

# Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

Μ. Μπαρδάνης, Σ. Γρίφιζα  
ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.  
Εργαστήριο Εδαφομηχανικής-Βραχομηχανικής-Σκυροδέματος-Αδρανών  
[lab@edafos.gr](mailto:lab@edafos.gr)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Η βαθμονόμηση και η διακρίβωση των μετρητικών οργάνων αποτελούν έννοιες που έχουν εμπεδωθεί από την εργαστηριακή κοινότητα. Προκειμένου για απλά μετρητικά όργανα οι δύο αυτές έννοιες είναι επαρκείς για την ορθή λειτουργία ενός οργάνου. Για πιο σύνθετες συσκευές όμως, επί των οποίων δεν μετρούνται μόνο αλλά ελέγχονται κιόλας φυσικά μεγέθη, εκτός από την βαθμονόμηση και την διακρίβωση αποκτά ιδιαίτερη σημασία και η *συμμόρφωση* (compliance) της συσκευής, απαιτώντας την εκτέλεση ειδικών *δοκιμών συμμόρφωσης*. Η δοκιμή συμμόρφωσης εκτελείται σε σύνθετη συσκευή βαθμονομημένων και διακριβωμένων επιμέρους οργάνων επί προτύπου δοκιμίου *γνωστών* ιδιοτήτων. Η σύγκριση των τιμών που *θα έπρεπε* να καταγράψουν τα μετρητικά όργανα με τις ενδείξεις που πράγματι κατέγραψαν κατά την δοκιμή συμμόρφωσης επιτρέπουν την συμμόρφωση των αποτελεσμάτων των δοκιμών σε δοκίμια του υλικού στα οποία προορίζεται να εκτελείται η δοκιμή. Στο άρθρο παρουσιάζονται παραδείγματα δοκιμών συμμόρφωσης σε μία από τις τυπικές συσκευές που χρησιμοποιούνται στην επιστημονική περιοχή της εδαφομηχανικής, το συμπιεσόμετρο.

## ABSTRACT:

The need for calibration of all types of measuring equipment and devices is well established in all scientific fields. For simple instruments measuring a property, calibration is enough to guarantee accurate measurements. When it comes however to more complicated devices where other properties are controlled for and other properties measured, compliance becomes equally if not more important, making it essential to perform special compliance tests. A compliance test is the test performed on a complicated device comprising calibrated instruments on a specimen of *known* properties from which it is possible to predict the values that the measuring instruments should be measuring. Comparison between the expected measurements and the actual measurements allow the correction of the measurements taken on specimens of the materials the device is constructed for. Examples of compliance tests performed on one of the typical devices used in laboratory testing of soils, the one-dimensional compression loading frame (oedometer) are presented in the paper.

*Λέξεις-Κλειδιά: Δοκιμή συμμόρφωσης, compliance test, εδαφομηχανική, δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης*

Μ. Μπαρδάνης, Σ. Γρίφιζα, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Η σημασία των δοκιμών συμμόρφωσης στις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Το παράδειγμα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας  
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου  
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

## 1. Εισαγωγή

Η βαθμονόμηση και η διακρίβωση των μετρητικών οργάνων αποτελούν πλέον έννοιες που έχουν εμπедωθεί από την εργαστηριακή κοινότητα ανεξαρτήτως ιδιαίτερου επιστημονικού αντικειμένου, με την πρώτη να αποτελεί ευθύνη -και να γίνεται με μέριμνα- του κατασκευαστή ενός οργάνου και την δεύτερη του χρήστη του οργάνου, είτε εσωτερικά είτε με την βοήθεια ενός εργαστηρίου διακριβώσεων. Προκειμένου για απλά μετρητικά όργανα ή όργανα ελέγχου (π.χ. ένα μηκυσιόμετρο, ένας μετρητής πίεσης) οι δύο αυτές έννοιες είναι επαρκείς για την ορθή λειτουργία και χρήση του οργάνου. Προκειμένου όμως για πιο σύνθετες συσκευές επί των οποίων δεν μετρούνται μόνο αλλά ελέγχονται κιόλας φυσικά μεγέθη (π.χ. σε ένα πλαίσιο φόρτισης ελέγχεται ο ρυθμός μετατόπισης και μετρείται η αναπτυσσόμενη δύναμη, η πραγματική μετατόπιση του δοκιμίου κλπ) εκτός από την βαθμονόμηση και την διακρίβωση των οργάνων μέτρησης και ελέγχου, αποκτά ιδιαίτερη σημασία και η *συμμόρφωση* (compliance) της πιο σύνθετης συσκευής, απαιτώντας την εκτέλεση ειδικών δοκιμών, των *δοκιμών συμμόρφωσης*. Επιχειρώντας έναν σαφή ορισμό της, η δοκιμή συμμόρφωσης είναι η δοκιμή που εκτελείται σε σύνθετη συσκευή βαθμονομημένων και διακριβωμένων επιμέρους οργάνων επί προτύπου δοκιμίου γνωστών ιδιοτήτων από τις οποίες είναι δυνατόν να προβλεφθούν οι τιμές που *θα έπρεπε* να καταγράψουν τα μετρητικά όργανα. Η σύγκριση των τιμών που *θα έπρεπε* να καταγράψουν τα μετρητικά όργανα με τις ενδείξεις που πράγματι κατέγραψαν κατά την δοκιμή επιτρέπουν την συμμόρφωση των αποτελεσμάτων των δοκιμών σε πραγματικά δοκίμια του υλικού στο οποίο προορίζεται να εκτελείται η δοκιμή.

