

Ανάλυση ρευστοποίησης αμμωδών αλλουβιακών αποθέσεων του Κηφισού ποταμού. Ανάπτυξη προγράμματος H/Y

Κ. Ι. Σαχπάζη*

Περίληψη

Οι αλλουβιακές αποθέσεις του Κηφισού ποταμού στην περιοχή Τρεις Γέφυρες, αποτελούνται κυρίως από μεσόκοκκη άμμο σημαντικού πάχους. Στα πλαίσια της γεωτεχνικής διερεύνησης υπεδάφους για το σχεδιασμό της θεμελίωσης κτιρίου, εκτελέστηκαν υπαίθριες και εργαστηριακές δοκιμές. Με βάση τα αποτελέσματα της Δοκιμής Πρότυπης Διείσδυσης (Standard Penetration Test) που εκτελέστηκε βαθμιαία μέχρι βάθος 16 μέτρων, πραγματοποιήθηκε ανάλυση και έλεγχος της πιθανότητας ρευστοποίησης της άμμου (Liquefaction of sand) που μπορεί να προκληθεί από ενδεχόμενη σεισμική δραστηριότητα με τα πιθανά σεισμικά μεγέθη των 6 και 7.5 μονάδων, καθώς και με την ακραία τιμή των 8.25 μονάδων της κλίμακας Richter. Η ανάλυση αυτή βασίστηκε στις σχέσεις που προσδιορίστηκαν από τον Seed (1979), και στην μεθοδολογία του Prakash (1981). Για το σκοπό της ανάλυσης της ρευστοποίησης της άμμου κατά το σεισμό στην περιοχή θεμελίωσης του κτιρίου, αναπτύχθηκε ειδικό πρόγραμμα (software) H/Y, το οποίο παρουσιάζεται στο άρθρο αυτό. Το πρόγραμμα συντάχθηκε σε γλώσσα Quick Basic (Ver. 4.00 Microsoft). Τέλος, από τα αποτελέσματα της ανάλυσης με H/Y, προσδιορίστηκε το ελάχιστο βάθος τοποθέτησης της στάθμης θεμελίωσης του κτιρίου, ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα ρευστοποίησης της άμμου, σε κάποιον πιθανά επερχόμενο στην περιοχή σεισμό.

Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι οι δονήσεις που προκαλούνται από τα σεισμικά κύματα, προξενούν στα μη συνεκτικά, και ιδίως χαλαρά εδάφη, πλησιέστερη διάταξη των κόκκων τους (closer grain packing) με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται πολλές φορές απαγορευτικά υψηλές ολικές ή και διαφορικές καθιζήσεις. Ειδικότερα, όταν το έδαφος αυτό είναι κορεσμένο ο κίνδυνος ρευστοποίησής του (liquefaction) αυξάνει δραματικά.

Από τα τρία είδη των σεισμικών ελαστικών κυμάτων (P, S και R) τα κύματα R είναι επιφανειακά και μεταδίδουν το 67% της εκλυόμενης σεισμικής ενέργειας (κατά Miller και Pursey, 1954, 1955) με αποτέλεσμα να είναι τα πλέον επικίνδυνα για τις θεμελιώσεις επάνω ή πλησίον της επιφάνειας του εδάφους, προκαλώντας πιθανά ρευστοποίηση των μη συνεκτικών χαλαρών κορεσμένων εδαφών.

Ο Seed (1979) και αργότερα με προσθήκες και τροποποιήσεις, ο Prakash (1981), προτείνουν μια μεθοδολογία με την οποία μπορεί να εκτιμηθεί το ενδεχόμενο ανάπτυξης ρευστοποίησης σε μη συνεκτικά χαλαρά κορεσμένα εδάφη, χρησιμοποιώντας επιτόπου δυναμικές δοκιμές όπως η Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (S.P.T.).

Η μεθοδολογία αυτή, αφού αναπτύχθηκε σε πρόγραμμα H/Y, με μορφή άμεσης επικοινωνίας χρήστη-υπολογιστή (interactive way), εφαρμόστηκε σε περιοχή πλησίον των Τριών Γεφυρών (Εθνική οδός Αθηνών-Λαμίας) δυτικά του Κηφισού ποταμού, στην οποία πρόκειται να θεμελιωθεί κτίριο. Σκοπός της ανάλυσης της πιθανότητας ρευστοποίησης, είναι η τελική επιλογή του τύπου και του βάθους της θεμελίωσης του κτιρίου, ώστε να αποφευχθεί το φαι-

νόμενο ρευστοποίησης του εδάφους σε ενδεχόμενο σεισμό. Τέλος, στα πλαίσια της γεωτεχνικής διερεύνησης υπεδάφους για το σχεδιασμό της θεμελίωσης του κτιρίου, εκτελέστηκαν διάφορες υπαίθριες και εργαστηριακές δοκιμές, κατάλληλα προσαρμοσμένες στις γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής (κατά Σαχπάζη 1988).

