

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ



Εργαστηριακή και Συγκριτική Μελέτη Υλικών με Δομή

Διπλωματική Εργασία

Κωνσταντινίδης Μίνως, 011-06-749

Αθήνα, Ιούλιος 2012

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	ix
Abstract	xi
Ευχαριστίες	xiii
Εισαγωγή	xiv
Μέρος Α'	
1 Η Άργιλος.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Σύσταση και Χαρακτηριστικά.....	2
1.3 Η Επιρροή του Νερού στη Συμπεριφορά των Συνεκτικών Εδαφών	4
1.4 Παραμόρφωση.....	6
1.5 Ιδιότητες και Βελτίωση	9
2 Εδαφικά Υλικά με Δομή	12
2.1 Εισαγωγή.....	12
2.2 Φυσικά Υλικά	15
2.2.1 Σχηματισμός	15
2.2.2 Χαρακτηριστικά, Ιδιότητες, Συμπεριφορά Μάργας.....	19
2.3 Τεχνητά Υλικά.....	24
2.3.1 Σχηματισμός	24
2.3.2 Χαρακτηριστικά, Ιδιότητες, Συμπεριφορά	28
2.4 Αναζυμωμένα (Reconstituted) Υλικά.....	36
3 Σταθεροποίηση Εδαφών με Χρήση Προσμίκτων	39
3.1 Εισαγωγή.....	39
3.2 Ο Μηχανισμός Σταθεροποίησης, η Άσβεστος, το Τσιμέντο, και η Ιπτάμενη Τέφρα	40
4 Η Ιπτάμενη Τέφρα.....	43
4.1 Εισαγωγή.....	43
4.2 Σχηματισμός και Σύσταση.....	43
4.3 Ταξινόμηση και Ιδιότητες.....	44
4.4 Τρόποι Αξιοποίησης.....	45

Μέρος Β'	
5	Ανασκόπηση Προηγούμενης Έρευνας 48
6	Υλικά..... 51
6.1	Η Άργιλος Αγίου Στεφάνου 51
6.2	Η Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας..... 52
7	Παράμετροι Διερεύνησης 53
7.1	Ποσοστά Τέφρας..... 53
7.2	Ποσοστά Νερού 54
7.3	Χρόνος Ωρίμανσης 54
7.4	Συμπύκνωση Υλικών 55
7.5	Εξεταζόμενα Χαρακτηριστικά 57
8	Διεξαχθείσες Δοκιμές..... 63
8.1	Συμπύκνωση Δοκιμών με Χρήση Κυψέλης Proctor 63
8.1.1	Σκοπός 63
8.1.2	Εργαστηριακός Εξοπλισμός..... 63
8.1.3	Πειραματική Διαδικασία 63
8.2	Προσδιορισμός Ορίων Atterberg..... 65
8.2.1	Όριο Πλαστικότητας..... 65
8.2.1.1	Εργαστηριακός Εξοπλισμός 65
8.2.1.2	Πειραματική Διαδικασία..... 65
8.2.2	Όριο Υδαρότητας..... 65
8.2.2.1	Εργαστηριακός Εξοπλισμός 65
8.2.2.2	Πειραματική Διαδικασία..... 66
8.3	Δοκιμή Μονοδιάστατης Στερεοποίησης..... 67
8.3.1	Στερεοποίηση των Εδαφών..... 67
8.3.2	Βασικές Αρχές του Φαινομένου 67
8.3.3	Το Μηχανικό Ανάλογο..... 68
8.3.4	Η Μαθηματική Προσέγγιση 69
8.3.5	Οι Φάσεις της Στερεοποίησης..... 73
8.3.6	Σκοπός 75
8.3.7	Βασικές Αρχές της Δοκιμής 75

8.3.8	Περιορισμοί.....	76
8.3.9	Πλεονεκτήματα.....	76
8.3.10	Εργαστηριακός Εξοπλισμός.....	77
8.3.11	Πειραματική Διαδικασία.....	78
8.4	Τριαξονικές Δοκιμές.....	82
8.4.1	Σκοπός.....	82
8.4.2	Βασικές Αρχές, Είδη Τριαξονικών Δοκιμών και Μορφές Αστοχίας.....	82
8.4.3	Πλεονεκτήματα.....	84
8.4.4	Περιορισμοί.....	84
8.4.5	Εργαστηριακός Εξοπλισμός.....	84
8.4.6	Πειραματική Διαδικασία.....	85
8.5	Στην πράξη.....	87
8.6	Σύνοψη.....	88
Μέρος Γ'		
9	Φυσικά Χαρακτηριστικά.....	90
9.1	Κατά Αναλογία Ανάμιξης.....	90
9.1.1	ΑΑΣ-80-00.....	91
9.1.2	ΑΑΣ-82-04.....	92
9.1.3	ΑΑΣ-85-06.....	94
9.1.4	ΑΑΣ-90-10.....	96
9.1.5	ΑΑΣ-115-25.....	97
9.2	Κατά Χρόνο Ωρίμανσης.....	99
9.2.1	Αμέσως μετά την Ανάμιξη.....	100
9.2.2	Ωρίμανση 14 Ημερών.....	101
9.2.3	Ωρίμανση 1 Μήνα.....	103
9.2.4	Ωρίμανση 2 Μηνών.....	104
9.2.5	Ωρίμανση 3 Μηνών.....	105
9.2.6	Ωρίμανση 4 Μηνών.....	106
9.3	Συμπεράσματα.....	107
10	Δοκιμή Μονοδιάστατης Στερεοποίησης.....	109
10.1	Κατά Αναλογία Ανάμιξης.....	109

10.1.1	ΑΑΣ-80-00.....	110
10.1.2	ΑΑΣ-82-04.....	112
10.1.3	ΑΑΣ-85-06.....	117
10.1.4	ΑΑΣ-90-10.....	122
10.1.5	ΑΑΣ-115-25.....	127
10.2	Κατά Χρόνο Ωρίμανσης.....	130
10.2.1	Αμέσως μετά την Ανάμιξη.....	130
10.2.2	Ωρίμανση 1 Μήνα.....	136
10.2.3	Ωρίμανση 2 Μηνών.....	141
10.2.4	Ωρίμανση 3 Μηνών.....	146
10.2.5	Ωρίμανση 4 Μηνών.....	151
10.3	Αναζυμωμένα Υλικά.....	153
10.4	Συμπεράσματα.....	161
11	Τριαξονική Δοκιμή UC-Χωρίς Στράγγιση, Χωρίς Στερεοποίηση, Ανεμπόδιστης Θλίψης.....	164
11.1	Κατά Αναλογία Ανάμιξης.....	165
11.1.1	ΑΑΣ-82-04.....	165
11.1.2	ΑΑΣ-85-06.....	166
11.1.3	ΑΑΣ-90-10.....	167
11.1.4	ΑΑΣ-115-25.....	168
11.2	Κατά Χρόνο Ωρίμανσης.....	170
11.2.1	Ωρίμανση 1 Μήνα.....	170
11.2.2	Ωρίμανση 2 Μηνών.....	171
11.2.3	Ωρίμανση 3 Μηνών.....	172
11.3	Συμπεράσματα.....	173
12	Σύγκριση Αποτελεσμάτων της Παρούσας Εργασίας με Αποτελέσματα Ερευνών της Βιβλιογραφίας.....	176
12.1	Σύγκριση με Φυσικά Υλικά.....	176
12.1.1	Μάργα Καστέλας Κροατίας.....	177
12.1.2	Άργιλος Leda Καναδά.....	178
12.1.3	Διάφορες Άργιλοι με Δομή.....	180
12.1.4	Διάφορες Άργιλοι με Δομή, Αναζυμωμένες.....	182

12.1.5	Συμπεράσματα	185
12.2	Σύγκριση με Τεχνητά Υλικά	185
12.2.1	Άργιλος του Tokyo Bay Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο	186
12.2.2	Άργιλος Καολίνη Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο	188
12.2.3	Άργιλος της Bangkok της Ταϊλάνδης Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο...	190
12.2.4	Θαλάσσια Άργιλος της Σιγκαπούρης Σταθεροποιημένη με Διάφορα Πρόσμικτα	194
12.2.5	Θαλάσσια Μαλακή Άργιλος της Μαλαισίας Σταθεροποιημένη με σιμέντο	199
12.2.6	Άργιλος Ariake της Ιαπωνίας Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο	201
12.2.7	Μάργα του Karak της Ιορδανίας Σταθεροποιημένη με Τέφρα.....	203
12.2.8	Άργιλος Ariake της Ιαπωνίας Σταθεροποιημένη με Διάφορα Πρόσμικτα	206
12.2.9	Άργιλος Ariake της Ιαπωνίας Σταθεροποιημένη με Διάφορα Πρόσμικτα	211
12.2.10	Άργιλος Βαγδάτης και Άργιλος Basra του Ιράκ Σταθεροποιημένες με Τσιμέντο	216
12.2.11	Άργιλος Ταϊλάνδης Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο	221
12.2.12	Μάργα Σαουδικής Αραβίας Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο και Άσβεστο.....	224
12.2.13	Συμπεράσματα	225
12.3	Άργιλος Νοτίου Πεδίου (47).....	226
12.3.1	Βασικά Χαρακτηριστικά	227
12.3.2	Κατά Αναλογία Ανάμιξης.....	228
12.3.2.1	Καθαρά Αργιλικά Υλικά.....	228
12.3.2.2	ΝΠ-60-05, ΑΑΣ-82-04, ΑΑΣ-85-06.....	229
12.3.2.3	ΝΠ-60-10, ΝΠ-65-15, ΑΑΣ-90-10.....	234
12.3.3	Κατά Χρόνο Ωρίμανσης	239
12.3.3.1	Αμέσως Μετά την Ανάμιξη	239
12.3.3.2	Ωρίμανση 1 Μήνα.....	241
12.3.3.3	Ωρίμανση 2 Μηνών.....	245
12.3.3.4	Ωρίμανση 4 Μηνών.....	248
12.3.3.5	Ωρίμανση 6 Μηνών του ΑΑΣ-90-10 σε Σύγκριση με Ωρίμανση 8 Μηνών των μιγμάτων ΝΠ.....	251

12.3.4	Συμπεράσματα Σύγκρισης ΑΑΣ-ΝΠ	252
13	Γενικά Συμπεράσματα.....	254
13.1	Τα Μίγματα του Υλικού ΑΑΣ	254
13.2	Σύγκριση Μιγμάτων του Υλικού ΑΑΣ με Υλικά της Βιβλιογραφίας	256
13.3	Βαθμός Επίτευξης του Σκοπού και Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα....	257
14	Bibliography.....	258

Παράρτημα

Περίληψη

Παρ' ότι η εδαφομηχανική και η βραχομηχανική έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο στην αποτίμηση της συμπεριφοράς των εδαφικών και των βραχωδών υλικών αντίστοιχα, δεν ισχύει το ίδιο για τη συμπεριφορά των ενδιάμεσων υλικών, αυτών δηλαδή που έχουν μεν δομή, συνεπώς δεν μπορούν να θεωρηθούν εδαφικά, η δομή τους όμως είναι αρκετά χαλαρή ώστε να μην μπορούν να θεωρηθούν ούτε βραχώδη. Η έρευνα στρέφεται προς αυτά τα υλικά εξαιτίας της ολοένα αυξανόμενης σημασίας που αυτά αποκτούν, καθώς όλο και περισσότερα τεχνικά έργα είτε πραγματοποιούνται σε περιοχές τέτοιων φυσικών υλικών, όπως η μάργα, είτε χρησιμοποιούν πρόσμικτα για τη βελτίωση εδαφών με δυσμενή χαρακτηριστικά, όπως η πρόσμιξη τσιμέντου σε αργίλους.

Στην ερευνητική αυτή προσπάθεια συμμετέχει ενεργά το Εργαστήριο Θεμελιώσεων του Τομέα Γεωτεχνικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Στο πλαίσιο αυτό, σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν ο προσδιορισμός των κατάλληλων αναλογιών ανάμιξης εδαφικού υλικού με κατάλληλο πρόσμικτο, ώστε το μίγμα να προσομοιάζει ικανοποιητικά τη συμπεριφορά εδαφικού υλικού με δομή, με απώτερο σκοπό τη χρήση του στη διερεύνηση της συμπεριφοράς των υλικών με δομή. Παράλληλα, η ανάπτυξη της δομής του μίγματος έπρεπε να ολοκληρώνεται εντός έξι μηνών το περισσότερο, ώστε να μπορεί να παραχθεί σε ικανές ποσότητες γρήγορα για τις ανάγκες της έρευνας.

Η επιλογή των υλικών βασίστηκε σε διάφορους παράγοντες. Κατ' αρχάς, για την επιλογή του εδαφικού υλικού χρησιμοποιήθηκε ως βασικό κριτήριο η δυσμέμεια της μηχανικής του συμπεριφοράς. Έτσι, επιλέχθηκε η Άργιλος Αγίου Στεφάνου, υψηλής πλαστικότητας, που αποτελεί ίσως τη δυσμενέστερη περίπτωση υλικού από πλευράς μηχανικής συμπεριφοράς. Όσον αφορά την επιλογή του προσμίκτου, η επιλογή βασίστηκε τόσο στη συμβατότητα με την άργιλο, όσο σε μια σειρά από άλλους λόγους. Έτσι, επιλέχθηκε η Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας, τύπου C, η χρήση της οποίας (σαν πρόσμικτο) ταυτόχρονα παρουσιάζει σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά ωφέλη, ιδιαίτερα στη χώρα μας όπου η παραγωγή της είναι ιδιαίτερα υψηλή και έχει άλλο πλαίσιο εφαρμογής.

Για την επίτευξη του σκοπού εξετάστηκαν διάφορες αναλογίες ανάμιξης, με πρόσμιξη από 0% έως 25% ιπτάμενης τέφρας κατά βάρος του αργιλικού υλικού, με επαρκή ποσότητα νερού (περί το όριο υδαρότητας) ώστε να εξασφαλίζεται η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων, αλλά και η αναγκαία εργασιμότητα. Για κάθε αναλογία ανάμιξης διεξήχθησαν δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης, τριαξονικές δοκιμές UC (χωρίς στράγγιση, χωρίς στερεοποίηση, χωρίς πλευρικούς περιορισμούς), και προσδιορισμός των ορίων Atterberg, σε διάφορους χρόνους ωρίμανσης, ξεκινώντας αμέσως μετά την ανάμιξη, έως και 6 μήνες μετά. Τα μίγματα συμπίεστηκαν υπό τάση 300kPa ώστε να προσομοιαστούν συνθήκες πεδίου με ύψος 15m υπερκειμένων περίπου. Τα αποτελέσματα των δοκιμών κατόπιν συγκρίθηκαν με αντίστοιχα αποτελέσματα εδαφικών υλικών με δομή από τη βιβλιογραφία, τόσο φυσικών όσο και τεχνητών, καθώς επίσης και με τα αποτελέσματα ερευνητικού προγράμματος που διεξήχθη παλαιότερα στο Εργαστήριο με αντικείμενο την

ανάμιξη της ίδιας ιπτάμενης τέφρας με μια άργιλο χαμηλής πλαστικότητας, ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσον τα προϊόντα των αναμίξεων ικανοποιούν το σκοπό τους.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προκύπτει πως τα προϊόντα των αναμίξεων παρουσίασαν βελτιωμένη μηχανική συμπεριφορά σε σχέση με το αρχικό αργιλικό υλικό. Συγκεκριμένα, ως προς την μονοδιάστατη συμπίεση παρατηρείται ανάπτυξη συμπεριφοράς προφορτισμένου υλικού, με εμφάνιση μιας «φαινόμενης τάσης προφόρτισης». Η συμπίεστικότητα παρουσιάζεται αισθητά μειωμένη έως ότου η επιβαλλόμενη τάση υπερβεί τη φαινόμενη τάση προφόρτισης, οπότε και το υλικό τείνει προς την αρχική του συμπεριφορά. Παρατηρήθηκε επίσης αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής και μείωση του δείκτη πλαστικότητας. Η παραπάνω συμπεριφορά εντείνεται με την αύξηση του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας και του χρόνου ωρίμανσης. Επίσης, η βελτίωση φάνηκε να ολοκληρώνεται σε διάστημα μικρότερου των έξι μηνών για το μίγμα με 10% τέφρα.

Η συμπεριφορά αυτή ποιοτικά συνάδει απόλυτα με τη συμπεριφορά των υλικών της βιβλιογραφίας, τα οποία ωστόσο αποκλίνουν σημαντικά ως προς τα απόλυτα μεγέθη, από κάθε πλευρά. Από τη σύγκριση παρατηρείται η σημαντική επιρροή που έχει η σύσταση των υλικών ανάμιξης στους μηχανισμούς ανάπτυξης δομής, τόσο ως προς το ρυθμό τους όσο και ως προς τα χαρακτηριστικά της. Ωστόσο, για να αποκτηθεί μια πλήρης εικόνα της επιρροής της ιπτάμενης τέφρας στην άργιλο υψηλής πλαστικότητας απαιτείται να εξετασθούν περισσότερες αναλογίες μιγμάτων, κυρίως στην περιοχή του 10%-20% προσμίκτου, και να διεξαχθούν περισσότερα είδη δοκιμών.

Abstract

Although there has been significant progress in the evaluation of the behavior of soils and rocks through soil and rock mechanics, the same is not true for materials whose nature is between the two, as they do exhibit structure and thus cannot be classified as soils; however, that structure is not strong enough for them to be classified as rocks. Research has turned its attention to materials of this type, due to their constantly increasing importance, as more and more projects are carried out in areas where the ground mainly consists of natural materials of this kind, such as marl, while ground stabilization with admixtures, such as admixing cement with clay, is being used more and more widely as well.

The Foundation Engineering Laboratory of the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens participates actively in this research effort. In this context, the purpose of the present work was the determination of the appropriate mixing ratios of a soil material with an appropriate admixture, so that the resulting mixture adequately simulates the behavior of a structured material. Also, the mixture's structure development process had to be completed in no more than 6 months, so that it can be produced for research purposes timely and in the required quantities.

The materials that would be used were chosen based on various factors. The basic criterion used for the selection of the soil material was the severity of its behavior, thus a high-plasticity clay was used. High-plasticity clays exhibit perhaps the worst mechanical behavior of any soil type. As for the admixture, it was selected mainly based on its compatibility with clay, and on other reasons as well. Therefore, a class C fly ash was chosen, whose use (as an admixture) exhibits significant economic and environmental benefits additionally to its stabilizing properties.

Various mixing ratios were examined, ranging from 0% to 25% fly ash content (by weight), with an adequate water content (near the liquid limit) so as to achieve adequate workability. Each mixture was examined by performing one dimensional consolidation tests, triaxial UC tests (unconsolidated, undrained, unconfined), and determining its Atterberg limits and plasticity index at various curing times, starting immediately following the mixing process, up to 6 months later. The mixtures were compressed at an equivalent stress of 300kPa in order to simulate 15m of overlying material. The test results were subsequently compared to corresponding test results of structured materials found in the literature, including natural and man-made materials, and were also compared to the results of a research program conducted in the Foundation Engineering Laboratory in which the mixture of the same fly ash with a low-plasticity clay was examined. The purpose of these comparisons was to determine whether the mixtures accomplish their goal.

The results of the present work lead to the conclusion that the mixtures displayed improved mechanical behavior, compared to the pure clay soil. From the one-dimensional consolidation, the mixtures appear to develop an "apparent preconsolidation pressure." Compressibility is drastically reduced until the imposed load reaches the apparent preconsolidation pressure, after which the material reassumes its natural behavior. The

undrained shear strength of mixtures increased, and the plasticity index decreased. This behavior became more significant with increasing fly ash content and curing time. Also, the improvement seem to finish in less than 6 months for the mixture containing 10% fly ash.

The mixtures' behavior is consistent with the behavior of structured materials found in the literature; however, there is significant variation in the values of the examined characteristics. This variation seems to be due to the effect that the makeup of each material has on the properties of the mixture, especially on the structure-producing mechanisms, the extent of their effect, and their speed and total time of completion. But, in order to have a clear picture of the effect of fly ash admixed with high-plasticity clay, more tests should be carried out, and more mixtures in the range of 10%-20% fly ash content should be examined.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Μ. Ι. Καββαδά για την δυνατότητα που μου έδωσε αναθέτοντάς μου αυτή την εργασία να ασχοληθώ με θέματα που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω για τις συμβουλές του και για τη συνεχή βοήθεια που παρείχε κατά τη διάρκεια της εργασίας με τις εύστοχες επισημάνσεις και παρατηρήσεις του. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφιο διδάκτορα Ευθυμίου Σμαράγδα για τις ατελείωτες ώρες που αφιέρωσε επιβλέποντας όλα τα βήματα αυτής της εργασίας, καθώς επίσης και για την ουσιαστική και άμεση επίλυση όλων των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά την διάρκειά της. Η συμβολή της στην ολοκλήρωση της εργασίας υπήρξε περισσότερο από καθοριστική. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο του Εργαστηρίου Θεμελιώσεων του Τομέα Γεωτεχνικής της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., κ. Γ. Πυργιώτη, για την παραχώρηση του εργαστηριακού εξοπλισμού και την πολύτιμη βοήθεια και γνώσεις που μου προσέφερε στα θέματα των εργαστηριακών δοκιμών. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω την εκτίμησή μου ως προς την μεγάλη σημασία του Εργαστηρίου Θεμελιώσεων του Τομέα Γεωτεχνικής της Σχολής μας, στο οποίο διεξήχθησαν οι εργαστηριακές δοκιμές της παρούσας εργασίας.

Αθήνα, Ιούλιος, 2012

Εισαγωγή

Οι μαλακές άργιλοι μπορούν να γίνουν αιτία σημαντικών περιπλοκών κατά την κατασκευή ή λειτουργία ενός έργου, εξαιτίας της χαμηλής αντοχής τους και της μεγάλης συμπιεστότητάς τους. Επιπρόσθετα, λόγω της χαμηλής τους διαπερατότητας, η εξέλιξη του φαινομένου των καθιζήσεων είναι αρκετά αργή, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι κατασκευές για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την ολοκλήρωσή τους. Έτσι, προκύπτει η ανάγκη βελτίωσης της συμπεριφοράς αυτών των εδαφών. Ένας τρόπος επίτευξης αυτού του στόχου είναι μέσω της σταθεροποίησής τους με την ανάμιξή τους με υλικά που παρουσιάζουν υδραυλικές και ποζολανικές ιδιότητες. Τέτοια υλικά είναι το τσιμέντο, η άσβεστος, η ιπτάμενη τέφρα, κ. Τα συστατικά των προσκμίκτων αντιδρούν με τα συστατικά της άργιλου παρουσία νερού, και το μίγμα αναπτύσσει δομή με το χρόνο, που οδηγεί σε μεταβολή των φυσικών χαρακτηριστικών του και βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του.

Η βελτίωση των εδαφών έχει ευρεία εφαρμογή σε έργα, κυρίως μεγάλης κλίμακας, που θεμελιώνονται σε αργιλικά εδάφη, ιδίως όταν αυτά χαρακτηρίζονται ως μαλακά. Τέτοια έργα αποτελούν τα φράγματα, τα έργα οδοποιίας, οι κυματοθραύστες, οι γέφυρες, τα πολυώροφα κτίρια, τα βιομηχανικά κτήρια και αεροδρόμια, κ.α. Μάλιστα, σε περιπτώσεις όπου η ανοχή καθιζήσεων είναι μικρή και η πρόβλεψή τους κρίσιμη, όπως οι γέφυρες και τα φράγματα, η συμπεριφορά του εδάφους αποκτά μέγιστη σημασία, και η βελτίωσή τους αναδεικνύεται σε σημαντική παράμετρο του έργου.

Η χημική σύσταση των άργιλων είναι το χαρακτηριστικό που καθορίζει την συμπεριφορά τους. Το πλέον δυσμενές έδαφος θεμελίωσης αποτελεί η άργιλος υψηλής πλαστικότητας, ή άργιλος CH κατά τον Casagrande. Η υψηλή της πλαστικότητα οφείλεται στη χημική της σύσταση, και έχει ως αιτία την μεγάλη δυνατότητα προσρόφησης νερού, και ως αποτέλεσμα την μειούμενη διατμητική αντοχή, την αυξανόμενη συμπιεστότητα και τον αυξανόμενο χρόνο εξέλιξης της συμπίεσης με αυξανόμενο ποσοστό υγρασίας. Ωστόσο, οι άργιλοι μέσης και χαμηλής πλαστικότητας παρουσιάζουν τα ίδια προβλήματα, σε μικρότερη όμως ένταση. Όπως προαναφέρθηκε, τα προβλήματα αυτά μπορούν να αντιμετωπισθούν με την ανάμιξη της άργιλου με διάφορα βελτιωτικά πρόσμικτα.

Παράλληλα, η χημική σύσταση των άργιλων επηρεάζει καθοριστικά την απόκρισή τους στα βελτιωτικά πρόσμικτα. Οι διακυμάνσεις στη χημική σύσταση τόσο των άργιλων όσο και των βελτιωτικών προσμίκτων είναι σημαντικές, και η πολυπλοκότητα των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν κατά την ανάμιξη άργιλων με βελτιωτικά πρόσμικτα είναι μεγάλη. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές διερευνήσεις διαφόρων συνδυασμών άργιλου-προσμίκτου, τα οποία λέγονται και υλικά με δομή, εξαιτίας της δομής που αναπτύσσουν. Οι περισσότερες από αυτές τις διερευνήσεις αποτελούν μέρος μελετών συγκεκριμένων έργων, ή μελέτες συμπεριφοράς εδαφών συγκεκριμένων γεωγραφικών περιοχών όπου υπάρχουν ή σχεδιάζονται τεχνικά έργα. Αφορούν υλικά που αποκτούν δομή τόσο με τεχνητό, όσο και με φυσικό τρόπο, δηλαδή μέσω τεχνητής ανάμιξής τους, αλλά και μέσω διαμόρφωσης από φυσικά αίτια, σε γεωλογικό χρόνο. Ωστόσο, δεν έχει επιτευχθεί η διαμόρφωση ενός καθολικού θεωρητικού μοντέλου προσομοίωσης της συμπεριφοράς του

βελτιωμένου εδάφους. Έτσι, προκύπτει η ανάγκη περαιτέρω εργαστηριακής διερεύνησης του φαινομένου.

Από τα διαφορετικά πρόσμικτα, η ιπτάμενη τέφρα (IT) ξεχωρίζει, ειδικά δε για τη χώρα μας. Αυτό οφείλεται σε μια σειρά από αιτίες. Κατ' αρχάς, η IT αποτελεί κύριο παραπροϊόν της καύσης του λιγνίτη. Η παραγωγή IT των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα ανέρχεται σε περισσότερα από δώδεκα εκατομμύρια τόνους ετησίως, εκ των οποίων μόλις το 25% έως 30% αξιοποιείται, ενώ το υπόλοιπο 70% έως 75% όχι απλώς παραμένει αναξιοποίητο, αλλά η απόθεσή του δημιουργεί τόσο χωροταξικά (χώροι απόθεσης), όσο οικονομικά (κόστος μεταφοράς), αλλά και περιβαλλοντικά προβλήματα (τοξικότητα, περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων). Η αξιοποίηση της IT σαν υλικό σταθεροποίησης και βελτίωσης της αργίλου όχι μόνο απαλείφει τα παραπάνω προβλήματα, που επιπρόσθετα συνεπάγεται μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας, αλλά αντικαθιστά τη χρήση τσιμέντου, οδηγώντας σε εξοικονόμηση ενέργειας, φυσικών, και οικονομικών πόρων που απαιτούνταν για την παραγωγή τσιμέντου, ενώ οδηγεί σε παρόμοια με το τσιμέντο χρήσιμα αποτελέσματα στη βελτίωση εδαφών.

Στο μεταξύ, ενώ κατά τη διάρκεια της ιστορίας έχουν γίνει εκτενέστερες προσπάθειες με σκοπό την περιγραφή της συμπεριφοράς αμιγώς βραχοδών ή εδαφικών υλικών και έχει σημειωθεί σημαντικότερη πρόοδος προς την κατεύθυνση αυτή, δεν υφίσταται ακριβής μέθοδος προσομοίωσης και ανάλυσης των υλικών τα οποία εμπίπτουν ενδιάμεσα στις δύο αυτές κατηγορίες, όσον αφορά τη δομή, δηλαδή σε υλικά τα οποία δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ούτε βραχώδη, ούτε εδαφικά. Μέχρι σήμερα, για την κατανόηση και προσομοίωση της συμπεριφοράς αυτών των υλικών χρησιμοποιούνται οι μεθοδολογίες που αφορούν τους βράχους και τα εδάφη, μετά από ειδική προσαρμογή. Τις τελευταίες δεκαετίες, όμως, μέρος της έρευνας έχει στραφεί στην κατανόηση και αποτίμηση της συμπεριφοράς αυτών των υλικών.

Το Εργαστήριο Θεμελιώσεων του Τομέα Γεωτεχνικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου συμμετέχει σ' αυτήν την ερευνητική προσπάθεια, με σκοπό να συμβάλλει στη διαμόρφωση θεωρητικών μεθόδων προσομοίωσης της συμπεριφοράς των εδαφών με δομή. Η παρούσα εργασία εντάσσεται σ' αυτήν την προσπάθεια, και έχει ως σκοπό τη δημιουργία ενός υλικού με δομή το οποίο να προσομοιάζει τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των υπό μελέτη υλικών με δομή. Σκοπός είναι λοιπόν να δημιουργηθεί ένα υλικό με σαφώς ανεπτυγμένη δομή ώστε να μην εμπίπτει στον κλάδο της εδαφομηχανικής, το οποίο όμως να έχει δυσμενή μηχανικά χαρακτηριστικά ώστε να μην εμπίπτει ούτε στον κλάδο της βραχομηχανικής.

Με τα παραπάνω κατά νου, ως βάση για το μίγμα αναζητήθηκε ένα εδαφικό υλικό με δυσμενή χαρακτηριστικά. Όπως αναφέρθηκε, το εδαφικό υλικό με τα πλέον δυσμενή μηχανικά χαρακτηριστικά είναι η άργιλος υψηλής πλαστικότητας. Έτσι, επιλέχθηκε μια τέτοιου είδους άργιλος. Παράλληλα, εξετάστηκαν οι εναλλακτικοί τρόποι ανάπτυξης δομής σε ένα γεωυλικό ώστε να προσομοιάζεται η δομή των υπό μελέτη υλικών. Οι δράσεις ανάπτυξης δομής, όμως, έπρεπε να μπορούν να ολοκληρωθούν σε εύλογο χρονικό διάστημα,

καθώς το υλικό που θα παραχθεί από την παρούσα εργασία θα παραχθεί σε μεγάλες ποσότητες και, αφού αναπτύξει δομή, θα χρησιμοποιηθεί στο επόμενο στάδιο της έρευνας, συνεπώς ο χρόνος ωρίμανσης δεν μπορεί να ξεπερνά τους έξι μήνες. Ο περιορισμός του χρόνου απέκλεισε τους περισσότερους μηχανισμούς διαμόρφωσης δομής, οι οποίοι εξελίσσονται σε γεωλογικό χρόνο. Ο μοναδικός μηχανισμός που μπορούσε να δώσει αποτελέσματα σε ικανοποιητικό χρόνο ήταν αυτός της συγκόλλησης μέσω χημικών αντιδράσεων. Από τα διάφορα υλικά που έχουν ήδη αναφερθεί τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, επιλέχθηκε η ιπτάμενη τέφρα, για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η διερεύνηση της συμπεριφοράς ενός βελτιωμένου υλικού πραγματοποιείται μέσω του προσδιορισμού των μηχανικών του χαρακτηριστικών, και εξηγείται μέσω του προσδιορισμού των φυσικών του χαρακτηριστικών. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την παρούσα εργασία, εξετάζεται η ανάμιξη μιας αργίλου CH με IT. Τα χαρακτηριστικά του υλικού που εξετάζονται είναι το ποσοστό φυσικής υγρασίας, τα όρια Atterberg, η συμπίεστικότητα και η δυσκαμψία, και η αντοχή. Για τον προσδιορισμό των παραπάνω χαρακτηριστικών χρησιμοποιούνται ο προσδιορισμός υγρασίας, ο προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας με τη μέθοδο Casagrande, ο προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας με την μέθοδο στατικού πεντρομέτρου, ο προσδιορισμός των παραμέτρων μονοδιάστατης συμπίεσης (μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης, συντελεστής συμπίεστικότητας, δείκτης συμπίεστικότητας, συντελεστής μονοδιάστατης στερεοποίησης) με τη δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης ή οιδιμέτρου, και ο προσδιορισμός της αντοχής μέσω τριαξονικών δοκιμών χωρίς στράγγιση και χωρίς στερεοποίηση. Με βάση τα όσα προκύπτουν από τις παραπάνω δοκιμές και ελέγχους, εξάγονται αποτελέσματα που αφορούν την συμπεριφορά του βελτιωμένου υλικού, τόσο κατά την ανάπτυξη της δομής του, όσο και μετά την αποδόμησή του. Συγκεκριμένα, διερευνάται η τελική αναπτυσσόμενη αντοχή του, και ο χρόνος ανάπτυξης αυτής της αντοχής αυτής.

Τέλος, τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται με αποτελέσματα αντίστοιχων εργασιών που υπάρχουν στη βιβλιογραφία, και αφορούν παρόμοια ή διαφορετικά υλικά. Η σύγκριση περιλαμβάνει τόσο φυσικά, όσο και τεχνητά υλικά, η πλειονότητα των οποίων έχει ως βάση την άργιλο, και η δομή τους οφείλεται σε κάποιο πρόσμικτο. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο πρόσμικτο στα τεχνικά υλικά με δομή είναι το τσιμέντο. Όσον αφορά τα φυσικά υλικά, η δομή οφείλεται στα ασβεστιτικά στοιχεία του εκάστοτε υλικού, αλλά και στις διαδικασίες στις οποίες έχει υποβληθεί, με φυσικό τρόπο. Εκτενής σύγκριση γίνεται με τα αποτελέσματα παλαιότερης έρευνας του Εργαστηρίου, με αντικείμενο την ανάπτυξη δομής σε άργιλο χαμηλής πλαστικότητας, που προέρχεται από το Νότιο Πεδίο, με την πρόσμιξη Ιπτάμενης Τέφρας Πτολεμαΐδας (ακριβώς ίδιο υλικό που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία). Με τη σύγκριση αυτή, επιχειρείται να προσδιορισθούν οι ομοιότητες και οι διαφορές της συμπεριφοράς του εξεταζόμενου υλικού σε σχέση με τα συγκρινόμενα υλικά, και συνεπώς κατά πόσον αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως αντιπροσωπευτικό υλικό με δομή σε περαιτέρω ερευνητικές διαδικασίες.

Μέρος Α'

1 Η Άργιλος

1.1 Εισαγωγή

Η πολιτισμική και τεχνολογική άνθιση των τελευταίων δεκαετιών έχει οδηγήσει στην ανάγκη κατασκευής τεχνικών έργων μεγάλης και μικρής κλίμακας ανά τον πλανήτη, και η χώρα μας δεν αποτελεί εξαίρεση. Η αποτελεσματικότητα καθενός τέτοιου έργου, είτε πρόκειται περί αμιγώς γεωτεχνικού, είτε περί οποιουδήποτε άλλου είδους έργου, στηρίζεται—μεταξύ άλλων—σε δύο παραμέτρους που έχουν να κάνουν με το έδαφος: την επαρκή φέρουσα ικανότητά του, και την ανάπτυξη αποδεκτών καθιζήσεων, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του εκάστοτε έργου. Τόσο στην Ελλάδα όσο και σε πολλά άλλα μέρη του κόσμου, το έδαφος συχνά αποτελείται από αργιλικά υλικά.

Εξαιτίας των ιδιοτήτων τους, οι οποίες απορρέουν από τα ιδιαίτερα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους, τα αργιλικά υλικά μπορούν να παρουσιάσουν εξαιρετικά δυσμενή και σύνθετα προβλήματα στην κατασκευή των τεχνικών έργων. Η μεγάλη εξάρτησή τους από τη σύστασή τους, τη διαδικασία δημιουργίας τους, τις φορτίσεις που έχουν υποστεί στο παρελθόν, αλλά και την υγρασία τους σε σχέση με τη δυνατότητα προσρόφησης νερού, οδηγεί σε δυσκολία πρόβλεψης της συμπεριφορά τους, η οποία κυμαίνεται από ψαθυρή υψηλών αντοχών έως πλαστική χαμηλών αντοχών, και μπορεί να προσεγγιστεί μόνο μετά από ειδική διερεύνηση. Συχνά, η παρουσία αργίλων συνεπάγεται προβλήματα τόσο φέρουσας ικανότητας όσο και καθιζήσεων, διαφορικών και μη, που απορρέουν απ' την υπό συνθήκες χαμηλή αντοχή τους και την υψηλή πλαστιμότητά τους.



Εικόνα 1.1: Προβλήματα καθιζήσεων



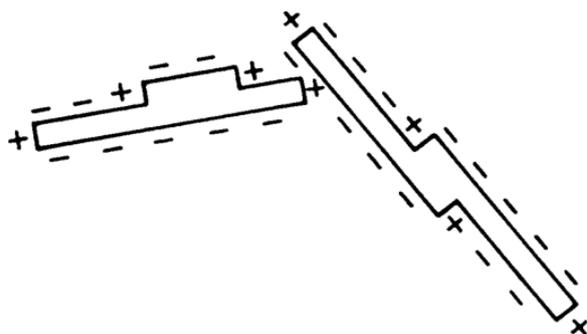
Εικόνα 1.2: Προβλήματα καθιζήσεων

Η ανάγκη της επίλυσης των παραπάνω προβλημάτων έχει οδηγήσει σε σημαντική πρόοδο όσον αφορά την προσπάθεια κατανόησης της συμπεριφοράς της αργίλου. Έχει μελετηθεί τόσο η διαδικασία της γέννησής της, όσο και η σύστασή της, αλλά και η επιρροή της από την παρουσία νερού και φορτίου. Από την μελέτη αυτή, έχουν προκύψει διάφοροι τρόποι αντιμετώπισης της ενδεχόμενης δυσμενούς συμπεριφοράς της, οι οποίοι συνεχώς εμπλουτίζονται και επικαιροποιούνται.

[1], [2]

1.2 Σύσταση και Χαρακτηριστικά

Οι άργιλοι είναι λεπτόκοκκα ιζηματογενή εδάφη. Πιο συγκεκριμένα, προέρχονται από τη χημική αποσάθρωση πετρωμάτων, κυρίως των πλαγιοκλάστων και των μαρμαρυγίων, την μεταφορά των προϊόντων της αποσάθρωσης από το νερό και τον αέρα και την απόθεση τους μακριά από την αρχική τους θέση. Αποτελούνται κυρίως από φύλλα υδροξειδίων του αργιλίου και του πυριτίου, αλλά και του μαγνησίου. Τα μόριά τους έχουν μέγεθος μικρότερο από 0.002 χιλιοστά. Οι κόκκοι τους είναι πεπλατυσμένοι και έχουν την μορφή πλακιδίων,



Σχήμα 1.1: Αλληλεπίδραση μεταξύ αργιλικών πλακιδίων

εξαιτίας της φυλλώδους δομής των πετρωμάτων προέλευσής τους. Το πάχος τους είναι της τάξης μεγέθους του μορίου τους, ενώ μπορεί να σημειωθεί λόγος μήκους προς πάχος έως και 1000. Αυτό το χαρακτηριστικό οφείλεται στη χημική τους σύσταση και στην μορφή των μορίων τους, και είναι το κύριο αίτιο της σημαντικής διαφοροποίησης της συμπεριφοράς τους από τα κοκκώδη εδάφη.

Αργιλοι	Ιλεις			Άμμοι			Χάλικες			Κροκάλες	
	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές		
	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60	200
	0.001		0.01		0.1		1		10		100

Διαστάσεις κόκκων (mm)

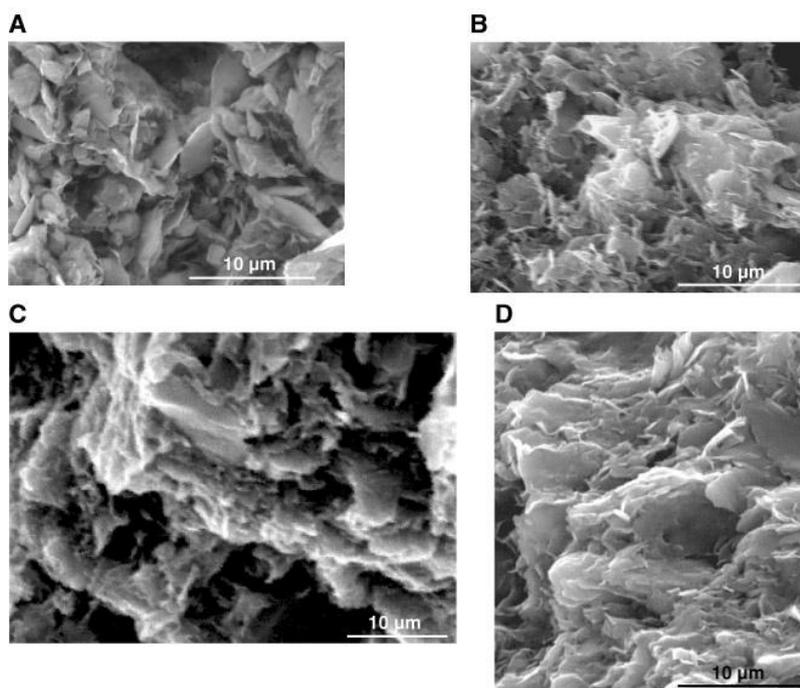
Σχήμα 1.2: Όρια μεγεθών κόκκων εδαφικών υλικών

Αργιλικό ορυκτό	πάχος t (μm)	Μήκος / πάχος
Καολινίτης	0.05 - 0.2	3 - 10
Ιλλίτης	0.02 - 0.2	10 - 100
Μοντμοριλλονίτης	0.001 - 0.01	100 - 1000

Σχήμα 1.3: Διαστάσεις πλακιδίων αργιλικών ορυκτών

Οι ιδιαίτερα μικρές διαστάσεις των κόκκων, σε συνδυασμό με την πλακοειδή μορφή τους, κάνουν τις δυνάμεις της βαρύτητας και της τριβής μεταξύ των κόκκων να περνούν σε δευτερεύοντα ρόλο όσον αφορά την αλληλεπίδραση μεταξύ των πλακιδίων, εξαιτίας της μικρής τους μάζας. Αντίθετα, πρωτεύοντα ρόλο αποκτούν οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις, που στα λεπτόκοκκα υλικά είναι αρκετές τάξεις μεγέθους ισχυρότερες από της βαρύτητας. Οι μεγάλες επιφάνειες των πλακιδίων φέρουν αρνητικά φορτία, ενώ οι επιφάνειες κατά τη διάσταση του πάχους των πλακιδίων φέρουν θετικά φορτία. Έτσι, η διάταξη των κόκκων του υλικού είναι αποτέλεσμα της ισορροπίας ανάμεσα στις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των πλακιδίων (τις μοριακές έλξεις Van der Waals), και της άπωσης λόγω αρνητικής φόρτισης.

Εξαιτίας των ηλεκτροστατικών αυτών δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ των αργιλικών πλακιδίων, τα λεπτόκοκκα εδάφη ονομάζονται και συνεκτικά.

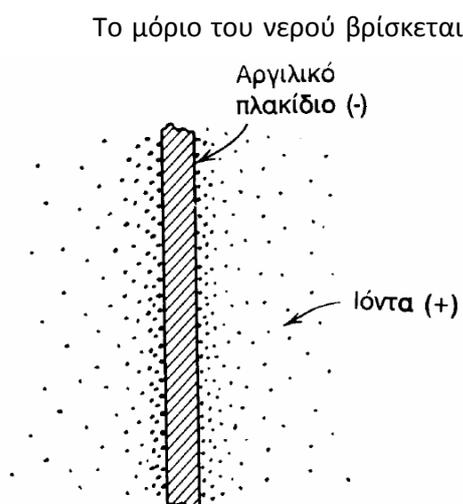


Εικόνα 1.3: Αργιλικά πλακίδια

Τα αργιλικά ορυκτά παρουσιάζουν μια σειρά από ιδιότητες που διαφοροποιούν τη συμπεριφορά τους από τα υπόλοιπα εδάφη, και συχνά καθιστούν την μηχανική τους συμπεριφορά δυσμενή και δυσπρόβλεπτη. Οι ιδιότητες αυτές είναι άμεση απόρροια της χημικής σύστασης και της φυσικής κατάστασης των αργιλικών ορυκτών. Οι ιδιότητες αυτές είναι η πλαστικότητα, δηλαδή η ικανότητα ενός υλικού να αποκτά μόνιμες παραμορφώσεις, η υδροαπορροφητικότητα, δηλαδή η απορρόφηση νερού για τη δημιουργία της διπλής στρώσης, η υδατοστεγανότητα, δηλαδή το γεγονός ότι οι άργιλοι έχουν εν γένει ιδιαίτερα χαμηλή περατότητα, η ανταλλαγή ιόντων, η διασπορά και η θρόμβωση, δηλαδή η δυνατότητα απομάκρυνσης των πλακιδίων ή σύνδεσής τους σε θρόμβους εξαιτίας ηλεκτροστατικών δυνάμεων και παρουσίας νερού, η θιξοτροπία, δηλαδή η δυνατότητα του υλικού να αποκτά υδαρή συμπεριφορά όταν του ασκείται δύναμη, και η συμπιεστότητα, δηλαδή η δυνατότητα μείωσης του όγκου ενός υλικού όταν αυτό πιέζεται.

[1], [3], [2], [4]

1.3 Η Επιρροή του Νερού στη Συμπεριφορά των Συνεκτικών Εδαφών



Σχήμα 1.4: Προσοφνημένα δίπολα νερού σε αργιλικό πλακίδιο

Το μόριο του νερού βρίσκεται σε μορφή διπόλου, με δύο ξεχωριστούς πόλους, έναν αρνητικά και έναν θετικά φορτισμένο. Έτσι, όταν τα αργιλικά πλακίδια έρχονται σε επαφή με μόρια νερού, τα τελευταία έλκονται προς τις ηλεκτρικά φορτισμένες πλευρές των πρώτων, και προσροφώνται σε αυτά. Έτσι, τα μόρια του νερού συνδέονται με τα αργιλικά πλακίδια με ισχυρούς δεσμούς (η ισχύς των οποίων φθίνει ραγδαία με την απόσταση), και δημιουργείται μία ζώνη νερού, η αποκαλούμενη «διπλή στρώση νερού», όπου το προσροφημένο νερό συμπεριφέρεται πολύ διαφορετικά από το ελεύθερο νερό. Αυτή η ιδιότητα της αργίλου επηρεάζει καθοριστικά την μηχανική της συμπεριφορά.

Μία εντελώς ξηρή άργιλος, όπου δεν υπάρχει διπλή στρώση νερού, με την αύξηση του ποσοστού υγρασίας, η συμπεριφορά του εδάφους προσομοιάζει αυτή των ρευστών.

Ένα συνεκτικό εδαφικό υλικό μπορεί να μεταπίπτει διαδοχικά στις ακόλουθες τέσσερις καταστάσεις με την αύξηση του ποσοστού υγρασίας του:

- **Εύθριπτο στερεό:** χαρακτηρίζεται από μεγάλη αντοχή, υψηλή δυσκαμψία και αστοχεί ψαθυρά. Το σύνολο του νερού των πόρων έχει αφαιρεθεί, δεν υπάρχει διπλή στρώση νερού, οι αποστάσεις μεταξύ των πλακιδίων γίνονται ελάχιστες, και οι μοριακές ελκτικές δυνάμεις μέγιστες και ισχυρότατες, τόσο που το υλικό χάνει τη δυνατότητα απορρόφησης νερού.
- **Ημιστερεό:** μεταβατική κατάσταση, όπου υπάρχει διπλή στρώση νερού με μικρό πάχος, όμως κυριαρχούν οι ελκτικές μοριακές δυνάμεις.
- **Πλάστιμο στερεό:** μπορεί να υφίσταται σημαντικές παραμορφώσεις χωρίς να υφίσταται θραύση. Το μέγεθος της διπλής στρώσης νερού είναι τέτοιο ώστε η ισορροπία των ελκτικών δυνάμεων και των δυνάμεων απώσεως των πλακιδίων να επιτρέπει τη σχετική κίνηση των πλακιδίων χωρίς αυτό να ρέει ανεξέλεγκτα.
- **Παχύρευστο υγρό:** δεν μπορεί να παραλάβει διατμητικές τάσης χωρίς συνεχιζόμενη παραμόρφωση. Το μέγεθος της διπλής στρώσης νερού αυξάνονται σε βαθμό που δεν υπάρχει επαφή μεταξύ των πλακιδίων, τα οποία κινούνται ελεύθερα.

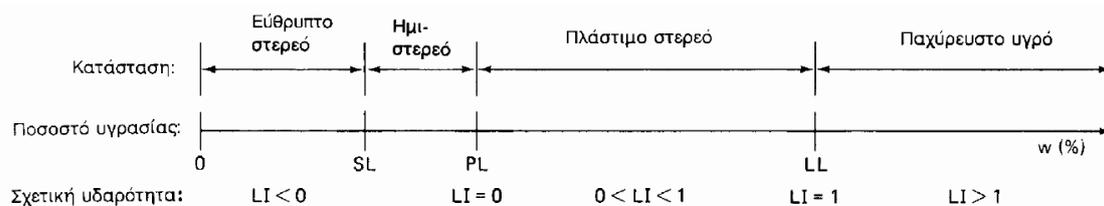


Εικόνα 1.4: Ξηρή κατάσταση



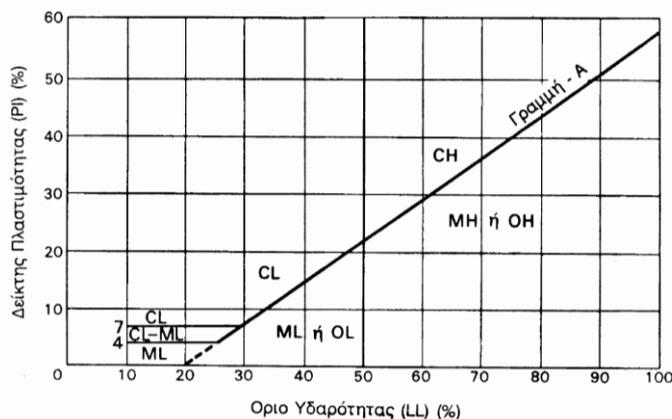
Εικόνα 1.5: Υδαρή κατάσταση

Η μετάπτωση από μία από τις παραπάνω καταστάσεις σε μια άλλη προκαλείται με την προσθήκη ή αφαίρεση νερού, όμως δεν υπάρχουν συγκεκριμένα διακριτά σημεία που να οριοθετούν ξεκάθαρα την μια κατάσταση από την επόμενη. Το ποσοστό υγρασίας αυτό καθαυτό δεν είναι αρκετό για την ένταξη ενός εδάφους σε μια από τις παραπάνω καταστάσεις, διότι κάθε έδαφος αλληλεπιδρά κι επηρεάζεται διαφορετικά από το νερό. Έτσι, στην προσπάθεια να οριοθετηθούν ποσοτικά οι καταστάσεις αυτές, δημιουργήθηκαν τα όρια Atterberg. Πρόκειται για αυθαίρετα όρια, εκφρασμένα ως ποσοστά υγρασίας, που καθορίστηκαν εμπειρικά και προσδιορίζονται από πρότυπες δοκιμές. Έτσι, η κατάσταση εύθριπτου στερεού από αυτήν του ημιστερεού οριοθετείται με το όριο συρρίκνωσης, αυτή του ημιστερεού από αυτήν του πλάστιμου στερεού με το όριο πλαστικότητας, και αυτή του πλάστιμου στερεού από του παχύρευστου υγρού με το όριο υδαρότητας. Το ποσοστό υγρασίας ενός υλικού συγκρίνεται με τα όρια Atterberg του υλικού αυτού, κι έτσι προσδιορίζεται η κατάσταση στην οποία εμπίπτει. Τα πλέον σημαντικά είναι το όριο πλαστικότητας και το όριο υδαρότητας.



Σχήμα 1.5: Όρια Atterberg

Επίσης, ορίζεται ο δείκτης πλαστικότητας ως η διαφορά του ορίου πλαστικότητας από το όριο υδαρότητας. Η σημασία του έγκειται στο ότι εκφράζει το εύρος της πλάστιμης περιοχής, δηλαδή το εύρος ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας στο οποίο το υλικό συμπεριφέρεται ως πλάστιμο στερεό.



Σχήμα 1.6: Χάρτης Casagrande

Με βάση τα όρια Atterberg, τα συνεκτικά εδάφη ταξινομούνται σε κατηγορίες με τη βοήθεια του «Χάρτη Πλαστικότητας του Casagrande». Πρόκειται για διάγραμμα που έχει ως άξονες το όριο υδαρότητας και τον δείκτη πλαστικότητας, και περιλαμβάνει δύο διαχωριστικές γραμμές: την γραμμή A, και την γραμμή του LL=50%. Όσα υλικά πέφτουν πάνω από την γραμμή A ονομάζονται άργιλοι, ενώ όσα πέφτουν κάτω από αυτήν ονομάζονται υλείς. Αυτά που πέφτουν δεξιά από την γραμμή 50% ονομάζονται υψηλής πλαστικότητας, ενώ αυτά που πέφτουν αριστερά της ονομάζονται χαμηλής πλαστικότητας.

[1], [2], [5]

1.4 Παραμόρφωση

Η παραμόρφωση ενός αργιλικού υλικού μπορεί να οφείλεται σε τρεις κύριους μηχανισμούς. Ο πρώτος είναι οι καμπτικές παραμορφώσεις των αργιλικών πλακιδίων, οι οποίες οφείλονται στον μεγάλο λόγο μήκους προς πάχος. Εξαιτίας, όμως, του μικρού τους μεγέθους, ο μηχανισμός αυτός είναι μικρής σημασίας. Άλλος μηχανισμός είναι η μεταβολή του πάχους των διπλών στρώσεων νερού. Υπό συνθήκες φόρτισης, οι διπλές στρώσεις συμπιέζονται μεταξύ τους και το πάχος τους μικραίνει. Η συμπίεση αυτή είναι γενικά αντιστρεπτή, και έχει ιδιαίτερη σημασία στην περίπτωση που η άργιλος βρίσκεται σε



Σχήμα 1.7: Διάταξη αργιλικών πλακιδίων

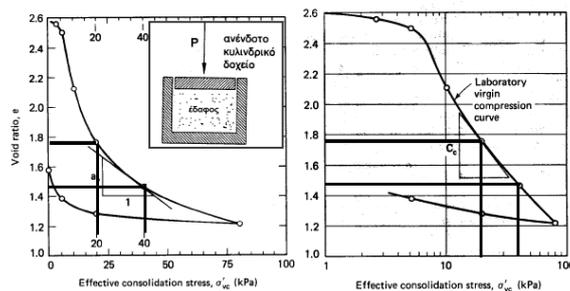
διαταγμένη δομή (σε αντίθεση με διαταραγμένη δομή). Ο τρίτος μηχανισμός είναι η σχετική ολίσθηση και αναδιάταξη των αργιλικών πλακιδίων, μέσω της επαφής και της διολίσθησης

των διπλών στρώσεων νερού. Ο μηχανισμός αυτός είναι μερικώς αντιστρεπτός, και αποκτά ιδιαίτερη σημασία στην περίπτωση αργίλου διαταραγμένης δομής, με συσσωματώματα και μακροκόκκους. Οι δύο τελευταίοι μηχανισμοί, στους οποίους οφείλεται και το μεγαλύτερο ποσοστό των παραμορφώσεων στα αργιλικά υλικά, μπορούν να ενεργοποιηθούν τόσο από

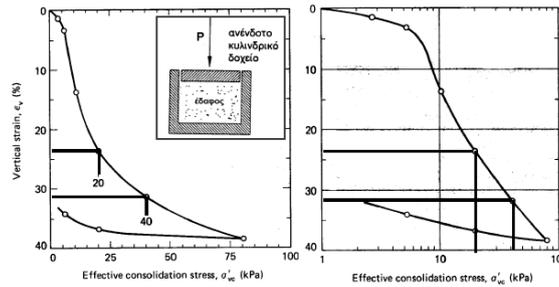
την επιβολή φόρτισης, όσο και από την μεταβολή της υγρασίας ή της ποιότητας του νερού (pH, αλατότητα, κλπ). Η συμπεριφορά της αργίλου ως προς την παραμόρφωση, εξαιτίας της φύσης των μηχανισμών της, περιγράφεται και μπορεί να εκτιμηθεί από το δείκτη πόρων της.

Η παραμόρφωση των αργίλων, όπως και κάθε υλικού, εξαρτάται από τις συνθήκες επιβολής της φόρτισης. Το έδαφος συνήθως βρίσκεται στη φύση σε οριζόντιες ή ελαφρώς κεκλυμένες στρώσεις. Η (κατακόρυφη) φόρτιση μπορεί να είναι είτε ομοιόμορφη κατά το οριζόντιο (ή κεκλυμένο) επίπεδο των στρώσεων, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της ιζηματογένεσης ή ενός εκτενούς (σε σχέση με το πάχος της αργίλου) τεχνικού έργου, είτε περιορισμένων διαστάσεων (σημειακή, γραμμική, λωριδωτή, κλπ), όπως συμβαίνει στην περίπτωση τεχνικών έργων μικρού μεγέθους σε σχέση με το πάχος και την έκταση της αργίλου. Η επιρροή του νερού παίζει καθοριστικό ρόλο, λόγω των εκάστοτε συνθηκών στράγγισης, και εξηγείται στην επόμενη ενότητα. Κάθε περίπτωση προσεγγίζεται με διαφορετικές παραδοχές, ώστε η προσέγγιση να πλησιάζει περισσότερο την πραγματικότητα. Μάλιστα, τα μηχανικά χαρακτηριστικά της αργίλου (μέτρο ελαστικότητας, μέτρο συμπίεστικότητας, αντοχές, κ.α.) παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις ανάλογα το είδος της επιβαλλόμενης φόρτισης.

Η πρώτη μορφή φόρτισης έχει ως αποτέλεσμα την μονοδιάστατη συμπίεση των στρώσεων της αργίλου, δηλαδή κάθε σημείο του εδάφους συμπιέζεται μόνο κατακόρυφα, αφού οι οριζόντιες τάσεις που επιβάλλονται σ' αυτό αλληλοαναιρούνται. Προσομοιάζεται με τη δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης, μέσω της οποίας προσδιορίζονται οι νόμοι που διέπουν τη συμπίεση, δηλαδή η σχέση τάσεων παραμορφώσεων, η οποία είναι εν γένει μη-γραμμική. Η απεικόνιση της σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων εκφράζεται και σε όρους τάσεων-δείκτη πόρων (e), τόσο επειδή ο δείκτης πόρων δίνει μια πιο λεπτομερή εικόνα της κατάστασης, όσο και επειδή οι μη-γραμμικές σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων γίνονται πρακτικώς γραμμικές όταν απεικονίζονται σε όρους λογαρίθμου των τάσεων-δείκτη πόρων.



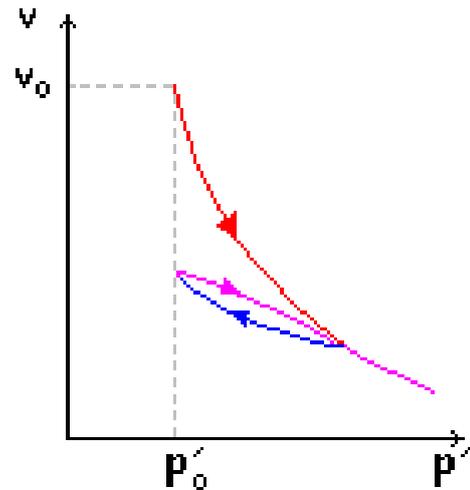
Σχήμα 1.8: Σχέση τάσεων - δείκτη πόρων



Σχήμα 1.9: Σχέση τάσεων παραμορφώσεων

Γίνεται άμεσα αντιληπτό από τα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης και τάσης-δείκτη πόρων ότι πρώτον, η σχέση τάσεων-παραμορφώσεων είναι σαφώς μη-γραμμική, και δεύτερον μέρος των αναπτυσσόμενων παραμορφώσεων της αργλικής στρώσης είναι μη-αντιστρέψιμο, δηλαδή μόνο ένα μικρό ποσοστό της είναι ελαστικό. Το μη-αντιστρέψιμο μέρος οφείλεται κατά κύριο λόγο στην μείωση του όγκου των κενών, πράγμα που απεικονίζεται στην αναλογία της μείωσης του δείκτη πόρων με την παραμόρφωση. Το φαινόμενο αυτό έχει σημαντικές συνέπειες στην συμπεριφορά της αργίλου. Η μείωση του όγκου των πόρων μειώνει τη διαπερατότητα, αυξάνει το μέτρο ελαστικότητας, μειώνει το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης και αυξάνει την αστράγγιστη διατμητική αντοχή.

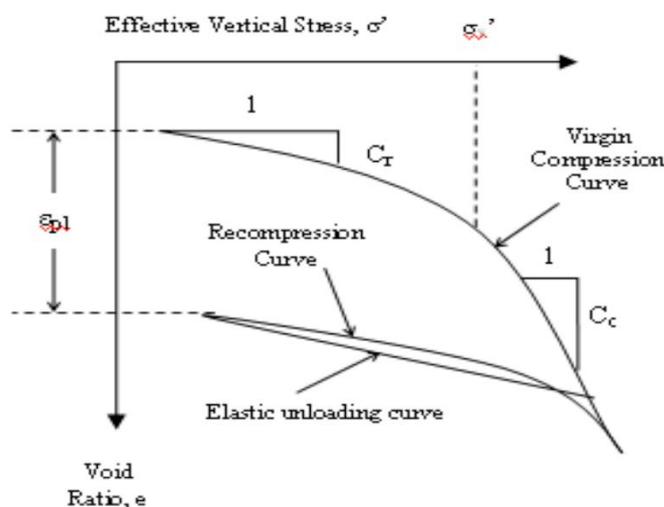
Ένα αργλικό υλικό που επιδεικνύει την παραπάνω συμπεριφορά, δηλαδή έχει υψηλό αρχικό δείκτη πόρων (e_0), ο οποίος μειώνεται αρχικά ραγδαία και ο ρυθμός μείωσής του φθίνει με την αύξηση της φόρτισης, και βρίσκεται στον κλάδο της φόρτισης, ονομάζεται κανονικά φορτισμένο (Normally Compressed/Consolidated ή NC). Από τη στιγμή που ένα φορτισμένο υλικό ξεκινά να αποφορτίζεται και μπαίνει στον κλάδο αποφόρτισης, ονομάζεται προφορτισμένο (Over Compressed/Consolidated OC), και έχει λόγο προφόρτισης (Over Compression/Consolidation Ratio OCR) ίσο με το λόγο της μέγιστης τάσης που έχει υποστεί προς την παρούσα τάση. Στο διάγραμμα του λογαρίθμου των τάσεων προς το δείκτη πόρων (e), η κλίση του κλάδου της φόρτισης ονομάζεται συντελεστής συμπίεστος και συμβολίζεται με C_c (Coefficient of compression), η δε κλίση του κλάδου αποφόρτισης-επαναφόρτισης ονομάζεται συντελεστής επανασυμπίεσης και συμβολίζεται με C_r (Coefficient of recompression). Στην περίπτωση φόρτισης ενός προφορτισμένου υλικού, ανάλογα το βαθμό προφόρτισής του (OCR), αυτό θα συμπιεστεί πρώτα κατά τον κλάδο επανασυμπίεσης, ώσπου να συναντήσει τον κλάδο της συμπίεσης, πάνω στον οποίο θα συνεχίσει. Στον κλάδο επανασυμπίεσης θα παρουσιάζει αυξημένο μέτρο ελαστικότητας και συμπίεστος, ενώ



Σχήμα 1.10: Κύκλος φόρτισης - αποφόρτισης - επαναφόρτισης

στον κλάδο συμπίεσης θα παρουσιάζει τη γνωστή μη-γραμμική συμπεριφορά. Η ιδιαιτερότητα αυτή της αργίλου έχει ιδιαίτερη, και πολλές φορές καθοριστική σημασία στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς της.

Οι υπόλοιπες μορφές φόρτισης προσομοιάζονται με ειδικά θεωρητικά προσομοιώματα, βασισμένα σε παραμέτρους που είτε προκύπτουν απευθείας από δοκιμές, είτε υπολογίζονται εμμέσως. Μία από αυτές τις παραμέτρους αποτελεί η διατμητική αντοχή της αργίλου, η οποία εκφράζεται είτε σε όρους συνοχής (c) και γωνίας τριβής (ϕ), είτε με την αστράγγιστη διατμητική αντοχή (C_u), αναλόγως των συνθηκών κορεσμού, τη γεωμετρία, και το είδος φόρτισης. Οι παράμετροι διατμητικής αντοχής προσδιορίζονται από τις τριαξονικές δοκιμές.

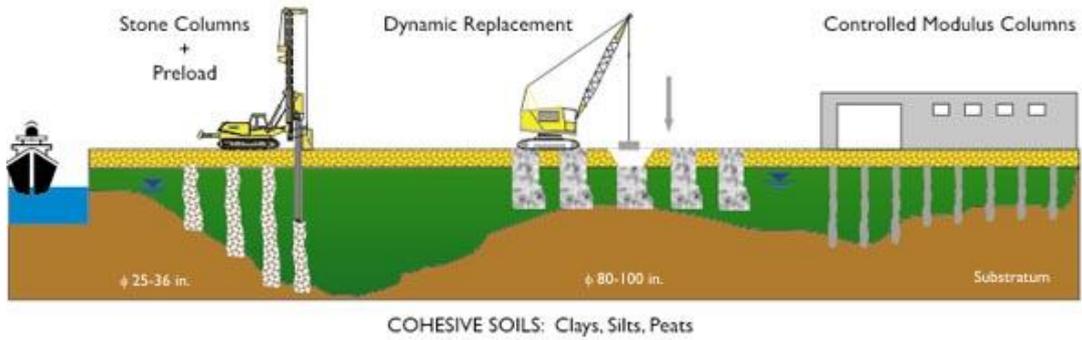


Σχήμα 1.11: Τυπική καμπύλη $e-\log \sigma'$

[1], [2], [6], [7]

1.5 Ιδιότητες και Βελτίωση

Οι ιδιότητες της αργίλου συχνά την καθιστούν ακατάλληλη ως προς τις απαιτήσεις αντοχής και συμπίεσότητας ενός τεχνικού έργου. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι ενίσχυσης ή βελτίωσης του εδαφικού υλικού, ώστε να ικανοποιούνται οι παραπάνω απαιτήσεις. Κατά την ενίσχυση, τοποθετούνται στον ιστό του υλικού ειδικά υλικά εν είδει σπλισμού, ενώ κατά τη βελτίωση, το υλικό υπόκειται σε ορισμένες διεργασίες, με τελικό σκοπό και των δύο μεθόδων την προσαρμογή των μηχανικών του ιδιοτήτων σε επιθυμητά επίπεδα. Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες επέμβασης: η συμπύκνωση, η ανάμιξη με πρόσμικτα, η ενίσχυση με διάφορα υλικά, και η αντικατάσταση μέρους ή όλου του υλικού με υλικό ικανοποιητικών χαρακτηριστικών. Κατά την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου, υπάρχει μια σειρά από παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, καθώς καθεμιά από τις μεθόδους αυτές συνοδεύεται και από άλλες μεταβολές στο υλικό, πέραν αυτών των μηχανικών του χαρακτηριστικών.



Εικόνα 1.6: Μέθοδοι βελτίωσης αργλικών εδαφών

Η συμπύκνωση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με μηχανικά μέσα, είτε με προφόρτιση, είτε προσωρινά με αποστράγγιση. Όπως φάνηκε παραπάνω, η αποστράγγιση οδηγεί στην αύξηση του μέτρου ελαστικότητας και στη μείωση της συμπιεστότητας, συνεπώς στην μείωση των καθιζήσεων, αλλά και στην αύξηση της διατμητικής αντοχής. Παρούσα νερού, οι συνθήκες γίνονται πιο δύσκολες, διότι καθώς το έδαφος συμπυκνώνεται μειώνεται και η διαπερατότητά του, συνεχώς μειώνοντας το ρυθμό εξέλιξης της συμπύκνωσης. Συνήθως απαιτεί μεγάλο χρόνο για να πραγματοποιηθεί, ιδιαίτερα στην περίπτωση που το έδαφος είναι κορεσμένο.



Εικόνα 1.7: Βελτίωση αργίλου με συμπύκνωση

Η βελτίωση των ιδιοτήτων ενός εδαφικού υλικού μέσω της ανάμιξής του με κάποιο ή κάποια πρόσμικτα μπορεί να επιτευχθεί είτε με μεθόδους επιτόπου ανάμιξης επιφανειακά ή σε βάθος, είτε με την ανάμιξη πριν τη διαμόρφωση ενός έργου (πχ στη διαμόρφωση ενός πρανού). Χρησιμοποιούνται υλικά που αντιδρούν φυσικά και χημικά με το αρχικό υλικό και έχουν ιδιότητες σιμεντώσης (συγκόλλησης). Επιτυγχάνεται τόσο η μείωση της συμπιεστότητας με παράλληλη αύξηση του μέτρου ελαστικότητας, όσο και η αύξηση της διατμητικής αντοχής. Παράλληλα, μειώνεται η περιεχόμενη υγρασία, καθώς σημαντική

ποσότητα νερού απορροφάται κατά την ανάμιξη. Ωστόσο, ο ρυθμός βελτίωσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η περιεχόμενη υγρασία και ο χρόνος ωρίμανσης, ώστε οι επιθυμητές μεταβολές στα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού να απαιτούν μεγάλο χρόνο για να ολοκληρωθούν.

Η ενίσχυση ενός υλικού μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση μεταλλικών ή πλαστικών στοιχείων. Αυτά λειτουργούν είτε εν είδει οπλισμού, προσδίδοντας αντοχή στο υλικό, είτε εν είδει στραγγιστηρίων, οδηγώντας στη στερεοποίησή του, ώστε να προκαλούν τη συμπύκνωσή του και τα ωφέλη που απορρέουν από αυτήν. Επίσης, μπορούν να συνδυάζουν και τους δύο παραπάνω μηχανισμούς. Μπορούν, ακόμα, να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο των συνθηκών ροής εντός του σώματος του υλικού, εξουδετερώνοντας τυχόν επιβαρυντικές επιδράσεις της ροής. Μπορεί να επιτευχθεί η αύξηση της διατμητικής αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας, και η μείωση της συμπιεστότητας.

Τέλος, η διαμόρφωση ικανοποιητικών μηχανικών χαρακτηριστικών σε κάποιο σημείο μπορεί να επιτευχθεί με την εξολοκλήρου αντικατάσταση του υλικού έδρασης με υλικό ικανοποιητικών χαρακτηριστικών, με την αντικατάσταση μέρους του υλικού σε κατακόρυφα στοιχεία, ή με τη διαμόρφωση μιας εξυγιαντικής επιφανειακής στρώσης ικανού πάχους. Οι μηχανισμοί που λειτουργούν σε κάθε περίπτωση είναι διαφορετικοί, όμως το αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται είναι η αύξηση της διατμητικής αντοχής και η μείωση της συμπιεστότητας σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Στην επιλογή των παραπάνω μεθόδων λαμβάνονται υπόψη διάφορα κριτήρια. Πρώτο και κύριο είναι η δυνατότητα επιτυχίας του επιδιωκόμενου αποτελέσματος. Δεύτερο κριτήριο αποτελεί το είδος του εδάφους (στην προκειμένη περίπτωση άργιλος), και οι υδραυλικές συνθήκες. Τρίτο κριτήριο αποτελεί το κόστος, ανάλογα την τοποθεσία και τη διαθεσιμότητα υλικών και εξοπλισμού. Άλλο κριτήριο αποτελεί ο χρόνος κατασκευής. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις επίσης δεν πρέπει να λησμονούνται.

[8], [6], [4]

2 Εδαφικά Υλικά με Δομή

2.1 Εισαγωγή

Στη θεώρηση της Γεωτεχνικής, το γεωλογικό υλικό διακρίνεται σε εδάφη και πετρώματα, τα οποία αποτελούν φυσικά συσσωματώματα ορυκτών κόκκων. Η διαφορά τους έγκειται στη συνοχή αυτών των συσσωματωμάτων: τα εδάφη ορίζονται ως φυσικά συσσωματώματα ορυκτών κόκκων που μπορούν να διαχωριστούν με απλή μηχανική δράση, ενώ τα πετρώματα ορίζονται ως φυσικά συσσωματώματα ορυκτών που συνδέονται με ισχυρές και μόνιμες δυνάμεις συνοχής. Εκ πρώτης όψews, πρόκειται για έναν ποιοτικό διαχωρισμό, χωρίς ξεκάθαρα ορισμένα όρια μεταξύ των δύο καταστάσεων. Παρ' όλα αυτά, σε αυτήν τη θεώρηση υπεισέρχονται κάποιες σημαντικές έννοιες, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε μια πιο σαφή εικόνα: το ορυκτό, η διάταξη των κόκκων και η δομή του εδαφικού σκελετού ή ιστού.



Εικόνα 2.1: Εδαφικό και βραχώδες υλικό

Τα ορυκτά είναι φυσικά ανόργανα συστατικά του στερεού φλοιού της γης με ορισμένη δομή και χημική σύνθεση, των οποίων οι φυσικές ιδιότητες είναι εν γένει σταθερές. Πρόκειται για τα συστατικά των γεωυλικών σε μοριακό επίπεδο. Οι κόκκοι, στην περίπτωση μη συνεκτικών υλικών, και τα αργιλικά πλακίδια, στην περίπτωση συνεκτικών υλικών, αποτελούν συσσωματώματα τέτοιων μορίων.

Η διάταξη των κόκκων αναφέρεται στον τρόπο που αυτοί είναι διαταγμένοι στο χώρο. Περιλαμβάνει την έννοια της πυκνότητας και του προσανατολισμού. Η πυκνότητα αναφέρεται στο δείκτη πόρων-στερεών, δηλαδή στο πόσο πυκνή είναι η διάταξη των κόκκων/πλακιδίων, και πόσα κενά υπάρχουν μεταξύ τους. Ο προσανατολισμός αποκτά νόημα μόνο στην περίπτωση μη σφαιρικών κόκκων, και αναφέρεται στον τρόπο που οι κόκκοι/πλακίδια προσανατολίζονται ο ένας σε σχέση με τον άλλον. Η διάταξη του εδαφικού ιστού παίζει σημαντικό ρόλο στην μηχανική συμπεριφορά ενός εδαφικού υλικού.

Η δομή του εδαφικού σκελετού αναφέρεται μεν στη διάταξη των κόκκων, κυρίως όμως αναφέρεται στους δεσμούς μόνιμης φύσεως που αναπτύσσονται ανάμεσα στους κόκκους. Οι δεσμοί αυτοί μπορεί να οφείλονται τόσο στις έλξεις μεταξύ των πλακιδίων

(συμβαίνει μόνο στα συνεκτικά υλικά λόγω της αυξημένης ισχύος των ηλεκτροστατικών έλξεων σε σχέση με τις δυνάμεις της βαρύτητας και της τριβής) όσο και στην ύπαρξη συνδετικού υλικού μεταξύ κόκκων/πλακιδίων. Τα χαρακτηριστικά της δομής αυτής, και συνεπώς τα μηχανικά χαρακτηριστικά ενός υλικού με δομή, εξαρτώνται άμεσα από την ισχύ και την ανθεκτικότητα των δεσμών μεταξύ των κόκκων/πλακιδίων.

Ειδική περίπτωση αποτελούν τα αργιλικά εδάφη, τα οποία εξαιτίας του μικρού μεγέθους των πλακιδίων τους παρουσιάζουν δύο κλίμακες δομής: την μικροδομή και την μακροδομή. Η μικροδομή αναφέρεται στα συσσωματώματα και τους δεσμούς που δημιουργούνται μεταξύ των αργιλικών πλακιδίων εξαιτίας των ηλεκτροστατικών δυνάμεων, και αντίστοιχα ορίζονται οι πόροι αυτών των συσσωματωμάτων ως μικροπόροι. Η μακροδομή αναφέρεται στους δεσμούς που αναπτύσσονται μεταξύ των παραπάνω συσσωματωμάτων, και οι πόροι τους ορίζονται αντίστοιχα μακροπόροι.

Έτσι, μπορεί να προκύψει μια πιο λεπτομερής θεώρηση, που λαμβάνει υπόψη τόσο τα παραπάνω, όσο και την προέλευση των γεωυλικών. Τα γεωυλικά, όπως προαναφέρθηκε, διαχωρίζονται σε πετρώματα και εδάφη. Περαιτέρω, τα πετρώματα διαχωρίζονται σε πυριγενή, μεταμορφωμένα, και ιζηματογενή, ενώ τα εδάφη σε συνεκτικά και μη συνεκτικά. Όσον αφορά τη δομή, τα γεωυλικά κατανέμονται σε ένα συνεχές φάσμα, παρά σε διακριτές κατηγορίες. Έτσι, στο άκρο του φάσματος της δομής όπου αυτή είναι ισχυρότερη, βρίσκονται τα υγιή πετρώματα, και στο άκρο όπου δεν υπάρχει δομή βρίσκονται τα εντελώς χαλαρά εδάφη. Το ενδιάμεσο του φάσματος αποτελείται από αποσαθρωμένους ή κερματισμένους βράχους και εδάφη με δομή.



Εικόνα 2.2: Ιζηματογενές υλικό με δομή



Εικόνα 2.3: Βιογενές υλικό με δομή

Τα πυριγενή πετρώματα προέρχονται από τη στερεοποίηση του μάγματος. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα προέρχονται από την μεταμόρφωση προϋπαρχόντων πετρωμάτων. Τα εδαφικά υλικά προέρχονται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων. Τα μη συνεκτικά εδάφη προέρχονται από την αποσάθρωση με φυσικές κυρίως διαδικασίες, ενώ τα συνεκτικά προέρχονται από την αποσάθρωση με χημικές κυρίως διαδικασίες. Τα εδαφικά υλικά μπορούν να αρχίσουν να αναπτύξουν δομή μέσω της διαδικασίας της διαγένεσης,

που αποτελεί αποτέλεσμα φυσικών και χημικών διεργασιών σε ένα εδαφικό υλικό. Η εξέλιξη της διαδικασίας αυτής οδηγεί στον σχηματισμό των ιζηματογενών πετρωμάτων.



Εικόνα 2.4: Μάγμα

Από τα παραπάνω γίνεται ξεκάθαρο πως τα μηχανικά χαρακτηριστικά ενός γεωυλικού είναι άμεσα συνυφασμένα με τα χαρακτηριστικά της δομής του. Είναι πασιφανές πως η δομή επηρεάζει χαρακτηριστικά όπως η διαπερατότητα, η ανθεκτικότητα, η αντοχή, η παραμορφωσιμότητα, η πυκνότητα, κ.α. Αυτό συμβαίνει διότι η ανάπτυξη δομής μεταβάλλει τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του αρχικού εδάφους, από τα οποία τα μηχανικά χαρακτηριστικά είναι άμεσα εξαρτώμενα.

Έτσι, η σημασία της σύστασης ενός γεωυλικού, καθώς και της διάταξης και δομής του ιστού του είναι πολλές φορές καθοριστική για την κατασκευή τεχνικών έργων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μηχανισμοί σχηματισμού δομής ενός γεωυλικού, ενδιαφέρον που πηγάζει από την Αρχαιότητα και κορυφώνεται στη σύγχρονη εποχή των ραγδαίων τεχνολογικών εξελίξεων. Στη φύση υπάρχουν εκτενείς μαρτυρίες της λειτουργίας αυτών των μηχανισμών (χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα ιζηματογενή πετρώματα και εδαφικά υλικά με χαρακτηριστικά υλικού με δομή), όπου στον εδαφικό σκελετό εξελίχθηκε η ανάπτυξη δομής λόγω της τυχαίας δημιουργίας των κατάλληλων συνθηκών. Ο άνθρωπος, απ' τα αρχαία κι όλες χρόνια προσπάθησε να αξιοποιήσει και να μιμηθεί αυτούς τους μηχανισμούς της φύσης, παράγοντας υλικά που αναπτύσσουν γρήγορα δομή για χρήση στην κάλυψη διαφόρων αναγκών του.

Τα υλικά αυτά μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιούνταν κυρίως για τοπική χρήση σε τεχνικά έργα ως κονίες. Τα τελευταία χρόνια η έρευνα έχει κατευθυνθεί προς τη χρήση αυτών των μηχανισμών για τη βελτίωση εκτενών εδαφικών σωμάτων σε διαφόρων ειδών έργα. Φυσικά, οι μηχανισμοί αυτοί είναι πολύπλοκοι και εξαρτώνται από μια σειρά παραγόντων, η συνεισφορά των οποίων δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως. Παράλληλα, στη φύση κανένα γεωυλικό δεν είναι πανομοιότυπο ως προς τα χαρακτηριστικά του με ένα άλλο, πράγμα που διευρύνει σημαντικά το πεδίο της απαιτούμενης διερεύνησης.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στους τρόπους ανάπτυξης αυτής της δομής ανάμεσα σε δύο συγκεκριμένα υλικά, μία άργιλο, και μία ιπτάμενη τέφρα. Τα χαρακτηριστικά των υλικών αυτών, καθώς και τα αποτελέσματα της ανάμιξής τους παρουσιάζονται και αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

[9], [10], [11], [12], [4]

2.2 Φυσικά Υλικά

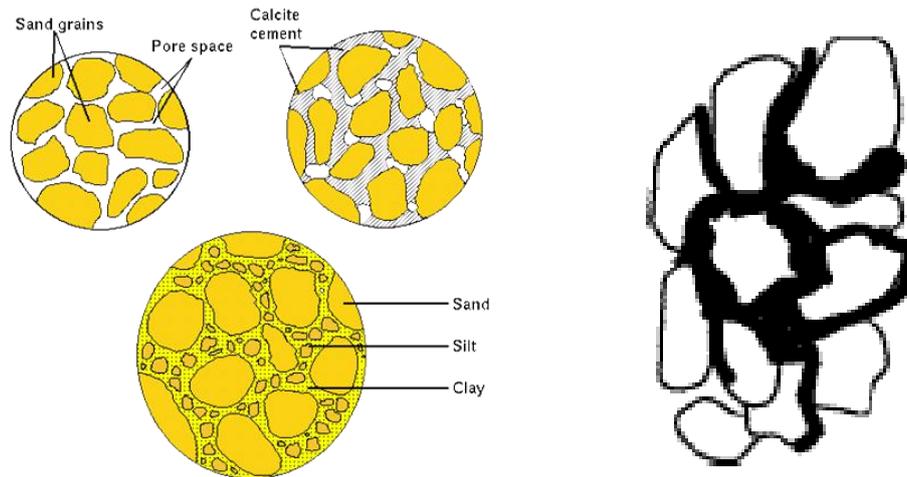
2.2.1 Σχηματισμός

Η ανάπτυξη δομής σε ένα εδαφικό υλικό είναι αποτέλεσμα φυσικών και χημικών διαδικασιών. Μπορεί να οφείλεται στον μηχανισμό της διαγένεσης, της συγκόλλησης, ή σε άλλες χημικές διαδικασίες. Εν γένει, η διαδικασία της διαγένεσης εξελίσσεται με ιδιαίτερα βραδείς ρυθμούς, και η ολοκλήρωσή της πραγματοποιείται σε γεωλογικό χρόνο, ενώ η διαδικασία της συγκόλλησης, καθώς και κάποιες χημικές διαδικασίες μπορούν να ολοκληρωθούν σε σύντομο διάστημα—λίγων ημερών, μηνών, ή ετών, είτε να εξελίσσονται σε γεωλογικό χρόνο, καθώς ο ρυθμός τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες.

Η διαδικασία ανάπτυξης δομής ξεκινά μετά την απόθεση γεωυλικού, το οποίο αποτελεί προϊόν αποσάθρωσης βραχωδών μαζών και έχει μεταφερθεί στο σημείο που βρίσκεται με τη βοήθεια της βαρύτητας, του νερού, του ανέμου, και των παγετώνων. Στους πόρους του αποτεθημένου γεωυλικού μπορεί να εισέρχεται και να κυκλοφορεί νερό, στο οποίο βρίσκονται διαλυμένα διάφορα ορυκτά, από άλατα μέχρι άλλα προϊόντα αποσάθρωσης. Παράλληλα, με την πάροδο του χρόνου μεταβάλλονται οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες υπόκειται το υλικό, είτε λόγω της απόθεσης νέου υλικού πάνω του, είτε λόγω της μετακίνησής του κάτω από άλλες εδαφικές στρώσεις, είτε λόγω του κορεσμού ή ξήρανσής του, κλπ.

Στην περίπτωση που διαμορφωθούν συνθήκες υψηλής πίεσης, πράγμα που συμβαίνει όταν πάνω από τη στρώση ενός υλικού αναπτυχθεί μεγάλο ύψος υπερκειμένων, και υψηλής θερμοκρασίας, που συμβαίνει όταν ένα υλικό βυθιστεί επαρκώς στο φλοιό της Γης, μπορεί να συμβεί μερική ανακρυστάλλωση των συστατικών του, οδηγώντας στη δημιουργία δομής. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται διαγένεση, και όπως είναι προφανές, έχει μεγάλη διάρκεια, καθώς εξαρτάται από φυσικές διαδικασίες που συμβαίνουν σε γεωλογικό χρόνο. Εξαρτάται από τις παραπάνω συνθήκες αλλά και από τη δομή του γεωυλικού.

Στην περίπτωση ροής νερού διαμέσου ενός αποτεθημένου υλικού, κατά την οποία αποτίθενται ορυκτά στα κενά μεταξύ των κόκκων του, με τη διαμόρφωση κατάλληλων συνθηκών υπάρχει το ενδεχόμενο τα αποτιθέμενα υλικά να αναπτύξουν συγκολλητική δράση, συνδέοντας τους κόκκους του αρχικού υλικού. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται συγκόλληση, και η χρονική της διάρκεια ποικίλλει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εξαρτάται μεν πρωτίστως από τη χημική σύνθεση του αποτεθημένου γεωυλικού και των συστατικών που διαχέονται στο αποτεθημένο υλικό μέσω της ροής του νερού, αλλά η εξέλιξή της μπορεί επίσης να επηρεαστεί σημαντικά από την ανάπτυξη συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας.



Εικόνα 2.5: Συγκόλληση κόκκων και πλακιδίων

Τέλος, υπάρχουν υλικά στη φύση τα οποία έχουν την ιδιότητα ανάπτυξης δομής μέσω άλλων χημικών διεργασιών. Για παράδειγμα, υλικά που περιέχουν άσβεστο και βρίσκονται στην ξηρή φάση υπό συγκεκριμένη μορφή αναπτύσσουν δομή με την ενυδάτωσή τους. Άλλο παράδειγμα αποτελούν ορυκτά τα οποία αιωρούνται μέσα σε ένα υδατινό σώμα από το οποίο απομακρύνεται το νερό, είτε λόγω εξάτμισης, είτε για άλλους λόγους. Τα αιωρούμενα σ' αυτό ορυκτά κάθονται, και αναπτύσσονται δεσμοί ανάμεσά τους. Τρίτο παράδειγμα αποτελεί η ανάμιξη υλικών κατά την οποία λόγω της χημικής τους σύστασης λαμβάνουν χώρα χημικές αντιδράσεις που οδηγούν στην ανάπτυξη δομής στο σώμα του μίγματος. Αυτές οι διεργασίες μπορούν να έχουν βραδύ ή ταχύ ρυθμό, καθώς εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως οι επικρατούσες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, αλλά και η σύσταση των υλικών που εμπλέκονται. Τέλος, άλλο παράδειγμα μπορούν να αποτελέσουν βιογενή υλικά, τα οποία προέρχονται από τη συγκέντρωση και εναπόθεση υπολειμμάτων οργανισμών.

Οι διαδικασίες της διαγένεσης και της συγκόλλησης μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία διαφόρων υλικών με δομή, τα οποία ταξινομούνται σε σχέση με το μέγεθος κόκκου του αρχικού εδάφους. Έτσι προκύπτουν τα κροκαλοπαγή και λατυποπαγή—που προέρχονται από μέγεθος κόκκου μεγαλύτερο του χάλικα, οι ψαμμίτες—που προέρχονται από μέγεθος κόκκου άμμου, και οι πηλόλιθοι και οι άργιλοι (εδώ η αναφορά δεν είναι στο συνεκτικό έδαφος αλλά στο πέτρωμα που προκύπτει από ιζηματογένεση αργιλικού εδαφικού υλικού, όπως είναι οι μπετονίτες και οι μάργες)—που προέρχονται από αργίλους και ιλείς. Οι χημικές διαδικασίες μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία δομής σε υλικά που εναποτέθηκαν μετά από αλλαγή στη χημεία, όπως είναι τα ανθρακικά και οι ασβεστόλιθοι, ή την εξάτμιση διαλυμένων συστατικών στο νερό, όπως είναι οι εβαπορίτες. Τέλος, μέσω της χημικής αποσάθρωσης δημιουργούνται υλικά όπως βωξίτες, λατερίτες, ορυκτοί άνθρακες, κ.α., που περιέχουν τόσο οργανικά όσο και ανόργανα συστατικά. Η παρούσα εργασία, όπως έχει ήδη αναφερθεί, πραγματεύεται τη δημιουργία δομής σε αργιλικά εδάφη, συνεπώς θα γίνει μια πιο λεπτομερής αναφορά σε αυτά.

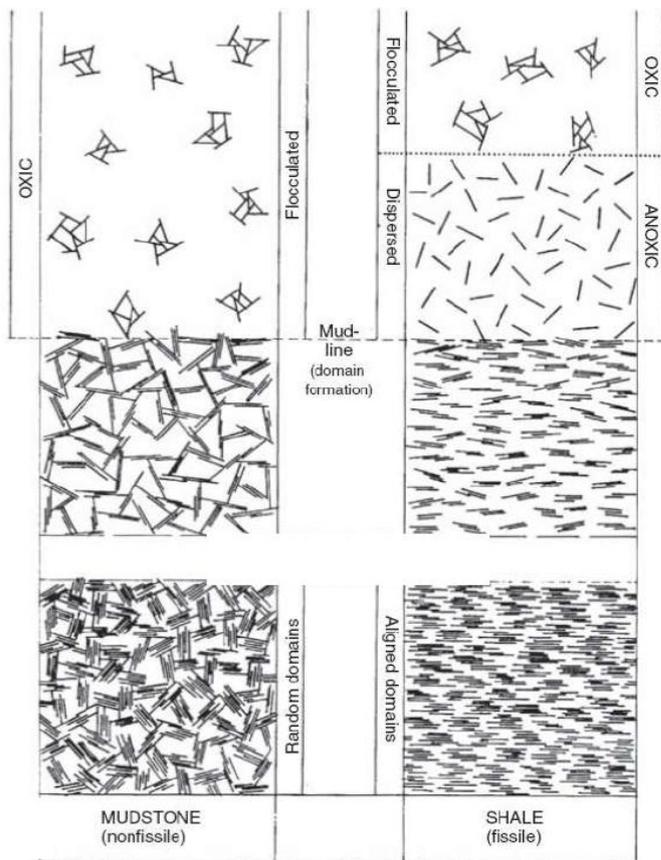
Ταξινόμηση κλαστικών ιζηματογενών πετρωμάτων				
Είδος υλικού		WENTWORTH σε mm	Αντιστοιχία σε πετρώματα	
			Χαλαρά	Συμπαγή
Ογκόλιθοι, μικροί ογκόλιθοι		>500, 500-200	Σωρός Ογκολίθων	Ογκολιθοπαγή
Χάλικες	Μεγάλοι χάλικες	200-20	Αποθέσεις από κροκάλες, λατύπες, και πλευρικά κορήματα	Κροκαλοπαγή και λατυποπαγή
	Μικροί χάλικες	20-2		
Άμμος	Πολύ χονδρή άμμος	2 – 1	Αποθέσεις από χοντρή μέτρια ή λεπτή άμμο	Ψαμμίτες
	Χονδρή άμμος	1 – 0,5		
	Μεσαία άμμος	0,5 – 0,25		
	Λεπτή άμμος	0,25 – 0,125		
	Πολύ λεπτή άμμος	0,125 – 0,0625		
Ιλύς	Χονδρή ιλύς	0,0625 – 0,031	Αποθέσεις ιλύων	Ιλυόλιθοι
	Μέση ιλύς	0,031 – 0,0156		
	Λεπτή ιλύς	0,0156 – 0,0078		
	Πολύ λεπτή ιλύς	0,0078 – 0,0039		
Άργιλος		< 0,0039	Αποθέσεις αργίλων ή μαργών	Σχιστές άργιλοι, σχιστές μάργες
Πηλός		~1-0,0039	Αποθέσεις πηλών	Στιφρός πηλός

Σχήμα 2.1: Ταξινόμηση κλαστικών ιζηματογενών πετρωμάτων

Η ανάπτυξη δομής σε αργιλικά υλικά μπορεί να οφείλεται σε μια σειρά από μηχανισμούς, όλοι ή κάποιοι εκ των οποίων λαμβάνουν χώρα. Αυτοί ταξινομούνται σε φυσικοχημικούς, βιο-οργανικούς, ενταφιασμού, και τσιμεντοποίησης (συγκόλλησης). Η λειτουργία καθενός από τους παραπάνω οργανισμούς οφείλεται σε διαφορετικά αίτια, απόρροια των επικρατούντων κάθε φορά συνθηκών. Πέρα από την επιρροή των συνθηκών αυτών, σημαντικό ρόλο παίζει η σύσταση του υλικού που υποκειται στη διαδικασία ανάπτυξης δομής, δημιουργώντας σημαντικές διαφορές στο τελικό αποτέλεσμα.

Οι φυσικοχημικοί μηχανισμοί χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη είναι αυτή των ηλεκτροχημικών διεργασιών, κατά τους οποίους δημιουργείται διασύνδεση των κόκκων λόγω ηλεκτρικών φορτίων. Η δεύτερη είναι αυτή των θερμοχημικών, που περιλαμβάνουν τους θερμικούς παράγοντες και τις διαφορές θερμοκρασίας που οδηγούν σε κινητικότητα των κόκκων ή σε πάγωμα του νερού των πόρων. Η τρίτη κατηγορία είναι η δυναμική των διεπιφανειών, η οποία αναφέρεται στη διαφορική κίνηση των κόκκων λόγω βαρύτητας, λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή της μικροδομής των επιφανειών επαφής. Οι μηχανισμοί αυτοί παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη δομής.

Οι βιο-οργανικοί μηχανισμοί ταξινομούνται επίσης σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη εξ αυτών είναι οι μηχανικές βιο-διεργασίες, που αναφέρονται στην ανάδευση που προέρχεται από την ενέργεια μικρο-οργανισμών (που δραστηριοποιούνται στο σώμα του εδάφους). Η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή των βιο-φυσικών διεργασιών, η οποία αναφέρεται στην προσκόλληση των κόκκων του εδάφους σε οργανική ύλη. Τέλος, είναι οι βιο-χημικές διεργασίες, που περιλαμβάνουν τη δημιουργία ή καταστροφή χημικών ενώσεων, οδηγώντας σε χημικές μεταβολές. Οι μηχανισμοί αυτοί έχουν αυξημένη σημασία όταν υπάρχει έντονη παρουσία οργανικού στοιχείου.



Σχήμα 2.2: Φυσικά υλικά με δομή

αντίδρασης των συστατικών τους με το περιεχόμενο νερό της αργίλου ή ιλύος, περιβάλλοντας έτσι τους εδαφικούς κόκκους, κλειδώνοντάς τους στη δομή τους, είτε να αντιδράσουν με τα ίδια τα συστατικά του εδάφους και το μίγμα να δημιουργήσει μια ενιαία δομή. Οι μηχανισμοί της συγκόλλησης είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικοί, ειδικότερα στο βαθμό που επηρεάζουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά ενός υλικού.

Ένα αντιπροσωπευτικό φυσικό υλικό στο οποίο έχουν επιδράσει οι μηχανισμοί δημιουργίας δομής αποτελεί και η μάργα. Αυτή σχετίζεται άμεσα με το πεδίο της παρούσας εργασίας, καθότι είναι το πλέον συγγενές φυσικό υλικό προς το μίγμα υλικών που εξετάζεται. Ως εκ τούτου, κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν τα φυσικοχημικά αλλά και τα μηχανικά χαρακτηριστικά της και να γίνει μια σκιαγράφιση της μηχανικής της συμπεριφοράς.

Οι μηχανισμοί ενταφιασμού αναφέρονται στην πίεση που δημιουργείται από υπερκείμενα ιζήματα. Εξαιτίας της μορφής των κόκκων των ιλύων και αργίλων, που έχουν πλακοειδή μορφή, οι μηχανισμοί αυτοί έχουν αυξημένη σημασία και παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της διάταξης του εδαφικού ιστού, επηρεάζοντας έτσι σημαντικά και τις διαδικασίες ανάπτυξης δομής. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του τελικού υλικού με δομή μπορεί να ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τη δομή.

Οι μηχανισμοί συγκόλλησης-τσιμεντοποίησης αναφέρονται στην εισροή/πρόσμιξη στον εδαφικό ιστό υλικών με συγκολλητικές ιδιότητες. Τα υλικά αυτά είναι δυνατόν είτε να αναπτύξουν δομή μέσω της



Εικόνα 2.6: Η δομή της μάργας της προσδίδει υψηλή αντοχή

[9], [10], [11], [12], [4]

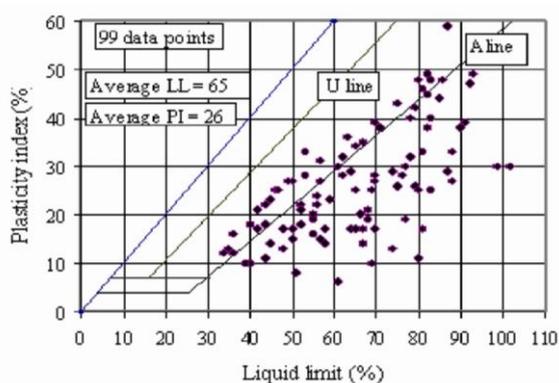
2.2.2 Χαρακτηριστικά, Ιδιότητες, Συμπεριφορά Μάργας

Η μάργα είναι μίγμα αργίλων και ανθρακικού ασβεστίου. Μπορεί να περιέχει 35-65% άργλικό υλικό, και αντίστοιχα κατά το υπόλοιπο 35-65% αποτελείται από ανθρακικό ασβέστιο. Το ανθρακικό ασβέστιο αντιδρά με το αργλικό περιεχόμενο της μάργας και διαμορφώνονται δεσμοί, οδηγώντας στην ανάπτυξη δομής στο σώμα του εδάφους. Τα είδη των εμπλεκόμενων ορυκτών, τόσο από την πλευρά της αργίλου όσο και από την πλευρά των ασβεστιτικών, σε συνδυασμό τόσο με τις συνθήκες φόρτισης (πίεσης) και θερμοκρασίας στις οποίες υπόκειται το υλικό, όσο και με άλλους παράγοντες όπως η περιεχόμενη υγρασία, η ροή νερού διαμέσου του εδάφους, η περιεκτικότητα του νερού σε ορυκτά, η αλληλουχία φορτίσεων, κ.α., επηρεάζουν καθοριστικά τη διαδικασία ανάπτυξης της δομής της μάργας. Άλλος κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει τη διαμόρφωση δεσμών είναι ο χρόνος. Έτσι, το αποτέλεσμα των διεργασιών αυτών μπορεί να είναι πολύ διαφορετικό.

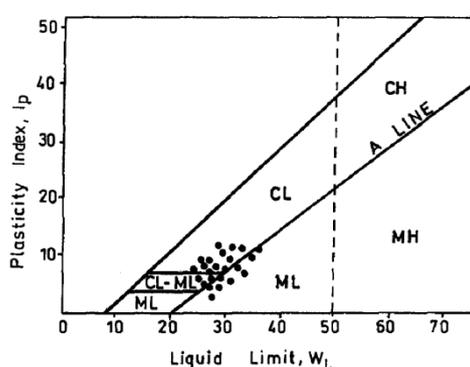
Πάντως, τα χαρακτηριστικά και η μηχανική συμπεριφορά του μίγματος είναι ανάμεσα σε αυτά των αργίλων και σε αυτά των ασβεστολίθων. Στην περίπτωση που επικρατεί το αργλικό στοιχείο η συμπεριφορά πλησιάζει περισσότερο αυτή των αργλικών εδαφών, ενώ στην περίπτωση που επικρατεί το ασβεστιτικό στοιχείο η συμπεριφορά πλησιάζει περισσότερο αυτή των ασβεστολίθων. Έτσι, η συμπεριφορά των μαργών παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις, και δεν υπάρχει ενιαία μαργαϊκή ταυτότητα. Οι ιδιότητες των μαργών

είναι ίδιες με αυτές των αργιλικών εδαφών, με διαφοροποίηση ανάλογη του περιεχομένου ασβεστιτικών. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εξετάζονται οι μάργες που προσομοιάζουν περισσότερο σε αργιλικό έδαφος παρά σε ασβεστολιθικό βράχο.

Όσον αφορά την πλαστικότητα, οι μάργες μπορούν να ελεγχθούν με τις ίδιες διαδικασίες ελέγχου που χρησιμοποιούνται για τα αργιλικά εδάφη, και τα αποτελέσματα εκφράζονται μέσω των ορίων Atterberg. Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως τα όρια Atterberg δεν λαμβάνουν υπόψη τη δομή αυτή καθεαυτή του υλικού, καθώς απαιτείται κατάλυση και καταστροφή της δομής για τον προσδιορισμό τους. Ωστόσο, από τα όρια Atterberg μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα σε σχέση με τη συμπεριφορά των εδαφών. Ενδεικτικά παρατίθενται τα σημεία δύο διαφορετικών μαργών πάνω στον χάρτη πλαστικότητας Casagrande. Φαίνεται ξεκάθαρα η απόκλιση μεταξύ των δύο υλικών.

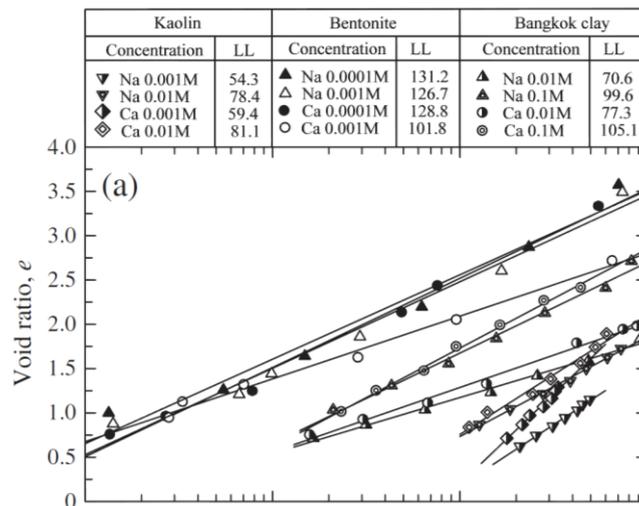


Σχήμα 2.4: Μάργα Ταμπρίζ



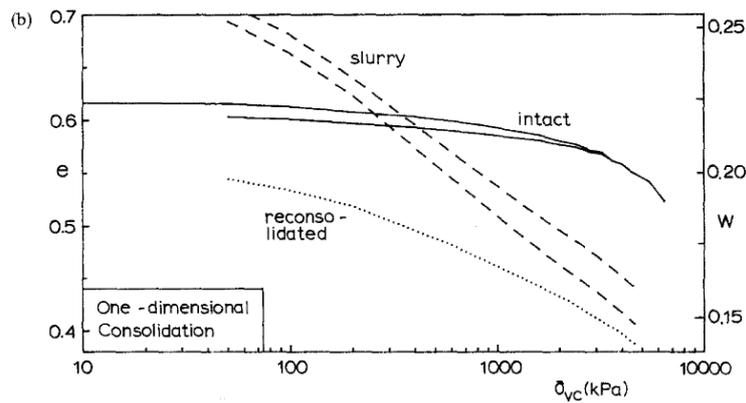
Σχήμα 2.3: Μάργα Ισθμού Κορίνθου

Σημαντική επιρροή στη συμπεριφορά της μάργας παρουσιάζει η υδροαπορροφητικότητα. Στους παραπάνω χάρτες πλαστικότητας Casagrande φαίνεται και πάλι η μεγάλη απόκλιση της συμπεριφοράς ανάμεσα σε διαφορετικές μάργες. Η διαφορές στην πλαστικότητα οφείλονται σε διαφορές στην υδροαπορροφητικότητα, οι οποίες με τη σειρά τους οφείλονται σε διαφορές στη σύσταση—και κατ' επέκταση στη δομή—των διαφορετικών μαργών. Παραδείγματος χάρη, η διαφορά ανάμεσα στις δύο μάργες που αναφέρονται στο παραπάνω σχήμα, οι σημαντικές διαφορές στην πλαστικότητά τους σε μεγάλο βαθμό μπορούν να θεωρηθούν απόρροια της διαφοράς υδροαπορροφητικότητάς του, η οποία με τη σειρά της μπορεί να χρεωθεί στη διαφορετική σύστασή τους. Η Κορινθιακή μάργα περιέχει περίπου 75% ασβεστιτικά και περίπου 20% αργιλικά (με βάση το πυρίτιο και το αργίλιο), πράγμα που καθιστά πιο πυκνή τη δομή της, μειώνοντας την υδροαπορροφητικότητά της και συνεπώς την πλαστικότητά της. Από την άλλη, η μάργα του Ταμπρίζ, περιέχει περίπου 35% ασβεστιτικά και 50% αργιλικά (με βάση το πυρίτιο και το αργίλιο), ώστε εξηγείται η υψηλή της υδροαπορροφητικότητα και πλαστικότητα εξαιτίας της επικράτησης του αργιλικού στοιχείου σε βάρος της ανάπτυξης πυκνότερης δομής.



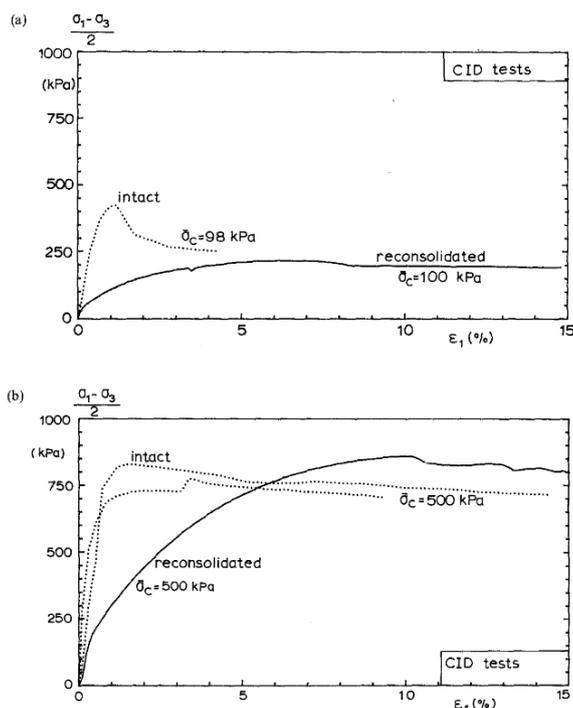
Σχήμα 2.5: Συντελεστής διαπερατότητας K (cm/s) για διάφορες ορυκτολογικές συστάσεις

Η ροή διαμέσου του εδαφικού ιστού, δηλαδή η περατότητα, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά που εμπεριέχονται στο έδαφος, καθώς επίσης και από τη δομή που έχει αναπτυχθεί σε αυτό. Εξίσου σημαντικό ρόλο παίζουν οι συνθήκες ροής και οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, το έδαφος θεωρείται κορεσμένο, τα χαρακτηριστικά της ροής σταθερά, η ταχύτητα ροής αμελητέα, και η θερμοκρασία σταθερή. Συνεπώς, οι μεταβολές στην περατότητα θα οφείλονται είτε στο ορυκτολογικό περιεχόμενο και στη δομή που αναπτύσσει ο εδαφικός ιστός, είτε στις συνθήκες πίεσης. Όσον αφορά στην ορυκτολογική σύσταση των μαργών, τα αργιλικά ορυκτά έχουν χαμηλή διαπερατότητα της τάξης των 10^{-8} m/s. Τα ασβεστιτικά ορυκτά, έχοντας αναπτύξει δομή, είναι ακόμη λιγότερο διαπερατά. Η μάργα, που αποτελεί συνδυασμό των δύο, επίσης έχει διαπερατότητα της τάξης των 10^{-8} m/s, πράγμα που φαίνεται λογικό, διότι η δομή πλέον εξαρτάται και από τα αργιλικά υλικά ώστε δεν είναι το ίδιο πυκνή και συνεκτική όσο των καθαρών ασβεστολίθων, ενώ το νερό που τη διαπερνά δεν μπορεί να ρέει ταχύτερα απ' ό,τι του επιτρέπει η άργιλος. Βεβαίως, δεν υπάρχει σταθερή διαδικασία για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας ενός υλικού με δομή. Η απειρία των διαφορετικών δυνατών συνδυασμών ορυκτολογικής δομής, καθώς και οι συνθήκες υπό τις οποίες διαμορφώθηκε η δομή του υλικού, έχουν καθοριστική επιρροή για τη διαπερατότητα του υλικού. Επίσης, η διαπερατότητα εξαρτάται από το επίπεδο φόρτισης. Στο σχήμα που παρατίθεται διακρίνεται ξεκάθαρα η μείωση της διαπερατότητας με την αύξηση της φόρτισης, φαινόμενο που προφανώς οφείλεται στην πύκνωση της διάταξης των εδαφικών κόκκων, ώστε οι δίοδοι του νερού να περιορίζονται περισσότερο.



Σχήμα 2.6: Λογαριθμικό διάγραμμα $e - \log \sigma'$ για δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης σε μάργα ακέραια (*intact*), αποδομημένη (*slurry*) και σε υλικό που πρώτα αποδομήθηκε και ύστερα στερεοποιήθηκε (*reconsolidated*)

Η συμπίεστικότητα ενός υλικού επηρεάζεται σημαντικά από την ανάπτυξη δομής. Στο διάγραμμα δείκτη πόρων (e)-λογαρίθμου των τάσεων ($\log p$) που προέκυψε από δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης της Κορινθιακής μάργας, αυτό φαίνεται ξεκάθαρα. Η καμπύλη του αποδομημένου υλικού (*slurry*), το οποίο χρησιμοποιείται για να προσομοιάσει το μαργαϊκό υλικό χωρίς τη δομή του, είναι μια ευθεία με σταθερή κλίση που αντιστοιχεί στο συντελεστή συμπίεστικότητας. Ο δείκτης πόρων μειώνεται καθώς αυξάνεται η κατακόρυφη τάση. Η καμπύλη του ακέραίου μαργαϊκού υλικού (*intact*), με τη δομή δηλαδή την οποία έχει αναπτύξει, ξεκινά πολύ χαμηλότερα από το αποδομημένο υλικό, δείγμα του πολύ μικρότερου αρχικού δείκτη πόρων εξαιτίας της δομής που έχει διαμορφωθεί, ως οριζόντια ευθεία με μικρή καμπυλότητα, η οποία τέμνει την καμπύλη του αποδομημένου υλικού και συνεχίζει. Κάποια στιγμή, καμπυλώνεται εμφανώς ώστε συγκλίνει με αυτήν του αποδομημένου υλικού. Αυτό συμβαίνει διότι η δομή του παύει να αντέχει και διαρρηγνύεται, και από αυτό το σημείο και στο εξής συμπίεζεται σαν να μην έχει πλέον δομή. Επίσης, φαίνεται και η καμπύλη δοκιμίου το οποίο πρώτα αποδομήθηκε και ύστερα στερεοποιήθηκε. Η συμπεριφορά του είναι ενδιάμεση των άλλων δύο (αποδομημένο και ακέραιο). Η κλίση του και ο αρχικός δείκτης πόρων του είναι μειωμένα σε σχέση με το αποδομημένο υλικό εξαιτίας της προφόρτισης. Πλην όμως, δεν υπάρχουν στο εσωτερικό του δεσμοί, όπως στο ακέραιο υλικό, κι έτσι δεν μπορεί να τμήσει την καμπύλη του αποδομημένου και να συνεχίσει, παρά καμπυλώνεται και ταυτίζεται μαζί της μόλις την πλησιάζει.



Σχήμα 2.7: Στραγγιζόμενες τριαξονικές δοκιμές σε ακέραια και αποδομημένη μάργα

Τέλος, η συμπεριφορά κατά τη φόρτιση ενός υλικού με δομή σε σχέση με ένα υλικό άνευ δομής μπορεί να είναι εκ διαμέτρου αντίθετη. Σαν παράδειγμα παρατίθεται και πάλι η μάργα του Ισθμού της Κορίνθου. Δοκίμιο ακέραiou υλικού και αναζυμωμένου υλικού υπέστησαν τριαξονική στραγγιζόμενη δοκιμή, με αρχική ισότροπη συμπίεση 100kPa στην πρώτη δοκιμή και 500kPa στη δεύτερη. Η διαφορά της συμπεριφοράς είναι εμφανέστατη. Το ακέραιο υλικό παρουσιάζει ψαθυρή συμπεριφορά, με υψηλό αρχικό μέτρο ελαστικότητας, ενώ το αναζυμωμένο υλικό παρουσιάζει από την αρχή κι όλας πλαστική συμπεριφορά, με σταδιακά μειούμενο μέτρο ελαστικότητας. Μετά την αστοχία, η συμπεριφορά των δύο υλικών συγκλίνει, μαρτυρώντας πως το ακέραιο υλικό παύει να συμπεριφέρεται σαν να έχει δομή.

Αυτή η σύγκριση εξηγεί σε μεγάλο βαθμό τη διαφορετική συμπεριφορά δύο υλικών που αποτελούνται μεν από τα ίδια συστατικά, όμως το ένα έχει αναπτύξει δομή ενώ το άλλο όχι. Η ύπαρξη δομής μπορεί να είναι καθοριστική για τη μηχανική συμπεριφορά ενός υλικού, πράγμα που αποκτά ιδιαίτερη σημασία στην κατασκευή τεχνικών έργων. Η ανταλλαγή ιόντων, η διασπορά και θρόμβωση, και η θιξοτροπία ως ιδιότητες δεν εξετάζονται ξεχωριστά στη θεώρηση της παρούσας εργασίας, αλλά θεωρείται ότι η επιρροή τους λαμβάνεται υπόψη εμμέσως μέσω των υπολοίπων ιδιοτήτων. Άλωστε, απαιτούν διαφορετικές μορφές δοκιμών πέραν των δυνατοτήτων του εργαστηρίου, και επίσης έχουν περισσότερο ενδιαφέρον από τη σκοπιά της Χημείας παρά από τη σκοπιά της Γεωτεχνικής.

[13], [4], [14], [15], [16], [17], [18]

2.3 Τεχνητά Υλικά

2.3.1 Σχηματισμός

Παρατηρώντας και αποκωδικοποιώντας τους μηχανισμούς απόκτησης δομής σε γεωυλικά της φύσης και λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις τους στην μηχανική συμπεριφορά των εδαφών, ο άνθρωπος προσπάθησε να τους αναπαράγει και να δημιουργήσει τεχνητά υλικά με δομή. Έτσι, μπόρεσε να αξιοποιήσει τις ιδιότητες των υλικών με δομή προς όφελός του κατ' επιταγή, χωρίς να βασίζεται στις αποτελεσματικές μεν, τυχαίες δε διαδικασίες της φύσης, οι οποίες πολλές φορές εκτός των άλλων απαιτούσαν εκατοντάδες γενιές για να ολοκληρωθούν. Τα πρώτα τεχνητά υλικά με δομή επινοήθηκαν για το σκοπό της οικοδόμησης, και χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία κονιών και υλικών τοιχοποιίας (τούβλων κλπ.). Όπως είναι λογικό, η χρήση τους ξεκίνησε εμπειρικά, και πέρασαν πολλά χρόνια ώσπου να εξηγηθούν θεωρητικά οι «ευεργετικές» αυτές ιδιότητες.



Εικόνα 2.7: Βελτίωση αργίλου μέσω πρόσμιξης τσιμέντου

Φυσικά, οι τεχνητές διαδικασίες ανάπτυξης δομής σ' ένα υλικό δεν μπορούν παρά να βασίζονται σε διαδικασίες παρόμοιες με τις φυσικές διαδικασίες. Η διαδικασία της διαγένεσης, όπως και οι βιογενείς διαδικασίες, δεν θα είχε νόημα να αναπαραχθούν τόσο εξαιτίας της διάρκειάς τους, η οποία είναι υπερ-πολλαπλάσια του χρόνου ζωής ενός έργου—πόσω μάλλον του χρόνου κατασκευής του, όσο και των απαιτούμενων συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας, που θα τις καταστούσαν από εξαιρετικά αντιοικονομικές έως πρακτικώς αδύνατες. Έτσι, οι μοναδικές διαδικασίες που μπορούν να αναπαραχθούν αποτελεσματικά είναι οι χημικές διαδικασίες συγκόλλησης.

Η ύπραξη στη φύση υλικών τα οποία έχουν τη δυναμική να αναπτύξουν δομή με τέτοιες κατάλληλες διαδικασίες στον απαιτούμενο χρόνο ήταν γνωστή από τα αρχαία χρόνια. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι, όπως και άλλοι λαοί της Μέσης Ανατολής, στις κατασκευές τους χρησιμοποιούσαν γύψο και άσβεστο, δύο ασβεστίτικα υλικά που όταν ενυδατωθούν πήζουν

και σκληρύνονται, αποκτώντας δομή και αντοχή. Επίσης, αξιοποιούσαν την ιδιότητα της αργίλου να σκληραίνει όταν ξηραίνεται για να δημιουργήσουν—μεταξύ άλλων—τούβλα και δομικά υλικά. Οι αρχαίοι Ρωμαίοι με τη σειρά τους ανακάλυψαν τις ποζολάνες, οι οποίες δεν ήταν παρά στάχτες που είχαν προέλθει από τα ηφαίστεια της Ιταλικής χερσονήσου. Οι ποζολάνες αυτές χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με άσβεστο για τη δημιουργία τσιμέντου, του αποκαλούμενου «Ρωμαϊκού τσιμέντου», το οποίο έχει πολλές ομοιότητες με το τσιμέντο που χρησιμοποιείται στις σύγχρονες κατασκευές.

Το επόμενο βήμα στη δημιουργία υλικών με δομή έγινε πολύ αργότερα, στις αρχές του 19^{ου} αιώνα κατά τη Βιομηχανική Επανάσταση. Στην Αγγλία δημιουργήθηκε τότε το τσιμέντο που χρησιμοποιείται έως και σήμερα, το τσιμέντο Portland, και πάλι με βάση τον ασβεστόλιθο και τα αργιλοπυριτικά πετρώματα. Σύντομα δημιουργήθηκαν και τυποποιήθηκαν οι δοκιμές της ποιότητας του τσιμέντου. Έως τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, το τσιμέντο είχε αποκτήσει μεγάλη εφαρμογή. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα αναδείχθηκε σε ένα από τα σημαντικότερα δομικά υλικά των τότε κατασκευών, υπερνικώντας περιορισμούς στην κατασκευή έργων που προέρχονταν από τις ιδιότητες των μέχρι τότε δομικών υλικών και μεθόδων. Παράλληλα, η τυποποίηση στη διαδικασία παραγωγής του τσιμέντου έκανε ακόμη πιο εύκολη και αξιόπιστη τη χρήση του, συμβάλλοντας στην εξάπλωσή της. Εν τω μεταξύ, κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα διερευνήθηκαν και άλλα υλικά με παρόμοιες ιδιότητες, τα οποία είχαν αμεληθεί είτε λόγω της μεγάλης χρήσης τσιμέντου Portland, είτε διότι δεν ήταν γνωστά ή προσβάσιμα τα κοιτάσματά τους, είτε επειδή δεν είχε ανακαλυφθεί η δυνατότητα χρήσης τους σε εξειδικευμένες εργασίες.



Εικόνα 2.8: Τυποποιημένη δοκιμή τσιμέντου

Τα κονιάματα που δημιουργήθηκαν έχουν πλέον πολύ μεγαλύτερο πλαίσιο εφαρμογής απ' ό,τι στο παρελθόν. Στο πλαίσιο αυτό, βαρύτατο ρόλο καταλαμβάνει η οικοδομική δραστηριότητα, με χρήση στην κατασκευή φέροντος οργανισμού, σε στοιχειά αισθητικής, στη στεγάνωση υπόγειων και επίγειων έργων, στη βελτίωση της συμπεριφοράς

των βράχων με την πλήρωση κενών ή αδύναμων σημείων, αλλά σημαντικό μερίδιο καταλαμβάνουν και άλλες χρήσεις, όπως στην ιατρική και οδοντιατρική, στην τέχνη, και αλλού. Όμως μία άλλη χρήση της κατασκευής υλικών με δομή, η οποία αποκτά ολοένα και πιο μεγάλη σημασία, είναι η σταθεροποίηση εδαφών με μη ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες στην κατασκευή τεχνικών έργων, και είναι η χρήση στην οποία επικεντρώνεται η παρούσα εργασία.

Αντίθετα με τις περισσότερες άλλες χρήσεις, όπου μία κονία χρησιμοποιείται ως συγκολλητική ουσία για δύο άλλα σώματα ή ως υλικό πλήρωσης κενών, στην περίπτωση της σταθεροποίησης του εδάφους σκοπός είναι η ανάπτυξη δομής στο ίδιο το έδαφος ώστε να αποκτήσει τις ιδιότητες ενός υλικού με δομή, τα κύρια αποτελέσματα της οποίας είναι μειωμένες καθιζήσεις και μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα. Έτσι, το έδαφος αναμειγνύεται με ειδικά πρόσμικτα, ώστε σταθεροποιείται και μπορεί να τεθεί υπό απαιτητικότερες συνθήκες φόρτισης με μεγαλύτερη ασφάλεια και ικανοποιητικές συνθήκες λειτουργικότητας. Υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς αυτήν την κατεύθυνση ως πρόσμικτα είναι τόσο η άσβεστος και το τσιμέντο, όσο και η ιπτάμενη τέφρα, οι σκωρίες υψικαμίνων, η άσφαλτος, και φυσικά άλλες φυσικές (ή τεχνητές) ποζολάνες (θηραϊκή γη, κλπ.).

Η επιλογή της χρήσης των παραπάνω υλικών εξαρτάται από μια σειρά από παράγοντες. Κατ' αρχάς, το φάσμα των εδαφικών υλικών είναι ευρύτατο, όσον αφορά τόσο την ορυκτολογική σύστασή τους, όσο και τα μεγέθη των σωματιδίων (κόκκων) τους. Συνεπώς, καθένα από τα πιθανά πρόσμικτα έχει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε κάποια εδάφη και μικρότερη έως μηδαμινή σε άλλα. Παράλληλα, καθοριστικό ρόλο παίζουν οι οικονομικοί παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα, το κόστος μεταφοράς, ανάμιξης, κ.α. Εξίσου σημαντικό ρόλο παίζουν και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η φυσική καταστροφή των χώρων λατομείων, το ενδεχόμενο εισροών επικίνδυνων ουσιών στον υδροφόρο ορίζοντα, οι εκπομπές επιβαρυντικών για την ατμόσφαιρα αερίων κατά τη διαδικασία παραγωγής του απαιτούμενου υλικού, κ.α.

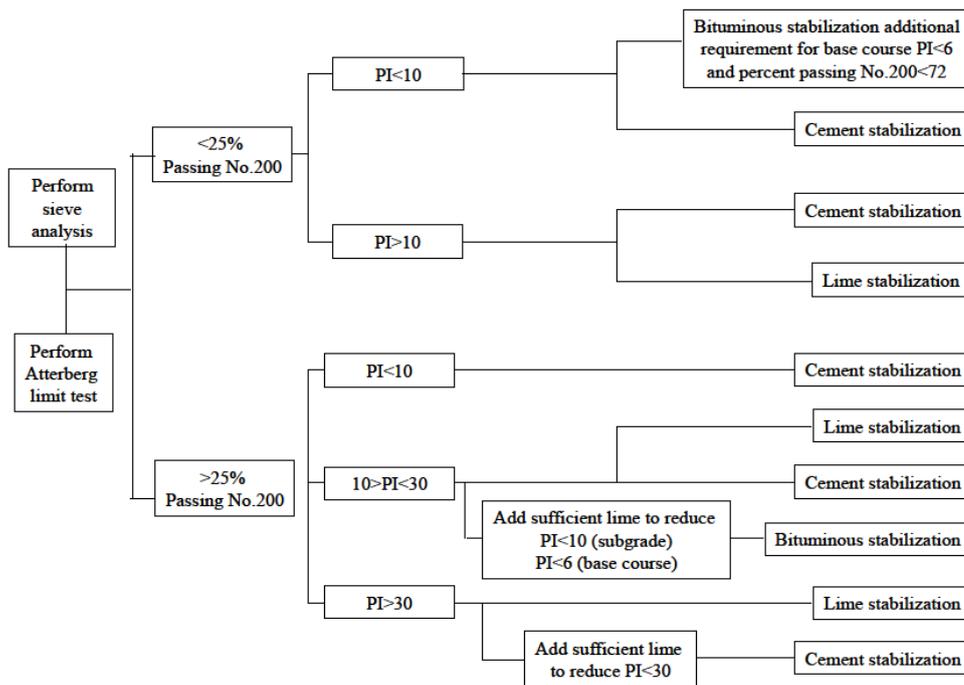
Κατά τη σταθεροποίηση ενός εδάφους, το έδαφος αναμειγνύεται με ένα ή περισσότερα από τα προαναφερθέντα υλικά (πρόσμικτα). Εν συνεχεία, ξεκινούν και εξελίσσονται οι χημικές αντιδράσεις που οδηγούν στην ανάπτυξη δομής στο σώμα του υλικού. Υπάρχουν δύο ενδεχόμενα: πρώτον, τα συστατικά του προσμίκτου αντιδρούν μεταξύ τους, δημιουργώντας μία δομή εντός της οποίας κλειδώνονται οι κόκκοι του υλικού· δεύτερον, τα συστατικά του προσμίκτου αντιδρούν μεταξύ τους, αλλά κυρίως με τα συστατικά του εδαφικού υλικού, και προκύπτει ένα ενιαίο, νέο υλικό το οποίο αναπτύσσει δομή σε όλο το σώμα του.

Οι διαδικασίες αυτές βασίζονται στην αντίδραση ανάμεσα σε ασβεστιτικά συστατικά, που στα διάφορα είδη προσμίκτων εμπεριέχονται υπό διάφορες μορφές, και σε αργιλοπυριτικά συστατικά, τα οποία μπορούν να εμπεριέχονται υπό διάφορες μορφές τόσο στα πρόσμικτα, όσο και στα προς σταθεροποίηση εδάφη. Καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία αυτή παίζουν δύο ακόμη παράμετροι: η παρουσία υγρασίας, και το μέγεθος των κόκκων. Οι διάφορες αντιδράσεις μεταξύ ασβεστίου και αργιλοπυριτικών χρησιμοποιούν ως

«μεσάζοντα» το νερό. Για αυτό το σκοπό καταναλώνεται το νερό που βρίσκεται στους πόρους του υλικού. Κατά περίπτωση, μπορεί να επαρκεί η φυσική υγρασία του προς στερεοποίηση υλικού, ή μπορεί να απαιτείται και παροχή μεγάλης ποσότητας νερού για την ολοκλήρωση των διαδικασιών. Όσον αφορά το μέγεθος των κόκκων, έχει σημασία αυτοί να είναι ικανού μεγέθους ώστε να είναι δυνατό το «κλείδωμά» τους στη διαμορφούμενη δομή. Αν η δομή είναι πολύ ανοικτή σχετικά με το μέγεθος των κόκκων, τότε δεν επιτυγχάνονται στο μέγιστο τα επιθυμητά αποτελέσματα διότι δημιουργούνται εφελκυσμοί στη δομή, όπως, για παράδειγμα, συμβαίνει στην περίπτωση ανάμιξης τσιμέντου με άργιλο. Βασική παράμετρος στη διαδικασία δημιουργίας δομής σ' ένα υλικό είναι η ωρίμανση, δηλαδή ο βαθμός επάρκειας του χρόνου για την εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων. Όσον αφορά τα περισσότερα πρόσμικτα, το μεγαλύτερο μέρος των αντιδράσεων ολοκληρώνεται σε μια περίοδο μεταξύ ενός ή περισσότερων μηνών, ή και λίγων ετών. Η πλήρης ολοκλήρωση των αντιδράσεων μπορεί να απαιτεί πολλά χρόνια, η συνεισφορά της ωρίμανσης από ένα χρονικό σημείο και μετά όμως είναι αμελητέα.

Εν γένει, λοιπόν, για τη σταθεροποίηση μη συνεκτικών υλικών, τα οποία χαρακτηρίζονται ως «χονδρόκοκκα», χρησιμοποιούνται πρόσμικτα τα οποία περιέχουν τόσο το απαιτούμενο ασβέστιο, όσο και τα απαιτούμενα αργιλοπυριτικά, καθώς τα χονδρόκοκκα υλικά στη συντριπτική πλειονότητά τους δεν συμμετέχουν στη διαδικασία απόκτησης δομής, παρά μόνο παθητικά, με το κλείδωμα των κόκκων τους στη δομή. Επίσης, τα πρόσμικτα που χρησιμοποιούνται δημιουργούν δομή μεγαλύτερης κλίμακας, ανάλογης του μεγέθους των κόκκων του εδάφους. Παράδειγμα τέτοιου πρόσμικτου είναι το τσιμέντο το οποίο κατά συνέπεια δεν αποτελεί ιδανικό πρόσμικτο για χρήση στην περίπτωση λεπτόκοκκων (χωρίς να αποκλείεται η δυνατότητα χρήσης του). Στον αντίποδα, για τη σταθεροποίηση συνεκτικών (αργιλικών) υλικών, τα οποία χαρακτηρίζονται ως «λεπτόκοκκα», χρησιμοποιούνται πρόσμικτα τα οποία έχουν κυρίως τα ασβεστιτικά συστατικά που απαιτούνται για την πυροδότηση και εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων. Βεβαίως, η δραστηρότητά τους ενισχύεται εφόσον περιέχουν αργιλοπυριτικά σε κατάσταση προσφορότερη για τη συμμετοχή τους στις αντιδράσεις.

Οι ακριβείς χημικές διαδικασίες και αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την διαδικασία της δημιουργίας δομής σε εδαφικά υλικά μέσω της ανάμιξής τους με τα πιο διαδεδομένα πρόσμικτα περιγράφονται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο. Η βασική αρχή, όμως, παραμένει ίδια για κάθε συνδυασμό προσμίκτου-εδάφους.



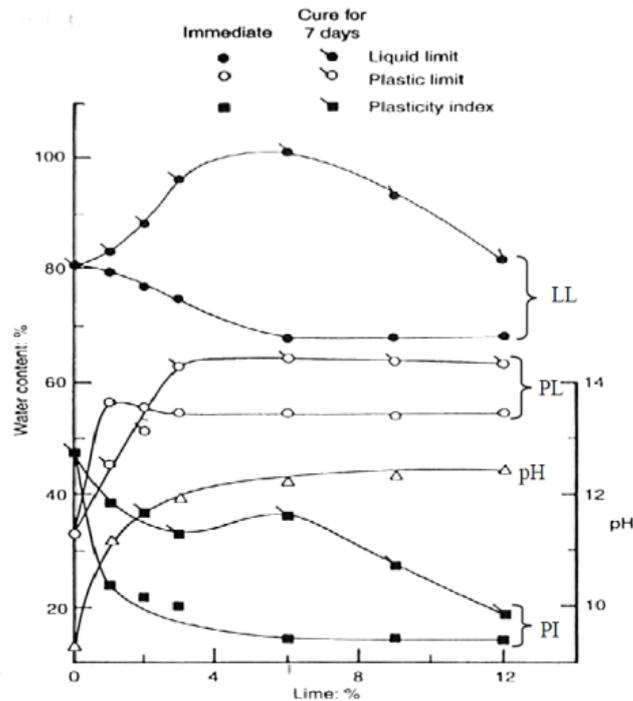
Σχήμα 2.8: Προσδιορισμός του κατάλληλου πρόσμικτου

[19], [20], [21], [22]

2.3.2 Χαρακτηριστικά, Ιδιότητες, Συμπεριφορά

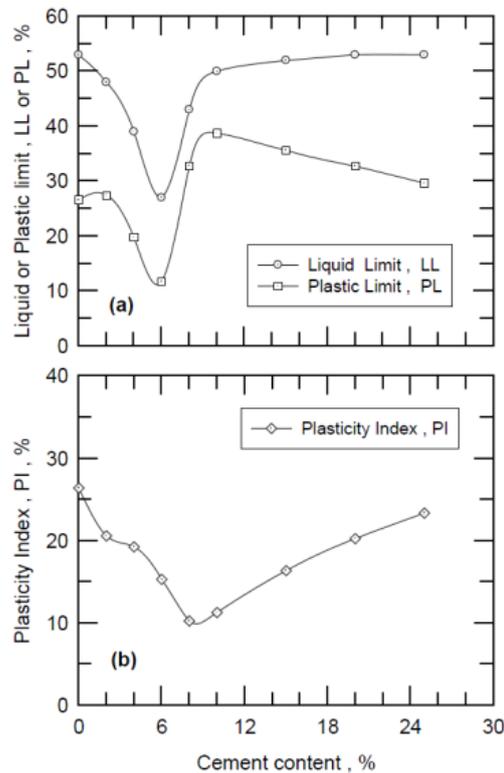
Το πλέον δυσμενές φυσικό εδαφικό υλικό της φύσης είναι η άργιλος, και ιδιαίτερα η άργιλος υψηλής πλαστικότητας, της οποίας η σταθεροποίηση αποτελεί και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας. Ως εκ τούτου, το εδάφιο αυτό θα αφιερωθεί στη σημασία της απόκτησης δομής σε αργιλικά εδάφη.

Οι φυσικο-χημικές ιδιότητες των αργιλικών υλικών, απόρροια της ορυκτολογικής σύστασής τους, έχουν παρατεθεί στο σχετικό κεφάλαιο, και έχουν καθοριστικές συνέπειες για την μηχανική συμπεριφορά των αργίλων. Οι σημαντικότερες επιπλοκές που πηγάζουν από αυτές είναι η χαμηλή διατμητική αντοχή, η μεγάλη παραμορφωσιμότητα ακόμη και υπό μικρού σχετικώς μεγέθους φορτία, και ο μεγάλος—σε σχέση με το χρόνο κατασκευής ενός έργου—χρόνος εκδήλωσης της παραμόρφωσης. Έτσι, μέσω της ανάμιξης ενός εδαφικού υλικού με κάποιο βελτιωτικό πρόσμικτο μπορούν να επιτευχθούν διάφορες ευεργετικές μεταβολές.