Στο άρθρο παρουσιάζονται παραδείγματα δοκιμών συμμόρφωσης σε μία από τις τυπικές και πιο συνηθισμένες συσκευές που χρησιμοποιούνται στην επιστημονική περιοχή της εδαφομηχανικής, το συμπιεσόμετρο. Τα αποτελέσματα των δοκιμών συμμόρφωσης που παρουσιάζονται επιδεικνύουν τις μεγάλες παραμορφώσεις που καταγράφονται στα μηκυσιόμετρα των συμπιεσομέτρων και δεν δικαιολογούνται από τις ιδιότητες των πρότυπων δοκιμίων αφού οφείλονται στην παραμόρφωση και την ένταση των ίδιων των συσκευών και των επιμέρους απαρτίων. Παρουσιάζονται αποτελέσματα δοκιμών συμμόρφωσης σε τρία διαφορετικά είδη συμπιεσομέτρων, καθώς και αποτελέσματα πραγματικών δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης στα οποία επιδεικνύεται η διαφορά που προκύπτει στα αποτελέσματα αν λάβει κανείς υπόψη του τα αποτελέσματα των δοκιμών συμμόρφωσης και αν τα αγνοήσει (ειδικά στον λόγο κενών ανά τάση και στο μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης ανά τάση). Συγκριτικά μάλιστα επιδεικνύεται η διαφορά που *θα προέκυπτε* στις ίδιες ιδιότητες αν δεν είχε γίνει η διακρίβωση των μετρητικών οργάνων. Επιδεικνύεται έτσι πόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή της συμμόρφωσης στο σφάλμα των μετρήσεων σε σχέση με το σφάλμα από άλλες πηγές, όπως π.χ. την έλλειψη διακριβώσεων ενός μηκυσιομέτρου.

## 2. Η δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης, το συμπιεσόμετρο και η δοκιμή συμμόρφωσης σε αυτή την συσκευή

Μια από τις πιο συνηθισμένες εργαστηριακές δοκιμές στην επιστημονική περιοχή της εδαφομηχανικής, δηλ. της μελέτης της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφικών υλικών είναι η δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης. Στην δοκιμή αυτή αποκόπτεται ένα δοκίμιο

Μ. Μπαρδάνης, Σ. Γρίφιζα, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Η σημασία των δοκιμών συμμόρφωσης στις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Το παράδειγμα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

εδαφικού υλικού το οποίο τοποθετείται εντός άκαμπτου μεταλλικού δακτυλίου και φορτίζεται κατακόρυφα (κατά την διεύθυνση του άξονα του δακτυλίου δηλαδή) μετά την τοποθέτηση του δακτυλίου και του δοκιμίου εντός της κυψέλης του συμπιεσομέτρου που τοποθετείται επί της κλίνης φόρτισης. Στις συνθήκες φόρτισης που αναπαράγονται σε αυτή τη δοκιμή το δοκίμιο φορτίζεται μόνο κατακόρυφα έχοντας την δυνατότητα να παραμορφωθεί μόνο σε αυτή την διεύθυνση, ενώ κάθετα σε αυτήν μπορεί να αναπτύξει μόνο τάσεις αλλά οι παραμορφώσεις του παραμένουν μηδενικές. Οι αναπαραγόμενες συνθήκες φόρτισης στην δοκιμή αυτή προσομοιώνουν τις συνθήκες φόρτισης εδαφικών σχηματισμών υπό την παρουσία πολύ μεγάλης έκτασης φορτίων στην επιφάνειά τους. Η έννοια του μεγέθους στην συγκεκριμένη περίπτωση όπως και σε άλλες είναι σχετική, αφού ένα επίχωμα πλάτους 20m επί ενός μαλακού αργιλικού σχηματισμού πάχους π.χ. 50m αποτελεί γραμμικό φορτίο, ενώ αντίθετα για ένα επίχωμα του ίδιου πλάτους αλλά επί αργιλικού σχηματισμού πάχους 5m, περί τον άξονα του επιχώματος μπορεί εύλογα να υποθεθεί ότι επικρατούν συνθήκες μονοδιάστατης φόρτισης.

Οι δύο κύριες κατηγορίες συμπιεσομέτρων είναι τα συμβατικά στα οποία η φόρτιση γίνεται με μεταλλικά βάρη και τα αυτόματα πνευματικά συμπιεσόμετρα. Στην πρώτη κατηγορία υπάρχει ένα μοχλός στην άκρη του οποίου αναρτώνται τα μεταλλικά βάρη και στην άλλη άκρη του υπάρχει το κέντρο περιστροφής του μοχλού και λίγο πριν το σημείο εφαρμογής της αυξημένης μέσω του μοχλοβραχίονα δύναμης στην κυψέλη του συμπιεσομέτρου. Συνήθεις λόγοι αύξησης του φορτίου στους μοχλοβραχίονες είναι από 10 ως 15 αν και απαντώνται και λόγοι που φτάνουν και το 20, ή το ξεπερνούν κιόλας, ανάλογα με το πόσο μεγάλη κατακόρυφη τάση ζητείται να εφαρμοστεί στα δοκίμια. Το σύστημα φόρτισης με μοχλό έχει δύο προβλήματα. Το πρώτο είναι ότι ο λόγος αύξησης δύναμης στον μοχλό δεν παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια της δοκιμής επειδή παραμορφώνεται το δοκίμιο και το δεύτερο ότι για πολύ ψηλά δοκίμια, έντονα παραμορφώσιμα και με μεγάλες εφαρμοζόμενες τάσεις μπορεί η μετακίνηση του άκρου του μοχλού να είναι τόσο μεγάλη που το άγκιστρο ανάρτησης φορτίων να αγγίξει στο δάπεδο ή κάποιο σημείο του μοχλού να αγγίξει στην κλίση του συμπιεσομέτρου, οπότε η δοκιμή διακόπτεται. Για να επιλυθούν και τα δύο αυτά προβλήματα εκτός από το συνηθισμένο συμπιεσόμετρο εμπρόσθιας φόρτωσης βαρών (Σχήμα 1α) υπάρχει και το συμπιεσόμετρο οπίσθιας φόρτωσης<sup>1</sup> (Σχήμα 1β). Σε αυτό, το κέντρο περιστροφής του μοχλού φόρτισης βρίσκεται μπροστά από την κυψέλη και το σημείο ανάρτησης βαρών στην πίσω πλευρά της κλίνης. Στα στελέχη μεταβίβασης της προσαυξημένης δύναμης επί του δοκιμίου παρεμβάλλεται κοχλίας ανύψωσης του μοχλοβραχίονα, ο οποίος επιτρέπει (όταν πια έχει σταθεροποιηθεί η παραμόρφωση του δοκιμίου) να ανυψωθεί και πάλι ο μοχλοβραχίονας χωρίς να εξασκηθεί πρόσθετο φορτίο στο δοκίμιο.