Θέση και γεωλογικές συνθήκες

Η θέση της θεμελίωσης του κτιρίου βρίσκεται στην περιοχή Μυκονιάτικα (Τρεις Γέφυρες), Περιστερίου. Η θέση του οικοπέδου βρίσκεται δυτικά του ποταμού Κηφισού και σε απόσταση 40 περίπου μέτρων από αυτόν.

Στο σχήμα 1, φαίνεται η θέση της έρευνας αυτής καθώς και οι πετρογραφικοί σχηματισμοί της άμεσης και ευρύτερης περιοχής.

Η περιοχή έρευνας ανήκει στην Υποελαγωνική ζώνη (Aubouin, 1959) και δομείται από χειμαρροποτάμιες αλλουβιακές αποθέσεις, σύστασης μεσόκοκκης και φτωχά διαβαθμισμένης άμμου (ομοιόμορφη διαβάθμιση) που ταξινομείται κατά B.S.: 5930:1981 σαν: (SP). Οι αλλουβιακές αυτές αποθέσεις καθόνται ασύμφωνα στους Αθηναϊκούς σχιστόλιθους, οι οποίοι αποτελούν και το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής.

Το βάθος της πιεζομετρικής επιφάνειας στην περιοχή αυτή είναι 7,0 μέτρα.

Η μορφολογία της ευρύτερης περιοχής, χαρακτηρίζεται πεδινή (λεκάνη Περιστερίου), με πολύ μικρές κλίσεις της επιφάνειας του εδάφους (μέση κλίση 1,5%) προς τα Ν-ΝΔ.

Δοκιμές πρότυπης διείσδυσης (S.P.T.)

Έρευνες των Seed και Lee (1966), Finn et al (1970, 1976), Seed (1976), Casagrande (1976), Prakash και Gupta (1970)

* Γεωτεχνικός Μηχανικός. M.Sc-Dr E.M.Π.



Σχ. 1 Γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής έρευνας. Κλίμακα 1:50.000. Φύλλο Αθήνα-Ελευσίνα, Ι.Γ.Μ.Ε.

κ.ά. έδειξαν ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά ρευστοποίησης της άμμου είναι:

1. Διαστάσεις των αποθέσεων και θέσεις αποστράγγισής τους,
2. Δομή και υφή εδάφους,
3. Ιστορικό φόρτισης εδάφους,
4. Κατανομή μεγέθους κόκκων (κοκκομετρική διαβάθμιση),
5. Μονάδα βάρους εδάφους (πυκνότητα & επιτάχυνση της βαρύτητας),
6. Μέγεθος και είδος επιβαλλόμενων φορτίων,
7. Φυσική υγρασία, και
8. Περιεκτικότητα παγιδευμένου αέρα.

Σύμφωνα με τους Woods (1978), Seed (1979), και Prakash (1981) η Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (S.P.T.) είναι μια μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εμπειρικά για τη συσχέτιση με την πιθανότητα ρευστοποίησης του υπεδάφους.

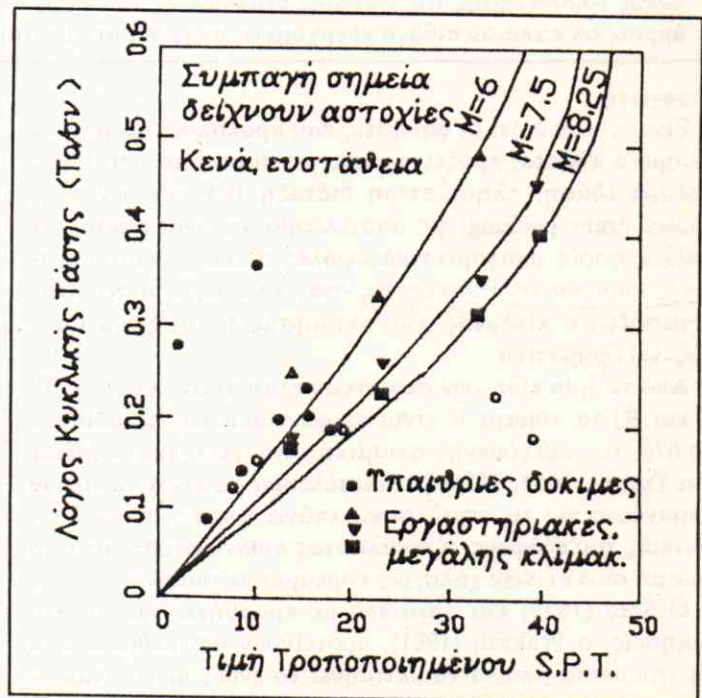
Ο Seed (1979) καθόρισε την σχέση μεταξύ της διορθωμένης με το βάθος τιμής S.P.T. και του λόγου κυκλικής τάσης (T_v/a_v) συσχετίζοντας επίσης και διάφορα σεισμικά μεγέθη (6-7.5-8.25 Richter) (Σχ. 2).

