός εδαφικού πρίσματος ενεργών ωθήσεων και αφ' ετέρου της περιοχής της κατόντη ζώνης. γ. Πύκνωση ανάλογα με τα αποτελέσματα.
Ευστάθεια πρανών – κατολισθήσεις – βαθιά ορύγματα – υψηλά επιχώματα	α. 3 μέχρι 5 γεωτρήσεις κατά μήκος για διαμόρφωση τεχνικογεωλογικής μηκοτομής, Ο αριθμός των τεχνικογεωλογικών μηκοτομών είναι συνάρτηση των προβλημάτων αστάθειας. β. Για ενεργές ολισθήσεις τουλάχιστον μία γεώτρηση προς ανάντι της ολισθαίνουσας περιοχής.
Φράγματα	α. Απόσταση 70 m κατά μήκος του άξονα. β. Πύκνωση στα 35 m περίπου. Γεωτρήσεις σε συμπληρωματικά έργα (υπερχειλιστής, σήραγγες κ.λπ.)

Πίνακας 5.4: Προτεινόμενη διάταξη γεωτρήσεων ανάλογα με το είδος του έργου και τη περιοχή έρευνας (NAVFAK 1982)

Το εμβαδόν των βασικών κτιρίων του έργου φαίνεται να είναι κάτω από 1000 m<sup>2</sup> το καθένα, οπότε σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, θα χρειαστούν 3 γεωτρήσεις. Όμως, τα αποτελέσματα της μελέτης των γεωτρήσεων απέδειξαν ότι τα προφίλ τους ήταν παρόμοια. Έτσι, δεν κρίθηκε απαραίτητη η εκτέλεση τρίτης γεώτρησης.

### 5.1.2 Επί τόπου δοκιμές

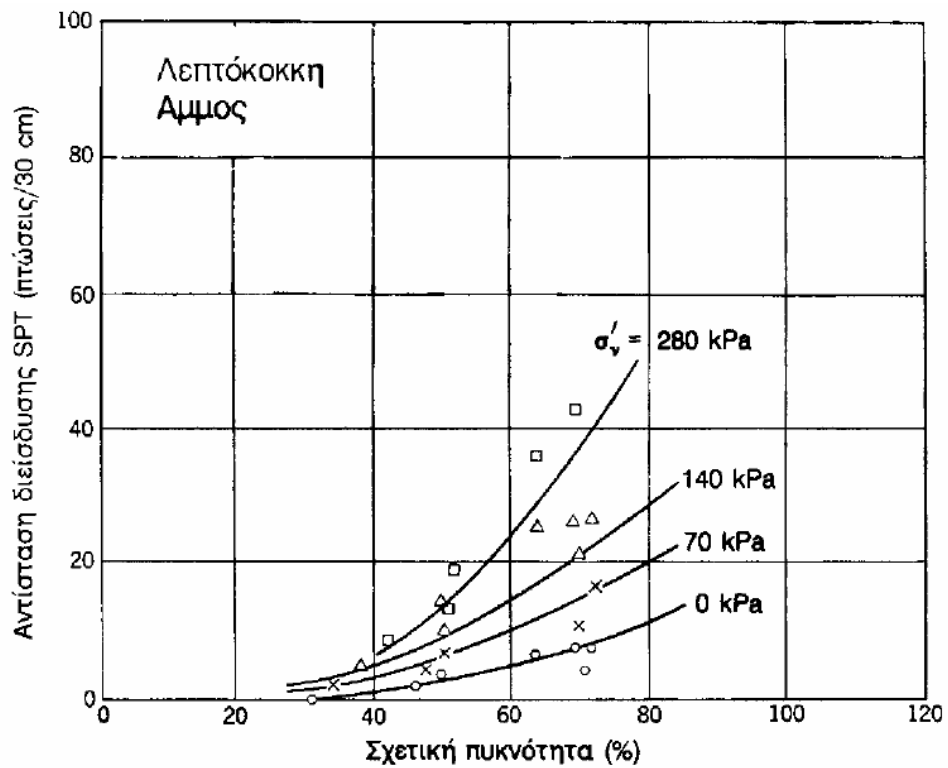
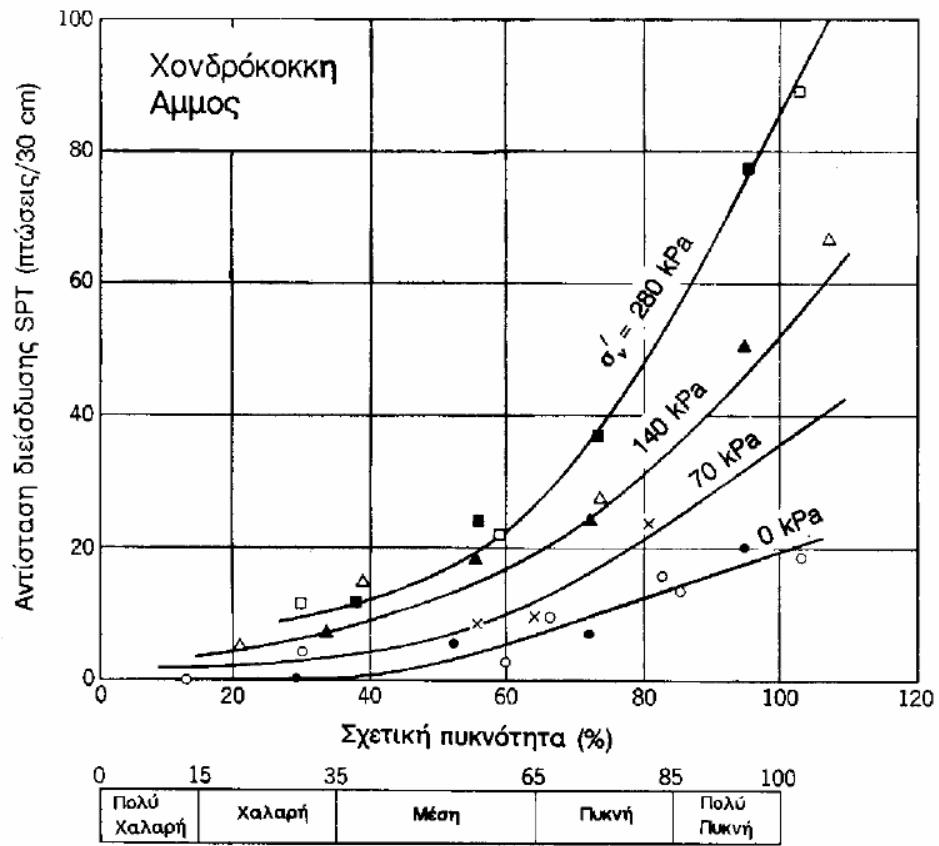
Ακολουθώντας τους κανονισμούς του ΕΑΚ – 2000, για τον γεωτεχνικό σχεδιασμό του συγκεκριμένου έργου απαιτείται η εκτέλεση δοκιμών SPT. Έτσι εκτελέστηκε, η πρότυπη δοκιμή διείσδυσης (SPT) σε κάθε γεώτρηση. Η δοκιμή αυτή εφαρμόζεται σε όλους σχεδόν τους τύπους εδαφών, κυρίως για την εκτίμηση της αντοχής τους. Παρουσιάζει μεγάλη αξιοπιστία σε αμμώδεις εδαφικούς σχηματισμούς, όμως σε εδάφη με σημαντικό ποσοστό χαλικιών και κροκάλων, έχει μικρή αξιοπιστία, το ίδιο και σε άμμους και ιλύες κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα (συνθήκες ρευστής άμμου)(Επιτόπου δοκιμές γεωτεχνικής, Νικόλαος Δεπούνητος).

Στην δοκιμή αυτή μετράται ο αριθμός των κρούσεων που απαιτούνται για την διείσδυση του πρότυπου διαιρετού δειγματολήπτη κατά 15 cm τρεις φορές διαδοχικά. Η έμπηξη του δειγματολήπτη γίνεται με την πτώση πρότυπου βάρους 63,5 kg, το οποίο πέφτει από ύψος 0,76 m. Το βάρος ανυψώνεται υδραυλικά, με καδένα, καθώς η απελευθέρωσή του γίνεται με αυτόματο σύστημα με κασάνια (mechanical trip release). Από τις μετρήσεις αυτές λαμβάνεται το άθροισμα των κρούσεων των δύο τελευταίων διεισδύσεων, ο οποίος ονομάζεται αριθμός κρούσεων N. Ο αριθμός των κρούσεων για τη διείσδυση του δειγματολήπτη στο πρώτο τμήμα των 15 cm απορρίπτεται, διότι θεωρείται ως διαταραγμένο υλικό από τη διαδικασία διάτρησης ή ως υλικά που έχουν καταπέσει από το ασωλήνωτο τμήμα της γεώτρησης. Όταν η διείσδυση είναι μικρότερη από 15 cm ύστερα από 60 κρούσεις κατά την προκαταρκτική διείσδυση (πρώτα 15 cm) ή μικρότερη από 30 cm για 60 κρούσεις μετά από την προκαταρκτική διείσδυση, τότε η δοκιμή διακόπτεται και σημειώνεται ότι έχουμε άρνηση σε διείσδυση. Σε αυτή τη περίπτωση καταγράφεται το βάθος διείσδυσης σε εκατοστά, για 60 ή 50 κρούσεις αντίστοιχα.

Ο αριθμός κρούσεων N χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των εδαφικών παραμέτρων κοκκωδών και συνεκτικών εδαφών. Στην περίπτωση που η δοκιμή εκτελείται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα, οι τιμές πρέπει να διορθωθούν, λόγω της επίδρασης του νερού στην στήλη εκτέλεσης της δοκιμής. Η γενική διόρθωση που ισχύει είναι (ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (S.P.T.) ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ):

$$N' = 15 + \frac{1}{2}(N - 15), \quad \text{για } N > 15$$

Στα κοκκώδη εδάφη (π.χ. άμμος) είναι δυνατό να προσδιοριστεί η σχετική πυκνότητα ( $D_r$ ), η μέγιστη γωνία τριβής ( $\phi_{max}$ ) και το μέτρο συμπίεσης ( $E_s$ ). Το σχήμα 5.1 και ο αντίστοιχος πίνακας (πίνακας 5.5) που παρουσιάζονται στην συνέχεια, χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της σχετικής πυκνότητας λεπτόκοκκης και χονδρόκοκκης άμμου ( $D_r$ ).



Σχ. 5.1: Συσχετίσεις της αντίστασης διείσδυσης με τη σχετική πυκνότητα (Καβαδάς, 2005)

N	Χαρακτηρισμός	D <sub>r</sub> (%)
0 – 4	πολύ χαλαρή	0 – 15
4 – 10	χαλαρή	15 – 35
10 – 30	Μέση	35 – 65
30 – 50	πυκνή	65 – 85
>50	Πολύ πυκνή	85 – 100

Πίνακας 5.5: Χαρακτηρισμός κοκκωδών εδαφών και η εκτίμηση της σχετικής πυκνότητάς τους με βάση τον αριθμό N (Επιτόπου δοκιμές γεωτεχνικής, Νικόλαος Δεπούνητος) ([επιστροφή](#))

Η γωνία τριβής μπορεί να προσδιοριστεί με την βοήθεια του πίνακα 5.6.

Αριθμός Κρούσεων	Χαρακτηρισμός	Γωνία Τριβής φ°
0 < N ≤ 4	Έδαφος Πολύ Χαλαρό	28-29
4 < N ≤ 10	Έδαφος Χαλαρό	29-30
10 < N ≤ 30	Έδαφος Μέσης Πυκνότητας	30-36
30 < N ≤ 50	Έδαφος Πυκνό	36-41
50 < N	Έδαφος Πολύ Πυκνό	41-44

Πίνακας 5.6: Χαρακτηρισμός αμμωδών εδαφικών σχηματισμών και εμπειρική πρόταση της Commission of Engineering Geological Mapping, 1981, για την γωνία τριβής, φ [ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (S.P.T.) ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ]

Στα συνεκτικά εδάφη προσδιορίζεται η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (q<sub>u</sub>) χρησιμοποιώντας τον πίνακα 5.7.

Αριθμός Κρούσεων	Χαρακτηρισμός Αργίλου (Συνεκτικότητα)	Αστράγγιστη Διατμητική Αντοχή, q <sub>u</sub> (kPa)
≤ 2	Πολύ μαλακή	<25
2 < N ≤ 4	Μαλακή	25 – 50
4 < N ≤ 8	Μέσης συνεκτικότητας	50 – 100
8 < N ≤ 15	Στιφρή	100 – 200
15 < N ≤ 30	Πολύ στιφρή (ημιστερεή)	200 – 400
30 < N	Σκληρή	400 – 800

Πίνακας 5.7: Χαρακτηρισμός αργιλικών εδαφικών σχηματισμών [ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (S.P.T.) ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ]



*Εικόνα 5.2: Μηχάνημα που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση της πρότυπης δοκιμής διείδυσης (SPT)  
[ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020]*

## 5.2 Εργαστηριακές δοκιμές

Συνέχεια της έρευνας αποτελούν οι εργαστηριακές δοκιμές, καθώς, σκοπός τους, είναι η εκτίμηση των συνθηκών του εδάφους, αλλά και ο προσδιορισμός των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του. Γενικώς, η εργαστηριακή έρευνα χωρίζεται σε δοκιμές βραχομηχανικής και εδαφομηχανικής. Για έργα που θεμελιώνονται πάνω στις ηφαιστειακές αποθέσεις της Ν. Σαντορίνης, εκτελούνται μόνο οι δοκιμές εδαφομηχανικής, αφού δεν λαμβάνουν χώρα βραχώδεις σχηματισμοί. Μετά την εκτίμηση των γεωλογικών συνθηκών ακολουθεί η μετάφρασή τους σε τεχνικογεωλογική συμπεριφορά και τέλος προσδιορίζεται ο τύπος του γεωλικού και οι ιδιότητές του (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 -2022).

Οι δοκιμές οφείλουν να εκτελεστούν σύμφωνα με κάποιες προδιαγραφές και επιστημονικές κατευθύνσεις. Βασίζονται πάνω στις προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ε 105-86 - ΦΕΚ 955 Β'/31-12-86), οι οποίες συμφωνούν με τις αντίστοιχες Αμερικάνικες προδιαγραφές του AASHTO και του ASTM. Το είδος των δοκιμών προσαρμόζεται ανάλογα με το είδος του εδάφους, τη δειγματοληψία και τον σκοπό της έρευνας. Στα δείγματα που συλλέγονται από τις γεωτρήσεις γίνονται δοκιμές κατάταξης φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών.