Στο δεύτερο είδος συμπιεσομέτρων η φόρτιση γίνεται μέσω πίεσης αέρα («πνευματικό») και η συσκευή αποτελείται από ένα πλαίσιο φόρτισης πολύ άκαμπτης δοκού αντίδρασης στην οποία προσαρμόζεται μία δυναμομετρική κυψέλη η οποία καταγράφει την ασκούμενη δύναμη κατά την προώθηση εμβόλου στη βάση του πλαισίου επί του οποίου τοποθετείται η κυψέλη της συσκευής με το δοκίμιο. Μία διαδικασία αλληπάλληλης σύγκρισης ζητούμενης δύναμης και καταγραφόμενης εξασφαλίζει την

---

<sup>1</sup> Ένα σχέδιο που αποδίδεται στον καθ. A. Bishop του Imperial College of Science, Technology and Medicine, London.

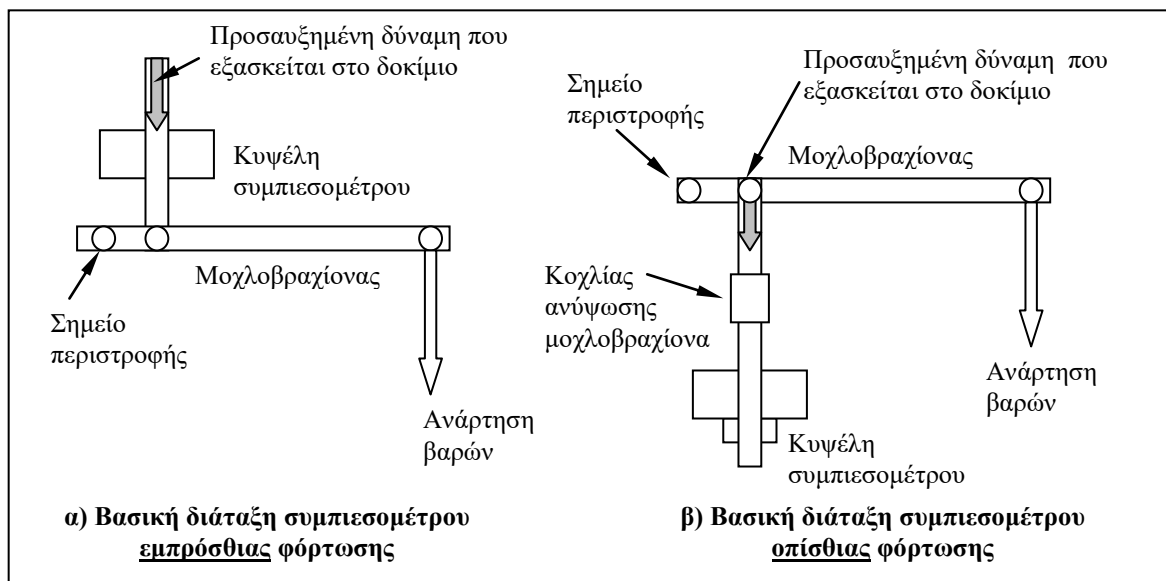
Μ. Μπαρδάνης, Σ. Γρίφιζα, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Η σημασία των δοκιμών συμμόρφωσης στις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Το παράδειγμα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012



Σχήμα 1. Βασικές διατάξεις συμβατικών συμπιεσομέτρων με βάρη:  
α) εμπρόσθιας φόρτωσης, και β) οπίσθιας φόρτωσης.

τελική διόρθωση και διατήρηση της εφαρμοζόμενης δύναμης στην επιθυμητή τιμή, ακόμα (και κυρίως) κατά την διάρκεια της παραμόρφωσης του δοκιμίου. Η κίνηση του εμβόλου με την κατάλληλη δύναμη εξασφαλίζεται διά της παροχής αέρα υπό πίεση και της παρεμβολής ρυθμιστών πίεσης αέρα υψηλής ακρίβειας. Τα πλεονεκτήματα των συμπιεσομέτρων αυτών είναι η ικανότητα πλήρους αυτοματοποίησης της δοκιμής, αφού πλέον ο χειριστής δεν απαιτείται παρά μόνο για να μορφωθεί το δοκίμιο, να τοποθετηθεί στην συσκευή και να προγραμματιστεί η ζητούμενη δοκιμή διά του ηλεκτρονικού υπολογιστή ελέγχου της συσκευής και καταγραφής δεδομένων, ενώ λόγω της απουσίας κινούμενων μερών, όπως ο μοχλοβραχίονας, το επιβαλλόμενο φορτίο δεν αλλάζει λόγω της παραμόρφωσης του δοκιμίου. Στα μειονεκτήματα της κατηγορίας αυτής των συσκευών μονοδιάστατης συμπίεσης περιλαμβάνεται η απαίτηση για μία καλής ποιότητας διάταξη παροχής αέρα υπό πίεση και αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σταθεροποιημένης τάσης.

Η δοκιμή συμμόρφωσης σε αυτή την δοκιμή προβλέπεται από πρότυπα (π.χ. το D2435 της ASTM). Ένας μεταλλικός κύλινδρος, διαστάσεων ίδιων με του δοκιμίου εδαφικού υλικού χρησιμοποιείται στη δοκιμή, τοποθετείται εντός της κυψέλης και επιβάλλεται η ακριβής αλληλουχία των φορτίσεων που θα επιβληθούν και στα δοκίμια εδαφικού υλικού. Μία κρίσιμη λεπτομέρεια είναι ότι για να έχουν νόημα οι δοκιμές συμμόρφωσης πρέπει να εφαρμόζονται στον συγκεκριμένο συνδυασμό κλίνης συμπιεσομέτρου-κυψέλης (με τα συγκεκριμένα απάρτια)-μεταλλικών βαρών που θα χρησιμοποιηθεί και στην πραγματική δοκιμή στο εδαφικό δοκίμιο. Το ASTM D2435 προβλέπει ότι η δοκιμή πρέπει οπωσδήποτε να γίνεται όταν στην κανονική δοκιμή παρεμβάλλονται και χάρτινα φίλτρα μεταξύ πορολίθων και δοκιμίου αλλά και όταν δεν χρησιμοποιούνται, απλώς με πιο μικρή συχνότητα σε αυτή την περίπτωση (ετήσια) η οποία αυξάνεται όποτε συμβαίνουν αλλαγές στον χρησιμοποιούμενο συνδυασμό απαρτίων (πορόλιθοι, μεταλλικά βάρη, δακτύλιοι κλπ).