Με βάση αυτές τις σχέσεις ο Prakash (1981) πρότεινε τη χρησιμοποίηση της ακόλουθης μεθοδολογίας για την εκτίμηση της πιθανότητας ρευστοποίησης του εδάφους, που υπόκειται σε δονήσεις φυσικές ή τεχνητές. Για την ανάλυση απαιτούνται τα παρακάτω στοιχεία εισαγωγής (input data).

A. Εκτέλεση της Δοκιμής Πρότυπης Διείσδυσης (S.P.T.) και απόκτηση αποτελεσμάτων για διάφορα βάθη. Τα αποτελέσματα θα πρέπει να διορθώνονται σύμφωνα με τις προτάσεις των Peck, Hanson και Thornburn (1974).

B. Θέση της πιεζομετρικής επιφάνειας.

Γ. Μονάδες βάρους εδαφών.



Σχ. 2 Διάγραμμα μεταξύ της συμπεριφοράς ρευστοποίησης εδάφους και της Δοκιμής πρότυπης Διείσδυσης (S.T.P.). (κατά H.B. Seed, 1979).

Δ. Μέγιστο αναμενόμενο σεισμικό μέγεθος.

Τα στάδια της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι:

1. Προσδιορισμός της μέγιστης διατμητικής τάσης T_{av} που μπορεί να προξενηθεί από αναμενόμενους σεισμούς, χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$T_{av} = 0,65 \cdot \frac{\sigma_{max}}{g} \cdot \gamma \cdot h \cdot Rd,$$

όπου:

h = το βάθος του υπερκείμενου εδάφους,

γ = μονάδα βάρους του εδάφους,

g = επιτάχυνση της βαρύτητας,

R_d = Παράγοντας εξαρτώμενος από το βάθος, (Σχ. 3).

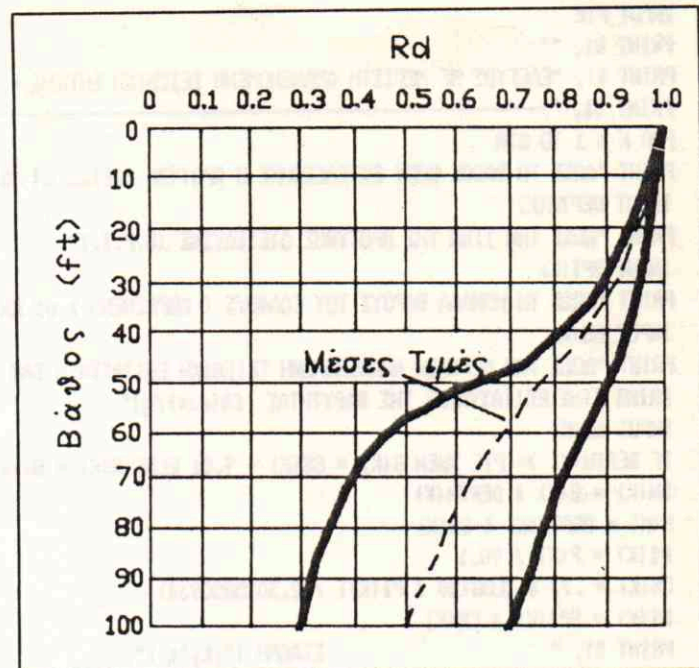
α_{max} = Μέγιστη αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση,

2. Προσδιορισμός του λόγου κυκλικής τάσης (T_o/a_v'), από το σχήμα 2, και υπολογισμός της διατμητικής τάσης (T_o) που προξενεί ρευστοποίηση,

3. Σύγκριση των T_{av} και T_o δείχνει εάν θα παρουσιαστεί ρευστοποίηση στο έδαφος ή όχι για τα δεδομένα χαρακτηριστικά της θέσης και της στάθμης όπου πραγματοποιείται η ανάλυση. Εάν $T_{av} > T_o$ υπάρχει κίνδυνος ρευστοποίησης, εάν $T_{av} < T_o$ δεν υπάρχει.

Με βάση την παραπάνω διαδικασία και μεθοδολογία αναπτύχθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα «Liquefac. Bas» που γράφηκε σε γλώσσα Quick Basic, Ver. 4.00 της Microsoft.

Η σύνταξη του προγράμματος αυτού (listing) δίνεται στη συνέχεια, το οποίο μπορεί να εισαχθεί σε συμβατό PC-XT, ή AT και να χρησιμοποιηθεί. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί επίσης να δοθεί σε δισκέτα στους ενδιαφερόμενους φορείς από το συγγραφέα.