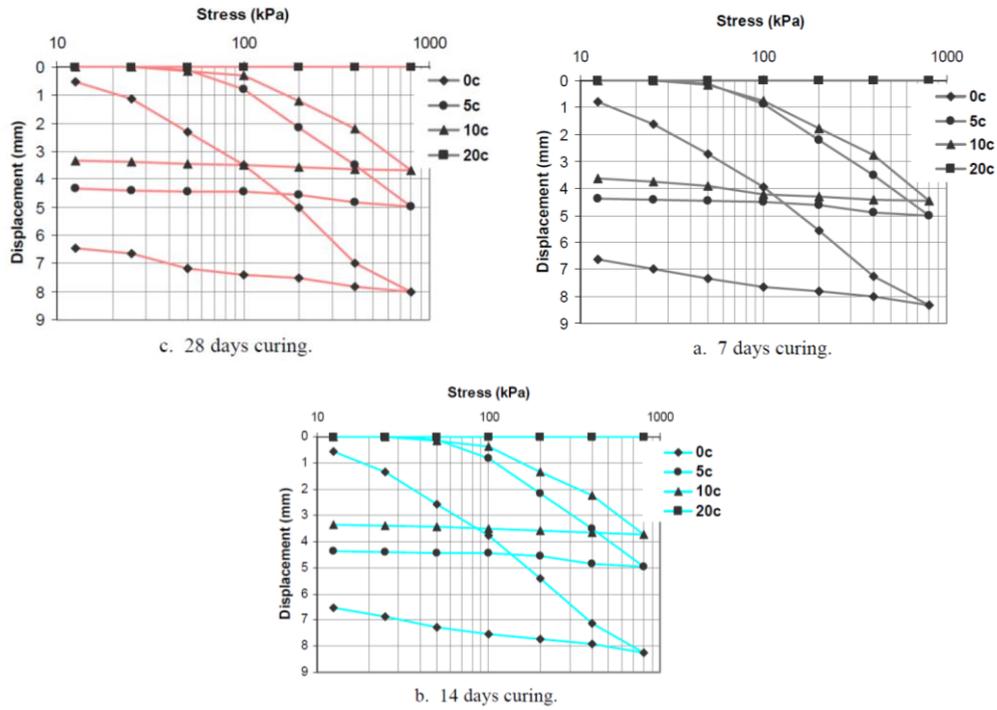
Σχήμα 2.9: Επίδραση του ποσοστού περιεχόμενης ασβέστου στα όρια Atterberg αργίλου με προσθήκη μάυρου βαμβακιού (Sivarullai et al., 2000)

Κατά την ανάμιξη μιας αργίλου με κάποιο πρόσμικτο, η πρώτη διαδικασία, που ξεκινά σχεδόν ακαριαία, είναι η ενυδάτωση του προσμίκτου. Τα ασβεστίτικα στοιχεία προσροφούν το νερό των πόρων, σαν μεταβατικό στάδιο για την αντίδρασή τους με τα αργιλοπυριτικά στοιχεία. Αυτό έχει άμεσο αντίκτυπο στο υλικό. Η ενυδάτωση των ασβεστίτικων, κατά την οποία συμβαίνει ανταλλαγή ιόντων με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η διπλή στρώση νερού οδηγώντας σε μείωση του μεγέθους της, έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την μείωση του ορίου υδαρότητας (LL) και την αύξηση του ορίου πλαστικότητας, οδηγώντας στην πτώση της πλαστικότητας (PL) του υλικού. Αυτή η τάση διαφοροποιείται κάπως μετά την έναρξη των ποζολανικών αντιδράσεων, με το όριο υδαρότητας και το όριο πλαστικότητας να σημειώνουν αύξηση. Αυτό συμβαίνει διότι η ενυδάτωση μειώνει την υδροαπορροφητικότητα του υλικού—φαίνεται στην μείωση του ορίου υδαρότητας, ενώ η ποζολανική αντίδραση αυξάνει μεν την υδροαπορροφητικότητα—πράγμα που αποδεικνύεται από την αύξηση ορίου υδαρότητας—προκαλεί όμως θρόμβωση, κροκκίδωση και συγκόλληση των κόκκων αυξάνοντας το όριο πλαστικότητας, οδηγώντας σε μείωση της συνολικής πλαστικότητας. Ενδεικτικά, παρατίθενται τα διαγράμματα των ορίων υδαρότητας και πλαστικότητας, καθώς και του δείκτη πλαστικότητας υπό διάφορα ποσοστά πρόσμικτου και μετά από διαφορετικούς χρόνους, που προέρχονται από διαφορετικά πειράματα. Φαίνεται ότι τόσο το ποσοστό του προσμίκτου όσο και ο χρόνος ωρίμανσης επηρεάζουν την έναρξη των ποζολανικών αντιδράσεων, και συνεπώς την αλληλουχία της μεταβολής των ορίων Atterberg. Το τελικό, μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα όμως είναι η μείωση της πλαστικότητας του υλικού, πράγμα που μαρτυρά τη σαφή μεταβολή της συμπεριφοράς του υλικού, όπως φαίνεται παρακάτω.

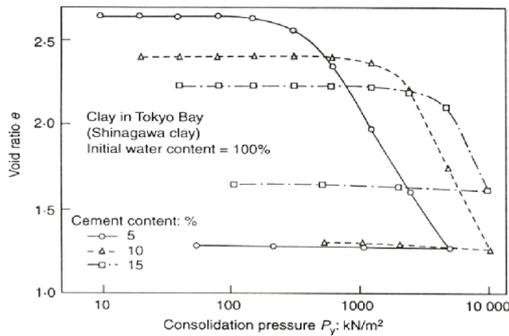


Σχήμα 2.10: Επίδραση του ποσοστού περιεχόμενου τσιμέντου στο όριο υδαρότητας, στο όριο πλασιμότητας και στον δείκτη πλασιμότητας ενός Al-Marl εδαφικού υλικού

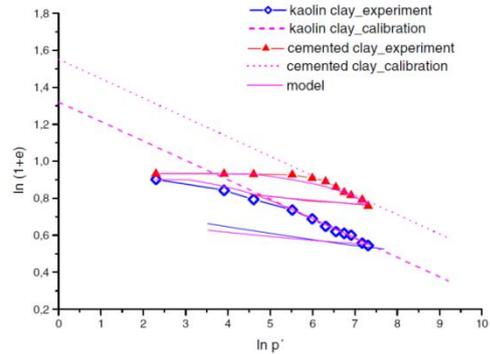
Οι μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του υλικού κατά τη διαδικασία της ανάπτυξης δομής έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη συμπιεστότητα του υλικού. Το μεγαλύτερο μέρος των μεταβολών αυτών οφείλεται στην εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων. Όπως έχει προειπωθεί, η εξέλιξη των αντιδράσεων αυτών εξαρτώνται άμεσα από το λόγο προσμίκτου προς αρχικό γεωυλικό (αργιλικό στη συγκεκριμένη περίπτωση), από τη χρονική ωρίμανση του μίγματος, και πάντα υποφώσκει ο ρόλος του νερού—τόσο ως προς την ποσότητά του σε σχέση με την ποσότητα των υπολοίπων εμπλεκόμενων υλικών όσο και ως προς την ποιότητα και τη θερμοκρασία του. Για την αποτύπωση των επιπτώσεων των μεταβολών αυτών συνήθως μίγματα διαφορετικών αναλογιών υλικών υποβάλλεται σε δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης σε διαφορετικούς χρόνους ωρίμανσης. Διαγράμματα από διάφορα εργαστηριακά πειράματα διαφόρων συνδυασμών αργιλικού υλικού-προσμίκτου παρατίθενται ώστε να αποτυπωθούν και να εξηγηθούν οι εν λόγω μεταβολές. Όπου ήταν δυνατόν συμπεριλήφθηκε και το αποτέλεσμα της ωρίμανσης.



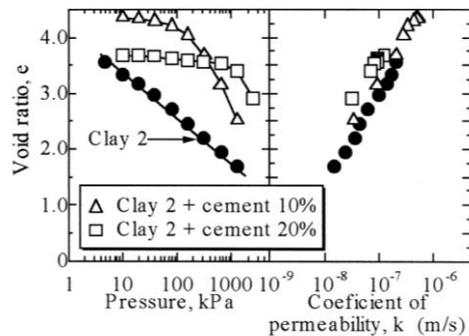
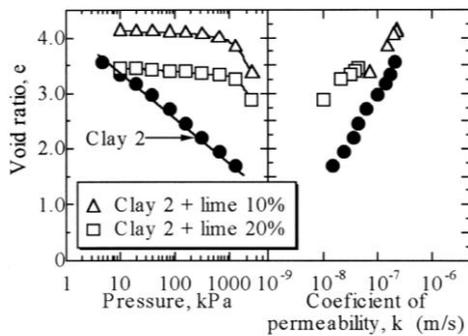
Σχήμα 2.11: Άργιλος Μαλαισίας σταθεροποιημένη με τσιμέντο

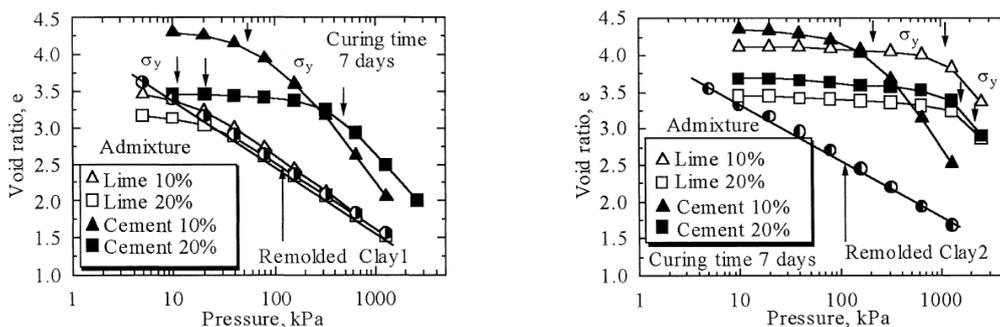


Σχήμα 2.12: Άργιλος κόλπου Τόκυο



Σχήμα 2.13: Άργιλος Αι Καρακ





Σχήμα 2.14: Άργιλος Ariake

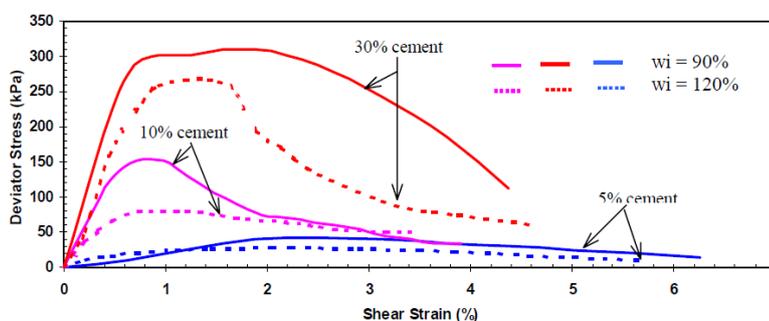
Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών, όπως παρουσιάζονται στα διαγράμματα, είναι αρκετά διαφωτιστικά ως προς το αποτέλεσμα των εξελισσόμενων διεργασιών. Κατ' αρχάς, πρέπει να δοθεί προσοχή στα μεγέθη που απεικονίζονται. Τα διαγράμματα που δίνουν την περισσότερη πληροφορία είναι αυτά που απεικονίζουν το δείκτη πόρων με την επιβαλλόμενη τάση, όμως μεγάλη χρησιμότητα έχουν και αυτά που απεικονίζουν την κατακόρυφη παραμόρφωση συναρτήσει της επιβαλλόμενης τάσης. Μπορούν να παρουσιαστούν και άλλα μεγέθη, όμως όλα δείχνουν την ίδια συμπεριφορά. Το μεγάλο προτέρημα της απεικόνισης του δείκτη πόρων είναι ότι φαίνεται ο αρχικός δείκτης πόρων, και συνεπώς η μεταβολή του με τα διαφορετικά ποσοστά ανάμιξης ή χρόνους ωρίμανσης.

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την μελέτη των διαγραμμάτων αυτών είναι σημαντικά. Πρώτον, στα διαγράμματα που απεικονίζουν δείκτη πόρων, φαίνεται ξεκάθαρα μια μείωση του αρχικού δείκτη πόρων με αυξανόμενο ποσοστό πρόσμικτου. Αυτή η μείωση του αρχικού δείκτη πόρων οφείλεται στην μείωση του πορώδους που προκαλείται από την έναρξη και εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων. Σε άλλη περίπτωση μπορεί να οφείλεται στην επιβολή προφόρτισης στο υλικό, και αυτό πρέπει να προσεχθεί ώστε να μην παρερμηνευθεί η δράση του πρόσμικτου. Στη συνέχεια, παρατηρείται η διαφοροποίηση της συμπεριφοράς μεταξύ του υλικού χωρίς και του υλικού με πρόσμικτο. Ενώ το υλικό χωρίς πρόσμικτο παρουσιάζει την κλασική συμπεριφορά ενός κανονικώς φορτισμένου υλικού, σημειώνοντας συνεχή μείωση του πορώδους (ή αντίστοιχα προ-φορτισμένου, σημειώνοντας στην αρχή μια κοιλάδα ως την τάση προφόρτισης και ύστερα καμπυλώνοντας προς τα κάτω), όσο αυξάνεται το ποσοστό πρόσμικτου σημειώνεται μια όλο και μεγαλύτερη φαινόμενη τάση προφόρτισης, που αντιστοιχεί στην ανεπτυγμένη στο υλικό δομή. Μόλις η δομή αυτή ξεπεράσει την αντοχή της, το υλικό ξεκινά να συμπεριφέρεται σαν απροφόρτιστο, και η καμπύλη e κυρτώνει προς τα κάτω, για να καταλήξει παράλληλη με αυτήν του αρχικού υλικού. Η αξία αυτής της παρατήρησης είναι μεγάλη, καθώς αυτός ο μηχανισμός μπορεί να οδηγήσει σε έλεγχο των καθιζήσεων μιας εδαφικής στρώσης.

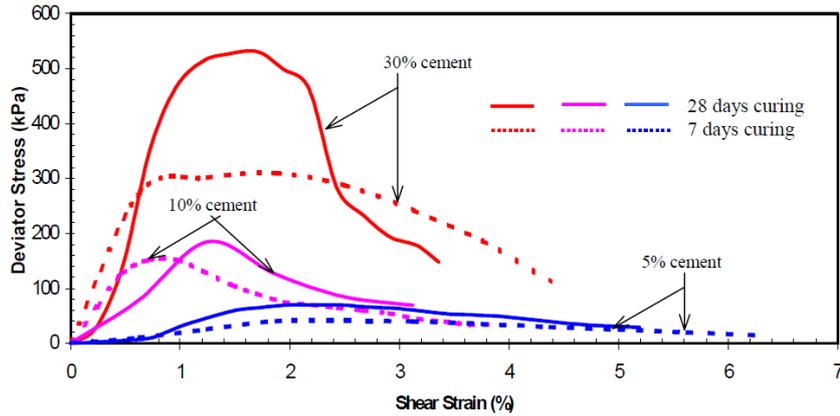
Αξίζει εδώ να σημειωθεί πως η επιβολή προφόρτισης πριν την πλήρη εκκίνηση των διεργασιών ανάπτυξης δομής μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην ανάπτυξη της φαινόμενης τάσης προφόρτισης, πλην όμως, αν η επιβολή προφόρτισης καθυστερήσει και η δομή έχει προλάβει να ξεκινήσει να σχηματίζεται, καταστρέφεται η πρόοδος που έχει σημειωθεί ως

αυτό το σημείο, ακυρώνοντας ανάλογο ποσοστό της πρόσθετης αντοχής που θα αναπτυσσόταν σε περίπτωση μη προφόρτισης.

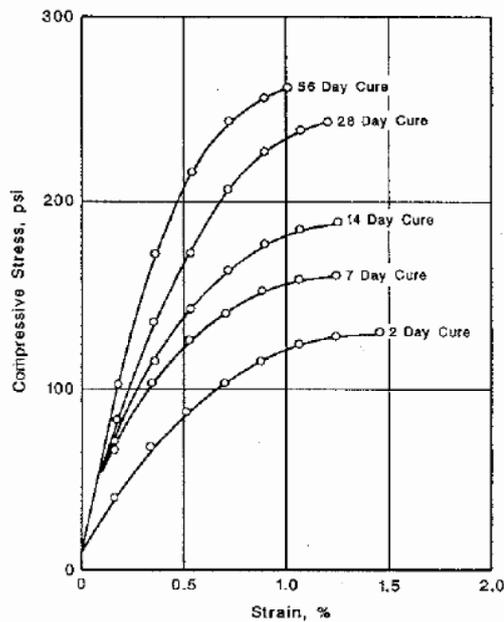
Παράλληλα, βέβαια, στο σχετικό διάγραμμα φαίνεται και η μείωση της διαπερατότητας με την μείωση του δείκτη πόρων. Αυτό είναι φυσικό επακόλουθο της συμπύκνωσης στην οποία υπόκειται το υλικό, καθώς η διάταξή του αλλάζει, γίνεται πιο πυκνή, και η δυνατότητα κινητικότητας του νερού διαμέσου του εδαφικού σκελετού μειώνεται αναλόγως. Αυτός ο μηχανισμός ευθύνεται κατά το μεγαλύτερο μέρος για την προς τα άνω καμπύλωση που σημειώνεται στα διαγράμματα μονοδιάστατης στερεοποίησης όπου παρουσιάζεται ο δείκτης πόρων προς την επιβαλλόμενη τάση εκφρασμένη σε πραγματική (και όχι λογαριθμική) κλίμακα, δηλαδή ο ρυθμός στερεοποίησης μειώνεται όσο αυξάνεται η τάση και το υλικό συμπιέζεται. Τέλος, η παραπάνω συμπεριφορά συνοδεύεται και από αλλαγές στην απόκριση του υλικού στην τριαξονική φόρτιση. Συγκεκριμένα, σε τριαξονικές δοκιμές με διαφορετικά επίπεδα πλευρικού περιορισμού, συμπεριλαμβανομένης και της μη πλευρικής περιορισμένης δοκιμής, φαίνεται η ίδια τάση συμπεριφοράς. Καθώς αυξάνεται το ποσοστό προσμίκτου και ο χρόνος ωρίμανσης, η συμπεριφορά του υλικού μεταβάλλεται από πλαστική με συγκριτικά αρκετά μικρή αντοχή και χαμηλό αρχικό μέτρο ελαστικότητας, που είναι η φυσική συμπεριφορά μιας αργίλου, σε ψαθυρή με φανερά αυξημένη αντοχή—υπερπολλαπλασία της αρχικής σε ορισμένες περιπτώσεις—και υψηλό αρχικό μέτρο ελαστικότητας που διατηρείται σχεδόν μέχρι τη στιγμή της αστοχίας. Μετά την αστοχία, η αντοχή σταδιακά μειώνεται, για να εξομοιωθεί τελικά η συμπεριφορά του μίγματος με τη συμπεριφορά του καθαρού αργιλικού υλικού. Αυτή η μεταβολή της συμπεριφοράς, κατά την οποία πλέον το υλικό παραμορφώνεται ελαστικά, με αυξημένη αντοχή και μέτρο ελαστικότητας, αστοχεί ψαθυρά, και ύστερα η αντοχή του μειώνεται και η συμπεριφορά του εξομοιώνεται με τη συμπεριφορά του αρχικού υλικού συνάδει απόλυτα με τη συμπεριφορά του υλικού στις δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης. Αρχικώς αντιστέκεται η δομή του μίγματος, η οποία μάλιστα συμπεριφέρεται σε μεγάλο βαθμό ελαστικά. Σε περίπτωση που η επιβαλλόμενη τάση υπερβεί την αντοχή της δομής, αυτή διαρρηγνύεται και το υλικό επανέρχεται στην μητρική του συμπεριφορά.



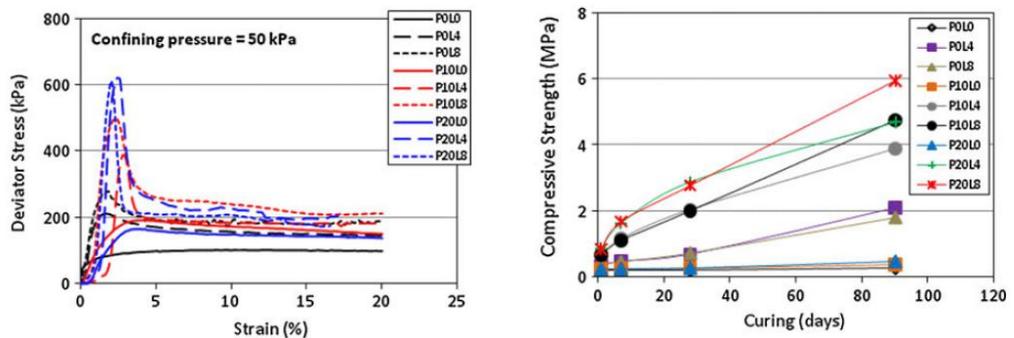
Σχήμα 2.15: Επίδραση της αρχικής περιεχόμενης υγρασίας στην συμπεριφορά τάσης - παραμόρφωσης Αργίλου με πρόσμιξη Τσιμέντου (χρόνος ωρίμανσης = 7 ημέρες)



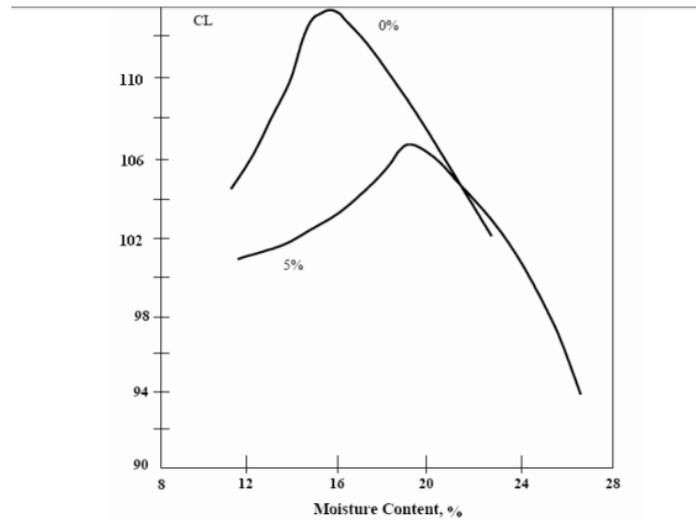
Σχήμα 2.16: Επίδραση του χρόνου ωρίμανσης στην συμπεριφορά τάσης – παραμόρφωσης Αργίλου με πρόσμιξη τσιμέντου ($w_i = 90\%$)



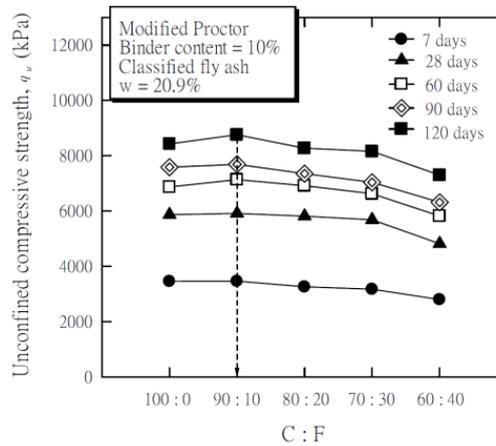
Σχήμα 2.17: Χαρακτηριστικά τάσης - παραμόρφωσης αργίλου του Goose Lake με πρόσμιξη ασβέστου με τον χρόνο (Mallela et al. 2004)



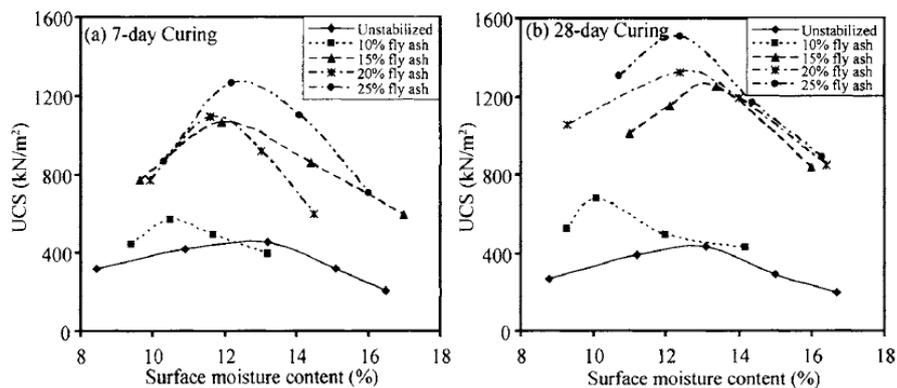
Σχήμα 2.18: Επιρροή του ποσοστού ασβέστου ως πρόσμικτο στην σχέση τάσης-παραμόρφωσης και στην αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη.



Σχήμα 2.19: Επιρροή στην καμπύλη συμπίκνωσης της προσθήκης ασβέστου σε άργιλο χαμηλής πλασιμότητας



Σχήμα 2.20: Συσχέτιση μεταξύ αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη και στον λόγο αντικατάστασης του CFA



Σχήμα 2.21: Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη σε δείγματα με προσθήκη ιπτάμενης τέφρας

Όσον αφορά στο ποσοστό υγρασίας, το οποίο επίσης έχει σημαντική συμβολή στη διεξαγωγή της διαδικασίας, φαίνεται στο σχετικό διάγραμμα ότι η μέγιστη δυνατή συμπίκνωση και συνεπώς αύξηση της αντοχής επιτυγχάνεται για συγκεκριμένο ποσοστό υγρασίας. Μεγαλύτερο ή μικρότερο ποσοστό οδηγούν σε χαμηλότερη μέγιστη δυνατή συμπίκνωση και άρα σε χαμηλότερη μέγιστη ανάπτυξη διατμητικής αντοχής. Η

αύξηση της αντοχής φαίνεται τελικά να είναι συνάρτηση τόσο του ποσοστού προσμίκτου και του χρόνου ωρίμανσης, αλλά και του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας.

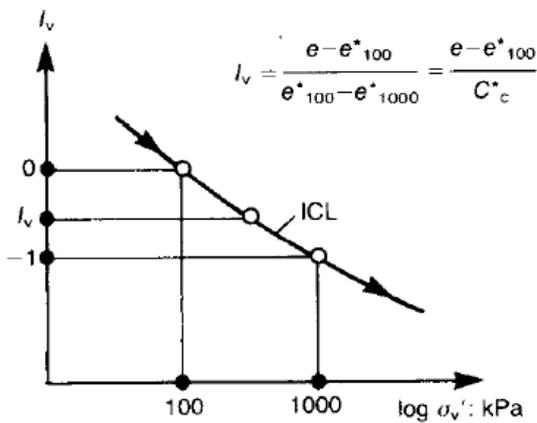
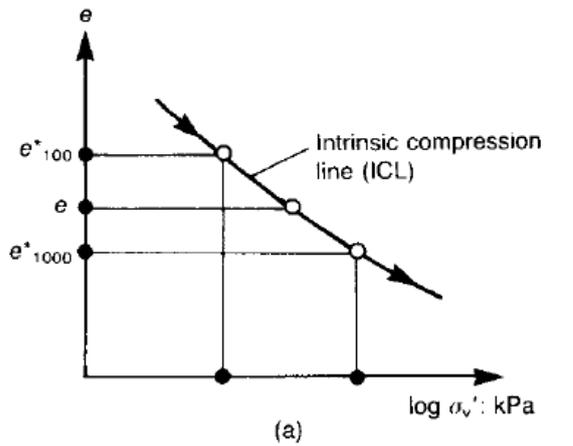
Συνοψίζοντας, η δημιουργία δομής σε εδαφικά υλικά, δηλαδή η δημιουργία τεχνητών εδαφικών υλικών με δομή, πετυχαίνει το στόχο της, ο οποίος είναι η βελτίωση της μηχανικής συμπεριφοράς ενός εδαφικού υλικού, χάρη σε μια σειρά από μεταβολές που οι μηχανισμοί δημιουργίας δομής προκαλούν στον εδαφικό σκελετό. Αυτές οι μεταβολές εξαρτώνται από το λόγο αρχικού υλικού-προσμίκτου, από τη χημική σύσταση και την κατάσταση των υλικών αυτών, από τον χρόνο ωρίμανσης, και από την περιεχόμενη υγρασία. Κατ' αρχάς, με την αύξηση ποσοστού προσμίκτου μειώνεται η πλαστικότητα του υλικού. Αυξάνεται η διατμητική αντοχή του και η συμπεριφορά του προσομοιάζει την μορφή συμπεριφοράς προφορτισμένου υλικού, επιδεικνύοντας μια φαινόμενη τάση προφόρτισης. Όταν η επιβαλλόμενη τάση υπερβεί τη φαινομενική αυτή τάση προφόρτισης, η δομή παύει να λειτουργεί και το υλικό από εκείνο το σημείο συμπεριφέρεται σαν το αρχικό. Το μέτρο ελαστικότητάς του είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση με το μέτρο του αρχικού υλικού, και η αστοχία του είναι ψαθυρή, σε αντίθεση με το αρχικό υλικό, του οποίου η αστοχία είναι πλαστική. Έτσι, προσαρμόζοντας κατάλληλα το ποσοστό πρόσμικτου και υγρασίας, επιτρέποντας τη δράση των διεργασιών αυτών για κατάλληλο χρονικό διάστημα, και ενδεχομένως υποβοηθώντας τη με την επιβολή προφόρτισης, μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητική μείωση της συμπίεσής και αύξηση της αντοχής του εδαφικού υλικού.

[1], [8], [2], [4], [23], [24], [25], [26], [27]

2.4 Αναζυμωμένα (Reconstituted) Υλικά

Όσον αφορά τα αργιλικά υλικά, τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά, με επίκεντρο τη συμπίεσής και τη διατμητική τους αντοχή, εξαρτώνται από ποικίλες παραμέτρους, πολλές από τις οποίες έχουν να κάνουν με τη φυσική κατάσταση του υλικού, η οποία περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως είναι η προφόρτιση, η υγρασία, κ.α. Έτσι, κατά τη δεκαετία του 1930 ξεκίνησε μία προσπάθεια προσδιορισμού χαρακτηριστικών των αργιλικών υλικών τα οποία θα ήταν αναλλοίωτα για ένα υλικό, ανεξαρτήτως της φυσικής του κατάστασης και ιστορίας. Αυτό οδήγησε στη διαμόρφωση η Θεωρία Εδαφομηχανικής Κρίσιμης Κατάστασης κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών.

Κατά τον Burland, ο οποίος εξέτασε την μηχανική συμπεριφορά αργιλικών υλικών κατά τη συμπίεσή τους, ένα αναζυμωμένο (reconstituted) υλικό ορίζεται ως ένα υλικό το οποίο έχει αναμειχθεί διεξοδικά με ποσοστό υγρασίας μεγαλύτερο ή ίσο του ορίου υδαρότητας (LL). Τα μηχανικά χαρακτηριστικά ενός αναζυμωμένου υλικού με ποσοστό υγρασίας από LL έως 1.5LL (κατά προτίμηση ίσο με 1.25LL) το οποίο δεν έχει υποστεί ξήρανση, που προκύπτουν από τη δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης, αποκαλούνται «εγγενή» (intrinsic) χαρακτηριστικά, ακριβώς επειδή απορρέουν από μια τυποποιημένη διαδικασία και δεν εξαρτώνται από τη φυσική κατάσταση του υλικού. Μπορούν να διαφοροποιούνται εντόνως από τα χαρακτηριστικά ενός υλικού στη φυσική του κατάσταση, έχουν αποδειχθεί όμως ιδιαίτερα χρήσιμα, καθότι παρέχουν ένα σύστημα αναφοράς για τον έλεγχο και την

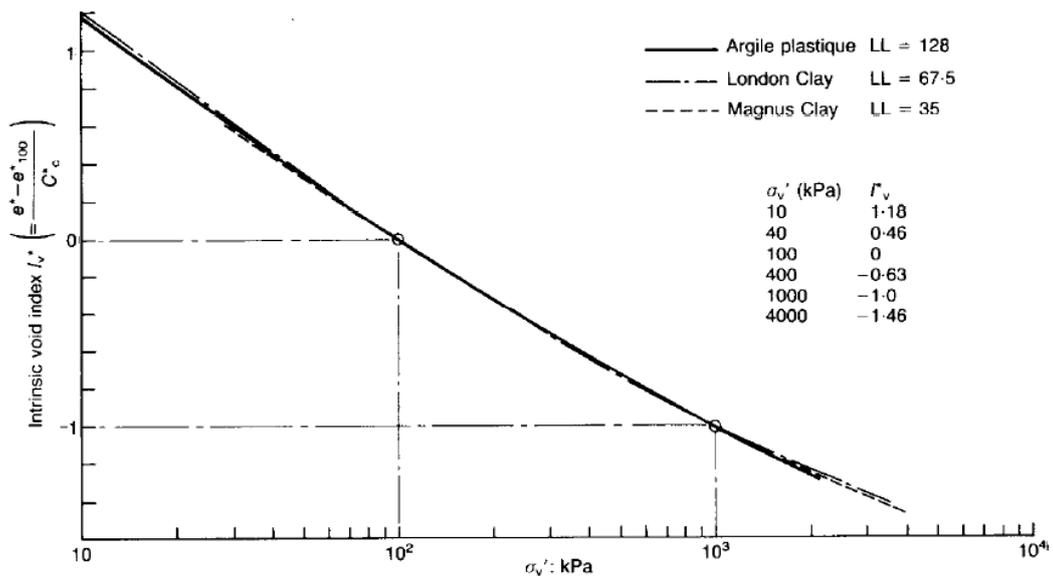


Σχήμα 2.22: Χρήση του I_v για την κανονικοποίηση της εγγενούς καμπύλης

κατανόηση της κατάστασης του επιτόπου υλικού και τη δομή αυτού, καθώς και τα μετρούμενα μηχανικά χαρακτηριστικά αδιατάρακτων δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση, τα εγγενή χαρακτηριστικά δε θα πρέπει να συγχέονται με τα χαρακτηριστικά του φυσικού υλικού.

Τα εγγενή χαρακτηριστικά ενός υλικού συμβολίζονται με αστερίσκο. Για παράδειγμα, C_c^* συμβολίζεται ο εγγενής συντελεστής συμπίεσότητας, κ.ο.κ. Επίσης, για την καλύτερη αποτίμηση των αποτελεσμάτων, έχει θεσπιστεί μια μέθοδος απεικόνισής τους στην οποία κύριο ρόλο παίζουν οι δείκτες πόρων που αντιστοιχούν στις φορτίσεις 100kPa και 1000kPa, οι οποίοι συμβολίζονται e_{100} και e_{1000} αντίστοιχα. Επίσης, ο συντελεστής συμπίεσότητας C_c ορίζεται ως:

$$C_c = e^*_{100} - e^*_{1000}$$



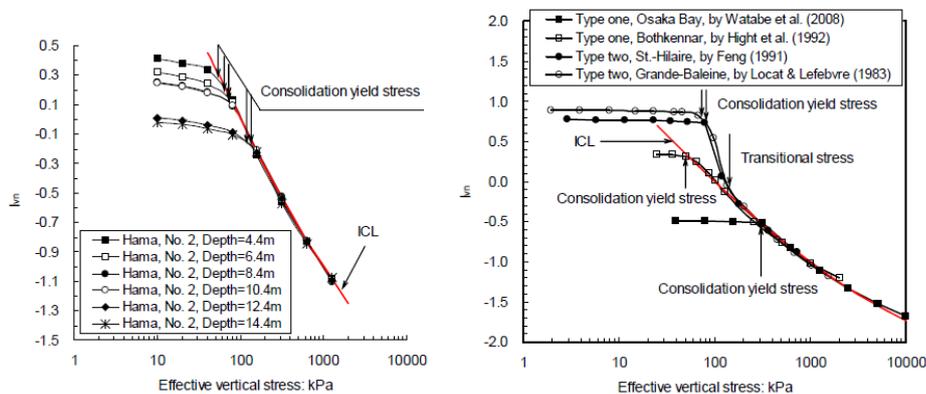
Σχήμα 2.23: Εγγενείς καμπύλες συμπίεσης

Σύμφωνα με τον Terzaghi, ο συντελεστής συμπίεσής C_c και ο δείκτης πόρων e_{100} ονομάζονται σταθερές της εγγενούς συμπίεσής. Επίσης, ορίζεται ο δείκτης κενών I_v ώστε:

$$I_v = \frac{e - e_{*100}}{C_c}$$

Ο δείκτης κενών χρησιμεύει στην κανονικοποίηση των καμπυλών συμπίεσης, δίνοντας την τιμή $I_v = 0$ όταν $e = e_{*100}$, και αντίστοιχα την τιμή $I_v = -1$ όταν $e = e_{*1000}$, και χρησιμεύει έτσι ως ένας δείκτης του βαθμού συμπύκνωσης, με τιμές μικρότερες του μηδενός να σημαίνουν πυκνή δομή, ενώ τιμές μεγαλύτερες του μηδενός να σημαίνουν χαλαρή δομή. Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η σημασία του δείκτη κενών. Καμπύλες συμπίεσης από τρεις αργίλους με εντελώς διαφορετικό όριο υδαρότητας σχεδόν ταυτίζονται όταν εκφραστούν σε όρους I_v .

Σε κάθε περίπτωση, η καμπύλη συμπίεσης (e -log p) ενός αναζυμωμένου υλικού ονομάζεται καμπύλη εγγενούς συμπύκνωσης (intrinsic compression line ή ICL). Η ICL έχει μεγάλη σημασία, τόσο επειδή αποτελεί «σταθερά» για ένα υλικό, καθώς μένει αναλλοίωτη ανεξαρτήτως της φυσικής του κατάστασης ή της ιστορίας φόρτισής του. Εδώ, αυξημένη σημασία αποκτά η ιδιότητα της ICL να είναι πλήρως ανεπηρέαστη από τη χρονική ωρίμανση ενός υλικού, καθώς στη μελέτη υλικών που βρίσκονται στη διαδικασία ανάπτυξης δομής τα χαρακτηριστικά τους μεταβάλλονται σημαντικά με το χρόνο. Παράλληλα, παρουσιάζει την ιδιότητα όλες οι καμπύλες συμπύκνωσης του υλικού, ανεξαρτήτως της ιστορίας φόρτισής τους, να συγκλίνουν στην ICL για επαρκώς υψηλά επίπεδα φόρτισης. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στα παρακάτω διαγράμματα, στα οποία μάλιστα είναι καταφανές πως παρουσιάζονται υλικά σε πολύ διαφορετικές αρχικές φυσικές καταστάσεις.



Σχήμα 2.24: Τυπικές εγγενείς καμπύλες φυσικών αργίλων

[28], [29], [30]

3 Σταθεροποίηση Εδαφών με Χρήση Προσμίκτων

3.1 Εισαγωγή

Πολλές φορές παρουσιάζεται η ανάγκη κατασκευής τεχνικών έργων σε περιοχές όπου το έδαφος θεμελίωσης είτε δεν επιδεικνύει την απαιτούμενη αντοχή (φέρουσα ικανότητα) ώστε να αντέξει τα φορτία του έργου, είτε η μεγάλη συμπιεστότητά του οδηγεί σε μη αποδεκτές καθιζήσεις και διαφορικές καθιζήσεις, η ολοκλήρωση των οποίων μάλιστα δύναται να διαρκέσει μεγάλο χρονικό διάστημα, έως και χρόνια, είτε η εργασιμότητά του δυσχεραίνει τη διαδικασία της κατασκευής, αυξάνοντας το κόστος. Μία μέθοδος που έχει προταθεί για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος και εξετάζεται εκτενώς είναι η σταθεροποίηση των εδαφών με χρήση προσμίκτων. Πρόκειται για μία μέθοδο που αποσκοπεί στη βελτίωση της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφών μέσω της ανάμιξής τους με πρόσμικτα, τα οποία έχουν ικανότητες σιμέντωσης (συγκόλλησης). Δηλαδή, μέσα από τις φυσικές και κυρίως χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την ανάμιξη, δημιουργείται μια δομή στο εσωτερικό του υλικού. Έτσι, το προϊόν της ανάμιξης παρουσιάζει αυξημένη αντοχή και μειωμένη συμπιεστότητα σε σχέση με το αρχικό έδαφος, καθώς και μεταβολή άλλων χαρακτηριστικών του αρχικού εδάφους, όπως το ποσοστό υγρασίας, η διαπερατότητα, ο δείκτης πόρων, κ.α.

Η σταθεροποίηση του εδάφους με χρήση προσμίκτων δεν αποτελεί την μοναδική λύση του προβλήματος, παρουσιάζει όμως σημαντικά οικονομικά ωφέλη έναντι των υπόλοιπων εναλλακτικών λύσεων, που συνήθως έχουν μεγάλη απαίτηση σε μελετητικό και κατασκευαστικό κόστος, τόσο οικονομικό όσο και χρονικό, και συχνά απαιτούν ειδικές διατάξεις. Η βελτίωση του εδάφους επιτυγχάνεται με την ανάμιξή του με υλικά που παρουσιάζουν υδραυλικές και ποζολανικές ιδιότητες, που αντιδρούν, δηλαδή, είτε μόνο με το νερό των πόρων, είτε και με τα ίδια τα συστατικά του εδάφους, ώστε το τελικό προϊόν να ικανοποιεί τις απαιτήσεις θεμελίωσης του εκάστοτε έργου. Ο μηχανισμός αυτός είναι γνωστός και χρησιμοποιείται ήδη από τα αρχαία χρόνια. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στην ανακάλυψη και δημιουργία νέων υλικών που επιδεικνύουν τις απαιτούμενες ιδιότητες για χρήση ως πρόσμικτα. Τα πιο διαδεδομένα τέτοια υλικά παγκοσμίως είναι η άσβεστος, γνωστή για τις ιδιότητές της αυτές από την Αρχαία Ρώμη, το τσιμέντο και η άσφαλτος, που αποτελούν βιομηχανικά προϊόντα που προκύπτουν από την κατάλληλη διεργασία, και η ΙΤ, που προκύπτει ως παραπροϊόν της καύσης υδρογονανθράκων. Παρ' όλο που το τσιμέντο και η υδράσβεστος είναι από τα πλέον αποτελεσματικά υλικά, η αξιοποίηση της ΙΤ αποτελεί κεντρικό αντικείμενο έρευνας, διότι μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά οικονομικά, αλλά και περιβαλλοντικά ωφέλη.

3.2 Ο Μηχανισμός Σταθεροποίησης, η Άσβεστος, το Τσιμέντο, και η Ιπτάμενη Τέφρα

Ο μηχανισμός της σταθεροποίησης του εδάφους στηρίζεται στον μηχανισμό λειτουργίας των κονιών, και σε συγκεκριμένες ιδιότητές τους. Κονία ονομάζεται ένα υλικό που, με την προσθήκη νερού, μετατρέπεται σε πολτό, ο οποίος με την πάροδο του χρόνου πήζει και σκληρύνεται, ενώ αναπτύσσει μη αντιστρέψιμες μηχανικές αντοχές σε σχέση με την αρχική του μορφή. Η ιδιότητα μιας κονιάς να πήζει και να σκληρύνεται παρουσία νερού και απουσία αέρα ονομάζεται υδραυλικότητα (υδραυλικές ιδιότητες). Η ιδιότητα των αργιλικών ή/και πυριτικών υλικών να αντιδρούν με την υδράσβεστο (Ca(OH)_2) ονομάζεται ποζολανικότητα (ποζολανικές ιδιότητες).

Τα στοιχεία που εμπλέκονται στον μηχανισμό της σταθεροποίησης είναι το ασβέστιο (Ca), το υδρογόνο (H), το οξυγόνο (O), το αργίλιο (Al), το πυρίτιο (Si), υπό την μορφή διαφόρων ενώσεων. Αυτή η διαδικασία οφείλεται στην αλληλουχία και των διαφορετικών αντιδράσεων μεταξύ των ενώσεων αυτών. Φυσικά, ενυπάρχουν και άλλα στοιχεία, σε αμελητέες όμως ποσότητες, ώστε δεν έχουν ουσιαστικό ρόλο στην εξέλιξη της διαδικασίας. Εξάιρεση αποτελεί το θείο (S), το οποίο δύναται να υπάρχει υπό την μορφή διαφόρων ενώσεων σε συγκεντρώσεις αρκετά αυξημένες μπορεί να έχει αρνητικά αποτελέσματα.

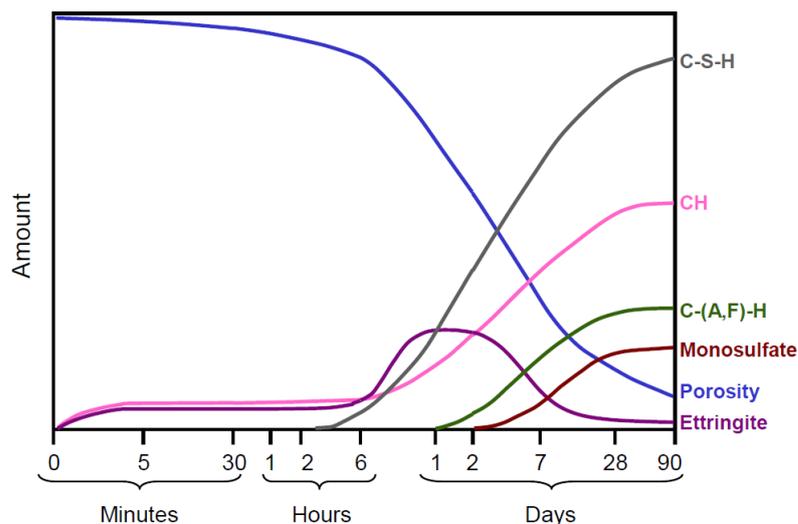
Το απαιτούμενο αποτέλεσμα της σταθεροποίησης του εδάφους μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ανάμιξης του με διάφορα πρόσμικτα. Τα πιθανά πρόσμικτα μπορούν να περιέχουν όλα ή κάποια από τα προαναφερθέντα στοιχεία, κεντρικής σημασίας όμως είναι η ύπαρξη επαρκούς ποσότητας ασβεστίου, υπό την μορφή ασβέστου (CaO). Το αποτέλεσμα της ανάμιξης της ασβέστου με αργιλοπυριτικά υλικά και νερό είναι η δημιουργία κονιάς με υδραυλικές και ποζολανικές ιδιότητες. Παράλληλα, αν το έδαφος είναι αργιλώδες, περιέχει κυρίως Si και Al υπό την μορφή διαφόρων ενώσεων που περιλαμβάνουν O, H, και άλλα στοιχεία. Αυτό προσδίδει στο έδαφος ποζολανικές ιδιότητες, συμβάλλοντας στην ποζολανικότητα της δημιουργούμενης κονιάς.

Πιθανά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποτελεσματικά πρόσμικτα είναι η άσβεστος, το τσιμέντο, η ιπτάμενη τέφρα, και άλλα. Η συμπεριφορά του προϊόντος της ανάμιξης του καθενός από τα παραπάνω πρόσμικτα με το έδαφος διαφέρει ανάλογα με την χημική σύσταση τόσο του προσμίκτου όσο και του εδάφους. Όσον αφορά τη χημική σύσταση, παίζουν ρόλο τόσο τα στοιχεία που ενυπάρχουν, όσο και η μορφή υπό την οποία υπάρχουν. Όσον αφορά τα πρόσμικτα, προκύπτουν οι παρακάτω διαφοροποιήσεις:

Η άσβεστος (lime, CaO) παράγεται μέσω της κατάλληλης κατεργασίας ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Ανάλογα με την μορφή της, αρχικά αντιδρά με το νερό προκαλώντας ανταλλαγή κατιόντων και κροκίδωση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ενυδάτωση, και έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την μείωση της υγρασίας και του δείκτη πλαστικότητας, και την αύξηση της εργασιμότητας και την μικρή αύξηση της αντοχής. Συμβαίνει αμέσως μετά την ανάμιξη και ολοκληρώνεται εντός ωρών. Ύστερα, η ενυδατωμένη άσβεστος (υδράσβεστος Ca(OH)_2) αντιδρά με τα αργιλοπυριτικά στοιχεία του εδάφους. Το

αποτέλεσμα της ποζολανικής αυτής αντίδρασης είναι ο σχηματισμός ενώσεων τύπου C-S-H και C-A-H, όπου C=CaO, S=SiO₂, A=Al₂O₃, H=H₂O, που οδηγούν σε σημαντική αύξηση της αντοχής. Η αντίδραση αυτή εξαρτάται, πέρα από τις ποσότητες ασβέστου, αργιλίου, και πυριτίου που είναι διαθέσιμες, από τη θερμοκρασία και τον χρόνο ωρίμανσης. Η ολοκλήρωσή της, και συνεπώς η πλήρης ανάπτυξη της τελικής αντοχής, μπορεί να απαιτεί μήνες, ή και χρόνια. Το μεγαλύτερο μέρος της αντοχής αυτής, ωστόσο, αποκτάται κατά τους πρώτους μήνες μετά την ανάμιξη. Πέρα από τα παραπάνω, η χρήση ασβέστου οδηγεί και σε βελτίωση άλλων ιδιοτήτων του εδάφους, όπως η αύξηση του μέτρου ελαστικότητας, η μείωση της μέγιστης ξηρής πυκνότητας, και η αύξηση της αντοχής σε κόπωση. Η άσβεστος, επειδή έχει αμελητέο αργιλικό και πυριτικό περιεχόμενο, είναι κατάλληλη για πρόσμιξη με υλικά που έχουν υψηλό τέτοιο περιεχόμενο. Τέτοια υλικά είναι οι άργιλοι μέσης και υψηλής πλαστικότητας.

Το τσιμέντο Portland παράγεται μέσω της κατάλληλης κατεργασίας διαφόρων υλικών. Περιέχει τόσο ασβέστιο, όσο και αργιλοπυριτικά (κυρίως πυρίτιο), σε διάφορες μορφές, εν γένει διαφορετικές από την μορφή της ασβέστου και του αργιλικού εδαφικού υλικού. Τα δύο κύρια συστατικά του είναι το C₃S και το C₂S, και δευτερεύοντα αποτελούν το C₃A και το C₄AF, όπου F=Fe₂O₃) (το ασβέστιο έχει ενωθεί με το πυρίτιο και το αργίλιο κατά τη διαδικασία παραγωγής του τσιμέντου). Κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου, το C₃S και το C₂S, καθώς και το C₃A και το C₄AF αντιδρούν με το νερό, και παράγουν C-S-H και C-A-F-H αντίστοιχα. Το μεγαλύτερο μέρος της αναπτυσσόμενης αντοχής οφείλεται στην δημιουργία C-S-H (το οποίο είναι σε διαφορετική μορφή από το C-S-H που παράγεται στην περίπτωση της ασβέστου). Η αντίδραση του C₃S με το νερό, που παράγει C-S-H, είναι η ταχύτερη, και το μεγαλύτερο μέρος της αντοχής που οφείλεται σε αυτήν αναπτύσσεται περί τις 28 ημέρες ωρίμανσης και έχει ολοκληρωθεί μετά από ένα χρόνο. Η αντίδραση του C₂S με το νερό, που επίσης παράγει C-S-H, είναι αρκετά βραδύτερη, και το μεγαλύτερο μέρος της αντοχής που οφείλεται σε αυτήν αναπτύσσεται περί τις 365 ημέρες ωρίμανσης. Η αντοχή που αναπτύσσεται εξαιτίας της παραγωγής C-A-F-H από την αντίδραση των C₃A και C₄AF με το νερό είναι αρκετά μικρή ώστε δεν λαμβάνεται υπόψη η χρονική της εξέλιξη. Γενικότερα, η αντοχή που μπορεί να αναπτύξει το τσιμέντο είναι εξαιρετικά μεγάλη, ανάλογα με τα συστατικά του και την κατεργασία τους, και εξαρτάται επίσης από την ωρίμανση και από τη θερμοκρασία. Επίσης, η χρήση του τσιμέντου ως πρόσμικτο οδηγεί σε σημαντική μείωση του δείκτη πλαστικότητας, αύξηση του μέτρου ελαστικότητας, και της αντοχής στον παγετό. Το τσιμέντο Portland, εξαιτίας της δομής που αναπτύσσει μετά την ενυδάτωσή του, είναι αποτελεσματικό κυρίως σε κοκκώδη εδάφη ή αργιλικά εδάφη χαμηλής πλαστικότητας, ώστε οι κόκκοι του υλικού να ξεπερνούν το ελάχιστο μέγεθος των κενών της δομής που αναπτύσσεται, και η δομή να αλληλοκλειδώνει με τους κόκκους ενισχύοντας έτσι σημαντικά την αντοχή της. Στην περίπτωση αργιλικού εδάφους υψηλής πλαστικότητας, οι κόκκοι έχουν κάποιον βαθμό ελευθερίας εντός της δομής, χωρίς να ενισχύουν την αντοχή της.



Σχήμα 3.1: Μεταβολή της χημικής σύστασης του τσιμέντου με την πάροδο του χρόνου

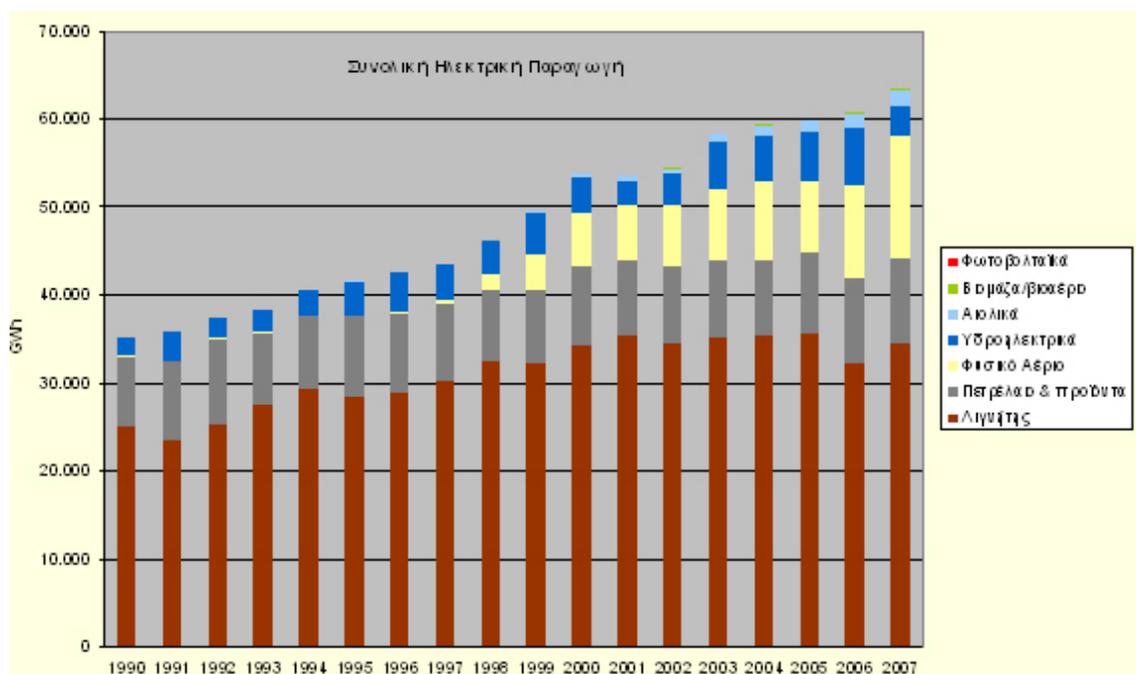
Η υπάμενη τέφρα αποτελεί παραπροϊόν της καύσης γαιανθράκων. Η συμπεριφορά της διαφέρει ανάλογα με τη χημική σύστασή της, η οποία εξαρτάται από τη σύσταση του γαιάνθρακα από τον οποίο προήλθε, καθώς και από τη διαδικασία της καύσης του. Έτσι, κατηγοριοποιείται αναλόγως σε τρεις κατηγορίες: N, F, και C. Οι IT τύπου N δεν χρησιμοποιούνται συχνά. Οι IT τύπου F περιέχουν υψηλό ποσοστό αργιλοπυριτικών, αλλά χαμηλό ποσοστό ασβέστου, ώστε επιδεικνύουν μόνο ποζολανικές ιδιότητες, οι οποίες για να εκδηλωθούν απαραίτητη είναι η προσθήκη άλλου προσμίκτη που περιέχει άσβεστο. Οι IT τύπου C περιέχουν υψηλό ποσοστό αργιλοπυριτικών, αλλά και επαρκώς υψηλό ποσοστό ασβέστου ώστε να επιδεικνύουν τόσο υδραυλικές, όσο και ποζολανικές ιδιότητες. Έτσι, στις IT τύπου C (ή στις IT τύπου F που έχει προστεθεί άσβεστος), αρχικά η άσβεστος ενυδατώνεται και μετατρέπεται σε υδράσβεστο, ενώ το περιεχόμενο στην τέφρα C_3A ξεκινά να ενυδατώνεται και να μετατρέπεται σε CAH , αναπτύσσοντας έτσι από την πρώτη στιγμή δομή που προσδίδει στο υλικό (μίγμα) αντοχή. Σε δεύτερη φάση, η υδράσβεστος με τη σειρά της αντιδρά με τα αργιλοπυριτικά που εμπεριέχονται τόσο σε αυτήν όσο και στο έδαφος (εφόσον είναι αργιλικό). Ανάλογα την μορφή των αργιλοπυριτικών, η αντίδραση αυτή είναι άμεση (βραχυχρόνια) ή μακροχρόνια, δηλαδή ποζολανική. Η βραχυχρόνια αντίδραση οδηγεί σε μείωση του διπλού στρώματος νερού, και άρα σε μείωση του δείκτη πλαστικότητας. Η ποζολανική αντίδραση οδηγεί σε αύξηση της αντοχής. Και πάλι, τα τελικά παραγόμενα προϊόντα είναι CSH και CAH . Όμως οι μορφές των ενώσεων υπό τις οποίες υπάρχουν τα στοιχεία είναι διαφορετικές, όπως και το τελικό προϊόν, παρ' όλο που αποτελούνται από τα ίδια στοιχεία. Όλες οι αντιδράσεις συμβάλλουν στην ανάπτυξη δομής, άμεσο αποτέλεσμα της οποίας είναι η αύξηση της αντοχής, η μείωση της συμπιεστότητας, η μείωση του ξηρού ειδικού βάρους. Η βελτίωση εξαρτάται τόσο από τα συστατικά της τέφρας και του εδάφους, όσο και από το χρόνο, αλλά και τη λεπτότητα της IT. Η παρουσία θεικών σε αυξημένο ποσοστό μπορεί να έχει σημαντικές ανασταλτικές επιπτώσεις στην εξέλιξη των αντιδράσεων.

[19], [31], [32], [33], [34], [20], [35], [36]

4 Η Ιπτάμενη Τέφρα

4.1 Εισαγωγή

Η καύση του άνθρακα σήμερα χρησιμοποιείται για να καλύψει σχεδόν το 40% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως. Στη χώρα μας, η καύση του λιγνίτη χρησιμοποιείται για να καλύψει περισσότερο από το 50% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο λιγνίτης είναι πετρώμα που περιέχει ικανό ποσοστό άνθρακα ώστε η καύση του να είναι πρόσφορη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα, η χρήση του λιγνίτη επιδεικνύει σημαντικά οικονομικά ωφέλη, καθώς αυτός βρίσκεται σε αφθονία σε πολλά κοιτάσματα στην ηπειρωτική Ελλάδα.



Σχήμα 4.1: Κατανομή χρήσης πηγών ενέργειας για την ηλεκτρική παραγωγή στην Ελλάδα

4.2 Σχηματισμός και Σύσταση

Ο λιγνίτης αποτελείται από περίπου 50% νερό, 30% καύσιμη ύλη, και 20% ανόργανα συστατικά, που ονομάζονται ως σύνολο τέφρα. Το μεγαλύτερο μέρος της καύσιμης ύλης αποτελείται από οργανικό άνθρακα και διοξείδιο του άνθρακα (περίπου το 45-65%). Τα ανόργανα συστατικά του αποτελούνται από 30-50% άσβεστο (CaO), 15-30% πυρίτιο (SiO_2), 4-15% αργίλιο (Al_2O_3), 4-10% θείο (SO_3), και μικρά ποσοστά άλλων στοιχείων. Η καύση του λιγνίτη μπορεί να πραγματοποιηθεί στους 800-1500°C ή και παραπάνω, ανάλογα την κατεργασία που προηγείται.



Σχήμα 4.2: Σύσταση λιγνίτη

Τα προϊόντα της καύσης είναι θερμότητα, η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας, καυσαέρια, και στερεά απόβλητα. Το 15% περίπου των στερεών αποβλήτων είναι τέφρα πυθμένα, ενώ το 60% περίπου είναι ιπτάμενη τέφρα. Η ΙΤ αποτελείται από ανόργανα στοιχεία που περιείχε ο λιγνίτης, και από οργανικά στοιχεία που δεν κάηκαν πλήρως. Η ΙΤ έχει μορφή σφαιρικών σωματιδίων μικρών διαστάσεων. Εξαιτίας των μικρών διαστάσεών τους, του μικρού βάρους τους, και της μεγάλης θερμοκρασίας που έχουν αναπτύξει στον χώρο καύσεως, τα σωματίδια της ΙΤ συμπαρασύρονται από το ρεύμα των καυσαερίων προς περιοχές χαμηλότερης θερμοκρασίας και συλλέγονται από ηλεκτροστατικά φίλτρα.

[35], [37], [38], [39]

4.3 Ταξινόμηση και Ιδιότητες

Η χημική σύσταση των ιπτάμενων τεφρών εξαρτάται άμεσα τόσο από τη σύσταση του γαιάνθρακα από τον οποίο προήλθαν, όσο και από την κατεργασία που υπέστη αυτός ο άνθρακας πριν την καύση του, αλλά και από την ίδια τη διαδικασία της καύσης. Έτσι, σημειώνονται έντονες διαφορές στη χημική σύσταση διαφορετικών τεφρών, ακόμη κι αν αυτές προέρχονται από το ίδιο κοιτάσμα ή από το ίδιο εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας. Καθώς οι ιδιότητες της ιπτάμενης τέφρας εξαρτώνται άμεσα από τη χημική τους σύσταση, προκύπτει η ανάγκη ταξινόμησής τους σε κατηγορίες με κοινά χαρακτηριστικά.

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 197-1, η ΙΤ ταξινομείται στις παρακάτω δύο κατηγορίες:

- Πυριτική ιπτάμενη τέφρα (V), που περιέχει ποσοστό ενεργού CaO (ασβέστου) μικρότερο του 10%, και ποσοστό ενεργού διοξειδίου του πυριτίου (SiO₂) μεγαλύτερο του 25%. Παρουσιάζει ποζολανικές ιδιότητες.

➤ Ασβεστιτική ιπτάμενη τέφρα (W), που περιέχει ποσοστό ενεργού CaO (ασβέστου) μεγαλύτερο του 10%, και ποσοστό ενεργού διοξειδίου του πυριτίου (SiO₂) μεγαλύτερο του 25%. Παρουσιάζει τόσο ποζολανικές όσο και υδραυλικές ιδιότητες. Σύμφωνα με το αμερικανικό πρότυπο ASTM C618-12, η IT ταξινομείται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- Κατηγορία N, που αποτελείται από ακατέργαστες φυσικές ποζολάνες SiO₂, Al₂O₃, και Fe₂O₃ σε ποσοστό μεγαλύτερο του 70%.
 - Κατηγορία F, που αποτελείται από τέφρα παραγόμενη από την καύση ανθρακικού και βιτουμένιου άνθρακα. Περιέχει ποσοστό SiO₂, Al₂O₃, και Fe₂O₃ μεγαλύτερο από 70%, ποσοστό SO₃ μικρότερο από 5%, και ποσοστό υγρασίας μικρότερο από 3%. Συνήθως περιέχει CaO σε ποσοστό μικρότερο από 5%. Παρουσιάζει ποζολανικές ιδιότητες.
 - Κατηγορία C, που αποτελείται από τέφρα παραγόμενη από την καύση λιγνίτη ή υποβιτουμένιου άνθρακα. Περιέχει ποσοστό SiO₂, Al₂O₃, και Fe₂O₃ μεγαλύτερο από 50% και μικρότερο από 70%, ποσοστό SO₃ μικρότερο από 5%, και ποσοστό υγρασίας μικρότερο από 3%. Συνήθως περιέχει CaO σε ποσοστό 10-35%. Παρουσιάζει τόσο ποζολανικές όσο και υδραυλικές ιδιότητες.
- [19], [31], [32], [40]

4.4 Τρόποι Αξιοποίησης

Κάθε χρόνο παράγονται στην Ελλάδα περισσότεροι από 13*10⁶ τόνοι IT. Από αυτά, μόλις το 10-15% αξιοποιείται στην παραγωγή τσιμέντου, περίπου 20% χρησιμοποιείται για άλλες χρήσεις, ενώ το υπόλοιπο περίπου 70% όχι μόνο παραμένει αναξιοποίητο, αλλά η αποθήκευσή του δημιουργεί σημαντικές περιπλοκές, τόσο οικονομικής και χωροταξικής, όσο και περιβαλλοντικής φύσεως.

Ο μεγάλος της όγκος απαιτεί εκτενείς χώρους απόθεσης, οι οποίοι συχνά βρίσκονται μακριά από τα κέντρα παραγωγής ενέργειας. Παράλληλα, η IT περιέχει και κάτω από διάφορες συνθήκες μπορεί να απελευθερώσει συστατικά τα οποία είναι τοξικά σε μικρές συγκεντρώσεις, καθιστώντας την επικίνδυνη για τη δημόσια υγεία. Έτσι, οι χώροι απόθεσης οφείλουν να ικανοποιούν συγκεκριμένα κριτήρια ασφάλειας, πράγμα που οδηγεί στην περαιτέρω δέσμευση της θέσης τους, που συνήθως επιλέγεται σε απομακρυσμένες περιοχές. Έτσι, δημιουργείται η ανάγκη μεταφοράς της IT, όπου η μεγάλη απόσταση και ο μεγάλος όγκος της IT οδηγούν σε υψηλά κόστη.

Απεναντίας, η χρήση της IT, αξιοποιώντας τις ποζολανικές και τις ενδεχόμενες υδραυλικές της ιδιότητες, οδηγεί σε σημαντικά ωφέλη. Κατ' αρχάς, περιορίζονται τα προαναφερθέντα κόστη, που σχετίζονται με την απόθεση της τέφρας. Επίσης, εξοικονομούνται φυσικοί και οικονομικοί πόροι που σε άλλη περίπτωση θα δαπανούνταν για την εξόρυξη, την μεταφορά, την κατεργασία—η οποία είναι ιδιαίτερα επιβαρυντική για το περιβάλλον, και τη χρήση άλλων υλικών, όπως το τσιμέντο και η άσβεστος, για εφαρμογές όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η IT. Τέλος, πιστεύεται, χωρίς να συγκλίνουν όλες οι επιστημονικές απόψεις, πως η χρήση της IT τόσο στην παρασκευή σκυροδέματος όσο και στη

σταθεροποίηση εδαφών καθιστά ανενεργά τα περιβαλλοντικώς επικίνδυνα συστατικά που εμπεριέχονται στην ΙΤ. Σίγουρα πάντως η περιβαλλοντική επιβάρυνση ενός χώρου απόθεσης ΙΤ είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με μία έκταση σταθεροποιημένου με ΙΤ υλικού. Αυτό οφείλεται στη δομή που σχηματίζεται κατά την ανάμιξη της ΙΤ με το νερό και το έδαφος, η οποία είναι υαλώδης και άρα τα επιβλαβή στοιχεία είναι πολύ δυσκολότερο να διηθηθούν διαμέσου της σε σχέση με την κρυσταλλική μορφή στην οποία βρίσκεται η ΙΤ αρχικώς, και την οποία διατηρεί κατά την απλή απόθεσή της. Άλλος παράγοντας είναι η μειωμένη περιεκτικότητα σε ΙΤ—στην περίπτωση της απόθεσης είναι κοντά στο 100%, ενώ στη περίπτωση της σταθεροποίησης εδαφών δεν αναμένεται να ξεπερνά το 20-30%.

Εξαιτίας των ποζολανικών και υδραυλικών, αλλά και άλλων της ιδιοτήτων, η ΙΤ έχει ευρεία εφαρμογή στην κατασκευή τεχνικών έργων, αλλά και στη βιομηχανία. Οι σημαντικότερες περιοχές εφαρμογής της ΙΤ είναι οι ακόλουθες:

- Η σταθεροποίηση και στεγανοποίηση εδαφών
 - Ως πρόσθετο στην παραγωγή τσιμέντου και σκυροδέματος
 - Ως υλικό οδοστρωσίας
 - Στην κεραμική και την πλινθοποιία
 - Στη σταθεροποίηση ή εξυγείανση αποβλήτων
 - Στη γεωργία
 - Σε διάφορες βιομηχανίες, στη διαδικασία χημικής κατεργασίας διαφόρων υλικών, όπως πλαστικά και χρώματα
- [31], [35], [38], [39], [41], [42]

Μέρος Β'

5 Ανασκόπηση Προηγούμενης Έρευνας

Από τα αρχαία κίολας χρόνια είχε γίνει αντιληπτή η σημασία των γεωυλικών στην κατασκευή τεχνικών έργων. Από την αρχή της ιστορίας, ο άνθρωπος ήξερε—αν και δεν το είχε συνειδητοποιήσει—τη σημασία της δομής στα γεωυλικά. Οι προϊστορικοί άνθρωποι έβρισκαν καταφύγιο σε σπηλιές που είχαν διαμορφωθεί σε βραχώδεις σχηματισμούς. Άλλωστε, η συμβολή του βράχου στην εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού ήταν καταλυτική, καθώς ήταν ένα από τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή εργαλείων και άλλων αντικειμένων. Αργότερα, ο βράχος χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή έργων που έπρεπε να μείνουν αναλλοίωτα στο χρόνο—όπως μνημεία ή έργα υποδομής. Και ο βράχος δεν χρησιμοποιούνταν μόνο για την κατασκευή δομικών λίθων, αλλά οι βραχώδεις σχηματισμοί αξιοποιούνταν για τη θεμελίωση βαρέων κατασκευών, όπως ήταν οι Πυραμίδες, τα Ζιγκουράτ, οι ναοί, ή το Σινικό Τείχος. Ρωμαίοι, Αιγύπτιοι, Έλληνες, Πέρσες, Κινέζοι, Ινδοί, και άλλοι λαοί κατασκεύαζαν αναρίθμητα τεχνικά έργα, πολλά εκ των οποίων στέκονται ως σήμερα. Το έδαφος όμως ήταν συχνά δεσμευτικός παράγοντας, που συχνά επέβαλλε μεταβολές στο σχεδιασμό και την υλοποίηση των έργων αυτών, καθώς η συμπεριφορά του δεν είχε ακόμη καταστεί κατανοητή. Πλήθος κατασκευών ακολούθησαν και μετά την Αρχαιότητα, βασιζόμενες στη σιγουριά του βράχου αλλά και σε εμπειρικούς κανόνες ως προς τη συμπεριφορά του εδάφους.

Μία πρώτη απόπειρα έμμεσης αποκωδικοποίησης της συμπεριφοράς των γεωυλικών έγινε από το Ρωμαίο μηχανικό Βιτρούβιο (1^{ος} αιώνας π.Χ.), περισσότερο μέσα από συνιστώμενες πρακτικές θεμελιώσεων που είχε αναπτύξει εμπειρικά. Εξίσου εμπειρικές λύσεις εφαρμόστηκαν και στις μεταγενέστερες περιόδους από διάφορους λαούς, όπως οι Βενετοί ή οι κάτοικοι των Κάτω Χωρών, οι οποίοι κατασκεύαζαν έργα θεμελιωμένα σε πασσάλους, ή όπως οι Κινέζοι, οι οποίοι εφάρμοζαν εμπειρικές μεθόδους συμπίκνωσης της αργίλου. Παράλληλα, είχαν αρχίσει να αναπτύσσονται εμπειρικές μέθοδοι για τη διάνοιξη στοών μεταλλείων

Δεν ήταν παρά η ανάπτυξη των τριών τελευταίων εκατονταετιών, η οποία έχει τις ρίζες της στην πρώιμη περίοδο της Βιομηχανικής Επανάστασης, που οδήγησε σε μια πιο συστηματική επιστημονική προσέγγιση μέσω έρευνας με σκοπό την αποκωδικοποίηση της συμπεριφοράς των γεωυλικών. Οι πρώτες τέτοιες απόπειρες είχαν ξεκινήσει από την αρχή του 18^{ου} αιώνα, με το Γάλλο στρατιωτικό μηχανικό Henri Gautier, που παρατήρησε επιστημονικά τη γωνία τριβής των εδαφών. Η έρευνα συνεχίστηκε, με σημείο σταθμό τις μελέτες του Γάλλου επιστήμονα Coulomb (1776), με αντικείμενο τους τοίχους αντιστήριξης. Καθώς οι ρυθμοί ανάπτυξης γίνονταν ολοένα γοργότεροι, η εξέλιξη στην προσπάθεια κατανόησης της συμπεριφοράς των γεωυλικών ακολουθούσε με εξίσου γοργούς ρυθμούς. Ο Thomas Young διατύπωσε το μέτρο ελαστικότητας (1807), ο A.L. Cauchy (1828) διατύπωσε μαθηματικές εξισώσεις για την περίπτωση ισότροπης γραμμικής ελαστικότητας, ο Alexander Collin (1846) ανέλυσε τις κατολισθήσεις στα αργιλικά εδάφη. Ο Darcy διατύπωσε τη θεωρία του περί υπολογισμού της διαπερατότητας ενός υλικού (1856), ο Rankine πρότεινε μια νέα

θεωρία περί εδαφικών τάσεων (1857), ο Mohr διατύπωσε τα κριτήρια αστοχίας με τους ομώνυμους κύκλους (1882) που χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς τόσο στη βραχομηχανική όσο και στην εδαφομηχανική, ο Boussinesq μελέτησε τη μετάδοση τάσεων και παραμορφώσεων στον ελαστικό ημίχωρο. Ο Σουηδός Atterberg πρότεινε απλούς ελέγχους για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς συνεκτικών εδαφών (1911). Οι εξελίξεις γύρω από την εδαφομηχανική πήραν νέα ώθηση με τις μελέτες του Terzaghi, ο οποίος διατύπωσε συγκεκριμένες διαδικασίες για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς των εδαφών, εισάγοντας τις έννοιες των ενεργών τάσεων και της στερεοποίησης (1925).

Από την εποχή του Terzaghi και αργότερα πραγματοποιήθηκαν αναρίθμητες μελέτες και διατυπώθηκαν σχεδόν ισάριθμες νέες θεωρίες και βελτιώσεις πάνω σε προϋπάρχουσες θεωρίες, όσον αφορά τη συμπεριφορά των γεωυλικών, τόσο στον τομέα της βραχομηχανικής, όσο και στον τομέα της εδαφομηχανικής. Ο Casagrande εξέλιξε τη δουλειά του Atterberg, δημιουργώντας το χάρτη πλαστικότητας (1936) κ.α. Ο Hvorslev συνέδεσε τη διατμητική αντοχή της αργίλου με το δείκτη πόρων και τις ενεργές τάσεις (1936), και ο Roscoe ανέπτυξε την θεωρία κρίσιμης κατάστασης της εδαφομηχανικής. Η προσπάθεια διατύπωσης ολοένα ακριβέστερων κριτηρίων αστοχίας γεωυλικών, η οποία ξεκίνησε από τον Coulomb, και συνέχισε με τον Mohr, συνεχίστηκε στον 20^ο αιώνα από τον Mises (1913), τον Griffith (1921), τον Murrell (1963), φτάνοντας στη σύγχρονη εποχή με τους Hoek, Brown, Jardine, και Μαρίνο (1980-σήμερα).

Όμως, στη φύση τα υλικά δεν είναι απολύτως διαχωρισμένα σε βράχους και εδάφη. Όπως έχει προαναφερθεί, η διαφορά μεταξύ των δύο είναι η ύπαρξη δομής: ο σκελετός των βράχων έχει ισχυρή δομή, ενώ ο σκελετός των εδαφών δεν έχει δομή. Τί συμβαίνει όμως στο ενδιάμεσο, δηλαδή όταν ένα υλικό έχει μεν δομή, ώστε η συμπεριφορά του να μην μπορεί να προσομοιωθεί με τις μεθόδους της εδαφομηχανικής, αλλά η δομή του δεν είναι αρκετά ισχυρή ώστε να μπορεί να προσομοιωθεί με τις μεθόδους της βραχομηχανικής; Απαντήσεις υπάρχουν τόσο από την πλευρά της βραχομηχανικής όσο και από την πλευρά της εδαφομηχανικής, αποτελούν όμως προεκτάσεις των θεωριών τους και όχι μια ξεχωριστή, συνολική προσέγγιση. Έτσι λοιπόν τα τελευταία χρόνια μέρος της έρευνας έχει στραφεί προς την κατεύθυνση της αποκωδικοποίησης της συμπεριφοράς των γεωυλικών με δομή, που δεν εμπίπτουν καθαρά ούτε στη βραχομηχανική ούτε στην εδαφομηχανική, όπως είναι η μάργα.

Το Εργαστήριο Θεμελιώσεων του Τομέα Γεωτεχνικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου συμμετέχει σ' αυτήν την ερευνητική προσπάθεια, με σκοπό να συμβάλλει στη διαμόρφωση θεωρητικών μεθόδων προσομοίωσης της συμπεριφοράς των εδαφών με δομή. Η παρούσα εργασία εντάσσεται σ' αυτήν την προσπάθεια, και έχει ως σκοπό τη δημιουργία ενός υλικού με δομή το οποίο να προσομοιάζει τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των υπό μελέτη υλικών με δομή. Σκοπός είναι λοιπόν να δημιουργηθεί ένα υλικό με σαφώς ανεπτυγμένη δομή ώστε να μην εμπίπτει στον κλάδο της εδαφομηχανικής, το οποίο όμως να έχει δυσμενή μηχανικά χαρακτηριστικά ώστε να μην εμπίπτει ούτε στον κλάδο της βραχομηχανικής.

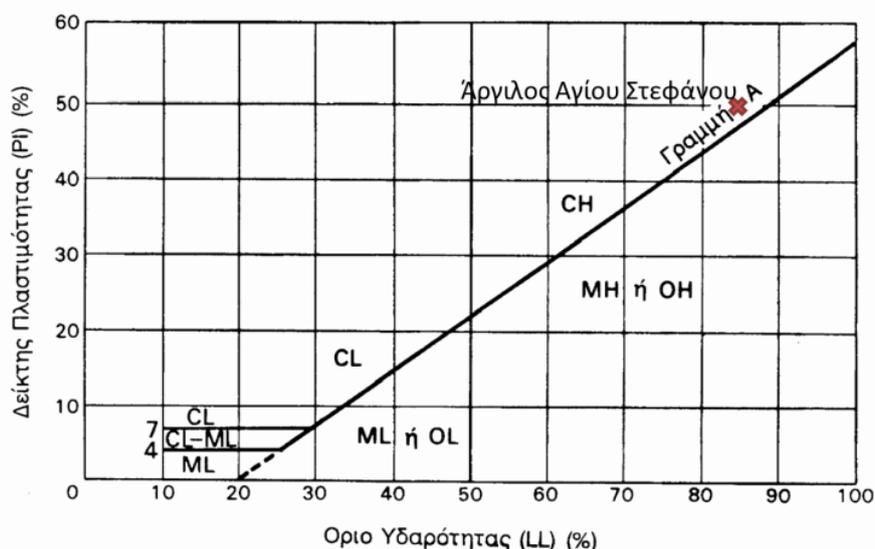
Με τα παραπάνω κατά νου, ως βάση για το μίγμα αναζητήθηκε ένα εδαφικό υλικό με δυσμενή χαρακτηριστικά. Το εδαφικό υλικό με τα πλέον δυσμενή μηχανικά χαρακτηριστικά είναι η άργιλος υψηλής πλαστικότητας. Έτσι, επιλέχθηκε μια τέτοιου είδους άργιλος. Παράλληλα, εξετάστηκαν οι εναλλακτικοί τρόποι ανάπτυξης δομής σε ένα γεωυλικό ώστε να προσομοιάζεται η δομή των υπό μελέτη υλικών. Οι δράσεις ανάπτυξης δομής, όμως, έπρεπε να μπορούν να ολοκληρωθούν σε εύλογο χρονικό διάστημα, καθώς το υλικό που θα παραχθεί από την παρούσα εργασία θα παραχθεί σε μεγάλες ποσότητες και, αφού αναπτύξει δομή, θα χρησιμοποιηθεί στο επόμενο στάδιο της έρευνας, συνεπώς ο χρόνος ωρίμανσης δεν μπορεί να ξεπερνά τους έξι μήνες. Ο περιορισμός του χρόνου απέκλεισε τους περισσότερους μηχανισμούς διαμόρφωσης δομής, οι οποίοι εξελίσσονται σε απαγορευτικό χρόνο. Ο μοναδικός μηχανισμός που μπορούσε να δώσει αποτελέσματα σε ικανοποιητικό χρόνο ήταν αυτός της συγκόλλησης μέσω χημικών αντιδράσεων. Από τα διάφορα υλικά που έχουν ήδη αναφερθεί τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, επιλέχθηκε η ιπτάμενη τέφρα.

[8], [3], [43], [44]

6 Υλικά

6.1 Η Άργιλος Αγίου Στεφάνου

Όπως προαναφέρθηκε, για το σκοπό της εργασίας χρειαζόταν ένας συνδυασμός υλικών με βάση ένα εδαφικό υλικό δυσμενούς μηχανικής συμπεριφοράς, τόσο ως προς την παραμορφωσιμότητα όσο ως προς την αντοχή. Στη φύση, το εδαφικό υλικό με τα δυσμενέστερα ως άνω χαρακτηριστικά είναι η άργιλος υψηλής πλαστικότητας.



Εικόνα 6.1: Κατάταξη της αργίλου Αγ. Στεφάνου στον χάρτη πλαστικότητας του Casagrande

Για χρήση στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η Άργιλος Αγίου Στεφάνου (ΑΑΣ). Η ΑΑΣ ανήκει στην κατηγορία αργιλικών εδαφών υψηλής πλαστικότητας CH, όπως προκύπτει από την κατάταξή της κατά Casagrande—βρίσκεται πάνω από τη γραμμή A και δεξιά από το LL=50%. Επιπρόσθετα, υπήρχε σε διαθεσιμότητα ικανοποιητική ποσότητα ΑΑΣ για τη διεξαγωγή των απαιτούμενων δοκιμών. Κριτήριο δεν αποτελούσε η πρωταρχική φυσική κατάσταση του υλικού, στο βαθμό που αυτή δε θα επηρέαζε τα αποτελέσματα της έρευνας. Εφόσον το υλικό θα χρησιμοποιούνταν για τη δημιουργία ενός νέου υλικού, που θα ήταν προϊόν ανάμιξης της αργίλου με κάποιο πρόσμικτο και νερό, και δε θα ελεγχόταν στη φυσική του κατάσταση, αυτή δεν έπαιζε ρόλο. Έτσι, δεν αποτέλεσαν κριτήρια χαρακτηριστικά όπως ο βαθμός προφόρτισής του ή η φυσική του υγρασία. Το υλικό αποσπάστηκε από επιφανειακή αργιλική στρώση που βρίσκεται στον Άγιο Στέφανο Αττικής, μετά την απομάκρυνση της επιφανειακής βλάστησης.

Πριν τη χρήση του στο εργαστήριο, αφαιρέθηκαν τυχόν παράταιρα υλικά, όπως οργανικά και συσσωματώματα κόκκων μη αργιλικής φύσεως. Έτσι, το υλικό που τελικά χρησιμοποιήθηκε ήταν καθαρά αργιλικό. Όσον αφορά την καταλληλότητά του σύμφωνα με τα κριτήρια των προηγούμενων παραγράφων, προσδιορίστηκαν και ελέγχθηκαν τα όρια Atterberg. Αποθηκεύτηκε σε αεροστεγείς πλαστικές συσκευασίες ώστε να διασφαλισθεί η καθαρότητά του.

6.2 Η Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας

Το πρόσμικτο που θα επιλεγόταν να αναμειχθεί με το επιλεχθέν εδαφικό υλικό, την ΑΑΣ, έπρεπε να πληρεί μια σειρά από κριτήρια. Κατ' αρχάς, στο προϊόν της ανάμιξης έπρεπε να αναπτυχθούν δεσμοί που θα το οδηγήσουν στην απόκτηση δομής, η οποία έπρεπε να συνοδεύεται από την ανάπτυξη επαρκούς αντοχής ώστε να διαφοροποιείται σαφώς από τη συμπεριφορά εδάφους. Άρα, το πρόσμικτο έπρεπε να είναι σε θέση να αναπτύξει δεσμούς ικανοποιητικής αντοχής με την προσθήκη κατάλληλης ποσότητας νερού. Σ' αυτό το σημείο έπρεπε να ληφθεί υπόψη και η αργιλική φύση του εδαφικού υλικού. Ταυτόχρονα, η δράση των μηχανισμών ανάπτυξης δομής έπρεπε να ολοκληρώνεται μέσα σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα, ώστε πρακτικώς να είναι δυνατή η χρήση του στην επόμενη φάση της έρευνας. Γι' αυτό το σκοπό, η ανάπτυξη δομής έπρεπε να ολοκληρώνεται κατά το μεγαλύτερο μέρος της σε χρόνο μικρότερο των έξι μηνών.

Έτσι, και σύμφωνα με τα όσα έχουν παρατεθεί παραπάνω αναφορικά με τη σταθεροποίηση εδαφών και τους μηχανισμούς τους, επιλέχθηκε η Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας για να χρησιμοποιηθεί ως πρόσμικτο. Η Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας ανήκει στην κατηγορία ιπτάμενης τέφρας τύπου C (βλ. εδάφιο που αφορά την ΙΤ), η οποία περιέχει 50-70% ποζολανικά συστατικά (αργιλοπυριτικά) και 10-35% άσβεστο. Πιο συγκεκριμένα, από προηγούμενες ορυκτολογικές αναλύσεις, στην Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας περιέχονται κυρίως άμορφος και κρυσταλλικός ασβεστίτης (CaCO_3), χαλαζίας (SiO_2), ανυδρίτης (CaSO_4), άσβεστος (CaO) και άστριοι. Η περιεκτικότητά της σε ασβεστίτικα συστατικά της επιτρέπει να αντιδρά αμέσως με τα ποζολανικά συστατικά της αργίλου, χωρίς να απαιτείται προσθήκη επιπρόσθετου ασβεστίτικου υλικού.

Από πλευράς ορυκτολογικής δομής η άργιλος είναι συμβατή με την ιπτάμενη τέφρα. Μάλιστα, η τέφρα αντιδρά άμεσα με το ίδιο το εδαφικό υλικό, ώστε το αποτέλεσμα είναι η δομή να είναι σχετικά ομοιογενής, σε αντίθεση με άλλα διαθέσιμα υλικά που αντιδρούν τα συστατικά τους μεταξύ τους, κλειδώνοντας στη δημιουργούμενη δομή και τα συστατικά του εδάφους. Συγκεκριμένα, η Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας είναι τέφρα τύπου Επιπρόσθετα, το προϊόν ανάμιξης αργίλου-ιπτάμενης τέφρας δημιουργεί ικανοποιητικά ισχυρούς δεσμούς ώστε πληρείται το αντίστοιχο κριτήριο του σκοπού της παρούσας εργασίας. Επίσης, το χρονικό διάστημα που η ιπτάμενη τέφρα απαιτούσε για την ανάπτυξη δομής ήταν εντός των απαιτούμενων ορίων. Παράλληλα, το Εργαστήριο Θεμελιώσεων ήδη είχε συσσωρεύσει σημαντική εμπειρία πάνω στο θέμα της ανάμιξης αργίλου με ιπτάμενη τέφρα.

[31], [35], [38], [39], [41], [42], [45]

7 Παράμετροι Διερεύνησης

7.1 Ποσοστά Τέφρας

Είναι προφανές, τόσο μέσω βιβλιογραφικών πηγών όσο και από την εμπειρία του Εργαστηρίου, ότι οι αναλογίες μεταξύ των αναμειγνυόμενων υλικών επηρεάζουν σημαντικά τη διαδικασία ανάπτυξης δομής. Συγκεκριμένα, στο Ερευνητικό Πρόγραμμα που διεξήχθη στο Εργαστήριο για λογαριασμό της ΔΕΗ, και στο οποίο μελετώνται μίγματα αργίλου χαμηλής πλαστικότητας (CL) με Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας, προέκυψε ότι η ανάμιξη αργλικού υλικού με τέφρα σε περίπου 8-15% προκαλεί σημαντική βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους, όμως περαιτέρω αύξηση της αναλογίας τέφρας (πάνω από 15%) δεν βελτιώνει αναλογικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού. Να σημειωθεί ότι τα ποσοστά που αναφέρονται προστίθενται επιπλέον στο αργλικό υλικό, και το ποσοστό αναφέρεται στο συνολικό βάρος του αργλικού υλικού.

Επίσης, στην Διπλωματική Μαντικού, η οποία πραγματεύεται την ανάμιξη αργίλου χαμηλής-μέσης πλαστικότητας με Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας, βρέθηκε ότι η προσθήκη τέφρας σε ποσοστό 5% εμφανίζει μικρή μόνο βελτίωση, ώστε η απόκριση του υλικού να πλησιάζει τη συμπεριφορά του καθαρού αργλικού υλικού. Επιπρόσθετα, η χαμηλή βελτίωση η οποία εμφανίζεται εξελίσσεται με βραδείς ρυθμούς—η όποια επίδραση της ποζολανικής αντίδρασης αρχίζει να γίνεται αισθητή μετά την πάροδο 4 μηνών. Η προσθήκη τέφρας σε ποσοστό 10-15% βρέθηκε ότι δημιουργεί παρόμοια αποτελέσματα, με μοναδική ουσιώδη διαφορά να σημειώνεται στην ταχύτητα ολοκλήρωσης των αντιδράσεων. Σε σχέση με το καθαρό αργλικό υλικό, παρατηρήθηκε περίπου 75% μείωση της συμπίεστικότητας μετά από 8 μήνες ωρίμανση, ενώ παρατηρήθηκε αύξηση κατά 5-7 φορές της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, η οποία στο υλικό με 15% τέφρα έχει ολοκληρωθεί στους 8 μήνες, έχοντας αναπτύξει το μεγαλύτερο μέρος της έως τους 2 μήνες μετά την ανάμιξη. Η ανάμιξη με ποσοστό 10% τέφρας είχε παρόμοια αποτελέσματα με το υλικό με 15% τέφρα, όμως για την ολοκλήρωσή τους απαιτούνταν

Έτσι, δεδομένων των αποτελεσμάτων των προηγούμενων εργασιών, και λαμβάνοντας υπόψη ότι οι προηγούμενες αυτές εργασίες πραγματοποιήθηκαν σε άργιλο μέσης-χαμηλής πλαστικότητας, ενώ στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται άργιλος υψηλής πλαστικότητας, φάνηκε πως τα ποσοστά στα οποία έπρεπε να κυμανθεί η διερεύνηση της εργασίας ήταν 5-10%. Έτσι, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθούν αναμίξεις με ποσοστά 4%, 6%, και 10%. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στο καθαρό αργλικό υλικό (0% τέφρα) για λόγους σύγκρισης. Παρατηρώντας κατά τη διάρκεια των δοκιμών ότι η συμπεριφορά του ποσοστού ανάμιξης 10% κυμαίνονταν σε φαινομενικά ικανοποιητικό πλαίσιο, ενώ η συμπεριφορά των υπολοίπων δύο υλικών διαφοροποιούνταν μεν από αυτό που περιείχε 10% τέφρα, χωρίς όμως ιδιαίτερα μεγάλες αποκλίσεις, αποφασίστηκε να ελεγχθεί υλικό με 25% ποσοστό τέφρας, για να διαπιστωθεί πιο χονδροειδώς η επιρροή του ποσοστού τέφρας στη συμπεριφορά των προϊόντων ανάμιξης, δηλαδή κατά πόσον θα υπάρχει σημαντική απόκλιση από τα υπόλοιπα.

7.2 Ποσοστά Νερού

Είναι γνωστό ότι το ποσοστό υγρασίας των προϊόντων ανάμιξης παίζει σημαντικό έως καθοριστικό ρόλο στη συμπεριφορά του υλικού, αλλά και στην εξέλιξη των μηχανισμών ανάπτυξης δομής. Ο σκοπός όμως της παρούσας εργασίας δεν είναι η διερεύνηση υλικών που προϋπάρχουν στη φύση, των οποίων τα χαρακτηριστικά πρέπει να προσομοιωθούν πιστά ώστε να αποδοθεί σωστά η συμπεριφορά τους. Αντίθετα, ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να δημιουργηθεί ένα υλικό το οποίο θα χρησιμεύσει ως μοντέλο για τα υλικά με δομή γενικώς. Συνεπώς, η επιλογή ποσοστού υγρασίας αποκτά διαφορετικό ρόλο ως παράμετρος διερεύνησης.

Το βασικότερο κριτήριο στο οποίο στηρίχθηκαν οι επιλογές των ποσοστών υγρασίας στον εκάστοτε συνδυασμό ανάμιξης ήταν πρωτίστως η ομοιογένεια στους αρχικούς δείκτες πόρων όλων των μιγμάτων αμέσως μετά την ανάμιξη ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων, και δευτερευόντως η δημιουργία ικανοποιητικής εργασιμότητας του υλικού, ώστε η διαχείρισή του κατά τα επόμενα στάδια της έρευνας να είναι ευχερής. Έτσι, λαμβάνοντας φυσικά υπόψη το όριο υδαρότητας του αρχικού αργιλικού υλικού (το οποίο ήταν 86%) αλλά και την επιρροή της ανάμιξης της τέφρας, επιλέχθηκε να επιβληθεί αρχικό ποσοστό υγρασίας κοντά στο όριο υδαρότητας με αύξηση του ποσοστού αυτού κατά κάποιες ποσοστιαίες μονάδες ανάλογα το ποσοστό αναμειγνυόμενης τέφρας. Τα τελικά ποσοστά υγρασίας που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν και από παράλληλες δοκιμαστικές αναμίξεις.

Έτσι, ανάλογα με το ποσοστό τέφρας επιλέχθηκε το ποσοστό υγρασίας. Για ποσοστό τέφρας ίσο με 0% επιλέχθηκε ποσοστό υγρασίας ίσο με 80%, για 4% τέφρα επιλέχθηκε 82% νερό, για 6% τέφρα επιλέχθηκε 85% νερό, για 10% τέφρα επιλέχθηκε 90% νερό, και για 25% τέφρα επιλέχθηκε 125% νερό. Φυσικά, είναι προφανές ότι μεγάλο μέρος αυτού του νερού καταναλώθηκε από τους μηχανισμούς ανάπτυξης δομής—αυτό το φαινόμενο, μάλιστα, αποκτά αυξημένη σημασία καθώς αυξάνεται το ποσοστό της τέφρας. Επίσης, άλλο μέρος του νερού απομακρύνθηκε κατά τη διάρκεια επιβολής συμπύκνωσης (βλ. παρακάτω). Έτσι, όταν τα υλικά έφτασαν να υποβληθούν σε δοκιμές, το ποσοστό υγρασίας τους ήταν σημαντικά μειωμένο από το αρχικώς διαμορφούμενο.

7.3 Χρόνος Ωρίμανσης

Οι μηχανισμοί ανάπτυξης δομής ξεκινούν δράση από την πρώτη στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη. Η εξέλιξή τους όμως ως την ολοκλήρωση μπορεί να διαρκέσει μήνες, ή και χρόνια. Αυτό οφείλεται σε μια σειρά από παράγοντες, όπως έχει διαπιστωθεί και από προηγούμενες έρευνες. Ένας σημαντικός τέτοιος παράγοντας είναι οι αναλογίες της ανάμιξης—ποσοστό τέφρας και υγρασίας, άλλος παράγοντας είναι η τάση συμπύκνωσης, άλλος είναι η περιεχόμενη υγρασία σε συνάρτηση με τα όρια Atterberg, άλλος είναι η θερμοκρασία.

Για την απόκτηση σαφούς εικόνας της εξέλιξης των μηχανισμών ανάπτυξης δομής απαιτείται η επανάληψη των δοκιμών σε τακτά χρονικά διαστήματα. Τα διαστήματα αυτά είναι σκόπιμο να είναι τόσο μικρά, όσο πιο πολλές μεταβολές αναμένονται σε μικρό χρονικό διάστημα, κυρίως δηλαδή στην περίπτωση που οι μηχανισμοί είναι ταχείς. Γενικά, οι μηχανισμοί μπορούν να εκκινούν αμέσως ή με χρονοκαθυστέρηση, και ο ρυθμός εξέλιξης τους παρουσιάζει μια μορφή αδράνειας: στην αρχή είναι βραδύς και επιταχύνεται, περνά μια περίοδο σταθερού ρυθμού εξέλιξης, και τέλος επιβραδύνεται μέχρι την ολοκλήρωση. Παρ' όλα αυτά, υπό συνθήκες μπορούν να παρουσιαστούν αυξομειώσεις του ρυθμού, που μπορεί να οφείλονται σε διάφορους εξωγενείς ή ενδογενείς παράγοντες.

Για το πλαίσιο της παρούσας εργασίας, λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα της μέχρι τώρα ερευνητικής δραστηριότητας, κρίθηκε σκόπιμο τα εξεταζόμενα υλικά να ελέγχονται κάθε μήνα, ξεκινώντας αμέσως μετά την ανάμιξη και συνεχίζοντας μέχρι τους 6 μήνες. Παρ' όλο που η ωρίμανση σε κάποιες περιπτώσεις ενδέχεται να συνεχίζει πέρα από το όριο των 6 μηνών, τα υλικά αυτά απορρίπτονται ούτως ή άλλως διότι δεν μπορούν να οδηγήσουν στην επίτευξη του σκοπού της παρούσας εργασίας, ο οποίος επιτάσσει την ολοκλήρωση των μηχανισμών δημιουργίας δομής εντός χρονικού διαστήματος συντομότερου των 6 μηνών. Στην περίπτωση του υλικού που περιέχει 10% τέφρα πραγματοποιήθηκαν δοκιμές, πέρα από τους προκαθορισμένους χρόνους ωρίμανσης, και 14 μέρες μετά την ανάμιξη, για να μπορέσει να αποδοθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η χρονική εξέλιξη των μηχανισμών.

7.4 Συμπύκνωση Υλικών

Στη φύση, τα περισσότερα υλικά έχουν σ' ένα βαθμό υποστεί συμπύκνωση. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, κρίθηκε σκόπιμο τα εξεταζόμενα υλικά να υποστούν μία συμπύκνωση πριν τη διεξαγωγή των δοκιμών, ώστε να προσομοιάζονται αποτελεσματικότερα οι πραγματικές πιθανές συνθήκες. Έτσι, επιλέχθηκε να υποβληθούν σε τάση 300kPa, που αναλογεί σε 15m ύψος υπερκειμένων. Ορισμένα υποβλήθηκαν σε τάση 150kPa, που αναλογεί σε 7,5m ύψος υπερκειμένων.

Για πρακτικούς λόγους οι οποίοι καθιστούν αδύνατη (ή υπερβολικά δαπανηρή) την άμεση επιβολή της τάσης συμπύκνωσης, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε εναλλακτική διαδικασία, που έχει ως μέτρο της συμπύκνωσης ο δείκτης πόρων των υλικών e . Κατά τη διαδικασία αυτή, υπολογίζεται ο απαιτούμενος τελικός δείκτης πόρων, που αντιστοιχεί στην επιθυμητή τάση συμπύκνωσης και επιβάλλεται σταδιακή παραμόρφωση στην κυψέλη συμπύκνωσης Proctor έως ότου επιτευχθεί αυτό ο απαιτούμενος δείκτης πόρων. Η διαδικασία υπολογισμού του επιθυμητού τελικού δείκτη πόρων είναι η ακόλουθη:

Πρώτον, η παραμόρφωση ενός γραμμικού στοιχείου ορίζεται ως:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0}$$

Το στοιχείο μπορεί να θεωρηθεί γραμμικό στη συγκεκριμένη περίπτωση, παρ' όλο που η αναφορά γίνεται σε εδαφικό υλικό, διότι το εδαφικό δείγμα είναι πλευρικό

περιορισμένο, συνεπώς η φόρτισή του και κατ' επέκταση η παραμόρφωσή του μπορούν να θεωρηθούν μονοδιάστατες.

Συνεπώς, η καθίζηση δ ορίζεται ως:

$$\delta = \Delta H = \varepsilon * H_0$$

Παράλληλα, η παραμόρφωση, η μεταβολή του δείκτη πόρων, και ο αρχικός δείκτης πόρων του δείγματος συνδέονται ως εξής:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

Η μεταβολή του δείκτη πόρων μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει του συντελεστή συμπίεστικότητας ως ακολούθως:

$$\Delta e = -C_c * \log \frac{\sigma'_v}{\sigma'_{v0}}$$

Τελικά, μπορεί να υπολογιστεί η απαιτούμενη καθίζηση ως εξής:

$$\delta = \frac{C_c}{1 + e_0} * H_0 * \log \frac{\sigma'_v}{\sigma'_{v0}}$$

Επίσης, για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης καθίζησης ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο προφόρτισης απαιτείται να υπολογιστούν από τη δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης των κανονικά φορτισμένων υλικών ο συντελεστής συμπίεστικότητας C_c και ο αρχικός δείκτης πόρων e_0 . Η τάση σ'_{v0} αντιστοιχεί στην τελική επιθυμητή τάση συμπίκνωσης, εν προκειμένω 300kPa ή 150kPa αντίστοιχα. Ως H_0 συμβολίζεται το αρχικό ύψος του δείγματος.

Πίνακας 7.4.1

Υλικό	σ_v (kPa)	H_0 (cm)	e_0	σ_{v0} (kPa)	C_c	$\delta_{\text{τελ}}$ (cm)	$H_{\text{τελ}}$ (cm)	$e_{\text{τελ}}$
ΑΑΣ-80-00	300	27,52	2,24	2	0,467	13,35	14,17	0,953
ΑΑΣ-82-04		27,52	2,26	2	0,442	12,23	15,29	1,14
ΑΑΣ-85-06		27,52	2,31	2	0,514	10,12	17,40	1,26
ΑΑΣ-90-10		27,52	2,30	2	0,537	8,72	18,80	1,55
ΑΑΣ-115-25	150	27,52	2,31	2	0,462	4,93	22,59	1,71
	300	27,52	2,31	2	0,462	4,12	23,10	1,71

Σημαντικό σημείο της διαδικασίας, όπως επισημαίνεται και παρακάτω, αποτελούν οι συνθήκες στράγγισης. Στην περίπτωση κορεσμένου αργλικού υλικού, η διαμόρφωση της διάταξης πρέπει να είναι κατάλληλη και η επιβολή παραμόρφωσης πρέπει να είναι επαρκώς βραδεία ώστε να επιτυγχάνεται στράγγιση κατά την επιβολή της παραμόρφωσης, καθώς και να μην επιτρέπεται η απομάκρυνση υλικού.

Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, η απαιτούμενη διάρκεια για την επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου συμπύκνωσης ήταν κατά μέσο όρο δύο εβδομάδες. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε ένα ακόμα σημείο που απαιτεί προσοχή. Στην παρούσα εργασία, τα εξεταζόμενα υλικά είναι προϊόντα ανάμιξης τα οποία μετά την ανάμιξη αρχίζουν να αναπτύσσουν δομή. Η δομή αυτή ξεκινά να αναπτύσσεται αμέσως μετά την ανάμιξη. Έτσι, προκύπτει το ερώτημα του κατά πόσον η επιβολή συμπύκνωσης αμέσως μετά την ανάμιξη επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία ανάπτυξης της δομής, δεδομένου μάλιστα ότι η εξέλιξη της διαδικασίας ανάπτυξης δομής επιταχύνεται με την αύξηση της τάσης συμπύκνωσης. Τα υλικά που τέθηκαν υπό συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor με σκοπό την επιβολή συμπύκνωσης τοποθετήθηκαν στην κυψέλη αμέσως μετά την ανάμιξη. Η φόρτιση που τους επιβλήθηκε ήταν βαθμιαία, δηλαδή ξεκίνησε από μηδέν για να φτάσει την τελική της τιμή στο τέλος της διαδικασίας. Παράλληλα, είναι γνωστό πως οι μηχανισμοί ανάπτυξης δομής εκκινούν τη δράση τους αμέσως μετά την ανάμιξη μεν, όμως η απαιτούμενη διάρκεια ολοκλήρωσής τους είναι τόσο μεγάλη και ο ρυθμός τους ιδιαίτερα βραδύς. Έτσι, για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας η επιρροή της διαδικασίας συμπύκνωσης, που συμβαίνει τις πρώτες δύο εβδομάδες αμέσως μετά την ανάμιξη των υλικών, θεωρείται αμελητέα όσον αφορά τη χρονική εξέλιξη των μηχανισμών ανάπτυξης δομής.

7.5 Εξεταζόμενα Χαρακτηριστικά

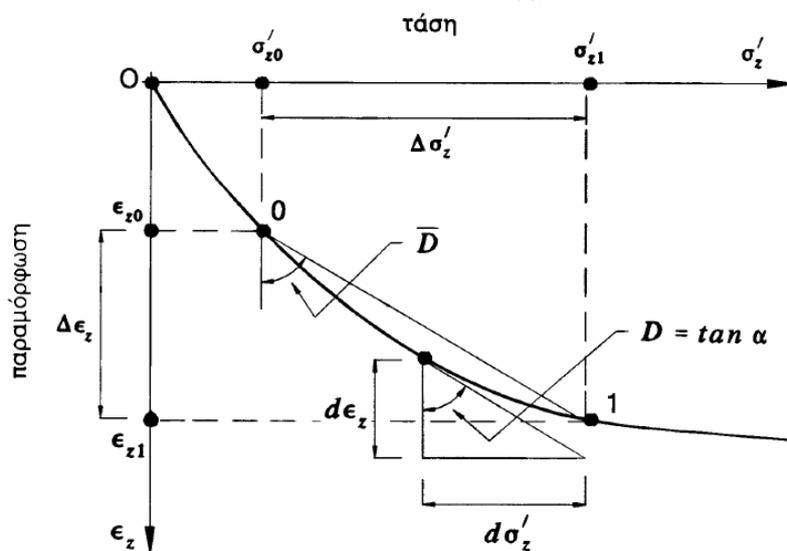
Η συμπεριφορά ενός υλικού μπορεί να ερμηνευθεί μέσω της αποτύπωσης συγκεκριμένων χαρακτηριστικών του, τα οποία μπορεί να εξάγονται άμεσα, δηλαδή να είναι μετρήσιμα, ή έμμεσα, δηλαδή να υπολογίζονται με συγκεκριμένο τρόπο από άλλα τα οποία είναι μετρήσιμα. Καθένα χαρακτηριστικό ενός υλικού σχετίζεται άμεσα με μία ή περισσότερες ιδιότητες του υλικού, και δίνει συγκεκριμένη πληροφορία για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το υλικό σε κάθε δεδομένη στιγμή. Ορισμένα χαρακτηριστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση και ερμηνεία της παρελθοντικής και την πρόβλεψη της μελλοντικής συμπεριφοράς ενός υλικού.

Ανάλογα τη φύση του κάθε υλικού υπάρχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ή οικογένειες χαρακτηριστικών που σχετίζονται με αυτά. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, τα εξεταζόμενα υλικά, τα οποία προκύπτουν ως προϊόντα διαφόρων αναμίξεων όπως περιγράφηκε παραπάνω, αποτελούνται κυρίως από αργιλικά στοιχεία και νερό. Έτσι, για την ερμηνεία της συμπεριφοράς τους χρησιμοποιούνται τα χαρακτηριστικά—και οι αντίστοιχες δοκιμές που τα αναδεικνύουν—που αφορούν στα αργιλικά εδάφη. Τα χαρακτηριστικά αυτά επικεντρώνονται στην περιγραφή και ερμηνεία της συμπίεσότητας και της αντοχής των εξεταζόμενων υλικών. Απαρτίζονται από το εφαπτομενικό μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης E_s , το δείκτη πόρων e , το δείκτη συμπίεσότητας a_v , το συντελεστή συμπίεσότητας C_c , το συντελεστή στερεοποίησης c_v , το ποσοστό υγρασίας w και τα όρια Atterberg, το ειδικό βάρος G_s , και την αστράγγιστη διατμητική αντοχή C_u . Τα πρώτα πέντε χαρακτηριστικά σχετίζονται άμεσα με τη συμπίεσότητα των υλικών και τη στερεοποίηση, και προκύπτουν έμμεσα (υπολογίζονται) από τα αποτελέσματα της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης. Το

ποσοστό υγρασίας μετράται πριν και μετά από κάθε δοκιμή ώστε να είναι γνωστές τυχόν απώλειες νερού εξαιτίας οποιουδήποτε παράγοντα. Το ειδικό βάρος είναι σταθερό για κάθε υλικό και χρησιμεύει στον υπολογισμό άλλων χαρακτηριστικών. Η αστράγγιστη διατμητική αντοχή είναι ενδεικτική της αντοχής του υλικού και σχετίζεται με την τριαξονική δοκιμή χωρίς στράγγιση, χωρίς στερεοποίηση, χωρίς πλευρικό περιορισμό.

Το μέτρο ελαστικότητας E συμβολίζει την τάση που απαιτείται για να προκληθεί συγκεκριμένη παραμόρφωση, και ορίζεται ως εξής:

$$E_s = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_{\text{τελικό}} - \sigma_{\text{αρχικό}}}{\varepsilon_{\text{τελικό}} - \varepsilon_{\text{αρχικό}}}$$

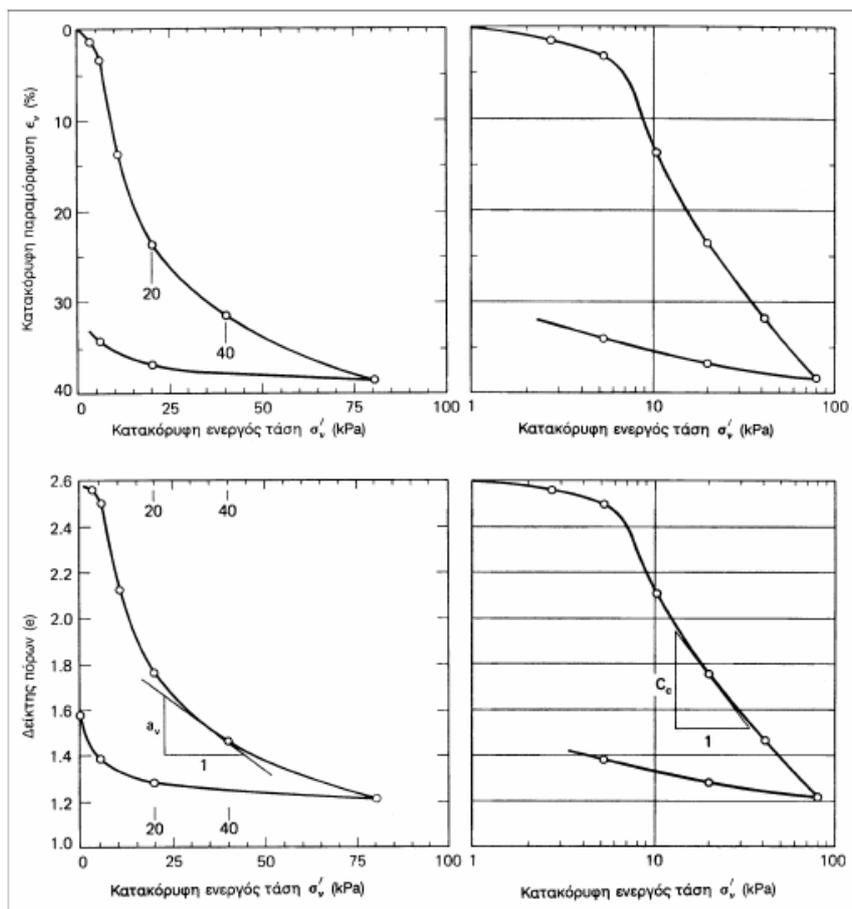


Σχήμα 7.1: Ορισμός μέτρου συμπίεσης

Χρησιμοποιείται, δηλαδή, για την αποτίμηση της συμπίεστικότητας ενός υλικού. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, τα υλικά υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης (βλ. παρακάτω). Το μέτρο ελαστικότητας στην περίπτωση συμπίεσης κατά μία διεύθυνση με παράλληλο περιορισμό της δυνατότητας πλευρικής παραμόρφωσης, όπως συμβαίνει στη δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης, ονομάζεται μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης, και συμβολίζεται E_s . Όμως, μία κορεσμένη άργιλος δεν παρουσιάζει ελαστική συμπεριφορά κατά την μονοδιάστατη συμπίεσή της. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορεί να εξαχθεί ένα και μοναδικό μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης για ένα υλικό. Απεναντίας, καθώς η τάση που ασκείται σ' ένα υλικό αυξάνεται, το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης μεταβάλλεται (μειώνεται). Έτσι, προκύπτει η ανάγκη ορισμού του εφαπτομενικού μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, το οποίο υπολογίζεται με την ίδια ακριβώς διαδικασία, το $\sigma_{\text{αρχικό}}$ και το $\varepsilon_{\text{αρχικό}}$ παραμένουν ίδια, όμως το $\sigma_{\text{τελικό}}$ και το $\varepsilon_{\text{τελικό}}$ επιλέγονται κάθε φορά εκ νέου για την τάση που εξετάζεται. Το εφαπτομενικό μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης μπορεί να συμβολίζεται και D , όπως στο σχήμα. Το πρόβλημα που προκύπτει από το γεγονός ότι το αποτέλεσμα της στερεοποίησης έχει μορφή καμπύλης σε ένα βαθμό εξαλείφεται, αν στο διάγραμμα των αποτελεσμάτων της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης οι τάσεις παρουσιαστούν σε λογαριθμική κλίμακα.

Η παραμόρφωση του υλικού μπορεί εναλλακτικά να εκφραστεί ως προς το δείκτη πόρων (την μεταβολή του). Ο δείκτης πόρων e είναι ο λόγος του όγκου των κενών V_v προς τον όγκο των στερεών κόκκων V_s :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$



Σχήμα 7.2: Μονοδιάστατη συμπίεση μαλακής αργίλου

Ο δείκτης πόρων έχει ιδιαίτερη σημασία για τα αργιλικά εδάφη, καθώς αποτελεί μια έμμεση—πλην όμως σαφή—ένδειξη της κατάστασης της διάταξης στο εσωτερικό του υλικού, δίνοντας έτσι μια πρώτη αποτίμηση όσον αφορά τη συμπιεστότητα και την αντοχή του υλικού. Πιο ανοιχτή διάταξη, δηλαδή όσο πιο μεγάλος είναι ο δείκτης πόρων, τόσο πιο μεγάλη είναι κατά κανόνα η συμπιεστότητα του υλικού διότι η διάταξη των κόκκων είναι ανοιχτή και χαλαρή και συνεπώς η σχετική τους μετακίνηση και ολίσθηση είναι σχετικά εύκολη, τόσο πιο μικρή η διατμητική του αντοχή για τον ίδιο λόγο, και τόσο πιο μεγάλη είναι η διαπερατότητά του καθότι υπάρχουν σχετικά μεγαλύτερες δίοδοι για τη διήθηση του νερού. Έτσι εξηγείται το φαινόμενο της επιβράδυνσης της εξέλιξης της στερεοποίησης για δεδομένη βαθμίδα φόρτισης, δηλαδή καθώς μειώνεται ο δείκτης πόρων εξαιτίας της επιβαλλόμενης φόρτισης, μειώνεται και η διαπερατότητα του υλικού, επιβάλλοντας συνεχή μείωση στο ρυθμό εξέλιξης του φαινομένου (βλ μονοδιάστατη στερεοποίηση εδαφών

παρακάτω). Τα αποτελέσματα της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης μπορούν να εκφραστούν μέσω του δείκτη πόρων συναρτήσεως των τάσεων. Και εδώ, το πρόβλημα που προκύπτει από το γεγονός ότι το αποτέλεσμα της στερεοποίησης έχει μορφή καμπύλης σε ένα βαθμό εξαλείφεται, αν στο διάγραμμα των αποτελεσμάτων της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης οι τάσεις παρουσιαστούν σε λογαριθμική κλίμακα.

Στην περίπτωση απεικόνισης του αποτελέσματος της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης μέσω του δείκτη πόρων συναρτήσεως των τάσεων, κατ' αναλογία με το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης ορίζεται ο δείκτης συμπιεστότητας a_v , ως εξής:

$$a_v = -\frac{\Delta e}{\Delta \sigma'_v} = \frac{e_{\text{τελικό}} - e_{\text{αρχικό}}}{\sigma'_{v \text{τελικό}} - \sigma'_{v \text{αρχικό}}}$$

Όπως και στην περίπτωση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, ο δείκτης συμπιεστότητας δεν είναι μοναδικός για ένα υλικό, παρά μεταβάλλεται (μειώνεται) καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη σ' αυτό τάση.

Ο συντελεστής συμπιεστότητας C_c επίσης περιγράφει τη συμπίεση ενός υλικού, αυτή τη φορά όμως συσχετίζοντας το δείκτη πόρων συναρτήσεως των τάσεων απεικονιζόμενων σε λογαριθμική κλίμακα, σε αντίθεση με το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης, το οποίο συσχετίζει απευθείας παραμορφώσεις με τάσεις. Για την ακρίβεια, ο συντελεστής συμπιεστότητας C_c ορίζεται ως εξής:

$$C_c = -\frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} = \frac{e_{\text{τελικό}} - e_{\text{αρχικό}}}{\log \sigma'_{v \text{τελικό}} - \log \sigma'_{v \text{αρχικό}}}$$

Ο συντελεστής συμπιεστότητας περιγράφει τη συμπίεση, εμπεριέχοντας τη συνεχή αύξηση του μέτρου ελαστικότητας που προκύπτει εξαιτίας της πύκνωσης της διάταξης του εδαφικού ιστού με την αύξηση της επιβαλλόμενης φόρτισης. Δηλαδή, όσο μικρότερος ο συντελεστής συμπιεστότητας, τόσο πιο αργά πυκνώνει η δομή, συνεπώς τόσο μεγαλύτερη αντίσταση προβάλλει το υλικό στη συμπίεσή του.

Ο συντελεστής στερεοποίησης c_v χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ταχύτητα της εξέλιξης του φαινομένου της στερεοποίησης για καθεμιά βαθμίδα φόρτισης, δηλαδή τον μηχανισμό κατά τον οποίο με την επιβολή μιας φόρτισης σ' ένα κορεσμένο αργιλικό υλικό σε συνθήκες μονοδιάστατης συμπίεσης η φόρτιση παραλαμβάνεται από το νερό των πόρων, η δημιουργούμενη πίεση των οποίων σταδιακά αποτονωνεται ώστε η επιβαλλόμενη τάση παραλαμβάνεται από τον εδαφικό σκελετό, προκαλώντας την παραμόρφωσή του και οδηγώντας σε πύκνωση της διάταξης του. Η πύκνωση αυτή συμβαίνει με ολοένα μειούμενο ρυθμό, καθώς πύκνωση συνεπάγεται μείωση της διαπερατότητας του υλικού με αντίστοιχα αυξανόμενο ρυθμό, ώστε η αποτόνωση της πίεσης των πόρων (η διαφυγή του νερού των πόρων) να περιορίζεται εντέλει από την ίδια τη δύναμη που την προκαλεί. Ο συντελεστής στερεοποίησης c_v μπορεί να εξαχθεί γραφικά από τα αποτελέσματα δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης για μια βαθμίδα φόρτισης. Ανάλογα τη μορφή των αποτελεσμάτων, υπάρχουν δύο διαφορετικές μέθοδοι που μπορούν να ακολουθηθούν για τον προσδιορισμό του, του Casagrande και του Taylor. Επιλέγεται η μέθοδος που προσομοιάζει περισσότερο τη μορφή των αποτελεσμάτων. Ο συντελεστής στερεοποίησης c_v ορίζεται ως ακολούθως:

$$c_v = \frac{T_{50} * H_d^2}{t_{50}} = \frac{0.197 * H_d^2}{t_{50}}$$

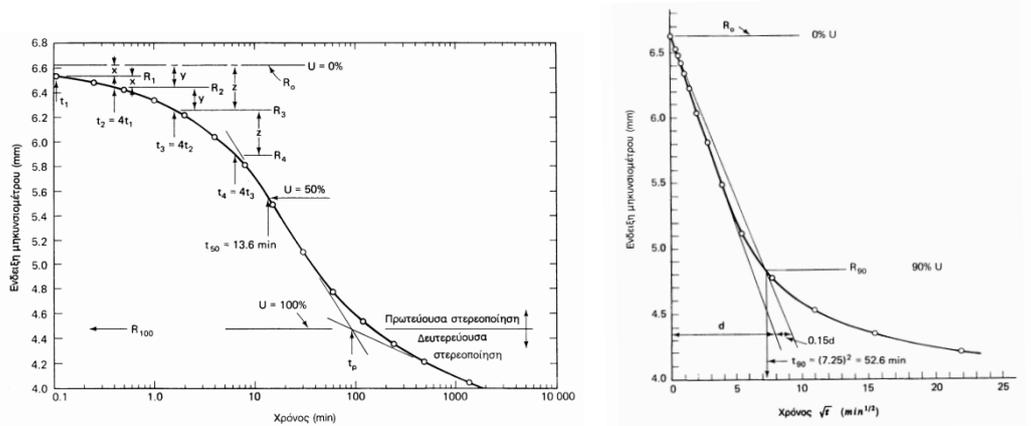
στην περίπτωση της μεθόδου Casagrande, και:

$$c_v = \frac{T_{90} * H_d^2}{t_{90}} = \frac{0.848 * H_d^2}{t_{90}}$$

στην περίπτωση της μεθόδου Taylor.

Από το διάγραμμα των αποτελεσμάτων της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης εξάγεται, σύμφωνα με τη διαδικασία που επιτάσσει η κάθε μέθοδος η παράμετρος του χρόνου t_{50} ή t_{90} .

(βλ. εδάφιο με τίτλο «Στερεοποίηση Εδαφών»)



(α) Μέθοδος Casagrande (β) Μέθοδος Taylor

Σχήμα 7.3: Γραφικές μέθοδοι υπολογισμού του συντελεστή στερεοποίησης c_v

Θεωρητικά ο συντελεστής στερεοποίησης c_v πρέπει να είναι ο ίδιος για κάθε βαθμίδα φόρτισης, ωστόσο στην πράξη σημειώνονται από μικρές έως μεγάλες αποκλίσεις.

Το ποσοστό υγρασίας w ορίζεται ως ο λόγος της μάζας του νερού M_w που περιέχονται στους πόρους του υλικού προς την μάζα των στερεών κόκκων M_s :

$$w = \frac{M_w}{M_s}$$

Το ποσοστό υγρασίας αυτό καθαυτό δεν μαρτυρά κάποιο σημαντικό στοιχείο αναφορικά με την κατάσταση του υλικού. Ωστόσο, σε σύγκριση με τα όρια Atterberg το ποσοστό υγρασίας δίνει σημαντικότερες πληροφορίες αναφορικά με την κατάσταση του υλικού. Η σημασία των Ορίων Atterberg περιγράφεται σε προηγούμενο κεφάλαιο και ο τρόπος προσδιορισμού τους σε επόμενο, ενώ οι διάφορες καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρίσκεται ένα υλικό ανάλογα του ποσοστού υγρασίας του σε σχέση με τα όρια Atterberg. Το ποσοστό υγρασίας και τα Όρια Atterberg περιγράφουν την υδροαπορροφητικότητα του υλικού, και τις συνέπειες τις οποίες αυτή μπορεί να έχει ως προς την μηχανική συμπεριφορά του υλικού.

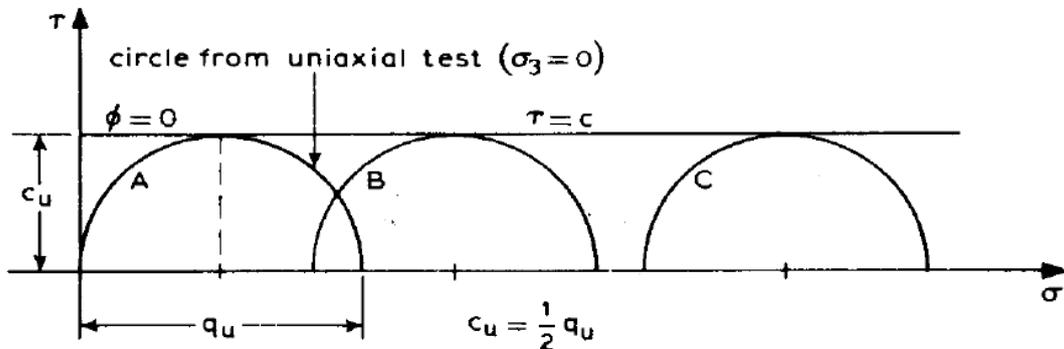
Με το ειδικό βάρος G_s αποτιμάται η πυκνότητα των στερεών του εδαφικού υλικού. Ορίζεται ως εξής:

$$G_s = g \frac{M_s}{V_s}$$

όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας, M_s η μάζα των στερεών, και V_s ο όγκος των στερεών. Πέραν του ότι το G_s χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ύψους στερεών κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης, δίνει επίσης μια ιδέα για τις αλλαγές που λαμβάνουν χώρα σε επίπεδο μικροδομής στον εδαφικό σκελετό. Μείωση του G_s συνεπάγεται πιο ανοικτή δομή, ενώ αύξησή του συνεπάγεται πιο πυκνή δομή.

Τέλος, με την αστράγγιστη διατμητική αντοχή C_u αποτιμάται η αντοχή ενός υλικού. Προσδιορίζεται από την τριαξονική δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης χωρίς στερεοποίηση και χωρίς στράγγιση, ως το μισό της επιβαλλόμενης κατακόρυφης τάσης q_u κατά την αστοχία:

$$C_u = \frac{1}{2} q_u$$



Σχήμα 7.4: Κύκλοι Mohr κορεσμένου αργίλου ($\phi = 0$)

Η αστράγγιστη διατμητική αντοχή δίνει σημαντικές πληροφορίες για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το υλικό, τόσο όσον αφορά τη διάταξη όσο και τη δομή των κόκκων (πλακιδίων). Αύξηση της C_u συνεπάγεται είτε πύκνωση της διάταξης είτε δημιουργία δομής στο εσωτερικό του υλικού, είτε και τα δύο. Μάλιστα, στην περίπτωση δράσης μηχανισμών ανάπτυξης δομής, μέσω της παρακολούθησης της εξέλιξης της C_u μπορεί να προσδιορισθεί ο ρυθμός δράσης των μηχανισμών αυτών και να επαληθευθεί η ολοκλήρωσή τους. Έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς περιγράφει την αντοχή ενός κορεσμένου υλικού σε όρους ολικών τάσεων, και δεν απαιτείται δοκιμή μεγάλης χρονικής διάρκειας για τον προσδιορισμό της.

[46], [1]

8 Διεξαχθείσες Δοκιμές

Όλες οι δοκιμές διεξήχθησαν σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Manual of Soil Laboratory Testing, του εγχειρίδιου εργαστηριακών δοκιμών εδαφικών υλικών. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Θεμελιώσεων του Τομέα Γεωτεχνικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου κατά την περίοδο Νοεμβρίου 2011-Ιουλίου 2012.

8.1 Συμπύκνωση Δοκιμών με Χρήση Κυψέλης Proctor

8.1.1 Σκοπός

Η διαδικασία της συμπύκνωσης με χρήση της κυψέλης Proctor χρησιμοποιείται για την επίτευξη του επιθυμητού βαθμού συμπύκνωσης των εξεταζόμενων υλικών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, αυτό επιτυγχάνεται μέσω της επιβολής παραμόρφωσης, η οποία έχει προϋπολογιστεί και αντιστοιχεί στο επιθυμητό επίπεδο συμπύκνωσης.

8.1.2 Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Εργαλεία γενικής χρήσης, όπως μαχαίρια, σπάτουλες, κανόνας, ταψιά, που χρησιμοποιούνται για την προπαρασκευή του δοκιμίου
- Αλφάδι
- Παχύμετρο
- Σιλικόνη
- Κυλινδρική κυψέλη συμπύκνωσης Proctor, ύψους 5,29cm, εσωτερικής διαμέτρου 15,21cm, με αποσπώμενο περιλαίμιο ύψους 5,29cm
- Μηχανικό πλαίσιο επιβολής φόρτισης, ρυθμιζόμενο ηλεκτρονικά ή χειροκίνητα (με διάταξη ανύψωσης της βάσης με ελεγχόμενο ρυθμό)
- Μεταλλικός δακτύλιος δεδομένης δυσκαμψίας, βαθμονομημένος καταλλήλως
- Μυκησιόμετρο
- Διάτρητο μεταλλικό έμβολο κυλινδρικής διατομής, πάχους 0,5cm
- Ταψί μεταλλικό
- Γεωύφασμα κυκλικής διαμέτρου

8.1.3 Πειραματική Διαδικασία

Προετοιμασία δοκιμής (έλεγχος συσκευής, τοποθέτηση δείγματος)

Ελέγχονται οι μηχανισμοί της συσκευής και βαθμονομούνται τα όργανα που απαιτείται. Στη συνέχεια προετοιμάζεται η κυψέλη για την υποδοχή του υλικού. Η κυλινδρική κυψέλη στερεώνεται σε διάτρητη κυλινδρική βάση, η οποία εν συνεχεία καλύπτεται με γεωύφασμα κυκλικού σχήματος. Ο συνδυασμός διάτρητης βάσης-γεωυφάσματος χρησιμεύει ώστε κατά τη διάρκεια της επιβολής παραμόρφωσης η στράγγιση να είναι μεν ελεύθερη, χωρίς να υπάρχουν όμως απώλειες υλικού. Στη συνέχεια αλείφεται με σιλικόνη ώστε να περιοριστούν οι πλευρικές τριβές που αναπτύσσονται μεταξύ υλικού και τοιχωμάτων.

Κατόπιν η κυψέλη πληρούται με υλικό σταδιακά. Η πλήρωση της κυψέλης πραγματοποιείται με προσοχή ώστε, πρώτον, να μη συμπιεστεί το υλικό κατά την τοποθέτησή του και, δεύτερον, να μην υπάρχουν κενά αέρα στο εσωτερικό της κυψέλης. Ύστερα, τοποθετείται το περιλαίμιο, το οποίο οριζοντιώνεται με χρήση αλφαδιού, και συνεχίζει η πλήρωση μέχρι την κορυφή. Η άνω επιφάνεια φροντίζεται ώστε να είναι επίπεδη, χωρίς προεξοχές ή ασυνέχειες. Επάνω στην άνω επιφάνεια τοποθετείται γεωύφασμα κυκλικού σχήματος κατάλληλης διαμέτρου ώστε να εφαρμόζει στο εσωτερικό της κυλινδρικής κυψέλης, το οποίο με τη σειρά του καλύπτεται από υγρό ύφασμα. Πάνω σε αυτό θα εφαρμόσει το διάτρητο έμβολο, δημιουργώντας τις ίδιες συνθήκες στράγγισης χωρίς απώλεια υλικού όπως πραγματοποιήθηκε στην περίπτωση της κάτω επιφάνειας.

Τέλος, η βάση της κυλινδρικής κυψέλης τοποθετείται σε μεταλλικό ταψί, το οποίο πληρούται με αποσταγμένο νερό ώστε να διατηρείται ο κορεσμός του δοκιμίου, και το οποίο εδράζεται στη βάση του πλαισίου επιβολής φόρτισης. Στη συνέχεια τοποθετείται το έμβολο στην άνω επιφάνεια της κυψέλης ώστε να εφάπτεται στο εσωτερικό της, και ελέγχεται με χρήση αλφαδιού ότι η επαφή υλικού-εμβόλου είναι οριζόντια. Η κορυφή του εμβόλου εφάπτεται στο κατώτατο σημείο του μεταλλικού δακτυλίου. Οι κατακόρυφοι άξονες της βάσης του πλαισίου επιβολής φόρτισης, του ταψιού, της κυψέλης, και του εμβόλου πρέπει να ταυτίζονται.

Επιβολή της Προφόρτισης

Η επιβολή της παραμόρφωσης πραγματοποιείται μέσω ελεγχόμενου ηλεκτρονικού συστήματος στην περίπτωση ηλεκτρικής συσκευής, ή μέσω χειροκίνητου συστήματος κοχλιών στην περίπτωση χειροκίνητης συσκευής. Επιβάλλεται ελεγχόμενη ανύψωση της βάσης, ενώ η κορυφή παραμένει ακλόνητη. Ο μεταλλικός δακτύλιος παραμορφώνεται και η παραμόρφωσή του μετράται με τη βοήθεια μηκυσιομέτρου. Από την παραμόρφωσή του εξάγεται τόσο η δύναμη που ασκείται κάθε στιγμή στο υλικό, καθώς και η αξονική παραμόρφωση του υλικού.

Σημείο προσοχής αποτελεί ο ρυθμός επιβαλλομένης παραμόρφωσης, ο οποίος πρέπει να επιλέγεται με βάση την κατάσταση του υλικού. Στην περίπτωση κορεσμένης αργίλου, ο ρυθμός πρέπει να είναι επαρκώς αργός, ώστε να εκτονώνονται οι πιέσεις πόρων και το υλικό να στερεοποιείται καθώς συμπιέζεται, με άλλα λόγια πρέπει να εξασφαλιστούν στραγγιζόμενες συνθήκες. Σε αντίθετη περίπτωση δεν είναι δυνατή η διεξαγωγή της διαδικασίας, καθώς το υλικό αντιστέκεται στην επιβαλλόμενη παραμόρφωση, προκαλώντας την περιστροφή του εμβόλου περί τον οριζόντιο άξονά του.