Για τις ανάγκες θεμελίωσης κτιριακών έργων στις ηφαιστειακές αποθέσεις της Ν. Σαντορίνης πρέπει να εκτελεστούν οι παρακάτω εργαστηριακές δοκιμές (ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΕΣ, 1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ):

### 1) Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας

Το νερό που εμπεριέχεται στα εδάφη διακρίνεται στις κατηγορίες: α. υγροσκοπικό υγρό, β. υμενώδες νερό, γ. τριχοειδές νερό και δ. βαρυτιτικό νερό. Η υγρασία που περιέχεται στο έδαφος επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά του. Ποικίλει από 0% (ξηρό έδαφος) μέχρι μία μέγιστη τιμή, όταν το έδαφος είναι κορεσμένο σε νερό. Ως φυσική υγρασία ( $W_c$ ) ορίζεται ο λόγος του βάρους του νερού μιας εδαφικής μάζας ( $W_w$ ) προς το βάρος του ξηρού εδάφους ( $W_d$ ) που απομένει μετά την ξήρασή του σε φούρνο στους  $105^{\circ}\text{C}$  και εκφράζεται ως %.

$$W_c = \frac{W_w}{W_d} * 100\%$$

### 2) Προσδιορισμός ειδικού βάρους

Το ειδικό βάρος ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους  $W_d$  μόνο της στερεάς ύλης προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου νερού θερμοκρασίας  $4^{\circ}\text{C}$ .

$$\gamma_s = \frac{W_d}{V_d * \gamma_w} \text{ gr/cm}^3$$

### 3) Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους

Ως φαινόμενο βάρος εδάφους ( $\gamma$ ) ορίζεται το πηλίκο του βάρους ( $W$ ) του εδάφους μαζί με τους πόρους του προς τον όγκο  $V$  που καταλαμβάνει.

$$\gamma = \frac{W}{V} \text{ gr/cm}^3$$

παίρνει την ελάχιστη τιμή  $\gamma_d$  όταν τα κενά είναι πληρωμένα με αέρα και τη μέγιστή του τιμή  $\gamma_{sat}$  σε κατάσταση κορεσμού.

Για χονδρόκοκκα δείγματα χρησιμοποιείται δακτύλιος της δοκιμής οιδήμετρου με διαστάσεις  $d=2,5''$  ή  $6,33 \text{ cm}$  και  $h = 1,0''$  ή  $2,54 \text{ cm}$ , ενώ για καθαρές αργίλους δακτύλιος με  $d=2,54 \text{ cm}$  και  $h = 1,0 \text{ cm}$ . Ο όγκος  $V$  προσδιορίζεται από τις διαστάσεις του δακτυλίου, ενώ το βάρος  $W$  από δύο διαδοχικές ζυγίσεις δακτυλίου-δείγματος, υπολογίζοντας ταυτόχρονα και την υγρασία του  $w_c$ . Στην περίπτωση αυτή είναι και:

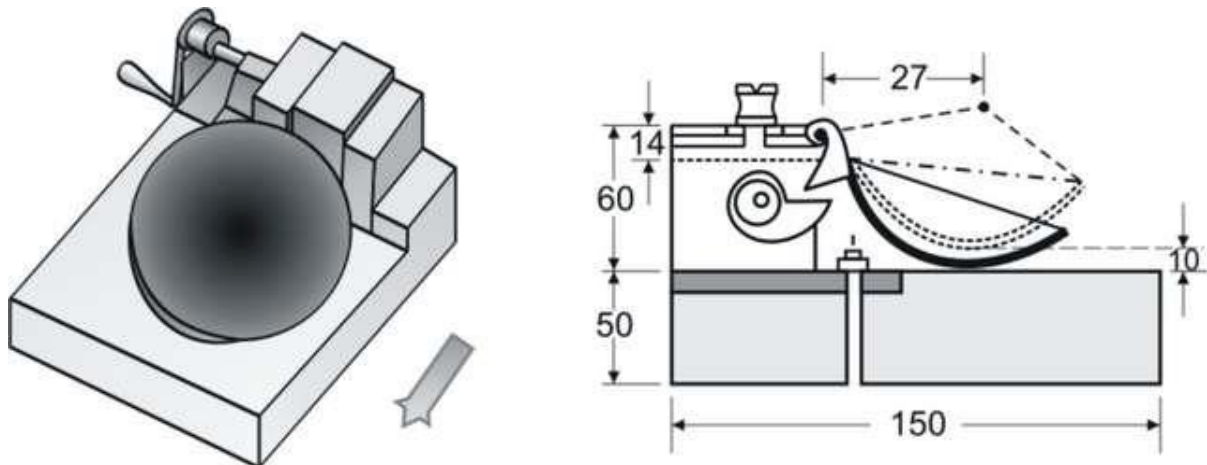
$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + W_c} \text{ gr/cm}^3$$

#### 4) Προσδιορισμός ορίων Atterberg

Η συμπεριφορά των λεπτόκοκκων υλικών και οι φυσικές ιδιότητες επηρεάζονται σημαντικά από την περιεκτικότητα υγρασίας σε αυτά και από τις χρονικές της μεταβολές. Ένα έδαφος, του οποίου τα λεπτόκοκκα συστατικά βρίσκονται στην περιοχή της αργίλου και αποτελούνται από πλαστικά ορυκτά της αργίλου, χαρακτηρίζεται ως πλαστικό. Η κατάσταση και η συμπεριφορά των εδαφών στις κατασκευές προκύπτει με προσδιορισμό των ορίων Atterberg. Του ορίου υδαρότητας (LL) και του ορίου πλαστικότητας (PL).

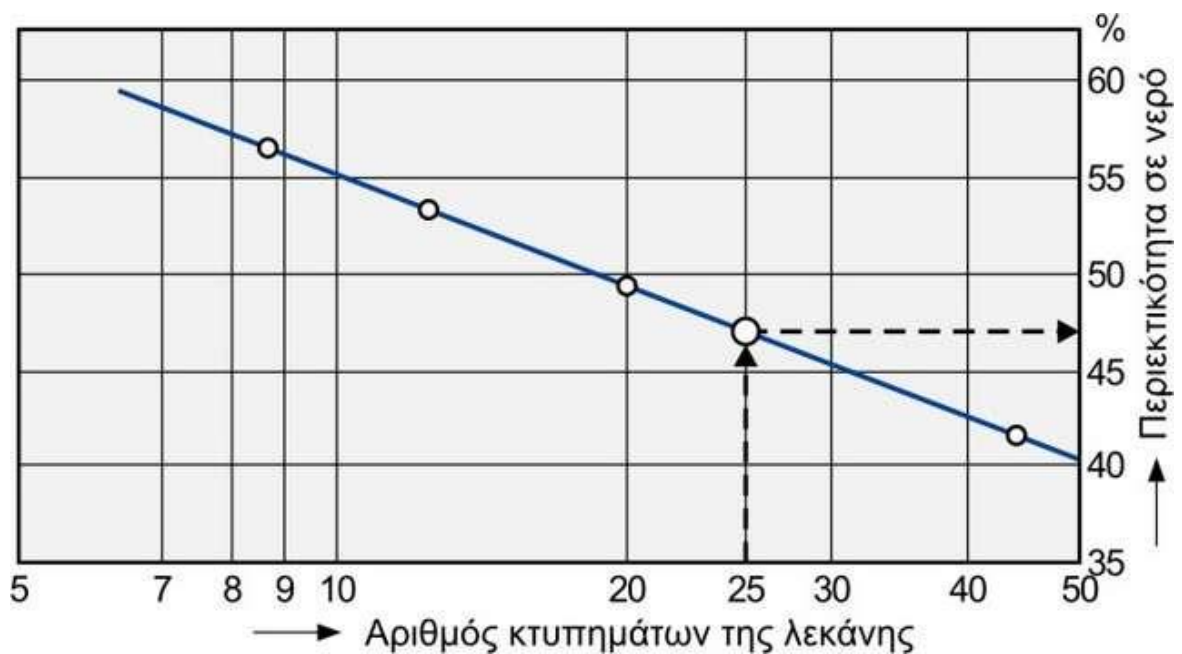
- **Προσδιορισμός ορίου υδαρότητας (LL)**

Λαμβάνεται δείγμα βάρους 50 – 55 gr από το οποίο έχουν αφαιρεθεί τα τεμάχια με  $O > 0,42$  mm και έχει ξηραθεί στους 60°C. Το δείγμα πλάθεται καλά με 20 – 35 cm<sup>3</sup> απεσταγμένου νερού μέχρις ότου γίνει ομογενές. Το υλικό ζυμώνεται καλά και αν χρειαστεί κι άλλο νερό προστίθενται κάθε φορά 1 – 2 σταγόνες και αφήνεται να ωριμάσει σε υγραντήριο για 1 ώρα. Στη συνέχεια λαμβάνεται μέρος της πάστας και τοποθετείται στην πιατέλα της συσκευής, έτσι ώστε να έχει πάχος 1 cm. Με τη σπάτουλα χαράσσεται στη μέση μια αυλακιά με βάθος 1 cm και πλάτος χαραγής 2 mm. Γυρίζεται τώρα ο στρόφαλος της συσκευής (δύο γύρους / sec = ένας κύτπος), η λεκάνη πέφτει ρυθμικά πάνω στο βάθρο του οργάνου και συνεχίζεται η διαδικασία μέχρις ότου η αύλακα να κλείσει σε μήκος 12,5 mm. Η διαδικασία αυτή πρέπει να ολοκληρωθεί σε χρόνο < 3 min. Σημειώνονται τελικά οι κύττοι της λεκάνης μέχρι τη συνένωση των δύο τμημάτων της χαραγής. Διεξάγονται τρεις τουλάχιστον δοκιμές για κάθε δείγμα και για κύττους > 10 και < 40. Από τη δοκιμασθείσα πάστα λαμβάνεται στη συνέχεια δείγμα και προσδιορίζεται η περιεκτικότητά της σε υγρασία %. Τα αποτελέσματα μεταφέρονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.1). Η καμπύλη που προκύπτει είναι λογαριθμική ευθεία. Το όριο υδαρότητας LL προκύπτει από την περιεκτικότητα υγρασίας που αντιστοιχεί στα 25 κτυπήματα της πιατέλας.



Εικόνα 5.3: Συσκευή Casagrande, προσδιορισμού των ορίων του Atterberg





Διάγραμμα 5.1: Διάγραμμα υπολογισμού του ορίου υδαρότητας (LL)

- **Προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας (PL)**

Το όριο πλαστικότητας PL αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση. Προσδιορίζεται στην κατάσταση εκείνη που το έδαφος χάνει τόση υγρασία, ώστε αυτό μπορεί να σχηματίσει ακόμη κυλίνδρους διαμέτρου 3 mm χωρίς να σπάει (AASHTO T-90/70, ASTM D-4318/83).

Για τον προσδιορισμό του PL λαμβάνεται υλικό 8 περίπου gr απ' αυτό με το οποίο προσδιορίστηκε το LL, το οποίο στη συνέχεια πλάθεται ανάμεσα στα δάκτυλα και κυλινδρώνεται σε γυάλινη πλάκα για το σχηματισμό ραβδίσκων διαμέτρου 3 mm. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου η ράβδος των 3 mm αρχίζει να παρουσιάζει ρωγμές. Στην κατάσταση αυτή ζυγίζεται ξηραίνεται και επαναζυγίζεται για τον προσδιορισμό της υγρασίας του. Η περιεκτικότητα υγρασίας του δείγματος στην κατάσταση αυτή αντιστοιχεί στο όριο πλαστικότητας PL αυτού του εδάφους. Ως **δείκτης πλαστικότητας (PI)** ορίζεται η διαφορά υγρασίας ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και στο όριο πλαστικότητας  $PI = LL - PL$ .

Προσδιορίζονται ακόμη:

- Ο **Δείκτης υδαρότητας (LI)**:  $LI = \frac{W_n - PL}{PI} * 100\%$
- Ο Δείκτης στερεότητας ή συνεκτικότητας (IC):  $IC = \frac{LL - W_c}{PI}$
- Η **Ενεργότητα A** της αργίλου ως  $A = \frac{PI}{N\% \text{ ποσοστό αργίλου}}$
- Το όριο συρρίκνωσης PS:  $PS = LL - 1,15 * PI$
- Το δείκτη συμπίεσότητας:  $Cc = A(LL - 10)$

## 5) Κοκκομέτρηση με κόσκινα

Το μέγεθος και η κατανομή του εδάφους αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά για τον διαχωρισμό των μεγεθών των κόκκων του και για την ονοματολογία του. Τα μεγέθη αυτά κατανέμονται σε ομάδες που διαχωρίζονται με την κοκκομετρική ανάλυση. Η κοκκομετρική ανάλυση χωρίζεται σε δύο επιπρόσθετες διαδικασίες. Σε αυτήν που χρησιμοποιεί κόσκινα για τον διαχωρισμό των επιμέρους μεγεθών κόκκων του εδάφους που συγκρατείται από το κόσκινο Νο 10 και σε αυτήν της ιλύος που διαχωρίζει τα λεπτόκοκκα μέρη του εδάφους με διάμετρο κάτω από 0,063 mm, δηλαδή το υλικό που συγκρατείται από το κόσκινο Νο 200, σε αναλογία βάρους >30% του συνολικού δείγματος. Στην κοκκομετρική ανάλυση χονδρόκοκκων δειγμάτων εδαφών χρησιμοποιείται η **μέθοδος με κόσκινα**. Για την ανάλυση χρησιμοποιείται μία σειρά από κόσκινα και οι κατάλληλες περιεκτικότητες δειγμάτων. Έτσι, για λεπτή έως μέση άμμο απαιτούνται 100 έως 200 gr, για χονδρή άμμο μέχρι λεπτά χαλίκια 500 gr και για χοντρά χαλίκια 5000 gr δείγματος.

Το δείγμα ξηραίνεται στους 105°C και αφού ξηραθεί, ζυγίζεται με ακρίβεια 0,5%. Τοποθετείται στο αρχικό άνω κόσκινο και κοσκινίζεται με ηλεκτρικό δονητή. Καθώς δονείται, το υλικό διαπερνάει τα κόσκινα και συγκεντρώνεται σε καθένα από αυτά ανάλογα με την διάμετρο των κόκκων του. Το υλικό που μένει σε κάθε κόσκινο ζυγίζεται και μετατρέπεται σε ποσοστό % του συνολικού βάρους του δείγματος. Τα αποτελέσματα μεταφέρονται στο έντυπο του πίνακα 5.8 και κατασκευάζεται η αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη.