Σχ. 3 Τιμές του συντελεστή R_d για διάφορα είδη εδαφών στην ανάλυση ρευστοποίησης (κατά S. Prakash, 1981)

```

#####
CLS
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "
ANALYSE KAI ELEΓXOΣ PEYCTOΠOIEIHC HC TOY EΔAΦOYΣ"
PRINT "
ΘEMEΛIΩCHC KATA TOYC CEICMOYC"
PRINT "
Πρόγραμμα Γραμμένο Απο Τον: Κώστα Ι. Σαχινάκη, Διπλ., Μ. Sc., Δρ Ε. Μ. Π."
PRINT "
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ - ΓΕΩΛΟΓΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ "
PRINT ""
PRINT ""
PRINT ""
PRINT "
ΜΕΘΟΔΟC: Seed H.B. (1979) με τροποποιήσεις του PRAKASH S. (1981)"
FOR dd = 1 TO 15000
NEXT dd
CLS
CLEAR
OPEN "0", #1, "LIQUEF."
PRINT "ΣΕ ΠΟCΕC CΤΑΘΜΕC ΕΚΤΕΛΕCΘΗΚΕ Η ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΤΥΠΗC ΔΙΕΙCΔΟΥCΗC (S.P.T.); "
INPUT STR
123 PRINT " ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΜΕΓΙCΤΗ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ CΕΙCΜΙΚΗ ΕΝΤΑΞΗ (Richter) CΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ; "
565 PRINT "ΩCΕC ΜΟΝΟ ΜΙΑ ΑΠΟ ΤΙC ΤΙΜΕC: 6 ή 7.5 ή 8.25"
INPUT I
IF I <> 6 AND I <> 7.5 AND I <> 8.25 THEN GOTO 565 ELSE GOTO 656
656 PRINT "ΩCΕC ΤΟ ΒΑΘΟC ΤΗC ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗC ΕΠΙΘΑΜΕΙΑC"

```



```

PRINT "LIQUEFACTION DOES NOT OCCUR !!!"
PRINT #1, "(Tav) < (To).          ΣΥΝΕΙΡΩΣ:"
PRINT #1, "*****"
PRINT #1, "!!! ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΟΥΣ !!!"
PRINT #1, "*****"
END IF
NEXT K
234 PRINT "ΝΑ ΓΙΝΕΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΡΜΟΥ ΚΑΙ ΜΕ ΑΛΛΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ,"
PRINT "ΕΑΝ ##ΝΑΙ## ΔΩΣΕ <1> ΕΑΝ ##ΟΧΙ## ΔΩΣΕ <2>"
INPUT YN
IF YN = 1 THEN GOTO 123
IF YN = 2 THEN GOTO 321
IF YN <> 1 OR YN <> 2 THEN GOTO 234
321 CLOSE
STOP
END

400 DEPTH1(K) = DEPTH(K) / .3048
IF DEPTH1(K) < (10) THEN
Rd(K) = .9866 + (.0134) * ((10 - DEPTH1(K)) / 10)
END IF
IF DEPTH1(K) < (20) AND DEPTH1(K) >= (10) THEN
Rd(K) = .9533333 + (.9866 - .9533333) * ((20 - DEPTH1(K)) / 10)
END IF
IF DEPTH1(K) < (30) AND DEPTH1(K) >= (20) THEN
Rd(K) = .9133333 + (.9533333 - .9133333) * ((30 - DEPTH1(K)) / 10)
END IF
IF DEPTH1(K) < (40) AND DEPTH1(K) >= (30) THEN
Rd(K) = .8533333 + (.9133333 - .8533333) * ((40 - DEPTH1(K)) / 10)
END IF
IF DEPTH1(K) < (50) AND DEPTH1(K) >= (40) THEN
Rd(K) = .7666666 + (.8533333 - .7666666) * ((50 - DEPTH1(K)) / 10)
END IF
IF DEPTH1(K) < (60) AND DEPTH1(K) >= (50) THEN
Rd(K) = .6866666 + (.7666666 - .6866666) * ((60 - DEPTH1(K)) / 10)
END IF
IF DEPTH1(K) < (70) AND DEPTH1(K) >= (60) THEN
Rd(K) = .6266666 + (.6866666 - .6266666) * ((70 - DEPTH1(K)) / 10)
END IF
IF DEPTH1(K) < (80) AND DEPTH1(K) >= (70) THEN
Rd(K) = .5786666 + (.6266666 - .5786666) * ((80 - DEPTH1(K)) / 10)
END IF
IF DEPTH1(K) < (90) AND DEPTH1(K) >= (80) THEN
Rd(K) = .54 + (.5786666 - .54) * ((90 - DEPTH1(K)) / 10)
END IF
IF DEPTH1(K) <= (100) AND DEPTH1(K) >= (90) THEN
Rd(K) = .5 + (.54 - .5) * ((100 - DEPTH1(K)) / 10)
END IF
IF DEPTH1(K) > (100) THEN
PRINT "ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΕΙΝΑΙ ΜΕΓΑΛΟ!!! ΔΩΣΕ ΜΕΧΡΙ 30.48 m"
END IF
RETURN
100 'M = 6
IF NI(K) < 10 THEN
CSR(K) = NI(K) * (.1407 / 10)
END IF