Εξαγωγή του υλικού

Μετά το πέρας της διαδικασίας, και αφού έχει επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός συμπίκνωσης, η βάση του πλαισίου επιβολής φόρτισης υποχωρεί, το έμβολο αφαιρείται, και η κυψέλη απομακρύνεται από το πλαίσιο. Το υλικό αφαιρείται από την κυψέλη ως συμπαγής μάζα κυλινδρικής μορφής, καλύπτεται αεροστεώς και τοποθετείται σε θάλαμο υγραντήρα ώστε να διατηρηθεί η υγρασία του, όπου φυλάσσεται έως ότου χρησιμοποιηθεί. Μεγάλης

σημασίας σε κάθε στάδιο της διαδικασίας είναι η αποφυγή η διατάραξη του υλικού. Παρ' όλο που η συμπίεση που έχει υποστεί το καθιστά αρκετά συνεκτικό, και συνεπώς δύσκολο να διαταραχθεί η δομή του, οι κινήσεις πρέπει να γίνονται με τη δέουσα προσοχή.

[46]

8.2 Προσδιορισμός Ορίων Atterberg

8.2.1 Όριο Πλαστικότητας

Το όριο πλαστικότητας ορίζεται ως το ποσοστό υγρασίας στο οποίο επιμήκη στοιχεία του εδαφικού υλικού θρυμματίζονται όταν η διάμετρός τους γίνει 3mm.

8.2.1.1 Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Κάψες πορσελάνης και γυάλινες
- Λεία και αδιαπέρατη επιφάνεια εργασίας
- Κλίβανος ξηράσεως θερμοκρασίας 105 ± 1 °C
- Ζυγός ακρίβειας 0,01g
- Απεσταγμένο νερό

8.2.1.2 Πειραματική Διαδικασία

1. Λαμβάνεται επαρκής ποσότητα υλικού, πλάθεται σε ευμεταχειρίσιμα κομμάτια, τα οποία ύστερα κυλούνται σε λεία επιφάνεια, μετατρεπόμενα σε επιμήκης κυλίνδρους. Εάν η διάμετρός τους γίνει 3mm χωρίς να θρυμματιστούν, επαναπλάθονται και επανακυλούνται, έως ότου επιτευχθεί θρυμματισμός σε διάμετρο 3mm. Εάν θρυμματίζονται σε μεγαλύτερες διαμέτρους, τότε βρίσκονται στην περιοχή του ημιστερεού και απαιτείται προσθήκη νερού και επανάληψη της διαδικασίας.
2. Δημιουργούνται αρκετοί κύλινδροι ώστε να γεμίζουν μία κάψα. Έχοντας ζυγίσει το απόβάρό της, ζυγίζεται αφού προστεθεί το υλικό στην μορφή των κυλίνδρων.
3. Αφήνεται να ξηρανθεί στον κλίβανο.
4. Απομακρύνεται από τον κλίβανο και αφήνεται να επανέλθει σε θερμοκρασία 20° C. Ζυγίζεται, και ύστερα υπολογίζεται το ποσοστό υγρασίας.
5. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τρεις φορές, και ο μέσος όρος των προκύπτοντων ποσοστών υγρασίας ορίζεται ως το όριο πλαστικότητας του εξεταζόμενου υλικού.

8.2.2 Όριο Υδαρότητας

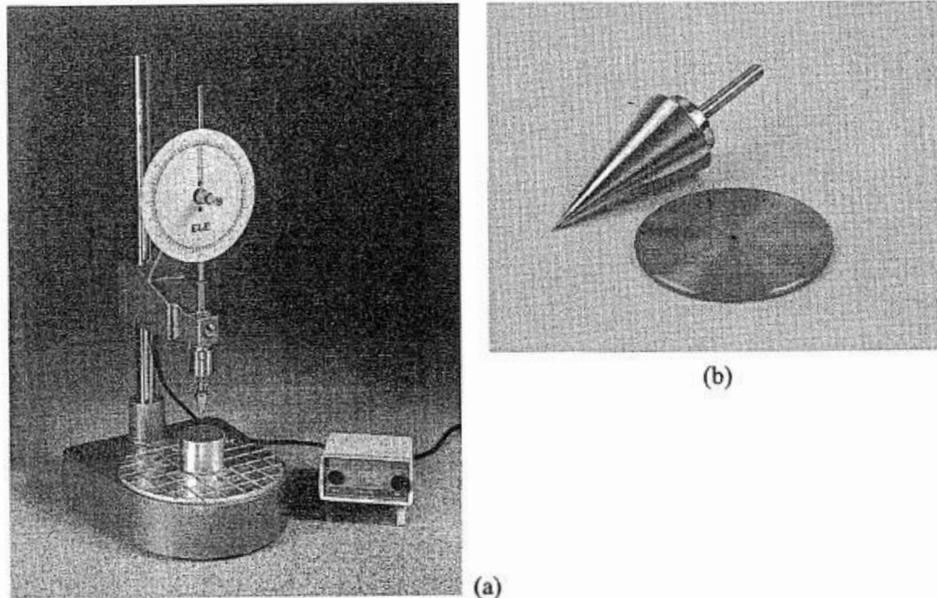
Η πρώτη δοκιμή προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας δημιουργήθηκε από τον Cassagrande, και χρησιμοποιεί τη συσκευή που φέρει το όνομά του. Ωστόσο, πιο διαδεδομένη σήμερα, λόγω της αυξημένης ακρίβειάς της συγκριτικά με τη συσκευή Casagrande, είναι η πρότυπη δοκιμή κωνικού πενετρομέτρου.

8.2.2.1 Εργαστηριακός Εξοπλισμός

Γενικός Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Συσκευή Κωνικού Πενετρομέτρου
- Λεία και αδιαπέρατη επιφάνεια εργασίας

- Εργαλεία γενικής χρήσης, όπως μαχαίρια, σπάτουλες, κανόνες, ταψιά, που χρησιμοποιούνται για την προπαρασκευή του δοκιμίου
- Κάψες πορσελάνης και γυάλινες
- Ζυγός ακρίβειας 0,01g
- Κλίβανος ξηράσεως θερμοκρασίας $105\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$



Εικόνα 8.1: Διάταξη κωνικού πενетроμέτρου

Συσκευή Κωνικού Πενетроμέτρου

- Βάση συσκευής με υποδοχή για κατακόρυφο στέλεχος και μήτρα
- Κατακόρυφο στέλεχος
- Βάση κώνου και μηκυσιομέτρου, που στηρίζεται στο κατακόρυφο στέλεχος σε ρυθμιζόμενο ύψος, με ειδική διάταξη που επιτρέπει την κατακόρυφη κίνηση του κώνου
- Κυλινδρική μεταλλική μήτρα που εδράζεται στη βάση της συσκευής
- Κώνος πεντρομέτρησης (διαμήκης κυλινδρικό μεταλλικό στέλεχος με κώνο στην μία κορυφή), με τον άξονά του να ταυτίζεται με τον κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το κέντρο της υποδοχής της μήτρας στη βάση της συσκευής
- Μηκυσιόμετρο του οποίου ο διαμήκης άξονας του στέλεχους του ταυτίζεται με τον άξονα του κώνου πεντρομέτρησης

8.2.2.2 Πειραματική Διαδικασία

1. Η κυλινδρική μήτρα γεμίζεται με υλικό, προσέχοντας η ελεύθερη επιφάνειά του να είναι απολύτως επίπεδη, χωρίς ασυνέχειες, καμπυλότητες, προεξοχές, ή κενά. Η Τοποθετείται στη βάση της συσκευής ώστε ο άξονάς της να ταυτίζεται με τον άξονα του κώνου.

-
2. Ο κώνος ρυθμίζεται με τον σχετικό κοχλία ώστε να εφάπτεται οριακά στην ελεύθερη οριζόντια επιφάνεια του δείγματος. Μετράται και καταγράφεται η θέση του κώνου με τη βοήθεια του μηκυσιομέτρου.
 3. Ο κώνος, με χαλάρωση του σχετικού κοχλία, αφήνεται να διεισδύσει στο εδαφικό δείγμα με τη δύναμη του βάρους του. Μετά από πέντε δευτερόλεπτα μετράται και καταγράφεται η θέση του κώνου με τη βοήθεια του μηκυσιομέτρου.
 4. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τουλάχιστον τέσσερις φορές. Το όριο υδαρότητας ορίζεται ως το ποσοστό υγρασίας του δείγματος για το οποίο προκύπτει διείσδυση του κώνου ίση προς 20mm σε διάρκεια 5sec. Υπολογίζεται σχεδιάζοντας σε διάγραμμα διείσδυσης-ποσοστού υγρασίας τα σημεία που προκύπτουν από τις επαναλήψεις της δοκιμής, προεκτείνοντας την προκύπτουσα ευθεία ως την διείσδυση 20mm, και λαμβάνοντας το ποσοστό υγρασίας που της αντιστοιχεί.

[46]

8.3 Δοκιμή Μονοδιάστατης Στερεοποίησης

8.3.1 Στερεοποίηση των Εδαφών

Στερεοποίηση ονομάζεται το φαινόμενο που παρατηρείται κατά τη φόρτιση ενός κορεσμένου υλικού χαμηλής διαπερατότητας, όπου εξαιτίας της διαφορετικής συμπίεστότητας του νερού των πόρων και του εδαφικού σκελετού, αλλά και της χαμηλής διαπερατότητας του υλικού, η ογκομετρική παραμόρφωση του υλικού παρουσιάζει ρυθμό βραδύτερο του ρυθμού επιβολής της φόρτισης, ανάλογο του ρυθμού διαφυγής του νερού των πόρων.

8.3.2 Βασικές Αρχές του Φαινομένου

Τα εδάφη αποτελούνται από τρεις φάσεις: τη στερεά—τα στερεά σωματίδια, την υγρή—το νερό των πόρων, και την αέρια—τον αέρα των πόρων. Όταν σ' ένα έδαφος επιβάλλεται μια φόρτιση, οι τρεις αυτές φάσεις αλληλεπιδρούν και καθεμιά παραλαμβάνει μέρος αυτής της φόρτισης: τα στερεά σωματίδια αναδιατάσσονται, το νερό των πόρων αναπτύσσει υπερπίεση, και τα κενά αέρα συμπιέζονται. Στην περίπτωση που το έδαφος είναι κορεσμένο, η φόρτιση παραλαμβάνεται μόνο από τη στερεά και την υγρή φάση. Αμέσως μετά την επιβολή της φόρτισης, το σύνολό της παραλαμβάνεται από την υγρή φάση μέσω της ανάπτυξης υπερπίεσης πόρων, διότι το νερό είναι πρακτικώς ασυμπίεστο. Όμως, η ανάπτυξη της υπερπίεσης συνεπάγεται δημιουργία υδραυλικής κλίσης με περιοχές χαμηλότερης κλίσης, και έτσι δημιουργούνται συνθήκες ροής προς αυτές τις περιοχές. Καθώς η αύξηση της πίεσης πόρων εκτονώνεται λόγω της ροής, η φόρτιση παραλαμβάνεται από τη στερεά φάση μέσω παραμόρφωσης του εδαφικού σκελετού, η οποία συνεπάγεται βαθμιαία ανάπτυξη ενεργών τάσεων. Όταν αυτή η διαδικασία ολοκληρωθεί, το σύνολο της φόρτισης θα παραλαμβάνεται από το σκελετό των στερεών σωματιδίων. Ο ρυθμός αυτής της διαδικασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την διαπερατότητα του εδαφικού υλικού. Στην περίπτωση συνεκτικών (αργλικών) εδαφών, εξαιτίας της χαμηλής τους διαπερατότητας, η ολοκλήρωση της

διαδικασίας της στερεοποίησης, αλλά και της παραμόρφωσης που αυτή συνεπάγεται, απαιτεί σημαντικό χρόνο.

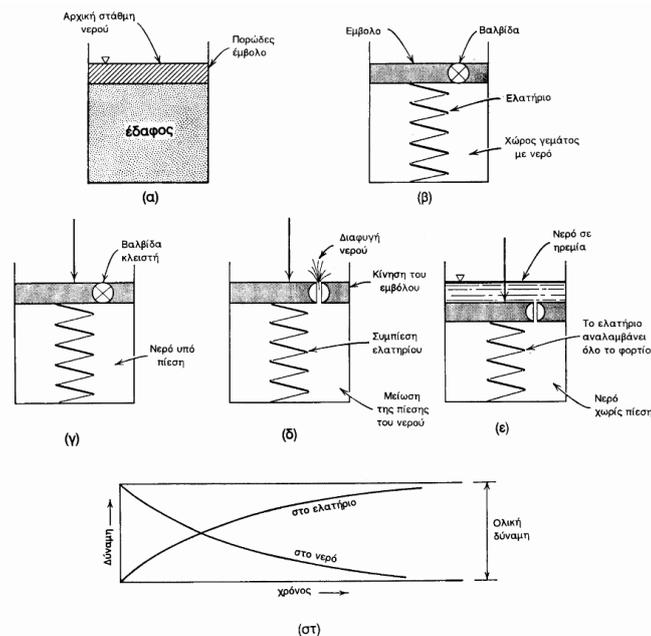
Η ακριβής προσομοίωση του φαινομένου της στερεοποίησης ενός πραγματικού υλικού είναι πρακτικώς αδύνατη. Αυτό οφείλεται στην ανομοιογένεια του εδάφους, στην τρισδιάστατη φύση του φαινομένου, και στη συνεχή μεταβολή των συνθηκών και κάποιων χαρακτηριστικών του εδάφους με το χρόνο. Ωστόσο, η θεωρία της μονοδιάστατης στερεοποίησης που έχει αναπτύξει ο Terzaghi, παρ' όλο που απεικονίζει μια εξιδανικευμένη κατάσταση, κρίνεται επαρκής για συνήθεις περιπτώσεις εκτίμησης καθιζήσεων.

(2, 21)

8.3.3 Το Μηχανικό Ανάλογο

Οι Terzaghi και Peck το 1948 πρότειναν το εξής μηχανικό ανάλογο για να προσομοιάσουν το φαινόμενο της στερεοποίησης: το έδαφος αντικαθίσταται με ελατήριο ανάλογης δυσκαμψίας, που βρίσκεται σε ανοικτό κυλινδρικό δοχείο γεμάτο νερό, το οποίο κλείνει με αβαρές αδιαπέρατο έμβολο, με ελευθερία κίνησης καθύψος του δοχείου χωρίς τριβή, και επίσης διαθέτει βαλβίδα ελεγχόμενου ανοίγματος.

Αρχικά, η βαλβίδα είναι κλειστή και το έμβολο ισορροπεί, ενώ το ελατήριο μένει ασυμπιεστο. Με την τοποθέτηση φορτίου στο έμβολο, αναπτύσσεται πίεση νερού, η οποία εξισορροπεί την επιβληθείσα φόρτιση, αφού η βαλβίδα παραμένει κλειστή και το νερό είναι πρακτικώς ασυμπιεστο. Το ελατήριο παραμένει απαραμόρφωτο, συνεπώς άτονο. Ύστερα, η βαλβίδα ανοίγεται ώστε να προσομοιάζει τη χαμηλή διαπερατότητα του εδάφους. Λόγω της διαφοράς πίεσης, το νερό αρχίζει να ρέει εκτός δοχείου. Καθώς μειώνεται ο όγκος του νερού εσωτερικά του δοχείου οδηγώντας στην αργή υποχώρηση του εμβόλου, το ελατήριο αρχίζει να συμπιέζεται, παραλαμβάνοντας μέρος του φορτίου ίσο με την απώλεια της υδατικής πίεσης λόγω αποτόνωσης. Με την πάροδο του χρόνου, η πίεση του νερού συνεχίζει να μειώνεται και το παραλαμβανόμενο από το ελατήριο φορτίο συνεχίζει και αυξάνεται, με συνεχώς μειούμενο, όμως, ρυθμό. Η διαδικασία θα ολοκληρωθεί όταν το συνολικό φορτίο του εμβόλου παραλαμβάνεται από το ελατήριο. Ο χρόνος ολοκλήρωσής της εξαρτάται από το άνοιγμα της βαλβίδας, το ιξώδες του νερού, και τη συμπιεστότητα του ελατηρίου. Η τελική καθίζηση του εμβόλου εξαρτάται αποκλειστικά από τη συμπιεστότητα του ελατηρίου.



Σχήμα 8.1: Μηχανικό ανάλογο στερεοποίησης

[1], [2]

8.3.4 Η Μαθηματική Προσέγγιση

Η μαθηματική προσέγγιση της στερεοποίησης από τον Terzaghi βασίζεται στις εξής απλοποιητικές παραδοχές:

1. Το εδαφικό υλικό που στερεοποιείται είναι ομοιογενές και βρίσκεται σε οριζόντια στρώση σταθερού πάχους, με παρεμποδιζόμενη πλευρική παραμόρφωση. Το ίδιο βάρος του εδαφικού υλικού μπορεί να αμεληθεί.
2. Το εδαφικό υλικό είναι πλήρως κορεσμένο.
3. Οι στερεοί κόκκοι και το νερό των πόρων είναι ασυμπίεστα.
4. Η υδατική ροή διαμέσου των πόρων του εδάφους διέπεται από τον νόμο του Darcy, και η διαπερατότητα είναι ισότροπη και σταθερή. Σταθερές επίσης είναι και οι ιδιότητες του εδάφους. Η υδατική ροή λαμβάνει χώρα μόνο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση.
5. Η επιβαλλόμενη τάση είναι ομοιόμορφα κατανομημένη σε οριζόντιο επίπεδο.
6. Η αρχική υπερπίεση πόρων που οφείλεται στην επιβαλλόμενη τάση είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκταση της εδαφικής στρώσης.
7. Οποιαδήποτε μεταβολή των ενεργών τάσεων του σκελετού στερεών κόκκων συνεπάγεται μεταβολή του δείκτη πόρων, και η μεταξύ τους σχέση είναι πάντα γραμμική.
8. Ένα ή και τα δύο εκ των άνω και κάτω ορίων της εδαφικής στρώσης είναι ελεύθερα στραγγιζόμενα, σε σύγκριση με το εξεταζόμενο έδαφος.
9. Η μεγάλη χρονική διάρκεια της δοκιμής οφείλεται αποκλειστικά στη χαμηλή διαπερατότητα του εδάφους.

Σύμφωνα με τις παραπάνω παραδοχές, ο Terzaghi θεωρεί οριζόντια εδαφική στρώση που εδράζεται σε αδιαπέρατη στρώση και καλύπτεται από ελεύθερα διαπερατή στρώση, εντός της οποίας βρίσκεται ο υδροφόρος ορίζοντας. Η εξεταζόμενη εδαφική στρώση έχει πάχος H , αρχικό λόγω κενών e_0 , δείκτη συμπίεστότητας a_{vc} , συντελεστή μεταβολής όγκου m_{vc} , και συντελεστή διαπερατότητας k , και βρίσκεται σε υδραυλική ισορροπία, με πίεση πόρων ίση με u_0 , και ενεργό τάση ίση με p'_0 . Εάν η επιφάνεια της υπερκείμενης στρώσης φορτιστεί με ομοιόμορφο φορτίο p_1 , που εκτείνεται ως το άπειρο, τότε η ολική τάση καθύψος της εξεταζόμενης στρώσης αυξάνεται κατά p_1 . Η τάση αυτή ονομάζεται τάση στερεοποίησης, διότι στο τέλος της διαδικασίας της στερεοποίησης θα έχει προκαλέσει αύξηση της ενεργού τάσης σε κάθε σημείο της εξεταζόμενης στρώσης κατά p_1 . Εξαιτίας, όμως, της χαμηλής διαπερατότητας της εν λόγω στρώσης, η εξέλιξη της στερεοποίησης συμβαίνει με αργό ρυθμό.

Αμέσως μετά την επιβολή του φορτίου, ο δείκτης πόρων εξακολουθεί να είναι ίσος με e_0 . Συνεπώς, η ενεργός τάση παραμένει ίση με p'_0 , άρα το σύνολο του φορτίου p_1 παραλαμβάνεται από το νερό των πόρων, αυξάνοντας την πίεση πόρων σε $u_0 + p_1$. Η προσωρινή αύξηση της πίεσης πόρων κατά p_1 ονομάζεται υπερπίεση πόρων, η οποία βαθμιαία αποτονώνεται. Η αποτόνωση αυτή, δηλαδή η μείωση της υπερπίεσης πόρων με το χρόνο, συνεπάγεται αύξηση της ενεργού τάσης, ως εξής:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial p'}{\partial t}$$

Η αύξηση της ενεργού τάσης προκαλεί μείωση του πορώδους n ως εξής:

$$\frac{\partial p'}{\partial t} = -\frac{1}{m_{vc}} \frac{\partial n}{\partial t}$$

Συνδυάζοντας τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = m_{vc} \frac{\partial u}{\partial t}$$

Η διαφορά $\frac{\partial v}{\partial z} dz$ ανάμεσα στην ποσότητα νερού που εισέρχεται σε στοιχείο εδάφους πάχους dz και στην ποσότητα που εξέρχεται από αυτό ανά μονάδα χρόνου, όπου v η ταχύτητα εκροής, πρέπει να ισούται με την ποσότητα $-\frac{\partial n}{\partial t} dz$ η οποία εξωθείται από το στοιχείο ανά μονάδα χρόνου, δηλαδή τη μείωση του όγκου των πόρων, ως εξής:

$$\frac{\partial v}{\partial z} dz = -\frac{\partial n}{\partial t} dz = -m_{vc} \frac{\partial u}{\partial t} dz$$

Η υδραυλική κλίση υπολογίζεται ως εξής:

$$i = -\frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z}$$

Και η ταχύτητα εκροής υπολογίζεται από τον νόμο του Darcy ως εξής:

$$v = ik = -\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (b)$$

Ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας v κατά την κατακόρυφη διεύθυνση περιγράφεται ως εξής:

$$\frac{\partial v}{\partial z} v = -\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (a)$$

Ο συνδυασμός των εξισώσεων α, β, οδηγεί στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{\gamma_w m_{vc}} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

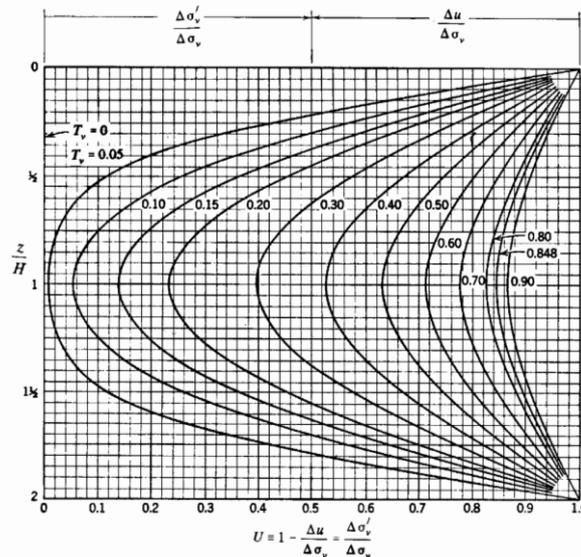
Η εξίσωση αυτή αποτελεί τη διαφορική εξίσωση της στερεοποίησης οριζόντιας στρώσης αργίλου, σύμφωνα με τις προαναφερθείσες παραδοχές. Απλοποιητικά, τίθεται $c_v = \frac{k}{\gamma_w m_{vc}}$, όπου c_v ο συντελεστής στερεοποίησης. Η τελική εξίσωση παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

Οι συνοριακές και αρχικές συνθήκες της εξίσωσης που απορρέουν από τη φύση του προβλήματος συνοψίζονται ως εξής:

1. για $t = 0$ και $0 \leq z \leq H$, ισχύει $u = p_1$
2. για $0 \leq t \leq +\infty$ και $z = H$, ισχύει $\frac{\partial u}{\partial z} = 0$
3. για $0 < t \leq +\infty$ και $z = 0$, ισχύει $u = 0$
4. για $t = +\infty$ και $0 \leq z \leq H$, ισχύει $u = 0$

Η λύση της εξίσωσης παρουσιάζεται γραφικά, σε αδιάστατους άξονες, ως



ακολουθώς:

Η παραπάνω λύση αποτελεί προέκταση της λύσης του αρχικού προβλήματος ώστε να καλύπτει την περίπτωση άνω και κάτω περατού ορίου. Για τη λύση του αρχικού προβλήματος (άνω διαπερατό όριο, κάτω αδιαπέρατο) χρησιμοποιείται το διάγραμμα από $z/H = 0$ έως $z/H = 1$. Στη λύση υπεισέρχεται ο συντελεστής T_v , ο οποίος εκφράζει το χρόνο σε αδιάστατη μορφή και ονομάζεται αδιάστατος χρονικός παράγοντας, και ισχύει:

$$T_v = \frac{c_v}{H^2} t = \frac{kD}{\gamma_w H^2} t$$

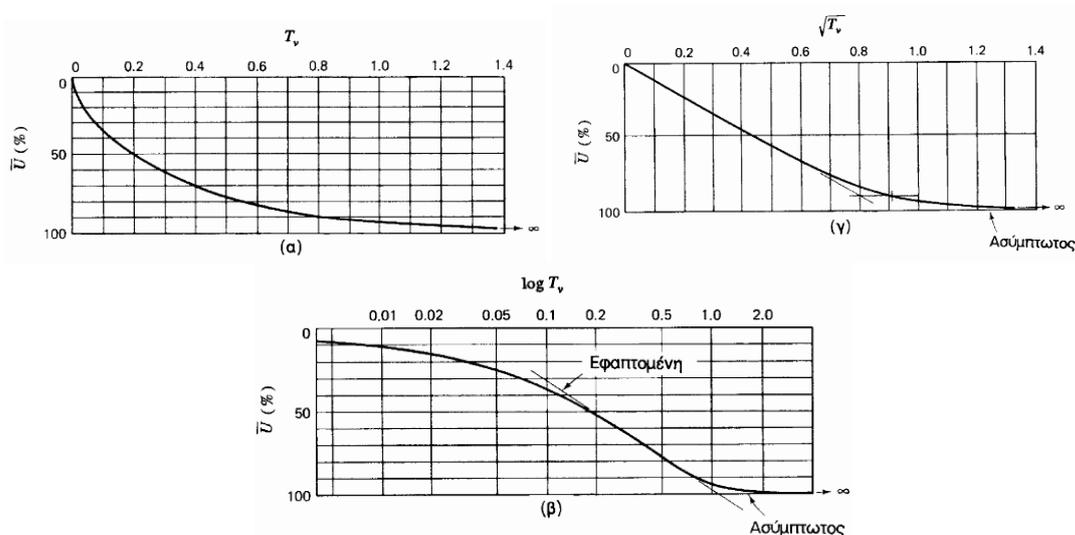
Στη λύση φαίνονται οι ισόχρονες καμπύλες, συγκεκριμένα το ποσοστό της πραγματοποιηθείσας στερεοποίησης $U = \frac{\Delta\sigma'_v}{\Delta\sigma_v} = \frac{\Delta p'}{p_1}$ για κάθε χρονική βαθμίδα. Στη λύση είναι εμφανείς οι αρχικές και συνοριακές συνθήκες. Συγκεκριμένα:

1. Στον αρχικό χρόνο του φαινομένου η υπερπίεση πόρων είναι ίση με την επιβληθείσα τάση σε όλο το βάθος της στρώσης.
2. Στο μέσον της άνω και κάτω διαπερατής στρώσης (ή στο κάτω αδιαπέρατο όριο της μόνο άνω διαπερατής στρώσης) η ταχύτητα ροής είναι μηδενική για κάθε χρονική στιγμή.
3. Οι επιφάνειες των διαπερατών ορίων στερεοποιούνται πλήρως αμέσως μετά την επιβολή της φόρτισης.
4. Πλήρης στερεοποίηση όλων των οριζόντιων διατομών της στρώσης, συμπεριλαμβανομένης της μέσης της άνω και κάτω διαπερατής στρώσης (ή του κάτω αδιαπέρατου ορίου της μόνο άνω διαπερατής στρώσης) επέρχεται μετά από άπειρο χρόνο.

Επίσης, από τη γραφική λύση εξάγονται τα εξής συμπεράσματα, τα οποία είναι άμεσα συνυφασμένα με τις αρχικές και συνοριακές συνθήκες:

Η ταχύτητα ροής είναι μέγιστη στα άνω και κάτω όρια, και μειώνεται προς την μέση, όπου μηδενίζεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η υδραυλική κλίση είναι μέγιστη στα όρια και ελάχιστη στο μέσον. Συνεπώς, οι περιοχές κοντά στα άνω και κάτω όρια στερεοποιούνται και πρώτες, και η στερεοποίηση συνεχίζει προοδευτικά ως το μέσον της στρώσης, που στερεοποιείται τελευταία, μετά από θεωρητικά άπειρο χρόνο.

Η τελική καθίζηση της επιφάνειας προκύπτει ίση με $\delta(t = +\infty) = h \frac{\Delta\sigma_v}{E_s}$, όπου h το συνολικό πάχος του στρώματος ($h=H$ για μόνο άνω στραγγιζόμενη στρώση, $h=2H$ για άνω και κάτω στραγγιζόμενη στρώση). Η χρονική εξέλιξη των καθιζήσεων, ίση με $\bar{U} = \frac{\delta(t)}{\delta(\infty)}$, παρουσιάζεται επίσης γραφικά, σε αδιάστατους άξονες, ως ακολούθως:



Σχήμα 8.2: Χρονική εξέλιξη καθιζήσεων

Αφού η χρονική εξέλιξη των καθιζήσεων εξαρτάται από τον αδιάστατο χρονικό παράγοντα, αυτό σημαίνει ότι είναι ανάλογη της διαπερατότητας της στρώσης, του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, και του χρόνου, ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της μέγιστης διαδρομής του νερού (του ημιπάχους της στρώσης αν αυτή είναι άνω και κάτω διαπερατή, ή του συνολικού της πάχους αν αυτή είναι μόνο άνω διαπερατή).

[1], [2]

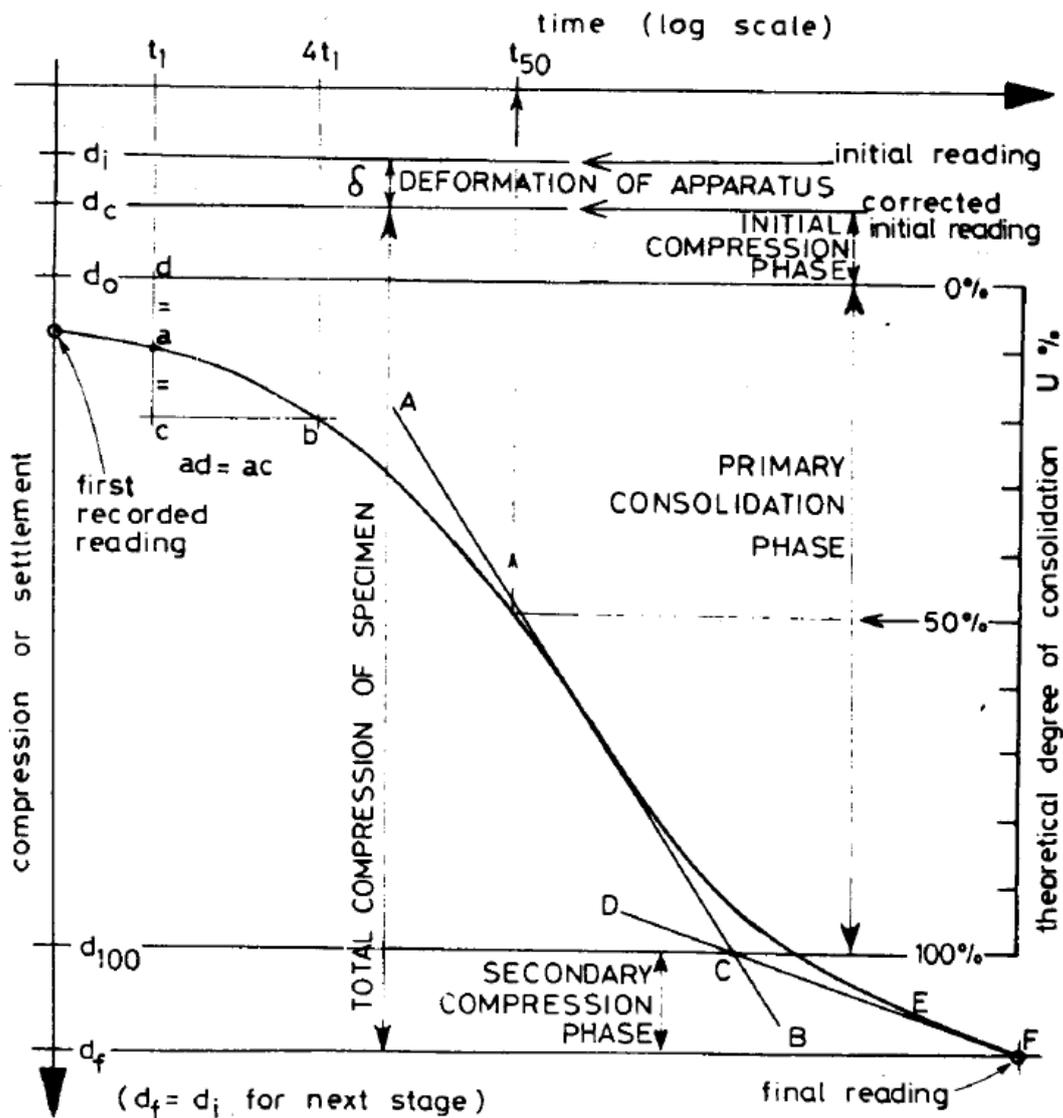
8.3.5 Οι Φάσεις της Στερεοποίησης

Η χρονική εξέλιξη των καθιζήσεων έχει ιδιαίτερη σημασία όσον αφορά τόσο την κατασκευή τεχνικών έργων όσο και τις εργαστηριακές δοκιμές στερεοποίησης. Το φαινόμενο της στερεοποίησης είναι εξαιρετικά πολύπλοκο, πιστεύεται όμως ότι συμβαίνει σε τρεις φάσεις: την άμεση καθίζηση, την καθίζηση λόγω στερεοποίησης, και την καθίζηση λόγω δευτερογενούς συμπίεσης. Στην πραγματικότητα, οι τρεις αυτές φάσεις δεν μπορούν να διαχωριστούν αυστηρά ως προς το χρόνο που συμβαίνουν, αλλά αλληλοεπικαλύπτονται χρονικά, οι δε τελευταίες δύο ενδέχεται να εξελίσσονται σε μεγάλο βαθμό ταυτοχρόνως, και μάλλον αντιπροσωπεύουν τρεις διαφορετικούς μηχανισμούς καθίζησης παρά τρία διακριτά χρονικά στάδια αυτής. Ωστόσο, αντιμετωπίζονται ως τρεις διαφορετικές φάσεις εξέλιξης της στερεοποίησης που διαδέχονται χρονικά η μια την άλλη, καθώς δεν είναι πρακτικώς δυνατή η θεώρηση της καθεμιάς ξεχωριστά ανεξαρτήτως χρόνου.

Η άμεση καθίζηση εκδηλώνεται πρώτη, σχεδόν αμέσως μετά την επιβολή φορτίου στο υλικό. Οφείλεται εν μέρη στη συμπίεση μικρών θυλάκων αέρα εντός των κενών, στην παραμόρφωση που υφίσταται η συσκευή φόρτισης, λόγω σχετικής ολίσθησης και ελαστικής παραμόρφωσης των μερών της, και στην ελαστική παραμόρφωση του υλικού, η οποία όμως μπορεί να αναιρεθεί κατά την άρση του φορτίου. Εν γένει, η άμεση καθίζηση ολοκληρώνεται πρώτου προλάβει να εκδηλωθεί η καθίζηση λόγω στερεοποίησης. Ωστόσο, ο χρονικός διαχωρισμός ανάμεσα σε αυτήν τη φάση και την επόμενη δεν μπορεί ποτέ να είναι απολύτως σαφής, μπορεί όμως να εκτιμηθεί με ικανοποιητική ακρίβεια.

Η επόμενη φάση καθίζησης είναι η καθίζηση λόγω (πρωτεύουσας) στερεοποίησης, η οποία οφείλεται στον μηχανισμό της στερεοποίησης, δηλαδή της εξαρτώμενης από το χρόνο αποτόνωσης των υπερπιέσεων πόρων που περιγράφεται παραπάνω. Ο μηχανισμός στερεοποίησης ενεργοποιείται αμέσως μετά την επιβολή φόρτισης, όμως η δημιουργία πεδίου ροής εντός του υλικού απαιτεί ένα χρονικό διάστημα αντιστρόφως ανάλογο της υδραυλικής κλίσης, δηλαδή, όσο πιο μικρή είναι η διαπερατότητα και πιο μεγάλη η διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει το νερό (πιο μεγάλο το πάχος της στερεοποιούμενης στρώσης), τόσο μεγαλύτερο το διάστημα που απαιτείται. Έτσι, ο μηχανισμός της φάσης αυτής μπορεί να ξεκινά προτού ακόμη ολοκληρωθεί ο προηγούμενος, της άμεσης καθίζησης, αλλά μπορεί επίσης να ξεκινά και αργότερα. Η καθίζηση λόγω πρωτεύουσας στερεοποίησης δεν είναι αντιστρεπτή, ωστόσο, στην περίπτωση που υπάρχει νερό διαθέσιμο κατά την αποφόρτιση, το υλικό ενδέχεται να έχει την ιδιότητα να προσρωφήσει ένα (συνήθως χαμηλό) ποσοστό του νερού που έχασε.

Τέλος, η καθίζηση λόγω δευτερογενούς στερεοποίησης (ερπυσμός) τοποθετείται χρονικά μετά την πρακτική ολοκλήρωση της πρωτογενούς στερεοποίησης, παρ' ότι πιστεύεται πως οι μηχανισμοί που την προκαλούν ενδέχεται να ενεργοποιούνται πρωτού αυτή ολοκληρωθεί. Αποτελεί τη συνέχιση της καθίζησης πέρα από τη στιγμή της ολοκλήρωσης της αποτόνωσης της πίεσης πόρων (σύμφωνα με τη θεωρία, η ολοκλήρωση συμβαίνει σε άπειρο χρόνο, πρακτικώς όμως, όταν ολοκληρωθεί ένα μεγάλο μέρος της—περισσότερο από το 90%—θεωρείται πως έχει ολοκληρωθεί) και οφείλεται σε αναδιατάξεις των κόκκων που προκύπτουν από την συνέχεια της προσαρμογής του υλικού στο νέο πεδίο ενεργών τάσεων. Εν γένει, η καθίζηση που προκύπτει εξαιτίας της δευτερογενούς στερεοποίησης είναι μη αντιστρεπτή.



Σχήμα 8.3: Φάσεις στερεοποίησης και ανάλυση του διαγράμματος καθίζησης συναρτήσει του λογαρίθμου του χρόνου

Οι φάσεις της στερεοποίησης μπορούν να φανούν στα αποτελέσματα της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης μέσω της απεικόνισής τους σε διάγραμμα της καθίζησης συναρτήσει του λογαρίθμου του χρόνου. Η έναρξη και το πέρας καθεμιάς φάσης μπορεί να

προσδιορισθεί, ή μάλλον να εκτιμηθεί, με συγκεκριμένη μέθοδο (η οποία εξηγείται στο διάγραμμα). Η αρχική καθίζηση συμβαίνει πρώτη, και μάλιστα σε πολύ σύντομο χρόνο αμέσως μετά την επιβολή φόρτισης, και αντιστοιχεί στο διάγραμμα στην καθίζηση από το d_c στο d_0 . Ακολουθεί η φάση της πρωτεύουσας στερεοποίησης, η οποία αντιστοιχεί στο διάγραμμα στην καθίζηση από d_0 έως d_{100} . Τέλος, ακολουθεί η δευτερεύουσα στερεοποίηση, η οποία αντιστοιχεί στο διάγραμμα στην καθίζηση από d_{100} έως d_f . Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως το διάγραμμα που παρατίθεται είναι ενδεικτικό, και η συμπεριφορά ενός υλικού μπορεί να αποκλίνει από αυτό. Η σημασία των τριών φάσεων φαίνεται πως είναι δυσανάλογη, με την πρωτεύουσα στερεοποίηση να ευθύνεται για το μεγαλύτερο μέρος της καθίζησης. Εξίσου εμφανής είναι η ταχύτατη εξέλιξη της άμεσης καθίζησης, και της έναρξης της πρωτεύουσας στερεοποίησης.

[1], [2]

8.3.6 Σκοπός

Η δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης (δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης, οιδημέτρου, συμπίεσομέτρου) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της στερεοποίησης εδαφικών υλικών χαμηλής διαπερατότητας, δίνοντας τη δυνατότητα εκτίμησης της σχέσης μεταξύ τάσεων και παραμορφώσεων, αλλά και της χρονικής εξέλιξης των παραμορφώσεων, στα εδάφη αυτά.

Οι δύο βασικές παράμετροι που συνήθως εξάγονται από αυτήν τη δοκιμή είναι το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης (E_s), δηλαδή η αναλογία φορτίου-καθίζησης σε συνθήκες συμπίεσης όπου δεν επιτρέπεται πλευρική παραμόρφωση, και ο συντελεστής στερεοποίησης (C_v), που υποδεικνύει το ρυθμό της συμπίεσης, και συνεπώς την χρονική εξέλιξη της συμπίεσης που οφείλεται στην στερεοποίηση. Επίσης υπολογίζονται ο συντελεστής συμπίεστότητας (C_c), ο δείκτης συμπίεστότητας (a_v), και ο συντελεστής επαναφόρτισης (C_r) και ο συντελεστής αποφόρτισης (C_u).

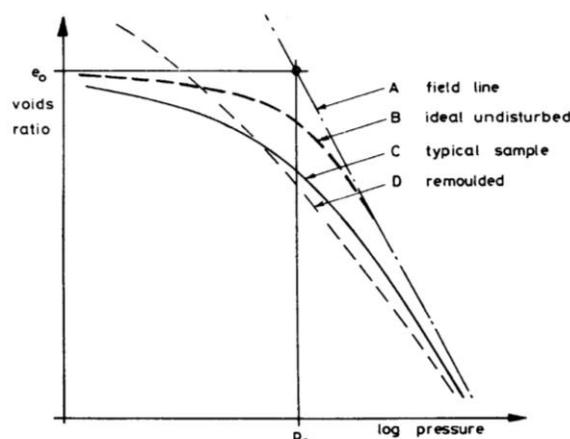
8.3.7 Βασικές Αρχές της Δοκιμής

Πλευρικός περιορισμένο δοκίμιο με ύψος ίσο με το ένα τέταρτο της διαμέτρου του υπόκειται σε ακολουθία τεσσάρων έως οκτώ κατακόρυφων φορτίων. Παρακολουθείται η κατακόρυφη συμπίεση του δοκιμίου για κάθε φορτίο για συγκεκριμένη χρονική περίοδο (συνήθως 24 ώρες). Η συσκευή μονοδιάστατης συμπίεσης αποτελείται από έναν μεταλλικό, δύσκαμπτο κυλινδρικό δακτύλιο, στον οποίο περιέχεται το δοκίμιο. Ο δακτύλιος εδράζεται σε πορόλιθο σταθεροποιημένο στην βάση ανοικτού κυλινδρικού δοχείου, και στη στέψη του εφαρμόζεται πώμα (κεφαλή φόρτισης), μέσω του οποίου εφαρμόζονται τα φορτία, με προσαρμοσμένο πορόλιθο. Έτσι εξασφαλίζεται κατακόρυφη στράγγιση και από τις δύο παρειές του δοκιμίου. Το δοχείο είναι γεμάτο νερό, ώστε το δοκίμιο να είναι πλήρως κορεσμένο. Η συμπίεση χαρακτηρίζεται ως μονοδιάστατη, αφού περιορίζεται η πλευρική παραμόρφωση. Η στερεοποίηση είναι επίσης μονοδιάστατη, αφού επιτρέπεται μόνο κατακόρυφη στράγγιση.

8.3.8 Περιορισμοί

Ο ρυθμός καθίζησης που προκύπτει από τη δοκιμή είναι μικρότερος από τον πραγματικό. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στους περιορισμούς της συσκευής και τις απλοποιητικές παραδοχές της θεωρίας, που δεν επιτρέπουν την πλήρη αναπαραγωγή των συνθηκών του πεδίου. Τα κυριότερα αίτια της απόκλισης αυτής είναι τα εξής: το μικρό μέγεθος της συσκευής, και συνεπώς του δοκιμίου, που δεν επιτρέπει την αναπαραγωγή των μακροσκοπικών φυσικών χαρακτηριστικών (όπως κενά, ασυνέχειες, αστοχίες, κλπ), υποεκτιμώντας έτσι τη διαπερατότητα· η αδυναμία αναπαραγωγής πλευρικής στερεοποίησης· η αδυναμία αναπαραγωγής του πραγματικού τασικού πεδίου.

Σημαντικό σημείο προσοχής αποτελούν οι επιπτώσεις της διατάραξης του δοκιμίου κατά την μεταφορά, αποθήκευση, και μόρφωσή του. Έχει παρατηρηθεί πως, όσο μικρή κι αν είναι η διατάραξη, η απόκλιση από την επιτόπου κατάσταση είναι αισθητή. Συγκεκριμένα, εξομαλύνεται η απότομη αλλαγή της κλίσης στην τάση προφόρτισης στο διάγραμμα $e-\log p$, υποεκτιμάται η τάση προφόρτισης, ο συντελεστής συμπίεστος (C_c) και ο συντελεστής στερεοποίησης (c_v), και υπερεκτιμάται ο συντελεστής επανασυμπίεσης (C_r). Η επιρροή της διατάραξης στο διάγραμμα $e-\log p$ φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Σχήμα 8.4: Επιρροή της διατάραξης

Άλλα μειονεκτήματα της δοκιμής αποτελούν η αδυναμία μέτρησης της πίεσης πόρων, ώστε η εκτίμηση της εξέλιξης της στερεοποίησης βασίζεται αποκλειστικά στην μέτρηση απώλειας όγκου· οι παρασιτικές τάσεις που αναπτύσσονται μεταξύ της συσκευής και του δοκιμίου· η μεγάλη απαιτούμενη χρονική διάρκεια της δοκιμής· και άλλα. Παρ' όλα αυτά, τα πλεονεκτήματα της δοκιμής υπερτερούν των μειονεκτημάτων στις περισσότερες περιπτώσεις.

8.3.9 Πλεονεκτήματα

Η μεγάλη σημασία της δοκιμής έγκειται στην απλότητά της, σε συνδυασμό με την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της και τη γνώση των αδυναμιών της. Η διαδικασία της δοκιμής είναι απλή, και τυποποιημένη με σαφήνεια, ώστε αναπαράγεται εύκολα. Αν ερμηνευτούν σωστά, τα αποτελέσματα της δοκιμής οδηγούν σε αξιόπιστη εκτίμηση

καθιζήσεων. Υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής της δοκιμής σε ευρύ φάσμα υλικών. Ο απαιτούμενος χρόνος ολοκλήρωσης της δοκιμής είναι αρκετά σύντομος, αφού απαιτείται μόλις ένα εικοσιτετράωρο για την ολοκλήρωση της στερεοποίησης σε κάθε βήμα φόρτισης.

8.3.10 Εργαστηριακός Εξοπλισμός

Γενικός Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Κάψες πορσελάνης και γυάλινες
- Λεία και αδιαπέρατη επιφάνεια εργασίας
- Κλίβανος ξηράσεως θερμοκρασίας 105 ± 1 °C
- Ζυγός ακρίβειας 0,01g
- Απεσταγμένο νερό
- Δοχείο για την αποθήκευση του υλικού, με χρήση πλαστικής μεμβράνης για στεγανοποίηση ώστε να αποτραπεί η διαφυγή υγρασίας
- Υγρός θάλαμος συντήρησης δοκιμίων
- Εργαλεία γενικής χρήσης, όπως μαχαίρια, σπάτουλες, κανόνας, ταψιά, που χρησιμοποιούνται για την προπαρασκευή του δοκιμίου
- Άκαμπτη επιφάνεια έδρασης της συσκευής συμπίεσομέτρου
- Χρονόμετρο

Συσκευή Συμπιεσομέτρου

- Άκαμπτος μεταλλικός δακτύλιος
- Άνω και κάτω πορόλιθος
- Κεφαλή φόρτισης
- Κυψέλη συμπίκνωσης: κυλινδρικό ανοικτό δοχείο, με διάταξη υποδοχής και ακινητοποίησης του συστήματος μεταλλικού δακτυλίου-πορόλιθων-κεφαλής φόρτισης στο μέσον του
- Συσκευή ανάρτησης, με διάταξη υποδοχής και ακινητοποίησης της κυψέλης συμπίκνωσης, και σύστημα ανάρτησης φορτίων
- Μικησιόμετρο ακρίβειας 0.0025mm

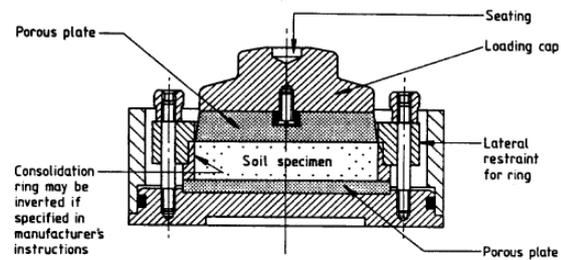
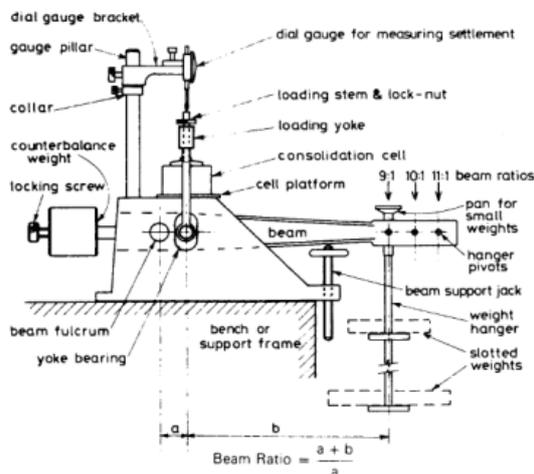


Fig. 14.3 Details of a typical oedometer consolidation cell (reproduced from Fig. 1 (a) of BS 1377:Part 5:1990)

Σχήμα 8.5: Τυπική διάταξη συσκευής συμπίεσομέτρου

8.3.11 Πειραματική Διαδικασία

Προετοιμασία της συσκευής συμπιεσομέτρου

Ελέγχεται ότι ο μεταλλικός δακτύλιος είναι καθαρός και δεν έχει υποστεί παραμορφώσεις, η εσωτερική επιφάνειά του είναι λεία, και η κοπτική παρειά του είναι κοφτερή. Βεβαιώνεται ότι τα αποσπώμενα μέρη της συσκευής ταιριάζουν στις υποδοχές τους, ο μοχλός ανάρτησης των βαρών κινείται ελεύθερα, και το αντισταθμιστικό βάρος βρίσκεται στη σωστή θέση. Πραγματοποιούνται και οι λοιποί προδιαγεγραμμένοι από τον κατασκευαστή έλεγχοι της συσκευής. Οι πορόλιθοι ελέγχονται ώστε να είναι ελεύθεροι οι πόροι τους και υγραίνονται ώστε να μην προσροφήσουν υγρασία από το δοκίμιο όταν έρθουν σε επαφή με αυτό.

Βαθμονόμηση της συσκευής

Τοποθετείται στη συσκευή άκαμπτο μεταλλικό δοκίμιο ίσων διαστάσεων με τα εξεταζόμενα. Επιβάλλεται η αλληλουχία φορτίων που πρόκειται να επιβληθεί στα εξεταζόμενα δοκίμια. Η παρατηρούμενη παραμόρφωση καταγράφεται ως ενδοσιμότητα της συσκευής (Extension), ώστε να αφαιρεθεί από την παραμόρφωση των εξεταζόμενων δοκιμίων.

Προετοιμασία δείγματος

Μορφώθηκαν δύο ειδών δοκίμια. Το πρώτο είδος ήταν από το υλικό αμέσως μετά την ανάμιξη, και μορφώθηκαν κατευθείαν στον μεταλλικό δακτύλιο, με προσοχή ώστε να μην υπάρχουν κενά αέρα. Το δεύτερο είδος ήταν από υλικό συμπιεσμένο στην κυψέλη Proctor, και μορφώθηκαν κόβοντας και ξακρίζοντας προσεκτικά, με την ελάχιστη δυνατή διατάραξη. Η άνω και κάτω παρειά του δοκιμίου είναι παράλληλες προς την άνω και κάτω παρειά του συμπιεσμένου δείγματος. Και στις δύο περιπτώσεις, οι άνω και κάτω παρειές πρέπει να είναι απολύτως επίπεδες, χωρίς ασυνέχειες, καμπυλότητες, προεξοχές, ή κενά. Η εσωτερική επιφάνεια του δακτυλίου επαλείφεται με γράσο σιλικόνης.

Το μέγεθος του δοκιμίου καθορίζεται από τις διαστάσεις του μεταλλικού δακτυλίου. Στις περισσότερες συσκευές συμπιεσομέτρου, οι εσωτερικές διαστάσεις του δακτυλίου (δηλαδή οι διαστάσεις του δοκιμίου) είναι 19mm ύψος και 70mm διάμετρος. Πριν διαμορφωθεί το δοκίμιο εντός του δακτυλίου, αυτός ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας. Ύστερα ζυγίζεται ο δακτύλιος μαζί με το περιεχόμενο δοκίμιο (υγρό υλικό). Επίσης, λαμβάνεται δείγμα από τα τρίμματα του υλικού μόρφωσης του δοκιμίου και ζυγίζεται απευθείας, και μετά από εικοσιτέσσερις ώρες στον κλίβανο ξήρανσης για τον προσδιορισμό της αρχικής υγρασίας του δείγματος.

Συναρμολόγηση της κυψέλης συμπύκνωσης και καθίζηση λόγω κεφαλής φόρτισης

Συναρμολογείται η κυψέλη (κανονικά, όπως περιγράφεται παρακάτω για το εξεταζόμενο δοκίμιο) χρησιμοποιώντας το μεταλλικό δοκίμιο που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση της συσκευής, και λαμβάνεται η ένδειξη του μηκυνσιομέτρου. Αποσυναρμολογείται και υγραίνονται οι εσωτερικές επιφάνειες της κυψέλης στερεοποίησης.

Στον πυθμένα του ανοικτού κυλινδρικού δοχείου (κυψέλη στερεοποίησης) τοποθετείται ο κάτω πορόλιθος. Επάνω του τοποθετείται ο δακτύλιος με το περιεχόμενο δοκίμιο. Ο δακτύλιος στερεώνεται πάνω στον κάτω πορόλιθο, και πιέζεται ώστε να είναι ακλόνητος στη θέση του από άλλο δακτύλιο που βιδώνει σε υποδοχές της κυψέλης. Ύστερα, η κυψέλη τοποθετείται στην συσκευή ανάρτησης και κλειδώνει στη θέση της. Τοποθετείται η κεφαλή φόρτισης (top cap) με ενσωματωμένο τον άνω πορόλιθο. Αυτή ασκεί φορτίο 2kPa στο δοκίμιο. Προκειμένου να μετρηθεί η παραμόρφωση που προκαλείται, λαμβάνεται η ένδειξη του μηκυνσιομέτρου τη στιγμή της τοποθέτησης της κεφαλής, και εικοσιτέσσερις ώρες μετά (οπότε θεωρείται πως έχει ολοκληρωθεί η στερεοποίηση που οφείλεται σε αυτήν τη φόρτιση). Υπολογίζεται η διαφορά τους και προκύπτει η προκληθείσα παραμόρφωση. Σημειώνεται ότι η αρχική ένδειξη του μηκυνσιομέτρου (αμέσως μετά την τοποθέτηση της κεφαλής) πρέπει να συμπίπτει με την ένδειξη του μεταλλικού δοκιμίου, αφού τα δύο δοκίμια έχουν ίδιο ύψος και το μηκυνσιόμετρο είναι σταθερό πάνω στη συσκευή, το ίδιο και η επιφάνεια έδρασης της κυψέλης. Ως αρχικό ύψος δοκιμίου για την εφαρμογή της ακολουθίας φορτίων λαμβάνεται το πραγματικό αρχικό ύψος μειωμένο κατά την καθίζηση λόγω της κεφαλής, και η φόρτιση λόγω κεφαλής θεωρείται μηδενική.

Επιβολή ακολουθίας φορτίων και καταγραφή ενδείξεων μηκυνσιομέτρου

Φόρτιση

Στην υποδοχή της κεφαλής εφαρμόζει το σφαιρικό εξόγκωμα της μπάρας που μεταφέρει το φορτίο στην κεφαλή του δοκιμίου. Το μηκυνσιόμετρο εφαρμόζεται στο ανώτατο σημείο της σφαίρας της μπάρας, ώστε ο άξονάς του να διέρχεται από το κέντρο της και να ταυτίζεται με τον κατακόρυφο άξονα του δοκιμίου, και στερεώνεται μέσω κοχλίας ώστε να βρίσκεται κοντά στο ανώτατο (πιο ψηλό) σημείο της διαδρομής του, χωρίς όμως να τερματίζει. Καταγράφεται η αρχική μέτρηση, που λαμβάνεται ως το μηδέν των μετρήσεων. Ύστερα αναρτώνται ένα-ένα τα φορτία. Κατά την ανάρτηση κάθε φορτίου, καταγράφονται οι ενδείξεις του μηκυνσιομέτρου για συγκεκριμένους χρόνους, από 0sec έως 2 ώρες, με τη βοήθεια χρονομέτρου, σε ειδικά διαμορφωμένο φύλλο. Πριν την επιβολή του επόμενου φορτίου, λαμβάνεται η τελική καθίζηση του προηγούμενου, η οποία συμπίπτει με την αρχική του επόμενου, και σημειώνεται σαν ώρα επιβολής του επόμενου φορτίου η ώρα ένα λεπτό μετά την ανάρτησή του. Πριν την επιβολή ενός φορτίου, ο μοχλός επιβολής φορτίου σταθεροποιείται με ειδικό κοχλίας. Αναρτώνται τα απαιτούμενα βάρη για την επίτευξη της απαιτούμενης τάσης, και ύστερα ξεβιδώνεται ο κοχλίας και επιτρέπεται η επίδραση των βαρών. Αυτό το σημείο σηματοδοτεί και την εκκίνηση της χρονομέτρησης. Για να εξασφαλιστούν συνθήκες πλήρους κορεσμού, η κυψέλη γεμίζεται με αποσταγμένο νερό ένα λεπτό μετά την ανάρτηση του πρώτου φορτίου, και το νερό συμπληρώνεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής όποτε κρίνεται απαραίτητο.

Κατά την κλασική δοκιμή συμπίεσομέτρου, η επιβαλλόμενη κατακόρυφη τάση σ_z διατηρείται σταθερή στη διάρκεια κάθε σταδίου φόρτισης. Η διάρκεια αυτή πρέπει να είναι επαρκής ώστε ο βαθμός στερεοποίησης να ξεπεράσει το 90%. Για συνήθη ανόργανα αργιλικά

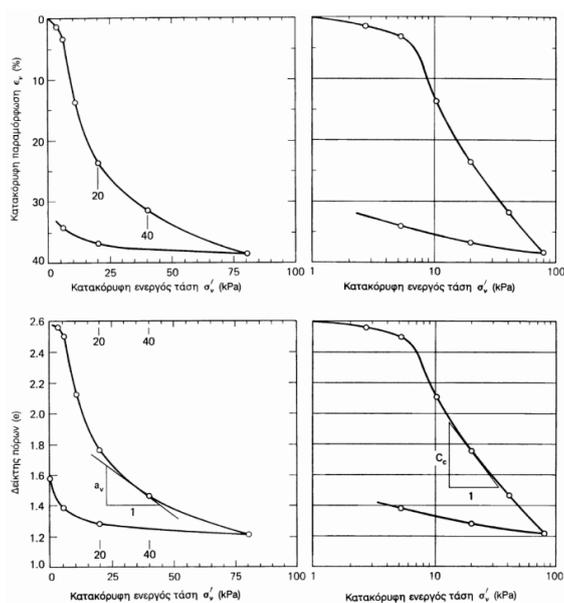
εδάφη, ένα εικοσιτετράωρο αρκεί για την αποτόνωση της υπερπίεσης πόρων σε κάθε κύκλο φόρτισης. Η μέγιστη επιβαλλόμενη φόρτιση επιλέγεται έτσι ώστε το τελευταίο τμήμα της καμπύλης $e-\log p$ να γίνεται ευθύγραμμο. Αυτό πρακτικά επιτυγχάνεται για τάση τέσσερις φορές μεγαλύτερη της τάσης προστερεοποίησης. Επίσης, η τελική τάση πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση της διπλάσιας τάσης που αναπτύσσεται στο πεδίο.

Αποφόρτιση

Μετά την ανάπτυξη της πλήρους κατακόρυφης τάσης, ξεκινά βαθμιαία αποφόρτιση, με τα μισά βήματα απ' ότι η φόρτιση, μέχρι ενός πολύ χαμηλού φορτίου, ώστε να μην πραγματοποιηθεί διόγκωση μετά την απομάκρυνση του δοκιμίου από την συσκευή. Σε κάθε βήμα αποφόρτισης, ο ειδικός κοχλίας βιδώνεται ώστε να εφάπτεται στον μοχλό επιβολής φορτίου. Ο μοχλός πιέζεται δυνατά κάτω ενώ αφαιρούνται τα βάρη, ώστε να μην αυξηθεί ο όγκος του δοκιμίου κατά τη διαδικασία αυτή. Ύστερα αφήνεται ελεύθερος και το δοκίμιο διογκώνεται υπό την επίδραση του μειωμένου φορτίου.

Απομάκρυνση του δοκιμίου

Μετά την αφαίρεση του τελευταίου φορτίου, η κυψέλη αποσυναρμολογείται αμέσως. Το δοκίμιο ζυγίζεται, ξηραίνεται, και επαναζυγίζεται για τον προσδιορισμό της υγρασίας του μετά τη δοκιμή, και τον προσδιορισμό του ξηρού βάρους του.



Σχήμα 8.6: Τυπικές καμπύλες τάσης - παραμόρφωσης

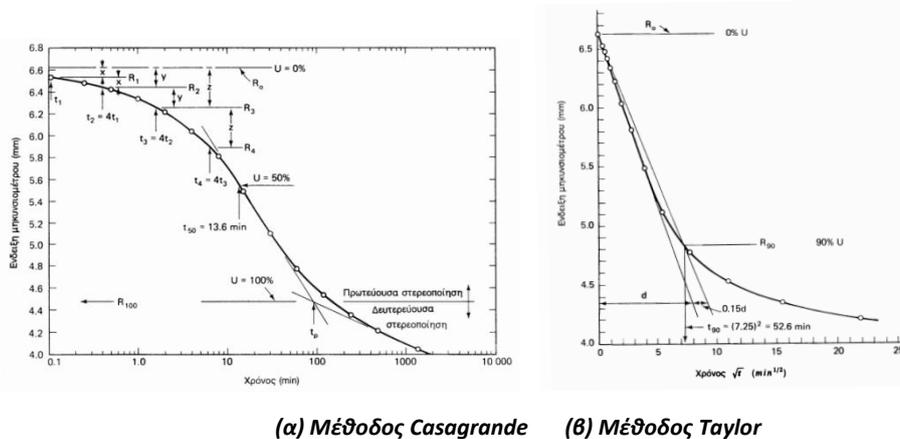
Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Όπως προαναφέρθηκε, από τα αποτελέσματα της δοκιμής προκύπτουν πολλά σημαντικά μεγέθη, που χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: αυτά που αφορούν την εξέλιξη της συμπίεσης σε όλη την αλληλουχία εφαρμοζόμενων φορτίων της δοκιμής, και αυτά που αφορούν την χρονική εξέλιξη της στερεοποίησης σε κάθε βήμα φόρτισης.

Όσον αφορά την πρώτη κατηγορία, καταρτίζεται διάγραμμα της κατακόρυφης παραμόρφωσης (ϵ) και του δείκτη πόρων (e) συναρτήσει της επιβαλλόμενης τάσης (p), και τα

ίδια διαγράμματα με τον άξονα των τάσεων σε λογαριθμική κλίμακα (logp). Από το διάγραμμα ε-p προκύπτει το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης (E_s). Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης μεταβάλλεται συναρτήσει του φορτίου (αυξάνεται κατά την φόρτιση και μειώνεται κατά την αποφόρτιση), ώστε λαμβάνεται διαφορετικό τέμνον E_s για κάθε φορτιοβαθμίδα. Από το διάγραμμα ε-p προκύπτει ο δείκτης συμπίεσότητας (a_v), οποίος είναι επίσης διαφορετικός συναρτήσει της τάσης και ορίζεται εφαπτομενικά. Τα διαγράμματα τόσο της κατακόρυφης παραμόρφωσης όσο και του δείκτη πόρων, όταν καταρτιστούν συναρτήσει του λογαρίθμου της τάσης, χάνουν την έντονη καμπυλότητά τους και παρουσιάζουν ευδιάκριτες περιοχές επαναφόρτισης (σε περίπτωση προφορτισμένου εδάφους), πρώτης φόρτισης, και αποφόρτισης. Έτσι, από τους αντίστοιχους κλάδους του διαγράμματος e-logp προκύπτει ο συντελεστής συμπίεσότητας (C_c), ο συντελεστής επαναφόρτισης (C_r) και ο συντελεστής αποφόρτισης (C_u).

Όσον αφορά τη δεύτερη κατηγορία, καταρτίζεται διάγραμμα της εξέλιξης των καθιζήσεων συναρτήσει του χρόνου, και προσδιορίζεται ο συντελεστής μονοδιάστατης στερεοποίησης (c_v). Ο c_v παρατηρείται ότι, για το ίδιο υλικό, παίρνει διαφορετικές τιμές για κάθε βαθμίδα φόρτισης. Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό του c_v : η μέθοδος του Casagrande, όπου ο χρόνος παρουσιάζεται σε λογαριθμικό άξονα, και η μέθοδος του Taylor, όπου παρουσιάζεται η καθίζηση συναρτήσει της ρίζας του χρόνου. Η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τη συμβατότητα του σχήματος του εκάστοτε διαγράμματος με το πρότυπο διάγραμμα της κάθε δοκιμής, πάντως η μέθοδος του Casagrande θεωρείται προτιμητέα.



Σχήμα 8.7: Γραφικές μέθοδοι υπολογισμού του συντελεστή στερεοποίησης c_v

Σημαντικό σημείο προσοχής σε αυτό το βήμα αποτελεί η αποφυγή της επιρροής της άμεσης και της δευτερογενούς καθίζησης στην εξαγωγή αποτελεσμάτων και στη διεξαγωγή υπολογισμών που αφορούν τα χαρακτηριστικά της στερεοποίησης. Αυτό λαμβάνεται υπόψη στις μεθόδους υπολογισμού του c_v του Taylor και του Casagrande.

[46]

8.4 Τριαξονικές Δοκιμές

8.4.1 Σκοπός

Μέσω των τριαξονικών δοκιμών μπορούν να προσδιοριστούν οι διατμητικές παράμετροι αντοχής ενός εδαφικού στοιχείου. Η μορφή της δοκιμής επιτρέπει τον έλεγχο μεγάλου εύρους εδαφικών υλικών και την προσομοίωση μεγάλου εύρους εντατικών καταστάσεων και ειδών αστοχίας. Οι διατμητικές παράμετροι αντοχής υπολογίζονται, ανάλογα την κατάσταση του υλικού και την μορφή της δοκιμής, είτε σε όρους ενεργών τάσεων (γωνία τριβής εδάφους ϕ , συνεκτικότητα c), είτε σε όρους ολικών τάσεων (αστράγγιστη διατμητική αντοχή C_u).

8.4.2 Βασικές Αρχές, Είδη Τριαξονικών Δοκιμών και Μορφές Αστοχίας

Κυλινδρικό δοκίμιο τοποθετείται σε βάση τριαξονικής κυψέλης, εφαρμόζεται κυλινδρικό έμβολο στην άνω επιφάνειά του, και φορτίζεται κατακόρυφα έως την αστοχία. Παράλληλα μετράται η παραμόρφωση του δοκιμίου. Το δοκίμιο περιβάλλεται από ελαστική αδιαπέρατη μεμβράνη. Στην βάση και στην κορυφή του δοκιμίου προσαρμύζονται πορώδεις δίσκοι ελεγχόμενης περατότητας μέσω βαλβίδων, διαμέσου των οποίων είναι δυνατή τόσο η μέτρηση της πίεσης πόρων όσο και η επιβολή υπερπίεσης/υποπίεσης πόρων εντός του δοκιμίου ή η επιβολή αστράγγιστων συνθηκών. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατός ο προσδιορισμός των πιέσεων πόρων. Παράλληλα, το δοκίμιο βρίσκεται σε κυψέλη ελεγχόμενης πίεσης νερού, ώστε είναι δυνατή η επιβολή ελεγχόμενης πλευρικής τάσης, χωρίς να επηρεάζεται η υγρασία του δοκιμίου, καθώς αυτό προστατεύεται από την περιβάλλουσα μεμβράνη.

Το ύψος του δοκιμίου είναι περίπου διπλάσιο της διαμέτρου του. Η ταχύτητα φόρτισης είναι ελεγχόμενη, επιτρέποντας την επιβολή στραγγιζόμενων, με επαρκώς βραδεία φόρτιση, ή αστράγγιστων, με επαρκώς ταχεία φόρτιση, συνθηκών.

Γνωρίζοντας τις ολικές επιβαλλόμενες τάσεις και τις αναπτυσσόμενες ή επιβαλλόμενες πιέσεις πόρων, καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός των ενεργών τάσεων σε κάθε στιγμή της δοκιμής, εφόσον αυτό επιτρέπεται από τις συνθήκες της δοκιμής (στράγγιση, ρυθμός επιβολής φορτίου). Έτσι είναι δυνατή η προσομοίωση διαφόρων εντατικών καταστάσεων, τόσο ως προς το εντατικό πεδίο όσο και ως προς τις επιβαλλόμενες συνθήκες. Τα είδη της δοκιμής είναι τα ακόλουθα:

1. C(D): με στερεοποίηση, με στράγγιση

Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση στραγγιζόμενων συνθηκών, με σταθερή πίεση πόρων, ίση με την αρχική. Οι βαλβίδες αποτόνωσης των πορολίθων μένουν ανοικτές και η φόρτιση πρέπει να είναι επαρκώς αργή ώστε να μην αναπτύσσεται υπερπίεση πόρων, δηλαδή το νερό να διαφεύγει και το σύνολο της επιβαλλόμενης φόρτισης να παραλαμβάνεται από τον εδαφικό σκελετό. Αυτό συνεπάγεται μεταβολή του όγκου, ανάλογη της επιβαλλόμενης φόρτισης. Μπορούν να προσδιορισθούν οι παράμετροι διατμητικής αντοχής (γωνία τριβής εδάφους ϕ ,

συνεκτικότητας c) σε όρους ενεργών τάσεων, μέσω των αποτελεσμάτων δύο ή περισσότερων δοκιμών με διαφορετική επιβαλλόμενη πλευρική τάση.

2. C(U)pp: με στερεοποίηση, χωρίς στράγγιση, με μέτρηση της πίεσης πόρων (pp)

Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση αστράγγιστων συνθηκών, υπό σταθερό όγκο. Οι βαλβίδες αποτόνωσης των πορολίθων μένουν κλειστές, ώστε η επιβαλλόμενη φόρτιση να παραλαμβάνεται μέσω της ανάπτυξης υπερπίεσης πόρων ($\Delta u = A * \Delta \sigma_1$, καθώς η $\Delta \sigma_3$ είναι μηδενική, διότι πριν την επιβολή της φόρτισης το δοκίμιο αφήνεται να στερεοποιηθεί στο αρχικό τασικό πεδίο). Η φόρτιση πρέπει να είναι επαρκώς αργή ώστε η ανάπτυξη της υπερπίεσης πόρων να πραγματοποιείται ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του δοκιμίου. Μπορούν να προσδιορισθούν οι παράμετροι διατμητικής αντοχής (γωνία τριβής εδάφους ϕ , συνεκτικότητας c) σε όρους ενεργών τάσεων, μέσω των αποτελεσμάτων δύο ή περισσότερων δοκιμών που έχουν στερεοποιηθεί σε διαφορετικό αρχικό τασικό πεδίο.

3. U(U): χωρίς στερεοποίηση, χωρίς στράγγιση

Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση αστράγγιστων συνθηκών, πριν προλάβει να ξεκινήσει η εξέλιξη της στερεοποίησης. Έτσι η φόρτιση επιβάλλεται με ταχύ ρυθμό, και δεν επιτρέπεται η στράγγιση. Σε εδάφη χαμηλής διαπερατότητας, η ταχύτητα της φόρτισης είναι αρκετή για να εξασφαλίσει αστράγγιστες συνθήκες, χωρίς να απαιτείται περιορισμός της στράγγισης μέσω των βαλβίδων των πορολίθων. Τα αποτελέσματα εξάγονται σε όρους ολικών τάσεων, αφού η ταχεία εξέλιξη της δοκιμής δεν επιτρέπει την μέτρηση των πιέσεων πόρων. Υπάρχουν δύο είδη δοκιμών U(U): η δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης UC, και η τριαξονική δοκιμή UU.

Η δοκιμή UC χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής C_u . Η δεξαμενή της τριαξονικής συσκευής παραμένει κενή, ώστε η πλευρική πίεση να είναι συνεχώς μηδενική. Η τριαξονική δοκιμή UU χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των ισοδύναμων παραμέτρων διατμητικής αντοχής ϕ' και c' . Απαιτούνται δύο ή περισσότερες δοκιμές, με διαφορετική επιβαλλόμενη πλευρική τάση η καθεμιά, για τον προσδιορισμό των ϕ' και c' .

Η μορφή αστοχίας του εκάστοτε δοκιμίου εξαρτάται από την πλαστικότητα του υλικού από το οποίο αποτελείται. Παρατηρούνται τρία είδη αστοχίας:

1. Λόγω εγκάρσιας διόγκωσης, σε πλάστιμα υλικά (βαρελοειδής μορφή, αστοχία σε εφελκυσμό)
2. Λόγω διατμητικής αστοχίας κατά μήκος εμφανούς επιπέδου, σε ψαθυρά υλικά
3. Σε συνδυασμό των 1 και 2, για υλικά ενδιάμεσης πλαστικότητας



(α) βαρελοειδής αστοχία



(β) διατμητική αστοχία



(γ) συνδυαστική αστοχία

Σχήμα 8.8: Μορφές αστοχίας

8.4.3 Πλεονεκτήματα

Οι τριαξονικές δοκιμές εμφανίζουν ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα, και αυτό τις καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμες. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι πως η τριαξονικότητα, η δυνατότητα ελέγχου της στράγγισης και της πίεσης των πόρων, και η δυνατότητα επιβολής ελεγχόμενης φόρτισης με ελεγχόμενο ρυθμό οδηγούν στην ευχέρεια προσομοίωσης διαφορετικών εντατικών καταστάσεων, και επιβολής διαφορετικών συνθηκών φόρτισης, η οποία έχει ως αποτέλεσμα μια πιο ακριβή προσέγγιση της πραγματικότητας. Παράλληλα, λόγω του τρόπου επιβολής της φόρτισης, το επίπεδο αστοχίας δεν είναι προδιαγεγραμμένο, ώστε μπορεί να αποδοθεί καλύτερα η συμπεριφορά των δοκιμών. Επίσης, το σχετικά μεγάλο μέγεθος των δοκιμών οδηγεί σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

8.4.4 Περιορισμοί

Βασικός περιορισμός των τριαξονικών δοκιμών είναι η ανάγκη επαναληψιμότητας, καθώς μία ή ακόμη και δύο δοκιμές δεν αρκούν για την εξαγωγή βέβαιων αποτελεσμάτων. Κάθε δοκιμή είναι διαφορετική, και τα αποτελέσματα είναι τόσο αξιόπιστα όσο περισσότερες δοκιμές πραγματοποιηθούν. Επίσης, σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις εδαφών, που σημειώνουν μεγάλης κλίμακας ασυνέχειες και κενά στη δομή τους, το μέγεθος των δοκιμών δεν είναι αρκετά μεγάλο ώστε να είναι αντιπροσωπευτικό, και έτσι τα αποτελέσματα των δοκιμών οδηγούν σε υπερεκτίμηση των αντοχών του εξεταζόμενου εδάφους.

8.4.5 Εργαστηριακός Εξοπλισμός

Γενικός Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Τριαξονική συσκευή
- Κάψες πορσελάνης και γυάλινες
- Λεία και αδιαπέρατη επιφάνεια εργασίας
- Κλίβανος ξηράσεως θερμοκρασίας 105 ± 1 °C
- Ζυγός ακρίβειας 0,01g
- Εργαλεία γενικής χρήσης, όπως μαχαίρια, σπάτουλες, κανόνας, ταψιά, που χρησιμοποιούνται για την προπαρασκευή του δοκιμίου

-
- Μήτρα μορφώσεως δοκιμίου
 - Παχύμετρο

Τριαξονική Συσκευή

- Μηχανικό πλαίσιο επιβολής φόρτισης, ρυθμιζόμενο ηλεκτρονικά
- Μεταλλικός δακτύλιος δεδομένης δυσκαμψίας, βαθμονομημένος καταλλήλως
- Δύο ηλεκτρονικά μηκυσιόμετρα, βαθμονομημένα καταλλήλως
- Κυψέλη υποδοχής νερού από plexiglass, με αντοχή σε υψηλή πίεση
- Έμβολο επιβολής φόρτισης
- Δίσκοι επαφής βάσης και κορυφής δοκιμίου, συνδεδεμένοι με σύστημα επιβολής πίεσης νερού, για έλεγχο στράγγισης/πίεσης πόρων εντός του δοκιμίου
- Ελαστική μεμβράνη
- Τανυστής αναρροφήσεως μεμβράνης
- Ελαστικοί σφιγκτήρες
- Παροχή απιονισμένου νερού

8.4.6 Πειραματική Διαδικασία

Στη διαδικασία μιας τριαξονική δοκιμής σημειώνονται διαφοροποιήσεις ανάλογα το είδος της. Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά η γενική διαδικασία, και σε επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται λεπτομέρειες, όσον αφορά τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν.

Προετοιμασία δοκιμής (έλεγχος συσκευής, παρασκευή δείγματος, τοποθέτηση δείγματος, επιβολή συνθηκών δοκιμής)

Ελέγχονται οι μηχανισμοί της συσκευής και βαθμονομούνται τα όργανα που απαιτείται. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η διαμόρφωση του δοκιμίου. Το δοκίμιο περιβάλλεται από ελαστική αδιαπέρατη μεμβράνη, η οποία εμποδίζει την επαφή του δοκιμίου με το νερό της κυψέλης (και άρα την προσρόφηση ή εκροή νερού από το δοκίμιο), ενώ επιτρέπει την επιβολή πλευρικής πίεσης μέσω του νερού της κυψέλης. Παράλληλα, εμποδίζει την κατάρρευση του υλικού μετά την αστοχία. Σημείο προσοχής αποτελεί η επιρροή της μεμβράνης στο τασικό πεδίο του δοκιμίου. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της και τις απαιτήσεις της δοκιμής, αυτή μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα ή να υπολογιστεί ώστε να διορθωθούν τα τελικά αποτελέσματα.

Το δοκίμιο τοποθετείται κατακόρυφο, σε κυλινδρική βάση που βρίσκεται στο κέντρο του πάτου της κυψέλης. Στην άνω επιφάνειά του εφαρμόζεται το έμβολο, που συνδέεται με το πλαίσιο επιβολής φόρτισης μέσω του ελαστικού δακτυλίου. Οι κατακόρυφοι άξονες του εμβόλου, του δοκιμίου, και της βάσης της κυψέλης πρέπει να ταυτίζονται. Ανάμεσα στις άνω και κάτω επιφάνειες του δοκιμίου και στο έμβολο και την βάση αντίστοιχα, μεσολαβούν δίσκοι ελεγχόμενης περατότητας, οι οποίοι έχουν διάμετρο ίση με του δοκιμίου και εξασφαλίζουν τις απαιτούμενες—ανάλογα με το είδος της δοκιμής—συνθήκες εντός του δοκιμίου, όσον αφορά την πίεση πόρων. Η στεγανότητα ανάμεσα στους δίσκους και την περιβάλλουσα μεμβράνη εξασφαλίζεται μέσω ελαστικών σφιγκτήρων. Η κυψέλη, στην

περίπτωση επιβολής πλευρικής φόρτισης, γεμίζει με νερό αργά, για την αποφυγή δημιουργίας φυσαλίδων.

Η αρχική φυσική υγρασία του δείγματος μετράται κατά την μόρφωση του δοκιμίου, από τρίμματα. Η πραγματική φυσική του υγρασία όμως προσδιορίζεται αμέσως μετά τη δοκιμή. Το αποτέλεσμα δεν επηρεάζεται από την δοκιμή, αφού οι συνθήκες της δοκιμής δεν επιτρέπουν τη στράγγιση (ταχεία φόρτιση, περιβάλλουσα μεμβράνη, άνω και κάτω δίσκοι ελεγχόμενης περατότητας).

Δοκιμή

Αφού το δοκίμιο έχει τοποθετηθεί στη συσκευή και έχουν επιβληθεί οι συνθήκες ανάλογα με το είδος της δοκιμής, η δοκιμή μπορεί να ξεκινήσει. Αρχικά, εφαρμόζεται μέσω του νερού της κυψέλης η επιθυμητή πλευρική πίεση, εάν αυτό είναι απαραίτητο. Η τάση αυτή διατηρείται σταθερή καθόλη τη διάρκεια της δοκιμής. Το έμβολο εφάπτεται στην άνω επιφάνεια του δοκιμίου και η βάση στην κάτω επιφάνεια, ώστε να ασκείται ομοιόμορφη τάση σε αυτές.

Επιλέγεται ο ρυθμός επιβολής της παραμόρφωσης του δοκιμίου, ανάλογα με τις συνθήκες της δοκιμής. Μέσω αυτοματοποιημένου συστήματος, ξεκινά η ανύψωση—με τον επιλεγμένο ρυθμό—της βάσης. Η παραμόρφωση του δοκιμίου μετράται μέσω του συστήματος εμβόλου-μεταλλικού δακτυλίου δεδομένης δυσκαμψίας-μηκυνσιομέτρων-καταγραφέα (μέσω H/Y). Από αυτήν υπολογίζεται η αντίστοιχη δύναμη που ασκείται στο δοκίμιο. Συνεχίζεται η επιβολή παραμόρφωσης και καταγραφή αυτής έως ότου ολοκληρωθεί ευκρινώς η αστοχία. Ο ρυθμός επιβολής της παραμόρφωσης πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να εξασφαλίζονται οι συνθήκες της δοκιμής. Για δοκιμές που απαιτούν την εξέλιξη στερεοποίησης (C(D)) απαιτείται επαρκώς αργός ρυθμός για την αποτόνωση του νερού των πόρων. Για δοκιμές που απαιτούν την μέτρηση πίεσης πόρων (C(U)) απαιτείται επαρκώς αργός ρυθμός ώστε η ανάπτυξη της πίεσης των πόρων να πραγματοποιείται ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του δοκιμίου. Για δοκιμές που δεν απαιτείται ούτε στερεοποίηση ούτε μέτρηση της πίεσης των πόρων (UU), ο ρυθμός πρέπει να είναι επαρκώς ταχύς ώστε να μην προλαβαίνουν να δημιουργηθούν συνθήκες ροής εντός του δοκιμίου, παρόλο που οι επιβαλλόμενες συνθήκες στα όρια του δοκιμίου δεν επιτρέπουν (δεν ευνοούν) την ανάπτυξη υδραυλικής κλίσης

Αφαίρεση του δοκιμίου

Μετά την ολοκλήρωση της αστοχίας, η βάση του δοκιμίου υποχωρεί στην αρχική της θέση, το νερό της κυψέλης αδειάζει, και αφαιρείται το δοκίμιο με την περιβάλλουσα μεμβράνη. Στη συνέχεια, αφαιρείται με προσοχή η μεμβράνη, και το δοκίμιο τοποθετείται στον κλίβανο ώστε να μετρηθεί η υγρασία του.

Εξαγωγή/Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Μετρώντας την κατακόρυφη παραμόρφωση της διαμέτρου του δακτυλίου μέσω του πρώτου μηκυνσιομέτρου, μπορεί να υπολογιστεί η επιβαλλόμενη δύναμη από τον δακτύλιο,

συνεπώς από τη συσκευή, στο δοκίμιο. Η σχέση παραμόρφωσης της διαμέτρου του δακτυλίου με την επιβαλλόμενη στο δοκίμιο τάση είναι σταθερή.

Μετρώντας την κατακόρυφη μετακίνηση της επαφής κάτω επιφάνειας του δοκιμίου μέσω του δεύτερου μηκυσιομέτρου, και αφαιρώντας από αυτήν την επιβαλλόμενη κατακόρυφη μετακίνηση της κάτω επιφάνειας του δοκιμίου, προκύπτει η αξονική παραμόρφωση του δοκιμίου.

8.5 Στην πράξη

Προετοιμασία δοκιμής

Η μόρφωση του δοκιμίου έγινε αμέσως μετά την εξαγωγή δείγματος υλικού από την κυψέλη συμπίεσης Proctor, όπου είχε τοποθετηθεί ώστε να υποστεί συμπίεση υπό φορτίο 300kPa, διότι διαφορετικά οι αντοχές που αναπτύσσει το υλικό με την πάροδο του χρόνου εξαιτίας της ωρίμανσης δυσχεραίνουν την διαδικασία μόρφωσης των δοκιμίων. Τα δοκίμια διατηρήθηκαν σε θάλαμο υγραντήρα ώστε να μην υποστούν μεταβολή της υγρασίας τους, και αφέθηκαν να ωριμάσουν.

Για την μόρφωση των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε μεταλλική κυλινδρική μήτρα. Η μήτρα εφαρμόστηκε στο δείγμα που εξήλθε από την κυψέλη Proctor, κόβοντας και απομακρύνοντας το επιπλέον υλικό. Σημαντικά σημεία στην διαδικασία είναι η προσπάθεια μη διατάραξης του δείγματος και διατήρησης της υγρασίας του. Το ύψος του δοκιμίου είναι διπλάσιο της διαμέτρου του, ώστε το μέσον του (καθ' ύψος), όπου συμβαίνει η αστοχία, να μην επηρεάζεται από τις παρασιτικές τριβές λόγω επαφής των άνω και κάτω επιφανειών του με το έμβολο επιβολής του φορτίου και τη βάση αντίστοιχα. Το ύψος και η διάμετρος του δοκιμίου για την συσκευή που χρησιμοποιήθηκε ήταν 70mm και 35mm αντίστοιχα. Τέλος, μετρώνται οι ακριβείς διαστάσεις του δοκιμίου (ύψος και διάμετρος) με τη χρήση παχυμέτρου.

Δοκιμή

Η δοκιμή που πραγματοποιήθηκε ήταν χωρίς στερεοποίηση, χωρίς στράγγιση, με ανεμπόδιση θλίψη. Συνεπώς, δεν χρησιμοποιήθηκε ο μηχανισμός επιβολής πλευρικής πίεσης, ούτε μετρήθηκαν οι πιέσεις πόρων κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Άλλωστε, δεν ήταν δυνατόν να μετρηθούν, αφού ο ρυθμός επιβολής της φόρτισης ήταν επαρκώς ταχύς ώστε να επιτευχθούν αστράγγιστες συνθήκες. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές, η διάρκεια της τελευταίας δοκιμής (χρόνος έως την αστοχία) δεν πρέπει να ξεπερνά τα 15 λεπτά. Ως αστοχία, σύμφωνα με τα παραπάνω, νοείται η εμφάνιση διακριτού επιπέδου διατμητικής αστοχίας—που μαρτυρά διατμητική αστοχία ψαθυρής μορφής, είτε η ανάπτυξη κατακόρυφης παραμόρφωσης μεγαλύτερης του 20%, χωρίς εμφάνιση επιφάνειας αστοχίας—που μαρτυρά εφελκυστική αστοχία πλαστικής μορφής. Ο ρυθμός που επιλέχτηκε, ώστε να πραγματοποιείται διαμήκης παραμόρφωση ίση με 15% εντός του επιτρεπτού χρονικού ορίου ήταν 0,7mm/min (χιλιοστά ανά λεπτό), που αναλογεί σε παραμόρφωση 1% ανά λεπτό.

[46]

8.6 Σύνοψη

Οι αναλογίες ανάμιξης, τα σημεία ελέγχου χρονικής ωρίμανσης, η επιβληθείσα τάση συμπύκνωσης, και οι πραγματοποιηθείσες δοκιμές φαίνονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα. Η άργιλος Αγίου Στεφάνου αναφέρεται ως ΑΑΣ, και ακολουθεί το ποσοστό (%) νερού και ύστερα τέφρας.

Πίνακας 8.6.1: Λίστα πραγματοποιηθέντων δοκιμών

Αναλογίες Ανάμιξης	Τάση Συμπύκνωσης (kPa)	Χρονικές Στιγμές Ελέγχου Ωρίμανσης Μετά την Ανάμιξη	Δοκιμή Μονοδιάστατης Συμπίεσης	Τριαξονική Δοκιμή UC	Όρια Atterberg
ΑΑΣ 80-00	0	Αμέσως	√	-	√
ΑΑΣ 82-04	300	Αμέσως	√	√	√
		2 μήνες	√	√	√
		3 μήνες	√	√	√
		Αμέσως	√	-	√
ΑΑΣ 85-06	300	1 μήνας	√	√	√
		2 μήνες	√	√	√
		4 μήνες	√	√	√
		Αμέσως	√	-	√
ΑΑΣ 90-10	300	14 μέρες	√	√	√
		1 μήνας	√	√	√
		2 μήνες	√	√	√
		3 μήνες	√	√	√
		4 μήνες	√	√	√
		6 μήνες	√	√	√
		Αμέσως	√	-	√
ΑΑΣ 90-10 αναζυμωμένο	0	-	√	-	√
ΑΑΣ 90-10 αναζυμωμένο	150	-	√	-	√
ΑΑΣ 115-25	150	Αμέσως	√	-	√
		1 μήνας	√	√	√
	300	Αμέσως	√	-	√
		1 μήνας	√	√	√

Μέρος Γ'

9 Φυσικά Χαρακτηριστικά

Τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός υλικού είναι συνυφασμένα με τη μηχανική του συμπεριφορά, και ως εκ τούτου παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ιδιαίτερα για την αργίλο, η οποία αποτελεί το κυρίως συστατικό των εξεταζόμενων υλικών, τα φυσικά της χαρακτηριστικά, που έγκεινται στην περιεχόμενη υγρασία και τα όρια Atterberg, παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μηχανική τους συμπεριφορά.

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα μέτρησης του ορίου υδαρότητας (LL), ορίου πλαστικότητας (PL), και δείκτη πλαστικότητας (PI) των υλικών σε όλες τις αναμίξεις και φάσεις ωρίμανσης, συνοδευόμενα από σχόλια και παρατηρήσεις που έχουν στόχο την ερμηνία της τυχόν μεταβολής τους συναρτήσει του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας και του χρόνου ωρίμανσης. Οι τιμές των ορίων υδαρότητας και πλαστικότητας προέκυψαν ως αριθμητικός μέσος όρος των τριών επαναλήψεων των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν για κάθε εξεταζόμενη ανάμιξη και χρόνο ωρίμανσης. Οι τιμές του δείκτη πλαστικότητας προέκυψαν από τη διαφορά του εκάστοτε μέσου ορίου υδαρότητας μείον το αντίστοιχο μέσο όριο πλαστικότητας. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε ποσοστό επί τοις εκατό (%) της υγρασίας του υλικού.

Για καλύτερη εποπτεία, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πρώτα κατά αναλογία ανάμιξης, δηλαδή παρουσιάζονται όλες οι εξετασθείσες ωριμάνσεις για την κάθε αναλογία ανάμιξης, και κατόπιν κατά χρόνο ωρίμανσης, δηλαδή όλες οι αναμίξεις για κάθε εξετασθείσα χρονική στιγμή. Ύστερα, ακολουθεί ένας συνολικός σχολιασμός.

Αξίζει στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως κάθε υλικό πλην του ΑΑΣ-80-00 υποβλήθηκε αμέσως μετά την ανάμιξή του σε συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa, ενώ το ΑΑΣ-115-25 αμέσως μετά την ανάμιξή του, το υλικό χωρίστηκε σε δύο μέρη, το πρώτο εκ των οποίων υποβλήθηκε σε συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 150kPa, ενώ το δεύτερο υποβλήθηκε σε συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa. Κατόπιν, τα υλικά αφέθηκαν να ωριμάσουν. Ωστόσο, αυτό δεν αναμένεται να επηρεάσει τα όρια Atterberg, καθότι η μέθοδος προσδιορισμού τους επιτάσσει την πλήρη αποδόμηση του υλικού, όπου ακυρώνεται κάθε προηγούμενη διαμόρφωση διάταξης ή δημιουργία δομής στο εσωτερικό του υλικού. Έτσι, τα όρια Atterberg εξαρτώνται μόνο από τη φύση του υλικού, και τυχόν μεταβολές τους οφείλονται στις ποζολανικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του υλικού, και όχι στην επιβληθείσα προφόρτιση. Το γεγονός αυτό επαληθεύτηκε και στο εργαστήριο, καθώς για κάθε δοκιμή ορίων Atterberg χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια από προφορτισμένο και απροφόρτιστο υλικό, τα αποτελέσματα των οποίων δεν παρουσίασαν αξιοσημείωτες αποκλίσεις.

9.1 Κατά Αναλογία Ανάμιξης

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-80-00, με 80% υγρασία και 0% τέφρα (καθαρή άργιλος), το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, και το ΑΑΣ-115-25, με

115% υγρασία και 25% τέφρα. Για κάθε αναλογία ανάμιξης παρατίθενται τα διαγράμματα ορίου υδαρότητας (LL), ορίου πλαστικότητας (PL), και δείκτη πλαστικότητας (PI) συναρτήσεως του χρόνου ωρίμανσης, ώστε να γίνεται πιο εύκολα ορατή η επιρροή της ωρίμανσης για την εκάστοτε ανάμιξη. Τα διαγράμματα συνοδεύονται από πίνακες, όπου αναγράφονται οι ακριβείς τιμές των LL, PL, και PI συναρτήσεως του χρόνου ωρίμανσης.

9.1.1 ΑΑΣ-80-00

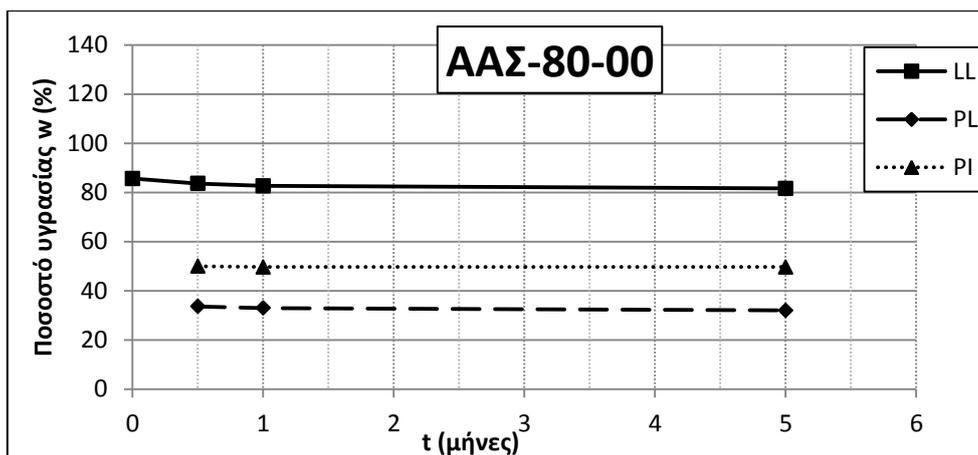
Πρώτα εξετάστηκε το καθαρό αργιλικό υλικό, αμέσως μετά την μόρφωσή του. Το υλικό είχε περιεχόμενη υγρασία 80%, και περιεχόμενη τέφρα 0% αμέσως μετά τη δημιουργία του υλικού. Η επιλογή του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας έγινε κατ' εκτίμηση ώστε το υλικό να είναι κοντά στο όριο υδαρότητάς του, κυρίως για λόγους ικανοποιητικής εργασιμότητας. Ωστόσο, στο συγκεκριμένο υλικό, το οποίο αποτελείται από καθαρή άργιλο, η διαφορά του αρχικού ποσοστού υγρασίας δεν επιφέρει κάποια αλλαγή στα όρια Atterberg, καθώς αυτά δεν εξαρτώνται από το ποσοστό υγρασίας, αλλά από τη φύση του υλικού αυτού καθεαυτού.

Πέρα από τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη, τα όρια Atterberg του ΑΑΣ-80-00 εξετάστηκαν μετά από 14 ημέρες, 1 μήνα, και 5 μήνες, ώστε να εξακριβωθεί το κατά πόσον η φύση του υλικού υφίσταται μεταβολές καθώς αυτό ωριμάζει. Το συγκεκριμένο υλικό δεν υπέστη συμπίκνωση.

Το καθαρό αργιλικό υλικό καθεαυτό δεν μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα για την επιρροή της ανάμιξης της τέφρας στην άργιλο. Ωστόσο έχει καθοριστική σημασία στη χρήση του ως υλικό αναφοράς για όλες τις υπόλοιπες αναμίξεις. Ειδικά, χρησιμοποιείται (παρακάτω) για τη σύγκριση όλων των εξεταζόμενων υλικών στη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη, για να γίνει πιο ξεκάθαρη η επιρροή του ποσοστού ιπτάμενης τέφρας σε αυτή τη φάση ωρίμανσης.

Πίνακας 9.1.1

ΑΑΣ-80-00	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=0kPa			
	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	14 ΜΕΡΕΣ	1 ΜΗΝΑΣ	5 ΜΗΝΕΣ
LL	86	84	83	82
PL	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	34	33	32
PI	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	50	50	50



Διάγραμμα 9.1.1

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Παρατηρείται ότι τα όρια Atterberg παραμένουν πρακτικώς σταθερά στο χρόνο, χωρίς να επηρεάζονται από τη διάρκεια ωρίμανσης. Κάτι τέτοιο, άλλωστε, είναι αναμενόμενο, καθώς η φυσική διαδικασία ωρίμανσης εξελίσσεται σε γεωλογικό χρόνο. Παρατηρείται επίσης πως η αρχική εκτίμηση του ορίου υδαρότητας στο 80% δεν απείχε σημαντικά από την πραγματικότητα. Άλλωστε, αυτό καθίσταται εμφανές από το γεγονός ότι δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας αμέσως μετά την ανάμιξη του υλικού, που σημαίνει ότι αυτό ήταν υπερβολικά υδαρές για να μπορέσει να υποβληθεί στη σχετική δοκιμή, άρα το ποσοστό υγρασίας του ήταν κοντά στο όριο υδαρότητας.

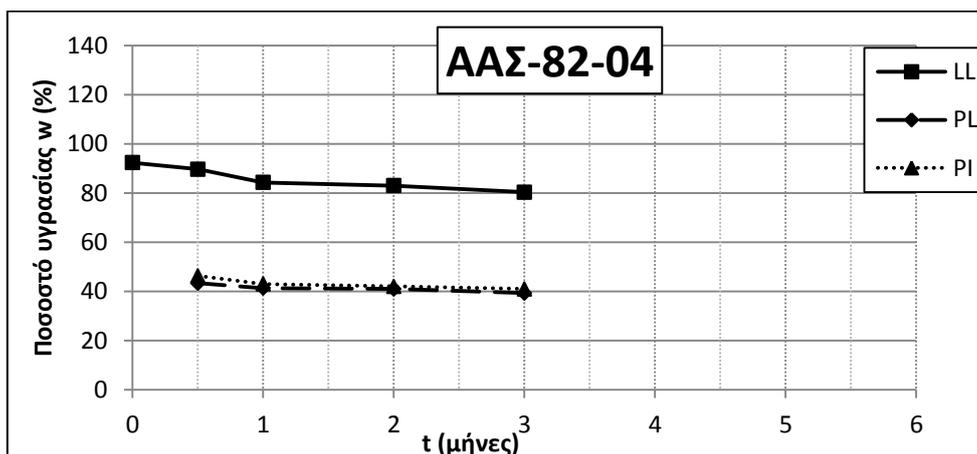
9.1.2 ΑΑΣ-82-04

Το παρόν υλικό αποτελείται από 82% υγρασία (νερό) και 4% ιπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Και εδώ, η επιλογή του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας έγινε κατ' εκτίμηση ώστε το υλικό να είναι κοντά στο όριο υδαρότητάς του ώστε να υπάρχει συγκρισιμότητα με το καθαρό αργιλικό υλικό. Η αύξηση κατά 2% του περιεχόμενου νερού είχε σκοπό να αντισταθμίσει τη δράση της τέφρας, η οποία κατά την ανάμιξη του υλικού και για κάποιο χρόνο μετά ενυδατώνεται, προσροφώντας νερό το οποίο αντλεί από την περιεχόμενη υγρασία.

Πέρα από τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη, τα όρια Atterberg του ΑΑΣ-82-04 εξετάστηκαν μετά από 14 ημέρες, 1 μήνα, 2 μήνες, και 3 μήνες, ώστε να εξακριβωθεί το κατά πόσον η φύση του υλικού υφίσταται μεταβολές καθώς αυτό ωριμάζει. Αξίζει στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως, αμέσως μετά την ανάμιξή του, το υλικό υποβλήθηκε σε συμπίκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa, και αφέθηκε να ωριμάσει. Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η συμπίκνωση δεν αναμένεται να επηρεάσει τα όρια Atterberg.

Πίνακας 9.1.2

ΑΑΣ-82-04	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=300kPa				
	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	14 ΜΕΡΕΣ	1 ΜΗΝΑΣ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ
LL	92	90	84	83	80
PL	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	43	41	41	39
PI	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	46	43	42	41



Διάγραμμα 9.1.2

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Παρατηρείται μια πτωτική τάση του ορίου υδαρότητας έως τον ένα μήνα, η οποία συνεχίζεται με πολύ ήπιο ρυθμό έως και τους τρεις μήνες. Επίσης, παρατηρείται μια σχεδόν ανεπαίσθητη μείωση του ορίου πλαστιμότητας στη διάρκεια του πρώτου μήνα. Ο συνδυασμός της μείωσης του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστιμότητας οδηγούν σε πολύ μικρή μείωση του δείκτη πλαστιμότητας έως την ωρίμανση του ενός μήνα. Από το σημείο του ενός μήνα και ύστερα, ο δείκτης πλαστιμότητας παραμένει πρακτικώς σταθερός στο χρόνο, χωρίς να επηρεάζεται από τη διάρκεια ωρίμανσης. Φαίνεται πως, στο συγκεκριμένο υλικό, τα όρια Atterberg εξαρτώνται κυρίως από τη διαδικασία ενυδάτωσης, η οποία φαίνεται από τη σημειούμενη μείωση του ορίου υδαρότητας και ορίου πλαστιμότητας να ολοκληρώνεται πριν την παρέλευση ενός μήνα.

Η αρχική μείωση του ορίου υδαρότητας, αλλά και η αντίστοιχη μικρή μείωση του ορίου πλαστιμότητας και η συνεπαγόμενη μείωση του δείκτη πλαστιμότητας οφείλονται στη διαδικασία της ενυδάτωσης της υπτάμενης τέφρας, κατά την οποία απορροφά νερό από την υγρασία των πόρων, και μαρτυρούν τη δημιουργία μεταβολών στην κατάσταση του υλικού εξαιτίας της ανάμιξης. Η σημειούμενη περαιτέρω ελάχιστη μείωση του ορίου υδαρότητας συνάδει με την αντίστοιχη μείωση στην περίπτωση του καθαρού αργιλικού υλικού ΑΑΣ-80-00, και δεν υπάρχουν σαφή στοιχεία ώστε να αποδοθεί στην εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων. Παρατηρείται επίσης πως η επιλογή ποσοστού υγρασίας ίσου με 82% κατά την ανάμιξη ώστε μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της ενυδάτωσης το περιεχόμενο ποσοστό υγρασίας να είναι περίπου ίσο με το όριο υδαρότητας δεν απείχε σημαντικά από την

πραγματικότητα, καθώς το όριο υδαρότητας μετά την ενυδάτωση ήταν περίπου 80%, όσο δηλαδή το όριο υδαρότητας στο καθαρό αργιλικό υλικό. Άλλωστε, αυτό καθίσταται εμφανές από το γεγονός ότι δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας αμέσως μετά την ανάμιξη του υλικού, που ακόμη δεν είχε πάρει έκταση η διαδικασία της ενυδάτωσης, που σημαίνει ότι αυτό ήταν υπερβολικά υδαρές, λίγο χαμηλότερο από το όριο υδαρότητας, για να μπορέσει να υποβληθεί στη σχετική δοκιμή, άρα το ποσοστό υγρασίας του ήταν κοντά στο όριο υδαρότητας.

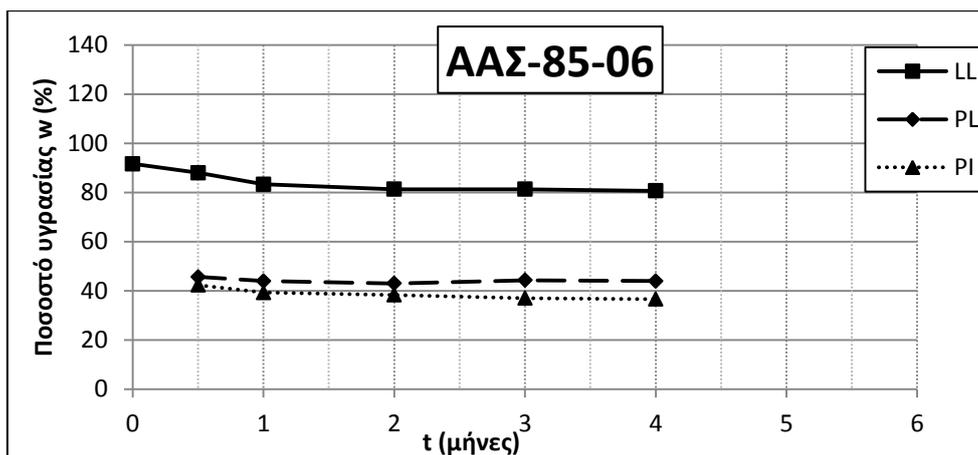
9.1.3 ΑΑΣ-85-06

Το παρόν υλικό αποτελείται από 85% υγρασία (νερό) και 6% ιπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Και εδώ, η επιλογή του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας έγινε κατ' εκτίμηση ώστε το υλικό να είναι κοντά στο όριο υδαρότητάς του ώστε να υπάρχει συγκρισιμότητα με τα προηγούμενα υλικά. Η αύξηση κατά 5% του περιεχόμενου νερού είχε σκοπό να αντισταθμίσει τη δράση της τέφρας, η οποία κατά την ανάμιξη του υλικού και για κάποιο χρόνο μετά ενυδατώνεται, προσροφώντας νερό το οποίο αντλεί από την περιεχόμενη υγρασία.

Πέρα από τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη, τα όρια Atterberg του ΑΑΣ-85-06 εξετάστηκαν μετά από 14 ημέρες, 1 μήνα, 2 μήνες, 3 μήνες, και 4 μήνες, ώστε να εξακριβωθεί το κατά πόσον η φύση του υλικού υφίσταται μεταβολές καθώς αυτό ωριμάζει. Αξίζει στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως, αμέσως μετά την ανάμιξή του, το υλικό υποβλήθηκε σε συμπίκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa, και αφέθηκε να ωριμάσει. Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η συμπίκνωση δεν αναμένεται να επηρεάσει τα όρια Atterberg.

Πίνακας 9.1.3

ΑΑΣ-85-06	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=300kPa					
	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	14 ΜΕΡΕΣ	1 ΜΗΝΑΣ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ	4 ΜΗΝΕΣ
LL	92	88	83	81	81	81
PL	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	46	44	43	44	44
PI	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	42	39	38	37	37



Διάγραμμα 9.1.3

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Παρατηρείται μια πτωτική τάση του ορίου υδαρότητας έως τον ένα μήνα, η οποία συνεχίζεται με πολύ ήπιο ρυθμό έως και τους δύο μήνες. Επίσης, παρατηρείται μια σχεδόν ανεπαίσθητη μείωση του ορίου πλαστιμότητας στη διάρκεια του πρώτου μήνα. Ο συνδυασμός της μείωσης του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστιμότητας οδηγούν σε πολύ μικρή μείωση του δείκτη πλαστιμότητας έως την ωρίμανση του ενός μήνα. Από το σημείο του ενός μήνα και ύστερα, ο δείκτης πλαστιμότητας παραμένει πρακτικώς σταθερός στο χρόνο, χωρίς να επηρεάζεται από τη διάρκεια ωρίμανσης. Φαίνεται πως, στο συγκεκριμένο υλικό, τα όρια Atterberg εξαρτώνται κυρίως από τη διαδικασία ενυδάτωσης, η οποία φαίνεται από τη σημειούμενη μείωση του ορίου υδαρότητας και ορίου πλαστιμότητας να ολοκληρώνεται πριν την παρέλευση ενός μήνα.

Η αρχική μείωση του ορίου υδαρότητας, αλλά και η αντίστοιχη μικρή μείωση του ορίου πλαστιμότητας και η συνεπαγόμενη μείωση του δείκτη πλαστιμότητας οφείλονται στη διαδικασία της ενυδάτωσης της ιπτάμενης τέφρας, κατά την οποία απορροφά νερό από την υγρασία των πόρων, και μαρτυρούν τη δημιουργία μεταβολών στην κατάσταση του υλικού εξαιτίας της ανάμιξης. Η σημειούμενη περαιτέρω ελάχιστη μείωση του ορίου υδαρότητας συνάδει με την αντίστοιχη μείωση στην περίπτωση του καθαρού αργιλικού υλικού ΑΑΣ-80-00, και δεν υπάρχουν σαφή στοιχεία ώστε να αποδοθεί στην εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων. Παρατηρείται επίσης πως η επιλογή ποσοστού υγρασίας ίσου με 85% κατά την ανάμιξη ώστε μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της ενυδάτωσης το περιεχόμενο ποσοστό υγρασίας να είναι περίπου ίσο με το όριο υδαρότητας δεν απέιχε σημαντικά από την πραγματικότητα, καθώς το όριο υδαρότητας μετά την ενυδάτωση ήταν περίπου 80%, όσο δηλαδή το όριο υδαρότητας στο καθαρό αργιλικό υλικό. Άλλωστε, αυτό καθίσταται εμφανές από το γεγονός ότι δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός του ορίου πλαστιμότητας αμέσως μετά την ανάμιξη του υλικού, που ακόμη δεν είχε πάρει έκταση η διαδικασία της ενυδάτωσης, που σημαίνει ότι αυτό ήταν υπερβολικά υδαρές, λίγο χαμηλότερο από το όριο υδαρότητας, για να μπορέσει να υποβληθεί στη σχετική δοκιμή, άρα το ποσοστό υγρασίας του ήταν κοντά στο όριο υδαρότητας.

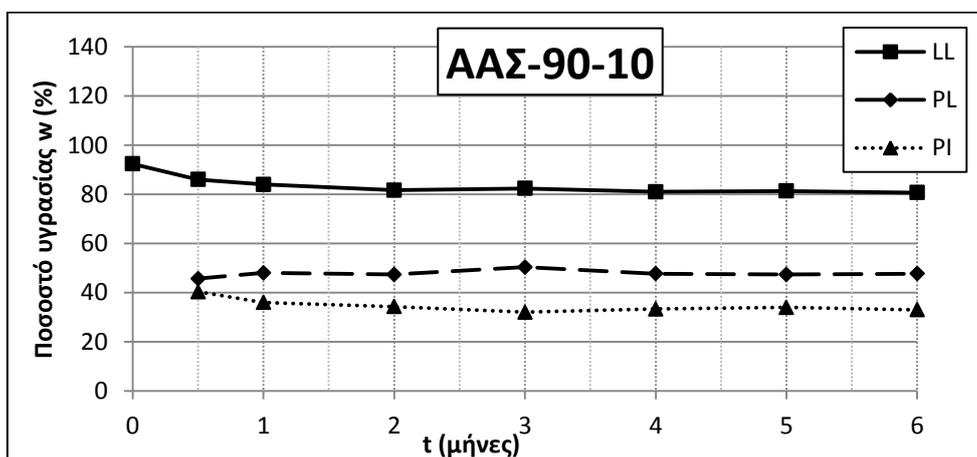
9.1.4 ΑΑΣ-90-10

Το παρόν υλικό αποτελείται από 90% υγρασία (νερό) και 10% ιπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Και εδώ, η επιλογή του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας έγινε κατ' εκτίμηση ώστε το υλικό να είναι κοντά στο όριο υδαρότητάς του ώστε να υπάρχει συγκρισιμότητα με τα προηγούμενα υλικά. Η αύξηση κατά 10% του περιεχόμενου νερού είχε σκοπό να αντισταθμίσει τη δράση της τέφρας, η οποία κατά την ανάμιξη του υλικού και για κάποιο χρόνο μετά ενυδατώνεται, προσροφώντας νερό το οποίο αντλεί από την περιεχόμενη υγρασία.

Πέρα από τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη, τα όρια Atterberg του ΑΑΣ-90-10 εξετάστηκαν μετά από 14 ημέρες, 1 μήνα, 2 μήνες, 3 μήνες, 4 μήνες, 5 μήνες, και 6 μήνες, ώστε να εξακριβωθεί το κατά πόσον η φύση του υλικού υφίσταται μεταβολές καθώς αυτό ωριμάζει. Αξίζει στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως, αμέσως μετά την ανάμιξή του, το υλικό υποβλήθηκε σε συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa, και αφέθηκε να ωριμάσει. Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η συμπύκνωση δεν αναμένεται να επηρεάσει τα όρια Atterberg.

Πίνακας 9.1.4

ΑΑΣ-90-10	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=300kPa							
	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	14 ΜΕΡΕΣ	1 ΜΗΝΑΣ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ	4 ΜΗΝΕΣ	5 ΜΗΝΕΣ	6 ΜΗΝΕΣ
LL	92	86	84	82	82	81	81	81
PL	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	46	48	47	50	48	47	48
PI	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	40	36	34	32	33	34	33



Διάγραμμα 9.1.4

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Παρατηρείται μια πτωτική τάση του ορίου υδαρότητας έως τον ένα μήνα, η οποία συνεχίζεται με πολύ ήπιο ρυθμό έως και τους δύο μήνες. Επίσης, παρατηρείται μια μικρή αύξηση του ορίου πλαστιμότητας στη διάρκεια των πρώτων τριών μηνών, ακολουθούμενη από σχετική σταθερότητα. Ο συνδυασμός της μείωσης του ορίου υδαρότητας και της

αύξησης του ορίου πλαστιμότητας οδηγούν σε μικρή μείωση του δείκτη πλαστιμότητας έως την ωρίμανση των τριών μηνών. Από το σημείο των τριών μηνών και ύστερα, ο δείκτης πλαστιμότητας παραμένει πρακτικώς σταθερός στο χρόνο, χωρίς να επηρεάζεται από τη διάρκεια ωρίμανσης. Φαίνεται πως, στο συγκεκριμένο υλικό, τα όρια Atterberg εξαρτώνται κυρίως από τη διαδικασία ενυδάτωσης, η οποία φαίνεται από τη σημειούμενη μείωση του ορίου υδαρότητας και ορίου πλαστιμότητας να ολοκληρώνεται πριν την παρέλευση ενός μήνα.

Η αρχική μείωση του ορίου υδαρότητας, αλλά και η αντίστοιχη μικρή αύξηση του ορίου πλαστιμότητας και η συνεπαγόμενη μείωση του δείκτη πλαστιμότητας οφείλονται στη διαδικασία της ενυδάτωσης της ιπτάμενης τέφρας, κατά την οποία απορροφά νερό από την υγρασία των πόρων, και μαρτυρούν τη δημιουργία μεταβολών στην κατάσταση του υλικού εξαιτίας της ανάμιξης. Η συνέχιση της χαμηλής μεν, υπαρκτής δε μεταβολής των ορίων Atterberg έως και τους 3 μήνες μπορεί να ερμηνευθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους: πρώτον, εξαιτίας του υψηλού ποσοστού τέφρας η διαδικασία της ενυδάτωσης συνεχίζει με μειωμένους ρυθμούς έως και το τρίμηνο, ή, δεύτερον, η έναρξη των ποζολανικών αντιδράσεων επηρεάζει τα όρια Atterberg. Το πιθανότερο είναι να ισχύει η πρώτη εξήγηση, καθώς δεν υπάρχουν σαφή στοιχεία ώστε να αποδοθεί στην εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων. Παρατηρείται επίσης πως η επιλογή ποσοστού υγρασίας ίσου με 90% κατά την ανάμιξη ώστε μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της ενυδάτωσης το περιεχόμενο ποσοστό υγρασίας να είναι περίπου ίσο με το όριο υδαρότητας δεν απείχε σημαντικά από την πραγματικότητα, καθώς το όριο υδαρότητας μετά την ενυδάτωση ήταν περίπου 80%, όσο δηλαδή το όριο υδαρότητας στο καθαρό αργιλικό υλικό. Άλλωστε, αυτό καθίσταται εμφανές από το γεγονός ότι δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός του ορίου πλαστιμότητας αμέσως μετά την ανάμιξη του υλικού, που ακόμη δεν είχε πάρει έκταση η διαδικασία της ενυδάτωσης, που σημαίνει ότι αυτό ήταν υπερβολικά υδαρές, περίπου ίσο με το όριο υδαρότητας, για να μπορέσει να υποβληθεί στη σχετική δοκιμή, άρα το ποσοστό υγρασίας του ήταν κοντά στο όριο υδαρότητας.

9.1.5 ΑΑΣ-115-25

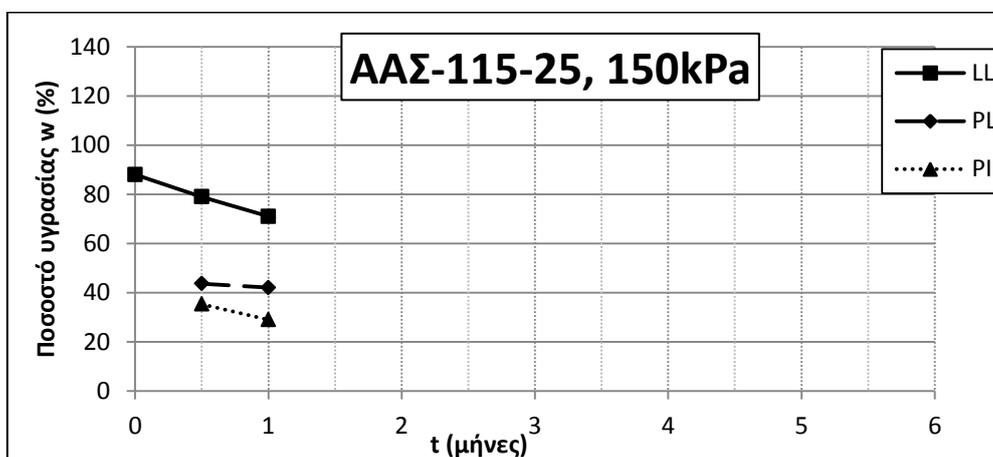
Το παρόν υλικό αποτελείται από 115% υγρασία (νερό) και 25% ιπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Και εδώ, η επιλογή του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας έγινε κατ' εκτίμηση ώστε το υλικό να είναι κοντά στο όριο υδαρότητάς του ώστε να υπάρχει συγκρισιμότητα με τα προηγούμενα υλικά. Η αύξηση κατά 45% του περιεχόμενου νερού είχε σκοπό να αντισταθμίσει τη δράση της τέφρας, η οποία κατά την ανάμιξη του υλικού και για κάποιο χρόνο μετά ενυδατώνεται, προσροφώντας νερό το οποίο αντλεί από την περιεχόμενη υγρασία.

Πέρα από τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη, τα όρια Atterberg του ΑΑΣ-115-25 εξετάστηκαν μετά από 14 ημέρες και 1 μήνα, καθώς δεν υπήρχε ο απαιτούμενος χρόνος ώστε να εξετασθούν και μεταγενέστεροι χρόνοι ωρίμανσης, αφού ο έλεγχος του υλικού αυτού δεν συμπεριλαμβανόταν στα αρχικά σχέδια της εργασίας. Υπενθυμίζεται στο

σημείο αυτό πως, αμέσως μετά την ανάμιξή του, το υλικό χωρίστηκε σε δύο μέρη, το πρώτο εκ των οποίων υποβλήθηκε σε συμπίκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 150kPa, ενώ το δεύτερο υποβλήθηκε σε συμπίκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa. Κατόπιν, και τα δύο υλικά αφέθηκαν να ωριμάσουν. Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η συμπίκνωση δεν αναμένεται να επηρεάσει τα όρια Atterberg.

Πίνακας 9.1.5

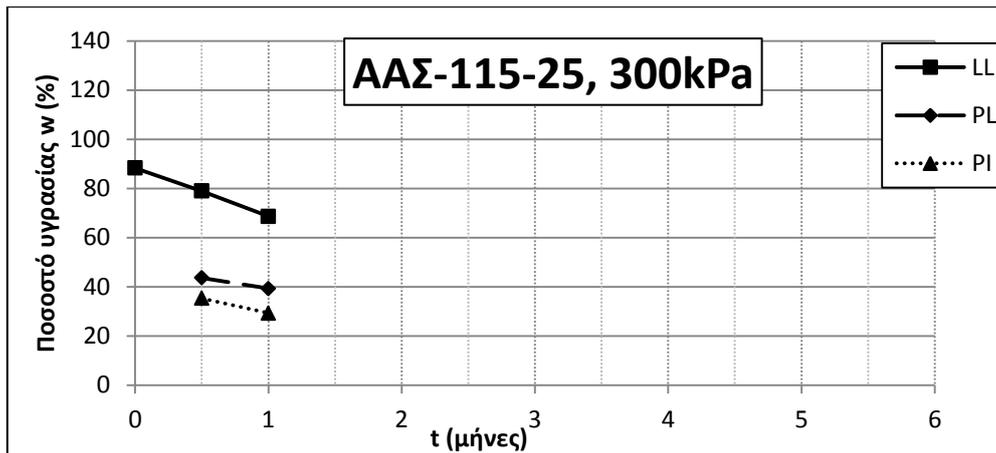
ΑΑΣ-115-25	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=150kPa		
	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	14 ΜΕΡΕΣ	1 ΜΗΝΑΣ
LL	88	79	71
PL	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	44	42
PI	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	35	29



Διάγραμμα 9.1.5

Πίνακας 9.1.6

ΑΑΣ-115-25	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=150kPa		
	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	14 ΜΕΡΕΣ	1 ΜΗΝΑΣ
LL	88	79	69
PL	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	44	39
PI	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ	35	29



Διάγραμμα 9.1.6

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Παρατηρείται μια πτωτική τάση του ορίου υδαρότητας έως τον ένα μήνα. Επίσης, παρατηρείται μείωση του ορίου πλαστιμότητας έως τον πρώτο μήνα. Ο συνδυασμός της μείωσης του ορίου υδαρότητας και της μείωσης του ορίου πλαστιμότητας οδηγούν τελικά σε μείωση του δείκτη πλαστιμότητας έως την ωρίμανση του ενός μήνα. Παρ' όλο που δεν υπάρχουν περαιτέρω δεδομένα, φαίνεται πως και στο συγκεκριμένο υλικό τα όρια Atterberg εξαρτώνται κυρίως από τη διαδικασία ενυδάτωσης, η οποία φαίνεται από τη σημειούμενη μείωση του ορίου υδαρότητας και ορίου πλαστιμότητας να ολοκληρώνεται πριν την παρέλευση ενός μήνα.

Η αρχική μείωση του ορίου υδαρότητας, αλλά και η αντίστοιχη μείωση του ορίου πλαστιμότητας και η συνεπαγόμενη μείωση του δείκτη πλαστιμότητας οφείλονται στη διαδικασία της ενυδάτωσης της ιπτάμενης τέφρας, κατά την οποία αυτή απορροφά νερό από την υγρασία των πόρων, και μαρτυρούν τη δημιουργία μεταβολών στην κατάσταση του υλικού εξαιτίας της ανάμιξης. Παρατηρείται επίσης πως η επιλογή ποσοστού υγρασίας ίσου με 115% κατά την ανάμιξη ώστε μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της ενυδάτωσης το περιεχόμενο ποσοστό υγρασίας να είναι περίπου ίσο με το όριο υδαρότητας στη συγκεκριμένη περίπτωση απείχε σημαντικά από την πραγματικότητα, καθώς το όριο υδαρότητας μετά την ενυδάτωση ήταν περίπου 70%, 10% λιγότερο δηλαδή απ' όσο το όριο υδαρότητας στο καθαρό αργιλικό υλικό. Ωστόσο, και εδώ δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας αμέσως μετά την ανάμιξη του υλικού, που ακόμη δεν είχε πάρει έκταση η διαδικασία της ενυδάτωσης, που σημαίνει ότι αυτό ήταν υπερβολικά υδαρές, εμφανώς πιο ψηλά από το όριο υδαρότητας, για να μπορέσει να υποβληθεί στη σχετική δοκιμή, άρα το ποσοστό υγρασίας του ήταν κοντά στο όριο υδαρότητας.

9.2 Κατά Χρόνο Ωρίμανσης

Οι χρονικές ωριμάνσεις που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν τη στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη, τις 14 ημέρες μετά την ανάμιξη, τον 1 μήνα, τους 2 μήνες, τους 3 μήνες, τους 4 μήνες, τους 5 μήνες, και τους 6 μήνες μετά την ανάμιξη. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία

για κάθε χρόνο ωρίμανσης για κάθε υλικό, καθώς χρονικοί και άλλοι περιορισμοί δεν το επέτρεψαν. Ωστόσο, τα στοιχεία είναι επαρκή για τη σαφή σκιαγράφηση της επιρροής του ποσοστού τέφρας στα φυσικά χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων υλικών. Για κάθε χρόνο ωρίμανσης παρατίθενται τα διαγράμματα ορίου υδαρότητας (LL), ορίου πλαστικότητας (PL), και δείκτη πλαστικότητας (PI) συναρτήσει της αναλογίας αργιλικού υλικού, νερού και τέφρας, ώστε να γίνεται πιο εύκολα ορατή η επιρροή του ποσοστού τέφρας για την εκάστοτε ωρίμανση. Τα διαγράμματα συνοδεύονται από πίνακες, όπου αναγράφονται οι ακριβείς τιμές των LL, PL, και PI συναρτήσει του χρόνου ωρίμανσης.

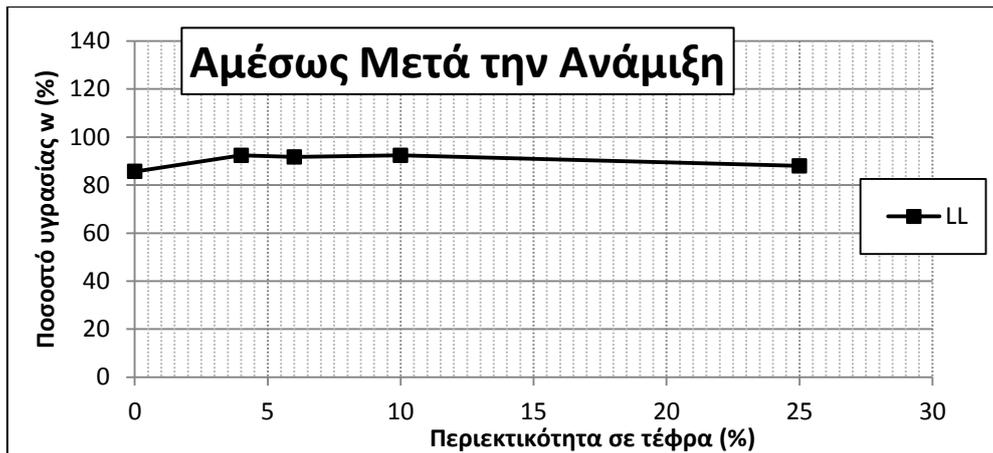
Για κάθε χρόνο ωρίμανσης παρατίθενται τα διαγράμματα ορίου υδαρότητας (LL), ορίου πλαστικότητας (PL), και δείκτη πλαστικότητας (PI) συναρτήσει του χρόνου ωρίμανσης, ώστε να γίνεται πιο εύκολα ορατή η επιρροή του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας για κάθε χρόνο ωρίμανσης. Τα διαγράμματα συνοδεύονται από πίνακες, όπου αναγράφονται οι ακριβείς τιμές των LL, PL, και PI συναρτήσει του ποσοστού τέφρας.

9.2.1 Αμέσως μετά την Ανάμιξη

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-80-00, με 80% υγρασία και 0% τέφρα (καθαρή άργιλος), το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, και το ΑΑΣ-115-25, με 115% υγρασία και 25% τέφρα. Τα όρια Atterberg στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή οδηγούν σε σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά την κατάσταση του υλικού πρώτου λάβουν χώρα οι μηχανισμοί της ενυδάτωσης και των ποζολανικών αντιδράσεων.

Πίνακας 9.2.1

ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	ΑΑΣ-80-00	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10	ΑΑΣ-115-25
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (kPa)	0	0	0	0	0
LL	86	92	92	92	88
PL	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ				
PI	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ				



Διάγραμμα 9.2.1

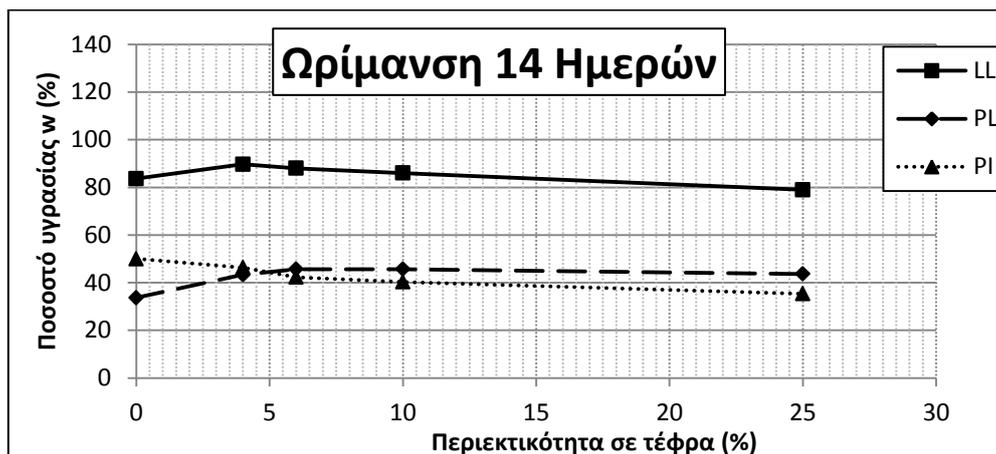
Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά όλων των προϊόντων ανάμιξης τη χρονική στιγμή αμέσως μετά τη διαμόρφωσή τους. Παρατηρείται μια μικρή διακύμανση στο όριο υδαρότητας, με το όριο υδαρότητας να παρουσιάζεται αυξημένο για 4% έως 10% περιεκτικότητα σε τέφρα ενώ παρουσιάζεται χαμηλότερο για 0% και 25% περιεχόμενη τέφρα, όμως δεν υπάρχουν στοιχεία που να καταδεικνύουν ότι αυτή η διακύμανση οφείλεται στη διαφορετική περιεκτικότητα των μιγμάτων σε τέφρα. Άλλωστε, είναι αναμενόμενο να μην επηρεάζονται τα φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού αμέσως μετά την ανάμιξη, καθώς η ενυδάτωση της τέφρας έχει μόλις αρχίσει και, καθώς εξελίσσεται με βραδείς ρυθμούς, δεν έχει προλάβει να πάρει τέτοιες διαστάσεις ώστε να επηρεάσει την κατάσταση του υλικού. Το παραπάνω συμπέρασμα ενισχύεται από το γεγονός ότι όλα τα υλικά ήταν τόσο υδαρή, ώστε να μην είναι δυνατή η δοκιμή για τον προσδιορισμό του ορίου πλαστικότητας, δηλαδή η τέφρα δεν είχε ακόμη αρχίσει να απορροφά νερό. Κατ' επέκταση, δεν είναι δυνατός ούτε ο προσδιορισμός του δείκτη πλαστικότητας.

9.2.2 Ωρίμανση 14 Ημερών

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-80-00, με 80% υγρασία και 0% τέφρα (καθαρή άργιλος), το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, και δύο ξεχωριστά υλικά ΑΑΣ-115-25, με 115% υγρασία και 25% τέφρα, το ένα συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το άλλο υπό τάση 150kPa. Τα όρια Atterberg στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή οδηγούν σε σημαντικά συμπεράσματα, καθώς δίνουν εικόνα της κατάστασης του υλικού πάνω στο κρίσιμο στάδιο της ενυδάτωσης, αλλά επίσης η συγκεκριμένη ομάδα δοκιμών δίνει και σημαντικά στοιχεία ως προς την επίδραση της προφόρτισης στα φυσικά χαρακτηριστικά ενός υλικού.

Πίνακας 9.2.2

14 ΜΕΡΕΣ	ΑΑΣ-80-00	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10	ΑΑΣ-115-25	
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (kPa)	0	300	300	300	300	150
LL	84	90	88	86	79	79
PL	34	43	46	46	44	44
PI	50	46	42	40	35	35



Διάγραμμα 9.2.2

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Παρατηρείται μια ανοδική τάση του ορίου υδαρότητας από το υλικό μηδενικής περιεκτικότητας τέφρας προς το υλικό με 4% τέφρα, η οποία βαθμιαία αναιρείται για να φτάσει τελικά το όριο υδαρότητας του υλικού με 25% τέφρα να είναι χαμηλότερο από αυτό του καθαρού αργιλικού υλικού. Επίσης, παρατηρείται σαφής αύξηση του ορίου πλαστιμότητας από το καθαρό υλικό έως το υλικό με 4% τέφρα, ενώ για μεγαλύτερα ποσοστά διατηρείται σταθερό. Ο συνδυασμός των μεταβολών του ορίου υδαρότητας και της αύξησης του ορίου πλαστιμότητας οδηγούν σε μείωση του δείκτη πλαστιμότητας από το υλικό με ποσοστό 0% τέφρας έως το υλικό με 6% ποσοστό τέφρας, η οποία συνεχίζεται καθώς το ποσοστό τέφρας αυξάνεται, αλλά με μειωμένο ρυθμό. Επίσης, σημειώνεται ότι τα όρια Atterberg του υλικού ΑΑΣ-115-25 είναι τα ίδια τόσο για το υλικό που συμπυκνώθηκε υπό τάση 150kPa, όσο και για το υλικό που συμπυκνώθηκε υπό τάση 300kPa. Αυτό ενισχύει το προηγούμενο συμπέρασμα ότι η τάση συμπίκνωσης/προφόρτισης δεν επηρεάζει τα φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών.

