



## Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (S.P.T. ή Terzaghi)

Χρησιμοποιείται ευρέως για *ποιοτική ένδειξη* των επιτόπου ιδιοτήτων των εδαφών και στον προσδιορισμό:

άμεσα,

- της σχετικής πυκνότητας,
- της αντίστασης των σχηματισμών στη διείσδυση,

και *έμμεσα*,

- των παραμέτρων διατμητικής αντοχής και συμπιεστότητας με τη χρήση εμπειρικών συσχετίσεων.
- στον καθορισμό της επιτρεπόμενης φέρουσας ικανότητας.
- στον υπολογισμό των καθιζήσεων των κατασκευών.

**Εκτέλεση:** με τη βοήθεια γεωτρητικού συγκροτήματος κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων, σε διάφορα βάθη αυτών.

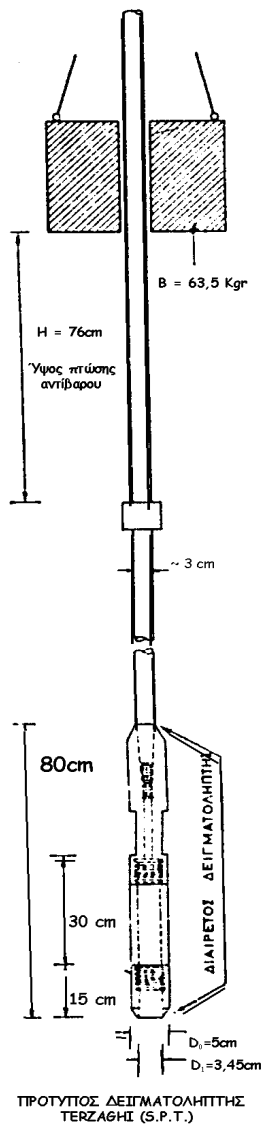
1. Προσδιορίζεται ο αριθμός των κρούσεων (N) για προχώρηση του ειδικού δειγματολήπτη Terzaghi με την πτώση αντίβαρου 63,5kg από ύψους 76,2cm, κατά 45cm (σε τρία διαδοχικά τμήματα των 15cm).

2. Ο αριθμός των κρούσεων για τη διείσδυση του δειγματολήπτη στο πρώτο τμήμα των 15cm **απορρίπτεται** (διαταραγμένο από τη διαδικασία διάτρησης υλικό, ή πληρωμένο με υλικά που έχουν καταπέσει από το ασωλήνωτο τμήμα της γεώτρησης).

3. Ο χαρακτηρισμός των δειγμάτων γίνεται βάση της προχώρησης στα δύο υπόλοιπα τμήματα των 15cm (σύνολο 30cm), όπως δίνεται βιβλιογραφικά, σύμφωνα με σχετικούς πίνακες.

4. Στην περίπτωση που η δοκιμή εκτελείται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα, οι τιμές πρέπει να διορθωθούν όσον αφορά την επίδραση του νερού στη στήλη εκτέλεσης της δοκιμής και η γενική διόρθωση που ισχύει είναι:

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



Σχήμα 1. Διαγραμματική απεικόνιση της διάταξης εκτέλεσης της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης.

Πίνακας 1. Χαρακτηρισμός αμμοδών εδαφικών σχηματισμών

Αριθμός Κρούσεων			ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΜΜΟΥ και η σχετική γωνία τριβής σε °
0	N	4	Έδαφος Πολύ Χαλαρό (28-29)
4	N	10	Έδαφος Χαλαρό (29-30)
10	N	30	Έδαφος Μέσης Πυκνότητας (30-36)
30	N	50	Έδαφος Πυκνό (36-41)
50	N		Έδαφος Πολύ Πυκνό (41-44)

Πίνακας 2. Χαρακτηρισμός αργιλικών εδαφικών σχηματισμών

Αριθμός	Κρούσεων	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΡΓΙΛΑΟΥ και η σχετική ANTOXH σε kPa
		2
		Πολύ μαλακή (<25)
2	N	4
		Μαλακή (25-50)
4	N	8
		Μέσης συνεκτικότητας (50-100)
8	N	15
		Στιφρή (100-200)
15	N	30
		Πολύ στιφρή (200-400)
30	N	
		Σκληρή (400-800)

Πάντως, όταν οι τιμές του SPT πρόκειται να συσχετισθούν με τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους στην περίπτωση σχεδιασμού θεμελίωσης, όλες οι διαδικασίες εκτέλεσης της δοκιμής, δηλαδή της προχώρησης του δειγματολήπτη μέσα στο έδαφος, χρειάζονται λεπτομερή θεώρηση, αφού η ενέργεια που μεταδίδεται στο δειγματολήπτη επηρεάζεται από το αντίβαρο, τη διαδικασία πτώσης αυτού (σηματικό ρόλο παίζει εδώ η εμπειρία του χειριστή) κλπ.