```

```

IF NI(K) >= 10 AND NI(K) < 20 THEN
CSR(K) = ((.2777 - .1407) / 10) * (NI(K) - 10) + .1407
END IF
IF NI(K) >= 20 AND NI(K) < 30 THEN
CSR(K) = ((.437 - .2777) / 10) * (NI(K) - 20) + .2777
END IF
IF NI(K) >= 30 AND NI(K) < 35 THEN
CSR(K) = ((.5296 - .437) / 5) * (NI(K) - 30) + .437
END IF
IF NI(K) >= 35 THEN
CSR(K) = .0264935 * (NI(K) - 35) + .5296
END IF
RETURN
200 'M = 7.5
IF NI(K) < 10 THEN
CSR(K) = NI(K) * (.1037 / 10)
END IF
IF NI(K) >= 10 AND NI(K) < 20 THEN
CSR(K) = ((.20741 - .1037) / 10) * (NI(K) - 10) + .1037
END IF
IF NI(K) >= 20 AND NI(K) < 30 THEN
CSR(K) = ((.32593 - .20741) / 10) * (NI(K) - 20) + .20741
END IF
IF NI(K) >= 30 AND NI(K) < 35 THEN
CSR(K) = ((.38519 - .32593) / 5) * (NI(K) - 30) + .32593
END IF
IF NI(K) >= 35 AND NI(K) < 40 THEN
CSR(K) = ((.47037 - .38519) / 5) * (NI(K) - 35) + .38519
END IF
IF NI(K) >= 40 THEN
CSR(K) = .0269935 * (NI(K) - 40) + .47037
END IF
RETURN
300 'M = 8.25
IF NI(K) < 10 THEN
CSR(K) = NI(K) * (.0888888 / 10)
END IF
IF NI(K) >= 10 AND NI(K) < 20 THEN
CSR(K) = ((.18148 - .0888888) / 10) * (NI(K) - 10) + .0888888
END IF
IF NI(K) >= 20 AND NI(K) < 30 THEN
CSR(K) = ((.28148 - .18148) / 10) * (NI(K) - 20) + .18148
END IF
IF NI(K) >= 30 AND NI(K) < 35 THEN
CSR(K) = ((.344444 - .28148) / 5) * (NI(K) - 30) + .28148
END IF
IF NI(K) >= 35 AND NI(K) < 40 THEN
CSR(K) = ((.41484 - .344444) / 5) * (NI(K) - 35) + .344444
END IF
IF NI(K) >= 40 AND NI(K) < 45 THEN
CSR(K) = ((.50741 - .41484) / 5) * (NI(K) - 40) + .41484
END IF
IF NI(K) >= 45 THEN
CSR(K) = .0275993 * (NI(K) - 45) + .50741
END IF
RETURN
*****

```


Αποτελέσματα

Στον πίνακα 1 δίνονται τα αποτελέσματα της Δοκιμής Πρότυπης Διείσδυσης (S.P.T.) στην περιοχή θεμελίωσης του κτιρίου.

Πίνακας 1.

Αποτελέσματα της Δοκιμής Πρότυπης Διείσδυσης

Βάθος (m)	Τιμή S.P.T.
7,15	9
8,05	10
9,55	18
11,75	19
13,45	22
15,95	23

Το βάθος της πιεζομετρικής επιφάνειας είναι: 7,0 μέτρα.

Η μέση μονάδα βάρους του εδάφους είναι: 18,84 KN/m³. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν και τα τρία μεγέθη σεισμικής έντασης (6), (7,5) και (8,25) μονάδες της κλίμακας Richter.

Ο λόγος $\frac{\alpha_{\max}}{g}$ είναι ίσος με 0,1

(Δρακόπουλος - Μαρκόπουλος 1982).

ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ = 6 Richter

ΣΤΑΘΜΗ (1 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 7.15 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 9
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) ΚΑΤΑ Peck, Hanson, Thornburn = 8.061752
ΔΙΑΤΗΜΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (To) = 7.323477 KPa
ΔΙΑΤΗΜΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΕΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟ (Tav) = 8.226169 KPa
(Tav) > (To).

ΣΥΝΕΠΕΣ:

*** ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (Liquefaction) !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (2 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 8.05 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 10
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 8.56103
(To) = 8.75596 KPa, (Tav) = 9.145198 KPa, (Tav) > (To).
*** ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (Liquefaction) !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (3 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 9.55 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 18
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 14.38134
(To) = 17.30976 KPa, (Tav) = 10.5879 KPa, (Tav) < (To).
*** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (4 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 11.75 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 19
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 13.8631
(To) = 20.54404 KPa, (Tav) = 12.40385 KPa, (Tav) < (To).
*** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (5 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 13.45 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 22
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 15.05789
(To) = 25.5044 KPa, (Tav) = 13.46598 KPa, (Tav) < (To).
*** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (6 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 15.95 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 23
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 14.43112
(To) = 29.00826 KPa, (Tav) = 14.61083 KPa, (Tav) < (To).
*** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ = 7.5 Richter