Μία εξήγηση για την παρατηρούμενη αύξηση του ορίου υδαρότητας και πλαστικότητας των υλικών μικρού ποσοστού τέφρας σε σχέση με την καθαρή άργιλο, η οποία αύξηση στην περίπτωση του ορίου υδαρότητας αναιρείται καθώς τα ποσοστά τέφρας αυξάνονται, για χρόνο ωρίμανσης 14 ημερών, μπορεί να είναι η ακόλουθη: αρχικά το όριο υδαρότητας αυξάνεται, διότι κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης της τέφρας το υλικό έχει

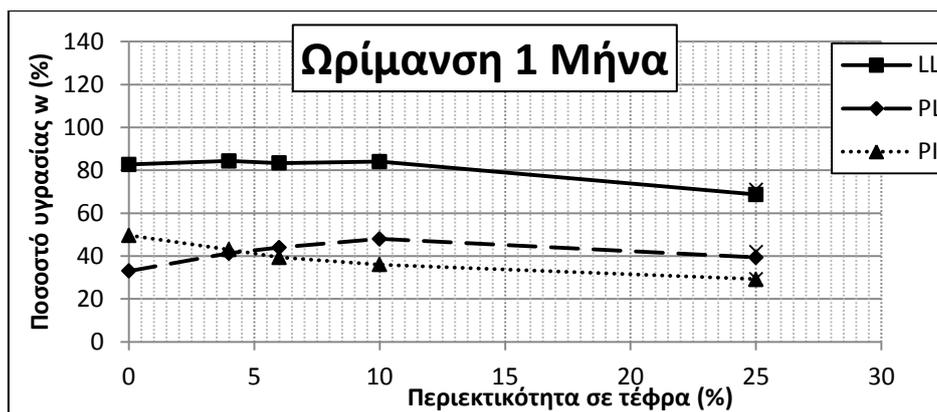
μεγαλύτερη δυνατότητα προσρόφησης νερού, ενώ παράλληλα η περιεκτικότητά του σε τέφρα το καθιστά λιγότερο πλαστικό, αυξάνοντας έτσι το όριο πλαστικότητας. Αφού ολοκληρωθεί ικανοποιητικό μέρος της ενυδάτωσης ώστε να ξεκινήσουν οι ποζολανικές αντιδράσεις, το όριο πλαστικότητας μένει σταθερό ή σημειώνει ασήμαντη αύξηση, ενώ το όριο υδαρότητας αρχίζει και μειώνεται καθώς το υλικό περνάει σε νέα κατάσταση με μειωμένη υδροαπορροφητικότητα. Στην περίπτωση των υλικών με χαμηλό ποσοστό περιεχόμενης τέφρας, η διαδικασία είναι αργή και εκτυλίσσεται κατά τη διάρκεια μεγαλύτερου διαστήματος, γι' αυτό και είναι εμφανής η αύξηση του LL από 0% τέφρα σε 4%. Αντίθετα, στην περίπτωση των υλικών με υψηλό ποσοστό περιεχόμενης τέφρας, η διαδικασία είναι ολοένα ταχύτερη και εκτυλίσσεται νωρίτερα από την παρέλευση των 14 ημερών, γι' αυτό και είναι εμφανής η μείωση του LL από 4% τέφρα σε 25% σε ποσοστό περίπου ίσο με την καθαρή άργιλο. Το παραπάνω συμπέρασμα θα επαληθευθεί εάν σημειωθεί μείωση των ορίων υδαρότητας όλων των εξεταζόμενων υλικών στην επόμενη εξεταζόμενη χρονική στιγμή, με τη διατήρηση των ίδιων περίπου αναλογιών όμως.

9.2.3 Ωρίμανση 1 Μήνα

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-80-00, με 80% υγρασία και 0% τέφρα (καθαρή άργιλος), το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, και δύο ξεχωριστά υλικά ΑΑΣ-115-25, με 115% υγρασία και 25% τέφρα, το ένα συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το άλλο υπό τάση 150kPa (τα σημεία του στο διάγραμμα συμβολίζονται με Χ). Τα όρια Atterberg στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή οδηγούν σε σημαντικά συμπεράσματα, καθώς δίνουν εικόνα της κατάστασης των υλικών όσον αφορά την ενυδάτωση και την εκκίνηση των ποζολανικών αντιδράσεων.

Πίνακας 9.2.3

1 ΜΗΝΑΣ	ΑΑΣ-80-00	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10	ΑΑΣ-115-25	
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (kPa)	0	300	300	300	300	150
LL	83	84	83	84	69	71
PL	33	41	44	48	39	42
PI	50	43	39	36	29	29



Διάγραμμα 9.2.3

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Παρατηρείται μια ελαφρώς ανοδική τάση του ορίου υδαρότητας από το υλικό μηδενικής περιεκτικότητας τέφρας προς το υλικό με 4% τέφρα, για τα αμέσως επόμενα ποσοστά τέφρας το όριο υδαρότητας διατηρείται σταθερό, ενώ για το υλικό με 25% τέφρα είναι σημαντικά χαμηλότερο από αυτό του καθαρού αργιλικού υλικού. Επίσης, παρατηρείται σαφής αύξηση του ορίου πλαστιμότητας από το καθαρό υλικό έως το υλικό με 10% τέφρα, ενώ για μεγαλύτερα ποσοστά μειώνεται. Ο συνδυασμός των μεταβολών του ορίου υδαρότητας και της αύξησης του ορίου πλαστιμότητας οδηγούν σε μείωση του δείκτη πλαστιμότητας από το υλικό με ποσοστό 0% τέφρας έως το υλικό με 10% ποσοστό τέφρας, η οποία συνεχίζεται καθώς το ποσοστό τέφρας αυξάνεται, αλλά με μειωμένο ρυθμό. Επίσης, σημειώνεται ότι τα όρια Atterberg του υλικού ΑΑΣ-115-25 είναι πρακτικώς ίδια τόσο για το υλικό που συμπυκνώθηκε υπό τάση 150kPa, όσο και για το υλικό που συμπυκνώθηκε υπό τάση 300kPa. Αυτό ενισχύει το προηγούμενο συμπέρασμα ότι η τάση συμπύκνωσης/προφόρτισης δεν επηρεάζει τα φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών.

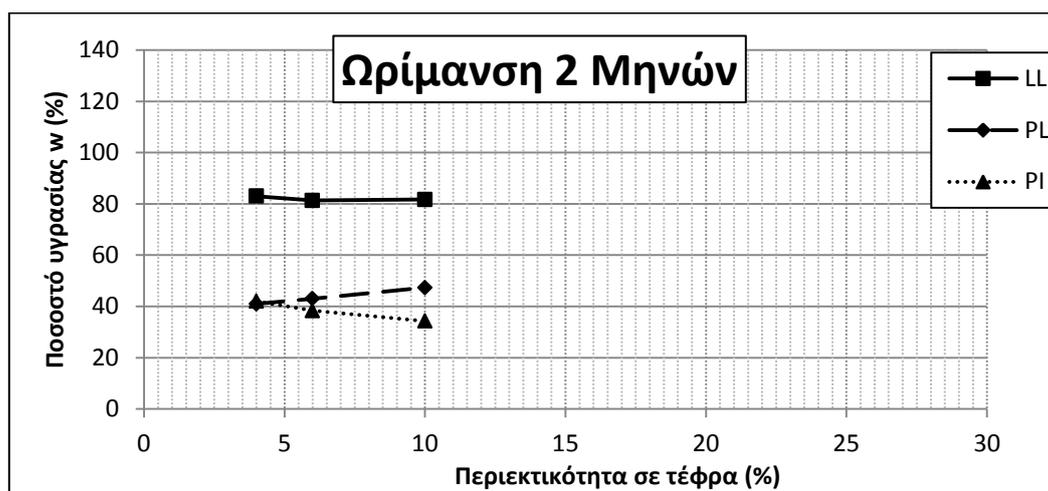
Το συμπέρασμα της προηγούμενης παραγράφου φαίνεται να ενισχύεται, καθώς όντως το LL όλων των υλικών υποχώρησε, ενώ οι αναλογίες των LL των διαφορετικών προϊόντων αναμίξεων δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά. Παράλληλα όμως φαίνεται να σημειώνεται ήπια μείωση του PL καθώς συνεχίζουν οι ποζολανικές ιδιότητες, πράγμα που φαίνεται από την ελαφρά πτώση του PL του ΑΑΣ-115-25 σχετικά με την ωρίμανση 14 ημερών, ενώ τα PL των υπολοίπων έχουν κι αυτά αρχίσει να μειώνονται, ή τουλάχιστον παραμένουν σταθερά.

9.2.4 Ωρίμανση 2 Μηνών

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-80-00, με 80% υγρασία και 0% τέφρα (καθαρή άργιλος), το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, και το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa. Τα όρια Atterberg στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή οδηγούν σε σημαντικά συμπεράσματα, καθώς δίνουν εικόνα της κατάστασης των υλικών όσον αφορά την ενυδάτωση και την εκκίνηση των ποζολανικών αντιδράσεων.

Πίνακας 9.2.4

2 ΜΗΝΕΣ	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (kPa)	300	300	300
LL	83	81	82
PL	41	43	47
PI	42	38	34



Διάγραμμα 9.2.4

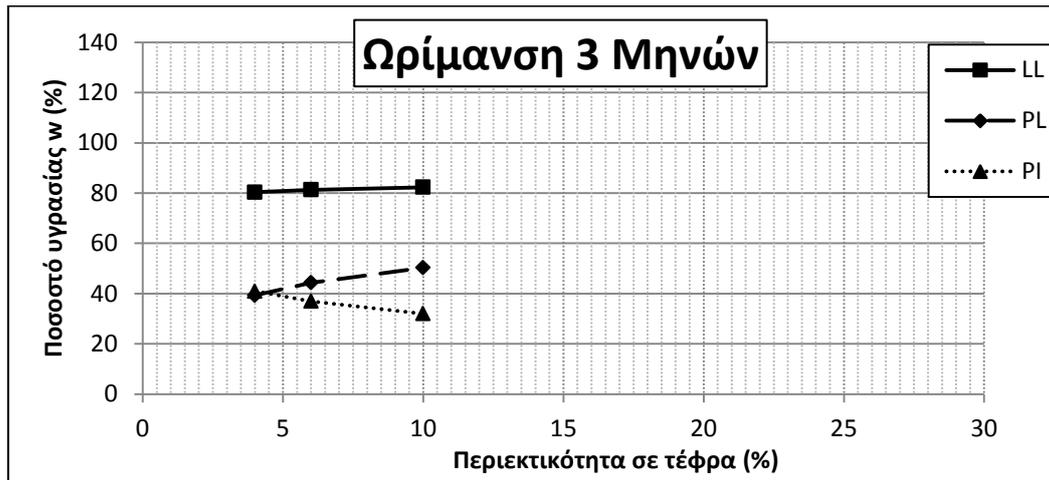
Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Το όριο υδαρότητας είναι πρακτικά σταθερό για όλα τα ποσοστά τέφρας, ενώ παρατηρείται αύξηση του ορίου πλαστικότητας καθώς το ποσοστό τέφρας αυξάνεται. Ωστόσο, συγκριτικά με τον 1 μήνα ωρίμανσης, τα όρια πλαστικότητας έχουν μεταβληθεί ανεπαίσθητα. Ο συνδυασμός των του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας οδηγεί σε μείωση του δείκτη πλαστιμότητας για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας.

9.2.5 Ωρίμανση 3 Μηνών

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-80-00, με 80% υγρασία και 0% τέφρα (καθαρή άργιλος), το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, και το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa. Τα όρια Atterberg στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή οδηγούν σε σημαντικά συμπεράσματα, καθώς δίνουν εικόνα της κατάστασης των υλικών όσον αφορά την ολοκλήρωση της ενυδάτωσης και την εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων.

Πίνακας 9.2.5

3 ΜΗΝΕΣ	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (kPa)	300	300	300
LL	80	81	82
PL	39	44	50
PI	41	37	32



Διάγραμμα 9.2.5

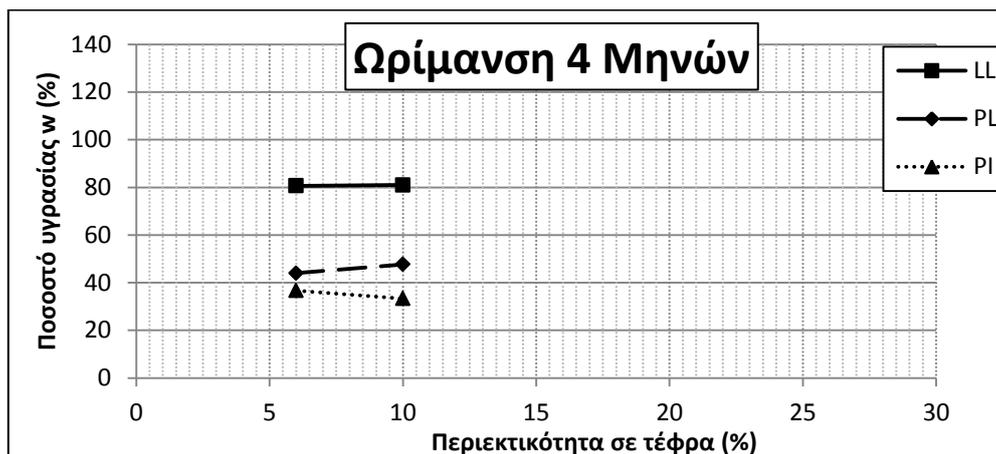
Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Το όριο υδαρότητας είναι πρακτικά σταθερό για όλα τα ποσοστά τέφρας, ενώ παρατηρείται αύξηση του ορίου πλαστικότητας καθώς το ποσοστό τέφρας αυξάνεται. Ωστόσο, συγκριτικά με τους 2 μήνες ωρίμανσης, τα όρια πλαστικότητας έχουν μεταβληθεί ανεπαίσθητα. Ο συνδυασμός των του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας οδηγεί σε μείωση του δείκτη πλαστιμότητας για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας.

9.2.6 Ωρίμανση 4 Μηνών

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-80-00, με 80% υγρασία και 0% τέφρα (καθαρή άργιλος), το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, και το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa. Τα όρια Atterberg στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή οδηγούν σε σημαντικά συμπεράσματα, καθώς δίνουν εικόνα της κατάστασης των υλικών όσον αφορά την ολοκλήρωση της ενυδάτωσης και την εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων.

Πίνακας 9.2.6

4 ΜΗΝΕΣ	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (kPa)	300	300
LL	81	81
PL	44	48
PI	37	33



Διάγραμμα 9.2.6

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Το όριο υδαρότητας είναι πρακτικά σταθερό για όλα τα ποσοστά τέφρας, ενώ παρατηρείται αύξηση του ορίου πλαστικότητας καθώς το ποσοστό τέφρας αυξάνεται. Ωστόσο, συγκριτικά με τους 3 μήνες ωρίμανσης, τα όρια πλαστικότητας έχουν μεταβληθεί ανεπαίσθητα. Ο συνδυασμός των του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας οδηγεί σε μείωση του δείκτη πλαστιμότητας για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας.

9.3 Συμπεράσματα

Από την μελέτη των παραπάνω παρουσιασθέντων αποτελεσμάτων μπορεί να εξαχθεί μια σειρά από συμπεράσματα όσον αφορά τόσο την επίδραση του ποσοστού της τέφρας όσο και την επίδραση του χρόνου ωρίμανσης στα μίγματα αργίλου-ιπτάμενης τέφρας-νερού σχετικά με τα φυσικά τους χαρακτηριστικά. Τα αποτελέσματα των δοκιμών ορίων Atterberg μαρτυρούν σημαντικές μεταβολές στις ιδιότητες του υλικού, η γενική τάση των οποίων είναι καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας και ο χρόνος ωρίμανσης να μειώνεται ο δείκτης πλαστικότητας του υλικού. Ακολουθεί μια αναλυτικότερη περιγραφή των εξαχθέντων συμπερασμάτων.

Κάθε προϊόν ανάμιξης, πλην της καθαρής αργίλου, σημείωσε την ίδια περίπτωση συμπεριφορά συναρτήσεως της χρονικής του ωρίμανσης: το όριο υδαρότητας μειώθηκε κατά τη διάρκεια του πρώτου μήνα, ενώ για τον υπόλοιπο χρόνο ωρίμανσης παρέμεινε πρακτικώς σταθερό, ενώ το όριο πλαστικότητας παρέμεινε πρακτικά σταθερό για όλα τα υλικά για κάθε

χρόνο ωρίμανσης. Αυτή η τάση οδήγησε στην μείωση του δείκτη πλαστικότητας μέχρι έναν συγκεκριμένο χρόνο, περί τον 1 μήνα, και ύστερα στη διατήρησή του σε σταθερή τιμή.

Παράλληλα, σε κάθε χρόνο ωρίμανσης παρατηρήθηκε η εξής τάση: η συσχέτιση μεταξύ των ορίων υδαρότητας όλων των αναμίξεων πλην της καθαρής αργίλου παρέμενε σταθερή, δηλαδή μειωνόταν για αύξηση της περιεχόμενης τέφρας. Αντίθετα, το όριο πλαστιμότητας σημείωνε αύξηση καθώς αυξανόταν το ποσοστό τέφρας. Η τελική επίδραση όμως στο δείκτη πλαστικότητας ήταν απομειωτική για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας.

Η παραπάνω συμπεριφορά των υλικών μπορεί να αποδοθεί στο συμπέρασμα ότι η προσθήκη ιπτάμενης τέφρας σ' ένα καθαρό αργιλικό υλικό έχει ως άμεση συνέπεια την αύξηση του ορίου υδαρότητάς του, καθώς η τέφρα στην αρχική αυτή φάση έχει την τάση να απορροφά νερό, αυξάνοντας έτσι το όριο υδαρότητας, ενώ αργότερα, και αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της ενυδάτωσης και ξεκινήσουν οι ποζολανικές αντιδράσεις, το όριο υδαρότητας πρακτικώς σταθεροποιείται. Το όριο πλαστικότητας παραμένει εν γένει σταθερό με την πάροδο του χρόνου εξαρχής. Η ταχύτητα της εκδήλωσης της παραπάνω συμπεριφοράς εξαρτάται από το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Για παράδειγμα, καθώς το ποσοστό τέφρας αυξάνεται από 4% σε 25%, η παραπάνω διαδικασία συμπιέζεται χρονικά, με αποτέλεσμα να φαίνεται να εκτυλίσσεται χρονικά μέχρι και τους 2 μήνες για το ΑΑΣ-82-04, ενώ για το ΑΑΣ-115-25 συμβαίνει τόσο γρήγορα ώστε δεν προλαβαίνει να καταγραφεί η αρχική αύξηση του ορίου υδαρότητας αμέσως μετά την ανάμιξη, καθώς η διαδικασία της ενυδάτωσης εκκινεί και εξελίσσεται σχετικά γρήγορα από την πρώτη κιόλας στιγμή της ανάμιξης.

Συνοψίζοντας, το γενικό συμπέρασμα είναι ότι ο δείκτης πλαστικότητας των προϊόντων ανάμιξης αργίλου με νερό και ιπτάμενη τέφρα μειώνεται σε ποσοστό με ρυθμό ανάλογο με την αύξηση του ποσοστού τέφρας, και η μείωση αυτή ολοκληρώνεται με την ολοκλήρωση των ποζολανικών αντιδράσεων. Επίσης, φάνηκε καθαρά πως η επιβολή συμπύκνωσης ή προφόρτισης δεν επέφερε καμία αξιοσημείωτη μεταβολή στα φυσικά χαρακτηριστικά των εξετασθέντων υλικών.

10 Δοκιμή Μονοδιάστατης Στερεοποίησης

Τα αποτελέσματα της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης είναι καθοριστικά για την αποτίμηση της συμπεριφοράς του εξεταζόμενου υλικού, ιδιαίτερα όσον αφορά τη συμπίεστίότητά του. Ακολουθούν τα αποτελέσματα των δοκιμών που διεξήχθησαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, συνοδευόμενα από σχόλια και παρατηρήσεις που έχουν στόχο την ερμηνεία τους.

Για καλύτερη εποπτεία, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πρώτα κατά αναλογία ανάμιξης, δηλαδή παρουσιάζονται όλες οι εξετασθείσες ωριμάνσεις για την κάθε αναλογία ανάμιξης, και κατόπιν κατά χρόνο ωρίμανσης, δηλαδή όλες οι αναμίξεις για κάθε εξετασθείσα χρονική στιγμή. Ύστερα, ακολουθούν τα αναζυμωμένα υλικά, και τέλος ένας συνολικός σχολιασμός.

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, αξίζει να σημειωθεί πως, επειδή τα εξεταζόμενα υλικά δεν υποβλήθηκαν σε δοκιμές στην κατάσταση που συλλέχθηκαν από τη φύση, αλλά έχουν υποστεί πλήρη διάλυση της όποιας δομής και διάταξης που είχε το φυσικό υλικό από το οποίο προέρχονται, και έχουν κατασκευαστεί εκ νέου, με συγκεκριμένο ποσοστό υγρασίας περίπου ίσο με 1xLL, διαφορετικό από το πραγματικό όριο υδαρότητας, οι ιδιότητες του εκάστοτε υλικού—προϊόντος ανάμιξης αμέσως μετά την ανάμιξη είναι και οι «φυσικές» ιδιότητες του εκάστοτε υλικού, δηλαδή η καμπύλη $e\text{-log}p$ αμέσως μετά την ανάμιξη μπορεί να θεωρηθεί πως είναι η φυρική καμπύλη συμπίεσης (Virgin Compression Line, ή VCL) του συγκεκριμένου προϊόντος ανάμιξης.

Στη φάση αυτή υπενθυμίζεται ότι όλα τα υλικά, αφού υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεση αμέσως μετά την ανάμιξη, τους επιβλήθηκε συμπίκνωση υπό προκαθορισμένη τάση στην κυψέλη συμπίκνωσης Proctor. Κάθε υλικό πλην του ΑΑΣ-80-00 υποβλήθηκε αμέσως μετά την ανάμιξή του σε συμπίκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa. Έτσι, η παρουσίαση συμπεριφοράς προφορτισμένου υλικού (σημαντική πτώση του αρχικού δείκτη πόρων e_0 και η ιδιαίτερα χαμηλή συμπίεστίότητα ως την τάση συμπίκνωσης) οφείλεται σε αυτήν την επιβολή συμπίκνωσης και όχι στην ωρίμανση. Άλλωστε, έχει ήδη αναφερθεί πως κατά τη διάρκεια της επιβολής της αρχικής αυτής συμπίκνωσης, η δράση των μηχανισμών ανάπτυξης δομής θεωρείται αμελητέα.

10.1 Κατά Αναλογία Ανάμιξης

Τα υλικά που εξετάσθηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-80-00, με 80% υγρασία και 0% τέφρα (καθαρή άργιλος), το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, και το ΑΑΣ-115-25, με 115% υγρασία και 25% τέφρα. Για κάθε υλικό διαμορφώθηκαν 3 δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης αμέσως μετά την ανάμιξη του εκάστοτε υλικού. Για κάθε υλικό διαμορφώθηκαν 2 δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης σε κάθε εξεταζόμενο χρόνο ωρίμανσης.

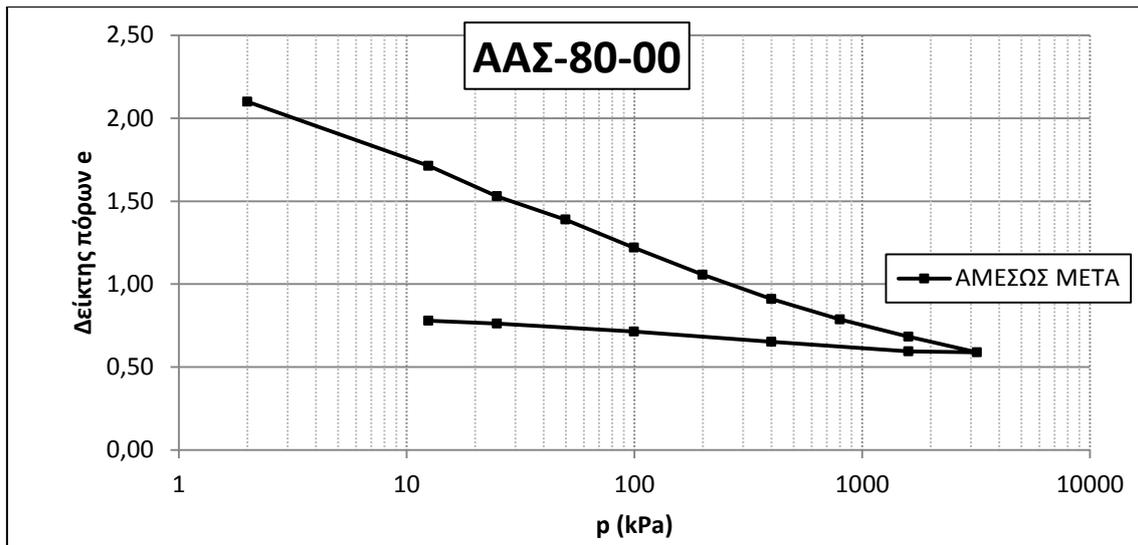
Για κάθε αναλογία ανάμιξης παρατίθενται συγκεντρωτικά τα διαγράμματα δείκτη πόρων προς το λογάριθμο των τάσεων, ώστε να γίνεται πιο εύκολα ορατή η επιρροή της ωρίμανσης για την εκάστοτε ανάμιξη. Παράλληλα, παρατίθενται ενδεικτικές τιμές του τέμνοντος μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης (E_s), του δείκτη συμπιεστότητας (a_v), του συντελεστή συμπιεστότητας (C_c), του συντελεστή μονοδιάστατης στερεοποίησης (c_v), καθώς και ο αρχικός δείκτης πόρων (e_0), δείκτης πόρων για το μέγιστο φορτίο των 3200kPa (e_{3200}), και ο δείκτης πόρων μετά το πέρας της αποφόρτισης (e_{fd}). Έτσι, μπορεί να γίνει αντιπαραβολή των συμπεριφορών του εκάστοτε υλικού για ανάλογα με την ωρίμανσή του, και να σημειωθεί η παρατηρούμενη μεταξύ τους διαφοροποίηση, η οποία αποδίδεται στο διαφορετικό ποσοστό περιεχόμενης τέφρας.

Συγκεκριμένα, για το τέμνον μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης (E_s) λαμβάνεται ως αρχική τάση η τάση των 12.5kPa, και ως τελική η 200kPa, 400kPa, 800kPa, 1600kPa, και 3200kPa αντίστοιχα, σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη πόρων. Για το δείκτη συμπιεστότητας (a_v) και το συντελεστή συμπιεστότητας (C_c), χρησιμοποιήθηκαν οι κατάλληλες τάσεις και αντίστοιχοι δείκτες πόρων ώστε να αντιστοιχούν στον κλάδο «κανονικής φόρτισης» κάθε φορά. Ο συντελεστής μονοδιάστατης στερεοποίησης εξήχθη για τις βαθμίδες φόρτισης των 100kPa, 200kPa, 400kPa, 800kPa χρησιμοποιώντας την μέθοδο Casagrande όπου ήταν εφικτό, διαφορετικά την μέθοδο Taylor.

10.1.1 ΑΑΣ-80-00

Οι πρώτες δοκιμές έγιναν σε τρία δοκίμια καθαρού αργιλικού υλικού, με περιεχόμενη υγρασία 80%, ώστε να βρίσκεται κοντά στο όριο υδαρότητας (LL), και περιεχόμενη τέφρα 0% αμέσως μετά τη δημιουργία του υλικού. Δεν πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε άλλους χρόνους στο παρόν υλικό, καθώς έχει προκύψει ξεκάθαρα από προηγούμενες έρευνες ότι σε καθαρό αργιλικό υλικό, πραγματική ωρίμανση μπορεί να υπάρξει μόνο σε γεωλογικό χρόνο. Οποιοδήποτε άλλου είδους μεταβολή στη συμπεριφορά οφείλεται αποκλειστικά στις μεταβολές της περιεχόμενης υγρασίας του υλικού, η οποία για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας δεν μεταβάλλεται. Επομένως, για λόγους πρακτικούς, αλλά και για την αποφυγή παρερμηνειών, για το υλικό ΑΑΣ-80-00 πραγματοποιήθηκαν δοκιμές μόνο για τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη.

Το καθαρό αργιλικό υλικό καθεαυτό δεν μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα για την επιρροή της ανάμιξης της τέφρας στην άργιλο. Ωστόσο έχει καθοριστική σημασία στη χρήση του ως υλικό αναφοράς για όλες τις υπόλοιπες αναμίξεις. Ειδικά, χρησιμοποιείται (παρακάτω) για τη σύγκριση όλων των εξεταζόμενων υλικών στη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη, για να γίνει πιο ξεκάθαρη η επιρροή του ποσοστού ιπτάμενης τέφρας σε αυτή τη φάση ωρίμανσης.



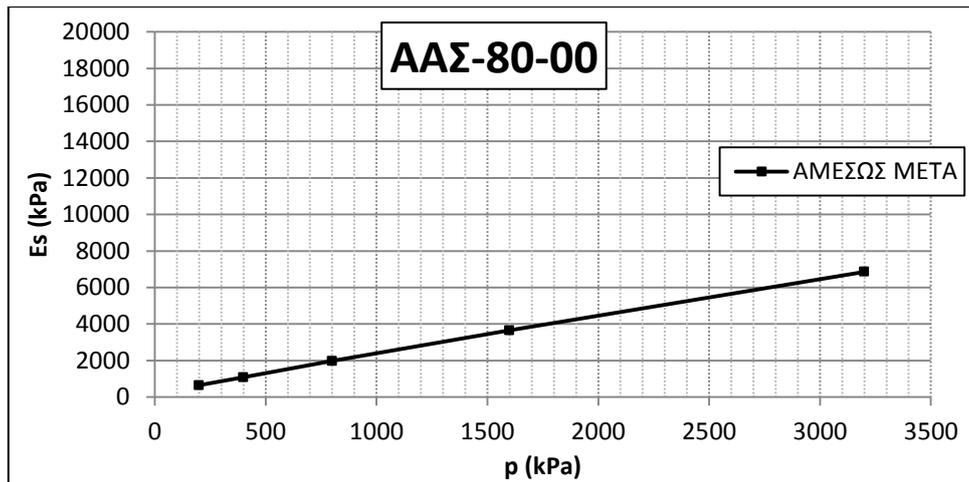
Διάγραμμα 10.1.1

Πίνακας 10.1.1

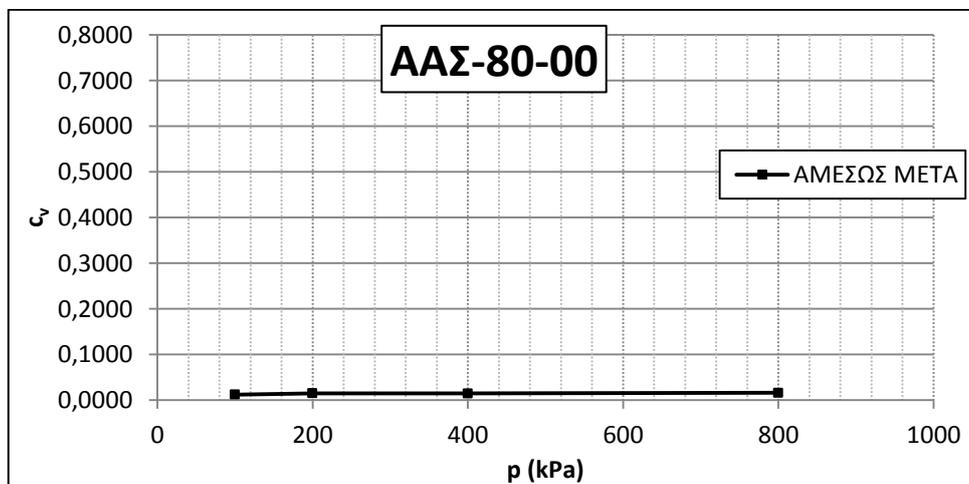
ΑΑΣ-80-00	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ
e_0	2,24
e_{3200}	0,59
e_{fd}	0,78

Πίνακας 10.1.2

ΑΑΣ-80-00		ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ
Es (kPa)	$\sigma_v=200$	650
	$\sigma_v=400$	1085
	$\sigma_v=800$	1972
	$\sigma_v=1600$	3657
	$\sigma_v=3200$	6862
av		0,000352677
Cc		0,467
cv	$\sigma_v=100$	0,0124
	$\sigma_v=200$	0,0151
	$\sigma_v=400$	0,0149
	$\sigma_v=800$	0,0161



Διάγραμμα 10.1.2



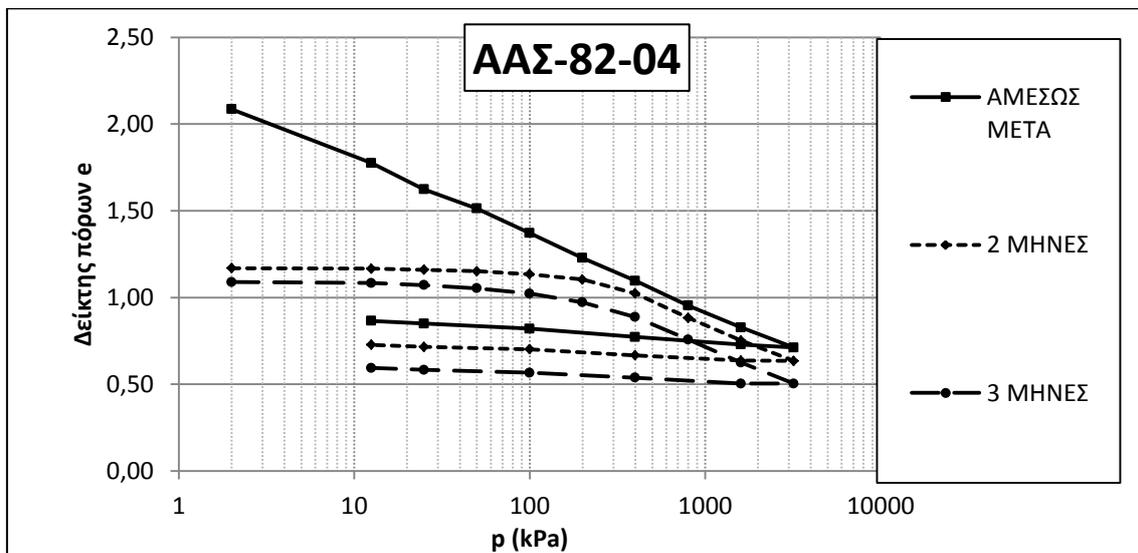
Διάγραμμα 10.1.3

Στο σχετικό πίνακα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Ο αρχικός δείκτης πόρων μαρτυρά την ακανόνιστη διάταξη των πλακιδίων, που συνάδει με το γεγονός ότι πρόκειται για κατασκευασμένο υλικό, χωρίς καμία πρότερη δομή, και με υψηλό ποσοστό υγρασίας (περίπου ίσο με το όριο υδαρότητας). Επίσης, παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, η οποία συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού, καθώς πρόκειται για κανονικά στερεοποιημένη άργιλο. Δεν υπάρχει ιδιαίτερη μεταβολή του συντελεστή στερεοποίησης (παρατηρείται μια μικρής σημασίας αύξηση με την αύξηση του φορτίου).

10.1.2 ΑΑΣ-82-04

Το παρόν υλικό αποτελείται από 82% υγρασία (νερό) και 4% ιπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Αμέσως μετά την ανάμιξη του συγκεκριμένου υλικού δημιουργήθηκαν τρία δοκίμια, τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης. Στη συνέχεια, το υλικό υποβλήθηκε σε συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa), και αφέθηκε να ωριμάσει. Υποβλήθηκε ξανά σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης μετά από ωρίμανση 2 και 3 μηνών, με δύο δοκίμια για κάθε χρόνο ωρίμανσης. Επιλέχθηκε να εξετασθεί πρώτα η

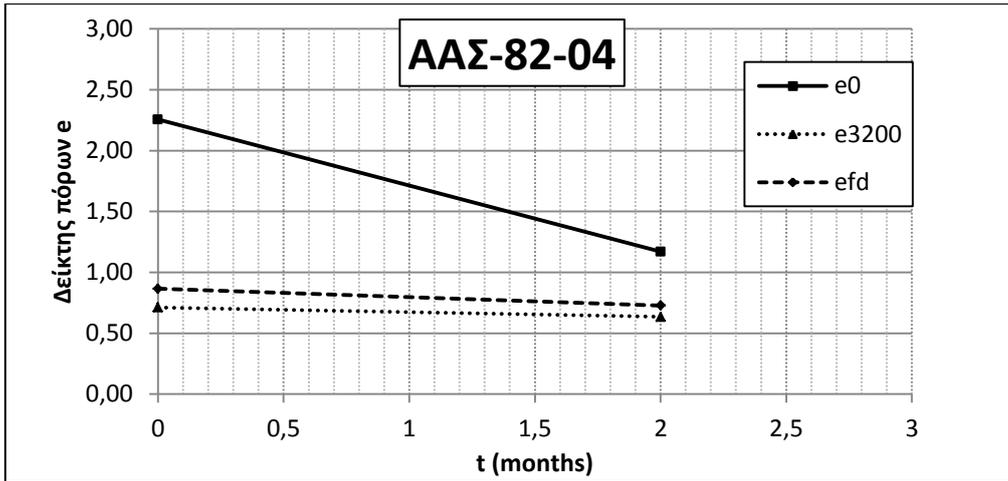
ωρίμανση των 2 μηνών, καθώς η περιεκτικότητα σε τέφρα είναι χαμηλή και συνεπώς δεν αναμενόταν, σύμφωνα με τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών, ιδιαίτερα ταχεία ανάπτυξη δεσμών, και αν μετά από δύο μήνες η ανάπτυξη δομής δεν είχε προχωρήσει σε ικανοποιητικό βαθμό, το υλικό αυτό θα έπρεπε να απορριφθεί, καθώς δε θα ικανοποιούσε το σκοπό της παρούσας εργασίας. Παράλληλα, ο περιορισμένος αριθμός συσκευών μονοδιάστατης στερεοποίησης, σε συνδυασμό με τους περιορισμούς χρόνου, δεν επέτρεψαν να ληφθούν υπόψη και άλλοι χρόνοι ωρίμανσης, οι οποίοι, ωστόσο, είναι προγραμματισμένοι να πραγματοποιηθούν τους επόμενους μήνες. Για το χρόνο ωρίμανσης 3 μηνών λείπουν κάποια στοιχεία, καθώς οι δοκιμές ολοκληρώθηκαν σε χρόνο που δεν επέτρεπε την περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων.



Διάγραμμα 10.1.4

Πίνακας 10.1.3

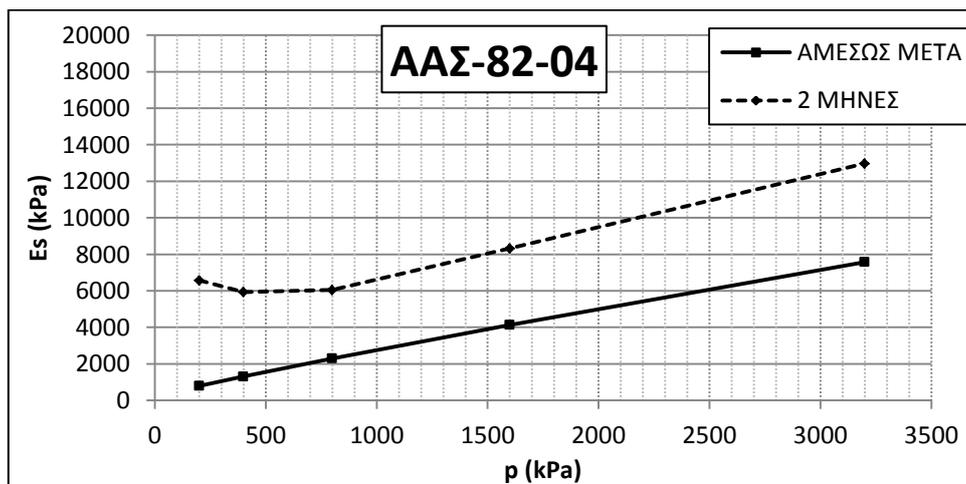
ΑΑΣ-82-04	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ
e_0	2,26	1,17	1,09
e_{3200}	0,71	0,63	0,50
e_{fd}	0,87	0,73	0,59



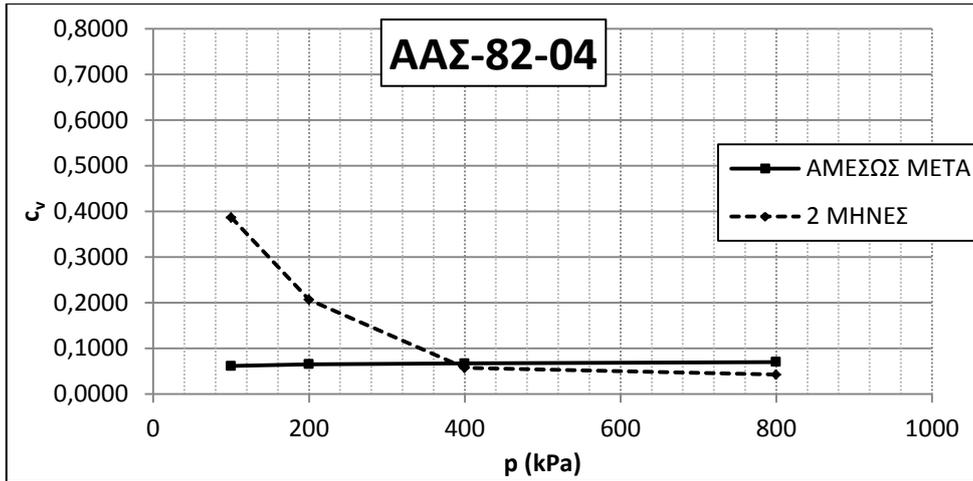
Διάγραμμα 10.1.5

Πίνακας 10.1.4

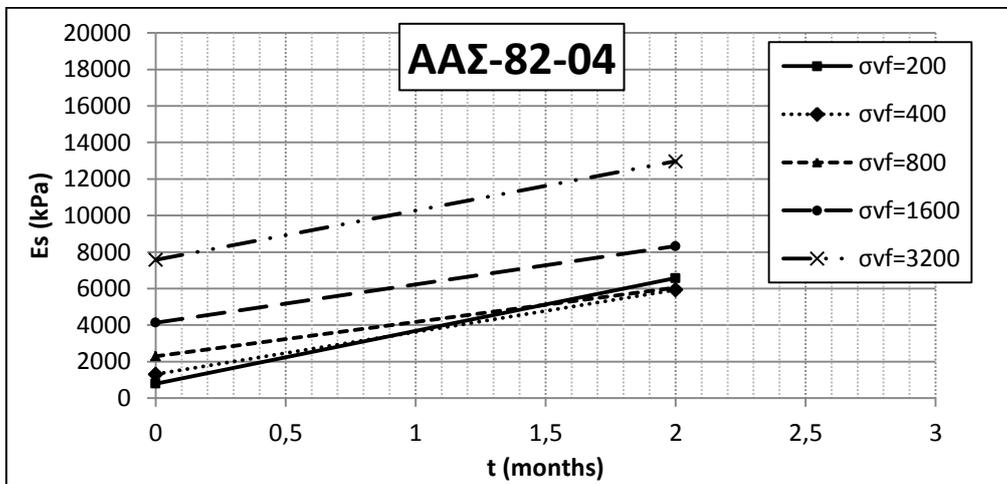
AΑΣ-82-04		ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ
Es (kPa)	σ _{vf} =200	793	6576	3548
	σ _{vf} =400	1310	5935	4117
	σ _{vf} =800	2295	6045	5030
	σ _{vf} =1600	4135	8320	7198
	σ _{vf} =3200	7577	12975	11416
a _v		0,000333855	0,00016668	0,000182
C _c		0,442	0,412	0,421
c _v	σ _v =100	0,0614	0,3866	
	σ _v =200	0,0654	0,2066	
	σ _v =400	0,0672	0,0571	
	σ _v =800	0,0702	0,0427	



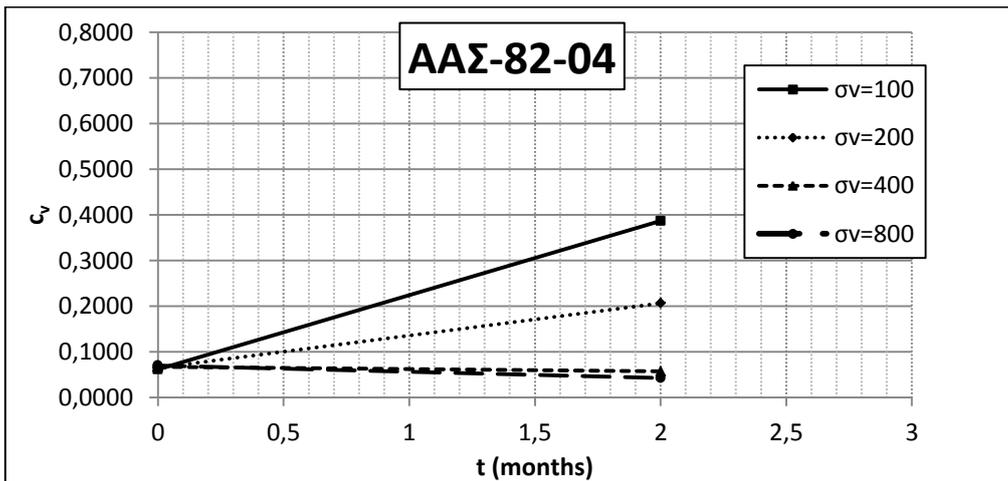
Διάγραμμα 10.1.6



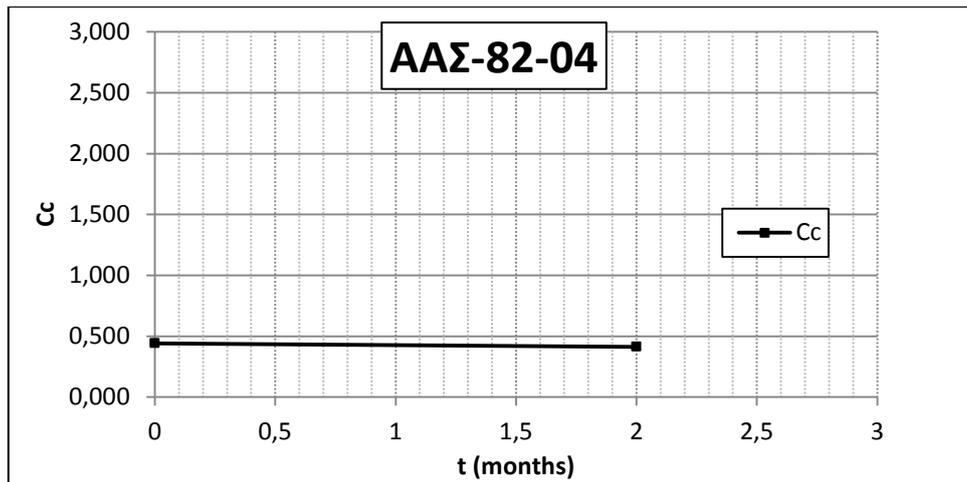
Διάγραμμα 10.1.7



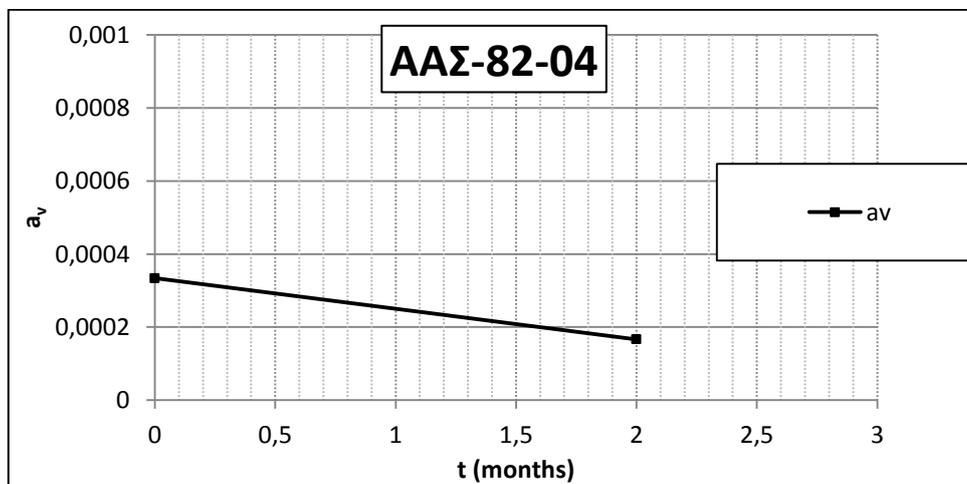
Διάγραμμα 10.1.8



Διάγραμμα 10.1.9



Διάγραμμα 10.1.10



Διάγραμμα 10.1.11

Η καμπύλη συμπίεσης του ΝΠ-82-04 φαίνεται να σημειώνει ηπιότερη κλίση (μειωμένο συντελεστή συμπίεστότητας) μέχρι και τα 12,5kPa περίπου ($e=1,76$). Η καμπύλη των 2 μηνών ωρίμανσης προσεγγίζει αυτήν της μηδενικής ωρίμανσης, η οποία είναι και η VCL καμπύλη συμπίεσης, όμως δεν τη διαπερνά, αλλά φτάνει στα 150kPa περίπου ($e=1,10$) και υποχωρεί, και συγκλίνει αργά προς την VCL, ενώ η καμπύλη των 3 μηνών παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά, φτάνοντας στα 150kPa περίπου ($e=1,00$) και υποχωρεί, και συγκλίνει αργά προς την VCL. Αυτό μαρτυρά ότι δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί δομή στο εσωτερικό του υλικού.

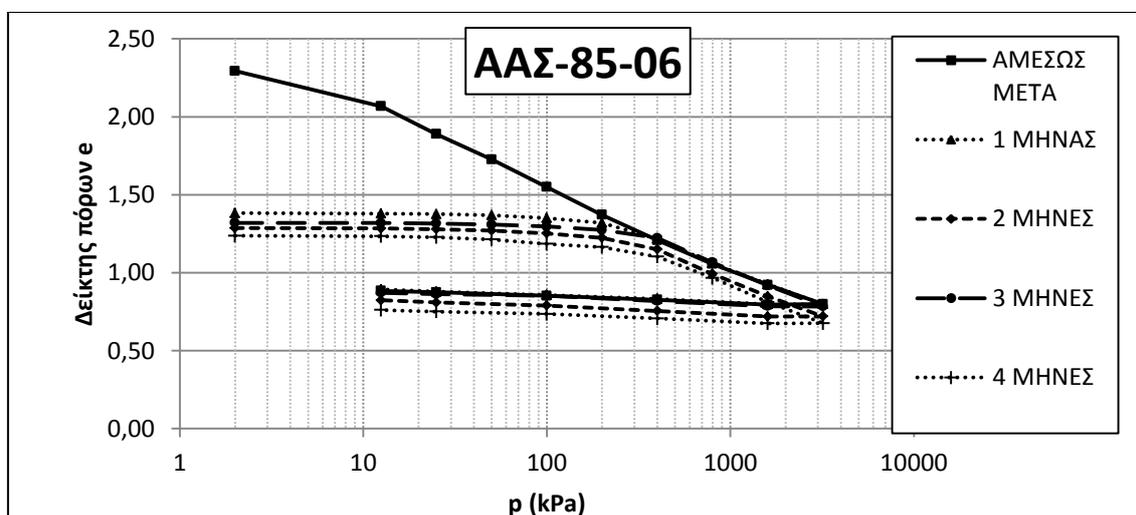
Εδώ φαίνεται ξεκάθαρα η επιρροή της επιβληθείσας προ-συμπύκνωσης. Η σημαντική αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, η πτώση του δείκτη συμπίεστότητας, του συντελεστή συμπίεστότητας, και η αύξηση του συντελεστή στερεοποίησης, καθώς και ο υποδιπλασιασμός του αρχικού δείκτη πόρων καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης είναι σχεδόν εξολοκλήρου αποτελέσματα της συμπύκνωσης αυτής, και όχι της ανάπτυξης δομής. Αμέσως μετά την ανάμιξη, παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, η οποία συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού, καθώς

πρόκειται για κανονικά στερεοποιημένο (μη προφορτισμένο) υλικό. Για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών, παρατηρείται αρχικώς πτώση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης με την αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου, που ακολουθείται από σταδιακή αύξησή του για υψηλότερες τάσεις, συμπεριφορά που συνάδει με την αναμενόμενη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού.

Επίσης, παρατηρείται από αμέσως μετά την ανάμιξη ως 2 μήνες μετά την ανάμιξη μια αύξηση τάξης μεγέθους στο συντελεστή στερεοποίησης για τάσεις χαμηλότερες της τάσης προ-συμπύκνωσης, η οποία αναιρείται αφού ξεπερασθεί αυτή η τάση προ-συμπύκνωσης. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, και λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η αύξηση αυτή αναιρείται για τάσεις μεγαλύτερες της τάσης προ-συμπύκνωσης, φαίνεται πιθανότερο αυτή να οφείλεται σχεδόν εξολοκήρου στην τάση προ-συμπύκνωσης στο συγκεκριμένο υλικό.

10.1.3 ΑΑΣ-85-06

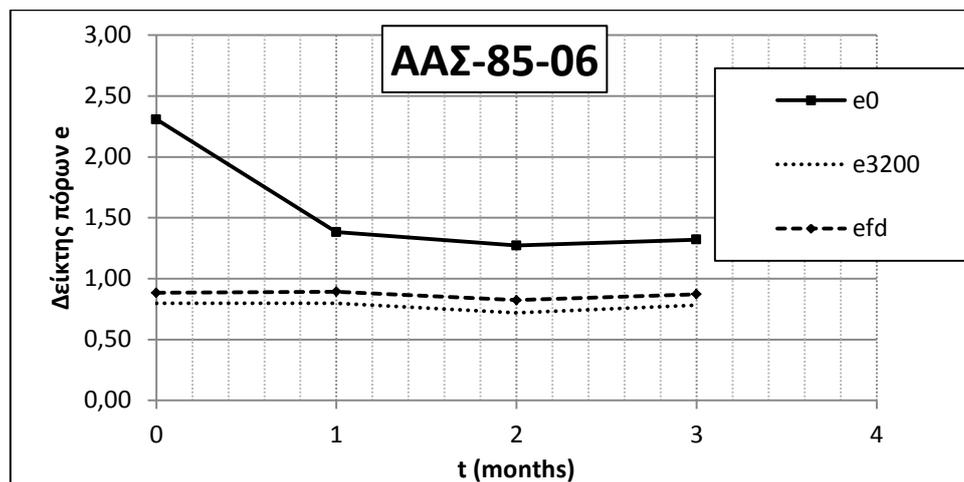
Το παρόν υλικό αποτελείται από 85% υγρασία (νερό) και 6% ιπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Αμέσως μετά την ανάμιξη του συγκεκριμένου υλικού δημιουργήθηκαν τρία δοκίμια, τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης. Στη συνέχεια, το υλικό υποβλήθηκε σε συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa), και αφέθηκε να ωριμάσει. Υποβλήθηκε ξανά σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης μετά από 1, 2, 3, και 4 μήνες ωρίμανσης, με δύο δοκίμια για κάθε χρόνο ωρίμανσης. Για το χρόνο ωρίμανσης 4 μηνών λείπουν κάποια στοιχεία, καθώς οι δοκιμές ολοκληρώθηκαν σε χρόνο που δεν επέτρεπε την περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων.



Διάγραμμα 10.1.12

Πίνακας 10.1.5

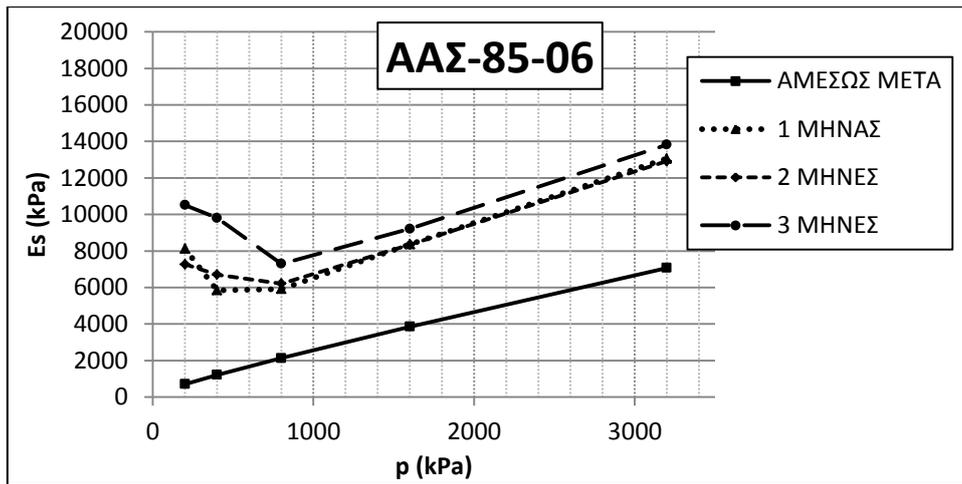
ΑΑΣ-85-06	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	1 ΜΗΝΑΣ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ	4 ΜΗΝΕΣ
e0	2,31	1,38	1,27	1,32	1,24
e3200	0,80	0,80	0,72	0,78	0,68
efd	0,88	0,89	0,82	0,87	0,76



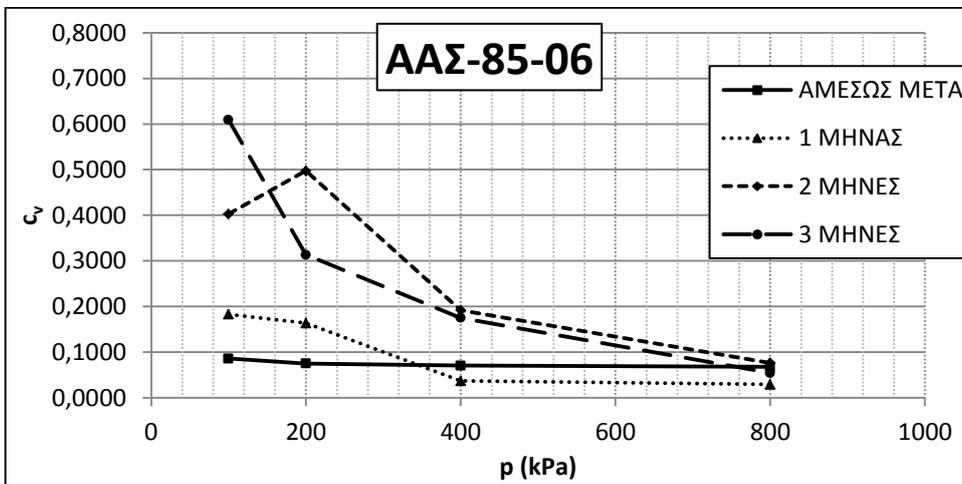
Διάγραμμα 10.1.13

Πίνακας 10.1.6

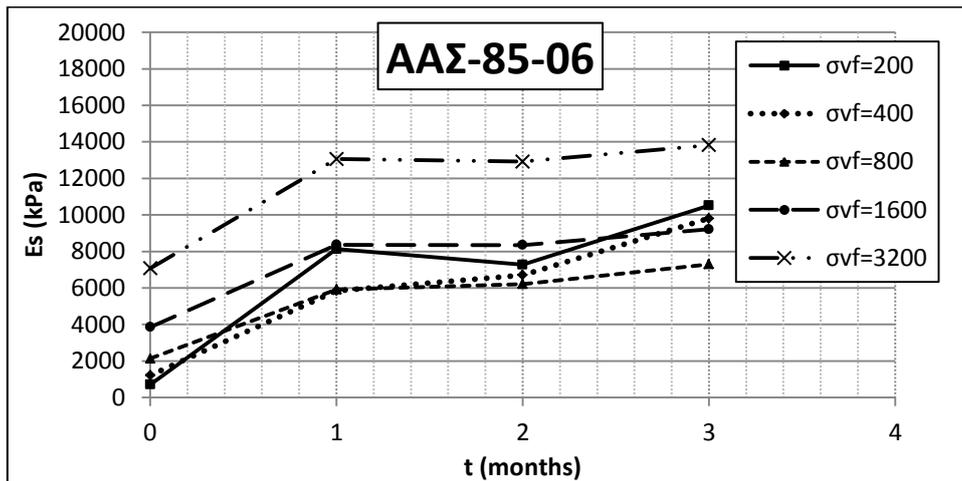
ΑΑΣ-85-06		ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	1 ΜΗΝΑΣ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ	4 ΜΗΝΕΣ
E _s (kPa)	σ _{vf} =200	709	8124	7274	10518	6087
	σ _{vf} =400	1213	5847	6703	9811	6641
	σ _{vf} =800	2131	5919	6218	7295	6613
	σ _{vf} =1600	3852	8361	8349	9215	8386
	σ _{vf} =3200	7073	13059	12921	13817	12744
a _v		0,000398013	0,000182	0,000177	0,000168	0,0001751
C _c		0,514	0,435	0,452	0,470	0,484
C _v	σ _v =100	0,0856	0,1824	0,4028	0,6091	
	σ _v =200	0,0747	0,1634	0,4973	0,3133	
	σ _v =400	0,0703	0,0366	0,1916	0,1747	
	σ _v =800	0,0673	0,0290	0,0761	0,0541	



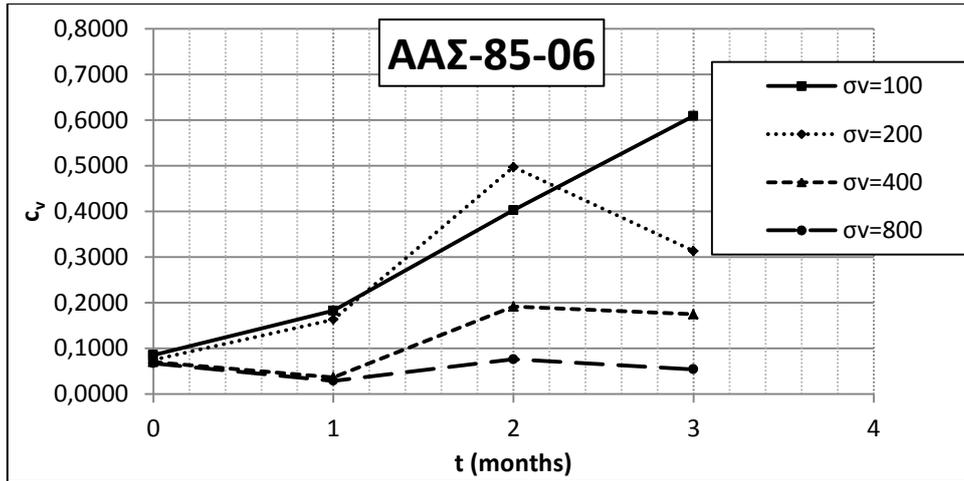
Διάγραμμα 10.1.14



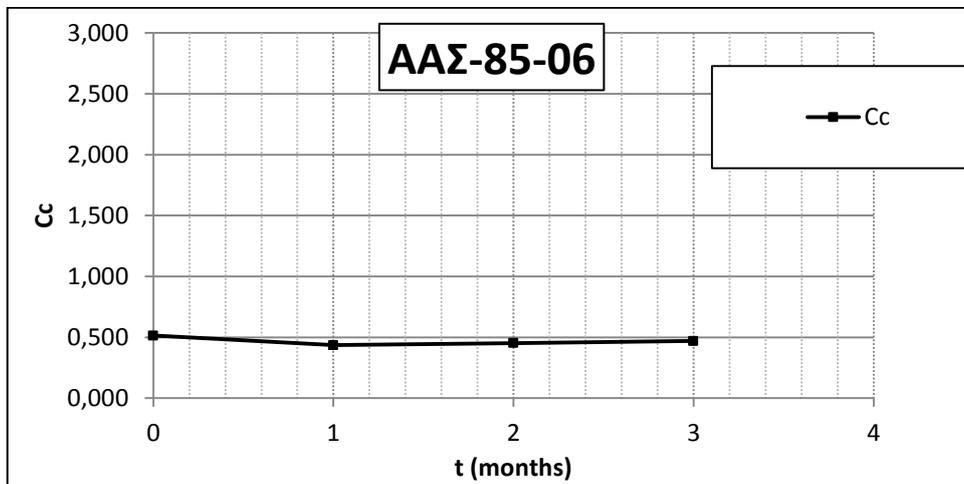
Διάγραμμα 10.1.15



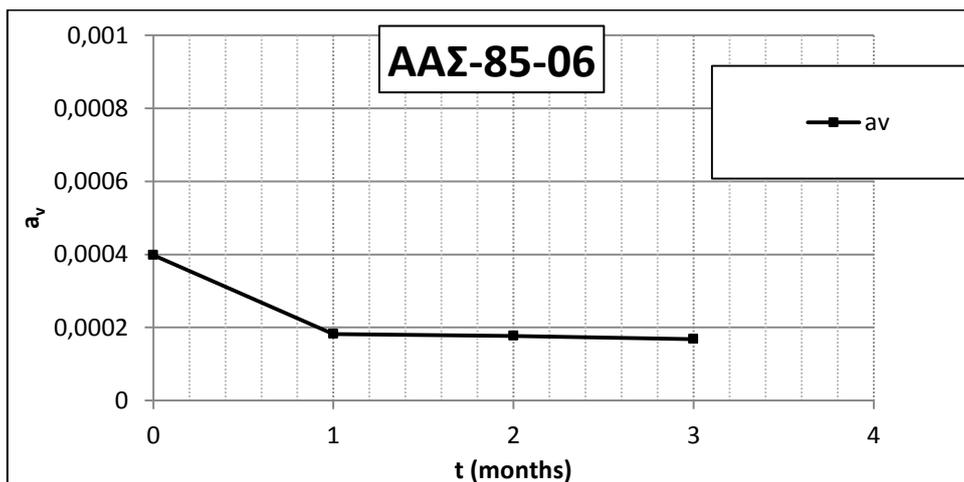
Διάγραμμα 10.1.16



Διάγραμμα 10.1.17



Διάγραμμα 10.1.18



Διάγραμμα 10.1.19

Οι καμπύλες του 1 και των 2 μηνών ωρίμανσης προσεγγίζουν και σχεδόν αγγίζουν αυτήν της μηδενικής ωρίμανσης, όμως δεν τη διαπερνούν, αλλά μόλις φτάσει την επιβληθείσα τάση συμπύκνωσης (300kPa) υποχωρούν, και συνεχίζουν παράλληλα προς την

VCL. Παρατηρείται σχεδόν πλήρης ταύτιση της καμπύλης του 1 μήνα από το σημείο αυτό και πέρα, ενώ η συμπεριφορά της καμπύλης των 2 μηνών αποκλίνει ελάχιστα. Αυτό μαρτυρά ότι ακόμη κι αν έχει αναπτυχθεί δομή στο εσωτερικό του υλικού μέχρι και την παρέλευση των 2 μηνών, αυτή δεν έχει αποκτήσει κάποια αντοχή. Η καμπύλη των 3 μηνών ωρίμανσης διαπερνά ελάχιστα την VCL, υποχωρώντας αμέσως μετά, και συγκλίνοντας προς αυτήν. Αυτό, παρότι δεν μαρτυρά ανάπτυξη αντοχής, δείχνει πως οι μηχανισμοί ανάπτυξής της έχουν κινητοποιηθεί. Συγκριμένα, αμέσως μετά την ανάπτυξη, η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-85-06 φαίνεται να σημειώνει ηπιότερη κλίση (μειωμένο συντελεστή συμπίεστος) μέχρι και τα 12,5kPa περίπου ($e=2,07$), για 1 μήνα ωρίμανσης στα 200kPa περίπου ($e=1,32$), για 2 μήνες ωρίμανσης στα 130kPa περίπου ($e=1,21$), για 3 μήνες ωρίμανσης στα 150kPa περίπου ($e=1,26$), και για 4 μήνες ωρίμανσης στα 150kPa περίπου ($e=1,16$).

Στο σχετικό πίνακα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Αμέσως μετά την ανάμιξη, παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, η οποία συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού, καθώς πρόκειται για κανονικά στερεοποιημένο (μη προφορτισμένο) υλικό. Σε κάθε μεταγενέστερο χρόνο ωρίμανσης, παρατηρείται αρχικώς πτώση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης με την αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου, που ακολουθείται από σταδιακή αύξησή του για υψηλότερες τάσεις, συμπεριφορά που συνάδει με την αναμενόμενη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού. Ο αρχικός δείκτης πόρων αμέσως μετά την ανάμιξη μαρτυρά την ακανόνιστη διάταξη των πλακιδίων, που συνάδει με το γεγονός ότι πρόκειται για κατασκευασμένο υλικό, χωρίς καμία πρότερη δομή, και με υψηλό ποσοστό υγρασίας (περίπου ίσο με το όριο υδαρότητας).

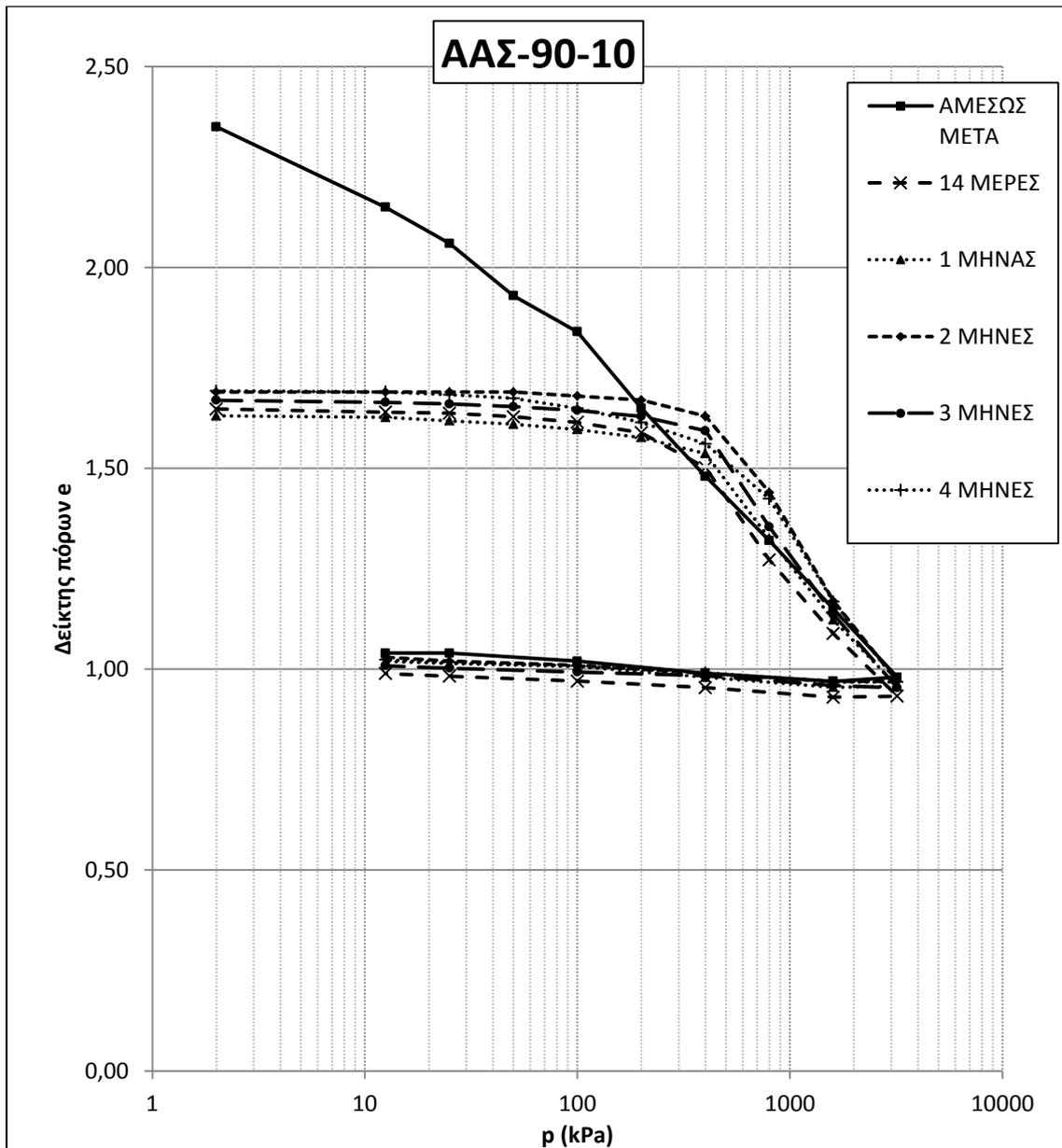
Στην προκειμένη περίπτωση, η σημαντική αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, η πτώση του δείκτη συμπίεστος, του συντελεστή συμπίεστος, και η αύξηση του συντελεστή στερεοποίησης, καθώς και ο σχεδόν υποδιπλασιασμός του αρχικού δείκτη πόρων από αμέσως μετά την ανάπτυξη ως 1 μήνα μετά είναι σχεδόν εξολοκλήρου αποτελέσματα της συμπύκνωσης αυτής, και όχι της ανάπτυξης δομής, όπως είναι αναμενόμενο. Όμως, η τάση αυτή της μεταβολής των παραπάνω χαρακτηριστικών συνεχίζεται και μετά τον 1μήνα, αν και με βραδείς ρυθμούς, μαρτυρώντας, την κινητοποίηση των μηχανισμών ανάπτυξης δομής, η οποία ξεκινά σίγουρα πριν την παρέλευση των 2 μηνών. Ο αρχικός δείκτης πόρων, όπως και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, δε φαίνεται να επηρεάζεται περαιτέρω από την ωρίμανση.

Επίσης, παρατηρείται από αμέσως μετά την ανάμιξη ως 1 μήνα μετά την ανάμιξη μια αύξηση τάξης μεγέθους στο συντελεστή στερεοποίησης για τάσεις χαμηλότερες της τάσης προ-συμπύκνωσης, η οποία αναιρείται αφού ξεπερασθεί αυτή η τάση προ-συμπύκνωσης. Η αυξητική αυτή τάση συνεχίζεται με βραδύτερο ρυθμό και για ωρίμανση 2 και 3 μηνών, όπου και πάλι αναιρείται όταν η επιβληθείσα τάση ξεπεράσει την τάση προ-συμπύκνωσης. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, και λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η αύξηση αυτή αναιρείται για τάσεις μεγαλύτερες της τάσης προ-συμπύκνωσης, στο συγκεκριμένο υλικό φαίνεται πιθανότερο η αύξηση τάξης μεγέθους που σημειώνεται από αμέσως μετά την

ανάμιξη ως 1 μήνα μετά να οφείλεται σχεδόν εξολοκλήρου στην τάση προ-συμπύκνωσης, όμως η περαιτέρω αύξησή του για την περίοδο των 2 και 3 μηνών φαίνεται να οφείλεται στη δραστηριότητα των μηχανισμών ανάπτυξης δομής. Επίσης, με την πάροδο του χρόνου φαίνεται όλο και πιο έντονα η επιρροή της αύξησης της τάσης στον συντελεστή στερεοποίησης, ο οποίος διατηρεί υψηλές τιμές έως την τάση προ-συμπύκνωσης, υποχωρεί κατά μια τάξη μεγέθους μόλις η επιβληθείσα τάση ξεπεράσει την τάση προ-συμπύκνωσης, και συνεχίζει να μειώνεται, με βραδύτερους μεν ρυθμούς, πλην όμως αισθητά, καθώς η τάση συνεχίζει να αυξάνεται.

10.1.4 ΑΑΣ-90-10

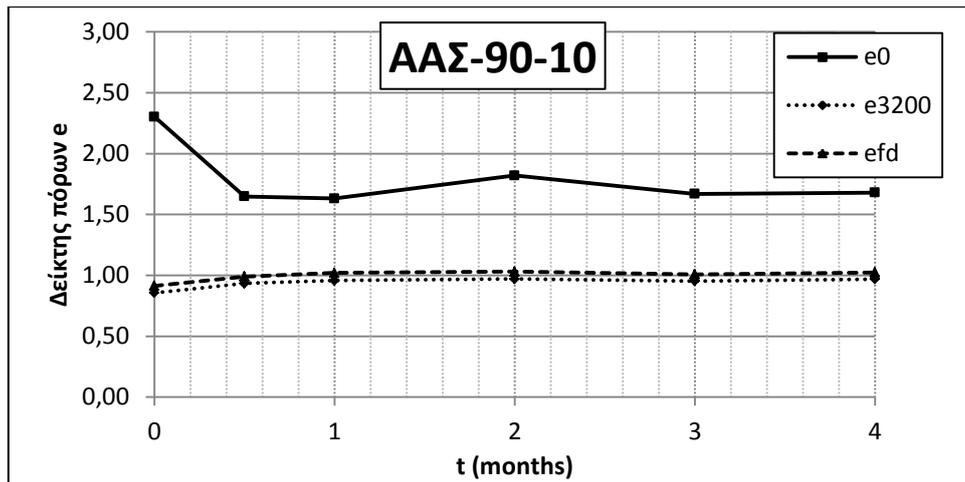
Το παρόν υλικό αποτελείται από 90% υγρασία (νερό) και 10% ιπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Αμέσως μετά την ανάμιξη του συγκεκριμένου υλικού δημιουργήθηκαν τρία δοκίμια, τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης. Στη συνέχεια, το υλικό υποβλήθηκε σε συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa). Αμέσως μετά διαμορφώθηκαν 2 δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης, και το υπόλοιπο του υλικού αφέθηκε να ωριμάσει περαιτέρω. Υποβλήθηκε ξανά σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης 1, 2, 3, και 4 μήνες μετά την αρχική ανάμιξη, με δύο δοκίμια για κάθε χρόνο ωρίμανσης.



Διάγραμμα 10.1.20

Πίνακας 10.1.7

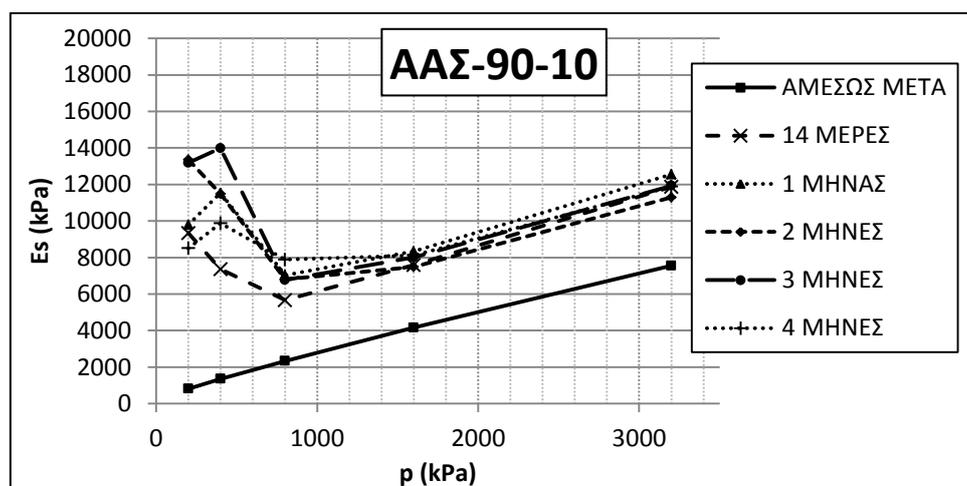
AAΣ-90-10	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	14 ΜΕΡΕΣ	1 ΜΗΝΑΣ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ	4 ΜΗΝΕΣ
e_0	2,30	1,65	1,63	1,82	1,67	1,68
e_{3200}	0,86	0,93	0,96	0,97	0,95	0,97
e_{fd}	0,91	0,99	1,02	1,03	1,01	1,02



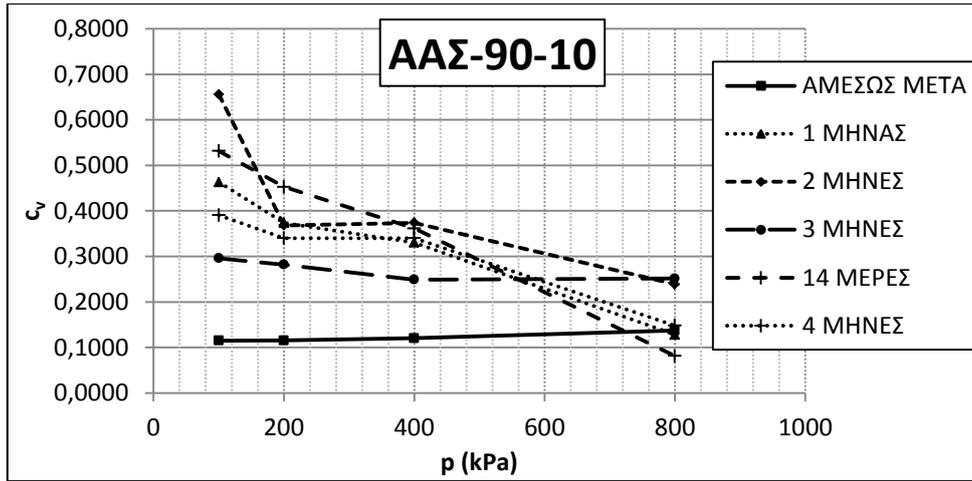
Διάγραμμα 10.1.21

Πίνακας 10.1.8

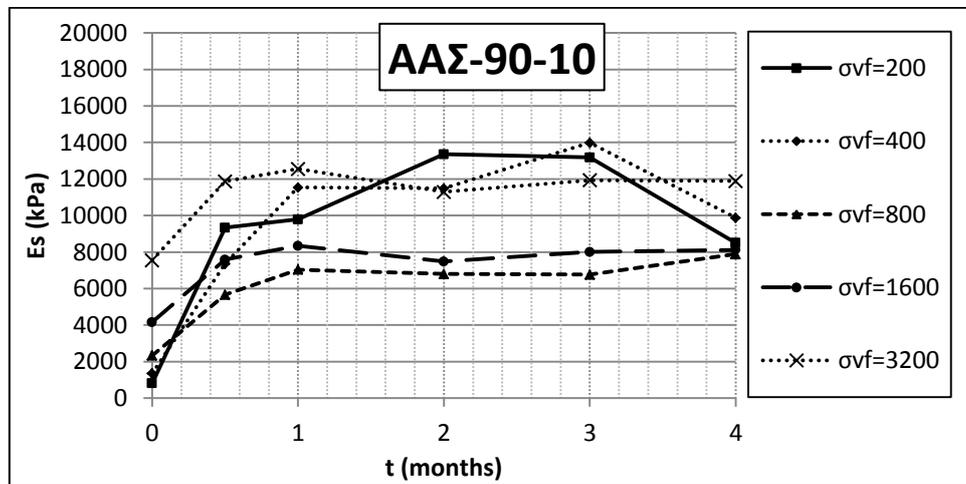
ΑΑΣ-90-10		ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	14 ΜΕΡΕΣ	1 ΜΗΝΑΣ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ	4 ΜΗΝΕΣ
Es (kPa)	σ _v =200	815	9333	9793	13357	13183	8507
	σ _v =400	1353	7359	11533	11488	13985	9875
	σ _v =800	2329	5661	7035	6795	6762	7885
	σ _v =1600	4161	7588	8339	7483	8003	8120
	σ _v =3200	7552	11871	12551	11294	11927	11885
av		0,000394578	0,000221703	0,000209931	0,00022588	0,00022296	0,000227
Cc		0,537	0,563	0,611	0,781	0,666	0,757
cv	σ _v =100	0,1151	0,5315	0,4631	0,6560	0,2959	0,3905
	σ _v =200	0,1154	0,4529	0,3740	0,3681	0,2819	0,3401
	σ _v =400	0,1202	0,3614	0,3302	0,3740	0,2491	0,3401
	σ _v =800	0,1371	0,0813	0,1280	0,2387	0,2515	0,1482



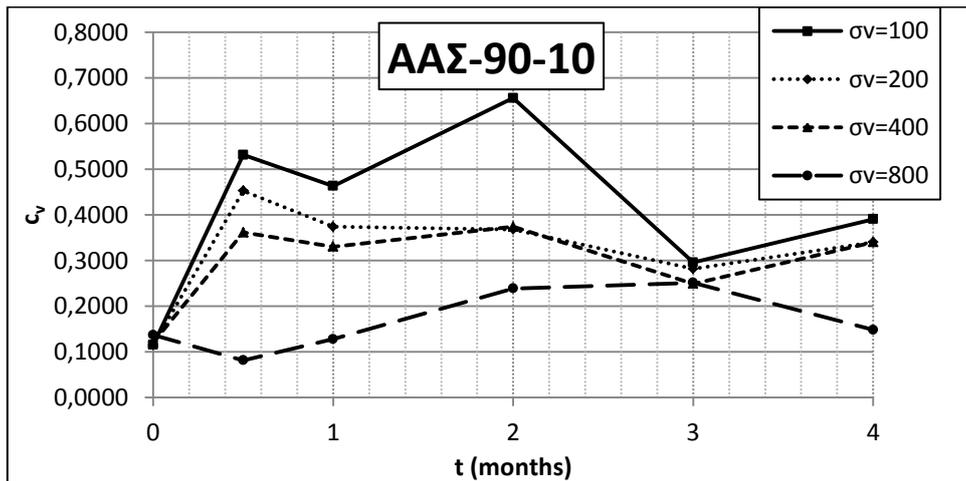
Διάγραμμα 10.1.22



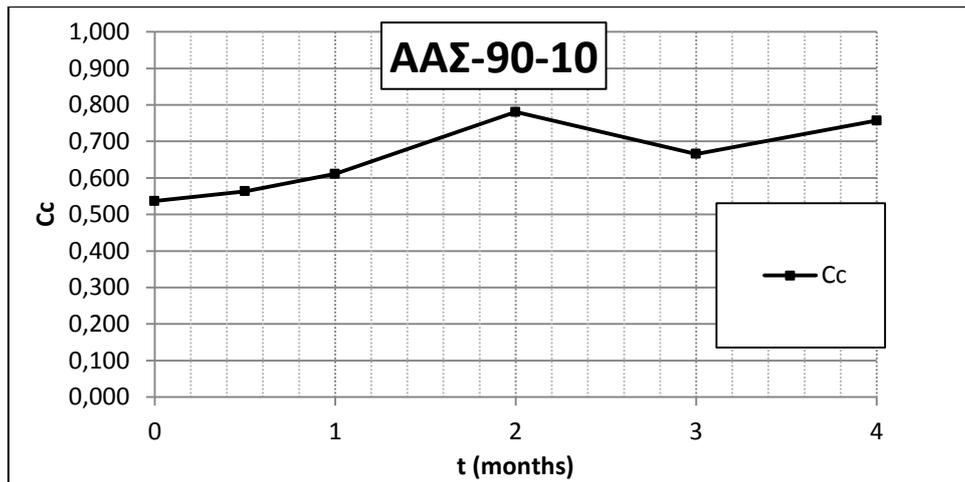
Διάγραμμα 10.1.23



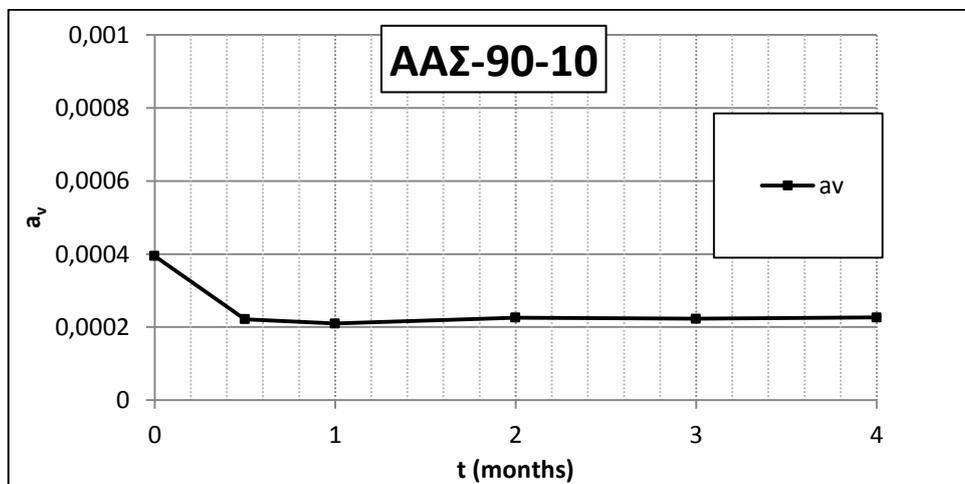
Διάγραμμα 10.1.24



Διάγραμμα 10.1.25



Διάγραμμα 10.1.26



Διάγραμμα 10.1.27

Όλες οι καμπύλες ωρίμανσης διαπερνούν ξεκάθαρα αυτήν της μηδενικής ωρίμανσης, η οποία είναι και η VCL καμπύλη συμπίεσης. Ύστερα, συνεχίζουν ως κάποια υψηλότερη τάση, η οποία είναι όλο και μεγαλύτερη καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης και κυμαίνεται στην περιοχή της τάσης συμπίκνωσης (δηλαδή 200 έως περίπου 400kPa), η οποία εφεξής θα καλείται «φαινόμενη τάση προφόρτισης», και κατόπιν υποχωρούν, συγκλίνοντας προς την VCL καμπύλη. Αυτό μαρτυρά την ανάπτυξη δομής στο εσωτερικό του υλικού από την πρώτη κιόλας στιγμή, αφού την ίδια συμπεριφορά επιδεικνύει και η καμπύλη των 14 ημερών, που πρακτικά ταυτίζεται με το πέρας της διαδικασίας επιβολής προ-συμπύκνωσης στην κυψέλη Proctor, πράγμα που για το συγκεκριμένο υλικό αναιρεί την υπόθεση ότι η ανάπτυξη δομής είναι αμελητέα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επιβολής συμπίκνωσης. Συγκριμένα, αμέσως μετά την ανάπτυξη, η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-90-10 φαίνεται να σημειώνει ηπιότερη κλίση (μειωμένο συντελεστή συμπιεστότητας) μέχρι και τα 25kPa περίπου ($e=2,07$), για 1 μήνα ωρίμανσης παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 300kPa περίπου ($e=1,55$), για 2 μήνα ωρίμανσης στα 220kPa περίπου ($e=1,64$), για 3 μήνες ωρίμανσης 280kPa περίπου ($e=1,61$), και για 4 μήνες ωρίμανσης στα 300kPa περίπου ($e=1,58$),

Στο σχετικό πίνακα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Αμέσως μετά την ανάμιξη, παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, η οποία συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού, καθώς πρόκειται για κανονικά στερεοποιημένο (μη προφορτισμένο) υλικό. Σε κάθε μεταγενέστερο χρόνο ωρίμανσης, παρατηρείται αρχικώς πτώση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης με την αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου, που ακολουθείται από σταδιακή αύξησή του για υψηλότερες τάσεις, συμπεριφορά που συνάδει με την αναμενόμενη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού. Ο αρχικός δείκτης πόρων αμέσως μετά την ανάμιξη μαρτυρά την ακανόνιστη διάταξη των πλακιδίων, που συνάδει με το γεγονός ότι πρόκειται για κατασκευασμένο υλικό, χωρίς καμία πρότερη δομή, και με υψηλό ποσοστό υγρασίας (περίπου ίσο με το όριο υδαρότητας).

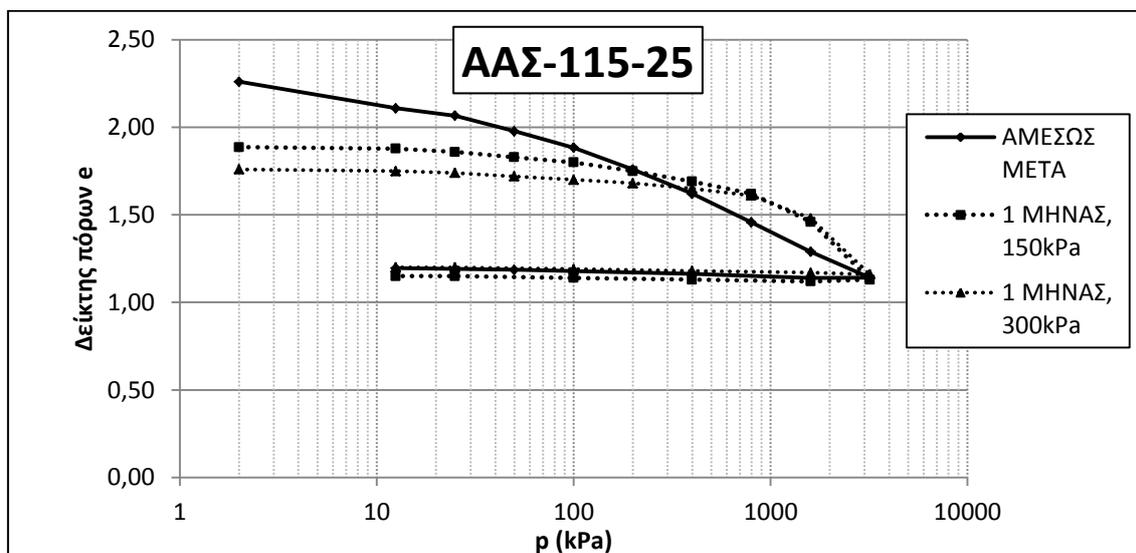
Στην προκειμένη περίπτωση, η σημαντική αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, η πτώση του δείκτη συμπιεστότητας, η αύξηση του συντελεστή συμπιεστότητας, και η αύξηση του συντελεστή στερεοποίησης, από αμέσως μετά την ανάπτυξη ως 14 ημέρες μετά είναι αποτελέσματα τόσο της συμπύκνωσης αυτής, αλλά και της ανάπτυξης δομής. Σημαντικό σημείο το οποίο επιβεβαιώνει το παραπάνω συμπέρασμα είναι πως, ενώ στα χαμηλότερα ποσοστά τέφρας ο αρχικός δείκτης πόρων σχεδόν υποδιπλασιάζονταν κατά την επιβολή προ-συμπύκνωσης, στο συγκεκριμένο υλικό μειώνεται μόλις κατά 30%, πράγμα που σημαίνει πως το υλικό έχει ξεκινήσει να αναπτύσσει δομή από την πρώτη κιόλας στιγμή. Ο αρχικός δείκτης πόρων, όπως και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά δε φαίνεται να επηρεάζεται περαιτέρω από την ωρίμανση.

Επίσης, παρατηρείται πως η συμπεριφορά του συγκεκριμένου υλικού ως προς το συντελεστή στερεοποίησης διαφοροποιείται σημαντικά από αυτήν των προηγούμενων υλικών. Από αμέσως μετά την ανάμιξη ως 14 μέρες μετά την ανάμιξη παρατηρείται μια σημαντική αύξηση στο συντελεστή στερεοποίησης για όλες τις επιβαλλόμενες τάσεις. Επίσης, η αύξηση αυτή του συντελεστή στερεοποίησης δεν αναιρείται για τάσεις μεγαλύτερες της τάσης συμπύκνωσης, αλλά για ακόμα υψηλότερες τάσεις, πράγμα που οδηγεί στο συμπέρασμα πως ο συντελεστής στερεοποίησης είναι άμεσα συνδεδεμένος με την ύπαρξη δομής.

10.1.5 ΑΑΣ-115-25

Το παρόν υλικό αποτελείται από 115% υγρασία (νερό) και 25% ιπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Αμέσως μετά την ανάμιξη του συγκεκριμένου υλικού δημιουργήθηκαν τρία δοκίμια, τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης. Στη συνέχεια, το υλικό υποβλήθηκε σε συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 150kPa και 300kPa). Για χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα, διαμορφώθηκαν 2 δοκίμια για κάθε τάση συμπύκνωσης, τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης. Για το χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα λείπουν κάποια στοιχεία, καθώς οι δοκιμές ολοκληρώθηκαν σε χρόνο που δεν επέτρεπε την περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Λόγω του περιορισμένου αριθμού συσκευών

μονοδιάστατης στερεοποίησης, σε συνδυασμό με τους περιορισμούς χρόνου, δεν ήταν δυνατόν να ληφθούν υπόψη και άλλοι χρόνοι ωρίμανσης.



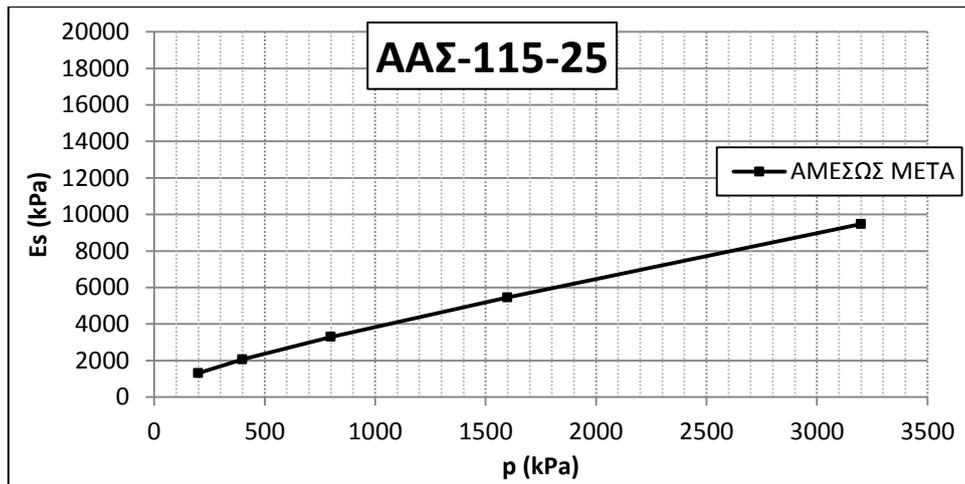
Διάγραμμα 10.1.28

Πίνακας 10.1.9

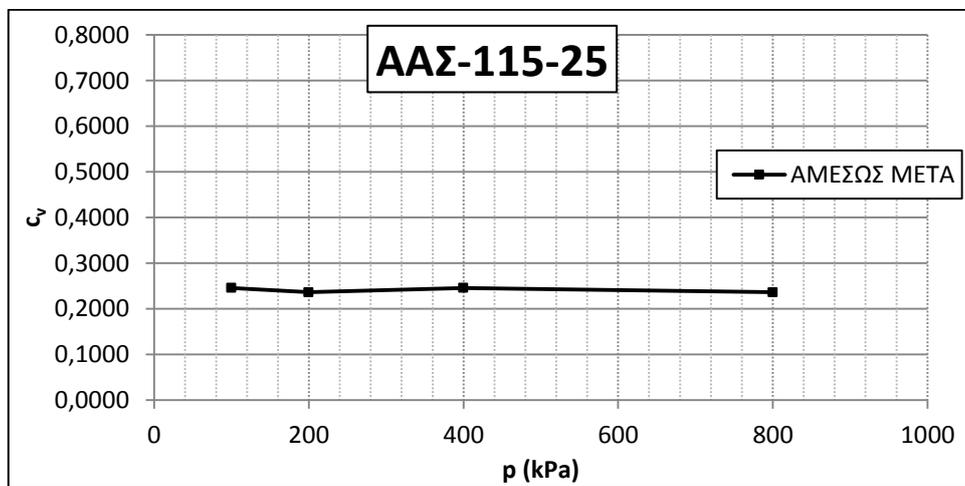
AAΣ-115-25	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	1 ΜΗΝΑΣ (150kPa)	2 ΜΗΝΕΣ (300kPa)
e_0	2,31	1,89	1,76
e_{3200}	1,14	1,13	1,13
e_{fd}	1,20	1,15	1,21

Πίνακας 10.1.10

AAΣ-115-25		ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	1 ΜΗΝΑΣ (150kPa)	1 ΜΗΝΑΣ (300kPa)
E_s (kPa)	$\sigma_{vf}=200$	1310	3414	3735
	$\sigma_{vf}=400$	2063	4069	5042
	$\sigma_{vf}=800$	3298	5070	6210
	$\sigma_{vf}=1600$	5458	7073	7767
	$\sigma_{vf}=3200$	9474	10979	11546
a_v		0,000375	0,000261	0,000236
C_c		0,462	0,642	0,678
c_v	$\sigma_v=100$	0,2457		
	$\sigma_v=200$	0,2362		
	$\sigma_v=400$	0,2457		
	$\sigma_v=800$	0,2362		



Διάγραμμα 10.1.29



Διάγραμμα 10.1.30

Στο σχετικό πίνακα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, η οποία συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού, καθώς πρόκειται για κανονικά στερεοποιημένη άργιλο. Δεν υπάρχει ιδιαίτερη μεταβολή του συντελεστή στερεοποίησης (παρατηρείται μια μικρής σημασίας αύξηση με την αύξηση του φορτίου). Ο αρχικός δείκτης πόρων μαρτυρά την ακανόνιστη διάταξη των πλακιδίων, που συνάδει με το γεγονός ότι πρόκειται για κατασκευασμένο υλικό, χωρίς καμία πρότερη δομή, και με υψηλό ποσοστό υγρασίας (περίπου ίσο με το όριο υδαρότητας).

Οι καμπύλες του 1 μήνα ωρίμανσης διαπερνούν ξεκάθαρα αυτήν της μηδενικής ωρίμανσης, η οποία είναι και η VCL καμπύλη συμπίεσης. Ύστερα, συνεχίζουν ως κάποια υψηλότερη τάση, η οποία κυμαίνεται στην περιοχή της τάσης συμπίκνωσης (δηλαδή 200 έως περίπου 400kPa), την φαινόμενη τάση προφόρτισης, και κατόπιν υποχωρούν, συγκλίνοντας προς την VCL καμπύλη. Αυτό μαρτυρά την ανάπτυξη δομής στο εσωτερικό του υλικού από την πρώτη κιάλας στιγμή. Συγκριμένα, αμέσως μετά την ανάπτυξη, η καμπύλη συμπίεσης του AAΣ-115-25 φαίνεται να σημειώνει ηπιότερη κλίση (μειωμένο συντελεστή συμπιεστότητας)

μέχρι και τα 25kPa περίπου ($e=2,07$), για 1 μήνα ωρίμανσης και προφόρτιση στα 150kPa παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 400kPa περίπου ($e=1,85$), ενώ για 1 μήνα ωρίμανσης και προφόρτιση στα 300kPa παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 800kPa περίπου ($e=1,72$).

Στο σχετικό πίνακα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Αμέσως μετά την ανάμιξη, παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, η οποία συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού, καθώς πρόκειται για κανονικά στερεοποιημένο (μη προφορτισμένο) υλικό. Για χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα, παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη τάση.

Στην προκειμένη περίπτωση, η σημαντική αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, η πτώση του δείκτη συμπιεστότητας, η αύξηση του συντελεστή συμπιεστότητας, και η αύξηση του συντελεστή στερεοποίησης, από αμέσως μετά την ανάπτυξη 1 μήνα ωρίμανσης είναι αποτελέσματα τόσο της συμπύκνωσης αυτής, αλλά και της ανάπτυξης δομής. Σημαντικό σημείο το οποίο επιβεβαιώνει το παραπάνω συμπέρασμα είναι πως, ενώ στα χαμηλότερα ποσοστά τέφρας ο αρχικός δείκτης πόρων σχεδόν υποδιπλασιάζονταν κατά την επιβολή προ-συμπύκνωσης, στο συγκεκριμένο υλικό μειώνεται μόλις κατά 15%, πράγμα που σημαίνει πως το υλικό έχει ξεκινήσει να αναπτύσσει δομή από την πρώτη κιάλας στιγμή.

10.2 Κατά Χρόνο Ωρίμανσης

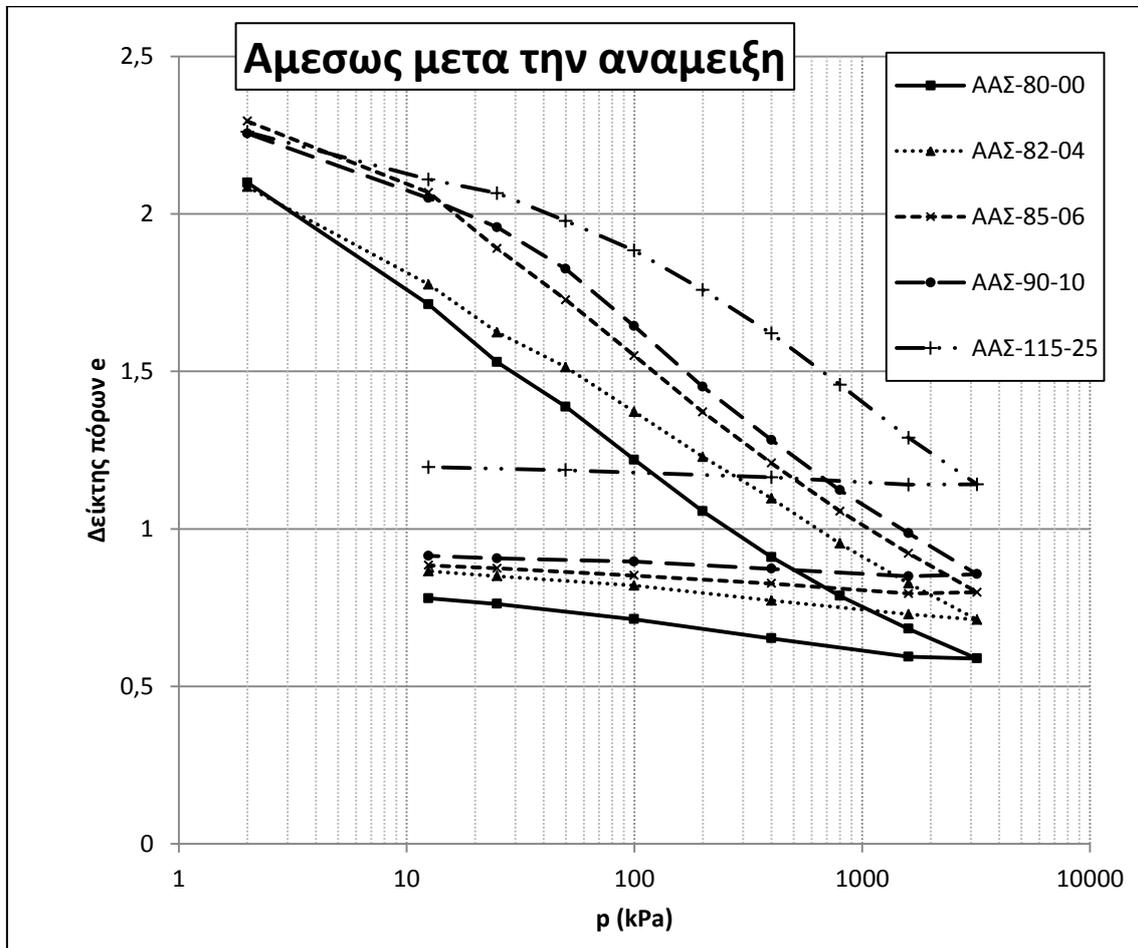
Οι χρονικές ωριμάνσεις που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν τη στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη, τον 1 μήνα, τους 2 μήνες, και τους 3 μήνες μετά την ανάμιξη. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για κάθε χρόνο ωρίμανσης για κάθε υλικό, καθώς χρονικοί και άλλοι περιορισμοί δεν το επέτρεψαν. Επίσης, για το ΑΑΣ-90-10 υπάρχουν στοιχεία για τις 14 ημέρες και τους 4 μήνες μετά την ανάμιξη, τα οποία όμως δεν κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν μόνα τους εδώ, αφ' ενός καθώς αφού δεν υπάρχουν στοιχεία άλλων υλικών σε αυτούς τους χρόνους δεν νοείται σύγκριση, αφ' ετέρου επειδή παρουσιάζονται με όλες τους τις λεπτομέρειες στα αποτελέσματα της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης του υλικού ΑΑΣ-90-10. Ωστόσο, τα στοιχεία είναι επαρκή για τη σαφή σκιαγράφηση της επιρροής του χρόνου ανάπτυξης στα φυσικά χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων υλικών.

10.2.1 Αμέσως μετά την Ανάμιξη

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-80-00, με 80% υγρασία και 0% τέφρα (καθαρή άργιλος), το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, και το ΑΑΣ-115-25, με 115% υγρασία και 25% τέφρα. Για κάθε υλικό διαμορφώθηκαν 3 δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης αμέσως μετά την ανάμιξη του εκάστοτε υλικού.

Παράλληλα, η χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη έχει μία πολύ σημαντική ιδιότητα. Η καμπύλη $e-\log p$ αμέσως μετά την ανάμιξη μπορεί να θεωρηθεί πως είναι η

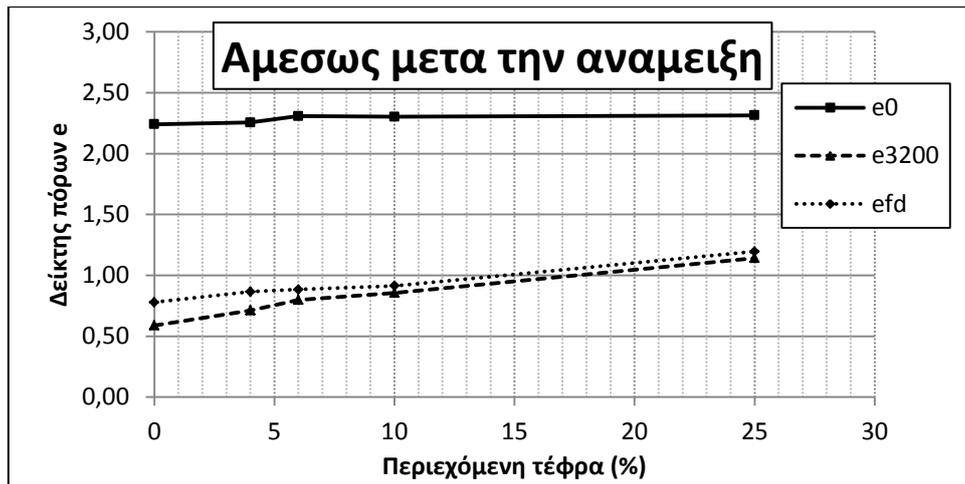
φυσική καμπύλη συμπίεσης (virgin compression line, ή VCL) του συγκεκριμένου προϊόντος ανάμιξης. Έτσι, η σύγκριση των καμπυλών e - $\log p$ των υλικών αμέσως μετά την ανάμιξη αποτελούν τη σύγκριση των VCL καμπυλών e - $\log p$ των εξετασθέντων υλικών.



Διάγραμμα 10.2.1

Πίνακας 10.2.1

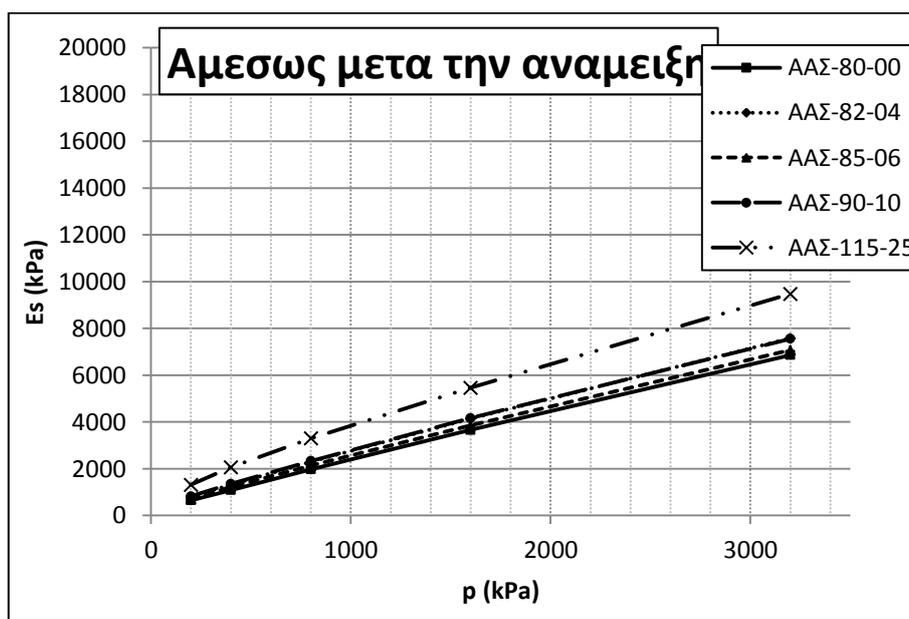
ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	AAΣ-80-00	AAΣ-82-04	AAΣ-85-06	AAΣ-90-10	AAΣ-115-25
e_0	2,24	2,26	2,31	2,30	2,31
e_{3200}	0,59	0,71	0,80	0,86	1,14
e_{fd}	0,78	0,87	0,88	0,91	1,20



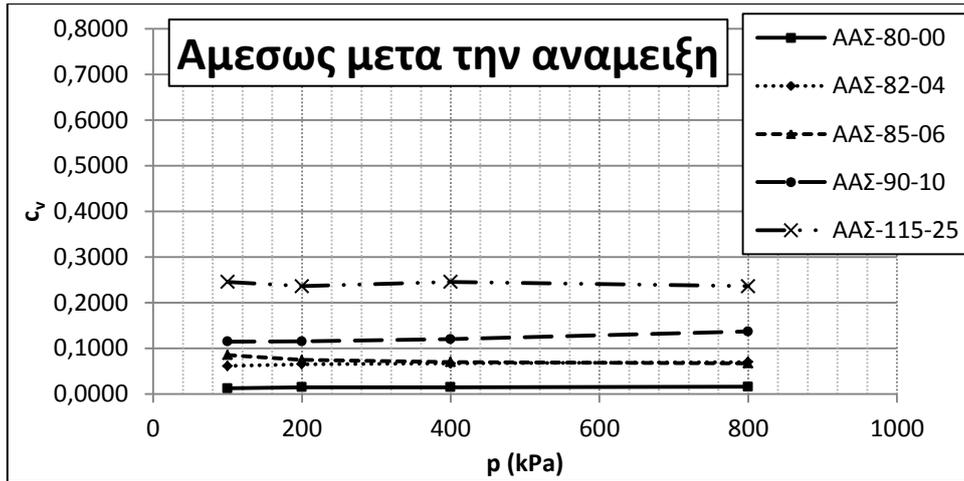
Διάγραμμα 10.2.2

Πίνακας 10.2.2

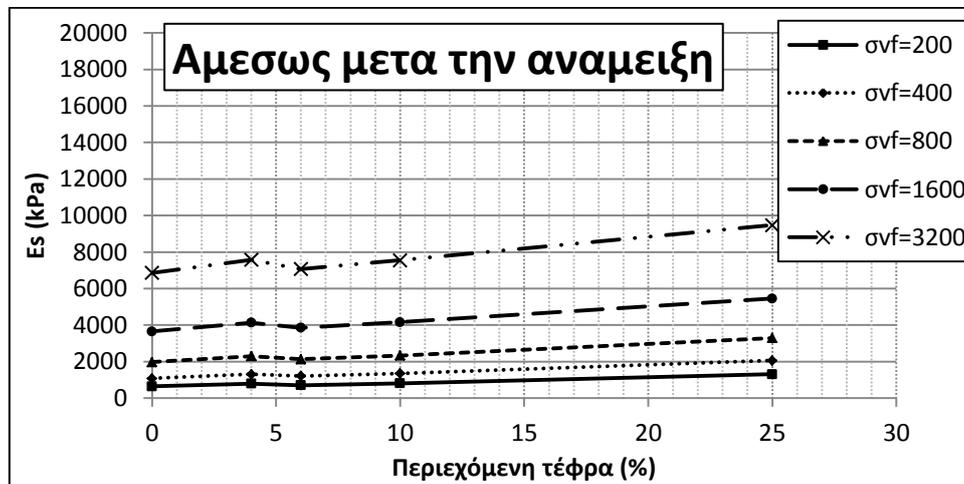
ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	ΑΑΣ-80-00	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10	ΑΑΣ-115-25	
Es (kPa)	σvf=200	650	793	709	815	1310
	σvf=400	1085	1310	1213	1353	2063
	σvf=800	1972	2295	2131	2329	3298
	σvf=1600	3657	4135	3852	4161	5458
	σvf=3200	6862	7577	7073	7552	9474
av	0,00035268	0,000333855	0,000398013	0,000394578	0,000375291	
Cc	0,467	0,442	0,514	0,537	0,462	
cv	σv=100	0,0124	0,0614	0,0856	0,1151	0,2457
	σv=200	0,0151	0,0654	0,0747	0,1154	0,2362
	σv=400	0,0149	0,0672	0,0703	0,1202	0,2457
	σv=800	0,0161	0,0702	0,0673	0,1371	0,2362



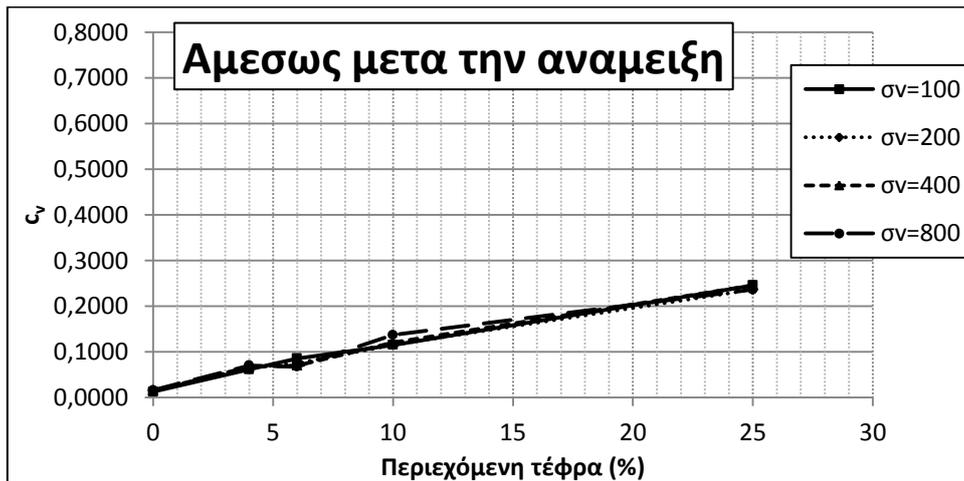
Διάγραμμα 10.2.3



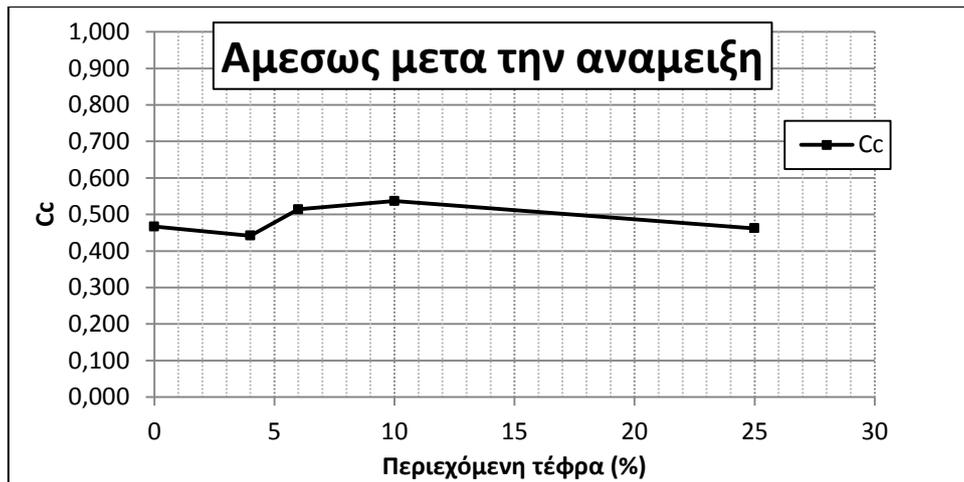
Διάγραμμα 10.2.4



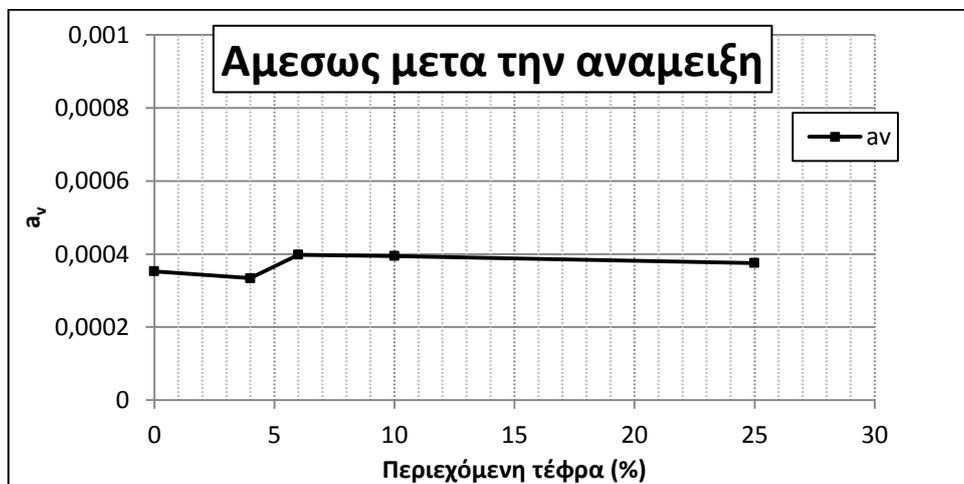
Διάγραμμα 10.2.5



Διάγραμμα 10.2.6



Διάγραμμα 10.2.7



Διάγραμμα 10.2.8

Παρατηρείται απόκλιση των καμπυλών $e\text{-log}p$ ακόμη και από το υλικό ΑΑΣ-82-04, που έχει εξαιρετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα. Η συμπίεστικότητα φαίνεται να μειώνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας, καθώς οι καμπύλες των υλικών με τέφρα είναι παράλληλες με το υλικό χωρίς τέφρα, με ολοένα υψηλότερο τελικό δείκτη πόρων. Η συμπεριφορά αυτή είναι ενδεικτική της μεταβολής των ιδιοτήτων του υλικού εξαιτίας της προσθήκης της τέφρας. Παρατηρείται πως το ΑΑΣ-80-00 και το ΑΑΣ-82-04 εκκινούν πρακτικώς από τον ίδιο αρχικό δείκτη πόρων, ενώ παρατηρείται πρακτικώς κοινή αύξηση του αρχικού δείκτη πόρων για τα ΑΑΣ-85-06, ΑΑΣ-90-10, και ΑΑΣ-115-25. Η αύξηση αυτή προφανώς σχετίζεται με τη διαδικασία της ενυδάτωσης, η οποία φαίνεται να επηρεάζει από την πρώτη κιόλας στιγμή τα μίγματα ΑΑΣ με αυξημένο ποσοστό τέφρας καθώς δημιουργούνται συσσωματώματα που προσδίδουν στο υλικό πιο ανοικτή δομή.

Σε όλα τα μίγματα φαίνεται ήδη από αμέσως μετά την ανάμιξη η τάση για δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Η τάση αυτή είναι μεν υπαρκτή, εκδηλώνεται όμως πολύ ήπια, και εντείνεται ελάχιστα με την αύξηση του ποσοστού τέφρας. Συγκεκριμένα, η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-82-04 φαίνεται να σημειώνει κλίση ελάχιστα ηπιότερη από τη VCL

(μειωμένο συντελεστή συμπίεστικότητας) μέχρι και τα 12,5kPa περίπου ($e=1,76$), η καμπύλη του ΑΑΣ-85-06 σημειώνει σχετικώς ηπιότερη κλίση από την προηγούμενη μέχρι και τα 12,5kPa περίπου ($e=2,07$), η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 σημειώνει εξίσου ήπια κλίση με την προηγούμενη μέχρι και τα 25kPa περίπου ($e=2,07$), και η καμπύλη του ΑΑΣ-115-25 σημειώνει σχετικά ηπιότερη κλίση από τις προηγούμενες μέχρι και τα 50kPa περίπου ($e=2,07$), τάσεις οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν φαινόμενες τάσεις προφόρτισης για το εκάστοτε υλικό. Μόλις αυτές ξεπεραστούν από την επιβαλλόμενη τάση, τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού και τείνει προς την VCL. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως αμέσως μετά την ανάμιξη όλα τα μίγματα ξεκινούν να διαμορφώνουν φαινόμενη τάση προφόρτισης, η οποία είναι σχεδόν ανεπαίσθητη. Αυτή η διαμόρφωση φαινόμενης τάσης προφόρτισης όμως δημιουργεί αισθητή διαφοροποίηση στη συμπίεστικότητα του υλικού, και αυτό φαίνεται αν συγκριθούν οι τιμές του δείκτη πόρων για τάση 3200kPa (e_{3200}), απ' όπου φαίνεται ξεκάθαρα πως αυτός αυξάνεται σταθερά και αισθητά με την αύξηση του ποσοστού τέφρας, γεγονός που μαρτυρά την τάση τα μίγματα με υψηλότερο ποσοστό τέφρας να διατηρούν δείκτη πόρων κοντινότερο στον αρχικό σε σχέση με μίγματα χαμηλότερου ποσοστού τέφρας για το ίδιο επίπεδο φόρτισης.

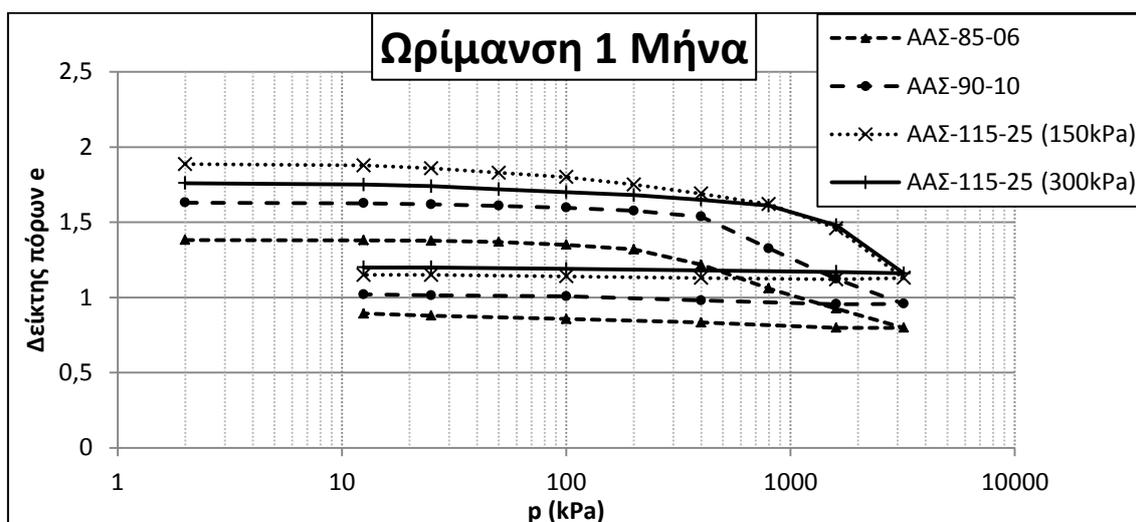
Στο σχετικό πίνακα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού. Αμέσως μετά την ανάμιξη, παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης με αυξανόμενη επιβαλλόμενη τάση, η οποία συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού, καθώς πρόκειται για κανονικά στερεοποιημένο (μη προφορτισμένο) υλικό. Επίσης, παρατηρείται αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης συναρτήσει της αύξησης του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας, η οδηγεί στο συμπέρασμα πως ήδη από αυτό το χρονικό στάδιο η συμπίεστικότητα του υλικού επηρεάζεται από την ύπαρξη τέφρας, καθώς αυξάνεται το ποσοστό της οποίας, μειώνεται η συμπίεστικότητα του υλικού.

Όσον αφορά το συντελεστή στερεοποίησης, παρατηρείται πως αυτός αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας (συγκεκριμένα, αναφέρεται πως παρατηρείται αύξηση τάξης μεγέθους ανάμεσα στο συντελεστή στερεοποίησης για αύξηση του ποσοστού τέφρας από 0% σε 10%). Αυτή η συμπεριφορά είναι άμεση απόρροια της ανοικτότερης δομής που παρατηρείται στα υλικά καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Στο εκάστοτε υλικό, καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη τάση, ο συντελεστής στερεοποίησης φαίνεται να παραμένει μάλλον σταθερός, που σημαίνει πως δεν επέρχεται αισθητή μεταβολή στην περατότητα του υλικού καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη φόρτιση.

Τέλος, παρατηρείται πως ο δείκτης συμπίεστικότητας και ο συντελεστής συμπίεστικότητας παραμένουν εν γένει σταθεροί καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας, πράγμα που σημαίνει πως η καμπύλη συμπίεσης δεν επηρεάζεται από το αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς τα υλικά συμπεριφέρονται ως κανονικώς στερεοποιημένα υλικά, αφού δεν έχει προχωρήσει η δράση της τέφρας σε βαθμό που να επηρεάσει τη συμπεριφορά τους.

10.2.2 Ωρίμανση 1 Μήνα

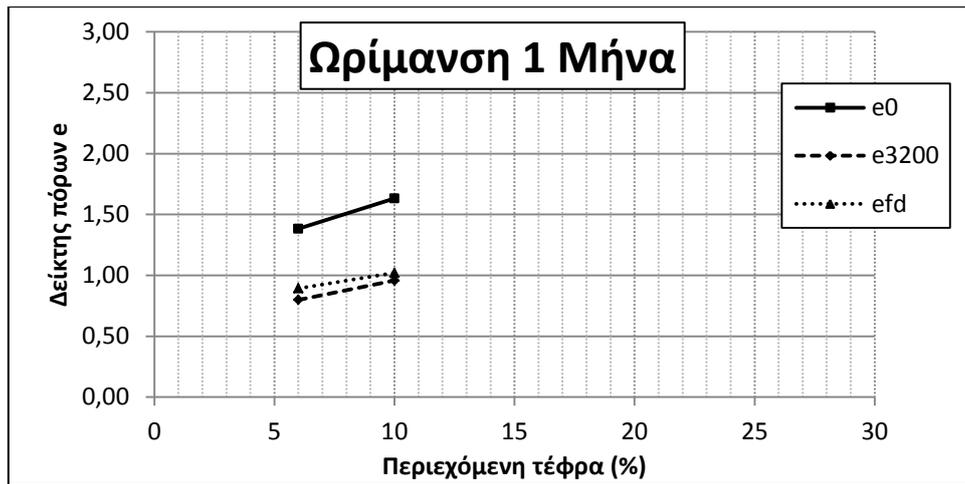
Τα υλικά που εξετάσθηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, και το ΑΑΣ-115-25, με 115% υγρασία και 25% τέφρα, με τάσεις συμπύκνωσης 150kPa και 300kPa. Και τα δύο υλικά υποβλήθηκαν σε συμπύκνωση υπό τάση 300kPa, και για κάθε υλικό διαμορφώθηκαν 2 δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης 1 μήνα μετά την ανάμιξη του εκάστοτε υλικού, δηλαδή περίπου 15 ημέρες μετά το πέρας της διαδικασίας επιβολής συμπύκνωσης. Για τα υλικά ΑΑΣ-115-25 λείπουν κάποια στοιχεία, καθώς οι δοκιμές ολοκληρώθηκαν σε χρόνο που δεν επέτρεπε την περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων.



