Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΥΣΤΑΘΙΑΔΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΕΥΣΤΑΘΙΑΔΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον» με ειδίκευση στην «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»
Τομέας Γεωλογίας
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 2/04/2019

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Αναπλ. Καθηγητής Τμ. Γεωλογίας Α.Π.Θ., Μαρίνος Βασίλειος, Επιβλέπων
Αναπλ. Καθηγητής Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., Αναστασιάδης Αναστάσιος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Επίκ. Καθηγητής Δ.Π.Θ., Παπαθανασίου Γεώργιος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

© Ευσταθιάδου Δέσποινα, 2018
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ – Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

© Efstathiadou Despoina, 2018
All right reserved.
EVALUATION OF THE LIQUEFACTION HAZARD IN THE URBAN AREA OF THESSALONIKI BASED ON DATA PROVIDED BY IN – SITU TESTS – Master thesis

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Πρόλογος

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με ειδίκευση στην «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία». Επιβλέπων της μεταπτυχιακής διατριβής ήταν ο Αναπληρωτής Καθηγητής κ. Μαρίνος Βασίλειος του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής ήταν ο Αναπληρωτής Καθηγητής κ. Αναστασιάδης Αναστάσιος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και ο Επίκουρος Καθηγητής κ. Παπαθανασίου Γεώργιος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ Βασίλειο Μαρίνο για την ανάθεση του θέματος, την εμπιστοσύνη και την παροχή χρήσιμων γνώσεων κατά τη διάρκεια τόσο των προπτυχιακών όσο και των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Τον καθηγητή κ. Αναστασιάδη Αναστάσιο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις του, αλλά και τη συμμετοχή του στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή.

Τον καθηγητή κ. Παπαθανασίου Γεώργιο για την συνεχή καθοδήγησή του και βοήθεια του για την εκπόνηση και ολοκλήρωση της διατριβής μου, καθώς και για το χρόνο που διέθεσε και το ενδιαφέρον που έδειξε βοηθώντας με στην οργάνωσή της.

Την υποψήφια διδάκτορα του τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. Κοκκαλά Αλίκη για την παροχή των δεδομένων. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω, τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Κερκένου Αθανασία του μεταπτυχιακού προγράμματος με ειδίκευση στην «Εφαρμοσμένη Γεωφυσική και Σεισμολογία» για την καθοδήγηση και τις πληροφορίες που μου παρείχε για τη δημιουργία του σεισμολογικού χάρτη.

Τέλος, η διατριβή αυτή δεν θα είχε πραγματοποιηθεί χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση της οικογένειάς μου καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Περίληψη

Ρευστοποίηση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένα κορεσμένο σε νερό μη συνεκτικό εδαφικό στρώμα σε μικρό βάθος χάνει απότομα την αντοχή, ως αποτέλεσμα της σεισμικής δόνησης και συμπεριφέρεται στιγμιαία ως ρευστό. Αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποτελεί η εκτίμηση του δυναμικού της ρευστοποίησης και των προκαλούμενων εδαφικών παραμορφώσεων με βάση δεδομένα που έχουν προέλθει από επιτόπου δοκιμές και συγκεκριμένα δοκιμών πρότυπης διείσδυσης (SPT) στο δυτικό τμήμα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Στόχος είναι ο υπολογισμός της εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) που απαιτείται για την εκδήλωση ρευστοποίησης για σεισμικό γεγονός μεγέθους $M_w = 6.6$ σύμφωνα με δύο μοντέλα ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003) και του Papathanassiou (2008). Η εν λόγω περιοχή παρουσιάζει αξιόλογο ενδιαφέρον, λόγω των ιδιαίτερα πρόσφατων γεωλογικών αποθέσεων.

Αρχικά παρουσιάζεται και αξιολογείται η επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση στους εδαφικούς σχηματισμούς 64 δειγματοληπτικών γεωτρήσεων σύμφωνα με τα κριτήρια των Bray and Sancio (2006). Έπειτα υπολογίζεται η εδαφική επιτάχυνση που απαιτείται έτσι ώστε στην επιφάνεια της θέσης στην οποία εκτελέστηκε η γεώτρηση να εκδηλωθούν φαινόμενα ρευστοποίησης. με βάση την τιμή του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης (LPI) και τα δύο μοντέλα ταξινόμησης.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται υπό μορφή χαρτών και συμπεραίνεται ότι το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003) είναι συντηρητικό σε σχέση με του Papathanassiou (2008).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Evaluation of the liquefaction hazard in the urban area of Thessaloniki based on data provided by in-situ tests

Abstract

Liquefaction is the phenomenon in which a loose water saturated soil layer suddenly loses its strength as a result of seismic vibration and instantly behaves as a fluid. The main scope of the present thesis was the evaluation of the liquefaction hazard in the urban area of Thessaloniki based on data provided by in-situ tests, specifically by standard penetration tests. Additional aim was the calculation of the peak ground acceleration (PGA) ,that is required to characterize a site as liquefiable for a seismic scenario with magnitude M_w = 6.6, according to two classification models of Toprak and Holzer (2003) and Papathanassiou (2008). This area is of great interest due to the recent geological deposits.

Initially the geotechnical data from 64 boreholes are analyzed and the liquefaction susceptibility are examined according to the criteria of Bray and Sancio (2006). Afterwards, the liquefaction potential index (LPI) of the entire column computed and used for the evaluation of the liquefaction hazard.

The results are being presented in the form of maps concluding that the classification model of Toprak and Holzer (2003) is more conservative than the one of Papathanassiou (2008).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή 1

1.1 Γενικά 1

1.2 Αντικείμενο 1

1.3 Διάρθρωση διατριβής 1

2. Κεφάλαιο ρευστοποίηση 3

2.1 Το φαινόμενο της ρευστοποίησης 3

2.1.1 Εδαφική ροή 7

2.1.2 Ανακυκλική κινητικότητα 10

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη ρευστοποίηση 14

3. Αξιολόγηση ρευστοποίησης 25

3.1 Μεθοδολογία εκτίμησης δυναμικού ρευστοποίησης με επιτόπου δοκιμές και υπολογισμός CRR 29

3.2 Δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης 34

3.3 Δείκτης καθιζήσεων 40

3.4 Συντελεστής δριμύτητας της ρευστοποίησης 42

4. Γεωλογία περιοχής 44

4.1 Γενικά για τη περιοχή μελέτης 44

4.2 Γεωτεκτονική θέση και γεωλογικές συνθήκες 45

4.3 Γεωλογία περιοχής μελέτης 47

4.4 Υδρογραφικό δίκτυο 55

4.5 Τεκτονική – Νεοτεκτονική ευρύτερης περιοχής μελέτης 56

4.5.1 Ενεργά ρήγματα 58

4.6 Σεισμικότητα και σεισμική επικινδυνότητα 61

5. Επεξεργασία δεδομένων – Αποτελέσματα 66

5.1 Εισαγωγή 66

5.2 Μεθοδολογία - Αποτελέσματα 68

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

6. Συμπεράσματα 83
Βιβλιογραφία 87
Παράρτημα Α 95
Παράρτημα Β 100
Παράρτημα Γ 149

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 2.1 Αποτελέσματα της ρευστοποίησης του εδάφους σε κτήρια της πόλης Niigita της Ιαπωνίας, λόγω του σεισμού στις 16/6/1964 (Steinbrugge Collection, E.E.R.C., University of California, Berkeley) 4

Εικόνα 2.2 Η κατάρρευση της γέφυρας Showa λόγω της ρευστοποίησης και των πλευρικών μετατοπίσεων (Bhattacharya et al., 2014) 4

Εικόνα 2.3 Καταστροφή του φράγματος San Fernando λόγω ρευστοποίησης κατά το σεισμό του 1971 (E.V. Leyendecker, U.S. Geological Survey) 5

Εικόνα 2.4 Εδαφική ροή των αμμωδών πρανών Turnagain σε μία περιοχή έκτασης περίπου 130 στρεμμάτων στην Αλάσκα, Η.Π.Α 1964. Στην πάνω εικόνα είναι η ανατολική πλευρά των πρανών και στην κάτω η δυτική (Grantz et al., 1964) 8

Εικόνα 2.5 Το φράγμα του Sheffield μετά το σεισμό (M = 6.3) κοντά στη πόλη Santa Barbara στις 16/6/1925 (Earthquake Engineering Research Center at the University of California, Berkeley).....9

Εικόνα 2.6 Πλευρική εξάπλωση παράλληλα με τον ποταμό Motagua αποτέλεσμα του σεισμού (M = 7.5) στη Γουατεμάλα στις 4 Φεβρουαρίου του 1976.....10

Εικόνα 2.7 Πλευρική εξάπλωση στο Tumwater στην Washington, αποτέλεσμα του σεισμού του Nisqually στις 28 Φεβρουαρίου το 2001 (M=6.8) (Oregon Department of Geology and Mineral Industries) 11

Εικόνα 2.8 Πλευρική εξάπλωση στο Christchurch στη Νέα Ζηλανδία, αποτέλεσμα του σεισμού στις 22 Φεβρουαρίου 2011 μεγέθους M = 6.3. Μεγάλο τμήμα του οδικού δικτύου υπέστησε παρόμοιες καταστροφές λόγω της ρευστοποίησης.....11

Εικόνα 2.9 Κώνος άμμου και ιλύος κοντά στο El Centro ύστερα από τη ρευστοποίηση υποκείμενου εδαφικού σχηματισμού (G. Reagor, U.S. Geological Survey).....12

Εικόνα 2.10 Κώνος άμμου που δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια σεισμού (M = 6.9) στην Καλιφόρνια, νότια της περιοχής Loma Prieta, στις 17 Οκτωβρίου του 1989 (Kayen et al., 1998).....12

Εικόνα 2.11 Δομικές καταστροφές στην προκυμαία στο Ληξούρι της Κεφαλονιά λόγω ρευστοποίησης μετά τους σεισμούς του 2014 (Papathanassiou et al., 2016).....13

Εικόνα 2.12 Εκτεταμένη πλευρική εξάπλωση και μετατοπίσεις κρηπιδότοιχων στον κύριο προβλήτα του λιμανιού του Ληξουρίου μήκος 250m κατά τη διάρκεια του δεύτερου σεισμού της 3/2/2014 στην Κεφαλονιά (EPPO - ITSAK, 2014).....13

Εικόνα 4.1 Η ευρύτερη περιοχή μελέτης (google earth) 44

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 2.1 Τροποποιημένα κινέζικα κριτήρια (Andrews and Martin, 2000) 18
Πίνακας 2.2 Ταξινόμηση εδαφών με βάση το περιβάλλον απόθεσης (Iwasaki, 1986) (τροποποιημένο από Παπαθανασίου, 2006) 21
Πίνακας 2.3 Ταξινόμηση της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση ανάλογα με το περιβάλλον απόθεσης (Youd & Perkings 1978).....22
Πίνακας 2.4 Επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση ανάλογα με το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα (Youd, 1998) (τροποποιημένο από Παπαθανασίου, 2006) 23
Πίνακας 3.1 Συντελεστές διόρθωσης MSF του μεγέθους του σεισμού (Πιτιλάκης, 2010;NCEER ,1997).....28
Πίνακας 3.2 Τιμές διορθωτικών συντελεστών για τη δοκιμή SPT (Μπουκοβάλας et al., 2006) 33
Πίνακας 3.3 Πίνακας συσχέτισης των τιμών του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης μιας εδαφικής στήλης με το δυναμικό αυτής (Iwasaki et al.,1982).....35
Πίνακας 3.4 Πίνακας συσχέτισης των τιμών του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης μιας εδαφικής στήλης με το δυναμικό αυτής (Sonmez,2003).....36
Πίνακας 4.1 Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Θεσσαλονίκης που απεικονίζονται στο γεωτεχνικό χάρτη (Anastasiadis et al., 2002)(τροποποιημένο από Σενετάκης et al., 2008) 55
Πίνακας 4.2 Ισχυροί σεισμοί που προκάλεσαν σημαντικές ζημιές στη Θεσσαλονίκη (sdgee.civil.auth.gr) 62
Πίνακας 5.1 Οι 24 θέσεις – γεωτρήσεις οι οποίες ικανοποιούν τα κριτήρια επιδεκτικότητας και οι τιμές του LPI και της εδαφικής επιτάχυνσης για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης.....71
Πίνακας 5.2 Οι πιθανές καθιζήσεις για τις 24 θέσεις – γεωτρήσεις.....74
Πίνακας 5.3 Συγκεντρωτικός πίνακας με το πάχος του επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος και του ρευστοποιήσιμου στρώματος για κάθε θέση - γεώτρηση και για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης 77

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 2.1 Σχηματική απεικόνιση (α και β) δυναμικής συνίζησης και (γ και δ) ρευστοποίησης μιας άμμου (Γ. Μπουκοβάλα, 1999) 7

Σχήμα 2.2 Η γεωμετρία του φράγματος Sheffield πριν την αστοχία του (Seed et al., 1969) 9

Σχήμα 2.3 Διαγράμματα πιθανότητας ρευστοποίησης εδαφών με βάση τη κοκκομετρική καμπύλη (τροποποιημένο από Tsuchida (1971) και Παπαθανασίου (2006)).....15

Σχήμα 2.4 Γραφική αναπαράσταση των κινέζικων κριτηρίων (from Rodertson & Wride 1998, originally by Marcuson et al.1990). Η γραμμοσκιασμένη περιοχή οριοθετεί την περιοχή των μη επιδεκτικών προς ρευστοποίηση εδαφών.....17

Σχήμα 2.5 Διάγραμμα πλαστικότητας (Casagrande) για την κατάταξη των λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών.....17

Σχήμα 2.6 Κριτήρια επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση (Seed et al.,2003) 19

Σχήμα 2.7 Κριτήρια επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση (Bray and Sancio, 2006) 20

Σχήμα 2.8 Χάρτης αποτύπωσης των ιστορικών περιστατικών ρευστοποίησης στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου από το 1509 έως το 2008 (Papathanassiou et al., 2010) 24

Σχήμα 3.1 Υπολογισμός του συντελεστή r_d (Seed and Idriss, 1970) 26

Σχήμα 3.2 Σχέσεις υπολογισμού του MSF για άμμο και άργιλο (Boulanger and Idriss, 2007) 27

Σχήμα 3.3 Διάγραμμα μεταβολής της τιμής $(N_1)_{60}$ με το ποσοστό των λεπτόκοκκων σε ένα εδαφικό σχηματισμό (Boulanger and Idriss,2006).....31

Σχήμα 3.4 Εκτίμηση του συντελεστή C_N επιρροής της ενεργού κατακόρυφης γεωστατικής τάσης στην εκτίμηση της κανονικοποιημένης τιμής $(N_1)_{60}$ του αριθμού κτύπων της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης, συναρτήσει της τιμής $(N_1)_{60}$. (α) ενεργός κατακόρυφη τάση μικρότερη από 10atm και (β) μικρότερη από 2atm (Πιτιλάκης, 2010) 34

Σχήμα 3.5 Διαγράμματα συσχέτισης του δείκτη LPI με τις επιφανειακές εκδηλώσεις ρευστοποίησης για το σεισμό του 1989 στη Loma Prieta (Toprak and Holzer, 2003)37

Σχήμα 3.6 Θηκόγραμμα διακύμανσης του LPI με την δριμύτητα των μορφών του φαινομένου ρευστοποίησης (Papathanassiou, 2008).....38

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Σχήμα 3.7 Καμπύλη πιθανότητας εμφάνισης φαινομένων ρευστοποίησης με βάση την τιμή του LPI (Papathanassiou, 2008).....39
Σχήμα 3.8 Διάγραμμα υπολογισμού της κατακόρυφης παραμόρφωσης μετά τη ρευστοποίηση σε αμμώδη εδάφη (τροποποιημένο από Ishihara and Yoshimine,1992) 41
Σχήμα 3.9 Διάγραμμα υπολογισμού της κατακόρυφης παραμόρφωσης για διαφορετικές τιμές του συντελεστή ασφαλείας (Zhang et al., 2002) 42
Σχήμα 4.1 Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών εντός του κόκκινου κύκλου βρίσκεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπουλία, Au: Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι- Ταλέα όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Mountrakis et al. 1983).....46
Σχήμα 4.2 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, φύλλο Θεσσαλονίκη, (τροποποιημένο από Ι.Γ.Μ.Ε., 1970).....49
Σχήμα 4.3 Τεχνικογεωλογικός χάρτης της Θεσσαλονίκης (τροποποιημένο από Ρόζος et al., 1998) 52
Σχήμα 4.4 3D ψηφιακό προσομοίωμα του πάχους των εδαφικών σχηματισμών στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης (Αποστολίδης, 2002) 53
Σχήμα 4.5 Γεωτεχνικές ζώνες της Θεσσαλονίκης βασισμένες σε φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών (A, B, C, D, E, F, G). Εντός των κύκλων αναγράφονται με τη σειρά οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται σε κάθε γεωτεχνική ζώνη, καθώς και το πάχος του κάθε σχηματισμού (Anastasiadis et al., 2001) 54
Σχήμα 4.6 Αρχικός και περαιτέρω χαρακτηρισμός υπόγειων Υδατικών Συστημάτων (ΥΣ) στο ΥΔ10 (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2014).....56
Σχήμα 4.9 Συνοπτικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Στο χάρτη αυτό ομαδοποιούνται ομαδοποιήθηκαν οι σχηματισμοί του βραχώδους υποβάθρου (με γκρι χρώμα) για τον ευκολότερο διαχωρισμό των νεοτεκτονικών ρηγμάτων. Οι Νεογενείς σχηματισμοί εμφανίζονται με ανοιχτό κόκκινο χρώμα ενώ τα ιζήματα διαχωρίζονται σε Ολοκαινικά και Πλειστοκαινικά. (Ζερβοπούλου, 2010). Όπου:(1) Ανθεμούντα, (2) Βόρειου Ανθεμούντα, (3) Θέρμης – Αεροδρομίου, (4) Πυλαίας – Πανοράματος, (5)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ασβεστοχωρίου, (6) Ρηξιγενείς ζώνες Μυγδονίας λεκάνης, (7) Ευκαρπίας, (8) Αγχίαλου – Ν. Μεσημβρίας....58
Σχήμα 4.10 Γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των σεισμών με μέγεθος M ≥ 4.0 (Βαμβακάρης Δομένικος)....61
Σχήμα 4.11 Γεωγραφική κατανομή των σεισμών με μέγεθος M ≥ 5.0....62
Σχήμα 4.12 Σεισμογόνες πηγές επιφανειακών σεισμών στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές (Papaioannou and Papazachos, 2000)....63
Σχήμα 4.13 Σεισμογόνες πηγές ενδιάμεσου βάθος στο ελληνικό τόξο (Papaioannou and Papazachos, 2000)....64
Σχήμα 4.14 Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας, κατανομή των περιοχών της Ελλάδας στις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (ΦΕΚ 1154Β/12.8.2003, 2003)....65
Σχήμα 5.1 Ο χάρτης με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Η περιοχή μελέτης δεν αποτυπωνόταν ολόκληρη στον τεχνικογεωλογικό χάρτη των Ρόζος et al. (1998) για αυτό το λόγο έγινε αλληλεπικάλυψη με το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (1970)....67
Σχήμα 5.2 Περιοχή μελέτης και αρχικός χαρακτηρισμός των γεωτρήσεων που αξιολογήθηκαν....69
Σχήμα 5.3 Γεώτρηση spt_51: Το εδαφικό προφίλ και οι σχηματισμοί που είναι ρευστοποιούνται για κάθε μοντέλο ταξινόμησης....70
Σχήμα 5.4 Οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για τις οποίες αναμένεται η εμφάνιση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια σύμφωνα με το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003)....72
Σχήμα 5.5 Οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για τις οποίες αναμένεται η εμφάνιση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια σύμφωνα με το μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008)....73
Σχήμα 5.6 Οι πιθανές καθιζήσεις για το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003)....75
Σχήμα 5.7 Οι πιθανές καθιζήσεις για το μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008)....76
Σχήμα 5.8 Εκτιμώμενα πάχη επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος για τις τιμές τις εδαφικής επιτάχυνσης για το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003)....79
Σχήμα 5.9 Εκτιμώμενα πάχη ρευστοποίησης για τις τιμές τις εδαφικής επιτάχυνσης για το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003)....80

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Σχήμα 5.10 Εκτιμώμενα πάχη επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος για τις τιμές τις εδαφικής επιτάχυνσης για το μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008) 81

Σχήμα 5.11 Εκτιμώμενα πάχη ρευστοποίησης για τις τιμές τις εδαφικής επιτάχυνσης για το μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008) 82

Σχήμα 6.1 Οι τιμές του LPI για τις 24 θέσεις - γεωτρήσεις και για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης 85

Σχήμα 6.2 Η εδαφική επιτάχυνση που απαιτείται, για σεισμικό γεγονός μεγέθους M_w = 6.6,για την εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια του εδάφους και για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης 86

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών Εφαρμοσμένης και Περιβαλλοντικής Γεωλογίας, στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

1.2 Αντικείμενο

Αντικείμενο της διατριβής ειδίκευσης είναι η εκτίμηση του δυναμικού της ρευστοποίησης και των προκαλούμενων εδαφικών παραμορφώσεων στο δυτικό τμήμα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης με βάση δύο μοντέλα ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003) και του Papathanassiou (2008).

Σκοπός είναι ο υπολογισμός της εδαφικής επιτάχυνσης που απαιτείται, για σεισμικό γεγονός μεγέθους M_w = 6.6, για να εκδηλωθούν επιφανειακά φαινόμενα ρευστοποίησης με βάση τα δύο παραπάνω μοντέλα ταξινόμησης.

Συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η ακόλουθη:

- Εξέταση της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών σε 64 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις
- Αξιολόγηση της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση με βάση τα κριτήρια των Bray and Sancio (2006)
- Υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας σε ρευστοποίηση κάθε εδαφικού στρώματος
- Υπολογισμός του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης (LPI) για σεισμικό γεγονός με μέγεθος ροπής 6.6 και υπολογισμός της απαιτούμενης εδαφικής επιτάχυνσης για να προκληθούν φαινόμενα ρευστοποίησης

1.3 Διάρθρωση διατριβής

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Η δομή της παρούσας διατριβής περιγράφεται ακολούθως:

Αμέσως μετά την εισαγωγή, όπου παρουσιάζεται το αντικείμενο της διατριβής, στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται γενικές πληροφορίες σχετικά με το φαινόμενο της ρευστοποίησης, τους παράγοντες που το επηρεάζουν και τις προϋποθέσεις τις οποίες πρέπει να πληροί ένας εδαφικός σχηματισμός για να χαρακτηριστεί επιδεκτικός σε ρευστοποίηση.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα στοιχεία για την αξιολόγηση της ρευστοποίησης, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του δυναμικού της ρευστοποίησης ενός εδαφικού στρώματος και αναλύεται ο δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης, ο δείκτης καθιζήσεων και ο συντελεστής δριμύτητας της ρευστοποίησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι γεωλογικές και οι γεωτεχνικές συνθήκες του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Επιπλέον, παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες σχετικά με το υδρογραφικό δίκτυο, την τεκτονική, τα ρήγματα και τη σεισμικότητα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των γεωτρήσεων. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν χάρτες και για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης που αποτυπώνουν την εδαφική επιτάχυνση, τις πιθανές καθιζήσεις, τα πάχη του επιφανειακού μη επιδεκτικού σε ρευστοποίηση εδαφικού στρώματος και του υποκείμενου επιδεκτικού σε ρευστοποίηση.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας διατριβής.

Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται οι θέσεις εκτέλεσης, το έτος και οι συντεταγμένες των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται οι στήλες για τις 24 θέσεις – γεωτρήσεις που είναι επιδεκτικές σε ρευστοποίηση καθώς και πίνακες με τα δεδομένα των γεωτρήσεων αυτών.

Στο Παράρτημα Γ παρουσιάζεται ο πίνακας με τις παραμέτρους σεισμικότητας για κάθε μία σεισμική πηγή που αποτυπώνεται στο Σχήμα 4.12 και στο Σχήμα 4.13 των Papaioannou and Papazachos (2000).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

2. Κεφάλαιο ρευστοποίηση

2.1 Το φαινόμενο της ρευστοποίησης

Το 1972 το Αμερικανικό Γεωλογικό Ινστιτούτο αναφέρει τον όρο ρευστοποίηση ως εξής « Η ξαφνική μεγάλη μείωση της διατμητικής αντοχής ενός εδάφους χωρίς συνοχή, που προκλήθηκε από την κατάρρευση της δομής από κάποιο γεγονός ή από την άσκηση τάσεων και συσχετίζεται με ξαφνική αλλά προσωρινή αύξηση της πίεσης των πόρων είναι η ρευστοποίηση. Πρόκειται για μια προσωρινή μετατροπή του υλικού σε ρευστό» (Youd, 1973). Στην πραγματικότητα ο όρος ρευστοποίηση περιλαμβάνει δύο διαφορετικά φαινόμενα (την απώλεια της αντοχής που οδηγεί σε μετατροπή του υλικού και την παραμόρφωση ροής) για αυτό το λόγο δε μπορεί να δοθεί ένας μόνο ορισμός (Youd, 1973) και κάποιες φορές είναι δύσκολο κανείς να τα ξεχωρίσει. Εντούτοις οι μηχανισμοί γένεσης τους είναι διαφορετικοί και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες την εδαφική ροή (ή ροϊκή ρευστοποίηση) (flow failure) και την ανακυκλική κινητικότητα (ή ανακυκλική παραμορφωσιμότητα) (cyclic mobility).

Το φαινόμενο της ρευστοποίησης των εδαφικών σχηματισμών που παρατηρείται κατά τη διάρκεια και λίγο μετά μιας σεισμικής φόρτισης ξεκίνησε να μελετάται συστηματικά μετά από δύο καταστροφικούς σεισμούς το 1964, στη Niigata στην Ιαπωνία και στο Prince William Sound στην Αλάσκα, όπου παρατηρήθηκαν εκτεταμένες καταστροφές.

Στη Niigata η μείωση της αντοχής σε διάτμηση και της δυσκαμψίας του εδάφους οδήγησαν στη ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών κατά τη διάρκεια του σεισμικού γεγονότος της $16^{ης}$ Ιουνίου το 1964 με M = 7.5 και οδήγησε στην κατάρρευση κτηρίων (Εικόνα 2.1) καθώς και της γέφυρας Showa (Εικόνα 2.2).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα
Α.

Εικόνα 2.1 Αποτελέσματα της ρευστοποίησης του εδάφους σε κτήρια της πόλης Niigita της Ιαπωνίας, λόγω του σεισμού στις 16/6/1964 (Steinbrugge Collection, E.E.R.C., University of California, Berkeley)

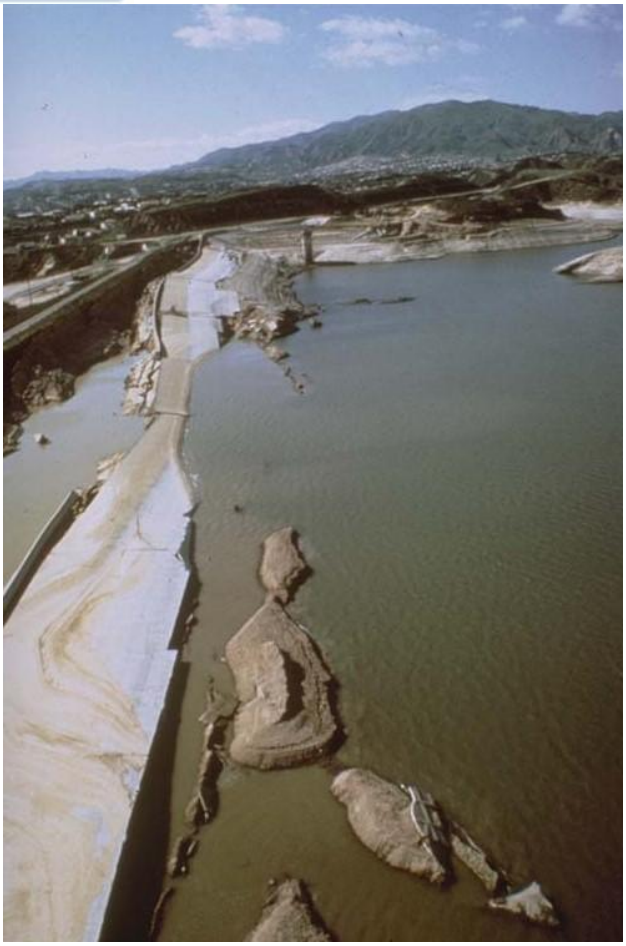
Εικόνα 2.2 Η κατάρρευση της γέφυρας Showa λόγω της ρευστοποίησης και των πλευρικών μετατοπίσεων (Bhattacharya et al., 2014)

Εκτός από τα παραπάνω σεισμικά γεγονότα παρόμοιες καταστροφές που οφείλονται στη ρευστοποίηση των εδαφών παρατηρήθηκαν και κατά το 1971 στο χωμάτινο φράγμα του San Fernando όπου ένα σεισμικό γεγονός με μέγεθος 6.6 είχε σαν αποτέλεσμα τη ρευστοποίηση του ανάντη πρανούς και συγκεκριμένα την εμφάνιση εδαφικής ροής. Επίσης φαινόμενα ρευστοποίησης παρατηρήθηκαν στις 17 Οκτωβρίου του 1989 στην Καλιφόρνια, νότια της περιοχής Loma Prieta με M = 6.9, στις 17 Ιανουαρίου του 1995 στο Kobe στην Ιαπωνία με M = 7.5,στο Chi – Chi στη Ταϊβάν και στο Kocaeli στην Τουρκία το 1999. Όλα τα παραπάνω σεισμικά γεγονότα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

παρείχαν ένα πλήθος πληροφοριών και παρατηρήσεων για το φαινόμενο της ρευστοποίησης και βοήθησαν στην καλύτερη κατανόηση του.



Εικόνα 2.3 Καταστροφή του φράγματος San Fernando λόγω ρευστοποίησης κατά το σεισμό του 1971 (E.V. Leyendecker, U.S. Geological Survey)

Η ερμηνεία του φαινομένου της ρευστοποίησης παρατίθεται ενδεικτικά στο Σχήμα 2.1. Θεωρείται ένα στρώμα ξηρής άμμου και ένα εδαφικό στοιχείο του στρώματος αυτού, που παρουσιάζει μια σχετικά χαλαρή δομή, με μεγάλο ποσοστό κενών (e_o), σαν αποτέλεσμα της πρωτογενούς απόθεσής του, της επίδρασης διαφόρων επιφορτίσεων κ.λπ. Με την επίδραση μιας σεισμικής τάσης στο εδαφικό στοιχείο επενεργούν: οι γεωστατικές τάσεις σ_{vo} και $\sigma_{ho} = k_o * \sigma_{vo}$ και η διατμητική τάση σεισμού με εναλλασσόμενη φορά ($\pm \tau_d$). Η πίεση των πόρων είναι προφανώς μηδενική. Το αποτέλεσμα της επίδρασης του σεισμού είναι η μεταβολή της αρχικής δομής του εδαφικού στοιχείου και η μείωση των κενών με αντίστοιχη κατακόρυφη παραμόρφωση ($\varepsilon_v = \Delta e/1+ e_o$). Το φαινόμενο αυτό καλείται δυναμική συνίζηση και

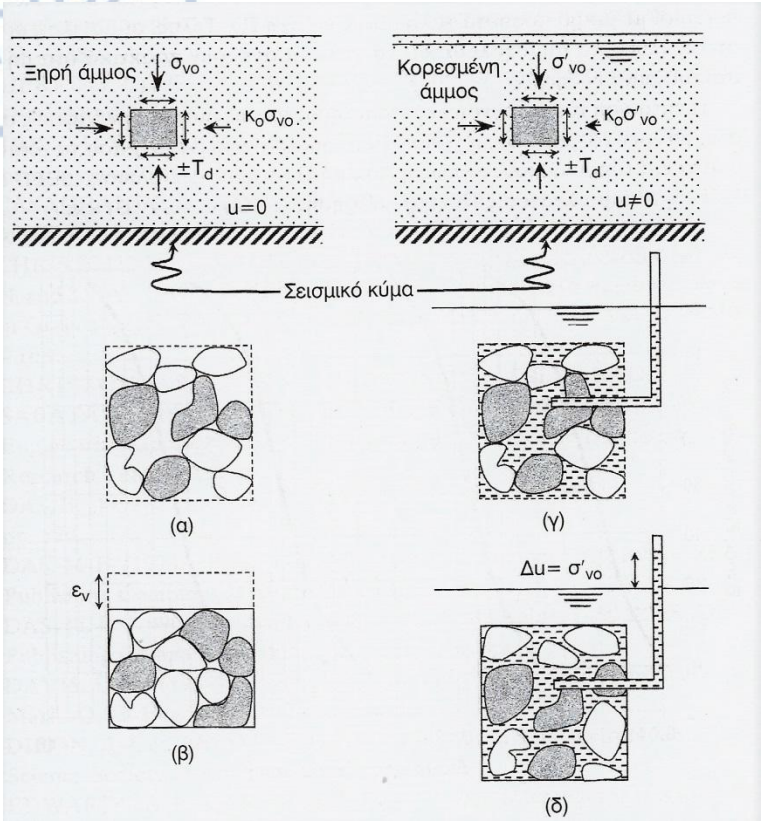
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

εκδηλώνεται σαν καθίζηση του εδάφους μετά από ισχυρούς σεισμούς (Σχήμα 2.1α,β). Στην περίπτωση που η άμμος βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα και είναι προφανώς κορεσμένη, με την επίδραση της σεισμικής τάσης, στο εδαφικό στοιχείο του στρώματος επενεργούν: οι ενεργές γεωστατικές τάσεις σ'_{vo} και $\sigma'_{ho} = k_o * \sigma'_{vo}$, η υδροστατική πίεση των πόρων (u) και η διατμητική τάση λόγω του σεισμού με εναλλασσόμενη φορά ($\pm \tau_d$). Το αποτέλεσμα της επίδρασης του σεισμού είναι η μεταβολή της αρχικής δομή του εδαφικού στοιχείου κατά τρόπο παρόμοιο με αυτόν της ξηρής άμμου. Η μεταβολή όμως του όγκου του εδαφικού στοιχείου δεν είναι τώρα δυνατή εφόσον το νερό που υπάρχει στους πόρους είναι ασυμπίεστο και λόγω της μεγάλης ταχύτητας της σεισμικής φόρτισης δεν είναι δυνατή η αποστράγγιση (δηλαδή πρακτικά έχουμε αστράγγιστες συνθήκες φόρτισης). Με τον τρόπο αυτόν έχουμε σταδιακή αύξηση της πίεσης των πόρων με αντίστοιχη προφανή μείωση των αρχικών ενεργών τάσεων. Μετά από κάποιον αριθμό κύκλων σεισμικής φόρτισης, λόγω μεγάλης αύξησης της πίεσης των πόρων οι ενεργές τάσεις μηδενίζονται ($\Delta u=\sigma'_{vo}$) και «χάνεται» η επαφή μεταξύ των κόκκων της άμμου. Το φαινόμενο αυτό, καλείται ρευστοποίηση της άμμου, καθόσον μαζί με τις ενεργές τάσεις μηδενίζεται και η διατμητική αντοχή της άμμου που συμπεριφέρεται πλέον σαν ρευστό (Σχήμα 2.1γ,δ) (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλ
Α.Π.Θ



Σχήμα 2.1 Σχηματική απεικόνιση (α και β) δυναμικής συνίζησης και (γ και δ) ρευστοποίησης μιας άμμου (Γ. Μπουκοβάλα, 1999)

2.1.1 Εδαφική ροή

Η εδαφική ροή (flow failure) αποτελεί το πιο καταστροφικό φαινόμενο της ρευστοποίησης και συναντάται συνήθως σε χαλαρά μη συνεκτικά κορεσμένα ιζήματα τα οποία είναι τοποθετημένα σε πρανή με κλίση μεγαλύτερη των 3 μοιρών (Youd, 1992).

Οι εφαρμοσμένες ανακυκλιζόμενες τάσεις οδηγούν τον εδαφικό σχηματισμό σε αστάθεια καθώς η αντοχή του μειώνεται με αποτέλεσμα οι υπάρχουσες στατικές φορτίσεις να προκαλέσουν στη συνέχεια την δημιουργία εδαφικής ροής. Ένα τέτοιο μηχανισμό μονοτονικής φόρτισης αποτελεί η διάβρωση του πόδα ενός πρανούς ή αντίστοιχα η φόρτιση της κεφαλής του. Το συγκεκριμένο φαινόμενο χαρακτηρίζεται από την απότομη εμφάνιση, την ταχύτατη κίνηση και τη μεγάλη σε κλίμακα απόσταση στην οποία μπορεί να κινηθούν τα υλικά του ρευστοποιημένου εδάφους (Παπαθανασίου, 2006). Χαρακτηριστικά φαινόμενα εδαφικής ροής είναι η

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

καταστροφή του φράγματος San Fernando και η ολίσθηση των πρανών Turnagain κατά το σεισμό του 1964 στην Αλάσκα.

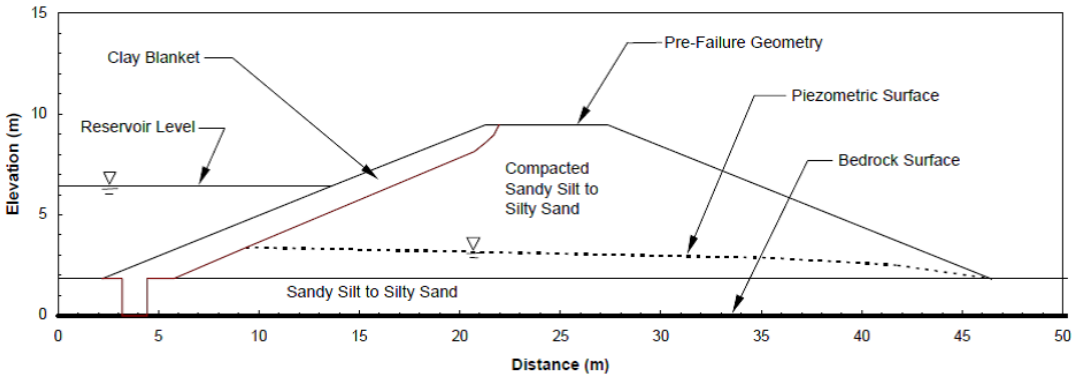
Εικόνα 2.4 Εδαφική ροή των αμμωδών πρανών Turnagain σε μία περιοχή έκτασης περίπου 130 στρεμμάτων στην Αλάσκα, Η.Π.Α 1964. Στην πάνω εικόνα είναι η ανατολική πλευρά των πρανών και στην κάτω η δυτική (Grantz et al., 1964)

Ένας σεισμός μεγέθους M = 6.3 κοντά στη πόλη Santa Barbara της Καλιφόρνιας στις 26 Ιουνίου του 1925 οδήγησε στην αστοχία του φράγματος του Sheffield λόγω εδαφικής ροής. Σύμφωνα με τους Seed et al. (1969) η αστοχία οφειλόταν στην ρευστοποίηση του τμήματος που βρισκόταν κάτω από το κέντρο στη

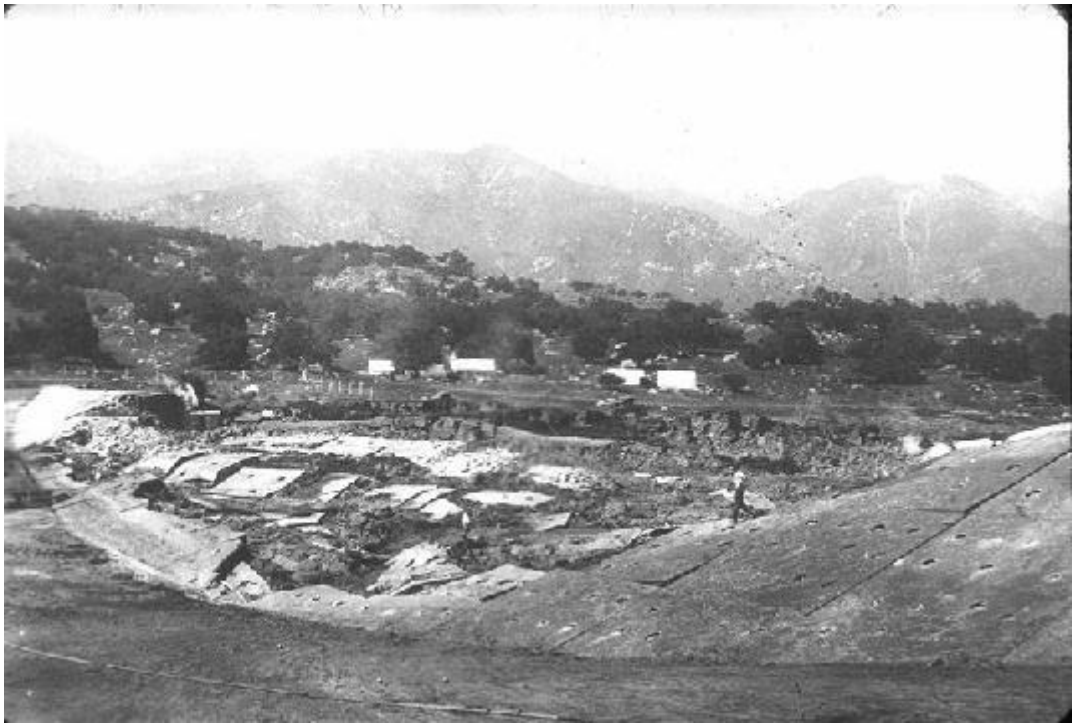
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

βάση του φράγματος (Σχήμα 2.2). Το τμήμα αυτό αποτελούταν κυρίως από ιλυώδεις άμμους και αμμώδεις ιλύς. Μετά από 10 – 15 δευτερόλεπτα σεισμικής δόνησης μειώθηκε η αντοχή του τμήματος αυτού και λόγω της πίεσης του νερού του ταμιευτήρα μετακινήθηκε προς τα κάτω.



Σχήμα 2.2 Η γεωμετρία του φράγματος Sheffield πριν την αστοχία του (Seed et al., 1969)



Εικόνα 2.5 Το φράγμα του Sheffield μετά το σεισμό (M = 6.3) κοντά στη πόλη Santa Barbara στις 16/6/1925 (Earthquake Engineering Research Center at the University of California, Berkeley)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2.1.2 Ανακυκλική κινητικότητα

Ανακυκλική κινητικότητα (cyclic mobility) είναι η χαλάρωση της εδαφικής δομής μιας κορεσμένης σε νερό άμμου όταν υπόκειται σε κυκλική φόρτιση με παράλληλη προοδευτική αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων και της εδαφικής παραμόρφωσης (Castro and Poulos, 1977). Η πλευρική εξάπλωση (lateral spreading) είναι ένα από τα αποτελέσματα της και συνήθως εμφανίζεται σε πρανή με ήπια κλίση (συνήθως μικρότερη των 3 μοιρών) κοντά σε ποταμούς και λίμνες (Youd and Perkins, 1987;Youd, 1992). Χαρακτηριστικό παράδειγμα πλευρικής εξάπλωσης αποτελεί ο σεισμός στις 4 Φεβρουαρίου του 1976 μεγέθους M = 7.5, στη Γουατεμάλα όπου παρατηρήθηκαν διάφορες διαρρήξεις παράλληλα με το ποταμό Motagua αποτέλεσμα της ρευστοποίησης των εδαφικών σχηματισμών (Εικόνα 2.6) (Porfido et al., 2015).

Εικόνα 2.6 Πλευρική εξάπλωση παράλληλα με τον ποταμό Motagua αποτέλεσμα του σεισμού (M = 7.5) στη Γουατεμάλα στις 4 Φεβρουαρίου του 1976

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γ
Α.Π

Εικόνα 2.7 Πλευρική εξάπλωση στο Tumwater στην Washington, αποτέλεσμα του σεισμού του Nisqually στις 28 Φεβρουαρίου το 2001 (M=6.8) (Oregon Department of Geology and Mineral Industries)

Εικόνα 2.8 Πλευρική εξάπλωση στο Christchurch στη Νέα Ζηλανδία, αποτέλεσμα του σεισμού στις 22 Φεβρουαρίου 2011 μεγέθους M = 6.3. Μεγάλο τμήμα του οδικού δικτύου υπέστησε παρόμοιες καταστροφές λόγω της ρευστοποίησης

Επιπλέον κατά τη ρευστοποίηση η πίεση των πόρων αυξάνεται απότομα και μπορεί να προκαλέσει την ροή ή ακόμα και την εκτίναξη του νερού στην επιφάνεια του εδάφους. Η ροή αυτή μπορεί να εμφανιστεί είτε κατά τη διάρκεια του σεισμικού

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

γεγονότος είτε και μετά από αυτό. Εάν η ροή αυτή μεταφέρει εδαφικό υλικό και φτάσει μέχρι την επιφάνεια του εδάφους μπορεί να δημιουργήσει κώνους άμμου όπως συνέβη κοντά στη περιοχή El Centro στο σεισμό στις 15 Οκτωβρίου του 1979 (M = 6.9) (Εικόνα 2.9).

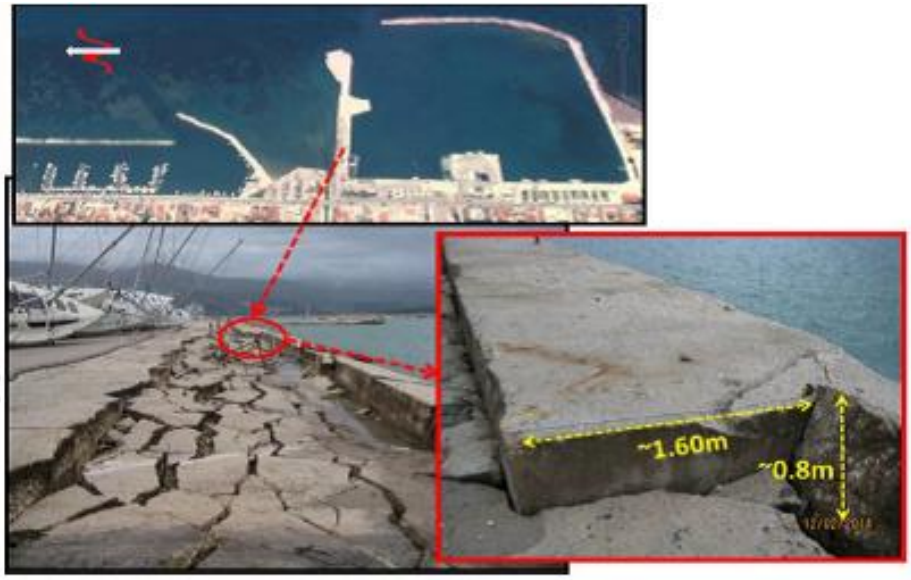
Εικόνα 2.9 Κώνος άμμου και ιλύος κοντά στο El Centro ύστερα από τη ρευστοποίηση υποκείμενου εδαφικού σχηματισμού (G. Reagor, U.S. Geological Survey)

Εικόνα 2.10 Κώνος άμμου που δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια σεισμού (M = 6.9) στην Καλιφόρνια, νότια της περιοχής Loma Prieta, στις 17 Οκτωβρίου του 1989 (Kayen et al., 1998)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Εικόνα 2.11 Καταστροφές στους κρηπιδότοιχους στην προκυμαία στο Ληξούρι της Κεφαλονιά λόγω ρευστοποίησης μετά τους σεισμούς του 2014 (Papathanassiou et al., 2016)



Εικόνα 2.12 Εκτεταμένη πλευρική εξάπλωση και μετατοπίσεις κρηπιδότοιχων στον κύριο προβλήτα του λιμανιού του Ληξουρίου μήκος 250m κατά τη διάρκεια του δεύτερου σεισμού της 3/2/2014 στην Κεφαλονιά (EPPO - ITSAK, 2014)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη ρευστοποίηση

Η επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση μπορεί να αξιολογηθεί με διάφορους τρόπους. Σύμφωνα με τον Kramer (1996) μπορούν να ληφθούν υπόψη κριτήρια ιστορικά, γεωλογικά, συνθέσεως και καταστάσεως. Οι παράγοντες, λοιπόν, που καθιστούν έναν εδαφικό σχηματισμό επιδεκτικό στη ρευστοποίηση σχετίζονται με:

- τα φυσικά χαρακτηριστικά
- το περιβάλλον απόθεσης του και τη γεωλογική ηλικία του
- τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα
- τα ιστορικά περιστατικά

καθώς και με τα χαρακτηριστικά των επιβαλλόμενων φορτίων.

Φυσικά χαρακτηριστικά

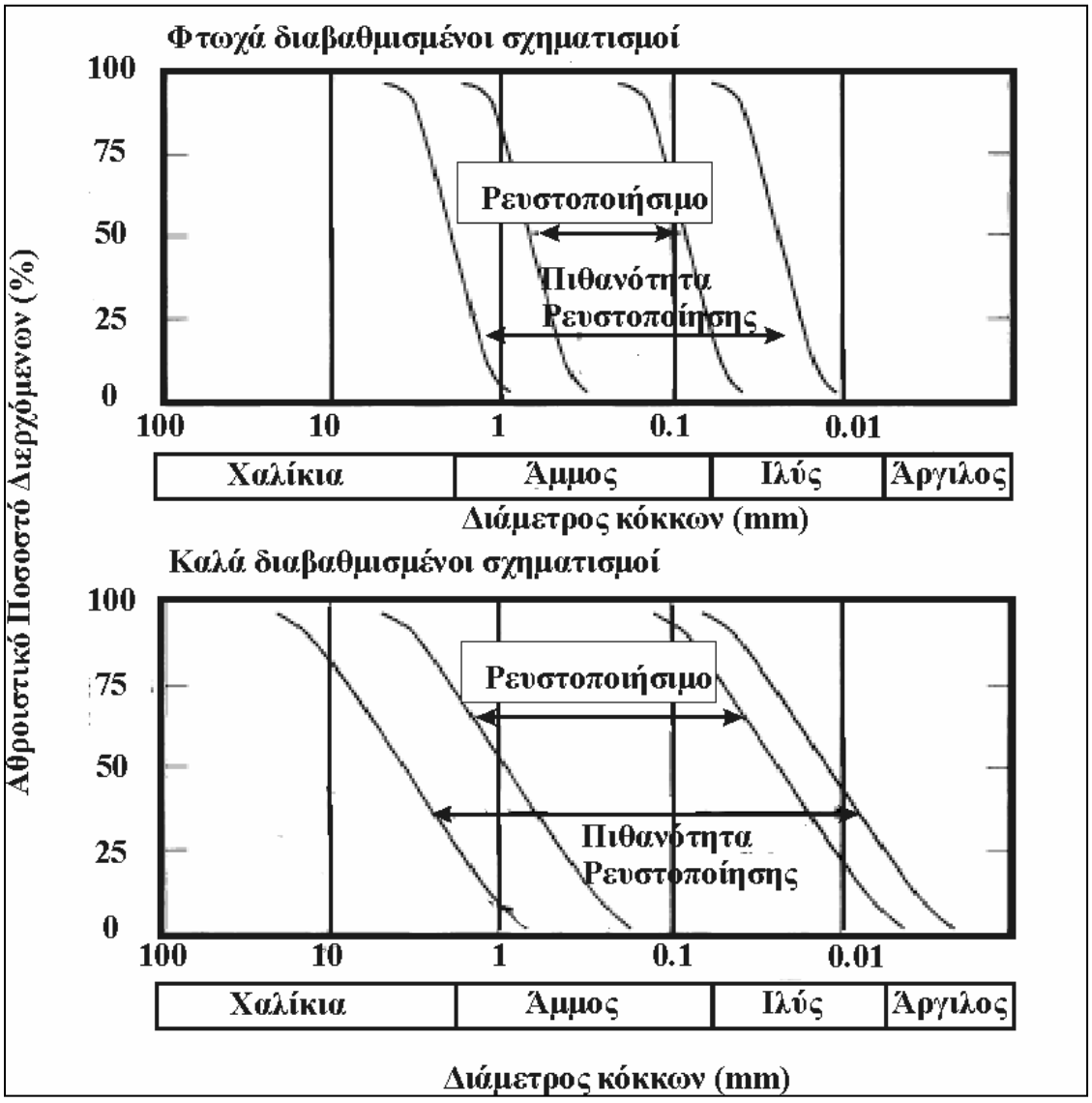
Η έκταση ή ο βαθμός της ρευστοποίησης εξαρτάται από την κατανομή των μη συνεκτικών ιζημάτων στη περιοχή απόθεσης και απαιτεί τα ιζήματα να είναι σε μεγάλο βαθμό κορεσμένα σε νερό. Μπορούν επίσης και σε συνεκτικά ιζήματα να αναπτυχθούν σημαντικές πιέσεις και παραμορφώσεις κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Ωστόσο επειδή η αντοχή σε διάτμηση στα συνεκτικά ιζήματα διαφέρει σε σχέση με τα μη συνεκτικά, απαιτούνται διαφορετικές διαδικασίες αξιολόγησης για το πώς συμπεριφέρονται κατά τη σεισμική φόρτιση. Γι αυτό το λόγο ο όρος ρευστοποίηση χρησιμοποιείται για τη συμπεριφορά των μη συνεκτικών ιζημάτων (άμμοι και πολύ χαμηλής πλαστικότητας ιλύς) ενώ ο όρος «cyclic softening» χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη συμπεριφορά των συνεκτικών δηλαδή των αργίλων και των πλαστικών ιλύων (Idriss and Boulanger, 2008). Η συμπεριφορά των συνεκτικών ιζημάτων κατά τη σεισμική φόρτιση δε θα μελετηθεί στη παρούσα διατριβή.

Οι χονδρόκοκκοι, χαλικώδεις εδαφικοί σχηματισμοί είναι δυνητικά επιδεκτικοί στην ανάπτυξη κυκλικών πιέσεων και κατ' επέκταση στη δημιουργία φαινομένων ρευστοποίησης. Υπάρχουν αρκετές τεκμηριωμένες περιπτώσεις ρευστοποίησης χονδρόκοκκων, χαλικωδών εδαφών (π.χ. Evans, 1993; Andrus et al., 1992). Ωστόσο αυτά τα εδάφη συχνά διαφέρουν από τα πιο λεπτόκοκκα διότι πρώτον μπορεί να είναι αρκετά διαπερατά και έτσι γρήγορα να κατανέμεται η πίεση των

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

πόρων κατά τη κυκλική κίνηση και δεύτερον λόγω του όγκου των μεγαλύτερων κόκκων τους, οι χονδρόκοκκοι – χαλικώδης εδαφικοί σχηματισμοί σπάνια εμφανίζονται σε «χαλαρή» κατάσταση. Δηλαδή σπάνια εμφανίζονται σε μη συνεκτικά ιζήματα αντίθετα οι αμμώδης εδαφικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα από «πολύ χαλαρή» έως «πολύ πυκνή» κατάσταση (Seed et al., 2003).