Ανάλυση		Κοκκομετρικής κατανομής με τα κόσκινα							
Σκοπός:									
Θέση δειγματοληψίας :									
Εκτέλεση από τον:					την:				
Χαρακτηρισμός του δείγματος :									
Τύπος εδάφους :									
Ζύγιση Gt :		g		100		g		100	
		Υπόλειμμα R		άθροισμα %		Υπόλειμμα R		άθροισμα %	
Διάμετρος κόσκινων (mm)		R	g	Gt	%	R	g	Gt	%
60									
40									
20									
10									
6									
No 5									
4									
2									
1									
0,59									
0,42									
0,20									
0,105									
0,074									
0,074									
Άθροισμα ΣR									
Απώλεια									

Πίνακας 5.8: Έντυπο που χρησιμοποιείται στην ανάλυση με κόσκινα

## 6) Κοκκομέτρηση με αραιόμετρο

Τα υλικά τα οποία διέρχονται από το κόσκινο No 200 ( $0 < 0,06$  mm) αναλύονται με την μέθοδο του αραιομέτρου. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή διασποράς των κόκκων του εδαφικού δείγματος, αλλά και στην καθίζησή τους. Η διασπορά και η καθίζηση των κόκκων μέσα σε ένα υγρό, όπως και στο νερό γίνονται με διαφορετικές ταχύτητες. Οι ταχύτητες εξαρτώνται από το σχήμα, το μέγεθος και το βάρος των εδαφικών κόκκων ενός δείγματος.

Μετά την ανάλυση, υπολογίζεται το ξηρό βάρος του δείγματος. Το δείγμα επεξεργάζεται σε μία λεκάνη πορσελάνης  $100 \text{ cm}^3$  με απεσταγμένο νερό και τοποθετείται στο mixer. Προστίθενται σε αυτό 2 – 3 σταγόνες υλικού διασποράς και το υλικό ανακατεύεται για 20 – 30 min. Το υλικό μεταφέρεται σε έναν ογκομετρικό σωλήνα ξεπλένοντας ταυτόχρονα το δοχείο με απεσταγμένο νερό και συμπληρώνεται ξανά με απεσταγμένο νερό μέχρι τη γραμμή των 1000 ml. Αφού ανακατευθεί ο σωλήνας πολλές φορές, τοποθετείται στο τραπέζι και ταυτόχρονα αφήνεται προσεκτικά μέσα στο σωλήνα ένα αραιόμετρο. Ταυτόχρονα τίθενται σε λειτουργία το χρονόμετρο, από το οποίο λαμβάνονται ενδείξεις της στήλης του αραιομέτρου ( $R'$ ) ανά  $1/2$ , 1 και 2 min, χωρίς να αφαιρεθεί το αραιόμετρο. Υπολογίζεται μια φορά το ύψος του μηνίσκου  $C_m$  και διεξάγεται το  $R$  ως:

$$R' + C_m = R$$

Το αραιόμετρο, ύστερα, αφαιρείται, ξεπλένεται και οι μετρήσεις συνεχίζονται στα 5, 10, 15, 30 min και 1, 2, 4, 8, 24 ώρες, παίρνοντας ταυτόχρονα και τη θερμοκρασία του διαλύματος. Η θερμοκρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας σε αυτήν την δοκιμή, διότι τυχόν αλλαγές σε αυτήν επιφέρουν και διόρθωση στην ανάγνωση των ενδείξεων και των αποτελεσμάτων του αραιομέτρου.

## 6. Γεωλογική κρίση – Ποσοτικοποίηση

Παρά την σωστή υπολογιστικά μελέτη για τον σχεδιασμό των έργων εκδηλώνονται συχνά αστοχίες στα έργα, λόγω έλλειψης γεωλογικής κρίσης. Για αυτό η ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων της γεωλογικής έρευνας άρχισε να αποτελεί ανάγκη. Η ανάλυση και η διαστασιολόγηση των τεχνικών έργων συνιστά πλέον τον τομέα με την μεγαλύτερη ανάπτυξη, αφού έχουν δημιουργηθεί υπολογιστικά προγράμματα (λογισμικά) με μεγάλες δυνατότητες. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν είναι πάντα σωστά, καθώς οι παράμετροι που εισάγονται, περιέχουν ένα ποσοστό αδυναμιών και αβεβαιοτήτων. Επομένως, τα πιο σημαντικά στάδια του σχεδιασμού είναι ο καθορισμός των παραμέτρων σχεδιασμού και η κριτική αντιμετώπιση των αποτελεσμάτων (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 -2022).

Η σύνταξη, λοιπόν, ενός γεωλογικού προσομοιώματος είναι σημαντική και αποτελεί ένα ξεχωριστό βήμα για τον σχεδιασμό των τεχνικών έργων. Στόχο έχει την ποσοτικοποίηση της γεωλογικής πληροφορίας, η οποία συλλέγεται από τις έρευνες υπαίθρου και το εργαστήριο. Με ένα γεωλογικό προσομοίωμα μπορούν να καθοριστούν οι γεωλογικές συνθήκες που θα συναντηθούν κατά την κατασκευή. Πιο συγκεκριμένα, η ποικιλία και η ποιότητα των γεωλογικών σχηματισμών, καθώς και η έκτασή τους. Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού του είδους, της θέσης και του μεγέθους ενδεχόμενων κινδύνων ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 -2022).

Η μελέτη των γεωλογικών συνθηκών της ευρείας περιοχής και οι γεωερευνητικές εργασίες συνιστούν τη βάση για την σύνταξη γεωλογικού προσομοιώματος ενός υπό μελέτη έργου. Το προσομοίωμα αυτό πρέπει

να ενταχτεί στις ανάγκες του μηχανικού, διότι αποτελεί τη βάση για κάθε επόμενο βήμα του σχεδιασμού. Ακολουθεί ο προσδιορισμός των μοντέλων της βραχομάζας, αφού πραγματοποιηθεί η ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών των γεωυλικών, ο καθορισμός των παραμέτρων σχεδιασμού, η ανάλυση και διαστασιολόγηση του τεχνικού έργου (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 -2022).

Συμπερασματικά, η σύνταξη γεωτεχνικού προσομοιώματος αποτελεί πρωτεύουσα σημασία, η οποία βασίζεται στην ομαδοποίηση του υπεδάφους με βάση τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά. Συντάσσεται με βάση την στατιστική επεξεργασία σύμφωνα με τον Ν.3316 / 2004 και των αναθεωρήσεων αυτού (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωτεχνικές Εφαρμογές», Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021 -2022).

## 7. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΕΥΝΩΝ

Με την ολοκλήρωση των ερευνών υπαίθρου και των εργαστηριακών δοκιμών, πραγματοποιείται η αξιολόγηση των στοιχείων που συλλέχθηκαν. Σκοπός, είναι ο υπολογισμός των παραμέτρων σχεδιασμού και η κατασκευή της γεωτεχνικής τομής. *Όλα τα στοιχεία της αξιολόγησης παραχωρήθηκαν από την έκθεση της: ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020.*

### 7.1 Αντικείμενο

Αντικείμενο της γεωτεχνικής αξιολόγησης είναι η αξιολόγηση των στοιχείων της γεωτεχνικής έρευνας, συνεκτιμώντας και τα σχετικά στοιχεία από τη γεωλογική μελέτη, με σκοπό την σύνταξη του γεωτεχνικού προσομοιώματος.

Η σύνταξη της έκθεσης γεωτεχνικής αξιολόγησης και το περιεχόμενό της καθορίζονται από την υφιστάμενη νομοθεσία και ειδικότερα με την κοινή υπουργική απόφαση ΔΜΕΟ/δ/ο/1759/1998 (ΦΕΚ 1221/Β/1998).

Η αξιολόγηση σύμφωνα με την απόφαση αυτή περιλαμβάνει:

- 1) Ταξινόμηση, πινακοποίηση και παρουσίαση σε κατάλληλα διαγράμματα των αποτελεσμάτων των ερευνών υπαίθρου και των εργαστηριακών δοκιμών και εφόσον κρίνεται απαραίτητο, παρουσίαση της στατιστικής κατανομής και του εύρους μεταβολής των κυριότερων στοιχείων σε ιστογραφήματα.
- 2) Προσδιορισμό της στάθμης του νερού των γεωτρήσεων.
- 3) Τομές υπεδάφους με τις παραλλαγές του υπεδάφους με το βάθος σε συσχετισμό με τα αποτελέσματα δομικών τυποποιημένης διεισδύσεως, φυσικής υγρασίας αντοχής, συμπιεστότητας κ.λπ. Διαχωρισμό στρώσεων με απόλυτα υψόμετρα όπου είναι δυνατόν, αλλιώς με σχετικά υψόμετρα από τα σχέδια της μελέτης.
- 4) Λεπτομερή περιγραφή των διαφόρων στρώσεων υπεδάφους με βάση τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών υπαίθρου και των εργαστηριακών δοκιμών με ιδιαίτερη έμφαση στα χαρακτηριστικά αντοχής και συμπιεστότητας.

- 5) Παρουσίαση των ορίων μεταβολής των γεωτεχνικών παραμέτρων υπεδάφους σε συσχετισμό με τη στρωματογραφία του υπεδάφους. Η παρουσίαση αυτή γίνεται κατά τρόπο σαφή και εποπτικό ώστε να επιτρέπει την επιλογή των πιο κατάλληλων παραμέτρων για τους γεωστατικούς υπολογισμούς.
- 6) Υποβολή αιτιολογημένων προτάσεων σχετικά με το είδος και τον αριθμό των πρόσθετων γεωτεχνικών ερευνών που κρίνεται σκόπιμο να εκτελεσθούν για να καλύψουν τυχόν ανεπαρκή στοιχεία της έρευνας ή να απαντήσουν σε τυχόν ερωτηματικά που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας, εφόσον απαιτηθεί από την παραπάνω αξιολόγηση.

## 7.2 Αξιολόγηση γεωτρήσεων

Από τις γεωτρήσεις αντλούνται πληροφορίες για την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και για την στρωματογραφία της περιοχής μελέτης μιας και οι γεωτρήσεις είναι δειγματοληπτικές. Στην περιοχή του έργου η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα εκτιμήθηκε σε υψόμετρο +0,50 m. Το βάθος των γεωτρήσεων είναι 15,45 m και μέχρι το πέρας αυτών, απαντώνται ασύνδετα λεπτόκοκκα πυροκλαστικά υλικά (ηφαιστειακή τέφρα) υπό τη μορφή ιλυώδους ΑΜΜΟΥ (SM), μέσης πυκνότητας ως πυκνής, ανοικτού καστανού ως καστανόφαιου χρώματος, με λεπτά χαλίκια κατά θέσεις (στρώμα [1]). Επομένως, σε όλο το βάθος που διερευνήθηκε βρέθηκε ένα μόνο στρώμα.

Στον πίνακα 7.1 που ακολουθεί, παρουσιάζεται το μοναδικό γεωτεχνικό στρώμα που λαμβάνει χώρα στην περιοχή μελέτης.

Γεωτεχνική Στρώση	Χαρακτηρισμός
[1]	Ασύνδετα λεπτόκοκκα πυροκλαστικά υλικά (ηφαιστειακή τέφρα) υπό τη μορφή ιλυώδους ΑΜΜΟΥ (SM), μέσης πυκνότητας ως πυκνής, ανοικτού καστανού ως καστανόφαιου χρώματος, με λεπτά χαλίκια κατά θέσεις

Πίνακας 7.1: Γεωτεχνική στρώση της περιοχής μελέτης

## 7.3 Αξιολόγηση επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών

Τα αποτελέσματα των πρότυπων δοκιμών διείδυσης (SPT) στις γεωτρήσεις Γ1 και Γ2 παρουσιάζονται στον πίνακα 7.2.

Γεώτρηση	Βάθος	Κρούσεις/15 cm	N
Γ1	2,00 – 2,45	7 – 13 – 10	23
	4,00 – 4,45	4 – 8 – 9	17
	6,00 – 6,45	7 – 13 – 15	28
	8,00 – 8,45	6 – 8 – 9	17
	10,00 – 10,45	5 – 7 – 7	14
	12,00 – 12,45	8 – 7 – 9	16
	13,30 – 13,75	12 – 13 – 14	27
	15,00 – 15,45	8 – 10 – 11	21
Γ2	1,00 – 1,45	3 – 6 – 7	13
	3,00 – 3,45	4 – 8 – 9	17
	4,50 – 4,95	8 – 9 – 14	23
	6,50 – 6,95	9 – 12 – 13	25
	8,50 – 8,95	11 – 12 – 11	23
	10,50 – 10,95	8 – 12 – 16	28
	12,00 – 12,45	9 – 14 – 17	31
	13,50 – 13,95	5 – 12 – 17	29
	15,00 – 15,45	7 – 14 – 15	29

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα πρότυπων δοκιμών διείδυσης (SPT) ([επιστροφή](#))

Με βάση την στατιστική επεξεργασία των επί τόπου (SPT) και των εργαστηριακών δοκιμών προκύπτει η διακύμανση των παραμέτρων του στρώματος [1], η οποία δίνεται στον πίνακα 7.3. Στον πίνακα αυτό παρουσιάζεται η μέγιστη (max) και η ελάχιστη (min) τιμή που βρέθηκε σε κάθε παράμετρο, ο μέσος όρος (Μ.Ο.), η τυπική απόκλιση και το σύνολο των τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία.

Παράμετρος	min	max	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση	Σύνολο τιμών
Όρια Atterberg:					
• Όριο υδαρότητας (LL)	-	-	-	-	- (*)
• Όριο πλαστικότητας (PL)	-	-	-	-	- (*)
• Δείκτης πλαστικότητας (PI)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	18 (*)
Φυσική υγρασία (w)	14,2%	34,0%	21,0%	5,4%	18
Χαλίκια (συγκρατούμενο #4)	2%	24%	9%	6%	18
Άμμος (διερχόμενο #4 - #200)	54%	71%	64%	5%	18
Λεπτόκοκκο (διερχόμενο #200)	19%	36%	27%	5%	18
Ειδικό βάρος στερεών (Gs)	2,29	2,48	2,35	0,07	6
Υγρό φαινόμενο βάρος ( $\gamma_w$ - kN/m <sup>3</sup> )	13,62	21,26	16,60	2,13	9
Ξηρό φαινόμενο βάρος ( $\gamma_d$ - kN/m <sup>3</sup> )	11,92	17,69	13,92	1,68	9
Δείκτης Κατάρρευσης ( $I_e$ - 200 kPa)	7,0%	7,0%	7,0%	-	1

Πίνακας 7.3: Διακύμανση παραμέτρων στρώματος [1] ([επιστροφή, κεφ. 8.2](#))/([επιστροφή, κεφ. 8.3](#))

### 7.3.1 Παράμετροι σχεδιασμού

Οι παράμετροι σχεδιασμού προκύπτουν από τα αποτελέσματα της δοκιμής (SPT) και των εργαστηριακών δοκιμών σε συνδυασμό με τις αναλύσεις της κοκκομετρίας, την φυσική υγρασία και τα όρια Atterberg. Στον πίνακα 7.4 φαίνονται οι παράμετροι σχεδιασμού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τους εδαφοτεχνικούς υπολογισμούς στις ηφαιστειακές αποθέσεις του νησιού.