Διάγραμμα 10.2.9

Πίνακας 10.2.3

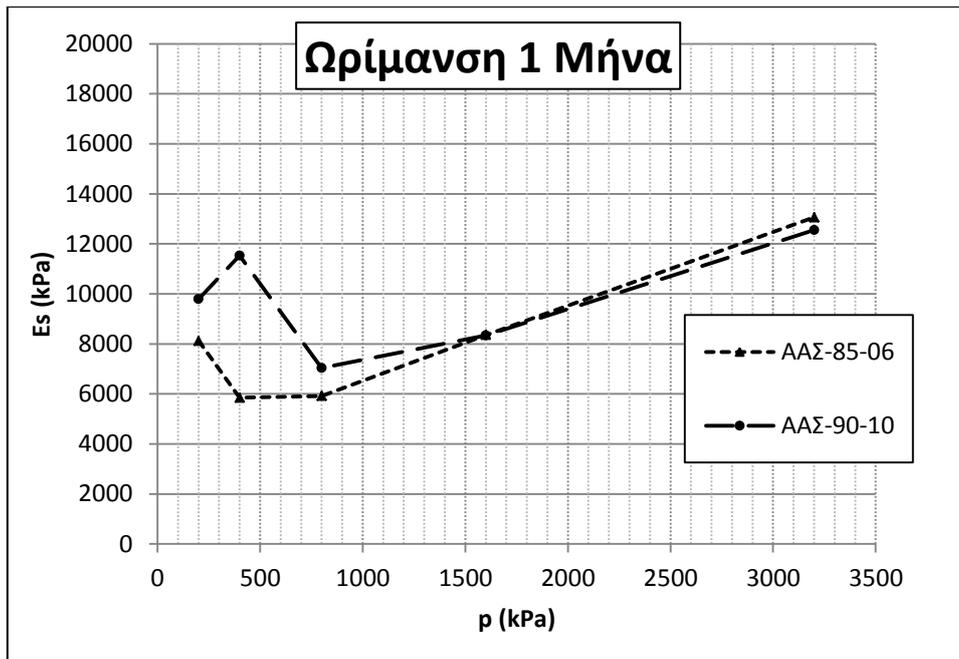
1 ΜΗΝΑΣ	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10	ΑΑΣ-115-25 (150kPa)	ΑΑΣ-115-25 (300kPa)
e_0	1,38	1,63	1,89	1,76
e_{3200}	0,80	0,96	1,13	1,13
e_{fd}	0,89	1,02	1,15	1,21



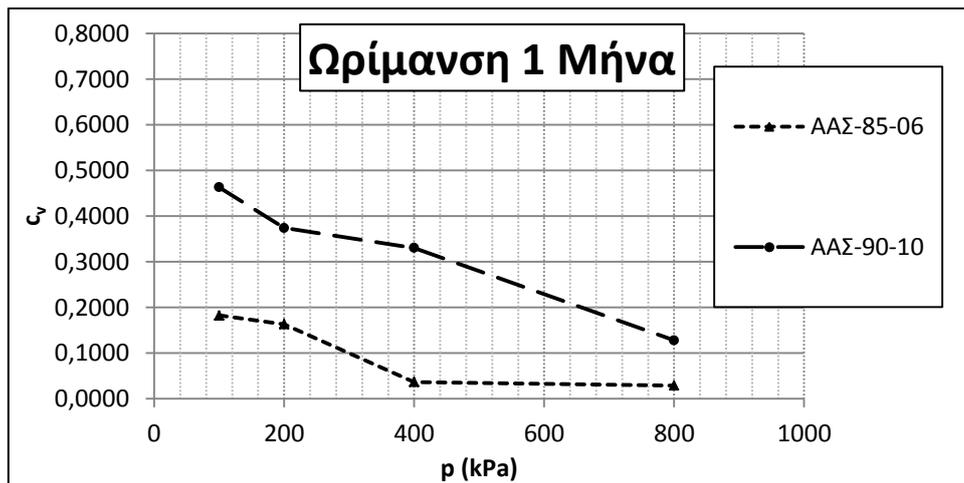
Διάγραμμα 10.2.10

Πίνακας 10.2.4

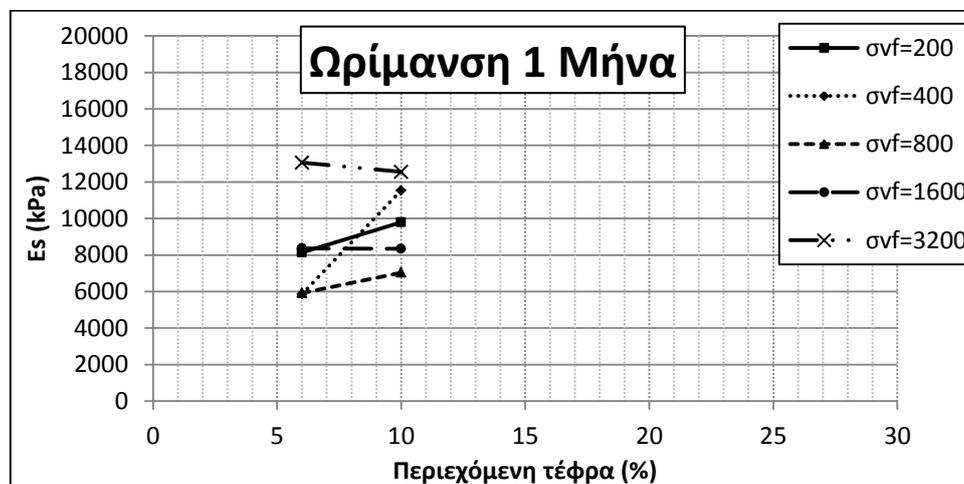
1 ΜΗΝΑΣ		ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10	ΑΑΣ-115-25 (150kPa)	ΑΑΣ-115-25 (300kPa)
E_s (kPa)	$\sigma_{vf}=200$	8124	3414	3414	3735
	$\sigma_{vf}=400$	5847	4069	4069	5042
	$\sigma_{vf}=800$	5919	5070	5070	6210
	$\sigma_{vf}=1600$	8361	7073	7073	7767
	$\sigma_{vf}=3200$	13059	10979	10979	11546
a_v		0,00018237	0,00020993	0,000261	0,000236
C_c		0,435	0,611	0,642	0,678
c_v	$\sigma_v=100$	0,1824	0,4631		
	$\sigma_v=200$	0,1634	0,3740		
	$\sigma_v=400$	0,0366	0,3302		
	$\sigma_v=800$	0,0290	0,1280		



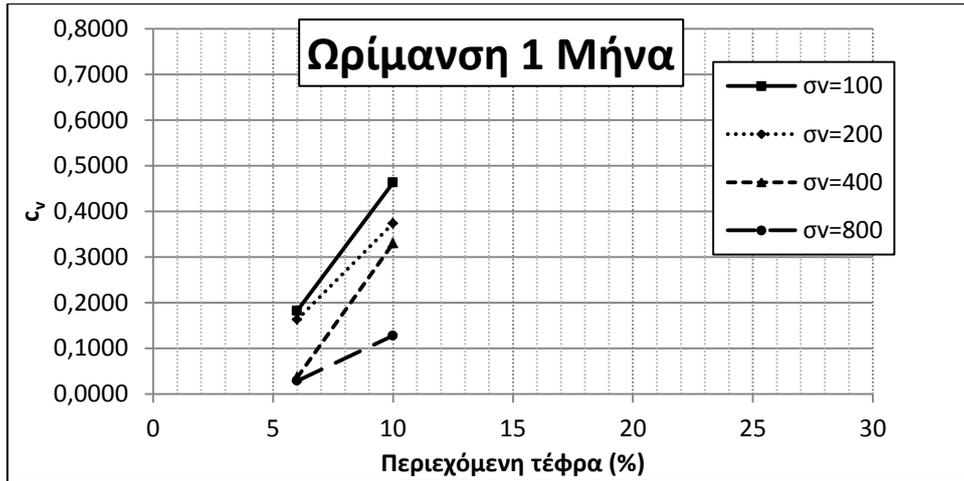
Διάγραμμα 10.2.11



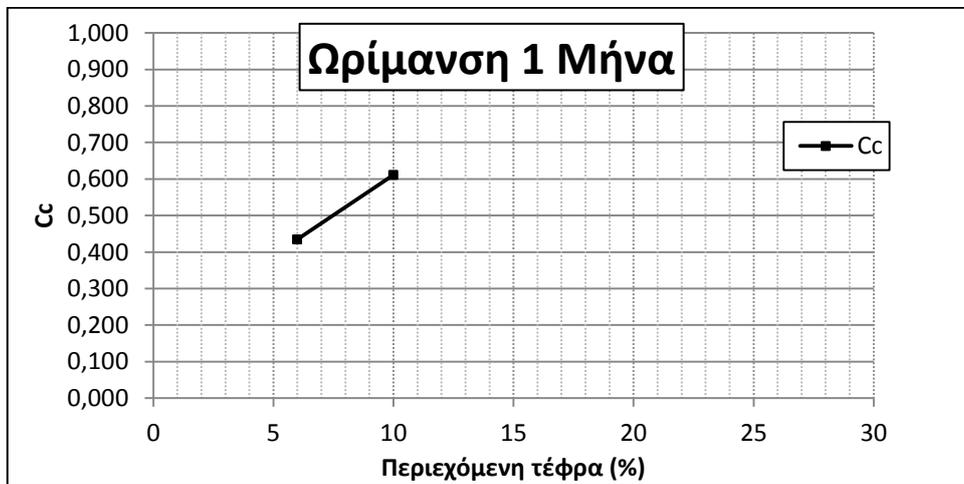
Διάγραμμα 10.2.12



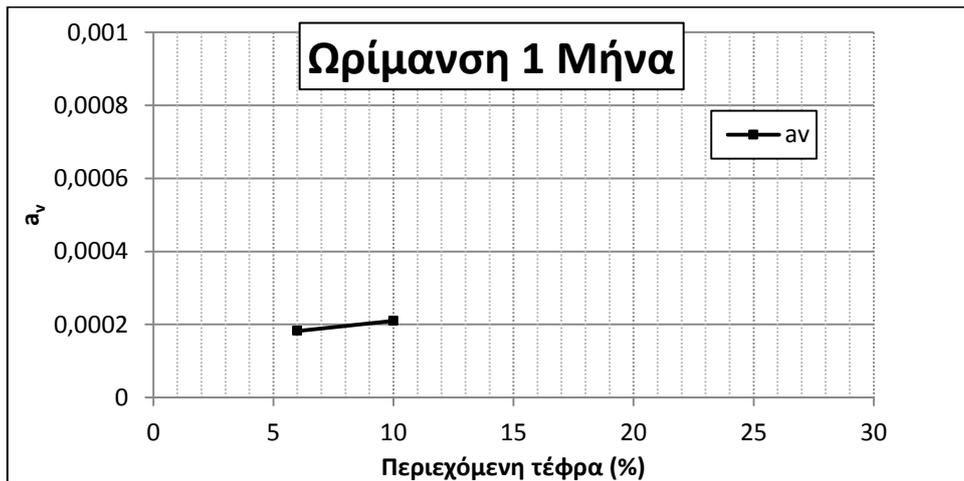
Διάγραμμα 10.2.13



Διάγραμμα 10.2.14



Διάγραμμα 10.2.15



Διάγραμμα 10.2.16

Παρατηρείται συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού και στις δύο περιπτώσεις, σημειώνεται όμως απόκλιση μεταξύ των δύο καμπυλών $e-\log p$. Παρατηρείται ότι ο αρχικός δείκτης πόρων για κάθε μίγμα παρουσιάζεται σημαντικά μειωμένος από αμέσως μετά την

ανάμιξη προς τον αμέσως επόμενο χρόνο ωρίμανσης, φαινόμενο που οφείλεται στην επιβαλλόμενη συμπύκνωση 300kPa στην οποία υπόκεινται όλα τα μίγματα με σκοπό την προσομοίωση υπερκείμενων γαιών ύψους περίπου 15m. Επίσης, καθώς φαίνεται και στους σχετικούς πίνακες, ο αρχικός δείκτης πόρων παρουσιάζει αύξηση για αυξανόμενο ποσοστό περιεχόμενης τέφρας και στα δύο είδη μιγμάτων. Η σημαντική αυτή διαφοροποίηση του αρχικού δείκτη πόρων μεταξύ των μιγμάτων οφείλεται στην έναρξη της δράσης ανάπτυξης δομής της τέφρας, κατά την οποία δημιουργούνται συσσωματώματα και προσδίδουν ανοικτότερη δομή στα υλικά.

Παράλληλα, και στα δύο μίγματα αργίλου-τέφρας φαίνεται η τάση για δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Η τάση αυτή γίνεται ολοένα εντονότερη καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Συγκεκριμένα, η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-85-06 παρουσιάζει τάση προφόρτισης στα 200kPa περίπου ($e=1,32$), και η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 στα 300kPa περίπου ($e=1,55$), η καμπύλη του ΑΑΣ-115-25 για 1 μήνα ωρίμανσης και προφόρτιση στα 150kPa παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 400kPa περίπου ($e=1,85$), ενώ για 1 μήνα ωρίμανσης και προφόρτιση στα 300kPa παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 800kPa περίπου ($e=1,72$) τάσεις οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν φαινόμενες τάσεις προφόρτισης για το εκάστοτε υλικό. Μόλις αυτές ξεπεραστούν από την επιβαλλόμενη τάση, τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού και τείνει η καθεμία προς την αντίστοιχη VCL της (οι οποίες δε φαίνονται στο διάγραμμα). Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως έως και τον 1 μήνα ωρίμανσης όλα τα μίγματα συνεχίζουν να διαμορφώνουν φαινόμενη τάση προφόρτισης, η οποία αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτή η διαμόρφωση φαινόμενης τάσης προφόρτισης όμως δημιουργεί εξίσου σημαντική διαφοροποίηση στη συμπιεστότητα του υλικού.

Ο συνδυασμός των παραπάνω, δηλαδή της αύξησης του αρχικού δείκτη πόρων και της φαινόμενης τάσης προφόρτισης συναρτήσει της αύξησης του ποσοστού τέφρας επιβεβαιώνεται αν συγκριθούν οι τιμές του δείκτη πόρων για τάση 3200kPa (e_{3200}), απ' όπου φαίνεται ξεκάθαρα πως αυτός αυξάνεται σταθερά και αισθητά με την αύξηση του ποσοστού τέφρας, γεγονός που μαρτυρά την τάση τα μίγματα με υψηλότερο ποσοστό τέφρας να διατηρούν δείκτη πόρων κοντινότερο στον αρχικό σε σχέση με μίγματα χαμηλότερου ποσοστού τέφρας για το ίδιο επίπεδο φόρτισης.

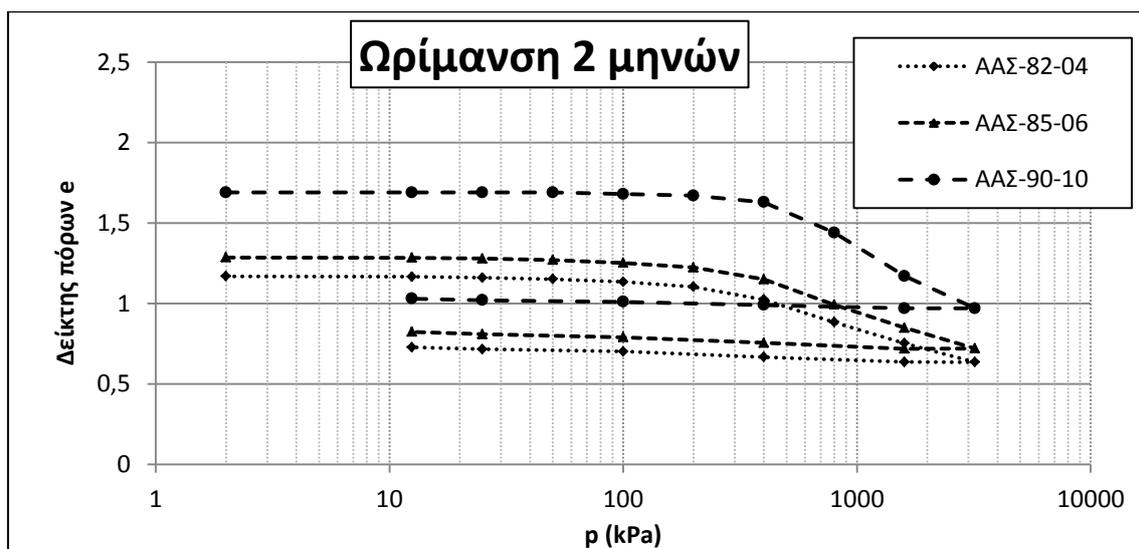
Στο σχετικό πίνακα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού για 1 μήνα ωρίμανση, και παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης μετά την τάση των 200kPa, καθώς μέχρι τα 200kPa το υλικό βρίσκεται στη φάση της επαναφόρτισης και η συμπιεστότητά του είναι αισθητά μειωμένη, όπως αποτυπώνεται και στο αρκετά χαμηλότερο μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης των 200kPa. Η συμπεριφορά αυτή συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού, καθώς πρόκειται για προστεροποιημένο (προφορτισμένο) υλικό. Έτσι, εμμέσως επιβεβαιώνεται πως η φαινόμενη τάση προφόρτισης του ΑΑΣ-85-06 είναι μεταξύ 200kPa και 400kPa, ενώ η φαινόμενη τάση προφόρτισης του ΑΑΣ-90-10 είναι μεταξύ 400kPa και 800kPa.

Επίσης, παρατηρείται στο κάθε υλικό σημαντική μείωση του συντελεστή στερεοποίησης καθώς η επιβαλλόμενη τάση ξεπερνά την φαινόμενη τάση προφόρτισης. Έτσι, εμμέσως επιβεβαιώνεται πως η φαινόμενη τάση προφόρτισης του ΑΑΣ-85-06 είναι μεταξύ 200kPa και 400kPa (μείωση συντελεστή στερεοποίησης κατά μία τάξη μεγέθους μεταξύ των τάσεων 200kPa και 400kPa) και η φαινόμενη τάση προφόρτισης του ΑΑΣ-90-10 είναι μεταξύ 200kPa και 400kPa (μείωση κατά 30% του συντελεστή στερεοποίησης μεταξύ των τάσεων 200kPa και 400kPa, περαιτέρω μείωση κατά 30% του συντελεστή στερεοποίησης μεταξύ των τάσεων 400kPa και 800kPa). Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ικανότητα ενός υλικού να στερεοποιείται επηρεάζεται από την ανάπτυξη δομής, αυξάνοντας την για τάσεις μικρότερες της φαινόμενης τάσης προφόρτισης.

Τέλος, παρατηρείται αύξηση του δείκτη συμπιεστότητας και του συντελεστή συμπιεστότητας καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας, πράγμα που σημαίνει πως ο κλάδος της κανονικής φόρτισης επηρεάζεται από το αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτό συμβαίνει επειδή οι καμπύλες συμπίεσης παρουσιάζουν αρκετά αυξημένο αρχικό δείκτη πόρων και υψηλή φαινόμενη τάση προφόρτισης ώστε, αφού αυτή ξεπεραστεί και τα υλικά μπουν στον κλάδο κανονικής φόρτισης τείνοντας προς τη VCL καμπύλη συμπίεσης, ο συντελεστής συμπιεστότητας να αυξάνεται ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση με τη VCL.

10.2.3 Ωρίμανση 2 Μηνών

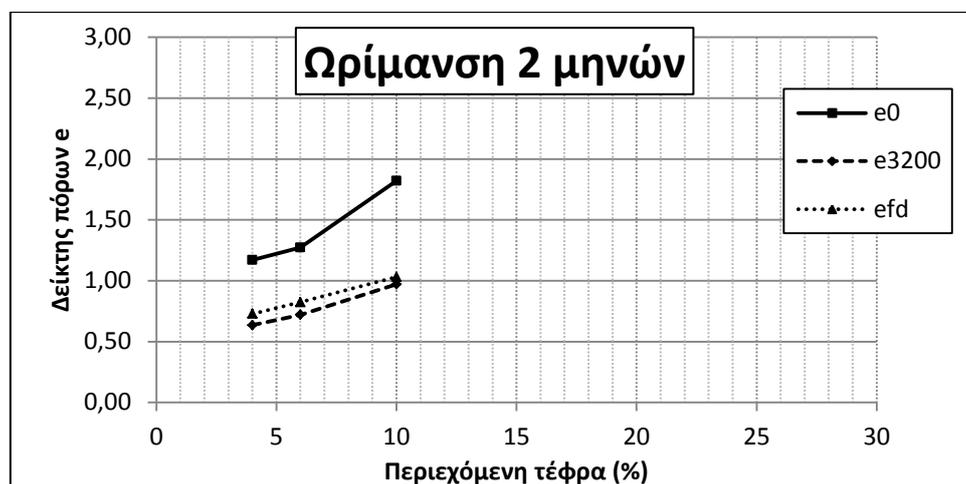
Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, και το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα. Και τα τρία υλικά είχαν υποβληθεί σε συμπύκνωση υπό τάση 300kPa, και για κάθε υλικό διαμορφώθηκαν 2 δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης 2 μήνες μετά την ανάμιξη του εκάστοτε υλικού, δηλαδή περίπου 1,5 μήνα μετά το πέρας της διαδικασίας επιβολής συμπύκνωσης.



Διάγραμμα 10.2.17

Πίνακας 10.2.5

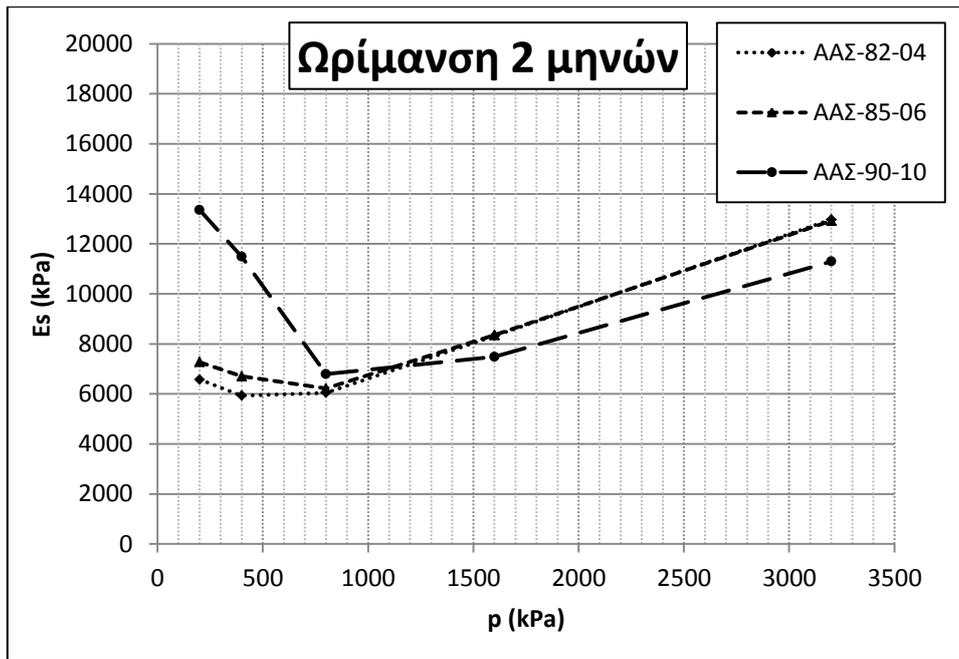
2 ΜΗΝΕΣ	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10
e_0	1,17	1,27	1,82
e_{3200}	0,63	0,72	0,97
e_{fd}	0,73	0,82	1,03



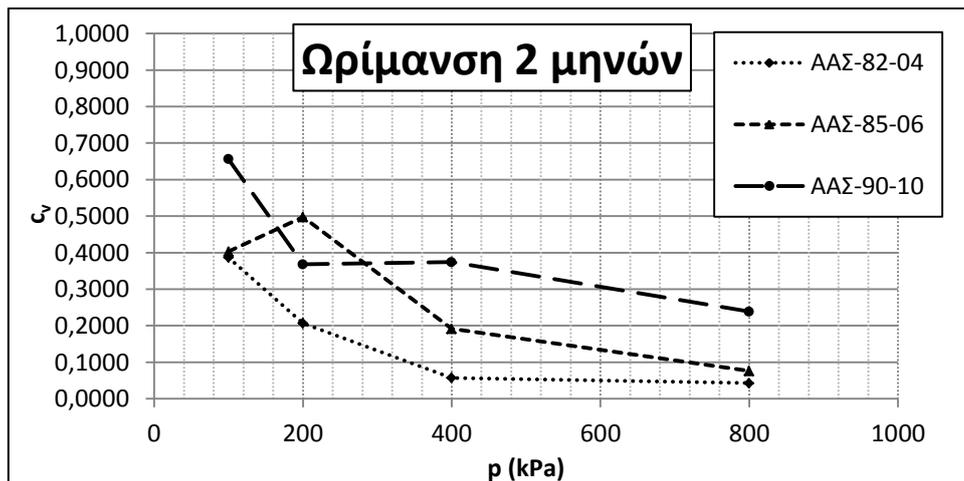
Διάγραμμα 10.2.18

Πίνακας 10.2.6

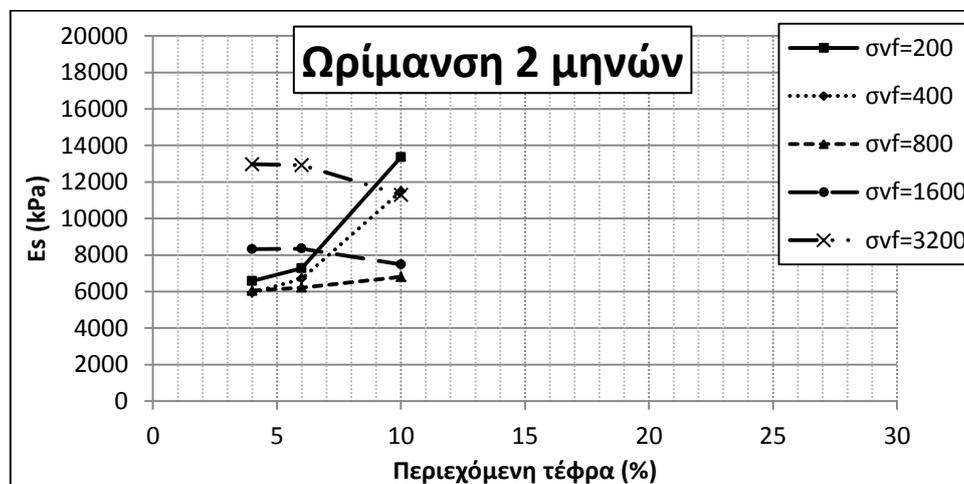
2 ΜΗΝΕΣ		ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10
E_s (kPa)	$\sigma_{vf}=200$	6576	7274	13357
	$\sigma_{vf}=400$	5935	6703	11488
	$\sigma_{vf}=800$	6045	6218	6795
	$\sigma_{vf}=1600$	8320	8349	7483
	$\sigma_{vf}=3200$	12975	12921	11294
a_v		0,000166684	0,000176934	0,000225882
C_c		0,412	0,452	0,781
C_v	$\sigma_v=100$	0,3866	0,4028	0,6560
	$\sigma_v=200$	0,2066	0,4973	0,3681
	$\sigma_v=400$	0,0571	0,1916	0,3740
	$\sigma_v=800$	0,0427	0,0761	0,2387



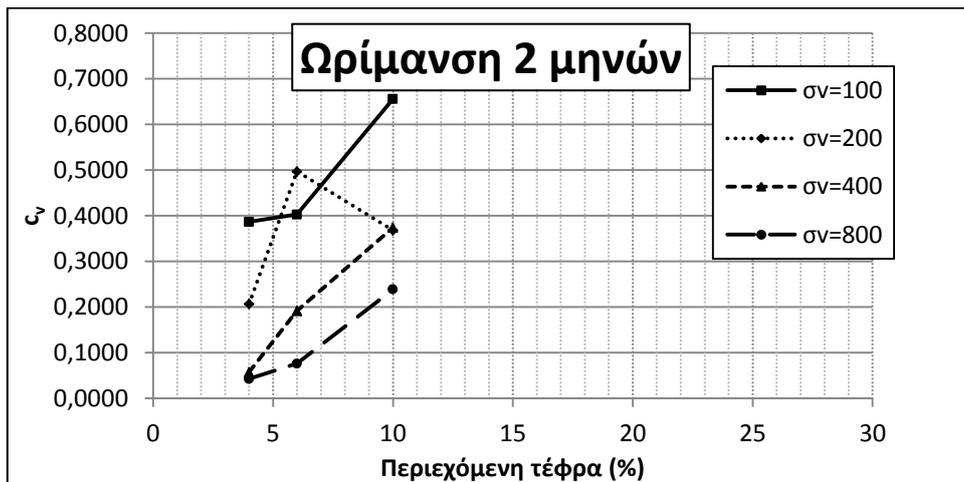
Διάγραμμα 10.2.19



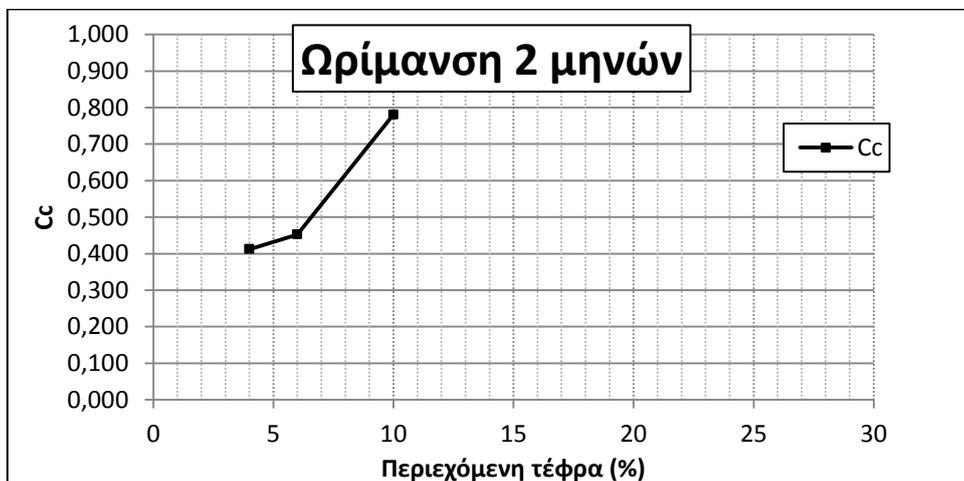
Διάγραμμα 10.2.20



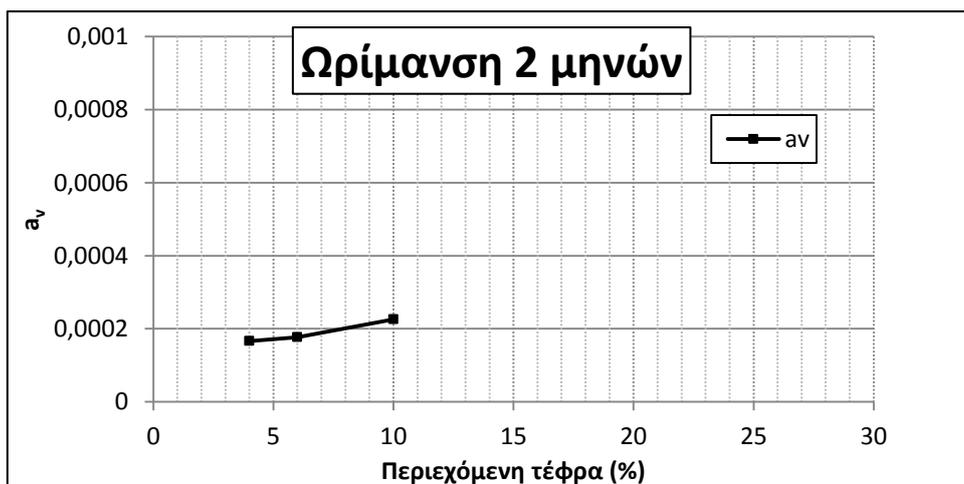
Διάγραμμα 10.2.21



Διάγραμμα 10.2.22



Διάγραμμα 10.2.23



Διάγραμμα 10.2.24

Παρατηρείται συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού και στις τρεις περιπτώσεις, σημειώνεται όμως σημαντική απόκλιση μεταξύ της καμπύλης του ΑΑΣ-90-10 και των υπόλοιπων δύο υλικών. Καθώς φαίνεται στους σχετικούς πίνακες, ο αρχικός δείκτης πόρων παρουσιάζει συνεχή αύξηση για αυξανόμενο ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Η σημαντική αυτή διαφοροποίηση του αρχικού δείκτη πόρων μεταξύ των μιγμάτων οφείλεται στην εξέλιξη της δράσης ανάπτυξης δομής της τέφρας, κατά την οποία δημιουργούνται συσσωματώματα και προσδίδουν ανοικτότερη δομή στα υλικά.

Από την άλλη, σε όλα τα μίγματα φαίνεται εμφανώς η τάση για δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Η τάση αυτή γίνεται ολοένα εντονότερη καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Συγκεκριμένα, η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-82-04 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 150kPa περίπου ($e=1,10$), η καμπύλη του ΑΑΣ-85-06 στα 130kPa περίπου ($e=1,21$), και η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 στα 220kPa περίπου ($e=1,64$), τάσεις οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν φαινόμενες τάσεις προφόρτισης για το εκάστοτε υλικό. Μόλις αυτές ξεπεραστούν από την επιβαλλόμενη τάση, τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού και τείνει προς την VCL. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως έως και τους 2 μήνες ωρίμανσης όλα τα μίγματα συνεχίζουν να διαμορφώνουν φαινόμενη τάση προφόρτισης, η οποία αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτή η διαμόρφωση φαινόμενης τάσης προφόρτισης όμως δημιουργεί εξίσου σημαντική διαφοροποίηση στη συμπιεστότητα του υλικού.

Ο συνδυασμός των παραπάνω, δηλαδή της αύξησης του αρχικού δείκτη πόρων και της φαινόμενης τάσης προφόρτισης συναρτήσει της αύξησης του ποσοστού τέφρας επιβεβαιώνεται αν συγκριθούν οι τιμές του δείκτη πόρων για τάση 3200kPa (e_{3200}), απ' όπου φαίνεται ξεκάθαρα πως αυτός αυξάνεται σταθερά και αισθητά με την αύξηση του ποσοστού τέφρας για όλα τα μίγματα, γεγονός που μαρτυρά την τάση τα μίγματα με υψηλότερο ποσοστό τέφρας να διατηρούν δείκτη πόρων κοντινότερο στον αρχικό σε σχέση με μίγματα χαμηλότερου ποσοστού τέφρας για το ίδιο επίπεδο φόρτισης.

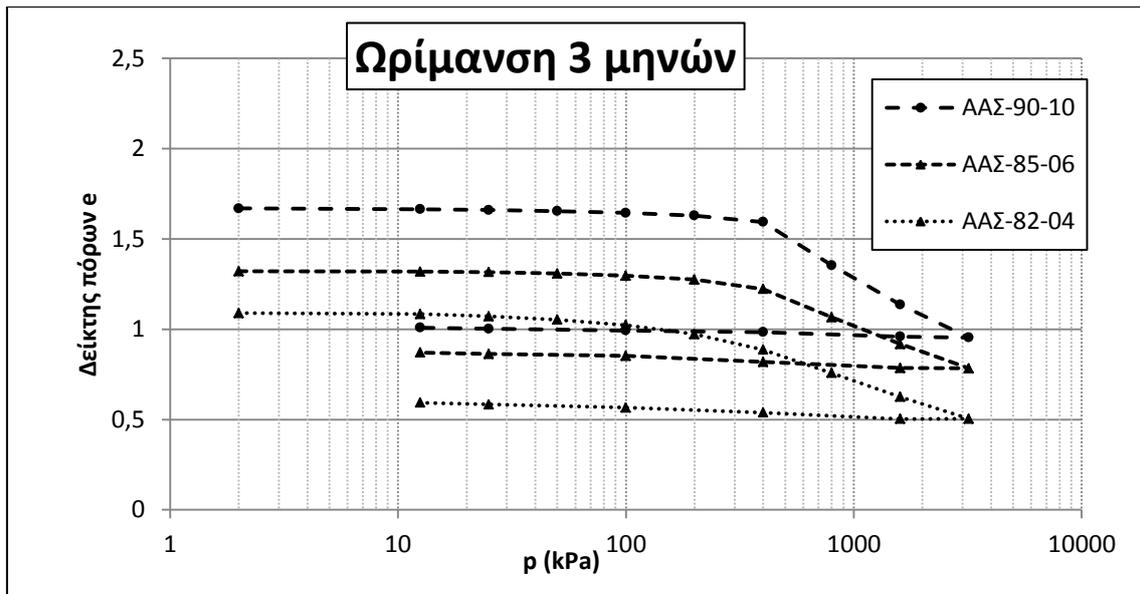
Στο σχετικό πίνακα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού για 2 μήνες ωρίμανση, και παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης μετά την τάση των 200kPa για ποσοστά τέφρας έως και 6%, καθώς μέχρι τα 200kPa το υλικό βρίσκεται στη φάση της επαναφόρτισης και η συμπιεστότητά του είναι αισθητά μειωμένη, όπως αποτυπώνεται και στο αρκετά χαμηλότερο μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης των 200kPa. Για περιεκτικότητα σε τέφρα του 10%, παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης μετά την τάση των 400kPa, καθώς μέχρι τα 400kPa το υλικό βρίσκεται στη φάση της επαναφόρτισης και η συμπιεστότητά του είναι αισθητά μειωμένη, όπως αποτυπώνεται και στο αρκετά χαμηλότερο μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης των 200kPa και 400kPa. Η συμπεριφορά αυτή συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού, καθώς πρόκειται για προστερεοποιημένο (προφορτισμένο) υλικό. Έτσι, εμμέσως επιβεβαιώνεται πως η φαινόμενη τάση προφόρτισης των ΑΑΣ-82-04 και ΑΑΣ-85-06 είναι μεταξύ 200kPa και 400kPa, ενώ η φαινόμενη τάση προφόρτισης του ΑΑΣ-90-10 είναι μεταξύ 200kPa και 800kPa.

Επίσης, παρατηρείται στο κάθε υλικό σημαντική μείωση του συντελεστή στερεοποίησης καθώς η επιβαλλόμενη τάση ξεπερνά την φαινόμενη τάση προφόρτισης. Έτσι, εμμέσως επιβεβαιώνεται πως η φαινόμενη τάση προφόρτισης του ΑΑΣ-82-04 είναι μεταξύ 200kPa και 400kPa (μείωση συντελεστή στερεοποίησης κατά μία τάξη μεγέθους μεταξύ των τάσεων 200kPa και 400kPa), η φαινόμενη τάση προφόρτισης του ΑΑΣ-85-06 είναι μεταξύ 200kPa και 400kPa (μείωση κατά 75% του συντελεστή στερεοποίησης μεταξύ των τάσεων 200kPa και 400kPa, ενώ ο συντελεστής στερεοποίησης στην τάση των 800kPa είναι μία τάξη μεγέθους μικρότερος απ' ότι στην τάση των 200kPa), ενώ στην περίπτωση του ΑΑΣ-90-10 παρατηρείται το εξής φαινόμενο: ακόμη και για τάσεις πολύ μεγαλύτερες της φαινόμενης τάσης προφόρτισης, ο συντελεστής στερεοποίησης δεν μειώνεται κατά ολόκληρη τάξη μεγέθους, παρά σημειώνει μια μείωση της τάξης του 50%. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ικανότητα ενός υλικού να στερεοποιείται επηρεάζεται από την ανάπτυξη δομής, αυξάνοντας την για τάσεις μικρότερες της φαινόμενης τάσης προφόρτισης.

Τέλος, παρατηρείται αύξηση του δείκτη συμπιεστότητας και του συντελεστή συμπιεστότητας καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας, πράγμα που σημαίνει πως ο κλάδος της κανονικής φόρτισης επηρεάζεται από το αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτό συμβαίνει επειδή οι καμπύλες συμπίεσης παρουσιάζουν αρκετά αυξημένο αρχικό δείκτη πόρων και υψηλή φαινόμενη τάση προφόρτισης ώστε, αφού αυτή ξεπεραστεί και τα υλικά μπου στον κλάδο κανονικής φόρτισης τείνοντας προς τη VCL καμπύλη συμπίεσης, ο συντελεστής συμπιεστότητας να αυξάνεται ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση με τη VCL.

10.2.4 Ωρίμανση 3 Μηνών

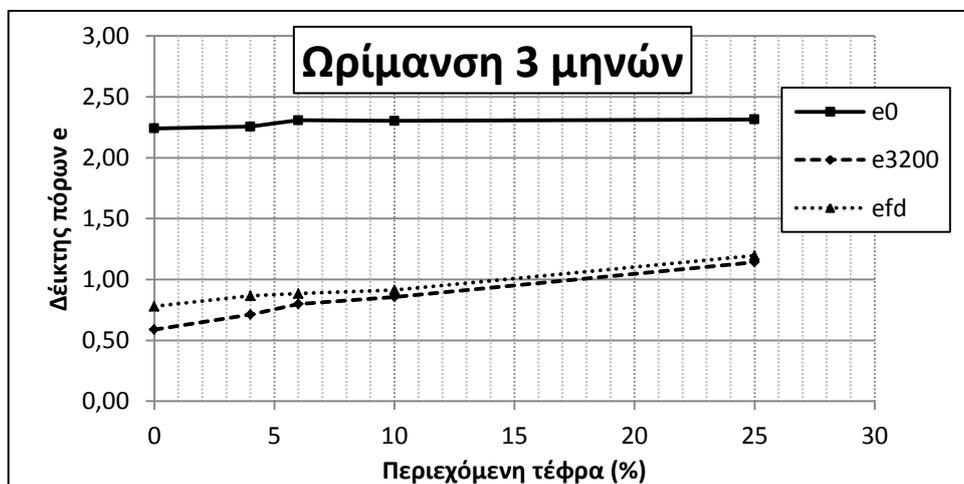
Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, και το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα. Και τα δύο υλικά είχαν υποβληθεί σε συμπύκνωση υπό τάση 300kPa, και για κάθε υλικό διαμορφώθηκαν 2 δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης 3 μήνες μετά την ανάμιξη του εκάστοτε υλικού, δηλαδή περίπου 2,5 μήνες μετά το πέρας της διαδικασίας επιβολής συμπύκνωσης. Για το υλικό ΑΑΣ-82-04 λείπουν κάποια στοιχεία, καθώς η δοκιμή ολοκληρώθηκε σε χρόνο που δεν επέτρεπε την περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων.



Διάγραμμα 10.2.25

Πίνακας 10.2.7

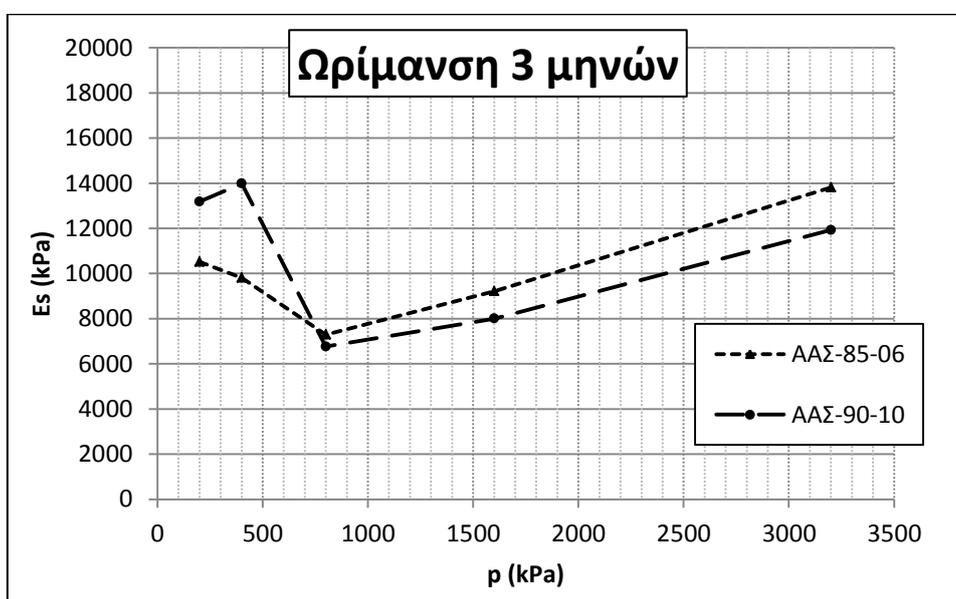
3 ΜΗΝΕΣ	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10
e_0	1,09	1,32	1,67
e_{3200}	0,50	0,78	0,95
e_{fd}	0,59	0,87	1,01



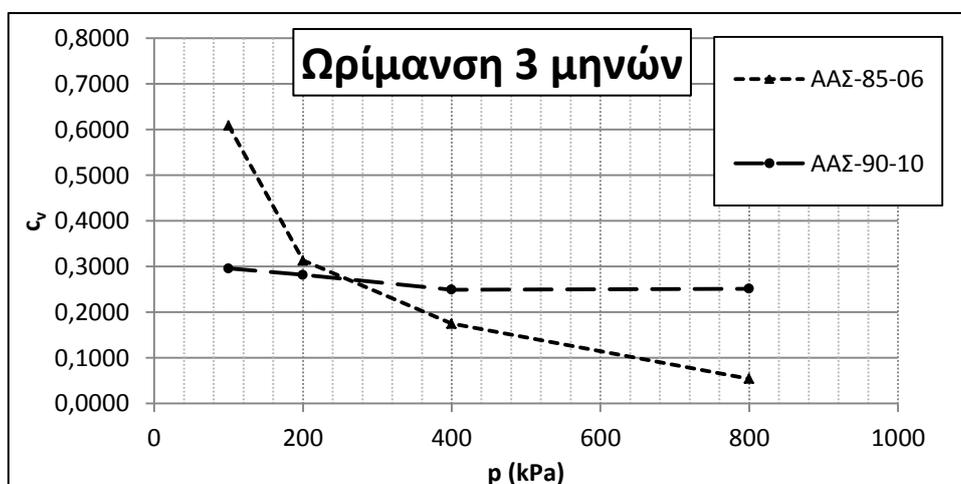
Διάγραμμα 10.2.26

Πίνακας 10.2.8

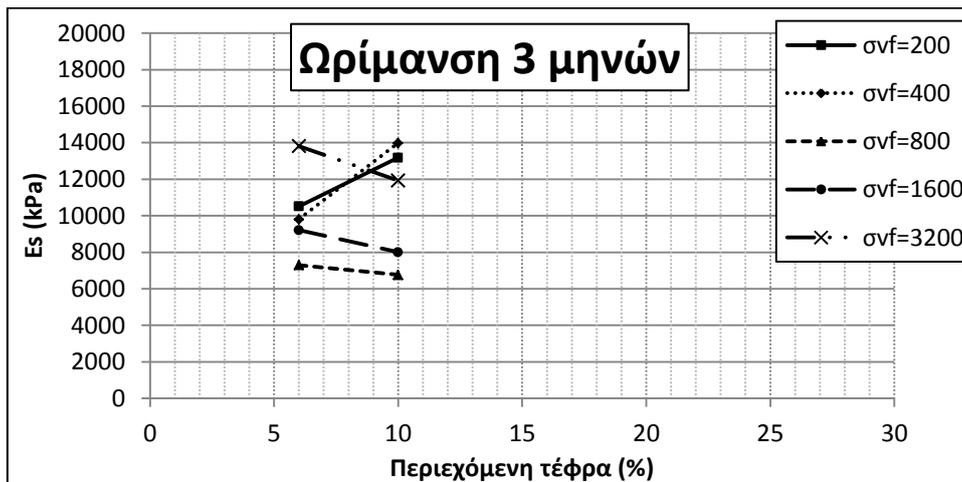
3 ΜΗΝΕΣ		ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10
E_s (kPa)	$\sigma_{vf}=200$	3548	10518	13183
	$\sigma_{vf}=400$	4117	9811	13985
	$\sigma_{vf}=800$	5030	7295	6762
	$\sigma_{vf}=1600$	7198	9215	8003
	$\sigma_{vf}=3200$	11416	13817	11927
a_v		0,000182	0,000182	0,000222958
C_c		0,421	0,421	0,666
c_v	$\sigma_v=100$		0,6091	0,2959
	$\sigma_v=200$		0,3133	0,2819
	$\sigma_v=400$		0,1747	0,2491
	$\sigma_v=800$		0,0541	0,2515



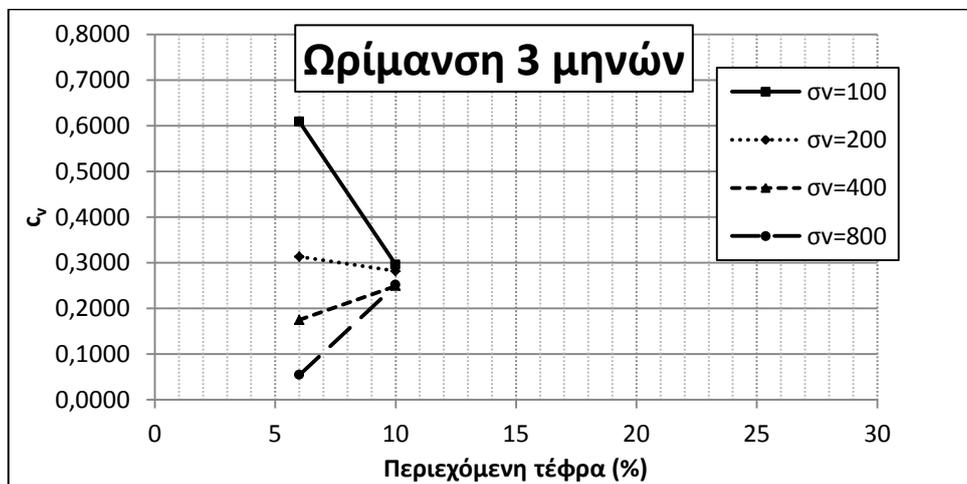
Διάγραμμα 10.2.27



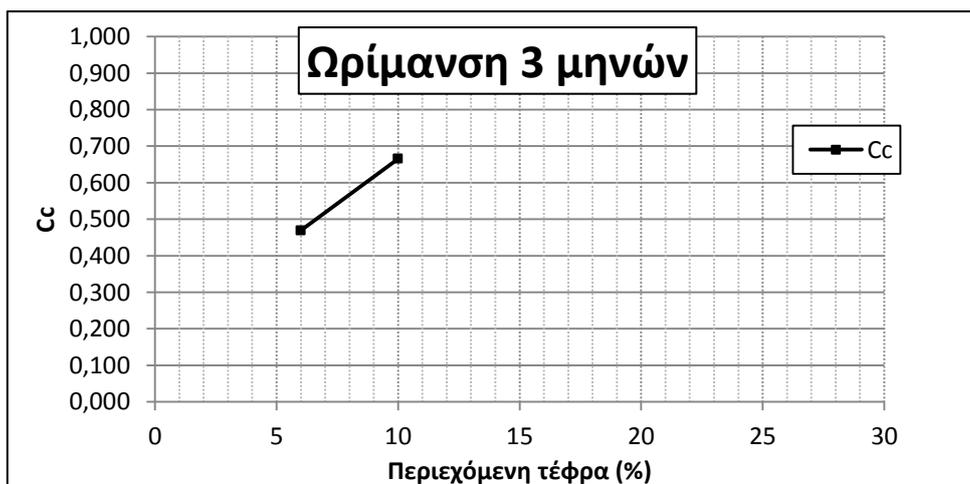
Διάγραμμα 10.2.28



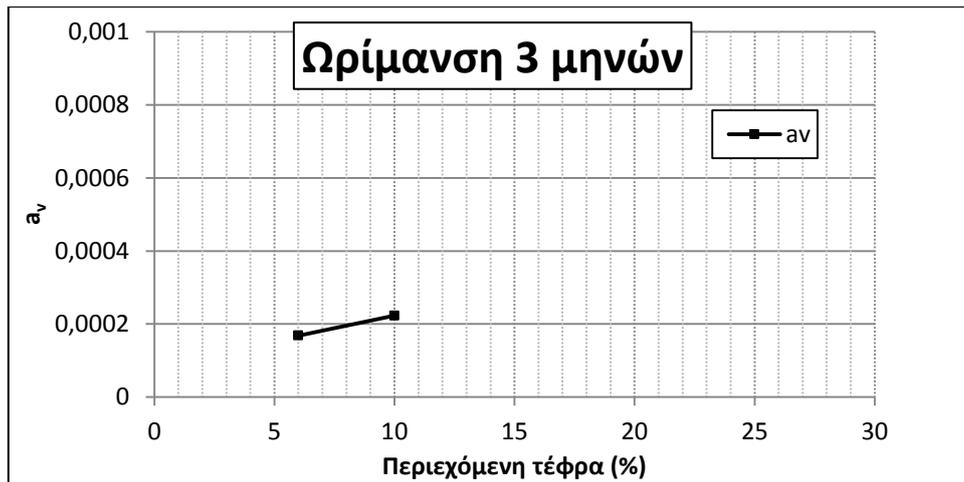
Διάγραμμα 10.2.29



Διάγραμμα 10.2.30



Διάγραμμα 10.2.31



Διάγραμμα 10.2.32

Παρατηρείται συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού και στις δύο περιπτώσεις, σημειώνεται όμως σημαντική απόκλιση μεταξύ της καμπύλης του ΑΑΣ-90-10 και του ΑΑΣ-85-06. Καθώς φαίνεται στους σχετικούς πίνακες, ο αρχικός δείκτης πόρων παρουσιάζει συνεχή αύξηση για αυξανόμενο ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Η σημαντική αυτή διαφοροποίηση του αρχικού δείκτη πόρων μεταξύ των μιγμάτων οφείλεται στην εξέλιξη της δράσης ανάπτυξης δομής της τέφρας, κατά την οποία δημιουργούνται συσσωματώματα και προσδίδουν ανοικτότερη δομή στα υλικά.

Από την άλλη, σε όλα τα μίγματα φαίνεται εμφανώς η τάση για δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Η τάση αυτή γίνεται ολοένα εντονότερη καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Συγκεκριμένα, η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-82-04 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 150kPa περίπου ($e=1,00$), η καμπύλη του ΑΑΣ-85-06 στα 180kPa περίπου ($e=1,22$), και η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 στα 260kPa περίπου ($e=1,59$), τάσεις οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν φαινόμενες τάσεις προφόρτισης για το εκάστοτε υλικό. Μόλις αυτές ξεπεραστούν από την επιβαλλόμενη τάση, τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού και τείνει προς την VCL. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως έως και τους 3 μήνες ωρίμανσης όλα τα μίγματα συνεχίζουν να διαμορφώνουν φαινόμενη τάση προφόρτισης, η οποία αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτή η διαμόρφωση φαινόμενης τάσης προφόρτισης όμως δημιουργεί εξίσου σημαντική διαφοροποίηση στη συμπιεστότητα του υλικού.

Ο συνδυασμός των παραπάνω, δηλαδή της αύξησης του αρχικού δείκτη πόρων και της φαινόμενης τάσης προφόρτισης συναρτήσεως της αύξησης του ποσοστού τέφρας επιβεβαιώνεται αν συγκριθούν οι τιμές του δείκτη πόρων για τάση 3200kPa (e_{3200}), απ' όπου φαίνεται ξεκάθαρα πως αυτός αυξάνεται σταθερά και αισθητά με την αύξηση του ποσοστού τέφρας για όλα τα μίγματα, γεγονός που μαρτυρά την τάση τα μίγματα με υψηλότερο ποσοστό τέφρας να διατηρούν δείκτη πόρων κοντινότερο στον αρχικό σε σχέση με μίγματα χαμηλότερου ποσοστού τέφρας για το ίδιο επίπεδο φόρτισης.

Στο σχετικό πίνακα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού για 3 μήνες ωρίμανση, και παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης μετά την τάση των 800kPa για όλα τα ποσοστά τέφρας, καθώς μέχρι τα 400kPa περίπου το υλικό βρίσκεται στη φάση της επαναφόρτισης και η συμπιεστότητά του είναι αισθητά μειωμένη, όπως αποτυπώνεται και στο αρκετά υψηλότερο μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης των 200kPa και 400kPa. Η συμπεριφορά αυτή συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού, καθώς πρόκειται για προστερεοποιημένο (προφορτισμένο) υλικό. Έτσι, εμμέσως επιβεβαιώνεται πως η φαινόμενη τάση προφόρτισης των ΑΑΣ-82-04 και ΑΑΣ-85-06 είναι μεταξύ 200kPa και 400kPa, ενώ η φαινόμενη τάση προφόρτισης του ΑΑΣ-90-10 είναι μεταξύ 200kPa και 800kPa.

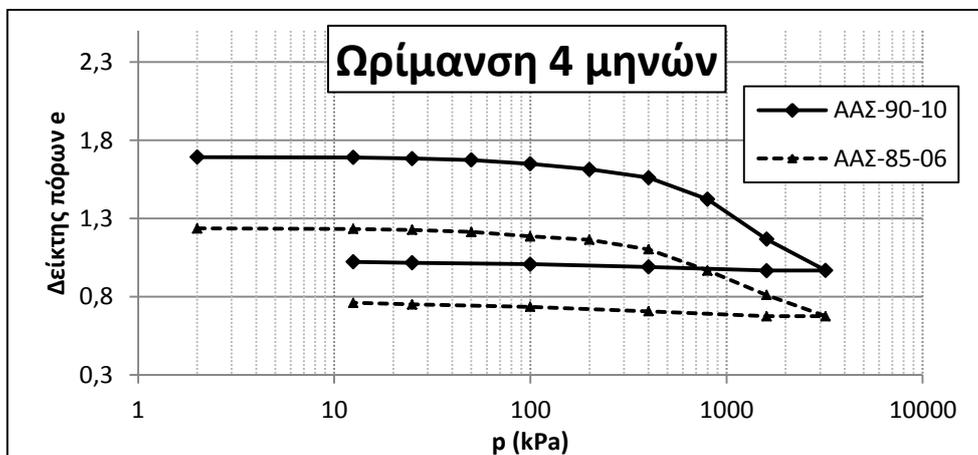
Επίσης, παρατηρείται στο κάθε υλικό σημαντική μείωση του συντελεστή στερεοποίησης καθώς η επιβαλλόμενη τάση ξεπερνά την φαινόμενη τάση προφόρτισης. Έτσι, εμμέσως επιβεβαιώνεται πως η φαινόμενη τάση προφόρτισης του ΑΑΣ-85-06 είναι μεταξύ 200kPa και 800kPa (μείωση κατά 50% του συντελεστή στερεοποίησης μεταξύ των τάσεων 200kPa και 400kPa, ενώ ο συντελεστής στερεοποίησης στην τάση των 800kPa είναι μία τάξη μεγέθους μικρότερος απ' ό τι στην τάση των 200kPa), ενώ στην περίπτωση του ΑΑΣ-90-10 παρατηρείται το εξής φαινόμενο: ακόμη και για τάσεις πολύ μεγαλύτερες της φαινόμενης τάσης προφόρτισης, ο συντελεστής στερεοποίησης δεν μειώνεται κατά ολόκληρη τάξη μεγέθους, παρά σημειώνει μια μείωση της τάξης του 20%. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ικανότητα ενός υλικού να στερεοποιείται επηρεάζεται από την ανάπτυξη δομής, αυξάνοντας την για τάσεις μικρότερες της φαινόμενης τάσης προφόρτισης, αλλά ενδεχομένως για υλικά με επαρκή ωρίμανση και ποσοστό τέφρας η ικανότητα στερεοποίησης παραμένει αυξημένη και για τάσεις υψηλότερες της φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Αυτό με τη σειρά του μπορεί να οφείλεται στο ενδεχόμενο η ικανότητα στερεοποίησης των υλικών να εξαρτάται άμεσα από το δείκτη πόρων και όχι από τη σχέση φαινόμενης τάσης προφόρτισης-επιβαλλόμενης τάσης, κι έτσι ενώ σε κάποια υλικά ξεπερνιέται η φαινόμενη τάση προφόρτισης, η ικανότητα στερεοποίησης διατηρείται αυξημένη λόγω του υψηλού δείκτη πόρων.

Τέλος, παρατηρείται αύξηση του δείκτη συμπιεστότητας και του συντελεστή συμπιεστότητας καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας, πράγμα που σημαίνει πως ο κλάδος της κανονικής φόρτισης επηρεάζεται από το αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτό συμβαίνει επειδή οι καμπύλες συμπίεσης παρουσιάζουν αρκετά αυξημένο αρχικό δείκτη πόρων και υψηλή φαινόμενη τάση προφόρτισης ώστε, αφού αυτή ξεπεραστεί και τα υλικά μπουν στον κλάδο κανονικής φόρτισης τείνοντας προς τη VCL καμπύλη συμπίεσης, ο συντελεστής συμπιεστότητας να αυξάνεται ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση με τη VCL.

10.2.5 Ωρίμανση 4 Μηνών

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, και το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα. Και τα δύο υλικά είχαν υποβληθεί σε συμπύκνωση υπό τάση 300kPa, και για κάθε υλικό διαμορφώθηκαν 2 δοκίμια τα οποία

υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης 4 μήνες μετά την ανάμιξη του εκάστοτε υλικού, δηλαδή περίπου 3,5 μήνες μετά το πέρας της διαδικασίας επιβολής συμπύκνωσης. Και για τα δύο υλικά λείπουν κάποια στοιχεία, καθώς η δοκιμή ολοκληρώθηκε σε χρόνο που δεν επέτρεπε την περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων.



Διάγραμμα 10.2.33

Πίνακας 10.2.9

4 ΜΗΝΕΣ	AAΣ-85-06	AAΣ-90-10
e_0	1,24	1,69
e_{3200}	0,68	0,97
e_{fd}	0,76	1,02

Πίνακας 10.2.10

4 ΜΗΝΕΣ		AAΣ-85-06	AAΣ-90-10
E_s (kPa)	$\sigma_{vf}=200$	6087	8507
	$\sigma_{vf}=400$	6641	9875
	$\sigma_{vf}=800$	6613	7885
	$\sigma_{vf}=1600$	8386	8120
	$\sigma_{vf}=3200$	12745	11885
a_v		0,00017511	0,000226553
C_c		0,484	0,757

Παρατηρείται συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού και στις δύο περιπτώσεις. Καθώς φαίνεται στους σχετικούς πίνακες, ο αρχικός δείκτης πόρων παρουσιάζει αύξηση για αυξανόμενο ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Η σημαντική αυτή διαφοροποίηση του αρχικού δείκτη πόρων μεταξύ των μιγμάτων οφείλεται στην εξέλιξη της δράσης ανάπτυξης δομής της τέφρας, κατά την οποία δημιουργούνται συσσωματώματα και προσδίδουν ανοικτότερη δομή στα υλικά.

Από την άλλη, και στα δύο μίγματα φαίνεται εμφανώς η τάση για δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Συγκεκριμένα, η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-85-06 στα 150kPa περίπου ($e=1,16$), και η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 στα 300kPa περίπου ($e=1,58$), τάσεις οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν φαινόμενες τάσεις προφόρτισης για το εκάστοτε υλικό. Μόλις αυτές ξεπεραστούν από την επιβαλλόμενη τάση, τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού και τείνει προς την VCL. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως έως και τους 4 μήνες ωρίμανσης όλα τα μίγματα συνεχίζουν να διαμορφώνουν φαινόμενη τάση προφόρτισης, η οποία αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτή η διαμόρφωση φαινόμενης τάσης προφόρτισης όμως δημιουργεί εξίσου σημαντική διαφοροποίηση στη συμπιεστότητα του υλικού.

Ο συνδυασμός των παραπάνω, δηλαδή της αύξησης του αρχικού δείκτη πόρων και της φαινόμενης τάσης προφόρτισης συναρτήσεως της αύξησης του ποσοστού τέφρας επιβεβαιώνεται αν συγκριθούν οι τιμές του δείκτη πόρων για τάση 3200kPa (e_{3200}), απ' όπου φαίνεται ξεκάθαρα πως αυτός αυξάνεται σταθερά και αισθητά με την αύξηση του ποσοστού τέφρας για όλα τα μίγματα, γεγονός που μαρτυρά την τάση τα μίγματα με υψηλότερο ποσοστό τέφρας να διατηρούν δείκτη πόρων κοντινότερο στον αρχικό σε σχέση με μίγματα χαμηλότερου ποσοστού τέφρας για το ίδιο επίπεδο φόρτισης.

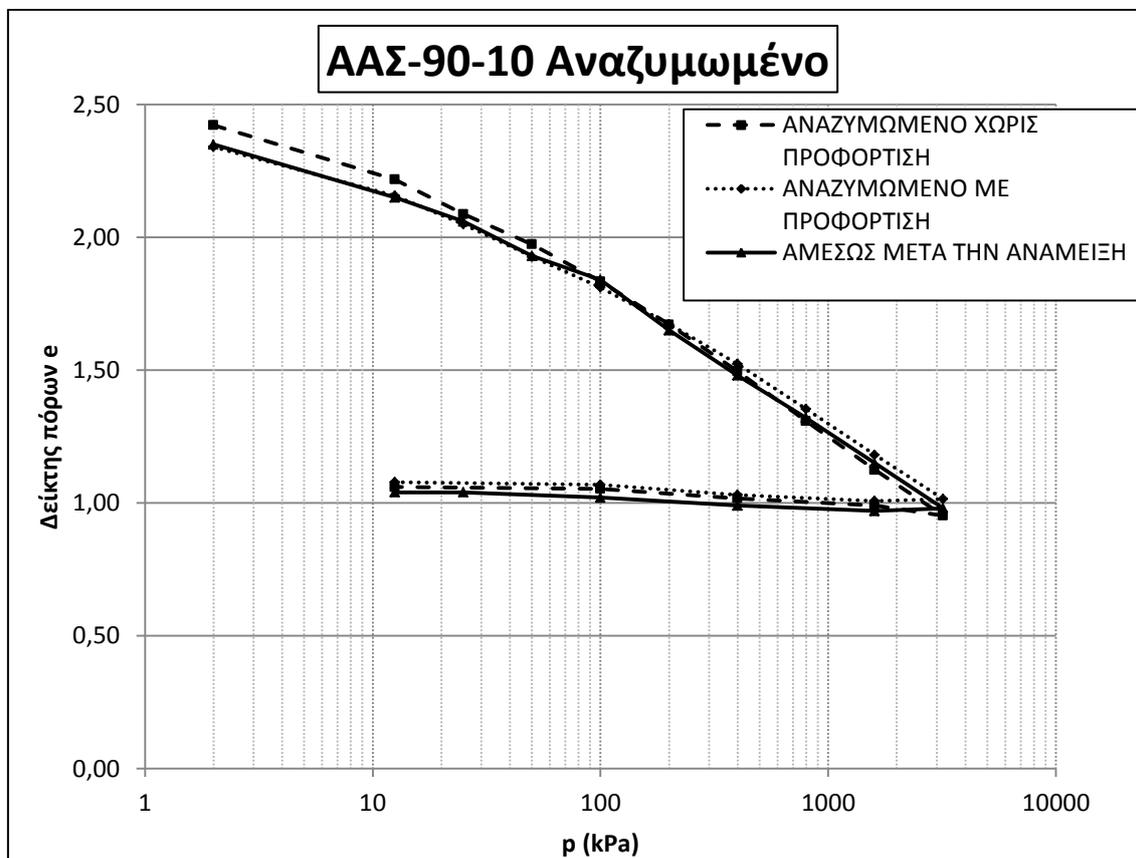
Στο σχετικό πίνακα φαίνονται τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά του υλικού για 4 μήνες ωρίμανση, και παρατηρείται σταδιακή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης μετά την τάση των 800kPa για όλα τα ποσοστά τέφρας, καθώς μέχρι τα 400kPa περίπου το υλικό βρίσκεται στη φάση της επαναφόρτισης και η συμπιεστότητά του είναι αισθητά μειωμένη. Η συμπεριφορά αυτή συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού, καθώς πρόκειται για προστερεοποιημένο (προφορτισμένο) υλικό. Έτσι, εμμέσως επιβεβαιώνεται πως η φαινόμενη τάση προφόρτισης των ΑΑΣ-82-04 και ΑΑΣ-85-06 είναι μεταξύ 200kPa και 400kPa, ενώ η φαινόμενη τάση προφόρτισης του ΑΑΣ-90-10 είναι μεταξύ 200kPa και 800kPa.

Τέλος, παρατηρείται αύξηση του δείκτη συμπιεστότητας και του συντελεστή συμπιεστότητας καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας, πράγμα που σημαίνει πως ο κλάδος της κανονικής φόρτισης επηρεάζεται από το αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτό συμβαίνει επειδή οι καμπύλες συμπίεσης παρουσιάζουν αρκετά αυξημένο αρχικό δείκτη πόρων και υψηλή φαινόμενη τάση προφόρτισης ώστε, αφού αυτή ξεπεραστεί και τα υλικά μπου στον κλάδο κανονικής φόρτισης τείνοντας προς τη VCL καμπύλη συμπίεσης, ο συντελεστής συμπιεστότητας να αυξάνεται ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση με τη VCL.

10.3 Αναζυμωμένα Υλικά

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, από το υλικό ΑΑΣ-90-10, μετά από επαρκή χρόνο ωρίμανσης, δημιουργήθηκε αναζυμωμένο υλικό με σκοπό την μελέτη της επιρροής της δομής αφού το υλικό αναζυμωθεί. Ακολουθήθηκαν οι οδηγίες για την παρασκευή αναζυμωμένου υλικού κατά Burland (βλ παραπάνω) με ποσοστό υγρασίας ίσο με 1.25LL του αρχικού αργιλικού υλικού (σε αντίθεση με το ΑΑΣ-90-10, το οποίο έχει ποσοστό υγρασίας ίσο με 1x LL), και δημιουργήθηκαν έξι δοκίμια, τρία εκ των οποίων υποβλήθηκαν σε δοκιμή

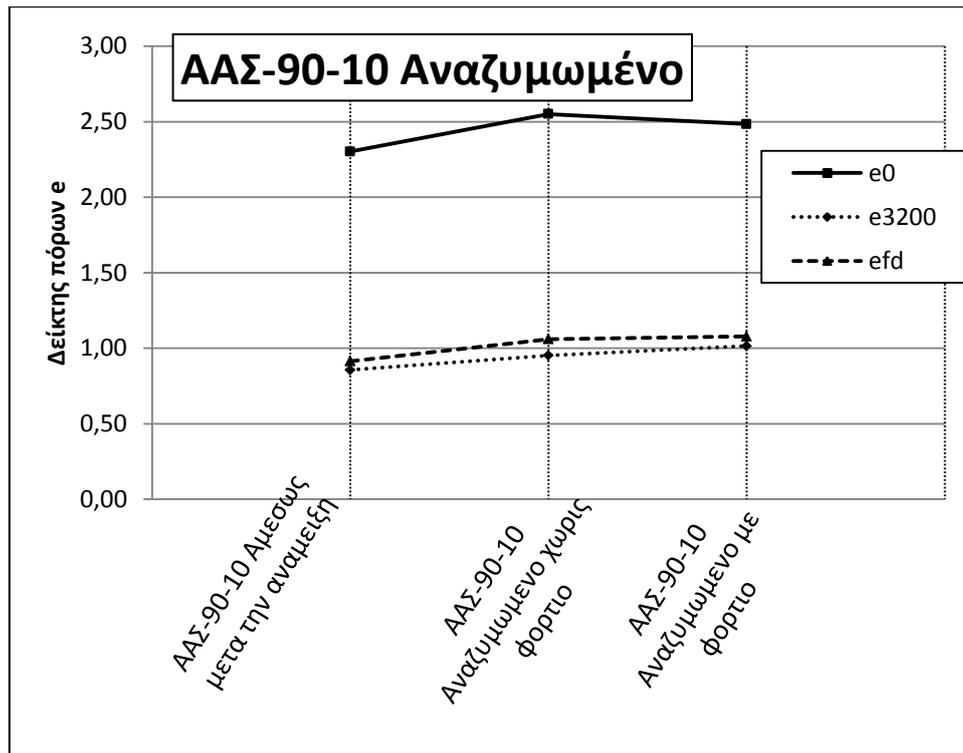
μονοδιάστατης συμπίεσης απευθείας, ενώ τα υπόλοιπα τρία υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης αφού πρώτα υποβλήθηκαν σε συμπύκνωση στη συσκευή Proctor υπό τάση 300kPa. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω, συγκρινόμενα με το υλικό ΑΑΣ-90-10 αμέσως μετά την αρχική του ανάμιξη.



Διάγραμμα 10.3.1

Πίνακας 10.3.1

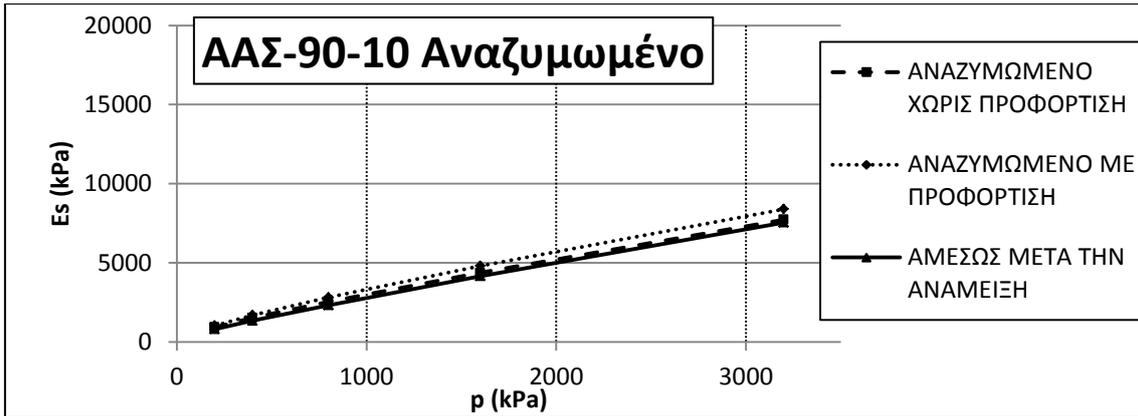
ΑΑΣ-90-10	ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ	ΑΝΑΖΥΜΩΜΕΝΟ ΧΩΡΙΣ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗ	ΑΝΑΖΥΜΩΜΕΝΟ ΜΕ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗ
e ₀	2,30	2,55	2,48
e ₃₂₀₀	0,86	0,95	1,01
e _{fd}	0,91	1,06	1,08



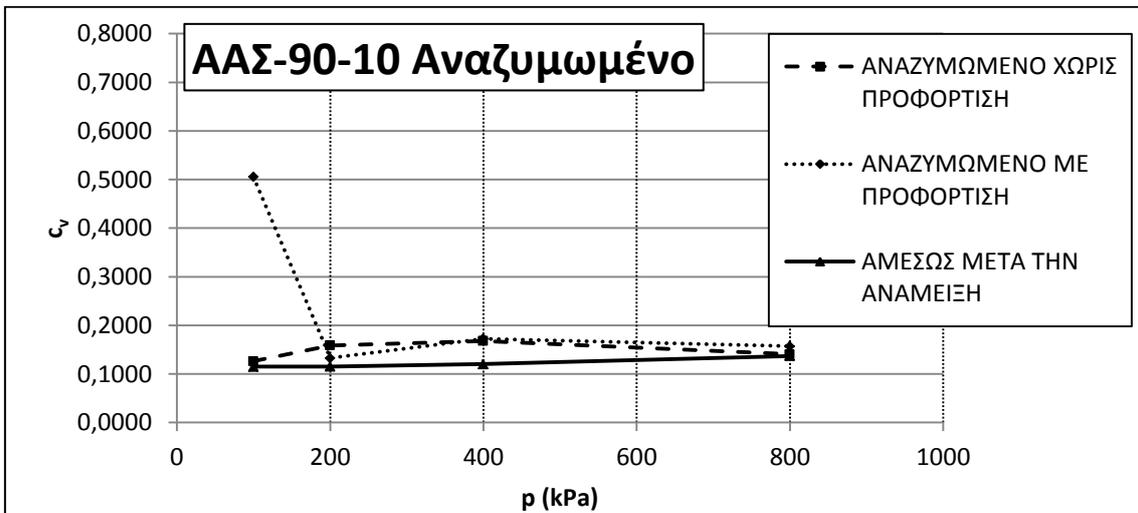
Διάγραμμα 10.3.2

Πίνακας 10.3.2

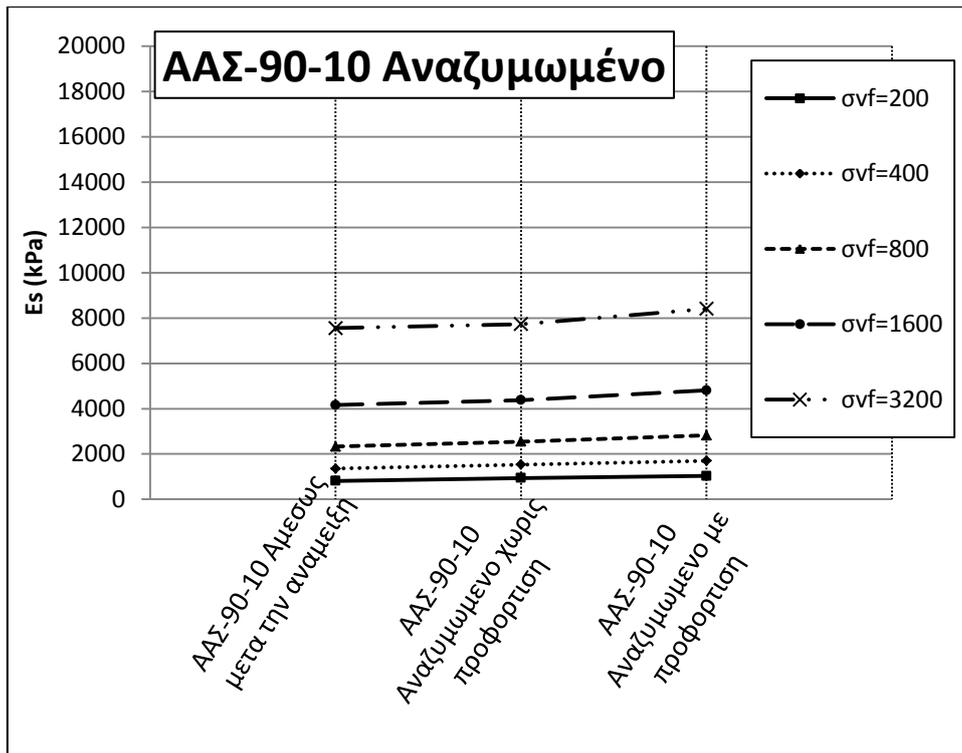
ΑΑΣ-90-10		ΑΜΕΣΩΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΜΕΙΞΗ	ΑΝΑΖΥΜΩΜΕΝΟ ΧΩΡΙΣ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗ	ΑΝΑΖΥΜΩΜΕΝΟ ΜΕ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗ
E_s (kPa)	$\sigma_{vf}=200$	815	940	1033
	$\sigma_{vf}=400$	1353	1529	1697
	$\sigma_{vf}=800$	2329	2547	2818
	$\sigma_{vf}=1600$	4161	4377	4804
	$\sigma_{vf}=3200$	7552	7732	8404
a_v		0,000394578	0,000397112	0,000358303
C_c		0,537	0,566	0,506
C_v	$\sigma_v=100$	0,1151	0,1260	0,1329
	$\sigma_v=200$	0,1154	0,1587	0,1724
	$\sigma_v=400$	0,1202	0,1679	0,1571
	$\sigma_v=800$	0,1371	0,1406	0,1368



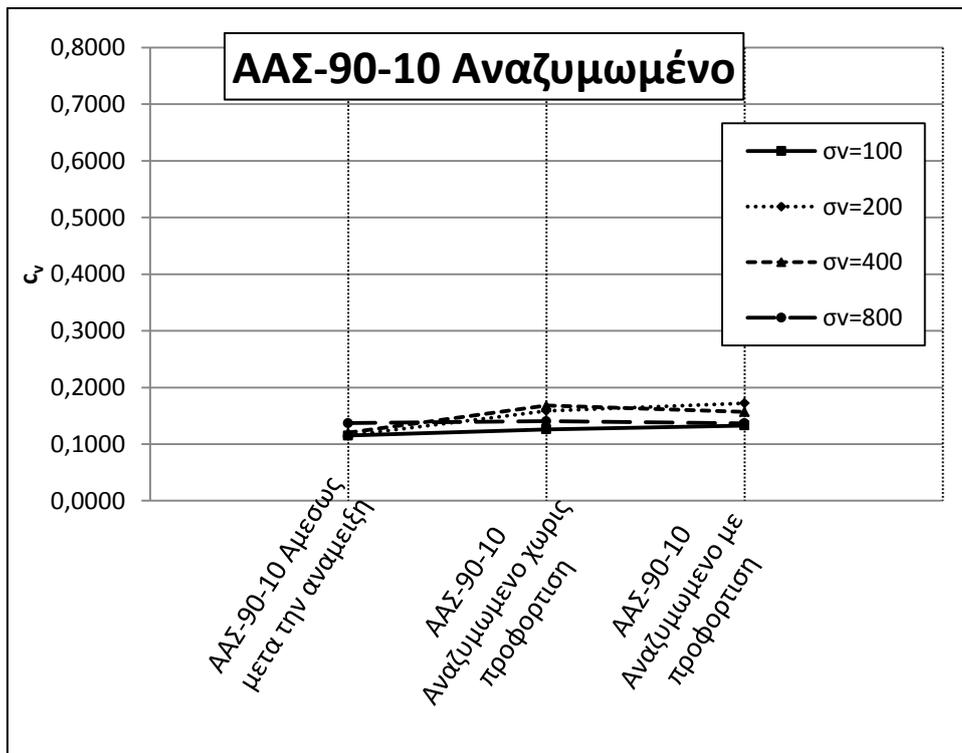
Διάγραμμα 10.3.3



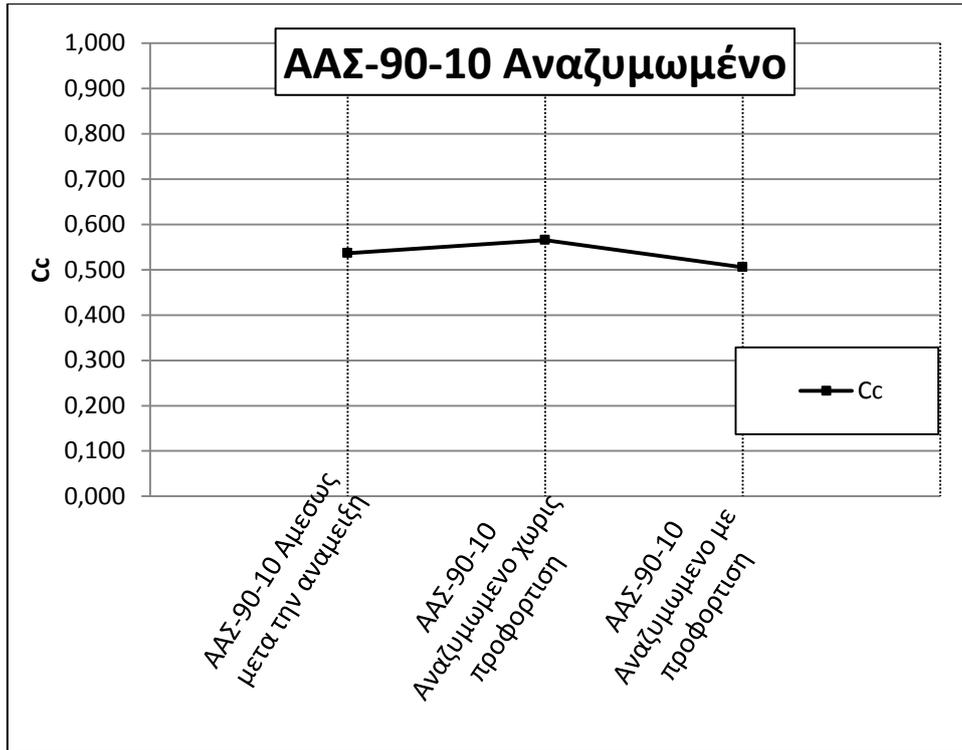
Διάγραμμα 10.3.4



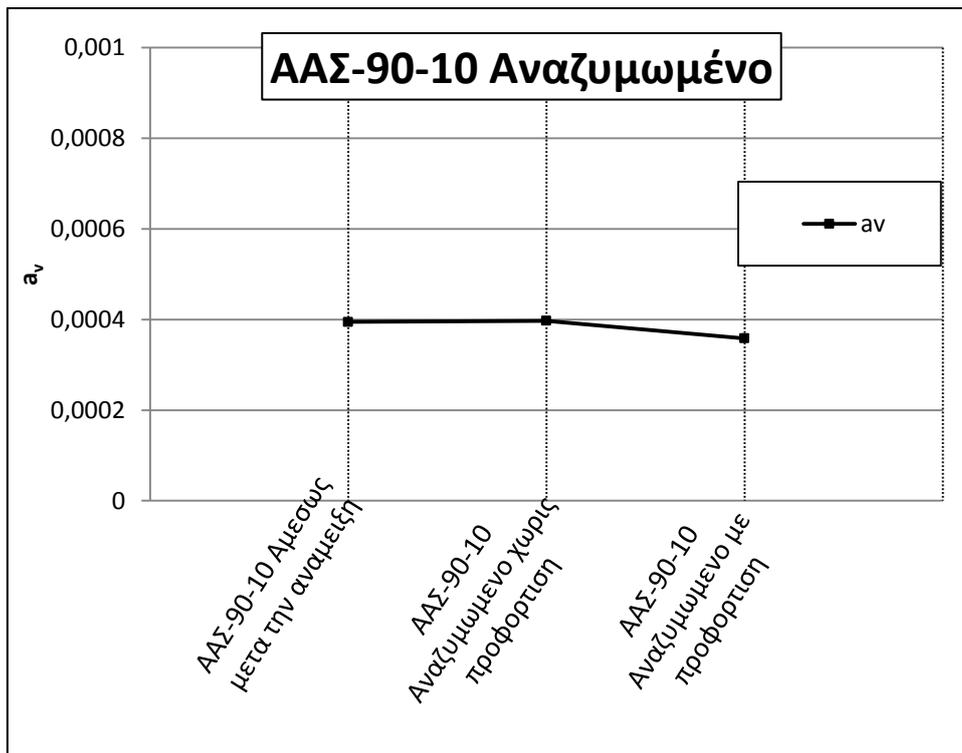
Διάγραμμα 10.3.5



Διάγραμμα 10.3.6



Διάγραμμα 10.3.7

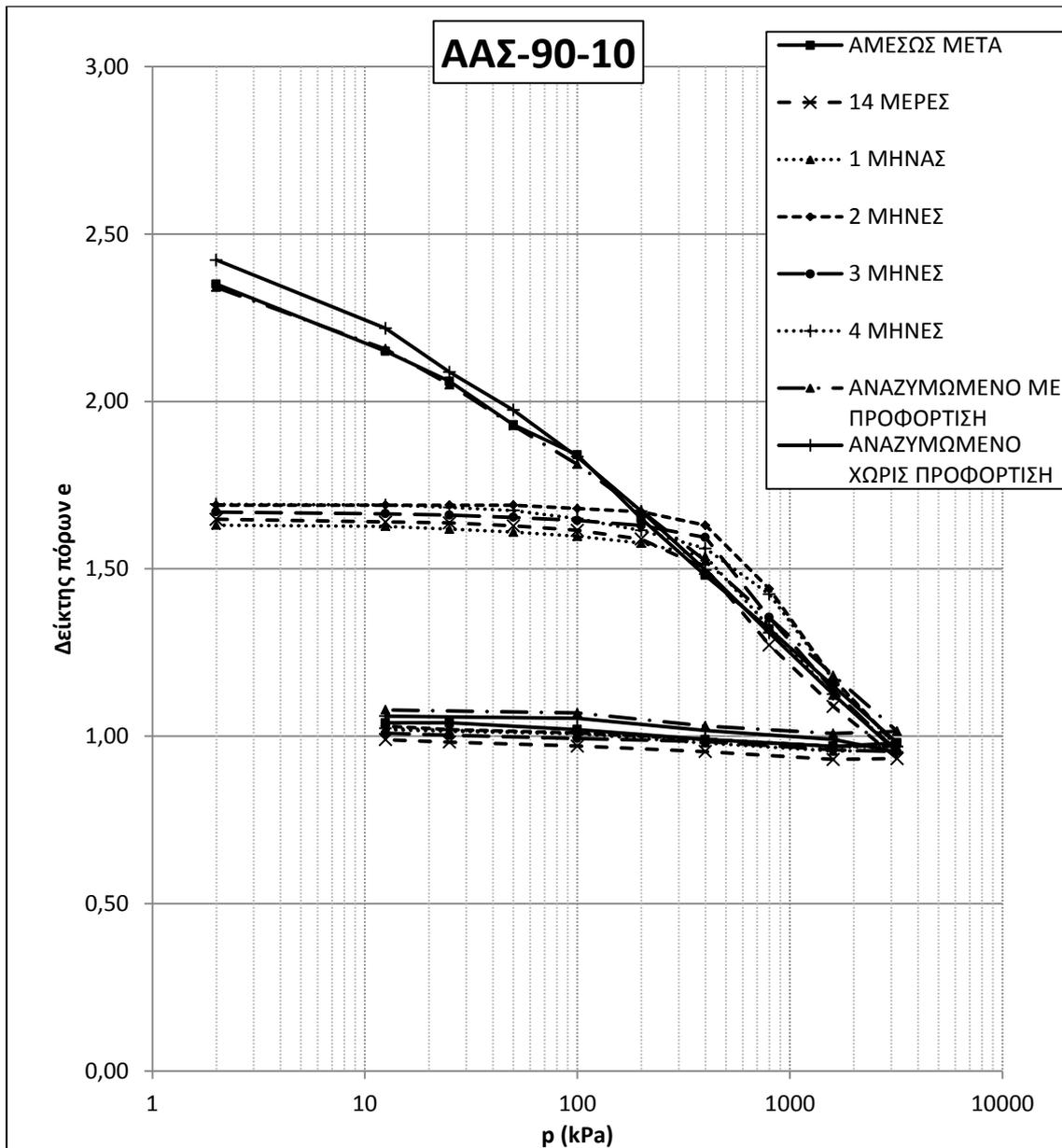


Διάγραμμα 10.3.8

Όπως προκύπτει από τις καμπύλες e - $\log p$, η συμπεριφορά των αναζυμωμένων υλικών δεν απέχει ιδιαίτερα από αυτήν της VCL ΑΑΣ-90-10. Η συμπεριφορά τους συνάδει πλήρως με την αναμενόμενη συμπεριφορά κανονικώς φορτισμένων υλικών. Παρατηρείται σταδιακή

αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, η οποία συνάδει απόλυτα με την αναμενόμενη συμπεριφορά κανονικώς φορτισμένου υλικού. Δεν υπάρχει ιδιαίτερη απόκλιση ως προς το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης, το δείκτη συμπιεστότητας, το συντελεστή συμπιεστότητας, και το συντελεστή στερεοποίησης, εκτός από το αναζυμωμένο υλικό που έχει υποβληθεί σε συμπύκνωση και παρουσιάζει ελαφρώς αυξημένες τιμές για το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης και αντίστοιχα μειωμένες για το δείκτη συμπιεστότητας και το συντελεστή συμπιεστότητας, όπως είναι αναμενόμενο. Ο υψηλός αρχικός δείκτης πόρων σε όλα τα υλικά μαρτυρά την ακανόνιστη διάταξη των πλακιδίων, που συνάδει με το γεγονός ότι πρόκειται για κατασκευασμένα υλικά, χωρίς καμία πρότερη δομή, και με υψηλό ποσοστό υγρασίας (περίπου ίσο με το όριο υδαρότητας). Το γεγονός ότι ο αρχικός δείκτης πόρων είναι υψηλότερος για τα αναζυμωμένα υλικά συνάδει πλήρως με το υψηλότερο ποσοστό υγρασίας τους καθώς επίσης και με την ιστορία τους (οι ποζολανικές αντιδράσεις έχουν ολοκληρωθεί), και όσον αφορά το αναζυμωμένο υλικό με προφόρτιση, ο αρχικός δείκτης πόρων του είναι χαμηλότερος από αυτόν του αναζυμωμένου υλικού χωρίς προφόρτιση, εξαιτίας της επιβληθείσας συμπύκνωσης. Σύμφωνα με τη θεωρία, η καμπύλη συμπίεσης ($e-\log p$) ενός αναζυμωμένου υλικού ονομάζεται καμπύλη εγγενούς συμπύκνωσης (intrinsic compression line ή ICL). Η ICL έχει μεγάλη σημασία, τόσο επειδή αποτελεί «σταθερά» για ένα υλικό, καθώς μένει αναλλοίωτη ανεξαρτήτως της φυσικής του κατάστασης ή της ιστορίας φόρτισής του. Τα χαρακτηριστικά της καμπύλης εγγενούς συμπύκνωσης (intrinsic properties) είναι κι αυτά σταθερά για ένα υλικό.

Στη συνέχεια παρατίθενται συγκεντρωτικά οι καμπύλες $e-\log p$ όλων των χρονικών ωριμάνσεων του ΑΑΣ-90-10, συμπεριλαμβανομένων και των καμπυλών των αναζυμωμένων υλικών, για λόγους σύγκρισης.



Διάγραμμα 10.3.9

Φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα ότι τα αναζυμωμένα υλικά συμπεριφέρονται πολύ παρόμοια με το υλικό της αρχικής ανάμιξης (αμέσως μετά την ανάμιξη). Οι καμπύλες τους είναι παράλληλες, επιδεικνύοντας ίδια συμπεριφορά, και η διαφοροποίησή τους έγκειται στη διαφορά των ποσοστών υγρασίας τους, που αποτυπώνεται στον υψηλότερο δείκτη πόρων των αναζυμωμένων υλικών. Εξαρχής, υπάρχει μια διαφοροποίηση ανάμεσα στο δείκτη πόρων των δύο αναζυμωμένων υλικών, καθώς το ένα έχει υποστεί προφόρτιση ενώ το άλλο δεν έχει. Όμως, οι συμπεριφορές τους γρήγορα συγκλίνουν. Καθώς η φόρτιση αυξάνεται, οι καμπύλες των αναζυμωμένων υλικών συναντούν τις καμπύλες των προφορτισμένων υλικών-προϊόντων της αρχικής ανάμιξης, περί την περιοχή των 200kPa-300kPa, κοντά δηλαδή στην τάση προφόρτισής τους, και από αυτό το σημείο και στο εξής συγκλίνουν οι καμπύλες τους. Η καμπύλη των αναζυμωμένων υλικών επιδεικνύει την

αναμενόμενη συμπεριφορά εγγενούς καμπύλης, η οποία προκύπτει από αναζυμωμένο υλικό με υγρασία 1.25xLL.

10.4 Συμπεράσματα

Από την μελέτη των παραπάνω παρουσιασθέντων αποτελεσμάτων μπορεί να εξαχθεί μια σειρά από συμπεράσματα όσον αφορά τόσο την επίδραση του ποσοστού της τέφρας όσο και την επίδραση του χρόνου ωρίμανσης στα μίγματα αργίλου-ιπτάμενης τέφρας-νερού. Τα αποτελέσματα των δοκιμών μαρτυρούν σημαντικές μεταβολές στις ιδιότητες του υλικού, η γενική τάση των οποίων είναι καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας και ο χρόνος ωρίμανσης, το υλικό να καθίσταται λιγότερο συμπιεστό και περισσότερο περατό, και να παρουσιάζει συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού με ολοένα μεγαλύτερη «φαινόμενη τάση προφόρτισης». Ακολουθεί μια αναλυτικότερη περιγραφή των εξαχθέντων συμπερασμάτων.

Κατ' αρχάς, ο αρχικός δείκτης πόρων όλων των εξετασθέντων υλικών αμέσως μετά την ανάμιξη παρουσιάζει μικρή αύξηση με την αύξηση του ποσοστού τέφρας, η οποία πιθανότατα οφείλεται στην αναλόγως μικρή αύξηση του περιεχόμενου νερού με την αύξηση του περιεχόμενου ποσοστού τέφρας και την πιο ανοικτή δομή που προσδίδει η τέφρα στο υλικό. Επίσης, είναι εμφανής η απόκλιση των καμπυλών $e\text{-log}p$ από τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη. Η συμπιεστότητα μειώνεται αισθητά με την αύξηση του ποσοστού τέφρας, καθώς οι καμπύλες των υλικών με τέφρα αποκλίνουν από το υλικό χωρίς τέφρα, με ολοένα υψηλότερο τελικό δείκτη πόρων. Η συμπεριφορά αυτή είναι ενδεικτική της άμεσης μεταβολής των ιδιοτήτων του υλικού εξαιτίας της προσθήκης της τέφρας, και αποτυπώνεται στην αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, και τη μείωση του μέτρου συμπιεστότητας και του συντελεστή συμπιεστότητας με αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Επίσης, αυξάνεται από την πρώτη κιόλας στιγμή η περατότητα του υλικού, γεγονός που αποτυπώνεται στην αύξηση του συντελεστή στερεοποίησης με αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Η παραπάνω συμπεριφορά φαίνεται ιδιαίτερα έντονη για το υλικό ΑΑΣ-115-25, για το οποίο υπάρχουν δεδομένα μόνο για αμέσως μετά την ανάμιξή του.

Καθώς αυξάνεται η ωρίμανση, παρατηρούνται αποκλίσεις στις συμπεριφορές των διαφόρων αναμίξεων. Πρώτον, παρατηρείται σημαντική μείωση του αρχικού δείκτη πόρων σε όλα τα υλικά εξαιτίας της επιβληθείσας συμπύκνωσης (300kPa). Επίσης, με την πάροδο του χρόνου, όλα τα υλικά μαρτυρούν την ανάπτυξη μιας «φαινόμενης τάσης προφόρτισης», δηλαδή αρχίζουν να παρουσιάζουν συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού. Η τάση αυτή εκδηλώνεται όλο και πιο έντονα καθώς αυξάνεται το ποσοστό της τέφρας και ο χρόνος ωρίμανσης. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το υλικό ΑΑΣ-85-06 μόλις μετά από τρεις μήνες αρχίζει να εκδηλώνει μια υπαρκτή μεν, αμελητέα δε φαινόμενη τάση προφόρτισης, ενώ το ΑΑΣ-90-10 εκδηλώνει σημαντική φαινόμενη τάση προφόρτισης από τις 14 κιόλας ημέρες μετά την ανάμιξή του. Η ανάπτυξη της φαινόμενης αυτής τάσης του συνεχίζεται μέχρι και τους 4 μήνες, όμως με αρκετά χαμηλούς ρυθμούς αύξησης. Η παραπάνω συμπεριφορά αποτυπώνεται ξεκάθαρα στις μεταβολές των παρατηρούμενων χαρακτηριστικών των εξετασθέντων υλικών. Συγκεκριμένα, σε κάθε υλικό, σε κάθε χρόνο ωρίμανσης εκτός από

αμέσως μετά την ανάμιξη, παρατηρείται αρχικώς πτώση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης με την αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου, που ακολουθείται από σταδιακή αύξησή του για υψηλότερες τάσεις, συμπεριφορά που συνάδει με την αναμενόμενη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού.

Παράλληλα, καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας και ο χρόνος ωρίμανσης, παρατηρείται εξαιρετικά υψηλή μείωση της συμπίεσότητας και αύξηση της περατότητας του υλικού για τάσεις μικρότερες της φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Αυτό επιβεβαιώνεται από την αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης με αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Εν γένει, παρατηρείται μικρή αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης συναρτήσει το χρόνου (εκτός από αμέσως μετά την ανάμιξη μέχρι αμέσως μετά την επιβολή συμπίκνωσης, όπου η αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης είναι μεγάλη και οφείλεται στην επιβληθείσα συμπίκνωση). Όταν η επιβαλλόμενη τάση ξεπεράσει την φαινόμενη τάση προφόρτισης, η συμπεριφορά του υλικού συγκλίνει με την VCL συμπεριφορά του υλικού. Αυτό αποτυπώνεται στην ήπια αύξηση του δείκτη συμπίεσότητας και του συντελεστή συμπίεσότητας για αύξηση του χρόνου ωρίμανσης και του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας.

Επίσης, καθώς αναπτύσσεται η φαινόμενη τάση προφόρτισης, φαίνεται να μεγαλώνει η περατότητα του υλικού. Αυτό αποτυπώνεται στις μεταβολές του συντελεστή στερεοποίησης. Για ένα κανονικά στερεοποιημένο υλικό, η τάση του συντελεστή στερεοποίησης είναι να παραμένει πάνω-κάτω ίδιος καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη φόρτιση, και έτσι συμβαίνει σε όλα τα εξετασθέντα υλικά αμέσως μετά την ανάμιξη. Καθώς όμως αυξάνεται το ποσοστό τέφρας και ο χρόνος ωρίμανσης, και παρουσιάζεται η ανάπτυξη της φαινόμενης τάσης στερεοποίησης, ο συντελεστής στερεοποίησης αυξάνεται ανάλογα. Σε όλα τα υλικά που μελετήθηκαν παρατηρήθηκαν αυξήσεις του συντελεστή στερεοποίησης κατά μία τάξη μεγέθους. Η αύξηση αυτή όμως φαίνεται πως είναι αντιστρεπτή, όταν η επιβαλλόμενη εξωτερική τάση γίνει μεγαλύτερη της φαινόμενης τάσης συμπίκνωσης, στην οποία περίπτωση ο συντελεστής στερεοποίησης λαμβάνει τιμές περίπου ίσες με τις αρχικές του. Μοναδική απόκλιση από την παραπάνω συμπεριφορά αποτελεί το ΑΑΣ-90-10 με ωρίμανση 3 και 4 μηνών, του οποίου ο συντελεστής στερεοποίησης δεν επανέρχεται στις αρχικές του τιμές ακόμα και όταν η επιβαλλόμενη τάση υπερβεί σημαντικά τη φαινόμενη τάση προφόρτισης.

Οι παραπάνω μεταβολές φαίνεται να είναι άμεσα αποτελέσματα της δράσης των μηχανισμών δημιουργίας δομής, δηλαδή της εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων μεταξύ της ιπτάμενης τέφρας και της αργίλου. Βεβαίως, είναι σημαντικό να γίνεται διαχωρισμός της επιρροής των αντιδράσεων αυτών από την επιρροή της επιβαλλόμενης συμπίκνωσης, οι οποίες είναι επίσης σημαντικές, η περιορίζονται όμως στο χρονικό διάστημα ανάμεσα στη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη και στο τέλος της διαδικασίας επιβολής συμπίκνωσης περίπου 14 ημέρες αργότερα. Φαίνεται ξεκάθαρα πως τόσο το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας, όσο και ο χρόνος ωρίμανσης, αλλά, σ' ένα βαθμό, και το ποσοστό υγρασίας, επηρεάζουν το ρυθμό εξέλιξης, αλλά και το αποτέλεσμα των αντιδράσεων αυτών. Για παράδειγμα, φαίνεται πως για ποσοστό τέφρας μέχρι και 6% οι αντιδράσεις αυτές δεν

δίνουν αξιοσημείωτα αποτελέσματα, ακόμη και μετά από 3 μήνες ωρίμανσης. Ωστόσο, ποσοστό τέφρας 10% επιταχύνει και εντείνει τη λειτουργία των μηχανισμών, αφού στο ΑΑΣ-90-10 αναπτύσσεται σημαντική φαινόμενη τάση προφόρτισης, πράγμα που σημαίνει πως στο σώμα του υλικού έχουν δημιουργηθεί ισχυροί δεσμοί. Στο δε ΑΑΣ-115-25, η εξέλιξη των μηχανισμών φαίνεται να έχει αξιοσημείωτα αποτελέσματα από τις πρώτες κιόλας ημέρες μετά την ανάμιξη, πριν δηλαδή προλάβει να ολοκληρωθεί η συμπύκνωση (αυτό συμβαίνει και στην περίπτωση του ΑΑΣ-90-10, αλλά σε πολύ ηπιότερο βαθμό). Επίσης, φαίνεται η αντοχή που αναπτύσσεται να χάνεται και το υλικό να συγκλίνει στην VCL συμπεριφορά του όταν η επιβαλλόμενη τάση ξεπεράσει τη φαινόμενη τάση προφόρτισης. Από αυτό μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως η δομή που αναπτύσσεται στο σώμα του υλικού έχει αντοχή ανάλογη με ποσοστό τέφρας και το χρόνο ωρίμανσης, και καταστρέφεται (διαρηγνύεται) όταν η επιβαλλόμενη τάση ξεπεράσει αυτήν την αντοχή. Αυτά προκύπτουν ως άμεσα συμπεράσματα από τις μεταβολές του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης, του δείκτη συμπίεστότητας, του συντελεστή συμπίεστότητας, και των καμπυλών e -log p . Παράλληλα, η μελέτη των αποτελεσμάτων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η δομή που δημιουργείται στο σώμα του υλικού έχει αρκετά μεγαλύτερη περατότητα. Μάλιστα, ενισχύονται τα παραπάνω συμπεράσματα από το γεγονός ότι η αύξηση αυτής της περατότητας χάνεται όταν η επιβαλλόμενη τάση ξεπεράσει τη φαινόμενη τάση προφόρτισης, γεγονός που μπορεί να ερμηνευθεί ως κατάλυση της δομής. Αυτό προκύπτει ως άμεσο συμπέρασμα από τις μεταβολές του συντελεστή στερεοποίησης. Σημαντικό σημείο, το οποίο εγείρει ερωτηματικά, αποτελεί το γεγονός πως στην περίπτωση του ΑΑΣ-90-10 με ωρίμανση 3, και ιδιαίτερα 4 μηνών, παρ' όλο που ξεπερνάται η φαινόμενη τάση προφόρτισης, ο συντελεστής στερεοποίησης παραμένει ίδιος, οδηγώντας στο συμπέρασμα πως η διαπερατότητα του υλικού επίσης παραμένει αμετάβλητη.

11 Τριαξονική Δοκιμή UC-Χωρίς Στράγγιση, Χωρίς Στερεοποίηση, Ανεμπόδιστης Θλίψης

Τα αποτελέσματα της τριαξονικής δοκιμής UC, η οποία πραγματοποιείται χωρίς στράγγιση, χωρίς στερεοποίηση, χωρίς πλευρικό περιορισμό, προσομοιάζοντας δηλαδή αστράγγιστες συνθήκες, είναι καθοριστικά για την αποτίμηση της συμπεριφοράς του εξεταζόμενου υλικού, καθώς οδηγούν στον προσδιορισμό της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής του υλικού C_u , η οποία υπολογίζεται ως το ήμισυ της επιβαλλόμενης ολική κατακόρυφης τάσης κατά την αστοχία. Ακολουθούν τα αποτελέσματα των δοκιμών που διεξήχθησαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, συνοδευόμενα από σχόλια και παρατηρήσεις που έχουν στόχο την ερμηνεία τους.

Για καλύτερη εποπτεία, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πρώτα κατά αναλογία ανάμιξης, δηλαδή παρουσιάζονται όλες οι εξετασθείσες ωρίμανσεις για την κάθε αναλογία ανάμιξης, και κατόπιν κατά χρόνο ωρίμανσης, δηλαδή όλες οι αναμίξεις για κάθε εξετασθείσα χρονική στιγμή. Ύστερα, ακολουθούν τα αναζυμωμένα υλικά, και τέλος ένας συνολικός σχολιασμός.

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, αξίζει να σημειωθεί πως δεν πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές για κανένα εξεταζόμενο υλικό στη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη, καθώς έχει προκύψει από προηγούμενη έρευνα ότι η αστράγγιστη διατμητική αντοχή C_u δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτη μεταβολή με την αύξηση του ποσοστού της τέφρας αμέσως μετά την ανάμιξη. Αυτό δεν μπορεί παρά να οδηγήσει στο συμπέρασμα πως η αστράγγιστη διατμητική αντοχή δεν επηρεάζεται από τη διαδικασία της ενυδάτωσης, αλλά εξολοκλήρου από την εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων. Επίσης, ο σκοπός της παρούσας εργασίας εστιάζεται στον προσδιορισμό εκείνης της αναλογίας ανάμιξης η οποία αναπτύσσει ικανοποιητική αντοχή εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος και ύστερα παύει να αναπτύσσει περαιτέρω αντοχή. Εξαιτίας των παραπάνω, δεν ήταν απαραίτητη η γνώση της αρχικής αντοχής των υλικών, αλλά η παρακολούθηση της εξέλιξής της. Για τους ίδιους λόγους, δεν πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στο καθαρό αργιλικό υλικό (ΑΑΣ-80-00). Άλλωστε, έχει προκύψει από προηγούμενη έρευνα πως η αντοχή καθαρού αργιλικού υλικού δεν επηρεάζεται από τη χρονική ωρίμανση, παρά μόνο σε γεωλογικό χρόνο. Επίσης, υλικά τα οποία θα συνέχιζαν να αναπτύσσουν την αντοχή τους και μετά την ωρίμανση των 6 μηνών ήταν επίσης εκτός του πλαισίου του σκοπού της εργασίας, οπότε δεν εξετάστηκαν χρόνοι μεγαλύτεροι των 6 μηνών.

Στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται ότι όλα τα υλικά, αφού υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεση αμέσως μετά την ανάμιξη, τους επιβλήθηκε συμπίκνωση υπό προκαθορισμένη τάση στην κυψέλη συμπίκνωσης Proctor. Κάθε υλικό πλην του ΑΑΣ-80-00 υποβλήθηκε αμέσως μετά την ανάμιξή του σε συμπίκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa, ενώ το ΑΑΣ-115-25 αμέσως μετά την ανάμιξή του, το υλικό χωρίστηκε σε δύο μέρη, το πρώτο εκ των οποίων υποβλήθηκε σε συμπίκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 150kPa, ενώ το δεύτερο υποβλήθηκε σε συμπίκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa. Κατόπιν,

τα υλικά αφέθηκαν να ωριμάσουν. Έτσι, κατά τη διάρκεια των πρώτων περίπου 14 ημερών μετά την ανάμιξη, όσο δηλαδή διαρκεί η διαδικασία επιβολής συμπύκνωσης, αναμένεται αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής που οφείλεται κυρίως στην επιβαλλόμενη συμπύκνωση, αλλά μπορεί ένα μέρος να οφείλεται και στην εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων, ο ρυθμός των οποίων εξαρτάται στην προκειμένη περίπτωση από το ποσοστό τέφρας και για χαμηλά ποσοστά τέφρας μπορεί να γίνει αμελητέος. Συνεπώς, θα ήταν μάλλον αδύνατο να προσδιορισθεί ποιο ποσοστό της αύξησης της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής οφείλεται στη συμπύκνωση και ποιο στην ωρίμανση. Αυτός ο λόγος επίσης συνέβαλε στην επιλογή έναρξης των δοκιμών 14 ημέρες ή 1 μήνα μετά την ανάμιξη, ώστε να φαίνεται ξεκάθαρα η επιρροή του ποσοστού τέφρας και μόνο.

Η σύγκριση των αστράγγιστων διατμητικών αντοχών των διαφόρων αναμίξεων σε διάφορες χρονικές στιγμές οδηγεί σε σημαντικά συμπεράσματα, καθώς στα αποτελέσματα της τριαξονικής δοκιμής αποτυπώνεται η εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων και η επιρροή της εξέλιξης αυτής στην αντοχή του υλικού, και, συνεπώς, στη δομή του.

11.1 Κατά Αναλογία Ανάμιξης

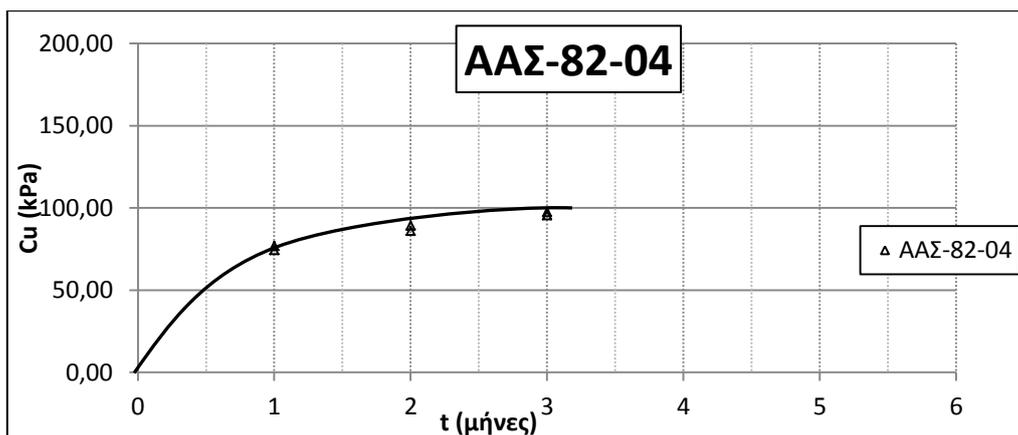
Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, και το ΑΑΣ-115-25, με 115% υγρασία και 25% τέφρα. Για κάθε υλικό στον εκάστοτε χρόνο ωρίμανσης διαμορφώθηκαν 2 κυλινδρικά δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε τριαξονική δοκιμή χωρίς στερεοποίηση, χωρίς στράγγιση, χωρίς πλευρικό περιορισμό. Για κάθε αναλογία ανάμιξης παρατίθενται οι τιμές της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (C_u) όλων των εξετασθέντων δοκιμών για κάθε χρόνο ωρίμανσης.

11.1.1 ΑΑΣ-82-04

Το παρόν υλικό αποτελείται από 82% υγρασία (νερό) και 4% ιπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Στο υλικό πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές UC για χρόνους ωρίμανσης 1 μήνα, 2 μηνών, και 3 μηνών. Για κάθε χρόνο ωρίμανσης διαμορφώθηκαν και υποβλήθηκαν σε τριαξονική δοκιμή δύο κυλινδρικά δοκίμια, για λόγους επαλήθευσης. Στο σημείο αυτό αναφέρεται πως, αμέσως μετά την ανάμιξή του, το υλικό υποβλήθηκε σε συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa, και αφέθηκε να ωριμάσει.

Πίνακας 11.1.1

ΑΑΣ-82-04	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=0kPa		
	1 ΜΗΝΑΣ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ
UCa	74,42	89,19	95,57
UCb	76,83	86,02	97,39



Διάγραμμα 11.1.1

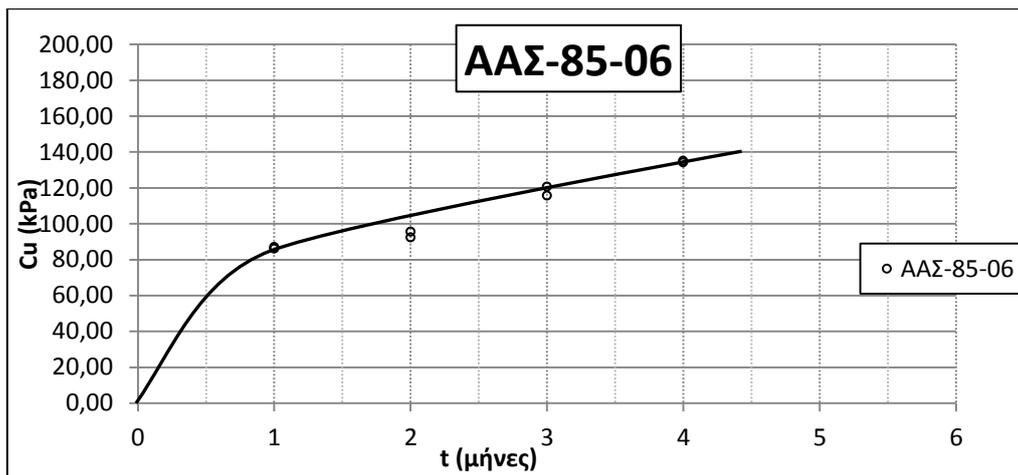
Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνεται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή που προκύπτει για κάθε δοκίμιο σε κάθε εξεταζόμενο χρόνο ωρίμανσης. Παρατηρείται αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής του υλικού της τάξεως του 25% από την ωρίμανση του 1 μήνα έως την ωρίμανση των 3 μηνών, πράγμα που μαρτυρά την εξέλιξη ποζολανικών αντιδράσεων στο διάστημα αυτό. Χρονικοί και άλλοι περιορισμοί δεν επέτρεψαν την περαιτέρω παρακολούθηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής του παρόντος υλικού (είναι προγραμματισμένες να γίνουν μελλοντικά), κι έτσι δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα για την επιρροή της εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή πέραν της ωρίμανσης 3 μηνών. Με επιφύλαξη, βάσει προηγούμενων ερευνών και λοιπών δοκιμών της παρούσας εργασίας, μπορεί να ειπωθεί πως δε θα σημειωθεί σημαντική αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής για μεγαλύτερους χρόνους ωρίμανσης, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της ωρίμανσης θα έχει ολοκληρωθεί πριν την παρέλευση των 6 μηνών, και η τελική αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής δεν αναμένεται να ξεπεράσει κατά πολύ το 25% που σημειώνεται για ωρίμανση 3 μηνών.

11.1.2 ΑΑΣ-85-06

Το παρόν υλικό αποτελείται από 85% υγρασία (νερό) και 6% ιπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Στο υλικό πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές UC για χρόνους ωρίμανσης 1 μήνα, 2 μηνών, 3 μηνών, και 4 μηνών. Για κάθε χρόνο ωρίμανσης διαμορφώθηκαν και υποβλήθηκαν σε τριαξονική δοκιμή δύο κυλινδρικά δοκίμια, για λόγους επαλήθευσης. Στο σημείο αυτό αναφέρεται πως, αμέσως μετά την ανάμιξή του, το υλικό υποβλήθηκε σε συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa, και αφέθηκε να ωριμάσει.

Πίνακας 11.1.2

ΑΑΣ-85-06	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=300kPa			
	1 ΜΗΝΑΣ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ	4 ΜΗΝΕΣ
UCa	86,13	92,35	120,53	134,18
UCb	86,90	95,47	115,68	135,06



Διάγραμμα 11.1.2

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνεται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή που προκύπτει για κάθε δοκίμιο σε κάθε εξεταζόμενο χρόνο ωρίμανσης. Παρατηρείται μικρή αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής του υλικού, της τάξεως του 10%, από την ωρίμανση του 1 μήνα έως την ωρίμανση των 2 μηνών, η οποία συνεχίζεται με γρήγορο ρυθμό ως την ωρίμανση 3 μηνών, όπου σημειώνεται αύξηση της αντοχής της τάξεως του 25% από την αντοχή των 2 μηνών, και μετά επιβραδύνει, σημειώνοντας αύξηση της τάξης του 15% από την ωρίμανση 3 μηνών ως την ωρίμανση 4 μηνών. Στην παραπάνω συμπεριφορά αποτυπώνεται η εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων στο διάστημα από 1 έως 4 μήνες ωρίμανσης. Χρονικοί και άλλοι περιορισμοί δεν επέτρεψαν την περαιτέρω παρακολούθηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής του παρόντος υλικού (είναι προγραμματισμένες να γίνουν μελλοντικά), κι έτσι δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα για την επιρροή της εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή πέραν της ωρίμανσης 4 μηνών. Πάντως, φαίνεται πως μετά την ωρίμανση 1 μήνα οι ποζολανικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα με ολοένα ταχύτερο ρυθμό, ο οποίος φτάνει στη μέγιστη τιμή του μεταξύ των 2 και 3 μηνών, για να αρχίσει να εξασθενεί μετά τους 3 μήνες ωρίμανσης. Με επιφύλαξη, μπορεί να ειπωθεί πως δε θα σημειωθεί σημαντική αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής για μεγαλύτερους χρόνους ωρίμανσης, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της ωρίμανσης θα έχει ολοκληρωθεί πριν την παρέλευση των 6 μηνών, και η τελική αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής δεν αναμένεται να ξεπεράσει κατά πολύ το 35% σε σχέση με την αρχική αντοχή, που σημειώνεται για ωρίμανση 4 μηνών.

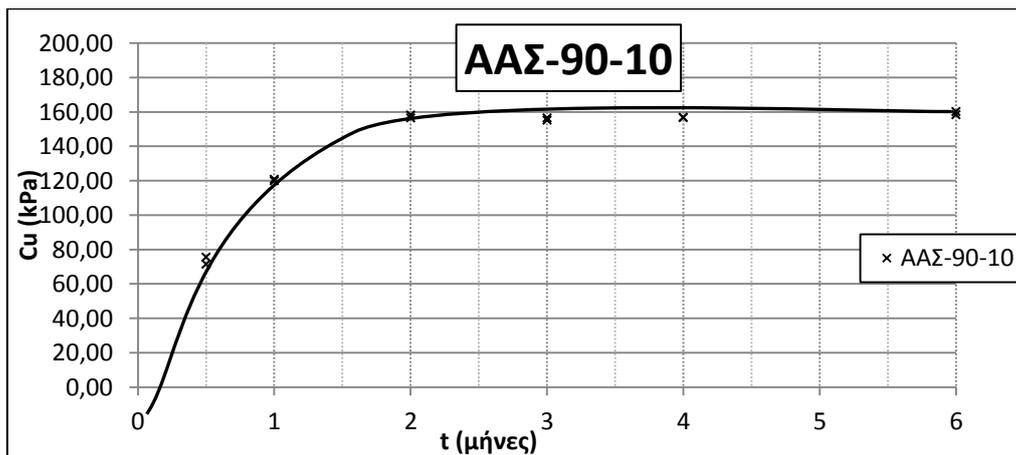
11.1.3 AAΣ-90-10

Το παρόν υλικό αποτελείται από 90% υγρασία (νερό) και 10% ιπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Στο υλικό πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές UC για χρόνους ωρίμανσης 14 ημερών, 1 μήνα, 2 μηνών, 3 μηνών, 4 μηνών, και 6 μηνών. Για κάθε χρόνο ωρίμανσης διαμορφώθηκαν και υποβλήθηκαν σε τριαξονική δοκιμή δύο κυλινδρικά δοκίμια, για λόγους επαλήθευσης. Στο σημείο αυτό αναφέρεται πως, αμέσως μετά την ανάμιξή του,

το υλικό υποβλήθηκε σε συμπίκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa, και αφέθηκε να ωριμάσει.

Πίνακας 11.1.3

ΑΑΣ-90-10	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=300kPa					
	14 ΜΕΡΕΣ	1 ΜΗΝΑΣ	2 ΜΗΝΕΣ	3 ΜΗΝΕΣ	4 ΜΗΝΕΣ	6 ΜΗΝΕΣ
UCa	75,51	120,86	156,56	156,45	156,72	160,20
UCb	71,45	119,89	158,10	155,26	156,91	158,31



Διάγραμμα 11.1.3

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνεται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή που προκύπτει για κάθε δοκίμιο σε κάθε εξεταζόμενο χρόνο ωρίμανσης. Παρατηρείται σημαντική αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής του υλικού, της τάξεως του 60%, από την ωρίμανση των 14 ημερών έως την ωρίμανση του 1 μήνα, η οποία συνεχίζεται με μειούμενο ρυθμό ως την ωρίμανση 2 μηνών, όπου σημειώνεται αύξηση της αντοχής της τάξεως του 33% από την αντοχή του 1 μήνα. Δε σημειώνεται περαιτέρω αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής μετά την παρέλευση των 2 μηνών. Στην παραπάνω συμπεριφορά αποτυπώνεται η εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων, η οποία φαίνεται να έχει αναπτύξει ταχύ ρυθμό ήδη από την ωρίμανση 14 ημερών, και να ολοκληρώνεται έως την ωρίμανση των 2 μηνών, με συνολική τελική αύξηση της διατμητικής αντοχής (σε σύγκριση με την ωρίμανση των 14 ημερών) της τάξης του 115%.

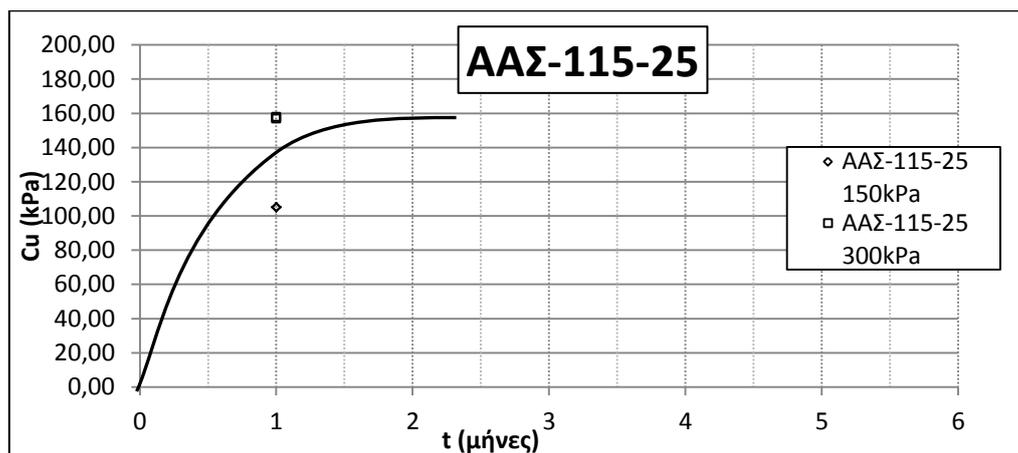
11.1.4 ΑΑΣ-115-25

Το παρόν υλικό αποτελείται από 90% υγρασία (νερό) και 10% υπτάμενη τέφρα (Πτολεμαΐδας). Στο υλικό πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές UC χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα. Χρονικοί και άλλοι περιορισμοί δεν επέτρεψαν την περαιτέρω παρακολούθηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής του παρόντος υλικού (είναι προγραμματισμένες να γίνουν μελλοντικά). Διαμορφώθηκαν και υποβλήθηκαν σε τριαξονική δοκιμή δύο κυλινδρικά δοκίμια, για λόγους επαλήθευσης. Στο σημείο αυτό αναφέρεται πως, αμέσως μετά την ανάμιξή του, το υλικό χωρίστηκε σε δύο μέρη, το πρώτο εκ των οποίων υποβλήθηκε σε

συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 150kPa, ενώ το δεύτερο υποβλήθηκε σε συμπύκνωση στην κυψέλη Proctor σε τάση 300kPa, και αφέθηκε να ωριμάσει.

Πίνακας 11.1.4

ΑΑΣ-115-25	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=150kPa	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=300kPa
	1 ΜΗΝΑΣ	
UCa	105,07	156,82
UCb	104,87	157,74



Διάγραμμα 11.1.4

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνεται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή που προκύπτει για κάθε δοκίμιο στον εξεταζόμενο χρόνο ωρίμανσης. Καθώς εξετάζεται μόνον ο χρόνος ωρίμανσης του 1 μήνα, δεν είναι δυνατή η παρατήρηση της εξέλιξης της τιμής της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής στο χρόνο. Μπορεί ωστόσο να παρατηρηθεί πως, για τα δοκίμια του υλικού που υπέστη συμπύκνωση υπό τάση 300kPa, η αστράγγιστη διατμητική αντοχή του 1 μήνα ωρίμανσης κυμαίνεται στο ίδιο επίπεδο με την αστράγγιστη διατμητική αντοχή του ΑΑΣ-90-10 για 3 μήνες ωρίμανσης. Από αυτό μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η έναρξη των ποζολανικών αντιδράσεων συμβαίνει ακόμη νωρίτερα στο υλικό με 25% τέφρα, σε σχέση με το υλικό με 10% τέφρα, και η αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής είναι ακόμη μεγαλύτερη. Ωστόσο, δεν μπορεί να γίνει εκτίμηση για τη χρονική εξέλιξη των αντιδράσεων. Ένα ακόμη συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι πως η τάση προφόρτισης επηρεάζει καθοριστικά την αστράγγιστη διατμητική αντοχή. Αυτό φαίνεται στη σημαντική διαφορά που σημειώνεται ανάμεσα στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή του ΑΑΣ-115-25 που συμπυκνώθηκε υπό τάση 150kPa και 300kPa, καθώς η δεύτερη ήταν κατά περίπου 50% υψηλότερη της πρώτης. Ωστόσο, από τις εκτελεσθείσες δοκιμές δεν μπορεί να προκύψει συμπέρασμα όσον αφορά την επιρροή της συμπύκνωσης στην εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων.

11.2 Κατά Χρόνο Ωρίμανσης

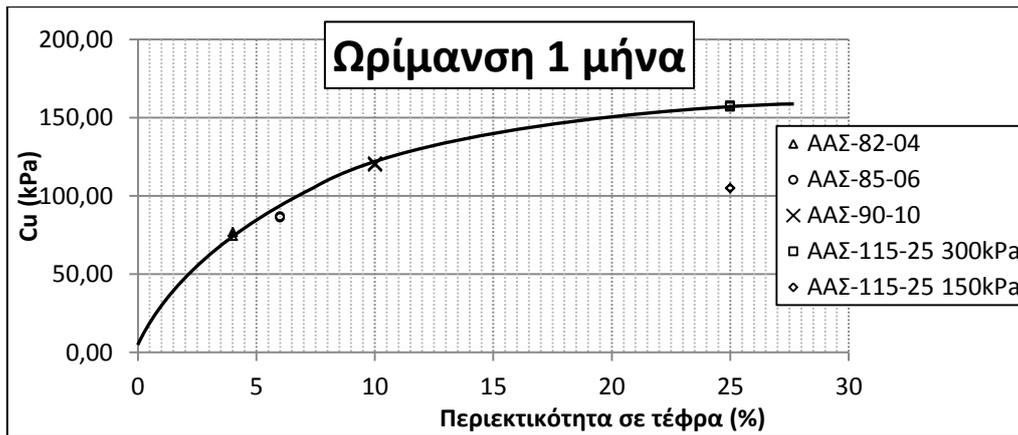
Οι χρονικές ωριμάνσεις που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν τον 1 μήνα, τους 2 μήνες, και τους 3 μήνες ωρίμανσης. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για κάθε χρόνο ωρίμανσης για κάθε υλικό, καθώς χρονικοί και άλλοι περιορισμοί δεν το επέτρεψαν. Επίσης, για το ΑΑΣ-90-10 υπάρχουν στοιχεία για τις 14 ημέρες, τους 4 μήνες, και τους 6 μήνες μετά την ανάμιξη, τα οποία όμως δεν κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν μόνα τους εδώ, αφ' ενός καθώς αφού δεν υπάρχουν στοιχεία άλλων υλικών σε αυτούς τους χρόνους δεν νοείται σύγκριση, αφ' ετέρου επειδή παρουσιάζονται με όλες τους τις λεπτομέρειες στα αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών του υλικού ΑΑΣ-90-10. Ωστόσο, τα στοιχεία είναι επαρκή για τη σαφή σκιαγράφηση της επιρροής του ποσοστού τέφρας στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή για τον εκάστοτε χρόνο ωρίμανσης. Για κάθε υλικό στον εκάστοτε χρόνο ωρίμανσης διαμορφώθηκαν 2 κυλινδρικά δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε τριαξονική δοκιμή χωρίς στερεοποίηση, χωρίς στράγγιση, χωρίς πλευρικό περιορισμό. Για κάθε χρόνο ωρίμανσης παρατίθενται οι τιμές της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (C_u) όλων των εξετασθέντων δοκιμών για κάθε διαθέσιμη αναλογία ανάμιξης.

11.2.1 Ωρίμανση 1 Μήνα

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, και δύο ξεχωριστά υλικά ΑΑΣ-115-25, με 115% υγρασία και 25% τέφρα, το ένα συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το άλλο υπό τάση 150kPa. Η εξέταση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής στο συγκεκριμένο χρόνο ωρίμανσης μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά την έναρξη και τους ρυθμούς εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων.

Πίνακας 11.2.1

1 ΜΗΝΑΣ	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=300kPa			ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=150kPa	
	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10	ΑΑΣ-115-25	
UCa	74,42	86,13	120,86	156,82	105,07
UCb	76,83	86,90	119,89	157,74	104,87



Διάγραμμα 11.2.1

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνεται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή που προκύπτει για κάθε δοκίμιο για κάθε ποσοστό τέφρας. Παρατηρείται πως η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού τέφρας. Ωστόσο, ο ρυθμός αύξησης φαίνεται να είναι μεγάλος για μικρότερα ποσοστά τέφρας και να φθίνει καθώς τα ποσοστά τέφρας αυξάνονται: αύξηση από 4% σε 6% τέφρα επιφέρει αύξηση της C_u της τάξης του 15%, αύξηση από 6% σε 10% τέφρα επιφέρει αύξηση της C_u της τάξης του 40%, ενώ αύξηση από 10% σε 25% τέφρα επιφέρει αύξηση της C_u της τάξης του 30%. Παράλληλα, παρατηρείται πως η επιρροή της τάσης συμπίκνωσης στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή ενός υλικού είναι σημαντική: αύξηση της τάσης συμπίκνωσης από 150kPa σε 300kPa, στην περίπτωση του ΑΑΣ-115-25, οδηγεί σε αύξηση της C_u της τάξης του 50%.

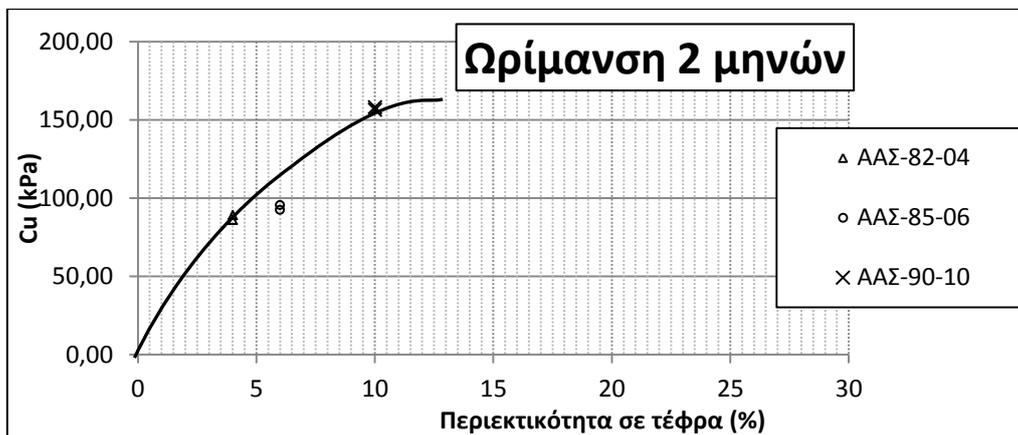
Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει πως καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας, μειώνεται ο χρόνος ωρίμανσης που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η φάση της ενυδάτωσης του υλικού και να εκκινήσουν οι ποζολανικές αντιδράσεις. Μάλιστα, σε υλικά με αυξημένο ποσοστό τέφρας (10%, 25%), οι ποζολανικές αντιδράσεις φαίνονται να έχουν ήδη αναπτύξει σημαντική δραστηριότητα (ανάπτυξη δομής) για χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα.

11.2.2 Ωρίμανση 2 Μηνών

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, και το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa. Η εξέταση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής στο συγκεκριμένο χρόνο ωρίμανσης μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά την έναρξη και τους ρυθμούς εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων.

Πίνακας 11.2.2

2 ΜΗΝΕΣ	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=300kPa		
	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10
UCa	89,19	92,35	156,56
UCb	86,02	95,47	158,10



Διάγραμμα 11.2.2

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνεται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή που προκύπτει για κάθε δοκίμιο για κάθε εξεταζόμενο ποσοστό τέφρας. Παρατηρείται πως η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού τέφρας. Ωστόσο, σε αντίθεση με την ωρίμανση 1 μήνα, ο ρυθμός αύξησης φαίνεται να είναι μικρότερος για μικρότερα ποσοστά τέφρας και να αυξάνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας: αύξηση από 4% σε 6% τέφρα επιφέρει αύξηση της C_u της τάξης του 5%, ενώ αύξηση από 6% σε 10% τέφρα επιφέρει αύξηση της C_u της τάξης του 90%. Για ποσοστά τέφρας υψηλότερα του 10% δεν είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων, καθώς εξαιτίας χρονικών και άλλων περιορισμών δεν πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές σε δοκίμια υλικού ΑΑΣ-115-25.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει πως καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας, μειώνεται ο χρόνος ωρίμανσης που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η φάση της ενυδάτωσης του υλικού και να αυξάνεται ο ρυθμός εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων. Μάλιστα, σε υλικά με αυξημένο ποσοστό τέφρας (10%), οι ποζολανικές αντιδράσεις φαίνονται να έχουν αναπτύξει σημαντική δραστηριότητα (ανάπτυξη δομής) σε σχέση με υλικά χαμηλότερου ποσοστού τέφρας (4%, 6%) για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών.

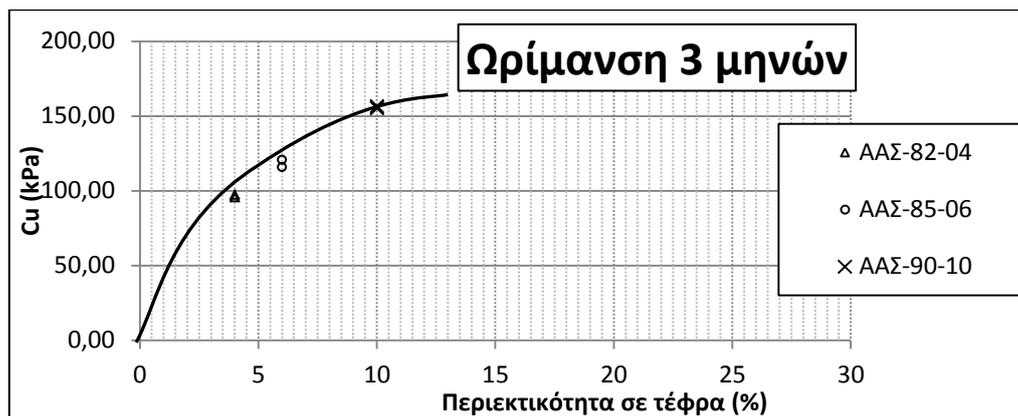
11.2.3 Ωρίμανση 3 Μηνών

Τα υλικά που εξετάστηκαν συμπεριλαμβάνουν το ΑΑΣ-82-04, με 82% υγρασία και 4% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, το ΑΑΣ-85-06, με 85% υγρασία και 6% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa, και το ΑΑΣ-90-10, με 90% υγρασία και 10% τέφρα, συμπυκνωμένο υπό τάση 300kPa. Η εξέταση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής στο

συγκεκριμένο χρόνο ωρίμανσης μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά τους ρυθμούς εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων.