Σχήμα 2.3 Διαγράμματα πιθανότητας ρευστοποίησης εδαφών με βάση τη κοκκομετρική καμπύλη (τροποποιημένο από Tsuchida (1971) και Παπαθανασίου (2006))

Η κοκκομετρική διαβάθμιση καθώς και το σχήμα των κόκκων του εδάφους επηρεάζουν την επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση. Καλά διαβαθμισμένα εδάφη είναι

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

λιγότερο πιθανό να ρευστοποιηθούν σε σχέση με εδάφη ομοιόμορφης διαβάθμισης καθώς η πλήρωση των κενών μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων από μικρότερους κάτω από συνθήκες πλήρους αποστράγγισης έχει ως αποτέλεσμα την συμπύκνωση σε μικρότερο όμως ποσοστό και κατά συνέπεια μικρότερη τιμή υπερπίεσης πόρων υπό αστράγγιστες συνθήκες (Kramer, 1996). Επιπλέον τα εδάφη που αποτελούνται από στρογγυλοποιημένους κόκκους αυξάνουν την πυκνότητα τους σε μεγαλύτερο βαθμό από εδάφη με γωνιώδεις κόκκους. Επομένως, τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση (Kramer, 1996). Ο Tsuchida (1971) δημοσίευσε διαγράμματα όπου αξιολογούσε την πιθανότητα σε ρευστοποίηση με βάση την κοκκομετρική καμπύλη, τόσο για υλικά με ομοιόμορφη όσο και με ανομοιόμορφη κατάταξη (Σχήμα 2.3) (Παπαθανασίου, 2006).

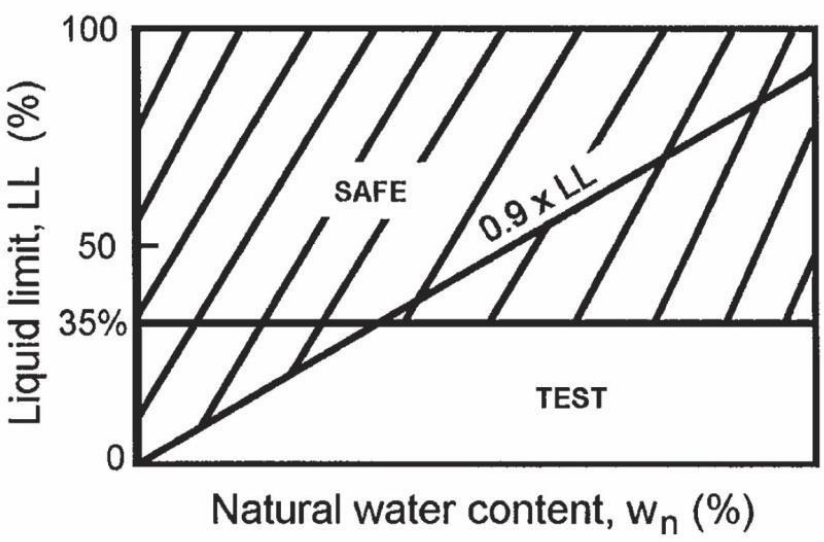
Για την αξιολόγηση της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση των λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών τα πρώτα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν του Wang (1979) (Green and Ziotopoulou, 2015). Τα κριτήρια αυτά αφορούσαν το ποσοστό των λεπτόκοκκων και την τιμή του ορίου υδαρότητας και είναι γνωστά ως «κινέζικα κριτήρια». Οι Seed and Idriss (1982) βασίστηκαν στα ίδια δεδομένα και πρότειναν τα «τροποποιημένα κινέζικα κριτήρια», όπου για να χαρακτηριστεί ένας εδαφικός σχηματισμός επιδεκτικός σε ρευστοποίηση θα πρέπει να πληροί τα παρακάτω:

- Ποσοστό λεπτόκοκκων (<0.005mm) < 15%
- Όριο υδαρότητας (LL) < 35%
- Περιεχόμενη υγρασία (w_c) > 0,9 *LL

Στην Ιαπωνία χρησιμοποιείται ευρύτατα και ο συντελεστής ομοιομορφίας $C_u = (D_{60}/D_{10})$ σε συνδυασμό με τα όρια του Σχήμα 2.4. Υψηλό ή μετρίως υψηλό δυναμικό ρευστοποίησης έχουν τα εδάφη που εμπίπτουν στα όρια του Σχήμα 2.4 και έχουν και συντελεστή ομοιομορφίας $C_u = 3.5$. Τα εδάφη με διαφορετική κοκκομετρία θεωρείται ότι δεν είναι επιδεκτικά σε ρευστοποίηση (Πιτιλάκης, 2010).

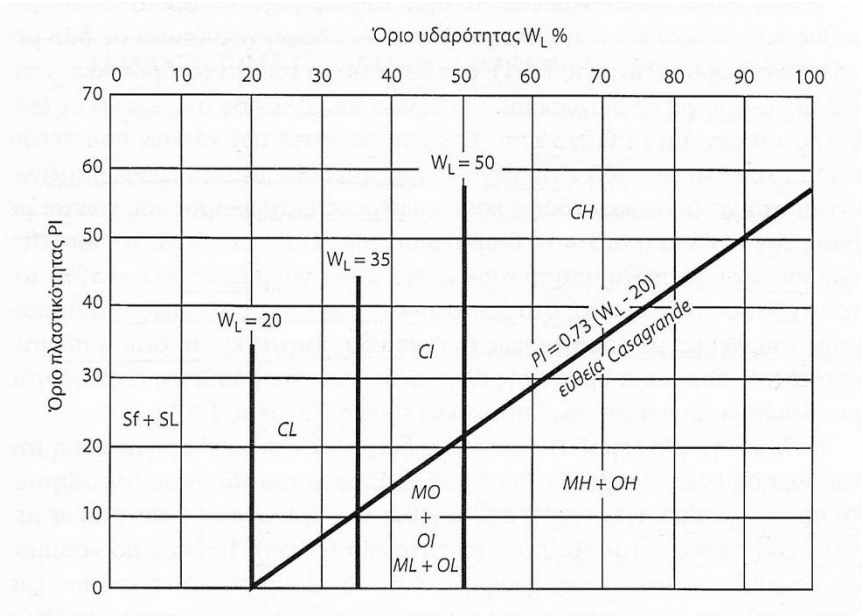
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γ
Α.Π



Σχήμα 2.4 Γραφική αναπαράσταση των κινέζικων κριτηρίων (from Rodertson & Wride 1998, originally by Marcuson et al.1990). Η γραμμοσκιασμένη περιοχή οριοθετεί την περιοχή των μη επιδεκτικών προς ρευστοποίηση εδαφών

Εάν τα εδάφη με τα παραπάνω χαρακτηριστικά προβάλλονται πάνω από την ευθεία Casagrande ή A - γραμμή στο διάγραμμα πλαστικότητας (Σχήμα 2.5Σχήμα 2.4), τότε ο καλύτερος τρόπος για να προσδιοριστεί η συμπεριφορά τους σε κυκλικές φορτίσεις είναι η εργαστηριακή δοκιμή. Ειδάλλως, τα αργιλώδη εδάφη μπορούν να θεωρηθούν μη επιδεκτικά σε ρευστοποίηση (Marcuson et al., 1990).



Σχήμα 2.5 Διάγραμμα πλαστικότητας (Casagrande) για την κατάταξη των λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Οι Andrews and Martin (2000) τροποποίησαν τα κινέζικα κριτήρια με βάση τα δεδομένα από μεταγενέστερους σεισμούς και τις προδιαγραφές στις Η.Π.Α. που αφορούσαν τη μέγιστη διάμετρο των αργιλικών υλικών (0.002mm αντί για 0.005mm). Οι τροποποιήσεις αυτές συνοψίζονται στον Πίνακας 2.1.

Πίνακας 2.1 Τροποποιημένα κινέζικα κριτήρια (Andrews and Martin, 2000)

	Όριο υδαρότητας, LL<32 (1)	**Όριο υδαρότητας, LL≥32**
Ποσοστό κόκκων μεγέθους αργίλου <10% (2)	Επιδεκτικό	Χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση (λαμβάνοντας υπόψη τους μη-πλαστικούς κόκκους μεγέθους αργίλου όπως οι μαρμαρυγίες)
Ποσοστό κόκκων μεγέθους αργίλου ≥10%	Χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση (λαμβάνοντας υπόψη τους μη-πλαστικούς κόκκους μεγέθους αργίλου όπως αυτοί που βρίσκονται σε ορυχεία και λατομεία)	Μη επιδεκτικό

Σημειώσεις:

1. Το όριο υδαρότητας καθορίζεται από τη συσκευή Casagrande
2. Ως άργιλος ορίζονται οι κόκκοι που είναι μικρότεροι από 0.002mm

Το 1999 παρατηρήθηκαν φαινόμενα ρευστοποίησης στις πόλεις Wu Feng, Yuan Lin Nantou στην Ταϊβάν και στο Adapazari στην Τουρκία ύστερα από τους σεισμούς στο Chi – Chi και στο Kocaeli αντίστοιχα. Σε αυτές τις πόλεις σημειώθηκαν εκτεταμένες εδαφικές και δομικές αστοχίες, λόγω της ρευστοποίησης, σε εδάφη όπου είχαν χαρακτηρισθεί ως μη ρευστοποιήσιμα με βάση τα «κινέζικα κριτήρια» (Seed et al., 2003).

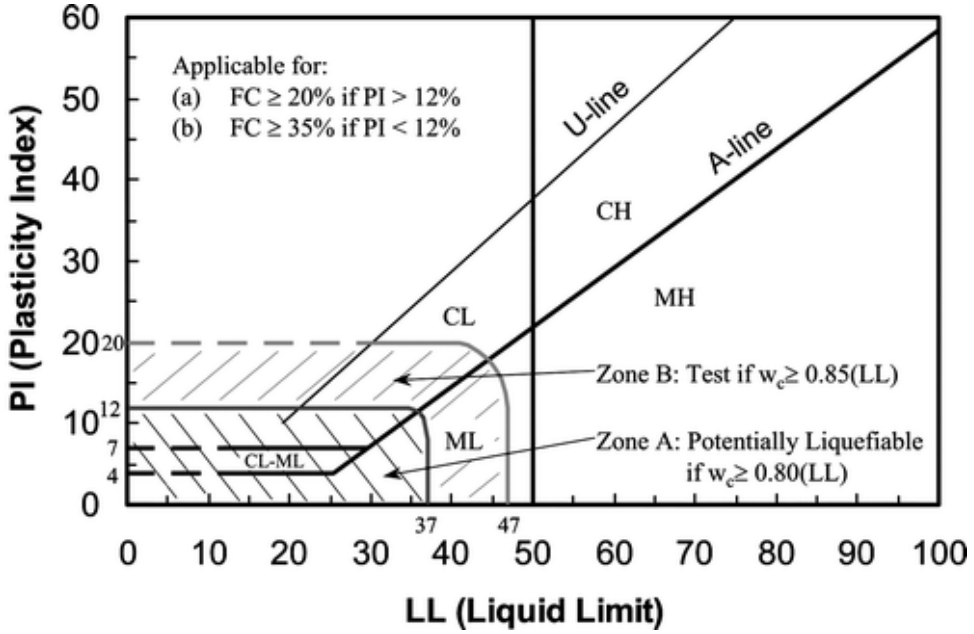
Οι Seed et al. (2003) βασιζόμενοι σε παρατηρήσεις μετά από τα παραπάνω σεισμικά γεγονότα καθώς και σε εργαστηριακές δοκιμές πρότειναν κάποια κριτήρια τα οποία συνοψίζονται σε ένα διάγραμμα (Σχήμα 2.6). Σε αντίθεση με τα κινέζικα κριτήρια οι Seed et al.(2003) δε χρησιμοποίησαν το ποσοστό των λεπτόκοκκων ως κριτήριο αλλά το δείκτη πλαστικότητας (PI) και διατήρησαν τα άλλα δύο κριτήρια που αφορούν το όριο υδαρότητας (LL) και τη περιεχόμενη υγρασία (w_c). Σε αυτό το

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

διάγραμμα εντοπίζονται δύο ζώνες Α και Β. Στην πρώτη ζώνη ανήκουν τα εδάφη με PI < 12, LL < 37 και w_c > 80% * LL. Τα εδάφη αυτά χαρακτηρίζονται ως εν δυνάμει ρευστοποιήσιμα. Στη ζώνη Β ανήκουν τα εδάφη με PI ≤ 20, LL <37 και w_c > 85%*LL. Τα εδάφη αυτά μπορεί να είναι επιδεκτικά σε ρευστοποίηση αλλά σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται και εργαστηριακή δοκιμή (Green and Ziotopoulou, 2015). Τα κριτήρια τα οποία χρησιμοποιούνται από τους ερευνητές για την αναγνώριση τέτοιων εδαφών, σύμφωνα με τον Youd (1998), είναι τα παρακάτω:

- Τιμή ευαισθησίας μεγαλύτερη του 4,
- Όριο υδαρότητας μικρότερο του 40
- Περιεχόμενη υγρασία μεγαλύτερη του 90% του LL και
- Διορθωμένος αριθμός κρούσεων δοκιμής SPT $(N_1)_{60}$ μικρότερος του 5



Σχήμα 2.6 Κριτήρια επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση (Seed et al.,2003)

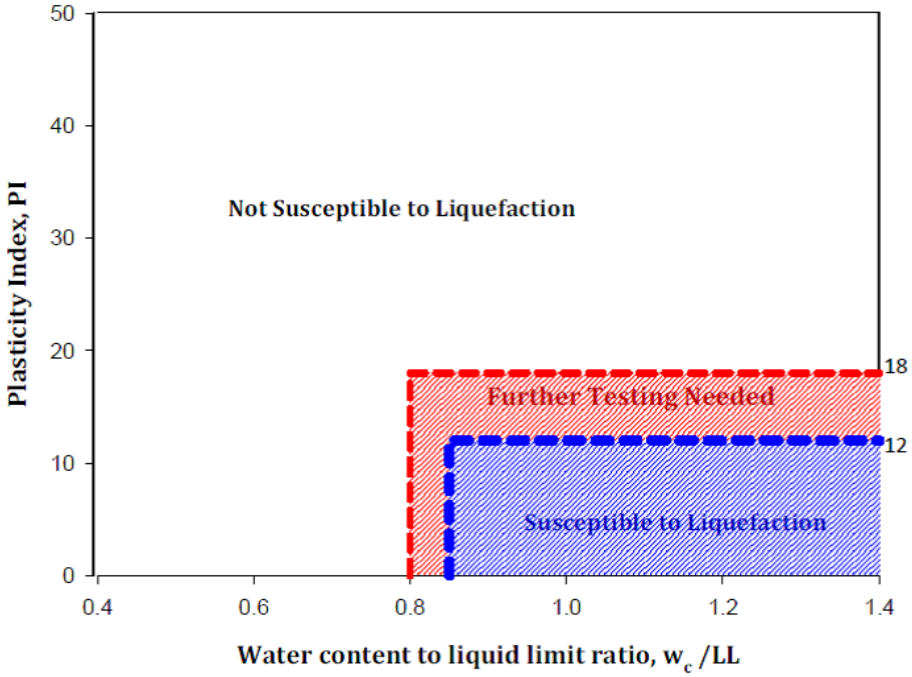
Βασιζόμενοι σε παρατηρήσεις μετά από το σεισμό του 1999 στο Kocaeli αλλά και σε μετέπειτα εργαστηριακές δοκιμές οι Bray και Sancio (2006) πρότειναν κάποια κριτήρια για την αξιολόγηση της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση τα οποία συνοψίζονται σε ένα διάγραμμα (Σχήμα 2.7). Με βάση το διάγραμμα αυτό:

- τα εδάφη με w_c /LL > 0.85 και PI < 12 είναι επιδεκτικά σε ρευστοποίηση,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

- τα εδάφη με w_c /LL > 0.80 και 12 < PI < 18 μπορεί να είναι επιδεκτικά σε ρευστοποίηση και προτείνεται περαιτέρω εργαστηριακές δοκιμές
- τα εδάφη με PI > 18 θεωρούνται μη επιδεκτικά σε ρευστοποίηση κάτω από χαμηλές πιέσεις λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε άργιλο



Σχήμα 2.7 Κριτήρια επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση (Bray and Sancio, 2006)

Στην παρούσα διατριβή ο χαρακτηρισμός των εδαφών αναφορικά με την επιδεκτικότητα τους σε ρευστοποίηση πραγματοποιήθηκε με βάση τα κριτήρια των Bray και Sancio (2006).

Περιβάλλον απόθεσης και γεωλογική ηλικία

Ο Iwasaki (1986) έχοντας επεξεργαστεί μεγάλο αριθμό δεδομένων εμφανίσεων ρευστοποίησης από σεισμούς στην Ιαπωνία, διαμόρφωσε ένα πίνακα (Πίνακας 2.2), στον οποίο παρουσιάζεται το δυναμικό ρευστοποίησης εδαφικών σχηματισμών ανάλογα με το γεωμορφολογικό περιβάλλον τους (Παπαθανασίου, 2006).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πίνακας 2.2 Ταξινόμηση εδαφών με βάση το περιβάλλον απόθεσης (Iwasaki, 1986) (τροποποιημένο από Παπαθανασίου, 2006)

Κατηγορία	Γεωμορφολογικές ενότητες	Δυναμικό ρευστοποίησης
Α	Πρόσφατος ποτάμιος βυθός, παλιός ποτάμιος βυθός, βάλτος	Υψηλή πιθανότητα ρευστοποίησης
Β	Ριπίδια, ποτάμιες προσχώσεις, πλημμυρικές πεδιάδες	Πιθανότητα ρευστοποίησης
Γ	Λόφοι, βουνά	Μη ρευστοποιήσιμα

Κορεσμένες, χαλαρές και ψαθυρές αποθέσεις παρουσιάζουν το μεγαλύτερο βαθμό επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση (Youd, 1998). Επειδή η πυκνότητα και ο βαθμός συγκόλλησης των εδαφών αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, η αύξηση της αντοχής έναντι ρευστοποίησης των σχηματισμών θα είναι ανάλογη της ηλικίας τους. Κατά συνέπεια νεώτερες αποθέσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση από παλιότερες (Kramer, 1996). Εδαφικοί σχηματισμοί ηλικίας Άνω Ολοκαίνου είναι περισσότερο επιδεκτικοί προς ρευστοποίηση από σχηματισμούς του Ολοκαίνου, ενώ ρευστοποίηση εδαφών Πλειστοκαινικής ηλικίας έχει προκληθεί σε συγκεκριμένες περιστάσεις. Τέλος, δεν έχουν παρατηρηθεί σύγχρονα φαινόμενα ρευστοποίησης σε ιζήματα προ – Πλειστοκαίνου (Obermeier, 1996) (Παπαθανασίου, 2006). Επιπλέον σύμφωνα με τους Andrus et al. (2009) οι οποίοι μελέτησαν τις ταχύτητες των κυμάτων χώρου (διαμήκη) συσχετίζοντάς αυτές με την αντίσταση σε διείσδυση τα «ηλικιωμένα» εδάφη είναι πιο ανθεκτικά στη ρευστοποίηση αλλά είναι ακόμα ευπαθή σε αυτήν. Στον Πίνακας 2.3 παρουσιάζεται μία ταξινόμηση της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση ανάλογα με το περιβάλλον απόθεσης, όπως παρατηρείται τα εδάφη «παλαιότερης» γεωλογικής ηλικίας παρουσιάζονται λιγότερο ευπαθή σε ρευστοποίηση.

Επιπλέον, είναι σημαντικός και ο χρόνος από την τελευταία διατάραξη του εδάφους, ο οποίος έχει αποδειχθεί ότι είναι πιο σχετικός με την επιδεκτικότητα του εδάφους σε ρευστοποίηση από ότι η γεωλογική του ηλικία (Andrus et al., 2009).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Πίνακας 2.3 Ταξινόμηση της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση ανάλογα με το περιβάλλον απόθεσης (Youd & Perkings 1978)

Type of deposit	General distribution of cohesionless sediments in deposits	Likelihood that cohesionless sediments, *when saturated*, would be susceptible to liquefaction (by age of deposit)			
		< 500 year	Holocene	Pleistocene	Pre-pleistocene
Continental Deposits					
River channel	Locally variable	Very high	High	Low	Very low
Flood plain	Locally variable	High	Moderate	Low	Very low
Alluvial fan and plain	Widespread	Moderate	Low	Low	Very low
Marine terraces and plains	Widespread	-----	Low	Very low	Very low
Delta and fan-delta	Widespread	High	Moderate	Low	Very low
Lacustrine and playa	Variable	High	Moderate	Low	Very low
Colluvium	Variable	High	Moderate	Low	Very low
Talus	Widespread	Low	Low	Very low	Very low
Dunes	Widespread	High	Moderate	Low	Very low
Loess	Variable	High	High	High	Unknown
Glacial till	Variable	Low	Low	Very low	Very low
Tuff	Rare	Low	Low	Very low	Very low
Tephra	Widespread	High	High	?	?
Residual soils	Rare	Low	Low	Very low	Very low
Sebka	Locally variable	High	Moderate	Low	Very low
Coastal Zone					
Delta	Widespread	Very high	High	Low	Very low
Esturine	Locally variable	High	Moderate	Low	Very low
Beach: high wave energy	Widespread	Moderate	Low	Very low	Very low
Beach: low wave energy	Widespread	High	Moderate	Low	Very low
Lagoonal	Locally variable	High	Moderate	Low	Very low
Fore shore	Locally variable	High	Moderate	Low	Very low
Artificial					
Uncompacted fill	Variable	Very high	-----	-----	-----
Compacted fill	Variable	Low	-----	-----	-----

Note: When the water table is deeper than 10 m, the likelihood of liquefaction in most deposits is low.

Τέλος, επιφανειακές εκδηλώσεις (π.χ. κώνοι άμμου) του φαινομένου της ρευστοποίησης συνήθως συνδέονται με ρευστοποιήσιμους σχηματισμούς που βρίσκονται σε βάθος μικρότερο από 15 μέτρα, διότι οι σχηματισμοί αυτοί είναι νεότεροι και πιο επιδεκτικοί σε ρευστοποίηση (Idriss and Boulanger, 2008).

Στάθμη υδροφόρου ορίζοντα

Ένας εδαφικός σχηματισμός όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, για να είναι επιδεκτικός σε ρευστοποίηση θα πρέπει να είναι κορεσμένος δηλαδή να βρίσκεται

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Καθώς η αντοχή έναντι ρευστοποίησης ενός στρώματος σε μια στρωματογραφική στήλη αυξάνεται όταν αυξάνεται η πίεση των υπερκείμενων (γεωστατική τάση) και η ηλικία του, δηλαδή είναι ανάλογη του βάθους αφού και οι δύο παράγοντες αυξάνονται με αυτό, τότε θα αυξάνεται και με το βάθος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Συνεπώς, όσο πιο χαμηλή είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα τόσο μεγαλύτερη αντίσταση θα προβάλει το συγκεκριμένο εδαφικό στρώμα σε ενδεχόμενη πιθανότητα ρευστοποίησης (Youd, 1998). Σύμφωνα με αποτελέσματα γεωτεχνικών ερευνών σε θέσεις εμφάνισης ρευστοποίησης, τα περισσότερα περιστατικά παρουσιάστηκαν σε περιοχές όπου η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρισκόταν έως 3 μέτρα βάθος από την επιφάνεια, μερικές εμφανίσεις συνδέονται με βάθος στάθμης υδροφόρου έως τα 10 μέτρα, ενώ ελάχιστες είναι οι περιπτώσεις ρευστοποίησης σε θέσεις όπου η υδροστατική στάθμη βρισκόταν σε βάθη μεγαλύτερα των 15 μέτρων (Youd, 1998) (Παπαθανασίου, 2006). Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 2.4 συσχετισμού του βάθους του υδροφόρου ορίζοντα με την επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση.

Πίνακας 2.4 Επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση ανάλογα με το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα (Youd, 1998) (τροποποιημένο από Παπαθανασίου, 2006)

Βάθος στάθμης υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια (m)	**Επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση**
< 3	Πολύ υψηλή
3 – 6	Υψηλή
6 – 10	Μέτρια
10 – 15	Χαμηλή
> 15	Πολύ χαμηλή

Ιστορικά περιστατικά

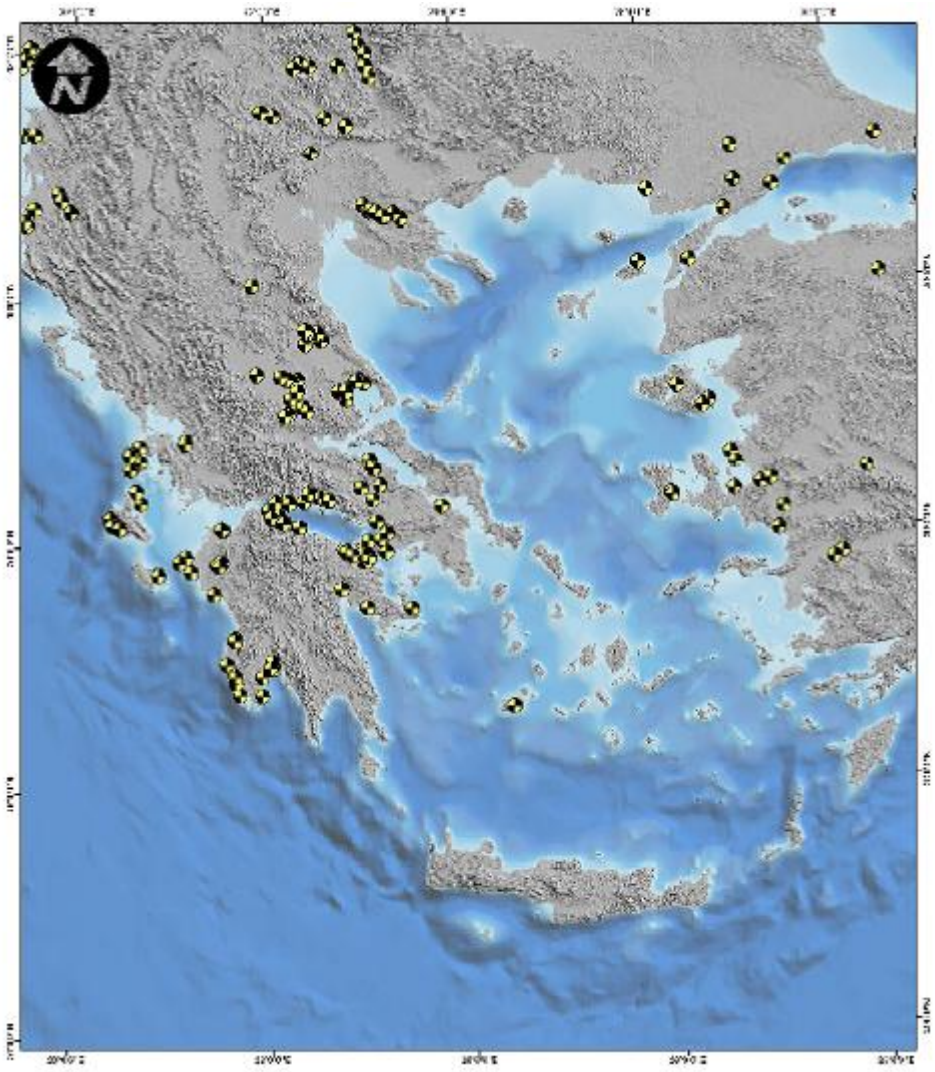
Οι παρατηρήσεις από προηγούμενα σεισμικά γεγονότα παρέχουν πολλές πληροφορίες για την επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση ορισμένων τύπων εδαφών και περιοχών. Τα εδάφη που έχουν ρευστοποιηθεί στο παρελθόν μπορούν να ρευστοποιηθούν πάλι σε μετέπειτα σεισμούς, διότι όταν ένα στρώμα χαλαρού σχηματισμού υπόκειται ενός αδιαπέρατου και ρευστοποιείται, τότε πράγματι το μεγαλύτερο τμήμα του συμπυκνώνεται μετά το συμβάν. Στην κορυφή όμως του συγκεκριμένου στρώματος, δηλαδή κοντά στην επαφή με το αδιαπέρατο, ένα τμήμα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

του παραμένει σε χαλαρή κατάσταση το οποίο συνεχίζει να παρουσιάζει μεγάλη επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση ακόμα και μετά την εκτόνωση του φαινομένου. Αυτό συμβαίνει διότι στην περιοχή αυτή συγκεντρώνονται ποσότητες νερού οι οποίες στη συνέχεια χαλαρώνουν τους δεσμούς μεταξύ των κόκκων (Obermeier, 1996) (Παπαθανασίου, 2006).

Οι Papathanassiou et al. (2010) βασιζόμενοι σε 55 σεισμικά γεγονότα τα οποία συνδέονται με 321 περιπτώσεις ρευστοποίησης δημιούργησαν ένα χάρτη όπου αποτυπώνονται τα φαινόμενα ρευστοποίησης στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου από το 1509 έως το 2008. Σε αυτό το χρονικό διάστημα στην περιοχή της Θεσσαλίας, στα νησιά του Ιονίου και στον Κορινθιακό κόλπο εντοπίζονται εδαφικοί σχηματισμοί οι οποίοι έχουν ρευστοποιηθεί περισσότερο από μία φορά.



Σχήμα 2.8 Χάρτης αποτύπωσης των ιστορικών περιστατικών ρευστοποίησης στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου από το 1509 έως το 2008 (Papathanassiou et al., 2010)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3. Αξιολόγηση ρευστοποίησης

Σύμφωνα με τους Seed and Idriss (1970) τα στοιχεία γα την αξιολόγηση της ρευστοποίησης είναι (Ιωσηφίδου, 2003):

- Το εύρος και η διάρκεια επιβολής των διατμητικών τάσεων, οι οποίες είναι αποτέλεσμα της σεισμικής φόρτισης
- Το εύρος των διατμητικών τάσεων, οι οποίες απαιτούνται για να προκληθεί ρευστοποίηση
- Η κινητοποίηση της ρευστοποίησης που οδηγεί στην ανάπτυξη υψηλών πιέσεων πόρων δηλαδή πότε ο συντελεστής ασφαλείας είναι μικρότερος ή ίσος με τη μονάδα
- Οι συνέπειες δηλαδή οι εδαφικές παραμορφώσεις

Η διατμητική τάση τ_i που προκαλείται από τη σεισμική φόρτιση σε βάθος z υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ανάλυση της εδαφικής απόκρισης με την γραμμική ανάλυση των ολικών τάσεων, τη μη γραμμική ανάλυση των ολικών τάσεων και τη μη γραμμική ανάλυση των ενεργών τάσεων. Σύμφωνα με τους Seed and Idriss (1970) η μέγιστη τάση σε βάθος z δίνεται από τον τύπο:

$$(\tau_i)_{max} = \sigma_v * a_{max} * r_d$$

Όπου: σ_v είναι η ολική κατακόρυφη τάση

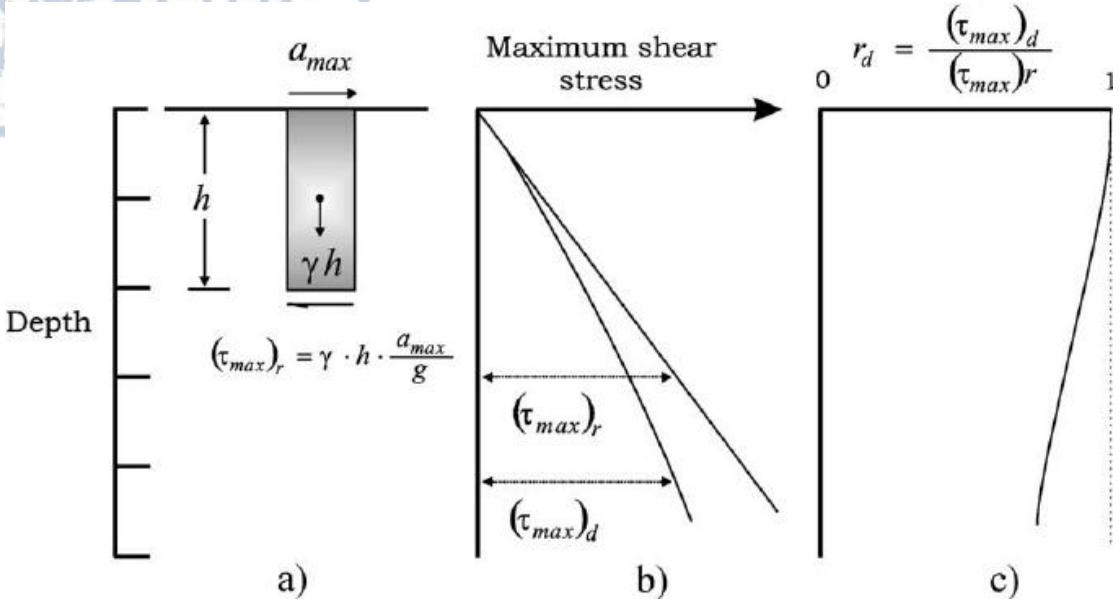
a_{max} είναι η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους (PGA)

και r_d είναι ο συντελεστής μειώσεως της τάσης με το βάθος z (Σχήμα 3.1).

Η μέγιστη διατμητική τάση εμφανίζεται τουλάχιστον μία φορά κατά τη διάρκεια της εδαφικής φόρτισης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 3.1 Υπολογισμός του συντελεστή r_d (Seed and Idriss, 1970)

Η αξιολόγηση της δυνατότητας να προκληθεί ρευστοποίηση ολοκληρώνεται με τη σύγκριση της σεισμικής φόρτισης και της αντίστασης σε ρευστοποίησης. Η πιο κοινή προσέγγιση στο χαρακτηρισμό της σεισμικής φόρτισης είναι μέσω της χρήσης των ανακυκλικών διατμητικών τάσεων. Με την κανονικοποίηση της διατμητικής τάσης προς την αρχική ενεργό κατακόρυφη τάση, η ανακυκλική διατμητική τάση (Cyclic Stress Ratio, CSR, όπου $CSR=(\tau_i)_{max}/\sigma'_v$) μπορεί να αντιπροσωπεύσει το επίπεδο φόρτισης που προκαλείται σε διαφορετικά βάθη από έναν σεισμό. Υπάρχουν διαφορετικές διαδικασίες για τον υπολογισμό των ανακυκλικών διατμητικών τάσεων. Μπορούν να εκτελεσθούν αναλύσεις δυναμικής απόκρισης ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια "απλουστευμένη" προσέγγιση για να υπολογιστεί ο λόγος CSR ως συνάρτηση του μέγιστου εύρους επιτάχυνσης του εδάφους (Ιωσηφίδου, 2003).

Σύμφωνα με τους Seed και Idriss (1971), ο λόγος των αναπτυσσόμενων κυκλικών τάσεων (CSR) σεισμικής δόνησης μεγέθους M=7.5, ενός εδαφικού σχηματισμού σε βάθος z, μπορεί να προσδιοριστεί με τη βοήθεια της παρακάτω εξίσωσης, για επίπεδες ή με μικρή κλίση περιοχές:

$$CSR_{7,5} = 0.65* (a_{max}/g) *(\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})* rd$$

Όπου: amax είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας

σ_{vo} είναι η ολική κατακόρυφη τάση

σ'_{vo} είναι η ενεργή τάση

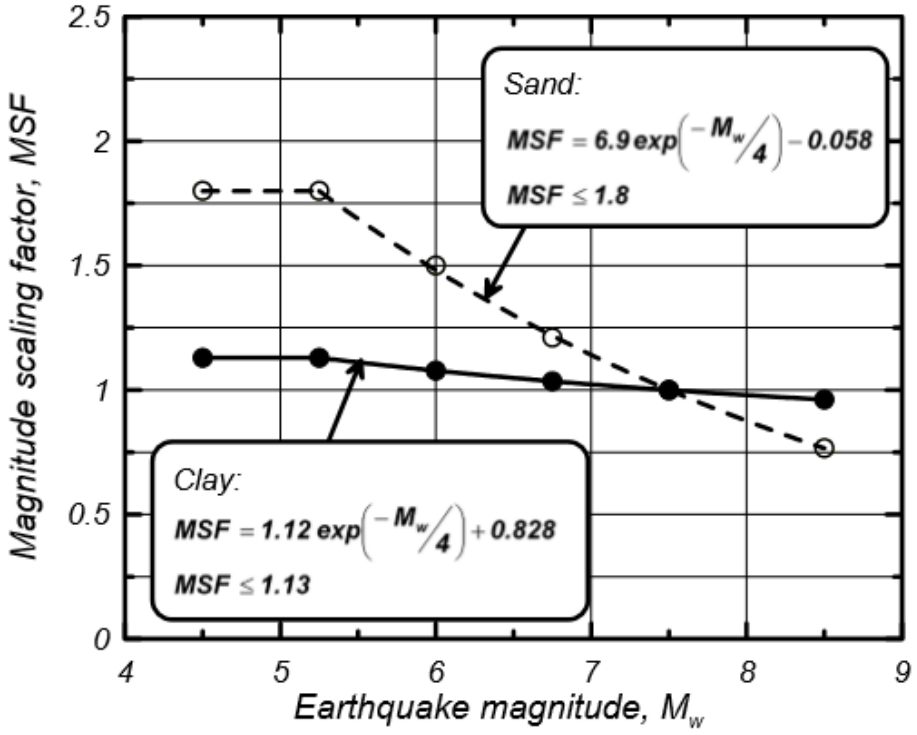
και rd είναι ο συντελεστής μείωσης της τάσης με το βάθος z.

Ο συντελεστής 0.65 χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της μέγιστης τιμής του CSR κατά τη διάρκεια της φόρτισης στην αντιπροσωπευτική τιμή του CSR για όλη τη διάρκεια της σεισμικής φόρτισης (Παπαθανασίου, 2006).

Για σεισμούς με διαφορετικά μεγέθη, προτείνεται ο διορθωτικός πολλαπλασιαστικός συντελεστής MSF (Magnitube Scaling Factor). Σύμφωνα με τους Boulanger and Idriss (2007) οι σχέσεις υπολογισμού του συντελεστή MSF είναι:

- Για άμμο: MSF= 1.12exp (-Mw/4) + 0.828, για MSF ≤ 1.8
- Για άργιλο: MSF= 6.9exp ($-M_w$/4) - 0.058, MSF ≤ 1.13

Όπου: M_w είναι το μέγεθος ροπής του σεισμού



Σχήμα 3.2 Σχέσεις υπολογισμού του MSF για άμμο και άργιλο (Boulanger and Idriss, 2007)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Αφού υπολογιστεί ο συντελεστής MSF, υπολογίζεται η τελική τιμή του λόγου των αναπτυσσόμενων κυκλικών τάσεων (CSR) σεισμικής δόνησης μεγέθους M=7.5, ενός εδαφικού σχηματισμού σε βάθος z:

$$CSR_{7,5} = 0.65* (a_{max}/g) *(\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})* rd *(1/ MSF)$$

Στον Πίνακας 3.1 παρουσιάζονται οι τιμές του MSF σε σχέση με το μέγεθος του σεισμού σύμφωνα με δημοσιευμένες επιστημονικές εργασίες.

Πίνακας 3.1 Συντελεστές διόρθωσης MSF του μεγέθους του σεισμού (Πιτιλάκης, 2010;NCEER ,1997)

Μέγεθος M	Seed and Idriss (1982)	Youd and Idriss (1977, 2001)	Ambraseys (1988)	Andrus and Stokoe	EC8
5.5	1.43	2.20	2.86	2.8	2.86
6	1.32	1.76	2.20	2.1	2.20
6.5	1.19	1.44	1.69	1.6	1.69
7	1.08	1.19	1.30	1.25	1.30
7.5	1.00	1.00	1.00	1.00	
8	0.94	0.84	0.67	0.80	0.67
8.5	0.89	0.72	0.44	0.65	

Για να χαρακτηριστεί ένας εδαφικός σχηματισμός ως ρευστοποιήσιμος χρειάζεται να έχει υπολογιστεί η ένταση της σεισμικής φόρτισης που είναι η τιμή του λόγου ανακυκλικής διατμητικής τάσης (CSR) και η αντίσταση σε ρευστοποίηση του εδαφικού σχηματισμού. Η αντίσταση σε ρευστοποίηση μπορεί να υπολογιστεί με ένα πλήθος επιτόπου δοκιμών και αποτελεί τη τιμή του λόγου ανακυκλικής αντοχής CRR (Cyclic Resistance Ratio). Οι δοκιμές που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η πρότυπη δοκιμή διείσδυσης SPT (Standard Penetration Test), η δοκιμή στατικής πενετρομέτρησης CPT (Cone Penetration Test), η δοκιμή μέτρησης της ταχύτητας των εγκαρσίων κυμάτων (V_S) και τέλος η δοκιμή Becker BPT (Becker Penetration Test) για χαλικώδη εδάφη. Για να χαρακτηριστεί λοιπόν, ένας εδαφικός σχηματισμός ρευστοποιήσιμος χρησιμοποιείται ο συντελεστής ασφαλείας F ο οποίος ισούται με:

$$F=CRR/CSR$$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Εάν είναι μεγαλύτερος της μονάδας (F > 1) σημαίνει ότι η αντίσταση σε ρευστοποίηση υπερβαίνει τη σεισμική φόρτιση και επομένως δεν ρευστοποιείται ο εδαφικός σχηματισμός.

3.1 Μεθοδολογία εκτίμησης δυναμικού ρευστοποίησης με επιτόπου δοκιμές και υπολογισμός CRR

Στη παρούσα διατριβή για τον προσδιορισμό του CRR χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από επιτόπου δοκιμές πρότυπης διείσδυσης (SPT). Στη συνέχεια θα αναλυθεί η διαδικασία προσδιορισμού του CRR μέσω της δοκιμής SPT.

Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης SPT (Standard Penetration Test)

Η πρότυπη δοκιμή διείσδυσης SPT διενεργείται κατά τη διάρκεια διάνοιξης της ερευνητικής – δειγματοληπτικής γεώτρησης. Διενεργείται στον εκάστοτε πυθμένα της γεώτρησης και στα επιθυμητά βάθη. Στη δοκιμή πρότυπης διείσδυσης, ένα πρότυπο αντίβαρο βάρους 63,5kg πέφτει ελεύθερα από ένα ύψος 76cm με αυτόματο μηχανισμό και καταγράφεται ο αριθμός των χτύπων (ρίψεις του αντίβαρου) για διείσδυση του δειγματολήπτη Terzaghi κατά 15 εκατοστά στο έδαφος, με ελεύθερες και επαναλαμβανόμενες κρούσεις. Η παραπάνω διαδικασία, γίνεται μέχρι η συνολική διείσδυση φθάσει στα 45 εκατοστά (3 τιμές). Ως αριθμός N ονομάζεται ο αριθμός των κρούσεων που απαιτήθηκαν για τη διείσδυση του διαιρετού δειγματολήπτη κατά 30cm στο έδαφος και εκφράζει την αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση του δειγματολήπτη. Δε λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός των πρώτων 15cm καθώς το έδαφος έχει διαταραχθεί κατά τη διάτρηση και την εκτέλεση της δοκιμής (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002).

Σε περίπτωση πολύ συνεκτικών εδαφών ή αμμοχάλικων με κροκάλες εάν στις πενήντα (50) κρούσεις δεν έχει πραγματοποιηθεί διείσδυση του δειγματολήπτη κατά 15cm (άρνηση), τότε σημειώνονται οι πενήντα κρούσεις και η αντίστοιχη διείσδυση του δειγματολήπτη στο έδαφος. Η δοκιμή θα πρέπει να εκτελείται όπως ορίζεται από τις προδιαγραφές ASTM – 1586 και από τις αντίστοιχες ελληνικές Ε106/86 ΥΠΕΧΩΔΕ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Για τον υπολογισμό του λόγου ανακυκλικής κινητικότητας CRR μέσω της δοκιμής SPT χρησιμοποιείται η εξίσωση του Youd (1998) η οποία αφορά σεισμική φόρτιση μεγέθους M=7.5 και εδάφη με ποσοστό λεπτόκοκκων FC<5%:

$$CRR_{7.5} = (a + cx + ex^2 + gx^3) / (1+ bx + dx^2 + fx^3 + hx^4)$$

Όπου:

- a=0.048
- b=-0.1248
- c=-0.004721
- d=0.009578
- e=0.0006136
- f=-0.0003285
- g=-1.674E-05
- h=3.714E-06
- το x ισούται με το $(N_1)_{60cs}$ και θα υπολογιστεί παρακάτω.

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει για τιμές του συντελεστή διόρθωσης, $(N_1)_{60cs}$, μικρότερες του 30, αφού για μεγαλύτερες τιμές του N το έδαφος είναι πολύ σκληρό για να ρευστοποιηθεί και χαρακτηρίζεται ως μη ρευστοποιήσιμο. Ο αριθμός $(N_1)_{60cs}$ αποτελεί την ισοδύναμη αντίσταση για καθαρή άμμο. Κατά την ημερίδα του NCEER το 1998, τα αποτελέσματα της οποίας δημοσιεύτηκαν από τους Youd and Idriss (2001) προτάθηκε μια διαφορετική σχέση για τον υπολογισμό του CRR:

$$CRR_{7.5} = 1/(34-(N_1)_{60cs}) + (N_1)_{60cs} /135 + 50 / [10 (N_1)_{60cs} + 45]2 -1/200$$

Ο αριθμός $(N_1)_{60cs}$ προκύπτει από την τιμή του αριθμού των κρούσεων σύμφωνα με την εξίσωση:

$$(N_1)_{60cs}=\alpha +\beta(N_1)_{60}$$

Όπου:

i. $\alpha = 0$ και $\beta = 1.0$ για $FC \leq 5\%$
ii. $\alpha = \exp[1.76 - (190/FC^2)]$ και $\beta = [0.99 + (FC1{,}5/1000)]$ για $5\% < FC < 35\%$
iii. $\alpha = 5.0$ και $\beta = 1.2$ για $FC \geq 35\%$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η τιμή του $CRR_{7.5}$ μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με του Boulanger and Idriss (2004) με τη βοήθεια του τύπου:

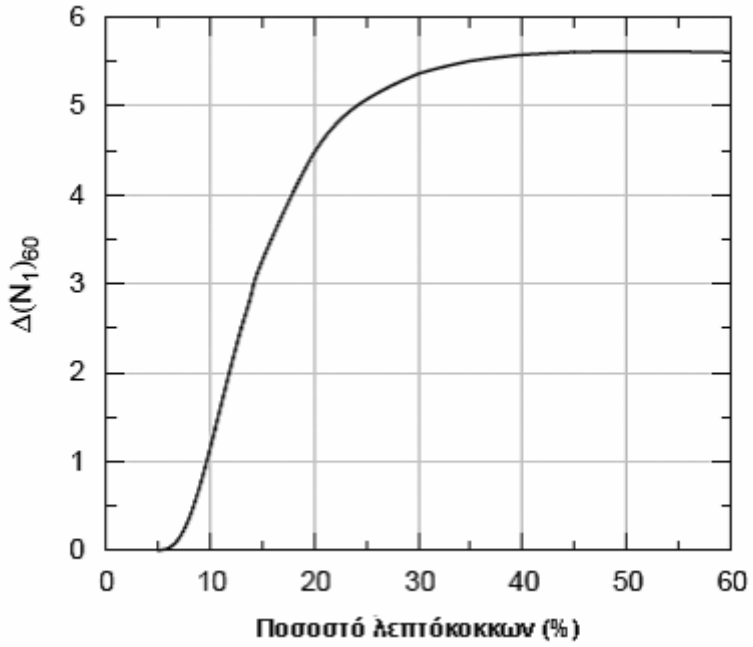
$$CRR_{7.5}=\exp\{[(N_1)_{60cs}/14.1]+[(N_1)_{60cs}/126]^2-[(N_1)_{60cs}/23.6]3+[(N_1)_{60cs}/25.4]4-2.8\}$$

Επιπλέον οι Boulanger and Idriss (2004) δημοσίευσαν τον ακόλουθο τύπο βάση του οποίου προτείνουν να γίνεται διόρθωση στην τιμή $(N_1)_{60}$ για λεπτόκοκκα εδάφη:

$$(N_1)_{60cs}= (N_1)_{60} +\Delta(N_1)_{60}$$

Όπου $\Delta (N_1)_{60} = \exp \{1.63 + [9.7/(FC+0.1)] – [15.7/FC+0.1)^2]\}$ και FC είναι το ποσοστό των λεπτόκοκκων στον εδαφικό σχηματισμό (Παπαθανασίου, 2006).

Στο Σχήμα 3.3 απεικονίζεται η μεταβολή του $\Delta(N_1)_{60}$ με το ποσοστό FC των λεπτόκοκκων.



Σχήμα 3.3 Διάγραμμα μεταβολής της τιμής $(N_1)_{60}$ με το ποσοστό των λεπτόκοκκων σε ένα εδαφικό σχηματισμό (Boulanger and Idriss,2006)

Οι Seed et al.(2003) πρότειναν τον παρακάτω τύπο για τον υπολογισμό του $(N_1)_{60cs}$:

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

$$(N_1)_{60cs}=(N_1)_{60}*C$$

όπου ο συντελεστής C είναι ίσος με 1 για FC ≤ 5% ενώ λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του για FC ≥ 35%. Η εξίσωση βάση της οποίας υπολογίζεται ο συντελεστής είναι :

$$C = (1+0.004\ FC) + 0.05\ [\ FC / (N_1)_{60}\ ]$$

Όπου FC είναι το ποσοστό των λεπτόκοκκων εκφρασμένο ως καθαρός αριθμός και $(N_1)_{60}$ είναι ο αριθμός των κρούσεων σε μονάδες blows/ft.

Ο αριθμός $(N_1)_{60}$ προκύπτει από την τιμή του αριθμού των κρούσεων από τη δοκιμή SPT σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$(N_1)_{60} = N*C_N*C_E*C_B*C_S*C_R$$

Όπου:

- N είναι ο αριθμός των κρούσεων από τη πρότυπη δοκιμή διείσδυσης SPT
- C_N είναι ο διορθωτικός συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η επιρροή της πίεσης σ'_{vo} του υπερκείμενου εδάφους (Liao and Whitman, 1986)
    - $C_N = (p_a/\sigma'_{vo})^{0.5}$, p_a=η ατμοσφαιρική πίεση και σ'_{vo}=η κατακόρυφη ενεργός τάση και παίρνει τιμές μικρότερες ή ίσες του 2 (Skempton, 1986).
    - Οι Boulanger and Idriss (2004) πρότειναν έναν νέο τύπο υπολογισμού του C_N :

$$C_N = (p_a/\sigma'_{vo})^m < 1.7$$

Όπου $m = 0.784 – 0.0768[(N_1)_{60}]^{1/2}$

- C_E είναι ο συντελεστής του λόγου ενέργειας (ER) δηλαδή η διόρθωση για το ποσοστό ενέργειας που απελευθέρωσε η σφύρα
- C_B είναι ο συντελεστής αναφερόμενος στη διάμετρος της γεώτρησης
- C_S είναι η διόρθωση για ειδικές συσκευές δοκιμίων (δείγματα με ή χωρίς φραγμό)
- C_R είναι ο διορθωτικός συντελεστής του μήκους των στελεχών κάτω από τον άκμονα

Οι παραπάνω διορθωτικοί συντελεστές συνοψίζονται στον Πίνακας 3.2.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

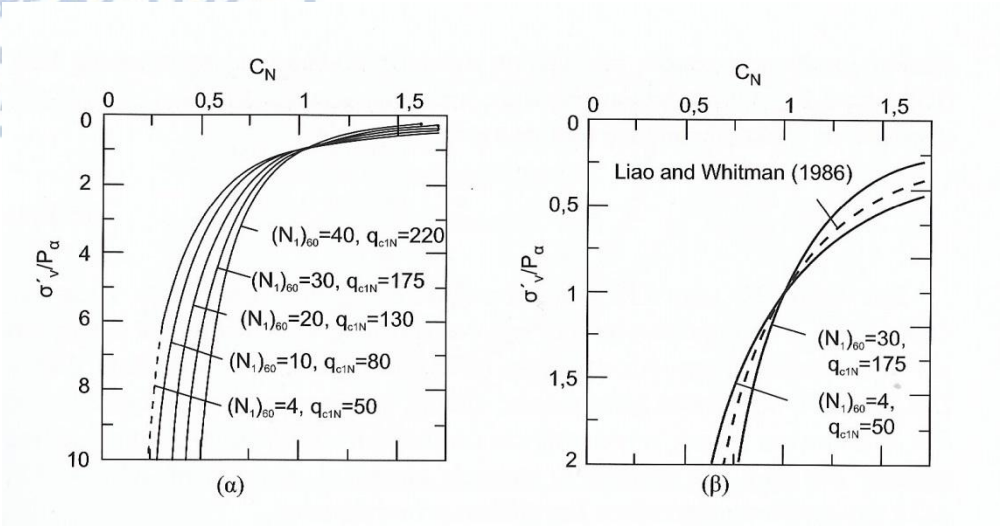
Πίνακας 3.2 Τιμές διορθωτικών συντελεστών για τη δοκιμή SPT (Μπουκοβάλας et al., 2006)

Παράγοντας	Είδος εξοπλισμού	Σύμβολο	Διόρθωση
Διόρθωση ενέργειας	"Donut hammer"	C_E	0.5 – 1.0
	"Safety hammer"		0.7 – 1.2
	"Automatic trip Donut – type hammer"		0.8 – 1.3
Διάμετρος γεώτρησης	65 – 115 χιλ.	C_B	1.00
	150 χιλ.		1.05
	200 χιλ.		1.15
Μήκος γεώτρησης	< 3 μ.	C_R	0.75
	3 – 4 μ.		0.80
	4 – 6 μ.		0.85
	6 – 10 μ.		0.95
	10 – 30 μ.		1.00
Μέθοδος δειγματοληψίας	"standard sampler"	C_S	1.00
	"sampler without limers"		1.1 – 1.3

Όσο αναφορά το διορθωτικό συντελεστή C_N, εκφράζει την επιρροή της γεωστατικής τάσης και μεταβάλλεται μεταξύ 0.2 και 1.6 για μεγάλα και μικρά βάθη αντίστοιχα. Στο Σχήμα 3.4 αποτυπώνονται οι τιμές του για μικρές (< 2atm) και υψηλές ενεργές (< 10atm) γεωστατικές τάσεις. Στο ίδιο σχήμα δίνονται και οι τιμές της κανονικοποιημένης αντίστασης αιχμής στατικής πενετρομέτρησης, διότι πρόκειται για τον ίδιο διορθωτικό συντελεστή μόνο που συμβολίζεται με C_Q (Πιτιλάκης, 2010).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμ



Σχήμα 3.4 Εκτίμηση του συντελεστή C_N επιρροής της ενεργού κατακόρυφης γεωστατικής τάσης στην εκτίμηση της κανονικοποιημένης τιμής $(N_1)_{60}$ του αριθμού κτύπων της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης, συναρτήσει της τιμής $(N_1)_{60}$. (α) ενεργός κατακόρυφη τάση μικρότερη από 10atm και (β) μικρότερη από 2atm (Πιτιλάκης, 2010)

3.2 Δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης

Για την εκτίμηση της δριμύτητας των φαινομένων της ρευστοποίησης οι Iwasaki et al.(1978) πρότειναν ως μέτρο εκτίμησης το δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης LPI (Liquefaction Potential Index) ο οποίος εξαρτάται (Παπαθανασίου, 2006):

- Από το πάχος του εν δυνάμει ρευστοποιήσιμου εδαφικού στρώματος
- Από το πάχος του επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος
- Από το συντελεστή ασφαλείας F

Ο δείκτης LPI ισούται με:

$$LPI=\int_0^Z F(z) * W(z) * dz$$

Όπου: $F(z)=1-F$ για $F \leq 1.0$ και $F(z)=0$ για $F > 1.0$

F είναι ο συντελεστής ασφαλείας του εδαφικού σχηματισμού σε βάθος z

και $W(z) =10-0.5* z$.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Το βάθος z, το οποίο αποτελεί το κατώτερο όριο διερεύνησης είναι αυτό των 20 μέτρων καθώς σε μεγαλύτερα βάθη δεν έχουν αναφερθεί περιστατικά ρευστοποίησης.