Παράμετρος	Τιμή σχεδιασμού
<b>Υγρό φαινόμενο βάρος (<math>kN/m^3</math>)</b>	
Για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας (Μ.Ο μείον μία τυπική απόκλιση)	14,5
Για την εκτίμηση των γεωστατικών τάσεων στους υπολογισμούς των καθιζήσεων	16,6
Για τους υπολογισμούς ευστάθειας πρανών (Μ.Ο. συν μία τυπική απόκλιση)	18,5
<b>Παράμετροι συμπίεσότητας</b>	
Μέτρο συμπίεσης ( $E_s - MN/m^2$ )	20
Δυναμικό κατάρρευσης ( $I_c - \%$ )	
50 kPa	2,6
100 kPa	5,0
150 kPa	6,1
200 kPa	7,0
<b>Παράμετροι αντοχής</b>	
Γωνία εσωτερικής τριβής ( $\phi'$ )	30°
Συνοχή ( $c' - kPa$ )	5
Στάθμη σχεδιασμού Υ.Υ.Ο	+0,50 m

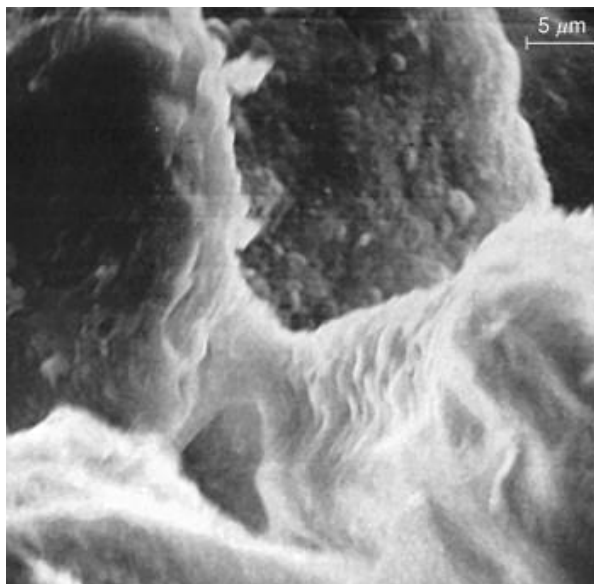
Πίνακας 7.4: Παράμετροι σχεδιασμού ([επιστροφή, κεφ. 8.2](#))([επιστροφή, κεφ. 8.3](#))

### 7.4 Καταρρεύσιμα εδάφη

#### Καταρρεύσιμα εδάφη

Οι ιλυώδεις και αργιλώδεις σχηματισμοί οι οποίοι περιέχουν λεπτόκοκκη άμμο χαρακτηρίζονται από ασταθή δομή και παρουσιάζουν μεγάλες πιθανότητες κατάρρευσης της δομής τους. Τέτοια εδάφη συναντώνται παντού στην Γη και καλύπτουν περίπου το 10% της επιφάνειάς της. Συνήθως είναι αποτέλεσμα αιολικών αποθέσεων, αλλά μπορεί να είναι και αποτέλεσμα χημικής αποσάθρωσης σε γρανιτικά πετρώματα, όταν η διάβρωση έχει απομακρύνει το λεπτόκοκκο υλικό. Τα πραγματικά καταρρεύσιμα εδάφη είναι εκείνα στα οποία η κατάρρευση συμβαίνει κατά τον κορεσμό των πόρων, όταν η δομή του εδάφους δεν μπορεί να στηρίξει το φορτίο που επιβάλλεται. Όταν το φορτίο που ασκείται είναι μικρότερο από αυτό που μπορεί να αντέξει το κορεσμένο έδαφος, τότε το έδαφος θεωρείται καταρρεύσιμο, αλλά υπό όρους. Τα εδάφη αυτά αποτελούνται κατά 50% με 90% από κόκκους ιλύος, αλλά και από άμμο, ιλύ και άργιλο, με τα περισσότερα να ανήκουν στην κατηγορία της ιλύος. Η δομή των καταρρεύσιμων εδαφών χαρακτηρίζεται συνήθως από ασύνδετους κόκκους (γενικώς χαλαζιακούς) και από αδρανή υλικά κόκκων μεγέθους αργίλου. Οι κόκκοι ιλύος τείνουν να είναι χωριστοί ο ένας από τον άλλον, αλλά συνδέονται μέσω δεσμών και γεφυρών, με αποτέλεσμα να σχηματίζουν ένα ομοιόμορφο πορώδες

(εικόνα 7.1) . Οι γέφυρες αποτελούνται από κόκκους αργίλου. Εφόσον οι κόκκοι του εδάφους αυτού δεν έρχονται σε επαφή, η μηχανική του συμπεριφορά προσδιορίζεται με βάση την ποιότητα των δεσμών και των γεφυρών.



*Εικόνα 7.1: Εικόνα από σαρωτικό μικροσκόπιο ενός ιλυοαργιλώδους σχηματισμού από την νοτιοανατολική Αγγλία, όπου φαίνονται τρεις κόκκοι ιλύος, δύο από τους οποίους είναι συνδεδεμένοι με κόκκους αργίλου (F.G. Bell, 2005)*

Επίσης, η ευστάθεια της δομής των καταρρεύσιμων εδαφών είναι σχετική με το ποσοστό της αποσάθρωσης. Νεότερα και ελαφρώς αποσαθρωμένα εδάφη έχουν μεγάλη πιθανότητα κατάρρευσης, ενώ τα παλαιότερα είναι σχετικά σταθερά. Σημαντικός παράγοντας στην κατάρρευση τέτοιων εδαφών αποτελεί το μέγεθος των πόρων, αφού η κατάρρευση είναι αποτέλεσμα της μείωσης του κενού των πόρων, λαμβάνοντας χώρα σε πόρους με μέγεθος πάνω από 1 μm, αλλά κυρίως όταν οι πόροι έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από 10 μm. Στην φυσική χαμηλή περιεκτικότητα τους σε υγρασία, τέτοια εδάφη παρουσιάζουν υψηλή αντοχή, αλλά είναι επιδεκτικά σε μεγάλη μείωση του ποσοστού των πόρων, ύστερα από ύγρανση. Με άλλα λόγια η ασταθής τους δομή καταρρέει, καθώς οι δεσμοί μεταξύ των κόκκων σπάνε, όταν το έδαφος βραχεί. Η κατάρρευση ύστερα από κορεσμό των πόρων, συνήθως καταλαμβάνει μικρό χρονικό διάστημα, όμως όσο περισσότερους κόκκους αργίλου περιέχει το έδαφος τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται αυτή η διαδικασία.

Συμπεραίνοντας, μπορούν να σημειωθούν καθιζήσεις σε κτίρια θεμελιωμένα πάνω σε καταρρεύσιμα εδάφη, μετά από κορεσμό των πόρων από νερό, σε ορισμένες περιπτώσεις στην κλίμακα των μέτρων. Τέτοια φαινόμενα έχουν οδηγήσει θεμελιωμένα κτίρια σε μεγάλες αστοχίες.

#### **Δείκτης κατάρρευσης (ASTM D 5333 : 2003)**

Στους ηφαιστειακούς σχηματισμούς της Ν. Σαντορίνης απαραίτητος είναι ο έλεγχος του εδάφους ως προς την κατάρρευσή του. Καταρρεύσιμα εδάφη είναι αυτά που παρουσιάζουν χαμηλό ξηρό φαινόμενο βάρος και μικρή περιεκτικότητα σε περιεχόμενη υγρασία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών το έδαφος στην περιοχή του έργου (ιλυώδης άμμος, SM) έχει πράγματι χαμηλό ξηρό φαινόμενο βάρος ( $\gamma_d=13,92 \text{ kN/m}^3$ ) και ο υδροφόρος ορίζοντας στην γεώτρηση Γ1, βρίσκεται αρκετά χαμηλά σε



υψόμετρο +0,50 m. Επομένως, το ηφαιστειακό έδαφος στη περιοχή του έργου είναι αρκετά ξηρό και ο έλεγχός του ως προς την καταρρευσιμότητα είναι απαραίτητος.

Τα καταρρεύσιμα εδάφη είναι τα μη κορεσμένα εδάφη τα οποία επιδεικνύουν σημαντική, μη αντιστρεπτή, μείωση του όγκου τους όταν αυτά υποβληθούν σε ύγρανση, ή και την άσκηση φορτίου. Το γεγονός ότι αυτή η μείωση του όγκου είναι μη αντιστρεπτή, σημαίνει πως οι κόκκοι του εδάφους αναδιατάσσονται σε μία πυκνότερη διάταξη (Μ. Ε. Μπαρδάνης, 2016). Επομένως, κτίρια τα οποία θεμελιώνονται σε καταρρεύσιμα εδάφη μπορούν να υποστούν μικρές ή μεγάλες ζημιές από καθιζήσεις, ανάλογα με τον αντίστοιχο δείκτη κατάρρευσης (πίνακας 7.5). Αξίζει να σημειωθεί ότι εάν αποφευχθεί η ύγρανσή τους, τα καταρρεύσιμα εδάφη μπορούν να παρουσιάσουν μικρές παραμορφώσεις ακόμα και όταν σε αυτά επιβληθούν μεγάλες τάσεις. Για αυτό η πρόβλεψη της καταρρευσιμότητας του εδάφους είναι μία σημαντική διαδικασία στα τεχνικά έργα.

Ο δείκτης κατάρρευσης ( $I_e$ ), είναι το μέγεθος το οποίο προσδιορίζει την κατάρρευση του εδάφους στα 200 kPa και εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό (%). Υπολογίζεται μέσω της της σχέσης (1).

Το δυναμικό κατάρρευσης ( $I_c$ ) είναι το μέγεθος το οποίο προσδιορίζει την κατάρρευση του εδάφους σε οποιαδήποτε τάση, εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό (%) και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$I_c = \left[ \frac{d_f - d_o}{h_o} - \frac{d_i - d_o}{h_o} \right] 100 = \left[ \frac{d_f - d_i}{h_o} \right] \quad (1)$$

Όπου:

$d$  = ένδειξη μήκους, mm

$d_o$  = ένδειξη μήκους στην αρχική τάση, mm

$h_o$  = αρχικό ύψος δείγματος, mm

$d_f$  = ένδειξη μήκους του δείγματος στην κατάλληλη τάση μετά από διαβροχή, mm

$d_i$  = ένδειξη μήκους του δείγματος στην κατάλληλη τάση πριν την διαβροχή, mm

$(d_f - d_o)/h_o$  = παραμόρφωση στην κατάλληλη τάση μετά από διαβροχή

$(d_i - d_o)/h_o$  = παραμόρφωση στην κατάλληλη τάση πριν την διαβροχή

Η παρούσα δοκιμή πραγματοποιείται για τον προσδιορισμό του δυναμικού κατάρρευσης  $I_c$  και του δείκτη κατάρρευσης  $I_e$ , κατά την εφαρμογή τάσης 200 kPa. Το μέγεθος των καθιζήσεων εξαρτάται από την διαθεσιμότητα του υπόγειου νερού και γενικώς την υγρασία του σχηματισμού, πράγμα το οποίο είναι δύσκολο να προσδιοριστεί πριν από την κατάρρευση. Στον πίνακα 7.5 δίνεται η κατάταξη του δείκτη κατάρρευσης σύμφωνα με το ASTM D5333-03.

Degree of Specimen Collapse	Collapse Index $I_e$ , %
None	0
Slight	0.1 to 2.0
Moderate	2.1 to 6.0
Moderately severe	6.1 to 10.0
Severe	>10

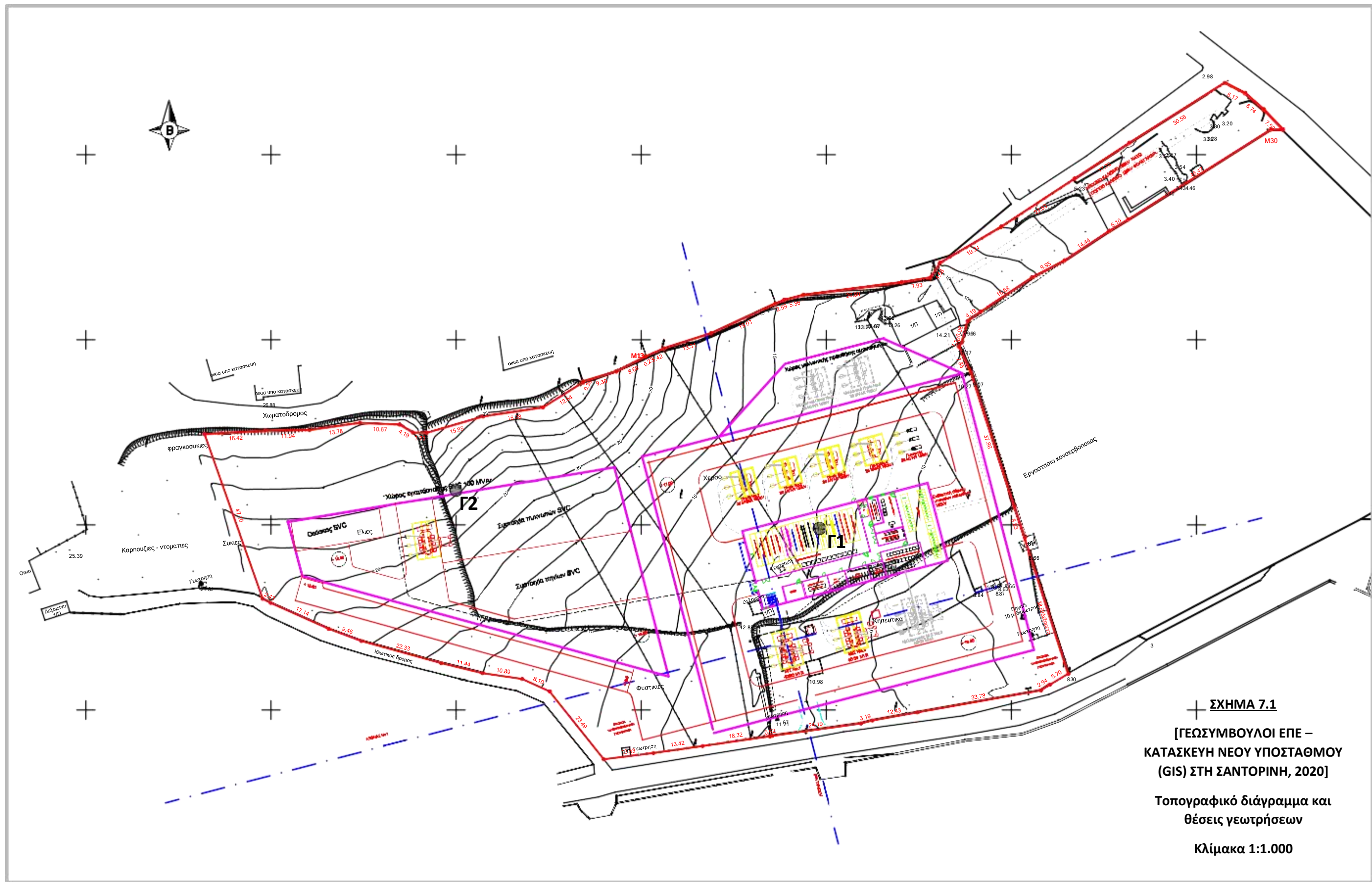
Πίνακας 7.5: Κατάταξη του δείκτη κατάρρευσης ( $I_e$ , %) (σύμφωνα με το ASTM D5333-03)([επιστροφή](#))