Μ. Μπαρδάνης, Σ. Γρίφιζα, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Η σημασία των δοκιμών συμμόρφωσης στις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Το παράδειγμα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

### 3. Αποτελέσματα δοκιμών συμμόρφωσης στη συσκευή μονοδιάστατης συμπίεσης

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται αποτελέσματα πραγματικών δοκιμών συμμόρφωσης σε δύο διαφορετικές κατηγορίες συμπιεσομέτρων μέχρι πολύ υψηλές τιμές της κατακόρυφης τάσης. Το άρθρο προορίζεται να επιδείξει την σημασία των δοκιμών συμμόρφωσης, συγκεκριμένα μάλιστα σε δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης, και στα δύο είδη συσκευών που χρησιμοποιούνται για αυτήν την δοκιμή (μηχανικά και πνευματικά συμπιεσόμετρα). Δεν αποσκοπεί σε καμμία περίπτωση στην σύγκριση των αποτελεσμάτων τέτοιων δοκιμών σε συσκευές προερχόμενες από διαφορετικούς προμηθευτές. Για αυτό το λόγο θα αποφευχθεί κάθε αναφορά στο όνομα των κατασκευαστών των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και η παράθεση φωτογραφιών ολόκληρων των συσκευών που θα μπορούσαν να παραπέμψουν σε συγκεκριμένο κατασκευαστή.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται αποτελέσματα από δοκιμές συμμόρφωσης σε συμβατικά συμπιεσόμετρα οπίσθιας φόρτωσης. Οι δοκιμές εκτελέστηκαν με ορειχάλκινα δοκίμια ύψους 20mm και διαμέτρου 75mm μέχρι κατακόρυφη τάση 1000 kPa, η οποία ήταν και η μέγιστη κατακόρυφη τάση που θα εφαρμοζόταν στις συγκεκριμένες δοκιμές (Bardanis, 1998). Η κατακόρυφη μετατόπιση έφτασε περίπου στα 0.3mm για κατακόρυφη τάση 1000 kPa (Σχήμα 2α), η οποία αντιστοιχούσε σε περίπου 1.45% κατακόρυφη παραμόρφωση (Σχήμα 2β), ενώ τα αντίστοιχα μικρότερα μεγέθη στις συσκευές τέτοιου τύπου σε αυτές τις δοκιμές ήταν περίπου 0.17mm και 0.85%. Με βάση τις ιδιότητες του ορειχάλκινου δοκιμίου ( $E = 108 \text{ GPa}$ ,  $\nu = 0.34$ ,  $E_s = 166 \text{ GPa}$ ) θα έπρεπε οι αντίστοιχες τιμές να είναι κατά μέγιστο 0.12μm οι μετατοπίσεις και άρα 0.0006% οι παραμορφώσεις. Ελάχιστο δηλαδή τμήμα των καταγραφεισών παραμορφώσεων οφείλεται σε αυτό καθεαυτό το ορειχάλκινο δοκίμιο και την παραμόρφωσή του και το μεγαλύτερο τμήμα οφείλεται σε παραμορφώσεις των απαρτίων της συσκευής (και των χάρτινων φίλτρων, όταν χρησιμοποιούνται –όχι στις παρουσιαζόμενες δοκιμές). Άρα αυτές οι μετατοπίσεις πρέπει να αφαιρούνται από εκείνες που καταγράφονται όταν φορτίζονται τα δοκίμια των πραγματικών υλικών για να διορθώνονται τα αποτελέσματα.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται αποτελέσματα από δοκιμές συμμόρφωσης σε συμβατικά συμπιεσόμετρα εμπρόσθιας φόρτωσης (επίσης χωρίς χάρτινα φίλτρα). Οι δοκιμές εκτελέστηκαν με ορειχάλκινα δοκίμια ύψους 19mm και διαμέτρου 70mm. Αντί να επιδειχθούν γενικά οποιεσδήποτε δοκιμές, επιδεικνύονται οι τέσσερις δοκιμές που χρησιμοποιήθηκαν στις τέσσερις πραγματικές δοκιμές που χρησιμοποιούνται ως παράδειγμα στην Παράγραφο 4, έτσι ώστε να υπάρχει και η αίσθηση της διαφοράς που προκαλούν σε αποτελέσματα πραγματικών δοκιμών συγκεκριμένες δοκιμές συμμόρφωσης. Όπως φαίνεται λοιπόν από τα αποτελέσματα στο Σχήμα 3α η κατακόρυφη μετατόπιση έφτασε περίπου στα 0.23mm για κατακόρυφη τάση 4800 kPa, η οποία αντιστοιχούσε σε περίπου 1.20% κατακόρυφη παραμόρφωση (Σχήμα 3β), ενώ τα αντίστοιχα μικρότερα μεγέθη στις συσκευές τέτοιου τύπου σε αυτές τις δοκιμές ήταν περίπου 0.14mm και 0.75%. Με βάση τις ιδιότητες του ορειχάλκινου δοκιμίου θα έπρεπε οι αντίστοιχες τιμές να είναι κατά μέγιστο 0.55μm οι μετατοπίσεις και άρα 0.0029% οι παραμορφώσεις. Ελάχιστο δηλαδή τμήμα των καταγραφεισών παραμορφώσεων οφείλεται και εδώ σε αυτό καθεαυτό το ορειχάλκινο δοκίμιο και την παραμόρφωσή του. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα μεταξύ των δοκιμών συμμόρφωσης στα συμπιεσόμετρα εμπρόσθιας και οπίσθιας φόρτωσης θα μπορούσε να πει κανείς ότι στα εμπρόσθιας φόρτωσης καταγράφονται μικρότερες παραμορφώσεις και άρα είναι καλύτερα. Πρέπει