Οι Iwasaki et al. (1982) μετά την επεξεργασία των δεδομένων από τις επί τόπου δοκιμές SPT σε 85 θέσεις στην Ιαπωνία, 63 εκ των οποίων εμφάνισαν φαινόμενα ρευστοποίησης κατά τη διάρκεια 6 σεισμικών φορτίσεων (Nobi,1891 M=8.0, Tonankai, 1944 M=8.0, Fukui, 1948 M=7.3, Niigata, 1964 M=7.5 και Miyagi-ken-oki, 1978 M=7.4) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για τιμές LPI > 15 το δυναμικό ρευστοποίησης της συγκεκριμένης εδαφικής στήλης είναι πολύ υψηλό ενώ για LPI = 0 είναι πολύ μικρό (Παπαθανασίου, 2006). Στον Πίνακας 3.3 συνοψίζεται η προτεινόμενη βαθμονόμηση του δυναμικού ρευστοποίησης σε σχέση με το δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης.

Πίνακας 3.3 Πίνακας συσχέτισης των τιμών του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης μιας εδαφικής στήλης με το δυναμικό αυτής (Iwasaki et al.,1982)

Δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης (LPI)	**Δυναμικό ρευστοποίησης**
LPI = 0	Πολύ χαμηλό
0 < LPI ≤ 5	Χαμηλό
5 < LPI ≤ 15	Υψηλό
LPI > 15	Πολύ υψηλό

Όπως παρατηρείται στον Πίνακας 3.3 δεν υπάρχει αντιστοίχιση της κατηγορίας «μη εμφάνιση ρευστοποίησης», η οποία χαρακτηρίζει το δυναμικό μιας θέσης ως μη ρευστοποιήσιμο με συγκεκριμένη τιμή του δείκτη LPI. Το κενό αυτό καλύφθηκε το από το Sonmez (2003) ο οποίος τροποποίησε την παραπάνω βαθμονόμηση και τον τρόπο υπολογισμού του LPI (Πίνακας 3.4). Για τον υπολογισμό του LPI, υιοθέτησε ως όριο ρευστοποίησης ενός εδαφικού σχηματισμού την τιμή 1.2 του συντελεστή ασφαλείας. Διατήρησε τη γενική μορφή της προτεινόμενης από τους Iwasaki et al. (1978) εξίσωσης υπολογισμού του LPI τροποποιώντας μόνο τις εξισώσεις υπολογισμού του F(z) (Παπαθανασίου, 2006):

- $F(z) = 1-F$ για $F < 0.95$
- $F(z)= 2.10^6 e^{-18.427F}$ για $0.95 < F < 1.2$ (52β)
- $F(z)=0$ για $F > 1.2$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Πίνακας 3.4 Πίνακας συσχέτισης των τιμών του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης μιας εδαφικής στήλης με το δυναμικό αυτής (Sonmez,2003)

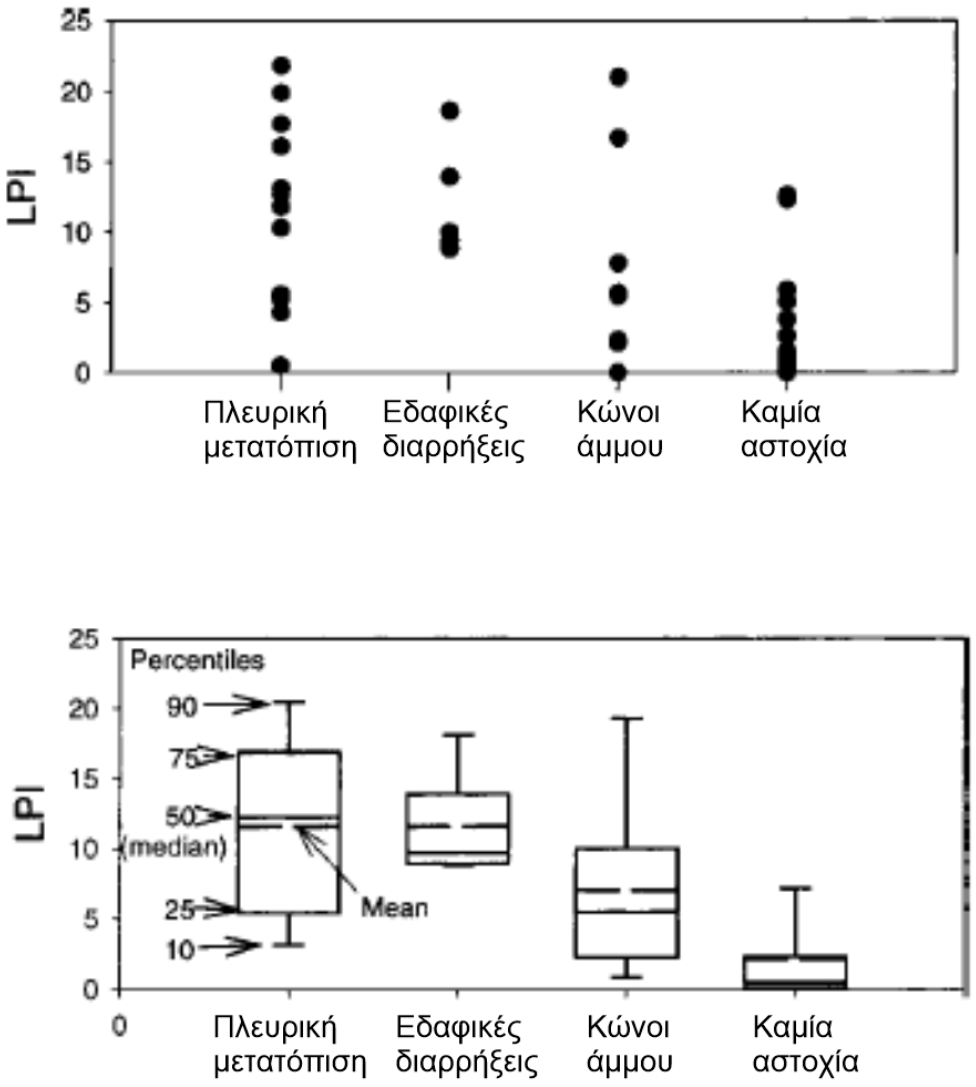
Δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης (LPI)	Δυναμικό ρευστοποίησης
LPI = 0	Μη ρευστοποιήσιμο
0 < LPI < 2	Χαμηλό
2 < LPI ≤ 5	Μέτριο
5 < LPI ≤ 15	Υψηλό
LPI > 15	Πολύ υψηλό

Οι Toprak and Holzer (2003) βασιζόμενοι σε δεδομένα από 243 δοκιμές στατικής πενετρομέτρησης κώνου (CPT), οι οποίες εκτελέστηκαν σε 27 θέσεις, πρότειναν μια συσχέτιση μεταξύ των τιμών πιθανότητας ρευστοποίησης για συγκεκριμένες τιμές του δείκτη LPI. Οι θέσεις αυτές εντοπίζονταν στην Καλιφόρνια και σε αυτές τις θέσεις έχουν προκληθεί φαινόμενα ρευστοποίησης από σεισμικές δονήσεις (San Fernando Valley (1971), Imperial Valley (1979), Superstition Hills (1987), Loma Prieta (1989) και Northbridge (1994)). Σύμφωνα λοιπόν με τους Toprak and Holzer (2003) όταν η τιμή του LPI μιας εδαφικής στήλης ισούται με 15 τότε υπάρχει 93% πιθανότητα εκδήλωσης επιφανειακών φαινομένων ρευστοποίησης ενώ όταν ισούται με 5 τότε υπάρχει πιθανότητα 53% (Toprak and Holzer, 2003).

Επιπλέον, οι Toprak and Holzer (2003) ταξινόμησαν τις μορφές των επιφανειακών εκδηλώσεων ρευστοποίησης (πλευρική μετατόπιση, εδαφικές διαρρήξεις και κώνοι άμμου) με την τιμή του δείκτη LPI. Αφού επεξεργάστηκαν τα δεδομένα από το σεισμό της Loma Prieta (1989) διαπίστωσαν ότι η μέση τιμή του LPI σε θέσεις εκδήλωσης πλευρικών μετατοπίσεων ισούται με 12, ενώ όσο μειώνεται αυτή η τιμή τόσο μειώνεται και η σφοδρότητα των εδαφικών αστοχιών μέχρι να ισούται με 0, όπου δεν εμφανίζονται φαινόμενα ρευστοποίησης. Στο Σχήμα 3.5 απεικονίζονται τα διαγράμματα συσχέτισης των εδαφικών αστοχιών με τις τιμές του LPI (Παπαθανασίου, 2006).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα
Α.



Σχήμα 3.5 Διαγράμματα συσχέτισης του δείκτη LPI με τις επιφανειακές εκδηλώσεις ρευστοποίησης για το σεισμό του 1989 στη Loma Prieta (Toprak and Holzer, 2003)

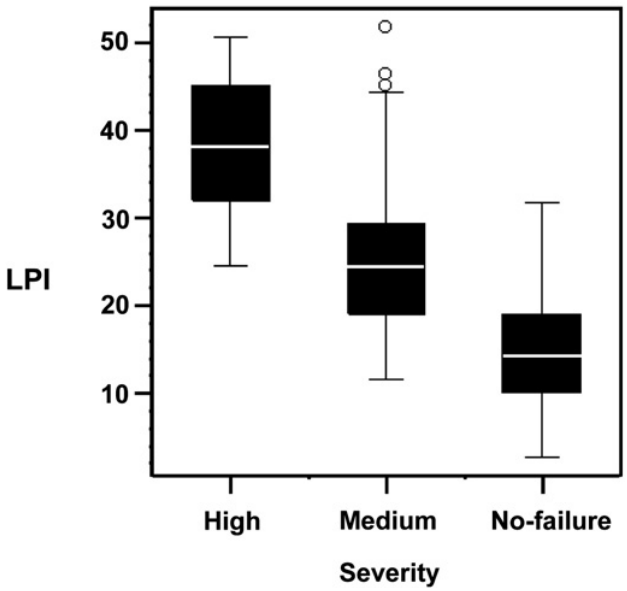
Ο Papathanassiou (2008) μέσω της μεθόδου θηκογραμμάτων (Σχήμα 3.6) δημιούργησε μία νέα ταξινόμηση της δριμύτητας των φαινομένων ρευστοποίησης με βάση την τιμή του LPI της εδαφικής στήλης, όπου:

- για LPI ≥ 32, αναμένονται μεγάλης δριμύτητας φαινόμενα ρευστοποίησης (πλευρικές μετατοπίσεις)
- για 19 < LPI <29, είναι πιθανό να εκδηλωθούν μέσης δριμύτητας φαινόμενα ρευστοποίησης όπως δημιουργία κώνων άμμου και καθιζήσεις

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

- για LPI ≤ 19, δεν αναμένονται επιφανειακές εκδηλώσεις φαινομένων ρευστοποίησης χωρίς αυτό να απορρίπτει το σενάριο ρευστοποίησης υποκείμενου εδαφικού στρώματος



Σχήμα 3.6 Θηκόγραμμα διακύμανσης του LPI με την δριμύτητα των μορφών του φαινομένου ρευστοποίησης (Papathanassiou, 2008)

Η παραπάνω ταξινόμηση διαφέρει από την ταξινόμηση του Iwasaki et al. (1982) και των Toprak and Holzer (2003) ένας από τους λόγους που συμβαίνει αυτό είναι η εφαρμογή διαφορετικών κριτηρίων για την αξιολόγηση της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση. Οι Iwasaki et al.(1982) και οι Toprak and Holzer (2003) χρησιμοποίησαν τα κινέζικά κριτήρια και τα κριτήρια των Andrews and Martin (2000) ενώ ο Papathanassiou (2008) εφάρμοσε τα τροποποιημένα από τους Seed et al. (2003) κριτήρια. Τα τελευταία αυξάνουν το συνολικό πάχος των επιδεκτικών προς ρευστοποίηση εδαφικών στρωμάτων καθώς εδάφη με ποσοστό αργίλου μεγαλύτερο από 15% θεωρούνται μη ρευστοποιήσιμα κατά τους Andrews and Martin (2000) ενώ με βάση τα κριτήρια των Seed et al. (2003) θεωρούνται πλέον εν δυνάμει ρευστοποιήσιμα εφόσον βέβαια, το όριο υδαρότητας τους είναι μικρότερο του 37% και ο δείκτης πλαστικότητας μικρότερος του 12%. Η αύξηση στις τιμές του LPI είναι αναμενόμενη αφού εξαρτάται από το πάχος των ρευστοποιήσιμων εδαφών (Παπαθανασίου et al., 2008).

Επιπλέον ο Papathanassiou (2008) ανέπτυξε και ένα πιθανολογικό μοντέλο πρόγνωσης εκδήλωσης επιφανειακών φαινομένων ρευστοποίησης με βάση τη μέθοδο

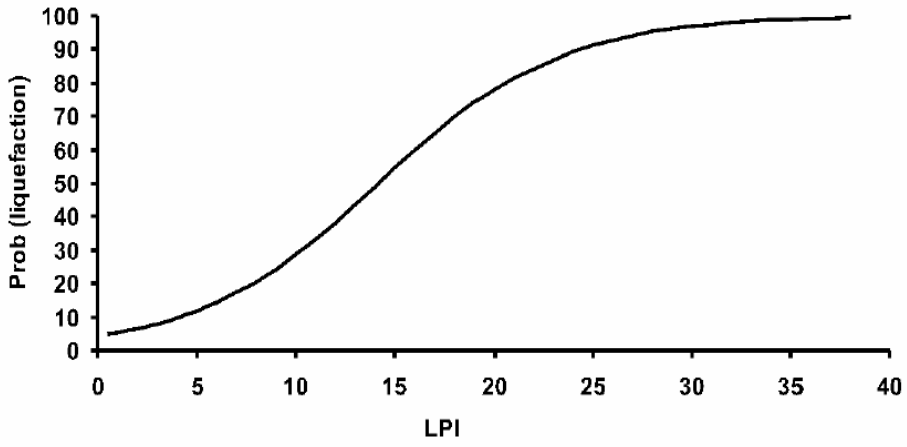
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

της λογιστικής παλινδρόμησης. Η προτεινόμενη εξίσωση με την οποία υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισης φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια είναι:

$$\text{Prob (liquefaction)} = \left(\frac{1}{1+e^{-(-3.092+0.281*\text{LPI})}}\right)$$

Επιπλέον, τέθηκε η τιμή Prob(liquefaction) = 0.5 ως το όριο μεταξύ των δύο καταστάσεων, δηλαδή για Prob(liquefaction) > 0.5 εμφανίζονται φαινόμενα ρευστοποίησης στην επιφάνεια ενώ για Prob(liquefaction) < 0.5 δεν εμφανίζονται, το ποσοστό των επιτυχημένων προβλέψεων για την τιμή αυτή είναι ίσο με 84.8% . Η τιμή του LPI που αντιστοιχεί στην πιθανότητα Prob(liquefaction) = 0.5 ισούται με 14.2 (Σχήμα 3.7). Με βάση λοιπόν, την ανάλυση της λογιστικής παλινδρόμησης οι θέσεις όπου LPI > 14 θεωρούνται ως πιθανά σημεία εκδήλωσης επιφανειακών φαινομένων ρευστοποίησης ενώ αυτές όπου LPI < 14 ως μη ρευστοποιήσιμες (Papathanassiou, 2008).



Σχήμα 3.7 Καμπύλη πιθανότητας εμφάνισης φαινομένων ρευστοποίησης με βάση την τιμή του LPI (Papathanassiou, 2008)

Τέλος, οι Maurer et al.(2015) χρηριμοποίησαν τα διαγράμματα του Ishihara (1985) τα οποία αφορούσαν την επιφανειακή εκδήλωση φαινομένων για την εξαγωγή ενός εναλλακτικού δείκτη LPI, το δείκτη LPI_{ISH} ο οποίος ισούται με:

$$LPI_{ISH} = \int_{H_1}^{20m} F(FS) * \frac{25.56}{z} * dz$$

Όπου:

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

- F(FS) = 1-FS εάν FS ≤ 1 ∩ H_1 * m(FS) ≤ 3 ειδάλλως F(FS) = 0
- και m(FS) =$\left(\frac{5}{25.56*(1-FS)}\right) - 1$
- H_1 είναι το πάχος του μη ρευστοποιήσιμου επιφανειακού στρώματος

Με βάση το δείκτη αυτό οι Maurer et al.(2015) κατέληξαν ότι ο δείκτης LPI_{ISH} είναι πιο ακριβής στην εκτίμηση της δριμύτητας των φαινομένων της ρευστοποίησης σε σχέση με το δείκτη LPI, διότι δίνεται μεγαλύτερη βάση στο επιφανειακό μη ρευστοποιήσιμο στρώμα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη και πιο ακριβή εκτίμηση της ύπαρξης ή μη επιφανειακής εκδήλωσης ρευστοποίησης.

3.3 Δείκτης καθιζήσεων

Η καθίζηση του εδάφους αποτελεί ένα είδος εδαφικής παραμόρφωσης λόγω ρευστοποίησης και προκαλείται λόγω της ανακυκλικής κινητικότητας. Ο υπολογισμός του δείκτη καθιζήσεων (Settlement indicator S) βασίζεται σε δημοσιευμένες μεθόδους που αφορούν την εκτίμηση των κατακόρυφων παραμορφώσεων. Η υπολογιζόμενη καθίζηση σε ένα στρώμα που είναι επιδεκτικό σε ρευστοποίηση ισούται με (Zhang et al., 2002):

$$S=\sum_{i=1}^{j} \varepsilon_{vi}\Delta z_i$$

Όπου:

- S είναι η αναμενόμενη καθίζηση στην επιφάνεια του εδάφους όπου πραγματοποιήθηκε η δοκιμή CPT
- ε_{vi} η κατακόρυφη παραμόρφωση του στρώματος i μετά τη ρευστοποίηση του
- Δz_i το πάχος του στρώματος i
- και j ο αριθμός των στρωμάτων

Η παραπάνω εξίσωση είναι βασισμένη σε δεδομένα από επιτόπου δοκιμές CPT.

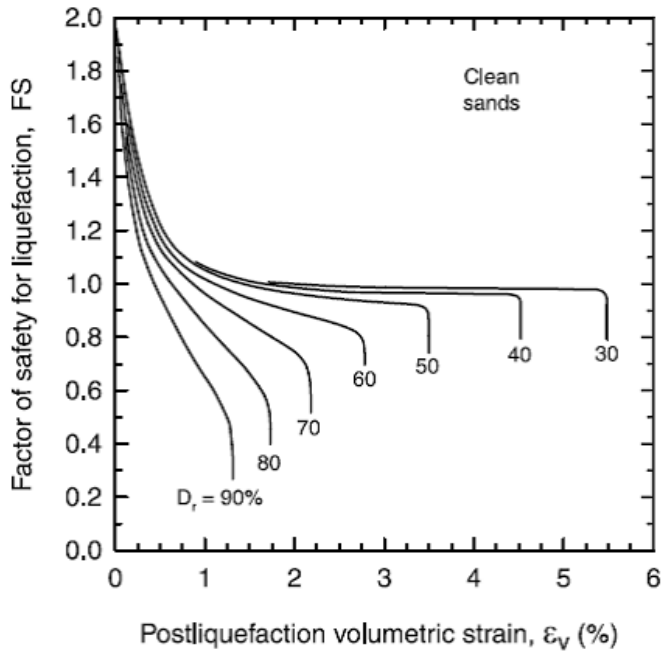
Οι Zhang et al.(2002) με βάση τις καμπύλες κατακόρυφης παραμόρφωσης των Ishihara and Yoshimine (1992) (Σχήμα 3.8) δημιούργησαν ένα διάγραμμα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

υπολογισμού της κατακόρυφης παραμόρφωσης για διάφορες τιμές του συντελεστή ασφαλείας (Σχήμα 3.9). Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις καμπύλες του διαγράμματος αυτού είναι οι παρακάτω:

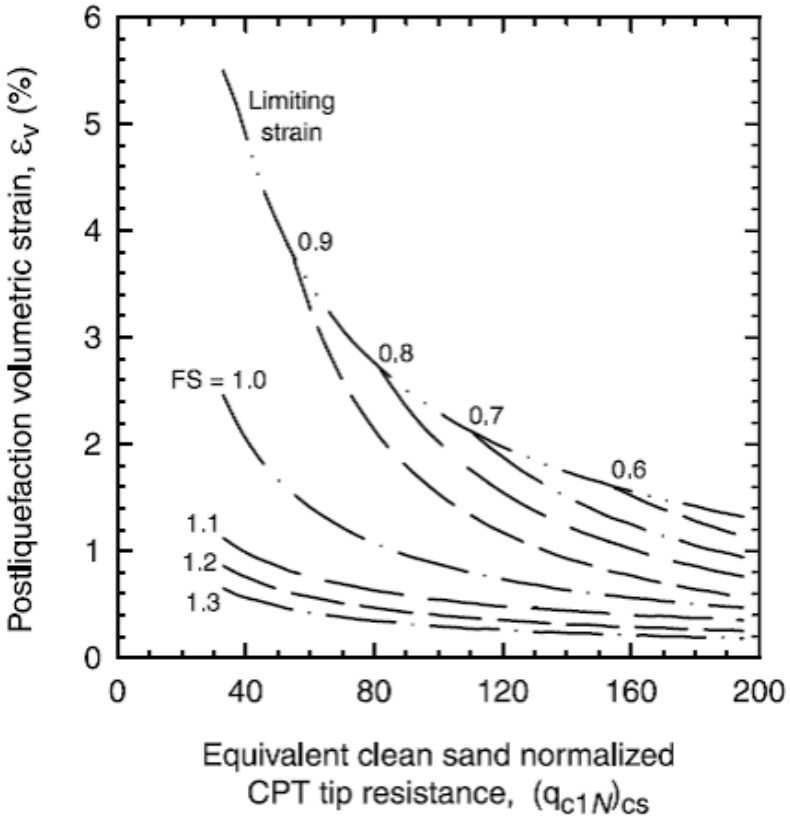
- εάν $F \leq 0.5$ τότε $\varepsilon_v = 102*(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$ για $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
- εάν $F = 0.6$ τότε $\varepsilon_v = 102*(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$ για $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 147$
- εάν $F = 0.6$ τότε $\varepsilon_v = 2411*(q_{c1N})_{cs}^{-1.45}$ για $147 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
- εάν $F = 0.7$ τότε $\varepsilon_v = 102*(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$ για $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 110$
- εάν $F = 0.7$ τότε $\varepsilon_v = 1701*(q_{c1N})_{cs}^{-1.42}$ για $110 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
- εάν $F = 0.8$ τότε $\varepsilon_v = 102*(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$ για $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 80$
- εάν $F = 0.8$ τότε $\varepsilon_v = 1690*(q_{c1N})_{cs}^{-1.46}$ για $80 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
- εάν $F = 0.9$ τότε $\varepsilon_v = 102*(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$ για $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 60$
- εάν $F = 0.9$ τότε $\varepsilon_v = 1430*(q_{c1N})_{cs}^{-1.48}$ για $60 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
- εάν $F = 1.0$ τότε $\varepsilon_v = 64*(q_{c1N})_{cs}^{-0.93}$ για $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
- εάν $F = 1.1$ τότε $\varepsilon_v = 11*(q_{c1N})_{cs}^{-0.65}$ για $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
- εάν $F = 1.2$ τότε $\varepsilon_v = 9.7*(q_{c1N})_{cs}^{-0.69}$ για $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
- εάν $F = 1.3$ τότε $\varepsilon_v = 7.6*(q_{c1N})_{cs}^{-0.71}$ για $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
- εάν $F = 2.0$ τότε $\varepsilon_v = 0.0$ για $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 20$



Σχήμα 3.8 Διάγραμμα υπολογισμού της κατακόρυφης παραμόρφωσης μετά τη ρευστοποίηση σε αμμώδη εδάφη (τροποποιημένο από Ishihara and Yoshimine,1992)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα
Α.



Σχήμα 3.9 Διάγραμμα υπολογισμού της κατακόρυφης παραμόρφωσης για διαφορετικές τιμές του συντελεστή ασφαλείας (Zhang et al., 2002)

3.4 Συντελεστής δριμύτητας της ρευστοποίησης

Ο συντελεστής της δριμύτητας της ρευστοποίησης (Liquefaction Severity Number , LSN) αναπτύχθηκε από τους Tolkin and Taylor και αναφέρεται στις βλάβες που προκαλούνται λόγω ρευστοποίησης σε μικρά βάθη σε κατοικήσιμες περιοχές και σε κτήρια. Αναπτύχθηκε συγκρίνοντας δεδομένα από τις καταστροφές που υπέστησαν τα κτήρια στο Canterburn στη Νέα Ζηλανδία λόγω των σεισμικών γεγονότων του 2010 – 2011 (τέσσερα σημαντικά σεισμικά γεγονότα: 4/9/2010, 22/2/2011, 13/6/2011 και 23/12/2011) και παραμέτρους που υπολογίστηκαν από περίπου 7.500 επιτόπου δοκιμές CPT. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι το βάθος του στρώματος που ρευστοποιείται (που ελέγχεται από το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα) είναι η πιο σημαντική παράμετρος για να καθοριστεί εάν η ρευστοποίηση θα προκαλέσει καταστροφές ή όχι στην επιφάνεια του εδάφους (Van Ballegooy et al., 2013).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ορίζεται ως:

$$LSN = 1000 \int \frac{\varepsilon_v}{z} dz$$

Όπου ε_v είναι η υπολογιζόμενη κατακόρυφη παραμόρφωση μετά τη ρευστοποίηση και εισάγεται ως δεκαδικός αριθμός και z είναι το βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και μετριέται σε μέτρα.

Η τιμή του LSN κυμαίνεται από το 0 (δεν παρουσιάζει επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση) μέχρι και παραπάνω από 100 (παρουσιάζει υψηλή επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση). Υψηλές τιμές LSN μπορούν να παρατηρηθούν σε περιοχές όπου ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και τα εδαφικά στρώματα ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους εκτιμώνται ότι κινδυνεύουν να ρευστοποιηθούν.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

4. Γεωλογία περιοχής

4.1 Γενικά για τη περιοχή μελέτης

Στην παρούσα διατριβή η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης και στην παραλία της καθώς και σε δύο κωμοπόλεις της Περιφερειακής Ενότητας της Θεσσαλονίκης στη Σίνδο και στο Καλοχώρι.

Η Σίνδος αποτελεί κωμόπολη της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης, βρίσκεται στα δυτικά της Θεσσαλονίκης σε απόσταση 14 χιλιομέτρων και σε απόσταση 2 χιλιομέτρων δυτικά του ποταμού Γαλλικού. Βόρεια της κωμόπολης σε μικρή σχετικά απόσταση βρίσκεται η Βιομηχανική Περιοχή Θεσσαλονίκης, μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές ζώνες της Ελλάδος.

Το Καλοχώρι βρίσκεται και αυτό δυτικά της Θεσσαλονίκης σε απόσταση 8 χιλιομέτρων και αποτελεί κωμόπολη της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης. Είναι κτισμένο στην ανατολική όχθη του δέλτα του ποταμού του Γαλλικού και βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τη θάλασσα.

Εικόνα 4.1 Η ευρύτερη περιοχή μελέτης (google earth)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4.2 Γεωτεκτονική θέση και γεωλογικές συνθήκες

Η περιοχή έρευνας, γεωτεκτονικά ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες και πιο συγκεκριμένα στη γεωτεκτονική ζώνη του Αξιού (Σχήμα 4.1). Ακολουθεί η ανάλυση της γεωτεκτονικής ζώνης του Αξιού.

Ζώνη Αξιού

Η ζώνη Αξιού ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες και το βασικό χαρακτηριστικό της είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες, που έχουν εξάπλωση σε όλο το χώρο της και συνιστούν στο σύνολο τους την «εσωτερική οφειολιθική λωρίδα» της Ελλάδας γνωστή με το όνομα "IRO". Η παρουσία των οφειολίθων καθορίζει τη γεωτεκτονική θέση της ζώνης Αξιού σαν τον παλιό ωκεάνιο χώρο με ωκεάνιο φλοιό και ιζήματα βαθιάς θάλασσας στη διάρκεια του Μεσοζωικού (Μουντράκης, 2010).

Η ζώνη Αξιού διαιρείται σε τρεις επιμέρους υποζώνες λόγω της ετερογενής της σύστασης από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά:

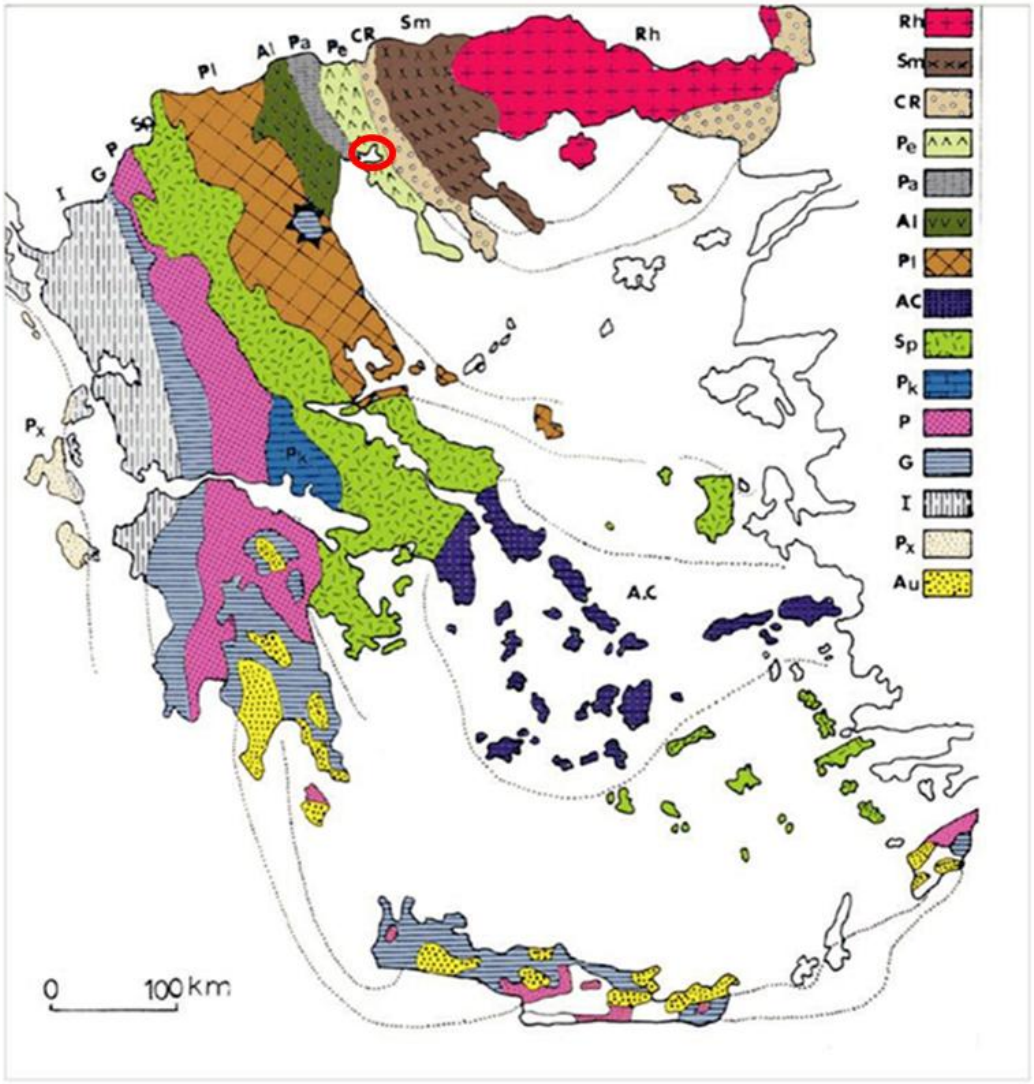
- την υποζώνη Παιονίας
- την υποζώνη Πάικου
- και την υποζώνη Αλμωπίας

Η πεδινή περιοχή γύρω από τον κόλπο της Θεσσαλονίκης ανήκει στην υποζώνη της Παιονίας και αυτή θα αναλυθεί παρακάτω. Βασικό χαρακτηριστικό της είναι η λεπιοειδής τεκτονική. Τα τεκτονικά λέπια που σχηματίστηκαν είναι αποτέλεσμα της Τριτογενούς συμπιεστικής τεκτονικής και έχουν ποικίλες διαστάσεις. Οι ενότητες – μεγαλέπια που διακρίθηκαν στην υποζώνη Παιονίας είναι οι εξής:

- ενότητα Γευγελής
- ενότητα Ωραιοκάστρου
- ενότητα Βαφειοχωρίου
- ενότητα Αρτζάν
- ενότητα Άσπρης Βρύσης
- ενότητα Μεταλλικού
- Ενότητα Λεβεντοχωρίου

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα
Α



Σχήμα 4.1 Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών εντός του κόκκινου κύκλου βρίσκεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπουλία, Au: Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι- Ταλέα όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Mountrakis et al. 1983)

Κάθε επιμέρους ενότητα της ζώνης αντιπροσωπεύει ένα μεγαλέπι που συγκροτείται από ορισμένους σχηματισμούς. Τα μεγαλέπια εμφανίζονται αποκομμένα μεταξύ τους λόγω της γενικής κάλυψης της περιοχής από τα μεταλπικά νεογενή ιζήματα (Μουντράκης, 2010).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γενικά, οι σχηματισμοί που δομούν την υποζώνη Παιονίας, από τους κατώτερους προς τους ανώτερους είναι οι παρακάτω (Mercier,1966;Stais,1994) (Θωμαΐδου, 2009):

- ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι Τριαδικού
- μια ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά αποτελούμενη από σερικιτιωμένους πορφυροειδείς ρυόλιθους, τοφφίτες, πυροκλαστικούς ψαμμίτες, φακούς και ενστρώσεις πλακωδών ασβεστολίθων, και κλαστικά ιζήματα ηλικίας Τριαδικού - Ιουρασικού
- ασβεστόλιθους και σχιστόλιθους σερικιτικούς, ασβεστιτικούς ηλικίας Ιουρασικού
- οφειόλιθοι τοποθετημένοι πάνω στα στρώματα του Ιουρασικού. Πρόκειται για μεγάλη οφειολιθική ακολουθία αποτελούμενη από γάββρους, δολερίτες, pillow lavas, μικρολιθικά βασικά ηφαιστειακά. Συμπτυχωμένα μέσα στους οφειόλιθους εμφανίζονται ωκεάνια ραδιολαριτικά-κερατολιθικά ιζήματα
- ένας μεγάλος γρανιτικός όγκος που διεισδύει μέσα στα οφειολιθικά πετρώματα μετά την τοποθέτησή τους και είναι ηλικίας Άνω Ιουρασικού.
- ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες και μικροκροκαλοπαγή ηλικίας Ανώτερου Ιουρασικού – Βασικού Κρητιδικού, βρίσκονται πάνω από τους οφειόλιθους και χρονολογούν την τεκτονική τοποθέτηση (obduction) των οφειολίθων πριν το Ανώτερο Ιουρασικό.

Όλοι οι σχηματισμοί της υποζώνης Παιονίας εμφανίζονται ασθενικά μεταμορφωμένοι στην πρασινοσχιστολιθική φάση που έλαβε χώρα κατά την πρώιμη ορογενετική περίοδο Άνω Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού (Θωμαΐδου, 2009).

4.3 Γεωλογία περιοχής μελέτης

Για την περιγραφή της επιφανειακής γεωλογίας χρησιμοποιήθηκε η χαρτογράφηση του Ι.Γ.Μ.Ε. φύλλο Θεσσαλονίκης (Ι.Γ.Μ.Ε., 1970) κλίμακας 1:50.000 (Σχήμα 4.2) καθώς και ο τεχνικογεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης του Ι.Γ.Μ.Ε. (Ρόζος et al., 1998) κλίμακας 1:25.000 (Σχήμα 4.3). Σύμφωνα με τους παραπάνω χάρτες στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται κυρίως

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ολοκαινικές (συμβολισμός χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε.:Η) αποθέσεις, στη δυτική Θεσσαλονίκη και στις περιοχές Σίνδο και Καλοχώρι καθώς και στην παραλιακή ζώνη της Θεσσαλονίκης και σε ένα κομμάτι της δυτική Θεσσαλονίκης εντοπίζονται Νεογενείς αποθέσεις (συμβολισμοί χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε: M_4 – Pli.st,m και M_4 – Pli.l).

Παρακάτω παρατίθεται περαιτέρω επεξήγηση των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης βάσει του γεωλογικού χάρτη (Ι.Γ.Μ.Ε., 1970):

- Ολοκαινικές αποθέσεις αδιαίρετες (συμβολισμός χάρτη: Η): παράκτιες αποθέσεις (άμμοι, σύναγμα), προσχώσεις πεδιάδων, ερυθρές άργιλοι με ασβεστιτικά συγκρίματα. Στη βάση τους επικρατούν κροκαλοπαγή. Εμφανίζονται στο μεγαλύτερο μέρος του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης (κέντρο, Αμπελόκηποι και Μενεμένη), σε επαφή με τη θάλασσα και στην περιοχή αεροδρομίου στο Δήμο Θερμαϊκού, καθώς επίσης και στις περιοχές Σίνδο και Καλοχώρι.

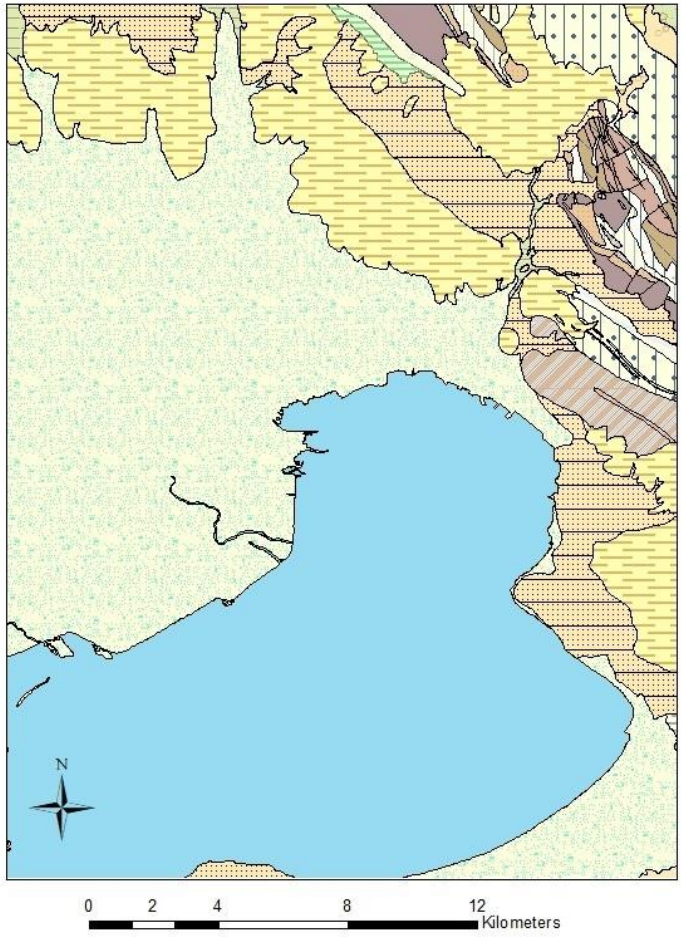
- Νεογενείς αποθέσεις (Ανώτερο Μειόκαινο – Κατώτερο Πλειόκαινο):
  - Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά (συμβολισμός χάρτη: M_4 – Pli.st,m): ψαμμίτες εύθρυπτοι έως πολύ συμπαγής, τοπικά μικροκροκαλοπαγή με διασταυρωμένη στρώση. Κατά θέσεις υπάρχουν ορίζοντες από μάργες.

  - Σειρά ερυθρών αργίλων (συμβολισμός χάρτη: M_4 – Pli.l): ερυθρές έως κεραμόχρωμες, ιλυώδεις άργιλοι, με μαρμαρυγία και ασβεστιτικά συγκρίματα.

    Όσο αναφορά την περιοχή μελέτης εμφανίζεται κυρίως η σειρά ερυθρών αργίλων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Ιζηματογενή πετρώματα

Τεταρτογενές

Ολόκαινο

Αλλουβιακές αποθέσεις (al)

Αποθέσεις στις κοίτες ποταμών και χειμάρρων (H.l,s)

Προσχώσεις κοιλάδων (H.l)

Κατώτερη βαθμίδα του κατώτερου συστήματος αναβαθμίδων (H.t.c)

Ολοκαινικές αποθέσεις αδιαίρετες (H)

Πλειστόκαινο

Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων (Pt.t3.l)

Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων (Pt.t1.c)

Τεταρτογενές αδιαίρετο

Ριπίδια προσχώσεων (Q.cs1)

Νεογενές

Ανώτερο Μειόκαινο - Κατώτερο Πλειόκαινο

Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά (M4 - Pli.st,m)

Σειρά ερυθρών αργίλων (M4 - Pli.l)

Ενότητα Παιονίας

Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Κρητιδικό;

Φυλλιτικοί σχιστόλιθοι (Js - ki.ph)

Ανώτερο Ιουρασικό (Τιθώνιο)

Κροκαλοπαγή (J13.c)

Ενότητα Άσπρης Βρύσης - Χορτιάτη

Κατώτερο και Μέσο Ιουρασικό;

Αμμούχοι αργιλικοί σχιστόλιθοι (Ji - m?ag)

Μέσο και Ανώτερο Τριαδικό

Ασβεστόλιθοι - Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι (Tm - s.k)

Ενότητα Μελισσοχωρίου - Χολομώντα

(Τριαδικό - Μέσο Ιουρασικό)

Ομάδα Σβούλας

Ασβεστιτικός φλύσχης (T - Jm.st)

Φυλλίτες (T - Jm.ph)

Μεταϊζηματογενή πετρώματα

Σερβομακεδονική μάζα

Παλαιοζωικό (ή παλαιότερο)

Σχηματισμός Βερτίσκου

Διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι, διμαρμαρυγιακοί και μοσχοβιτικοί σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες (gn2)

Φλέβες χαλαζία (q)

Εκρηξιγενή πετρώματα

Χωρίς σχιστότητα

Ανώτερο Ιουρασικό

Γάββρος (θ2)

Μεταμορφωμένα και Σχιστώδη

Μεσοζωικό

Μαγματική σειρά Χορτιάτη

Γνεύσιοι - Επιγνεύσιοι - Πρασινοσχιστόλιθοι (sch.gn)

Γάββρος σε στρώματα μέσα στη μαγματική σειρά του Χορτιάτη (θ1 - sch,gn)

Υπερβασικά πετρώματα (π.ο)

Παλαιοζωικό (ή παλαιότερο)

Πλαγιοκλαστικός - μικροκλινικός γνεύσιος ((gn)pz)

Σχήμα 4.2 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, φύλλο Θεσσαλονίκη, (τροποποιημένο από Ι.Γ.Μ.Ε., 1970)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Από τεχνικογεωλογικής άποψης οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης περιλαμβάνουν (Ρόζος et al., 1998):

- Πρόσφατες επιχωματώσεις – μπάζα (συμβολισμός χάρτη : Rf): πρόκειται για υλικά επιχωμάτων που προέκυψαν είτε από τις εκσκαφές για τη διαμόρφωση διαφόρων χώρων θεμελίωσης είτε από χώρους δανειοδότησης υλικών και αποτέθηκαν σε παράκτιες κυρίως περιοχές. Αποτελούνται από αργιλοϊλυώδη λεπτομερή κυρίως υλικά με άμμο, ψηφίδες και χάλικες που είναι χαλαρά και με κακή γεωμηχανική συμπεριφορά.
- Ιστορικές επιχωματώσεις (συμβολισμός χάρτη: Hf): συνίσταται από υλικά που προέρχονται από φυσικές ή τεχνητές καταστροφές οικιστικών τμημάτων της Ρωμαϊκής και Βυζαντινής εποχής. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από θραύσματα δομικών λίθων, κεράμους. Επιχρίσματα και λοιπά κατασκευαστικά υλικά, ανάμικτα με εδαφικούς σχηματισμούς ιλυοαμμώδους κύρια σύστασης. Εντοπίζονται σε μεγάλο τμήμα της κατοικημένης περιοχής, κυρίως στο τμήμα της πόλης κατάντη του δρόμου του Αγίου Δημητρίου μέχρι και την παραλία, όπου καλύπτουν διάφορους σχηματισμούς, κυρίως όμως αυτούς του Νεογενούς. Το ορατό πάχος τους κυμαίνεται από 3 έως 20 μέτρα περίπου κατά θέσεις.
- Αποθέσεις κοίτης χειμάρρων (συμβολισμός χάρτη: Rd): αποτελούνται από αδρομερή χαλαρά έως ημισυνεκτικά υλικά, κυρίως χάλικες ποικίλων διαστάσεων, άμμους, ψηφίδες, κροκαλολατύπες και αργιλοϊλυώδους σύστασης λεπτομερή υλικά. Γενικά τα αδρομερή στοιχεία είναι ποικίλης προέλευσης από τους σχηματισμούς του υποβάθρου. Εμφανίζουν αυξημένη υδροπερατότητα και μικρή επιφανειακή ανάπτυξη (καλύπτουν τις κοίτες των ποταμών και των χειμάρρων). Το πάχος τους είναι κυμαινόμενο ανάλογα με την τάξη και το τμήμα του υδρογραφικού άξονα που καλύπτουν, αλλά πιστεύεται ότι δεν υπερβαίνει τα 10 μέτρα σε ακραίες περιπτώσεις. Στην περιοχή Επταπυργίου και στη Νεάπολη οι κροκαλολατύπες εξελίσσονται σε ερυθρωπές άμμους χαμηλής διαγένεσης και ποικίλης προέλευσης απ γνευσίους, σχιστόλιθους, φυλλίτες, κ.λπ.
- Τεταρτογενή χαλαρά με επικράτηση αμμωδών οριζόντων (συμβολισμός χάρτη: sd – l): αμμώδης ορίζοντας δελταϊκών αποθέσεων από λεπτόκοκκη έως μεσόκοκκη άμμο με κυμαινόμενο ποσοστό ιλύος και αργίλου που δεν

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

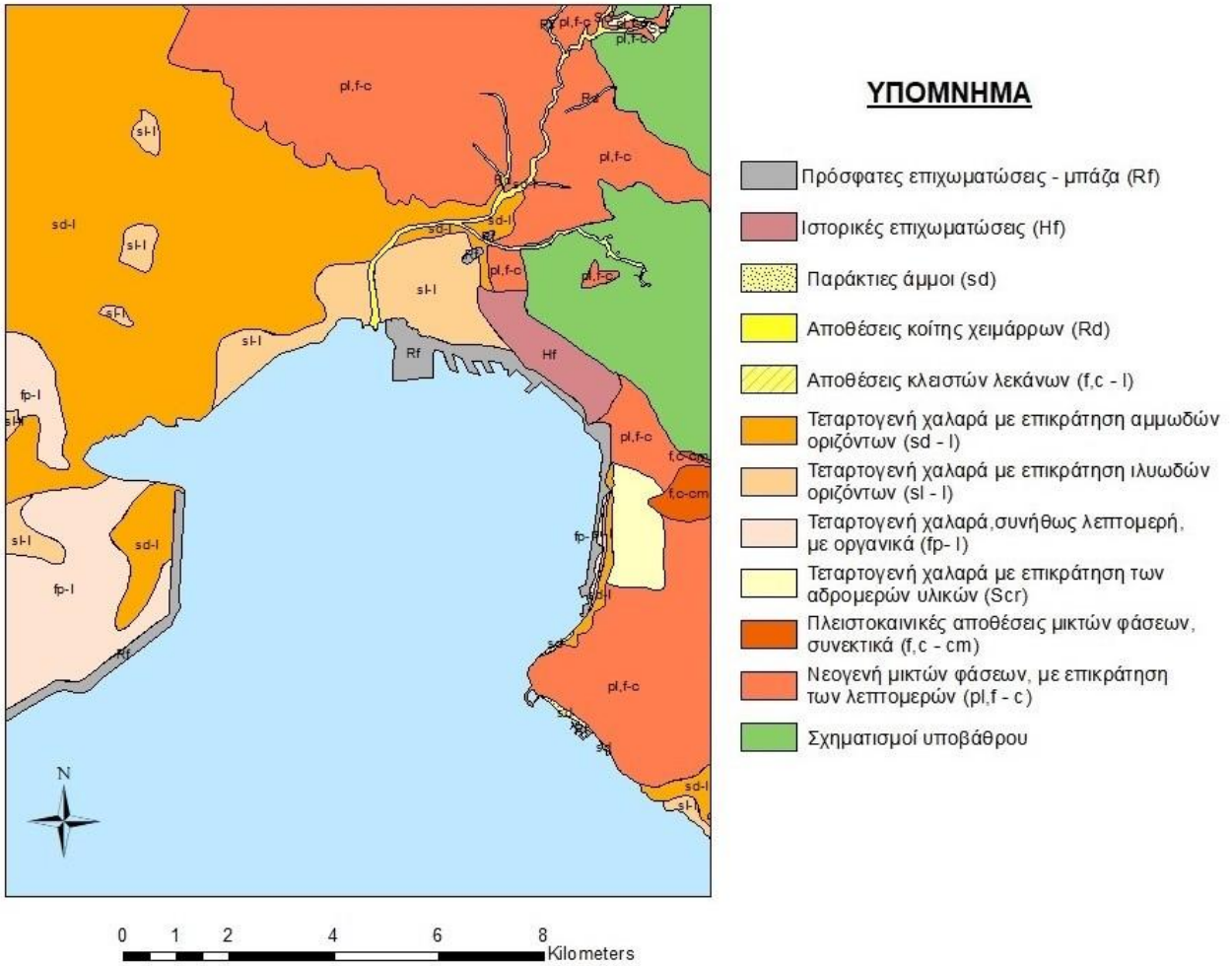
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

υπερβαίνει το 20%. Χαλαρός έως συνεκτικός σχηματισμός με αφθονία μαρμαρυγία κατά θέσεις. Αποκτά συχνά σημαντικό πάχος και παρουσιάζει και ταχείες μεταβολές της λιθολογικής σύστασης και κοκκομετρίας κατά την οριζόντια και κατακόρυφη ανάπτυξή του. Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά ποικίλουν ανάλογα με την επιμέρους λιθολογική σύσταση και κοκκομετρία, ενώ η συμπεριφορά του ελέγχεται κυρίως από το πάχος ανάπτυξής του. Οι ταχείες πλευρικές μεταβολές στη λιθολογική σύσταση συνεπάγονται ισχυρή ανισοτροπία σε μικροκλίμακα στη μηχανική συμπεριφορά του σχηματισμού. Χαρακτηρίζεται από μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα και δημιουργεί συνήθως υδροφόρους ορίζοντες μεγάλης δυναμικότητας και με έντονες διακυμάνσεις.

- Τεταρτογενή χαλαρά με επικράτηση ιλυωδών οριζόντων (συμβολισμός χάρτη: sl – l): ιλυώδης ορίζοντας δελταϊκών αποθέσεων με επικράτηση της ιλύος και αφθονία μαρμαρυγία κατά θέσεις. Άμμος και άργιλος συμμετέχουν επίσης στη σύστασή του. Σχηματισμός χαλαρός έως συνεκτικός με χαμηλή έως μέτρια υδροπερατότητα. Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κυμαίνονται σε στενά σχετικά όρια.
- Νεογενή μικτών φάσεων, με επικράτηση των λεπτομερών (συμβολισμός χάρτη: pl,f – c): κυρίως αμμώδεις ιλύες έως ιλυώδεις άμμοι με κυμαινόμενο μικρό ποσοστό αργίλου και ψηφίδες κατά θέσεις που σχηματίζουν τοπικά ορίζοντες μικρού πάχους. Αδρομερείς σχηματισμοί από ασύνδετα έως χαλαρά συνδεδεμένα κροκαλοπαγή, κυρίως από ασβεστολιθικής σύστασης ψηφίδες και χάλικες, καλύπτουν κατά θέσεις τους παραπάνω ορίζοντες με πάχος που κυμαίνεται μεταξύ 1.50 και 10 μέτρων. Οι αποκαλυπτόμενοι ορίζοντες υπέρκεινται καστανού χρώματος αργιλομαργαϊκών σχηματισμών από τους οποίους αποτελείται κυρίως η σειρά των Νεογενών. Χαρακτηρίζονται από μέτρια έως υψηλή συνεκτικότητα που εξαρτάται από τη λιθολογική σύσταση. Σχηματισμός πρακτικά στεγανός, αναμένεται όμως η παρουσία μεμονωμένων φακοειδών υδροφόρων οριζόντων στις αδρομερείς φάσεις, μικρής δυναμικότητας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

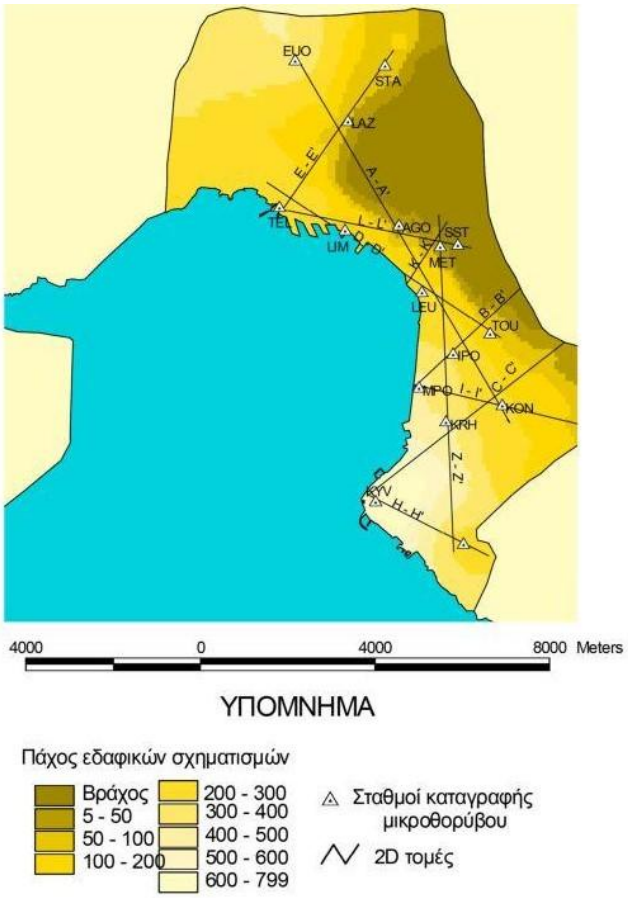


Σχήμα 4.3 Τεχνικογεωλογικός χάρτης της Θεσσαλονίκης (τροποποιημένο από Ρόζος et al., 1998)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η γεωμετρία του βραχώδους υποβάθρου είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Παρόλα αυτά μπορεί να ειπωθεί πως η ανάπτυξη της λεκάνης στο Πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης έχει δύο κύριες διευθύνσεις. Η πρώτη έχει διεύθυνση ΝΔ και διαμορφώνει το Θερμαϊκό κόλπο και η δεύτερη, διεύθυνσης ΒΒΑ, που είναι η αιτία για το σχηματισμό της λεκάνης της Θεσσαλονίκης (Αποστολίδης, 2002). Στο Σχήμα 4.4 παρατίθεται ο χάρτης με το πάχη όλων των εδαφικών σχηματισμών έως το βραχώδες υπόβαθρο.