Πρόσφατες βελτιώσεις, από την εμπειρία εκτέλεσης, οδηγούν σε διορθώσεις της υπαίθριας τιμής N σχετικά με την αποτελεσματική ενέργεια πρόσκρουσης του αντίβαρου που λαμβάνεται πλέον σαν το 60% της θεωρητικής ενέργειας που προκύπτει από την ελεύθερη πτώση αυτού.

Συνεπώς τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους που προσδιορίζονται από τη δοκιμή πρότυπης διείδυσης, πρέπει να προσαρμόζονται στο 60% της θεωρητικής ενέργειας.

Πρόσφατες βελτιώσεις στα αντίβαρα οδήγησαν στη δημιουργία αντίβαρου αυτόματης πτώσης (automatic hammer) που μεταβιβάζει το 90 % της θεωρητικής ενέργειας αντί του 60%. Συνεπώς για παρόμοιες συνθήκες η τιμή N θα είναι χαμηλότερη όταν χρησιμοποιείται αντίβαρο αυτόματης πτώσης.

Πέρα από τις διορθώσεις, έχει βρεθεί ότι για παρόμοιες εδαφικές συνθήκες η τιμή του N μεταβάλλεται (αυξάνει) με το βάθος, λόγω:

- της επίδρασης του μεγαλύτερου πάχους των υπερκειμένων,
- τις πλέον αυξημένες απώλειες ενέργειας,
- τη μεγαλύτερου μήκους στήλη κλπ.

Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη όλους αυτούς τους σχολιασμούς, διαπιστώνεται ότι η τιμή του N που μετράται στην ύπαιθρο πρέπει να διορθώνεται αναφορικά με:

- το σύστημα απελευθέρωσης της ενέργειας του αντίβαρου ( $C_e$ )
- το μήκος της στήλης διείσδυσης ( $C_l$ )
- το είδος του δειγματολήπτη ( $C_s$ )
- τη διάμετρο της γεώτρησης ( $C_d$ )
- την πίεση των υπερκειμένων,  $\sigma_v$  ( $C_N$ )

Έτσι, η νέα τιμή ( $N_{60}$ ) υπολογίζεται από τον τύπο:

$$N_{60} = N_{\text{field}} \times C_e \times C_l \times C_s \times C_d \times C_N$$

Η τελευταία διόρθωση ( $C_N$ ) δίνεται από τη σχέση  $C_N = \frac{P}{\sqrt{\sigma_v}}$ ,

όπου η πίεση P έχει τιμή 100kPa ή 1Kg/cm<sup>2</sup>. Η τιμή αυτή αποτελεί και τη συνήθως λαμβανόμενη υπόψη τιμή και για την πίεση  $\sigma_v$ .

Οι τιμές για τις λοιπές παραμέτρους του τύπου δίνονται από σχετικούς πίνακες της βιβλιογραφίας (π.χ. Spigolon S. J., 2001).

### **Αμμώδεις σχηματισμοί**

Υφίστανται ρευστοποιήσεις κάτω από δυναμική φόρτιση (χάνουν προσωρινά τη διατμητική τους αντοχή).

Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση του φαινομένου αυτού είναι:

- το βάθος,
- η επιτάχυνση του εδάφους,
- η πυκνότητα αυτού κλπ.

Επομένως λαμβάνοντας υπόψη τη δοκιμή πρότυπης διείσδυσης μπορεί να λεχθεί ότι η ευαισθησία ρευστοποίησης ενός αμμώδους σχηματισμού σχετίζεται με τη διορθωμένη τιμή του N.

Σύμφωνα με έρευνες στην Κίνα, περιοχές όπου η τιμή N είναι μικρότερη από μια

οριακή τιμή ( $N_{critical}$ ), είναι επικίνδυνες για εκδήλωση ρευστοποιήσεων.

Η τιμή αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$N_{critical} = N' [1 + 0,125(Z_s - 3) - 0,05(Z_w - 2) - 0,07 (\% \text{αργίλου στον αμμώδη ορίζοντα})]$$

Οι παράμετροι  $Z_s$  και  $Z_w$  αναφέρονται στο βάθος (σε μέτρα) του αμμώδους ορίζοντα και του υδροφόρου ορίζοντα αντίστοιχα.