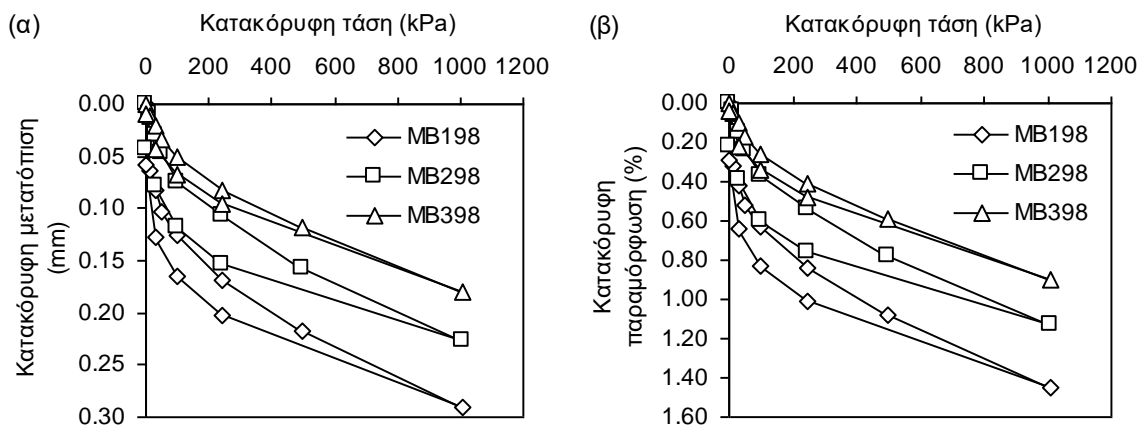
Μ. Μπαρδάνης, Σ. Γρίφιζα, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Η σημασία των δοκιμών συμμόρφωσης στις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Το παράδειγμα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης

ωστόσο να ληφθεί υπόψη ότι και για τα συμπιεσόμετρα εμπρόσθιας φόρτωσης και για τα πνευματικά συμπιεσόμετρα, για τα οποία παρατίθενται αποτελέσματα δοκιμών συμμόρφωσης αμέσως παρακάτω, τα παρατιθέμενα αποτελέσματα είναι απλώς ενδεικτικά και όχι το σύνολο όλων των δοκιμών που έχουν εκτελεστεί (το οποίο άλλωστε θα ήταν πρακτικά αδύνατο στα πλαίσια ενός επιστημονικού άρθρου). Από την άλλη πλευρά βέβαια, κατά τον χρόνο εκτέλεσης των δοκιμών συμμόρφωσης που παρατέθηκαν, τα συμπιεσόμετρα οπίσθιας φόρτωσης ήταν ηλικίας 50 ετών ενώ τα συμπιεσόμετρα οπίσθιας φόρτωσης ήταν ηλικίας 40 ετών αλλά με κυψέλες ηλικίας 20 ετών και καινούργιους πορολίθους<sup>2</sup>.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται αποτελέσματα από δοκιμές συμμόρφωσης σε πνευματικά συμπιεσόμετρα. Οι δοκιμές εκτελέστηκαν με ορειχάλκινα δοκίμια ύψους 20mm και διαμέτρου 63.5mm μέχρι 4000 kPa (χωρίς χάρτινα φίλτρα). Όπως φαίνεται λοιπόν από τα αποτελέσματα στο Σχήμα 4α η κατακόρυφη μετατόπιση έφτασε περίπου στα 0.22mm, η οποία αντιστοιχούσε σε περίπου 1.10% κατακόρυφη παραμόρφωση (Σχήμα 4β), ενώ τα αντίστοιχα μικρότερα μεγέθη στις συσκευές τέτοιου τύπου σε αυτές τις δοκιμές ήταν περίπου 0.16mm και 0.85%. Με βάση τις ιδιότητες του ορειχάλκινου δοκιμίου θα έπρεπε οι αντίστοιχες τιμές να είναι κατά μέγιστο 0.44mm οι μετατοπίσεις και άρα 0.0024% οι παραμορφώσεις. Ελάχιστο δηλαδή τμήμα των καταγραφεισών παραμορφώσεων οφείλεται και εδώ σε αυτό καθαυτό το ορειχάλκινο δοκίμιο και την παραμόρφωσή του.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών στα πνευματικά συμπιεσόμετρα με εκείνες στα συμβατικά (είτε οπίσθιας, είτε εμπρόσθιας φόρτωσης) δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά στα μεγέθη των μετατοπίσεων και παραμορφώσεων κατά τις δοκιμές συμμόρφωσης, παρά το γεγονός ότι τα πνευματικά συμπιεσόμετρα ήταν ηλικίας μόλις 2.5 ετών κατά τον χρόνο εκτέλεσης των δοκιμών. Η πραγματικά σημαντική διαφορά ωστόσο βρίσκεται στο ότι οι καμπύλες από τις δοκιμές στα πνευματικά συμπιεσόμετρα έχουν



Σχήμα 2. Αποτελέσματα δοκιμών συμμόρφωσης σε τρία συμπιεσόμετρα οπίσθιας φόρτωσης: α) σε όρους κατακόρυφης μετατόπισης-κατακόρυφης τάσης, και β) σε όρους κατακόρυφης παραμόρφωσης-κατακόρυφης τάσης.

<sup>2</sup> Επισημαίνεται ότι η συσκευή του συμπιεσομέτρου είναι μία από τις πρώτες εξειδικευμένες εργαστηριακές συσκευές για την μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφών και διακρίνεται για την αξιοσημείωτη αξιοπιστία και ανθεκτικότητά της.

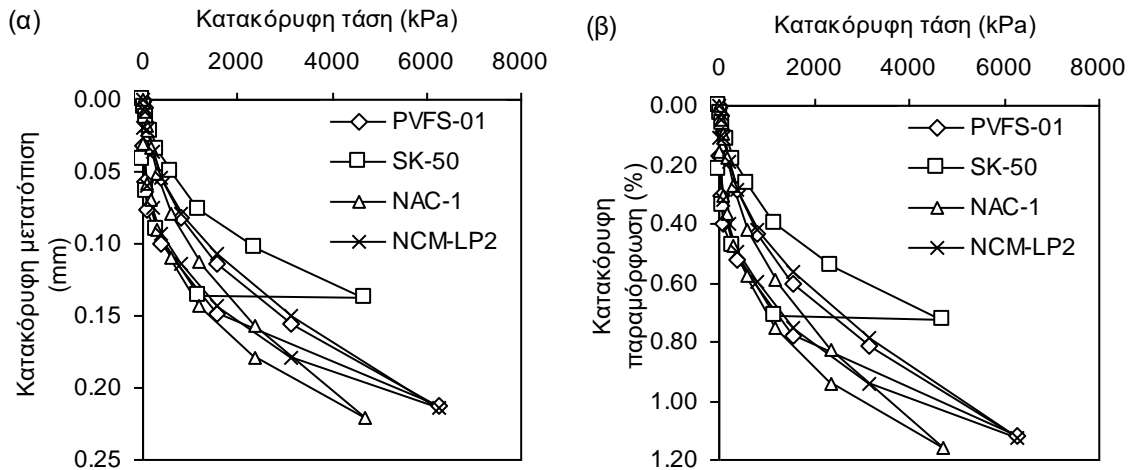
Μ. Μπαρδάνης, Σ. Γρίφιζα, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Η σημασία των δοκιμών συμμόρφωσης στις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Το παράδειγμα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης

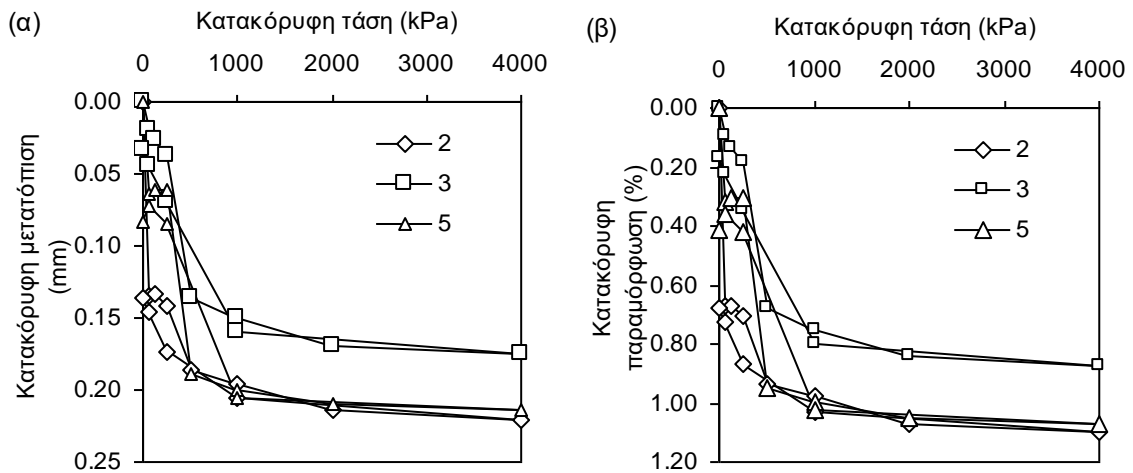
4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012



Σχήμα 3. Αποτελέσματα δοκιμών συμμόρφωσης σε τέσσερα συμπίεσιμα εμπρόσθιας φόρτωσης: α) σε όρους κατακόρυφης μετατόπισης-κατακόρυφης τάσης, και β) σε όρους κατακόρυφης παραμόρφωσης-κατακόρυφης τάσης.



Σχήμα 4. Αποτελέσματα δοκιμών συμμόρφωσης σε τρία πνευματικά συμπίεσιμα: α) σε όρους κατακόρυφης μετατόπισης-κατακόρυφης τάσης, και β) σε όρους κατακόρυφης παραμόρφωσης-κατακόρυφης τάσης.

πολύ μικρές διαφορές μεταξύ κλάδου φόρτισης και κλάδου αποφόρτισης υποδεικνύοντας μη γραμμικές μεν, ελαστικές παραμορφώσεις δε. Αντίθετα στις δοκιμές στα συμβατικά συμπίεσιμα η απόσταση ήταν μεγάλη υποδεικνύοντας ότι οι παραμορφώσεις σε αυτά οφείλονται μάλλον σε πλαστικές παραμορφώσεις διαφόρων απαρτίων της συσκευής.

#### 4. Επιρροή της συμμόρφωσης σε πραγματικές δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης

Μέχρι αυτό το σημείο επιδείχθηκαν αποτελέσματα πραγματικών δοκιμών συμμόρφωσης σε τρία διαφορετικά είδη συμπίεσιμων. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται

Μ. Μπαρδάνης, Σ. Γρίφιζα, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

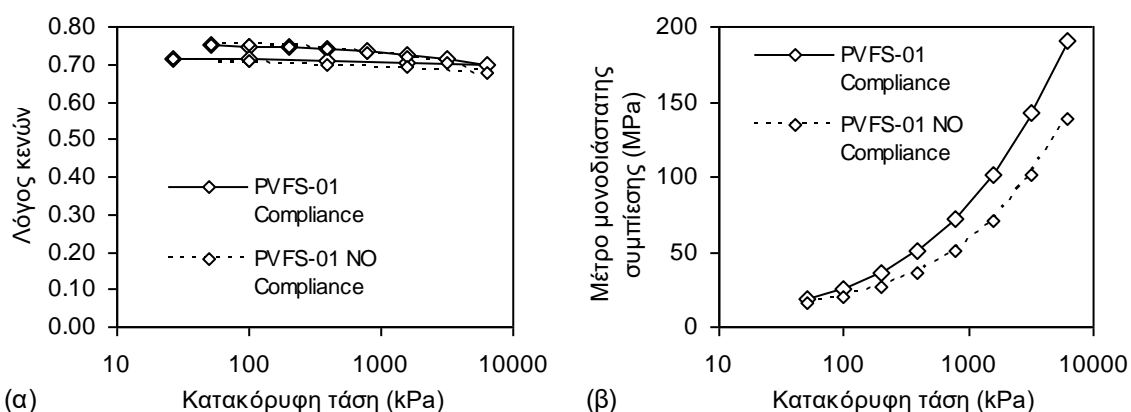
Η σημασία των δοκιμών συμμόρφωσης στις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Το παράδειγμα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

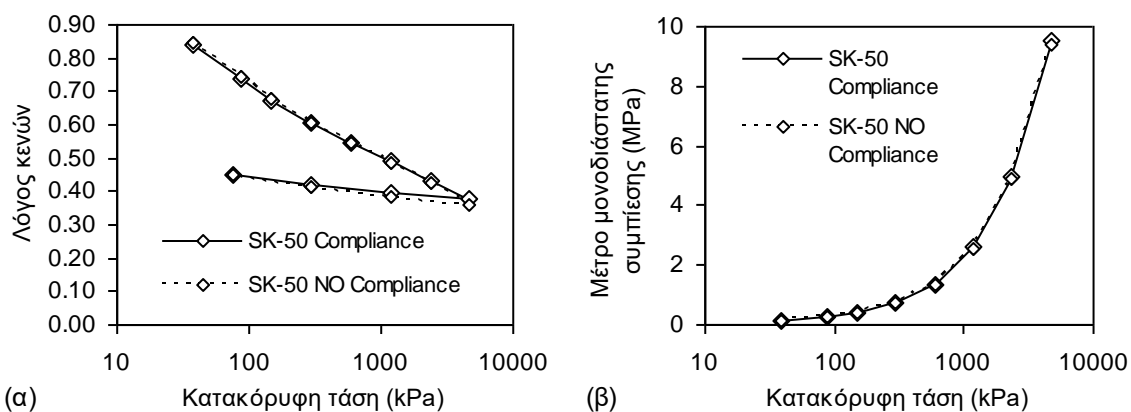
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