Πίνακας 11.2.3

3 ΜΗΝΕΣ	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ=300kPa		
	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10
UCa	95,57	120,53	156,45
UCb	97,39	115,68	155,26



Διάγραμμα 11.2.3

Στο σχετικό πίνακα και στο διάγραμμα φαίνεται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή που προκύπτει για κάθε δοκίμιο για κάθε εξεταζόμενο ποσοστό τέφρας. Παρατηρείται πως η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού τέφρας. Ωστόσο, σε αντίθεση με την ωρίμανση 2 μηνών, ο ρυθμός αύξησης φαίνεται να είναι ίδιος για ποσοστά τέφρας από 4% έως και 10%: αύξηση από 4% σε 6% τέφρα επιφέρει αύξηση της C_u της τάξης του 22%, ενώ αύξηση από 6% σε 10% τέφρα επιφέρει αύξηση της C_u της τάξης του 33%, δηλαδή η αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής είναι ανάλογη της αύξησης του ποσοστού τέφρας. Για ποσοστά τέφρας υψηλότερα του 10% δεν είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων, καθώς εξαιτίας χρονικών και άλλων περιορισμών δεν πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές σε δοκίμια υλικού ΑΑΣ-115-25.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει πως καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας, μειώνεται ο χρόνος ωρίμανσης που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η φάση της ενυδάτωσης του υλικού και να αυξάνεται ο ρυθμός εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων. Μάλιστα, στο συγκεκριμένο χρόνο ωρίμανσης, πέρα από τα υλικά με αυξημένο ποσοστό τέφρας (10%), οι ποζολανικές αντιδράσεις φαίνονται να έχουν αναπτύξει σημαντική δραστηριότητα (ανάπτυξη δομής) και σε υλικά χαμηλότερου ποσοστού τέφρας (6%) για χρόνο ωρίμανσης 3 μηνών.

11.3 Συμπεράσματα

Από την μελέτη των παραπάνω παρουσιασθέντων αποτελεσμάτων μπορεί να εξαχθεί μια σειρά από συμπεράσματα όσον αφορά τόσο την επίδραση του ποσοστού της τέφρας όσο

και την επίδραση του χρόνου ωρίμανσης στα μίγματα αργίλου-ιπτάμενης τέφρας-νερού σχετικά με την ανάπτυξη αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, και κατ' επέκταση την έναρξη και εξέλιξη των ποζολανικών αντιδράσεων. Τα αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών μαρτυρούν σημαντικές μεταβολές στην αντοχή των εξεταζόμενων υλικών, η γενική τάση των οποίων είναι καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας και ο χρόνος ωρίμανσης να αυξάνεται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή. Επίσης, η μέγιστη αναπτυσσόμενη αστράγγιστη διατμητική αντοχή ενός υλικού αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού τέφρας, και αναπτύσσεται σε συντομότερο χρονικό διάστημα με την αύξηση του ποσοστού τέφρας. Ακολουθεί μια αναλυτικότερη περιγραφή των εξαχθέντων συμπερασμάτων.

Κάθε προϊόν ανάμιξης, πλην της καθαρής αργίλου, σημείωσε την ίδια αυξητική τάση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής. Ωστόσο, η εκκίνηση της ανάπτυξής της, η οποία χρονικά συμπίπτει με την ολοκλήρωση της ενυδάτωσης της τέφρας και με την έναρξη των ποζολανικών αντιδράσεων, συνέβαινε για χαμηλότερο χρόνο ωρίμανσης, καθώς αυξανόταν το ποσοστό τέφρας. Συγκεκριμένα, η ουσιαστική ανάπτυξη διατμητικής αντοχής ξεκινούσε περί τους 2 μήνες ωρίμανσης στο υλικό με 6% τέφρα, περί τις 14 ημέρες ωρίμανσης στο υλικό με 10% τέφρα, ενώ για το υλικό με 4% τέφρα σημειώθηκε μόνο μικρή ανάπτυξη μέχρι την ωρίμανση 3 μηνών και στο υλικό με 25% τέφρα φαίνεται να είχε ήδη σημειωθεί σημαντική ανάπτυξη ήδη από τον 1 μήνα ωρίμανσης.

Ο χρόνος ολοκλήρωσης της ανάπτυξης αντοχής φανερά εξαρτάται από το ποσοστό τέφρας. Το ΑΑΣ-90-10 ανέπτυξε την τελική του αντοχή μόλις μετά από 2 μήνες ωρίμανσης, ενώ το ΑΑΣ-82-04 δε σημείωνε ιδιαίτερη αύξηση της αντοχής έως και τους 3 μήνες ωρίμανσης, το ΑΑΣ-85-06 συνέχιζε να παρουσιάζει αύξηση της αντοχής του έως και τους 4 μήνες ωρίμανσης, και το ΑΑΣ-115-25, το οποίο εξετάστηκε μόνο για ωρίμανση 1 μήνα, φάνηκε να έχει ήδη αναπτύξει σημαντικές αντοχές. Έτσι, παρ' όλο που δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για να προσδιοριστεί σαφώς η επιρροή του ποσοστού τέφρας στο ύψος της τελικής αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, φαίνεται πως ο χρόνος ολοκλήρωσης της ανάπτυξής της μειώνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας.

Επίσης, όσον αφορά την τελική τιμή που παίρνει η αστράγγιστη διατμητική αντοχή, δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα που να καταδεικνύουν την τιμή της τελικής αντοχής που αναπτύσσεται σε κάθε υλικό, ώστε να προσδιοριστεί το κατά πόσον αυτή επηρεάζεται από το ποσοστό τέφρας, φαίνεται εύλογο όμως πως αυτή επίσης αυξάνεται με αύξηση ποσοστό τέφρας. Χαρακτηριστικό είναι πως για το υλικό ΑΑΣ-90-10, η τελική αστράγγιστη διατμητική αντοχή που αναπτύχθηκε ήταν κατά περίπου 115% υψηλότερη από αυτήν των 14 ημερών ωρίμανσης, ενώ για τα ΑΑΣ-82-04 και ΑΑΣ-85-06 κατά περίπου 25% (3 μήνες ωρίμανσης) και 35% (4 μήνες ωρίμανσης) αντίστοιχα.

Τέλος, παρατηρήθηκε πως η συμπύκνωση του υλικού επηρεάζει σε αξιοσημείωτο βαθμό την ανάπτυξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής. Ωστόσο, καθώς αυτή η παράμετρος δεν μελετήθηκε διεξοδικά, δεν μπορούν να εξαχθούν πιο συγκεκριμένα συμπεράσματα, για παράδειγμα όσον αφορά την επιρροή της συμπύκνωσης στους χρόνους έναρξης και ολοκλήρωσης των ποζολανικών αντιδράσεων, πάντως μπορεί να θεωρηθεί με

βεβαιότητα πως η τελική τιμή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής επηρεάζεται από την επιβολή συμπύκνωσης.

Η παραπάνω συμπεριφορά των υλικών μπορεί να αποδοθεί στο συμπέρασμα ότι η καθώς αυξάνεται το ποσοστό ιπτάμενης τέφρας σ' ένα αργλικό υλικό προκύπτει ως άμεση συνέπεια η μείωση του απαιτούμενου χρόνου για την έναρξη και ολοκλήρωση των ποζολανικών αντιδράσεων και κατ' επέκταση του ρυθμού εξέλιξης των αντιδράσεων αυτών. Έτσι, καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας η διαδικασία δημιουργίας δομής στο εσωτερικό του υλικού καθίσταται ταχύτερη. Επίσης, αύξηση του ποσοστού τέφρας συνεπάγεται αύξηση της τελικής αναπτυσσόμενης αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, γεγονός που μαρτυρά πως η δομή που αναπτύσσεται στα υψηλότερης περιεκτικότητας σε τέφρα υλικά έχει μεγαλύτερη αντοχή.

12 Σύγκριση Αποτελεσμάτων της Παρούσας Εργασίας με Αποτελέσματα Ερευνών της Βιβλιογραφίας

Στο πλαίσιο του σκοπού της παρούσας εργασίας, ο οποίος έγκειται στη δημιουργία ενός εδαφικού υλικού με δομή ώστε να χρησιμοποιηθεί σαν πρότυπο υλικό στην προσπάθεια κατανόησης της συμπεριφοράς των εδαφικών υλικών με δομή και την αποσαφήνιση των μηχανισμών αστοχίας τους, παρατίθεται μια σειρά από συγκρίσεις των δοκιμαστικών μιγμάτων που δημιουργήθηκαν με περιπτώσεις εδαφικών υλικών με δομή που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία. Παρουσιάζονται συγκρίσεις τόσο με φυσικά όσο και με τεχνητά εδαφικά υλικά με δομή, με σαφή έμφαση στα τεχνητά υλικά, τόσο εξαιτίας της μεγαλύτερης συνάφειάς τους με τα προϊόντα ανάμιξης της παρούσας εργασίας, όσο και εξαιτίας του σαφώς μεγαλύτερου όγκου σχετικής πληροφορίας που υπάρχει γι' αυτά στη βιβλιογραφία σε σχέση με τα φυσικά εδαφικά υλικά.

Οι συγκρίσεις γίνονται, ανάλογα φυσικά με τα διαθέσιμα στη βιβλιογραφία στοιχεία, με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά, και τα αποτελέσματα δοκιμών μονοδιάστατης στερεοποίησης και τριαξονικής δοκιμής χωρίς στερεοποίηση, χωρίς στράγγιση, χωρίς πλευρικούς περιορισμούς (τριαξονική δοκιμή UC). Δε δίνεται έμφαση στην ακριβή ταύτιση της συμπεριφοράς των προϊόντων ανάμιξης της παρούσας εργασίας με τα υλικά της βιβλιογραφίας, αλλά αντίθετα εξετάζεται αν οι συμπεριφορές τους μοιάζουν ποιοτικά, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των συγκρινόμενων υλικών. Ως επί το πλείστον, χρησιμοποιήθηκαν υλικά τα οποία περιέχουν επαρκές ποσοστό αργιλικού υλικού ώστε να θεωρούνται κατά βάση λεπτόκοκκα. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση των φυσικών υλικών επιλέχθηκαν προς σύγκριση κυρίως μάργες, οι οποίες αποτελούνται κυρίως από αργιλικά στοιχεία, και συγκρίθηκε η συμπεριφορά τους με τη συμπεριφορά των προϊόντων ανάμιξης για χρόνους ωρίμανσης επαρκής ώστε να έχει αναπτυχθεί δομή. Στην περίπτωση των τεχνητών υλικών επιλέχθηκαν προς σύγκριση διαφόρων ειδών άργιλοι σταθεροποιημένες με διαφόρων ειδών πρόσμικτα, αλλά κυρίως με τσιμέντο. Όπου υπήρχε δυνατότητα, τα τεχνητά υλικά συγκρίθηκαν τόσο κατά αναλογία ανάμιξης όσο και κατά χρόνο ωρίμανσης, ώστε να προσδιορισθεί η επιρροή του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτη αλλά και ο χρόνος ωρίμανσης στο ρυθμό εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων.

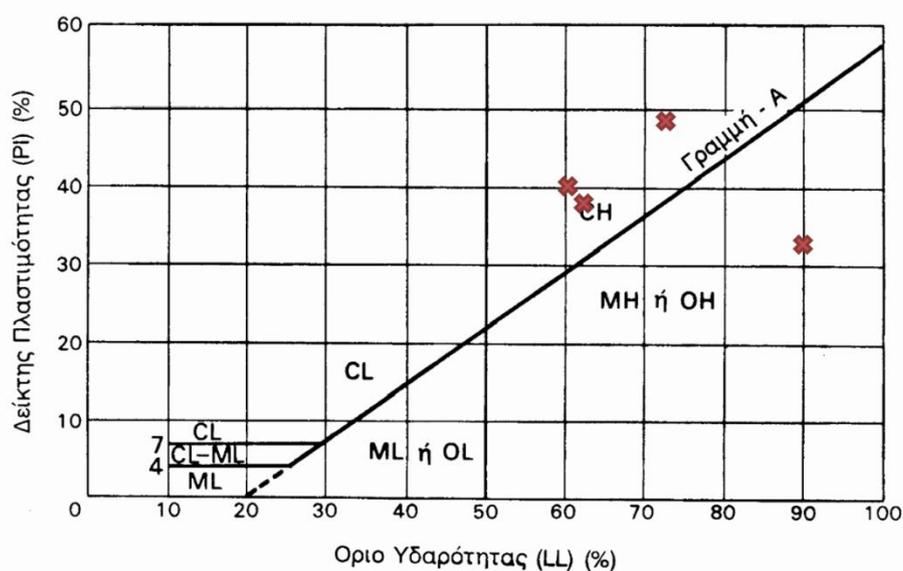
12.1 Σύγκριση με Φυσικά Υλικά

Στη φύση βρίσκονται αναρίθμητα εδαφικά υλικά με δομή. Ωστόσο το φάσμα της διερεύνησης των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών τους όσον αφορά τη φύση της δομής τους και την επιρροή που αυτή έχει στη συμπεριφορά τους δεν είναι ιδιαίτερα ευρύ. Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα δοκιμών πάνω σε τέτοια υλικά και συγκρίνοντάς τα με τα προϊόντα ανάμιξης της παρούσας εργασίας, μπορούν να προκύψουν σημαντικά συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, το ζητούμενο είναι να εξετασθεί κατά πόσον η συμπεριφορά των κατασκευασθέντων υλικών προσομοιάζει τη συμπεριφορά των εδαφικών υλικών με δομή που υπάρχουν στη φύση. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό πως με τα φυσικά υλικά

συγκρίνονται με τα κατασκευασθέντα υλικά αφού αυτά έχουν υποστεί επαρκή ωρίμανση, έτσι ώστε να μπορεί μέσω της σύγκρισης της συμπεριφοράς τους με αυτήν των φυσικών υλικών με δομή να προσδιορισθεί κατά πόσον αυτές είναι ποιοτικώς ίδιες, αν δηλαδή τα κατασκευασθέντα υλικά συμπεριφέρονται σαν υλικά με δομή.

12.1.1 Μάργα Καστέλας Κροατίας

Πρόκειται για μαργαϊκά υλικά που αποτελούνται κυρίως από αργιλικά και ασβεστιτικά στοιχεία, και έχουν υποστεί τη διαδικασία της διαγένεσης και συγκόλλησης. Τοποθετούνται κυρίως στην κατηγορία CH του χάρτη πλαστικότητας του Casagrande, χαρακτηρισμός ίδιος με αυτόν της Αργίλου Αγίου Στεφάνου, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή των μιγμάτων της παρούσας εργασίας. Τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας και ο δείκτης πλαστικότητας του υλικού φαίνονται στο σχετικό πίνακα.



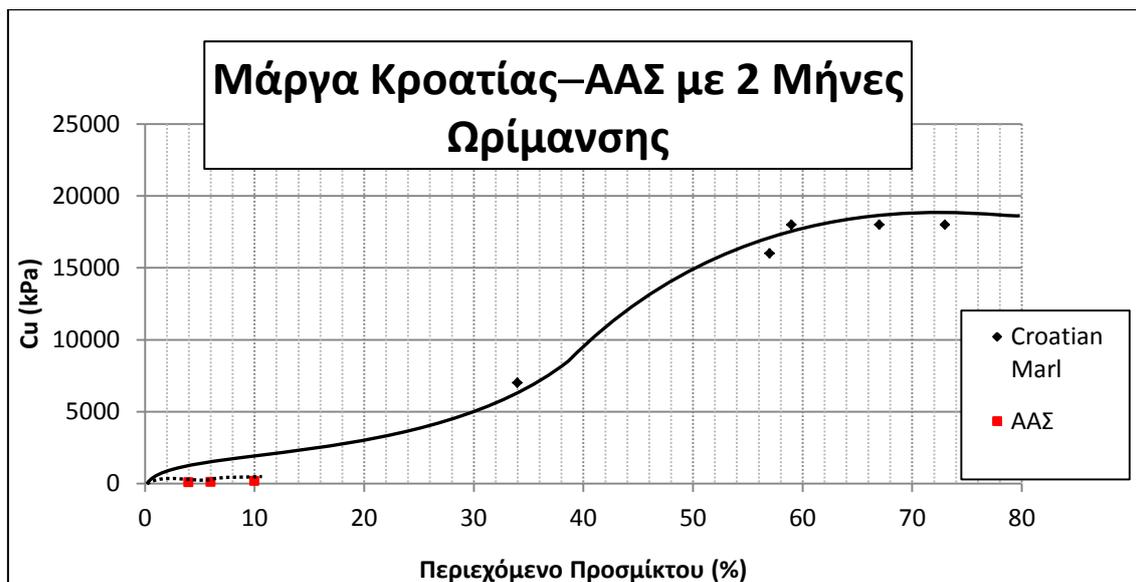
Σχήμα 12.1: Κατάταξη στον Χάρτη Casagrande

Πίνακας 12.1.1

Όρια Atterberg	LL	PL	PI
Αργιλώδης Μάργες Καστέλας Κροατίας	60	20	40
	62	25	37
	72	24	48
	91	33	58
ΑΑΣ-85-06	81	44	37
ΑΑΣ-90-10	81	48	33

Είναι εμφανές ότι τα όρια υδαρότητας και οι δείκτες πλαστικότητας των μαργών Καστέλας κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα με των μιγμάτων ΑΑΣ, συνεπώς τα συγκρινόμενα υλικά σημειώνουν ομοιότητα ως προς τα όρια Atterberg. Στο σχετικό διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τριαξονικών δοκιμών UC σε δοκίμια της μάργας Κροατίας και των μιγμάτων ΑΑΣ συναρτήσεως του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου: στην περίπτωση

της μάργας, η αναφορά γίνεται σε ποσοστό περιεχομένου ασβεστίου (CaCO_3), ενώ στην περίπτωση του ΑΑΣ στην υπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας.



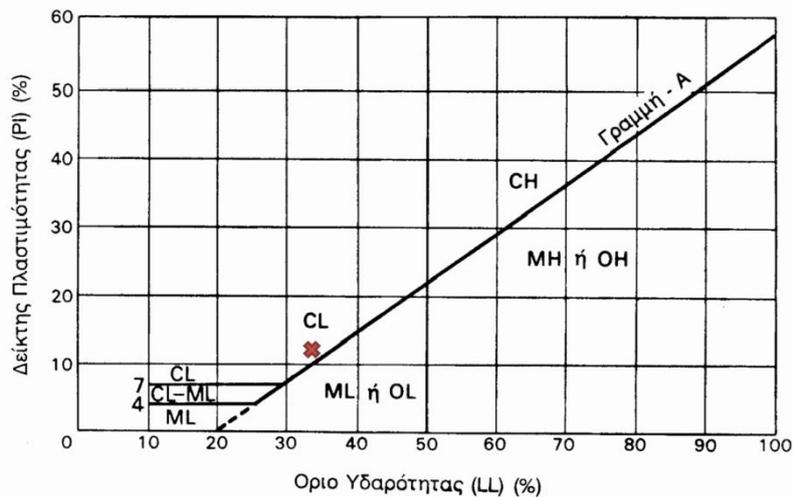
Διάγραμμα 12.1.1

Παρατηρείται πως η γενική τάση τόσο στις μάργες, όσο και στα προϊόντα ανάμιξης ΑΑΣ είναι να αυξάνεται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή (C_u) του ποσοστού περιεχομένου προσμίκτη. Ωστόσο, η αντοχή της μάργας είναι σαφώς πολύ υψηλότερη από αυτήν των προϊόντων ανάμιξης ΑΑΣ. Αυτό οφείλεται τόσο στη σημαντική διαφορά του ποσοστού περιεχομένου προσμίκτη μεταξύ των δύο υλικών, που ανέρχεται στο 35% έως 75% περίπου στην περίπτωση της μάργας ενώ δεν ξεπερνά το 10% στη περίπτωση των προϊόντων ανάμιξης ΑΑΣ, όσο και στις συνθήκες υπό τις οποίες δημιουργήθηκαν τα δύο υλικά: οι μιν μάργες έχουν υποστεί χιλιάδες χρόνια διαγένεσης, ενώ τα προϊόντα ανάμιξης ΑΑΣ έχουν υποστεί συμπύκνωση υπό τάση 300kPa και ωρίμανση μόλις 2 μηνών, αφού πρώτα είχε καταστραφεί επιμελώς οποιαδήποτε προϋπάρχουσα δομή. Συνεπώς, η αυξημένη αντοχή που διακρίνεται στην μάργα (περί τα 7000kPa για ποσοστό προσμίκτη 35%, περί τα 17500kPa για ποσοστό προσμίκτη 35%) έναντι των προϊόντων ανάμιξης ΑΑΣ (περί τα 150kPa για 10% προσμίκτη και 6 μήνες χρόνου ωρίμανσης) μπορεί να θεωρηθεί αναμενόμενη, με μοναδικό, πλην όμως σημαντικότατο, κοινό στοιχείο αυτό της αύξησης της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής με αύξηση του ποσοστού προσμίκτη.

[47]

12.1.2 Άργιλος Leda Καναδά

Πρόκειται για αργλικές αποθέσεις στη Λήδα του Καναδά, όπου με την πάροδο του χρόνου έχει αναπτυχθεί δομή μέσω της διαδικασίας της διαγένεσης και συγκόλλησης. Η περιεκτικότητά τους σε αργιλικά ξεπερνά το 60%. Κατατάσσονται στην κατηγορία CL του χάρτη πλαστικότητας του Casagrande. Τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας και ο δείκτης πλαστικότητας του υλικού φαίνονται στο σχετικό πίνακα.

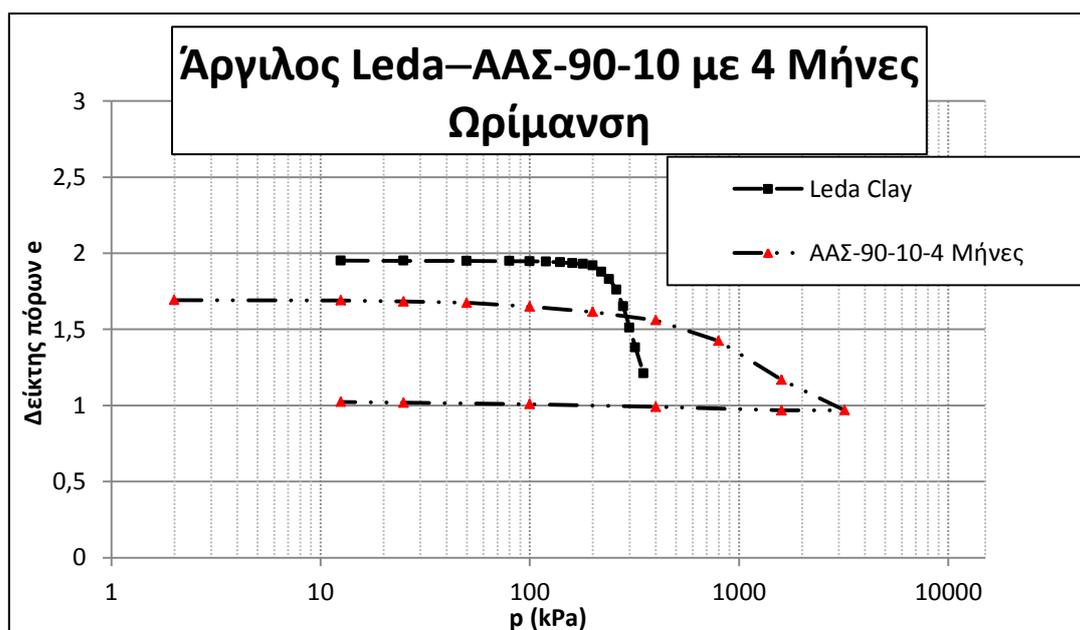


Σχήμα 12.2: Κατάταξη στον Χάρτη Casagrande

Πίνακας 12.1.2

Όρια Atterberg	LL	PL	PI	Χαρακτηρισμός
Leda Clay	34	22	12	CH

Τα όρια υδαρότητας και οι δείκτες πλαστιμότητας της αργίλου της Leda βρίσκονται αρκετά χαμηλότερα από των μιγμάτων ΑΑΣ, που σημαίνει ότι η πρώτη έχει διαφορετική σύσταση από τα δεύτερα, τέτοια που της προσδίδει αρκετά χαμηλότερη υδροαπορροφητικότητα και πλαστικότητα. Στο σχετικό διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης σε δοκίμια της αργίλου Leda και του ΑΑΣ-90-10.



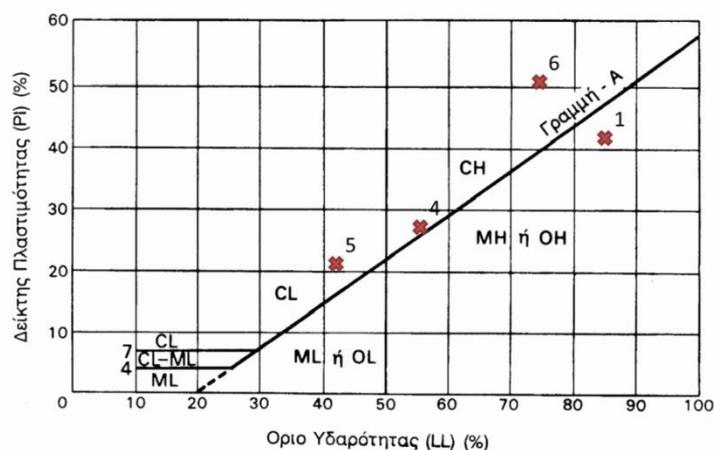
Διάγραμμα 12.1.2

Αν και οι καμπύλες $e-\log p$ των δύο υλικών δεν συμπίπτουν με ακρίβεια, παρατηρείται πως οι συμπεριφορές τους είναι ποιοτικά ίδιες. Η ανάπτυξη δομής φαίνεται από τη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού που επιδεικνύουν και τα δύο υλικά, δηλαδή την παρουσίαση φαινόμενης τάσης προφόρτισης, περί τα 200kPa και $e=1.9$ για την άργιλο της Leda, και (περί τα 200kPa και $e=1.6$ για το ΑΑΣ-90-10. Όταν τελικώς αυτή υπερβαίνεται από την επιβαλλόμενη τάση, υπερβαίνεται δηλαδή η αντοχή των αναπτυχθέντων δεσμών, η καμπύλη υποχωρεί και το υλικό συμπιέζεται, με το δείκτη πόρων του να καθώς αυξάνεται η φόρτιση. Πρέπει σ' αυτό το σημείο να σημειωθεί πως μέρος της φαινόμενης τάσης προφόρτισης του συγκρινόμενου υλικού ενδέχεται να οφείλεται σε προφόρτιση που τυχόν έχει υποστεί, και όχι ολοκληρωτικά στην ανάπτυξη δεσμών. Ωστόσο, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να υποστηρίζουν την μία ή την άλλη αιτία, είναι όμως εξαιρετικά πιθανό ένα φυσικό υλικό, όπως το συγκρινόμενο, να έχει υποστεί προφόρτιση στο παρελθόν. Επίσης, τα δύο υλικά παρουσιάζουν παραπλήσια αντοχή, με την άργιλο Leda να επιδεικνύει αστράγγιστη διατμητική αντοχή (C_u) ίση με 170kPa, ενώ το ΑΑΣ-90-10 για 4 μήνες ωρίμανση παρουσιάζει αστράγγιστη διατμητική αντοχή (C_u) ίση με 160kPa. Συνεπώς, είναι έκδηλο πως οι συμπεριφορές των δύο υλικών είναι ποιοτικά ίδιες.

[48]

12.1.3 Διάφορες Άργιλοι με Δομή

Πρόκειται για διάφορα αργιλικά υλικά σε διάφορα σημεία της Γης, τα οποία με την πάροδο του χρόνου έχουν αναπτύξει δομή μέσω της διαδικασίας της διαγένεσης και συγκόλλησης. Συγκεκριμένα, πρόκειται για την άργιλο Ariake από την περιοχή του Kawasoe και από την περιοχή της Fukutomi της Ιαπωνίας (δύο ξεχωριστά υλικά), την άργιλο της Πόλης του Μεξικού, την άργιλο της Leda του Καναδά, την άργιλο του Batiscan του Quebec του Καναδά, και την άργιλο του Louisville, Kentucky, των Ηνωμένων Πολιτειών. Οι κατατάξεις τους κατά Casagrande φαίνονται στον σχετικό πίνακα και διάγραμμα. Αξίζει να σημειωθεί πως οι άργιλοι Ariake του Fukutomi και της Πόλης του Μεξικού βρίσκονται εκτός του χάρτη πλαστικότητας, καθώς το όριο υδαρότητάς τους και ο δείκτης πλαστικότητάς τους είναι μεγαλύτερα από αυτά που περιέχει ο χάρτης.

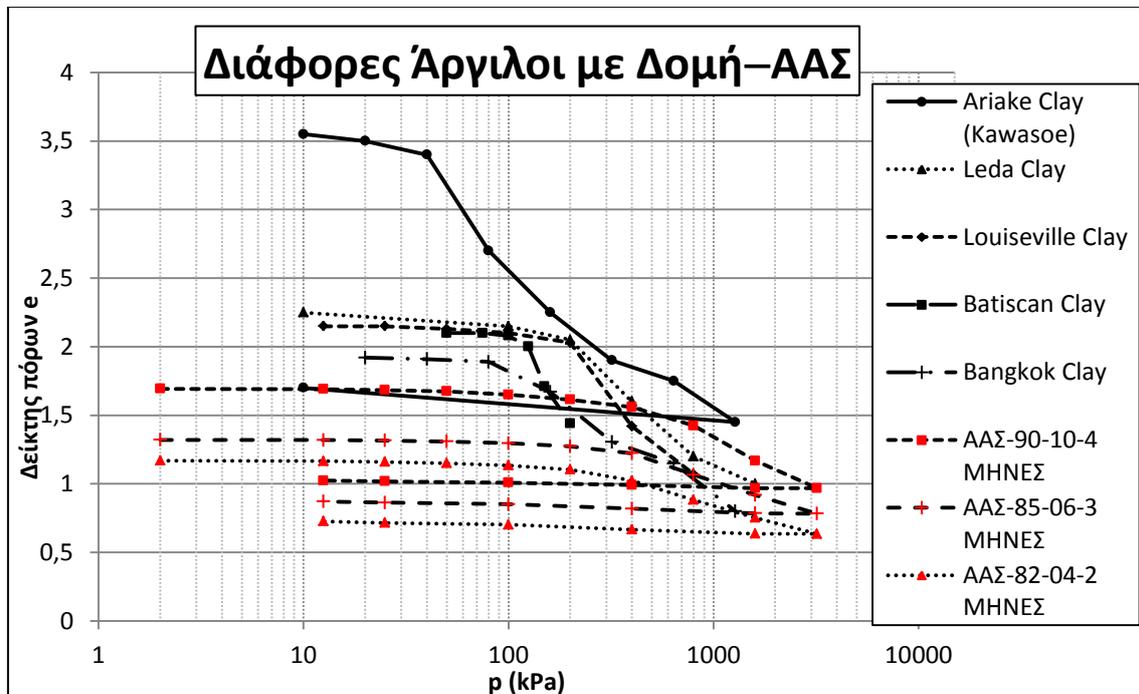


Σχήμα 12.3: Κατάταξη στον Χάρτη Casagrande

Πίνακας 12.1.3

Όρια Atterberg	1. Ariake Clay (Kawasoe)	2. Ariake Clay (Fukutomi)	3. Mexico City Clay	4. Leda Clay	5. Batiscan Clay	6. Louiseville Clay
LL	86	112	500	56	43	75
PL	45	49	150	29	22	23
PI	41	63	350	27	21	52
Χαρακτηρισμός	MH	CH	CH	CH	CL	CH

Με εξαίρεση την άργιλο του Batiscan, τα υπόλοιπα υλικά έχουν υψηλό έως ιδιαίτερα υψηλό όριο υδαρότητας, και κυμαίνονται στα επίπεδα των μιγμάτων ΑΑΣ. Στο σχετικό διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης σε δοκίμια των παραπάνω αργιλικών υλικών και των διαφόρων μιγμάτων του ΑΑΣ στον μεγαλύτερο διαθέσιμο χρόνο ωρίμανσης.



Διάγραμμα 12.1.3

Αν και οι καμπύλες e - $\log p$ των υλικών δεν συμπίπτουν με ακρίβεια, παρατηρείται πως οι συμπεριφορές τους είναι ποιοτικά ίδιες. Η ανάπτυξη δομής φαίνεται από τη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού που επιδεικνύουν και όλα τα υλικά ανεξαιρέτως, δηλαδή την παρουσίαση φαινόμενης τάσης προφόρτισης, περί τα 40kPa και $e=3,4$ για την άργιλο Ariake, περί τα 110kPa και $e=2,1$ για την άργιλο της Leda και την άργιλο του Louisville, περί τα 100kPa και $e=2,1$ την άργιλο του Batiscan, περί τα 80kPa και $e=1,8$ για την άργιλο της Bangkok. Όταν τελικώς αυτή υπερβαίνεται από την επιβαλλόμενη τάση, υπερβαίνεται δηλαδή η αντοχή των αναπτυχθέντων δεσμών, η καμπύλη υποχωρεί και το υλικό συμπιέζεται, με το δείκτη πόρων

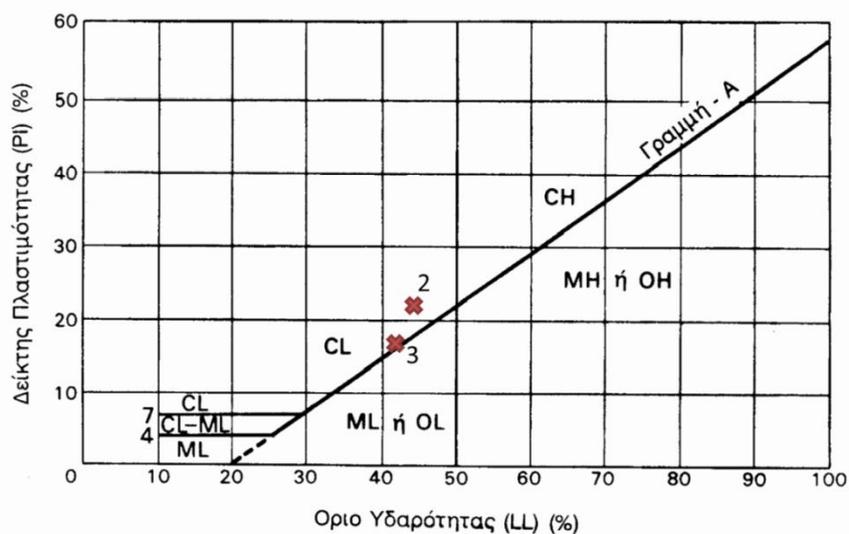
του να μειώνεται καθώς αυξάνεται η φόρτιση. Είναι αναμενόμενο το γεγονός ότι τα φυσικά υλικά ξεκινούν από υψηλότερο αρχικό δείκτη πόρων από τα μίγματα ΑΑΣ, καθώς όντας φυσικά υλικά υποβλήθηκαν σε δοκιμές με την μικρότερη δυνατή διατάραξη και συνεπώς εμπεριέχουν τα κενά του φυσικού εδάφους, ενώ τα μίγματα ΑΑΣ διαμορφώθηκαν από καθαρό αργιλικό υλικό με πρόσμιξη τέφρας και τα δοκίμιά τους μορφώθηκαν επιμελώς ώστε να μην περιέχουν κενά αέρα και ξένα σώματα. Ωστόσο, πρέπει σ' αυτό το σημείο να σημειωθεί πως μέρος της φαινόμενης τάσης προφόρτισης των συγκρινόμενων υλικών ενδέχεται να οφείλεται σε προφόρτιση που τυχόν έχουν υποστεί, και όχι ολοκληρωτικά στην ανάπτυξη δεσμών. Βέβαια, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να υποστηρίζουν την μία ή την άλλη αιτία, είναι όμως εξαιρετικά πιθανό ένα φυσικό υλικό να έχει υποστεί προφόρτιση στο παρελθόν. Τελικά, συμπεραίνεται πως οι συμπεριφορές των εξεταζόμενων υλικών και των μιγμάτων ΑΑΣ είναι ποιοτικά όμοιες και παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς εδαφικών υλικών με δομή.

Αξίζει να σημειωθεί πως το φαινόμενο που παρατηρείται στην άργιλο Ariake του Kawasoe, καθώς και στην άργιλο Leda κατά το οποίο για υψηλές τάσεις (περί τα 700kPa) η καμπύλη συμπίεσης σχηματίζει ένα «σκαλοπάτι», όπου μειώνεται στιγμιαία το C_c , και ύστερα συνεχίζει με C_c παρόμοιο με το αρχικό του κλάδου της κανονικής φόρτισης, οφείλεται σε αναδιάταξη των κόκκων που συμβαίνει εξαιτίας της επιβαλλόμενης τάσης.

[49]

12.1.4 Διάφορες Άργιλοι με Δομή, Αναζυμωμένες

Πρόκειται για διάφορα αργιλικά υλικά σε διάφορα σημεία της Γης, τα οποία με την πάροδο του χρόνου έχουν αναπτύξει δομή μέσω της διαδικασίας της διαγένεσης και συγκόλλησης. Συγκεκριμένα, πρόκειται για την άργιλο του Atchafalaya της Louisiana, την άργιλο Μπλε Άργιλο της Βοστώνης (Boston Blue Clay, ή BBC) των Massachusetts, και της άργιλου Καολινίτη και Attapulgate που προήλθαν από αποθέματα του Πανεπιστημίου Purdue. Οι κατατάξεις τους κατά Casagrande και τα όρια Atterberg τους φαίνονται στον σχετικό πίνακα και διάγραμμα. Αξίζει να σημειωθεί πως οι άργιλοι Atchafalaya και Attapulgate βρίσκονται εκτός του χάρτη πλαστικότητας, καθώς το όριο υδαρότητάς τους και ο δείκτης πλαστικότητάς τους είναι μεγαλύτερα από αυτά που περιέχει ο χάρτης.

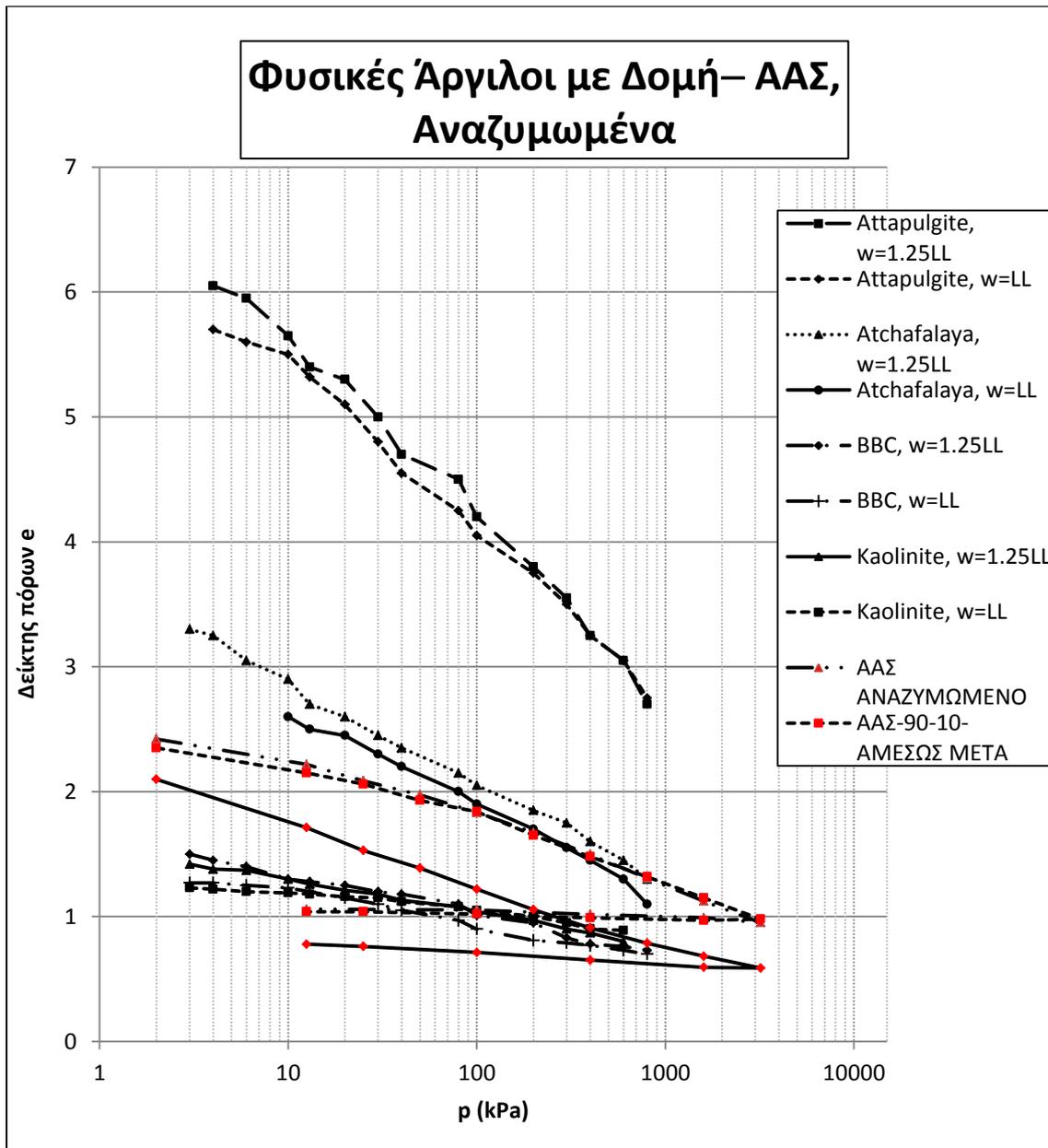


Σχήμα 12.4: Κατάταξη στον Χάρτη Casagrande

Πίνακας 12.1.4

Όρια Atterberg	1. Atchafalaya	2. BBC	3. Kaolinite	4. Attapulгите
LL	101	45	42	202
PI	66	22	16	94
PL	35	23	26	108
Χαρακτηριστικά	CH	CL	CL	MH

Παρατηρείται πως οι εξεταζόμενες άργιλοι σημειώνουν μεγάλο φάσμα ορίων Atterberg και απέχουν από τις τιμές των ορίων Atterberg των μιγμάτων ΑΑΣ, ωστόσο πρόκειται για πλαστικά υλικά τα οποία έχουν αναπτύξει δομή, και ως εκ τούτου μπορούν να συγκριθούν με τα προϊόντα ανάμιξης των ΑΑΣ.



Διάγραμμα 12.1.4

Από τις καμπύλες συμπίεσης μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα. Κατ' αρχάς, αν και οι καμπύλες $e-\log p$ των υλικών δεν συμπίπτουν μεταξύ τους, παρατηρείται πως οι συμπεριφορές τους είναι ποιοτικά ίδιες. Στο διάγραμμα φαίνονται οι καμπύλες συμπίεσης αναζυμωμένων φυσικών αργιλικών υλικών με δομή για περιεχόμενη υγρασία ίση με το 1xLL και 1.25xLL, και παρατηρείται πως για όλα τα υλικά οι καμπύλες ξεκινούν με ελάχιστη διαφορά του αρχικού δείκτη πόρων, όπου για το εκάστοτε υλικό ο αρχικός δείκτης πόρων είναι υψηλότερος για το δείγμα με υγρασία ίση με 1.25xLL απ' ότι για το δείγμα με υγρασία ίση με 1xLL λόγω αυξημένου ποσοστού υγρασίας, και εν συνεχεία οι καμπύλες 1xLL και 1.25xLL του εκάστοτε υλικού συγκλίνουν μεταξύ τους. Η ίδια συμπεριφορά παρατηρείται για το ΑΑΣ-90-10 αμέσως μετά την ανάμιξη, που παρασκευάσθηκε με υγρασία ίση με 1xLL, και το ΑΑΣ-90-10 αναζυμωμένο, το οποίο αναζυμώθηκε σε υγρασία ίση με 1.25xLL. Συμπεραίνεται

άρα πως το ΑΑΣ-90-10 ορθώς έχει θεωρηθεί ως αναζυμωμένο υλικό, καθώς υπάρχει πλήρης σύμπνοια με τη συμπεριφορά άλλων αναζυμωμένων υλικών. Στο σημείο αυτό επαναλαμβάνεται πως τα αναζυμωμένα υλικά έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ανάλυση της συμπεριφοράς ενός υλικού, καθώς οι ιδιότητές τους θεωρούνται ως «εγγενείς» ιδιότητες του υλικού, δηλαδή είναι αναλλοίωτες στο χρόνο, και η ιδιότητά τους αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι κατά τη μόρφωση ενός αναζυμωμένου υλικού καταλύεται κάθε δομή και διάταξη που έχει αναπτύξει το υλικό στο παρελθόν και επιβάλλεται συγκεκριμένο ποσοστό υγρασίας.

[50]

12.1.5 Συμπεράσματα

Από όλες τις συγκρίσεις των μίγμάτων ΑΑΣ με φυσικά εδαφικά υλικά με δομή προκύπτει πως η συμπεριφορά τους συνάδει με την τυπική συμπεριφορά ενός τυπικού εδαφικού υλικού με δομή. Το κύριο χαρακτηριστικό που οδηγεί σ' αυτό το συμπέρασμα όσον αφορά την καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης δεν είναι άλλο από τη φαινόμενη τάση προφόρτισης. Για τάσεις χαμηλότερες αυτής, το υλικό συμπεριφέρεται σαν προφορτισμένο, με ιδιαίτερα χαμηλή συμπίεστικότητα, ενώ μόλις αυτή ξεπεραστεί, το υλικό μπαίνει σε κλάδο κανονικά φορτισμένου υλικού, με ιδιαίτερα αυξημένο συντελεστή συμπίεστικότητας (C_c) σε σχέση με πριν. Όλα τα μίγματα ΑΑΣ επιδεικνύουν αυτήν τη συμπεριφορά, η οποία μάλιστα γίνεται ολοένα εντονότερη καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης και το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Όσον αφορά την ανάπτυξη αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (C_u), αυτή παρουσιάζεται αυξημένη για υλικά με δομή σε σχέση με υλικά χωρίς δομή, όμως αυτή επηρεάζεται από πληθώρα άλλων παραγόντων ώστε να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής αυτή καθαυτή για να αποδείξει την ύπαρξη δομής σ' ένα υλικό. Τέλος, είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό πως δύο υλικά σχεδόν ποτέ δε θα έχουν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά ως προς κάθε παράμετρο, κι έτσι δεν είναι δυνατόν να παρατηρείται ή να επιζητείται η πλήρης ταύτιση των συμπεριφορών διαφόρων υλικών. Ιδιαίτερα για τα αποτελέσματα της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης η γενική τάση που περιγράφηκε παραπάνω αποτελεί ικανοποιητικό κριτήριο για την ανάπτυξη δομής σε ένα εδαφικό υλικό.

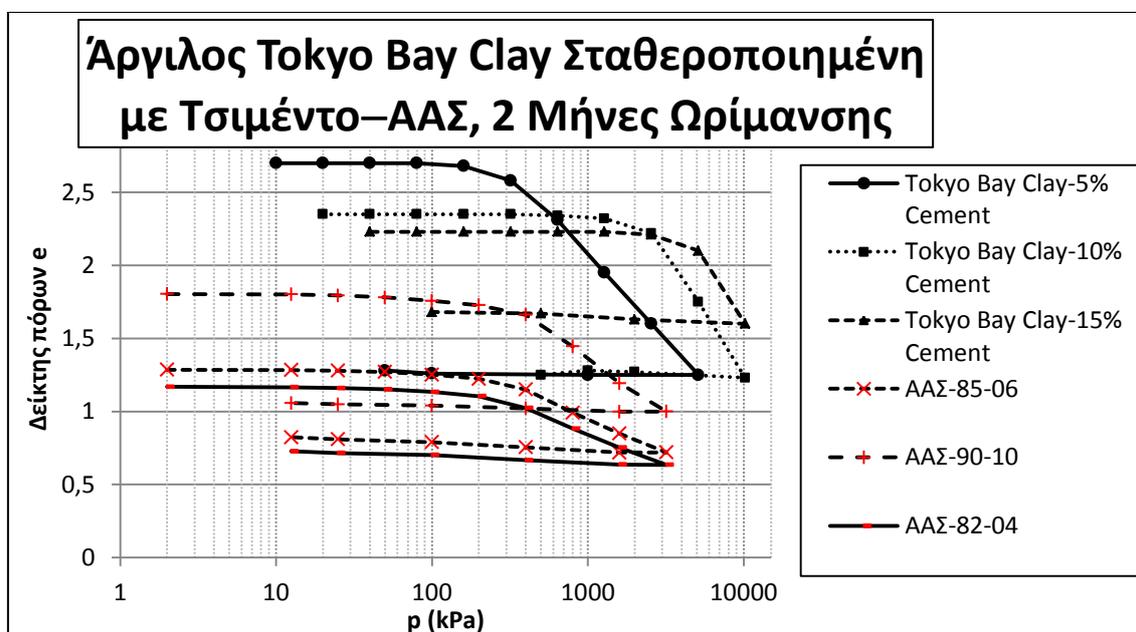
12.2 Σύγκριση με Τεχνητά Υλικά

Τεχνητά εδαφικά υλικά με δομή έχουν δημιουργηθεί αναρίθμητα, κυρίως σε πρακτικές εφαρμογές κατά τη διάρκεια κατασκευής τεχνικών έργων, αλλά επίσης και για ερευνητικούς σκοπούς. Το είδος του υλικού όσο και το είδος του προσμίκτου, αλλά και οι αναλογίες υλικού-προσμίκτου-νερού και ο χρόνος ωρίμανσης οδηγούν σε άπειρους πιθανούς συνδυασμούς. Ωστόσο, αποτολμάται μια προσπάθεια σύγκρισης διαφόρων τέτοιων υλικών της βιβλιογραφίας, ως επί το πλείστον αργιλικών, με διάφορα πρόσμικτα και αναλογίες ανάμιξης σε διαφόρους χρόνους ωρίμανσης, με σκοπό την παρατήρηση της επιρροής των παραπάνω παραγόντων στην προαναφερθείσα γενική τάση συμπεριφοράς των εδαφικών υλικών με δομή, και τη σύγκριση με τα μίγματα ΑΑΣ, τα οποία έχουν σκοπό την προσομοίωση

αυτής της συμπεριφοράς. Οι κύριοι παράγοντες που εξετάζονται είναι τα φυσικά χαρακτηριστικά (όρια Atterberg και ποσοστά υγρασίας), οι καμπύλες μονοδιάστατης συμπίεσης ($e-\log p$), και η αστράγγιστη διατμητική αντοχή (C_u), αλλά και ειδικότερα χαρακτηριστικά όπως το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης (E_s), ο συντελεστής συμπίεσότητας (C_c) και ο δείκτης συμπίεσότητας (a_v). Τα παραπάνω χαρακτηριστικά εξετάζονται τόσο κατά αναλογία ανάμιξης όσο και κατά χρόνο ωρίμανσης, όπου αυτό είναι δυνατό, ώστε να επιτευχθεί πιο πλήρης σύγκριση. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμο ολόκληρο το φάσμα των χαρακτηριστικών ως προς το ποσοστό προσμίκτου ή ως προς το χρόνο ωρίμανσης παρουσιάζονται τα διαθέσιμα στοιχεία και αξιοποιούνται στο βαθμό που είναι εφικτό.

12.2.1 Άργιλος του Tokyo Bay Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο

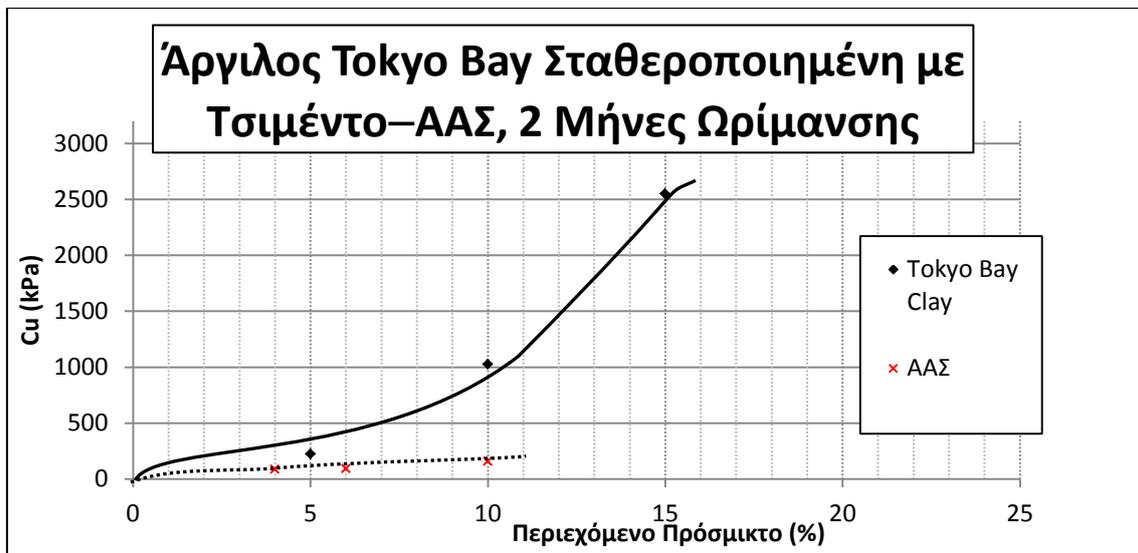
Πρόκειται για αργιλικό υλικό που βρίσκεται στον κόλπο του Tokyo, η οποία αναμείχθηκε με 5%, 10%, και 15% τσιμέντο και εξετάστηκε η επιρροή της ανάμιξης στα μίγματα. Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως δεν ήταν διαθέσιμες περαιτέρω πληροφορίες αναφορικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού, αλλά ούτε και πλήρης εικόνα όλης της διαδικασίας ανάπτυξης δομής. Παρατίθενται τα αποτελέσματα των εκτελεσθέντων δοκιμών στα διάφορα ποσοστά τσιμέντου για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών, τα οποία συγκρίνονται με τα διάφορα μίγματα ΑΑΣ για ανάλογο χρόνο ωρίμανσης, καθώς επίσης και η αναπτυχθείσα αστράγγιστη διατμητική αντοχή συναρτήσει του ποσοστού τσιμέντου για τον ίδιο χρόνο ωρίμανσης, τα οποία συγκρίνονται και πάλι με τα διάφορα μίγματα ΑΑΣ για ανάλογο χρόνο ωρίμανσης.



Διάγραμμα 12.2.1

Αν και οι καμπύλες $e-\log p$ των υλικών δεν συμπίπτουν με ακρίβεια, παρατηρείται πως οι συμπεριφορές τους είναι ποιοτικά ίδιες. Η ανάπτυξη δομής φαίνεται από τη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού που επιδεικνύουν και όλα τα υλικά ανεξαιρέτως, δηλαδή την

παρουσίαση φαινόμενης τάσης προφόρτισης, περί τα 200kPa και $e=2,6$ για την άργιλο Tokyo Bay με 5% τσιμέντο, περί τα 1000kPa και $e=2,3$ για την άργιλο Tokyo Bay με 10% τσιμέντο, περί τα 1150kPa και $e=2,2$ για την άργιλο Tokyo Bay με 15% τσιμέντο, περί τα 200kPa και $e=1,7$ για το ΑΑΣ-85-06, περί τα 200kPa και $e=1,7$ για το ΑΑΣ-90-10, περί τα 200kPa και $e=1,3$ για το ΑΑΣ-85-06, και περί τα 100kPa και $e=1,2$ για το ΑΑΣ-82-04. Φαίνεται πως καθώς αυξάνεται το ποσοστό προσμίκτου αυξάνεται και η φαινόμενη τάση προφόρτισης και μειώνεται ο δείκτης πόρων της, καταδεικνύοντας «κλείσιμο» της δομής του υλικού. Όταν τελικώς αυτή υπερβαίνεται από την επιβαλλόμενη τάση, υπερβαίνεται δηλαδή η αντοχή των αναπτυσθέντων δεσμών, η καμπύλη υποχωρεί και το υλικό συμπιέζεται, με το δείκτη πόρων του να μειώνεται με γρήγορο ρυθμό καθώς αυξάνεται η φόρτιση. Είναι αναμενόμενο το γεγονός ότι η άργιλος του Tokyo Bay ξεκινά από υψηλότερο αρχικό δείκτη πόρων από τα μίγματα ΑΑΣ, αν υποθεθεί πως καθώς βρίσκεται πλησίον ή εντός θαλάσσιας περιοχής είναι υλικό κορεσμένο ή υπέρκορο, έχοντας έτσι μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας απ' ότι τα μίγματα ΑΑΣ. Φυσικά, αυτό δεν αποτελεί παρά μία υπόθεση, και σημειώνεται πως η περιεκτικότητα σε νερό δεν είναι η μοναδική παράμετρος που επηρεάζει το δείκτη πόρων. Πρέπει σ' αυτό το σημείο να σημειωθεί πως μέρος της φαινόμενης τάσης προφόρτισης του συγκρινόμενου υλικού ενδέχεται να οφείλεται σε προφόρτιση που τυχόν έχει υποστεί, και όχι ολοκληρωτικά στην ανάπτυξη δεσμών, πιθανή αιτία για την εξαιρετικά υψηλή αντοχή των μιγμάτων με 10% και 15% τσιμέντο (περισσότερο από 1MPa). Ωστόσο, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να υποστηρίζουν την μία ή την άλλη αιτία. Τελικά, συμπεραίνεται πως οι συμπεριφορές των μιγμάτων εξεταζόμενου υλικού και των μιγμάτων ΑΑΣ είναι ποιοτικά όμοιες και παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς εδαφικών υλικών με δομή.



Διάγραμμα 12.2.2

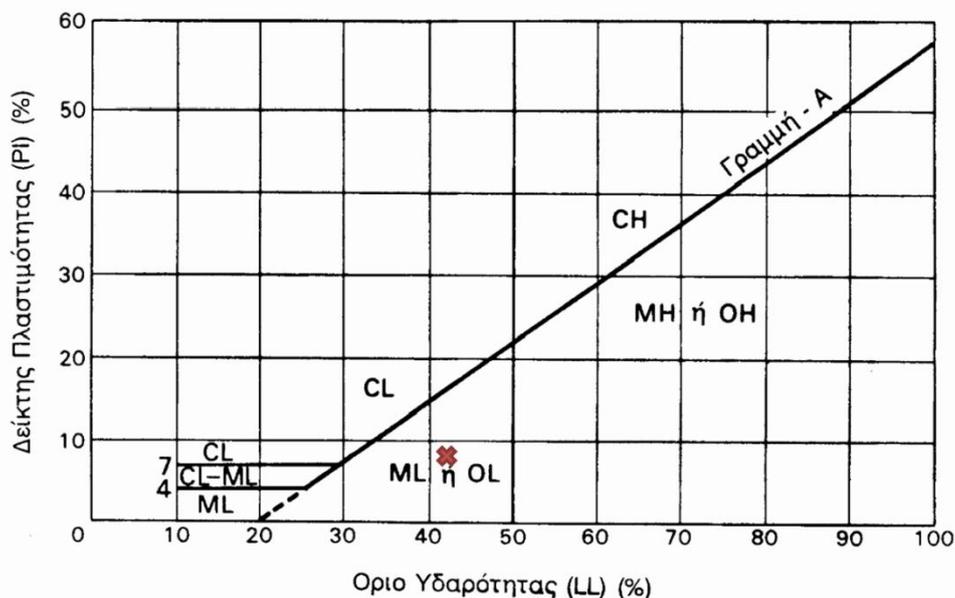
Όσον αφορά την εξέλιξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, είναι φανερό πως αυτή αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό πρόσμικτου. Ωστόσο, ενώ για τα μίγματα των δύο υλικών η αντοχή εκκινεί από τα ίδια περίπου επίπεδα για ποσοστό πρόσμικτου περί το 5%, η

αντοχή των μιγμάτων αργίλου Tokyo Bay αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς σε σχέση με αυτήν των μιγμάτων ΑΑΣ. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για 10% ποσοστό προσμίκτου, η άργιλος Tokyo Bay σημειώνει αντοχή ίση με περίπου 1000kPa και για 15% σημειώνει αντοχή ίση με 2500kPa περίπου, σε αντίθεση με την ΑΑΣ, η οποία για 10% προσμίκτου σημειώνει αντοχή ίση με μόλις 155kPa. Αυτή η απόκλιση τάξης μεγέθους όσον αφορά την αστράγγιστη διατμητική αντοχή ως επί το πλείστον οφείλεται στη διαφορετική δράση των προσμίκτων. Το τσιμέντο, ως γνωστόν, είναι πολύ δραστικότερη κονία από το μίγμα ΑΑΣ με τέφρα, και συνεπώς οι αντοχές που αναπτύσσει είναι πολλαπλάσιες, όπως άλλωστε αποτυπώνεται στη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Όμως, συμπεραίνοντας, η τάση είναι η ίδια και στα δύο υλικά, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών: η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με αύξηση του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου, χαρακτηριστικό των εδαφικών υλικών με δομή.

[23]

12.2.2 Άργιλος Καολίνη Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο

Πρόκειται για αργιλικό υλικό που αποτελείται κυρίως από καολίνη, η οποία αναμείχθηκε με τσιμέντο σε διάφορα ποσοστά και εξετάστηκε η συμπεριφορά της. Τα διαθέσιμα στοιχεία περιλαμβάνουν την εξέλιξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής μίγματος αργίλου καολίνη με 10% τσιμέντο συναρτήσεως του χρόνου ωρίμανσης έως και 2 μήνες μετά την ανάμιξη. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα του μίγματος ΑΑΣ-90-10, το οποίο περιέχει 10% τέφρα. Επίσης, παρατίθενται τα όρια Atterberg της αργίλου καολίνη στο σχετικό πίνακα.

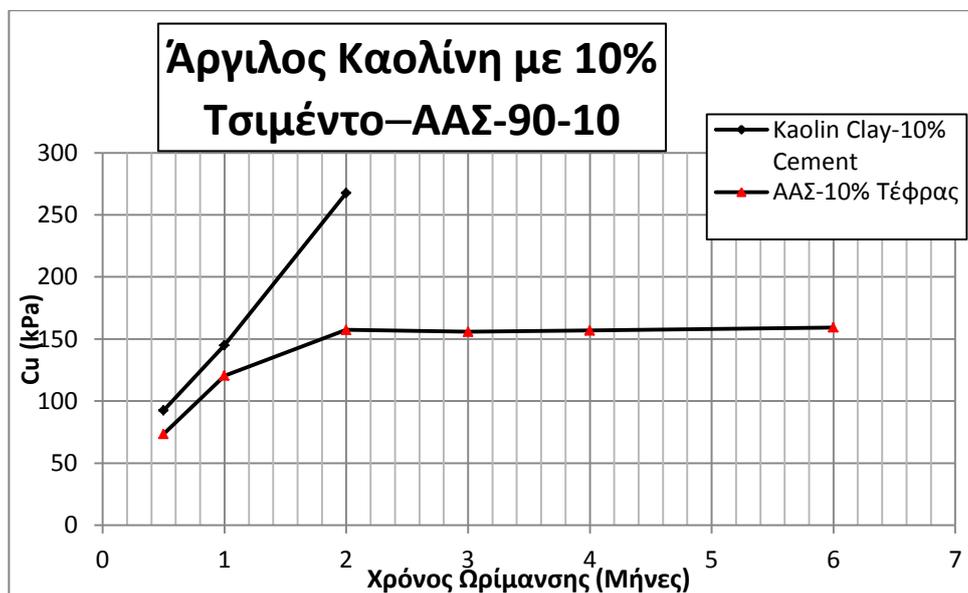


Σχήμα 12.5: Κατάταξη στον Χάρτη Casagrande

Πίνακας 12.2.1

Όρια Atterberg	Kaolin Clay
LL	43
PL	34
PI	9
Χαρακτηρισμός	ML

Παρατηρείται ότι τα όρια Atterberg του υλικού είναι αρκετά χαμηλότερα από το ΑΑΣ, και η πλαστικότητα του επίσης αρκετά χαμηλότερη.



Διάγραμμα 12.2.3

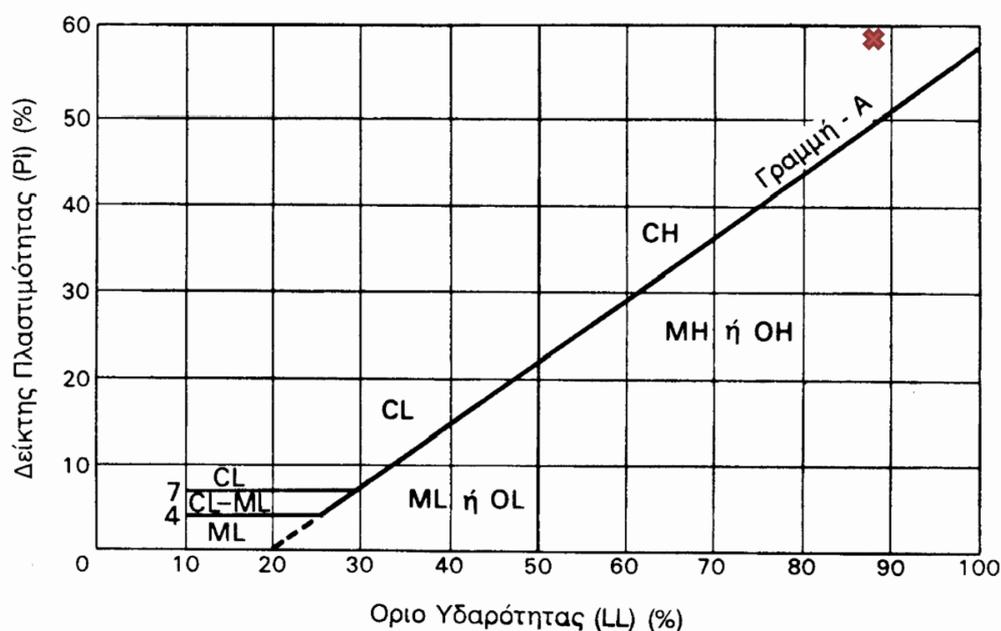
Όσον αφορά την εξέλιξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, είναι φανερό πως αυτή αυξάνεται για αυξανόμενο χρόνο ωρίμανσης, και σε κάποιο σημείο η αύξηση παύει καθώς οι διαδικασίες ανάπτυξης δομής ολοκληρώνονται. Ωστόσο, ενώ για τα μίγματα των δύο υλικών η αντοχή εκκινεί από τα ίδια περίπου επίπεδα (περί τα 75kPa), στο χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα περίπου, η αντοχή του μίγματος αργίλου καολίνη με τσιμέντο συνεχίζει να αυξάνεται με αμειώτο ρυθμό (φτάνει τα 150kPa στον 1 μήνα και τα 270kPa στους 2 μήνες), ενώ αυτή του μίγματος ΑΑΣ-90-10 (φτάνει τα 120kPa περίπου στον 1 μήνα) συνεχίζει να αυξάνεται με μειωμένο ρυθμό έως το χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών και ύστερα σταθεροποιείται στα 155kPa περίπου. Αυτή η διαφοροποίηση στη συμπεριφορά οφείλεται στην πολύ εντονότερη δραστικότητα του τσιμέντου ως πρόσμικτο, το οποίο συνεχίζει να αναπτύσσει δεσμούς, άρα δομή, για χρονικό διάστημα της τάξεως του ενός έτους, σχεδόν ανεξαρτήτως του υλικού στο οποίο προστίθεται, ενώ η ανάπτυξη δεσμών της ιπτάμενης τέφρας σε αργιλικό υλικό μπορεί να έχει διαφορετική απόκριση ανάλογα τη σύσταση τόσο του υλικού στο οποίο

προστίθεται, όσο και της ίδιας της τέφρας. Χαρακτηριστικό είναι πως στο μίγμα ΑΑΣ-90-10 η ανάπτυξη αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, και συνεπώς η ανάπτυξη δεσμών, ολοκληρώνεται περίπου 2 μήνες μετά την ανάμιξη. Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να επιδεικνύουν το ακριβές χρονικό σημείο ολοκλήρωσης της διαδικασίας ανάπτυξης δομής για την άργιλο καολίνη, ωστόσο είναι αναμφισβήτητο πως κάποια στιγμή, κατ' εκτίμηση περί το 1 έτος μετά την ανάμιξη, οι μηχανισμοί ανάπτυξης δομής θα πάψουν, και μαζί θα σταθεροποιηθεί και η τιμή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής. Όμως, συμπεραίνοντας, η τάση είναι η ίδια και στα δύο υλικά, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών: η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με αύξηση του χρόνου ωρίμανσης και ολοκληρώνεται μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, χαρακτηριστικό των εδαφικών υλικών με δομή.

[51], [16]

12.2.3 Άργιλος της Bangkok της Ταϊλάνδης Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο

Πρόκειται για αργιλικό υλικό που συλλέχθηκε από την Bangkok της Ταϊλάνδης, το οποίο αναμείχθηκε με διάφορα ποσοστά τσιμέντου και εξετάστηκε η επιρροή της ανάμιξης στα μίγματα. Παρατίθενται τα αποτελέσματα των εκτελεσθέντων δοκιμών μονοδιάστατης στερεοποίησης σε μίγμα αργίλου της Bangkok ποσοστό 25% τσιμέντου για διαφόρους χρόνους ωρίμανσης, τα οποία συγκρίνονται με τα αντίστοιχα του μίγματος ΑΑΣ-90-10, το οποίο περιέχει 10% τέφρα, για αντίστοιχους χρόνους ωρίμανσης. Επίσης, παρατίθενται τα αποτελέσματα δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης αργίλου της Bangkok με 12% ποσοστό τσιμέντου για χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα, τα οποία συγκρίνονται με αυτά του μίγματος ΑΑΣ-90-10 για ανάλογο χρόνο ωρίμανσης. Τέλος, συγκρίνεται η ανάπτυξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής συναρτήσεως του χρόνου ωρίμανσης μεταξύ μίγματος αργίλου της Bangkok με 10% τσιμέντου και μίγματος ΑΑΣ-90-10.

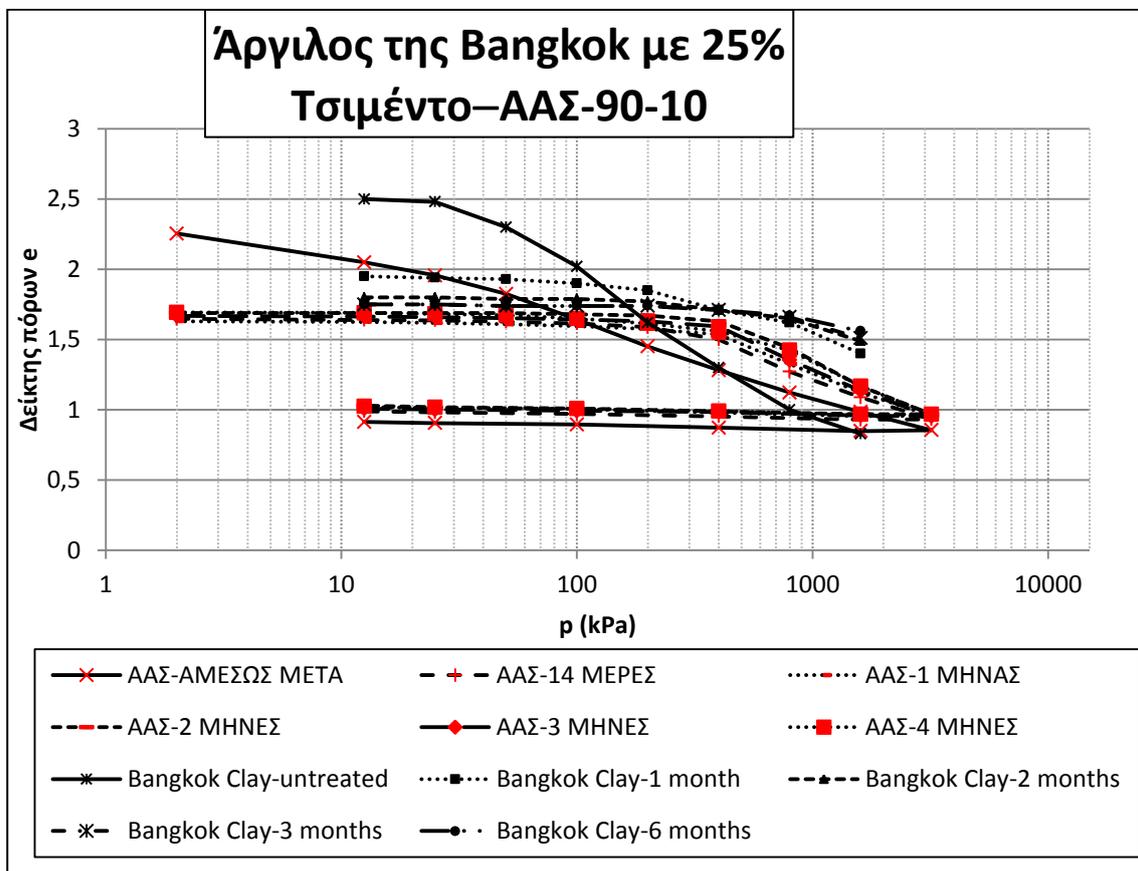


Σχήμα 12.6: Κατάταξη στον Χάρτη Casagrande

Πίνακας 12.2.2

Όρια Atterberg	Bangkok Clay
LL	89
PL	30
PI	59
Χαρακτηρισμός	CH

Είναι εμφανές ότι το όριο υδαρότητας και ο δείκτης πλαστικότητας της αργίλου της Bangkok κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα με των μιγμάτων ΑΑΣ, συνεπώς τα συγκρινόμενα υλικά σημειώνουν σύγκλιση ως προς τα όρια Atterberg.

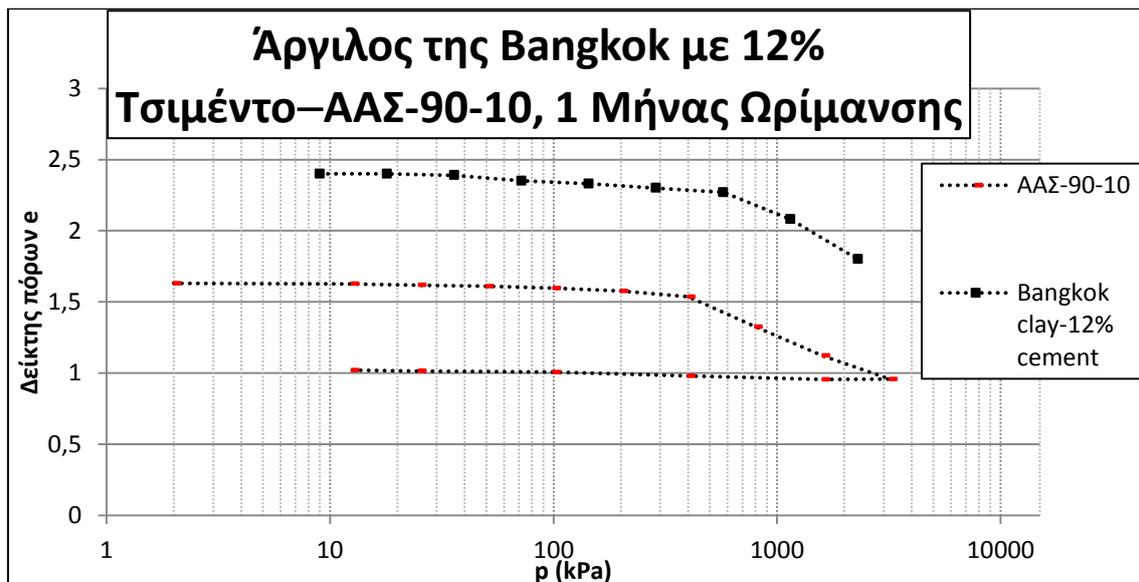


Διάγραμμα 12.2.4

Αν και οι καμπύλες $e-\log p$ των υλικών δεν συμπίπτουν με ακρίβεια, παρατηρείται πως οι συμπεριφορές τους είναι ποιοτικά ίδιες. Η ανάπτυξη δομής φαίνεται από τη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού που επιδεικνύουν και όλα τα υλικά ανεξαιρέτως, ακόμα και αμέσως μετά την ανάμιξη, δηλαδή την παρουσίαση φαινόμενης τάσης προφόρτισης, περί τα 200kPa και $e=1,8$ για την άργιλο της Bangkok για 1 μήνα ωρίμανσης, περί τα 300kPa και $e=1,7$ για την άργιλο της Bangkok για 2, 3, και 6 μήνες ωρίμανσης, περί τα 300kPa και $e=1,6$ για το ΑΑΣ-90-

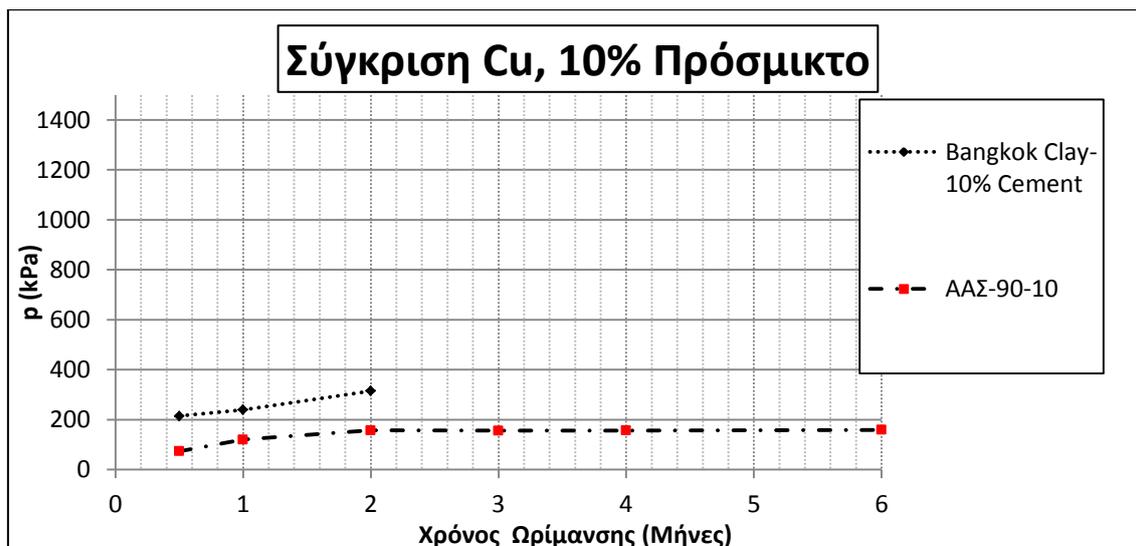
10 για πρακτικώς όλες τις περιόδους ωρίμανσης. Φαίνεται πως καθώς αυξάνεται το ποσοστό προσμίκτου αυξάνεται και η φαινόμενη τάση προφόρτισης και μειώνεται ο δείκτης πόρων της, καταδεικνύοντας «κλείσιμο» της δομής του υλικού. Όταν τελικώς η φαινόμενη τάση προφόρτισης υπερβαίνεται από την επιβαλλόμενη τάση, υπερβαίνεται δηλαδή η αντοχή των αναπτυχθέντων δεσμών, η καμπύλη υποχωρεί και το υλικό συμπιέζεται, με το δείκτη πόρων του να μειώνεται με γρήγορο ρυθμό καθώς αυξάνεται η φόρτιση, και την καμπύλη να συγκλίνει προς την VCL, ή «αμέσως μετά την ανάμιξη». Η άργιλος της Bangkok ξεκινά από παρόμοιο αρχικό δείκτη πόρων με το υλικό ΑΑΣ-90-10, γεγονός που συνάδει με την ομοιότητα των ορίων Atterberg των δύο υλικών. Βεβαίως, το ποσοστό τσιμέντου στην άργιλο της Bangkok είναι αρκετά υψηλότερο της τέφρας στο ΑΑΣ, κι έτσι η φαινόμενη τάση προφόρτισης που αναπτύσσεται είναι αντίστοιχα αρκετά υψηλότερη. Πρέπει σ' αυτό το σημείο να σημειωθεί πως μέρος της φαινόμενης τάσης προφόρτισης του συγκρινόμενου υλικού ενδέχεται να οφείλεται σε προφόρτιση που τυχόν έχει υποστεί, και όχι ολοκληρωτικά στην ανάπτυξη δεσμών, πιθανή αιτία για την μεγάλη μείωση του δείκτη πόρων των μιγμάτων της άργιλου της Bangkok για όλους τους χρόνους ωρίμανσης εκτός από αμέσως μετά την ανάμιξη (μείωση κατά 25% του e εντός του πρώτου μήνα). Ωστόσο, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να υποστηρίζουν την μία ή την άλλη αιτία. Τελικά, συμπεραίνεται πως οι συμπεριφορές των μιγμάτων εξεταζόμενου υλικού και των μιγμάτων ΑΑΣ είναι ποιοτικά όμοιες και παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς εδαφικών υλικών με δομή.

Αξίζει να σημειωθεί πως το φαινόμενο που παρατηρείται στην άργιλο της Bangkok κατά το οποίο για υψηλές τάσεις (περί τα 700kPa) η καμπύλη συμπίεσης σχηματίζει ένα «σκαλοπάτι», όπου μειώνεται το C_s , οφείλεται σε αναδιάταξη των κόκκων που συμβαίνει εξαιτίας της επιβαλλόμενης τάσης.



Διάγραμμα 12.2.5

Η ίδια συμπεριφορά παρατηρείται και στη σύγκριση των αποτελεσμάτων δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης μίγματος αργίλου της Bangkok με 12% τσιμέντο και του μίγματος ΑΑΣ-90-10, με 10% τέφρα. Εδώ, μάλιστα, τα ποσοστά προσμίκτου είναι καλύτερα συγκρίσιμα, καθώς είναι σχεδόν ίσα. Βεβαίως, δεν πρέπει να αμεληθεί η διαφορά της δραστηρότητας ανάμεσα στο τσιμέντο και την ιπτάμενη τέφρα, η οποία έχει ήδη επισημανθεί. Φαίνεται ξεκάθαρα και εδώ η φαινόμενη τάση προφόρτισης, περί τα 600kPa και $e=2,3$ για την άργιλο της Bangkok και περί τα 400kPa και $e=1,5$ για το ΑΑΣ-90-10, που μόλις ξεπεραστεί το υλικό ξεκινά να συμπιέζεται.



Διάγραμμα 12.2.6

Όσον αφορά στην εξέλιξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, είναι φανερό πως αυτή αυξάνεται για αυξανόμενο χρόνο ωρίμανσης, και σε κάποιο σημείο η αύξηση παύει καθώς οι διαδικασίες ανάπτυξης δομής ολοκληρώνονται. Ωστόσο, ενώ για τα μίγματα των δύο υλικών η αντοχή εκκινεί με ρυθμό ανάπτυξης που κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα, στο χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα περίπου (όπου η άργιλος της Bangkok σημειώνει περίπου $C_u=220\text{kPa}$, ενώ το ΑΑΣ-90-10 σημειώνει περίπου $C_u=140\text{kPa}$), ο ρυθμός ανάπτυξης της αντοχής του μίγματος αργίλου της Bangkok με τσιμέντο συνεχίζει να αυξάνεται με αμείωτο ρυθμό (ξεπερνά τα 300kPa στους 2 μήνες), ενώ αυτή του μίγματος ΑΑΣ-90-10 συνεχίζει να αυξάνεται με μειωμένο ρυθμό έως το χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών και ύστερα πρακτικώς σταθεροποιείται στην τιμή 155kPa περίπου. Αυτή η διαφοροποίηση στη συμπεριφορά οφείλεται στην πολύ εντονότερη δραστηρότητα του τσιμέντου ως πρόσμικτο, το οποίο συνεχίζει να αναπτύσσει δεσμούς, άρα δομή, για χρονικό διάστημα της τάξεως του ενός έτους, σχεδόν ανεξαρτήτως του υλικού στο οποίο προστίθεται, ενώ η ανάπτυξη δεσμών της ιπτάμενης τέφρας σε αργιλικό υλικό μπορεί να έχει διαφορετική απόκριση ανάλογα τη σύσταση τόσο του υλικού στο οποίο προστίθεται, όσο και της ίδιας της τέφρας. Χαρακτηριστικό είναι πως στο μίγμα ΑΑΣ-90-10 η ανάπτυξη αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, και συνεπώς η ανάπτυξη δεσμών, ολοκληρώνεται περίπου 2 μήνες μετά την

ανάμιξη. Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να επιδεικνύουν το ακριβές χρονικό σημείο ολοκλήρωσης της διαδικασίας ανάπτυξης δομής για την άργιλο της Bangkok, ωστόσο είναι αναμφισβήτητο πως κάποια στιγμή, κατ' εκτίμηση περί το 1 έτος μετά την ανάμιξη, οι μηχανισμοί ανάπτυξης δομής θα πάψουν, και μαζί θα σταθεροποιηθεί και η τιμή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής. Όμως, συμπεραίνοντας, η τάση είναι η ίδια και στα δύο υλικά, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών: η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με αύξηση του χρόνου ωρίμανσης και ολοκληρώνεται μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, χαρακτηριστικό των εδαφικών υλικών με δομή.

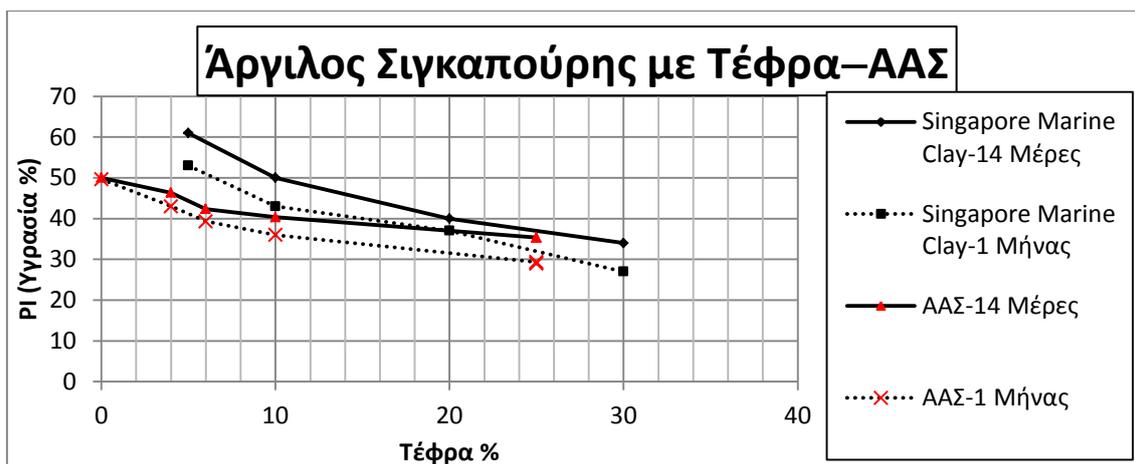
[51], [16]

12.2.4 Θαλάσσια Άργιλος της Σιγκαπούρης Σταθεροποιημένη με Διάφορα Πρόσμικτα

Πρόκειται για αργιλικό υλικό που συλλέχθηκε από τη θαλάσσια περιοχή της Σιγκαπούρης, το οποίο αναμείχθηκε με διάφορα ποσοστά διαφόρων προσμίκτων, και εξετάστηκε η επιρροή της ανάμιξης στα μίγματα. Συγκεκριμένα, ως πρόσμικτα χρησιμοποιήθηκαν το τσιμέντο, κάποια τέφρα, και άσβεστος. Παρατίθενται τα αποτελέσματα των εκτελεσθέντων δοκιμών μονοδιάστατης στερεοποίησης σε καθαρή άργιλο Σιγκαπούρης και σε μίγματα αργίλου της Σιγκαπούρης με ποσοστό 5% ασβέστου και με 10% τσιμέντου, τα οποία συγκρίνονται με τα μίγματα ΑΑΣ-80-00 (0% τέφρα για σύγκριση με την καθαρή άργιλο Σιγκαπούρης), και ΑΑΣ-85-06 και ΑΑΣ-90-10 (με 6% και 10% τέφρα αντίστοιχα για σύγκριση με μίγμα αργίλου Σιγκαπούρης με 5% ασβέστου και 10% τσιμέντου αντίστοιχα). Επίσης, παρατίθενται τα όρια Atterberg μιγμάτων αργίλου της Σιγκαπούρης συναρτήσει του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας και ασβέστου, τα οποία συγκρίνονται με αυτά των μιγμάτων ΑΑΣ. Τέλος, συγκρίνεται η ανάπτυξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής συναρτήσει του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου για διάφορους χρόνους ωρίμανσης μεταξύ μιγμάτων αργίλου της Σιγκαπούρης με τσιμέντο και μιγμάτων ΑΑΣ με ιπτάμενη τέφρα.

Πίνακας 12.2.3

Άργιλος Σιγκαπούρης			Άργιλος Αγίου Στεφάνου		
Ωρίμανση	14 Μέρες	1 Μήνας	Ωρίμανση	14 Μέρες	1 Μήνας
ποσοστό τέφρας (%)	PI	PI	ποσοστό τέφρας (%)	PI	PI
5	61	53	0	50	50
10	50	43	4	46	43
20	40	37	6	42	39
30	34	27	10	40	36
			25	35	29



Διάγραμμα 12.2.7

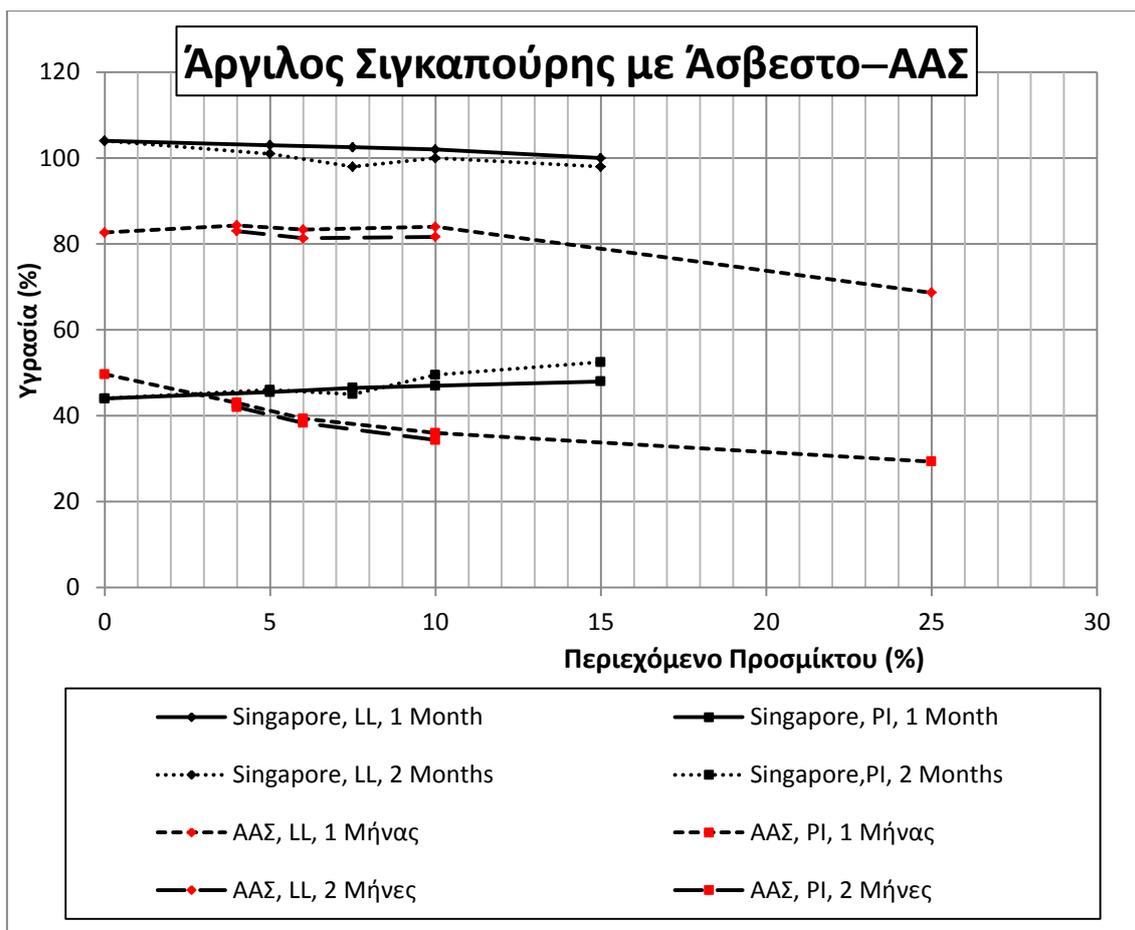
Είναι εμφανές ότι οι δείκτες πλαστικότητας των μιγμάτων αργίλου της Σιγκαπούρης με τέφρα κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα με των μιγμάτων ΑΑΣ, συνεπώς τα συγκρινόμενα υλικά σημειώνουν σύγκλιση ως προς τα όρια Atterberg. Ο δείκτης πλαστικότητας πέφτει καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας, εξαιτίας της μεγαλύτερης εισρόφησης νερού κατά τη διαδικασία της ενυδάτωσης.

Πίνακας 12.2.4

Άργιλος Σιγκαπούρης						
Ωρίμανση	1 Μήνας			2 Μήνες		
ποσοστό τσιμέντου (%)	LL	PL	PI	LL	PL	PI
0	104	60	44	104	60	44
5	103	57,5	45,5	101	55	46
7,5	102,5	56	46,5	98	53	45
10	102	55	47	100	50,5	49,5
15	100	52	48	98	45,5	52,5

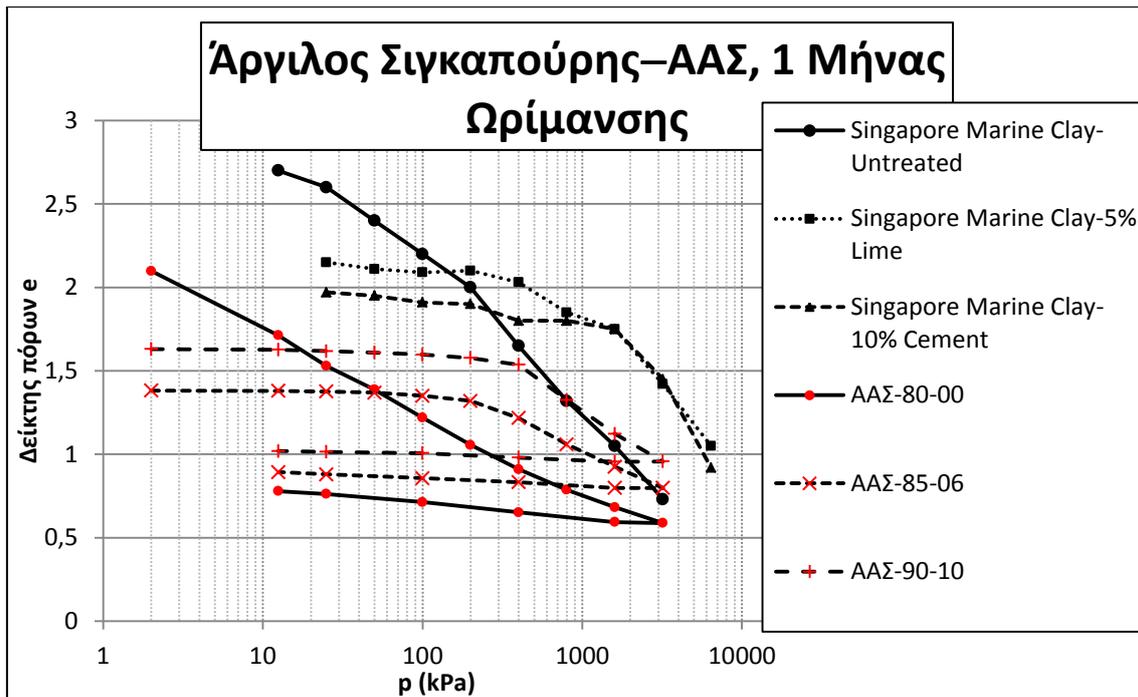
Πίνακας 12.2.5

Άργιλος Αγίου Στεφάνου						
Ωρίμανση	1 Μήνας			2 Μήνες		
ποσοστό τέφρας(%)	LL	PL	PI	LL	PL	PI
0	83	33	50			
4	84	41	43	83	41	42
6	83	44	39	81	43	38
10	84	48	36	82	47	35
25	69	39	30			



Διάγραμμα 12.2.8

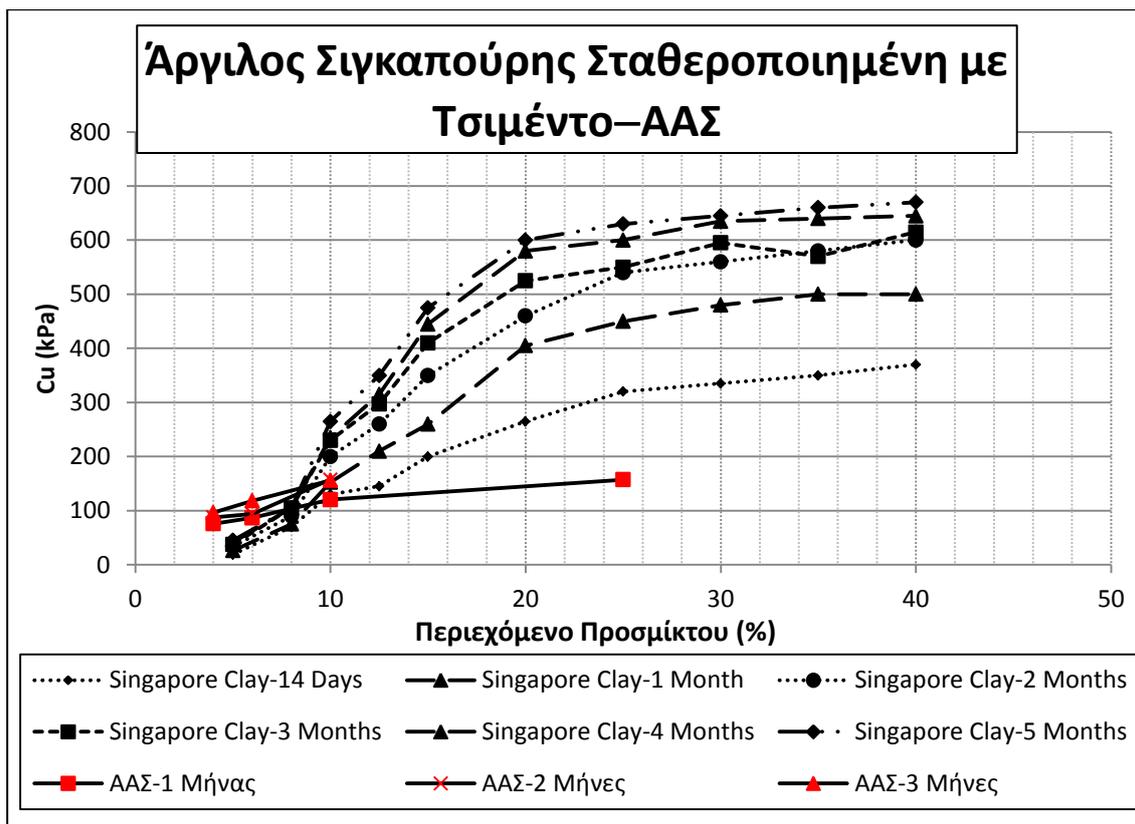
Είναι και εδώ εμφανές ότι τα όρια υδαρότητας των μιγμάτων αργίλου της Σιγκαπούρης με τέφρα είναι αυξημένα κατά περίπου 20% από αυτά των μιγμάτων ΑΑΣ, αλλά παρουσιάζουν και την ίδια συμπεριφορά: μείωση με αύξηση του ποσοστού προσμίκτου. Ταυτόχρονα, για αύξηση του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου, ενώ στα μίγματα ΑΑΣ σημειώνεται μείωση του δείκτη πλαστικότητας, στα μίγματα της αργίλου της Σιγκαπούρης σημειώνεται αύξησή του. Αυτό ενδέχεται να είναι απόρροια της διαφορετικής σύστασης της τέφρας και της ασβέστου, αλλά και των αργιλικών υλικών, ή και του συνδυασμού αργίλου-προσμίκτου. Συνεπώς τα συγκρινόμενα υλικά σημειώνουν σύγκλιση ως προς το όριο υδαρότητας, αλλά όχι και ως προς το δείκτη πλαστικότητας.



Διάγραμμα 12.2.9

Αν και οι καμπύλες $e-\log p$ των υλικών δεν συμπίπτουν με ακρίβεια, παρατηρείται πως οι συμπεριφορές τους είναι ποιοτικά ίδιες. Η ανάπτυξη δομής φαίνεται από τη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού που επιδεικνύουν και όλα τα προϊόντα ανάμιξης, εκτός φυσικά από τα καθαρά αργιλικά υλικά, τα οποία παρουσιάζουν και τα δύο συμπεριφορά κανονικά στερεοποιημένου υλικού. Στα προϊόντα ανάμιξης και των δύο αργίλων είναι εμφανής και εδώ η ανάπτυξη φαινόμενης τάσης προφόρτισης, περί τα 400kPa και $e=2$ για την άργιλο Σιγκαπούρης με 5% άσβεστο, περί τα 1050kPa και $e=1,75$ για την άργιλο Σιγκαπούρης με 10% τσιμέντο, περί τα 300kPa και $e=1,55$ για το ΑΑΣ-90-10 και περί τα 200kPa και $e=1,3$ για το ΑΑΣ-85-06. Φαίνεται πως καθώς αυξάνεται το ποσοστό προσμίκτη αυξάνεται και η φαινόμενη τάση προφόρτισης και μειώνεται ο δείκτης πόρων της, καταδεικνύοντας «κλείσιμο» της δομής του υλικού. Όταν τελικώς η φαινόμενη τάση προφόρτισης υπερβαίνεται από την επιβαλλόμενη τάση, υπερβαίνεται δηλαδή η αντοχή των αναπτυχθέντων δεσμών, η καμπύλη υποχωρεί και το υλικό συμπιέζεται, με το δείκτη πόρων του να μειώνεται με γρήγορο ρυθμό καθώς αυξάνεται η φόρτιση, και την καμπύλη να συγκλίνει προς την VCL (η οποία εδώ δεν φαίνεται καθώς δεν ήταν διαθέσιμα τα απαραίτητα στοιχεία). Η άργιλος της Σιγκαπούρης ξεκινά από αρκετά υψηλότερο αρχικό δείκτη πόρων από το υλικό ΑΑΣ-90-10, γεγονός που συνάδει με τη θαλάσσια προέλευσή της, δηλαδή η πιο ανοικτή της δομή ενδεχομένως οφείλεται στο πιθανόν υψηλότερο ποσοστό υγρασίας της. Η φαινόμενη τάση προφόρτισης που αναπτύσσεται στο μίγμα αργίλου Σιγκαπούρης με τσιμέντο είναι αρκετά υψηλότερη από αυτήν που αναπτύσσεται στα μίγματα ΑΑΣ-τέφρας, πράγμα αναμενόμενο εξαιτίας της πολύ μεγαλύτερης δραστηριότητας του τσιμέντου σε σχέση με την τέφρα. Ωστόσο, αν η τελευταία συγκριθεί με το μίγμα αργίλου Σιγκαπούρης και ασβέστου, θα διαπιστωθεί πως η φαινόμενη τάση προφόρτισης κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα, καθώς η άσβεστος είναι κι εκείνη

λιγότερο δραστική από το τσιμέντο. Πρέπει σ' αυτό το σημείο να σημειωθεί πως μέρος της φαινόμενης τάσης προφόρτισης του συγκρινόμενου υλικού ενδέχεται να οφείλεται σε προφόρτιση που τυχόν έχει υποστεί, και όχι ολοκληρωτικά στην ανάπτυξη δεσμών, πιθανή αιτία για την εξαιρετικά υψηλή αντοχή των μιγμάτων αργίλου της Σιγκαπούρης (περισσότερο από 1MPa). Ωστόσο, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να υποστηρίξουν την μία ή την άλλη αιτία. Τελικά, συμπεραίνεται πως οι συμπεριφορές των μιγμάτων εξεταζόμενου υλικού και των μιγμάτων ΑΑΣ είναι ποιοτικά όμοιες και παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς εδαφικών υλικών με δομή.



Διάγραμμα 12.2.10

Όσον αφορά στην εξέλιξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, είναι φανερό πως αυτή αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό προσμίκτου. Ωστόσο, ενώ για τα μίγματα ΑΑΣ η αντοχή εκκινεί κατά 50% υψηλότερη από αυτήν των μιγμάτων αργίλου Σιγκαπούρης, με τα μίγματα ΑΑΣ να σημειώνου Cu περί τα 40kPa και τα μίγματα αργίλου Σιγκαπούρης περί τα 80kPa (η αρχική χαμηλή της αντοχή συνάδει με τη θαλάσσια προέλευσή της). Όμως, ο ρυθμός αύξησης της αντοχής των μιγμάτων αργίλου Σιγκαπούρης-τσιμέντου είναι αρκετά γοργότερος από αυτόν των μιγμάτων ΑΑΣ-ιπτάμενης τέφρας, πράγμα που κατά κύριο λόγο οφείλεται στην πολύ μεγαλύτερη δραστικότητα του τσιμέντου σε σχέση με την ιπτάμενη τέφρα. Περί το ποσοστό του 8% προσμίκτου οι αντοχές των δύο κατηγοριών μιγμάτων εξισώνονται (στα 100kPa περίπου), και για ποσοστά προσμίκτου μεγαλύτερα του 8%, τα μίγματα αργίλου Σιγκαπούρης-τσιμέντου σημειώνουν αντοχή υψηλότερη των μιγμάτων ΑΑΣ-

ιπτάμενης τέφρας (μίγματα ΑΑΣ φτάνουν έως 150kPa περίπου για 25% τέφρα, μίγματα αργίλου Σιγκαπούρης ξεπερνούν τα 600kPa για ανάλογα ποσοστά προσμίκτου). Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί το γεγονός πως η αντοχή των μιγμάτων ΑΑΣ-ιπτάμενης τέφρας σχεδόν σταθεροποιείται για ποσοστά υψηλότερα του 10%, ενώ απεναντίας η αντοχή των μιγμάτων αργίλου Σιγκαπούρης-τσιμέντου σημειώνει αύξηση με τους ίδιους γοργούς ρυθμούς ως το ποσοστό 20% τσιμέντου, ενώ για ποσοστά μεγαλύτερα του 20% προσμίκτου συνεχίζει μεν να αναπτύσσεται, πλην όμως με αρκετά μειωμένο ρυθμό, τείνοντας να σταθεροποιηθεί. Επαναλαμβάνεται σε αυτό το σημείο το γεγονός πως το τσιμέντο είναι πολύ δραστικότερη κονία από το μίγμα ΑΑΣ με τέφρα, και συνεπώς οι αντοχές που αναπτύσσει είναι πολλαπλάσιες, όπως άλλωστε αποτυπώνεται στη σύγκριση των αποτελεσμάτων, αλλά επίσης αναπτύσσονται και περισσότερο καθώς αυξάνεται το ποσοστό προσμίκτου. Όμως, συμπεραίνοντας, η γενική συμπεριφορά είναι η ίδια και στα δύο υλικά, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών: η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με αύξηση του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου, χαρακτηριστικό των εδαφικών υλικών με δομή.

(36, 41)

12.2.5 Θαλάσσια Μαλακή Άργιλος της Μαλαισίας Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο

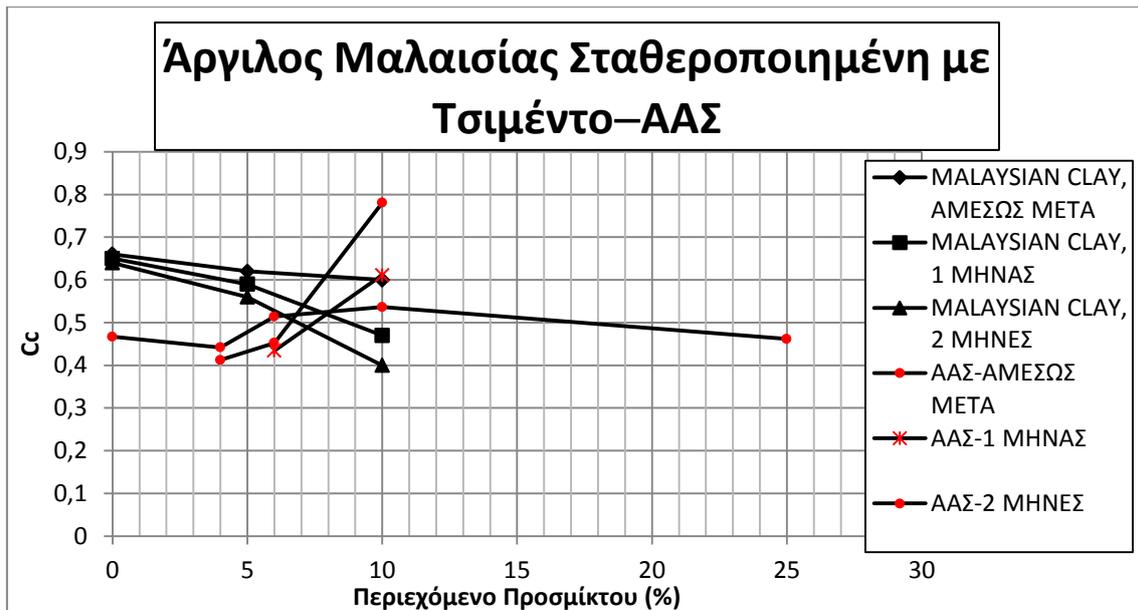
Πρόκειται για αργιλικό υλικό που συλλέχθηκε από τη θαλάσσια περιοχή της Μαλαισίας, το οποίο αναμείχθηκε με τσιμέντο και εξετάστηκε η επιρροή της ανάμιξης στα μίγματα. Παρατίθενται οι συντελεστές συμπίεσότητας, εξαγόμενοι από αποτελέσματα εκτελεσθέντων δοκιμών μονοδιάστατης στερεοποίησης σε μίγματα αργίλου Μαλαισίας σε διάφορους χρόνους ωρίμανσης συναρτήσει του ποσοστού προσμίκτου. Συγκρίνονται με τα αποτελέσματα αντίστοιχων μιγμάτων ΑΑΣ-ιπτάμενης τέφρας.

Πίνακας 12.2.6

Cc Αργίλου Μαλαισίας			
Τσιμέντο (%)	Αμέσως Μετά	1 Μήνας	2 Μήνες
0	0,66	0,65	0,64
5	0,62	0,59	0,56
10	0,6	0,47	0,4

Πίνακας 12.2.7

Cc Αργίλου Αγίου Στεφάνου			
Τέφρα (%)	Αμέσως Μετά	1 Μήνας	2 Μήνες
0	0,466796		
4	0,441884		0,412242
6	0,513833	0,434535	0,452436
10	0,536569	0,611154	0,780653
25	0,461722		



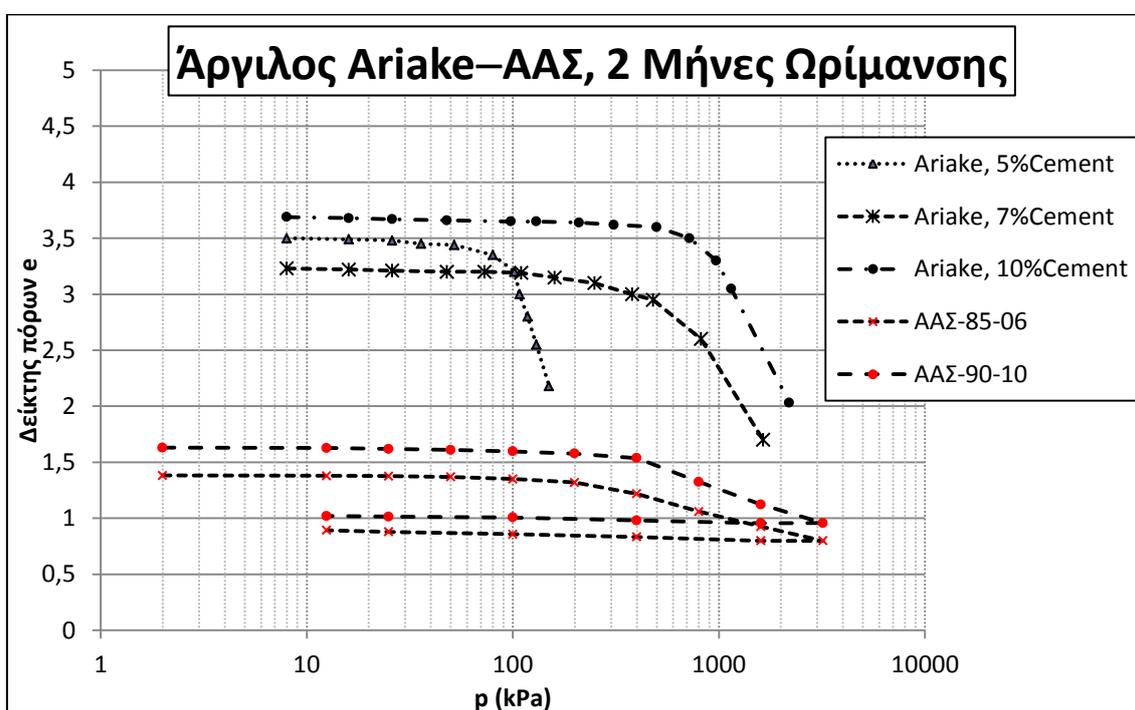
Διάγραμμα 12.2.11

Εδώ παρατηρείται πως η συμπεριφορά των δύο διαφορετικών συνδυασμών μιγμάτων είναι διαφορετική. Τα μίγματα αργίλου Μαλαισίας-τσιμέντου σημειώνουν πτωτική τάση του συντελεστή συμπίεσότητας με αυξανόμενο ποσοστό τσιμέντου, η οποία μάλιστα εντείνεται όλο και περισσότερο καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης. Μάλιστα, για 10% περιεχόμενο τσιμέντο, η μείωση του C_c είναι της τάξης του 30% για χρόνο ωρίμανσης ίσο με 2 μήνες. Αυτό ενδέχεται να είναι απόρροια της δράσης του τσιμέντου, ώστε να καθιστά το υλικό λιγότερο συμπίεστο ακόμη κι όταν ξεπεραστεί η φαινόμενη τάση προφόρτισης. Αντιθέτως, τα μίγματα ΑΑΣ-ιπτάμενης τέφρας σημειώνουν μικρή αύξηση του C_c για ποσοστά τέφρας έως και 10%, και μικρότερη πτώση για αύξηση του ποσοστού τέφρας από 10% σε 25%. Αυτή όμως η αύξηση γίνεται όλο και σημαντικότερη για ποσοστό τέφρας ίσο με 10% καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης, με το C_c να αυξάνεται κατά 35% περίπου για 2 μήνες ωρίμανση. Προφανώς, η διαφοροποίηση που παρατηρείται στη συμπεριφορά των δύο συνδυασμών μιγμάτων οφείλεται σ' ένα βαθμό στο είδος δομής που δημιουργεί η τέφρα σε σχέση με το τσιμέντο. Το τσιμέντο, ως πιο δραστικό υλικό, διατηρεί μέρος της αντοχής που έχει προσδώσει στο υλικό ακόμη και αφού ξεπεραστεί η φαινόμενη τάση προφόρτισης. Το φαινόμενο αυτό εντείνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενου τσιμέντου. Από την άλλη, η ιπτάμενη τέφρα δεν είναι τόσο δραστική, κι έτσι η δομή που αναπτύσσεται καταλύεται ολοκληρωτικά αφού ξεπεραστεί η φαινόμενη τάση προφόρτισης και το υλικό τείνει με πολύ γρήγορο ρυθμό προς την VCL καμπύλη του, εξηγώντας έτσι την αύξηση του C_c με το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας.

[52], [53]

12.2.6 Άργιλος Ariake της Ιαπωνίας Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο

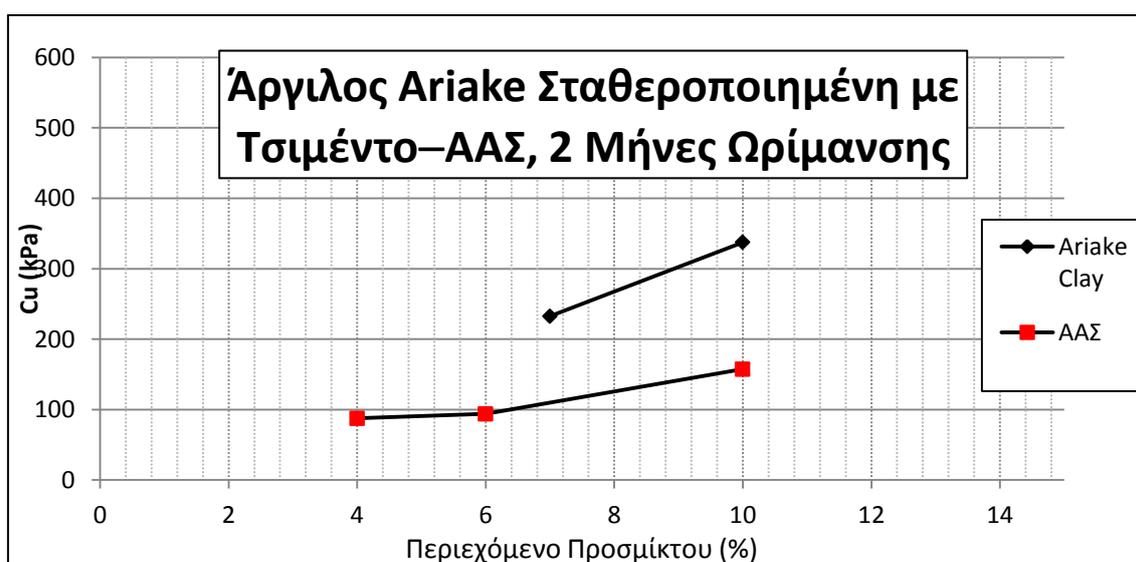
Πρόκειται για άργιλο Ariake της Ιαπωνίας, η οποία σταθεροποιήθηκε με τσιμέντο και εξετάστηκε η επιρροή της ανάμιξης στα μίγματα. Παρατίθενται τα αποτελέσματα των εκτελεσθέντων δοκιμών μονοδιάστατης σε μίγματα αργίλου Ariake με ποσοστό 5%, 7%, και 10% τσιμέντου, τα οποία συγκρίνονται με τα μίγματα ΑΑΣ-85-06 και ΑΑΣ-90-10 (με 6% και 10% τέφρα αντίστοιχα), για δύο μήνες ωρίμανσης, καθώς δεν υπήρχαν προσβάσιμα στοιχεία για άλλους χρόνους ωρίμανσης. Επίσης, συγκρίνεται η ανάπτυξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής συναρτήσει του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών μεταξύ μιγμάτων αργίλου της Ariake με τσιμέντο και μιγμάτων ΑΑΣ με ιπτάμενη τέφρα.



Διάγραμμα 12.2.12

Αν και οι καμπύλες $e-\log p$ των υλικών δεν συμπίπτουν με ακρίβεια, παρατηρείται πως οι συμπεριφορές τους είναι ποιοτικά ίδιες. Η ανάπτυξη δομής φαίνεται από τη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού που επιδεικνύουν και όλα τα προϊόντα ανάμιξης. Στα προϊόντα ανάμιξης και των δύο αργίλων είναι εμφανής και εδώ η ανάπτυξη φαινόμενης τάσης προφόρτισης, περί τα 80kPa και $e=3,3$ για την άργιλο Ariake με 5% τσιμέντο, περί τα 250kPa και $e=3,1$ για την άργιλο Ariake με 7% τσιμέντο, περί τα 500kPa και $e=3,6$ για την άργιλο Ariake με 10% τσιμέντο, περί τα 400kPa και $e=1,6$ για το ΑΑΣ-90-10, περί τα 200kPa και $e=1,3$ για το ΑΑΣ-85-06. Φαίνεται πως καθώς αυξάνεται το ποσοστό προσμίκτου αυξάνεται και η φαινόμενη τάση προφόρτισης και εν γένει μειώνεται ο δείκτης πόρων της, καταδεικνύοντας «κλείσιμο» της δομής του υλικού. Όταν τελικώς η φαινόμενη τάση προφόρτισης υπερβαίνεται από την επιβαλλόμενη τάση, υπερβαίνεται δηλαδή η αντοχή των

αναπτυχθέντων δεσμών, η καμπύλη υποχωρεί και το υλικό συμπιέζεται, με το δείκτη πόρων του να μειώνεται καθώς αυξάνεται η φόρτιση, και την καμπύλη να συγκλίνει προς την VCL (η οποία εδώ δεν φαίνεται καθώς δεν ήταν διαθέσιμα τα απαραίτητα στοιχεία). Η άργιλος Ariake ξεκινά από αρκετά υψηλότερο αρχικό δείκτη πόρων από το υλικό ΑΑΣ-90-10, δηλαδή παρουσιάζει σαφώς πιο ανοικτή δομή, η οποία ενδεχομένως οφείλεται στη διαφορετική σύσταση των δύο υλικών, ή και σε υψηλότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας. Η φαινόμενη τάση προφόρτισης που αναπτύσσεται στο μίγμα αργίλου Ariake με τσιμέντο περισσότερο από 5% είναι αρκετά υψηλότερη από αυτήν που αναπτύσσεται στα αντίστοιχα μίγματα ΑΑΣ-τέφρας, πράγμα αναμενόμενο εξαιτίας της πολύ μεγαλύτερης δραστηριότητας του τσιμέντου σε σχέση με την τέφρα. Στην περίπτωση όμως του μίγματος αργίλου Ariake με 5% τσιμέντο η φαινόμενη τάση προφόρτισης είναι αρκετά χαμηλότερη από των μιγμάτων ΑΑΣ (100kPa περίπου σε σύγκριση με 300kPa και 400kPa για άργιλο Ariake, ΑΑΣ-85-06, ΑΑΣ-90-10 αντίστοιχα). Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στη σύσταση της αργίλου Ariake, η οποία φαίνεται να έχει δυσμενέστερα χαρακτηριστικά από την ΑΑΣ, είναι πολύ πιο συμπιεστό (φαίνεται από την πολύ ανοικτή δομή σε συνδυασμό με τον πολύ υψηλό συντελεστή συμπιεστότητας αφού ξεπεραστεί η φαινόμενη τάση προφόρτισης). Η δραματική βελτίωση που έχει η προσθήκη περισσότερου τσιμέντου, για μια ακόμη φορά καταδεικνύει τη σαφώς μεγαλύτερη δραστηριότητά του σε σύγκριση με την υπτάμενη τέφρα. Πρέπει σ' αυτό το σημείο να υπενθυμιθεί πως μέρος της φαινόμενης τάσης προφόρτισης του συγκρινόμενου υλικό ενδέχεται να οφείλεται σε προφόρτιση που τυχόν έχει υποστεί, και όχι ολοκληρωτικά στην ανάπτυξη δεσμών, πιθανή αιτία για την εξαιρετικά υψηλή αντοχή των μιγμάτων με 10% τσιμέντο (περισσότερο από 600kPa). Ωστόσο, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να υποστηρίζουν την μία ή την άλλη αιτία. Τελικά, συμπεραίνεται πως οι συμπεριφορές των μιγμάτων εξεταζόμενου υλικού και των μιγμάτων ΑΑΣ είναι ποιοτικά όμοιες και παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς εδαφικών υλικών με δομή.



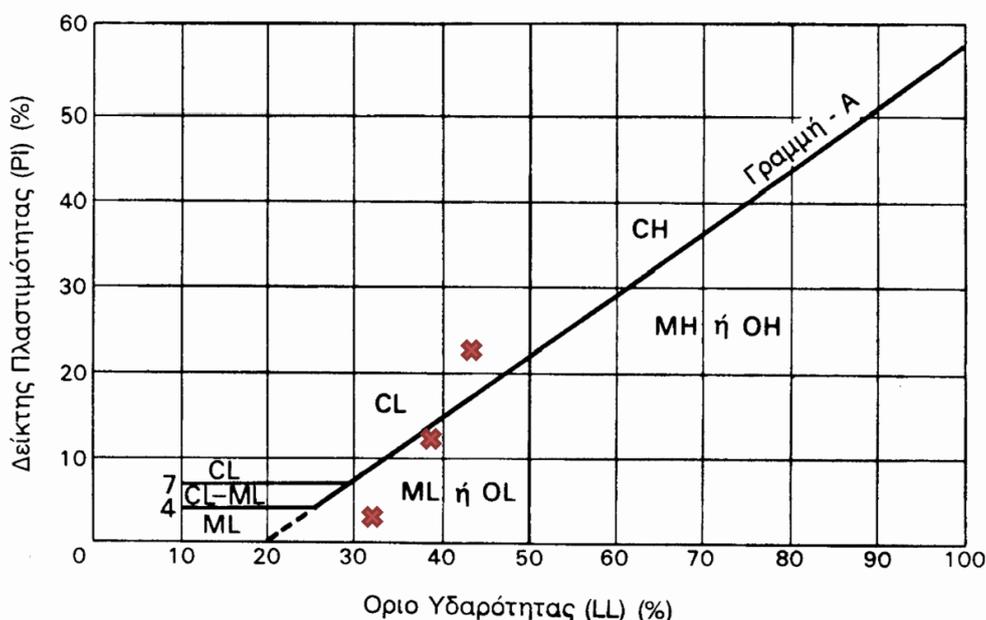
Διάγραμμα 12.2.13

Όσον αφορά στην εξέλιξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, είναι φανερό πως αυτή αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό προσμίκτου. Και εδώ είναι εμφανές πως για τα μίγματα αργίλου Αγιακε η αντοχή που αναπτύσσεται είναι υψηλότερη (περίπου 230kPa για 6.5% τσιμέντο και 350kPa για 10% τσιμέντο), όπως είναι και ο ρυθμός ανάπτυξής της καθώς αυξάνεται το ποσοστό προσμίκτου, σε σχέση με το ΑΑΣ (περίπου 100kPa για 6% τέφρα και 150kPa για 10% τέφρα). Ωστόσο, αυτό είναι αναμενόμενο, λόγω της μεγαλύτερης δραστηριότητας του τσιμέντου σε σύγκριση με την ιπτάμενη τέφρα. Για κανένα από τα δύο εξεταζόμενα υλικά δεν προκύπτει το κατά πόσον η αύξηση αυτή της αντοχής σταματά για κάποιο ποσοστό περιεχόμενου προσμίκτου, καθώς δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία. Όμως, συμπεραίνοντας, η γενική συμπεριφορά είναι η ίδια και στα δύο υλικά, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών: η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με αύξηση του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου, χαρακτηριστικό των εδαφικών υλικών με δομή.

[54]

12.2.7 Μάργα του Karak της Ιορδανίας Σταθεροποιημένη με Τέφρα

Πρόκειται για μαργαϊκό υλικό που συλλέχθηκε από την περιοχή του Amman, της πρωτεύουσας της, το οποίο αναμείχθηκε με διάφορα ποσοστά ιπτάμενης τέφρας Al-Karak, και εξετάστηκε η επιρροή της ανάμιξης στα μίγματα. Η μάργα Karak περιέχει περίπου 25% αργιλικά και 30% άσβεστο. Η συγκεκριμένη τέφρα προέρχεται από καύση βιτουμένιου ασβεστολίθου, και περιέχει περίπου 30% αργιλικά και περισσότερο από 50% άσβεστο. Παρατίθενται τα όρια Atterberg μιγμάτων της συναρτήσεως του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας, τα οποία συγκρίνονται με αυτά των μιγμάτων ΑΑΣ. Επίσης, συγκρίνεται η ανάπτυξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής συναρτήσεως του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας για διάφορους χρόνους ωρίμανσης μεταξύ μιγμάτων μάργας και ΑΑΣ με την αντίστοιχη ιπτάμενη τέφρα.



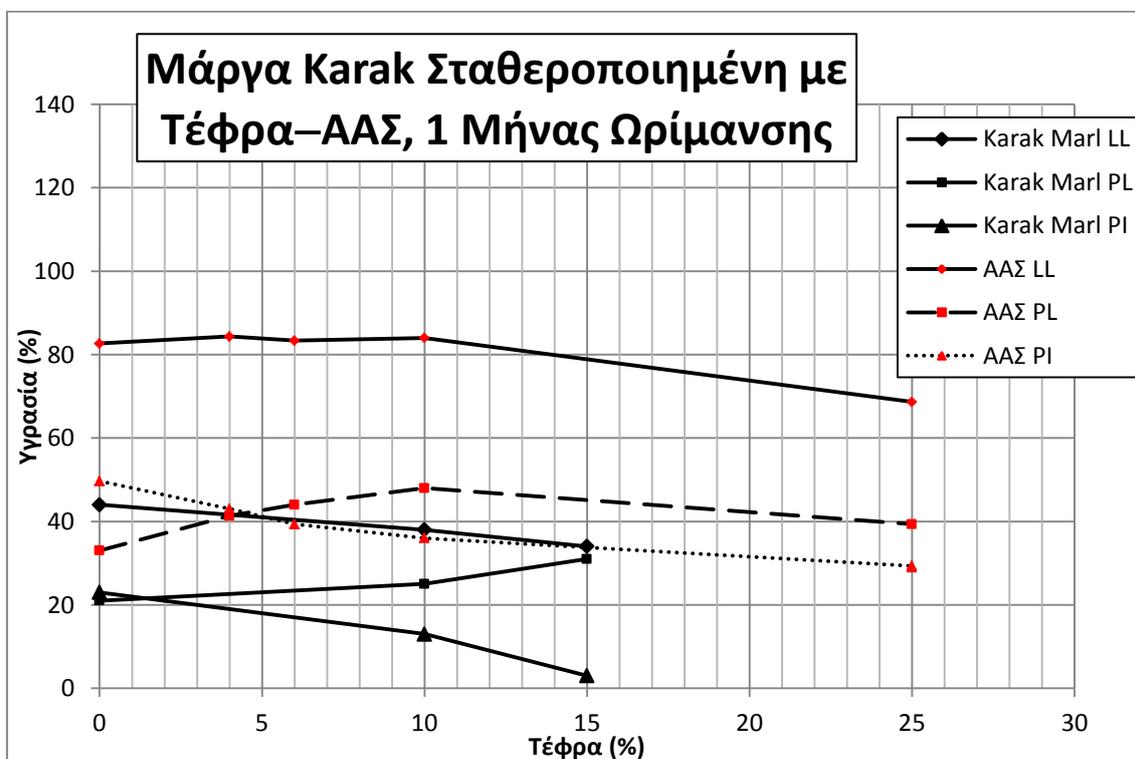
Σχήμα 12.7: Κατάταξη στον Χάρτη Casagrande

Πίνακας 12.2.8

Μάργα Karak, 1 Μήνς Ωρίμανσης				
ποσοστό τέφρας (%)	LL	PL	PI	Χαρακτηρισμός
0	44	21	23	cL
10	38	25	13	ML
15	34	31	3	ML
20	NON PLASTIC			

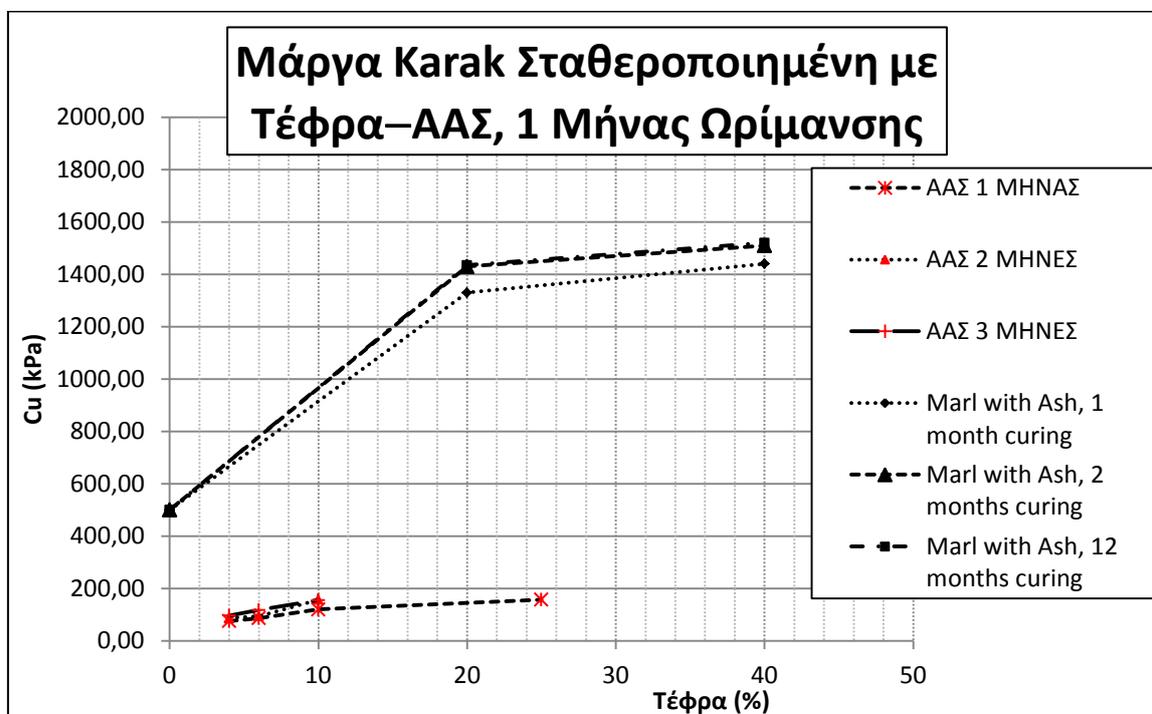
Πίνακας 12.2.9

Άργιλος Αγίου Στεφάνου, 1 Μήνς Ωρίμανσης				
ποσοστό τέφρας (%)	LL	PL	PI	Χαρακτηρισμός
0	83	33	50	CH
4	84	41	43	MH
6	83	44	39	MH
10	84	48	36	MH
25	69	39	30	MH



Διάγραμμα 12.2.14

Είναι εμφανές πως τα μίγματα μάργας-τέφρας επιδεικνύουν σχεδόν τη μισή υδροαπορροφητικότητα από αυτά του ΑΑΣ, γεγονός που πηγάζει από τη διαφορετική σύσταση της μάργας, η οποία δεν αποτελείται αποκλειστικά από αργιλικά στοιχεία όπως συμβαίνει με το ΑΑΣ, και άρα δεν παρουσιάζει τον ίδιο βαθμό πλαστικότητας, η οποία είναι ιδιότητα των αργιλικών υλικών. Παρ' όλ' αυτά, τα όρια Atterberg των μιγμάτων και των δύο υλικών παρουσιάζουν σχεδόν πανομοιότυπη συμπεριφορά καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας: εν γένει, το όριο υδαρότητας μειώνεται, το όριο πλαστικότητας αυξάνεται, και τελικά οι όποιες μεταβολές συμβαίνουν στα όρια αυτά έχουν ως σαφές αποτέλεσμα την πτώση του δείκτη πλαστικότητας. Μάλιστα, στην περίπτωση της μάργας, που όπως ήδη αναφέρθηκε έχει την μισή περίπου πλαστικότητα από την ΑΑΣ, ο δείκτης πλαστικότητας μειώνεται σε τέτοιο βαθμό που το μίγμα μάργας με 20% τέφρα να καθίσταται μη πλαστικό για ωρίμανση 1 μήνα.