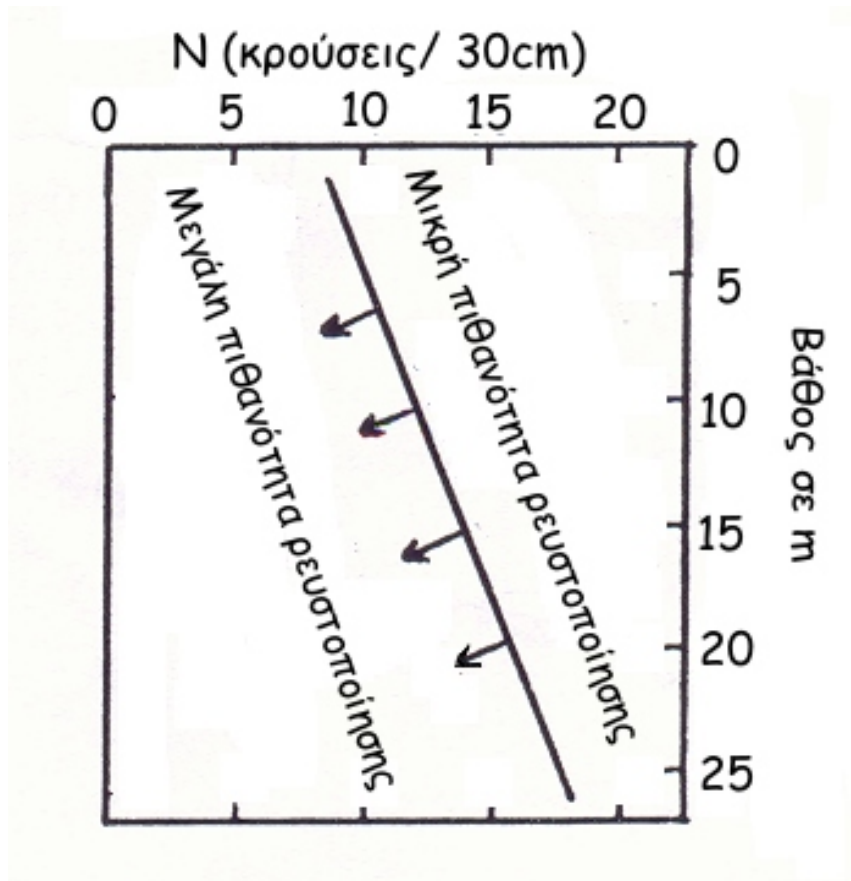
Οι τιμές του  $N'$  δίνονται από τον πίνακα που ακολουθεί (από τη σχέση τους με την ένταση του σεισμού), δηλαδή με την επίδραση του σεισμού στις κατασκευές όπως δίνεται σύμφωνα με την τροποποιημένη κλίμακα Mercalli.

Ένταση σεισμού	Τιμή $N'$
VII	6
VIII	10
IX	16

Γενικά:

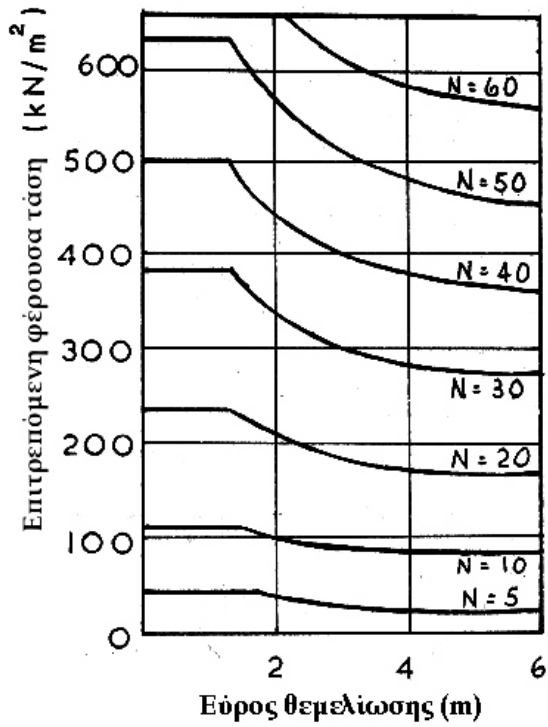
- διορθωμένες τιμές του  $N$  μικρότερες του 20 θεωρείται ότι αποκαλύπτουν περιοχές με αυξημένο δυναμικό σεισμικής καταστροφής, ενώ
- περιοχές με διορθωμένη τιμή του  $N$  μεταξύ 20 και 30, κατατάσσονται σε αυτές που έχουν ενδιάμεσο βαθμό κινδύνου, και
- περιοχές με τιμή διορθωμένου  $N$  μεγαλύτερη από 30 θεωρούνται σαν χώροι όπου δεν θα υπάρξουν σημαντικές καταστροφές από τη σεισμική δράση, πάντα αναφερόμενοι στον παράγοντα ρευστοποίηση (McCarthy, 1998).