Γενικώς, τοποθετείται ένα εδαφικό δείγμα στην φυσική του υγρασία στο όργανο δοκιμής στερεοποίησης, ασκώντας κάθε φορά την κατάλληλη τάση, η οποία μπορεί να είναι 12, 25, 50, 100, 150, 200, κ.λπ. kPa. Στο δείγμα προστίθενται νερό και γίνεται η μέτρηση άλλη μία φορά, αφού προκληθεί κατάρρευση στο ίδιο δείγμα. Για τον προσδιορισμό του δείκτη κατάρρευσης  $I_e$  απαιτείται η χρήση αποσταγμένου – απιονισμένου νερού, ενώ για τον προσδιορισμό του δυναμικού κατάρρευσης ( $I_c$ ), χρησιμοποιείται υγρό το οποίο ανταποκρίνεται στις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Λίγο πριν την τοποθέτηση του δείγματος στο όργανο δοκιμής, πρέπει να γίνει η καταγραφή του ύψους του και του υγρού φαινομένου βάρους του. Μετά την άσκηση του φορτίου καταγράφεται η ένδειξη του οργάνου. Τελικά, χρησιμοποιείται ο τύπος (1) και προσδιορίζεται ο δείκτης κατάρρευσης  $I_e$  (%) και το δυναμικό κατάρρευσης  $I_c$  (%).

## 7.5 Γεωτεχνική τομή

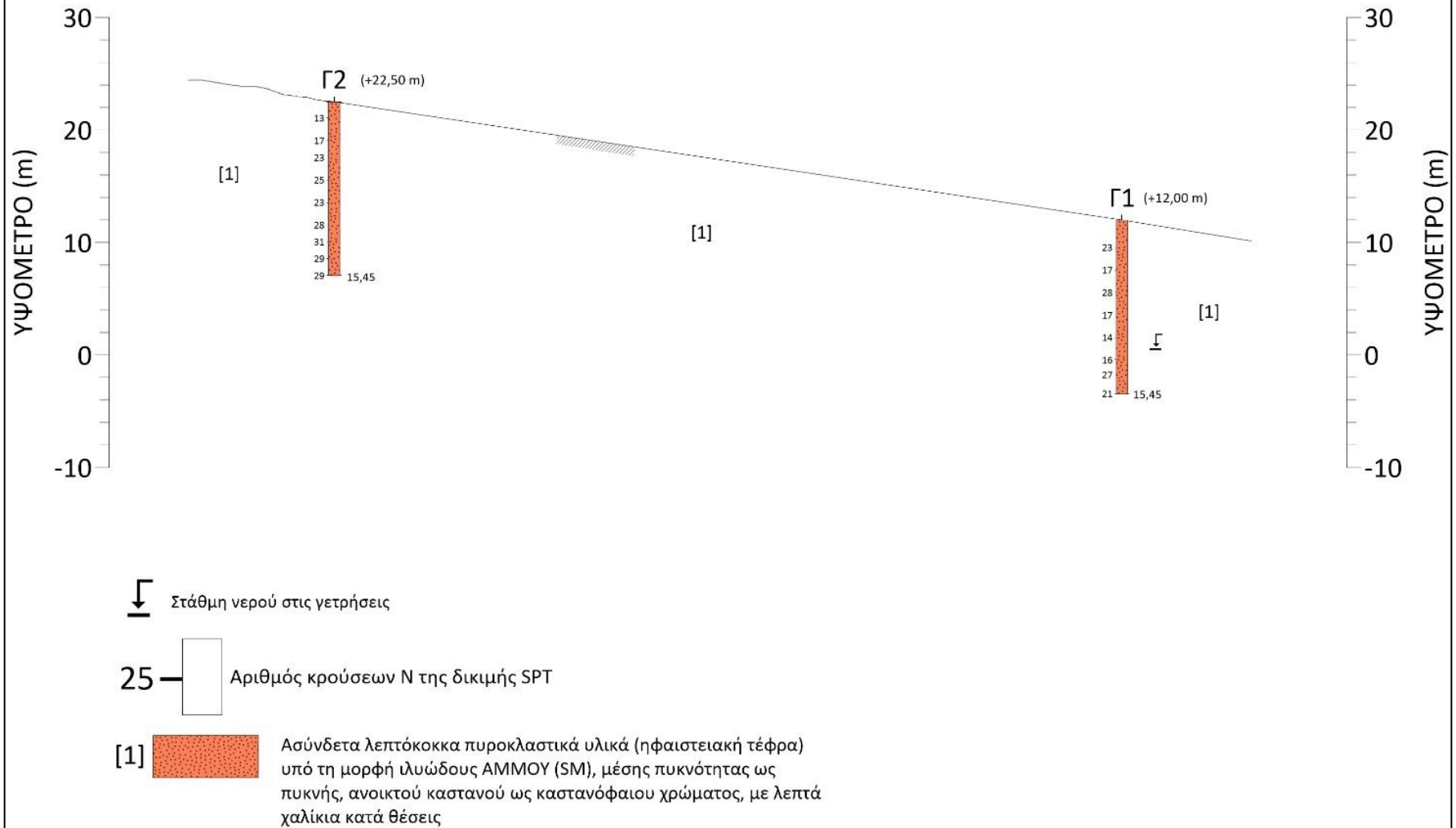
Με βάση όλες τις δοκιμές, τις γεωτρήσεις και τις αξιολογήσεις όλων αυτών, προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα, το οποίο είναι η γεωτεχνική τομή (εικόνα 7.2). Η γεωτεχνική τομή είναι απαραίτητη στην γεωτεχνική αξιολόγηση, αφού παρουσιάζει συγκεντρωμένα όλα τα αποτελέσματα των ερευνών. Η σχεδίαση ξεκίνησε από την γεώτρηση Γ2 και κατέληξε στην Γ1 (σχήμα 7.1) με την βοήθεια των λογισμικών excel και surfer. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις γεωτρήσεις, όπως η λιθολογία, ο αριθμός N από την δοκιμή SPT και η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

Το στρώμα το οποίο λαμβάνει χώρα στην περιοχή του έργου είναι ένα και μοναδικό όπως αναφέρθηκε προηγουμένως και απεικονίζεται και αυτό στην τομή (στρώμα [1]). Διακρίνεται, ακόμα, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στο απόλυτο υψόμετρο των +0,50 m, ο αριθμός N των κρούσεων της δοκιμής SPT στο ακριβές βάθος που εκτελέστηκε κάθε φορά αυτή, το απόλυτο υψόμετρο των γεωτρήσεων, αλλά και το βάθος της έρευνας.



+ ΣΧΗΜΑ 7.1  
 [ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ –  
 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ  
 (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020]  
 Τοπογραφικό διάγραμμα και  
 θέσεις γεωτρήσεων  
 Κλίμακα 1:1.000

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΜΗ Γ2 - Γ1



Εικόνα 7.2: Γεωτεχνική τομή στην περιοχή του έργου

## 8. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Αφού συνταχθεί η γεωτεχνική τομή και επιλεγούν οι παράμετροι σχεδιασμού, υπολογίζεται η φέρουσα ικανότητα και οι καθιζήσεις. Η φέρουσα ικανότητα πρόκειται να υπολογιστεί με βάση τον EC – 7, ενώ οι καθιζήσεις με τη μέθοδο KANY. Όμως, πριν από όλα αυτά θα πρέπει να προσδιοριστούν τα στοιχεία του κτιρίου, όπως οι διαστάσεις των θεμελίων, το βάθος θεμελίωσης κ.α.

### 8.1 Στοιχεία κτηρίου

Οι υπολογισμοί της φέρουσας ικανότητας και των καθιζήσεων θα γίνουν για πεδילוδοκούς και για γενικές κοιτοστρώσεις διαφόρων διαστάσεων, σε διαφορετικά βάθη θεμελίωσης. Συνολικά θα εξεταστούν δεκαοκτώ (18) περιπτώσεις. Εννέα (9) για τις πεδילוδοκούς και άλλες εννέα (9) για τις κοιτοστρώσεις (πίνακες 8.1, 8.2, 8.3). Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί πως ως στάθμη επιπέδωσης επιλέγεται να είναι τα +11,00 (m).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τρεις περιπτώσεις των στοιχείων των κατασκευών για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας.

- **1<sup>η</sup> περίπτωση (1 m)**

Βάθος θεμελίωσης d (m)	Διαστάσεις πεδילוδοκού axb (m)	Διαστάσεις κοιτόστρωσης axb (m)	Στάθμη θεμελίωσης (m)
1	60x1	8,8x7,1	+10,00
	60x2	11x6,6	+9,00
	80x1	60x18	+8,00

Πίνακας 8.1: 1<sup>η</sup> περίπτωση για βάθος θεμελίωσης ίσο με 1 m

- **2<sup>η</sup> περίπτωση (2 m)**

Βάθος θεμελίωσης d (m)	Διαστάσεις πεδילוδοκού axb (m)	Διαστάσεις κοιτόστρωσης axb (m)	Στάθμη θεμελίωσης (m)
2	60x1	8,8x7,1	+10,00
	60x2	11x6,6	+9,00
	80x1	60x18	+8,00

Πίνακας 8.2: 2<sup>η</sup> περίπτωση για βάθος θεμελίωσης ίσο με 2 m

- **3<sup>η</sup> περίπτωση (3 m)**

Βάθος θεμελίωσης d (m)	Διαστάσεις πεδילוδοκού axb (m)	Διαστάσεις κοιτόστρωσης axb (m)	Στάθμη θεμελίωσης (m)
3	60x1	8,8x7,1	+10,00
	60x2	11x6,6	+9,00
	80x1	60x18	+8,00

Πίνακας 8.3: 3<sup>η</sup> περίπτωση για βάθος θεμελίωσης ίσο με 3 m

Χρησιμοποιώντας διάφορες διαστάσεις θεμελίων, τα οποία θεμελιώνονται απευθείας στο στρώμα [1] και σε διάφορα βάθη θεμελίωσης, δίνεται μία γενική εικόνα για την συμπεριφορά των ηφαιστειακών σχηματισμών της Ν. Σαντορίνης, από πλευράς φέρουσας ικανότητας και καθιζήσεων.

## 8.2 Φέρουσα ικανότητα

Η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας των ηφαιστειακών σχηματισμών θα πραγματοποιηθεί αξιοποιώντας έναν τύπο του EC – 7, το είδος του οποίου θα επιλεχτεί με βάση τα χαρακτηριστικά του σχηματισμού. Απαραίτητη είναι η χρήση των παραμέτρων σχεδιασμού του πίνακα 7.3. Οι ηφαιστειακοί σχηματισμοί του νησιού είναι αμμώδεις [ιλυώδης ΑΜΜΟΣ (SM)], οπότε οι συνθήκες φόρτισης είναι πάντοτε πλήρως

στραγγισμένες. Επίσης, σύμφωνα με τον πίνακα 7.2 η μικρότερη τιμή  $N_{SPT}$  είναι 13 και η μεγαλύτερη είναι 31, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι σύμφωνα με τον πίνακα 5.5 η πυκνότητα της άμμου είναι μέση έως πυκνή με  $D_r=35 - 65 \%$ . Επομένως, στους ηφαιστειακούς σχηματισμούς υπάρχει κίνδυνος τοπικής θραύσης και πρέπει να χρησιμοποιηθούν η  $c'$  και η  $\phi'$  όπως εμφανίζονται ήδη στον πίνακα 7.4 και υπολογίστηκαν ως εξής [Terzaghi & Peck (1967)]:

$$c' = 2/3 c$$

$$\phi' = \tan^{-1}(2/3 \tan \phi)$$

Εφόσον οι σχηματισμοί αυτοί είναι καταρρεύσιμοι (collapsible soils), σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Alexandria Engineering Journal, Volume 51, Issue 3, September 2012, pp. 205-210) ο συντελεστής ασφαλείας λαμβάνεται διπλάσιος από τον προβλεπόμενο. Στην παρούσα περίπτωση ο συντελεστής ασφαλείας γίνεται:  $2 * FS = 2,50 * 2 = 5$

Οι υπολογισμοί θα γίνουν κατά EC – 7 και ισχύει:

$$q_u = s_c i_c b_c (c * N_c) + s_q i_q b_q (p_o * N_q) + s_\gamma i_\gamma b_\gamma \left( \frac{1}{2} \gamma_2 * b * N_\gamma \right) \quad (1)$$

Όπου:

$s_c, s_q, s_\gamma$ : συντελεστές σχήματος πεδίου

$i_c, i_q, i_\gamma$ : συντελεστές απόκλισης της φόρτισης από την κατακόρυφο

$b_c, b_q, b_\gamma$ : συντελεστής λοξότητας βάσης πεδίου

$N_c, N_q, N_\gamma$ : συντελεστές φέρουσας ικανότητας που λαμβάνονται από τον πίνακα 8.4

$c$ : συνοχή στις στραγγιζόμενες συνθήκες

$p_o$ : η επιφόρτιση, η οποία εξαρτάται από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και το βάθος θεμελίωσης  $d$

$\gamma_1$ : φαινόμενο βάρος εδάφους πάνω από την στάθμη θεμελίωσης

$\gamma_2$ : φαινόμενο βάρος εδάφους πάνω από την στάθμη θεμελίωσης

$b$ : πλάτος πεδίου

$d$ : βάθος θεμελίωσης

$a$ : μήκος πεδίου

Όσον αφορά το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα, αυτός εκτιμήθηκε στα +0,50 m υψόμετρο. Η στάθμη ισοπέδωσης είναι στα +11,00 m, άρα το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια είναι  $z_w = 10,50$  m.