τέσσερις ενδεικτικές δοκιμές σε πραγματικά εδάφη και συγκρίνονται τα αποτελέσματά τους όταν ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα των δοκιμών συμμόρφωσης και όταν δεν ληφθούν. Στα Σχήματα 5 και 6 παρουσιάζονται δοκιμές σε δύο τεχνητά υλικά, μία καθαρή πολύ λεπτόκοκκη άμμο και ένα μίγμα της ίδιας άμμου με καολίνη (υψηλής πλαστικότητας με όριο υδαρότητας 64% και δείκτη πλαστικότητας 32%) σε αναλογία 1 προς 1. Τα εδαφικά αυτά υλικά δεν είναι φυσικά, έχουν όμως την ιδιομορφία ότι η μεν καθαρή άμμος έχει πολύ μικρή συμπίεστικότητα, ενώ το μίγμα άμμου-καολίνη αποτελεί αμμώδη άργιλο η οποία συμπίεστηκε σε μορφή πολτού (αναζυμωμένο υλικό) οπότε ήταν υλικό πολύ μεγάλης συμπίεστικότητας. Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 5α και 6α η διαφορά στην τιμή του λόγου κενών δεν είναι μεγάλη. Στο πολύ συμπίεστο υλικό μάλιστα (μίγμα άμμου-καολίνη) δεν είναι μεγάλη η διαφορά ούτε στο μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης (Σχήμα 6β), αλλά γίνεται πολύ μεγάλη στο λιγότερο συμπίεστο υλικό (Σχήμα 5β).



Σχήμα 5. α) Καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης σε όρους λόγου κενών-κατακόρυφης τάσης (σε δεκαδική λογαριθμική κλίμακα), και β) εξέλιξη του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης με την κατακόρυφη τάση (σε δεκαδική λογαριθμική κλίμακα) για πολύ λεπτόκοκκη άμμο.



Σχήμα 6. α) Καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης σε όρους λόγου κενών-κατακόρυφης τάσης (σε δεκαδική λογαριθμική κλίμακα), και β) εξέλιξη του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης με την κατακόρυφη τάση (σε δεκαδική λογαριθμική κλίμακα) για μίγμα πολύ λεπτόκοκκης άμμου και καολίνη Speswhite σε αναλογία 1 προς 1.

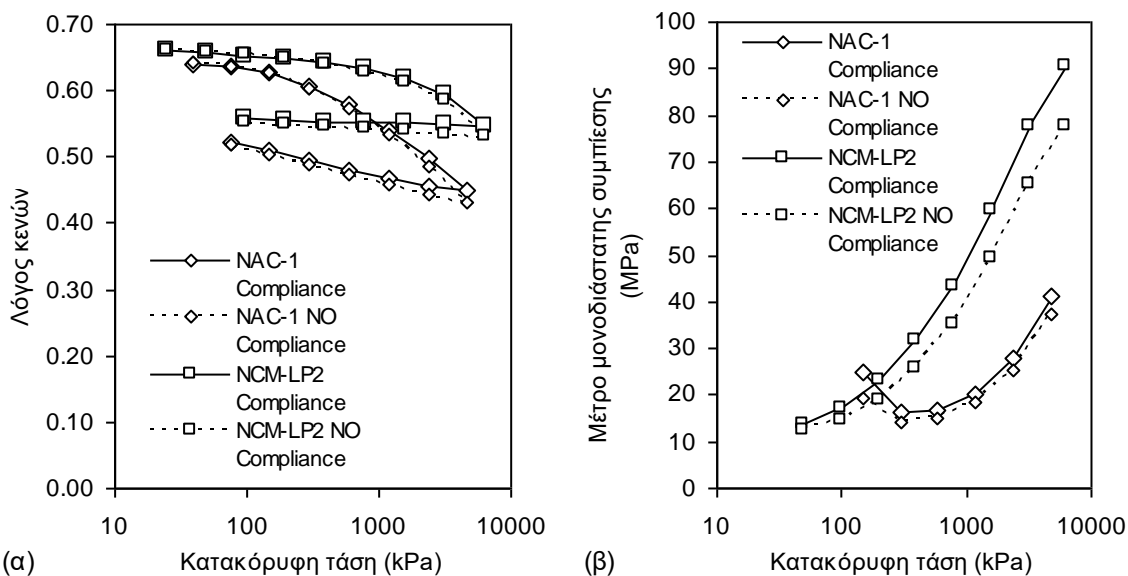
Μ. Μπαρδάνης, Σ. Γρίφιζα, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Η σημασία των δοκιμών συμμόρφωσης στις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Το παράδειγμα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης

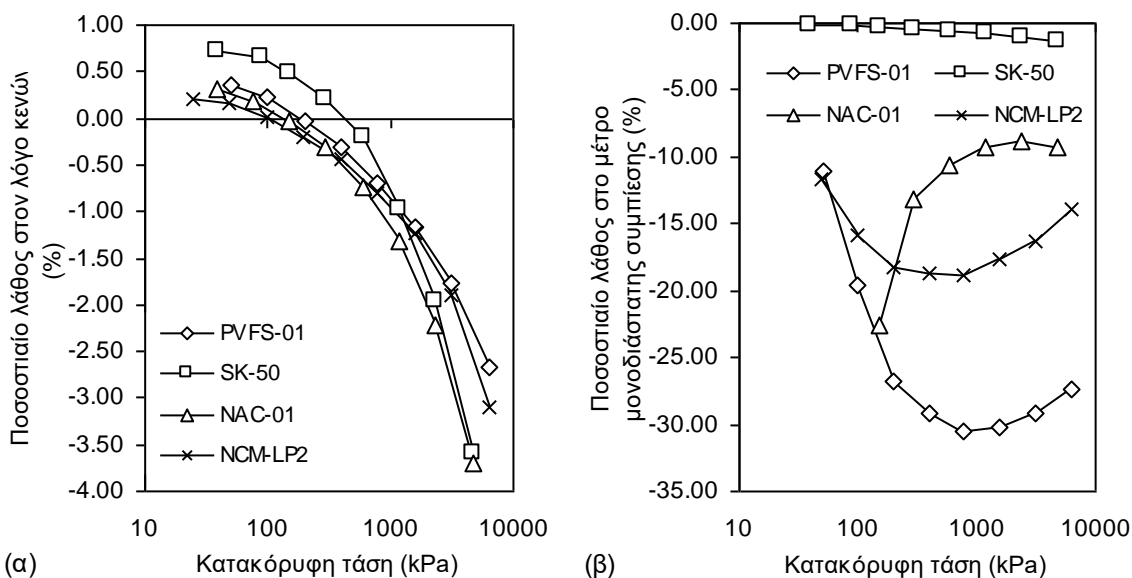
4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας  
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου  
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012



Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δύο δοκιμών σε φυσικά εδαφικά υλικά, την άργιλο Αμαρουσίου (NAC-1) και την μάργα Κορίνθου χαμηλής πλαστικότητας (NCM-LP2). Και πάλι οι διαφορές στον λόγο κενών δεν προκύπτουν πολύ σημαντικές, αλλά προκύπτουν μεγάλες διαφορές στις τιμές του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης. Το μέτρο των διαφορών αυτών δείχνεται και για τα δύο μεγέθη στο Σχήμα 8.



Σχήμα 7. α) Καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης σε όρους λόγου κενών-κατακόρυφης τάσης (σε δεκαδική λογαριθμική κλίμακα), και β) εξέλιξη του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης με την κατακόρυφη τάση (σε δεκαδική λογαριθμική κλίμακα) για φυσική άργιλο Αμαρουσίου (NAC-1) και φυσική Μάργα Κορίνθου (NCM-LP2).



Σχήμα 8. Ποσοστιαίο λάθος εάν ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα των δοκιμών συμμόρφωσης και αν δεν ληφθούν: α) στον λόγο κενών, και β) στο μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης.

Μ. Μπαρδάνης, Σ. Γρίφιζα, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Η σημασία των δοκιμών συμμόρφωσης στις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Το παράδειγμα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

## 5. Σύγκριση της επιρροής της συμμόρφωσης με άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια

Παρουσιάστηκαν αποτελέσματα τα οποία επέδειξαν την επιρροή των δοκιμών συμμόρφωσης. Εύλογα ανακύπτει το ερώτημα πως αυτές οι μεταβολές συγκρίνονται με την επιρροή άλλων παραγόντων όπως π.χ. η διακρίβωση του μηκυνσιομέτρου ενός συμπιεσομέτρου. Εξαιρουμένων λοιπόν περιπτώσεων σημαντικών σφαλμάτων μετρήσεων τις οποίες εντοπίζει και διορθώνει η διακρίβωση, για καλής ποιότητας μηκυνσιόμετρα όπου οι διαφορές που προκύπτουν και πρέπει να διορθωθούν κυμαίνονται μεταξύ 0.001 και 0.004mm η επιρροή τέτοιων διορθώσεων προκύπτει πρακτικά απειροελάχιστη σε σχέση με εκείνη των αποτελεσμάτων των δοκιμών συμμόρφωσης. Αυτό επισημαίνεται, *όχι* για να μειωθεί η αξία της διακρίβωσης των μετρητικών οργάνων, αλλά για να τονιστεί ότι ενώ η αξία της διακρίβωσης έχει εμπεδωθεί από την εργαστηριακή κοινότητα, ακόμα *συνεχίζει πρακτικά να αγνοείται* η αξία της συστηματικής εκτέλεσης δοκιμών συμμόρφωσης οι οποίες όπως επιδείχθηκε διορθώνουν πολύ μεγαλύτερου μεγέθους λάθη σε σχέση με εκείνα που διορθώνουν οι διακριβώσεις.

## 6. Συμπεράσματα

Παρουσιάστηκε η έννοια της συμμόρφωσης (compliance) και ορίστηκε η δοκιμή συμμόρφωσης (compliance test). Παρουσιάστηκαν αποτελέσματα δοκιμών συμμόρφωσης σε τρία διαφορετικά είδη συμπιεσομέτρου, της συσκευής που χρησιμοποιείται για μια από τις πιο συνηθισμένες δοκιμές εδαφομηχανικής, της δοκιμής μονοδιάστατης συμπίεσης. Το μέγεθος των μετατοπίσεων και των παραμορφώσεων που καταγράφονται είναι πολύ μεγάλο, με πολύ μεγάλη επιρροή όχι τόσο στον λόγο κενών αλλά κυρίως στο μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης που μετρείται στη δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης με προφανείς επιπτώσεις στις υπολογιζόμενες καθιζήσεις των πραγματικών εδαφικών σχηματισμών. Η επιρροή αυτή όπως αναμενόταν γίνεται τόσο μεγαλύτερη όσο πιο σφιγρό είναι το εδαφικό υλικό. Συγκριτικά δε το μέγεθος του λάθους που υπεισέρχεται αγνοώντας τα αποτελέσματα των δοκιμών συμμόρφωσης σε σχέση με το να αγνοήσει κανείς συνήθη αποτελέσματα διακριβώσεων είναι πολύ μεγαλύτερα. Αυτό επισημαίνεται, *όχι* για να μειωθεί η αξία της διακρίβωσης των μετρητικών οργάνων, αλλά για να τονιστεί ότι ακόμα *συνεχίζει πρακτικά να αγνοείται* η αξία της συστηματικής εκτέλεσης δοκιμών συμμόρφωσης οι οποίες όπως επιδείχθηκε διορθώνουν πολύ μεγαλύτερου μεγέθους λάθη σε σχέση με εκείνα που διορθώνουν οι διακριβώσεις.

## 7. Βιβλιογραφία

ASTM International, D 2435, *Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading*, Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, Soil and Rock (I), 2006, West Conshohocken, PA.

Bardanis M.E., “An experimental study of the ‘robustness’ of the Intrinsic Compression Line”, 1998, MSc Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London.

Μ. Μπαρδάνης, Σ. Γρίφιζα, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Η σημασία των δοκιμών συμμόρφωσης στις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Το παράδειγμα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012