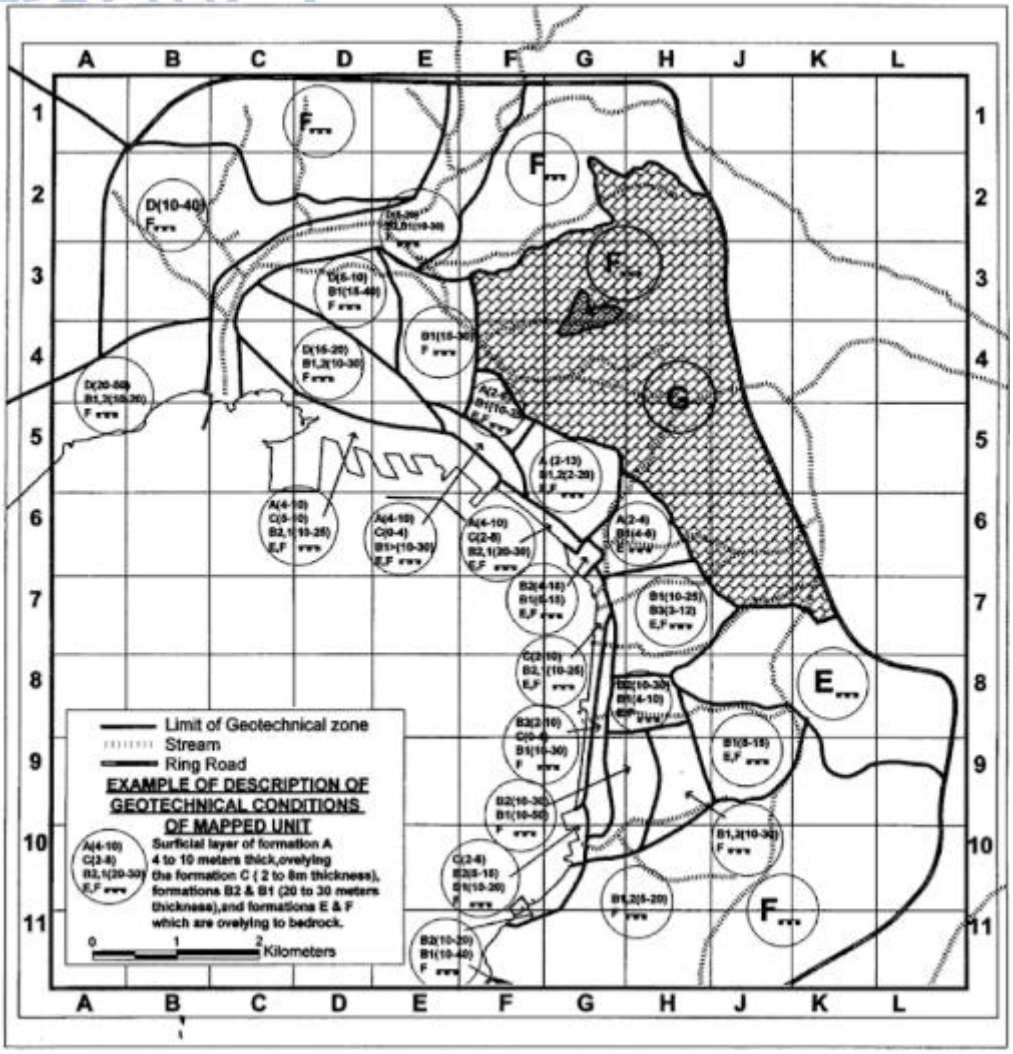


Σχήμα 4.4 3D ψηφιακό προσομοίωμα του πάχους των εδαφικών σχηματισμών στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης (Αποστολίδης, 2002)

Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζεται ο γεωτεχνικός χάρτης της πόλης της Θεσσαλονίκης (Anastasiadis et al., 2001). Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής έχουν χωριστεί σε 9 κατηγορίες (Πίνακας 4.1).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα



Σχήμα 4.5 Γεωτεχνικές ζώνες της Θεσσαλονίκης βασισμένες σε φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών (A, B, C, D, E, F, G). Εντός των κύκλων αναγράφονται με τη σειρά οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται σε κάθε γεωτεχνική ζώνη, καθώς και το πάχος του κάθε σχηματισμού (Anastasiadis et al., 2001)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Πίνακας 4.1 Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Θεσσαλονίκης που απεικονίζονται στο γεωτεχνικό χάρτη (Anastasiadis et al., 2002)(τροποποιημένο από Σενετάκης et al., 2008)

Σχηματισμός	Περιγραφή
A	Τεχνητές επιχωματώσεις
B1	Επιφανειακές παράκτιες και ποτάμιες αποθέσεις κυρίως στιφρής αμμώδους-ιλυώδους αργίλου έως αργιλώδους άμμου, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, πάχους 2 - 10m.
B2	Όπως B1, αλλά σε σχετικά χαλαρή κατάσταση με πάχος 3 έως 20m.
B3	Όπως B1, αλλά με υψηλή πλαστικότητα και αντοχή, πάχους 2 έως 10m
C	Πολύ χαλαρή αμμώδης ιλύς έως ιλυώδης άμμος με μεταβαλλόμενη περιεκτικότητα σε άργιλο και άμμο
D	Αλλουβιακές αποθέσεις κυρίως αργιλικές με ενδιάμεσες στρώσεις άμμου και ιλύος, χαμηλής αντοχής και υψηλής συμπιεστότητας
E	Πολύ στιφρή έως σκληρή άργιλος, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, αμμώδης άργιλος με χαλίκια
F	Πολύ στιφρή έως σκληρή ιλυώδης – αμμώδης έως χαλικώδης προστερεοποιημένη μαργαϊκή άργιλος υπερκείμενη του βραχώδους υποβάθρου
G	Πρασινοσχιστόλιθοι και γνεύσιοι που αποτελούν το βραχώδες υπόβαθρο

4.4 Υδρογραφικό δίκτυο

Η περιοχή μελέτης ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΔ 10), με έκταση 10.146 km^2, οριοθετείται από τα όρη Κερδύλια, Βερτίσκος, Κρούσια και Μπέλες στα Ανατολικά, το όρος Πάικο και την Περιφερειακή Τάφρο στα Δυτικά και στα Βόρεια από την οροσειρά Κερκίνη (Μπέλες) και τα σύνορα Ελλάδας – Π.Γ.Δ.Μ. Το ΥΔ 10 περιλαμβάνει εκτεταμένες πεδιάδες, κυρίως στο Δυτικό τμήμα, οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι αυτές της Θεσσαλονίκης, των Γιαννιτσών και του Λαγκαδά, ενώ στο Ανατολικό του τμήμα διακρίνεται η λεκάνη της Χαλκιδικής. Η μορφολογία του είναι κυρίως ημιορεινή με μέσο υψόμετρο τα 245m, περίπου, ενώ το 36% της έκτασης του έχει υψόμετρο κάτω από 100m και μόλις το 3% της έκτασής του έχει υψόμετρο πάνω από 800m (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2014).

Το ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας αποτελείται από τέσσερις (4) Λεκάνες Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ) (Αρχικός και περαιτέρω χαρακτηρισμός υπόγειων Υδατικών Συστημάτων (ΥΣ) στο ΥΔ10 Σχήμα 4.6):

- Αξιού (GR03), με έκταση 3.327 km^2

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

- Γαλλικού (GR04), με έκταση 1.051 km^2
- Χαλκιδικής (GR05), με έκταση 5.546 km^2
- Άθω (GR43), με έκταση 293 km^2

Το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης ανήκει κατά κύριο λόγο στη ΛΑΠ Χαλκιδικής και στη ΛΑΠ Γαλλικού. Το Καλοχώρι και η Σίνδος βρίσκονται στο όριο της ΛΑΠ Γαλλικού και ΛΑΠ Αξιού.

Σχήμα 4.6 Αρχικός και περαιτέρω χαρακτηρισμός υπόγειων Υδατικών Συστημάτων (ΥΣ) στο ΥΔ10 (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2014)

4.5 Τεκτονική – Νεοτεκτονική ευρύτερης περιοχής μελέτης

Η Περιροδοπική ζώνη στο Άνω Ολιγόκαινο – Κάτω Μειόκαινο υπέστη μία ισχυρή μεταμεταμορφική παραμόρφωση που χαρακτηρίσθηκε ως τεκτονική μεταφορά μιας συμπίεσης (transpressional) (Tranos et al., 1999). Σύμφωνα με νεότερες απόψεις η παραμόρφωση άρχισε τουλάχιστον στο Ηώκαινο σε πλαστικές, συμμεταμορφικές (χαμηλή πρασινοσχιστολιθική φάση) συνθήκες και σταδιακά

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

άλλαξε κατά το Ολιγόκαινο – Κάτω Μειόκαινο σε θραυσιγενείς συνθήκες με Α – Δ διεύθυνσης ανάστροφα ρήγματα – επωθήσεις και ΒΒΔ – ΝΝΑ διεύθυνσης δεξιόστροφα και ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης αριστερόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης. Κατά το Μέσο Μειόκαινο σβήνει η παραμόρφωση αυτή και αλλάζει σε εφελκυσμό (transtension) με Α – Δ διεύθυνσης αριστερόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης και ΒΔ – ΝΑ δεξιόστροφα πλάγια έως κανονικά ρήγματα. Από το Άνω Μειόκαινο ένα εφελκυστικό καθεστώς κυριαρχεί στην περιοχή με τον ελάχιστο κύριο άξονα τάσης (σ_3) σε ΒΑ – ΝΔ διεύθυνση κατά το Άνω Μειόκαινο – Πλειόκαινο και σε Β – Ν διεύθυνση από το Κάτω Πλειόκαινο μέχρι σήμερα (Georgiadis et al., 2007).

Κατά το νεοτεκτονικό στάδιο που ξεκινάει το Νεογενές δημιουργήθηκαν τα μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα και οι λεκάνες Αξιού, Ανθεμούντα, Μυγδονίας αποτέλεσμα του εφελκυστικού (transtension) πεδίου που αναφέρθηκε παραπάνω. Παράλληλα με τη δημιουργία καινούργιων ρηγμάτων κυρίως μέσα στις ιζηματογενείς αποθέσεις προκαλείται επαναδραστηριοποίηση πολλών παλαιότερων τεκτονικών γραμμών, τόσο μέσα στα ιζήματα όσο και στα πετρώματα του υποβάθρου, οι οποίες και επαναλειτουργούν ως κανονικά ή πλαγιοκανονικά ρήγματα (Ζερβοπούλου, 2010).

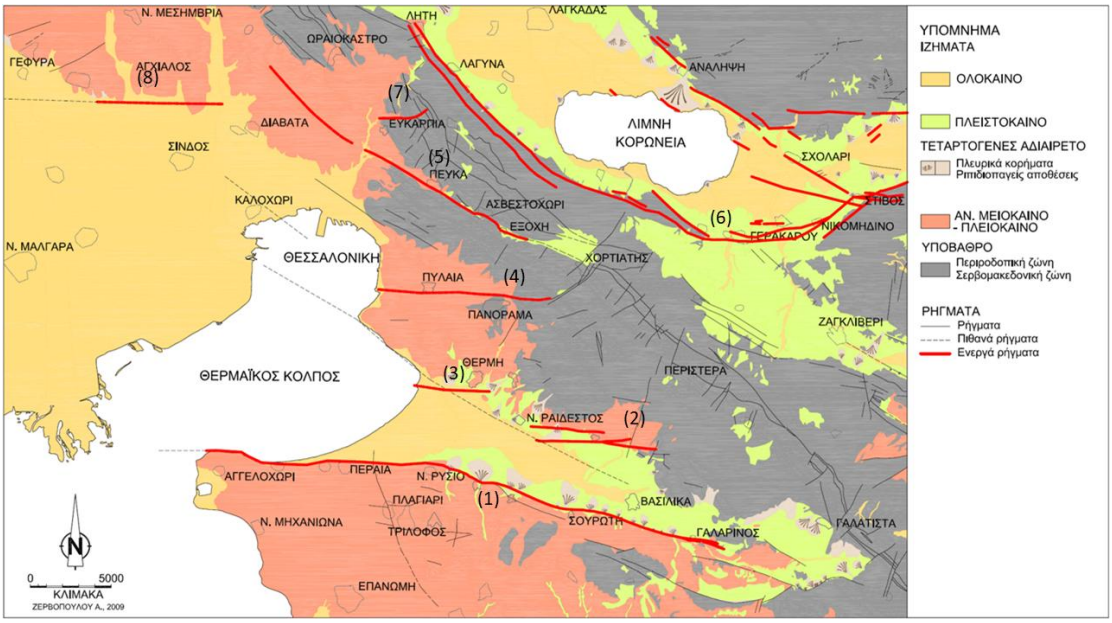
Συνοπτικά ο εφελκυσμός που παρατηρείται επιμέρους είναι (Μουντράκης et al., 1993; Μουντράκης et al., 1995; Ζερβοπούλου, 2010):

- ΔΒΔ – ΑΝΑ κατά το Μειόκαινο. Οι τάσεις αυτές έδωσαν ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ κανονικά με αριστερόστροφη συνιστώσα,
- Α – Δ με ρήγματα κανονικά διεύθυνσης Β – Ν των οποίων όμως ο ρόλος δεν είναι εξακριβωμένος. Τα ρήγματα αυτά εμφανίζονται επανεργοποιημένα ως οριζόντιας μετατόπισης (Pavlides et al., 1988),
- ΒΑ – ΝΔ κατά το Πλειόκαινο – Κάτω Πλειστόκαινο με ρήγματα ΒΔ – ΝΑ κανονικά, και
- Β – Ν με μικρές αποκλίσεις έχει από το Μέσο Πλειστόκαινο έως και σήμερα που δίνει ρήγματα Α – Δ με επαναδραστηριοποίηση παλαιότερων τα εμφανίζουν οριζόντια συνιστώσα. Άρα τα ενεργά ρήγματα που είναι δυνατόν να δράσουν σήμερα είναι τα κανονικά με διεύθυνση Α – Δ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**Σχήμα 4.7 παρουσιάζονται τα ρήγματα της ευρύτερης περιοχής και αποτυπώνεται η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης.



Σχήμα 4.7 Συνοπτικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Στο χάρτη αυτό ομαδοποιούνται ομαδοποιήθηκαν οι σχηματισμοί του βραχώδους υποβάθρου (με γκρι χρώμα) για τον ευκολότερο διαχωρισμό των νεοτεκτονικών ρηγμάτων. Οι Νεογενείς σχηματισμοί εμφανίζονται με ανοιχτό κόκκινο χρώμα ενώ τα ιζήματα διαχωρίζονται σε Ολοκαινικά και Πλειστοκαινικά. (Ζερβοπούλου, 2010). Όπου:(1) Ανθεμούντα, (2) Βόρειου Ανθεμούντα, (3) Θέρμης – Αεροδρομίου, (4) Πυλαίας – Πανοράματος, (5) Ασβεστοχωρίου, (6) Ρηξιγενείς ζώνες Μυγδονίας λεκάνης, (7) Ευκαρπίας, (8) Αγχίαλου – Ν. Μεσημβρίας

4.5.1 Ενεργά ρήγματα

Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται αναλυτικά τα ενεργά ρήγματα που εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, θα αναλυθούν το ενεργό ρήγμα της Αγχίαλου – Ν. Μεσημβρίας, του Ανθεμούντα και της Πυλαίας - Πανοράματος. Επιπλέον, αναλύεται και το σεισμικό ρήγμα των ρηξιγενών ζωνών της Μυγδονίας λεκάνης που συνδέεται με το σεισμό του 1978 στο Στίβο, ο οποίος προκάλεσε και σημαντικές ζημιές στη Θεσσαλονίκη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Ρήγμα Αγχίαλου – Ν. Μεσημβρίας

Βρίσκεται βόρεια – βορειοδυτικά της πόλης της Θεσσαλονίκης, νότια της Αγχίαλου είναι κανονικό και έχει διεύθυνση Α – Δ, παράταξη Β80^{o} και κλίση 50 - 80^{o} προς Νότο. Το ορατό του μήκος είναι 8km και βρίσκεται στο όριο Μειοκαινικών και Ολοκαινικών αποθέσεων (Ζερβοπούλου, 2010).

Θεωρείται ενεργό λόγω:

- του προσανατολισμού του που είναι σύμφωνος με το σύγχρονο πεδίο τάσεων
- του ότι επηρεάζει Τεταρτογενή ιζήματα
- και λόγω της σεισμικότητας που παρουσιάζει, ο σεισμός της Ν. Μεσημβρίας τον Οκτώβριου του 2003 μεγέθους 5.7 πιθανά να συνδέεται με το ρήγμα αυτό (Ζερβοπούλου, 2010).

Ρήγμα Ανθεμούντα

Εντοπίζεται νότια και νοτιοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης (απέχει περίπου 14km), έχει γενική διεύθυνση Α – Δ και συνολικό μήκος 32km περίπου. Το ρήγμα εκτείνεται από την θαλάσσια περιοχή βόρεια του Αγγελοχωρίου μέχρι και μετά το χωριό Γαλαρινός (Ζερβοπούλου, 2010). Είναι κανονικό ρήγμα με μετάπτωση προς βόρεια. Χωρίζεται σε δύο τμήματα με βάση μορφολογικούς χαρακτήρες και με βάση τη διαφορετική λιθολογία των γεωλογικών σχηματισμών που χωρίζει (Mountrakis et al., 2006). Αποτελεί το όριο των Νεογενών με τις Τεταρτογενείς αποθέσεις στη λεκάνη του Ανθεμούντα.

Θεωρείται ενεργό λόγω (Ζερβοπούλου, 2010):

- της ασυμμετρίας της λεκάνης απορροής
- της άνισης κατανομής των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου με μικρότερο μήκος ανάντι του ρήγματος και δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος

Εντοπίζεται Ανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης και απέχει περίπου 6 km από το κέντρο της πόλης. Είναι κανονικό με διεύθυνση Α – Δ, παράταξη Β95 – 100^{o} και κλίση 60 – 90^{o} προς Βορρά Εκτείνεται ανατολικά του Πανοράματος μέχρι και τον Δήμο της Πυλαίας, πιθανά προεκτείνεται και μέσα στην πόλη (Tranos et al., 2003). Χωρίζεται σε 4 τμήματα με μήκος 3km περίπου το καθένα, λόγω μεταβολής των γεωλογικών συνθηκών (Ζερβοπούλου, 2010)

Θεωρείται ενεργό λόγω (Βαλκανιώτης et al., 2005):

- της ασυμμετρίας της λεκάνης απορροής
- της άνισης κατανομής των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου
- και της δαντέλωσης στους πρόποδες των βουνών

Ρηξιγενείς ζώνες Μυγδονίας λεκάνης

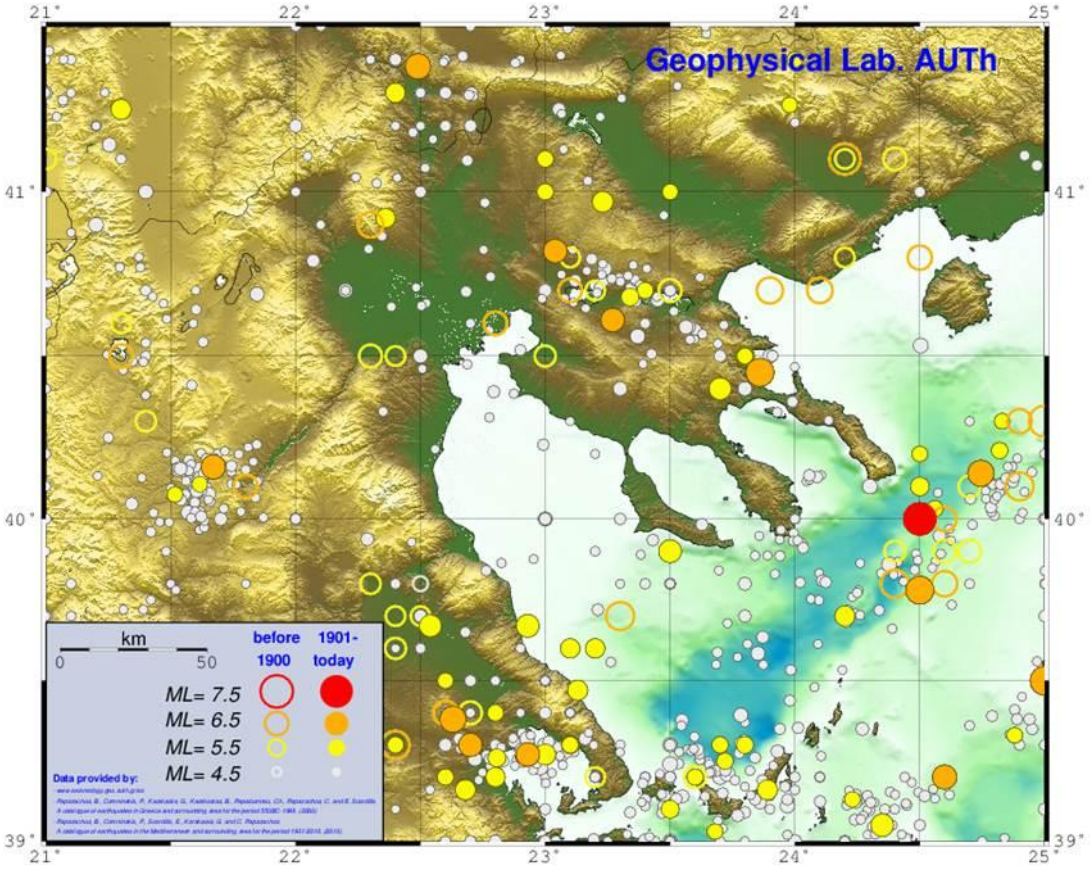
Η λεκάνη της Μυγδονίας αποτελεί τεκτονικό βύθισμα με γενική διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ έως Α –Δ και αναπτύχθηκε λόγω των εφελκυστικών τάσεων κυρίως κατά το Τεταρτογενές. Τα περιφερειακά ρήγματα τα οποία οριοθετούν τη λεκάνη θεωρούνται σεισμικά ενεργά (Ζερβοπούλου, 2010). Το σεισμικό ρήγμα Γερακαρούς – Νικομιδήνου – Στίβου – Περιστερώνα έδωσε το σεισμό του 1978 στο Στίβο και αποτελεί το σημαντικότερο ρήγμα της περιοχής. Η απόστασή του από την πόλη της Θεσσαλονίκης είναι περίπου 28 km προς τα ανατολικά. Έχει συνολικό μήκος 12km, παράταξη Β70 - 80^{o} και κλίση 70^{o} προς Βορρά. Οριοθετεί το νότιο τμήμα της λίμνης του Λαγκαδά και του ενδιάμεσου των λιμνών τμήμα. Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα με μέση διεύθυνση Α –Δ ενώ κατά θέσεις εμφανίζεται ως ΔΒΔ – ΑΝΑ και ΑΒΑ – ΔΝΔ με μετάπτωση προς τα βόρεια. Η κλίση του ενώ στην επιφάνεια είναι από 75 – 80^{o} μειώνεται με την αύξηση του βάθους έως τις 35^{o} στα 10 km περίπου. Στην λεκάνη εμφανίζεται ως το όριο μεταξύ του υποβάθρου και των Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων αλλά και μεταξύ των δύο τελευταίων (Μουντράκης et al., 1995).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4.6 Σεισμικότητα και σεισμική επικινδυνότητα

Ο χάρτης του Σχήματος 4.10 δίνει μία ποιοτική εκτίμηση της γεωγραφικής κατανομής των σεισμών με μεγέθη M ≥ 4.5. Στο χάρτη αυτό αποτυπώνεται η σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής μελέτης.



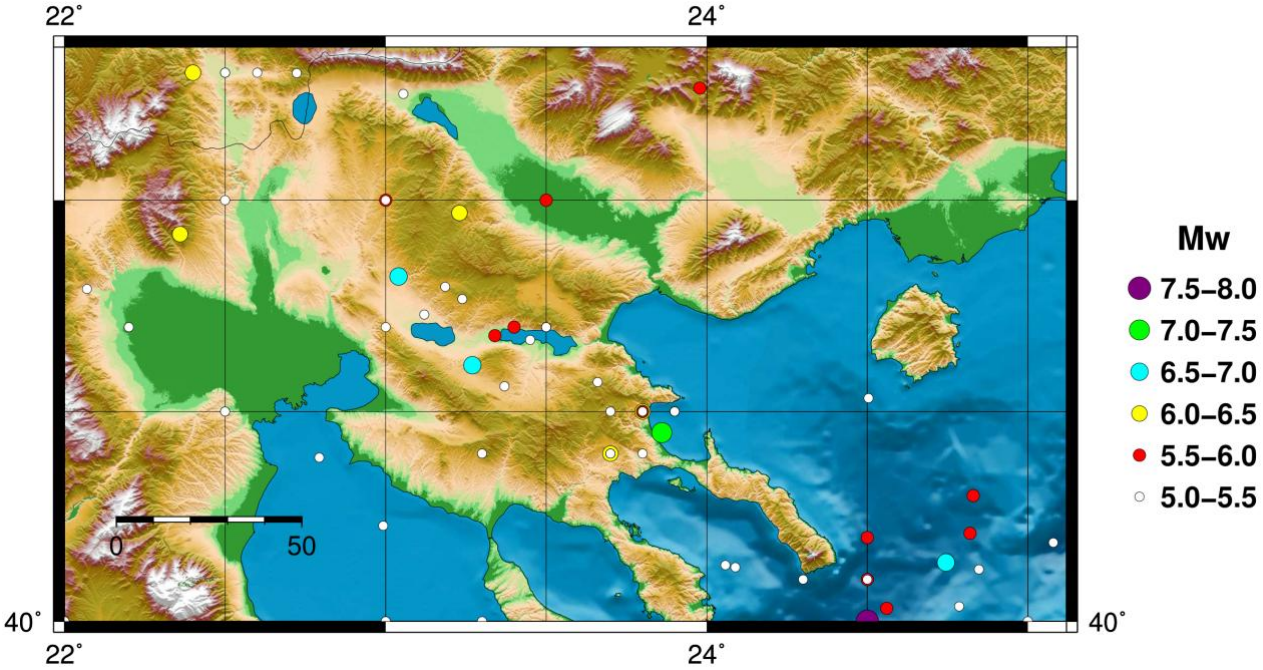
Σχήμα 4.8 Γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των σεισμών με μέγεθος M ≥ 4.0 (Βαμβακάρης Δομένικος)

Στο Σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή των σεισμών με μέγεθος M ≥ 5.0 με αναλογία στους συμβολισμούς για την ευρύτερη περιοχή μελέτης για το χρονικό διάστημα από το 1911 μέχρι τις 10 Απριλίου του 2018, καθώς επίσης και τους ισχυρούς ιστορικούς σεισμούς του 1902 στην Άσσηρο και του 1905 στο Άθως που προκάλεσαν σημαντικές ζημιές στη Θεσσαλονίκη. Τα δεδομένα προέρχονται από τον κατάλογο σεισμών του σεισμολογικού σταθμού του Αριστοτελείου

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Permanent Regional Seismological Network operated by the Aristotle University).



Σχήμα 4.9 Γεωγραφική κατανομή των σεισμών με μέγεθος M ≥ 5.0

Επιπλέον, στον Πίνακας 4.2 αναγράφονται οι ισχυροί σεισμοί που προκάλεσαν σημαντικές ζημιές στη Θεσσαλονίκη με μέγεθος M ≥ 6.5.

Πίνακας 4.2 Ισχυροί σεισμοί που προκάλεσαν σημαντικές ζημιές στη Θεσσαλονίκη (sdgee.civil.auth.gr)

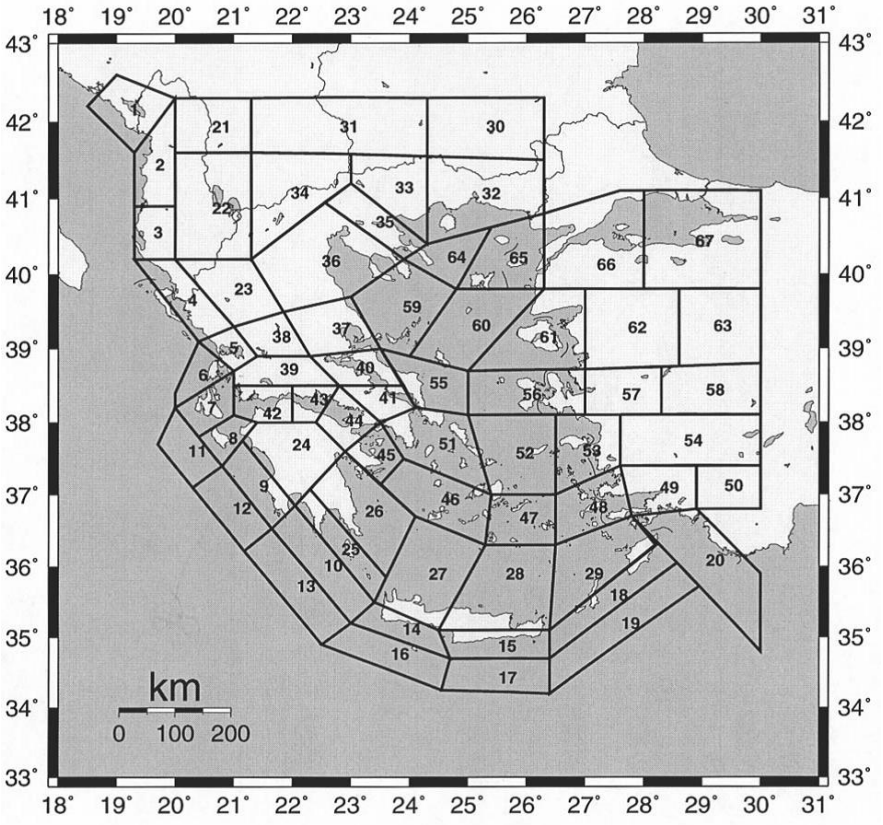
Ημερομηνία	Μέγεθος	Μέγιστη ένταση	Ένταση στη Θεσσαλονίκη	Επικεντρική απόσταση (km)
5 / 07 / 1902	6.5	Άσσηρος (IX)	VII	18
8 / 11 / 1905	7.5	Άθως (X)	VII	131
26 / 09 / 1932	7.0	Ιερισσός (X)	VII	78
20 / 06 / 1978	6.5	Στίβος (VIII)	VII	34

Οι Papaioannou and Papazachos (2000) πρότειναν για το Νότιο Βαλκανικό χώρο ένα μοντέλο το οποίο αποτελείται από 67 σεισμικές πηγές επιφανειακών σεισμών (Σχήμα 4.10) και 7 για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους (Σχήμα 4.11), για τις οποίες σεισμικές πηγές καθόρισαν τις παραμέτρους σεισμικότητας. Ο πίνακας με

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

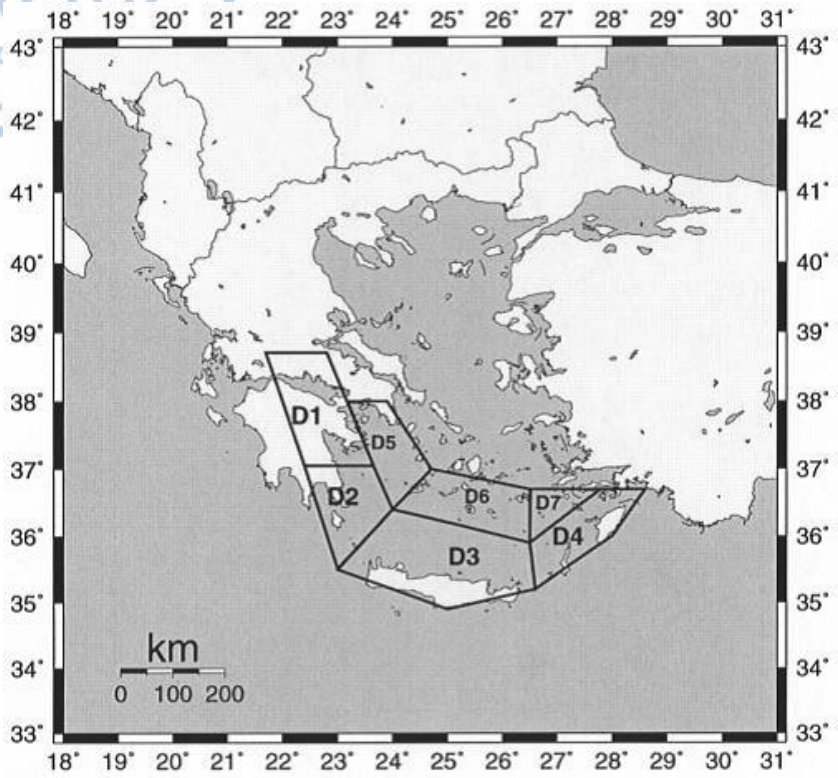
τις παραμέτρους σεισμικότητας για κάθε μία σεισμική πηγή παρουσιάζεται στο παράρτημα Β, οι παράμετροι αυτοί χρειάζονται για τον υπολογισμό της σεισμικής επικινδυνότητας σε κάθε μία σεισμική πηγή ξεχωριστά.



Σχήμα 4.10 Σεισμογόνες πηγές επιφανειακών σεισμών στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές (Papaioannou and Papazachos, 2000)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεω
Α.Π.

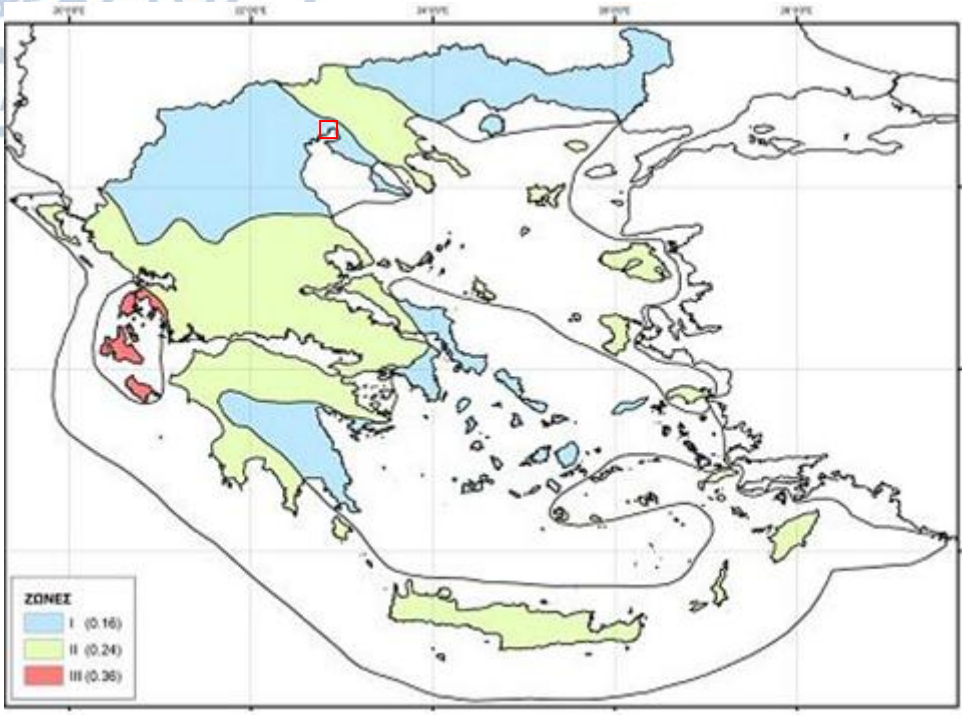


Σχήμα 4.11 Σεισμογόνες πηγές ενδιάμεσου βάθος στο ελληνικό τόξο (Papaioannou and Papazachos, 2000)

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) και το νέο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας ο Ελληνικός χώρος υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας με αντίστοιχες τιμές ενεργών εδαφικών επιταχύνσεων σχεδιασμού 0.16g για την πρώτη ζώνη, 0.24g για τη δεύτερη ζώνη και 0.36g για τη τρίτη ζώνη. Με βάση το παρακάτω χάρτη η περιοχή μελέτης βρίσκεται οριακά στη ζώνη Ι (0.16g), παρόλα αυτά επηρεάζεται άμεσα από σεισμικούς κινδύνους που αναπτύσσονται στη γειτονική ανατολική ζώνη (Σχήμα 4.12).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα



Σχήμα 4.12 Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας, κατανομή των περιοχών της Ελλάδας στις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (ΦΕΚ 1154Β/12.8.2003, 2003)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

5. Επεξεργασία δεδομένων – Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζετε η επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών σε 64 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις οι οποίες προέρχονται από δημοσιευμένα στοιχεία της κύριας γραμμής του Μετρό, το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ) και τη Γεώγνωση Α.Ε.. Στο Σχήμα 5.1 φαίνεται η περιοχή μελέτης και προβάλλονται όλες οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που αξιολογήθηκαν. Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται οι θέσεις εκτέλεσης, το έτος και οι συντεταγμένες των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

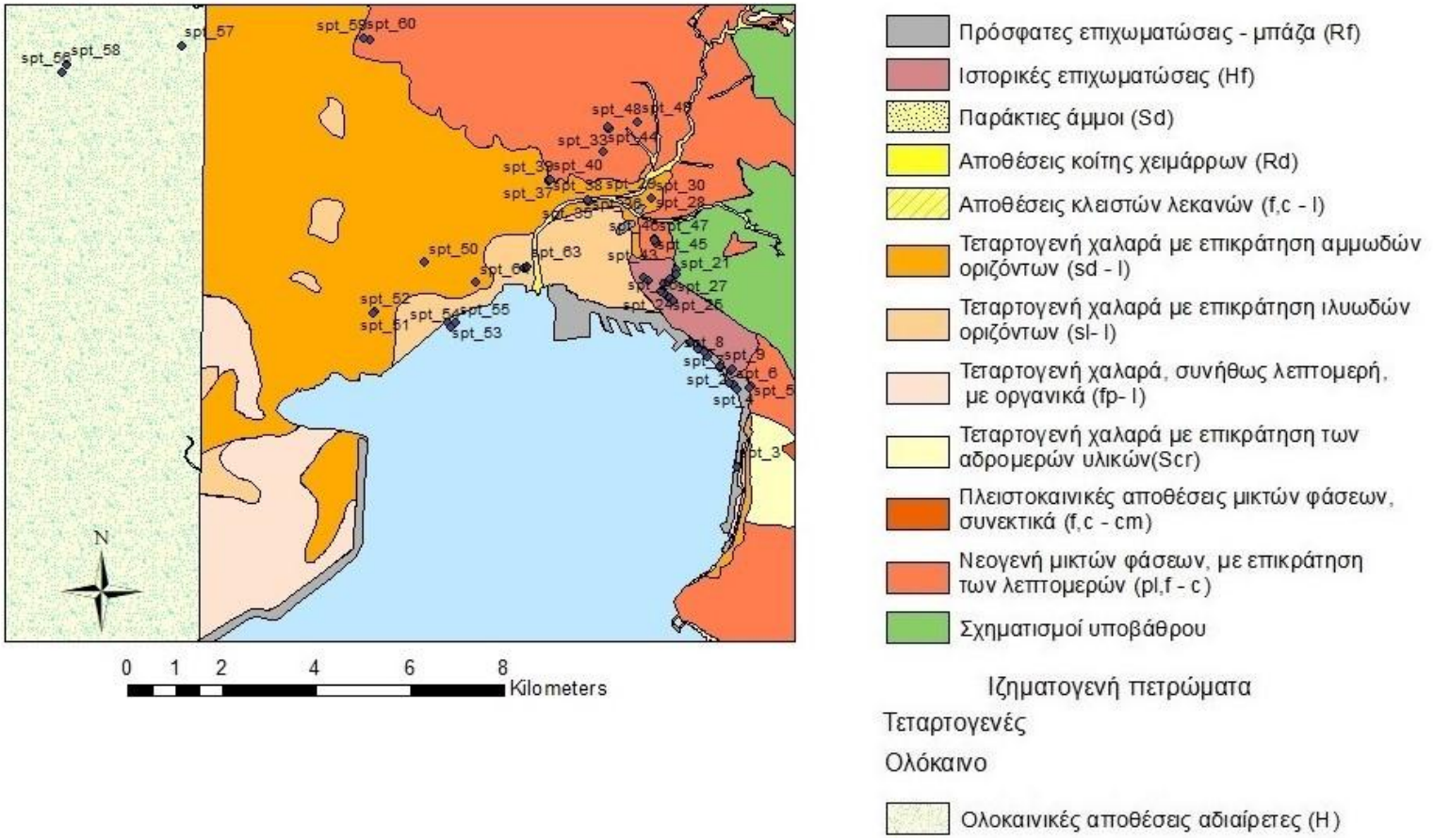
Έπειτα εξετάζεται η επιδεκτικότητα των θέσεων με βάση τα κριτήρια των Bray και Sancio (2006) και τέλος εκτιμάται το δυναμικό ρευστοποίησης του συγκεκριμένου εδαφικού σχηματισμού με τον υπολογισμό του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης (LPI).

Ο δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης (LPI) υπολογίστηκε για σεισμικό γεγονός με μέγεθος ροπής $M_w = 6.6$, διότι σύμφωνα με τους Papaioannou and Papazachos (2000) το μέγιστο μέγεθος M που αναμένεται στην περιοχή μελέτης ισούται με 6.6. Για τους σεισμούς της Ελλάδας το μέγεθος M είναι ίσο με το μέγεθος ροπής για ένα σημαντικό εύρος μεγεθών ($M = M_W$, $5.0 \leq M_S \leq 8.0$) (Παπαζάχος and Παπαζάχου , 2003). Επιπλέον υπολογίστηκε η εδαφική επιτάχυνση που απαιτείται έτσι ώστε στην επιφάνεια της θέση στην οποία εκτελέστηκε η γεώτρηση να εκδηλωθούν φαινόμενα ρευστοποίησης.

Τέλος, σε κάθε θέση – γεώτρηση που κρίθηκε επιδεκτική σε ρευστοποίηση εκτιμήθηκαν οι καθιζήσεις, το πάχος του ρευστοποιήσιμου στρώματος και το πάχος του επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 5.1 Ο χάρτης με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Η περιοχή μελέτης δεν αποτυπωνόταν ολόκληρη στον τεχνικογεωλογικό χάρτη των Ρόζος et al. (1998) για αυτό το λόγο έγινε αλληλεπικάλυψη με το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (1970)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

5.2 Μεθοδολογία - Αποτελέσματα

Αρχικά χαρακτηρίστηκαν ως μη ρευστοποιήσιμες οι θέσεις όπου πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις spt_31, spt_32, spt_33, spt_44, spt_48, spt_49, spt_59 και spt_60 διότι όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.1 εκτελέστηκαν σε Πλειοκαινικές αποθέσεις και δεν έχουν παρατηρηθεί σύγχρονα φαινόμενα ρευστοποίησης σε ιζήματα προ – Πλειστοκαινικής ηλικίας (Obermeier, 1996) και οι θέσεις των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων spt_53, spt_54 και spt_55 διότι πρόκειται για υποθαλάσσιες.

Στις υπόλοιπες 53 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις έγινε αξιολόγηση – επεξεργασία των στοιχείων τους. Συλλέχθηκαν οι εξής πληροφορίες από τα μητρώα των γεωτρήσεων με στόχο την αξιολόγηση της επιδεκτικότητάς των θέσεων αυτών σε ρευστοποίηση:

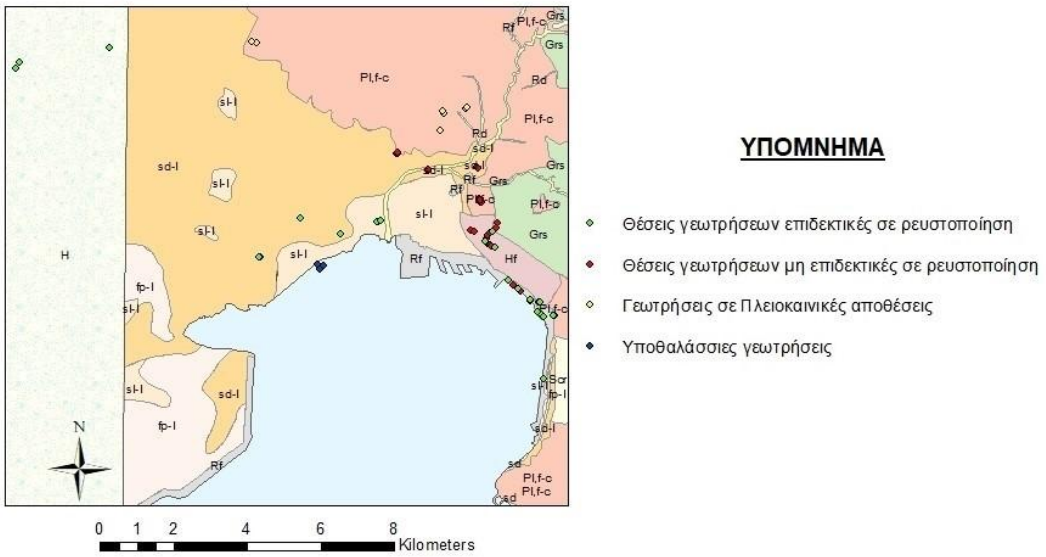
- Το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα
- Τα όρια Atterberg και συγκεκριμένα οι τιμές του ορίου υδαρότητας (LL) και του δείκτη πλαστικότητας (PI)
- Η περιεχόμενη υγρασία του εδάφους (w_c)
- Το ποσοστό των λεπτόκοκκων
- Και το βάθος που εκτελέστηκε η δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (SPT) και ο αριθμός των κρούσεων (N) που καταγράφηκε

Στα εδαφικά στρώματα των γεωτρήσεων όπου απουσίαζαν οι παραπάνω πληροφορίες οι τιμές εκτιμήθηκαν με βάση τα δεδομένα κοντινών γεωτρήσεων. Επιπλέον, μελετήθηκαν οι εδαφικοί σχηματισμοί μέχρι το βάθος των 20m διότι όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3.2 σε μεγαλύτερα βάθη δεν έχουν αναφερθεί περιστατικά ρευστοποίησης.

Στη συνέχεια εξετάστηκε η επιδεκτικότητα των εδαφικών σχηματισμών με βάση τα κριτήρια των Bray and Sancio (2006). Αξιολογήθηκαν οι εδαφικοί σχηματισμοί της κάθε γεώτρησης και κρίθηκαν επιδεκτικές σε ρευστοποίηση 24 θέσεις ενώ μη επιδεκτικές σε ρευστοποίηση 29. Στο Σχήμα 5.2 αποτυπώνεται η περιοχή μελέτης και ένας πρώτος χαρακτηρισμός των γεωτρήσεων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 5.2 Περιοχή μελέτης και αρχικός χαρακτηρισμός των γεωτρήσεων που αξιολογήθηκαν

Έπειτα, υπολογίστηκε ο συντελεστής ασφαλείας σε ρευστοποίηση κάθε εδαφικού στρώματος για τις 24 θέσεις – γεωτρήσεις με βάση την απλοποιημένη διαδικασία των Seed and Idriss (1971) και τις τροποποιήσεις αυτής, όπως διατυπώθηκαν από την επιτροπή NCEER (Youd et al., 2001). Επιπλέον υπολογίστηκε ο δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης (LPI) για σεισμικό γεγονός με μέγεθος ροπής 6.6 και υπολογίστηκε η εδαφική επιτάχυνση που απαιτείται για την εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν δύο μοντέλα ταξινόμησης:

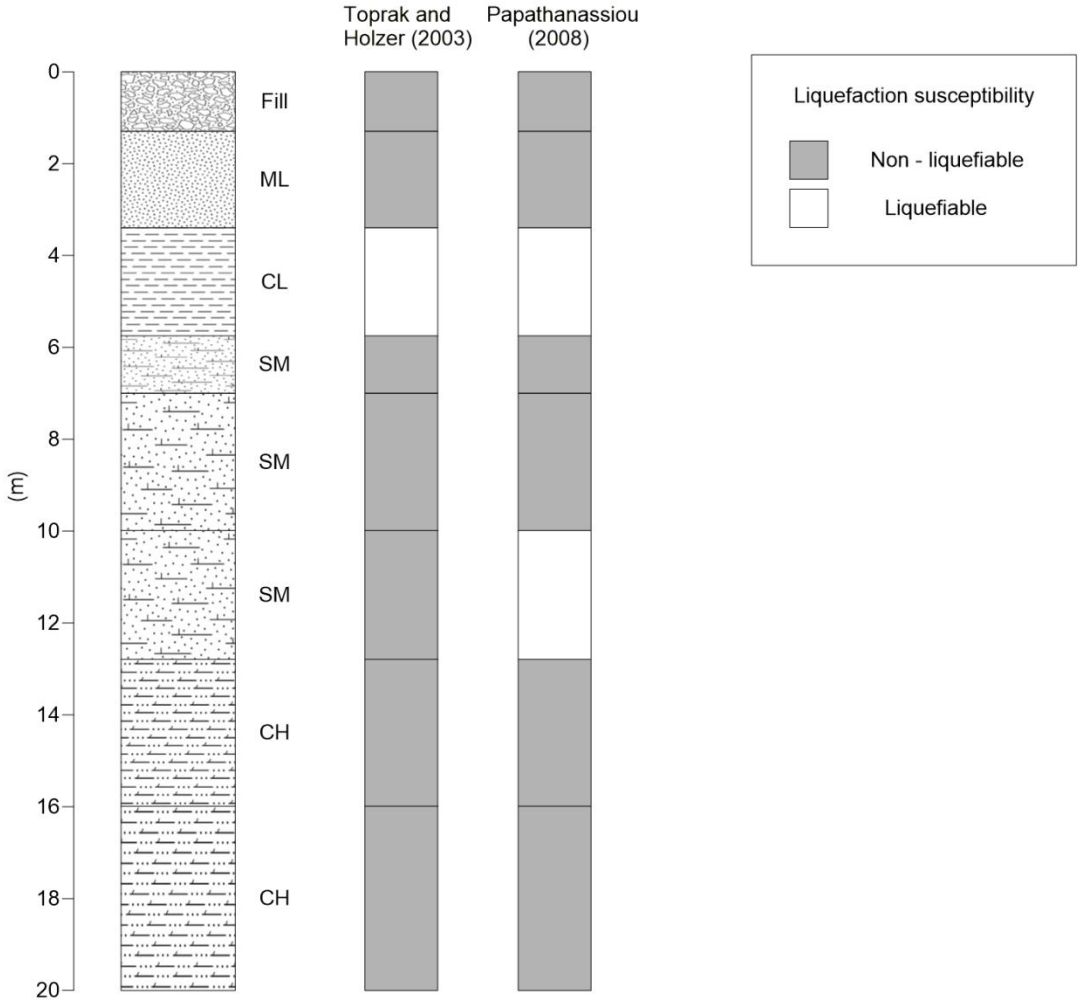
- Το πρώτο είναι των Toprak and Holzer (2003) όπου σύμφωνα με αυτό όταν το LPI ισούται με 5 τότε υπάρχει 53% πιθανότητα εκδήλωσης επιφανειακών φαινομένων ρευστοποίησης
- Και το δεύτερο που χρησιμοποιήθηκε είναι του Papathanassiou (2008) όπου μέσω της λογιστικής παλινδρόμησης κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η τιμή του LPI = 14.2 αποτελεί το όριο μεταξύ των δύο καταστάσεων, εμφάνιση ή όχι φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια

Δηλαδή αναζητήθηκε η τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για ένα σεισμικό γεγονός με M_W = 6.6, η οποία απαιτείται για να ισούται το LPI στη μία

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

περίπτωση με 5 και στην άλλη με 14. Η ανάλυση αυτή, πραγματοποιήθηκε για εδαφική επιτάχυνση PGA ≤ 1.00g. Στη συνέχεια, κατασκευάστηκαν στήλες και για τις 24 θέσεις – γεωτρήσεις όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.3, από τα αριστερά προς τα δεξιά στην πρώτη στήλη απεικονίζεται το εδαφικό προφίλ της γεώτρησης, στη δεύτερη στήλη απεικονίζονται τα εδαφικά στρώματα που κρίθηκαν επιδεκτικά σε ρευστοποίηση για το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003) και στην τρίτη στήλη τα εδαφικά στρώματα που κρίθηκαν επιδεκτικά σε ρευστοποίηση για το μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008). Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται οι στήλες και για τις 24 θέσεις – γεωτρήσεις καθώς και πίνακες με τα δεδομένα των γεωτρήσεων αυτών.



Σχήμα 5.3 Γεώτρηση spt_51: Το εδαφικό προφίλ και οι σχηματισμοί που ρευστοποιούνται για κάθε μοντέλο ταξινόμησης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στον υπολογισμό της τιμής του LPI συμμετείχαν μόνο εκείνα τα εδάφη τα οποία ικανοποιούσαν τα κριτήρια επιδεκτικότητας. Στον Πίνακας 5.1 αναφέρονται οι τιμές του LPI και της εδαφικής επιτάχυνσης και για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης. Από τις 24 θέσεις – γεωτρήσεις σύμφωνα με τους Toprak and Holzer (2003) μόνο στις 23 αναμένεται η εμφάνιση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια (Σχήμα 5.4) ενώ σύμφωνα με τον Papathanassiou (2008) μόνο στις 12 αναμένεται η εμφάνιση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια (Σχήμα 5.5).