Στο Σχήμα 2 δίνεται βασικό διάγραμμα κινδύνου ρευστοποίησης εδαφών από τους Τάσιο & Γκαζέτα 1979, που περιλαμβάνεται στο προσχέδιο Αντισεισμικού Κανονισμού.

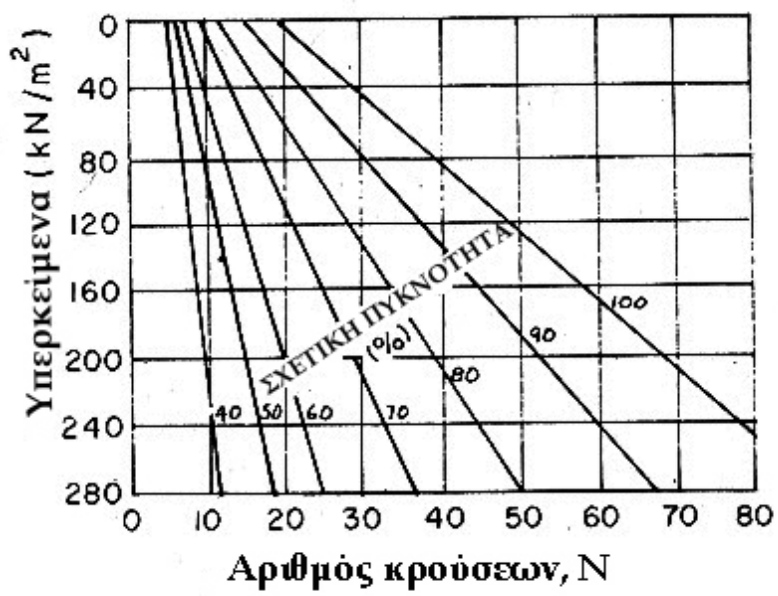


Σχήμα 2. Διάγραμμα κινδύνου ρευστοποίησης εδαφών(από το "Προσχέδιο Αντισεισμικού Κανονισμού", Τάσιος & Γκαζέτας 1979, βελτιωμένο και μετά τους σεισμούς Αρμενίας 1988, Borah Peak 1983, Kobe 1995.

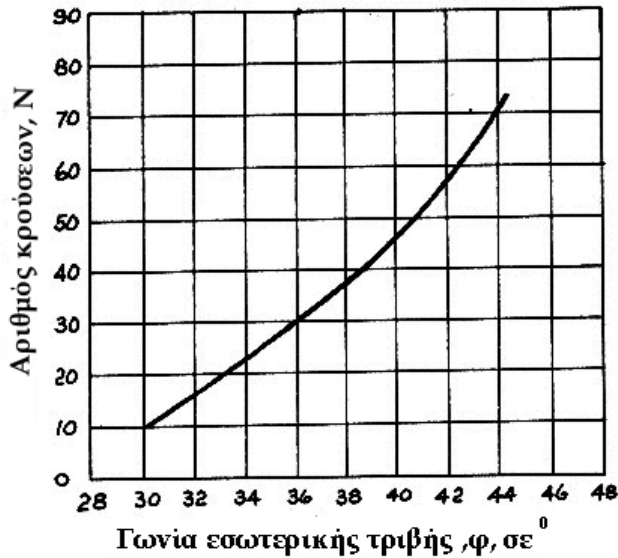
Στα επόμενα σχήματα δίνονται μερικές χρήσιμες σχέσεις του αριθμού N από τη δοκιμή S.P.T., με την επιτρεπόμενη φέρουσα τάση, το εύρος των θεμελίων, φορτίου υπερκειμένων και σχετικής πυκνότητας, καθώς και γωνίας εσωτερικής τριβής.