ΣΤΑΘΜΗ (1 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 7.15 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 9
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 8.061752
(To) = 5.397615 KPa, (Tav) = 8.226169 KPa, (Tav) > (To).
*** ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (Liquefaction) !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (2 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 8.05 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 10
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 8.56103
(To) = 6.453397 KPa, (Tav) = 9.145198 KPa, (Tav) > (To).
*** ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (Liquefaction) !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (3 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 9.55 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 18
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 14.38134
(To) = 12.86121 KPa, (Tav) = 10.5879 KPa, (Tav) < (To).
*** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (4 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 11.75 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 19
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 13.8631
(To) = 15.25374 KPa, (Tav) = 12.40385 KPa, (Tav) < (To).
*** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (5 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 13.45 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 22
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 15.05789
(To) = 18.96562 KPa, (Tav) = 13.46598 KPa, (Tav) < (To).
*** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (6 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 15.95 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 23
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 14.43112
(To) = 21.55461 KPa, (Tav) = 14.61083 KPa, (Tav) < (To).
*** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ = 8.25 Richter

ΣΤΑΘΜΗ (1 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 7.15 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 9
 ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 8.061752
 (To) = 4.626689 KPa, (Tav) = 8.226169 KPa, (Tav) > (To).
 *** ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (Liquefaction) !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (2 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 8.05 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 10
 ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 8.56103
 (To) = 5.531676 KPa, (Tav) = 9.145198 KPa, (Tav) > (To).
 *** ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (Liquefaction) !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (3 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 9.55 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 18
 ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 14.38134
 (To) = 11.16385 KPa, (Tav) = 10.5879 KPa, (Tav) < (To).
 *** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (4 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 11.75 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 19
 ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 13.8631
 (To) = 13.22649 KPa, (Tav) = 12.40385 KPa, (Tav) < (To).
 *** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (5 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 13.45 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 22
 ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 15.05789
 (To) = 16.48372 KPa, (Tav) = 13.46598 KPa, (Tav) < (To).
 *** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

ΣΤΑΘΜΗ (6 η)

ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ S.P.T. = 15.95 m, ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 23
 ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (S.P.T.) = 14.43112
 (To) = 18.71177 KPa, (Tav) = 14.61083 KPa, (Tav) < (To).
 *** ΔΕΝ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ !!! ***

Συμπεράσματα

Όπως προέκυψε από την υπαίθρια διερεύνηση και δοκιμές, η περιοχή θεμελίωσης πλησίον του Κηφισού ποταμού, δομείται από αλλουβιακές αποθέσεις σύστασης μεσόκοκκης άμμου φτωχά διαβαθμισμένης (SP), πάχους μεγαλύτερου των 16 μέτρων. Το υπόβαθρο των αποθέσεων αυτών συνιστούν οι Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι.

Στην περιοχή αυτή εκτελέστηκαν υπαίθριες δυναμικές δοκιμές χρησιμοποιώντας την Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (S.P.T.) και συντάχθηκε ο πίνακας μεταβολής της τιμής (N) της δοκιμής S.P.T. μετά του βάθους. Όλες οι τιμές διορθώθηκαν χρησιμοποιώντας τις συστάσεις των Peck, Hanson και Thornburn (1974).

Με βάση τις διορθωμένες αυτές τιμές N και σύμφωνα

με την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε από τους Seed και Idriss (1971), Seed (1979), και Prakash (1981), έγινε δυνατός ο υπολογισμός, σε κάθε στάθμη ελέγχου (διάφορα βάθη), τόσο των διατμητικών τάσεων (T_o) που θα μπορούσαν να προξενήσουν ρευστοποίηση του εδάφους θεμελίωσης σε σχέση με τις μέγιστες αναμενόμενες σεισμικές εντάσεις, όσο και των διατμητικών τάσεων (T_{av}) που αναπτύσσονται στις ίδιες στάθμες κατά τη διάρκεια σεισμού.

Η γενική αυτή ανάλυση και έλεγχος της δυνατότητας ρευστοποίησης του εδάφους θεμελίωσης στη συγκεκριμένη αυτή περιοχή έρευνας, πραγματοποιήθηκε με H/Y και ειδικό πρόγραμμα (Liquefac) που αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό και το οποίο παρουσιάζεται σε αυτό το άρθρο. Η μέθοδος καθώς και το πρόγραμμα αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε οποιαδήποτε άλλη περιοχή όπου εμφανίζονται μη συνεκτικές αποθέσεις, κυρίως αμμόδους σύστασης.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής παρουσιάζονται διαγραμματικά στο σχήμα 4. Σε αυτό, απεικονίζονται οι διατμητικές τάσεις (T_o) που προξενούν ρευστοποίηση του εδάφους, καθώς και οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια κάποιου ενδεχόμενου σεισμού σε συνάρτηση με το βάθος. Από το σχήμα 4 προκύπτει ότι στην εδαφική αμμόδη ζώνη μέχρι το βάθος των 9,37 μέτρων μπορεί να αναπτυχθεί το φαινόμενο της ρευστοποίησης του εδάφους θεμελίωσης (liquefaction) με σεισμό έντασης $M = 8,25$ μονάδες της κλίμακας Richter.