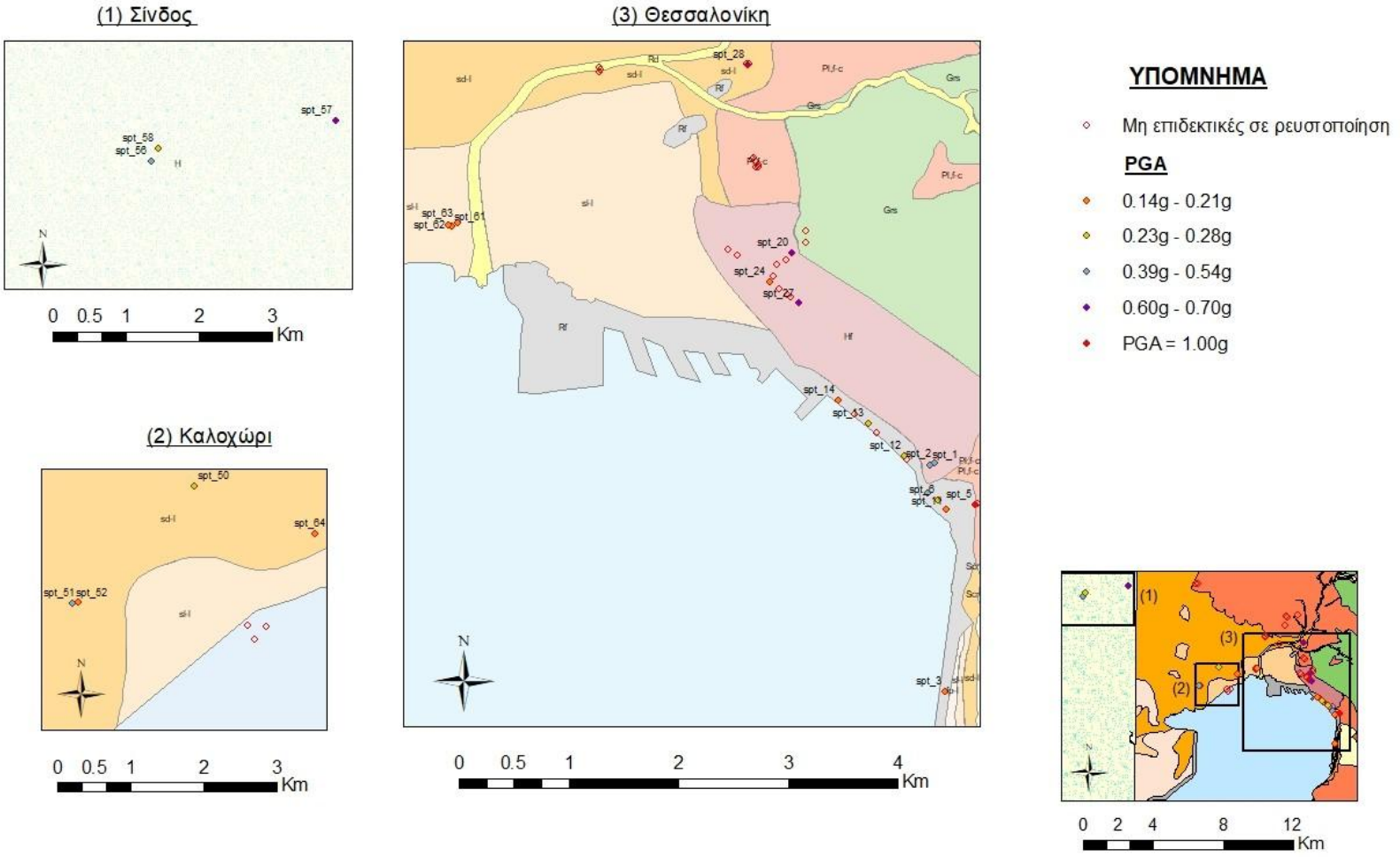
Πίνακας 5.1 Οι 24 θέσεις – γεωτρήσεις οι οποίες ικανοποιούν τα κριτήρια επιδεκτικότητας και οι τιμές του LPI και της εδαφικής επιτάχυνσης για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης

Γεώτρηση	Toprak and Holzer (2003)		Papathanassiou (2008)	
	LPI	PGA	LPI	PGA
spt_1	5.01	0.48g	11.52*	1.00g
spt_2	5.05	0.48g	7.89*	1.00g
spt_3	5.37	0.20g	14.54	0.33g
spt_5	4.55*	1.00g		
spt_6	5.12	0.27g	13.79*	1.00g
spt_10	5.12	0.54g	10.65*	1.00g
spt_11	5.04	0.21g	14.02	0.55g
spt_12	5.11	0.24g	13.48*	1.00g
spt_13	5.03	0.28g	11.43*	1.00g
spt_14	5.50	0.18g	14.01	0.95g
spt_20	5.03	0.70g	5.67*	1.00g
spt_24	5.00	0.21g	14.34	0.36g
spt_27	5.00	0.67g	6.32*	1.00g
spt_28	5.07	0.60g	7.17*	1.00g
spt_50	5.08	0.23g	14.34	0.37g
spt_51	5.79	0.14g	14.10	0.25g
spt_52	5.05	0.42g	7.83*	1.00g
spt_56	5.23	0.39g	14.05	0.68g
spt_57	5.05	0.68g	6.26*	1.00g
spt_58	5.69	0.26g	14.37	0.36g
spt_61	5.08	0.19g	14.02	0.50g
spt_62	7.00	0.15g	15.54	0.19g
spt_63	6.98	0.15g	14.35	0.18g
spt_64	5.58	0.21g	14.89	0.28g

*Για LPI = 5 ή/και LPI = 14, η εδαφική επιτάχυνση υπερβαίνει τη τιμή 1.00g

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

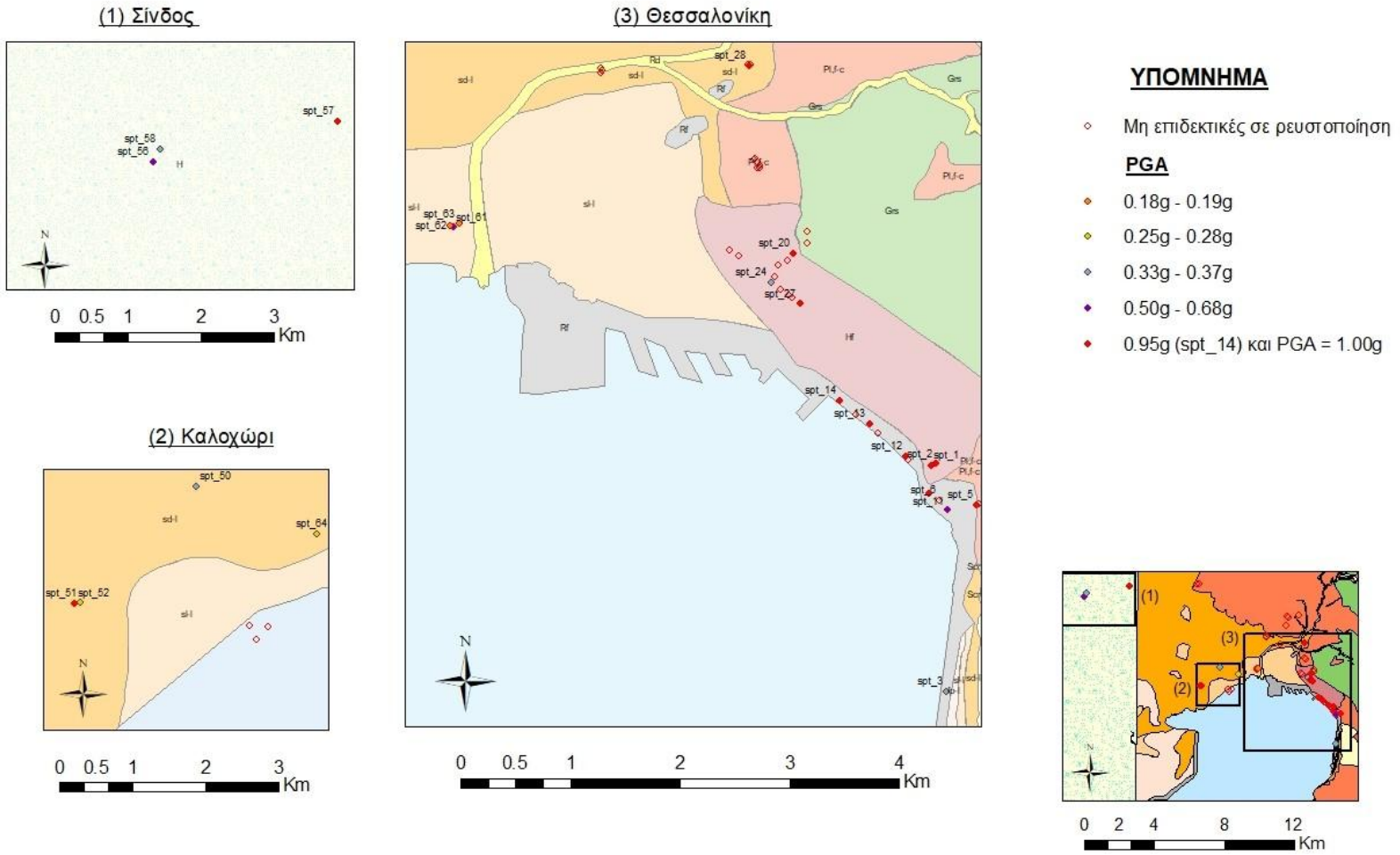
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 5.4 Οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για τις οποίες αναμένεται η εμφάνιση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια σύμφωνα με το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 5.5 Οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για τις οποίες αναμένεται η εμφάνιση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια σύμφωνα με το μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

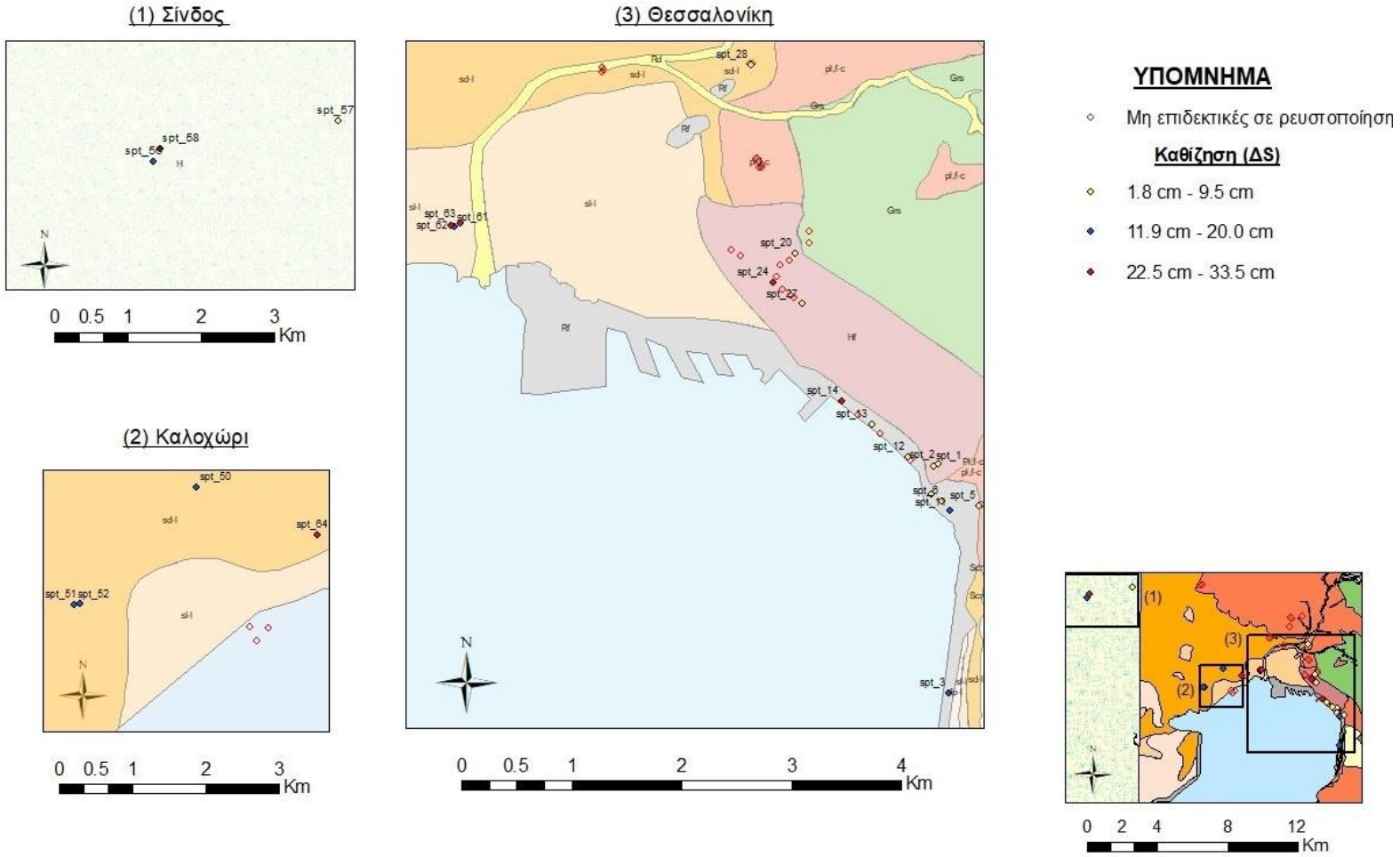
Επιπλέον για αυτές τις θέσεις υπολογίστηκαν οι πιθανές καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους με βάση τη μεθδοδολογία των Zhang et al. (2004) και οι τιμές των καθιζήσεων αυτών αποτυπώνονται στον Πίνακας 5.2 και για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης. Για τις θέσεις όπου η εδαφική επιτάχυνση ισούται με 1.00g χωρίς η τιμή του LPI να ισούται με 5 ή/και 14 η καθίζηση που υπολογίστηκε είναι για εδαφική επιτάχυνση PGA = 1.00g.

Πίνακας 5.2 Οι πιθανές καθιζήσεις για τις 24 θέσεις – γεωτρήσεις

Γεώτρηση	Toprak and Holzer (2003)	Papathanassiou (2008)
spt_1	6.259 cm	9.052 cm
spt_2	2.162 cm	2.162 cm
spt_3	13.342 cm	18.514 cm
spt_5	3.368 cm	
spt_6	9.538 cm	9.538 cm
spt_10	6.267 cm	6.267 cm
spt_11	19.343 cm	19.343 cm
spt_12	7.425 cm	7.425 cm
spt_13	9.236 cm	9.236 cm
spt_14	27.633 cm	27.633 cm
spt_20	3.713 cm	3.713 cm
spt_24	22.451 cm	24.467 cm
spt_27	2.293 cm	2.293 cm
spt_28	1.830 cm	1.830 cm
spt_50	18.605 cm	24.537 cm
spt_51	14.728 cm	23.894 cm
spt_52	16.865 cm	16.865 cm
spt_56	11.876 cm	14.663 cm
spt_57	7.105 cm	7.105 cm
spt_58	27.138 cm	30.408 cm
spt_61	20.010 cm	20.010 cm
spt_62	30.681 cm	36.249 cm
spt_63	33.493 cm	36.662 cm
spt_64	23.752 cm	24.400 cm

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

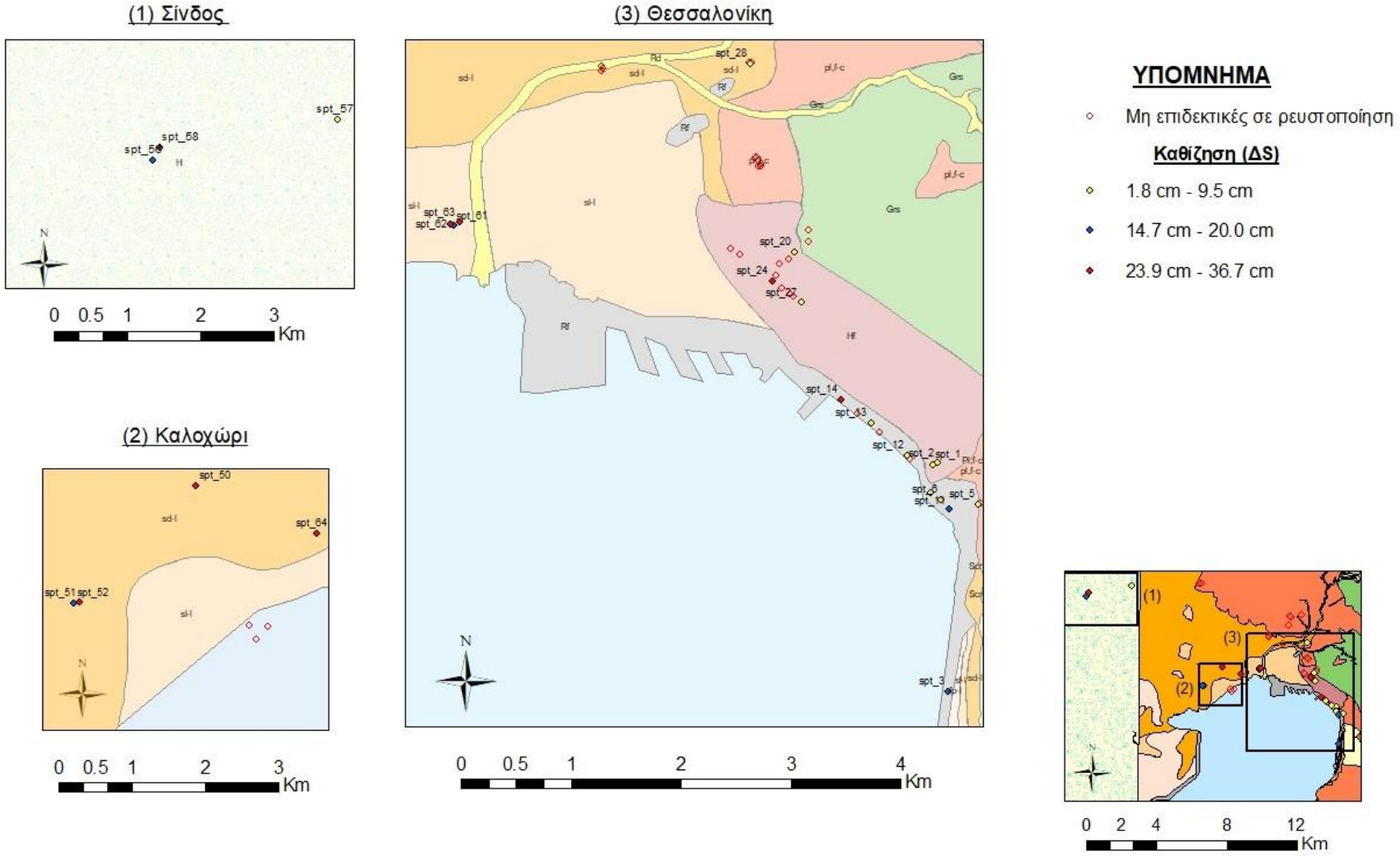
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 5.6 Οι πιθανές καθιζήσεις για το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 5.7 Οι πιθανές καθιζήσεις για το μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Τέλος, υπολογίστηκε το πάχος του επιφανειακού εδαφικού στρώματος που δεν ρευστοποιείται για κάθε θέση – γεώτρηση καθώς και του υποκείμενου επιδεκτικού σε ρευστοποίηση στρώματος και για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης. Το πάχος του ρευστοποιήσιμου στρώματος ισούται με το άθροισμα όλων των στρωμάτων που ρευστοποιούνται και ας παρεμβάλλονται μη ρευστοποιήσιμα στρώματα.

Πίνακας 5.3 Συγκεντρωτικός πίνακας με το πάχος του επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος και του ρευστοποιήσιμου στρώματος για κάθε θέση - γεώτρηση και για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης

Γεώτρηση	Toprak and Holzer (2003)		Papathanassiou (2008)	
	Πάχος επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος	Πάχος ρευστοποιήσιμου στρώματος	Πάχος επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος	Πάχος ρευστοποιήσιμου στρώματος
spt_1	6.25 m	1.50 m	6.25 m	3.60 m
spt_2	5.90 m	0.65 m	5.90 m	0.65 m
spt_3	5.00 m	3.00 m	2.00 m	4.50 m
spt_5	6.00 m	1.50 m		
spt_6	4.00 m	2.50 m	4.00 m	2.50 m
spt_10	3.10 m	2.90 m	3.10 m	2.90 m
spt_11	2.60 m	3.50 m	2.60 m	3.50 m
spt_12	6.60 m	1.80 m	6.60 m	1.80 m
spt_13	7.20 m	2.60 m	7.20 m	2.60 m
spt_14	2.80 m	5.00 m	2.80 m	5.00 m
spt_20	14.30 m	0.90 m	14.30 m	0.90 m
spt_24	8.50 m	4.00 m	8.50 m	6.00 m
spt_27	10.50 m	0.90 m	10.50 m	0.90 m
spt_28	3.40 m	0.55 m	3.40 m	0.55 m
spt_50	8.40 m	5.20 m	5.40 m	8.20 m
spt_51	3.40 m	2.35 m	3.40 m	5.15 m
spt_52	1.90 m	3.75 m	1.90 m	3.75 m
spt_56	8.40 m	6.40 m	8.40 m	6.40 m
spt_57	13.00 m	2.00 m	13.00 m	2.00 m
spt_58	3.00 m	8.15 m	3.00 m	9.00 m
spt_61	1.10 m	3.90 m	1.10 m	3.90 m
spt_62	0.80 m	6.20 m	0.80 m	8.20 m
spt_63	0.60 m	8.40 m	0.60 m	8.40 m
spt_64	3.60 m	6.85 m	3.60 m	6.58 m

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ρευστοποιούμενες θέσεις θεωρούνται οι εδαφικές στρώσεις με επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση και με ταυτόχρονη τιμή του συντελεστή ασφαλείας μικρότερη της μονάδας. Συνεπώς ακόμα και για τη θέση – γεώτρηση spt_5 υπολογίστηκαν τα παραπάνω πάχη διότι μπορεί να μην αναμένονται επιφανειακά φαινόμενα ρευστοποίησης σύμφωνα με τα δύο μοντέλα ταξινόμησης αλλά ο συντελεστής ασφαλείας είναι μικρότερος της μονάδας και το στρώμα κρίθηκε επιδεκτικό σε ρευστοποίηση. Ομοίως και για τις άλλες θέσεις – γεωτρήσεις όπου με βάση το μοντέλο πιθανοτήτων του Papathanassiou (2008) δεν αναμένεται η εμφάνιση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια.

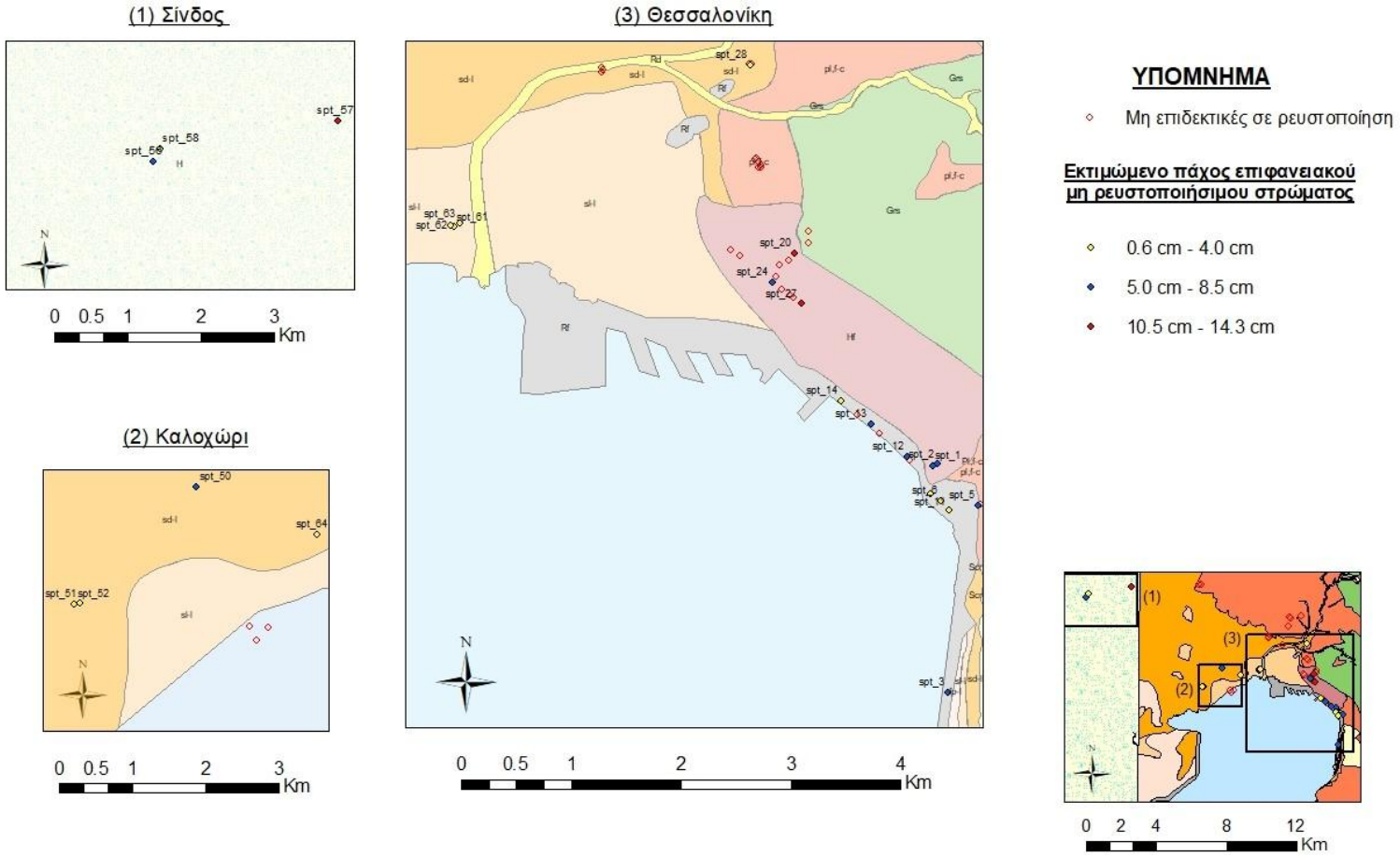
Γενικά, παρατηρείται πως επιδεκτικές σε ρευστοποίηση είναι κυρίως οι θέσεις – γεωτρήσεις που βρίσκονται στην παραλιακή περιοχή (Σχήμα 5.2). Για το σεισμικό σενάριο μεγέθους $M_w = 6.6$ η εδαφική επιτάχυνση που απαιτείται για την εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια σύμφωνα με το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003) αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από την παραλία (Σχήμα 5.4). Για το μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008) αναμένονται εκδηλώσεις φαινομένων ρευστοποίησης κυρίως στη δυτική περιοχή του λιμανιού προς το Καλοχώρι και στο Καλοχώρι (Σχήμα 5.5).

Οι πιθανές καθιζήσεις ποικίλλουν και όπως είναι αναμενόμενο για το δεύτερο μοντέλο ταξινόμησης οι πιθανές καθιζήσεις σε κάποιες θέσεις – γεωτρήσεις είναι πιο υψηλές (Σχήμα 5.6 και Σχήμα 5.7). Η αύξηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι τα κριτήρια των Seed et al. (2003) που χρησιμοποιούνται στο δεύτερο μοντέλο για την αξιολόγηση της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση αυξάνουν το συνολικό πάχος των επιδεκτικών προς ρευστοποίηση εδαφικών στρωμάτων συνεπώς αυξάνονται και οι τιμές των καθιζήσεων.

Τέλος το πάχος του ρευστοποιήσιμου στρώματος και το πάχος του επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος ποικίλλει και για τα δύο μοντέλα (Σχήμα 5.8, Σχήμα 5.9, Σχήμα 5.10 και Σχήμα 5.11).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

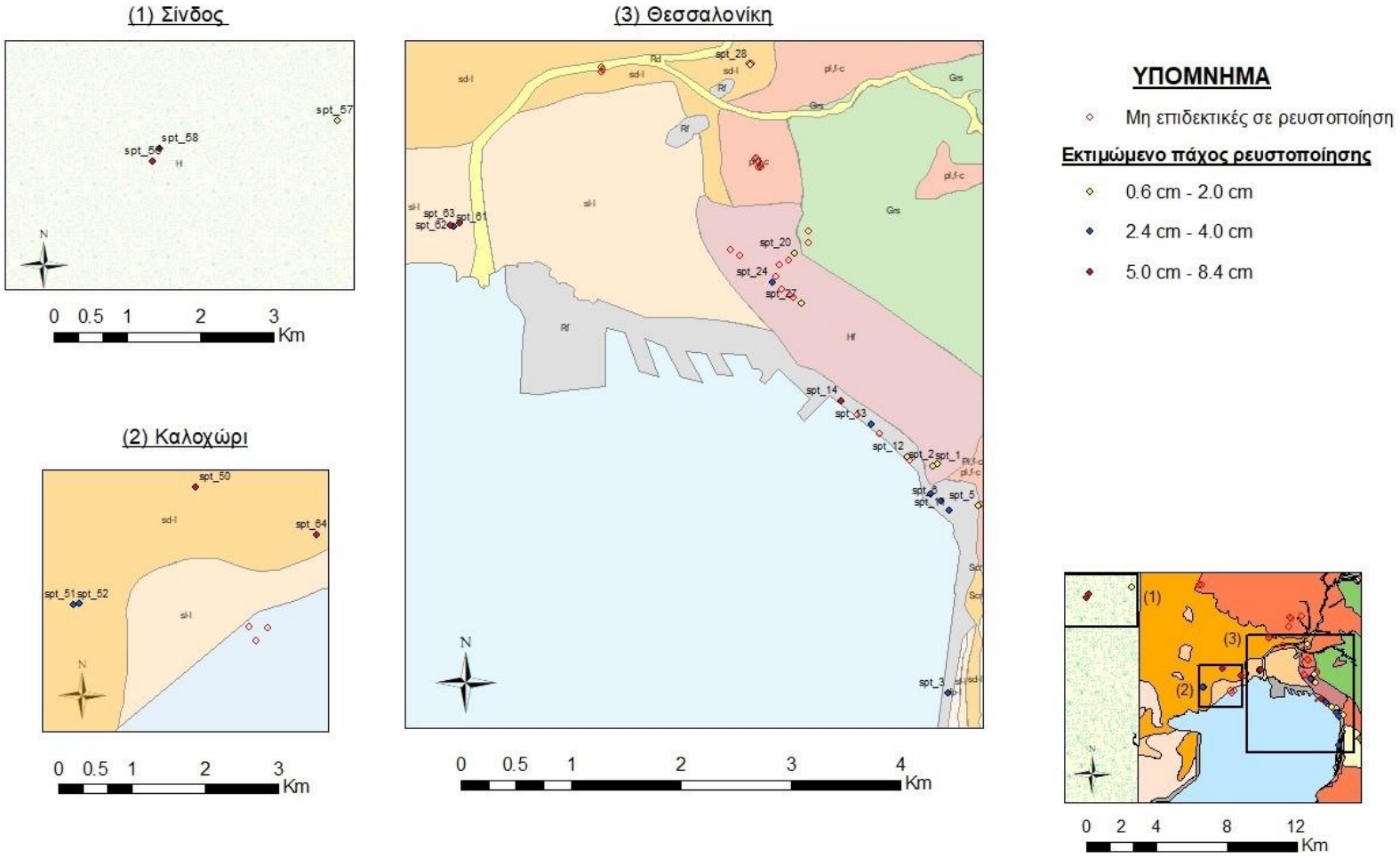
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 5.8 Εκτιμώμενα πάχη επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος για τις τιμές τις εδαφικής επιτάχυνσης για το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

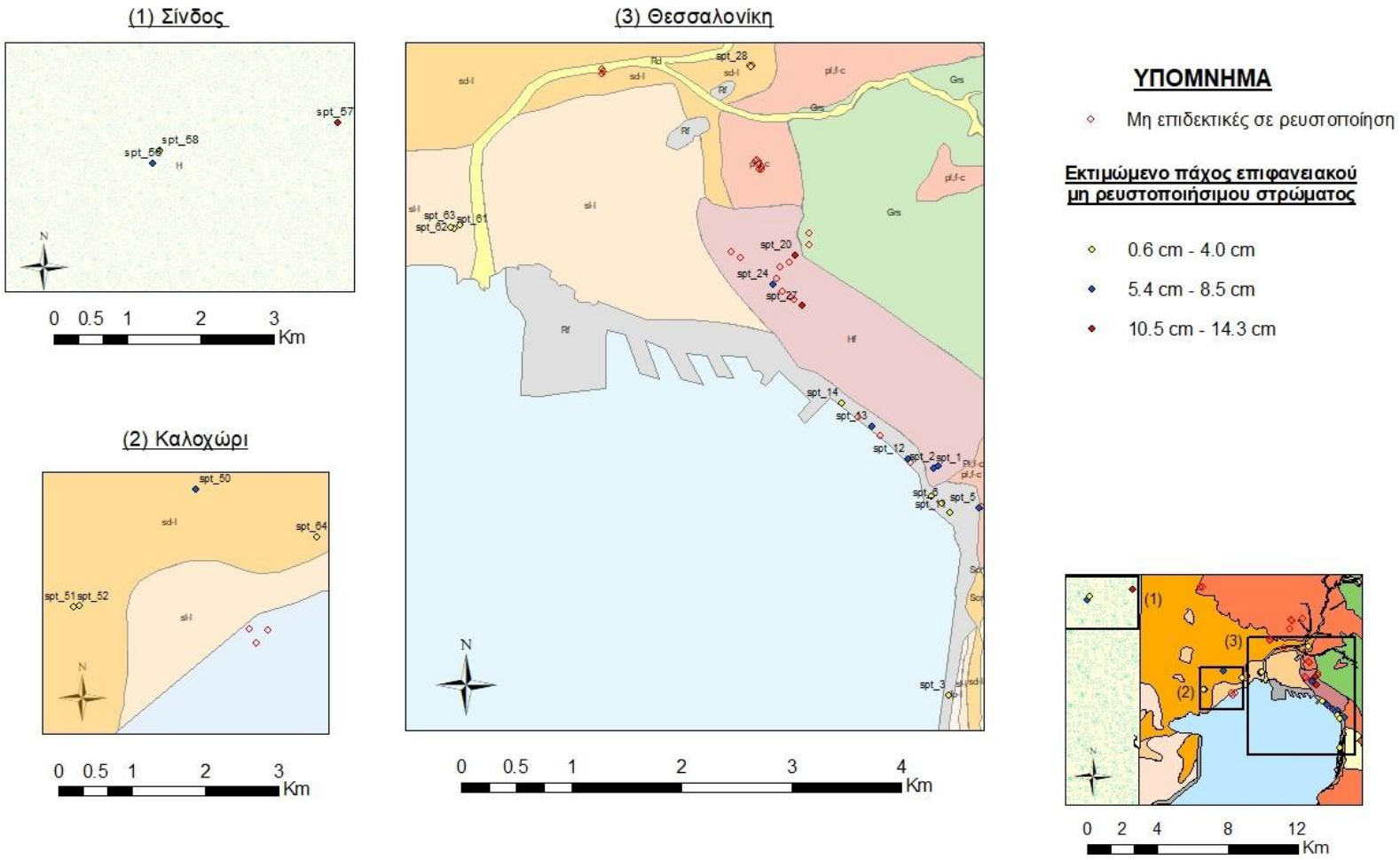
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 5.9 Εκτιμώμενα πάχη ρευστοποίησης για τις τιμές τις εδαφικής επιτάχυνσης για το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

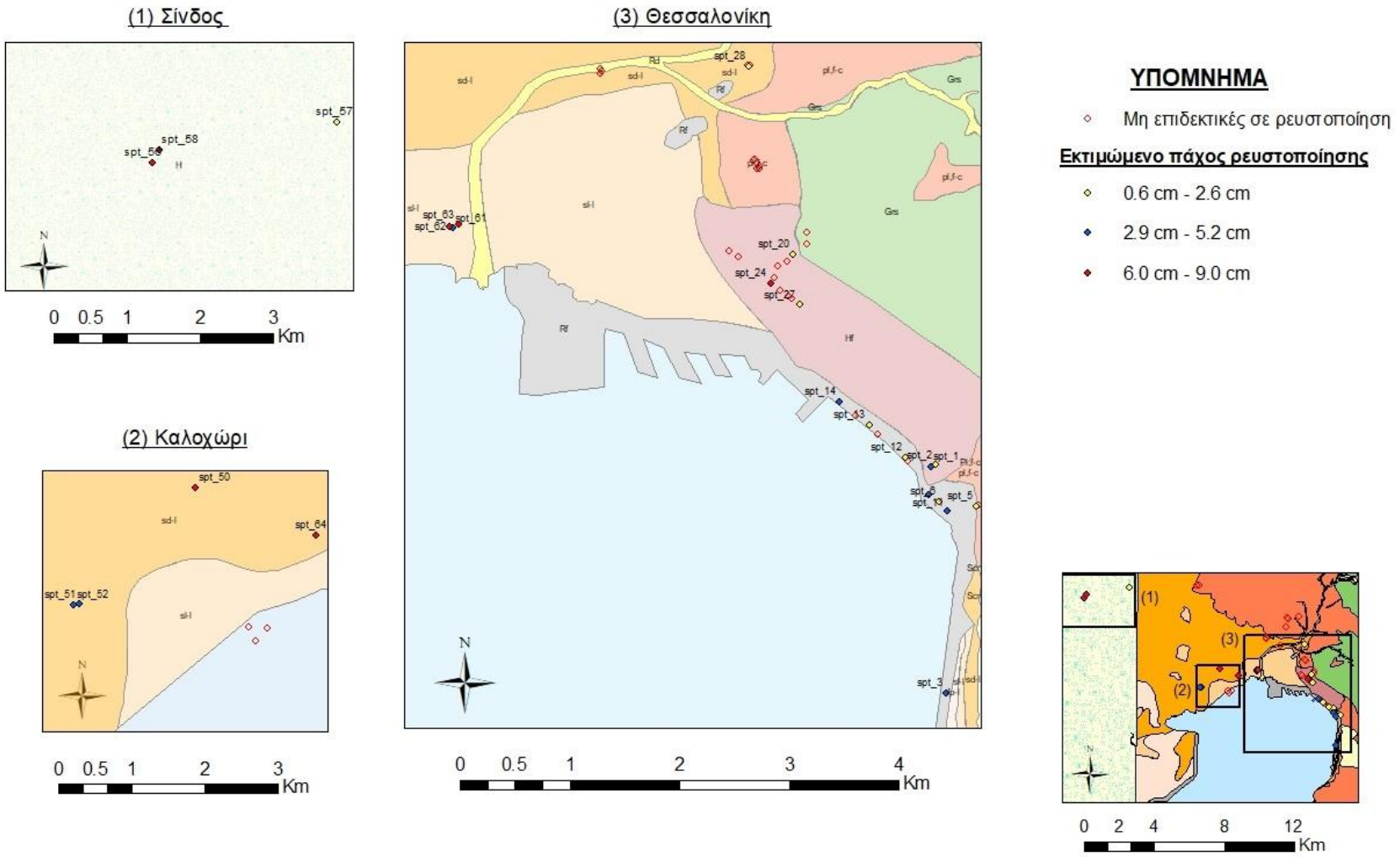
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 5.10 Εκτιμώμενα πάχη επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος για τις τιμές τις εδαφικής επιτάχυνσης για το μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 5.11 Εκτιμώμενα πάχη ρευστοποίησης για τις τιμές τις εδαφικής επιτάχυνσης για το μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

6. Συμπεράσματα

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής ήταν η εκτίμηση του δυναμικού της ρευστοποίησης για δύο μοντέλα ταξινόμησης και των προκαλούμενων εδαφικών παραμορφώσεων στο δυτικό τμήμα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Τα μοντέλα ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν των Toprak and Holzer (2003) και του Papathanassiou (2008) και ως μέσω εκτίμησης του δυναμικού ρευστοποίησης των θέσεων αυτών χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης (LPI).

Αρχικά αξιολογήθηκαν τα δεδομένα από 64 γεωτρήσεις και με βάση τα κριτήρια των Bray and Sancio (2006) επιδεκτικές σε ρευστοποίηση κρίθηκαν 24 γεωτρήσεις – θέσεις οι οποίες εντοπίζονται κυρίως στην παραλιακή Θεσσαλονίκη, στη δυτική περιοχή του λιμανιού προς το Καλοχώρι, στο Καλοχώρι και στη Σίνδο. Έπειτα αναζητήθηκε η τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης που απαιτείται, για σεισμικό γεγονός μεγέθους M_w = 6.6, για την εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια για κάθε θέση – γεώτρηση. Τέλος υπολογίστηκαν οι πιθανές καθιζήσεις και τα πάχη των ρευστοποιήσιμων και μη στρωμάτων για τις παραπάνω θέσεις - γεωτρήσεις.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα της εν λόγω διατριβής και για τα δύο μοντέλα είναι τα παρακάτω.

<u>Μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003)</u>

- Στο παραλιακό μέτωπο της Θεσσαλονίκης, η εδαφική επιτάχυνση που απαιτείται για την εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίηση στην επιφάνεια κυμαίνεται μεταξύ 0.14g – 0.28g στις περισσότερες θέσεις – γεωτρήσεις. Με εξαίρεση κάποιες θέσεις – γεωτρήσεις που εντοπίζονται στο Βασιλικό θέατρο και κοντά στο Λευκό Πύργο όπου η εδαφική επιτάχυνση που απαιτείται κυμαίνεται μεταξύ 0.39g – 0.54g. Στη δυτική περιοχή του λιμανιού προς το Καλοχώρι και στο Καλοχώρι κυμαίνεται μεταξύ 0.14g – 0.28g στις περισσότερες θέσεις – γεωτρήσεις. Στη Σίνδο οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης ποικίλουν από 0.26g έως και 0.68g.
- Οι πιθανές καθιζήσεις λόγω της ρευστοποίησης στο παραλιακό μέτωπο της

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Θεσσαλονίκης και στην Σίνδο είναι της τάξεως των 1 – 15cm, και σε ορισμένες ακραίες περιπτώσεις έως και 23cm. Στη δυτική περιοχή του λιμανιού προς το Καλοχώρι και στο Καλοχώρι είναι της τάξεως των 23 – 33cm.

- Το πάχος των εδαφικών στρωμάτων που ρευστοποιούνται στο παραλιακό μέτωπο της Θεσσαλονίκης κυμαίνεται από 0.50 έως και 4.00m, στην δυτική περιοχή του λιμανιού προς το Καλοχώρι και στο Καλοχώρι από 3.50 έως και 6.85m και σε ορισμένες ακραίες περιπτώσεις φθάνει τα 8.40m. Στη Σίνδο το πάχος των εδαφικών στρωμάτων που ρευστοποιούνται ποικίλλει από τα 2.00 έως και τα 8.15m. Το πάχος του επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος κυμαίνεται μεταξύ 2.00 – 7.20m, και σε ορισμένες ακραίες περιπτώσεις φθάνει τα 10.50m (περιοχή Βαρδάρη, Σίνδο, Καλοχώρι μέχρι και τα 14.30m στη Σταυρούπολη). Τέλος στη δυτική περιοχή του λιμανιού προς το Καλοχώρι το πάχος του επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος μειώνεται πολύ και κυμαίνεται μεταξύ 0.60 – 1.90m.

Μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008)

- Στο παραλιακό μέτωπο της Θεσσαλονίκης, στις περισσότερες θέσεις – γεωτρήσεις δεν αναμένεται η εμφάνιση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια. Με εξαίρεση κάποιες θέσεις – γεωτρήσεις που εντοπίζονται στην επέκταση της παραλίας προς τα Ανατολικά και στο Σιδηροδρομικό σταθμό όπου η εδαφική επιτάχυνση που απαιτείται κυμαίνεται μεταξύ 0.3g – 0.55g. Στη δυτική περιοχή του λιμανιού προς το Καλοχώρι και στο Καλοχώρι κυμαίνεται μεταξύ 0.18g – 0.37g στις περισσότερες θέσεις – γεωτρήσεις. Στη Σίνδο οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης ποικίλουν από 0.36g έως και 0.68g.
- Οι πιθανές καθιζήσεις λόγω της ρευστοποίησης στο παραλιακό μέτωπο της Θεσσαλονίκης και στην Σίνδο είναι της τάξεως των 1 – 20cm, και σε ορισμένες ακραίες περιπτώσεις έως και 27cm. Στη δυτική περιοχή του λιμανιού προς το Καλοχώρι είναι της τάξεως των 23 – 36cm και στο Καλοχώρι είναι της τάξεως των 14 – 16cm.
- Το πάχος των εδαφικών στρωμάτων που ρευστοποιούνται στο παραλιακό μέτωπο της Θεσσαλονίκης κυμαίνεται από 0.50 έως και 4.50m, στην δυτική περιοχή του λιμανιού προς το Καλοχώρι από 5.00 έως και 9.00m και στο

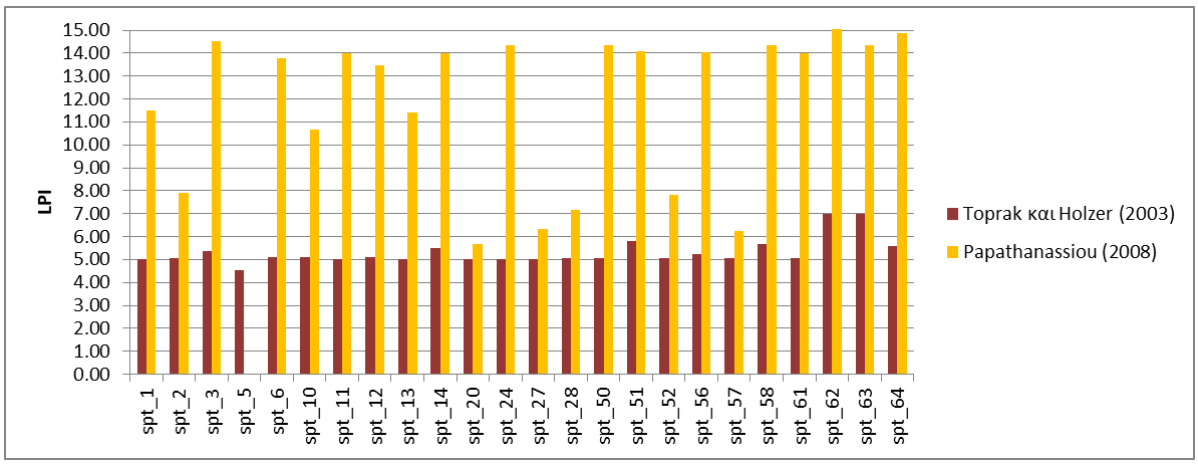
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Καλοχώρι από 3.50 έως και 5.15m. Στη Σίνδο το πάχος των εδαφικών στρωμάτων που ρευστοποιούνται ποικίλλει από τα 2.00 έως και τα 9.00m. Το πάχος του επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος στο παραλιακό μέτωπο της Θεσσαλονίκης κυμαίνεται μεταξύ 2.60 – 7.20m, και σε ορισμένες ακραίες περιπτώσεις φθάνει τα 10.50m (περιοχή Βαρδάρη μέχρι και τα 14.30m στη Σταυρούπολη). Στη δυτική περιοχή του λιμανιού προς το Καλοχώρι το πάχος του επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος μειώνεται πολύ και κυμαίνεται μεταξύ 0.60 – 1.10m, στο Καλοχώρι κυμαίνεται μεταξύ 1.90 έως 5.40m. Τέλος στη Σίνδο το πάχος του επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος ποικίλλει πάρα πολύ από τα 3.00 έως και τα 13.00m.

Στα δύο μοντέλα ταξινόμησης παρατηρούνται αποκλίσεις διότι οι Toprak and Holzer (2003) εφάρμοσαν τα « κινέζικα κριτήρια » και τα κριτήρια των Andrews and Martin (2000) για την αξιολόγηση της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση ενώ ο Papathanassiou (2008) εφάρμοσε τα τροποποιημένα κριτήρια από τους Seed et al. (2003).

Σύμφωνα με τους Andrews and Martin (2000) εδάφη με ποσοστό αργίλου μεγαλύτερο από 15% θεωρούνται μη ρευστοποιήσιμα ενώ σύμφωνα με τους Seed et al. (2003) θεωρούνται εν δυνάμει ρευστοποιήσιμα εφόσον το LL είναι μικρότερο του 37% και ο PI μικρότερος του 12%. Η αύξηση στις τιμές του LPI είναι αναμενόμενη αφού ο δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης εξαρτάται από το πάχος των ρευστοποιήσιμων εδαφών (Παπαθανασίου et al., 2008) (Σχήμα 6.1).

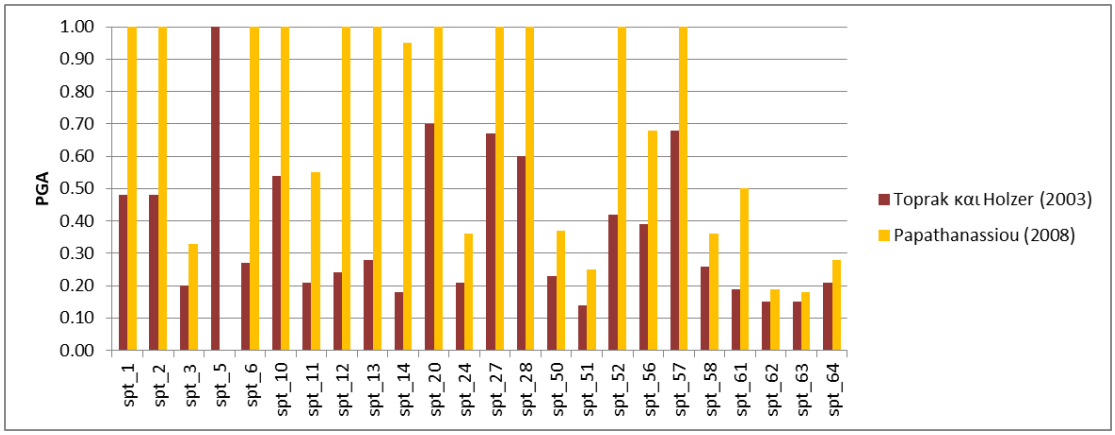


Σχήμα 6.1 Οι τιμές του LPI για τις 24 θέσεις - γεωτρήσεις και για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Επιπλέον, παρατηρείται στο Σχήμα 6.2 ότι για να εκδηλωθούν φαινόμενα ρευστοποίησης στην επιφάνεια με βάση το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003) απαιτείται μικρότερη εδαφική επιτάχυνση σε σχέση με το μοντέλο ταξινόμησης του Papathanassiou (2008). Συνεπώς το μοντέλο ταξινόμησης των Toprak and Holzer (2003) χαρακτηρίζεται συντηρητικό.



Σχήμα 6.2 Η εδαφική επιτάχυνση που απαιτείται, για σεισμικό γεγονός μεγέθους M_w = 6.6,για την εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίησης στην επιφάνεια του εδάφους και για τα δύο μοντέλα ταξινόμησης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Βιβλιογραφία

Anastasiadis, A., Apessou, M. and Pitilakis, K. (2002) *Earthquake hazard assessment in Thessaloniki, Greece: Level II – Site response analysis*, Bucharest, Romania: International Conference:Earthquake Loss Estimation & Risk Reduction.

Anastasiadis, A., Raptakis, D. and Pitilakis, K. (2001) 'Thessaloniki's detailed microzoning: Subsurface structure as basis for site response analysis', *Pure and Applied geophysics*, pp. 2597 - 2633.

Andrews, D.C.A. and Martin, G.R. (2000) *Criteria for liquefaction of silty soils*, 12th edition, Auckland, New Zealand.

Andrus, R.D., Hayati, H. and Mohanan, N.P. (2009) 'Correcting liquefaction resistance for aged sands using measured to estimated velocity ratio.', *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.*, pp. 735 - 744.

Andrus, R.D., Stokoe, K.H., Bay, I.&J.A. and Youd, T.L. (1992) *In situ Vs of gravelly soils which liquefied*, Tenth World Conference edition, Rotterdam: Earthquake Engineering.

Bhattacharya, S., Tokimatsu, K., Goda, K., Sarkar, R., Shadlou, M. and Rouholamin, M. (2014) 'Collapse of Showa Bridge during 1964 Niigata earthquake: A quantitative reappraisal on the failure mechanisms', *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, October, pp. 55-71.

Boulanger, R.W. and Idriss, I.M. (2004) *Evaluating the potential for liquefaction or cyclic failure of silts and clays*, 1401st edition, University of California at Davis.

Boulanger, R.W. and Idriss, I.M. (2007) 'Evaluation of cyclic softening in silts and clays', *Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, pp. 641 - 652.

Bray, J.D. and Sancio, R.B. (2006) 'Assessment of the liquefaction susceptibility of fine - grained soils', *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, pp. 1165 - 1177.

Castro, G. and Poulos, S.J. (1977) 'Factors Affecting Liquefaction and Cyclic Mobility', *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, June, pp. 501 - 516.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Committee on earthquake engineering (1985) *Liquefaction of soils during earthquakes*, Washington.

EPPO - ITSAK (2014) 'Strong ground motion of the February 3, 2014 (M6.0). Cephalonia earthquake: Effects on soil and built environment in combination with the January 26, 2014 (M6.1)event', *Institute of Engineering Seismology & Earthquake Engineering (ITSAK)*.

Evans, M.D. (1993) 'Liquefaction and dynamic properties of gravelly soils', *Transactions on the Built Environment*.

Georgiadis, G.A., Tranos, M.D. and Moundrakis, D.M. (2007) 'Late and Post - Alpine tectonic evolution of the Southern part of the Athos Peninsula, Northern Greece', *Bulletin of the Geological Society of Greece*, pp. 309 - 320.

Grantz, A., Plafker, G. and Kachadoorian, R. (1964) *Alaska's good friday earthquake, March 27,1964:A Preliminary Geologic Evaluation*, Washington: U.S. Department of the interior.

Green, R.A. and Ziotopoulou, K. (2015) 'Overview of screening criteria for liquefaction triggering susceptibility', *Proceedings of the Tenth Pacific Conference on Earthquake Engineering* , 6-8 November.

Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2008) *Soil liquefaction during earthquakes*, EERI.

Iwasaki, T. (1986) 'Soil liquefaction studies in Japan: state - of - the - art', *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, pp. 1 - 71.

Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida , F. and Yasyda , S. (1978) *A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan*, San Francisco: Proceedings of the Second International Conference on Microzonatin.

Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. and Sato , H. (1982) *Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods*, Seattle: Proceedings of the Third International Conference on Microzonation.

Jiaer, W., Kammerer, A.M., Riemer, M.F., Seed , R.B. and Pesta, J.M. (2004) 'Laboratory study of liquefaction triggering criteria', 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C.,Canada.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Juang, C.H., Ching, J., Wang, L., Khoshnevisan, S. and Ku, C.S. (2012) 'Simplified procedure for estimation of liquefaction - induced settlement and site - specific probabilistic settlement hazard curve using CPT', *Canadian Geotechnical Journal*.

Kayen, R.E., Mitchell, J.K., Seed, R.B. and Nishio, S. (1998) 'Soil liquefaction in the east bay during the earthquake', pp. 1551-B.

Kramer, S.V. (1996) *Geotechnical Earthquake Engineering. Practice Hall*, New Jersey.

Liao, S. and Whitman, R. (1986) 'Overbuden correction factor for SPT in sand', *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.

Marcuson, W.F., Hynes, M.E. and Franklin, A.G. (1990) 'Evaluation and Use of Residual Strength in Seismic Safety Analysis of Embankments', *Earthquake Spectra*, pp. 529 - 572.

Maurer, B.W., Green, R.A. and Taylor, -D.S. (2015) 'Moving towards an improved index for assessing liquefaction hazard: Lessons from historical data', *Elsevier*, pp. 778 - 787.

Mountrakis, D., Tranos, M., Papazachos, C., Thomaidou, E., Karagianni, E. and Vamvakaris, D. (2006) 'Neotectonic and seismological data concerning major active faults,and the stress regimes of Northern Greece', *Tectonic Development of the Eastern MediterraneanRegion. Geological Society*, pp. 649 - 670.

Obermeier, S.F., Olson, S. and Green, R. (2005) 'Field occurrences of liquefaction-induced features: a primer for engineering geologic analysis of paleoseismic shaking', *Engineering Geology*, pp. 209 -234.

Oregon Department of Geology and Mineral Industries, [Online].

Papaioannou , C.A. and Papazachos, B.C. (2000) 'Time - Independent and Time - Dependent Seismic Hazard in Greece Based on Seismogenic Sources', *Bulletin of the Seismological Society of America*, February, pp. 22 - 33.

Papathanassiou, G. (2008) 'LPI - based approach for calibrating the severity of liquefaction - induced failures and for assessing the probability of liquefaction surface evidence', *Elsevier*, pp. 94 -104.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Papathanassiou , G., Pavlides, S., Christaras, b. and Pitilakis, K. (2005) 'Liquefaction case histories and empirical relations of earthquake magnitude versus distance from the broader Aegean Region', *Journal of Geodynamics*, pp. 257 - 278.