Οι υπολογισμοί γίνονται για στατική φόρτιση, χωρίς εκκεντρότητα και λοξότητα της βάσης του πεδίου. Έτσι, η σχέση (1) γίνεται:

$$q_u = s_c (c * N_c) + s_q (p_o * N_q) + s_\gamma \left( \frac{1}{2} \gamma_2 * b * N_\gamma \right) \quad (2)$$

$$q_{all} = q_u / 2 * FS = q_u / 5$$

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.142	1.000	0.000
1	5.379	1.094	0.003
2	5.632	1.197	0.014
3	5.900	1.309	0.032
4	6.185	1.433	0.060
5	6.489	1.568	0.099
6	6.813	1.716	0.151
7	7.158	1.879	0.216
8	7.527	2.058	0.297
9	7.922	2.255	0.397
10	8.345	2.471	0.519
11	8.798	2.710	0.665
12	9.285	2.974	0.839
13	9.807	3.264	1.045
14	10.370	3.586	1.289
15	10.977	3.941	1.576
16	11.631	4.335	1.913
17	12.338	4.772	2.307
18	13.104	5.258	2.767
19	13.934	5.798	3.304
20	14.835	6.399	3.930
20	14.835	6.399	3.930
21	15.815	7.071	4.661
22	16.833	7.821	5.512
23	18.049	8.661	6.504
24	19.324	9.603	7.661
25	20.721	10.662	9.011
26	22.254	11.854	10.558
27	23.942	13.199	12.432
28	25.803	14.720	14.590
29	27.860	16.443	17.121
30	30.140	18.401	20.093
31	32.671	20.631	23.591
32	35.490	23.177	27.715
33	38.638	26.092	32.590
34	42.164	29.440	38.366
35	46.124	33.296	45.228
36	50.586	37.753	53.404
37	55.630	42.920	63.178
38	61.352	48.933	74.899
39	67.867	55.957	89.007
40	75.313	64.195	106.054

Πίνακας 8.4: Συντελεστές φέρουσας ικανότητας για μορφή τοπικής αστοχίας

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών συνοψίζονται στον πίνακα 8.5, όπου παρουσιάζονται η φέρουσα ικανότητα του εδάφους ( $q_u$ ) και η επιτρεπόμενη τάση του εδάφους ( $q_{all}$ ).



a (m)	b (m)	d (m)	ρ <sub>o</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>2</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	φ (°)	N <sub>c</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>γ</sub>	s <sub>c</sub>	s <sub>q</sub>	s <sub>γ</sub>	q <sub>ult</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	q <sub>all</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	N <sub>all</sub> (kN)	N <sub>all</sub> (kg)	N <sub>all</sub> (tn)
60	1	1	14.5	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.0	1.0	1.0	566.0	113.2	6792.1	692606.2	692.6
60	2	1	14.5	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.0	1.0	1.0	713.1	142.6	17113.3	1745069.1	1745.1
80	1	1	14.5	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.0	1.0	1.0	565.3	113.1	9044.9	922323.5	922.3
8.8	7.1	1	14.5	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.4	1.4	0.8	1373.4	274.7	17161.8	1750015.8	1750.0
11	6.6	1	14.5	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.3	1.3	0.8	1333.8	266.8	19366.2	1974800.7	1974.8
60	18	1	14.5	12.4	5	30	30.140	18.401	20.093	1.2	1.2	0.9	2517.9	503.6	543866.4	55458925.3	55458.9
60	1	2	29	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.0	1.0	1.0	835.1	167.0	10020.6	1021819.2	1021.8
60	2	2	29	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.0	1.0	1.0	984.3	196.9	23623.6	2408936.6	2408.9
80	1	2	29	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.0	1.0	1.0	833.8	166.8	13340.6	1360367.2	1360.4
8.8	7.1	2	29	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.4	1.4	0.8	1747.8	349.6	21841.0	2227156.9	2227.2
11	6.6	2	29	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.3	1.3	0.8	1699.8	340.0	15930.1	1624418.5	1624.4
60	18	2	29	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.2	1.2	0.9	2783.6	556.7	601257.2	61311156.5	61311.2
60	1	3	43.5	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.0	1.0	1.0	1104.1	220.8	13249.1	1351032.1	1351.0
60	2	3	43.5	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.0	1.0	1.0	1255.6	251.1	30133.9	3072804.0	3072.8
80	1	3	43.5	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.0	1.0	1.0	1102.3	220.5	17636.4	1798410.9	1798.4
8.8	7.1	3	43.5	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.4	1.4	0.8	2122.3	424.5	26520.1	2704298.0	2704.3
11	6.6	3	43.5	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.3	1.3	0.8	2027.5	405.5	29439.0	3001945.2	3001.9
60	18	3	43.5	14.5	5	30	30.140	18.401	20.093	1.2	1.2	0.9	3049.3	609.9	658648.0	67163387.6	67163.4

Πίνακας 8.5: Σύνοψη αποτελεσμάτων υπολογισμού φέρουσας ικανότητας ([επιστροφή](#))

Εκτός από την φέρουσα ικανότητα του εδάφους ( $q_u$ ) και την επιτρεπόμενη τάση του εδάφους ( $q_{all}$ ), υπολογίστηκε και το βάρος (φορτίο) το οποίο μπορεί να θεμελιωθεί σε κάθε πέδιλο ανάλογα με τις διαστάσεις του σε kN, kg και τη με βάση την επιτρεπόμενη τάση του εδάφους, όπως διακρίνεται στις αντίστοιχες στήλες του πίνακα 8.5.

### 8.3 Καθιζήσεις

Το κτίριο για το οποίο θα γίνουν οι υπολογισμοί έχει διαστάσεις  $a \times b = 60 \times 18$ . Οι μεταβολές των καθιζήσεων πρόκειται να εξεταστούν με δύο τρόπους:

1. Συναρτήσει της επιβαλλόμενης τάσης από την κατασκευή (100 – 200 kPa) για δεδομένο (μέγιστο) βάθος κορεσμού του εδάφους κάτω από τη στάθμη έδρασης του κτιρίου ίσο προς 6,30 m.
2. Συναρτήσει της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια, για δεδομένη επιβαλλόμενη τάση από την κατασκευή (100 kPa) και στάθμη Υ.Υ.Ο. 1,00 – 6,00 m.

Οι υπολογισμοί θα πραγματοποιηθούν κατά KANY, όπου θα χρησιμοποιηθούν εκ νέου οι παράμετροι σχεδιασμού του πίνακα 7.3, αλλά και του πίνακα 7.4. Γενικώς, οι καθιζήσεις προκαλούνται από την συμπίεση του εδάφους λόγω των πρόσθετων επιβαλλόμενων φορτίων των κατασκευών. Έτσι, οι υπολογισμοί θα γίνουν μόνο βάσει της φυσικής υγρασίας του εδάφους (ακόρεστο έδαφος πάνω από τη στάθμη του Υ.Υ.Ο.). Αξιοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$s_i = b \left( \frac{\Delta q}{E_{s1}} \right) (f_i - f_{i-1})$$

Όπου:

b: πλάτος θεμελίου

$\Delta q$ : εισαγόμενη πραγματική, μειωμένη κατά την πίεση των υπερκειμένων τάση από το θεμέλιο. Στην παρούσα περίπτωση είναι:  $\Delta q = q - q_0 = q - \left( 14,5 \frac{kN}{m^3} * 4,2 m \right) = q - 60,9 kPa$

$E_{s1}$ : Μέτρο συμπίεσης

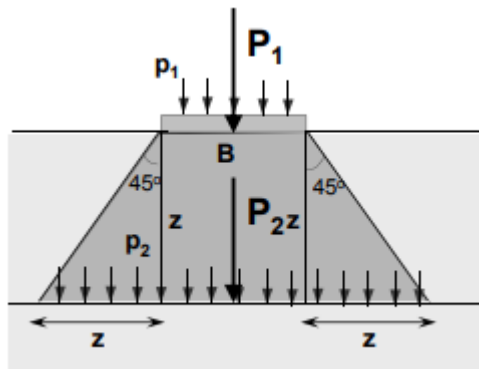
$f_i$ : συντελεστής σχήματος θεμελίου και βάθους επιρροής

Η έρευνα των δύο περιπτώσεων που παρουσιάστηκαν προηγουμένως γίνονται θεωρώντας τις εξής παραδοχές:

- Η θεμελίωση του κτιρίου γίνεται με γενική κοιτόστρωση (radier) διαστάσεων  $a \times b = 60 \times 18$  m (όπως σημειώθηκε παραπάνω) επί του στρώματος [1] μέσω εξυγιαντικής στρώσης πάχους 0,50 m.
- Το μέτρο συμπίεσης του ανώτερου 0,50 m του στρώματος [1] κάτω από την εξυγιαντική στρώση, λαμβάνεται διπλάσιο από το αρχικό ( $E[1]_{\text{συμπ}} = 2 * E[1]$ ) λαμβάνοντας υπόψη τη προδιαγεγραμμένη συμπύκνωση του πυθμένα της εκσκαφής.
- Το βάθος θεμελίωσης του κτιρίου λαμβάνεται ως  $d = 4,20$  m, το οποίο αντιστοιχεί σε στάθμη +6,80 m εφόσον η στάθμη επιπέδωσης είναι +11,00 m.
- Το βάρος των αφαιρουμένων γαιών υπολογίζεται ως  $\gamma[1] * d = 14,5 kN/m^3 * 4,2 m = 60,9 kPa$  (συντηρητικά λαμβάνεται η μέση τιμή του  $\gamma[1]$  από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών μείον μία τυπική απόκλιση – βλ. πίνακα 7.3)

- Το μέγιστο βάθος κορεσμού, κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης του κτιρίου, λαμβάνεται μέχρι τη στάθμη σχεδιασμού του υπόγειου υδροφόρου οριζοντα (+0,50 m) => πάχος κορεσμένης ζώνης = (+6,80 m) – (+0,50 m) = 6,30 m.
- Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας εκτιμάται στα 10,50 m βάθος από την στάθμη επιπέδωσης =>  $z_w = (+11,00) - (+0,50) = 10,50 \text{ m}$
- Λαμβάνεται μέγιστο μέγεθος αποδεκτών καθιζήσεων τα 100 mm.
- Η εκτίμηση των γεωστατικών τάσεων γίνεται λαμβάνοντας τη μέση τιμή του φαινομένου βάρους  $\gamma[1] = 16,60 \text{ kN/m}^3$  με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών (βλ. πίνακα 7.3.2)
- Το βάθος επιρροής εκτιμάται σαν εκείνο το βάθος όπου η πρόσθετη τάση από την κατασκευή γίνεται μικρότερη από το 20% της  $\sigma'_{vo}$  σύμφωνα με το Beton Kalender (Τόμος 3, κεφάλαιο 2, §2.2.2.4.).

Για να βρεθεί η κατανομή των τάσεων με το βάθος κάτω από τα θεμέλια χρησιμοποιείται μία προσέγγιση. Γίνεται η θεώρηση πως οι τάσεις περιορίζονται στην περιοχή που ορίζουν οι ευθείες με κλίση 45° (εικόνα 8.1). [Εδαφομηχανική - Μαραγκός Ν. (2009). Προσθήκες Κίρτας Ε. (2010), Κεφάλαιο 3]



Εικόνα 8.1: Προσέγγιση της κατανομής των τάσεων κάτω από θεμέλια [Εδαφομηχανική - Μαραγκός Ν. (2009). Προσθήκες Κίρτας Ε. (2010), Κεφάλαιο 3]