Επίσης, παρατηρείται ότι για σεισμούς μικρότερης έντασης η διατμητική τάση που μπορεί να προξενήσει ρευστοποίηση του εδάφους αυξάνει και συνεπώς το βάθος μέχρι το οποίο υπάρχει κίνδυνος ρευστοποίησης μειώνεται.

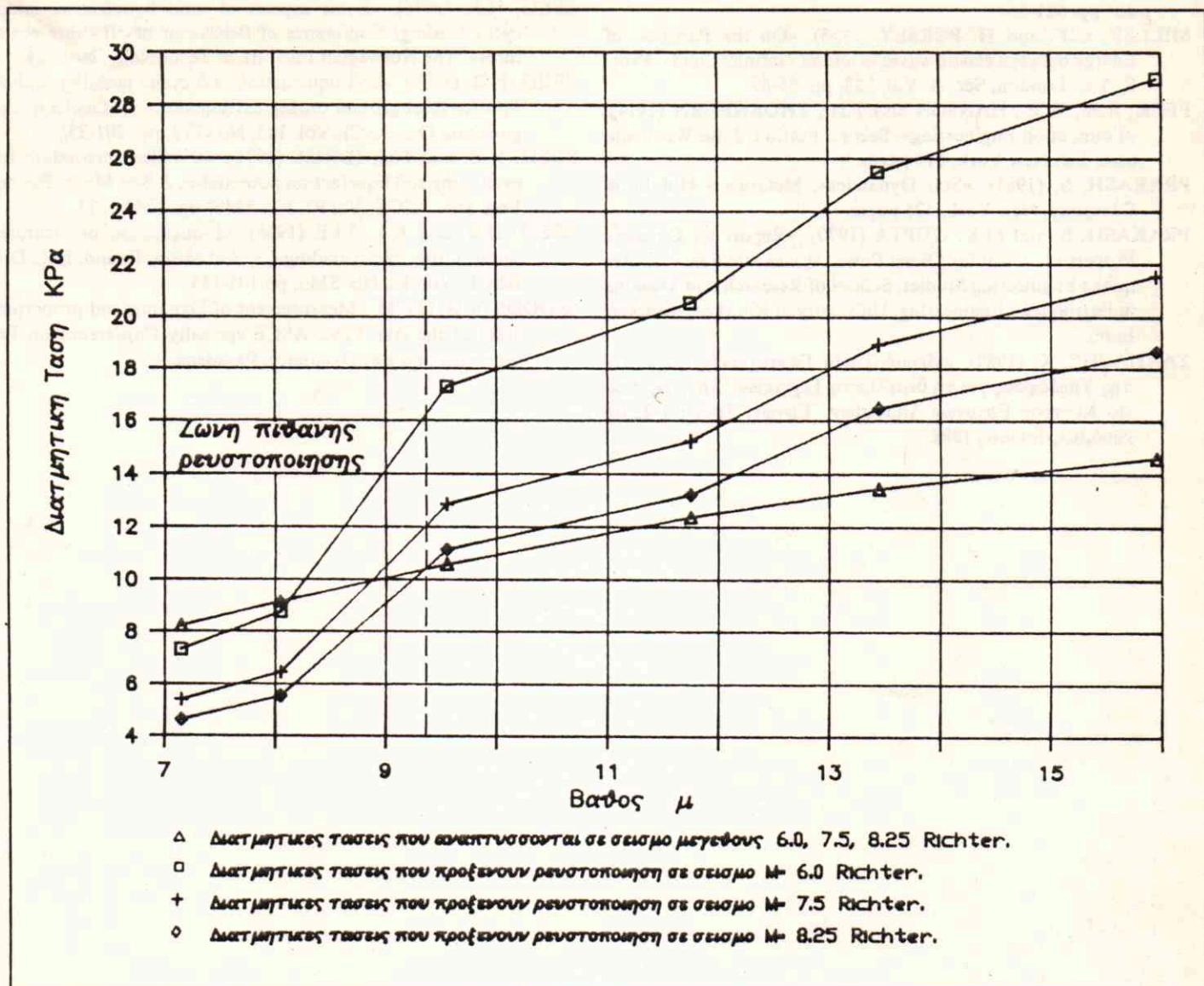
Τέλος, σύμφωνα με τις παραπάνω αναλύσεις και ελέγχους, έγινε δυνατή η ακριβής επιλογή του βάθους τοποθέτησης της θεμελίωσης στη συγκεκριμένη προβληματική περιοχή, ώστε να αποφευχθεί εντελώς το πιθανό ενδεχόμενο ρευστοποίησης του εδάφους σε κάποιο επικείμενο σεισμό. Το βάθος αυτό ορίστηκε στα 9,50 μέτρα.