Papathanassiou, G., Papazachos, K., Stimaratzis, T. and Xanthopoulou, K. (2016) 'Overview of the procedure applied for delineating areas prone to liquefaction - induced lateral spreading along a pipeline corridor', ICONHIC 2016, Chania, Greece.

Papathanassiou, G., Valkaniotis, S., Chatzipetros, A. and Pavlides, S. (2010) *Liquefaction susceptibility map of Greece*, Patra: Bulletin of the Geological Society of Greece.

Papazachos, B.C. (1990) 'Seismicity of the Aegean and surrounding area', *Tectonophysics*, pp. 287 - 308.

Pavlides, S.B., Kondopoulou, D.P., Kilias, A.A. and Westphal, M. (1988) 'Complex rotational deformations in the Serbo - Macedonian massif (north Greece): structural and paleomagnetic evidence', *Tectonoplysics*, pp. 329 - 335.

Permanent Regional Seismological Network operated by the Aristotle University , [Online].

Porfido, S., Caccavale, M., Spiga, E. and Sacchi, M. (2015) *The 1976 Guatemala earthquake revised. Macroseismic data for an appropriate seismic hazard assessment*.

sdgee.civil.auth.gr, [Online].

Seed, R.B., Cetin, K.O., Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu, J., Pestana, J.M., Riemer, M.F., Sancio, R.B., Bray, J.D., Kayen, R.E. and Faris, A. (2003) *Recent advances in soil liquefaction engineering:a unified and consistent framework*, California, Berkeley: EERC.

Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1970) *A simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential*, Earthquake Engineering Research Center.

Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971) 'Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential', *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, pp. 1249 - 1273.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982) *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*, Oakland,Ca: Earthquake Engineering Research Institute.

Seed, H.B., Lee, K.L. and Idriss, I.M. (1969) 'Analysis of Sheffield Dam failure ', *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, pp. 1453 - 1490.

Sonmez, H. (2003) 'Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction - prone area (Inegol,Turkey)', *Environmental Geology*, pp. 862 - 871.

Steinbrugge Collection, E.E.R.C., University of California (Berkeley), [Online].

Toprak, S. and Holzer, T.L. (2003) 'Liquefaction Potential Index: Field Assessment', *Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, April.

Tranos, M.D., Kilias, A.A. and Moundrakis, D.M. (1999) 'Geometry and kinematics of the Tertiary post - metamorphic Circum Rhodope Belt Thrust System (CRBTS) Northern Greece', *Bulletin of the Geological Society of Greece*, pp. 5 - 16.

Tranos, M.D., Papadimitriou , E.E. and Kilias, A.A. (2003) 'Thessaloniki – Gerakarou Fault Zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment', *Journal of Structural Geology*, pp. 2109 - 2123.

Tsuchida, H. (1971) *Estimation of liquefaction potential of sandy soils*.

Vamvakaris , , Papazachos , C.B., Savvaidis , P.D., Tziavos, , Karagianni, , Scordilis, E.M. and Hatzidimitriou, P.M. (2003) 'Stress-field and time-variation of active crustal deformation in the Mygdonia basin based on the joined interpretation of seismological,neotectonic and geodetic data', *Geophys. Res. Abstr. 5, 08794*.

Van Ballegooy, S., Lacrosse, V., Jacka, M. and Malan, P. (2013) 'LSN – a new methodology for characterising the effects of liquefaction in terms of relative land damage severity'.

Youd, T.L. (1973) 'Liquefaction, Flow and Associated Ground Failure', *Geological Survey*, 3 March.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Youd, T.L. (1992) 'Liquefaction, Ground Failure, and Con-sequent Damage During the 22 April 1991 Costa Rica Earthquake', *in Proceedings of the NSF/UCR U.S.-Costa Rica Workshop on the Costa Rica Earthquakes of 1990-1991: Effects on Soils and Structures Oakland, Cali-fornia:Earthquake Engineering Research Institute*.

Youd, T.L. (1998) *Screening guide for rapid assessment of liquefaction hazard at*, Technical report MCEER - 98 - 0005.

Youd, T.L. and Idriss, I.M. (2001) 'Liquefaction Resistance of Soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils', *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, pp. 297 - 313.

Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcurson, I.W., Marti, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. et al. (2001) 'Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils', *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, pp. 817 - 833.

Youd, T.L. and Perkins, M. (1987) 'Mapping Liquefaction-Induced Ground Failure Potential', *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, pp. ASCE, Vol. 113, No. GT11.

Zhang, G., Robertson, P.K. and Brachman, R.W.I. (2002) 'Estimating liquefaction - induced ground settlements from CPT for level ground', *Can. Geotech.*, pp. 1168 - 1180.

Αποστολίδης, Π.Ι. (2002) *Προσδιορισμός της εδαφικής δομής με τη χρήση μικροθορύβου. Εφαρμογή στην εκτίμηση των δυναμικών ιδιοτήτων και της γεωμετρίας των εδαφικών σχηματισμών στη Θεσσαλονίκη.*, Θεσσαλονίκη.

Βαλκανιώτης, Σ., Ζερβοπούλου, Α., Γκάνας, Α. and Παυλίδης, Σ. (2005) 'Πολεοδομική επέκταση των Μητροπόλεων και αύξηση της Σεισμικής Επικινδυνότητας : Τα παραδείγματα της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης', *Γεωγραφία*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

της Μητρόπολης: Όψεις του φαινομένου στον Ελληνικό χώρο, Επιστημονικό Συνέδριο Θεσσαλονίκης.

Ζερβοπούλου, Ά.Σ. (2010) *Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης*, Θεσσαλονίκη.

Ζερβοπούλου, Ά. and Παυλίδης , Σ. (2008) 'Νεοτεκτονικά ρήγματα πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης', *3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας*, 5 - 7 Νοέμβριος.

Θωμαΐδου, Ε.Λ. (2009) *Η γεωλογική δομή της νήσου Λέσβου*, Θεσσαλονίκη.

Ι.Γ.Μ.Ε. (1970) *Φύλλο Θεσσαλονίκη*.

Ιωσηφίδου, Κ. (2003) *Ρευστοποίηση του εδάφους: Συμβολή στην πειραματική μελέτη της ρευστοποιήσεως και την πρόγνωσή της με τη θεωρία των ασαφών συνόλων*, Ξάνθη.

Κούκης, Γ.Χ. and Σαμπατακάκης, Ν.Σ. (2002) *Τεχνική γεωλογία*, Αθήνα: Παπασωτηρίου.

Μουντράκης, Δ.Μ. (2010) *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*, 1st edition, Θεσσαλονίκη: University studio press.

Μουντράκης , Δ., Συρίδης , Γ., Πολυμενάκος , Λ. and Παυλίδης, Σ. (1993) 'Η νεοτεκτονική δομή του ανατολικού περιθωρίου του Βυθίσματος Αξιού - Θερμαϊκού στην περιοχή Δυτικής Χαλκιδικής (Κ. Μακεδονία)', *Bull. Geol. Soc. Greece*, pp. Vol.XXVIII/1, pp.379-395.

Μουντράκης, Δ., Κίλιας , Α., Παυλίδης, Σ., Κουφός , Γ., Σπυρόπουλος, Ν., Τρανός, Μ., Παπαζάχος, Κ., Ζούρος, Ν. and Φασουλάς, Χ. (1995) *"Χάρτης ενεργών ρηγμάτων του Ελληνικού χώρου, περιοχή Μακεδονίας" Κλίμακα 1:300.000*, Θεσσαλονίκη: Συνοδευτικό επεξηγηματικό τεύχος, Επιστημονικός Υπεύθυνος Καθηγ. Δημ. Μουντράκης.

Μπουκοβάλας, Γ.Δ. (2010) *13 Διαλέξεις γεωτεχνικής σεισμικής μηχανικής*, Τομέας Γεωτεχνικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Μπουκοβάλας, Γ., Βαλσαμής, Α., Αναστασόπουλος, Γ. and Νικολαΐδη, Μ. (2006) *Συγκριτική εκτίμηση της αντοχής σε ρευστοποίηση από δοκιμές SPT και CPT*, Ξάνθη: 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής.

Μπουκοβάλας, Γ., Βαλσαμής, Α., Αναστασόπουλος, Γ. and Νικολαΐδη, Μ. (2006) *Σύγκριτική εκτίμηση της αντοχής σε ρευστοποίηση από δοκιμές SPT και CPT*, Ξάνθη: 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής.

Παπαζάχος, Β. and Παπαζάχου , Κ. (2003) *Οι σεισμοί της Ελλάδας*, Γ' Έκδοση edition, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΖΗΤΗ.

Παπαθανασίου, Γ.Β. (2006) *Φαινόμενα ρευστοποίησης εδαφών στον ελληνικό χώρο*, Θεσσαλονίκη.

Παπαθανασίου, Γ., Παυλίδης, Σ., Χρηστάρας, Β. and Πιτιλάκης, (2008) *Κριτήρια επιδεκτικότητας και δυναμικό ρευστοποίησης με βάση νέες καταγραφές από την Ελλάδα και το εξωτερικό*.

Πιτιλάκης, Κ.Δ. (2010) *Γεωτεχνική σεισμική μηχανική*, Θεσσαλονίκη: Ζήτη.

Ρόζος , Δ., Χατζηνάκος, Ι. and Αποστολίδης, Ε. (1998) *Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσλονίκης*, Αθήνα: Ι.Γ.Μ.Ε.

Σενετάκης, Κ., Αναστασιάδης, Α. and Πιτιλάκης, Κ. (2008) *Έλεγχος του κινδύνου ρευστοποίησης στην Θεσσαλονίκη*, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας.

Υ.Π.Ε.Κ.Α. (2014) *Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (GR10)*.

ΦΕΚ 1154Β/12.8.2003 (2003) Τεύχος Δεύτερο,Αρ. Φύλλου 1154: Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Παράρτημα Α

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

α/α	Μελέτη / Έργο	Ανάδοχος εργασιών γεωτεχνικής έρευνας	Έτος	Περιοχή / Οδός	WGS84	
					γ.μήκος/longitude	γ.πλάτος/latitude
					coord x	coord y
spt_1	Πολυκατοικία απέναντι από το λευκό πύργο	ΚΕΔΕ	1978	Μητροπόλεως-Ν. Φωκά-Ρωμανού	22°56'55.33"A	40°37'40.22"B
spt_2	Πολυκατοικία απέναντι από το λευκό πύργο	ΚΕΔΕ	1978	Μητροπόλεως-Ν. Φωκά-Ρωμανού	22°56'57.19"A	40°37'40.71"B
spt_3	Επέκταση παραλίας			Μ. Αλεξάνδρου/Αγίου Σεραφείμ	22°57'2.29"A	40°36'33.30"B
spt_4	Αρχαιολογικό μουσείο Θεσσαλονίκης	ΚΕΔΕ	1979	Λεωφ. Στρατού-Μανώλη Ανδρόνικου-3ης Σεπτεμβρίου	22°57'13.95"A	40°37'28.96"B
spt_5	Αρχαιολογικό μουσείο Θεσσαλονίκης	ΚΕΔΕ	1979	Λεωφ. Στρατού-Μανώλη Ανδρόνικου-3ης Σεπτεμβρίου	22°57'12.98"A	40°37'28.68"B
spt_6	Αποκατάσταση Βασιλικού θεάτρου	ΚΕΔΕ	1991	Πλατεία Λευκού Πύργου	22°56'58.41"A	40°37'29.96"B
spt_7	Επέκταση παραλίας	ΚΕΔΕ		Αριστοτέλους	22°56'25.52"A	40°37'54.85"B
spt_8	Επέκταση παραλίας	ΚΕΔΕ		Αγ. Σοφίας	22°56'34.39"A	40°37'49.50"B
spt_9	Επέκταση παραλίας	ΚΕΔΕ		Μορκεντάου	22°56'46.06"A	40°37'41.62"B
spt_10	Επέκταση παραλίας	ΚΕΔΕ	1992	Μ. Αλεξάνδρου	22°56'54.65"A	40°37'31.67"B
spt_11	Επέκταση παραλίας	ΚΕΔΕ	1992	Μ. Αλεξάνδρου	22°57'1.75"A	40°37'27.01"B
spt_12	Παραλιακή	Γεώγνωση Α.Ε.	2000	Μ. Αλεξάνδρου/Κομνηνών	22°56'45.45"A	40°37'42.69"B
spt_13	Παραλιακή	Γεώγνωση Α.Ε.	2004	Μ. Αλεξάνδρου/Καρόλου Ντηλ	22°56'31.20"A	40°37'52.35"B
spt_14	Παραλιακή	Γεώγνωση Α.Ε.	2007	Μ. Αλεξάνδρου/Μορκεντάου	22°56'19.46"A	40°37'58.92"B
spt_15	Σταυρούπολη	Μετρό	2009	Μιχαήλ Καλού	22°55'53.51"A	40°38'35.56"B
spt_16	Σταυρούπολη	Μετρό		Λαγκαδά	22°56'6.00"A	40°38'49.12"B
spt_17	Σταυρούπολη	Μετρό	2009	Μοναστηρίου	22°55'55.99"A	40°38'31.67"B
spt_18	Σταυρούπολη	Μετρό	2009	Δημ. Μαργαροπούλου	22°55'54.64"A	40°38'38.84"B
spt_19	Σταυρούπολη	Μετρό	2009	Βασ. Παπαθανασίου	22°55'58.54"A	40°38'40.44"B
spt_20	Σταυρούπολη	Μετρό		Γρ. Κολωνιάρη	22°56'0.74"A	40°38'42.50"B
spt_21	Σταυρούπολη	Μετρό		Λαγκαδά, Geor. Ivanof	22°56'5.75"A	40°38'45.41"B

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

α/α	Μελέτη / Έργο	Ανάδοχος εργασιών γεωτεχνικής έρευνας	Έτος	Περιοχή / Οδός	WGS84	
					γ.μήκος/longitude	γ.πλάτος/latitude
					coord x	coord y
spt_22	Επίσταθμος ΝΣΣ	Μετρό		Μοναστηρίου (ΟΣΕ, κοντά στο σχολείο)	22°55'35.74"A	40°38'43.22"B
spt_23	Επίσταθμος ΝΣΣ	Μετρό	2006	Μοναστηρίου (ΟΣΕ, κοντά στο σχολείο)	22°55'39.64"A	40°38'41.51"B
spt_24	Σήραγγες ΝΣΣ - Δημοκρατίας	Μετρό	2006	Μοναστηρίου (Μιχαήλ Καλού)	22°55'51.98"A	40°38'33.88"B
spt_25	Διακλάδωση Δημοκρατίας προς Σταυρούπολη	Μετρό		Μοναστηρίου (Προμηθέως)	22°55'58.97"A	40°38'30.08"B
spt_26	Διακλάδωση Δημοκρατίας προς Σταυρούπολη	Μετρό	2007	Μοναστηρίου	22°56'0.32"A	40°38'29.42"B
spt_27	Δημοκρατίας	Μετρό	2007	Μοναστηρίου	22°56'3.43"A	40°38'27.57"B
spt_28	Οικοδομή στη Σταυρούπολη	ΚΕΔΕ	1981	Σοφοκλέους 24/Σταυρούπολη	22°55'42.70"A	40°39'37.96"B
spt_29	Οικοδομή στη Σταυρούπολη	ΚΕΔΕ	1981	Σοφοκλέους 24/Σταυρούπολη	22°55'42.31"A	40°39'38.17"B
spt_30	Οικοδομή στη Σταυρούπολη	ΚΕΔΕ	1981	Σοφοκλέους 24/Σταυρούπολη	22°55'42.93"A	40°39'38.09"B
spt_31	Γυμναστήριο και κολυμβητήριο Ευόσμου	ΚΕΔΕ	1986	Γοργοποτάμου-Εθν. Αντιστάσεως-Καζατζάκη	22°55'2.26"A	40°40'25.88"B
spt_32	Γυμναστήριο και κολυμβητήριο Ευόσμου	ΚΕΔΕ	1986	Γοργοποτάμου-Εθν. Αντιστάσεως-Καζατζάκη	22°55'3.04"A	40°40'25.87"B
spt_33	Γυμναστήριο και κολυμβητήριο Ευόσμου	ΚΕΔΕ	1986	Γοργοποτάμου-Εθν. Αντιστάσεως-Καζατζάκη	22°55'1.57"A	40°40'27.17"B
spt_34	Δημαρχείο Μενεμένης	ΚΕΔΕ	1987	Ελ. Βενιζέλου-Δελφών	22°54'44.94"A	40°39'35.33"B
spt_35	Δημαρχείο Μενεμένης	ΚΕΔΕ	1987	Ελ. Βενιζέλου-Δελφών	22°54'45.27"A	40°39'35.93"B
spt_36	Δημαρχείο Μενεμένης	ΚΕΔΕ	1987	Ελ. Βενιζέλου-Δελφών	22°54'44.92"A	40°39'36.50"B
spt_37	ΙΚΑ Ευόσμου	ΚΕΔΕ	1988	Καραολή & Δημητρίου-Κοσμά Αιτωλού	22°54'8.92"A	40°39'50.08"B

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

α/α	Μελέτη / Έργο	Ανάδοχος εργασιών γεωτεχνικής έρευνας	Έτος	Περιοχή / Οδός	WGS84	
					γ.μήκος/longitude	γ.πλάτος/latitude
					coord x	coord y
spt_38	ΙΚΑ Ευόσμου	ΚΕΔΕ	1988	Καραολή & Δημητρίου-Κοσμά Αιτωλού	22°54'9.50"A	40°39'49.07"B
spt_39	ΙΚΑ Ευόσμου	ΚΕΔΕ	1988	Καραολή & Δημητρίου-Κοσμά Αιτωλού	22°54'9.53"A	40°39'49.78"B
spt_40	ΙΚΑ Ευόσμου	ΚΕΔΕ	1988	Καραολή & Δημητρίου-Κοσμά Αιτωλού	22°54'9.76"A	40°39'50.23"B
spt_41	Σχολεία Αμπελοκήπων	ΚΕΔΕ	1988	Εθνικης Αντιστασεως-Αυξεντίου	22°55'46.96"A	40°39'8.31"B
spt_42	Σχολεία Αμπελοκήπων	ΚΕΔΕ	1988	Εθνικης Αντιστασεως-Αυξεντίου	22°55'46.42"A	40°39'7.65"B
spt_43	Σχολεία Αμπελοκήπων	ΚΕΔΕ	1988	Εθνικης Αντιστασεως-Αυξεντίου	22°55'47.26"A	40°39'7.54"B
spt_44	5ο Δημοτικό σχολείο Ευόσμου	ΚΕΔΕ		17ης Νοεμβρίου-Επαμεινώνδα-Ολυμπιάδος	22°54'58.59"A	40°40'10.37"B
spt_45	ΙΚΑ Αμπελοκήπων	ΚΕΔΕ		Ελευθερίας	22°55'45.16"A	40°39'10.31"B
spt_46	ΙΚΑ Αμπελοκήπων	ΚΕΔΕ		Ελευθερίας	22°55'44.90"A	40°39'10.09"B
spt_47	ΙΚΑ Αμπελοκήπων	ΚΕΔΕ		Ελευθερίας	22°55'46.22"A	40°39'9.43"B
spt_48	Δημοτικό σχολείο Σταυρούπολης	ΚΕΔΕ	1990	Περικλέους-Αριστοφάνους-Ευρυπίδου	22°55'28.29"A	40°40'30.46"B
spt_49	Δημοτικό σχολείο Σταυρούπολης	ΚΕΔΕ	1990	Περικλέους-Αριστοφάνους-Ευρυπίδου	22°55'29.17"A	40°40'30.92"B
spt_50	Επέκταση κτιριακών εγκαταστάσεων στους ορυζόμυλους Μακεδονίας Αφοί Μυστακίδη Α.Ε.	Γεώγνωση Α.Ε.	2000	28ης Οκτωβρίου	22°52'17.83"A	40°38'52.07"B
spt_51	1ο Νηπιαγωγείο Καλοχωρίου Δήμου Εχέδωρου	Γεώγνωση Α.Ε.	2007	Δαβάκη	22°51'33.04"A	40°38'17.11"B
spt_52	1ο Νηπιαγωγείο Καλοχωρίου Δήμου Εχέδωρου	Γεώγνωση Α.Ε.	2007	Δαβάκη	22°51'31.10"A	40°38'16.86"B

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

α/α	Μελέτη / Έργο	Ανάδοχος εργασιών γεωτεχνικής έρευνας	Έτος	Περιοχή / Οδός	WGS84	
					γ.μήκος/longitude	γ.πλάτος/latitude
					coord x	coord y
spt_53	Κατασκευή αλιευτικού καταφυγίου	Γεώγνωση Α.Ε.	2005	Καλοχώρι	22°52'39.18"A	40°38'10.98"B
spt_54	Κατασκευή αλιευτικού καταφυγίου	Γεώγνωση Α.Ε.	2005	Καλοχώρι	22°52'41.94"A	40°38'7.06"B
spt_55	Κατασκευή αλιευτικού καταφυγίου	Γεώγνωση Α.Ε.	2005	Καλοχώρι	22°52'46.42"A	40°38'10.57"B
spt_56	Εμπορική αποθήκη με γραφεία	Γεώγνωση Α.Ε.	2007	Καλοχώρι	22°46'47.02"A	40°41'0.12"B
spt_57	Προσθήκη κατ ' επέκταση σε βαφείο - φινιστήριο	Γεώγνωση Α.Ε.	2002	Ο.Τ.2 - ΒΙ.ΠΕ. Σίνδος	22°48'34.32"A	40°41'19.15" B
spt_58	Κτίριο γραφείων και αποθηκών	Γεώγνωση Α.Ε.	2005	Ο.Τ.32 - ΒΙ.ΠΕ. Σίνδου	22°46'50.66"A	40°41'5.61"B
spt_59	Τετραώροφη οικοδομή σε Pilots	Γεώγνωση Α.Ε.	2002	Ο.Τ.94, γωνία οδών Ν.Πλαστήρα & Ρ.Φεραίου, Διαβατά	22°51'24.88"A	40°41'25.38"B
spt_60	Τετραώροφη οικοδομή σε Pilots	Γεώγνωση Α.Ε.	2002	Ο.Τ.84, γωνία οδών Μακαρίων & Μ.Αλεξάνδρου, Διαβατά	22°51'19.11"A	40°41'26.80"B
spt_61	Αγωγοί διασύνδεσης εγκαταστάσεων Μαμιδάκη - ΕΛΔΑ Καλοχωρίου	Γεώγνωση Α.Ε.	2000	Κάτω από επαρχιακή οδό Θεσσαλονίκης - Καλοχωρίου	22°53'48.23"A	40°38'48.95"B
spt_62	Αγωγοί διασύνδεσης εγκαταστάσεων Μαμιδάκη - ΕΛΔΑ Καλοχωρίου	Γεώγνωση Α.Ε.	2000	Κάτω από επαρχιακή οδό Θεσσαλονίκης - Καλοχωρίου	22°53'47.18"A	40°38'49.36"B
spt_63	Αγωγοί διασύνδεσης εγκαταστάσεων Μαμιδάκη - ΕΛΔΑ Καλοχωρίου	Γεώγνωση Α.Ε.	2000	Κάτω από επαρχιακή οδό Θεσσαλονίκης - Καλοχωρίου	22°53'50.62"A	40°38'50.02"B
spt_64	Αγωγοί διασύνδεσης εγκαταστάσεων Μαμιδάκη - ΕΛΔΑ Καλοχωρίου	Γεώγνωση Α.Ε.	2000	Κάτω από επαρχιακή οδό Θεσσαλονίκης - Καλοχωρίου	22°53'4.66"A	40°38'38.51"B

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Παράρτημα Β

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

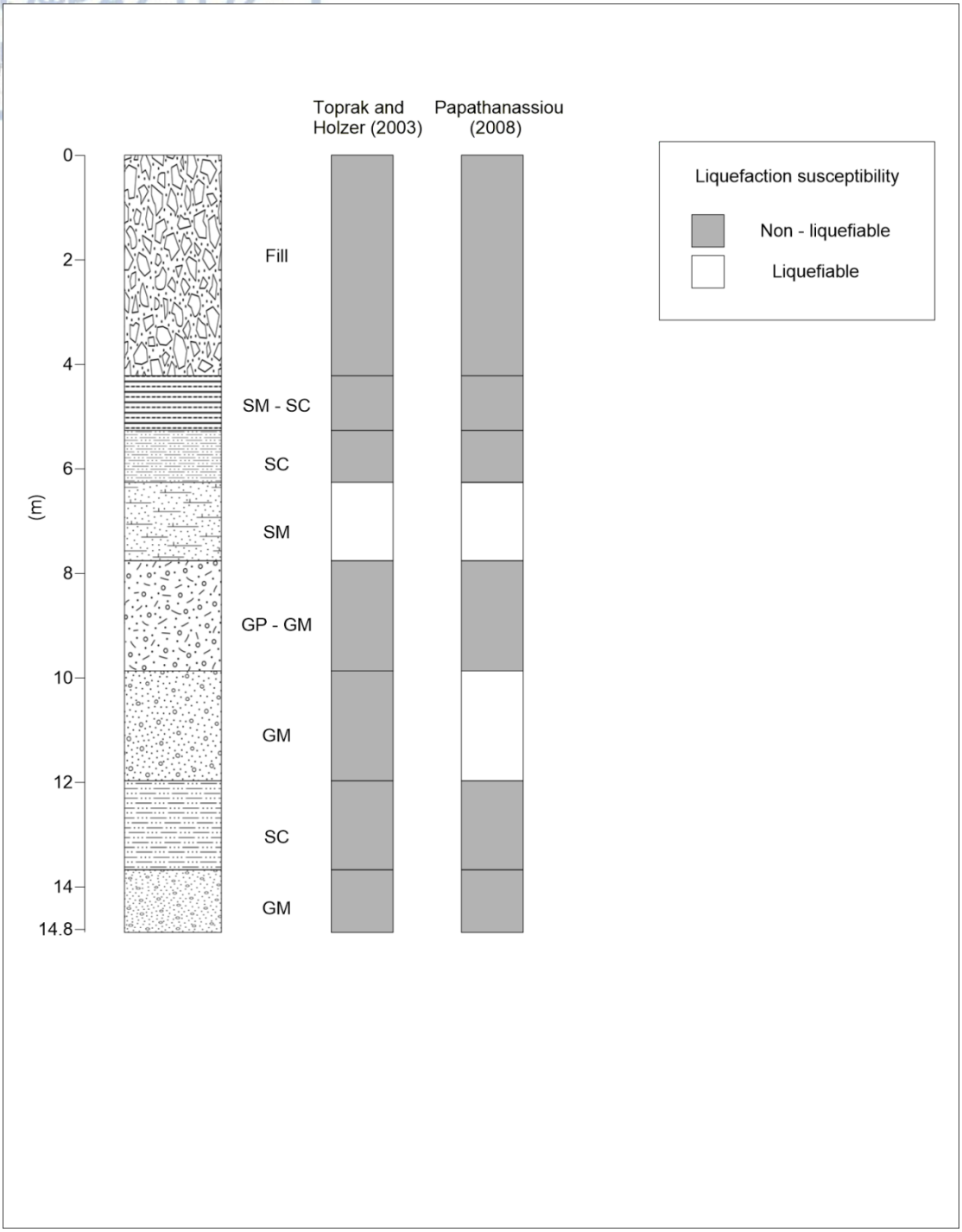
Γεώτρηση: spt_1		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 410937.89333							PGA = 0.48g	PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 4.20		y: 4497689.98793							LPI = 5.01	LPI = 11.52
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 4.20	Τεχνητές επιχώσεις	2.00					2.00	50	2.000	2.000
4.20 - 5.25	Αμμάργιλος με χαλίκια	44.00	23.3	6.3			4.80	11	2.000	2.000
5.25 - 6.25	Αμμάργιλος με χαλίκια	39.00	26.9	9.9			5.80	10	2.000	2.000
6.25 - 7.75	Ιλυώδης άμμος με χαλίκια	19.00	NP	NP			7.30	9	0.475	0.228
7.75 - 9.85	Χαλίκια με άμμο και μικρό ποσοστό ιλύος	9.00	NP	NP	13.9		9.40	39	2.000	2.000
9.85 - 11.95	Ιλυώδες αμμοχάλικο	15.00	NP	NP			11.50	29	1.111	0.533
11.95 - 13.65	Αμμάργιλος με σποραδικά χαλίκια	46.00	27.1	10.1			13.20	6	2.000	2.000
13.65 - 14.85	Ιλυώδεις χαλίκια με άμμο	19.00	NP	NP			14.40	35	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

-Τα δεδομένα έχουν αποτυπωθεί αυτούσια από τα μητρώα των γεωτρήσεων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

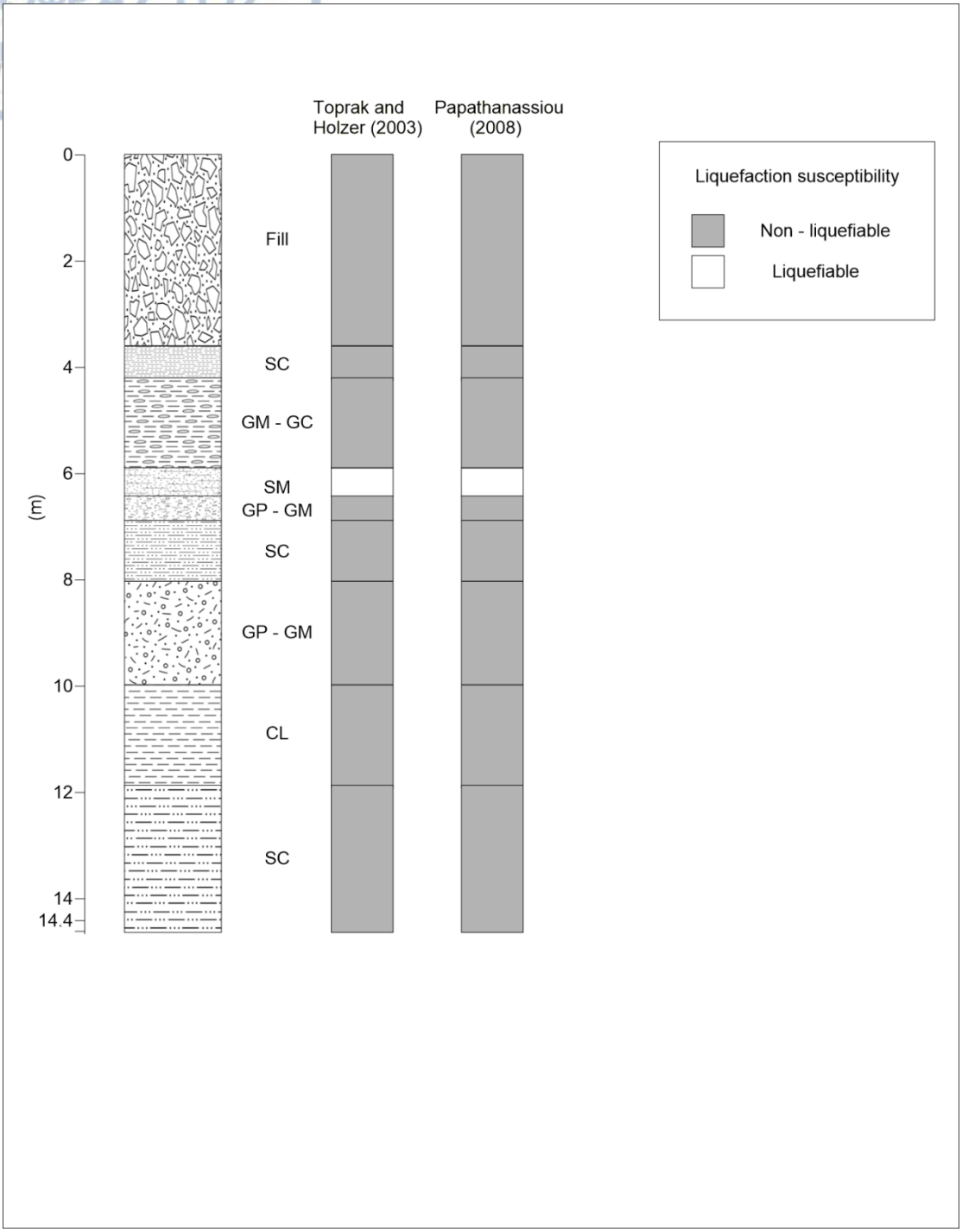
Γεώτρηση: spt_2		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 410981.77116							PGA = 0.48g	PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 3.60		y: 4497704.57509							LPI = 5.05	LPI = 7.89
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 3.60	Τεχνητές επιχώσεις	2.00					2.00	50	2.000	2.000
3.60 - 4.20	Λίαν αμμώδης άργιλος με χαλίκια	48.00	31.3	16.3	16.9	0.5399	4.00	10	2.000	2.000
4.20 - 5.90	Αργιλοϊλυώδεις χαλίκια με άμμο	15.00	25.3	6.3			4.50	22	2.000	2.000
5.90 - 6.55	Ιλυώδες αμμοχάλικο	17.00	NP	NP			6.00	9	0.519	0.249
6.55 - 7.00	Χαλίκια με άμμο και μικρό ποσοστό ιλύος	7.00	NP	NP			6.80	20	2.000	2.000
7.00 - 8.10	Λίαν αργιλώδες αμμοχάλικο	37.00	29.1	11.1	19.6	0.6735	7.50	10	2.000	2.000
8.10 - 10.05	Χαλίκια με άμμο και μικρό ποσοστό ιλύος	8.00	NP	NP			9.60	17	2.000	2.000
10.05 - 11.90	Αμμώδης άργιλος με σποραδικά χαλίκια	65.00	26.5	9.9	19.6	0.7396	10.70	18	2.000	2.000
11.90 - 14.65	Λίαν αργιλώδης άμμος με χαλίκια	37.00	28.7	11.7			14.20	41	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

-Τα δεδομένα έχουν αποτυπωθεί αυτούσια από τα μητρώα των γεωτρήσεων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

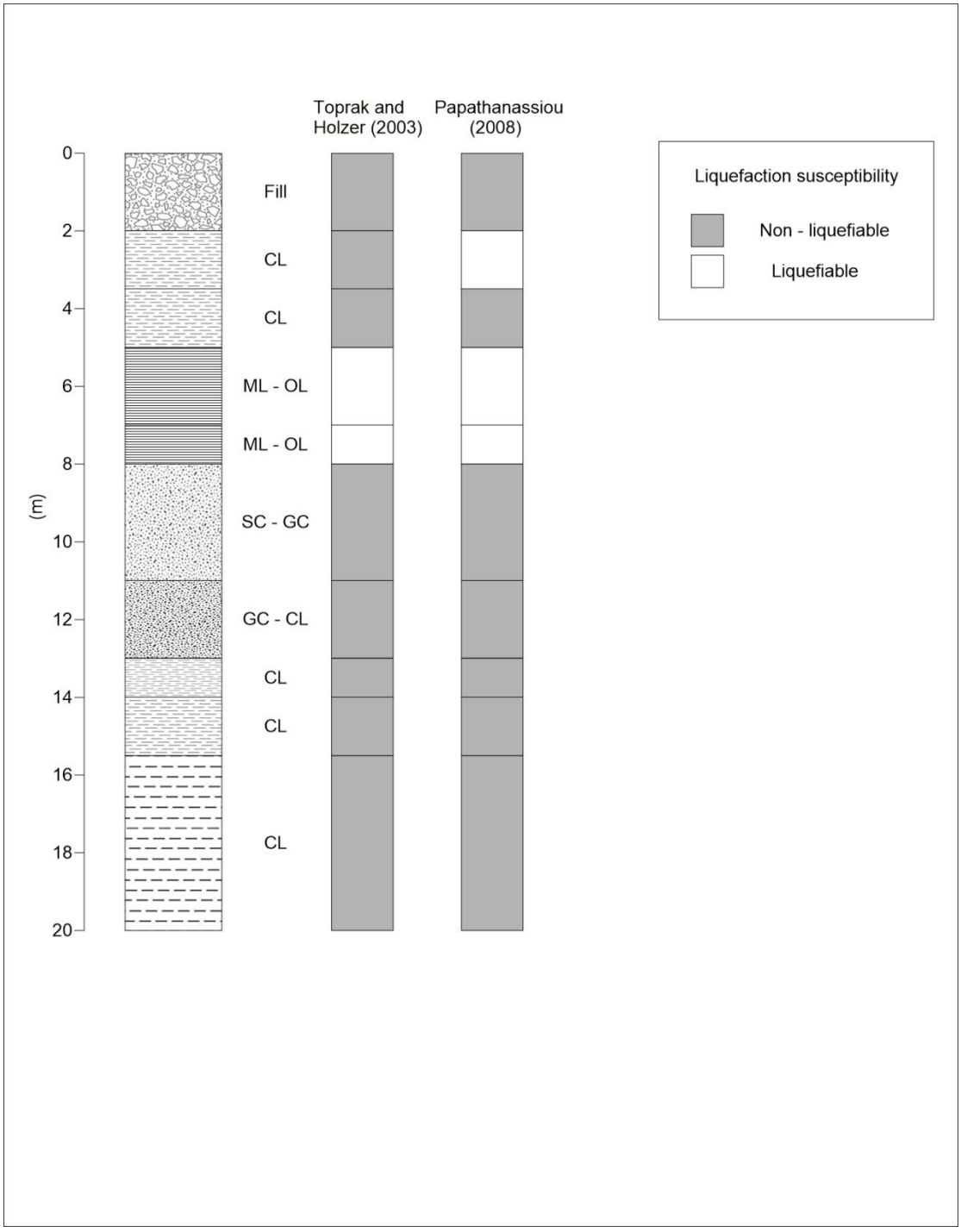
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 2.00	Επιχωματώσεις (άμμος χονδρόκοκκη με χαλίκια). Καφέ έως τεφρή αργιλώδης άμμος με μικρά χαλίκια	50.00	31	10	24.8	0.8	1.00	6	2.000	2.000
2.00 - 3.50	Καφε έως τεφρή αργιλώδης άμμος με μικρά χαλίκια. Αργιλώδης άμμος τεφρή χονδρόκοκκη με χαλίκια	50.00					3.00	8	1.343	0.814
3.50 - 5.00	Αργιλώδης άμμος τεφρή χονδρόκοκκη με χαλίκια	55.00					4.00	12	1.726	1.046
5.00 - 7.00	Αργιλώδης άμμος τεφρή χονδρόκοκκη με χαλίκια. Οργανική ιλύς τεφρή, οργανικά παλαιός πυθμένας θάλασσας	60.00					5.50	3	0.688	0.417
7.00 - 8.00	Οργανική ιλύς τεφρή, οργανικά παλαιός πυθμένας θάλασσας	55.00	25.2	3.8	31	1.2302	7.00	5	0.797	0.483
8.00 - 11.00	Καστανή αμμώδης άργιλος με χαλίκια. Καστανή αργιλώδης άμμος με μικρά χαλίκια. Καστανή αμμώδης άργιλος με χαλίκια	28.00	25.2	8.8	16.3	0.6468	9.50	5	2.000	2.000
11.00 - 13.00	Καστανή αμμώδης άργιλος με χαλίκια.Αργιλώδης άμμος με χαλίκια	44.00	30.4	15.3	28.1	0.9243	11.50	6	2.000	2.000
13.00 -14.00	Καστανή αμμώδης άργιλος με χαλίκια	71.00	29	12.7	24.15	0.8328	13.50	6	2.000	2.000
14.00 - 16.50	Καστανή συνεκτική αμμώδης άργιλος	95.00	42	25.6	26.91	0.6407	16.00	22	2.000	2.000
16.50 - 20.00	Καστανή συνεκτική αμμώδης άργιλος	62.00	36.2	22.1	17.44	0.4818	17.50	39	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

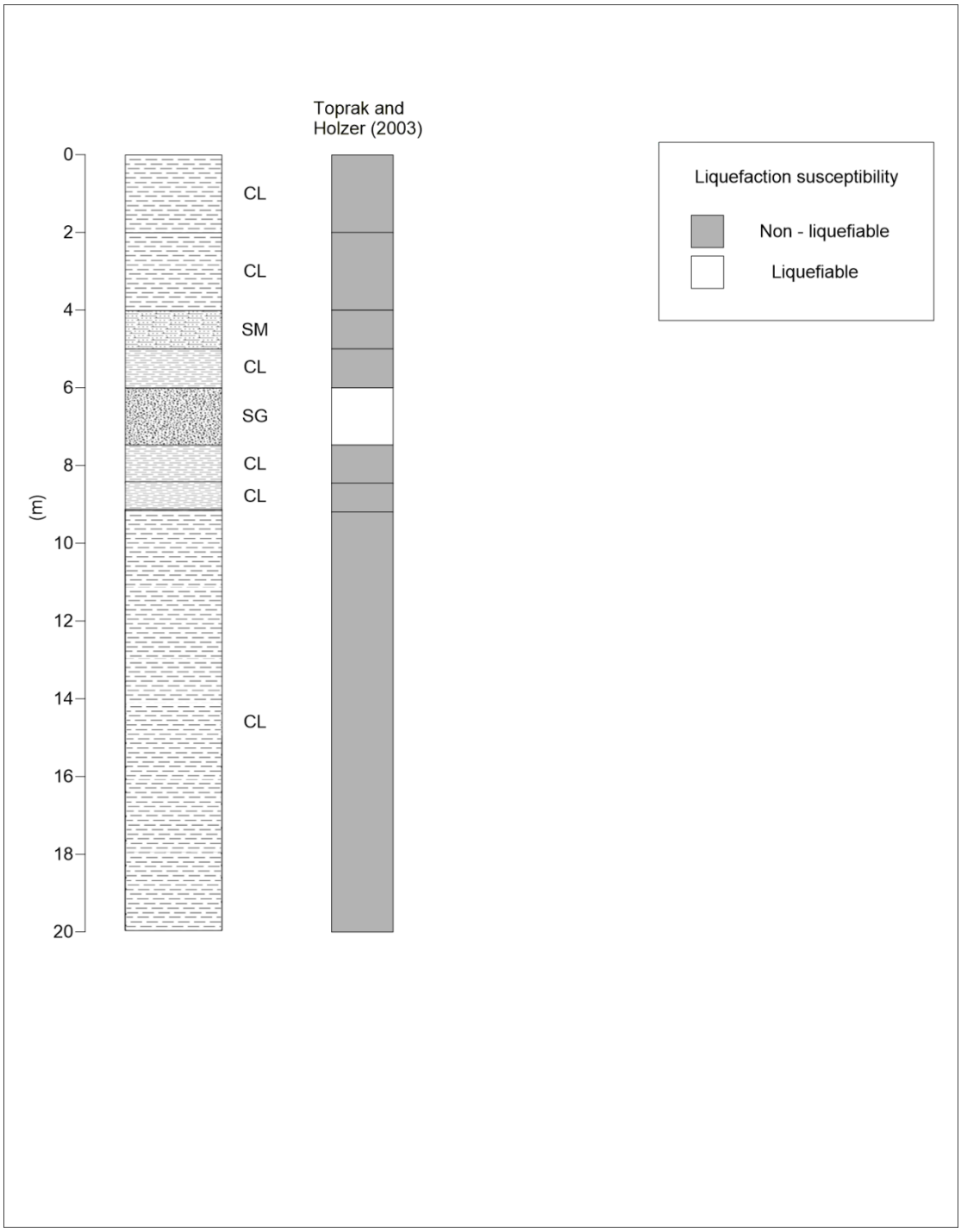
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_5		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6
		x: 411348.31696							PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 2.00		y: 4497329.20944							LPI = 4.55
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)	
0.00 - 2.00	Ιλυοαμμώδης άργιλος με χαλίκια, καστανού χρώματος	66.00	30.2	19.2			1.05	15	2.000
2.00 - 4.00	Ιλυοαμμώδης άργιλος με χαλίκια, καστανού χρώματος	49.00	28.7	17.1	12	0.4181	3.05	23	2.000
4.00 - 5.00	Αμμοϊλύς, καστανού μέχρι κατανοπράσινου χρώματος	27.00		NP			4.20	29	2.000
5.00 - 6.00	Λίγο αμμώδης άργιλος με μικρά χαλίκια καστανού χρώματος	57.00	40	25.8	19	0.475	5.20	15	2.000
6.00 - 7.50	Αργιλώδες αμμοχάλικο ανοικτού καστανοπράσινου χρώματος	18.00	23	8.6			6.20	16	0.341
7.50 - 8.50	Ισχνή έως παχειά άργιλος με ιλύ, άμμο, ασβεστολιθικά και χαλίκιαι χρώματος καστανού ή καστανοκόκκινου που γίνεται τεφρό στα μεγαλύτερα βάθη	53.00	39.7	28.8	19.2	0.4836	7.70	26	2.000
8.50 - 9.20	Ισχνή έως παχειά άργιλος με ιλύ, άμμο, ασβεστολιθικά και χαλίκιαι χρώματος καστανού ή καστανοκόκκινου που γίνεται τεφρό στα μεγαλύτερα βάθη	49.00	44.3	28	19.3	0.4357	8.75	40	2.000
9.20 - 20.00	Ισχνή έως παχειά άργιλος με ιλύ, άμμο, ασβεστολιθικά και χαλίκιαι χρώματος καστανού ή καστανοκόκκινου που γίνεται τεφρό στα μεγαλύτερα βάθη	89.00	47.6	30.6	23.2	0.4874	14.05	50	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

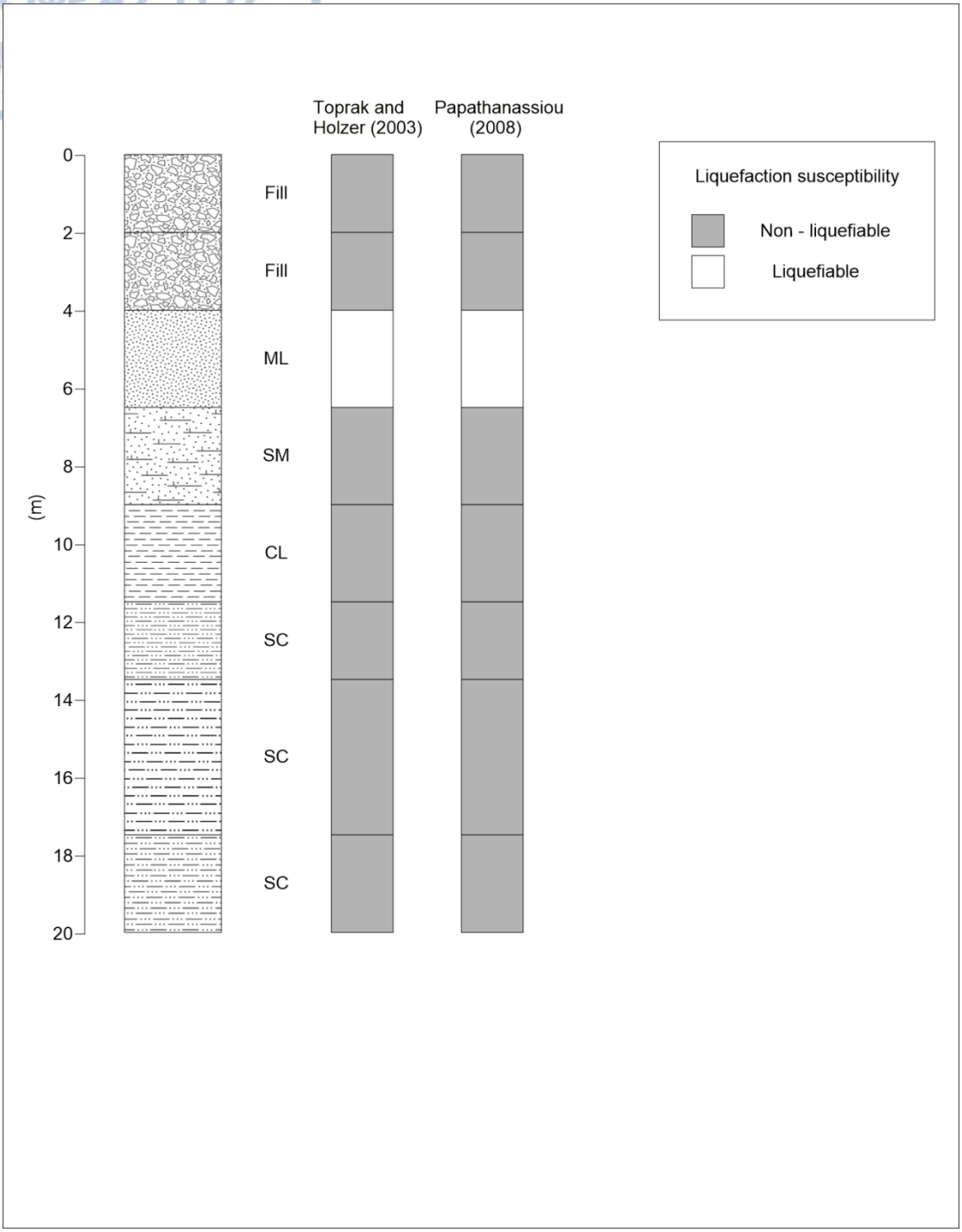
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_6		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 411006.47559							PGA = 0.27g	PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 2.00		y: 4497372.75678							LPI = 5.12	LPI = 13.79
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 2.00	Τεχνητές επιχώσεις	20.00					1.00	7	2.000	2.000
2.00 - 4.00	Τεχνητές επιχώσεις	20.00					2.35	7	2.000	2.000
4.00 - 6.50	Αμμώδης ιλύς έως ιλυώδης άμμος τεφρού χρώματος με όστρακα	65.00		NP			4.55	5	0.699	0.189
6.50 - 9.00	Αμμώδης ιλύς έως ιλυώδης άμμος τεφρού χρώματος με όστρακα. Από 7.45 - 7.70m κροκάλες	18.00		NP	21.5		7.00	41	2.000	2.000
9.00 - 11.50	Αμμώδης άργιλος έως αργιλώδης άμμος με χαλίκια καστανέρυθρου χρώματος	57.00	33.9	19			9.50	14	2.000	2.000
11.50 - 13.50	Αμμώδης άργιλος έως αργιλώδης άμμος με χαλίκια καστανέρυθρου χρώματος	40.00	26.7	10.9	15.3	0.5730	12.95	14	2.000	2.000
13.50 - 17.50	Αμμώδης άργιλος έως αργιλώδης άμμος με χαλίκια καστανέρυθρου χρώματος	31.00	25.1	10.3	14.6	0.5817	16.00	13	2.000	2.000
17.50 - 20.00	Αμμώδης άργιλος έως αργιλώδης άμμος με χαλίκια καστανέρυθρου χρώματος	37.00	31.6	18.6	12.2	0.3861	19.00	32	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

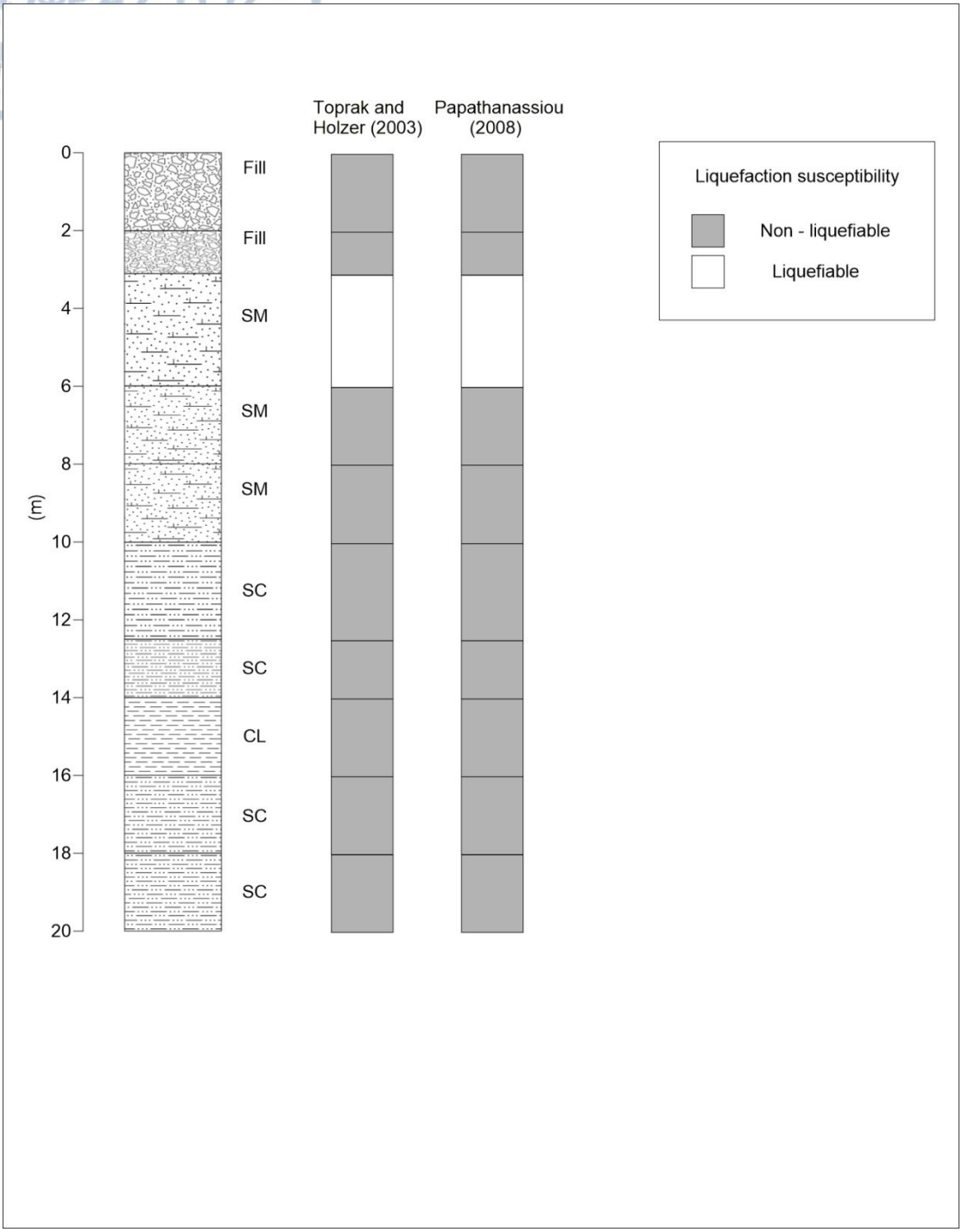
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_10		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 410918.76741							PGA = 0.54g	PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 2.00		y: 4497426.53969							LPI = 5.12	LPI = 10.65
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 2.00	Τεχνητές επιχώσεις	20.00					1.00	7	2.000	2.000
2.00 - 3.10	Τεχνητές επιχώσεις	20.00					2.50	7	2.000	2.000
3.10 - 6.00	Ιλυώδης άμμος τεφρού χρώματος με χαλίκια	29.00		NP	30.7		4.75	15	0.702	0.379
6.00 - 8.00	Ιλυώδης άμμος τεφρού χρώματος με χαλίκια	38.00		NP			6.50	40	2.000	2.000
8.00 - 10.00	Ιλυώδης άμμος τεφρού χρώματος με χαλίκια	38.00		NP			8.75	29	2.000	2.000
10.00 - 12.50	Αργιλώδης άμμος καστανού χρώματος με χαλίκια	43.00	24	7	12.8	0.5333	10.75	13	2.000	2.000
12.50 - 14.00	Αργιλώδης άμμος καστανού χρώματος με χαλίκια	38.00	25	11	21	0.84	13.00	36	2.000	2.000
14.00 - 16.00	Αμμώδης άργιλος καστανού χρώματος	56.00	27	14	18.4	0.6815	15.25	50	2.000	2.000
16.00 - 18.00	Αργιλώδης άμμος καστανού χρώματος με χαλίκια	40.00	22	8			17.25	33	2.000	2.000
18.00 - 20.00	Αργιλώδης άμμος καστανού χρώματος με χαλίκια	47.00	25	7			19.00	50	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