Σχήμα 3. Σχέση επιτρεπόμενης φέρουσας τάσης ( $\text{kN/m}^2$ ), εύρους θεμελίωσης (m) και κρούσεων Terzaghi (N).



Σχήμα 4. Σχέση υπερκειμένων ( $\text{kN/m}^2$ ), σχετικής πυκνότητας (%) και κρούσεων Terzaghi (N).



Σχήμα 5. Σχέση γωνίας τριβής ( $\varphi^\circ$ ) και κρούσεων Terzaghi (N).

Η άλλη γνωστή μέθοδος μέτρησης της αντίστασης σε διείσδυση στο έδαφος είναι αυτή του Στατικού Ολλανδικού Πενετρομέτρου.

Τα πενετρόμετρα είναι τυποποιημένοι πάσσαλοι υπό κλίμακα στα οποία η αιχμή κινείται ανεξάρτητα από το λοιπό μέρος που αποτελείται από ένα σωλήνα.

Η απλή αρχή στην οποία βασίζονται οι μέθοδοι αυτές είναι η εξής:

Αφού τα δυο μεγέθη που χαρακτηρίζουν την αντοχή του πασσάλου, η αντοχή αιχμής  $q_c$  και η αντοχή τριβής  $f_s$ , είναι συναρτήσεις των δυο χαρακτηριστικών συντελεστών του εδάφους  $\varphi$  και  $c$ , αντίστροφα  $\varphi$  και  $c$  είναι συναρτήσεις των  $q_c$  και  $f_s$ .

Άρα μετρώντας την τιμή των  $q_c$  και  $f_s$  προσδιορίζονται οι τιμές  $\varphi$  και  $c$  σε διάφορα βάθη. Επίσης μπορούν να εκτιμηθούν και άλλα μεγέθη, όπως αυτά που χαρακτηρίζουν την παραμόρφωση του εδάφους



Στο στατικό ολλανδικό πενετρόμετρο η αιχμή έχει επιφάνεια 10 τετραγωνικά

εκατοστά (διάμετρος 35 χμ.) και γωνία  $60^0$ .

Μπορεί έτσι να μετρηθεί χωριστά η αντοχή που παρουσιάζει η αιχμή στην έμπηξη και η αντοχή τριβής του κυλίνδρου. Η έμπηξη γίνεται στατικά ή δυναμικά.

Με το στατικό πενετρόμετρο μετρούμε:

- Την αντοχή αιχμής  $q_c$  ( $\text{Kg/cm}^2$ )
- Την αντοχή τριβής  $f_s$  ( $\text{Kg/cm}^2$ )

Μερικές φορές δίνεται η ολική δύναμη τριβής σε συνάρτηση με το βάθος.

Για ομοιογενή εδάφη οι τιμές του  $q_c$  και του  $f_s$  παραμένουν σταθερές.

Από τις τιμές των  $q_c$  και  $f_s$  όπως και του λόγου  $FR = f_s / q_c$  μπορεί να χαρακτηριστεί με τρόπο πολύ ικανοποιητικό ένα γνωστό (από γεωτηρικό πρόγραμμα) έδαφος.

#### ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΙ ΑΡΙΘΜΟΥ N ΑΠΟ SPT & ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΙΧΜΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΕΤΡΟΜΕΤΡΟΥ ( $q_c$ )

Ο Schwartmann δίνει τις εξής σχέσεις για Αργιλώδη και Κοκκώδη εδάφη ( $q_c$  σε  $\text{Kg/cm}^2$ )

	Αργιλώδη εδάφη	$q_c / N = 2$
Ιλυώδης άμμος	}	$q_c / N = 2$
Λεπτόκοκκη άμμος		$q_c / N = 3 - 4$
Χονδρόκοκκη άμμος		$q_c / N = 5 - 6$
Αμμοχάλικα και χαλίκια	Κοκκώδη εδάφη	$q_c / N = 8 - 10$

*Η αντοχή αιχμής  $q_c$  επιτρέπει επίσης την εκτίμηση των χαρακτηριστικών παραμορφώσεων του εδάφους.*

Κατά Sanglerat: οι καθιζήσεις για επιφανειακές θεμελιώσεις είναι αμελητέες, όταν  $q_c > 12$ .

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Ο έλεγχος με πενετρομετρήσεις επιτρέπει τη μελέτη της αντοχής και των παραμορφώσεων του εδάφους με εμπειρικές σχέσεις, που πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή. Το καλύτερο είναι να ελέγχονται σε κάθε εφαρμογή με δοκιμές στο εργαστήριο.