Διάγραμμα 12.2.15

Όσον αφορά στην εξέλιξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, είναι φανερό πως αυτή αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό προσμίκτου. Η αντοχή της καθαρής μάργας είναι περίπου 400% υψηλότερη από αυτή των μιγμάτων ΑΑΣ (500kPa για 0% τέφρα και περί τα 1400kPa για 20%-40% τέφρα έναντι των 150kPa για 25% τέφρα του ΑΑΣ). Αυτό είναι αναμενόμενο, εξαιτίας της πολύ διαφορετικής σύστασης της μάργας, η οποία ήδη εμπεριέχει δομή, και μάλιστα αρκετά δυνατή, όπως φαίνεται. Πάντως, είναι εμφανές πως η συμπεριφορά και των δύο υλικών ως προς την αστράγγιστη διατμητική αντοχή είναι ποιοτικά η ίδια: σημειώνεται αύξηση μέχρι ένα ποσοστό τέφρας, ενώ για περαιτέρω αύξηση του περιεχόμενου ποσοστού τέφρας ο ρυθμός αύξησης της αντοχής μειώνεται, και η αντοχή

τείνει να σταθεροποιηθεί. Βεβαίως, η αλλαγή αυτή του ρυθμού συμβαίνει σε διαφορετικά σημεία για κάθε υλικό: περίπου στο 10% τέφρας για το ΑΑΣ, περίπου στο 20% για την μάργα. Οι ρυθμοί επίσης διαφέρουν. Όσον αφορά τα μίγματα ΑΑΣ-τέφρας, η αντοχή του σημειώνει αύξηση περίπου 30% για αύξηση του ποσοστού τέφρας από 4% σε 10%, και ύστερα περίπου 15% για αύξηση του ποσοστού τέφρας από 10% σε 25%, ενώ στα μίγματα μάργας-τέφρας, η αντοχή του σημειώνει αύξηση περίπου 180% για αύξηση του ποσοστού τέφρας από 0% σε 20%, και ύστερα περίπου 5% για αύξηση του ποσοστού τέφρας από 20% σε 40%. Όμως, συμπεραίνοντας, η γενική συμπεριφορά είναι η ίδια και στα δύο υλικά, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών: η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με αύξηση του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου, χαρακτηριστικό των εδαφικών υλικών με δομή.

[25]

12.2.8 Άργιλος Ariake της Ιαπωνίας Σταθεροποιημένη με Διάφορα Πρόσμικτα

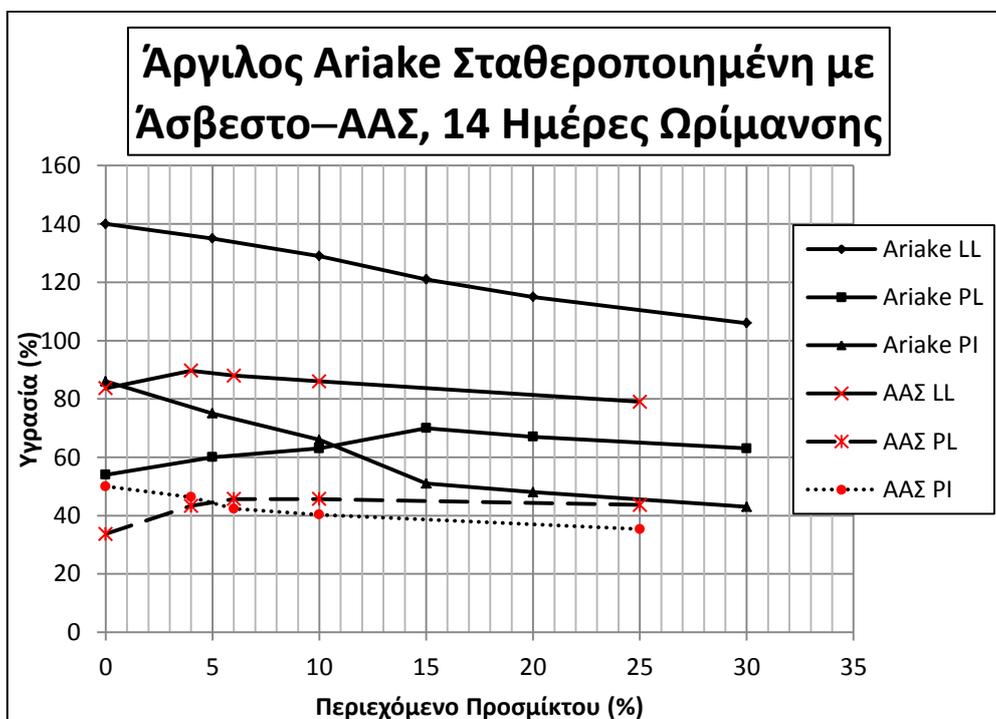
Πρόκειται για άργιλο Ariake της Ιαπωνίας (διαφορετική από την προαναφερθείσα), η οποία σταθεροποιήθηκε με διάφορα ποσοστά διαφόρων προσμίκτων και εξετάστηκε η επιρροή της ανάμιξης στα μίγματα. Συγκεκριμένα, ως πρόσμικτα χρησιμοποιήθηκαν το τσιμέντο και άσβεστος. Παρατίθενται τα αποτελέσματα των εκτελεσθέντων δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης σε αναζυμωμένη καθαρή άργιλο Ariake, σε μίγματα αργίλου Ariake με ποσοστό 5%, και 10% ασβέστου, και σε μίγματα αργίλου Ariake με ποσοστό 5%, και 10% τσιμέντου, τα οποία συγκρίνονται με τα μίγματα ΑΑΣ-80-00, με 0% τέφρα για σύγκριση με την καθαρή άργιλο Ariake—αξίζει να σημειωθεί πως και τα δύο υλικά μορφώθηκαν με αυθαίρετη επιλογή ποσοστού υγρασίας κοντά στο όριο υδαρότητάς τους και έχουν χαρακτήρα αναζυμωμένου υλικού, ΑΑΣ-85-06 και ΑΑΣ-90-10 (με 6% και 10% τέφρα αντίστοιχα), για 14 ημέρες ωρίμανσης, καθώς δεν υπήρχαν προσβάσιμα στοιχεία για άλλους χρόνους ωρίμανσης. Επίσης, παρατίθενται τα όρια Atterberg μιγμάτων αργίλου Ariake-ασβέστου συναρτήσεως του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου, τα οποία συγκρίνονται με αυτά των μιγμάτων ΑΑΣ για χρόνο ωρίμανσης 14 ημερών. Παράλληλα, γίνεται σύγκριση της μεταβολής του ορίου υδαρότητας σε μίγμα αργίλου Ariake με ποσοστό 10% ασβέστου με του ΑΑΣ-90-10 συναρτήσεως του χρόνου ωρίμανσης. Τέλος, συγκρίνεται η ανάπτυξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής συναρτήσεως του χρόνου ωρίμανσης για τα μίγματα αργίλου Ariake με 10%, 20%, και 30% τσιμέντο και το μίγμα ΑΑΣ-90-10. Αξίζει να σημειωθεί πως η υγρασία της αργίλου Ariake και των μιγμάτων της διαμορφώθηκε στο 185%.

Πίνακας 12.2.10

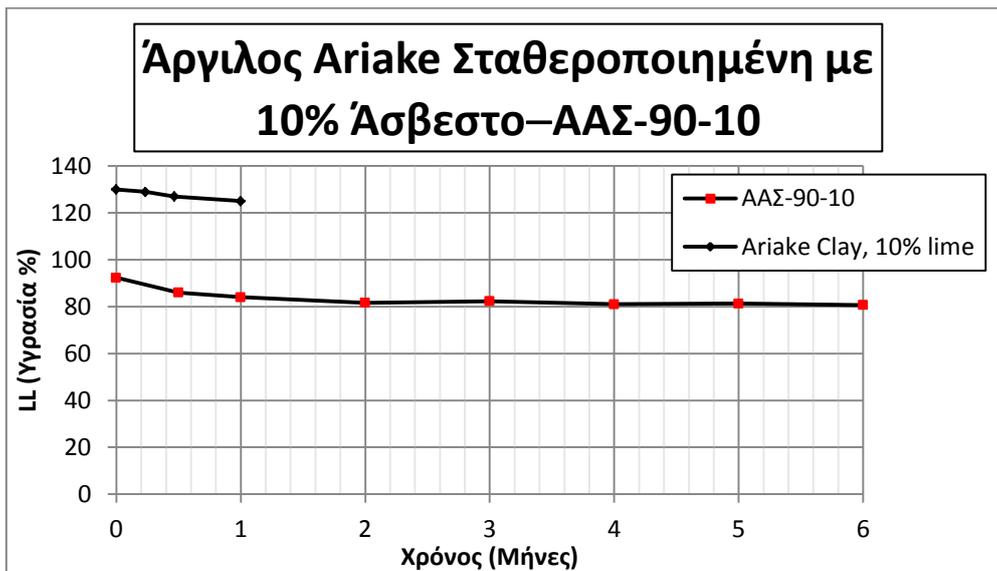
Άργιλος Ariake Σταθεροποιημένη με Άσβεστο με 185% Υγρασία, 14 Ημέρες Ωρίμανσης				
ποσοστό τέφρας (%)	LL	PL	PI	Χαρακτηρισμός
0	140	54	86	MH
5	135	60	75	MH
10	129	63	66	MH
15	121	70	51	MH
20	115	67	48	MH
30	106	63	43	MH

Πίνακας 12.2.11

Άργιλος Αγίου Στεφάνου, 14 Μέρες Ωρίμανσης				
ποσοστό τέφρας (%)	LL	PL	PI	Χαρακτηρισμός
0	84	34	50	CH
4	90	43	47	MH
6	88	46	42	MH
10	86	46	40	MH
25	79	44	35	MH



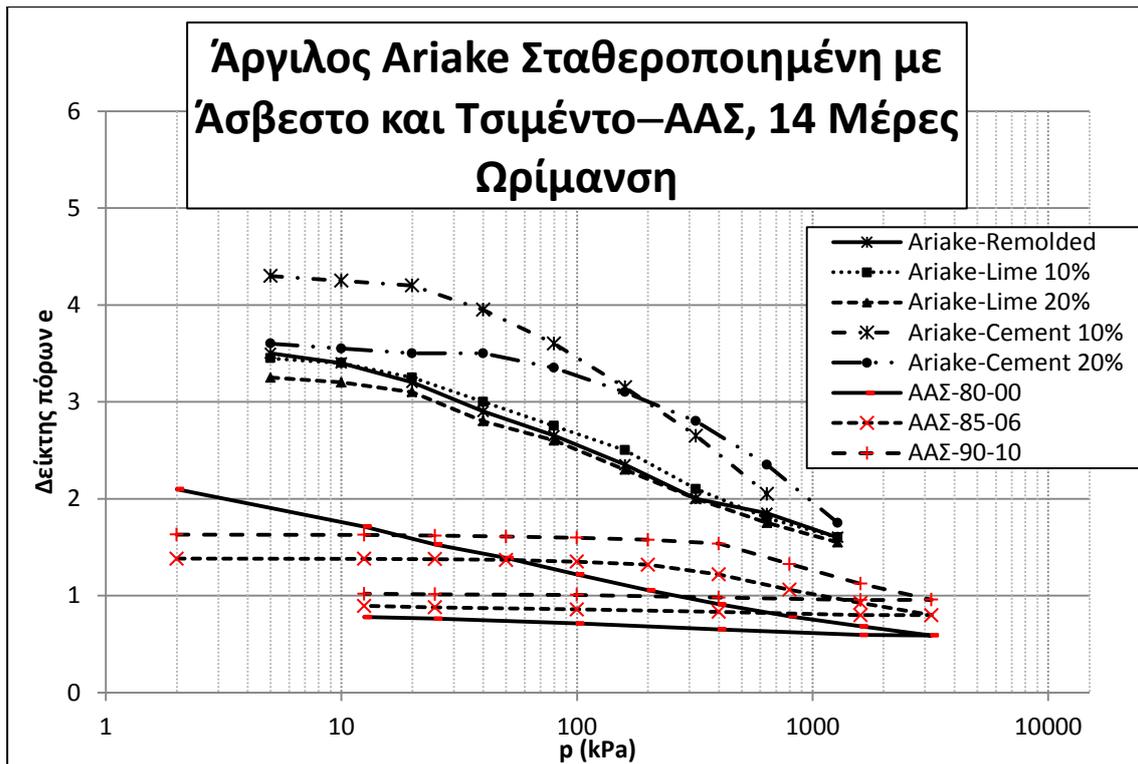
Διάγραμμα 12.2.16



Διάγραμμα 12.2.17

Είναι εμφανές πως τα μίγματα αργίλου Ariake-ασβέστου επιδεικνύουν σχεδόν τη διπλάσια υδροαπορροφητικότητα από αυτά του ΑΑΣ, γεγονός που πηγάζει από τη διαφορετική σύσταση των υλικών. Μάλιστα, τα όρια Atterberg τους είναι τόσο υψηλά που τα υλικά βρίσκονται εκτός του χάρτη πλαστικότητας του Casagrande. Παρ' όλ' αυτά, τα όρια Atterberg των μιγμάτων και των δύο υλικών παρουσιάζουν σχεδόν πανομοιότυπη συμπεριφορά καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενου προσμίκτου: εν γένει, το όριο υδαρότητας μειώνεται, το όριο πλαστικότητας αυξάνεται, και τελικά οι όποιες μεταβολές συμβαίνουν στα όρια αυτά έχουν ως σαφές αποτέλεσμα την πτώση του δείκτη πλαστικότητας. Πρόκειται για αναμενόμενη συμπεριφορά εδαφικών υλικών με δομή, καθώς η σταθεροποίηση με πρόσμικτα τα καθιστά λιγότερο πλαστικά.

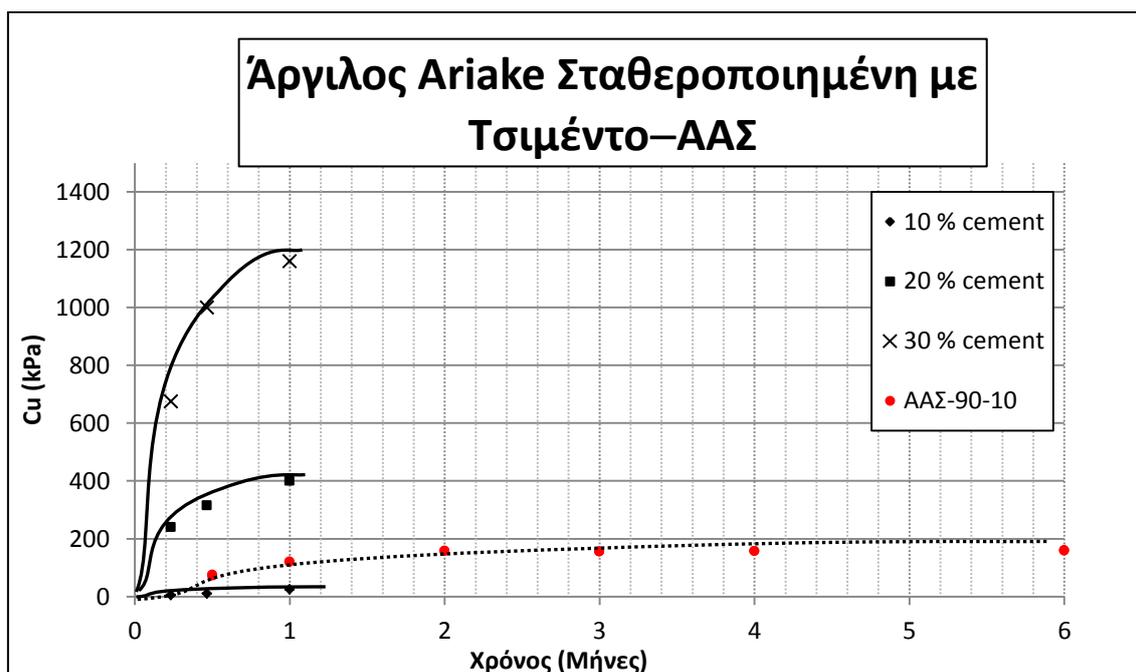
Επίσης, είναι εμφανές πως τα όρια υδαρότητας των δύο εξεταζόμενων μιγμάτων, αργίλου Ariake με 10% ασβέστο και ΑΑΣ-90-10, επιδεικνύουν την ίδια συμπεριφορά ως προς το χρόνο. Συγκεκριμένα, ως τον 1 μήνα ωρίμανσης παρατηρείται μικρή μείωση του ορίου υδαρότητας, η οποία ως επί το πλείστον οφείλεται στη διαδικασία της ενυδάτωσης της ασβέστου στα μίγματα. Μετά την παρέλευση του 1 μήνα, στο ΑΑΣ-90-10 φαίνεται να σταθεροποιείται το όριο υδαρότητας, πράγμα που σημαίνει την ολοκλήρωση της διαδικασίας ενυδάτωσης. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μεταβολές στο όριο υδαρότητας σχετίζονται άμεσα με τη διαδικασία της ενυδάτωσης παρά με την εξέλιξη ποζολανικών αντιδράσεων. Για το μίγμα αργίλου Ariake-ασβέστου δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία πέρα από την ωρίμανση του 1 μήνα, ωστόσο δείχνει να ακολουθεί σταθεροποιητική τάση.



Διάγραμμα 12.2.18

Από τις καμπύλες συμπίεσης μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα. Κατ' αρχάς, αν και οι καμπύλες $e-\log p$ των υλικών δεν συμπίπτουν με ακρίβεια, παρατηρείται πως οι συμπεριφορές τους είναι ποιοτικά ίδιες, με εξαίρεση αυτές των μιγμάτων αργίλου Ariake-ασβέστου. Η ανάπτυξη δομής φαίνεται από τη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού που επιδεικνύουν όλα τα προϊόντα ανάμιξης, εκτός φυσικά από τα καθαρά αργιλικά υλικά, τα οποία παρουσιάζουν και τα δύο συμπεριφορά κανονικά στερεοποιημένου υλικού, αλλά και από τα μίγματα αργίλου Ariake-ασβέστου, τα οποία δε φαίνεται να διαφοροποιούνται από τη συμπεριφορά της καθαρής αργίλου Ariake. Αυτό προφανώς οφείλεται στην μειωμένη δραστηριότητα του συνδυασμού αργίλου Ariake-ασβέστου σε σχέση με τα υπόλοιπα εξεταζόμενα μίγματα. Στα προϊόντα ανάμιξης αργίλου Ariake-τσιμέντου και ΑΑΣ-τέφρας είναι εμφανής η ανάπτυξη φαινόμενης τάσης προφόρτισης, περί τα 20kPa και $e=4,2$ για την άργιλο Ariake με 10% τσιμέντο, περί τα 40kPa και $e=3,5$ για την άργιλο Ariake με 20% τσιμέντο περί τα 200kPa και $e=1,3$ για το ΑΑΣ-85-06, περί τα 300kPa και $e=1,6$ για το ΑΑΣ-90-10. Φαίνεται πως καθώς αυξάνεται το ποσοστό προσμίκτου αυξάνεται και η φαινόμενη τάση προφόρτισης και μειώνεται ο δείκτης πόρων της, καταδεικνύοντας «κλείσιμο» της δομής του υλικού. Όταν τελικώς αυτή υπερβαίνεται από την επιβαλλόμενη τάση, υπερβαίνεται δηλαδή η αντοχή των αναπτυχθέντων δεσμών, η καμπύλη υποχωρεί και το υλικό συμπιέζεται, με το δείκτη πόρων του να μειώνεται με γρήγορο ρυθμό καθώς αυξάνεται η φόρτιση, και την καμπύλη να συγκλίνει προς την VCL (η οποία εδώ δεν φαίνεται καθώς δεν ήταν διαθέσιμα τα απαραίτητα στοιχεία). Η άργιλος Ariake και τα μίγματά της ξεκινούν από αρκετά υψηλότερο αρχικό δείκτη πόρων από τα μίγματα ΑΑΣ, γεγονός που συνάδει με τη την πιο ανοικτή της δομή που

ενδεχομένως οφείλεται στο υψηλότερο ποσοστό υγρασίας της. Η φαινόμενη τάση προφόρτισης που αναπτύσσεται στο μίγμα αργίλου Αριακε-τσιμέντο είναι μεν χαμηλότερη από αυτήν που αναπτύσσεται στα μίγματα ΑΑΣ-τέφρας, η συνολική βελτίωση της συμπεριφοράς του αρχικού υλικού είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτήν των μιγμάτων ΑΑΣ-τέφρας, πράγμα αναμενόμενο εξαιτίας της πολύ μεγαλύτερης δραστικότητας του τσιμέντου σε σχέση με την τέφρα. Η φαινόμενη τάση προφόρτισης των μιγμάτων αργίλου Αριακε-τσιμέντου αναμένεται να ξεπεράσει αυτήν των μιγμάτων ΑΑΣ για μεγαλύτερους χρόνους ωρίμανσης. Πρέπει σ' αυτό το σημείο να σημειωθεί πως μέρος της φαινόμενης τάσης προφόρτισης του συγκρινόμενου υλικού ενδέχεται να οφείλεται σε προφόρτιση που τυχόν έχει υποστεί, και όχι ολοκληρωτικά στην ανάπτυξη δεσμών, αν και στα συγκρινόμενα υλικά δεν υπάρχουν ενδείξεις που να παραπέμπουν σε αυτό. Παρ' όλ' αυτά, τελικά, συμπεραίνεται πως οι συμπεριφορές των μιγμάτων αργίλου Αριακε-τσιμέντου και των μιγμάτων ΑΑΣ είναι ποιοτικά όμοιες και παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς εδαφικών υλικών με δομή, ενώ η άσβεστος δε φαίνεται να επηρεάζει τις καμπύλες συμπίεσης και άρα τη συμπίεστικότητα του υλικού. Αυτό μπορεί να οφείλεται τόσο στη μειωμένη δραστικότητα της ασβέστου, όσο και στο χαμηλό χρόνο ωρίμανσης.



Διάγραμμα 12.2.19

Όσον αφορά στην εξέλιξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, είναι φανερό πως αυτή αυξάνεται με το χρόνο ωρίμανσης με φθίνοντα ρυθμό, για να σταθεροποιηθεί τελικά. Παρατηρείται πως για το μίγμα ΑΑΣ-90-10 η αντοχή είναι περισσότερο από 100% υψηλότερη από αυτήν των μιγμάτων αργίλου Αριακε με 10% τσιμέντο (150kPa σε σύγκριση με 30kPa αντίστοιχα για 1 μήνα ωρίμανσης). Η αρχική χαμηλή αντοχή της τελευταίας συνάδει με το υψηλό ποσοστό υγρασίας της. Όμως, παρατηρείται πως για ποσοστό τσιμέντου 20%

αναπτύσσει αντοχή περίπου 300% υψηλότερη από αυτήν του ΑΑΣ-90-10 (περί τα 400kPa για 1 μήνα ωρίμανσης), και για μεγαλύτερα ποσοστά τσιμέντου γίνεται υπερπολλαπλάσια (περί τα 1200kPa για 1 μήνα ωρίμανσης). Επίσης, στην περίπτωση των μιγμάτων αργίλου Ariake με τσιμέντο, ο ρυθμός ανάπτυξης της αντοχής για 1 μήνα ωρίμανσης φθίνει μεν, αλλά δεν μηδενίζεται, ενώ στην περίπτωση του ΑΑΣ-90-10 ο ρυθμός ανάπτυξης αντοχής φθίνει σημαντικά και πρακτικώς μηδενίζεται για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών. Αν και δεν υπάρχουν στοιχεία για την περαιτέρω εξέλιξη του ρυθμού ανάπτυξης των μιγμάτων αργίλου Ariake με τσιμέντο, αναμένεται να συνεχίζει μειωμένος έως και περίπου 1 έτος ωρίμανσης λόγω των ιδιοτήτων του τσιμέντου. Αυτή η σημαντική απόκλιση στη συμπεριφορά των δύο διαφορετικών ειδών μιγμάτων οφείλεται στην μεγαλύτερη δραστικότητα του τσιμέντου έναντι της τέφρας, τόσο ως προς την τελική μέγιστη αναπτυσσόμενη αντοχή όσο και ως προς το χρόνο ανάπτυξης αυτής, δηλαδή στη διαδικασία ανάπτυξης δομής. Όμως, συμπεραίνοντας, η γενική συμπεριφορά είναι η ίδια και στα δύο υλικά, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών: η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με αύξηση του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου, χαρακτηριστικό των εδαφικών υλικών με δομή.

[55]

12.2.9 Άργιλος Ariake της Ιαπωνίας Σταθεροποιημένη με Διάφορα Πρόσμικτα

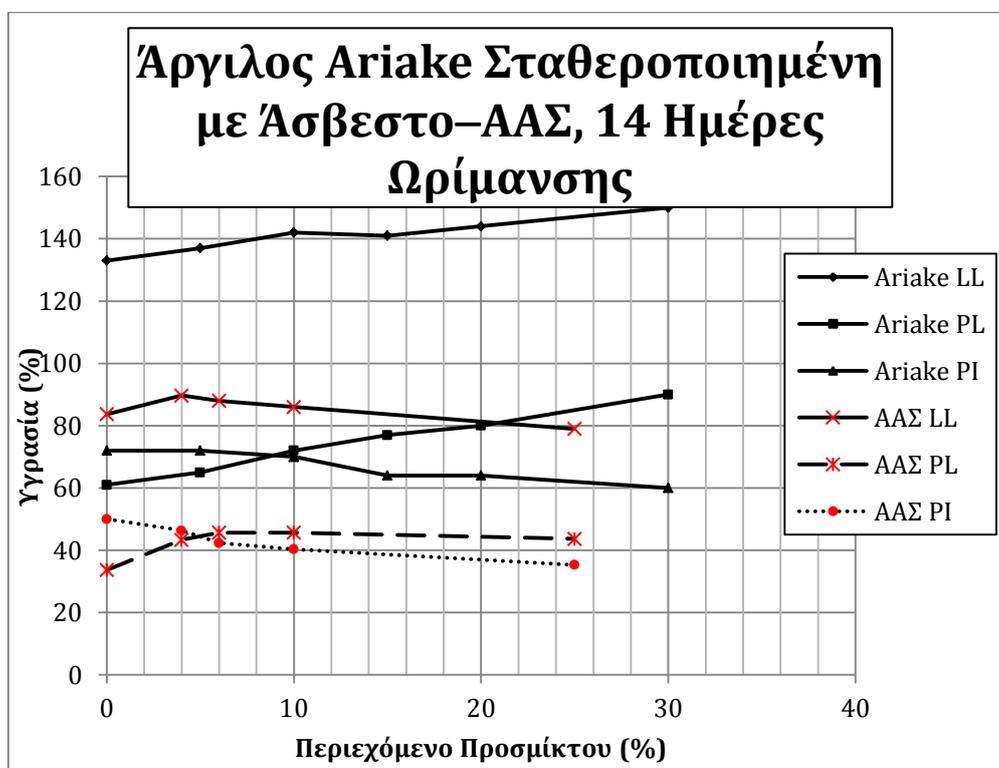
Πρόκειται για άργιλο Ariake της Ιαπωνίας (διαφορετική από τις προαναφερθείσες), η οποία σταθεροποιήθηκε με διάφορα ποσοστά διαφόρων προσμίκτων και εξετάστηκε η επιρροή της ανάμιξης στα μίγματα. Συγκεκριμένα, ως πρόσμικτα χρησιμοποιήθηκαν το τσιμέντο και άσβεστος. Παρατίθενται τα αποτελέσματα των εκτελεσθέντων δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης σε αναζυμωμένη καθαρή άργιλο Ariake, σε μίγματα αργίλου Ariake με ποσοστό 5%, και 10% ασβέστου, και σε μίγματα αργίλου Ariake με ποσοστό 5%, και 10% τσιμέντου, τα οποία συγκρίνονται με τα μίγματα ΑΑΣ-80-00, με 0% τέφρα για σύγκριση με την καθαρή άργιλο Ariake—αξίζει να σημειωθεί πως και τα δύο υλικά μορφώθηκαν με αυθαίρετη επιλογή ποσοστού υγρασίας κοντά στο όριο υδαρότητάς τους και έχουν χαρακτηρα αναζυμωμένου υλικού, ΑΑΣ-85-06 και ΑΑΣ-90-10 (με 6% και 10% τέφρα αντίστοιχα), για 14 ημέρες ωρίμανσης, καθώς δεν υπήρχαν προσβάσιμα στοιχεία για άλλους χρόνους ωρίμανσης. Επίσης, παρατίθενται τα όρια Atterberg μιγμάτων αργίλου Ariake-ασβέστου συναρτήσε του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου, τα οποία συγκρίνονται με αυτά των μιγμάτων ΑΑΣ για χρόνο ωρίμανσης 14 ημερών. Παράλληλα, γίνεται σύγκριση της μεταβολής του ορίου υδαρότητας σε μίγμα αργίλου Ariake με ποσοστό 10% ασβέστου με του ΑΑΣ-90-10 συναρτήσε του χρόνου ωρίμανσης. Τέλος, συγκρίνεται η ανάπτυξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής συναρτήσε του χρόνου ωρίμανσης για τα μίγματα αργίλου Ariake με 10%, 20%, και 30% τσιμέντο και το μίγμα ΑΑΣ-90-10. Αξίζει να σημειωθεί πως η υγρασία της αργίλου Ariake και των μιγμάτων της διαμορφώθηκε στο 185%.

Πίνακας 12.2.12

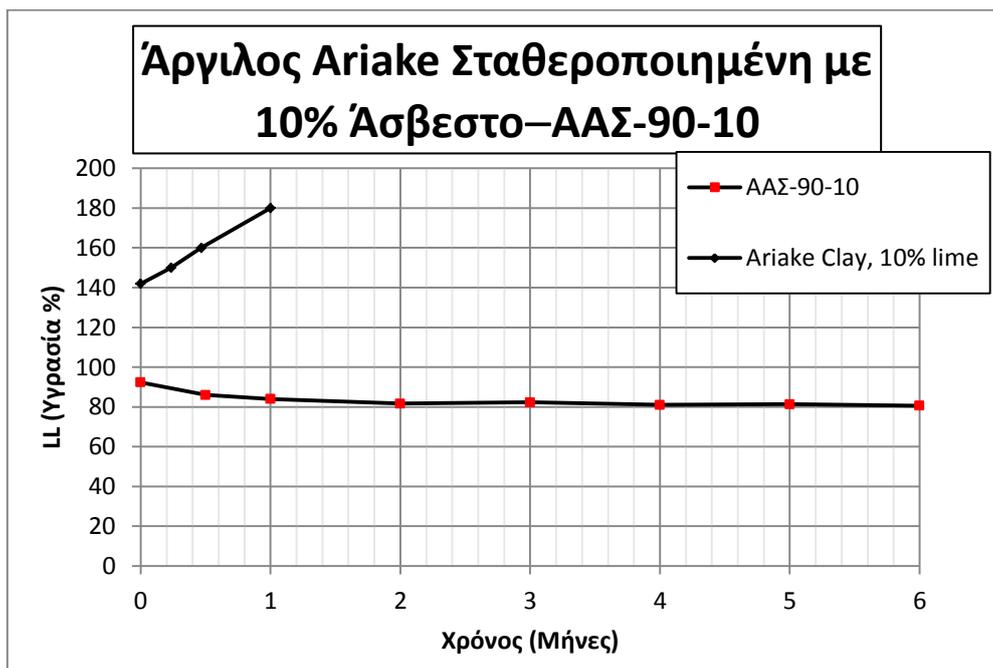
Άργιλος Ariake Σταθεροποιημένη με Άσβεστο με 185% Υγρασία, 14 Ημέρες Ωρίμανσης				
ποσοστό τέφρας (%)	LL	PL	PI	Χαρακτηρισμός
0	133	61	72	MH
5	137	65	72	MH
10	142	72	70	MH
15	141	77	64	MH
20	144	80	64	MH
30	150	90	60	MH

Πίνακας 12.2.13

Άργιλος Αγίου Στεφάνου, 14 Μέρες Ωρίμανσης				
ποσοστό τέφρας (%)	LL	PL	PI	Χαρακτηρισμός
0	84	34	50	CH
4	90	43	47	MH
6	88	46	42	MH
10	86	46	40	MH
25	79	44	35	MH



Διάγραμμα 12.2.20

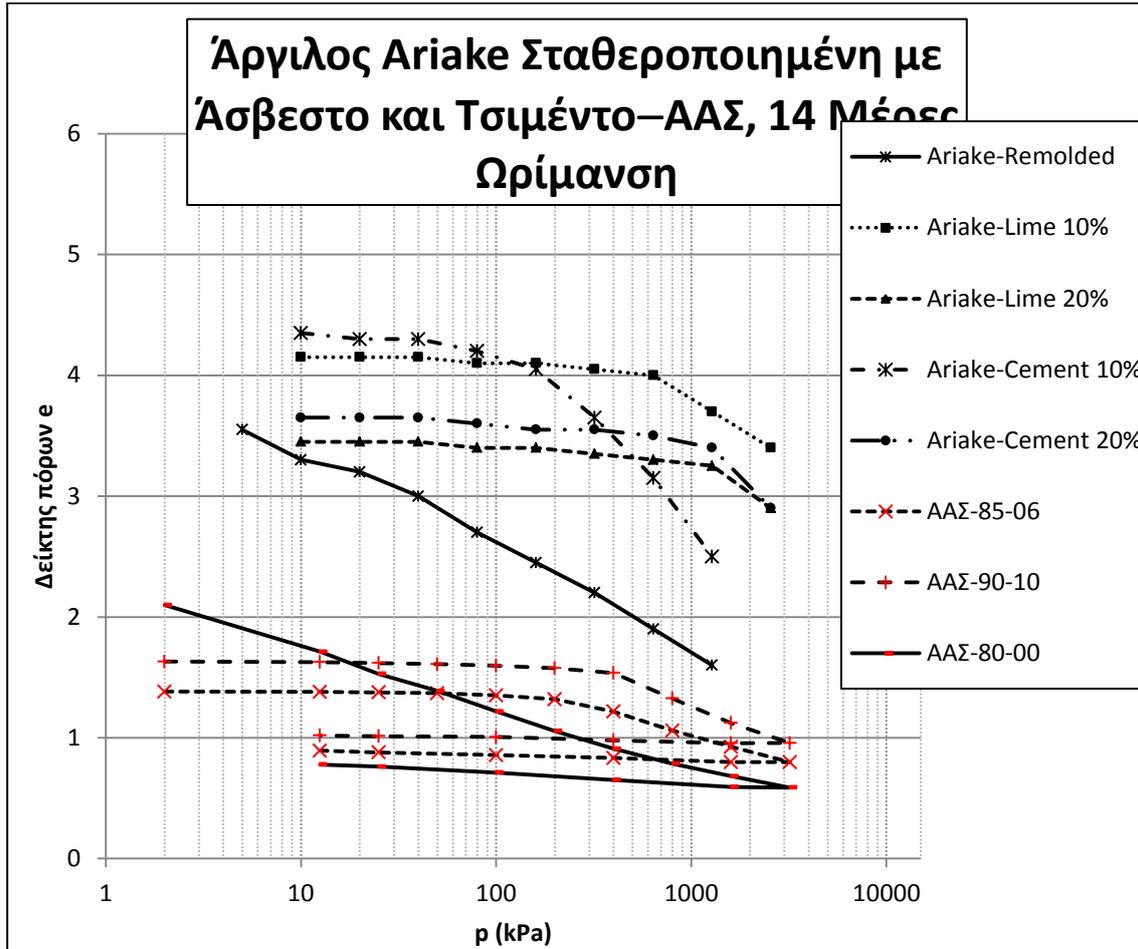


Διάγραμμα 12.2.21

Είναι εμφανές πως τα μίγματα αργίλου Ariake-ασβέστου επιδεικνύουν σχεδόν τη διπλάσια υδροαπορροφητικότητα από αυτά του ΑΑΣ, γεγονός που πηγάζει από τη διαφορετική σύσταση των υλικών. Μάλιστα, τα όρια Atterberg τους είναι τόσο υψηλά που τα υλικά βρίσκονται εκτός του χάρτη πλαστικότητας του Casagrande. Τα όρια Atterberg των μιγμάτων και των δύο υλικών παρουσιάζουν αντίθετη συμπεριφορά καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενου προσμίκτου: εν γένει, το όριο υδαρότητας αυξάνεται στα μίγματα αργίλου Ariake-ασβέστου ενώ μειώνεται στα μίγματα ΑΑΣ-τέφρας και το όριο πλαστικότητας αυξάνεται στα μίγματα αργίλου Ariake-ασβέστου ενώ μειώνεται στα μίγματα ΑΑΣ-τέφρας. Τελικά όμως, οι όποιες μεταβολές συμβαίνουν στα όρια αυτά έχουν ως σαφές αποτέλεσμα την μείωση του δείκτη πλαστικότητας και στα δύο είδη μιγμάτων, πράγμα που καθιστά τη συμπεριφορά τους παρόμοια. Πρόκειται για αναμενόμενη συμπεριφορά εδαφικών υλικών με δομή, καθώς η σταθεροποίηση με πρόσμικτα τα καθιστά λιγότερο πλαστικά.

Επίσης, είναι εμφανές πως τα όρια υδαρότητας των δύο εξεταζόμενων μιγμάτων, αργίλου Ariake με 10% άσβεστο και ΑΑΣ-90-10, επιδεικνύουν διαφορετική συμπεριφορά ως προς το χρόνο. Συγκεκριμένα, ως τον 1 μήνα ωρίμανσης παρατηρείται σταθερή αύξηση του ορίου υδαρότητας του μίγματος αργίλου Ariake με 10% άσβεστο, ενώ παρατηρείται μικρή μείωση του ορίου υδαρότητας του ΑΑΣ-90-10. Η τάση αυτή ως επί το πλείστον οφείλεται στη διαδικασία της ενυδάτωσης της ασβέστου και στα δύο μίγματα. Μετά την παρέλευση του 1 μήνα, στο ΑΑΣ-90-10 φαίνεται να σταθεροποιείται το όριο υδαρότητας, πράγμα που σημαίνει την ολοκλήρωση της διαδικασίας ενυδάτωσης. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μεταβολές στο όριο υδαρότητας σχετίζονται άμεσα με τη διαδικασία της ενυδάτωσης παρά με την εξέλιξη ποζολανικών αντιδράσεων. Για το μίγμα αργίλου Ariake-ασβέστου δεν υπάρχουν

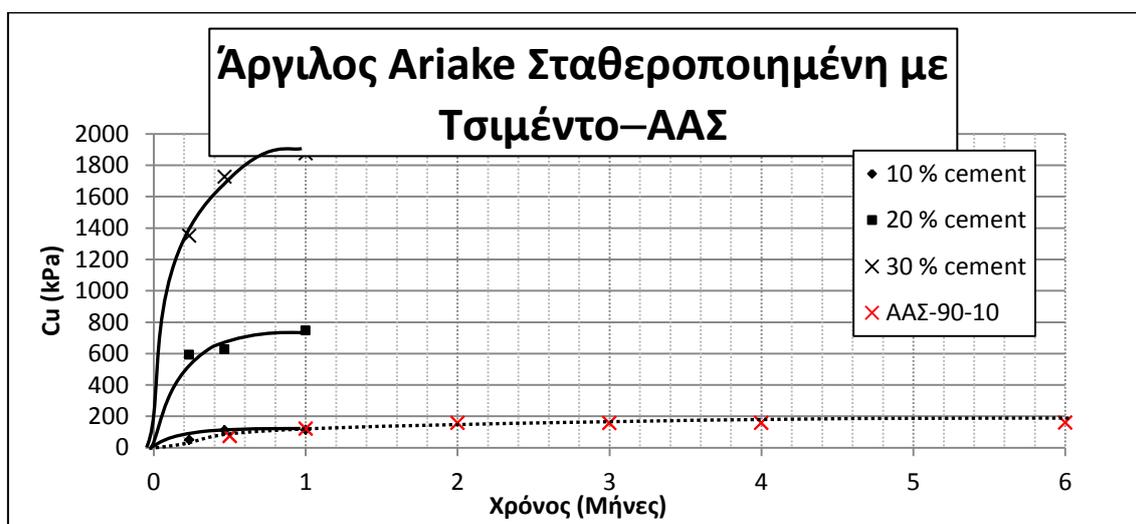
διαθέσιμα στοιχεία πέρα από την ωρίμανση του 1 μήνα, ωστόσο δείχνει να ακολουθεί σταθερά αυξητική τάση. Βεβαίως, ανεξαρτήτως της τόσο διαφορετικής συμπεριφοράς των ορίων υδαρότητας, η γενική συμπεριφορά των δύο υλικών αναμένεται να είναι η ίδια, να σημειώνεται δηλαδή πτώση του δείκτη πλαστικότητας με το χρόνο, συμπεριφορά που είναι χαρακτηριστική των εδαφικών υλικών με δομή. Πάντως, η απόκλιση αυτή στη συμπεριφορά των ορίων υδαρότητας διαφορετικών μιγμάτων επισημαίνει την ευαισθησία των διαδικασιών ανάπτυξης δομής στη σύσταση των περιεχόμενων υλικών.



Διάγραμμα 12.2.22

Από τις καμπύλες συμπίεσης μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα. Κατ' αρχάς, αν και οι καμπύλες $e-\log p$ των υλικών δεν συμπίπτουν με ακρίβεια, παρατηρείται πως οι συμπεριφορές τους είναι ποιοτικά ίδιες. Η ανάπτυξη δομής φαίνεται από τη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού που επιδεικνύουν όλα τα προϊόντα ανάμιξης, εκτός φυσικά από τα καθαρά αργιλικά υλικά, τα οποία παρουσιάζουν και τα δύο συμπεριφορά κανονικά στερεοποιημένου υλικού. Σε όλα τα προϊόντα ανάμιξης είναι εμφανής η ανάπτυξη φαινόμενης τάσης προφόρτισης, περί τα 640kPa και $e=4$ για την άργιλο Ariake με 10% άσβεστο, περί τα 800kPa και $e=3,5$ για την άργιλο Ariake με 20% άσβεστο, περί τα 1200kPa και $e=3,25$ για την άργιλο Ariake με 10% τσιμέντο, περί τα 1200kPa και $e=3,4$ για την άργιλο

Αργίλες με 20% τσιμέντο, περί τα 300kPa και $e=1,5$ για το ΑΑΣ-90-10, περί τα 200kPa και $e=1,3$ για το ΑΑΣ-85-06. Φαίνεται πως καθώς αυξάνεται το ποσοστό προσμίκτου αυξάνεται και η φαινόμενη τάση προφόρτισης και μειώνεται ο δείκτης πόρων της, καταδεικνύοντας «κλείσιμο» της δομής του υλικού. Όταν τελικώς αυτή υπερβαίνεται από την επιβαλλόμενη τάση, υπερβαίνεται δηλαδή η αντοχή των αναπτυχθέντων δεσμών, η καμπύλη υποχωρεί και το υλικό συμπιέζεται, με το δείκτη πόρων του να μειώνεται με γρήγορο ρυθμό καθώς αυξάνεται η φόρτιση, και την καμπύλη να συγκλίνει προς την VCL (η οποία εδώ δεν φαίνεται καθώς δεν ήταν διαθέσιμα τα απαραίτητα στοιχεία). Η άργιλος Αργίλες και τα μίγματά της ξεκινούν από αρκετά υψηλότερο αρχικό δείκτη πόρων από τα μίγματα ΑΑΣ, γεγονός που συνάδει με τη την πιο ανοικτή της δομή που ενδεχομένως οφείλεται στο υψηλότερο ποσοστό υγρασίας της. Η φαινόμενη τάση προφόρτισης που αναπτύσσεται στα μίγματα αργίλου Αργίλες είναι εν γένει υψηλότερη από αυτήν που αναπτύσσεται στα μίγματα ΑΑΣ-τέφρας, με εξαίρεση το μίγμα αργίλου Αργίλες-τσιμέντου, η συνολική βελτίωση της συμπεριφοράς του οποίου όμως σε σχέση με αυτήν του αρχικού υλικού είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτήν των μιγμάτων ΑΑΣ-τέφρας. Η παραπάνω εικόνα είναι αναμενόμενη εξαιτίας της πολύ μεγαλύτερης δραστικότητας του τσιμέντου σε σχέση με την τέφρα. Το γεγονός ότι για τη συγκεκριμένη άργιλο Αργίλες η ασβέστος έχει εξίσου σημαντικά αποτελέσματα με το τσιμέντο επισημαίνει για ακόμη μια φορά την ευαισθησία των διαδικασιών ανάπτυξης δομής στη σύσταση των περιεχόμενων υλικών. Πρέπει σ' αυτό το σημείο να σημειωθεί πως μέρος της φαινόμενης τάσης προφόρτισης του συγκρινόμενου υλικού ενδέχεται να οφείλεται σε προφόρτιση που τυχόν έχει υποστεί, και όχι ολοκληρωτικά στην ανάπτυξη δεσμών, ωστόσο δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να υποστηρίζουν την ύπαρξη προφόρτισης στα εξεταζόμενα υλικά. Τελικά, συμπεραίνεται πως οι συμπεριφορές των μιγμάτων αργίλου Αργίλες και των μιγμάτων ΑΑΣ είναι ποιοτικά όμοιες και παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς εδαφικών υλικών με δομή. Αυτό μπορεί να οφείλεται τόσο στη μειωμένη δραστικότητα της ασβέστου, όσο και στο χαμηλό χρόνο ωρίμανσης.



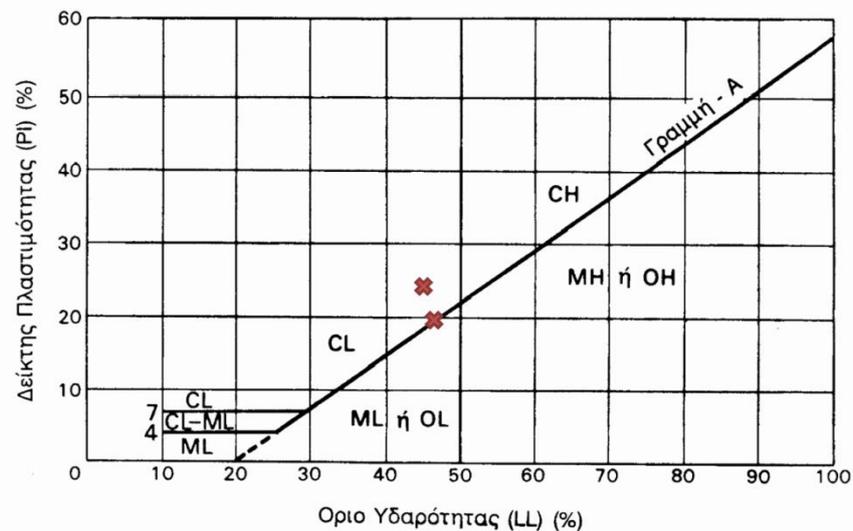
Διάγραμμα 12.2.23

Όσον αφορά στην εξέλιξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, είναι φανερό πως αυτή αυξάνεται με το χρόνο ωρίμανσης με φθίνοντα ρυθμό, για να σταθεροποιηθεί τελικά. Παρατηρείται πως για το μίγμα ΑΑΣ-90-10 η αντοχή είναι περίπου ίση με αυτήν των μιγμάτων αργίλου Αρίακε, περί τα 150kPa για 1 μήνα ωρίμανσης. Η αρχική χαμηλή αντοχή της τελευταίας συνάδει με το υψηλό ποσοστό υγρασίας της. Όμως, παρατηρείται πως για ποσοστό τσιμέντου 20% αναπτύσσει αντοχή περίπου 600%-700% υψηλότερη από αυτήν του ΑΑΣ-90-10 (περί τα 750kPa για 1 μήνα ωρίμανσης), και για μεγαλύτερα ποσοστά τσιμέντου γίνεται υπερπολλαπλάσια (περί τα 1900kPa για 1 μήνα ωρίμανσης). Επίσης, στην περίπτωση των μιγμάτων αργίλου Αρίακε με τσιμέντο, ο ρυθμός ανάπτυξης της αντοχής για 1 μήνα ωρίμανσης φθίνει μεν, αλλά δεν μηδενίζεται, ενώ στην περίπτωση του ΑΑΣ-90-10 ο ρυθμός ανάπτυξης αντοχής φθίνει σημαντικά και πρακτικώς μηδενίζεται για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών. Αν και δεν υπάρχουν στοιχεία για την περαιτέρω εξέλιξη του ρυθμού ανάπτυξης των μιγμάτων αργίλου Αρίακε με τσιμέντο, αναμένεται να συνεχίζει μειωμένος έως και περίπου 1 έτος ωρίμανσης λόγω των ιδιοτήτων του τσιμέντου. Αυτή η σημαντική απόκλιση στη συμπεριφορά των δύο διαφορετικών ειδών μιγμάτων οφείλεται στην μεγαλύτερη δραστηριότητα του τσιμέντου έναντι της τέφρας, τόσο ως προς την τελική μέγιστη αναπτυσσόμενη αντοχή όσο και ως προς το χρόνο ανάπτυξης αυτής, δηλαδή στη διαδικασία ανάπτυξης δομής. Αν συγκριθεί όμως η συμπεριφορά των μιγμάτων της συγκεκριμένης αργίλου Αρίακε με αυτά της αργίλου Αρίακε της προηγούμενης ενότητας, θα σημειωθεί απόκλιση ανάμεσα στις συμπεριφορές των δύο υλικών. Αυτό για ακόμη μια φορά επισημαίνει την ευαισθησία των διαδικασιών ανάπτυξης δομής στη σύσταση των περιεχόμενων υλικών. Όμως, συμπεραίνοντας, η γενική συμπεριφορά είναι η ίδια και στα δύο υλικά, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών: η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με αύξηση του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτη, χαρακτηριστικό των εδαφικών υλικών με δομή.

[55]

12.2.10 Άργιλος Βαγδάτης και Άργιλος Basra του Ιράκ Σταθεροποιημένες με Τσιμέντο

Πρόκειται για αργίλους Βαγδάτης και Άργιλος Basra του Ιράκ, οι οποίες σταθεροποιήθηκαν με διάφορα ποσοστά τσιμέντου και εξετάστηκε η επιρροή της ανάμιξης στα μίγματα. Παρατίθενται τα αποτελέσματα των εκτελεσθέντων δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης στα καθαρά αργιλικά, τα οποία συγκρίνονται με την καθαρή Άργιλο Αγίου Στεφάνου (ΑΑΣ-80-00). Επίσης, γίνεται σύγκριση του συντελεστή συμπίεστότητας (Cc) για διάφορους χρόνους ωρίμανσης συναρτήσεως του ποσοστού περιεχομένου προσμίκτη καθώς και του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης (Es) για διάφορα επίπεδα επιβαλλόμενων τάσεων σε διάφορους χρόνους ωρίμανσης συναρτήσεως του ποσοστού περιεχομένου προσμίκτη για μίγματα αργίλου Βαγδάτης και Basra με τσιμέντο. Παράλληλα, παρατίθενται τα όρια Atterberg των καθαρών αργιλικών υλικών Βαγδάτης και Basra, καθώς και του ΑΑΣ-80-00. Ενδεικτικά αναφέρεται πως οι δύο εξεταζόμενες άργιλοι περιέχουν περί το 70% ιλυωδών στοιχείων και περί το 25% αργιλικών.



Σχήμα 12.8: Κατάταξη στον Χάρτη Casagrande

Πίνακας 12.2.14

Όρια Atterberg	Άργιλος Βαγδάτης	Άργιλος Basra	ΑΑΣ-80-00
LL	47	46	86
PL	27	24	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ
PI	20	22	ΠΟΛΥ ΥΔΑΡΟ
Χαρακτηρισμός	CL	CL	CH

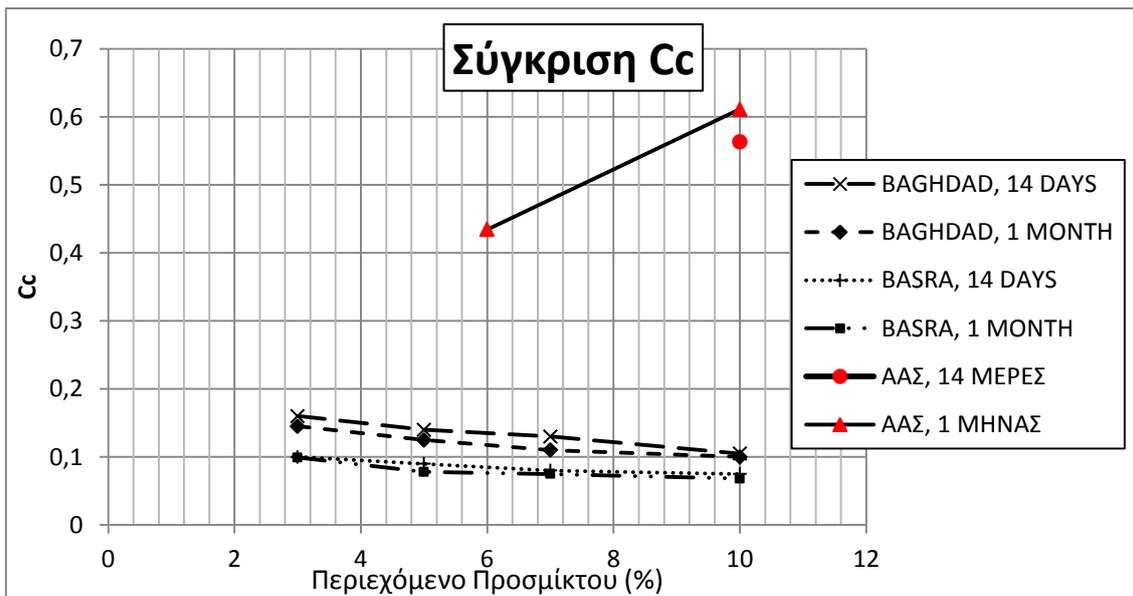
Παρατηρείται πως οι άργιλοι Βαγδάτης και Basra εμπίπτουν στην κατηγορία αργίλων χαμηλής πλαστικότητας CL, καθώς τα όρια Atterberg τους είναι σχεδόν τα μισά από αυτά της Αργίλου Αγίου Στεφάνου, καταδεικνύοντας σημαντικές διαφορές στη σύσταση των υλικών και στην υδροαπορροφητικότητά τους.

Πίνακας 12.2.15

Συντελεστής Συμπιεστότητας C_c	Άργιλος Βαγδάτης		Άργιλος Basra	
	Ωρίμανση 14 Ημερών	Ωρίμανση 1 Μήνα	Ωρίμανση 14 Ημερών	Ωρίμανση 1 Μήνα
3	0,16	0,145	0,1	0,099
5	0,14	0,125	0,09	0,078
7	0,13	0,11	0,08	0,075
10	0,105	0,1	0,075	0,068

Πίνακας 12.2.16

Συντελεστής Συμπίεστικότητας C_c	Άργιλος Αγίου Στεφάνου	
Τέφρα (%)	Ωρίμανση 14 Ημερών	Ωρίμανση 1 Μήνα
6		0,434535
10	0,5631	0,611154



Διάγραμμα 12.2.24

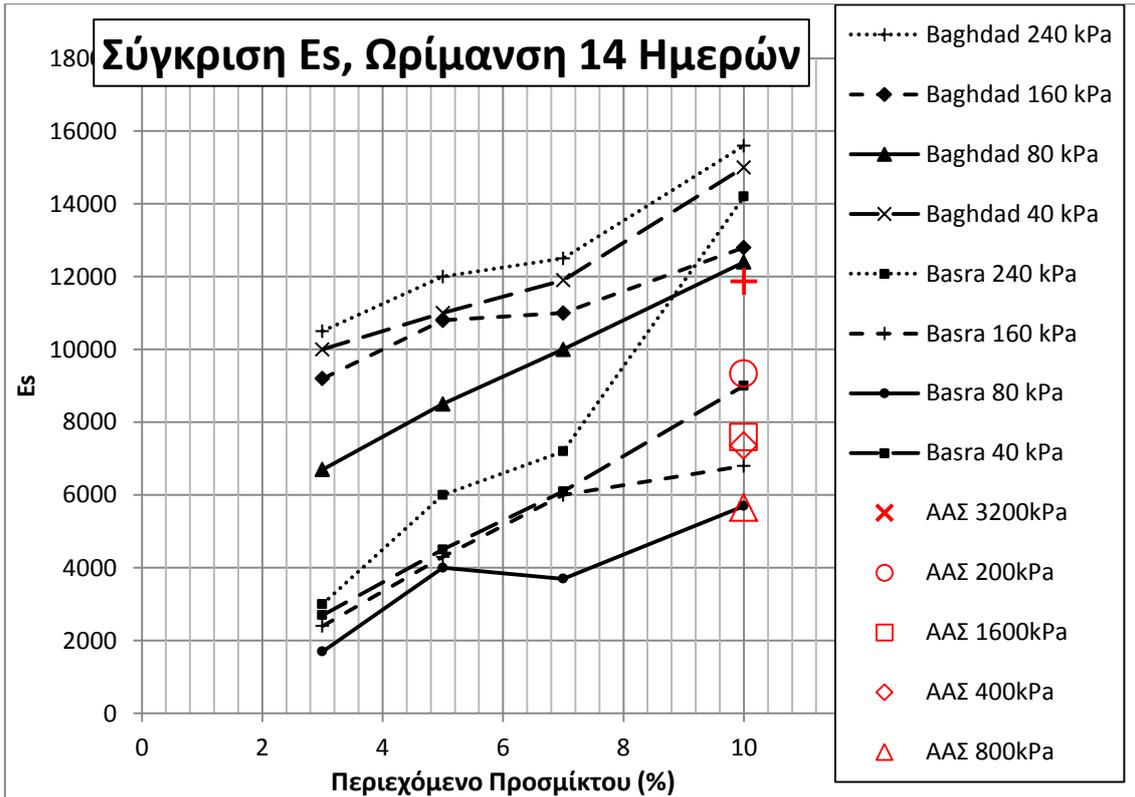
Εδώ παρατηρείται πως η συμπεριφορά των διαφορετικών συνδυασμών μιγμάτων είναι διαφορετική. Τα μίγματα αργίλων Βαγδάτης και Basra με τσιμέντο σημειώνουν ελαφρώς πτωτική τάση του συντελεστή συμπίεστικότητας με αυξανόμενο ποσοστό τσιμέντου, σε αντίθεση με τα μίγματα ΑΑΣ-ιπτάμενης τέφρας τα οποία σημειώνουν αύξηση του C_c της τάξης του 40%. Επίσης, σε όλα τα διαφορετικά μίγματα παρατηρείται πτώση του C_c με αυξανόμενο χρόνο ωρίμανσης. Προφανώς, η διαφοροποίηση που παρατηρείται στη συμπεριφορά των συνδυασμών μιγμάτων οφείλεται σ' ένα βαθμό στο είδος δομής που δημιουργεί η τέφρα σε σχέση με το τσιμέντο σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα αργιλικά υλικά. Το τσιμέντο, ως πιο δραστικό υλικό, διατηρεί μέρος της αντοχής που έχει προσδώσει στο υλικό ακόμη και αφού ξεπεραστεί η φαινόμενη τάση προφόρτισης. Το φαινόμενο αυτό εντείνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχομένου τσιμέντου. Από την άλλη, η ιπτάμενη τέφρα δεν είναι τόσο δραστική, κι έτσι η δομή που αναπτύσσεται καταλύεται ολοκληρωτικά αφού ξεπεραστεί η φαινόμενη τάση προφόρτισης και το υλικό τείνει με πολύ γρήγορο ρυθμό προς την VCL καμπύλη του, εξηγώντας έτσι την αύξηση του C_c με το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Επίσης, είναι αναμενόμενο οι άργιλοι Βαγδάτης και Basra να έχουν μικρότερη συμπίεστικότητα (χαμηλότερο C_c) καθώς περιλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό ιλυωδών στοιχείων.

Πίνακας 12.2.17

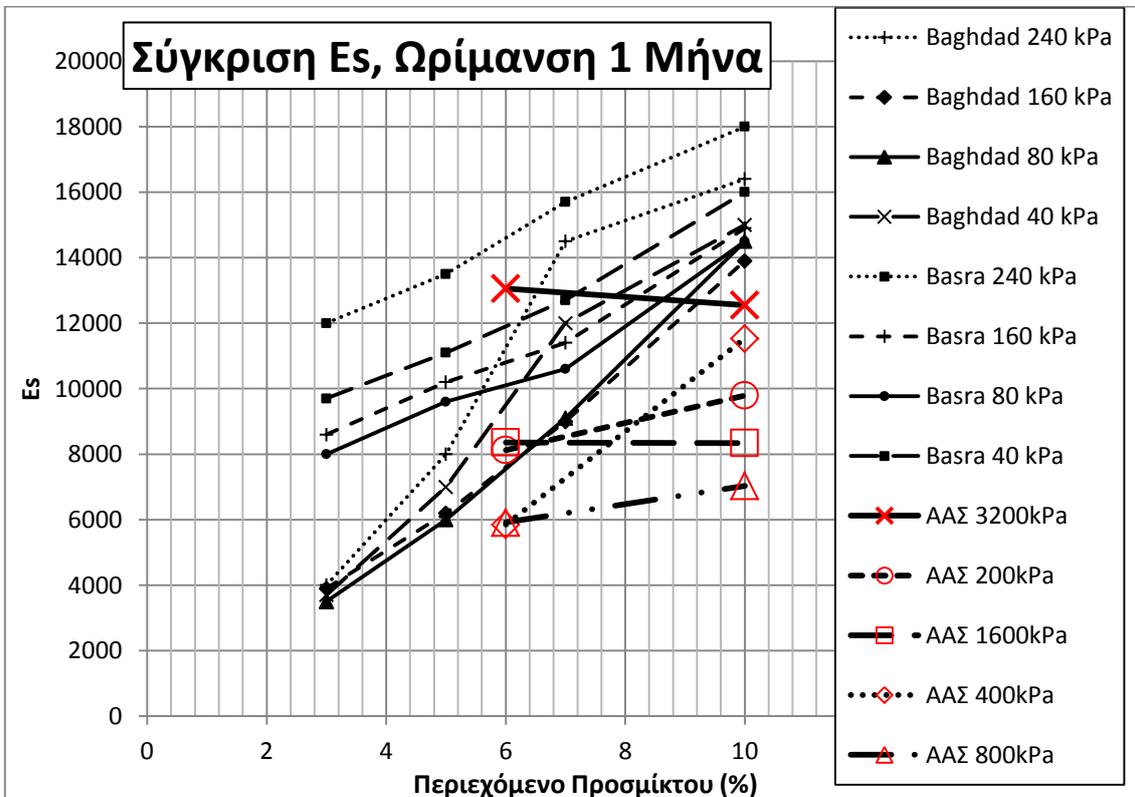
Μέτρο Μονοδιάστατης Συμπίεσης E_s		Ωρίμανση 14 Ημερών				Ωρίμανση 1 Μήνα			
Υλικό	Επιβαλλόμενη Τάση p (kPa)	Ποσοστό Τσιμέντου (%)				Ποσοστό Τσιμέντου (%)			
		3	5	7	10	3	5	7	10
Άργιλος Βαγδάτης	40	10000	11000	11900	15000	3700	7000	12000	15000
	80	6700	8500	10000	12400	3500	6000	9100	14500
	160	9200	10800	11000	12800	3900	6200	9000	13900
	240	10500	12000	12500	15600	4000	8000	14500	16400
Άργιλος Basra	40	2700	4500	6100	9000	9700	11100	12700	16000
	80	1700	4000	3700	5700	8000	9600	10600	14500
	160	2400	4300	6000	6800	8600	10200	11400	14900
	240	3000	6000	7200	14200	12000	13500	15700	18000

Πίνακας 12.2.18

Μέτρο Μονοδιάστατης Συμπίεσης E_s		Ωρίμανση 14 Ημερών	Ωρίμανση 1 Μήνα	
Υλικό	Επιβαλλόμενη Τάση p (kPa)	Ποσοστό Τέφρας (%)		
		10	6	10
Άργιλος Αγίου Στεφάνου	200	9333	8124	9793
	400	7359	5847	11533
	800	5661	5919	7035
	1600	7588	8361	8339
	3200	11871	13059	12551



Διάγραμμα 12.2.25



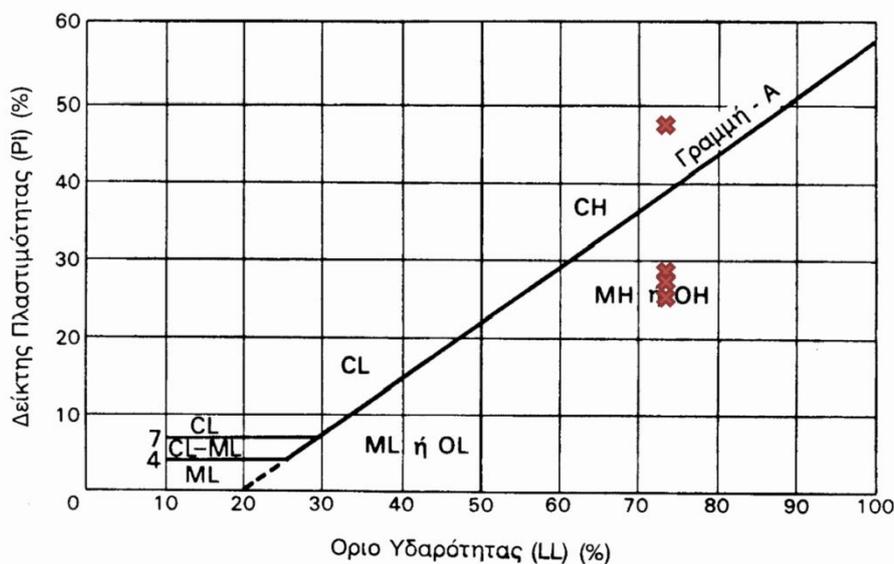
Διάγραμμα 12.2.26

Είναι φανερό πως σε όλα τα προϊόντα ανάμιξης των αργίλων Βαγδάτης και Basra παρουσιάζεται η ίδια συμπεριφορά ως προς την μεταβολή του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης συναρτήσει της αύξησης του ποσοστού προσμίκτου: το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης σημειώνει αύξηση, πράγμα που σημαίνει πως το υλικό γίνεται λιγότερο συμπιεστό καθώς αυξάνεται το ποσοστό προσμίκτου. Ως επί το πλείστον, παρόμοια είναι και η τάση στα μίγματα ΑΑΣ. Επίσης, παρατηρείται αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης με αυξανόμενο χρόνο ωρίμανσης. Το σύνολο των παραπάνω περιγράφει συμπεριφορά χαρακτηριστική των εδαφικών υλικών με δομή, καθώς όσο πιο ανεπτυγμένη είναι η δομή τους (όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό προσμίκτου και ο χρόνος ωρίμανσης) τόσο μειώνεται η συμπιεστότητά τους. Επίσης, παρατηρείται σε όλα εν γένει τα υλικά πως το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης αυξάνεται καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη τάση, συμπεριφορά αναμενόμενη για οποιοδήποτε αργιλικό υλικό, ιδιαίτερα με ανοικτή δομή.

[56]

12.2.11 Άργιλος Ταϊλάνδης Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο

Πρόκειται για άργιλο Ταϊλάνδης η οποία σταθεροποιήθηκε με διάφορα ποσοστά τσιμέντου και εξετάστηκε η επιρροή της ανάμιξης στα μίγματα. Παρατίθενται τα όρια Atterberg μιγμάτων αργίλου Ταϊλάνδης-τσιμέντου συναρτήσει του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου, τα οποία συγκρίνονται με αυτά των μιγμάτων ΑΑΣ για χρόνο ωρίμανσης 14 ημερών. Τέλος, συγκρίνεται η ανάπτυξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής συναρτήσει του χρόνου ωρίμανσης για τα μίγματα αργίλου Ταϊλάνδης με 10% τσιμέντο και το μίγμα ΑΑΣ-90-10.



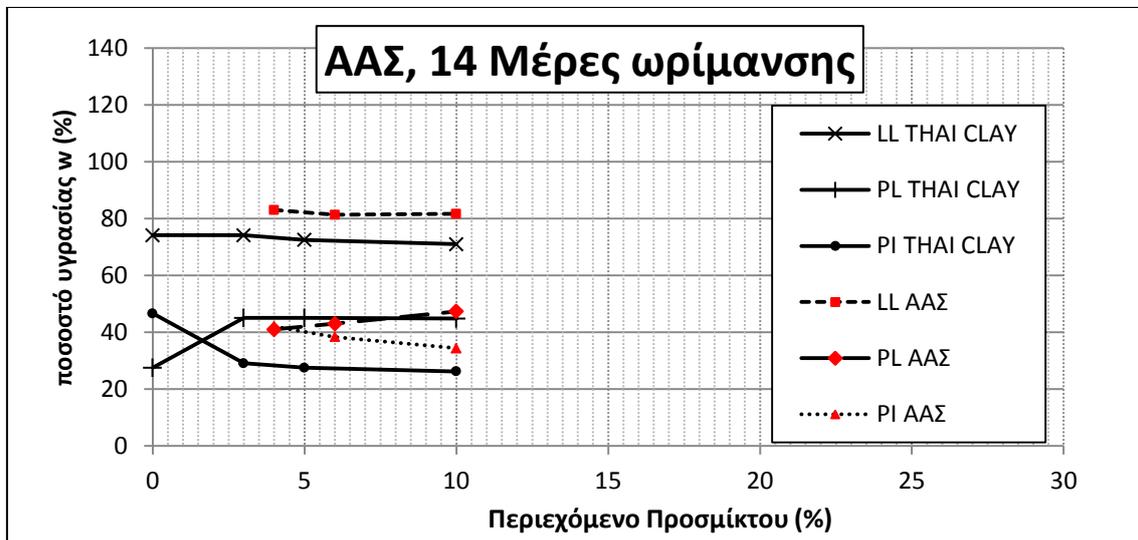
Σχήμα 12.9: Κατάταξη στον Χάρτη Casagrande

Πίνακας 12.2.19

Άργιλος Ταϊλάνδης Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο, 14 Ημέρες Ωρίμανσης				
ποσοστό τσιμέντου (%)	LL	PL	PI	Χαρακτηρισμός
0	74	28	47	MH
3	74	45	29	MH
5	73	45	28	MH
10	71	45	26	MH

Πίνακας 12.2.20

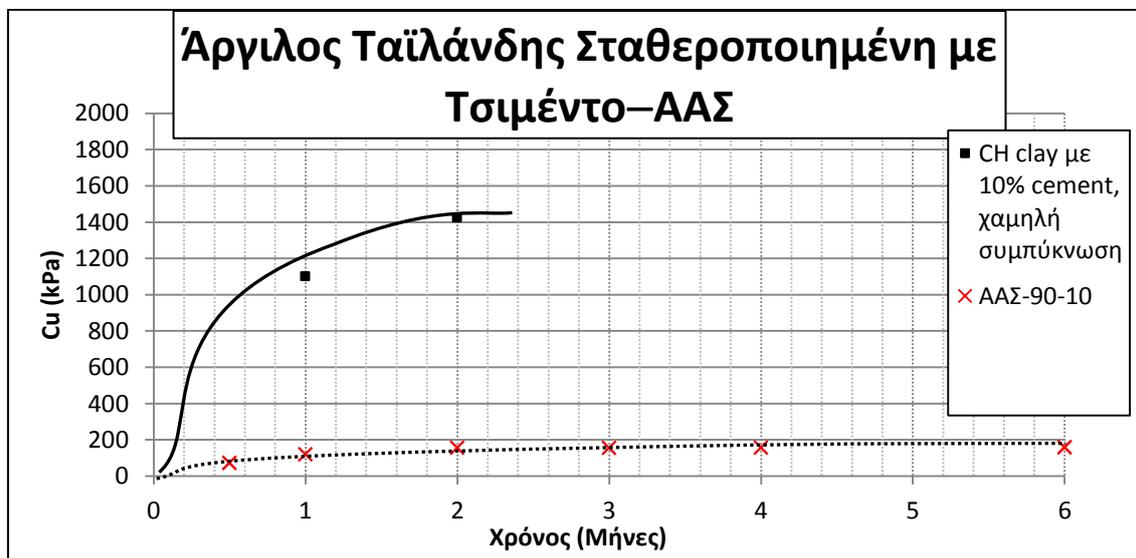
Άργιλος Αγίου Στεφάνου, 14 Μέρες Ωρίμανσης				
ποσοστό τέφρας (%)	LL	PL	PI	Χαρακτηρισμός
0	84	34	50	CH
4	90	43	47	MH
6	88	46	42	MH
10	86	46	40	MH
25	79	44	35	MH



Διάγραμμα 12.2.27

Είναι εμφανές πως τα μίγματα αργίλου Αριακε-ασβέστου επιδεικνύουν περίπου ίδια υδροαπορροφητικότητα με αυτά του ΑΑΣ, γεγονός που μαρτυρά πως υπάρχει ομοιότητα στη σύστασή τους. Παρ' όλ' αυτά, τα όρια Atterberg των μιγμάτων και των δύο υλικών παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενου προσμίκτου: εν γένει, το όριο υδαρότητας μειώνεται ανεπαίσθητα, το όριο πλαστικότητας

αυξάνεται, και τελικά οι όποιες μεταβολές συμβαίνουν στα όρια αυτά έχουν ως σαφές αποτέλεσμα την μείωση του δείκτη πλαστικότητας. Πρόκειται για αναμενόμενη συμπεριφορά εδαφικών υλικών με δομή, καθώς η σταθεροποίηση με πρόσμικτα τα καθιστά λιγότερο πλαστικά.



Διάγραμμα 12.2.28

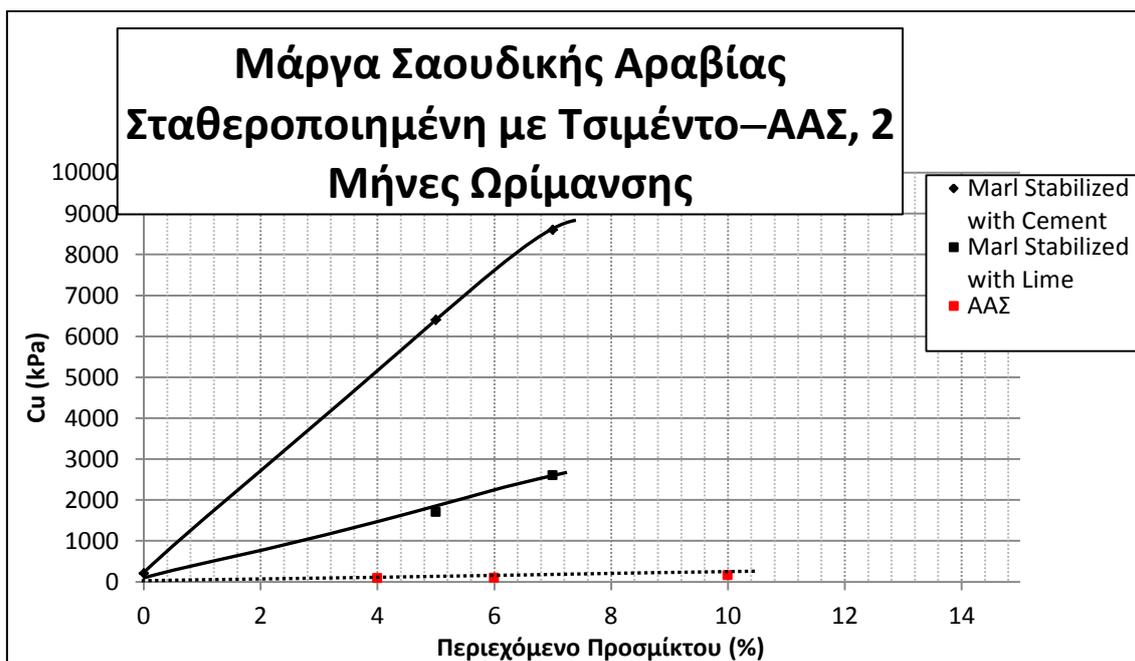
Όσον αφορά στην εξέλιξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, είναι φανερό πως αυτή αυξάνεται με το χρόνο ωρίμανσης με φθίνοντα ρυθμό, για να σταθεροποιηθεί τελικά. Παρατηρείται πως για το μίγμα αργίλου Ταϊλάνδης η αντοχή είναι υψηλότερη κατά μία τάξη μεγέθους από αυτήν του ΑΑΣ-90-10 (περί τα 1100kPa για 1 μήνα ωρίμανσης και περί τα 1400kPa για 2 μήνες ωρίμανσης για το μίγμα αργίλου Ταϊλάνδης με 10% τσιμέντο, περί τα 150kPa για το ΑΑΣ-90-10 για ωρίμανση πέραν του 1 μήνα) για χρόνους ωρίμανσης μεγαλύτερους του 1 μήνα, ενώ δεν υπάρχουν στοιχεία για μικρότερους χρόνους ωρίμανσης. Επίσης, στην περίπτωση των μιγμάτων αργίλου Ταϊλάνδης με τσιμέντο, η ανάπτυξη της αντοχής για την περίοδο 1 έως 2 μήνες ωρίμανσης συνεχίζει, ενώ στην περίπτωση του ΑΑΣ-90-10 ο ρυθμός ανάπτυξης αντοχής φθίνει σημαντικά και πρακτικώς μηδενίζεται για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών. Αν και δεν υπάρχουν στοιχεία για την περαιτέρω εξέλιξη του ρυθμού ανάπτυξης των μιγμάτων αργίλου Ταϊλάνδης με τσιμέντο, αναμένεται να συνεχίζει μειωμένος έως και περίπου 1 έτος ωρίμανσης λόγω των ιδιοτήτων του τσιμέντου. Αυτή η σημαντική απόκλιση στη συμπεριφορά των δύο διαφορετικών ειδών μιγμάτων οφείλεται στην μεγαλύτερη δραστηριότητα του τσιμέντου έναντι της τέφρας, τόσο ως προς την τελική μέγιστη αναπτυσσόμενη αντοχή όσο και ως προς το χρόνο ανάπτυξης αυτής, δηλαδή στη διαδικασία ανάπτυξης δομής. Όμως, συμπεραίνοντας, η γενική συμπεριφορά είναι η ίδια και στα δύο υλικά, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών: η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με αύξηση του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου, χαρακτηριστικό των εδαφικών υλικών με δομή.

[27]

12.2.12 Μάργα Σαουδικής Αραβίας Σταθεροποιημένη με Τσιμέντο και Άσβεστο

Πρόκειται για μάργα Σαουδικής Αραβίας η οποία σταθεροποιήθηκε με διάφορα ποσοστά τσιμέντου και ασβέστου και εξετάστηκε η επιρροή της ανάμιξης στα μίγματα. Συγκρίνεται η ανάπτυξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής συναρτήσει του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου για τα μίγματα της μάργας και τα μίγματα ΑΑΣ για 2 μήνες ωρίμανσης. Σημειώνεται πως η μάργα αποτελείται κατά 75% περίπου από ασβεστίτη και δεν παρουσιάζει πλαστική συμπεριφορά.

Είναι εμφανές πως τα μίγματα αργίλου Ariake-ασβέστου επιδεικνύουν περίπου ίδια υδροαπορροφητικότητα με αυτά του ΑΑΣ, γεγονός που μαρτυρά πως υπάρχει ομοιότητα στη σύστασή τους. Παρ' όλ' αυτά, τα όρια Atterberg των μιγμάτων και των δύο υλικών παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενου προσμίκτου: εν γένει, το όριο υδαρότητας μειώνεται ανεπαίσθητα, το όριο πλαστικότητας αυξάνεται, και τελικά οι όποιες μεταβολές συμβαίνουν στα όρια αυτά έχουν ως σαφές αποτέλεσμα την μείωση του δείκτη πλαστικότητας. Πρόκειται για αναμενόμενη συμπεριφορά εδαφικών υλικών με δομή, καθώς η σταθεροποίηση με πρόσμικτα τα καθιστά λιγότερο πλαστικά.



Διάγραμμα 12.2.29

Όσον αφορά στην εξέλιξη της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, είναι φανερό πως αυτή αυξάνεται με το ποσοστό περιεχόμενου προσμίκτου. Στα μίγματα ΑΑΣ αυξάνεται με φθίνοντα ρυθμό, για να σταθεροποιηθεί τελικά. Παρατηρείται πως ενώ η αντοχή όλων των μιγμάτων εκινεί από παρόμοια, χαμηλή αντοχή περί τα 100kPa, για τα μίγματα μάργας-τσιμέντου η αντοχή αυξάνεται με φανερά γοργότερο ρυθμό απ' ότι των μιγμάτων μάργας-ασβέστου, της οποίας η αντοχή με τη σειρά της αυξάνεται με φανερά γοργότερο ρυθμό απ'

ότι των μιγμάτων ΑΑΣ (μίγμα μάργας με 5% ασβέστου και 5% τσιμέντου σημειώνει αντοχή 2MPa και 6,5MPa αντίστοιχα, ενώ μίγμα μάργας με 7% ασβέστου και 7% τσιμέντου σημειώνει αντοχή 2,7MPa και 8,7MPa αντίστοιχα, και η ΑΑΣ σημειώνει αντοχή περί τα 150kPa για κάθε ποσοστό τέφρας). Η διαφορά αυτή οφείλεται στη διαφορά της δραστηριότητας, η οποία είναι υψηλότερη στο τσιμέντο, ενώ στην άσβεστο είναι υψηλότερη απ' ό,τι στην ιπτάμενη τέφρα. Φυσικά, σημαντικό ρόλο στη δραστηριότητα του προσμίκτου παίζει και η συμβατότητά του με το υλικό στο οποίο προσμιγνύεται. Παρατηρείται πάντως πως η αντοχή των μιγμάτων μάργας-ασβέστου είναι κατά λίγο περισσότερο από μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη απ' αυτήν των μιγμάτων ΑΑΣ, ενώ αυτή των μιγμάτων μάργας-τσιμέντου είναι περίπου τετραπλάσια των μιγμάτων μάργας-ασβέστου. Όμως, συμπεραίνοντας, η γενική συμπεριφορά είναι η ίδια και στα δύο υλικά, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών: η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνεται με αύξηση του ποσοστού περιεχόμενου προσμίκτου, χαρακτηριστικό των εδαφικών υλικών με δομή.

[57]

12.2.13 Συμπεράσματα

Από όλες τις συγκρίσεις των μιγμάτων ΑΑΣ με τεχνητά εδαφικά υλικά με δομή προκύπτει πως η συμπεριφορά τους συνάδει με την τυπική συμπεριφορά ενός τυπικού εδαφικού υλικού με δομή. Το κύριο χαρακτηριστικό που οδηγεί σ' αυτό το συμπέρασμα όσον αφορά την καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης δεν είναι άλλο από τη φαινόμενη τάση προφόρτισης. Για τάσεις χαμηλότερες αυτής, το υλικό συμπεριφέρεται σαν προφορτισμένο, με ιδιαίτερα χαμηλή συμπίεσιμότητα, ενώ μόλις αυτή ξεπεραστεί, το υλικό μπαίνει σε κλάδο κανονικά φορτισμένου υλικού, με ιδιαίτερα αυξημένο συντελεστή συμπίεσιμότητας (C_c) σε σχέση με τον προηγούμενο κλάδο. Η συμπεριφορά αυτή παρατηρείται γενικά πως γίνεται ολοένα εντονότερη καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης και το ποσοστό περιεχόμενου προσμίκτου. Όλα τα μίγματα ΑΑΣ επιδεικνύουν αυτήν τη συμπεριφορά.

Η συμπεριφορά αυτή, όπως φάνηκε από όλα τα εξετασθέντα υλικά συμπεριλαμβανομένων και των μιγμάτων ΑΑΣ, συνοδεύεται από μείωση του δείκτη πλαστικότητας, ιδιαίτερα κατά την αρχική περίοδο ωρίμανσης, η οποία πιθανότερα οφείλεται στη διαδικασία της ενυδάτωσης, η οποία αποτελεί το αρχικό στάδιο των μηχανισμών ανάπτυξης δομής, ανεξαρτήτως είδους προσμίκτου. Επίσης, εν γένει συνοδεύεται από αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης και συντελεστή συμπίεσιμότητας.

Όσον αφορά την ανάπτυξη αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (C_u), αυτή παρουσιάζεται αυξημένη για υλικά με δομή σε σχέση με υλικά χωρίς δομή. Παρατηρείται πως η αύξησή της είναι χονδρικά ανάλογη του ποσοστού προσμίκτου και του χρόνου ωρίμανσης, όμως ο ρυθμός ανάπτυξής της τόσο συναρτήσκει του ποσοστού προσμίκτου όσο και του χρόνου ωρίμανσης σημειώνει διακυμάνσεις, οι οποίες μπορούν να καταλογιστούν σε σειρά από παράγοντες, οι σημαντικότεροι των οποίων είναι το ποσοστό προσμίκτου, ο χρόνος ωρίμανσης, και ο συνδυασμός της σύστασης του αρχικού υλικού και του προσμίκτου. Συγκεκριμένα, για χαμηλά ποσοστά προσμίκτου και χαμηλούς χρόνους ωρίμανσης, ο ρυθμός

αύξησης της αντοχής φαίνεται βραδύς, επιταχύνεται για κάποια αύξηση των παραγόντων αυτών, και επιβραδύνεται για περαιτέρω αύξησή τους, ενώ η ανάπτυξη αντοχής ολοκληρώνεται μετά από κάποιο χρόνο ωρίμανσης.

Τέλος, είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό πως δύο υλικά σχεδόν ποτέ δε θα έχουν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά ως προς κάθε παράμετρο, κι έτσι δεν είναι δυνατόν να παρατηρείται ή να επιζητείται η πλήρης ταύτιση των συμπεριφορών διαφόρων υλικών. Για την ακρίβεια, τα διάφορα υλικά που συγκρίθηκαν επέδειξαν σχεδόν πανομοιότυπη συμπεριφορά ποιοτικά, όμως οι απόλυτες αριθμητικές τιμές των εξεταζόμενων μεγεθών επέδειξαν σημαντικότερες αποκλίσεις. Είναι εμφανές πως σε μεγάλο βαθμό αυτές οι διαφορές οφείλονται στη φύση του εκάστοτε υλικού, αλλά και στις αντιδράσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των αναμιγνυόμενων υλικών. Συγκεκριμένα, μίγματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε ως πρόσμικτο το τσιμέντο επέδειξαν δραματικά σημαντικότερη βελτίωση από κάθε πλευρά, ενώ μίγματα στα οποία χρησιμοποιήθηκαν ιπτάμενη τέφρα ή άσβεστος τα αποτελέσματα ήταν μεν αισθητά, αλλά σαφώς χαμηλότερης έκτασης.

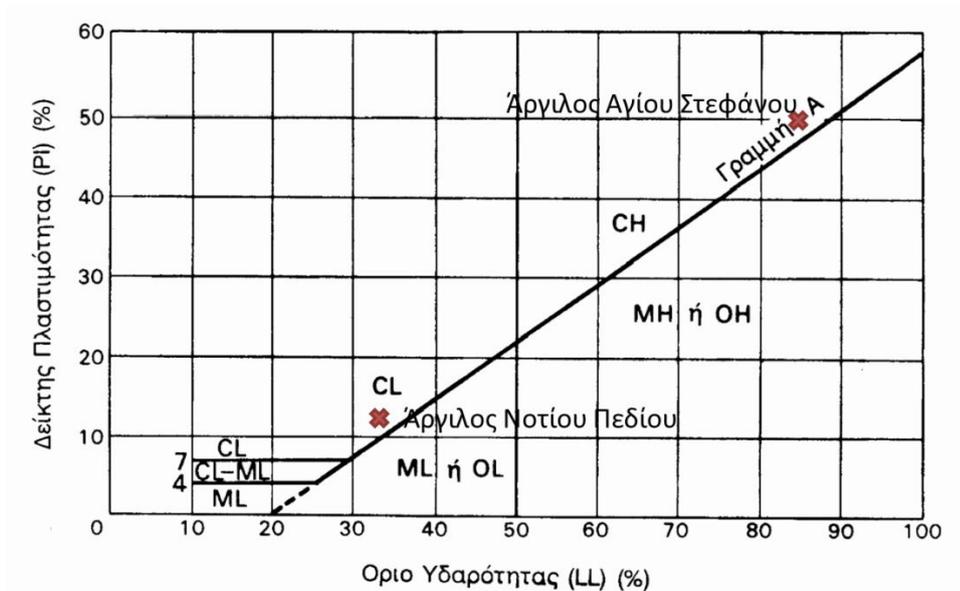
12.3 Άργιλος Νοτίου Πεδίου (47)

Πρόδρομο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η πειραματική διερεύνηση μιγμάτων αργίλου Νοτίου Πεδίου με Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας. Η εν λόγω έρευνα πραγματοποιήθηκε στο ίδιο εργαστήριο όπου εκπονήθηκαν οι πειραματικές δοκιμές της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιώντας την ίδια ιπτάμενη τέφρα (οι λεπτομέρειες της οποίας περιγράφονται παραπάνω), σε συνδυασμό με διαφορετικό αργλικό υλικό. Στο πλαίσιο του σκοπού της έρευνας αυτής επιχειρήθηκε ο προσδιορισμός της επιρροής της ανάμιξης ιπτάμενης τέφρας με άγονα αργλικά υλικά Νοτίου Πεδίου, και βρίσκεται σημαντικός κοινός τόπος με το σκοπό της παρούσας εργασίας. Το αργλικό υλικό που εξετάστηκε έχει διαφορετική σύσταση από την άργιλο της παρούσας εργασίας και εμπίπτει σε διαφορετική κατηγορία του χάρτη πλαστικότητας του Casagrande, ωστόσο όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά τους είναι σχεδόν πανομοιότυπα, ώστε τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτήν σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των δοκιμών της παρούσας εργασίας μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην εξαγωγή γενικότερων συμπερασμάτων ως προς την ανάπτυξη δομής στα γεωυλικά. Κατ' αρχάς, παρατίθεται σύγκριση των ορίων Atterberg και άλλων βασικών χαρακτηριστικών των εξετασθέντων αργλικών υλικών. Εφεξής, τα μίγματα Αργίλου Νοτίου Πεδίου και Αργίλου Αγίου Στεφάνου με Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας θα συμβολίζονται αντίστοιχα ΝΠ και ΑΑΣ, ακολουθούμενα από δύο νούμερα, το πρώτο εκ των οποίων αναφέρεται στο ποσοστό υγρασίας και το δεύτερο στο ποσοστό τέφρας που περιέχεται στο μίγμα. Έτσι, ΝΠ-50-00 σημαίνει μίγμα Αργίλου Νοτίου Πεδίου με 50% ποσοστό υγρασίας και 0% ποσοστό τέφρας, ενώ ΑΑΣ-90-10 σημαίνει Αργίλου Αγίου Στεφάνου με 90% ποσοστό υγρασίας και 10% ποσοστό τέφρας.

Οι δοκιμές που διεξήχθησαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, καθώς και τα αποτελέσματα και η ανάλυσή τους έχουν παρατεθεί παραπάνω. Όσον αφορά τα αντίστοιχα στοιχεία των μιγμάτων αργίλου ΝΠ, παρουσιάζονται εξίσου ή και περισσότερο αναλυτικά στις

βιβλιογραφικές πηγές του παρόντος (47) και (60). Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα στοιχεία από της βιβλιογραφικές αυτές πηγές για σύγκριση με τα στοιχεία που προκύπτουν από τις δοκιμές της παρούσας εργασίας. Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα δοκιμών μονοδιάστατης στερεοποίησης, ορίων Atterberg, και τριαξονικών δοκιμών UC (χωρίς στράγγιση, χωρίς στερεοποίηση, χωρίς πλευρικούς περιορισμούς). Οι αναλογίες ανάμιξης που εξετάστηκαν όσον αφορά την άργιλο ΝΠ είναι οι εξής: ΝΠ-50-00, ΝΠ-60-05, ΝΠ-60-10, ΝΠ-65-15, για τους ακόλουθους χρόνους ωρίμανσης: αμέσως μετά την ανάμιξη, 1 μήνα, 2 μήνες, 4 μήνες, και 8 μήνες μετά την ανάμιξη. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως, όπως και στα μίγματα ΑΑΣ, έτσι και στα μίγματα ΝΠ επιβλήθηκε συμπίκνωση υπό τάση 300kPa κατά τις πρώτες 14 ημέρες μετά την ανάμιξη, η προφόρτιση αυτή δηλαδή επηρεάζει όλα τα υλικά για χρόνο ωρίμανσης μεγαλύτερο των 14 ημερών, και αποτυπώνεται στη σημαντική μείωση του αρχικού δείκτη πόρων συναρτήσεως του χρόνου από αμέσως μετά την ανάμιξη ως τον αμέσως επόμενο εξεταζόμενο χρόνο ωρίμανσης.

12.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά



Σχήμα 12.10: Κατάταξη στον Χάρτη Casagrande

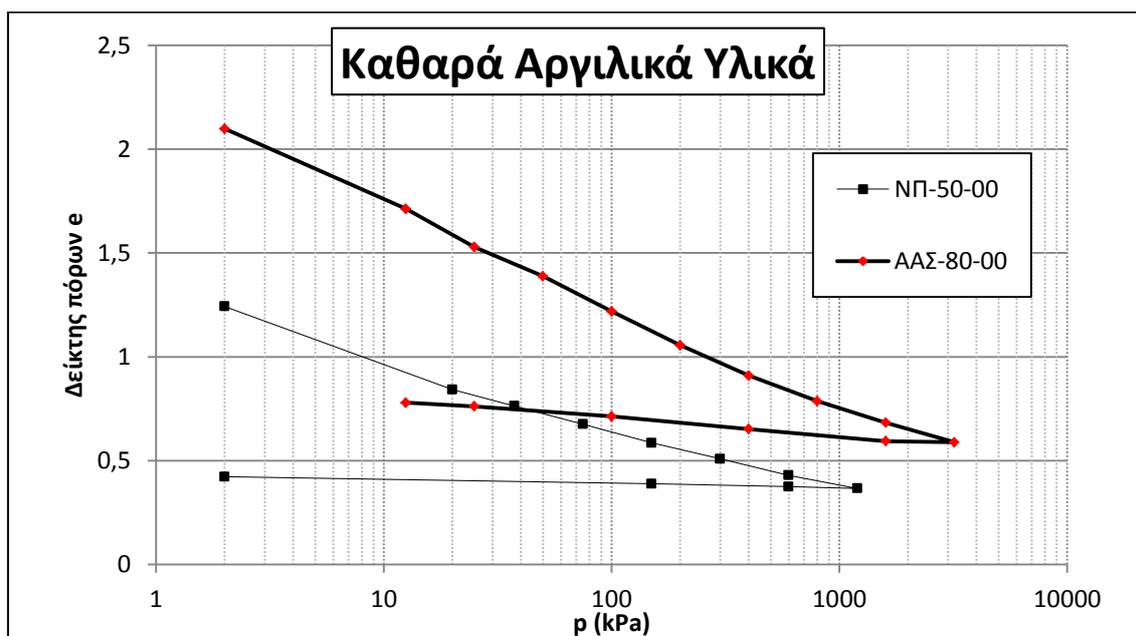
Πίνακας 12.3.1

	ΝΠ	ΑΑΣ
LL	33	86
PL	20	36
PI	13	50
Χαρακτηρισμός	CL	CH
w	50	-
Gs	2.72	2,77

Παρατηρείται πως το όριο υδαρότητας και ο δείκτης πλαστικότητας της Αργίλου Νοτίου Πεδίου είναι επαρκώς χαμηλότερα από αυτά της Αργίλου Αγίου Στεφάνου, ώστε η πρώτη να κατατάσσεται στις αργίλους χαμηλής πλαστικότητας, ενώ η δεύτερη να κατατάσσεται στις αργίλους υψηλής πλαστικότητας, οι οποίες παρουσιάζουν και τη δυσμενέστερη μηχανική συμπεριφορά, καθώς επιδεικνύουν μεγαλύτερη υδροαπορροφητικότητα και πλαστικότητα. Επίσης, παρατίθεται η τιμή της φυσικής υγρασίας της Αργίλου Νοτίου Πεδίου. Η τιμή αυτή έχει σημασία, διότι κατά τη διερεύνηση της συμπεριφοράς των μιγμάτων αυτού του υλικού ήταν επιθυμητή η προσομοίωση της συμπεριφοράς του στη φύση, κι έτσι επιβλήθηκε στα δοκίμια ποσοστό υγρασίας ανάλογο όχι του ορίου υδαρότητας, όπως στην παρούσα εργασία, αλλά της φυσικής υγρασίας, που στην περίπτωση της Αργίλου Νοτίου Πεδίου είναι περίπου στο 1.5xLL. Παράλληλα, παρατηρείται πως το ειδικό βάρος στερεών (Gs) είναι σχεδόν ίσο για τα δύο υλικά, συνεπώς υπάρχει συγκρισιμότητα.

12.3.2 Κατά Αναλογία Ανάμιξης

12.3.2.1 Καθαρά Αργιλικά Υλικά



Διάγραμμα 12.3.1

Πίνακας 12.3.2

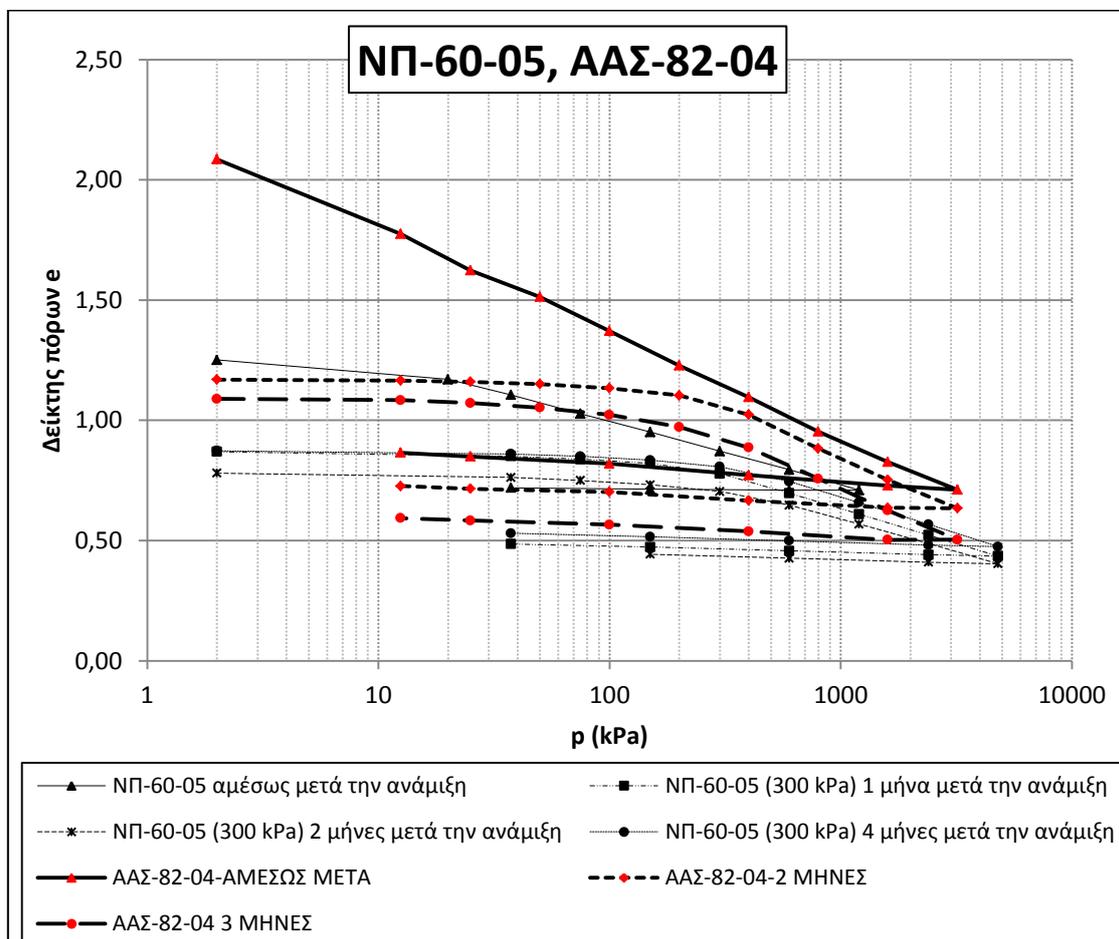
Υλικό	ΝΠ-50-00	ΑΑΣ-80-00
C_c	0,312	0,467
e_0	1,24	2,10
e_{300}	0,51	0,95

Στο διάγραμμα φαίνονται τα αποτελέσματα της δοκιμής μονοδιάστατης συμπίεσης στα καθαρά αργιλικά υλικά. Παρατηρείται πως η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-80-00 εκκινεί από πολύ υψηλότερο αρχικό δείκτη πόρων (e_0), που οφείλεται κατά κύριο λόγο στο κατά 60%

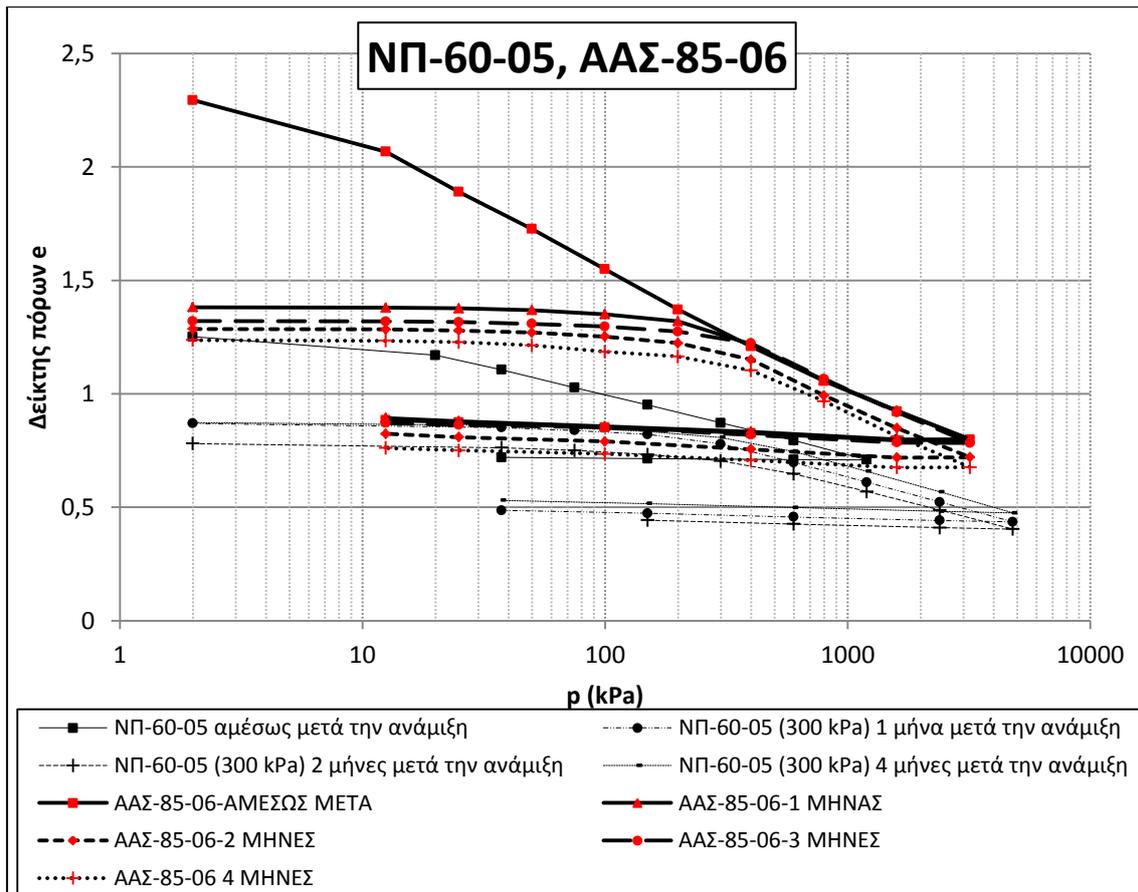
υψηλότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας. Ωστόσο, και τα δύο υλικά παρουσιάζουν συμπεριφορά κανονικά στερεοποιημένου υλικού, με πρακτικώς σταθερό C_c ίδιας τάξης μεγέθους καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη φόρτιση. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως οι δύο άργιλοι έχουν ποιοτικά την ίδια συμπεριφορά μεταξύ τους. Τα καθαρά υλικά θεωρούνται πως δεν επηρεάζονται από το χρόνο ωρίμανσης, καθώς η εξέλιξη των μηχανισμών συγκόλλησης των κόκκων και διαγένεσης μέσω φυσικών διαδικασιών συμβαίνει σε γεωλογικό χρόνο.

12.3.2.2 ΝΠ-60-05, ΑΑΣ-82-04, ΑΑΣ-85-06

Καθώς στο ποσοστό τέφρας 5% δεν υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μεταξύ των μιγμάτων ΝΠ και ΑΑΣ, θα γίνει σύγκριση πρώτα μεταξύ των ΝΠ-60-05 και ΑΑΣ-82-04 και κατόπιν των ΝΠ-60-05 και ΑΑΣ-85-06, τα οποία είναι αρκετά συναφή μεταξύ τους ώστε να υπάρχει συγκρισιμότητα.



Διάγραμμα 12.3.2



Διάγραμμα 12.3.3

Πίνακας 12.3.3

Υλικό	ΝΠ-60-05				
	Ωρίμανση	Αμέσως Μετά	1Μήνας	2 Μήνες	4 Μήνες
C_c		0,259	0,286	0,269	0,273
e_0		1,25	0,87	0,78	0,87
e_{300}		0,87	0,81	0,70	0,81

Πίνακας 12.3.4

Υλικό	ΑΑΣ-82-04				
	Ωρίμανση	Αμέσως Μετά	1Μήνας	2 Μήνες	4 Μήνες
C_c		0,442		0,412	
e_0		2,09		1,17	
e_{300}		1,12		1,04	

Πίνακας 12.3.5

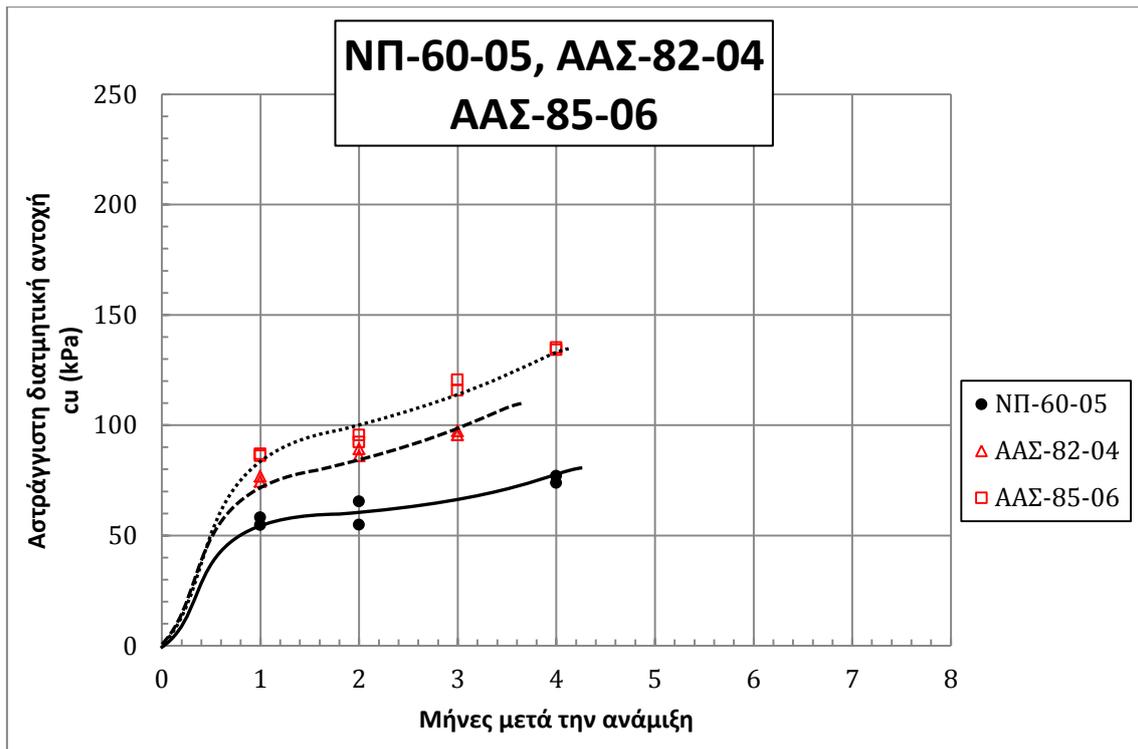
Υλικό	ΑΑΣ-85-06			
	Αμέσως Μετά	1Μήνας	2 Μήνες	3 Μήνες
C_c	0,514	0,435	0,452	0,470
e_0	2,31	1,38	1,27	1,32
e_{300}	1,26	1,26	1,24	1,17

Στα διαγράμματα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης των ΝΠ-60-05 και ΑΑΣ-82-04, και των ΝΠ-60-05 και ΑΑΣ-85-06 αντίστοιχα, και συγκεκριμένα βασικά χαρακτηριστικά των καμπυλών συμπίεσης φαίνονται στους σχετικούς πίνακες. Πρέπει να σημειωθεί πως επειδή για το υλικό ΑΑΣ-85-06 δεν υπήρχαν δεδομένα για χρόνο ωρίμανσης 4 μηνών, παρατέθηκαν αντ' αυτού τα στοιχεία που υπήρχαν για ωρίμανση 3 μηνών, περισσότερο για να παρατηρηθεί η τάση της συμπεριφοράς του υλικού παρά για να γίνουν ακριβείς συγκρίσεις. Παρατηρείται πως τα ΑΑΣ-85-06 και ΑΑΣ-82-04 αμέσως μετά την ανάμιξη εκκινούν από πολύ υψηλότερο αρχικό δείκτη πόρων (e_0) απ' ότι το ΝΠ-60-05, που οφείλεται κατά κύριο λόγο στο κατά 35% περίπου υψηλότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας. Το ΑΑΣ-82-04 αμέσως μετά την ανάμιξη παρουσιάζει συμπεριφορά κανονικά στερεοποιημένου υλικού, με πρακτικώς σταθερό C_c καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη φόρτιση. Ωστόσο, τα ΝΠ-60-05 και ΑΑΣ-85-06 φαίνεται ήδη από αμέσως μετά την ανάμιξη, παρ' όλο που το ΝΠ-60-05 εκκινεί από τον ίδιο αρχικό δείκτη πόρων όπως το ΝΠ-50-00, το δε ΑΑΣ-85-06 εκκινεί από υψηλότερο αρχικό δείκτη πόρων από το ΑΑΣ-80-00, να τείνουν να δημιουργήσουν φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 12,5kPa ($e=1,160$ για ΝΠ-60-05 και $e=2,067$ για ΑΑΣ-85-06), που μόλις ξεπεραστεί από την επιβαλλόμενη τάση τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως αμέσως μετά την ανάμιξη το μίγμα ΑΑΣ-82-04 περιέχει τόσο χαμηλό ποσοστό τέφρας ώστε να παραμένει ανεπηρέαστο και να συμπεριφέρεται ως κανονικά φορτισμένο υλικό με ίδιο αρχικό δείκτη πόρων με το ΑΑΣ-80-00, ενώ τα ΝΠ-60-05 και ΑΑΣ-85-06 ξεκινούν να διαμορφώνουν φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 12,5kPa.

Όσον αφορά τους εξεταζόμενους χρόνους ωρίμανσης του 1 μήνα, των 2 μηνών, και των 4 μηνών (3 μηνών για το ΑΑΣ-85-06), παρατηρείται μια σημαντική μείωση του αρχικού δείκτη πόρων σε σχέση με τα ίδια μίγματα αμέως μετά την ανάμιξη, τόσο στο μίγμα ΝΠ όσο και στα μίγματα ΑΑΣ, η οποία φαίνεται ξεκάθαρα τόσο στις καμπύλες συμπίεσης όσο και στους παρατεθειμένους πίνακες, και οφείλεται σχεδόν εξολοκλήρου στην συμπύκνωση που υπέστησαν όλα τα υλικά αμέσως μετά την ανάμιξη. Ο αρχικός δείκτης πόρων των μιγμάτων στους διάφορους χρόνους ωρίμανσης από τον 1 μήνα και μετά δε θεωρείται πως αλλάζει, καθώς παρατηρούνται αυξομειώσεις που οφείλονται κατά κύριο λόγο στις συνθήκες των δοκιμών παρά στην επιρροή της τέφρας ή σε κάποια άλλη μεταβαλλόμενη παράμετρο. Συγκεκριμένα, για χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα, η καμπύλη του ΝΠ-60-05 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 200kPa περίπου ($e=0,80$), ενώ η καμπύλη του ΑΑΣ-85-06 στα 200kPa

περίπου ($e=1,32$). Για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών, η καμπύλη συμπίεσης του ΝΠ-60-05 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 200kPa περίπου ($e=0,74$), ενώ η καμπύλη του ΑΑΣ-82-04 στα 150kPa περίπου ($e=1,10$), και η καμπύλη του ΑΑΣ-85-06 στα 130kPa περίπου ($e=1,21$).). Για χρόνο ωρίμανσης 3 μηνών, η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-82-04 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 150kPa περίπου ($e=1,00$), ενώ η καμπύλη του ΑΑΣ-85-06 στα 150kPa περίπου ($e=1,26$). Για χρόνο ωρίμανσης 4 μηνών, η καμπύλη συμπίεσης του ΝΠ-60-05 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 150kPa περίπου ($e=0,85$), η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-85-06 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 150kPa περίπου ($e=1,16$). Οι τάσεις αυτές μπορούν να θεωρηθούν φαινόμενες τάσεις προφόρτισης για το εκάστοτε υλικό.

Μόλις αυτές ξεπεραστούν από την επιβαλλόμενη τάση, τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού και τείνει προς την VCL. Σε αυτήν οφείλεται επίσης σε μεγάλο βαθμό και η συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού που παρουσιάζουν. Εν γένει, η συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού ενός μίγματος για οποιονδήποτε χρόνο ωρίμανσης έως ότου η καμπύλη συμπίεσής του τμήσει αυτήν του υλικού αμέσως μετά την ανάμιξη, οφείλεται κατά κύριο λόγο στην προφόρτιση και μάλιστα η τάση στην οποία τέμνονται θεωρείται η τάση προφόρτισης, ενώ η τυχόν συνέχεια του κλάδου προφόρτισης της καμπύλης για μεγαλύτερες τάσεις αντιστοιχεί σε δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης και οφείλεται κατά κύριο λόγο στην επιρροή της τέφρας. Για τα εξεταζόμενα υλικά δεν παρατηρείται δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης, καθώς για όλα τα μίγματα και για όλους τους χρόνους ωρίμανσης από 1 μήνα και παραπάνω κανενός η καμπύλη συμπίεσης δεν τέμνει στον κλάδο προφόρτισής της την αντίστοιχη VCL καμπύλη, συνεπώς η συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού των μιγμάτων οφείλεται στο μεγαλύτερο μέρος της στην προφόρτιση που έχουν υποστεί. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα τόσο στα διαγράμματα όσο και στους αντίστοιχους πίνακες (τιμές e_{300} , που αντιστοιχούν στο δείκτη πόρων στην τάση προ-συμπύκνωσης των 300kPa). Παράλληλα, οι συντελεστές συμπίεστικότητας φαίνεται να παραμένουν σταθεροί καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης, τάση που παρατηρείται και στα ΑΑΣ-82-04 και ΝΠ-60-05, ωστόσο στο ΑΑΣ-85-06 φαίνεται μια ήπια μεν, σαφής δε, αύξηση του C_c με το χρόνο. Το συμπέρασμα το οποίο εξαγεται από τις παραπάνω συγκρίσεις είναι πως για ποσοστά τέφρας περίπου 5%, τόσο το μίγμα ΝΠ όσο και τα μίγματα ΑΑΣ δεν επέδειξαν αισθητή βελτίωση ως προς τη συμπίεστότητά τους, η οποία να μπορεί να αποδοθεί στην περιεχόμενη τέφρα.



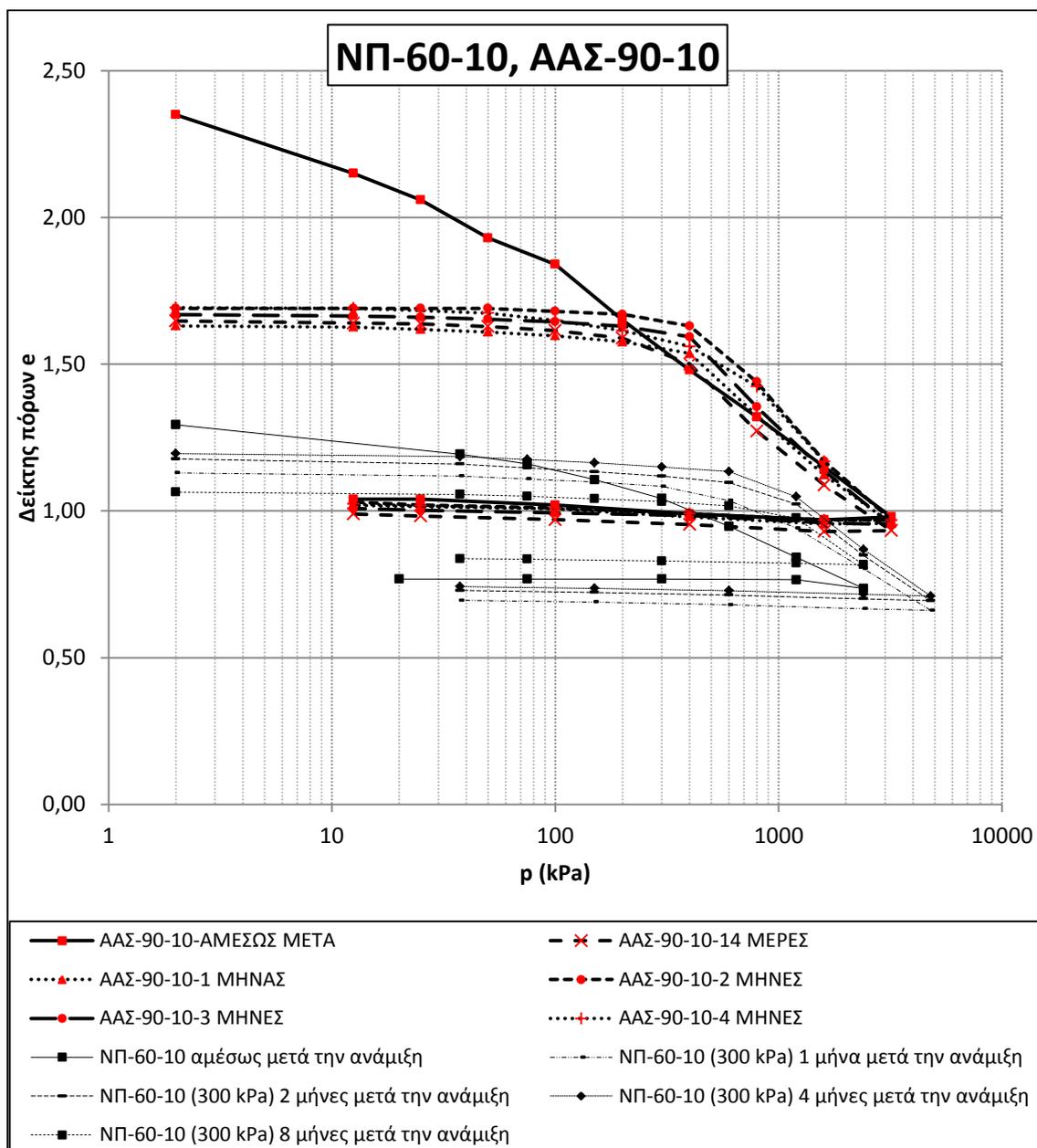
Διάγραμμα 12.3.4

Στο διαγράμμα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών UC των ΝΠ-60-05, ΑΑΣ-82-04, και ΑΑΣ-85-06. Πρέπει να σημειωθεί πως για το υλικό ΝΠ-60-05 δεν υπήρχαν δεδομένα για χρόνο ωρίμανσης 3 μηνών, ενώ δεν πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές στα υλικά αμέσως μετά την ανάμιξη. Παρατηρείται πως το ΑΑΣ-85-06 παρουσιάζει αντοχή υψηλότερη του ΑΑΣ-82-04, που με τη σειρά του παρουσιάζει αντοχή υψηλότερη του ΝΠ-60-05, σε όλους τους χρόνους ωρίμανσης. Η αντοχή εμφανίζει αυξητική τάση σε όλα τα μίγματα, ωστόσο ο ρυθμός αύξησής της είναι μεγαλύτερος για το ΑΑΣ-85-06, ηπιότερος για το ΑΑΣ-82-04, και ακόμη πιο ήπιος για το ΝΠ-60-05. Το ΑΑΣ-85-06 σημειώνει αντοχή περί τα 90kPa για ωρίμανση 1 μήνα, περί τα 95kPa για ωρίμανση 2 μηνών, αναπηδά στα 120kPa για ωρίμανση 3 μηνών, και καταλήγει στα 140kPa περίπου για ωρίμανση 4 μηνών. Το ΑΑΣ-82-04 ακολουθεί με αντοχή περί τα 75kPa για ωρίμανση 1 μήνα, περί τα 90kPa για ωρίμανση 2 μηνών, και μένει αρκετά χαμηλότερα του ΑΑΣ-85-06 στα 95kPa περίπου για ωρίμανση 3 μηνών, ενώ δεν υπάρχουν στοιχεία για ωρίμανση 4 μηνών. Τέλος, το ΝΠ-60-05 σημειώνει αντοχή περί τα 55kPa για ωρίμανση 1 μήνα, περί τα 60kPa για ωρίμανση 2 μηνών, και καταλήγει στα 75Pa περίπου για ωρίμανση 4 μηνών. Η συνολική αύξηση της αντοχής είναι περίπου 50kPa για το ΑΑΣ-85-06, 20kPa για το ΑΑΣ-82-04, και 20kPa για το ΝΠ-60-05 για ωρίμανση 4 μηνών (3 μηνών για το ΑΑΣ-82-04). Σε όλα τα μίγματα παρατηρείται μια αύξηση της αντοχής, η οποία είναι σημαντική αν θεωρηθεί σε σύγκριση με την αρχική αντοχή των μιγμάτων. Για παράδειγμα, η αντοχή του ΑΑΣ-85-06 αυξήθηκε κατά περίπου 50%, ενώ των υπολοίπων 2 μιγμάτων κατά 30%. Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία ώστε να προσδιορισθεί ο χρόνος ολοκλήρωσης της βελτίωσης, καθώς μέχρι και τον υψηλότερο χρόνο ωρίμανσης η αντοχή αυξάνεται. Συμπερασματικά, παρατηρείται πως, όσον αφορά την ασπράγγιστη

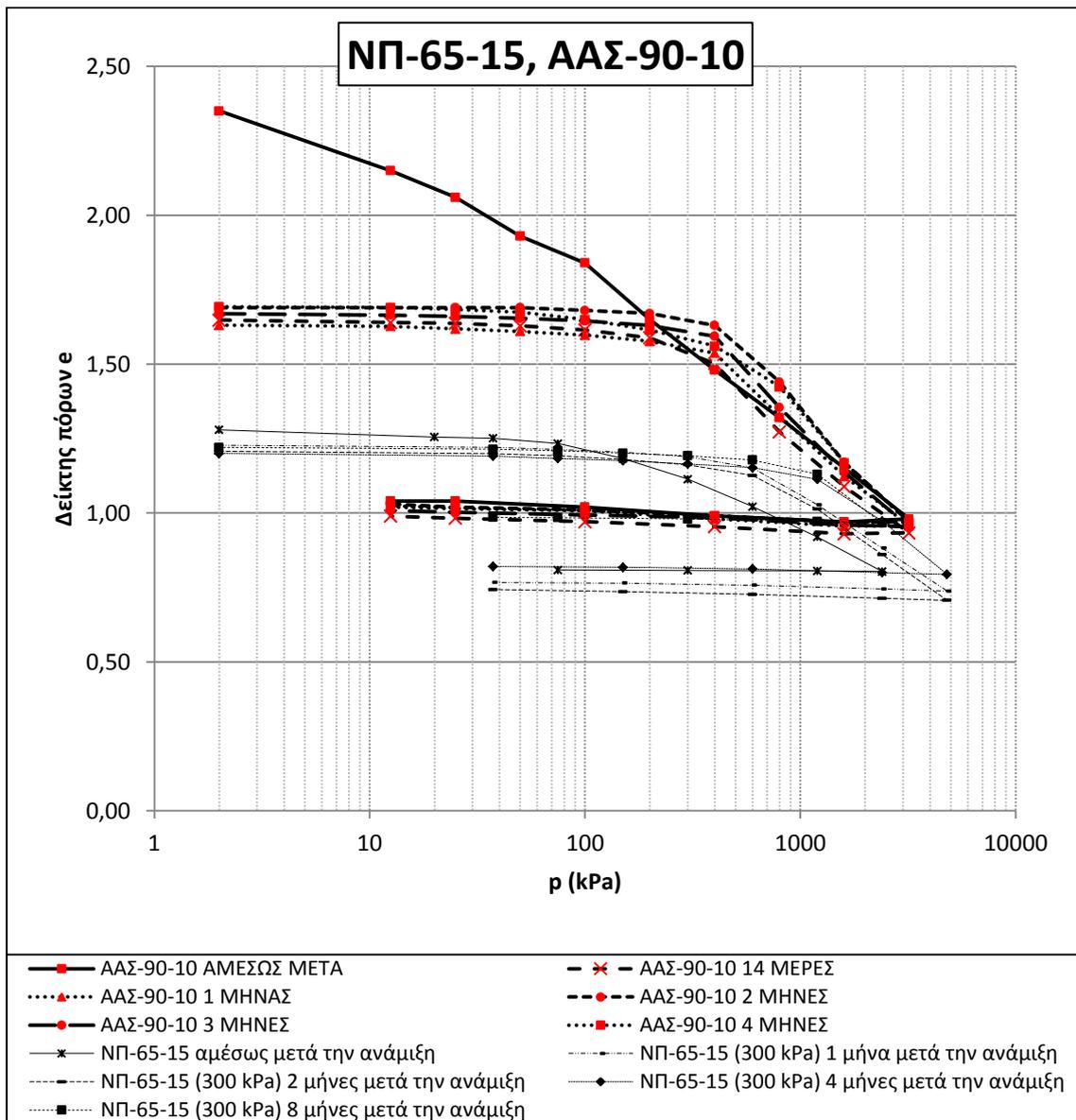
διατμητική αντοχή, τα μίγματα ΑΑΣ επηρεάζονται από την περιεχόμενη τέφρα. Παρατηρήθηκε περίπου ίδιου μεγέθους αύξηση στα μίγματα ΑΑΣ με 4% τέφρα και ΝΠ με 5% τέφρα, ενώ στο ΑΑΣ με 6% τέφρα σημειώθηκε αρκετά σημαντική σχετική αύξηση της αντοχής.

12.3.2.3 ΝΠ-60-10, ΝΠ-65-15, ΑΑΣ-90-10

Καθώς στο ποσοστό τέφρας 15% δεν υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μεταξύ των μιγμάτων ΝΠ και ΑΑΣ, θα γίνει σύγκριση πρώτα μεταξύ των ΝΠ-60-10 και ΑΑΣ-90-10 όπου και υπάρχει πλήρης αντιστοιχία, και κατόπιν των ΝΠ-65-15 και ΑΑΣ-90-10.



Διάγραμμα 12.3.5



Διάγραμμα 12.3.6

Πίνακας 12.3.6

Υλικό	ΝΠ-60-10				
	Αμέσως Μετά	1Μήνας	2 Μήνες	4 Μήνες	8 Μήνες
C_c	0,340	0,466	0,546	0,562	0,528
e_0	1,29	1,13	1,20	1,20	1,06
e_{300}	1,03	1,08	1,12	1,50	1,03

Πίνακας 12.3.7

Υλικό	ΝΠ-65-15				
	Αμέσως Μετά	1Μήνας	2 Μήνες	4 Μήνες	8 Μήνες
C_c	0,288	0,460	0,509	0,531	0,543
e_0	1,28	1,21	1,21	1,22	1,22
e_{300}	1,19	1,19	1,16	1,16	1,19

Πίνακας 12.3.8

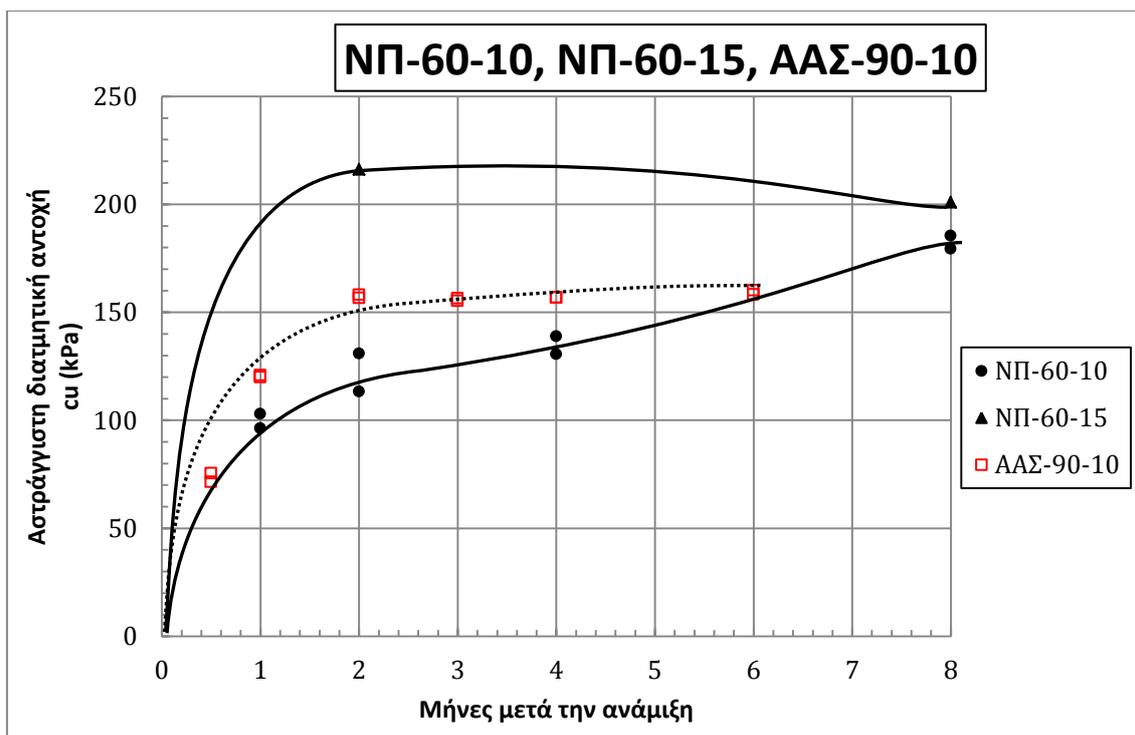
Υλικό	ΑΑΣ-90-10					
	Αμέσως Μετά	14 Μέρες	1Μήνας	2 Μήνες	3 Μήνες	4 Μήνες
C_c	0,537	0,563	0,611	0,781	0,666	0,757
e_0	2,35	1,67	1,63	1,69	1,67	1,69
e_{300}	1,65	1,61	1,58	1,67	1,61	1,61

Στα διαγράμματα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης των ΝΠ-60-10 και ΑΑΣ-90-10, και των ΝΠ-65-15 και ΑΑΣ-90-10 αντίστοιχα, και συγκεκριμένα βασικά χαρακτηριστικά των καμπυλών συμπίεσης φαίνονται στους σχετικούς πίνακες. Πρέπει να σημειωθεί πως επειδή για το υλικό ΑΑΣ-90-10 δεν υπήρχαν δεδομένα για χρόνο ωρίμανσης 8 μηνών. Παρατηρείται πως το ΑΑΣ-90-10 αμέσως μετά την ανάμιξη εκκινεί από πολύ υψηλότερο αρχικό δείκτη πόρων (e_0) απ' ότι τα ΝΠ-60-10 και ΝΠ-65-15, που οφείλεται κατά κύριο λόγο στο κατά 30% περίπου υψηλότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας. Και τα 3 μίγματα φαίνεται ήδη από αμέσως μετά την ανάμιξη να τείνουν να δημιουργήσουν φαινόμενη τάση προφόρτισης. Η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-90-10 φαίνεται να σημειώνει ηπιότερη κλίση (μειωμένο συντελεστή συμπιεστότητας) μέχρι και τα 100kPa περίπου ($e=1,84$), ενώ η καμπύλη του ΝΠ-60-10 σημειώνει σαφώς ηπιότερη κλίση μέχρι και τα 75kPa περίπου ($e=1,46$), και η καμπύλη του ΝΠ-65-15 σημειώνει σχεδόν μηδενική κλίση μέχρι και τα 75kPa περίπου ($e=1,23$), τάσεις οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν φαινόμενες τάσεις προφόρτισης για το εκάστοτε υλικό. Μόλις αυτές ξεπεραστούν από την επιβαλλόμενη τάση, τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως αμέσως μετά την ανάμιξη τα ΝΠ-60-10, ΝΠ-65-15, και ΑΑΣ-90-10 ξεκινούν να διαμορφώνουν φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 100kPa, 75kPa, και 75kPa αντίστοιχα.