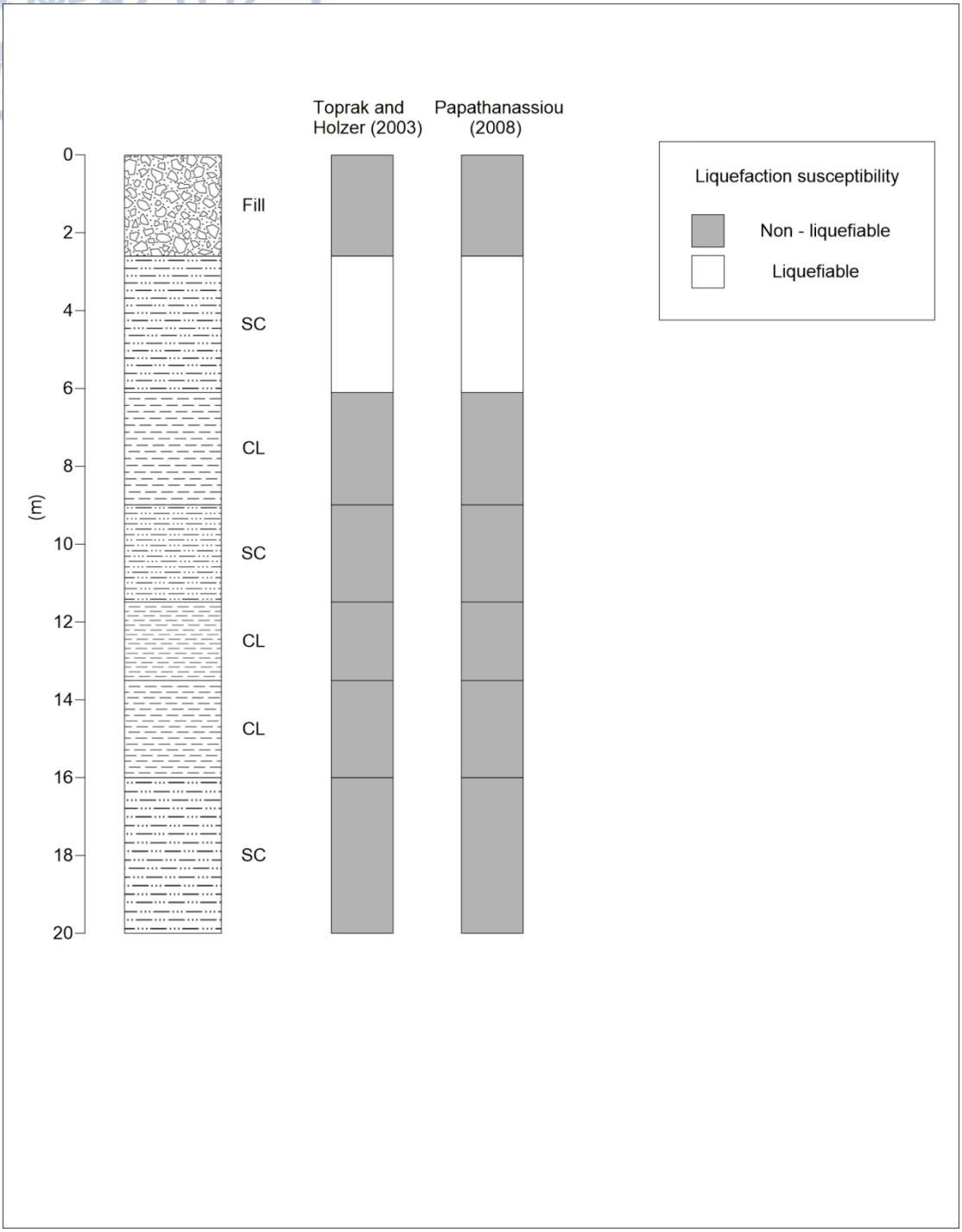
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_11		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 411083.86134							PGA = 0.21g	PGA = 0.55g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 2.60		y: 4497280.85726							LPI = 5.04	LPI = 14.02
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 2.60	Τεχνητές επιχώσεις	20.00					1.00	7	2.000	2.000
2.60 - 6.10	Αργιλώδης άμμος ανοικτού τεφρού χρώματος με χαλίκια	33.00	24	10	21.3	0.8875	3.35	2	0.742	0.283
6.10 - 9.00	Μαργαϊκή αμμώδης άργιλος καστανέρυθρου έως ερυθρού χρώματος με χαλίκια	75.00	33	16	21.2	0.6424	8.00	10	2.000	2.000
9.00 - 11.50	Μαργαϊκή αμμώδης άργιλος καστανέρυθρου έως ερυθρού χρώματος με χαλίκια	50.00	30	16	21.9	0.73	10.25	13	2.000	2.000
11.50 - 13.50	Μαργαϊκή αμμώδης άργιλος καστανέρυθρου έως ερυθρού χρώματος με χαλίκια	55.00	29	14	18.5	0.6379	12.45	4	2.000	2.000
13.50 - 16.00	Μαργαϊκή αμμώδης άργιλος καστανέρυθρου έως ερυθρού χρώματος με χαλίκια	62.00	30	16	21.8	0.7267	14.75	44	2.000	2.000
16.00 - 20.00	Μαργαϊκή αμμώδης άργιλος καστανέρυθρου έως ερυθρού χρώματος με χαλίκια	45.00	33	19	13.8	0.4182	17.25	44	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

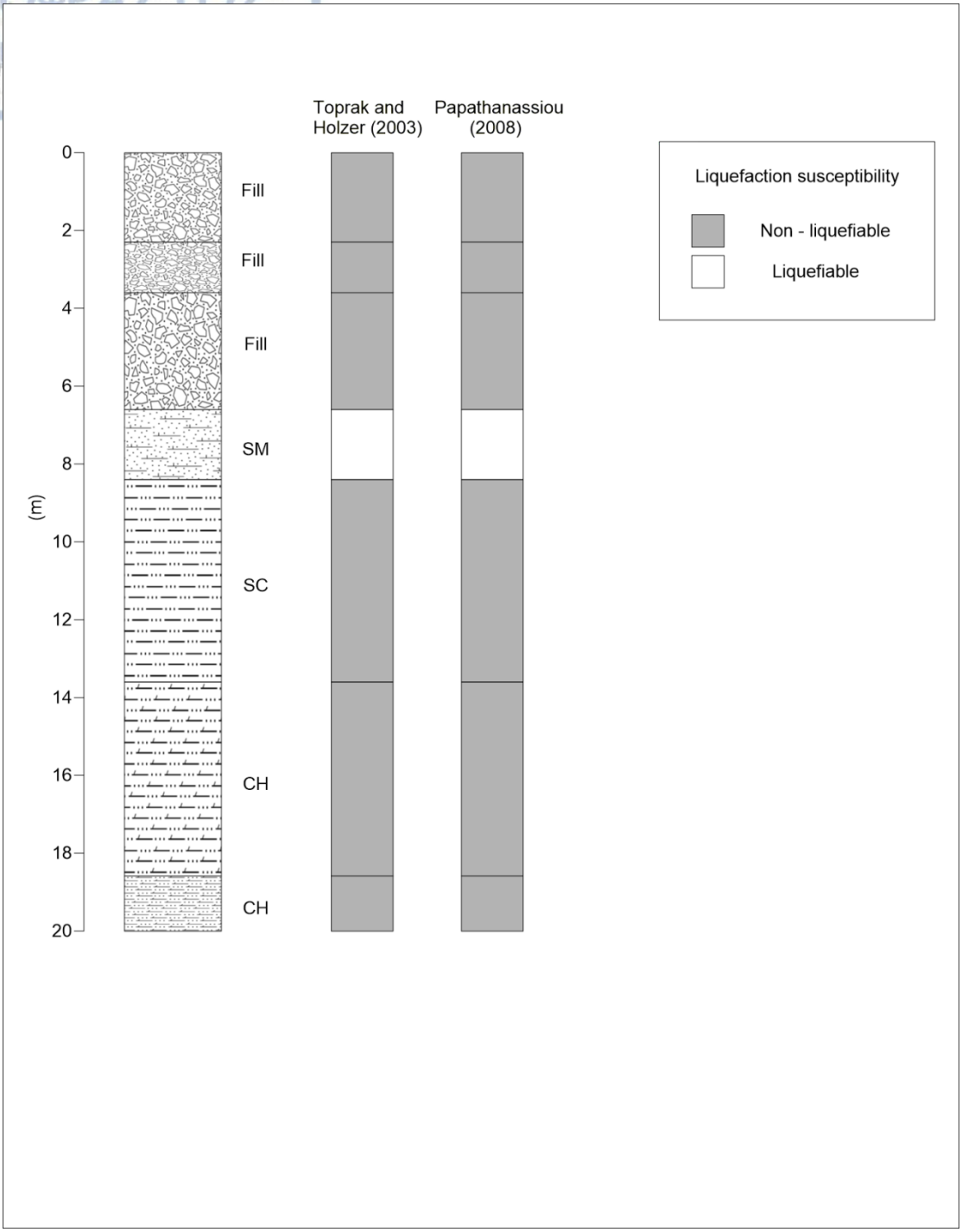
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_12		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 410706.69269							PGA = 0.24g	PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 2.30		y: 4497768.92735							LPI = 5.11	LPI = 13.48
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 2.30	Τεχνητές επιχώσεις, αργιλοϊλυώδες αμμοχάλικο καστανού χρώματος μέσης πυκνότητας με τεμάχη κεραμιδιών	7.30			16.7		1.00	12	2.000	2.000
2.30 - 3.60	Τεχνητές επιχώσεις, αργιλοϊλυώδες αμμοχάλικο καστανού χρώματος μέσης πυκνότητας με τεμάχη κεραμιδιών	7.30			16.7		2.50	12	2.000	2.000
3.60 - 6.60	Παλαιότερες επιχωματώσεις - εξυγιάνσεις, αργιλώδες αμμοχάλικο καστανού χρώματος, μέσης πυκνότητας. Τα χαλίκια υπογωνιώδη μέχρι 6cm διάμετρο. Παρουσία κεραμιδιών	15.00					5.00	18	2.000	2.000
6.60 - 8.40	Ιλυώδης άμμος τεφρού - γκρίζου χρώματος, χαλαρή με μικρό ποσοστό χαλίκων. Παρουσία οστράκων και οργανικών	18.80			27.9		7.60	6	0.683	0.164
8.40 - 13.60	Αργιλώδης άμμος έως με το βάθος χαλικώδης αργιλώδης άμμος γκρίζου έως καστανού χρώματος, μέσης πυκνότητας με κατά θέσεις ενστρωσεις αμμώδους αργίλου χαμηλής πλαστικότητας και μέσης συνεκτικότητας. Παρουσία οργανικών	31.20			12.7		11.20	16	2.000	2.000
13.60 - 18.60	Άργιλος έως μαργαϊκή άργιλος, υπόγκριζου χρώματος, υψηλής πλαστικότητας, στιφρή έως πολύ στιφρή με ελάχιστο ποσοστό άμμου και λίγα σποραδικά χαλίκια. Παρουσία οξειδώσεων και μικρού ποσοστού οργανικών	90.70	57.8	32	25.9	0.4481	15.00	25	2.000	2.000
18.60 - 20.00	Άργιλος έως αμμώδης άργιλος, καστανέρυθρου χρώματος, υψηλής πλαστικότητας, πολύ στιφρή - σκληρή σε εναλλαγές με λεπτές ενστρώσεις αργιλώδη άμμου πυκνής - πολύ πυκνής	63.80	57.1	35.6	23.1	0.4046	19.00	27	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



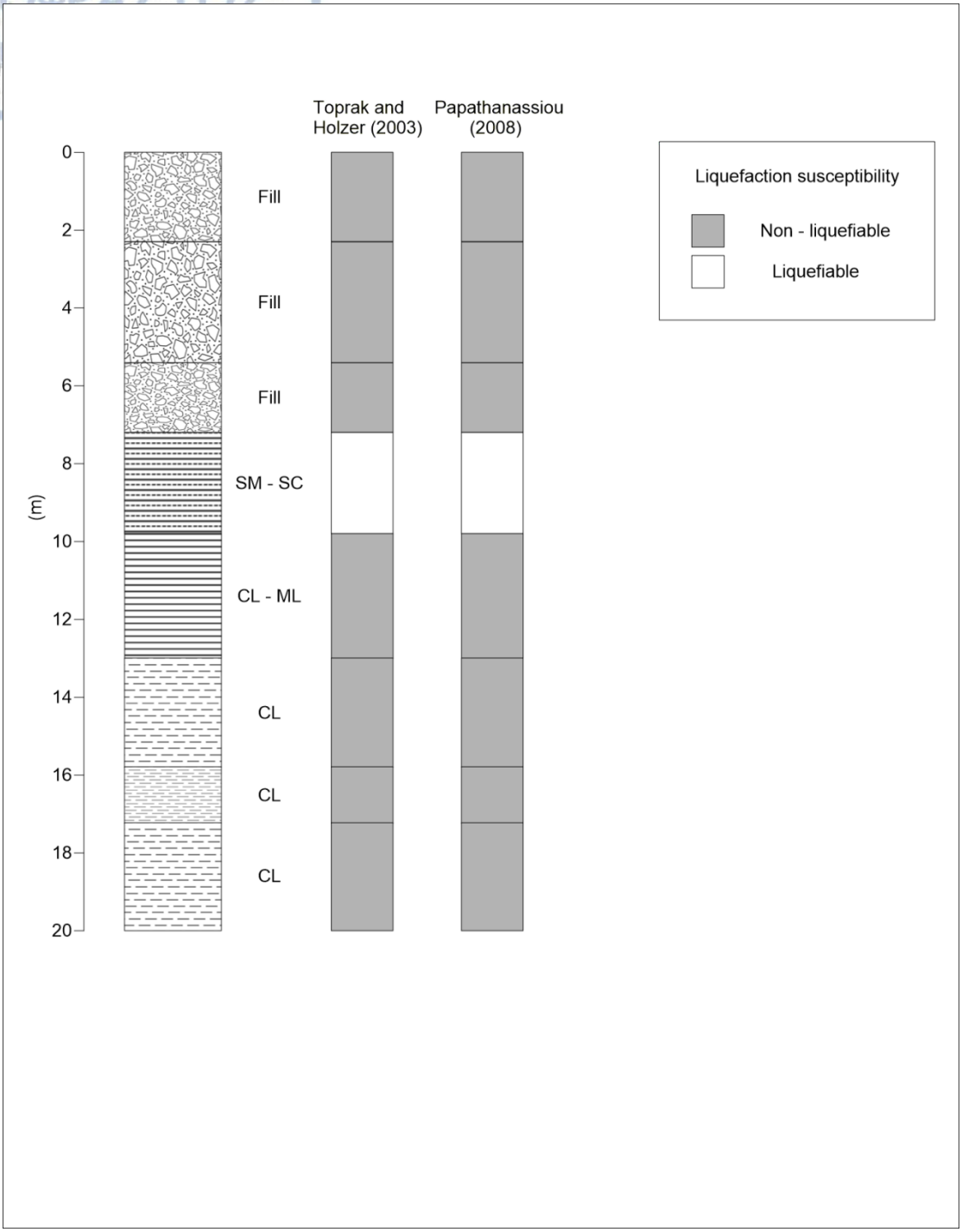
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_13		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 410375.49948							PGA = 0.28g	PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 2.30		y: 4498070.81159							LPI = 5.03	LPI = 11.43
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 2.30	Τεχνητές επιχώσεις, αποτελούμενες από χαλικώδη - ιλυώδη άμμο, καστανογκρίζου - γκρίζου χρώματος, πολύ χαλαρή έως από ιλυώδες αμμοχάλικο. Παρουσία οργανικών, σάπιων φυτικών, κοχυλιών και τούβλων	25.20			29.2		1.80	3	2.000	2.000
2.30 - 5.40	Τεχνητές επιχώσεις, αποτελούμενες από χαλικώδη - ιλυώδη άμμο, καστανόγκριζου - γκρίζου χρώματος, πολύ χαλαρή έως από ιλυώδες αμμοχάλικο. Παρουσία οργανικών, σάπιων φυτικών, κοχυλιών και τούβλων	14.90	33	4.7	19.6	0.5939	4.00	2	2.000	2.000
5.40 - 7.20	Τεχνητές επιχώσεις, αποτελούμενες από χαλικώδη - ιλυώδη άμμο, καστανόγκριζου - γκρίζου χρώματος, πολύ χαλαρή έως από ιλυώδες αμμοχάλικο. Παρουσία οργανικών, σάπιων φυτικών, κοχυλιών και τούβλων. Σε βάθος 6.90 - 7.20 μ. τέμαχος ψαμμίτη, με κατακόρυφη ασβεστολιθική φλέβα πάχους 0.5cm	14.90	33	4.7	19.6	0.5939	6.00	4	2.000	2.000
7.20 - 9.80	Αργιλώδης άμμος, γκρίζου χρώματος, χαλαρή. Παρουσία θραυσμάτων κοχυλιών, παλιών τούβλων και σάπιων φυτικών	36.90			51.2		8.40	6	0.639	0.179
9.80 - 13.00	Αργιλώδης ιλύς, γκρίζου χρώματος, μέσης - υψηλής πλαστικότητας, πολύ μαλακή - μαλακή, με μικρό ποσοστό άμμου και χαλίκων. Παρουσία θραυσμάτων κοχυλιών	75.00	49.1	20.5	64.2	1.3075	10.80	7	2.000	2.000
13.00 - 15.80	Αμμώδης άργιλος, ερυθρού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας, στιφρή με διάσπαρτα χαλίκια	55.80	31.8	16.4	20.3	0.6384	14.60	13	2.000	2.000
15.80 - 17.25	Αμμώδης άργιλος, ερυθρού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας, στιφρή με διάσπαρτα χαλίκια	55.80	31.8	16.4	20.3	0.6384	16.80	18	2.000	2.000
17.25 - 20.00	Άργιλος, ερυθρού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, στιφρή - πολύ στιφρή, με μικρό ποσοστό άμμου και διάσπαρτα χαλίκια	71.10	35.9	20.7	18.4	0.5125	19.00	35	2.000	2.000

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

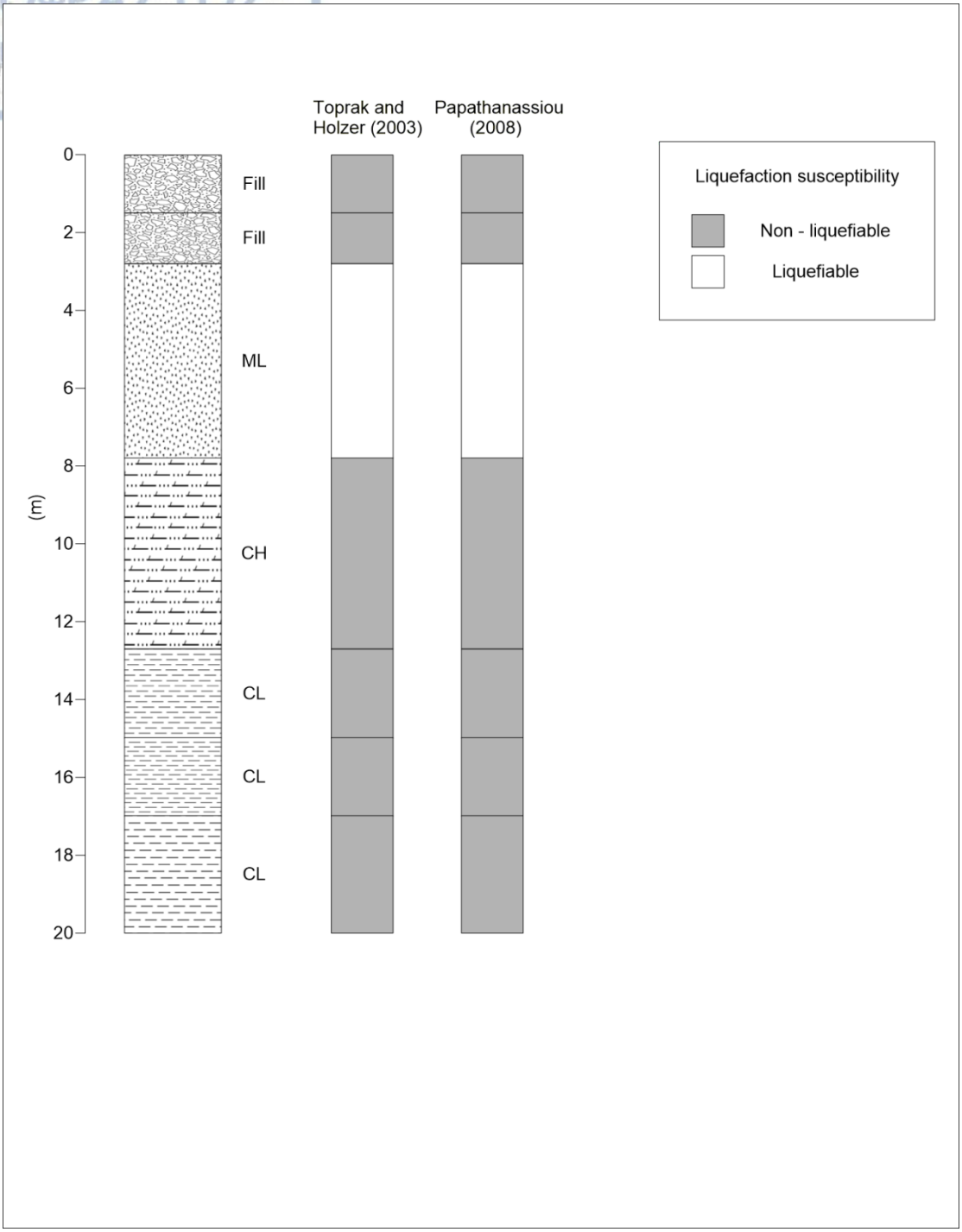
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 1.50	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από μπετόν, τούβλα και τεμάχη γνευσιακής προέλευσης	2.00					1.00	50	2.000	2.000
1.50 - 2.80	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από μπετόν, τούβλα και τεμάχη γνευσιακής προέλευσης	2.00					2.00	50	2.000	2.000
2.80 - 7.80	Αργιλώδης ιλύς τεφρού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, πολύ μαλακή - μαλακή με αρκετό ποσοστό άμμου και με έντονη οσμή. Παρουσία οργανικών, διάσπαρτων ασβεστιτικών συγκριμάτων και οστράκων	67.70	38.6	10.5	51.2	1.3264	4.00	2	0.656	0.124
7.80 - 12.70	Οργανική ιλύς τεφρού χρώματος, υψηλής πλαστικότητας, πολύ μαλακή - μαλακή με έντονη οσμή. Παρουσία ξυλιτών, διάσπαρτων ασβεστιτικών συγκριμάτων και οστράκων, στο βάθος των 8.50 - 8.80m ένστρωση ιλυώδους άμμου	88.90	62.3	24.2	86.8	1.3933	11.00	4	2.000	2.000
12.70 - 15.00	Άργιλος - αμμώδης άργιλος καστανού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, στιφρή και κατά θέσεις μαλακή - μέσης συνεκτικότητας με διάσπαρτα χαλίκια γνευσιακής προέλευσης	67.80	33.8	19.4	17.6	0.5207	13.00	4	2.000	2.000
15.00 - 17.00	Άργιλος - αμμώδης άργιλος καστανού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, στιφρή και κατά θέσεις μαλακή - μέσης συνεκτικότητας με διάσπαρτα χαλίκια γνευσιακής προέλευσης	56.10	37.8	22.7	24	0.6349	16.00	10	2.000	2.000
17.00 - 20.00	Άργιλος - αμμώδης άργιλος καστανού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, στιφρή και κατά θέσεις μαλακή - μέσης συνεκτικότητας με διάσπαρτα χαλίκια γνευσιακής προέλευσης	56.10	37.8	22.7	24	0.6349	18.00	14	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

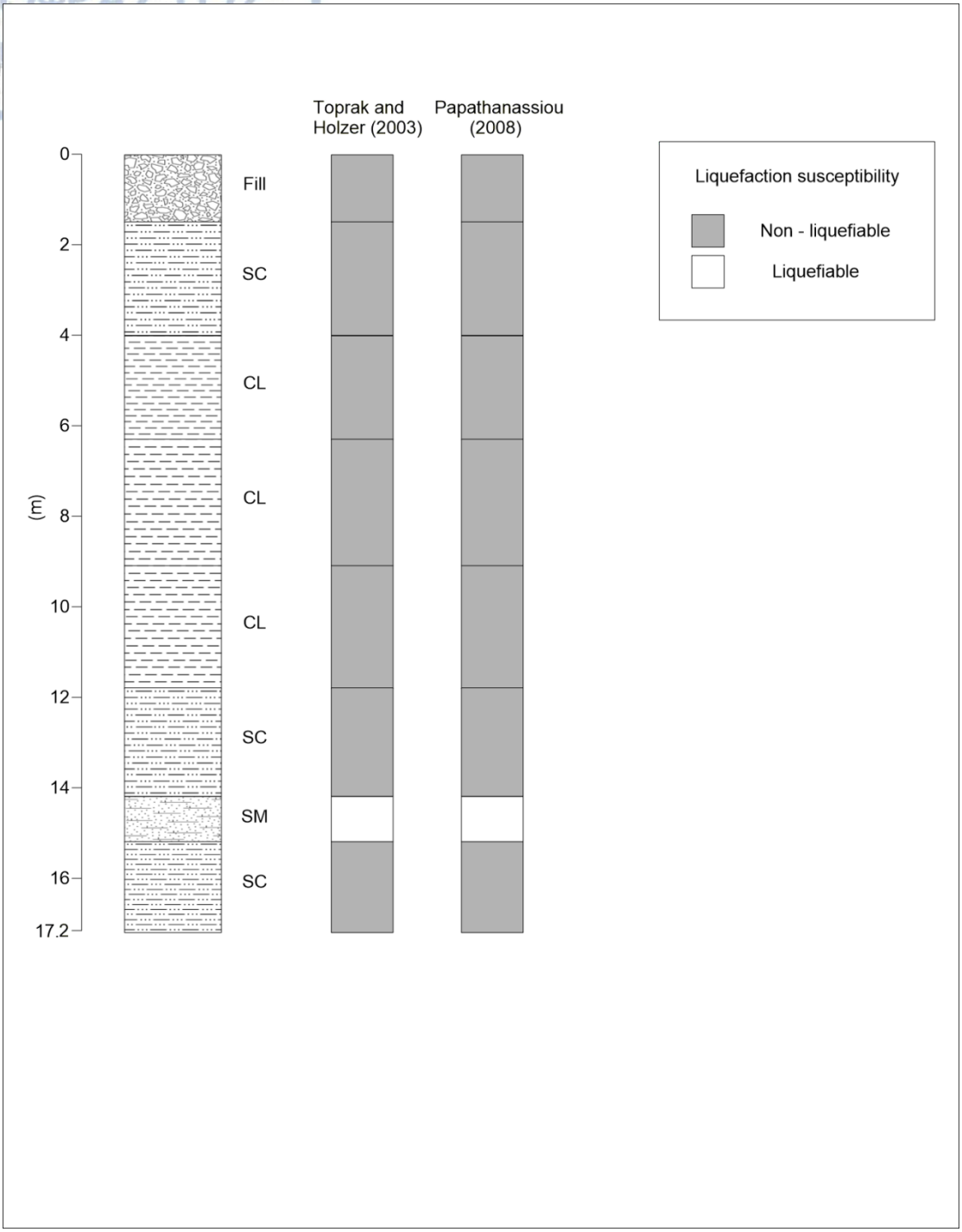
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_20		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 409678.67866							PGA = 0.70g	PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 9.10		y: 4499625.82965							LPI = 5.03	LPI = 5.67
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 1.50	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από χαλαρή, καστανή, αργιλώδη - χαλικώδη άμμο	30.00					1.00	10	2.000	2.000
1.50 - 4.00	Χαλαρή έως μέτρια πυκνή, καστανή, αργιλώδης άμμος με χάλικες (τεταρτογενείς αποθέσεις). Με το βάθος εμφανίζονται τεμάχη πρασινοσχιστόλιθου	36.00	29	14			2.50	19	2.000	2.000
4.00 - 6.30	Στιφρή, καστανή, αμμώδης ισχνή άργιλος τοπικά με χάλικες (τεταρτογενείς αποθέσεις)	55.00	35	17	12.2	0.3486	5.50	13	2.000	2.000
6.30 - 9.10	Στιφρή έως πολύ στιφρή, καστανέρυθρη, αμμώδης ισχνή άργιλος τοπικά με χάλικες, αποσαθρωμένους και υγιείς σχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (σειρά ερυθρών αργίλων)	51.00	38	19	14.2	0.3737	8.50	23	2.000	2.000
9.10 - 11.80	Στιφρή έως πολύ στιφρή, καστανέρυθρη, αμμώδης ισχνή άργιλος τοπικά με χάλικες, αποσαθρωμένους και υγιείς σχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (σειρά ερυθρών αργίλων)	51.00	30	14	13.3	0.4433	10.00	23	2.000	2.000
11.80 - 14.30	Χαλαρή, καστανή, αργιλώδης άμμος με χάλικες (σειρά ερυθρών αργίλων)	30.00	26	9	17.7	0.6808	12.00	10	2.000	2.000
14.30 - 15.20	Χαλαρή, καστανή, ιλυώδης άμμος (σειρά ερυθρών αργίλων)	12.00		NP			14.70	12	0.297	0.208
15.20 - 17.20	Χαλαρή, καστανή, αργιλώδης άμμος με χάλικες (σειρά ερυθρών αργίλων)	39.00	31	11	13.7	0.4419	15.70	14	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

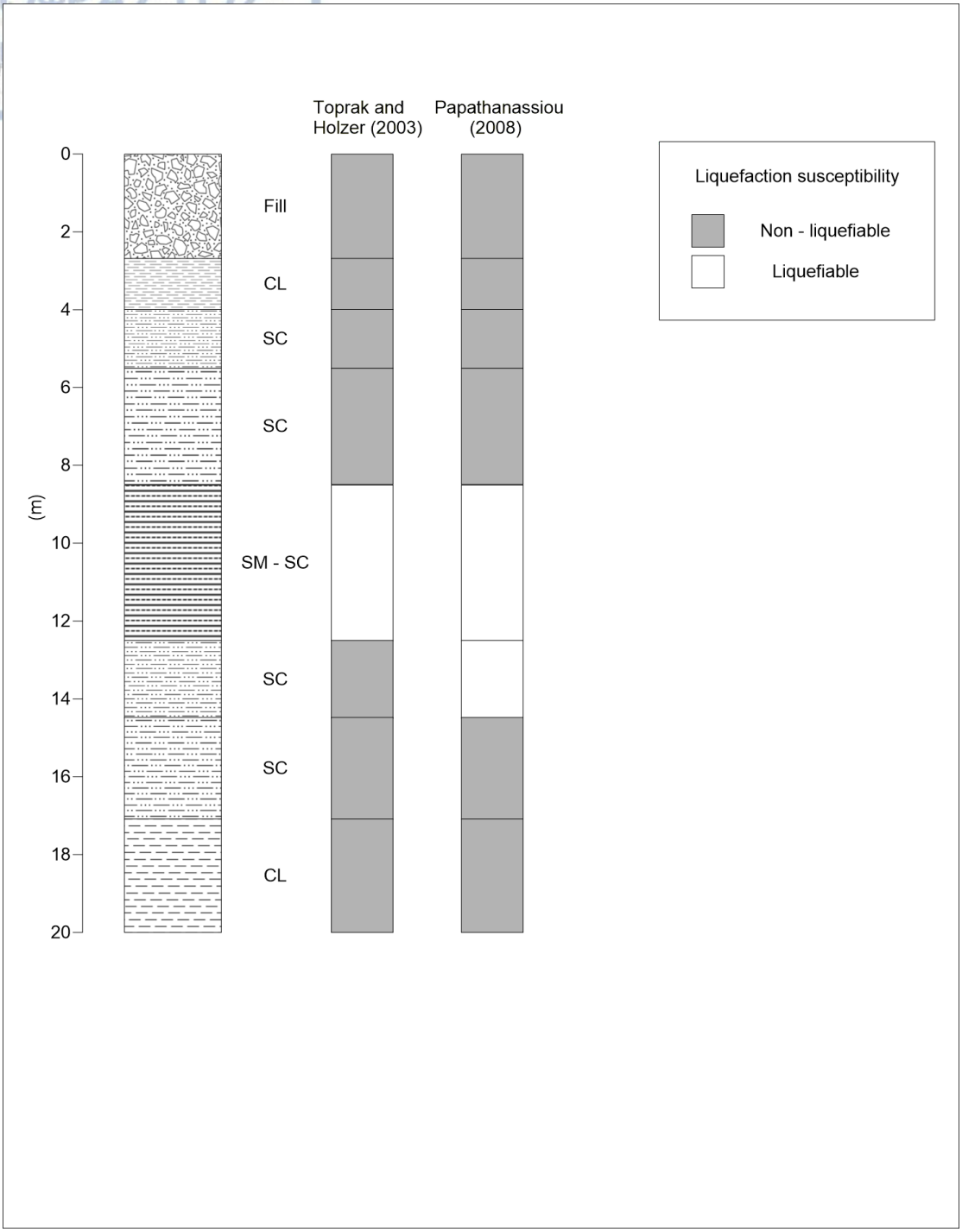
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 2.70	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από καστανή έως γκριζοκάστανη αργιλώδη άμμο έως αμμώδη άργιλο με φυτικά ριζίδια, χαλίκια, θραύσματα από τούβλα και άλλα δομικά υλικά	30.00					2.40	7	2.000	2.000
2.70 - 4.00	Στιφρή, καστανοπράσινη, αμμώδης ισχνή άργιλος, μικρής πλαστικότητας με λεπτά χαλίκια (τεταρτογενείς αποθέσεις)	50.00	32	12			3.00	10	2.000	2.000
4.00 - 5.50	Πολύ χαλαρή έως πυκνή, καστανή έως καστανοπράσινη, τοπικά λεπτόκοκκη και μεσόκοκκη, αργιλώδης άμμος, αργιλώδης άμμος με χαλίκια έως ιλυοαργιλώδης άμμος, μικρής έως τοπικά μέσης πλαστικότητας (τεταρτογενείς αποθέσεις)	49.00	27	9			4.60	22	2.000	2.000
5.50 - 8.50	Πολύ χαλαρή έως πυκνή, καστανή έως καστανοπράσινη, τοπικά λεπτόκοκκη και μεσόκοκκη, αργιλώδης άμμος, αργιλώδης άμμος με χαλίκια έως ιλυοαργιλώδης άμμος, μικρής έως τοπικά μέσης πλαστικότητας. Στο βάθος 7.80 - 8.00m χάλικες υποστρογγυλευμένοι, γνευσιακής προέλευσης, dmax = 3cm (τεταρτογενείς αποθέσεις)	31.00	30	10			6.60	33	2.000	2.000
8.50 - 12.50	Πολύ χαλαρή έως πυκνή, καστανή έως καστανοπράσινη, τοπικά λεπτόκοκκη και μεσόκοκκη, αργιλώδης άμμος, αργιλώδης άμμος με χαλίκια έως ιλυοαργιλώδης άμμος, μικρής έως τοπικά μέσης πλαστικότητας (τεταρτογενείς αποθέσεις)	31.00	23	6			9.50	4	0.671	0.392
12.50 - 14.50	Πολύ χαλαρή έως πυκνή, καστανή έως καστανοπράσινη, τοπικά λεπτόκοκκη και μεσόκοκκη, αργιλώδης άμμος, αργιλώδης άμμος με χαλίκια έως ιλυοαργιλώδης άμμος, μικρής έως τοπικά μέσης πλαστικότητας (τεταρτογενείς αποθέσεις)	35.00	26	9			13.50	9	1.045	0.610
14.50 - 17.10	Πολύ χαλαρή έως πυκνή, καστανή έως καστανοπράσινη, τοπικά λεπτόκοκκη και μεσόκοκκη, αργιλώδης άμμος, αργιλώδης άμμος με χαλίκια έως ιλυοαργιλώδης άμμος, μικρής έως τοπικά μέσης πλαστικότητας (τεταρτογενείς αποθέσεις)	45.00	31	12			15.50	43	2.000	2.000
17.10 - 20.00	Στιφρή έως πολύ στιφρή, καστανοκόκκινη, αμμώδης ισχνή άργιλος, μικρής έως μέσης πλαστικότητας με ασβεστιτικά συγκρίμματα και λίγα λεπτά χαλίκια (τεταρτογενείς αποθέσεις)	56.00	29	11			17.80	18	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

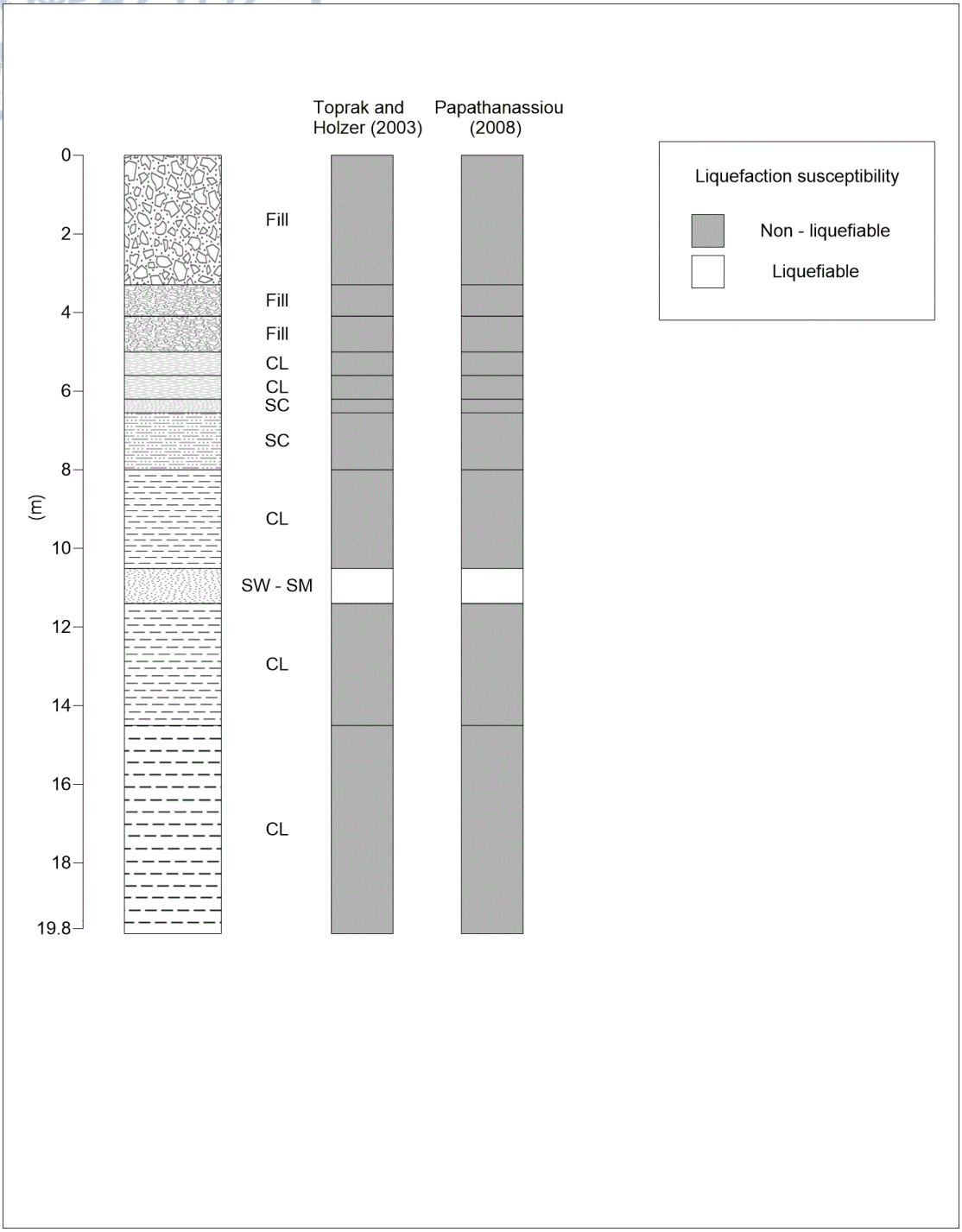
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_27		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 409736.28137							PGA = 0.67g	PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 4.15		y: 4499164.69591							LPI = 5.00	LPI = 6.32
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 3.30	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από τεμάχη και χαλίκια, γνευσιακής και χαλαζιακής προέλευσης με οστά, κεραμικά, κονίαμα και προϊόντα καύσης	5.00					1.50	20	2.000	2.000
3.30 - 4.15	Στιφρή, καστανή σκούρη, ισχνή άργιλος (τεταρτογενείς αποθέσεις)	70.00					3.60	10	2.000	2.000
4.15 - 5.00	Μαλακή έως σταθερή, καστανή, αμμώδης ισχνή άργιλος με χάλικες γνευσιακής και χαλαζιακής προέλευσης (τεταρτογενείς αποθέσεις)	45.00					4.30	25	2.000	2.000
5.00 - 5.60	Στιφρή, καστανέρυθρη, αμμώδης ισχνή άργιλος με διάσπαρτους χάλικες (τεταρτογενείς αποθέσεις)	57.40	34.3	19	17.7	0.516	5.15	16	2.000	2.000
5.60 - 6.20	Μαλακή, καστανή, ισχνή άργιλος (τεταρτογενείς αποθέσεις)	75.00					5.80	15	2.000	2.000
6.20 - 6.55	Μετρίως πυκνή, καστανή, αργιλώδης άμμος με χάλικες (τεταρτογενείς αποθέσεις)	37.20	27.1	11.2	11.8	0.4354	6.30	20	2.000	2.000
6.55 - 8.00	Σταθερή, καστανή ανοικτή αμμώδης ισχνή άργιλος με χάλικες έως χαλαρή, αργιλώδης άμμος με χάλικες (τεταρτογενείς αποθέσεις)	27.00	23	9	12.2	0.5304	7.30	5	2.000	2.000
8.00 - 10.50	Σταθερή έως στιφρή, καστανέρυθρη, αμμώδης ισχνή άργιλος με διάσπαρτους χάλικες (ερυθρές άργιλοι)	57.40	36	21	15.9	0.4417	9.00	20	2.000	2.000
10.50 - 11.40	Χαλαρή, καστανέρυθρη, άμμος καλής διαβάθμισης με μικρό ποσοστό ιλυώδους αργίλου (ερυθρές άργιλοι)	8.00	20.3	5.7	17.6	0.867	11.00	20	0.444	0.298
11.40 - 14.50	Πολύ στιφρή ερυθρή, ισχνή άργιλος με άμμο έως αμμώδης ισχνή άργιλος με διάσπαρτους χάλικες και ασβεστιτικά συγκρίμματα (ερυθρές άργιλοι)	62.10	43.7	26	14.4	0.3295	12.40	45	2.000	2.000
14.50 - 19.80	Στιφρή (14.40 - 16.00μ.) έως πολύ στιφρή ερυθρή, ισχνή άργιλος με άμμο έως αμμώδης ισχνή άργιλος με διάσπαρτους χάλικες και ασβεστιτικά συγκρίμματα (ερυθρές άργιλοι)	75.60	40.6	20.8	14	0.3448	15.80	50	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

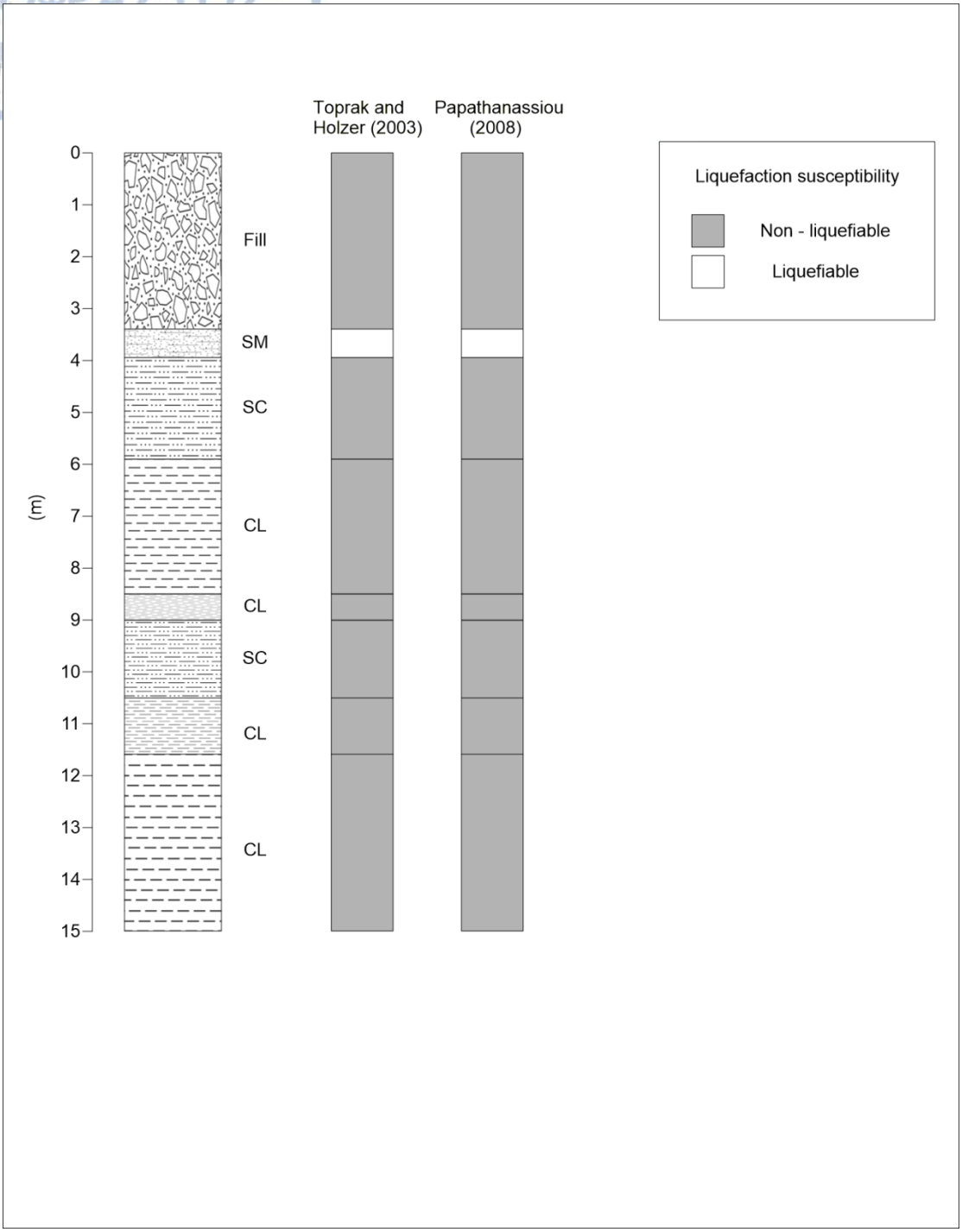
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_28		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 409275.80579							PGA = 0.60g	PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 3.40		y: 4501341.09674							LPI = 5.07	LPI = 7.17
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 3.40	Τεχνητές επιχώσεις (αμμώδης άργιλος με κεραμίδια, ξύλα, κονσέρβες, κ.λ.π)	70.00					2.25	14	2.000	2.000
3.40 - 3.95	Τεχνητές επιχώσεις (λεπτή άμμος κ.λ.π.)	35.00		NP	9.7		3.50	7	0.508	0.305
3.95 - 6.90	Τεχνητές επιχώσεις (αμμώδης ισχνή άργιλος καστανού χρώματος, με κονίαμα, σύρματα κ.λ.π.)	24.00	22.2	7.5			4.25	22	2.000	2.000
6.90 - 8.50	Τεχνητές επιχώσεις (αμμώδης ισχνή άργιλος καστανού σκούρου χρώματος κ.λ.π.)	52.00	32.9	19.5	17.4	0.5289	7.65	20	2.000	2.000
8.50 - 9.00	Αργιλώδης άμμος καστανέρυθρη	34.00	24.3	12.5	14.1	0.5802	8.60	35	2.000	2.000
9.00 - 10.50	Αμμώδης ισχνή άργιλος τεφρού έως τεφροπράσινου χρώματος με λεπτούς χάλικες	50.00	31.8	17	17.3	0.5440	9.45	26	2.000	2.000
10.50 - 11.60	Αμμώδης ισχνή άργιλος τεφρού έως τεφροπράσινου χρώματος με λεπτούς χάλικες	57.00	30.3	16.4			10.70	50	2.000	2.000
11.60 - 15.00	Αργιλώδης άμμος με λεπτούς χάλικες καστανέρυθρη έως κεραμόχρους	26.00	20.5	7.6			13.25	50	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



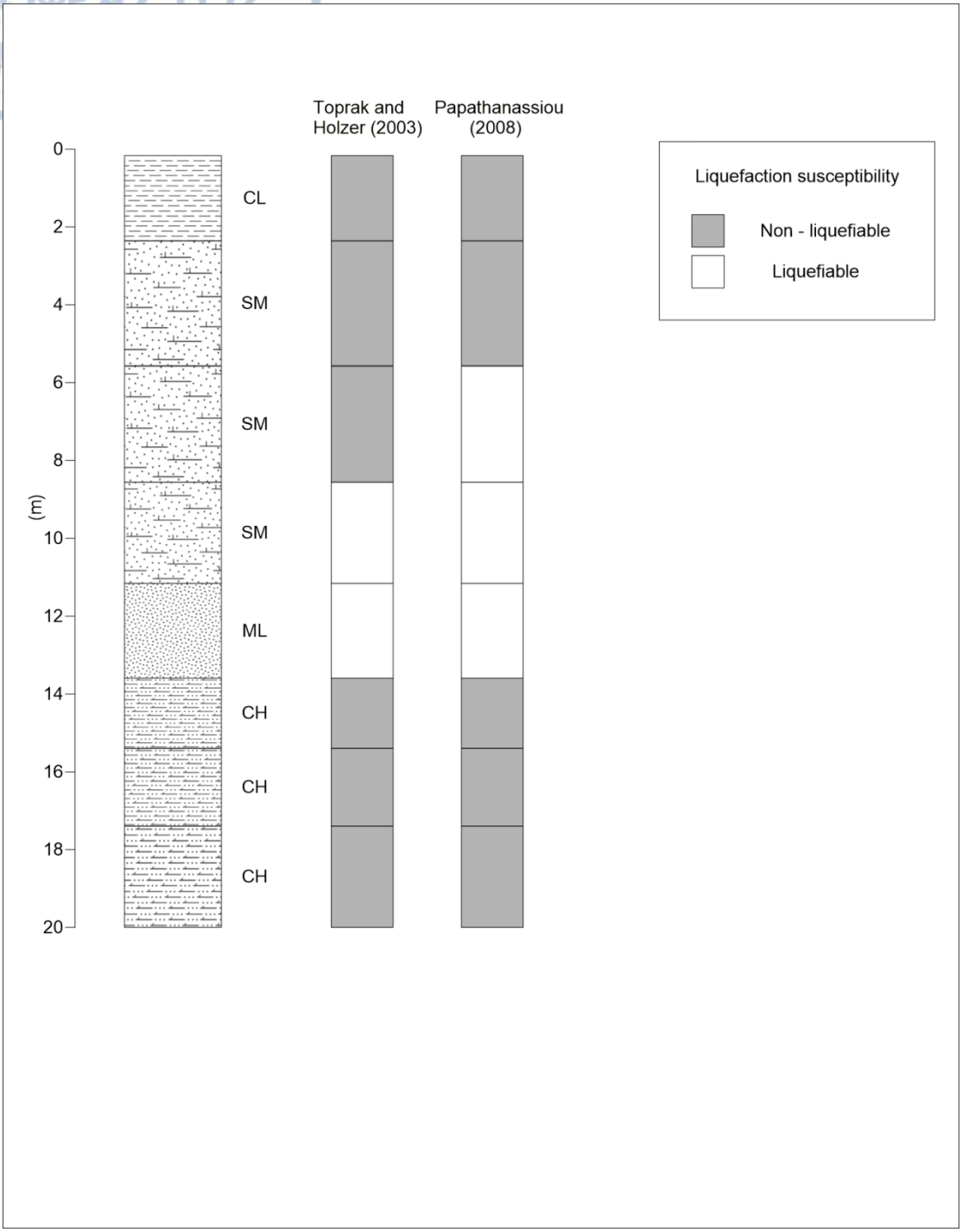
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_50		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 404446.93069							PGA = 0.23g	PGA = 0.37g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 2.20		y: 4499986.24642							LPI = 5.08	LPI = 14.34
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 2.20	Αμμώδης άργιλος, χαμηλής πλαστικότητας, στιφρή με ενστρώσεις αργιλώδους άμμου, χαλαρή	78.40	38.7	17.9	27.7	0.7158	1.80	2	2.000	2.000
2.20 - 5.40	Ιλυώδης άμμος καστανότεφρου χρώματος χαλαρή έως μέσης πυκνότητας	33.60			19.4		4.20	20	2.000	2.000
5.40 - 8.40	Ιλυώδης άμμος καστανότεφρου χρώματος χαλαρή έως μέσης πυκνότητας	22.10			18.2		6.40	14	1.394	0.867
8.40 - 11.00	Ιλυώδης άμμος καστανότεφρου χρώματος χαλαρή έως μέσης πυκνότητας	30.40	22.4				9.00	9	0.934	0.581
11.00 - 13.60	Ιλύς έως αμμώδης ιλύς καστανότεφρου χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, πολύ χαλαρή	66.10	25		46.2	1.848	11.30	3	0.587	0.365
13.60 - 15.40	Άργιλος τεφρού χρώματος υψηλής πλαστικότητας, μαλακή, με ελάχιστο ποσοστό άμμου	99.20	61.1	36.8	57.4	0.9394	14.00	7	2.000	2.000
15.40 - 17.40	Άργιλος τεφρού χρώματος υψηλής πλαστικότητας, μαλακή, με ελάχιστο ποσοστό άμμου	99.20	61.1	36.8	57.4	0.9394	16.00	3	2.000	2.000
17.40 - 20.00	Άργιλος τεφρού χρώματος υψηλής πλαστικότητας, μαλακή, με ελάχιστο ποσοστό άμμου	99.20	61.1	36.8	57.4	0.9394	18.00	7	2.000	2.000