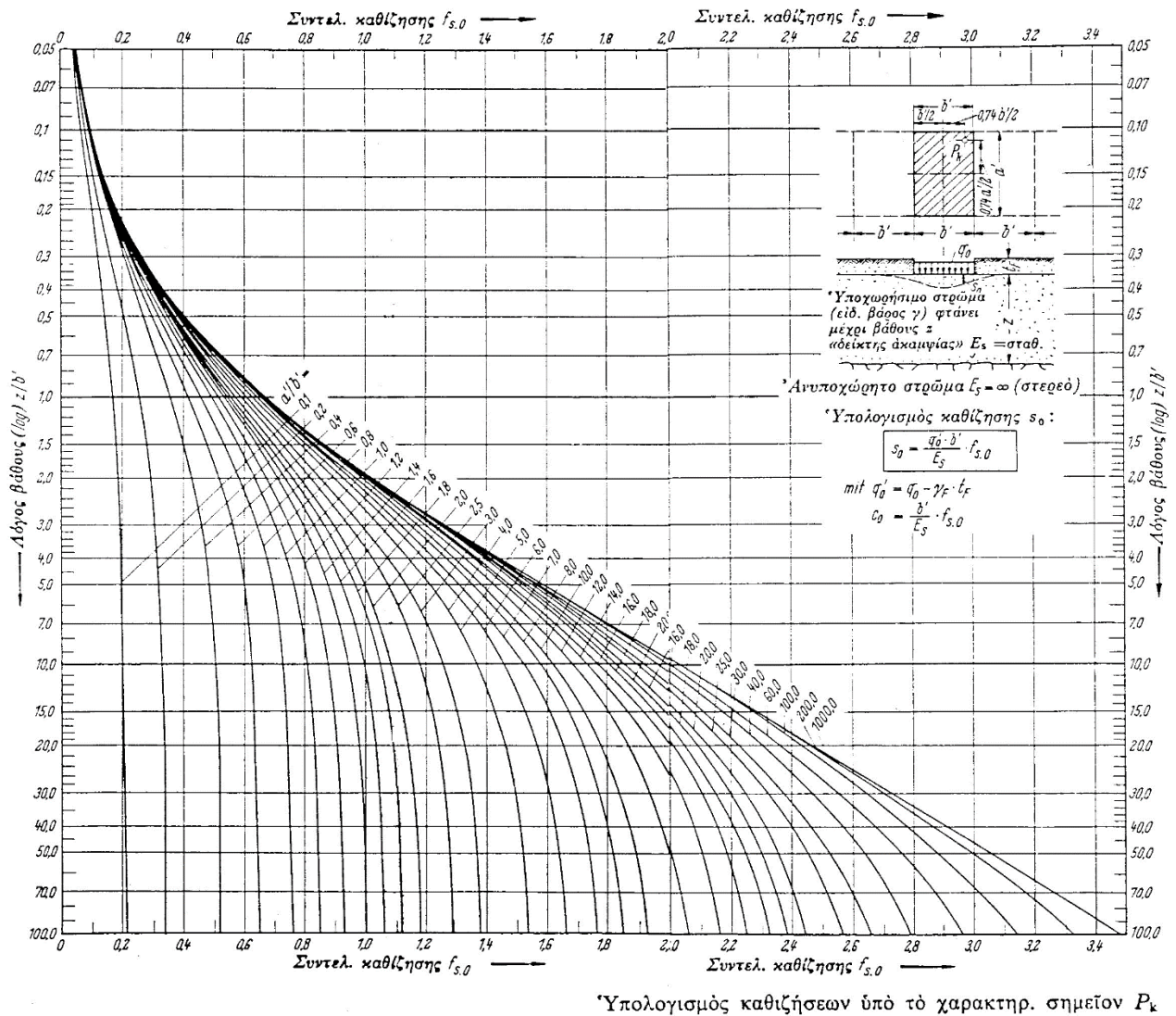
$$p_1 = \frac{P_1}{B}$$

$$p_2 = \frac{P_2}{B + 2z}$$

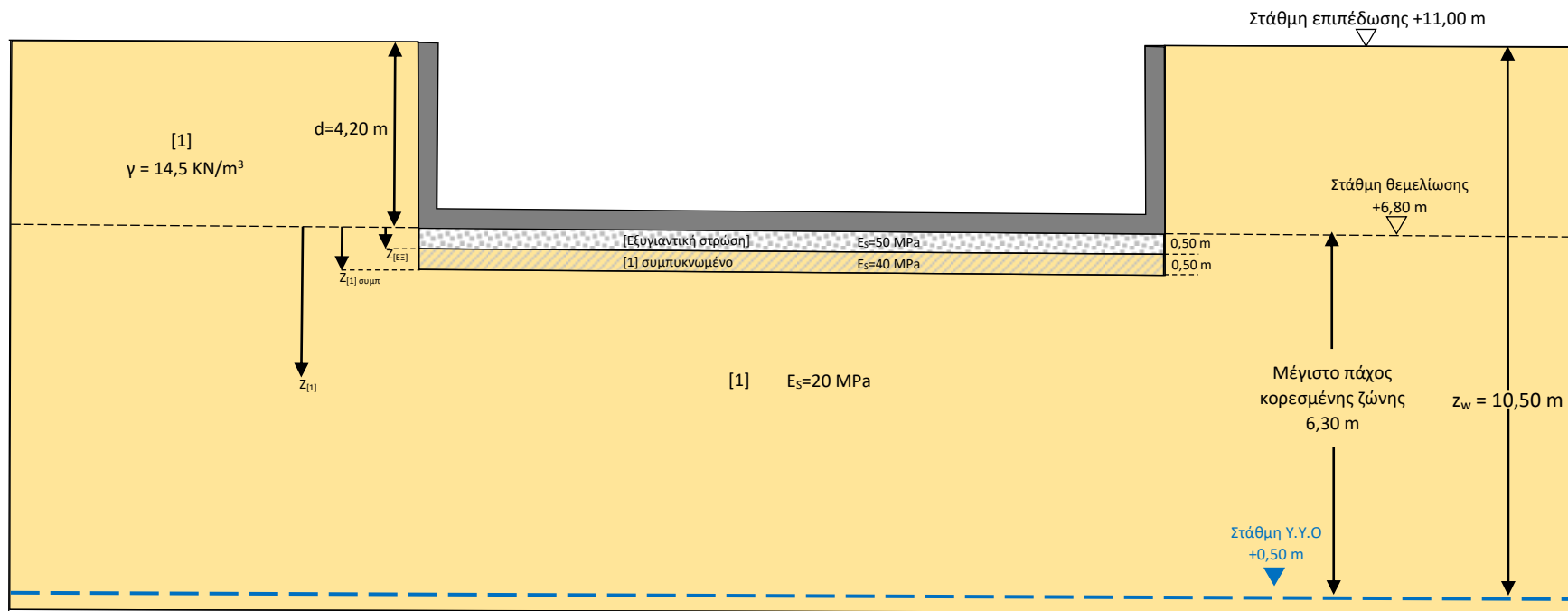
Ισχύει το θεώρημα της ισορροπίας των δυνάμεων:  $P_1 = P_2 \Rightarrow p_1 * B = p_2 * (B + 2z) \Rightarrow p_2 = \frac{p_1 * B}{(B + 2z)}$  -> -> Μείωση της τάσης p με το βάθος z

Με βάση τον παραπάνω τύπο και το γεγονός ότι το βάθος επιρροής εκτιμάται σαν εκείνο το βάθος όπου η πρόσθετη τάση από την κατασκευή γίνεται μικρότερη από το 20% της  $\sigma'_{vo}$  σύμφωνα με το Beton Kalender (Τόμος 3, κεφάλαιο 2, §2.2.2.4.), κατασκευάστηκε το διάγραμμα 8.2.

Ο συντελεστής  $f_i$  υπολογίζεται με βάση το διάγραμμα 8.1. Το  $z$  εμφανίζεται ως η κατακόρυφη απόσταση από την στάθμη θεμελίωσης έως το δάπεδο του κάθε στρώματος. Στο στρώμα [1] (εικόνα 8.2) το  $z$  μεταβάλλεται ανάλογα με την επιβαλλόμενη τάση από την κατασκευή και ονομάζεται βάθος επιρροής. Το βάθος επιρροής υπολογίζεται από το διάγραμμα 8.2. Το  $b$  στο διάγραμμα 8.1 είναι, όπως προαναφέρθηκε, το πλάτος του θεμελίου, ενώ το  $a$  είναι το μήκος αυτού.



Διάγραμμα 8.1: Διάγραμμα συντελεστή  $f_i$  (M. KANY, 1967)

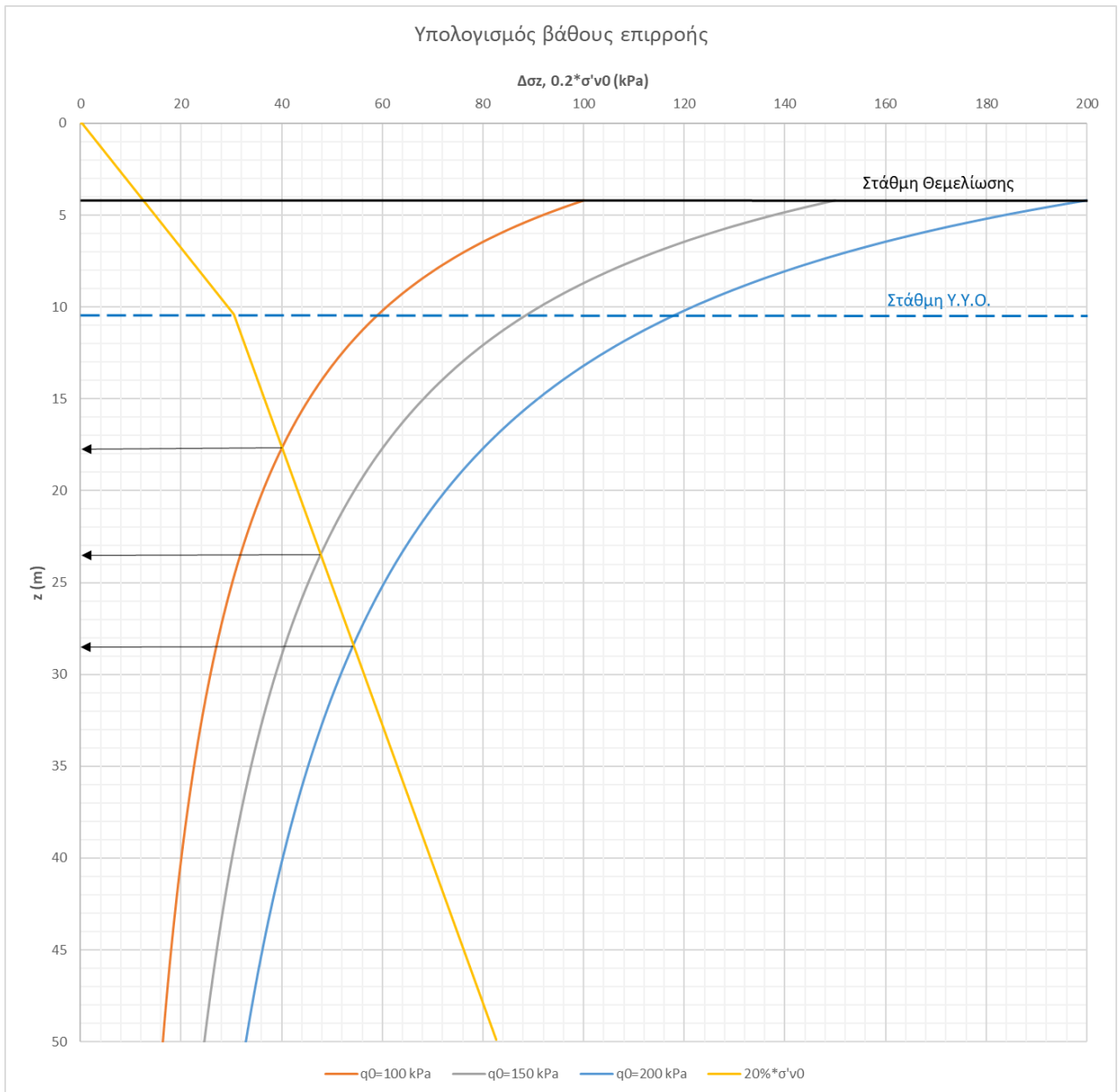


Εικόνα 8.2: Σκαρίφημα στρωμάτων και θεμελίου του κτιρίου

Με βάση όλα τα παραπάνω γίνεται η εκτίμηση των καθιζήσεων για τις προαναφερθείσες περιπτώσεις.

**1. Εκτίμηση καθιζήσεων για διάφορες επιβαλλόμενες τάσεις  $q$  από την κατασκευή, για δεδομένο (μέγιστο) βάθος κορεσμού του εδάφους κάτω από τη στάθμη έδρασης του θεμελίου.**

Αρχικά υπολογίζονται οι καθιζήσεις για διάφορες επιβαλλόμενες τάσεις από την κατασκευή  $q = 100 - 200$  kPa. Στο διάγραμμα 8.2 το βάθος επιρροής έχει επισημανθεί με μαύρα βελόνια. Για  $q_0 = 100$  kPa είναι 18,10 m, για  $q_0 = 150$  kPa είναι 23,50 m και για  $q_0 = 200$  kPa είναι 28,60 m.



Διάγραμμα 8.2: Υπολογισμός βάθους επιρροής (ορθογωνικό θεμέλιο –  $a/b = 60/18$  m)

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών συνοψίζονται στον πίνακα 8.6, όπου αναγράφονται και οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν κάθε φορά για τους υπολογισμούς. Το  $s_i$  είναι οι καθιζήσεις του κάθε στρώματος ξεχωριστά, ενώ το  $s$  είναι οι συνολικές καθιζήσεις.

a (m)	b (m)	q (kPa)	$\Delta q$ (kPa)	Στρώμα [i]	$E_s$ (MPa)	$z_i$ (m)	$z_i/b$	a/b	$f_i$	$s_i$ (mm)	s (mm)
60.00	18.00	100	39.1	[EΞ]	50	0.50	0.03	3.3	0.03	0.4	
60.00	18.00	100	39.1	[1] συμπ	40	1.00	0.06	3.3	0.06	0.5	
60.00	18.00	100	39.1	[1]	20	18.10	1.01	3.3	0.55	17.2	18.2
60.00	18.00	150	89.1	[EΞ]	50	0.50	0.03	3.3	0.03	1.0	
60.00	18.00	150	89.1	[1] συμπ	40	1.00	0.06	3.3	0.06	1.2	
60.00	18.00	150	89.1	[1]	20	23.50	1.31	3.3	0.70	51.3	53.5
60.00	18.00	200	139.1	[EΞ]	50	0.50	0.03	3.3	0.03	1.5	
60.00	18.00	200	139.1	[1] συμπ	40	1.00	0.06	3.3	0.06	1.9	
60.00	18.00	200	139.1	[1]	20	28.60	1.59	3.3	0.78	90.1	93.5

Πίνακας 8.6: Υπολογισμός καθιζήσεων συναρτήσει της επιβαλλόμενης τάσης από την κατασκευή q (kPa) (επιστροφή)

## 2. Μεταβολή της καθιζήσης συναρτήσει της στάθμης του υδροφόρου οριζοντα από την επιφάνεια, για δεδομένη επιβαλλόμενη τάση από την κατασκευή (100 kPa) και στάθμη Υ.Υ.Ο. 1,00 – 6,00 m

Στη συνέχεια ελέγχεται η επίδραση της στάθμης του Υ.Υ.Ο. από την επιφάνεια. Οι υπολογισμοί γίνονται για επιβαλλόμενη τάση από την κατασκευή  $q = 100$  kPa και για στάθμη Υ.Υ.Ο. 1,00 – 6,00 m από την επιφάνεια (στάθμη επιπέδωσης). Οι συνολικές καθιζήσεις στην φυσική υγρασία του εδάφους για αυτές τις περιπτώσεις συνοψίζονται στον πίνακα 8.7.

Σ.Υ.Ο (m)	Καθιζήσεις στη φυσική υγρασία του εδάφους (mm)
1	30.0
2	26.3
3	22.6
4	18.9
5	18.2
6	18.2

Πίνακας 8.7: Υπολογισμός συνολικών καθιζήσεων συναρτήσει της στάθμης του υδροφόρου οριζοντα από την επιφάνεια ( $q = 100$  kPa) (επιστροφή)

## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Επισημαίνεται εκ νέου, ότι οι ηφαιστειακές αποθέσεις της Ν. Σαντορίνης έχουν αναγνωρισθεί ως καταρρεύσιμες (collapsible soil), δηλαδή ως μη κορεσμένα εδάφη τα οποία επιδεικνύουν σημαντική, μη αντιστρεπτή, μείωση του όγκου τους όταν αυτά υποβληθούν σε ύγρανση, ή/και την άσκηση φορτίου. Το γεγονός ότι αυτή η μείωση του όγκου είναι μη αντιστρεπτή, σημαίνει πως οι κόκκοι του εδάφους αναδιατάσσονται σε μία πυκνότερη διάταξη (Μ. Ε. Μπαρδάνης, 2016). Επομένως, κτίρια τα οποία θεμελιώνονται σε καταρρεύσιμα εδάφη μπορούν να παρουσιάσουν μικρές ή μεγάλες καθιζήσεις, ανάλογα με τον αντίστοιχο δείκτη κατάρρευσης (πίνακας 7.5). Εάν αποφευχθεί η ύγρανσή τους, τα καταρρεύσιμα εδάφη μπορούν να παρουσιάσουν μικρές παραμορφώσεις ακόμα και όταν σε αυτά επιβληθούν μεγάλες τάσεις.