Liquefaction analysis of Kifisos river sandy alluvial deposits.
 Pc software development.
 C.I. Sachpazis*

Summary

Kifisos river alluvial deposits in the vicinity of Tris Gyfyes, consist of medium grained sand, classified as SP soil, according to B.S.:5930:1981, and have significant thickness. In the study of the geotechnical ground investigation for the foundation design of a multi - storey building, field and laboratory tests were conducted. Based on the Standard Penetration Test (S.P.T.) results, which were performed gradually up to 16 meters depth, a determination of the liquefaction potentials of these sandy deposits, which might

*M.Sc. Geotechnical Engineering (U.K.), Ph.D. Engineering Geology (N.T.U.A.)



Σχ. 4. Διάγραμμα κινδύνου ρευστοποίησης των αμμωδών αποθέσεων του Κηφισσού

be triggered off by seismic activity, was executed. The liquefaction potential analysis was based on relationships and methods established by Seed (1979) and Prakash (1981). For the purpose of a precise as well as quick evaluation of the liquefaction risk, a specific P.C. programme (software) written in Quick Basic Version 4.00, was developed: its listing is also included. Finally, according to the computer aided analyses, the minimum required depth for the building foundation location was determined, to avoid the sand liquefaction potential in the foundation site.

Βιβλιογραφία

- AUBOUIN, J. (1959). «Contribution a l' etude geologique de la Grece septentrionale: Les confins de l' Epire et de la Thessalie». Ann. Geol. Pays Hellen., 10, 1-483.
- BRITISH STANDARD: B.S.: 5930. (1981 a). «Site investigations». London British Standards Institution p.p. 147.
- CASAGRANDE, A. (1976). «Liquefaction and cyclic Deformation of Sand - Critical Review». Harvard Soil Mechanics Series No. 88 Harvard University, Cambridge, MASS.
- ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ, (1982). «Σεισμοτεκτονικός χάρτης Ελλάδος, κλίμακας 1:500.000». Έκδοση Ι.Γ.Μ.Ε.
- FINN, W.D.L., BRANSBY and D.J. PICKERING (1970). «Effects of Strain History on Liquefaction of Sands». J. Soil Mech. Found Div. ASCE Vol. 96 No. SM6, pp. 1917-1934.
- FINN W.D.L., K.W. LEE and G.R. MARTIN (1976). «Seismic Porewater Pressure Generation and Dissipation, Symposium on Soil Liquefaction», ASCE National Convention, Philadelphia, pp. 169-198.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (1986). «Γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000, φύλλο ΑΘΗΝΑ-ΕΛΕΥΣΙΝΑ».
- MILLER, G.F. and H. PURSEY (1954). «The Field and Radiation Impedance of Mechanical Radiators on the Free Surface of a Semi-infinite Isotropic Solid», Proc. R. Soc. London, Vol.

223 pp. 521-554.

- MILLER, G.F. and H. PURSEY (1955). «On the Partition of Energy between elastic waves in a semi - infinite Solid». Proc. R. Soc. London, Ser. A. Vol. 233, pp. 55-69.
- PECK, R.B., W.E., HANSON and T.H., THORNBURN (1974). «Foundation Engineering». Second Edition, John Wiley and Sons Inc. New York, 514 pages.
- PRAKASH, S. (1981). «Soil Dynamics», McGraw - Hill Book Company, New York, 426 pages.
- PRAKASH, S. and M.K. GUPTA (1970). «Report on Dynamic Properties of Soil for Diesel Power House Nakodar». Earthquake Engineering Studies, School of Research and Training in Earthquake Engineering, University of Roorkee, Roorkee, India.
- ΣΑΧΠΑΖΗΣ, Κ. (1988). «Μεθοδολογία Γεωτεχνικής διερεύνησης Υπεδάφους για τη θεμελίωση Τεχνικών Έργων». Δελτίο Κέντρου Ερευνών Δημοσίων Έργων. Τεύχη 1-2, Ιανουάριος-Ιούνιος 1988.

- SEED, H.B. (1976). «Some aspects of sand liquefaction under cyclic loading: Conference of Behaviour of off-shore structures». The Norwegian Institute of Technology, Norway.
- SEED, H.B. (1979). «Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes». J. Geotech. Engineering Div. ASCE Vol. 105, No GT2, pp. 201-255.
- SEED, H.B. and I.M. IDRIS (1971). «Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potentials», J. Soil Mech. Found. Eng. Div. ASCE, Vol 97, No. SM97 pp. 1249-1273.
- SEED, H.B. and K.L. LEE (1966). «Liquefaction of saturated sands during cyclic loading». J. Soil Mech. Found. Eng. Div. ASCE, Vol. 92. No. SM6, pp 105-134.
- WOODS, R.D. (1978). «Measurement of Dynamic soil properties-state of the Art. Proc. ASCE specialty Conference on Engineering and soil Dynamics, Pasadena.