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

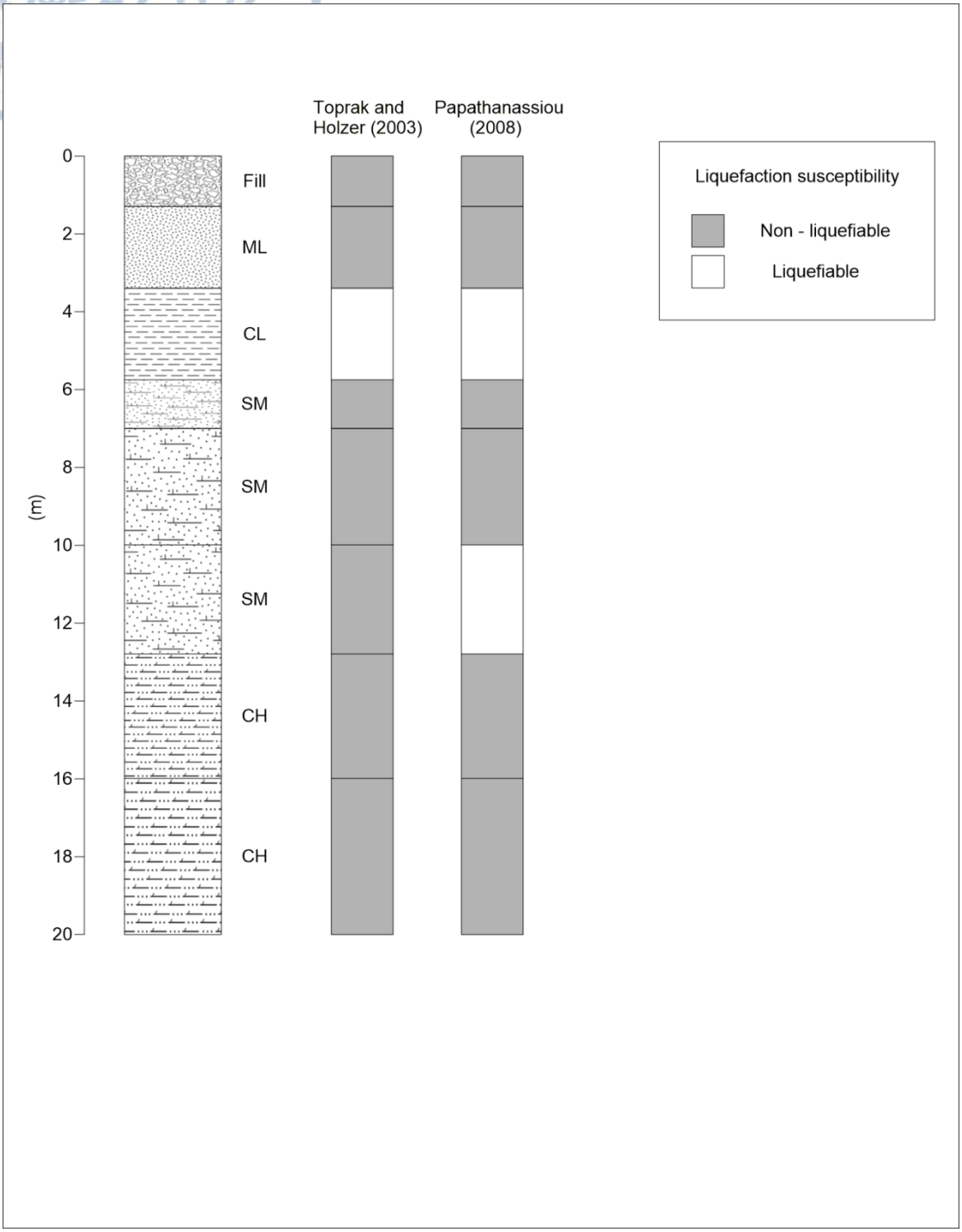
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_51		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 403380.99665							PGA = 0.14g	PGA = 0.25g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 1.30		y: 4498921.81814							LPI = 5.79	LPI = 14.10
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 1.30	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από αμμοχάλικο καστανού χρώματος με κροκάλες και ιλύ καστανοπράσινου χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας	60.00					1.00	25	2.000	2.000
1.30 - 3.40	Αμμώδης, αργιλώδης ιλύς καστανοπράσινου χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, χαλαρή - μέση πυκνότητα με ριζίδια και οσμή οργανικών	72.80	25.6	3.9	23.9	0.9336	2.60	10	2.000	1.209
3.40 - 5.75	Ιλυώδης άργιλος πράσινου χρώματος, χαμηλής πλαστκότητας, πολύ μαλακή με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου και οξειδώσεις	77.30	30.8	8.8	33.2	1.0779	4.80	0	0.654	0.366
5.75 -7.00	Ιλυώδης άμμος πράσινου - μαύρου χρώματος, μέσης πυκνότητας με θραύσματα οστράκων	34.70					6.20	15	2.000	1.435
7.00 - 10.00	Ιλυώδης άμμος πράσινου - μαύρου χρώματος, μέσης πυκνότητας με θραύσματα οστράκων	34.70	24.5	3.3	21.5	0.8776	8.20	22	2.000	2.000
10.00 - 12.80	Ιλυώδης άμμος, πράσινου - μαύρου χρώματος, χαλαρή	24.20	27.9	NP	29	1.0394	11.20	9	1.312	0.734
12.80 - 16.00	Άργιλος γκρίζου - γκριζόμαυρου χρώματος, υψηλής κυρίως, πλαστικότητας, πολύ μαλακή - μαλακή με φυτικά υπολείμματα και με ελάχιστο έως μικρό ποσοστό άμμου	99.60	51.9	23.9	44	0.8478	13.60	2	2.000	2.000
16.00 - 20.00	Άργιλος γκρίζου - γκριζόμαυρου χρώματος, υψηλής κυρίως, πλαστικότητας, πολύ μαλακή - μαλακή με φυτικά υπολείμματα και με ελάχιστο έως μικρό ποσοστό άμμου	99.10	57.6	31	51.7	0.8976	16.60	3	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

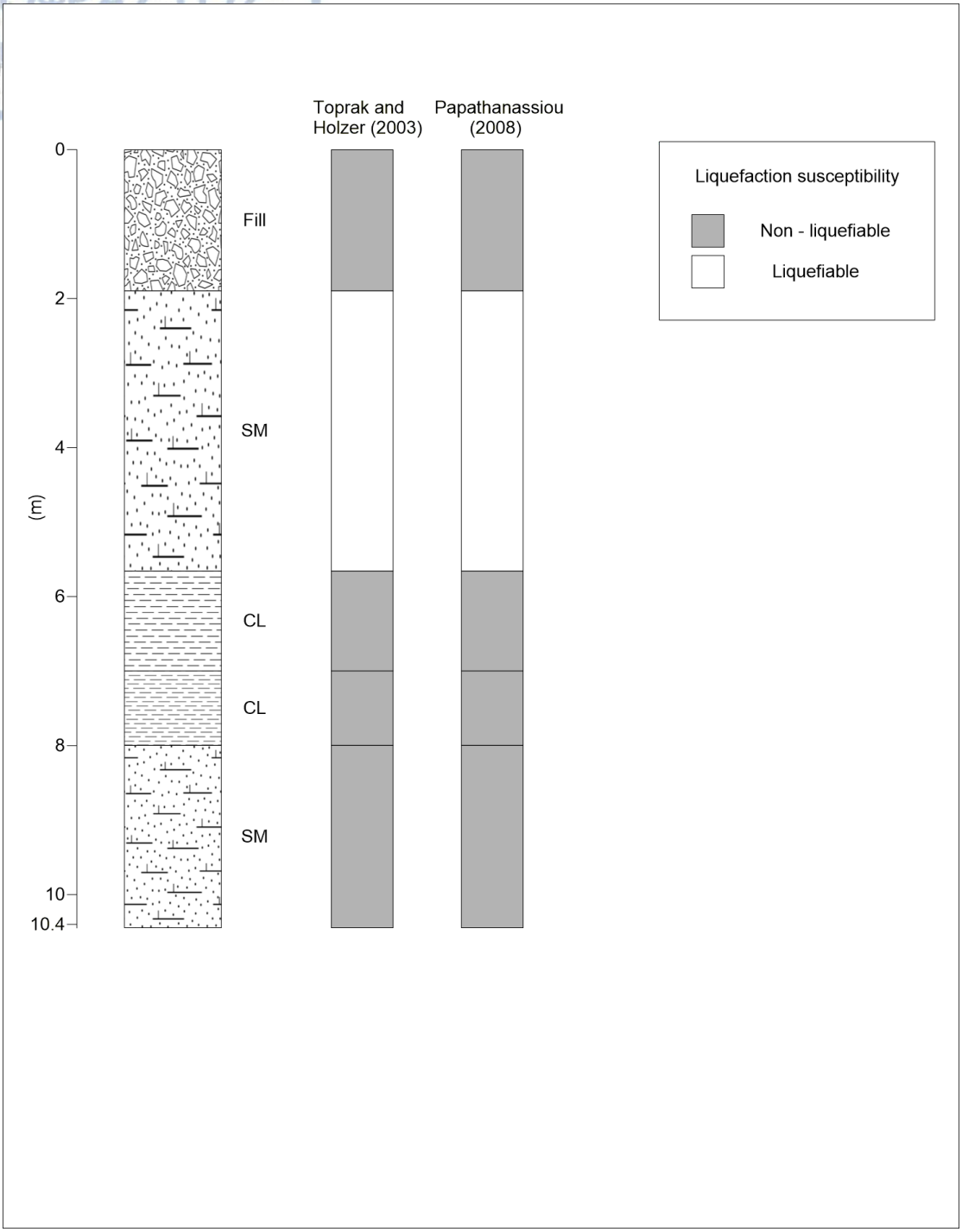
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_52		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 403335.32654							PGA = 0.42g	PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 1.90		y: 4498914.70047							LPI = 5.05	LPI = 7.83
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 1.90	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από άργιλο κίτρινου, καστανού, γκριζοπράσινου χρώματος, στιφρή με αρκετό ποσοστό άμμου και μικρό ποσοστό χαλίκων. Παρουσία κατά θέσεις φυτικών και οργανικών	62.10	41.9	24.2	19	0.4535	1.00	25	2.000	2.000
1.90 - 5.65	Ιλυώδης άμμος γκριζοκάστανου - καστανού χρώματος, λεπτόκοκκη - μεσόκοκκη πολύ χαλαρή - χαλαρή με φυτικά	20.00	19.1	NP	22.8	1.1937	2.10	5	0.487	0.204
5.65 - 7.00	Αμμώδης άργιλος γκρίζου - γκριζοπράσινου χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, πολύ μαλακή - μαλακή	61.40	35.1	16.9	38	1.0826	5.80	2	2.000	2.000
7.00 - 8.00	Αμμώδης άργιλος γκρίζου - γκριζοπράσινου χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, πολύ μαλακή - μαλακή	61.40	35.1	16.9	38	1.0826	7.60	6	2.000	2.000
8.00 - 10.45	Ιλυώδης άμμος γκρίζου - γκριζόμαυρου χρώματος, χαλαρή - μέση πυκνότητα	28.10	23	2.7	18	0.7826	10.00	16	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

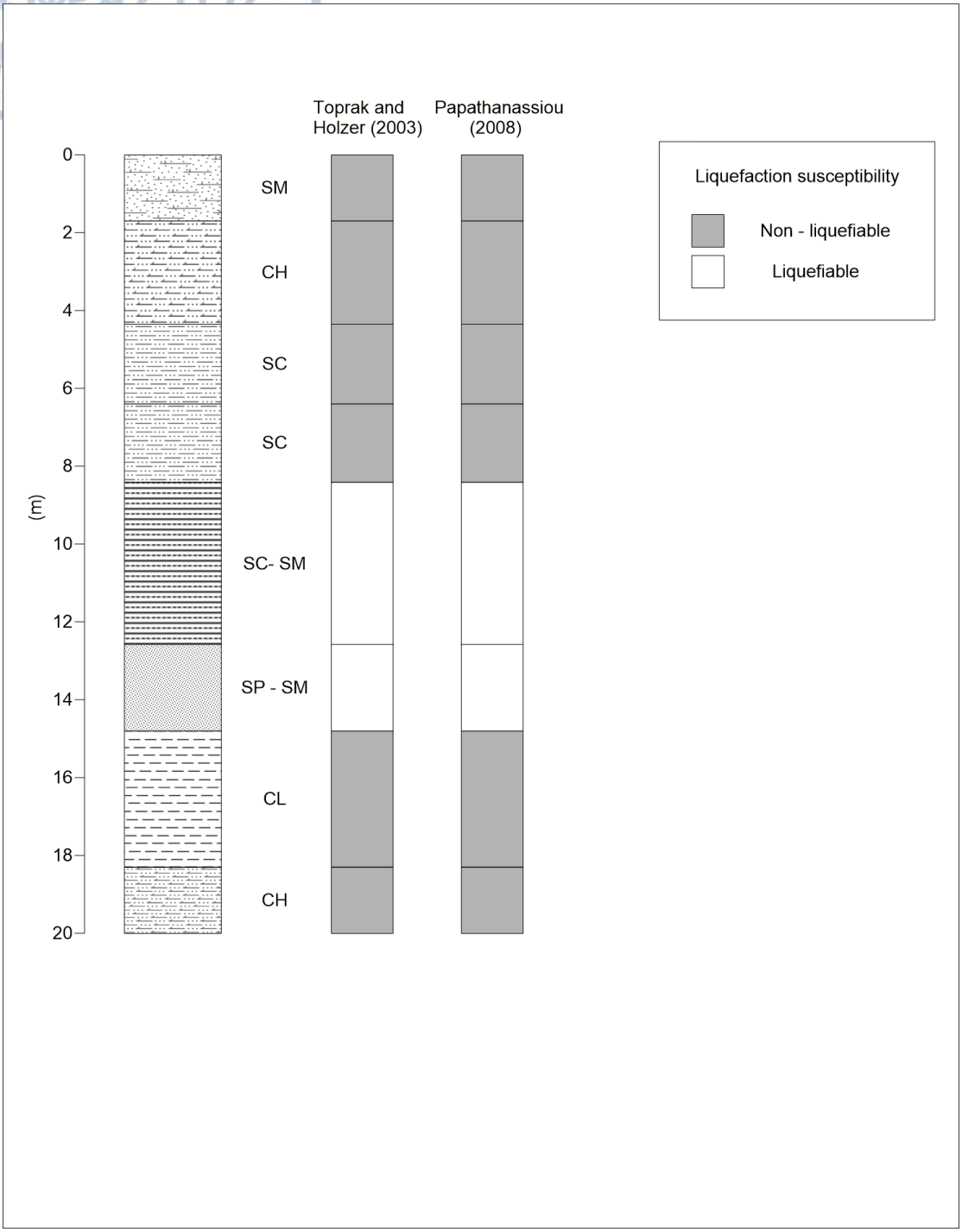
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_56		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 396732.20816							PGA = 0.39g	PGA = 0.68g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 1.70		y:4504038.46896							LPI = 5.23	LPI = 14.05
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 1.70	Ιλυώδες αμμοχάλικο σκούρου καστανού χρώματος, χαλαρό	15.00					1.00	10	2.000	2.000
1.70 - 4.35	Άργιλος σκούρου καστανού χρώματος, μέσης - υψηλής πλαστικότητας, μαλακή - μέση συνεκτικότητα με ενστρώσεις άμμου	90.10	51.8	25.1	37.5	0.7239	2.00	6	2.000	2.000
4.35 - 6.40	Αργιλώδης - αργιλοϊλυώδης άμμος γκρίζου χρώματος, χαλαρή - μέση πυκνότητα	33.80	24.7	14.4	17.5	0.7085	5.00	8	2.000	2.000
6.40 - 8.40	Αργιλώδης - αργιλοϊλυώδης άμμος γκρίζου χρώματος, χαλαρή - μέση πυκνότητα	33.80	24.7	14.4	17.5	0.7085	7.00	22	2.000	2.000
8.40 - 12.60	Αργιλώδης - αργιλοϊλυώδης άμμος γκρίζου χρώματος, χαλαρή - μέση πυκνότητα	20.00	24.4	6.4	20.9	0.8566	11.00	16	0.725	0.416
12.60 - 14.80	Άμμος φτωχής διαβάθμισης γκρίζου χρώματος, μέσης πυκνότητας, με μικρό ποσοστό λεπτόκοκκου κλάσματος	9.50	23.2		25.7	1.1078	13.40	29	0.964	0.553
14.80 - 18.30	Άμμος φτωχής διαβάθμισης γκρίζου χρώματος, μέσης πυκνότητας, με μικρό ποσοστό λεπτόκοκκου κλάσματος	9.50	23.2		25.7	1.1078	15.40	32	2.000	2.000
18.30 - 20.00	Άργιλος γκρίζου - μαύρου χρώματος, μέσης - υψηλής πλαστικότητας, μαλακή - μέση συνεκτικότητα με οργανικά και θραύσματα οστράκων	98.90	45.5	22.4	43.5	0.956	18.50	2	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



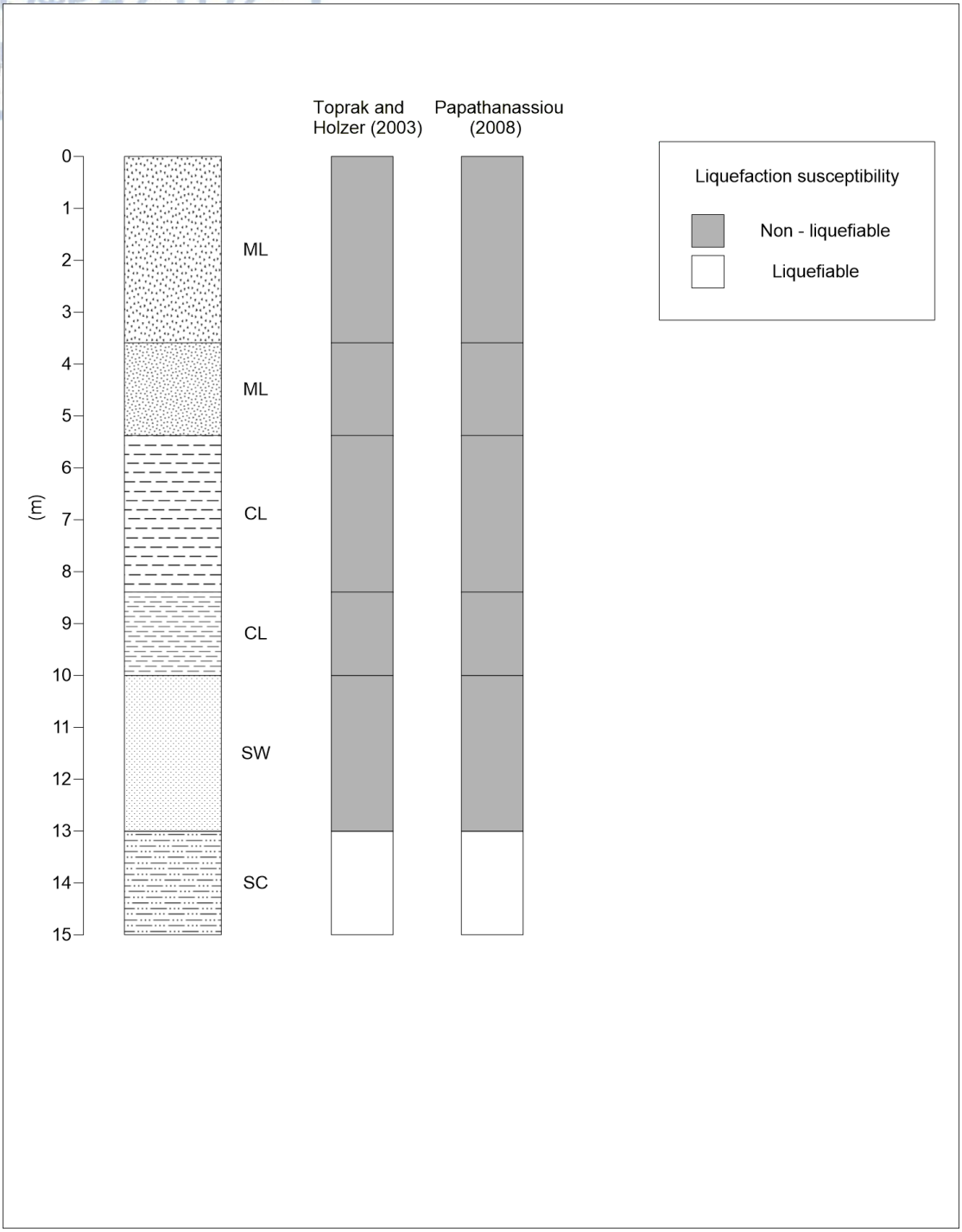
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_57		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 399258.91027							PGA = 0.68g	PGA = 1.00g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 13.00		y: 4504590.72337							LPI = 5.05	LPI = 6.26
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 3.60	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από ιλυώδη άργιλο με μικρό ποσοστό άμμου, μέσης συνεκτικότητας έως με το βάθος αμμώδη άργιλο ερυθρού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας έως στιφρή, με διάσπαρτα χαλίκια. Παρουσία οργανικών, φυτικών και κεραμικών μέχρι το βάθος των 1.30m	67.20	42.3	2.4	36	0.8511	2.40	17	2.000	2.000
3.60 - 5.40	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από ιλυώδη άργιλο με μικρό ποσοστό άμμου, μέσης συνεκτικότητας έως με το βάθος αμμώδη άργιλο ερυθρού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας έως στιφρή, με διάσπαρτα χαλίκια	67.20	42.3	2.4	36	0.8511	4.20	7	2.000	2.000
5.40 - 8.40	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από ιλυώδη άργιλο με μικρό ποσοστό άμμου, μέσης συνεκτικότητας έως με το βάθος αμμώδη άργιλο ερυθρού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας έως στιφρή, με διάσπαρτα χαλίκια	75.30	36.5	12.4	22.6	0.6192	6.20	8	2.000	2.000
8.40 - 10.00	Άργιλος, καστανού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας, με αρκετό ποσοστό άμμου.	59.90	31.8	12.2	25.5	0.8019	8.60	11	2.000	2.000
10.00 - 13.00	Άργιλος, καστανού χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας, με αρκετό ποσοστό άμμου. Σε βάθος 9.80 - 10.50m εμφανίζονται ενστρώσεις άμμου, καστανού χρώματος, χαλαρής	4.00			10.6		10.60	8	2.000	2.000
13.00 - 15.00	Αργιλώδης άμμος, γκρίζου χρώματος, χαλαρή	38.70	26.4	7.9	24	0.9091	13.20	9	0.429	0.292

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

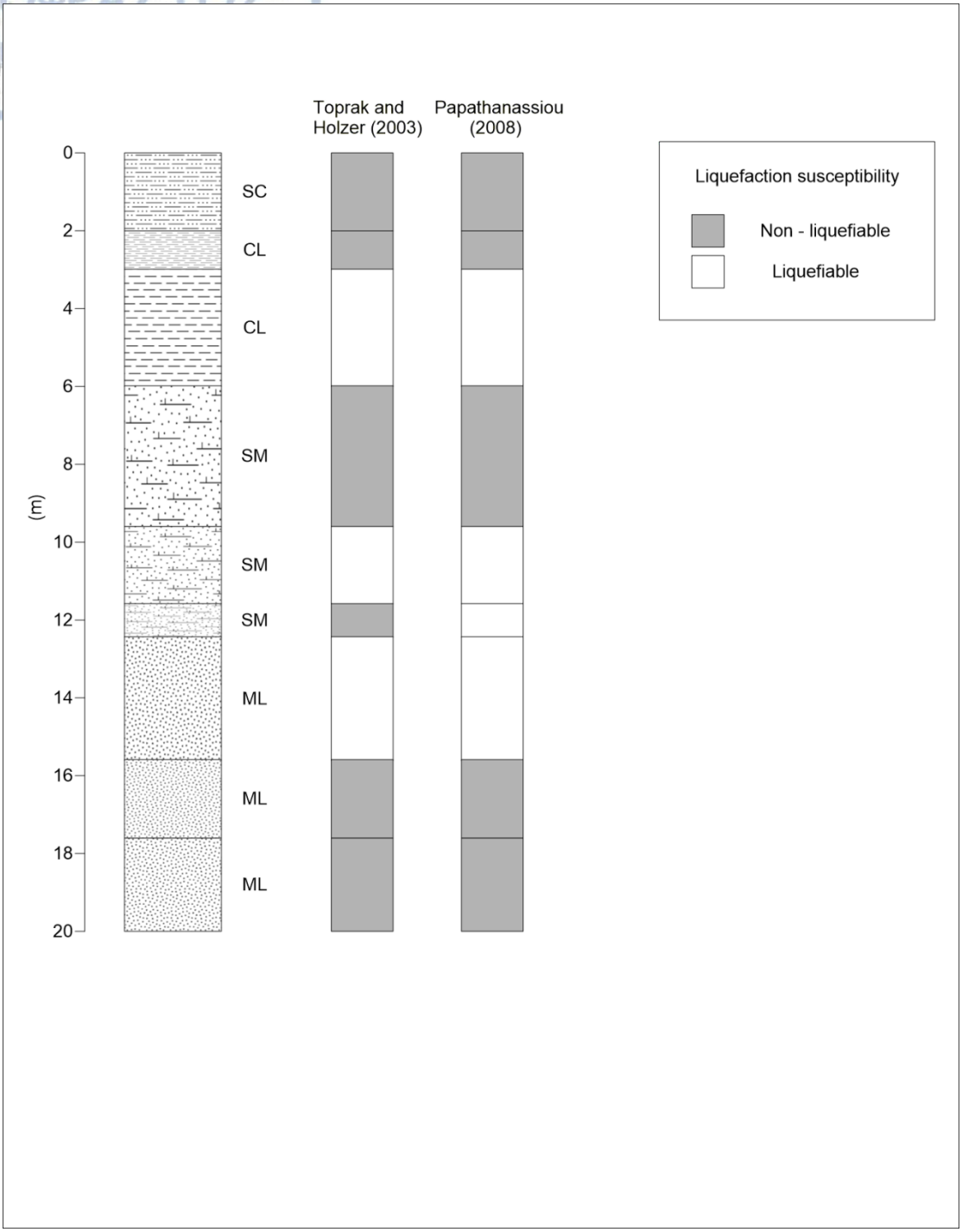
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_58		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 396820.00198							PGA = 0.26g	PGA = 0.36g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 3.00		y: 4504206.57026							LPI = 5.69	LPI = 14.37
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 2.00	Αργιλώδης άμμος καστανού χρώματος, χαλαρή έως αμμώδης άργιλος, μέσης συνεκτικότητας - στιφρή	35.00					1.00	8	2.000	2.000
2.00 - 3.00	Άργιλος καστανού - γκρίζου χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας μαλακή με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου και ενστρώσεις αργιλώδους άμμου χαλαρής	75.20	34.6	16.3	31.6	0.9133	2.20	9	2.000	2.000
3.00 - 6.00	Άργιλος καστανού - γκρίζου χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας μαλακή με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου και ενστρώσεις αργιλώδους άμμου χαλαρής	81.90	31.2	10.2	33.8	1.0833	4.00	5	0.872	0.630
6.00 - 9.60	Ιλυώδης άμμος καστανού - γκρίζου χρώματος, χαλαρή - μέση πυκνότητα με κατά θέσεις ενστρώσεις αργίλου, μαλακή	26.90	22.3	1.6	17.7	0.7937	8.00	11	2.000	2.000
9.60 - 11.60	Ιλυώδης άμμος καστανού - γκρίζου χρώματος, χαλαρή - μέση πυκνότητα με κατά θέσεις ενστρώσεις αργίλου, μαλακή	19.90	23.9	1.2	28.8	1.205	10.00	8	0.669	0.483
11.60 - 12.45	Ιλυώδης άμμος καστανού - γκρίζου χρώματος, χαλαρή - μέση πυκνότητα με κατά θέσεις ενστρώσεις αργίλου, μαλακή	19.90	23.9	1.2	28.8	1.205	12.00	15	1.071	0.773
12.45 - 15.60	Αμμώδης ιλύς καστανού - γκρίζου χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, στιφρή	76.60	36.7	6.9	42	1.1444	14.00	10	0.910	0.657
15.60 - 17.60	Αργιλώδης ιλύς έως ιλυώδης άργιλος καστανού - γκρίζου χρώματος, χαμηλής - μέσης πλαστικότητας, μαλακή - μέση συνεκτικότητα	99.40	49.4	21.3	47.2	0.9555	16.00	7	2.000	2.000
17.60 - 20.00	Αργιλώδης ιλύς έως ιλυώδης άργιλος καστανού - γκρίζου χρώματος, χαμηλής - μέσης πλαστικότητας, μαλακή - μέση συνεκτικότητα	99.40	49.4	21.3	47.2	0.9555	18.00	2	2.000	2.000

-**Οι** τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

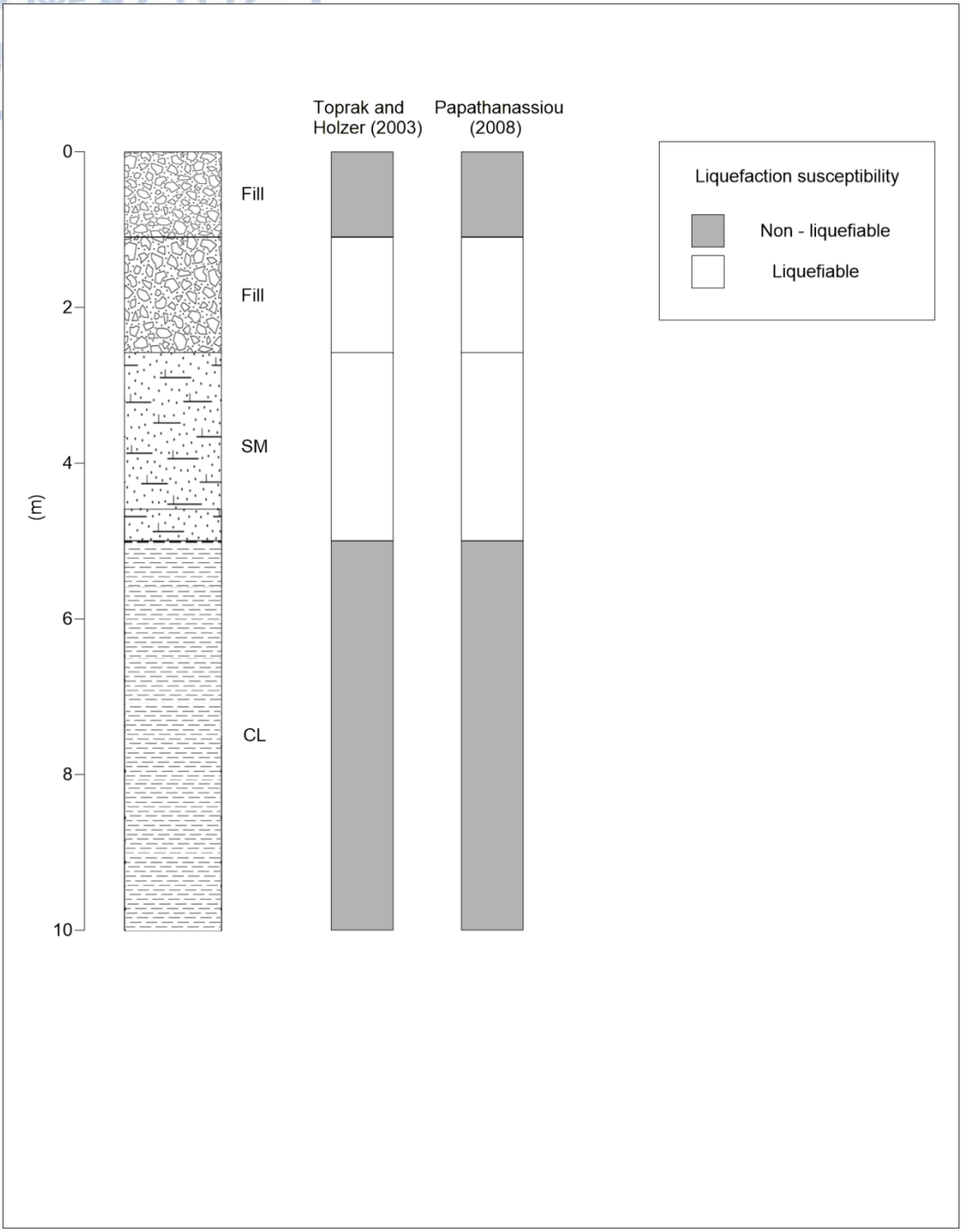
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_61		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 406568.88534							PGA = 0.19g	PGA = 0.50g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 1.10		y: 4499863.10414							LPI = 5.08	LPI = 14.02
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 1.10	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από ιλυώδη άμμο καστανού χρώματος, χαλαρή με μικρό ποσοστό χαλίκων. Παρουσία φυτικών και κεραμικών	24.80	35	0.1	33.4	0.9543	0.60	4	2.000	2.000
1.10 - 2.60	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από ιλυώδη άμμο καστανού χρώματος, χαλαρή με μικρό ποσοστό χαλίκων. Παρουσία φυτικών και κεραμικών	24.80	35	0.1	33.4	0.9543	1.50	3	0.936	0.356
2.60 - 5.00	Ιλυώδης άμμος γκρίζου - γκριζόμαυρου χρώματος, πολύ χαλαρή. Παρουσία κοχυλιών	24.90	35.8				2.80	2	0.594	0.226
5.00 - 10.00	Άργιλος γκρίζου έως γκριζόμαυρου χρώματος, μέσης πλαστικότητας, πολύ μαλακή με ελάχιστο ποσοστό άμμου, με ενστρώσεις μεταξύ του βάθος 6.50 - 7.45m ιλυώδους λεπτόκοκκης άμμου, πολύ χαλαρής. Παρουσία κοχυλιών	96.90	47.6	21.4	58	1.2185	7.00	1	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

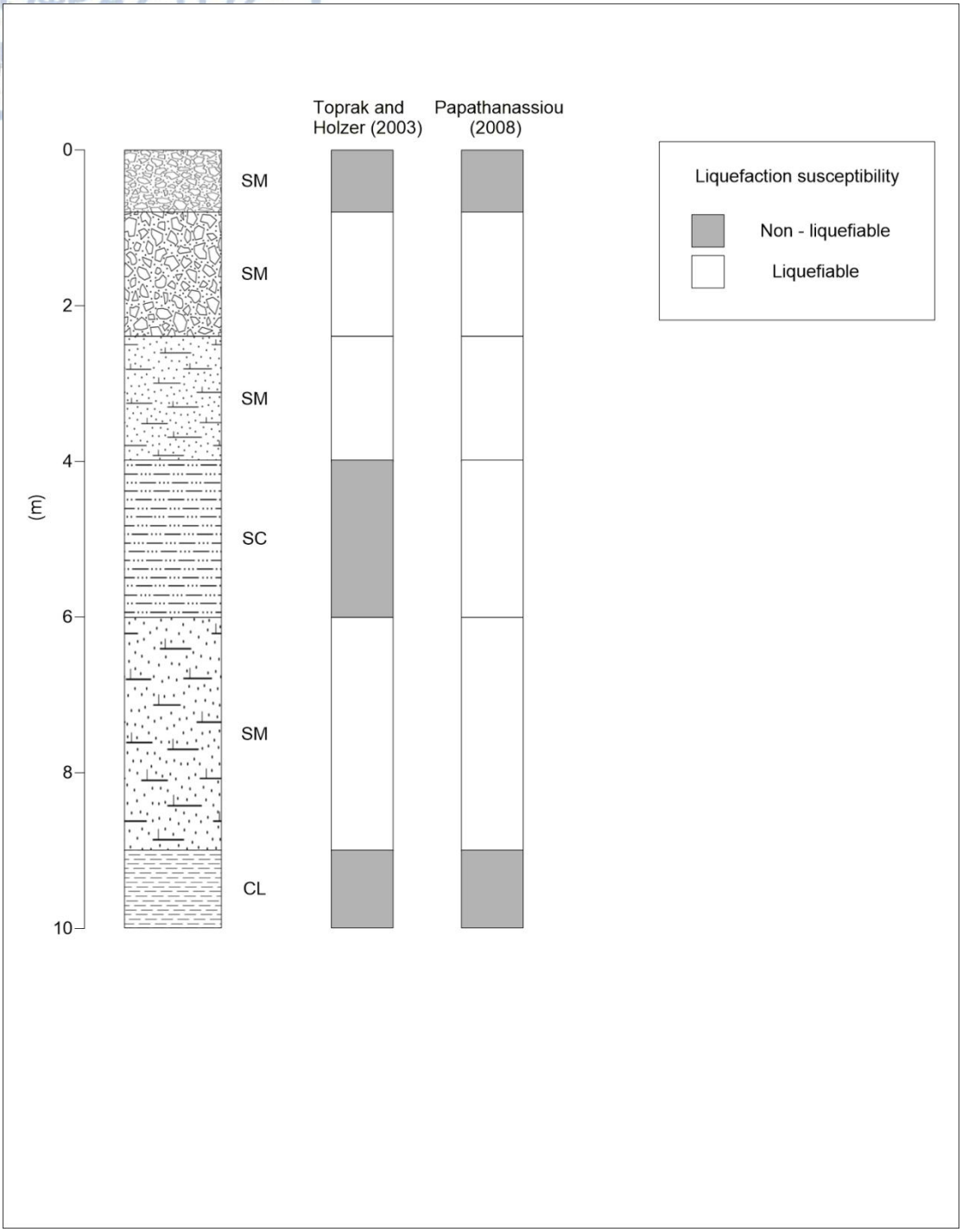
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_62		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 406544.38305							PGA = 0.15g	PGA = 0.19g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 0.80		y: 4499876.05595							LPI = 7.00	LPI = 15.54
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 0.80	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από αμμώδη ιλύ καστανού χρώματος, πολύ χαλαρή. Παρουσία φυτικών και κεραμικών	24.80					0.50	4	2.000	2.000
0.80 - 2.40	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από αμμώδη ιλύ καστανού χρώματος, πολύ χαλαρή. Παρουσία φυτικών και κεραμικών	24.80					2.00	3	0.841	0.664
2.40 - 4.00	Ιλυώδης άμμος γκριζόμαυρου χρώματος, πολύ χαλαρή. Παρουσία φυτικών και κοχυλιών	36.20	34	9.5	49.2	1.4471	3.00	2	0.683	0.54
4.00 - 6.00	Ιλυώδης - αργιλώδης μεσόκοκκη άμμος γκριζόμαυρου χρώματος, πολύ χαλαρή. Παρουσία κοχυλιών	43.30	32.2	11	32.2	1	4.60	5	1.051	0.830
6.00 - 9.00	Ιλυώδης - αργιλώδης μεσόκοκκη άμμος γκριζόμαυρου χρώματος, πολύ χαλαρή. Παρουσία κοχυλιών	38.80			32.6		7.00	4	0.861	0.680
9.00 - 10.00	Άργιλος γκριζόμαυρου χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, πολύ μαλακή με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου. Παρουσία θραυσμάτων κοχυλιών	95.00					9.50	1	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

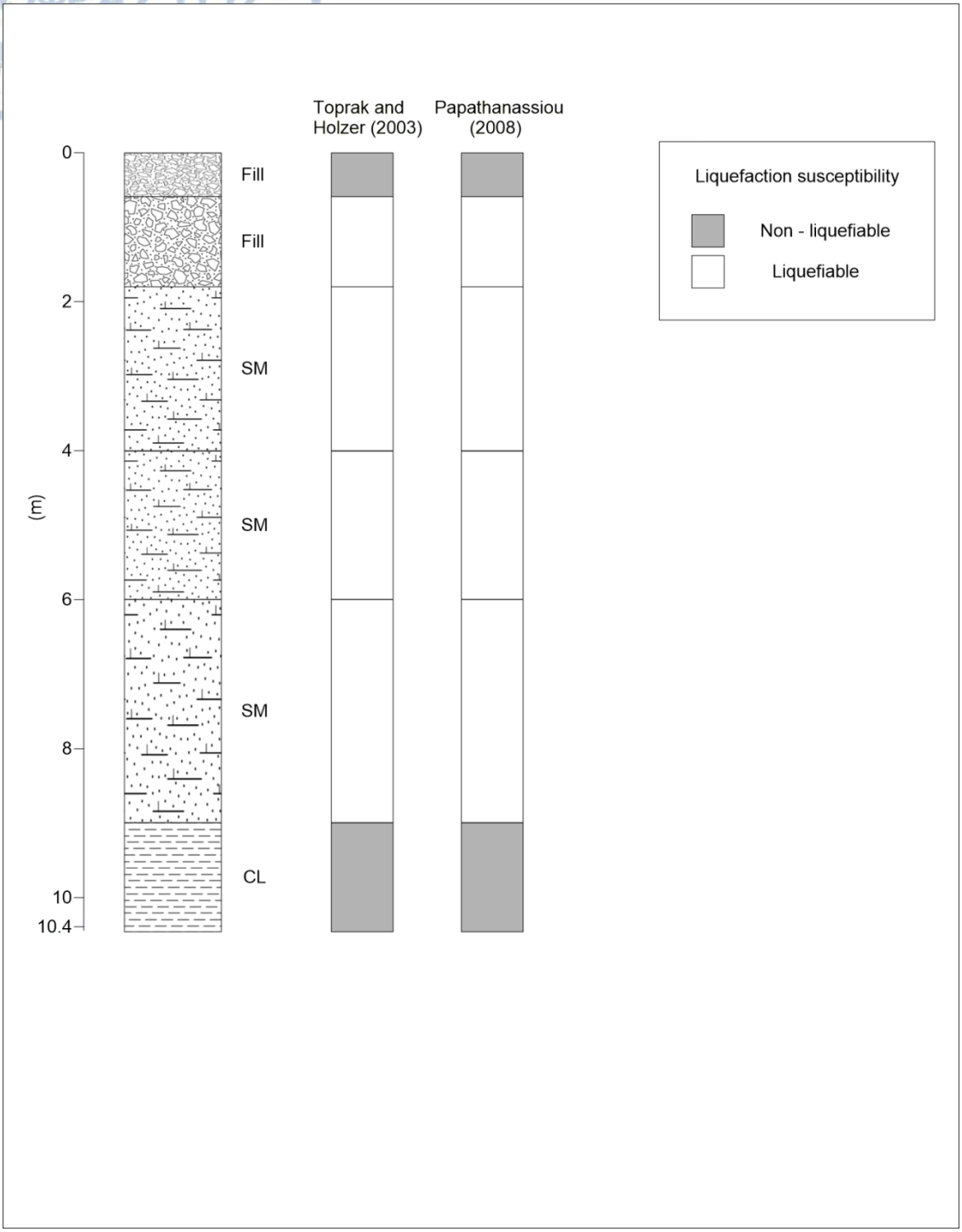
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_63		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 406625.43191							PGA = 0.15g	PGA = 0.18g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 0.60		y: 4499895.39386							LPI = 6.98	LPI = 14.35
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 0.60	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από αργιλοϊλυώδη άμμο, καστανού χρώματος, πολύ χαλαρή. Παρουσία φυτικών και κεραμικών	40.00					0.30	4	2.000	2.000
0.60 - 1.80	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από αργιλοϊλυώδη άμμο, καστανού χρώματος, πολύ χαλαρή. Παρουσία φυτικών και κεραμικών	25.00					1.50	3	0.980	0.816
1.80 - 4.00	Ιλυώδης λεπτόκοκκη άμμος γκριζόμαυρου χρώματος, πολύ χαλαρή. Παρουσία φυτικών και κοχυλιών	45.10	31.2	8	50.9	1.6314	2.00	3	0.896	0.747
4.00 - 6.00	Ιλυώδης μεσόκοκκη άμμος γκριζόμαυρου χρώματος, πολύ χαλαρή. Παρουσία κοχυλιών	38.70			30.4		4.60	3	0.794	0.662
6.00 - 9.00	Ιλυώδης μεσόκοκκη άμμος γκριζόμαυρου χρώματος, πολύ χαλαρή. Παρουσία κοχυλιών	34.80			31		7.00	4	0.861	0.718
9.00 - 10.45	Άργιλος γκριζόμαυρου χρώματος, χαμηλής πλαστικότητας, πολύ μαλακή με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου. Παρουσία θραυσμάτων κοχυλιών	70.00					10.00	2	2.000	2.000

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

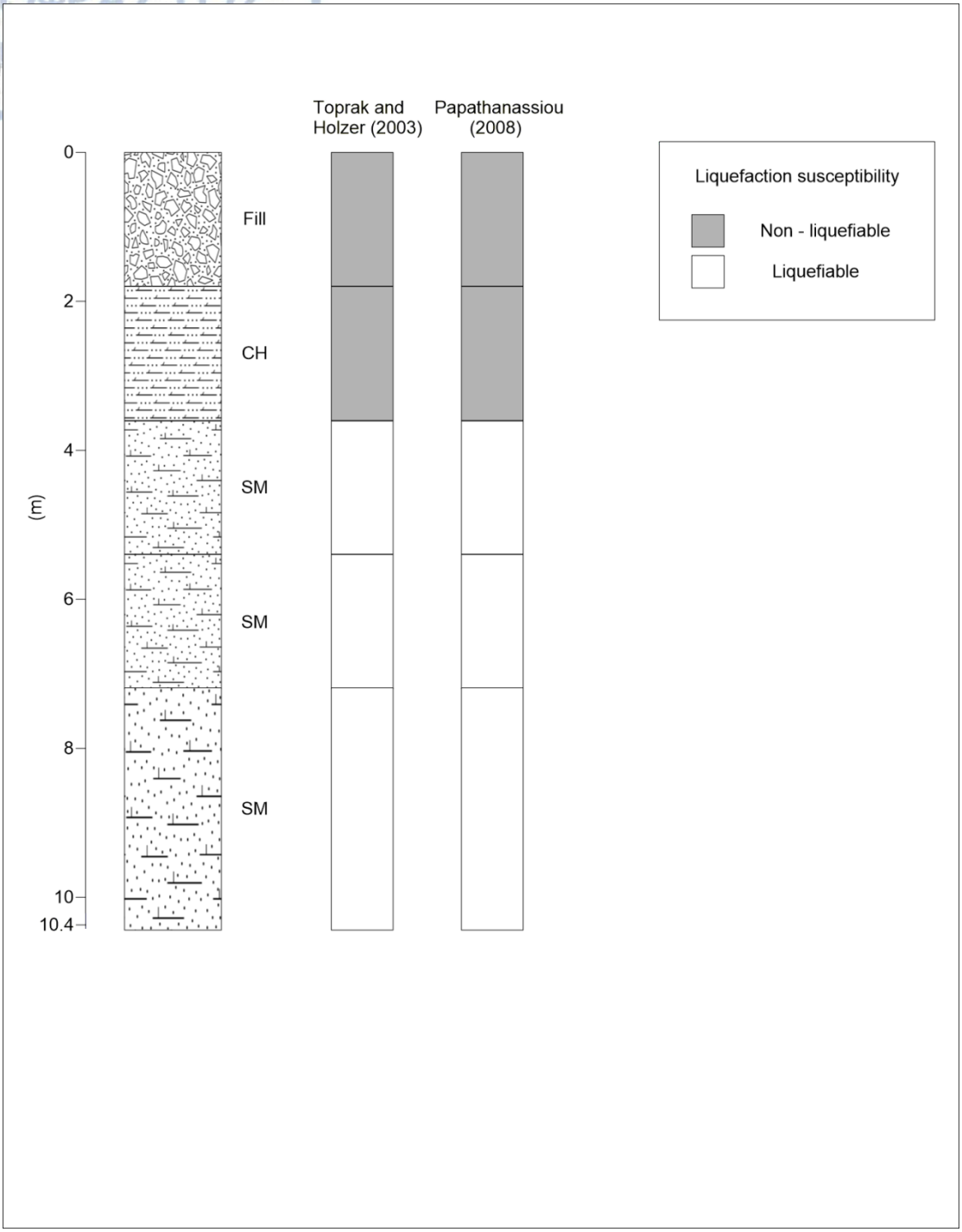
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γεώτρηση: spt_64		Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ87)							Σεισμικό γεγονός M_w = 6.6	
		x: 405541.49204							PGA = 0.21g	PGA = 0.28g
Υδροφόρος ορίζοντας (m): 1.80		y: 4499554.09163							LPI = 5.58	LPI = 14.89
Βάθος	Περιγραφή	Ποσοστό λεπτόκοκκων FC (%)	Όρια Atterberg		Περιεχόμενη υγρασία wc (%)	wc/LL	SPT		Συντελεστής ασφαλείας F	Συντελεστής ασφαλείας F
			LL	PI			Βάθος (m)	Αριθμός κρούσεων (N)		
0.00 - 1.80	Τεχνητές επιχώσεις αποτελούμενες από χαλικώδη άργιλο γκρίζου - φαίου χρώματος, πολύ χαλαρή με γωνιώδη χαλίκια	80.00					1.00	3	2.000	2.000
1.80 - 3.60	Άργιλος καστανού - γκρίζου χρώματος, υψηλής πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας, με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου και ελάχιστα χαλίκια	79.60	57.1	32.3	38.8	0.6795	2.00	2	2.000	2.000
3.60 - 5.40	Ιλυώδης άμμος γκρίζου χρώματος, χαλαρή με κατά θέσεις λεπτές ενστρώσεις αμμώδους ιλύος. Παρουσία κοχυλιών	26.70	20.9		28.3		4.60	6	0.848	0.636
5.40 - 7.20	Ιλυώδης άμμος γκρίζου χρώματος, χαλαρή με κατά θέσεις λεπτές ενστρώσεις αμμώδους ιλύος. Παρουσία κοχυλιών	25.10					6.00	7	0.944	0.708
7.20 - 10.45	Ιλυώδης άμμος γκρίζου χρώματος, χαλαρή με κατά θέσεις λεπτές ενστρώσεις αμμώδους ιλύος. Παρουσία κοχυλιών	37.00			24.4		8.20	6	0.846	0.635

-Οι τιμές που αναγράφονται με κόκκινο χρώμα βασίζονται σε δεδομένα από διπλανές γεωτρήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Παράρτημα Γ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Οι παράμετροι σεισμικότητας για κάθε μία σεισμική πηγή που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.15 και στο Σχήμα 3.16

Code	Name	b	a	Area, A, km^2	M_{max}	Rare, r, M ≥ 5.0	ζ	ε
1	Montenegro	0.90	4.20	7054	7.0	0.498	-36	0.88
2	Dyrrachium	0.92	4.40	6867	6.8	0.647	-31	0.71
3	Avlona	0.95	4.71	4634	6.7	0.895	-49	0.78
4	Igoumenitsa	0.97	4.73	7212	6.9	0.768	-34	0.75
5	Preveza	0.96	4.77	2896	6.9	0.922	-36	0.77
6	Leukada	0.99	5.06	3783	7.1	1.286	71	0.73
7	Cephalonia	0.99	5.40	4696	7.3	2.697	60	0.75
8	Zante	0.99	5.05	3236	7.1	1.258	31	0.78
9	Pylos	0.98	4.89	6192	7.2	0.960	-36	0.74
10	Mane	0.97	4.54	9583	7.1	0.476	-56	0.75
11	Ionian Sea - 1	1.02	5.17	5528	7.1	1.200	-28	0.89
12	Ionian Sea - 2	1.00	4.46	6846	6.4	0.282	-28	0.89
13	Ionian Sea - 3	0.99	4.60	10586	6.3	0.451	-28	0.89
14	SW Crete	0.98	4.94	5401	8.0	1.089	-58	0.61
15	SE Crete	1.00	4.72	7342	7.2	0.508	-56	0.82
16	Libyan Sea - 1	0.99	4.74	9039	7.8	0.632	-58	0.61
17	Libyan Sea - 2	1.01	4.77	8639	7.1	0.522	69	0.90
18	Karpathos	0.96	4.53	8839	7.0	0.515	-41	0.78
19	Strabo	0.97	4.53	12645	6.8	0.487	-41	0.78
20	Marmaris	0.90	4.24	17565	7.8	0.564	-49	0.79
21	Piskope	0.89	3.90	8412	6.7	0.298	3	0.78
22	Ochrida	0.91	4.28	17100	6.6	0.511	16	0.78
23	Drosopighe	0.93	4.34	8940	6.4	0.468	-25	0.84
24	Tripolis	0.95	4.49	11448	6.9	0.522	9	0.72
25	Cythera	0.96	4.58	6733	7.2	0.602	6	0.94
26	Leonidi	0.95	3.99	14303	6.8	0.184	6	0.94
27	NW Crete	0.96	3.93	16882	6.8	0.135	6	0.94
28	NE Crete	0.98	4.36	18750	7.2	0.301	10	0.88
29	Rhodos	0.95	4.37	13599	6.8	0.406	11	0.75
30	Philipoupolis	0.79	3.23	14315	6.9	0.187	83	0.81
31	Kresna	0.83	3.44	20078	7.2	0.196	80	0.81
32	Drama	0.81	3.22	17305	7.0	0.152	83	0.92
33	Serres	0.82	3.54	9271	7.0	0.271	70	0.74
34	Ptolemais	0.86	3.76	14115	6.6	0.272	62	0.64
35	Volvi	0.84	4.04	5903	7.1	0.723	89	0.73
36	Kozani	0.87	3.84	19887	6.6	0.306	28	0.79
37	Thessalia	0.89	4.42	8023	7.0	0.924	-77	0.76
38	Cremasta	0.93	4.34	4624	6.8	0.503	-52	0.54
39	Agrinio	0.94	4.35	5613	7.0	0.464	-38	0.64
40	Maliakos	0.90	4.19	5230	7.0	0.505	-82	0.78
41	Thebes	0.90	4.31	3749	7.0	0.618	-85	0.65
42	Patra	0.96	4.54	4759	6.8	0.560	81	0.69
43	Aeghio	0.93	4.68	2923	7.0	1.076	-83	0.67
44	Corinth	0.92	4.59	4841	7.0	0.953	89	0.73
45	Methana	0.92	4.05	4229	6.5	0.271	74	0.83
46	Melos	0.93	3.57	12246	6.5	0.087	74	0.83
47	Thera	0.93	4.31	8017	7.3	0.473	74	0.83
48	Cos	0.92	4.23	8749	7.0	0.442	2	0.89
49	Alikarnassos	0.89	4.15	7801	6.6	0.533	74	0.83
50	Denisli	0.86	3.87	6568	6.3	0.356	74	0.83
51	S. Euboikos	0.90	3.41	12196	6.4	0.077	74	0.76
52	Ikaria	0.89	3.23	14072	6.3	0.058	75	0.81

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Code	Name	b	a	Area, A, km^2	M_{max}	Rare, r, M ≥ 5.0	ζ	ε
53	Samos	0.88	4.02	9739	6.8	0.402	75	0.81
54	Aydin	0.86	3.93	16554	6.9	0.433	70	0.67
55	Kyme	0.88	3.75	7581	6.4	0.218	55	0.78
56	Chios	0.87	3.97	11871	6.8	0.441	71	0.84
57	Izmir	0.85	4.01	8044	7.0	0.577	79	0.90
58	Alashehir	0.84	3.70	11207	6.5	0.319	-68	0.65
59	Skiathos	0.86	3.93	12744	7.1	0.443	74	0.62
60	Skyros	0.85	3.87	12991	7.1	0.424	54	0.79
61	Lesbos	0.84	3.98	14104	7.2	0.613	48	0.74
62	Demirci	0.83	3.82	16022	7.0	0.498	-86	0.77
63	Gediz	0.82	3.75	13510	7.0	0.435	-84	0.71
64	Athos	0.83	3.92	5249	7.3	0.595	63	0.76
65	Samothrace	0.82	3.76	10088	7.1	0.467	56	0.79
66	Hellispontos	0.80	3.74	19181	7.5	0.527	85	0.75
67	Brussa	0.81	3.70	24655	7.7	0.462	-87	0.85
D1	Tripolis	0.56	2.28	19117	7.5	0.302		
D2	Cythera	0.56	1.80	14362	7.5	0.100		
D3	Heraklio	0.56	2.35	34673	7.8	0.355		
D4	Rdodos	0.56	2.28	13718	7.5	0.302		
D5	Methana	0.75	2.75	11317	7.0	0.100		
D6	Thera	0.75	3.08	16349	7.0	0.214		
D7	Nisyros	0.75	2.87	5141	6.2	0.132		

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης