

# Μελέτη της Μηχανικής Συμπεριφοράς Άμμων Εμποτισμένων με Ένεμα Τσιμέντου

## Mechanical Properties of Sands Injected With Cement Grout

ΑΝΔΡΕΟΥ Π., Μηχ. Μεταλλείων, DEA Γεωτεχνική Μηχ. (ENPC), Υ/Δ Σχολής Πολ. Μηχ. ΕΜΠ  
CANOU J., Δρ. École Nationale des Ponts et Chaussées, Cermes (ENPC-LCPC), Παρίσι  
DUPLA J. C., Δρ. École Nationale des Ponts et Chaussées, Cermes (ENPC-LCPC), Παρίσι

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών εισπίεσης ενέματος λεπτόκοκκου τσιμέντου (Spinor A12) σε κολώνες άμμου (από την περιοχή Fontainebleau της Γαλλίας) και η μηχανική συμπεριφορά του υλικού που προκύπτει, μέσω τριαξονικών και μονοαξονικών φορτίσεων. Μελετάται η επιρροή του λόγου τσιμέντου προς νερό (T/N) κατά την τσιμεντένεση της άμμου και υπολογίζονται οι τιμές της συνοχής και της γωνίας εσωτερικής τριβής του βελτιωμένου εδάφους.

**ABSTRACT :** The results of one dimensional grouting tests carried out on the reference sand of Fontainebleau with a cement grout (Spinor A12) are presented in this contribution, together with the mechanical characterization of the resulting grouted sand, through triaxial and unconfined compression tests. The influence of the ratio of cement to water (C/W) has been studied and finally the cohesion and the friction angle of the grouted sand have been determined.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ενέσεις ενεμάτων τσιμέντου στο έδαφος χρησιμοποιούνται ευρέως σε έργα πολιτικού μηχανικού (Cambefort, 1967, AFTES, 1998) και συντελούν στη βελτίωση των μηχανικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους. Ο σκοπός της συγκεκριμένης μεθόδου βελτίωσης είναι να δημιουργήσει μια νέα βελτιωμένη ζώνη εδάφους, με καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά από την αρχική. Είναι αναγκαίο να χρησιμοποιείται λεπτόκοκκο τσιμέντο για να διεισδύει αποτελεσματικότερα στους εδαφικούς σχηματισμούς και να επιτυγχάνεται με αυτό τον τρόπο μεγαλύτερη ακτίνα διείσδυσης. Με βάση εργαστηριακές και επί τόπου μετρήσεις, έχει διατυπωθεί ένα γενικό κριτήριο που βασίζεται στην κοκκομετρική σύνθεση του εδάφους και του αιωρήματος και εκφράζεται ως εξής:

$$D_{15,s} / D_{85,g} > 24 \quad (1)$$

όπου  $D_{15,s}$  είναι η διάμετρος των κόκκων του εδάφους που είναι μεγαλύτεροι από το 15% των κόκκων του και  $D_{85,g}$  είναι η διάμετρος των κόκκων του αιωρήματος που είναι μεγαλύτεροι από το 85% των κόκκων του. Μολονότι η παραπάνω σχέση θεωρείται σαν πρώτη προσέγγιση, και η ισχύς της πρέπει να ελέγχεται σε κάθε ειδική περίπτωση, η κοκκομετρική σύνθεση των αιωρημάτων που χρησιμοποιείται συνήθως περιορίζει τη χρήση σε εδάφη που χαρακτηρίζονται σαν χονδρόκοκες άμμοι. Επίσης, ο συντελεστής διαπερατότητας του εδάφους χρησιμοποιείται συχνά για την επιλογή κατάλληλου υλικού τσιμεντένεσης, και η χρήση αιωρημάτων τσιμέντου ή τσιμέντου και αργίλου περιορίζεται σε χονδρόκοκα εδάφη με συντελεστή διαπερατότητας μεγαλύτερο του  $10^{-2}$  cm/sec (Cambefort, 1967). Για μέσης ή λεπτής κοκκομετρίας άμμους με συντελεστή διαπερατότητας έως  $10^{-4}$  cm/sec έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι διαλυμάτων καθώς και αιωρήματα εξαιρετικά λεπτόκοκκου τσιμέντου.

## 2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΝΕΣΗ

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν περισσότερο ή λιγότερο την ένεση ενέματος τσιμέντου στις άμμους, όπως είναι η κοκκομετρία και το ειδικό της βάρος, το πόσο λεπτόκοκκο είναι το τσιμέντο, ο λόγος τσιμέντου προς νερό (T/N) και η ταχύτητα της ένεσης.

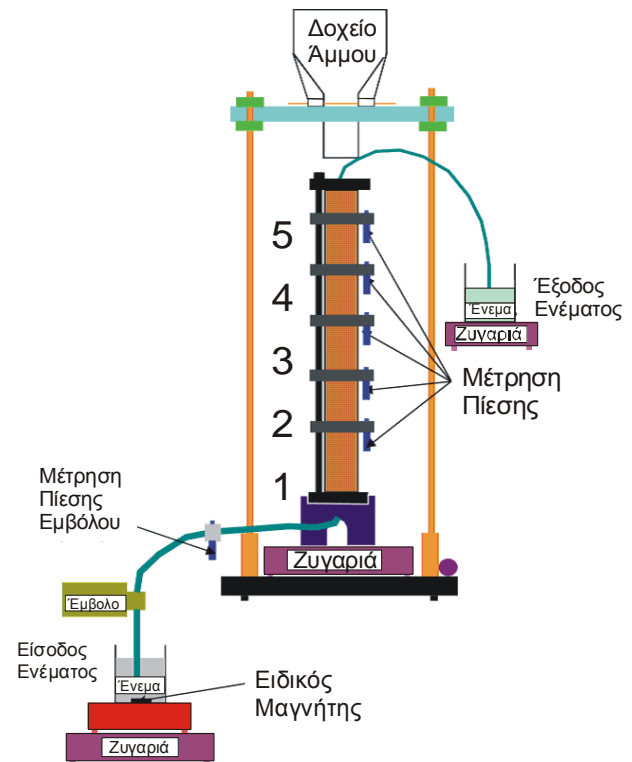
Έχει παρατηρηθεί (Dupla et al., 2001, Dupla et al., 2004) ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος (T/N) τόσο πιο μεγάλη είναι και η πίεση που απαιτείται για την ένεση. Αντίθετα, μικρότεροι λόγοι (T/N) βελτιώνουν την εισπίεση αλλά μειώνουν ταυτόχρονα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βελτιωμένης περιοχής.

Ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να παρουσιάσει τα αποτελέσματα ενός προγράμματος δοκιμών στις οποίες μελετάται η μηχανική συμπεριφορά κολώνων άμμου (άμμος από την περιοχή Fontainebleau της Γαλλίας), στις οποίες εισπιέζεται λεπτόκοκκο τσιμέντο (Spinor A12). Μεταβάλλεται ο λόγος τσιμέντου προς νερό (T/N) και παρατηρείται η μεταβολή του ποσοστού βελτίωσης κατά μήκος των κολώνων, μέσω δοκιμών τριαξονικών φορτίσεων και ανεμπόδιστη θλίψης.

## 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από κολώνα (Plexiglas) ύψους 110 εκατοστών και εσωτερικής διαμέτρου 8 εκατοστών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, στην οποία τοποθετείται η άμμος από το πάνω μέρος της, με τη βοήθεια κοσκίνου, ώστε να επιτευχθεί κατάλληλη συμπύκνωση (Andreou, 2004). Διακρίνεται η αρίθμηση των 5 δοκιμών της κολώνας, η οποία ξεκινά από το κάτω μέρος (δοκίμιο 1) και καταλήγει στο ανώτερο σημείο της (δοκίμιο 5). Ακολουθεί κορεσμός της άμμου. Το ένεμα τσιμέντου διατηρείται σε ειδικό δοχείο και ανακατεύεται συνεχώς από ειδικό μαγνήτη, ενώ με τη βοήθεια αντλίας, η οποία ελέγχει τις ποσότητες εισπίεσης, εισπιέζεται στην κολώνα από το κάτω μέρος της. Η δοκιμή σταματά όταν ο όγκος που έχει εισπιεστεί είναι διπλάσιος από τον όγκο των κενών της άμμου ή αλλιώς όταν η πίεση που ασκείται ξεπεράσει την οριακή τιμή του 1MPa. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής μετράται τόσο το βάρος της κολώνας όσο και το βάρος του

δοχείου με το εισπιεζόμενο ένεμα τσιμέντου. Επίσης, μετράται η πίεση που ασκείται στην έξοδο του εμβόλου πίεσης, στην είσοδο της κολώνας όπως και σε πέντε διαφορετικά σημεία κατά μήκος της.



Σχήμα 1. Πειραματική διάταξη  
Figure 1. Experimental apparatus.

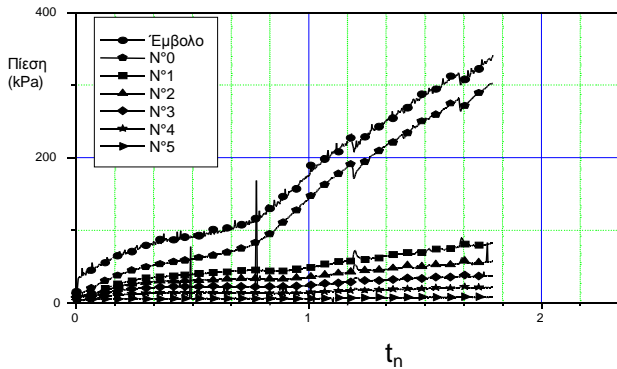
Μετά τη δοκιμή εισπίεσης, η κολώνα διατηρείται για 28 ημέρες μέσα στο νερό και στη συνέχεια κόβεται σε πέντε ίσα κομμάτια ύψους 16 και διαμέτρου 8 εκατοστών, έτσι ώστε να γίνουν δοκιμές τριαξονικής και μονοαξονικής φόρτισης και να μελετηθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού κατά μήκος της κολώνας.

## 4. ΤΥΠΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Δοκιμή Εισπίεσης

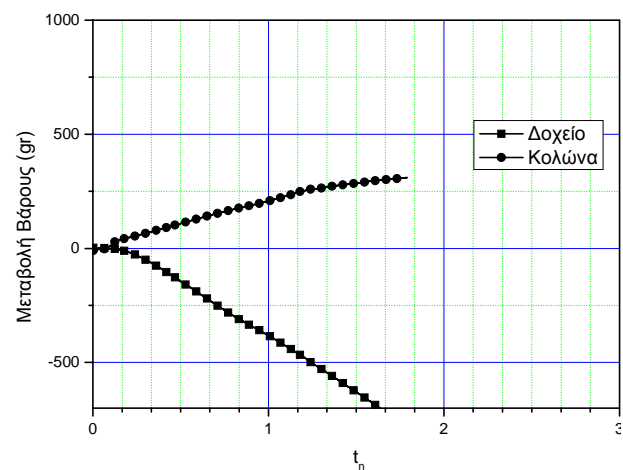
Στα Σχήματα 2 και 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τυπικής δοκιμής εισπίεσης σε άμμο της περιοχής Fontainebleau με ένεμα τσιμέντου Spinor A12, για την ίδια κολώνα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε σχέση με το σχετικό χρόνο  $t_h$  για τους 5 μετρητές πίεσης που βρίσκονται στην κολώνα (αριθμημένοι από 1 έως 5, ξεκινώντας από το κάτω μέρος της κολώνας), για το μετρητή πίεσης του εμβόλου πίεσης καθώς και για τη μεταβολή του

βάρους της κολώνας και του δοχείου με το εισπνεζόμενο ένεμα τσιμέντου. Ο σχετικός χρόνος αναφέρεται στον απαραίτητο χρόνο για να διαποτιστεί αρχικά η κολώνα από το ένεμα. Δηλαδή, η τιμή  $t_n=1$  αναφέρεται στη στιγμή που ολόκληρη η κολώνα διαποτίστηκε με τσιμέντο.



Σχήμα 2. Αποτελέσματα τυπικής δοκιμής εισπίεσης: μεταβολή πιέσεων  
Figure 2. Typical results of pressure variation.

Στο Σχήμα 2 παρατηρούμε ότι οι υψηλές τιμές πίεσης καταγράφονται στους μετρητές του εμβόλου πίεσης και στο σημείο εισαγωγής του ενέματος στην κολώνα (αρίθμηση σημείου, N° 0). Για  $t_n > 1$  οι συγκεκριμένες τιμές εξακολουθούν να αυξάνονται, γεγονός που φανερώνει ότι δεν έχει φτάσει η στιγμή όπου η ροή του τσιμέντου είναι συνεχής.



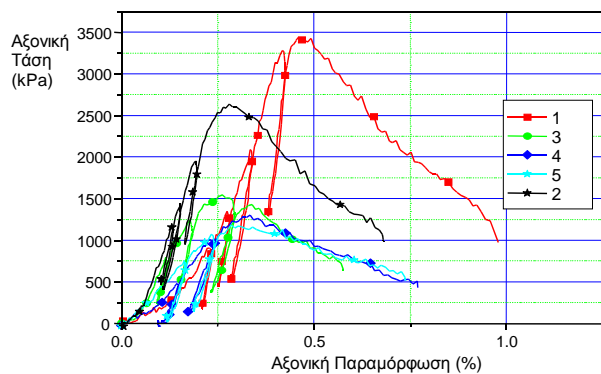
Σχήμα 3. Αποτελέσματα τυπικής δοκιμής εισπίεσης: μεταβολή του βάρους  
Figure 3. Typical results of weight variation.

Στο Σχήμα 3 παρατηρείται ότι μέχρι το χρόνο  $t_n=1$  το ένεμα τσιμέντου διοχετεύεται σταδιακά στην κολώνα αντικαθιστώντας το

νερό (σταθερή παροχή  $3 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ). Για  $t_n > 1$  το βάρος της κολώνας συνεχίζει να αυξάνει, γεγονός που υποδεικνύει ότι δεν έχουν καλυφθεί όλα τα κενά της άμμου από το λεπτόκοκκο τσιμέντο.

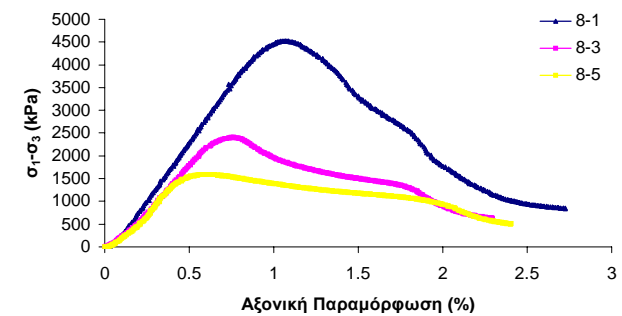
#### 4.2 Μηχανικά Χαρακτηριστικά του Βελτιωμένου Υλικού

Τα αποτελέσματα της δοκιμής μονοαξονικής και τριαξονικής φόρτισης παρουσιάζονται στα Σχήματα 4 και 5 αντίστοιχα.



Σχήμα 4. Αποτελέσματα μονοαξονικής φόρτισης  
Figure 4. Axial loading.

Η αρίθμηση αναφέρεται αρχικά στην κολώνα και στη συνέχεια στον αριθμό του δοκιμίου. Για παράδειγμα, 8-1 είναι το δοκίμιο 1 της κολώνας 8.



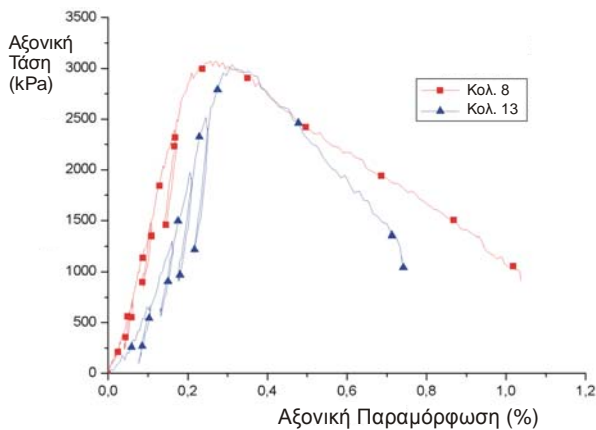
Σχήμα 5. Αποτελέσματα τριαξονικής φόρτισης ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ )  
Figure 5. Triaxial loading ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ ).

Γενικά, παρατηρείται τάση μείωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών όσο το δοκίμιο βρίσκεται πιο ψηλά στην κολώνα (σημεία 3, 4, 5), γεγονός που φανερώνει και υλικό λιγότερο πλούσιο σε τσιμέντο. Η συγκεκριμένη παρατήρηση υποδηλώνει ότι το σημείο της

κολώνας που είναι πιο πλούσιο σε τσιμέντο, και κατ' επέκταση παρουσιάζει καλύτερη μηχανική συμπεριφορά, βρίσκεται στο κατώτερο μέρος (σημεία 1, 2).

#### 4.3 Επανάληψη

Οι δοκιμές που έγιναν δεν έχουν πειραματική αξία αν δεν επαληθευτούν τουλάχιστον δύο φορές. Στη συνέχεια μπορούν να γίνουν έλεγχοι και συγκρίσεις. Ενδεικτικό παράδειγμα είναι το Σχήμα 6 (μονοαξονική φόρτιση του δοκιμίου 2 από τις κολώνες 8 και 13, με λόγο  $T/N=0,15$ ).



Σχήμα 6. Δοκιμή Επαλήθευσης  
Figure 6. Verification test.

### 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

#### 5.1 Σύνθεση Δοκιμών

Ο Πίνακας 1 παραθέτει τα πειραματικά στοιχεία των δοκιμών που έγιναν σε συνάρτηση με το ποσοστό τσιμέντου προς νερό ( $T/N$ ) καθώς και τις φορτίσεις που ακολουθήθηκαν.

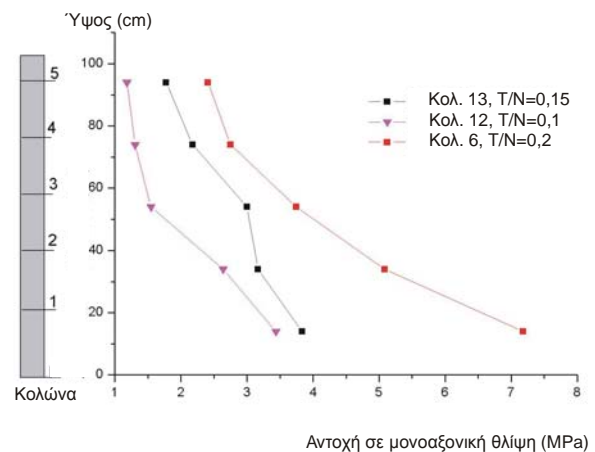
Πίνακας 1. Πειραματικά στοιχεία δοκιμών  
Table 1. Experimental data.

Όνομα Δοκιμής	T/N	Φόρτιση
6	0,2	Μονοαξονική
8	0,15	Τριαξονική ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ )
9	0,15	Τριαξονική ( $\sigma_3=200\text{kPa}$ )
10	0,1	Τριαξονική ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ )
11	0,1	Τριαξονική ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ )
12	0,1	Μονοαξονική
13	0,15	Μονοαξονική
14	0,2	Τριαξονική ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ )
15	0,2	-
16	0,1	-
17	0,1	-

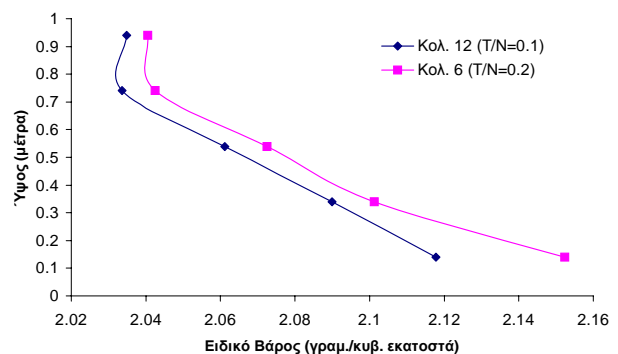
Οι τριαξονικές δοκιμές φόρτισης έγιναν στην κολώνα 14 και στα δοκίμια 1, 3, 5 από τις κολώνες 8, 9, 10, 11. Στα δοκίμια 2 και 4 από την τελευταία σειρά κολώνων που αναφέρθηκε, έγιναν μονοαξονικές φορτίσεις καθώς και σε όλα τα δοκίμια από τις κολώνες 6, 12, 13.

#### 5.2 Μονοαξονική Δοκιμή Φόρτισης

Το Σχήμα 7 τονίζει ότι όσο πιο υψηλό είναι το ποσοστό ( $T/N$ ) τόσο τα μηχανικά χαρακτηριστικά των δοκιμών είναι βελτιωμένα, παρατήρηση η οποία επαληθεύεται και από το Σχήμα 8, όπου συγκρίνεται η εξέλιξη του υγρού ειδικού βάρους σε συνάρτηση με το ύψος για τις κολώνες 6 και 12.



Σχήμα 7. Σύγκριση της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με το λόγο  $T/N$   
Figure 7. Comparison of compressive strength for different ratios ( $C/W$ ) in axial loading.



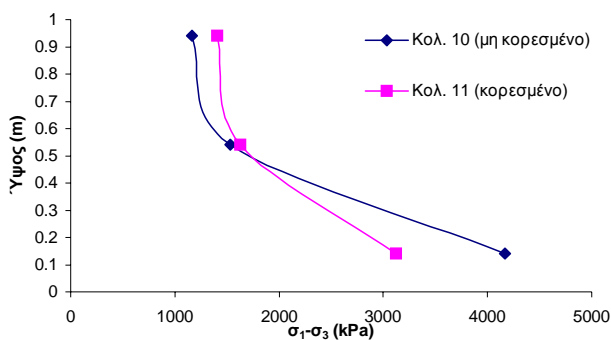
Σχήμα 8. Μεταβολή του ειδικού βάρους κατά μήκος της κολώνας  
Figure 8. Variation in unit weight.

Είναι φανερό ότι για λόγους ( $T/N$ ) ίσους με 0,1 και 0,2 οι διαφορές των μηχανικών

χαρακτηριστικών στο κατώτερο σημείο από τις κολώνες είναι πιο μεγάλες απ' ότι στο υψηλότερο.

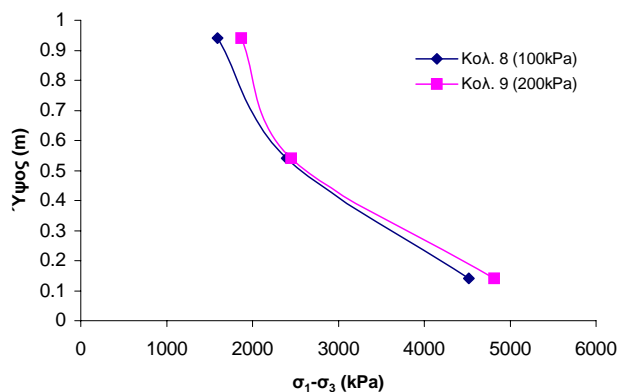
### 5.3 Τριαξονική Δοκιμή Φόρτισης

Η σύγκριση κορεσμένων με μη κορεσμένων δοκιμών γίνεται στο Σχήμα 9. Η θραύση των κορεσμένων δοκιμών, για ίδιο λόγο (T/N), γίνεται σε μικρότερες τιμές τάσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην πιθανή ύπαρξη-δημιουργία κενών μέσα στα δοκίμια μετά την ένεση ενέματος και έτσι ο αρχικός κορεσμός τους να μειώνει τις μηχανικές ιδιότητές τους.



Σχήμα 9. Σύγκριση κορεσμένων-μη κορεσμένων δοκιμών ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ ,  $T/N=0,1$ )  
Figure 9. Comparison of saturated-unsaturated specimens ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ ,  $C/W=0,1$ ).

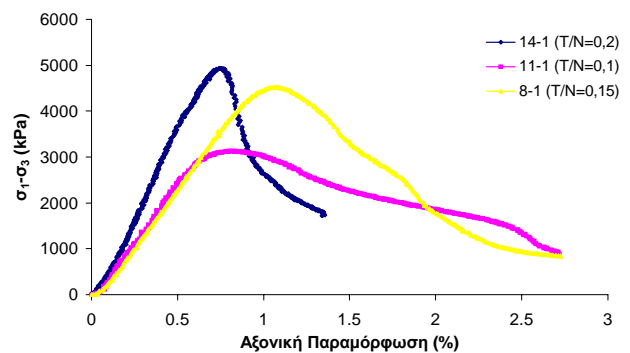
Η σύγκριση, υπό στραγγιζόμενες συνθήκες, άμμου της περιοχής του Fontainebleau προ και μετά τη βελτίωση οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η φάση της συμπίεσης είναι μειωμένη στην άμμο όπου έχει εισπιαστεί το ένεμα και έτσι η διόγκωση εμφανίζεται νωρίτερα απ' ότι στην άμμο που δεν έχει βελτιωθεί (Tailliez, 1998).



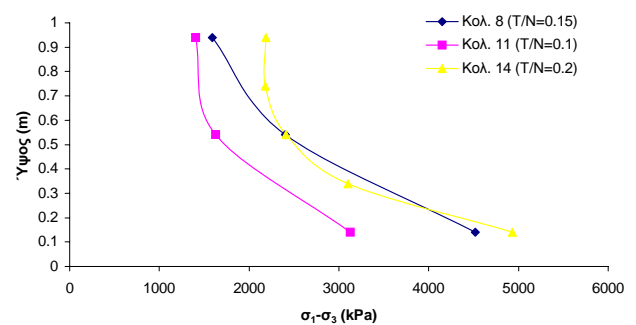
Σχήμα 10. Επιρροή της πίεσης της κυψέλης  
Figure 10. Influence of cell pressure.

Η πίεση της κυψέλης παίζει σημαντικό ρόλο κατά την εισπίεση τσιμέντου στις άμμους. Το Σχήμα 10 φανερώνει ότι όσο πιο μεγάλη είναι η συγκεκριμένη πίεση, τόσο βελτιώνονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά. Προφανώς, εάν υπήρχαν δεδομένα και για μεγαλύτερες πιέσεις, για παράδειγμα 400 kPa, ίσως υπήρχε καλύτερη κατανόηση του φαινομένου.

Στις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, μεταβάλλαμε το λόγο (T/N). Παρατηρήθηκε λοιπόν, (βλ. Σχήματα 11 και 12), ότι όσο πιο μεγάλος είναι ο συγκεκριμένος λόγος, τόσο η βελτιωμένη άμμος συμπεριφέρεται καλύτερα.

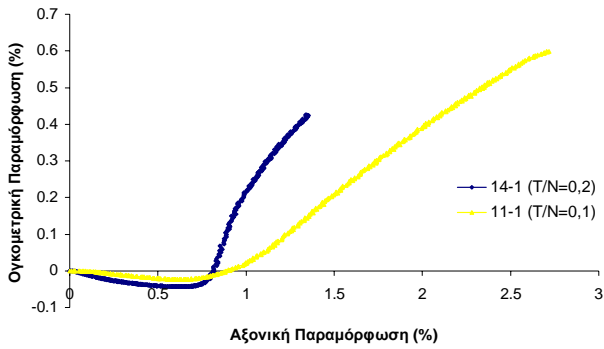


Σχήμα 11. Επιρροή του λόγου T/N στο δοκίμιο 1 ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ )  
Figure 11. Influence of the ratio (C/W) in specimen 1 ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ ).



Σχήμα 12. Επιρροή του λόγου T/N ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ )  
Figure 12. Influence of the ratio (C/W) ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ ).

Από το Σχήμα 13 φαίνεται να προκύπτει ότι όσο ο λόγος (T/N) είναι μεγαλύτερος, τόσο το υλικό είναι πιο συμπίεστο και διογκώνεται λιγότερο, γεγονός που συμβαδίζει με την παρατήρηση της Tailliez (1998), για τις άμμους προ και μετά τη βελτίωση. Η έλλειψη όμως περισσότερων δεδομένων, αποτρέπει περαιτέρω συγκρίσεις.



Σχήμα 13. Επιρροή του λόγου T/N στην ογκομετρική παραμόρφωση ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ )  
Figure 13. Influence of the ratio (C/W) in volume deformation ( $\sigma_3=100\text{kPa}$ ).

#### 5.4 Σύνθεση Δοκιμών και Σύγκριση με το Κριτήριο Αστοχίας Mohr-Coulomb

Το κριτήριο αστοχίας που χρησιμοποιείται είναι Mohr-Coulomb της μορφής:

$$\tau = \sigma \cdot \tan \phi + c \quad (2)$$

όπου ( $\tau$ ) η αντοχή σε διάτμηση του εδάφους, ( $\sigma$ ) η ορθή τάση, ( $\phi$ ) η γωνία εσωτερικής τριβής και ( $c$ ) η συνοχή.

Ο Πίνακας 2 παραθέτει τον υπολογισμό της συνοχής και της γωνίας εσωτερικής τριβής.

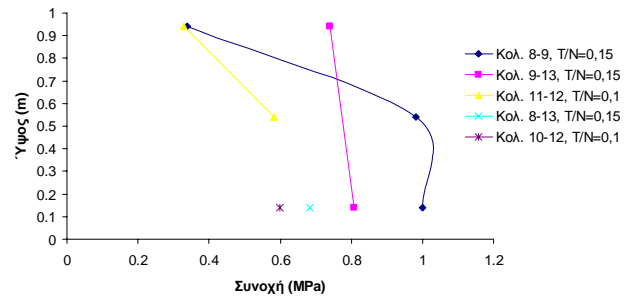
ΔΟΚΙΜΙΑ	T/N	c (MPa)	$\phi$
Άμμος προ βελτίωσης	0	0	39
8-1 και 9-1	0.15	1	32
8-3 και 9-3	0.15	0.98	10.52
8-5 και 9-5	0.15	0.33	35.5
9-1 και 13-1	0.15	0.81	44.17
9-5 και 13-5	0.15	0.74	10.48
8-1 και 13-1	0.15	0.68	50.81
10-1 και 12-1	0.1	0.59	51.62
11-3 και 12-3	0.1	0.58	16
11-5 και 12-5	0.1	0.31	31

Πίνακας 2. Υπολογισμός συνοχής και γωνίας εσωτερικής τριβής

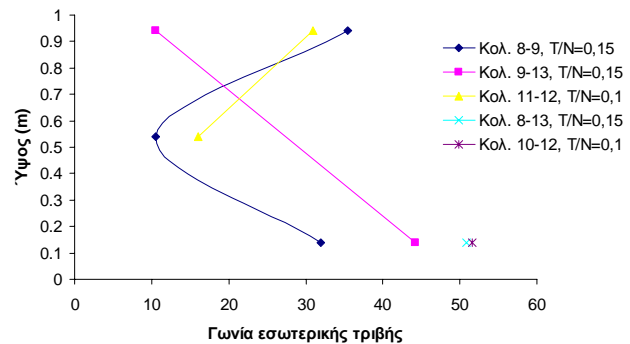
Table 2. Cohesion and angle of internal friction calculation.

Τα Σχήματα 14 και 15 παρουσιάζουν την εξέλιξη της συνοχής και της γωνίας εσωτερικής τριβής κατά μήκος της κολώνας για διαφορετικούς λόγους (T/N). Είναι φανερό ότι δεν μπορούμε να σχηματίσουμε ακριβή εικόνα, διότι ο αριθμός των δοκιμών δεν είναι

ικανοποιητικός ενώ η μεταβολή της πίεσης της κυψέλης είναι πολύ μικρή.



Σχήμα 14. Μεταβολή της συνοχής κατά μήκος της κολώνας για διαφορετικούς λόγους T/N  
Figure 14. Variation in cohesion for different ratios of (C/W).



Σχήμα 15. Μεταβολή της γωνίας εσωτερικής τριβής κατά μήκος της κολώνας για διαφορετικούς λόγους T/N  
Figure 15. Variation in angle of internal friction for different ratios of (C/W).

Επίσης, οι δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης δεν δίνουν τόσο αξιόπιστα αποτελέσματα. Συνεπώς, εάν είχαμε περισσότερες τριαξονικές δοκιμές φόρτισης, με μεγαλύτερη πίεση κυψέλης, για παράδειγμα 400 kPa, ίσως να είχαμε πιο ακριβή αποτελέσματα.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη της εισπίεσης λεπτόκοκκου τσιμέντου με διαφορετικούς λόγους (T/N) σε κολώνες άμμου της περιοχής Fontainebleau, μας επέτρεψε να παρατηρήσουμε την επιρροή της συγκεκριμένης παραμέτρου στη μηχανική συμπεριφορά της κολώνας. Η μέτρηση της ασκούμενης πίεσης σε διαφορετικά σημεία της κολώνας καθώς και η μέτρηση της μεταβολής του βάρους της, κατά τη διάρκεια της εισπίεσης τσιμέντου, επέτρεψε την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου. Παρατηρήθηκε λοιπόν σαφής τάση μείωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών

της κολώνας στα υψηλότερα σημεία της, γεγονός που οφείλεται στη μείωση του ποσοστού του τσιμέντου (Andreou, 2004). Ένα ακόμα σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι τα μηχανικά χαρακτηριστικά βελτιώνονται με την αύξηση του λόγου (T/N). Επίσης, πολλές δοκιμές έγιναν με την ίδια πίεση κυψέλης, συνεπώς δεν ήταν εφικτό να εξαχθούν ακριβή συμπεράσματα για τη συνοχή και τη γωνία εσωτερικής τριβής του βελτιωμένου υλικού.

## 7. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζονται προς το προσωπικό του εργαστηρίου Cermes της École Nationale des Ponts et Chaussées, για τη βοήθειά, τις εύστοχες παρατηρήσεις τους αλλά και τη διαρκή επίβλεψη-συντονισμό κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του πειραματικού σκέλους της παρούσας εργασίας.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AFTES (1998), "Recommandation relative à l'emploi des injections pour la réhabilitation d'ouvrages souterrains visitables". N° 146 mars/avril 1998.

Andreou, S. P., (2004), "Étude des mécanismes d'injection d'un coulis de ciment dans un sable". MSc. Stage D.E.A., M.S.O.E., France. 78 pages.

Cambefort, H. (1967), "Injection des sols, Tome 1, Principes et méthodes". France, Editions Eyrolles, 394 pages.

Dupla, J.C., Canou, J., Gouvenot, D., 2001, "Mechanical properties of reference sands injected by cement grout". Proc. 15th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnique, Istanbul, vol. 3, pp. 1727-1730.

Dupla, J.C., Canou, J., Gouvenot, D., 2004, "An advanced experimental set-up for studying monodirectional grout injection process". Ground Improvement, vol. 7, n° 1, pp. 1-9.

Taillez, S. (1998), "Étude expérimentale du comportement mécanique des sols granulaires injectés". Ph.D. Ecole Centrale Paris, France.