Όπως μελετήθηκε στο κεφάλαιο 8.2, η φέρουσα ικανότητα του εδάφους μεταβάλλεται ανάλογα με τις διαστάσεις του θεμελίου και το βάθος θεμελίωσης, με σταθερή τη στάθμη Υ.Υ.Ο στα 10,50 m από την στάθμη επιπέδωσης των +11,00 m. Στον πίνακα 8.5 παρατηρούνται διάφορες διαστάσεις θεμελίων και διάφορα βάθη θεμελίωσης. Επίσης, παρατηρείται ότι αν αυξηθεί το πάχος της πεδילוδοκού, δηλαδή από **60x1** γίνει **60x2**, η φέρουσα ικανότητα αυξάνεται από **566.0 kN/m<sup>2</sup>** στα **713.1 kN/m<sup>2</sup>**, ενώ το βάρος το οποίο μπορεί να θεμελιωθεί υπερδιπλασιάζεται, όπως είναι λογικό (**692.6 tn** -> **1745.1 tn**). Η πεδילוδοκός των **80x1** έχει μεγαλύτερο μήκος αλλά το ίδιο πλάτος με αυτή των **60x1**, όμως η φέρουσα ικανότητα έχει περίπου την ίδια τιμή (**566.0 kN/m<sup>2</sup>**, **565.3 kN/m<sup>2</sup>** αντίστοιχα). Παρ' όλα αυτά το βάρος που μπορεί να θεμελιωθεί είναι αρκετά μεγαλύτερο (**692.6 tn**, **922.3 tn**), λόγω των μεγαλύτερων διαστάσεων του θεμελίου. Στις ορθογωνικές κοιτοστρώσεις (**8.8x7.1**, **11x6.6**, **60x18**) η φέρουσα ικανότητα μπορεί να αυξάνεται ή να μειώνεται ανάλογα με τις διαστάσεις του θεμελίου. Για παράδειγμα, το θεμέλιο των **8.8x7.1** έχει λίγο μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα από αυτό των **11x6.6** (π.χ. **1373.4 kN/m<sup>2</sup>** και **1333.8 kN/m<sup>2</sup>** αντίστοιχα), πράγμα το οποίο οφείλεται στους συντελεστές σχήματος του κάθε θεμελίου. Η μεγάλη ορθογωνική κοιτόστρωση των **60x18** έχει, σαφώς, μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα από όλα τα προηγούμενα θεμέλια και μπορεί να αντέξει πολύ μεγαλύτερα φορτία (ανάλογα με το βάθος θεμελίωσης: **55458.9 tn**, **61311.2 tn**, **67163.4 tn**). Τέλος, όπως μπορεί να παρατηρηθεί και στον πίνακα 8.5, η φέρουσα ικανότητα αυξάνεται ανάλογα με το βάθος θεμελίωσης σε όλα τα θεμέλια ανεξαρτήτως διαστάσεων.

Όπως μελετήθηκε στο κεφάλαιο 8.3, το μέγεθος των καθιζήσεων αυξάνεται με την αύξηση της επιβαλλόμενης τάσης από την κατασκευή. Στον πίνακα 8.6 διακρίνεται πως οι συνολικές καθιζήσεις για **q = 150 kPa** είναι μεγαλύτερες από αυτές για **q = 100 kPa** και με τη σειρά τους οι συνολικές καθιζήσεις για **q = 200 kPa** είναι μεγαλύτερες από αυτές για **q = 150 kPa**, όπως είναι λογικό. Επίσης, από κάποιο σημείο και μετά αν επιβληθεί τάση μεγαλύτερη από **q = 200 kPa** οι συνολικές καθιζήσεις θα ξεπεράσουν την αποδεκτή τιμή των **100 mm** διότι στα **200 kPa** οι καθιζήσεις είναι ήδη κοντά στα **100 mm (93.5 mm)**.

Από την άλλη, με σταθερή την επιβαλλόμενη τάση στα 100 kPa οι συνολικές καθιζήσεις αυξάνονται όσο ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια, αλλά πάνω από την στάθμη θεμελίωσης των 4,2 m. Όσο η στάθμη Υ.Υ.Ο μειώνεται οι συνολικές καθιζήσεις επίσης μειώνονται, ώσπου η στάθμη Υ.Υ.Ο βρεθεί κάτω από την στάθμη θεμελίωσης. Από εκεί και πέρα όσο η στάθμη Υ.Υ.Ο μειώνεται, η τιμή των συνολικών καθιζήσεων δεν επηρεάζεται, όπως διακρίνεται στον πίνακα 8.7, στα **5 m** και στα **6 m** (κάτω από τα 4,2 m) οι συνολικές καθιζήσεις παραμένουν ίδιες.



Λαμβάνοντας υπόψη την καταρρευσιμότητα του ηφαιστειακού εδάφους του νησιού ο γεωτεχνικός σχεδιασμός των έργων πάνω σε αυτά οφείλει να κινηθεί σε δύο άξονες. Ο πρώτος είναι η μείωση των επιβαλλόμενων τάσεων από τις κατασκευές, για παράδειγμα με αύξηση των διαστάσεων της θεμελίωσης και η αύξηση της ακαμψίας των θεμελιώσεών τους, όπως γίνεται με την γενική κοιτόστρωση. Ο δεύτερος άξονας είναι η λήψη μέτρων αποφυγής παρατεταμένης κατείσδυσης ομβρίων στο έδαφος, όπως από λιμνάζοντα ύδατα πλησίον των κατασκευών και αποφυγής διαρροών, όπως από δεξαμενές νερού και από δίκτυα [ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020].

## 10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### 10.1 Κείμενα

- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%BD%CE%B7>
- <http://ikee.lib.auth.gr/record/292402/files/GRI-2017-19705.pdf>
- <https://dapgeol.tripod.com/geomorfologiasantorinis.htm>
- ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΥΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ
- <https://phdtheses.ekt.gr/eadd/handle/10442/26341>
- <https://www.academia.edu/41990771/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%86%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CE%BC%CE%B5%CE%BB%CE%AD%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%82%CE%98%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82%CE%A3%CF%8D%CE%BD%CE%B8%CE%B5%CF%83%CE%B7%CF%80%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B3%CE%BB%CF%8D%CF%86%CE%BF%CF%85>
- <https://atlantea.news/i-seismiki-akolouthia-metaxy-santorinis-kai-anafis/>
- <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2778477/theFile>
- <file:///C:/Users/VVV/Downloads/%CE%9C%CE%91%CE%98%CE%97%CE%9C%CE%91-12%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%A4%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%A5%20%CE%94%CE%9F%CE%9A%CE%99%CE%9C%CE%95%CE%A3%20%CE%93%CE%95%CE%A9%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3.pdf>
- <http://www.geo.auth.gr/758/2-1.html>
- <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/collapsible-soil>
- <http://www.geo.auth.gr/758/2-1.html>
- <https://docplayer.gr/223636869-Sholi-thetikon-epistimon-tmima-geologias-kai-geoperivallontos-tomeas-dynamikis-tektonikis-kai-efarmosmenis-geologias-ptyhiaki-ergasia.html>
- <http://edafomichaniki.weebly.com/uploads/5/3/4/7/5347998/kefalaio3.pdf>
- <https://www.eib.org/attachments/registers/54912232.pdf>

### 10.2 Εικόνες

- <https://www.ertnews.gr/eidiseis/diethni/kosmos/nasa-thea-stin-kalntera-apo-diastrima/>
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%BD%CE%B7>

- ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΥΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ
- [https://atlantea.news/trisdiastati\\_apeikonisi\\_tou\\_ifestekiakou\\_symplegmatos\\_tis\\_santorinis/](https://atlantea.news/trisdiastati_apeikonisi_tou_ifestekiakou_symplegmatos_tis_santorinis/)
- <https://phdtheses.ekt.gr/eadd/handle/10442/26341>
- [https://www.academia.edu/41990771/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%86%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%BC%CE%B5%CE%BB%CE%AD%CF%84%CE%B7\\_%CF%84%CE%B7%CF%82\\_%CE%98%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82\\_%CE%A3%CF%8D%CE%BD%CE%B8%CE%B5%CF%83%CE%B7\\_%CF%80%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B3%CE%BB%CF%8D%CF%86%CE%BF%CF%85](https://www.academia.edu/41990771/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%86%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%BC%CE%B5%CE%BB%CE%AD%CF%84%CE%B7_%CF%84%CE%B7%CF%82_%CE%98%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82_%CE%A3%CF%8D%CE%BD%CE%B8%CE%B5%CF%83%CE%B7_%CF%80%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B3%CE%BB%CF%8D%CF%86%CE%BF%CF%85)
- <http://ikee.lib.auth.gr/record/292402/files/GRI-2017-19705.pdf>
- <https://www.sofokleousin.gr/pithanoi-seismoι-65-73-rixter-apo-rigmata-stis-kyklades>
- <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/collapsible-soil>
- <http://www.geo.auth.gr/758/2-1.html>

### 10.3 Βιβλιογραφία

*Friedrich W.(2013): The Minoan Eruption of Santorini around 1613 B. C . and its consequences. p 41.*

*Dikau R. (1989): The Application of a Digital Relief Model to Landform Analysis. In: Raper. J.F. (Ed.). Three dimensional applications in Geographical Information Systems. Taylor and Francis. London. p 51-77.*

*Γεωμορφολογική μελέτη της Θήρας – Σύνθεση αναγλύφου Θ. Γκουρνέλλος, Α. Βασιλόπουλος, και Ν.Ευελπίδου Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας ΕΚΠΑ (1995).*

*Προμήθεια και εγκατάσταση ενός νέου Ηλεκτροπαραγωγού Ζεύγους (H/Z) ισχύος 10 MW στον ΑΣΠ Θήρας, 2010*

*Ι.Γ.Μ.Ε.. 1980: Γεωλογικός χάρτης της Σαντορίνης. (1:50.000).*

*ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ (GIS) ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, 2020*

*Μουντράκης Δ.Μ.. (1985): Γεωλογία της Ελλάδας. University studio press. 121-127.*

*Friedrich W. (2007): Φωτιά στη Θάλασσα. Ηφαιστειότητα και Φυσική Ιστορία της Σαντορίνης Ο μύθος της Ατλαντίδας, εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, Αθήνα. σελ 24-49. σελ 78-89. σελ 138-140 και σελ 188-207.*

*Σολδάτος Τ..(2011): Σαντορίνη. Ηφαιστειολογικός οδηγός. Άσκηση Υπαίθρου Δ' Έτους. σελ 7-44.*

*FRIEDRICH. W. L. 2000. Fire in the Sea. The Santorini Volcano: Natural History and the Legend of Atlantis.*

*Heiken. G. and McCoy. F. 1984. Caldera Development During the Minoan Eruption. Thira. Cyclades. Greece. Journal of Geophysical Research. v. 89. p. 8441-8462.*

*Mountrakis D. Pavlides S. Chatzipetros A. Meletlidis S. Tranos M.. Vougioukalakis G. and Kiliias A. Proceedings of the second workshop Santorini. Greece 2 to 4 May 1996. 'Active deformation of Santorini'. p13-22.*

*P.Nomikou. C.Hübscher. D.Papanikolaou. G.P.Farangitakis. M.Ruhnau D.Lampridou: Expanding extension, subsidence and lateral segmentation within the Santorini - Amorgos basins during Quaternary: Implications for the 1956 Amorgos events. central - south Aegean Sea. Greece. 2018.*

Κουρμούλης, Ν. Κουρής Χ. «Υ/Γ έρευνα Νοτίου Αιγαίου (Κυκλάδες – Δωδεκάνησα). Προτάσεις αξιοποίησης και εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών: Νήσος Θήρα». Ι.Γ.Μ.Ε.. Αθήνα. 2002.

Pichler. H. and Kussmaul. S. (1980) Comments on the Geological Map of the Santorini Islands. In: Doumas. C. Ed. Thera and the Aegean World II. London. 413-427.

Βουγουκαλάκης 1997: Η Μινωική έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης και ο κόσμος του Αιγαίου.

Δρ. Δημήτριος Τσαγκάς 2021-2022. «ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ». Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Τομέας Δυναμικής. Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας.

Νικόλαος Δεπούνης. «Επιτόπου δοκιμές γεωτεχνικής» (Παρουσίαση του Powerpoint). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών.

ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (S.P.T.) ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών Τομέας Γεωλογικών Επιστημών Εργαστήριο Τεχν. Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Ζωγράφου, Αθήνα.

Καββαδάς Μ.. «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ». κεφ. 11 «Η ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ». Έκδοση Ε.Μ. Πολυτεχνείου. Σεπτέμβριος 2005.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΕΣ, 1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ, ΑΠΘ, Τμήμα Γεωλογίας.

Παπαχαρίσης Ν., Μάνου-Ανδρεάδη Ν., Γραμματικόπουλος, Ι. (1999): Γεωτεχνική Μηχανική - Εκδόσεις Αφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.

F.G. Bell, in Encyclopedia of Geology, 2005, Collapsible Soil, The fabric of collapsible soils generally takes the form of a loose skeleton of grains (generally quartz) and micro-aggregates (usually assemblages of clay particles).

ASTM D 5333 : 2003, Standard Test Method for Measurement of Collapse Potential of Soils (Withdrawn 2012).

ΜΠΑΡΔΑΝΗΣ Μ. Ε. (2016)

"Εργαστηριακή και Αναλυτική Διερεύνηση της Μηχανικής Συμπεριφοράς των μη Κορεσμένων Εδαφών – Διδακτορική Διατριβή", Ε.Μ.Π. Μάιος 2016.

ΔΜΕΟ/δ/ο/1759/1998 (ΦΕΚ 1221/Β/1998)

Terzaghi, K. and Peck, R. (1967) Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd Edition, John Wiley, New York.

Alexandria Engineering Journal, Volume 51, Issue 3, September 2012, pp. 205-210

BETON KALENDER 1984 (ΤΡΙΤΟΣ ΤΟΜΟΣ)

Εδαφομηχανική - Μαραγκός Ν. (2009). Προσθήκες Κίρτας Ε. (2010), Κεφάλαιο 3

KANY M. (1974) "Μεθοδικός Υπολογισμός Επιφανειακών Θεμελιώσεων", Μετάφραση στα Ελληνικά 19