Όσον αφορά τους εξεταζόμενους χρόνους ωρίμανσης μεταξύ 14 ημερών και 8 μηνών (να σημειωθεί πως δεν υπάρχουν στοιχεία για όλα τα μίγματα για όλους τους χρόνους), παρατηρείται μια σημαντική μείωση του αρχικού δείκτη πόρων σε σχέση με τα ίδια μίγματα αμέσως μετά την ανάμιξη, τόσο στο μίγμα ΑΑΣ όσο και στα μίγματα ΝΠ, η οποία φαίνεται ξεκάθαρα τόσο στις καμπύλες συμπίεσης όσο και στους παρατεθειμένους πίνακες, και οφείλεται σχεδόν εξολοκλήρου στην συμπύκνωση που υπέστησαν όλα τα υλικά αμέσως μετά

την ανάμιξη. Σε αυτήν οφείλεται επίσης σε μεγάλο βαθμό και η συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού που παρουσιάζουν. Ο αρχικός δείκτης πόρων των μιγμάτων στους διάφορους χρόνους ωρίμανσης από τον 1 μήνα και μετά δε θεωρείται πως αλλάζει, καθώς παρατηρούνται αυξομειώσεις που οφείλονται κατά κύριο λόγο στις συνθήκες των δοκιμών παρά στην επιρροή της τέφρας ή σε κάποια άλλη μεταβαλλόμενη παράμετρο. Το ίδιο ισχύει για το δείκτη πόρων σε κάθε βήμα φόρτισης. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα τόσο στα διαγράμματα όσο και στους αντίστοιχους πίνακες (τιμές e_{300} , που αντιστοιχούν στο δείκτη πόρων στην τάση προ-συμπύκνωσης των 300kPa). Εν γένει, η συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού ενός μίγματος για οποιονδήποτε χρόνο ωρίμανσης έως ότου η καμπύλη συμπίεσης του τμήσει αυτήν του υλικού αμέσως μετά την ανάμιξη, οφείλεται κατά κύριο λόγο στην προφόρτιση και μάλιστα η τάση στην οποία τέμνονται θεωρείται η τάση προφόρτισης, ενώ η τυχόν συνέχεια του κλάδου προφόρτισης της καμπύλης για μεγαλύτερες τάσεις αντιστοιχεί σε δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης και οφείλεται κατά κύριο λόγο στην επιρροή της τέφρας. Για τα εξεταζόμενα υλικά, συγκεκριμένα, για χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα, η καμπύλη του ΝΠ-60-10 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 400kPa περίπου ($e=1,06$), και η καμπύλη του ΝΠ-65-15 στα 450kPa περίπου ($e=1,07$), ενώ η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 στα 300kPa περίπου ($e=1,55$). Για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών, η καμπύλη συμπίεσης του ΝΠ-60-10 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 650kPa περίπου ($e=1,10$), και η καμπύλη του ΝΠ-65-15 στα 700kPa περίπου ($e=1,12$), ενώ η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 στα 220kPa περίπου ($e=1,64$). Για χρόνο ωρίμανσης 3 μηνών, η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 280kPa περίπου ($e=1,61$). Για χρόνο ωρίμανσης 4 μηνών, η καμπύλη συμπίεσης του ΝΠ-60-10 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 700kPa περίπου ($e=1,11$), και η καμπύλη του ΝΠ-65-15 στα 800kPa περίπου ($e=1,15$), ενώ η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 στα 300kPa περίπου ($e=1,58$). Για χρόνο ωρίμανσης 8 μηνών, η καμπύλη συμπίεσης του ΝΠ-60-10 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 800kPa περίπου ($e=0,95$), και η καμπύλη του ΝΠ-65-15 στα 850kPa περίπου ($e=0,95$).

Μόλις ξεπεραστεί η φαινόμενη τάση προφόρτισης, οι καμπύλες όλων των μιγμάτων και χρόνων ωρίμανσης αλλάζουν κλίση και συγκλίνουν προς την VCL τους. Παράλληλα, οι συντελεστές συμπίεστότητας φαίνεται να σημειώνουν αυξητική τάση καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης και στα 3 μίγματα, πράγμα που συνάδει με την μικρή αλλά υπαρκτή αυξητική τάση τόσο του δείκτη πόρων όσο και της φαινόμενης τάσης προφόρτισης με την αύξηση του χρόνου ωρίμανσης, η οποία δεν μπορεί να φανεί αυτή καθαυτή, παρά μόνο εμμέσως, μέσω αυτής της αυξητικής τάσης του C_c . Το συμπέρασμα το οποίο εξάγεται από τις παραπάνω συγκρίσεις είναι πως για ποσοστά τέφρας περίπου 10%, τόσο το μίγμα ΝΠ όσο και τα μίγματα ΑΑΣ επέδειξαν αισθητή βελτίωση ως προς τη συμπίεστότητά τους, η οποία μπορεί να αποδοθεί στην περιεχόμενη τέφρα. Το δε μίγμα ΝΠ-65-15 επέδειξε ακόμη μεγαλύτερη τάση βελτίωσης, ιδιαίτερα αισθητή τη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη.



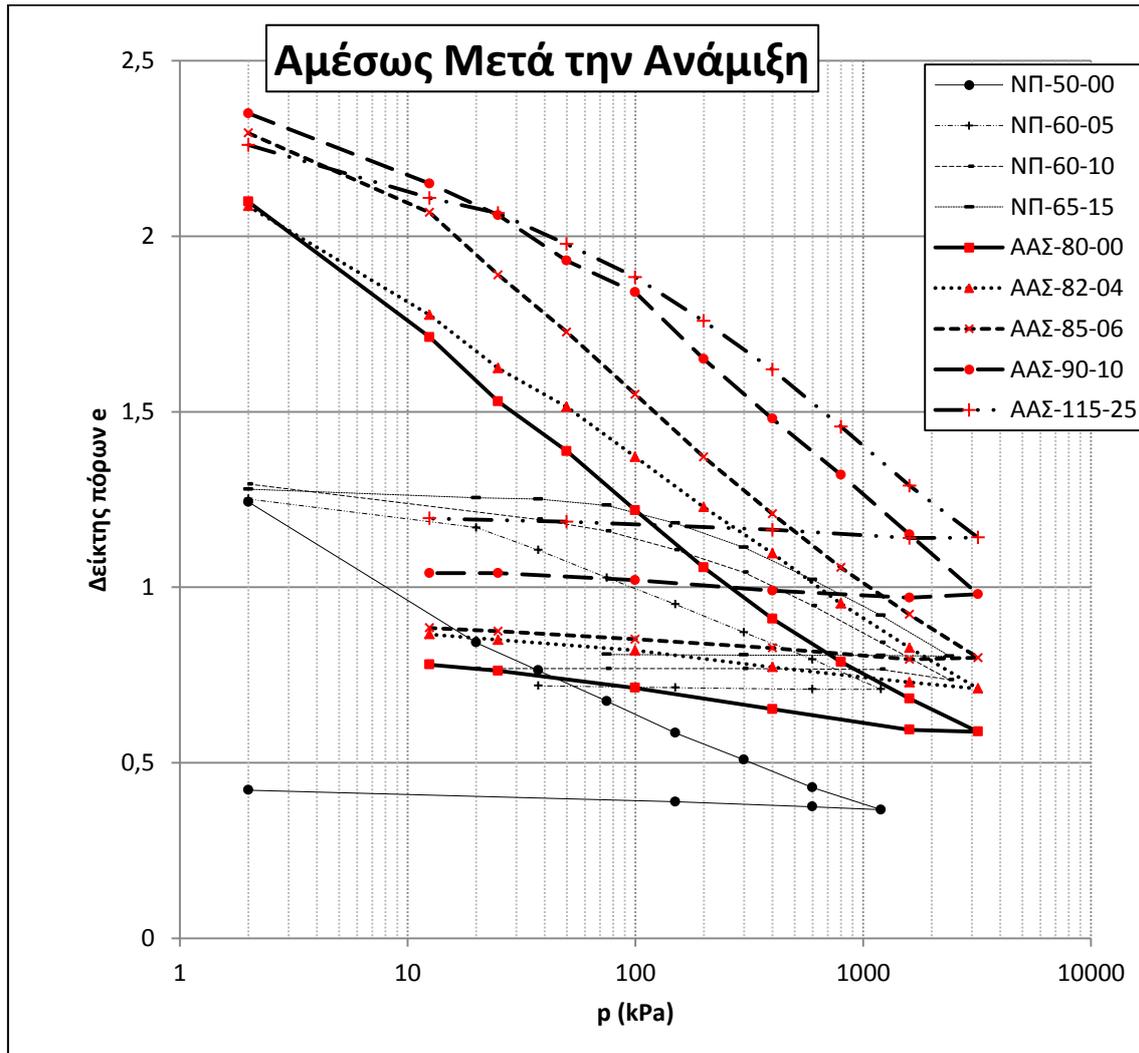
Διάγραμμα 12.3.7

Στο διαγράμμα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών UC των ΝΠ-60-10, ΝΠ-65-15, και ΑΑΣ-90-10. Πρέπει να σημειωθεί πως για το ΝΠ-60-10 δεν υπήρχαν δεδομένα για χρόνο ωρίμανσης 14 ημερών, 3 μηνών, και 6 μηνών και για το ΝΠ-65-15 υπήρχαν δεδομένα μόνο για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών και 8 μηνών, ενώ για το ΑΑΣ-90-10 δεν υπήρχαν δεδομένα για χρόνο ωρίμανσης 8 μηνών, καθώς επίσης δεν πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές στα υλικά αμέσως μετά την ανάμιξη. Παρατηρείται πως το ΑΑΣ-90-10 παρουσιάζει αύξηση της αντοχής του κατά 60% (από 75kPa σε 125kPa) από τις 14 μέρες ωρίμανσης ως τον 1 μήνα ωρίμανσης, η οποία είναι αρκετά σημαντική και μαρτυρά σημαντική δράση των μηχανισμών ανάπτυξης δομής. Για 1 μήνα ωρίμανσης, η αντοχή του είναι υψηλότερη του ΝΠ-60-10 (125kPa έναντι 100kPa). Για 2 μήνες ωρίμανσης, η αντοχή του ΝΠ-65-15 είναι υψηλότερη του ΑΑΣ-90-10 (220kPa έναντι 155kPa), που με τη σειρά του παρουσιάζει αντοχή υψηλότερη του ΝΠ-60-10 (155kPa έναντι 125kPa περίπου). Η αντοχή του ΑΑΣ-90-10 φαίνεται να σταθεροποιείται στα 155kPa περίπου μετά από 2 μήνες ωρίμανσης. Η αντοχή του ΝΠ-65-15 φαίνεται να σταθεροποιείται στα 200kPa περίπου μετά από 2 μήνες ωρίμανσης. Τέλος, η αντοχή του ΝΠ-60-10 φαίνεται να αυξάνεται με σταθερό ρυθμό έως και τους 8 μήνες ωρίμανσης, όπου παίρνει τιμή περίπου 175kPa, τείνοντας να προσεγγίσει την αντοχή του ΝΠ-65-15. Δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για το κατά πόσον η αντοχή του ΝΠ-60-10 συνεχίζει να αυξάνεται μετά τους 8 μήνες ωρίμανσης ή αν αυτή σταθεροποιείται. Συμπερασματικά, παρατηρείται πως, όσον αφορά την αστράγγιστη διατμητική αντοχή, τα μίγματα ΑΑΣ και ΝΠ επηρεάζονται από την περιεχόμενη τέφρα. Παρατηρήθηκε περίπου ίδιου μεγέθους αύξηση στα μίγματα ΝΠ (περίπου 200kPa) σε βάθος 8 μηνών ωρίμανσης, όμως το ΝΠ-65-15 την ανέπτυξε σε 2 μήνες και ύστερα σταθεροποιήθηκε, ενώ το ΝΠ-60-10

την ανέπτυξε με σταθερό ρυθμό ως τους 8 μήνες ωρίμανσης, ενώ το ΑΑΣ-90-10 ανέπτυξε αντοχή περίπου 155kPa σε 2 μήνες και ύστερα σταθεροποιήθηκε. Παρατηρείται λοιπόν ομοιότητα ανάμεσα στο ΑΑΣ-90-10 και το ΝΠ-65-15 ως προς την περίοδο σταθεροποίησης, και ανάμεσα στο ΝΠ-60-10 και το ΝΠ-65-15 ως προς την τελική τιμή της αναπτυσσόμενης αντοχής.

12.3.3 Κατά Χρόνο Ωρίμανσης

12.3.3.1 Αμέσως Μετά την Ανάμιξη



Διάγραμμα 12.3.8

Πίνακας 12.3.9

Ωρίμανση	Αμέσως Μετά την Ανάμιξη			
Υλικό	ΝΠ-50-00	ΝΠ-60-05	ΝΠ-60-10	ΝΠ-65-15
C_c	0,312	0,259	0,340	0,288
e_0	1,24	1,25	1,29	1,28
e_{300}	0,51	0,87	1,03	1,19

Πίνακας 12.3.10

Ωρίμανση	Αμέσως Μετά την Ανάμιξη				
	ΑΑΣ-80-00	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10	ΑΑΣ-115-25
C_c	0,467	0,442	0,514	0,537	0,462
e_0	2,24	2,26	2,31	2,30	2,31
e_{300}	0,95	1,12	1,26	1,65	1,71

Στα διαγράμματα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης όλων των μιγμάτων ΝΠ και ΑΑΣ αμέσως μετά την ανάμιξη, και συγκεκριμένα βασικά χαρακτηριστικά των καμπυλών συμπίεσης φαίνονται στους σχετικούς πίνακες. Παρατηρείται όλα πως τα μίγματα ΝΠ εκκινούν πρακτικώς από τον ίδιο αρχικό δείκτη πόρων (όπως φαίνεται και στο σχετικό πίνακα), ενώ όσον αφορά τα μίγματα ΑΑΣ, το ΑΑΣ-80-00 και το ΑΑΣ-82-04 εκκινούν πρακτικώς από τον ίδιο αρχικό δείκτη πόρων, ενώ παρατηρείται πρακτικώς κοινή αύξηση του αρχικού δείκτη πόρων για τα ΑΑΣ-85-06, ΑΑΣ-90-10, και ΑΑΣ-115-25. Η αύξηση αυτή προφανώς σχετίζεται με τη διαδικασία της ενυδάτωσης, η οποία φαίνεται να επηρεάζει από την πρώτη κιόλας στιγμή τα μίγματα ΑΑΣ με αυξημένο ποσοστό τέφρας καθώς δημιουργούνται συσσωματώματα που προσδίδουν στο υλικό πιο ανοικτή δομή. Και στα δύο καθαρά αργιλικά υλικά παρουσιάζεται συμπεριφορά κανονικώς στερεοποιημένου υλικού, με κλάδο φόρτισης που έχει σταθερή κλίση (ίση με το συντελεστή συμπίεσιμότητας), φαινόμενο απολύτως αναμενόμενο.

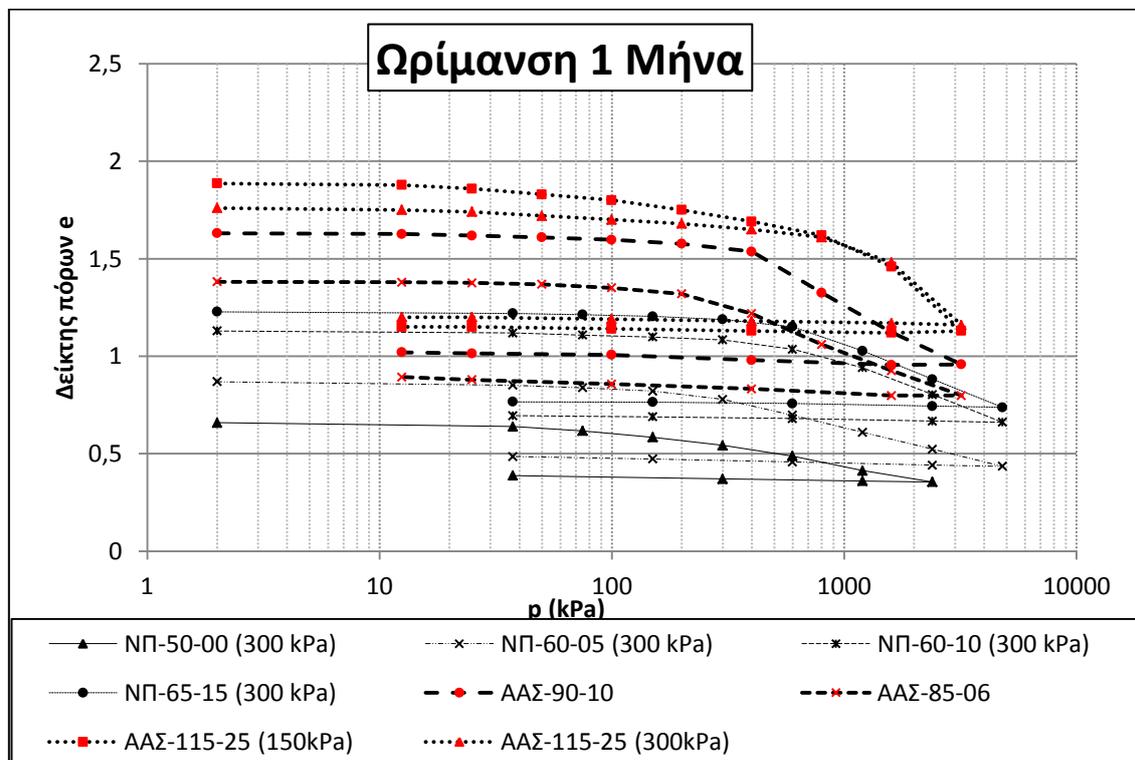
Από την άλλη, σε όλα τα μίγματα αργίλου-τέφρας φαίνεται ήδη από αμέσως μετά την ανάμιξη η τάση για δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Η τάση αυτή φαίνεται πολύ εντονότερα στα μίγματα ΝΠ και μάλιστα γίνεται ολοένα εντονότερη καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας, ενώ στα μίγματα ΑΑΣ, παρ' ότι είναι υπαρκτή, εκδηλώνεται πολύ ηπιότερα, και εντείνεται ελάχιστα με την αύξηση του ποσοστού τέφρας, σε σχέση με τα μίγματα ΝΠ. Συγκεκριμένα, η καμπύλη συμπίεσης του ΝΠ-60-05 φαίνεται να σημειώνει ηπιότερη κλίση (μειωμένο συντελεστή συμπίεσιμότητας) μέχρι και τα 20kPa περίπου ($e=1,20$), η καμπύλη του ΝΠ-60-10 σημειώνει εξίσου ήπια κλίση μέχρι και τα 75kPa περίπου ($e=1,16$), και η καμπύλη του ΝΠ-65-15 σημειώνει σχεδόν μηδενική κλίση μέχρι και τα 75kPa περίπου ($e=1,23$), ενώ η καμπύλη συμπίεσης του ΑΑΣ-82-04 φαίνεται να σημειώνει κλίση ελάχιστα ηπιότερη από τη VCL (μειωμένο συντελεστή συμπίεσιμότητας) μέχρι και τα 12,5kPa περίπου ($e=1,76$), η καμπύλη του ΑΑΣ-85-06 σημειώνει σχετικώς ηπιότερη κλίση από την προηγούμενη μέχρι και τα 12,5kPa περίπου ($e=2,07$), η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 σημειώνει εξίσου ήπια κλίση με την προηγούμενη μέχρι και τα 25kPa περίπου ($e=2,07$), και η καμπύλη του ΑΑΣ-115-25 σημειώνει σχετικά ηπιότερη κλίση από τις προηγούμενες μέχρι και τα 50kPa περίπου ($e=2,07$), τάσεις οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν φαινόμενες τάσεις προφόρτισης για το εκάστοτε υλικό. Μόλις αυτές ξεπεραστούν από την επιβαλλόμενη τάση, τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού και τείνει προς την VCL. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως αμέσως μετά την ανάμιξη όλα τα μίγματα ξεκινούν να

διαμορφώνουν φαινόμενη τάση προφόρτισης, με αυτά του ΝΠ να εκδηλώνουν αυτήν την τάση πολύ πιο έντονα, ενώ στα ΑΑΣ αυτή να είναι σχεδόν ανεπαίσθητη. Αυτή η διαμόρφωση φαινόμενης τάσης προφόρτισης όμως δημιουργεί εξίσου σημαντική διαφοροποίηση στη συμπίεστικότητα του υλικού και για τα δύο υλικά, και αυτό φαίνεται αν συγκριθούν οι τιμές του δείκτη πόρων για τάση 300kPa (e_{300}), απ' όπου φαίνεται ξεκάθαρα πως αυτός αυξάνεται σταθερά και αισθητά με την αύξηση του ποσοστού τέφρας για όλα τα μίγματα, γεγονός που μαρτυρά την τάση τα μίγματα με υψηλότερο ποσοστό τέφρας να διατηρούν δείκτη πόρων κοντινότερο στον αρχικό σε σχέση με μίγματα χαμηλότερου ποσοστού τέφρας για το ίδιο επίπεδο φόρτισης.

Όσον αφορά τους συντελεστές συμπίεστικότητας, αυτοί δε φαίνεται να μεταβάλλονται με την αύξηση του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας, πράγμα που σημαίνει πως ο κλάδος της κανονικής φόρτισης δεν επηρεάζεται από το αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς οι καμπύλες συμπίεσης δεν παρουσιάζουν αρκετά υψηλή φαινόμενη τάση προφόρτισης ώστε αφού αυτή ξεπεραστεί και τα υλικά μπουν στον κλάδο κανονικής φόρτισης τείνοντας προς τη VCL καμπύλη συμπίεσης ο συντελεστής συμπίεστικότητας να αυξάνεται ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση με τη VCL.

Το συμπέρασμα το οποίο εξάγεται από τις παραπάνω συγκρίσεις είναι ότι τα μίγματα ΝΠ επέδειξαν αισθητή βελτίωση ως προς τη συμπίεστικότητά τους, η οποία μπορεί να αποδοθεί στην περιεχόμενη τέφρα, ενώ στα μίγματα ΑΑΣ υπήρχε μεν βελτίωση, η οποία όμως μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν αμελητέα.

12.3.3.2 Ωρίμανση 1 Μήνα



Διάγραμμα 12.3.9

Πίνακας 12.3.11

Ωρίμανση	Ωρίμανση 1 Μήνα			
	Υλικό	ΝΠ-60-05	ΝΠ-60-10	ΝΠ-65-15
C_c		0,286	0,466	0,460
e_0		0,87	1,13	1,21
e_{300}		0,81	1,08	1,19

Πίνακας 12.3.12

Ωρίμανση	Ωρίμανση 1 Μήνα		
	Υλικό	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10
C_c		0,435	0,611
e_0		1,38	1,63
e_{300}		1,26	1,58

Στα διαγράμματα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης για χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα του καθαρού αργιλικού υλικού ΝΠ, καθώς και όλων των μιγμάτων ΝΠ και των ΑΑΣ-85-06 και ΑΑΣ-90-10, καθώς δεν υπήρχαν στοιχεία για τα υπόλοιπα μίγματα ΑΑΣ για αυτόν το χρόνο ωρίμανσης. Παρατίθενται επίσης συγκεκριμένα βασικά χαρακτηριστικά των καμπυλών συμπίεσης στους σχετικούς πίνακες. Έχει ήδη παρατηρηθεί σε προηγούμενες συγκρίσεις ότι ο αρχικός δείκτης πόρων για κάθε μίγμα παρουσιάζεται σημαντικά μειωμένος από αμέσως μετά την ανάμιξη προς τον αμέσως επόμενο χρόνο ωρίμανσης, φαινόμενο που οφείλεται στην επιβαλλόμενη συμπύκνωση 300kPa στην οποία υπόκεινται όλα τα μίγματα με σκοπό την προσομοίωση υπερκείμενων γαιών ύψους περίπου 15m. Επίσης, καθώς φαίνεται και στους σχετικούς πίνακες, ο αρχικός δείκτης πόρων παρουσιάζει συνεχή αύξηση για αυξανόμενο ποσοστό περιεχόμενης τέφρας και στα δύο είδη μιγμάτων. Η σημαντική αυτή διαφοροποίηση του αρχικού δείκτη πόρων μεταξύ των μιγμάτων οφείλεται στην έναρξη της δράσης ανάπτυξης δομής της τέφρας, κατά την οποία δημιουργούνται συσσωματώματα και προσδίδουν ανοικτότερη δομή στα υλικά.

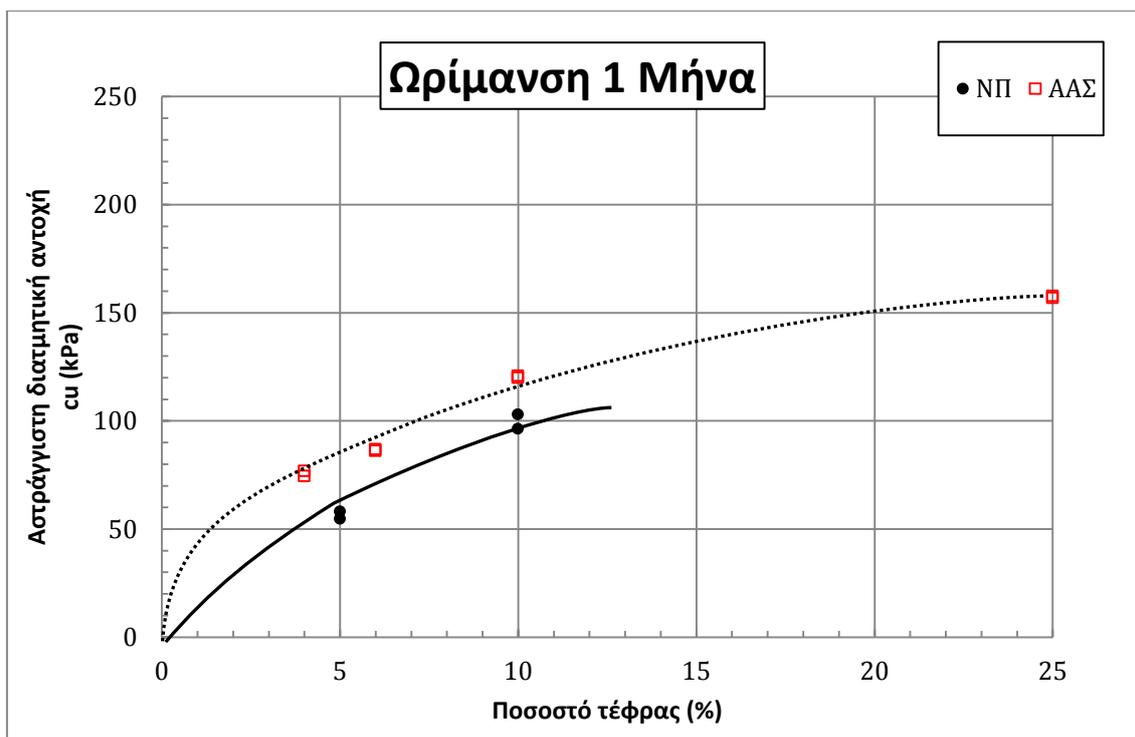
Από την άλλη, σε όλα τα μίγματα αργίλου-τέφρας φαίνεται ήδη από αμέσως μετά την ανάμιξη η τάση για δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Η τάση αυτή φαίνεται τόσο στα μίγματα ΝΠ όσο και στα μίγματα ΑΑΣ, και μάλιστα γίνεται ολοένα εντονότερη καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Σαν μέτρο σύγκρισης παρουσιάζεται η καμπύλη του προφορτισμένου στα 300kPa καθαρού αργιλικού υλικού ΝΠ-50-00, του οποίου η τάση προφόρτισης οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην προφόρτιση (συμπύκνωση) που έχει υποστεί. Συγκεκριμένα, η καμπύλη συμπίεσης του ΝΠ-50-00 παρουσιάζει τάση προφόρτισης στα 100kPa περίπου ($e=0,59$), η καμπύλη του ΝΠ-60-05 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 200kPa περίπου ($e=0,80$), η καμπύλη του ΝΠ-60-10 στα 400kPa περίπου ($e=1,06$), και η καμπύλη του ΝΠ-65-15 στα 450kPa περίπου ($e=1,07$), ενώ η καμπύλη του ΑΑΣ-85-06 στα 200kPa περίπου ($e=1,32$), και η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 στα 300kPa περίπου

($e=1,55$), τάσεις οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν φαινόμενες τάσεις προφόρτισης για το εκάστοτε υλικό (πλην του ΝΠ-50-00, για το οποίο έχει ήδη γίνει αναφορά). Μόλις αυτές ξεπεραστούν από την επιβαλλόμενη τάση, τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού και τείνει προς την VCL. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως έως και τον 1 μήνα ωρίμανσης όλα τα μίγματα συνεχίζουν να διαμορφώνουν φαινόμενη τάση προφόρτισης, η οποία αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτή η διαμόρφωση φαινόμενης τάσης προφόρτισης όμως δημιουργεί εξίσου σημαντική διαφοροποίηση στη συμπίεστικότητα του υλικού και για τα δύο υλικά.

Ο συνδυασμός των παραπάνω, δηλαδή της αύξησης του αρχικού δείκτη πόρων και της φαινόμενης τάσης προφόρτισης συναρτήσεως της αύξησης του ποσοστού τέφρας επιβεβαιώνεται αν συγκριθούν οι τιμές του δείκτη πόρων για τάση 300kPa (e_{300}), απ' όπου φαίνεται ξεκάθαρα πως αυτός αυξάνεται σταθερά και αισθητά με την αύξηση του ποσοστού τέφρας για όλα τα μίγματα, γεγονός που μαρτυρά την τάση τα μίγματα με υψηλότερο ποσοστό τέφρας να διατηρούν δείκτη πόρων κοντινότερο στον αρχικό σε σχέση με μίγματα χαμηλότερου ποσοστού τέφρας για το ίδιο επίπεδο φόρτισης.

Όσον αφορά τους συντελεστές συμπίεστικότητας, αυτοί παρουσιάζουν αύξηση με την αύξηση του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας, πράγμα που σημαίνει πως ο κλάδος της κανονικής φόρτισης επηρεάζεται από το αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτό συμβαίνει επειδή οι καμπύλες συμπίεσης παρουσιάζουν αρκετά αυξημένο αρχικό δείκτη πόρων και υψηλή φαινόμενη τάση προφόρτισης ώστε, αφού αυτή ξεπεραστεί και τα υλικά μπου στον κλάδο κανονικής φόρτισης τείνοντας προς τη VCL καμπύλη συμπίεσης, ο συντελεστής συμπίεστικότητας να αυξάνεται ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση με τη VCL.

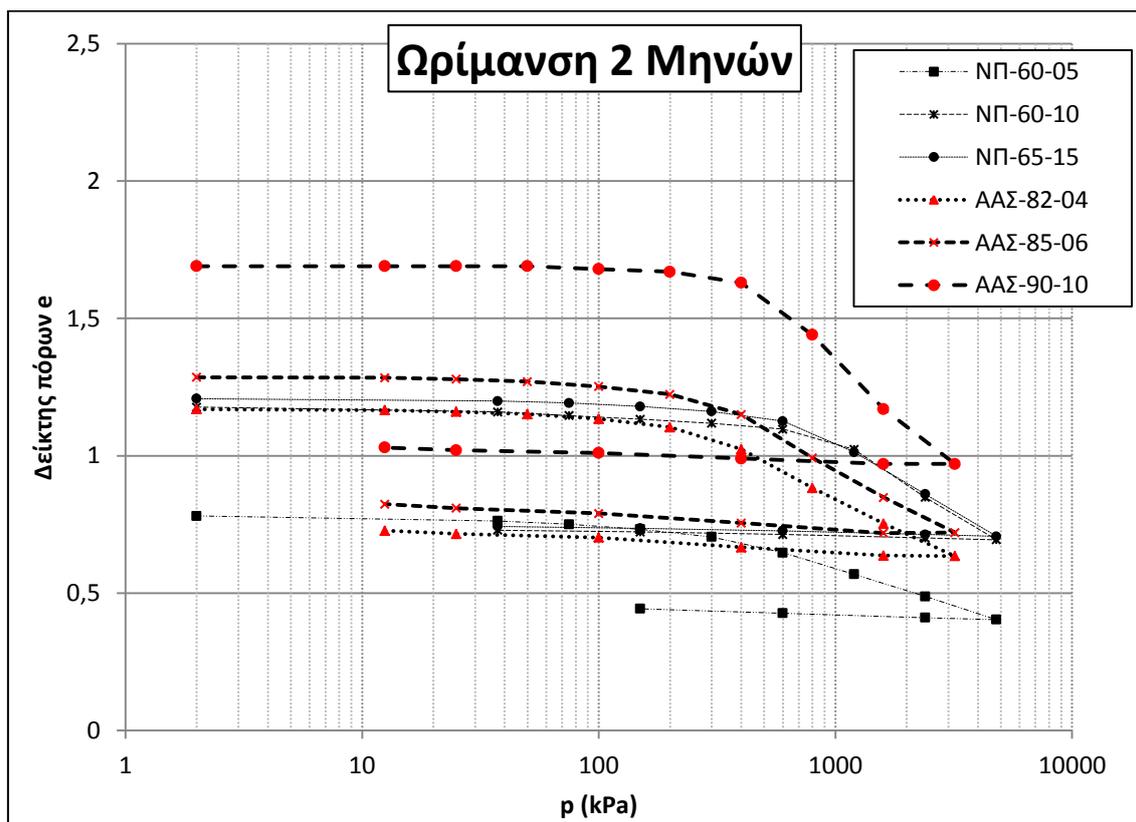
Το συμπέρασμα το οποίο εξάγεται από τις παραπάνω συγκρίσεις είναι ότι όλα τα μίγματα επέδειξαν αισθητή βελτίωση ως προς τη συμπίεστικότητά τους, η οποία μπορεί να αποδοθεί στη δράση της περιεχόμενης τέφρας εξαιτίας της εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων και στη συνεπαγόμενη δημιουργία δομής, η οποία φαίνεται να είναι εκτενέστερη και ολοένα υψηλότερης αντοχής για χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας.



Διάγραμμα 12.3.10

Στο διαγράμμα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών UC των μιγμάτων ΝΠ και ΑΑΣ για χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα συναρτήσει του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας. Πρέπει να σημειωθεί πως για το υλικό ΝΠ υπήρχαν δεδομένα μόνο για 5% και 10% περιεχόμενη τέφρα, καθώς επίσης δεν πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές στα καθαρά αργιλικά υλικά για χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα. Παρατηρείται ότι η αντοχή των μιγμάτων ΑΑΣ παρουσιάζει αύξηση συναρτήσει του αυξανόμενου ποσοστού τέφρας με μεγαλύτερο ρυθμό από περίπου 5% έως 10% τέφρα (αυξάνεται από 75kPa για 4% τέφρα στα 120kPa για 10% τέφρα) απ' ότι από 10% έως 25% τέφρα (αυξάνεται από 125kPa για 10% τέφρα στα 155kPa για 25% τέφρα). Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την μεταβολή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής για περαιτέρω αύξηση του ποσοστού τέφρας. Παράλληλα, παρατηρείται ότι η αντοχή των μιγμάτων ΝΠ παρουσιάζει αύξηση συναρτήσει του αυξανόμενου ποσοστού τέφρας από 5% σε 10% (αυξάνεται από 60kPa για 5% τέφρα στα 100kPa για 10% τέφρα), ωστόσο δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την μεταβολή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής για περαιτέρω αύξηση του ποσοστού τέφρας. Ο ρυθμός αύξησης της αντοχής των μιγμάτων ΝΠ φαίνεται υψηλότερος από αυτόν των μιγμάτων ΑΑΣ, ωστόσο για χρόνο ωρίμανσης 1 μήνα και ποσοστά τέφρας έως 10% είναι σαφές πως τα μίγματα ΑΑΣ παρουσιάζουν υψηλότερη αστράγγιστη διατμητική αντοχή από τα μίγματα ΝΠ, η οποία το πιθανότερο είναι να οφείλεται στην ανάπτυξη εκτενέστερης ανάπτυξης δομής στα μίγματα ΑΑΣ, τουλάχιστον κατά την αρχική περίοδο ωρίμανσης μετά την ανάμιξη.

12.3.3.3 Ωρίμανση 2 Μηνών



Διάγραμμα 12.3.11

Πίνακας 12.3.13

Ωρίμανση	Ωρίμανση 2 Μηνών		
Υλικό	ΝΠ-60-05	ΝΠ-60-10	ΝΠ-65-15
C_c	0,269	0,546	0,509
e_0	0,78	1,20	1,21
e_{300}	0,70	1,12	1,16

Πίνακας 12.3.14

Ωρίμανση	Ωρίμανση 2 Μηνών		
Υλικό	ΑΑΣ-82-04	ΑΑΣ-85-06	ΑΑΣ-90-10
C_c	0,412	0,452	0,781
e_0	1,17	1,27	1,69
e_{300}	1,04	1,24	1,67

Στα διαγράμματα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών των μιγμάτων ΝΠ και των ΑΑΣ-82-04, ΑΑΣ-85-06 και ΑΑΣ-90-10, καθώς δεν υπήρχαν στοιχεία για το ΑΑΣ-115-25 για αυτόν το χρόνο ωρίμανσης. Παρατίθενται επίσης συγκεκριμένα βασικά χαρακτηριστικά των καμπυλών συμπίεσης στους σχετικούς πίνακες. Καθώς φαίνεται στους σχετικούς πίνακες, ο αρχικός

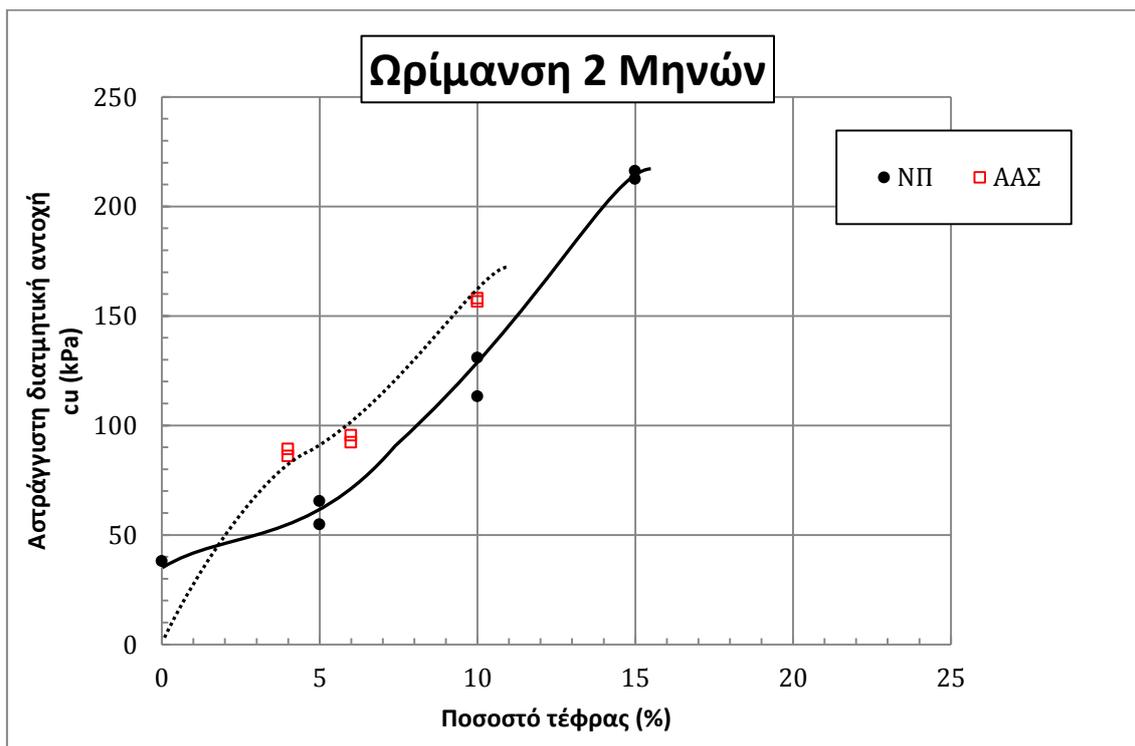
δείκτης πόρων παρουσιάζει συνεχή αύξηση για αυξανόμενο ποσοστό περιεχόμενης τέφρας και στα δύο είδη μιγμάτων. Η σημαντική αυτή διαφοροποίηση του αρχικού δείκτη πόρων μεταξύ των μιγμάτων οφείλεται στην έναρξη της δράσης ανάπτυξης δομής της τέφρας, κατά την οποία δημιουργούνται συσσωματώματα και προσδίδουν ανοικτότερη δομή στα υλικά.

Από την άλλη, σε όλα τα μίγματα αργίλου-τέφρας φαίνεται εμφανώς η τάση για δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Η τάση αυτή φαίνεται τόσο στα μίγματα ΝΠ όσο και στα μίγματα ΑΑΣ, και μάλιστα γίνεται ολοένα εντονότερη καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Συγκεκριμένα, η καμπύλη συμπίεσης του ΝΠ-60-05 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 200kPa περίπου ($e=0,74$), η καμπύλη του ΝΠ-60-10 στα 650kPa περίπου ($e=1,10$), και η καμπύλη του ΝΠ-65-15 στα 700kPa περίπου ($e=1,12$), ενώ η καμπύλη του ΑΑΣ-82-04 στα 150kPa περίπου ($e=1,10$), η καμπύλη του ΑΑΣ-85-06 στα 130kPa περίπου ($e=1,21$), και η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 στα 220kPa περίπου ($e=1,64$), τάσεις οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν φαινόμενες τάσεις προφόρτισης για το εκάστοτε υλικό. Μόλις αυτές ξεπεραστούν από την επιβαλλόμενη τάση, τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού και τείνει προς την VCL. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως έως και τους 2 μήνες ωρίμανσης όλα τα μίγματα συνεχίζουν να διαμορφώνουν φαινόμενη τάση προφόρτισης, η οποία αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτή η διαμόρφωση φαινόμενης τάσης προφόρτισης όμως δημιουργεί εξίσου σημαντική διαφοροποίηση στη συμπιεστότητα του υλικού και για τα δύο υλικά.

Ο συνδυασμός των παραπάνω, δηλαδή της αύξησης του αρχικού δείκτη πόρων και της φαινόμενης τάσης προφόρτισης συναρτήσει της αύξησης του ποσοστού τέφρας επιβεβαιώνεται αν συγκριθούν οι τιμές του δείκτη πόρων για τάση 300kPa (e_{300}), απ' όπου φαίνεται ξεκάθαρα πως αυτός αυξάνεται σταθερά και αισθητά με την αύξηση του ποσοστού τέφρας για όλα τα μίγματα, γεγονός που μαρτυρά την τάση τα μίγματα με υψηλότερο ποσοστό τέφρας να διατηρούν δείκτη πόρων κοντινότερο στον αρχικό σε σχέση με μίγματα χαμηλότερου ποσοστού τέφρας για το ίδιο επίπεδο φόρτισης.

Όσον αφορά τους συντελεστές συμπιεστότητας, αυτοί εν γένει παρουσιάζουν αύξηση με την αύξηση του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας, πράγμα που σημαίνει πως ο κλάδος της κανονικής φόρτισης επηρεάζεται από το αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτό συμβαίνει επειδή οι καμπύλες συμπίεσης παρουσιάζουν αρκετά αυξημένο αρχικό δείκτη πόρων και υψηλή φαινόμενη τάση προφόρτισης ώστε, αφού αυτή ξεπεραστεί και τα υλικά μπου στον κλάδο κανονικής φόρτισης τείνοντας προς τη VCL καμπύλη συμπίεσης, ο συντελεστής συμπιεστότητας να αυξάνεται ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση με τη VCL.

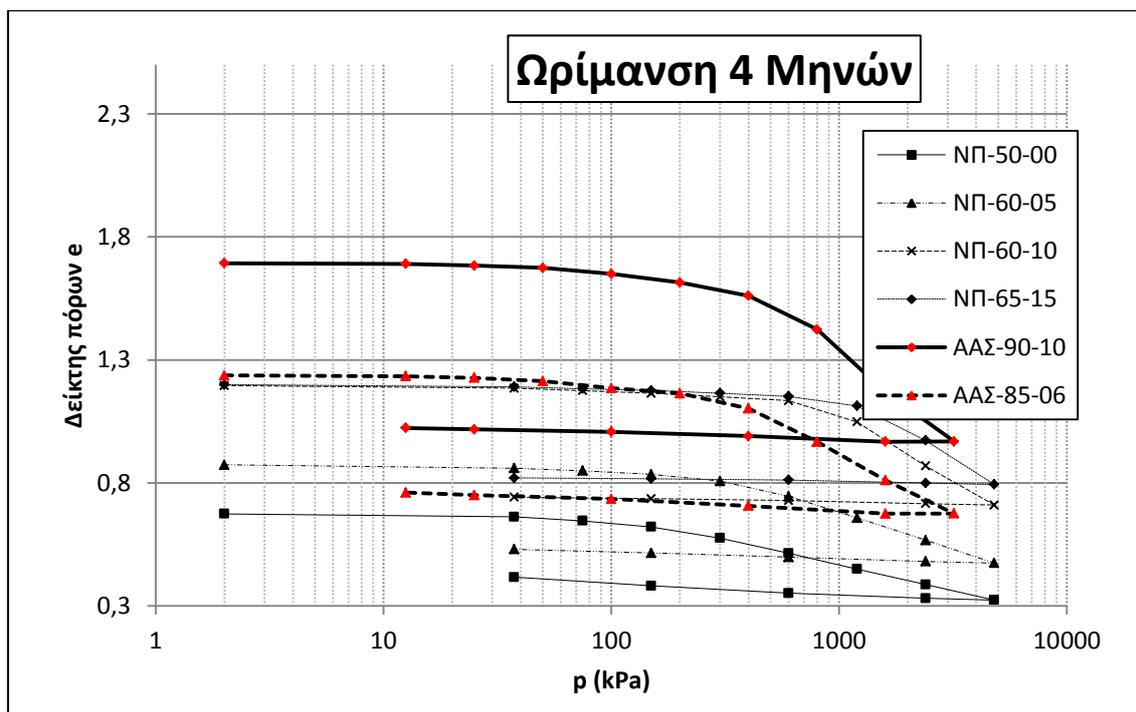
Το συμπέρασμα το οποίο εξάγεται από τις παραπάνω συγκρίσεις είναι ότι όλα τα μίγματα επέδειξαν αισθητή βελτίωση ως προς τη συμπιεστότητά τους, η οποία μπορεί να αποδοθεί στη δράση της περιεχόμενης τέφρας εξαιτίας της εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων και στη συνεπαγόμενη δημιουργία δομής, η οποία φαίνεται να είναι εκτενέστερη και ολοένα υψηλότερης αντοχής για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας.



Διάγραμμα 12.3.12

Στο διαγράμμα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών UC του καθαρού αργιλικού υλικού ΝΠ και των μιγμάτων ΝΠ και ΑΑΣ για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών συναρτήσει του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας. Πρέπει να σημειωθεί πως για το υλικό ΑΑΣ υπήρχαν δεδομένα μόνο για 4%, 6%, και 10% περιεχόμενη τέφρα, καθώς επίσης δεν πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές στο καθαρό αργιλικό υλικό ΑΑΣ. Παρατηρείται ότι η αντοχή των μιγμάτων ΑΑΣ παρουσιάζει αύξηση συναρτήσει του αυξανόμενου ποσοστού τέφρας με χαμηλότερο ρυθμό από 4% έως 6% τέφρα (αυξάνεται από 90kPa για 4% τέφρα στα 95kPa για 10% τέφρα) απ' ότι από 6% έως 10% τέφρα (αυξάνεται από 95kPa για 6% τέφρα στα 155kPa για 10% τέφρα). Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την μεταβολή της ασφράγγιστης διατμητικής αντοχής για περαιτέρω αύξηση του ποσοστού τέφρας. Παράλληλα, παρατηρείται ότι η αντοχή των μιγμάτων ΝΠ παρουσιάζει αύξηση συναρτήσει του αυξανόμενου ποσοστού τέφρας από 0% σε 5% (αυξάνεται από 40kPa για 0% τέφρα στα 60kPa για 5% τέφρα), η οποία συνεχίζει με σταθερό ρυθμό από περιεκτικότητα τέφρας 5% έως 15% (αυξάνεται από 60kPa για 5% τέφρα στα 215kPa για 15% τέφρα), ωστόσο δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την μεταβολή της ασφράγγιστης διατμητικής αντοχής για περαιτέρω αύξηση του ποσοστού τέφρας. Ο ρυθμός αύξησης της αντοχής των μιγμάτων ΝΠ από 5% έως 15% τέφρα φαίνεται ίσος με αυτόν των μιγμάτων ΑΑΣ από 6% έως 10% τέφρα, και παράλληλα για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών και ποσοστά τέφρας έως 10% είναι σαφές πως τα μίγματα ΑΑΣ παρουσιάζουν υψηλότερη ασφράγγιστη διατμητική αντοχή από τα μίγματα ΝΠ, η οποία το πιθανότερο είναι να οφείλεται στην ανάπτυξη εκτενέστερης ανάπτυξης δομής στα μίγματα ΑΑΣ, τουλάχιστον έως 2 μήνες ωρίμανσης μετά την ανάμιξη.

12.3.3.4 Ωρίμανση 4 Μηνών



Διάγραμμα 12.3.13

Πίνακας 12.3.15

Ωρίμανση	Ωρίμανση 4 Μηνών			
	ΝΠ-50-00	ΝΠ-60-05	ΝΠ-60-10	ΝΠ-65-15
Υλικό				
C_c	0,201	0,273	0,562	0,531
e_0	0,67	0,87	1,20	1,22
e_{300}	0,58	0,81	1,50	1,16

Πίνακας 12.3.16

Ωρίμανση	Ωρίμανση 4 Μηνών	
	ΑΑΣ-90-10	ΑΑΣ-115-25
Υλικό		
C_c	0,757	
e_0	1,69	
e_{300}	1,61	

Στα διαγράμματα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης για χρόνο ωρίμανσης 4 μηνών των μιγμάτων ΝΠ και των ΑΑΣ-90-10 και ΑΑΣ-115-25, καθώς δεν υπήρχαν στοιχεία για τα υπόλοιπα μίγματα ΑΑΣ για αυτόν το χρόνο ωρίμανσης. Παρατίθενται επίσης συγκεκριμένα βασικά χαρακτηριστικά των καμπυλών συμπίεσης στους σχετικούς πίνακες. Καθώς φαίνεται στους σχετικούς πίνακες, ο αρχικός δείκτης πόρων παρουσιάζει συνεχή αύξηση για αυξανόμενο ποσοστό περιεχόμενης τέφρας

έως και για 10% περιεχόμενη τέφρα στα υλικά ΝΠ, ενώ παρουσιάζει σαφή αύξηση μεταξύ των δύο υλικών ΑΑΣ, φαινόμενο που σημαίνει ότι δεν υπάρχει περαιτέρω ανάπτυξη συσσωματωμάτων στο χρόνο ωρίμανσης 4 μηνών για αύξηση ποσοστού τέφρας από 10% σε 15% όσον αφορά τα υλικά ΝΠ, ενώ υπάρχει για αύξηση ποσοστού τέφρας από 10% σε 15% στα υλικά ΑΑΣ. Παράλληλα, η σημαντική αύξηση του αρχικού δείκτη πόρων με την αύξηση της τέφρας μεταξύ των μιγμάτων με χαμηλότερα ποσοστά τέφρας σημαίνει πως για αυτά τα ποσοστά η δράση ανάπτυξης δομής της τέφρας, κατά την οποία δημιουργούνται συσσωματώματα και προσδίδουν ανοικτότερη δομή στα υλικά, εξακολουθεί να επηρεάζει το υλικό.

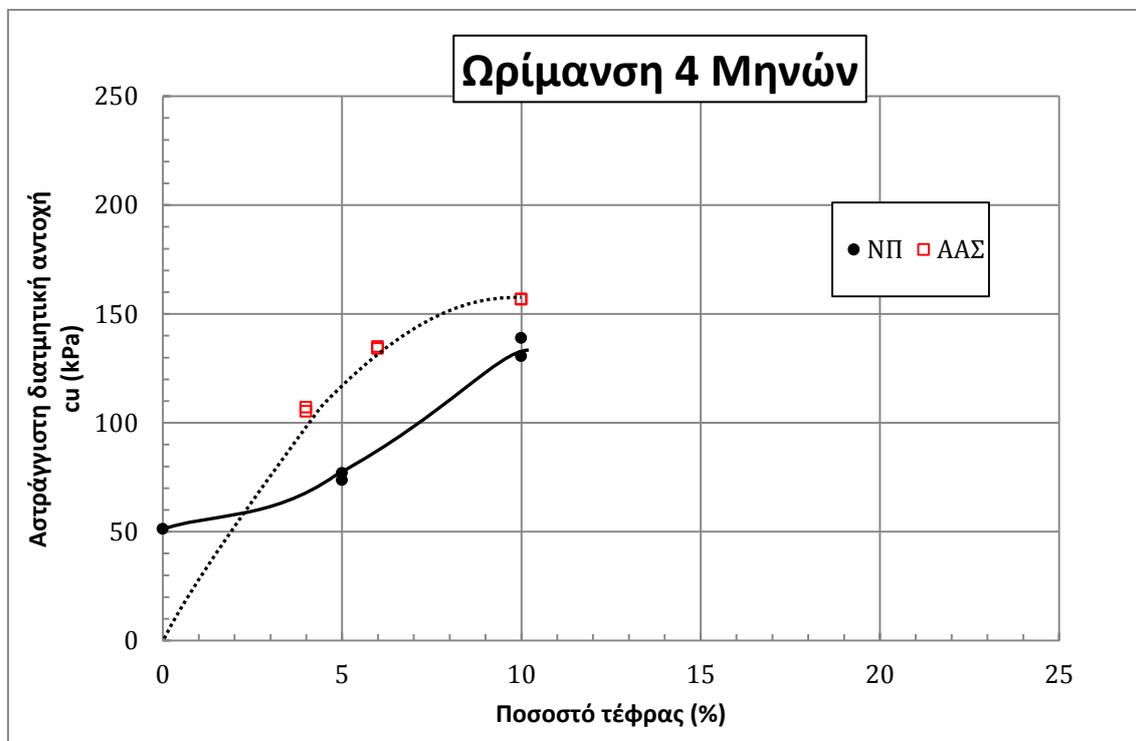
Από την άλλη, σε όλα τα μίγματα αργίλου-τέφρας φαίνεται εμφανώς η τάση για δημιουργία φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Η τάση αυτή φαίνεται τόσο στα μίγματα ΝΠ όσο και στα μίγματα ΑΑΣ, και μάλιστα γίνεται ολοένα εντονότερη καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας. Συγκεκριμένα, η καμπύλη συμπίεσης του ΝΠ-60-05 παρουσιάζει φαινόμενη τάση προφόρτισης στα 150kPa περίπου ($e=0,85$), η καμπύλη του ΝΠ-60-10 στα 700kPa περίπου ($e=1,11$), και η καμπύλη του ΝΠ-65-15 στα 800kPa περίπου ($e=1,15$), ενώ η καμπύλη του ΑΑΣ-85-06 στα 150kPa περίπου ($e=1,16$), και η καμπύλη του ΑΑΣ-90-10 στα 300kPa περίπου ($e=1,58$), τάσεις οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν φαινόμενες τάσεις προφόρτισης για το εκάστοτε υλικό. Μόλις αυτές ξεπεραστούν από την επιβαλλόμενη τάση, τότε η συμπεριφορά τους επανέρχεται σε συμπεριφορά κανονικά φορτισμένου υλικού και τείνει προς την VCL. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως έως και τους 4 μήνες ωρίμανσης όλα τα μίγματα συνεχίζουν να διαμορφώνουν φαινόμενη τάση προφόρτισης, η οποία αυξάνεται για αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτή η διαμόρφωση φαινόμενης τάσης προφόρτισης όμως δημιουργεί εξίσου σημαντική διαφοροποίηση στη συμπιεστότητα του υλικού και για τα δύο υλικά.

Ο συνδυασμός των παραπάνω, δηλαδή της αύξησης του αρχικού δείκτη πόρων και της φαινόμενης τάσης προφόρτισης συναρτήσει της αύξησης του ποσοστού τέφρας επιβεβαιώνεται αν συγκριθούν οι τιμές του δείκτη πόρων για τάση 300kPa (e_{300}), απ' όπου φαίνεται ξεκάθαρα πως αυτός αυξάνεται σταθερά και αισθητά με την αύξηση του ποσοστού τέφρας για όλα τα μίγματα, γεγονός που μαρτυρά την τάση τα μίγματα με υψηλότερο ποσοστό τέφρας να διατηρούν δείκτη πόρων κοντινότερο στον αρχικό σε σχέση με μίγματα χαμηλότερου ποσοστού τέφρας για το ίδιο επίπεδο φόρτισης.

Όσον αφορά τους συντελεστές συμπιεστότητας, αυτοί εν γένει παρουσιάζουν αύξηση με την αύξηση του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας, πράγμα που σημαίνει πως ο κλάδος της κανονικής φόρτισης επηρεάζεται από το αυξανόμενο ποσοστό τέφρας. Αυτό συμβαίνει επειδή οι καμπύλες συμπίεσης παρουσιάζουν αρκετά αυξημένο αρχικό δείκτη πόρων και υψηλή φαινόμενη τάση προφόρτισης ώστε, αφού αυτή ξεπεραστεί και τα υλικά μπου στον κλάδο κανονικής φόρτισης τείνοντας προς τη VCL καμπύλη συμπίεσης, ο συντελεστής συμπιεστότητας να αυξάνεται ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση με τη VCL.

Το συμπέρασμα το οποίο εξάγεται από τις παραπάνω συγκρίσεις είναι ότι όλα τα μίγματα επέδειξαν αισθητή βελτίωση ως προς τη συμπιεστότητά τους, η οποία μπορεί να

αποδοθεί στη δράση της περιεχόμενης τέφρα εξαιτίας της εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων και στη συνεπαγόμενη δημιουργία δομής, η οποία φαίνεται να είναι εκτενέστερη και ολοένα υψηλότερης αντοχής για χρόνο ωρίμανσης 2 μηνών καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεχόμενης τέφρας.



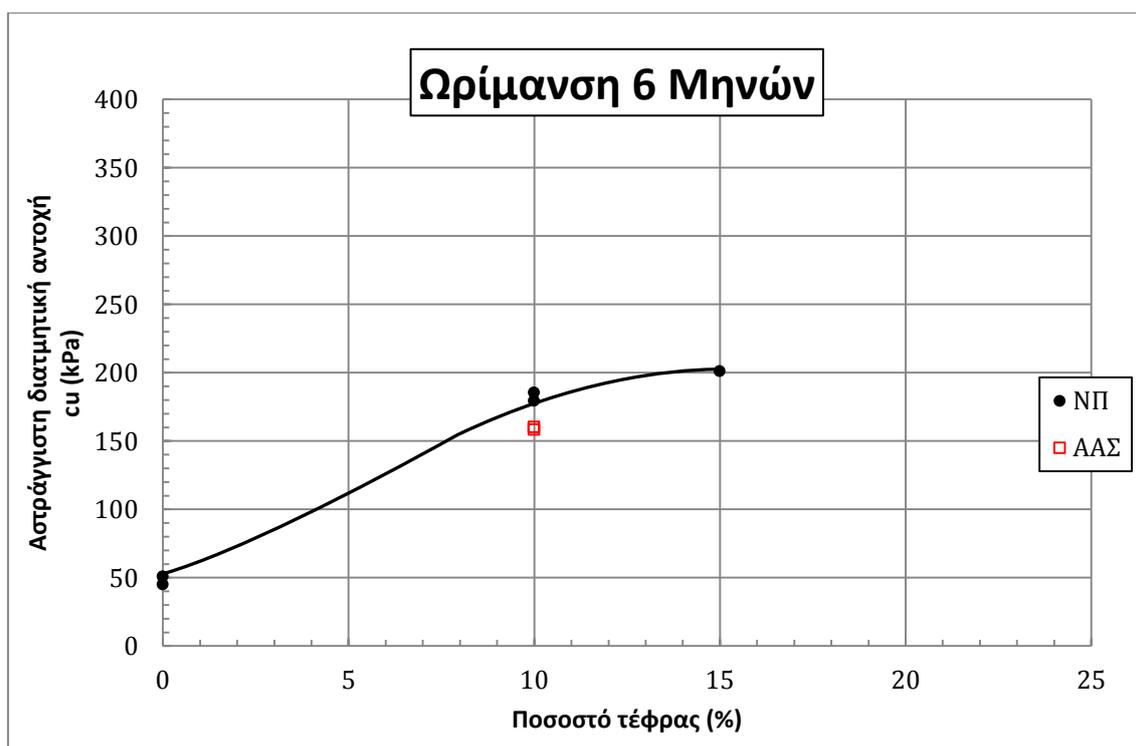
Διάγραμμα 12.3.14

Στο διαγράμμα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών UC του καθαρού αργιλικού υλικού ΝΠ και των μιγμάτων ΝΠ και ΑΑΣ για χρόνο ωρίμανσης 4 μηνών συναρτήσει του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας. Πρέπει να σημειωθεί πως για το υλικό ΝΠ δεν υπήρχαν δεδομένα για 15% περιεχόμενη τέφρα, και για το ΑΑΣ υπήρχαν δεδομένα μόνο για 4%, 6%, και 10% περιεχόμενη τέφρα, καθώς επίσης δεν πραγματοποιήθηκαν τριαξονικές δοκιμές στο καθαρό αργιλικό υλικό ΑΑΣ. Παρατηρείται ότι η αντοχή των μιγμάτων ΑΑΣ παρουσιάζει αύξηση συναρτήσει του αυξανόμενου ποσοστού τέφρας με υψηλότερο ρυθμό από 4% έως 6% τέφρα (αυξάνεται από 105kPa για 4% τέφρα στα 140kPa για 10% τέφρα) απ' ότι από 6% έως 10% τέφρα (αυξάνεται από 140kPa για 6% τέφρα στα 155kPa για 10% τέφρα). Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την μεταβολή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής για περαιτέρω αύξηση του ποσοστού τέφρας. Παράλληλα, παρατηρείται ότι η αντοχή των μιγμάτων ΝΠ παρουσιάζει αύξηση συναρτήσει του αυξανόμενου ποσοστού τέφρας από 0% σε 5% (αυξάνεται από 50kPa για 0% τέφρα στα 75kPa για 5% τέφρα), η οποία συνεχίζει με αυξημένο ρυθμό από περιεκτικότητα τέφρας 5% έως 10% (αυξάνεται από 75kPa για 5% τέφρα στα 135kPa για 10% τέφρα), ωστόσο δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την μεταβολή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής για περαιτέρω αύξηση του ποσοστού τέφρας. Ο ρυθμός αύξησης της αντοχής των μιγμάτων ΝΠ

από 5% έως 10% τέφρα φαίνεται ελαφρώς χαμηλότερος από αυτόν των μιγμάτων ΑΑΣ από 4% έως 6% τέφρα, και παράλληλα για χρόνο ωρίμανσης 4 μηνών και ποσοστά τέφρας έως και 10% είναι σαφές πως τα μίγματα ΑΑΣ παρουσιάζουν υψηλότερη αστράγγιστη διατμητική αντοχή από τα μίγματα ΝΠ, η οποία το πιθανότερο είναι να οφείλεται στην ανάπτυξη εκτενέστερης ανάπτυξης δομής στα μίγματα ΑΑΣ, τουλάχιστον έως 2 μήνες ωρίμανσης μετά την ανάμιξη. Ωστόσο η διαφορά της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής μεταξύ των μιγμάτων ΝΠ και ΑΑΣ φαίνεται να μειώνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης (βλ παραπάνω ενότητα).

12.3.3.5 Ωρίμανση 6 Μηνών του ΑΑΣ-90-10 σε Σύγκριση με Ωρίμανση 8 Μηνών των μιγμάτων ΝΠ

Λόγω χρονικών και άλλων περιορισμών, για το υλικό ΑΑΣ τα μόνα δεδομένα που υπάρχουν για χρόνο ωρίμανσης μεγαλύτερο των 4 μηνών είναι τα αποτελέσματα τριαξονικών δοκιμών CU στο μίγμα ΑΑΣ-90-10. Έτσι, επιχειρείται η σύγκρισή τους με τα αποτελέσματα της αντίστοιχης δοκιμής για τα μίγματα ΝΠ. Φυσικά, ο περιορισμός των δεδομένων δεν επιτρέπει τη σκιαγράφιση μιας πλήρους εικόνας, μπορεί να γίνει όμως μια ενδεικτική σύγκριση.



Διάγραμμα 12.3.15

Στο διαγράμμα φαίνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών UC του καθαρού αργιλικού υλικού ΝΠ και των μιγμάτων ΝΠ-60-10 και ΝΠ-65-15 για χρόνο ωρίμανσης 8 μηνών, καθώς και του μίγματος ΑΑΣ-90-10 για χρόνο ωρίμανσης 6 μηνών, συναρτήσει του ποσοστού περιεχόμενης τέφρας. Παρατηρείται ότι η αντοχή των μιγμάτων ΝΠ παρουσιάζει αύξηση συναρτήσει του αυξανόμενου ποσοστού τέφρας από 0% σε 10%

(αυξάνεται από 50kPa για 0% τέφρα στα 180kPa για 10% τέφρα), η οποία συνεχίζει με μειωμένο ρυθμό από περιεκτικότητα τέφρας 10% έως 15% (αυξάνεται από 180kPa για 10% τέφρα στα 200kPa για 15% τέφρα). Το αξιοσημείωτο φαινόμενο στη σύγκριση αυτή είναι πως το μίγμα ΝΠ-60-10 παρουσιάζει αντοχή υψηλότερη του ΑΑΣ-90-10 (σε σύγκριση με όλους τους πρότερους χρόνους ωρίμανσης). Η διαφορά αυτή οφείλεται είτε στον διαφορετικό χρόνο ωρίμανσης των υλικών, δηλαδή επειδή το υλικό ΝΠ έχει 2 περισσότερους μήνες ωρίμανσης έχει μεν υψηλότερη αντοχή από το ΑΑΣ 6 μηνών ωρίμανσης αλλά ενδεχομένως όχι από το ΑΑΣ 8 μηνών ωρίμανσης, είτε στο ενδεχόμενο η άργιλος ΝΠ να αντιδρά εκτενέστερα με την ιπτάμενη τέφρα απ' ό,τι η άργιλος ΑΑΣ, ώστε από κάποιο χρόνο ωρίμανσης και ύστερα τα μίγματα ΝΠ να ξεπερνούν σε αντοχή τα μίγματα ΑΑΣ. Ωστόσο, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να υποστηρίζουν ή να αποκλείουν καμία από τις δύο παραπάνω εκδοχές.

12.3.4 Συμπεράσματα Σύγκρισης ΑΑΣ-ΝΠ

Από όλες τις συγκρίσεις των μιγμάτων ΑΑΣ και ΝΠ προκύπτει πως η συμπεριφορά τους συνάδει με την τυπική συμπεριφορά ενός τυπικού εδαφικού υλικού με δομή, και παρουσιάζονται πολυάριθμες ομοιότητες, αλλά και διαφορές, μεταξύ των μιγμάτων των δύο υλικών. Το κύριο χαρακτηριστικό που οδηγεί σ' αυτό το συμπέρασμα όσον αφορά την καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης δεν είναι άλλο από τη φαινόμενη τάση προφόρτισης. Για τάσεις χαμηλότερες αυτής, το υλικό συμπεριφέρεται σαν προφορτισμένο, με ιδιαίτερα χαμηλή συμπίεστικότητα, ενώ μόλις αυτή ξεπεραστεί, το υλικό μπαίνει σε κλάδο κανονικά φορτισμένου υλικού, με ιδιαίτερα αυξημένο συντελεστή συμπίεστικότητας (C_c) σε σχέση με τον προηγούμενο κλάδο. Η συμπεριφορά αυτή παρατηρείται γενικά πως γίνεται ολοένα εντονότερη καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης και το ποσοστό περιεχόμενου προσμίκτου. Όλα τα μίγματα ΑΑΣ και ΝΠ επιδεικνύουν αυτήν τη συμπεριφορά, από μηδενικό χρόνο ωρίμανσης. Είναι όμως εμφανές πως η επιρροή της πρόσμιξης της τέφρας είναι μεγαλύτερη για τα μίγματα ΝΠ, καθώς αυτά παρουσιάζουν φαινόμενη τάση προφόρτισης μεγαλύτερη από αυτήν των ΑΑΣ, φαινόμενο που φαίνεται να ισχύει τόσο καθώς αυξάνεται το ποσοστό προσμίκτου, όσο και καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης.

Η συμπεριφορά αυτή, όπως φάνηκε από όλα τα εξετασθέντα μίγματα, συνοδεύεται από αύξηση του συντελεστή συμπίεστικότητας με αύξηση της περιεχόμενης τέφρας και του χρόνου ωρίμανσης, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι μετά την υπέρβαση της φαινόμενης τάσης προφόρτισης, τα υλικά συμπίεζονται, τείνοντας προς την VCL καμπύλη συμπίεσης. Δυστυχώς, για το υλικό ΝΠ και τα μίγματά του δεν υπήρχαν δεδομένα όσον αφορά την μεταβολή του δείκτη πλαστικότητάς τους, όμως μπορεί να υποτεθεί πως αυτός εμφανίζει μείωση κατά τους αρχικούς χρόνους ωρίμανσης εξαιτίας της διαδικασίας της ενυδάτωσης.

Όσον αφορά την ανάπτυξη αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (C_u), αυτή παρουσιάζεται αυξημένη για υλικά με δομή σε σχέση με υλικά χωρίς δομή, και μάλιστα παρατηρείται πως η αύξησή της είναι χονδρικά ανάλογη του ποσοστού προσμίκτου και του χρόνου ωρίμανσης, όμως ο ρυθμός ανάπτυξής της τόσο συναρτήσει του ποσοστού

προσμίκτου όσο και του χρόνου ωρίμανσης σημειώνει διακυμάνσεις, οι οποίες μπορούν να καταλογιστούν σε σειρά από παράγοντες, οι σημαντικότεροι των οποίων είναι το ποσοστό προσμίκτου, ο χρόνος ωρίμανσης, και ο συνδυασμός της σύστασης του αρχικού υλικού και του προσμίκτου. Συγκεκριμένα, για χαμηλά ποσοστά προσμίκτου (περί το 5%), ο ρυθμός αύξησης της αντοχής φαίνεται βραδύτατος τους 2 πρώτους μήνες ωρίμανσης, ενώ αυξάνεται ελαφρώς μετά τους 3 μήνες ωρίμανσης. Για αύξηση του ποσοστού προσμίκτου (περί το 10%), τα μίγματα ΑΑΣ έχουν αποκτήσει την τελική τους αντοχή για ωρίμανση 2 μηνών με σταθερό σχετικά ρυθμό αύξησης της αντοχής, ενώ τα μίγματα ΝΠ αυξάνονται συνεχώς μέχρι και τους 4 μήνες ωρίμανσης, με φανερά μειωμένο ρυθμό από τους 2 μήνες και αργότερα. Τέλος, για περαιτέρω αύξησή του ποσοστού προσμίκτου (περί το 25%) δεν υπάρχουν δεδομένα ώστε να παρακολουθηθεί η τάση της αύξησης της αντοχής.

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα δύο υλικά, το ΑΑΣ και το ΝΠ, έχουν πολύ παρόμοια χαρακτηριστικά, με μοναδική σημαντική διαφορά την πλαστικότητα τους: το ΑΑΣ έχει υψηλή πλαστικότητα, ενώ το ΝΠ χαμηλή. Το χρησιμοποιούμενο πρόσμικτο είναι πανομοιότυπο: η ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας. Επίσης, οι διεξαχθείσες δοκιμές διαφέρουν ως προς το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας, διαφορά η οποία εξισορροπείται σε μεγάλο βαθμό, από τη διαφορά της πλαστικότητας. Συνεπώς, υπάρχει σημαντικός βαθμός συγκρισιμότητας μεταξύ των δύο υλικών. Έτσι, προκύπτει πως η πρόσμιξη της τέφρας οδηγεί σε πολύ παρόμοια αποτελέσματα και στα δύο υλικά, επιβεβαιώνοντας τα συμπεράσματα ως προς την επιρροή ανάμιξης ιπτάμενης τέφρας με άργιλο και της αναπτυσσόμενης δομής. Η επιρροή φαίνεται να είναι μεγαλύτερη ως προς τη συμπίεστικότητα και την αντοχή στο υλικό ΝΠ, όμως η ολοκλήρωση των διαδικασιών ανάπτυξης δομής φαίνονται να είναι αρκετά ταχύτερη στην περίπτωση του υλικού ΑΑΣ.

13 Γενικά Συμπεράσματα

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των δοκιμών που διεξήχθησαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας προέκυψε μια σειρά από ενδιαφέροντα συμπεράσματα που συμβάλλουν στην κατανόηση της δομής των εδαφικών υλικών και των μεθόδων ανάπτυξης της. Επίσης, μέσω της σύγκρισης της συμπεριφοράς των εξετασθέντων μιγμάτων με σειρά αποτελεσμάτων της βιβλιογραφίας, που αφορούν υλικά φυσικά και τεχνητά, με διαφορετικές συστάσεις, προέκυψαν εξίσου ενδιαφέροντα στοιχεία όσον αφορά τις ομοιότητες και τις διαφορές των εξετασθέντων υλικών με άλλα εδαφικά υλικά με δομή. Πρώτα γίνεται παράθεση των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τα αποτελέσματα των δοκιμών, και κατόπιν αυτών που προκύπτουν από τις προαναφερθείσες συγκρίσεις.

13.1 Τα Μίγματα του Υλικού ΑΑΣ

Από την μελέτη των αποτελεσμάτων των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν μπορεί να εξαχθεί μια σειρά από συμπεράσματα όσον αφορά τόσο την επίδραση του ποσοστού της τέφρας όσο και την επίδραση του χρόνου ωρίμανσης στα μίγματα αργίλου-ιπτάμενης τέφρας-νερού σχετικά με τα φυσικά τους χαρακτηριστικά, τη συμπεριφορά τους σε μονοδιάστατη στερεοποίηση, και την αστράγγιστη διατμητική αντοχή τους.

Όσον αφορά τα φυσικά τους χαρακτηριστικά, σε κάθε προϊόν ανάμιξης το όριο υδαρότητας μειώθηκε κατά τη διάρκεια του πρώτου μήνα, ενώ για τον υπόλοιπο χρόνο ωρίμανσης παρέμεινε πρακτικώς σταθερό, ενώ το όριο πλαστιμότητας παρέμενε πρακτικά σταθερό για όλα τα υλικά για κάθε χρόνο ωρίμανσης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα ο δείκτης πλαστικότητας των προϊόντων ανάμιξης αργίλου με νερό και ιπτάμενη τέφρα να μειώνεται σε ποσοστό και με ρυθμό ανάλογο με την αύξηση του ποσοστού τέφρας. Η μείωση αυτή φαίνεται να σηματοδοτεί την ολοκλήρωση της διαδικασίας ενυδάτωσης της τέφρας. Επίσης, φάνηκε καθαρά πως η επιβολή συμπύκνωσης ή προφόρτισης δεν επέφερε καμία αξιοσημείωτη μεταβολή στα φυσικά χαρακτηριστικά των εξετασθέντων υλικών.

Όσον αφορά τη συμπεριφορά των υλικών στη μονοδιάστατη συμπίεση, τα αποτελέσματα των δοκιμών μαρτυρούν σημαντικές μεταβολές στις ιδιότητες του υλικού, η γενική τάση των οποίων είναι η παρουσίαση συμπεριφοράς προφορτισμένου υλικού με ολοένα μεγαλύτερη «φαινόμενη τάση προφόρτισης» καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας και ο χρόνος ωρίμανσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το υλικό να καθίσταται λιγότερο συμπιεστό και περισσότερο περατό καθώς αυξάνονται οι δύο προαναφερθέντες παράγοντες. Κατ' αρχάς, ο δείκτης πόρων παρουσιάζει αύξηση με αυξανόμενο ποσοστό τέφρας και αυξανόμενο χρόνο ωρίμανσης, ακόμη και αμέσως μετά την ανάμιξη, ενδεικτικό της ανοικτότερης δομής που προσδίδει η τέφρα στο υλικό. Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο πως η σημαντική μείωση του αρχικού δείκτη πόρων σε όλα τα υλικά από αμέσως μετά την ανάμιξη ως την επόμενη δοκιμή οφείλεται κατά κύριο λόγο στην επιβληθείσα συμπύκνωση. Επίσης, οι καμπύλες συμπίεσης των υλικών με τέφρα αποκλίνουν από το υλικό χωρίς τέφρα, με ολοένα υψηλότερο τελικό δείκτη πόρων, εξαιτίας της εμφάνισης της φαινόμενης τάσης προφόρτισης.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το υλικό ΑΑΣ-85-06 μόλις μετά από τρεις μήνες αρχίζει να εκδηλώνει μια υπαρκτή μεν, αμελητέα δε φαινόμενη τάση προφόρτισης, ενώ το ΑΑΣ-90-10 εκδηλώνει σημαντική φαινόμενη τάση προφόρτισης από τις 14 κιόλας ημέρες μετά την ανάμιξή του.

Η παραπάνω συμπεριφορά αποτυπώνεται ξεκάθαρα στις μεταβολές των παρατηρούμενων χαρακτηριστικών των εξετασθέντων υλικών. Συγκεκριμένα, σε κάθε υλικό, σε κάθε χρόνο ωρίμανσης εκτός από αμέσως μετά την ανάμιξη, παρατηρείται αρχικώς πτώση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης με την αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου, που ακολουθείται από σταδιακή αύξησή του για υψηλότερες τάσεις, συμπεριφορά που συνάδει με την αναμενόμενη συμπεριφορά προφορτισμένου υλικού. Παράλληλα, καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας και ο χρόνος ωρίμανσης, παρατηρείται εξαιρετικά υψηλή μείωση της συμπίεστικότητας και αύξηση της περατότητας του υλικού για τάσεις μικρότερες της φαινόμενης τάσης προφόρτισης. Η αύξηση της περατότητας αποτυπώνεται στην αύξηση του συντελεστή στερεοποίησης. Μόλις η επιβαλλόμενη τάση ξεπεράσει την φαινόμενη τάση προφόρτισης, η συμπεριφορά του υλικού συγκλίνει με την VCL συμπεριφορά του υλικού, και κάθε μεταβολή των χαρακτηριστικών του αντιστρέφεται. Τέλος, είναι σημαντικό να γίνεται διαχωρισμός της επιρροής των αντιδράσεων αυτών από την επιρροή της επιβαλλόμενης συμπύκνωσης, οι οποίες είναι επίσης σημαντικές, η περιορίζονται όμως στο χρονικό διάστημα ανάμεσα στη χρονική στιγμή αμέσως μετά την ανάμιξη και στο τέλος της διαδικασίας επιβολής συμπύκνωσης περίπου 14 ημέρες αργότερα. Συμπεραίνοντας, η δομή που αναπτύσσεται στο σώμα του υλικού έχει αντοχή ανάλογη με ποσοστό τέφρας και το χρόνο ωρίμανσης, και καταστρέφεται όταν η επιβαλλόμενη τάση ξεπεράσει αυτήν την αντοχή.

Τα αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών μαρτυρούν σημαντικές μεταβολές στην αντοχή των εξεταζόμενων υλικών, η γενική τάση των οποίων είναι καθώς αυξάνεται το ποσοστό τέφρας και ο χρόνος ωρίμανσης να αυξάνεται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή, ενώ η μέγιστη αναπτυσσόμενη αστράγγιστη διατμητική αντοχή ενός υλικού αυξάνεται και αναπτύσσεται σε συντομότερο χρονικό διάστημα με την αύξηση του ποσοστού τέφρας. Η εκκίνηση της ανάπτυξής της, η οποία χρονικά συμπίπτει με την ολοκλήρωση της ενυδάτωσης της τέφρας και με την έναρξη των ποζολανικών αντιδράσεων, συνέβαινε για χαμηλότερο χρόνο ωρίμανσης, καθώς αυξανόταν το ποσοστό τέφρας, το ίδιο και η ολοκλήρωση της ανάπτυξής της. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως για το υλικό ΑΑΣ-90-10 η διαδικασία ανάπτυξης αντοχής είχε ολοκληρωθεί μετά από δύο μήνες ωρίμανσης.

Συνοψίζοντας, παρατηρήθηκε πως για ποσοστό περιεχόμενης τέφρας περί το 5% η ανάπτυξη δομής είναι περιορισμένη, όπως φαίνεται από την εξίσου περιορισμένη βελτίωση στη συμπεριφορά του υλικού. Για ποσοστό τέφρας ίσο με 10%, παρατηρείται σημαντική βελτίωση ως προς τη συμπίεστικότητα του υλικού, με ανάπτυξη φαινόμενης τάσης προφόρτισης μεγαλύτερη της τάσης προφόρτισης λόγω συμπίεσης, και σημαντική αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (περί το 100%), με τη βελτίωση να έχει ολοκληρωθεί 2 με

3 μήνες μετά την ανάμιξη. Για υψηλότερα ποσοστά τέφρας δεν μπορούν να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα, καθώς δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα.

13.2 Σύγκριση Μιγμάτων του Υλικού ΑΑΣ με Υλικά της Βιβλιογραφίας

Από όλες τις συγκρίσεις των μιγμάτων ΑΑΣ με φυσικά και τεχνητά εδαφικά υλικά με δομή προκύπτει πως η συμπεριφορά τους συνάδει με την τυπική συμπεριφορά ενός τυπικού εδαφικού υλικού με δομή. Το κύριο χαρακτηριστικό που οδηγεί σ' αυτό το συμπέρασμα όσον αφορά την καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης είναι η φαινόμενη τάση προφόρτισης. Για τάσεις χαμηλότερες αυτής, το υλικό με δομή συμπεριφέρεται σαν προφορτισμένο, με ιδιαίτερα χαμηλή συμπίεστικότητα, ενώ μόλις αυτή ξεπεραστεί, το υλικό μπαίνει σε κλάδο κανονικά φορτισμένου υλικού. Όσον αφορά την ανάπτυξη αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (C_u), η αύξησή της είναι χονδρικά ανάλογη του ποσοστού προσμίκτου και του χρόνου ωρίμανσης, όμως ο ρυθμός ανάπτυξής της τόσο συναρτήσει του ποσοστού προσμίκτου όσο και του χρόνου ωρίμανσης σημειώνει διακυμάνσεις, οι οποίες μπορούν να καταλογιστούν σε σειρά από παράγοντες, οι σημαντικότεροι των οποίων είναι το ποσοστό προσμίκτου, ο χρόνος ωρίμανσης, και ο συνδυασμός της σύστασης του αρχικού υλικού και του προσμίκτου. Στα τεχνητά υλικά με δομή παρατηρείται μείωση του δείκτη πλαστικότητας, ιδιαίτερα κατά την αρχική περίοδο ωρίμανσης, η οποία πιθανότερα οφείλεται στη διαδικασία της ενυδάτωσης,

Τόσο στα τεχνητά όσο και στα φυσικά υλικά, η συμπεριφορά που περιγράφεται παραπάνω γίνεται ολοένα εντονότερη καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης και το ποσοστό περιεχόμενου προσμίκτου, με μόνη διαφορά πως στα φυσικά υλικά η χρονική εξέλιξη συμβαίνει σε γεωλογικό χρόνο, ενώ στα τεχνητά υλικά επιτυγχάνεται εντός ολίγων μηνών ή ετών. Επίσης, δύο υλικά σχεδόν ποτέ δεν επιδεικνύουν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά ως προς κάθε παράμετρο, καθώς η διαδικασία ανάπτυξης δομής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σύσταση τόσο του αρχικού υλικού, όσο και του προσμίκτου. Έτσι δεν είναι δυνατόν να αναμένεται η πλήρης ταύτιση των συμπεριφορών διαφορετικών υλικών. Κάθε άλλο, αναμένεται η παρατήρηση της ίδιας ποιοτικά συμπεριφοράς, με ευρείες διαφορές στα απόλυτα μεγέθη.

Όσον αφορά ειδικά τη σύγκριση των μιγμάτων ΑΑΣ με τα μίγματα ΝΠ, τα δύο υλικά επιδεικνύουν τη χαρακτηριστική συμπεριφορά ενός τυπικού εδαφικού υλικού με δομή, όπως αυτή αναφέρθηκε παραπάνω. Τα αποτελέσματα των δοκιμών των μιγμάτων ΑΑΣ επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των δοκιμών των μιγμάτων ΝΠ, όσον αφορά πιο συγκεκριμένα την επιρροή της ιπτάμενης τέφρας στην άργιλο. Οι μικρές διαφορές που σημειώνονται μεταξύ των μιγμάτων των δύο υλικών είναι αναμενόμενες εξαιτίας της πολύ υψηλότερης πλαστικότητας του υλικού ΑΑΣ. Η επιρροή της τέφρας φαίνεται να είναι μεγαλύτερη ως προς τη συμπίεστικότητα και την αντοχή στο υλικό ΝΠ, όμως η ολοκλήρωση των διαδικασιών ανάπτυξης δομής φαίνονται να είναι αρκετά ταχύτερη στην περίπτωση του υλικού ΑΑΣ.

13.3 Βαθμός Επίτευξης του Σκοπού και Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Η επίτευξη του Σκοπού της παρούσας εργασίας έγκειται στον προσδιορισμό εκείνης της αναλογίας Αργίλου Αγίου Στεφάνου (υψηλής πλαστικότητας) προς Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας η οποία οδηγεί σε ικανοποιητική βελτίωση του αρχικού αργιλικού υλικού σε χρόνο μικρότερο των έξι μηνών μέσω των μηχανισμών ανάπτυξης δομής, δηλαδή της εξέλιξης των ποζολανικών αντιδράσεων μεταξύ των συστατικών της τέφρας και της αργίλου, με την παρουσία της απαραίτητης ποσότητας νερού.

Λόγω χρονικών και άλλων περιορισμών, το μοναδικό μίγμα ΑΑΣ το οποίο εξετάστηκε σε αρκετό βάθος χρόνου (6 μηνών) και ανέπτυξε ικανοποιητική αντοχή σε αυτόν το χρόνο (ανάπτυξη φαινόμενης τάσης προφόρτισης περίπου 300kPa με $e=1.58$ σε σχέση με $e=2.2$ περίπου του αρχικού υλικού, ανάπτυξη αστράγγιστης διατμητικής αντοχής $C_u=150kPa$ περίπου) ήταν το ΑΑΣ-90-10, το οποίο μάλιστα ανέπτυξε την αστράγγιστη διατμητική αντοχή του από τους 2 κιόλας μήνες ωρίμανσης. Συνεπώς, το υλικό ΑΑΣ-90-10 ικανοποιεί το σκοπό της εργασίας.

Ωστόσο, το θέμα επιδέχεται περαιτέρω διερεύνηση. Κατ' αρχάς, η ολοκλήρωση των δοκιμών στο υλικό ΑΑΣ-115-25 για χρόνους ωρίμανσης έως 6 μηνών θα συμβάλλει στον προσδιορισμό της επιρροής του αυξημένου ποσοστού τέφρας στην ανάπτυξη δομή. Επίσης, θα ήταν σκόπιμο να πραγματοποιηθούν δοκιμές στα ίδια (ή και σε άλλα) μίγματα χωρίς την επιβολή συμπύκνωσης, ώστε να προσδιορισθεί η καθαρή επιρροή της πρόσμιξης της τέφρας, δίνοντας έτσι μια πιο ξεκάθαρη εικόνα ως προς την ανάπτυξη της δομής. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως από τη διερεύνηση του υλικού ΝΠ φάνηκε πως η προφόρτιση επηρεάζει σημαντικά την εξέλιξη των μηχανισμών ανάπτυξης δομής επιταχύνοντάς τους, χωρίς όμως να είναι γνωστή η ακριβής επιρροή της. Τέλος, προτείνεται να πραγματοποιηθεί πιο διεξοδική διερεύνηση στα μίγματα, η οποία να περιλαμβάνει τριαξονικές δοκιμές και δοκιμές «small strain» ώστε να προσδιορισθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η επιρροή της ανάπτυξης της δομής στις αντοχές του υλικού.

14 Βιβλιογραφία

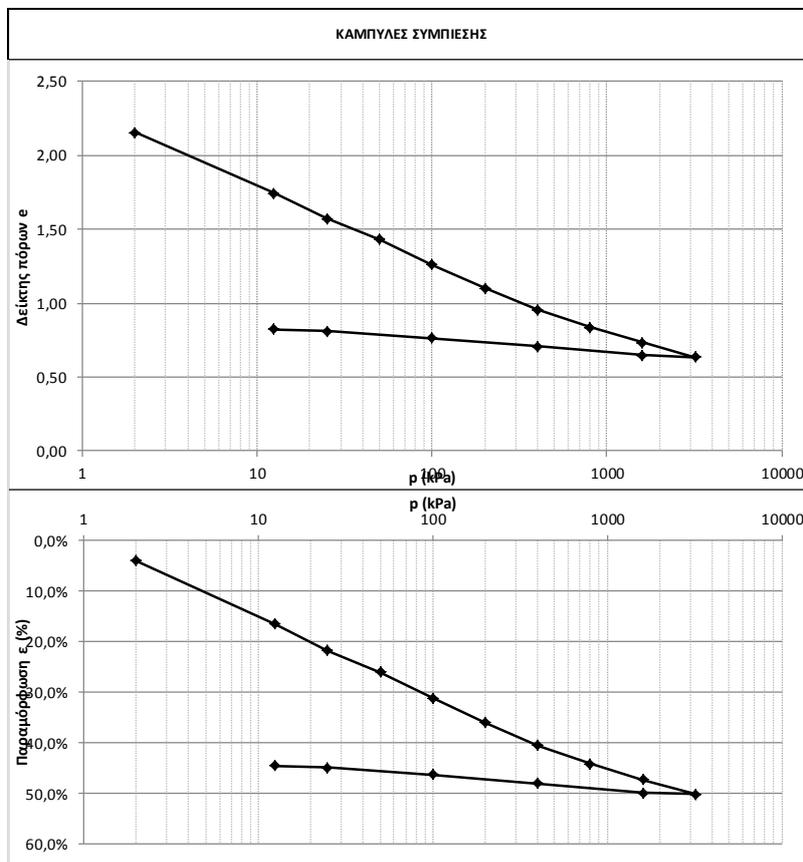
- [1] Μ. Ι. Καββαδάς, Στοιχεία Εδαφομηχανικής, 2005.
- [2] Γ. Γκαζέτας, Σημειώσεις ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, 2008.
- [3] Σ. Δ. Κωστόπουλος, Πειραματική Γεωτεχνική Μηχανική, 2005.
- [4] «Παρουσίαση με τίτλο «Ιζηματογενή Πετρώματα»».
- [5] Κ. Η. Head, Manual of Soil Laboratory Testing.
- [6] Γ. Μπουκοβάλας και Μ. Καββαδάς, «Διαφάνειες μαθήματος Εδαφομηχανικής Ι».
- [7] Μ.-Η. Ho, C.-M. Chan και Ι. Bakar, «One Dimensional Compressibility Characteristics of Clay Stabilised with Cement-Rubber Chips,» 2010.
- [8] Σ. Δ. Κωστόπουλος, Γεωτεχνικές Κατασκευές Ι & ΙΙ, 2008.
- [9] Π. Μαρίνος, Κεφάλαια Γεωλογίας Μηχανικού, τόμ. ΙΙ, 1993.
- [10] Hong Kong University of Science and Technology, *Clay Minerals and Soil Structure*.
- [11] Χατζηθεοδωρίδης, «Διαφάνειες Μαθήματος Πετρολογίας».
- [12] University of Nevada, Reno, «Soil Structure and Aggregation».
- [13] Β. Θ. Τσιρίδης, «Μελέτη τοξικότητας ιπτάμενης τέφρας,» 2011.
- [14] Β. Ε. Στιβανάκης, Έρευνα και ανάπτυξη νέων δομικών υλικών από στερεά παραπροϊόντα λιγνιτικής καύσης ενεργειακού κέντρου Μεγαλόπολης, 2003.
- [15] Β. Ρηγοπούλου-Κασελούρη και Σ. Τσίμας, Χημεία τσιμέντου και σκυροδέματος, 2004.
- [16] Θ. Παπαδέλης, Γ. Χατζηφώτης, Α. Καστανάκη και Δ. Σωτηρόπουλος, «Ιπτάμενη Τέφρα: Ένα παραπροϊόν της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των λιγνιτικών σταθμών,» Δ.Ε.Η., 2009.
- [17] Μπελόκας, «Στοιχεία συμπεριφοράς Γεωυλικών».
- [18] Β. Μαντικός, Πειραματική Διερεύνηση Της Επιρροής Της Ανάμιξης Ποζολανικής Ιπτάμενης Τέφρας Στην Συμπεριφορά Αποθέσεων Αγόνων, 2012.
- [19] Α. Γ. Κορωναίος και Γ. Ι. Πουλάκος, Τεχνικά υλικά, τόμ. Ι, 2005.
- [20] D. J. White και D. S. Harrington, «Fly Ash Soil Stabilization for Non-Uniform Subgrade Soils, Volume I: Engineering Properties and Construction Guidelines,» 2005.
- [21] K. Terzaghi, *Theoretical Soil Mechanics*, 1943.
- [22] J. ŠPERL και J. TRČKOVÁ, «Permeability And Porosity Of Rocks And Their Relationship Based On Laboratory Testing,» 2008.
- [23] F. A. Salman, D. K. Sabre και N. K. S. Al-Saoudi, «Compressibility Characteristics of Saline Soils Treated with Cement,» 2011.
- [24] J. Sadrekarimi, A. Zekri και H. Majidpour, «Geotechnical features of Tabriz Marl,» 2006.
- [25] A. R. Rodríguez, «Engineering behavior of soft clays treated with circulating fluidized bed combustion fly ash,» 2007.
- [26] D. Pollak, R. Buljan και Α. Toševski, General engineering geological characteristics of the Kaštela (Croatia) flysch deposits.
- [27] K. Onitsuka, C. Modmoltin και M. Kouno, «Investigation on Microstructure and Strength of Lime and Cement Stabilized Ariake Clay,» 2001.
- [28] C. Obrer, «Permeability of stabilized clay,» 2006.
- [29] V. N. S. Murthy, *Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*.
- [30] B. Muhunthan και F. Sariosseiri, «Interpretation of geotechnical properties of cement treated soils,» 2008.
- [31] R. J. Mitchell, «On the yielding and mechanical strength of Leda clays,» 1970.
- [32] Meei-Hoan Ho και Chee-Ming Chan, «Some Mechanical Properties of Cement Stabilized Malaysian Soft Clay,» 2011.
- [33] O. N. Maaitah, «Evaluation of Al-Karak Ash for Stabilization of Marl Clayey Soil,» 2012.

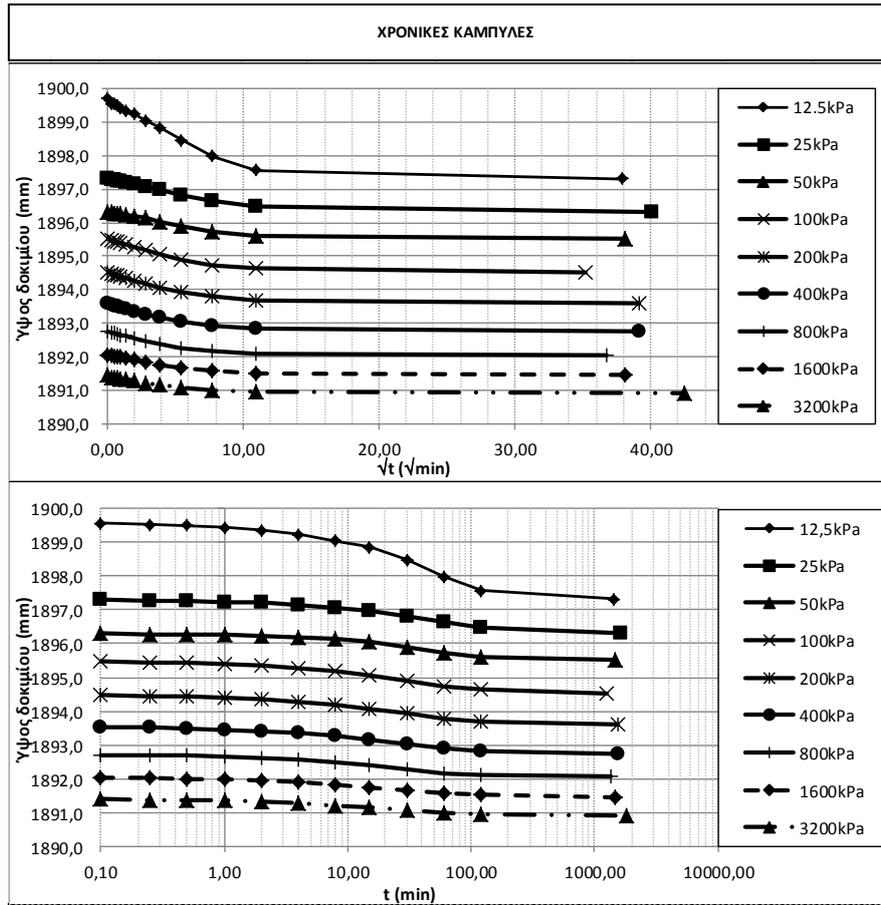
-
- [34] K. Kurtis, *Structure of the Hydrated Cement Paste*.
- [35] N. Koukouzas, J. Hämäläinen, D. Papanikolaou, A. Tourunen και T. Jäntti, «Mineralogical and elemental composition of fly ash from pilot scale fluidised bed combustion of lignite, bituminous coal, wood chips and their blends,» 2007.
- [36] K. KASAMA και K. ZEN, «Strength Characteristics of Cement Treated Clayey and Sandy Soils in Terms of Overconsolidation Ratio».
- [37] A. H. M. Kamruzzaman, «Physico-chemical and engineering behavior of cement treated singapore marine clay,» 2003.
- [38] A. H. M. Kamruzzaman, S. H. Chew και F. H. Lee, «Engineering Behaviour of Cement Treated Singapore Marine Clay».
- [39] S. Horpibulsuk, «Strength and Microstructure of Cement Stabilized Clay».
- [40] S. Horpibulsuk, N. Yangsukkaseam, A. Chinkulkijniwat και Y. J. Du, «Compressibility and Permeability of Bangkok Clay Compared with Kaolinite and Bentonite,» 2011.
- [41] S. Horpibulsuk, N. Yangsukkaseam, A. Chinkulkijniwat και Y. J. Du, «Compressibility and permeability of Bangkok clay compared with kaolinite,» 2011.
- [42] S. Horpibulsuk, R. Rachan, A. Suddepong και A. Chinkulkijniwat, «Strength Development in Cement Admixed Bangkok Clay-Laboratory and Field Investigations,» 2011.
- [43] I. Herle, *History of Geotechnical Engineering*, 2004.
- [44] K. H. Head, *Manual of Soil Laboratory Testing*, 2006.
- [45] Dr. Kamar Shah Ariffin, «FLY ASH - Coal Combustion residue,» *EBS 425/3 – Mineral Perindustrian*, 2008.
- [46] J.-C. Chai, N. Miura, H.-H. Zhu και Yudhbir, «Compression and consolidation characteristics of structured natural clay,» 2004.
- [47] A. B. Cerato και A. J. Lutenecker, «Determining Intrinsic Compressibility of Fine-Grained Soils,» 2004.
- [48] J. B. Burland, «On the compressibility and shear strength of natural clays,» 1990.
- [49] A. G. Anagnostopoulos, N. Kalteziotis, G. K. Tsiambaos και M. Kavvas, «Geotechnical Properties of the Corinth Canal marls,» 1990.
- [50] M. S. Al-Zoubi, «Undrained Shear Strength and Swelling Characteristics of Cement Treated Soil,» 2008.
- [51] O. S. B. Al-Amoudi, K. Khan και N. S. Al-Kahtani, «Stabilization of a Saudi calcareous marl soil,» 2010.
- [52] S. H. Abdullah και C.-M. Chan, «Settlement Behavior of a Cement-Stabilized Malaysian Clay,» 2008.
- [53] [Ηλεκτρονικό].
- [54] «Ερευνητικό Πρόγραμμα: Μελέτη της επιρροής της ανάμιξης τέφρας των λιγνιτικών ΑΗΣ στην διατηρητική αντοχή των αποθέσεων αγόνων του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας».
- [55] «History of Fly Ash Tour,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.fly-ash-information-center.org.in/index.php?id=5>. [Πρόσβαση 2012].
- [56] Perkins + Will, «Fly Ash in Concrete,» 2010.
- [57] American Coal Ash Association, *Fly Ash Facts for Highway Engineers*, US Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2003.
- [58] *CSN EN 197-1 - Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements*.
- [59] «Concrete History Timeline - Full Linear Version,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.concretenetwork.com/concrete-history/linear-timeline.html>. [Πρόσβαση 2012].
- [60] Hong et Al, «Compression Behavior of Natural and Reconstituted Clays,» 2012.

Παράρτημα

ΑΑΣ-80-00

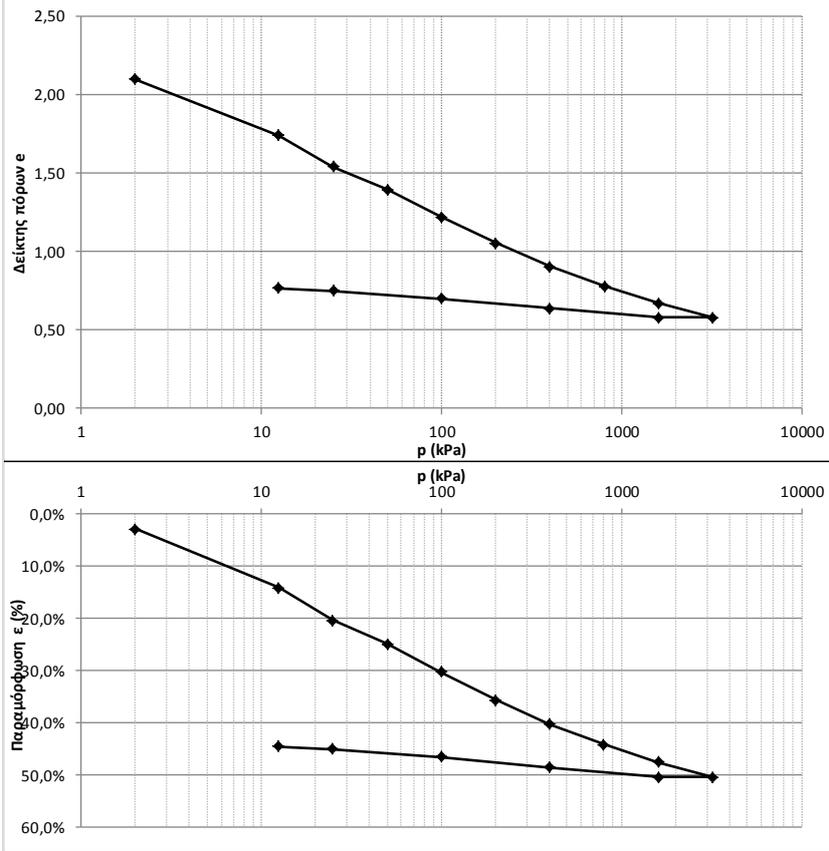
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-80-00			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-		
ΘΕΣΗ:	1			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,29		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	CH			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	15/11/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	30/11/2011		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	1	101	118		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	272,02	57,44	49,95		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		48,60	42,53		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,84	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	161,63	37,27	33,05		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,51	
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	48,84	8,84	7,42		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,58	387,5
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	110,39	20,17	16,90		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,32	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	61,55	11,33	9,48		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,29	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	79,35%	78,02%	78,27%	78,15%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	96,1%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,77		



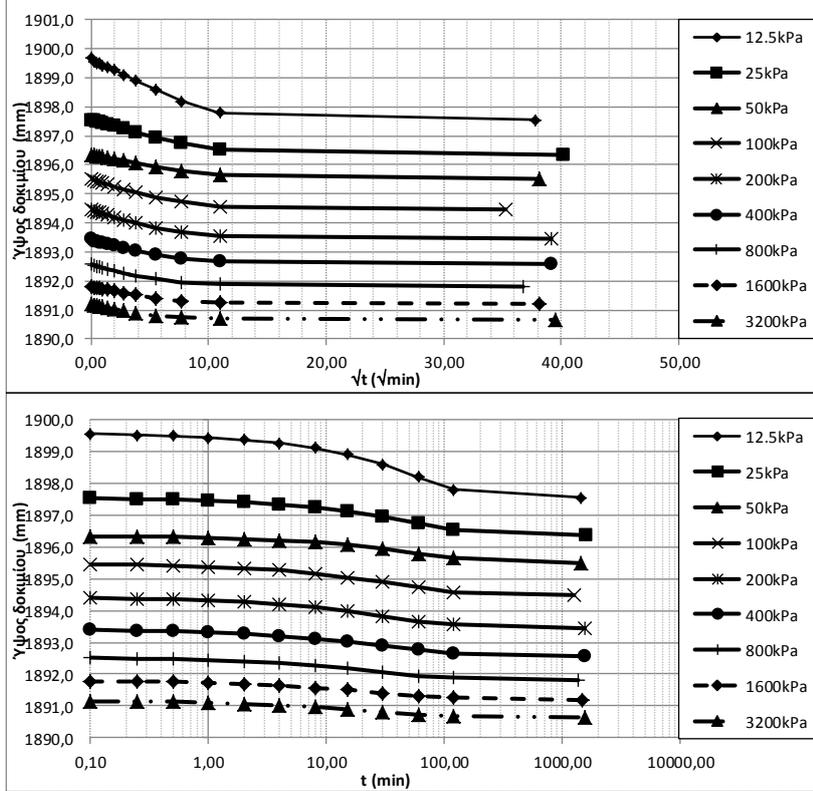


ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ								
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-80-00		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-				
ΘΕΣΗ:	2		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,19				
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	CH		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	15/11/2011				
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	30/11/2011				
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP		
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11	3490,0
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0		
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	2	101	118		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11	3770,5
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	275,16	57,44	49,95		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12		
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		48,60	42,53		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,87		
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	161,74	37,27	33,05		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,55	Δh (readings)	280,5
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	49,90	8,84	7,42		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,60		
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	113,42	20,17	16,90		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,30		
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	63,52	11,33	9,48		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,19		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	78,56%	78,02%	78,27%	78,15%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	99,6%		
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,77			

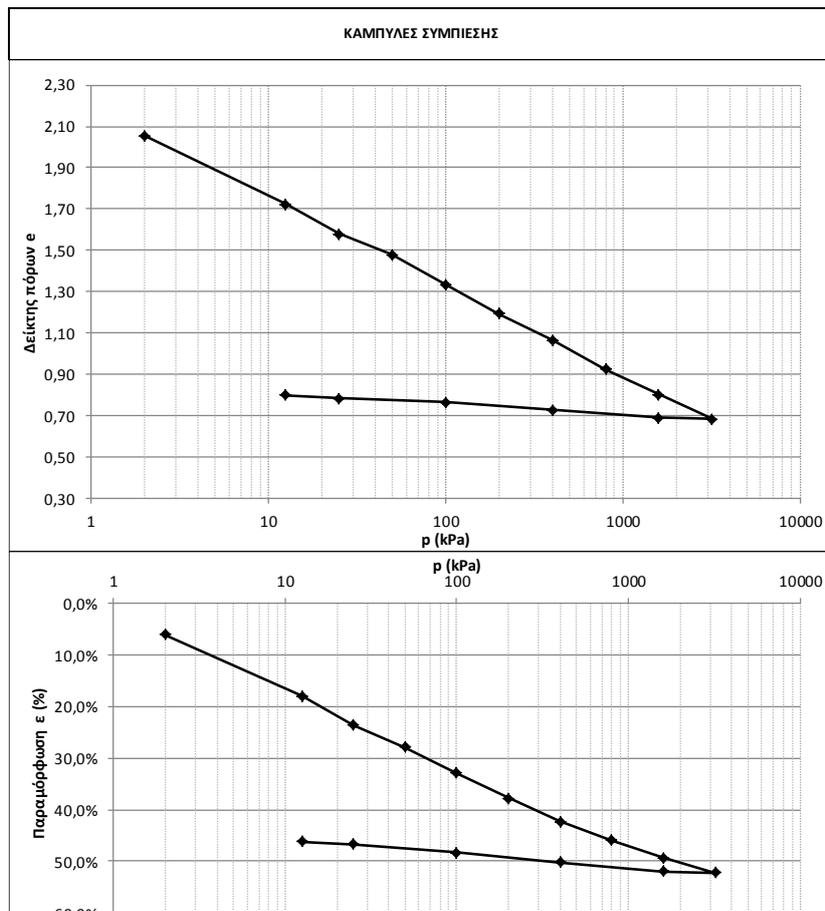
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ



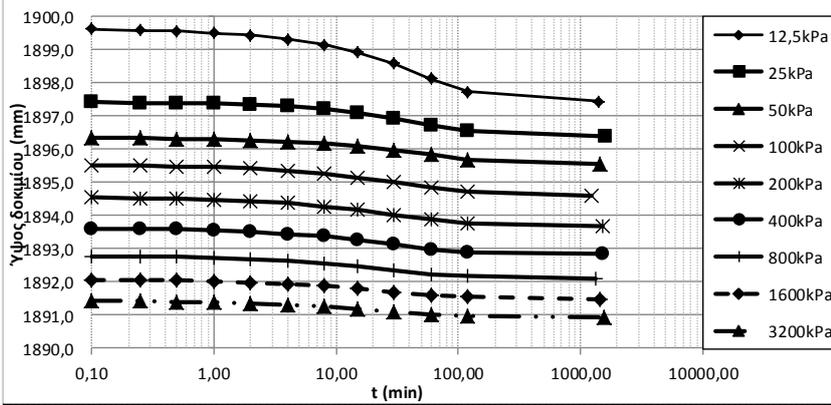
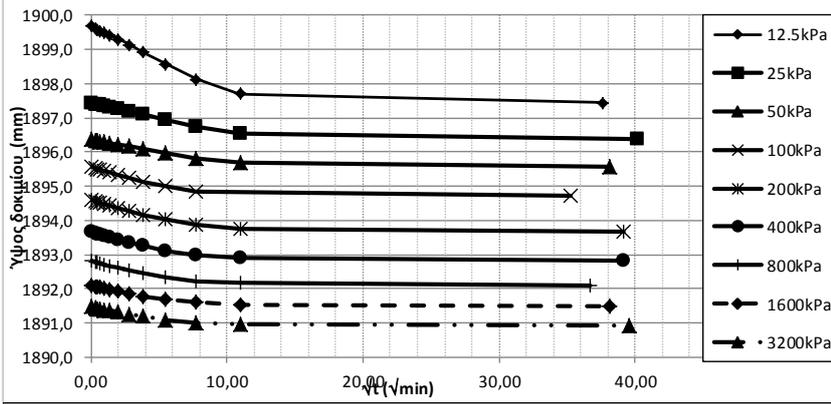
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-80-00			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-	
ΘΕΣΗ:	3			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,24	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	CH			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	15/11/2011	
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	30/11/2011	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	3	101	118		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	272,80	57,44	49,95		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		48,60	42,53		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,85
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	161,45	37,27	33,05		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,52
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	48,88	8,84	7,42		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,59
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	111,35	20,17	16,90		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,31
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	62,47	11,33	9,48		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,24
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	78,25%	78,02%	78,27%	78,15%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	96,8%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,77	

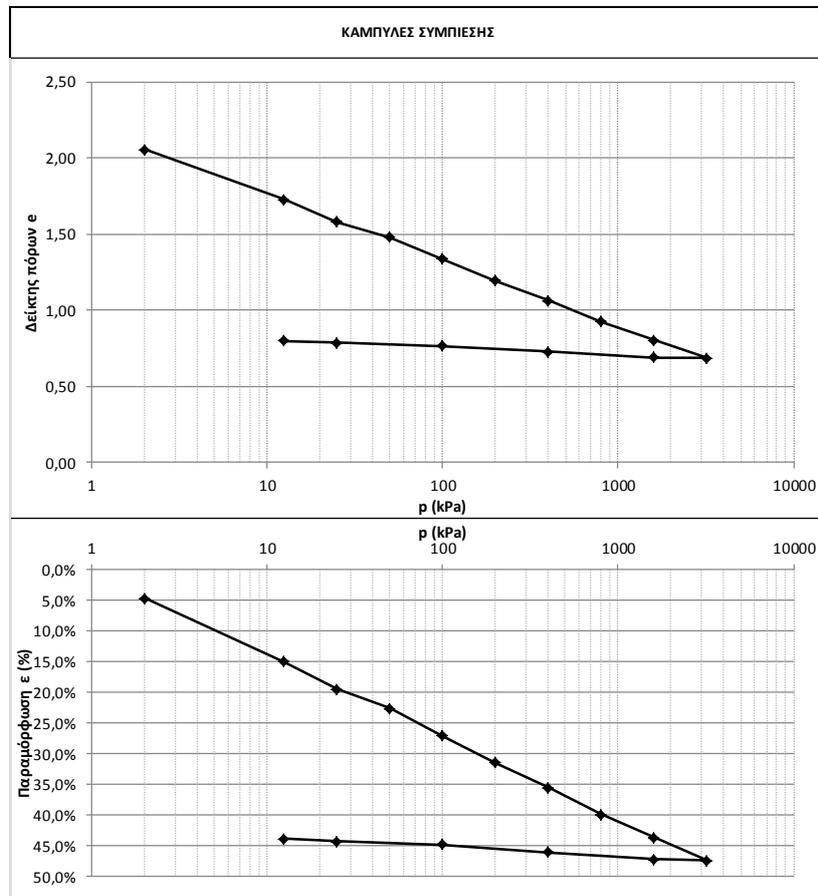


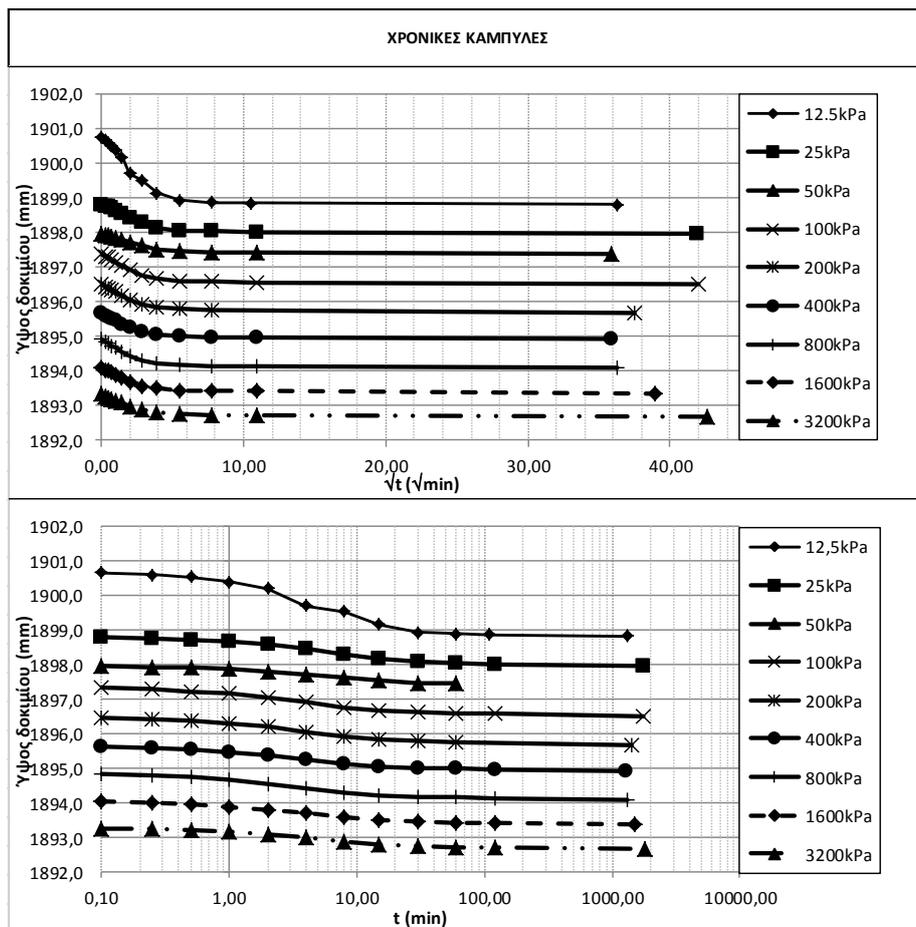
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



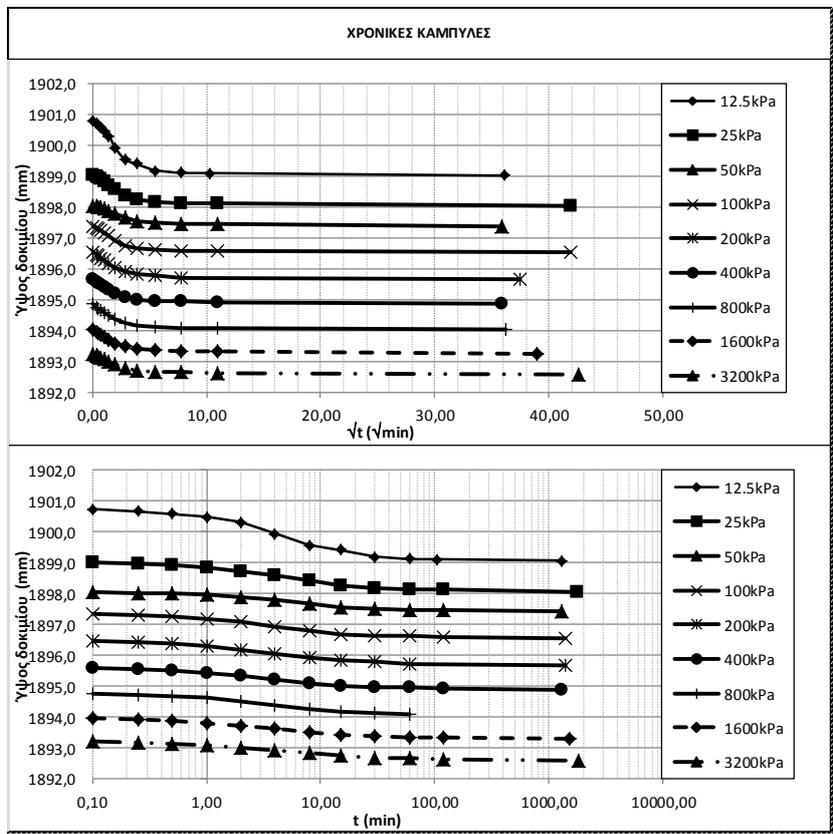
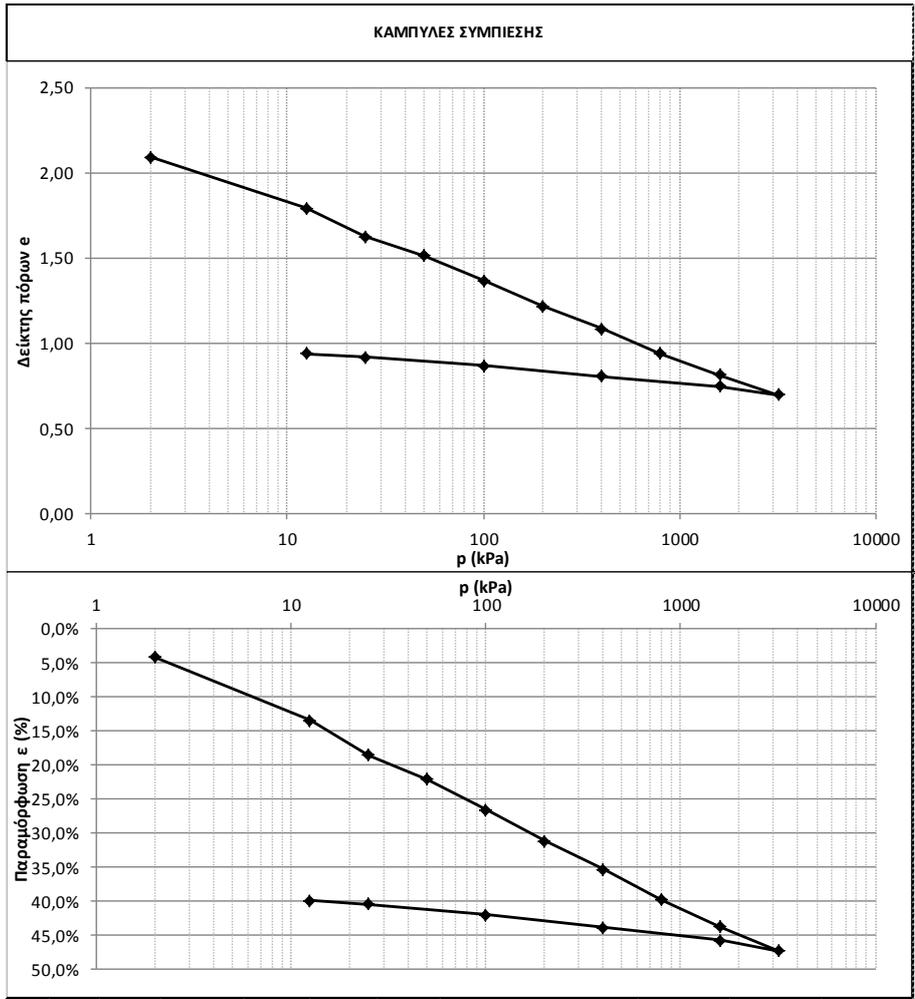
ΑΑΣ-82-04

ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-		
ΘΕΣΗ:	1			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,21		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	26/3/2012		
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	14/4/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	1	121	398		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	269,05	95,63	76,61		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	0,00	71,25	57,29		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,87	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	155,14	39,73	31,78		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,56	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	50,55	24,38	19,32		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,59	
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	113,91	55,90	44,83		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,31	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	63,36	31,52	25,51		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,21	454,3
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	79,78%	77,35%	75,74%	76,57%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	100,6%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78		

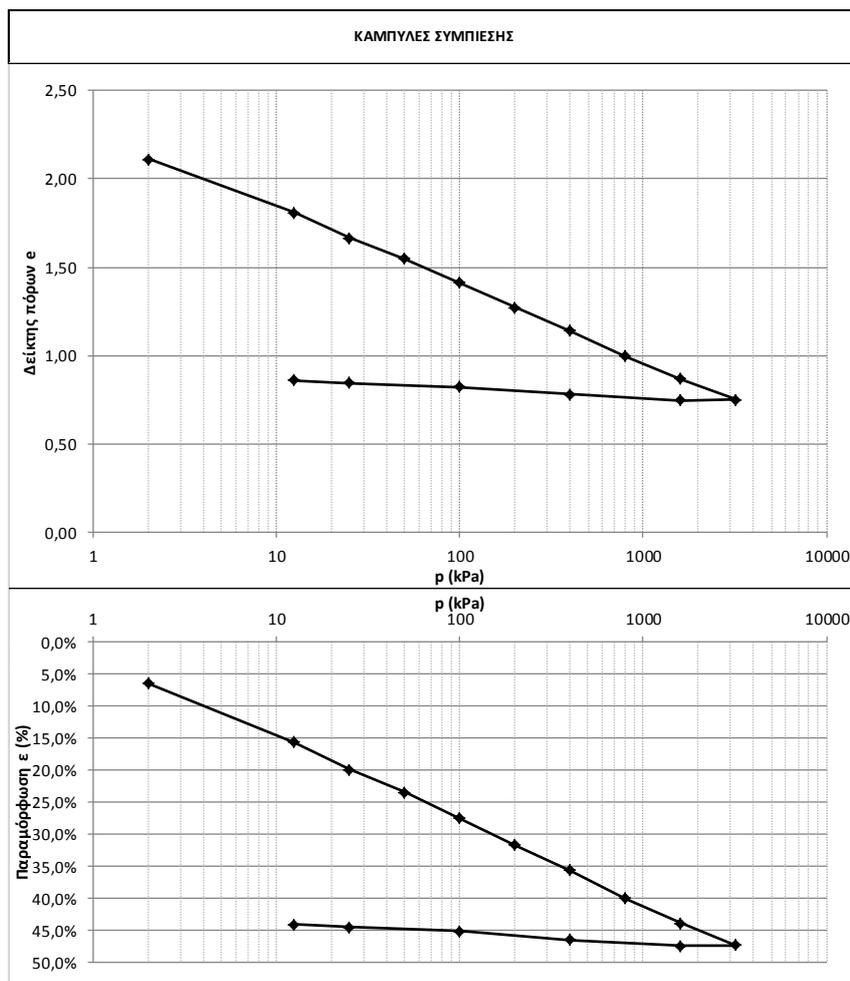


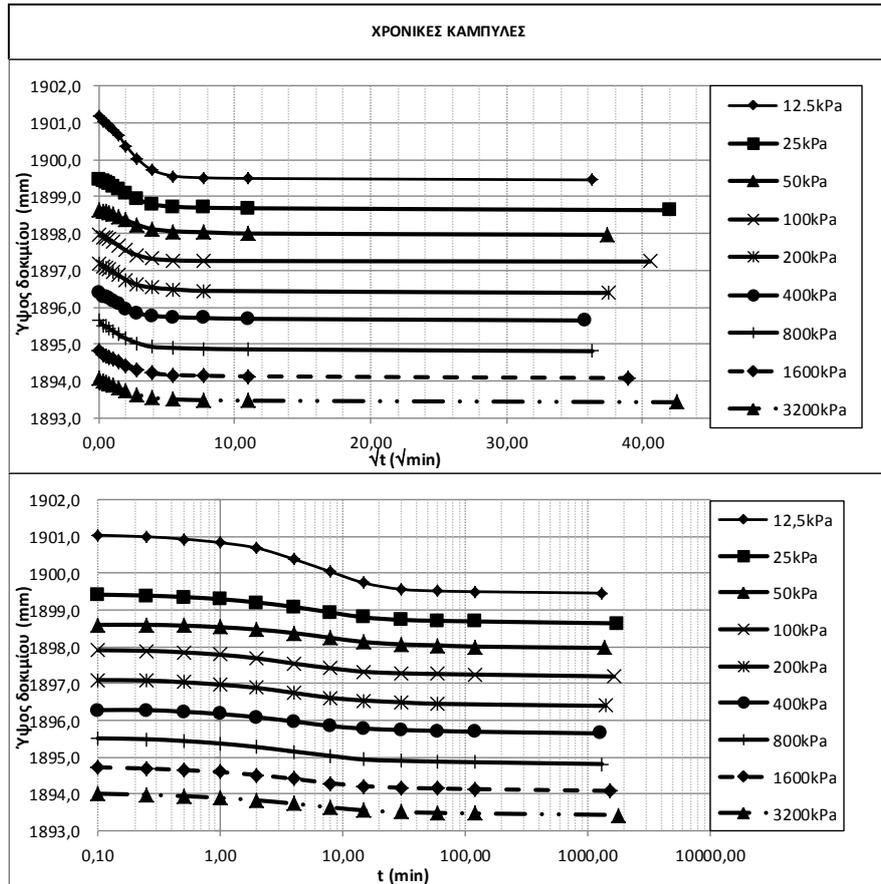


ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-		
ΘΕΣΗ:	2			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,23		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	26/3/2012		
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	14/4/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	2	120	118		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	267,82	91,48	82,96		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		68,22	61,28		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,86	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	154,38	37,57	33,06		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,55	
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	50,45	23,26	21,68		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,59	
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	113,44	53,91	49,90		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,31	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	62,99	30,65	28,22		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,23	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	80,09%	75,89%	76,82%	76,57%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	100,2%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78		



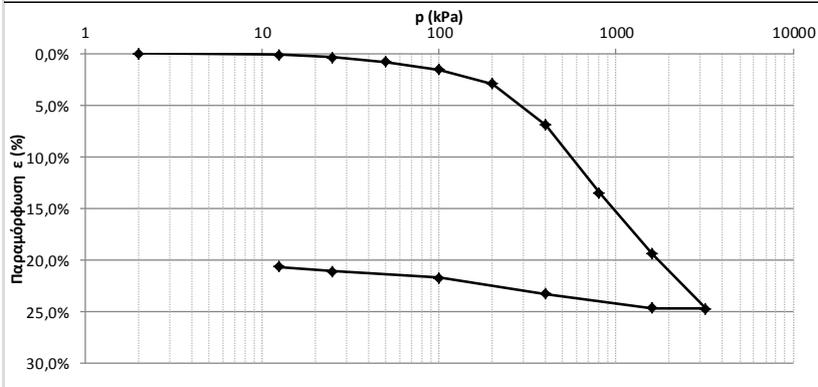
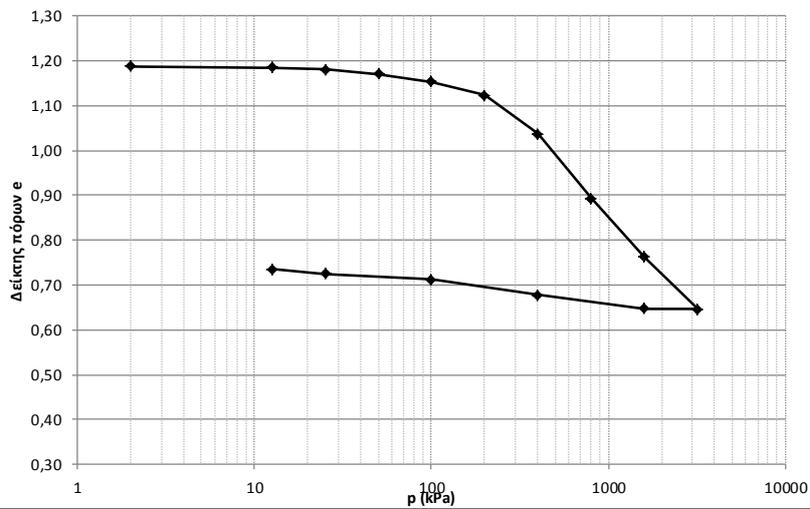
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ		-	
ΘΕΣΗ:	6		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ		2,33	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ		26/3/2012	
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ		14/4/2012	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)			ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ			TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	6	115	114		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	271,57	76,13	79,30		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	0,00	59,44	60,74		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,83
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	160,60	37,68	36,61		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,52
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	49,95	16,69	18,56		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,57
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	110,97	38,45	42,69		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,33
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	61,02	21,76	24,13		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,33
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	81,86%	76,70%	76,92%	76,57%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	97,8%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78	



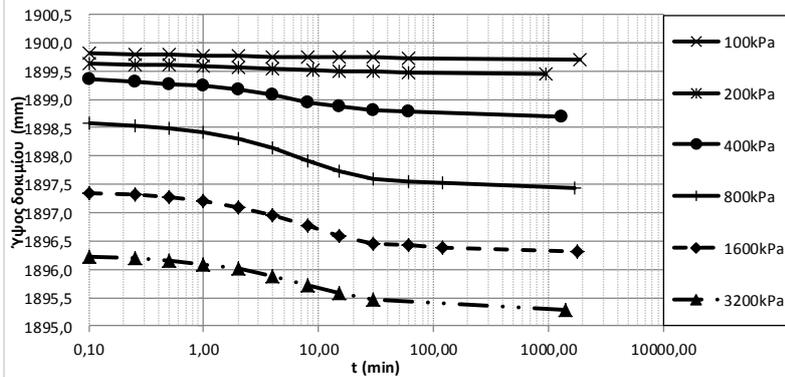
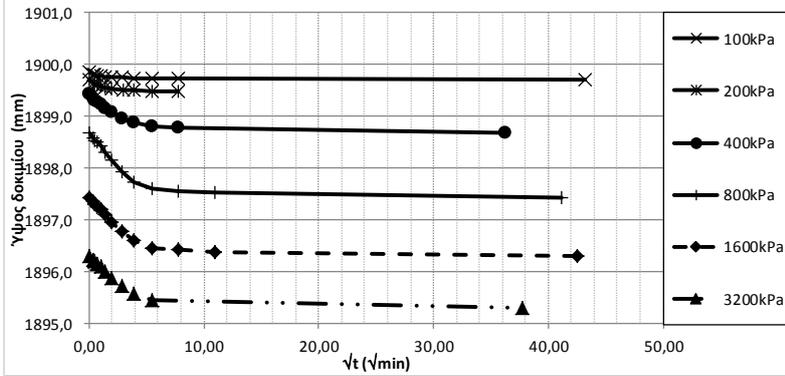


ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa		
ΘΕΣΗ:	4		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,19		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	CH		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	5/6/2012		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	2 μήνες		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	24/6/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	4	526	514		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	215,47	92,24	88,56		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		74,03	70,95		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,27
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	82,41	29,63	28,20		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,82
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	40,14	18,21	17,61		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,87
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	133,06	62,61	60,36		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,03
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	92,92	44,40	42,75		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,19
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	43,20%	41,01%	41,19%	40,90%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	101,3%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78	

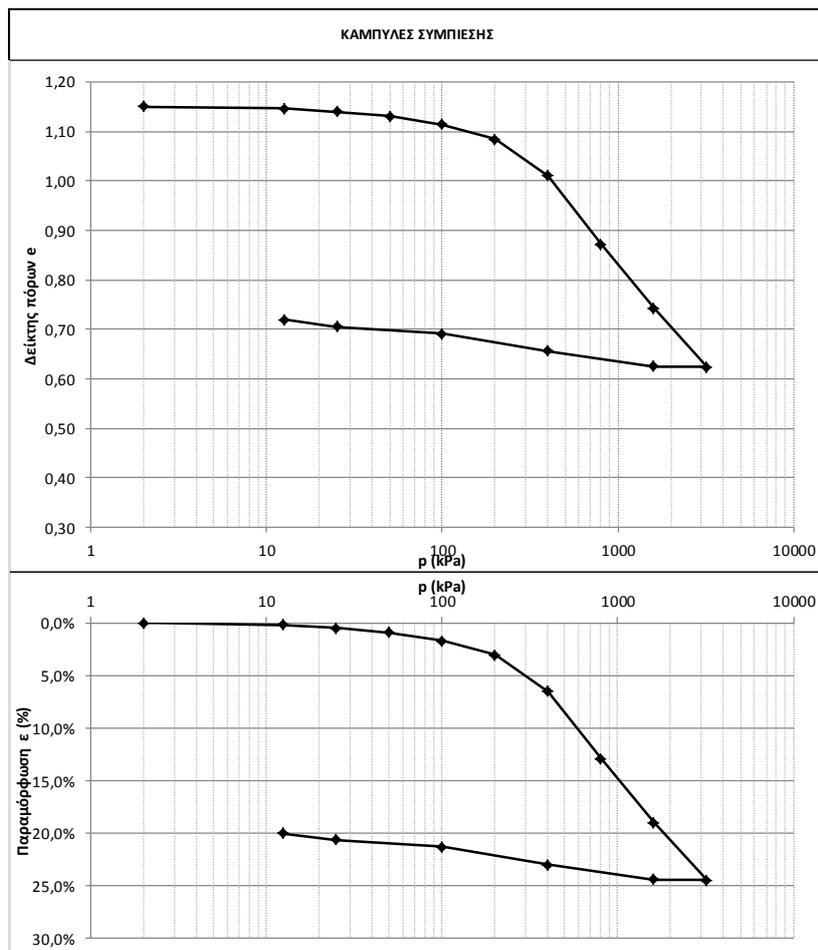
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

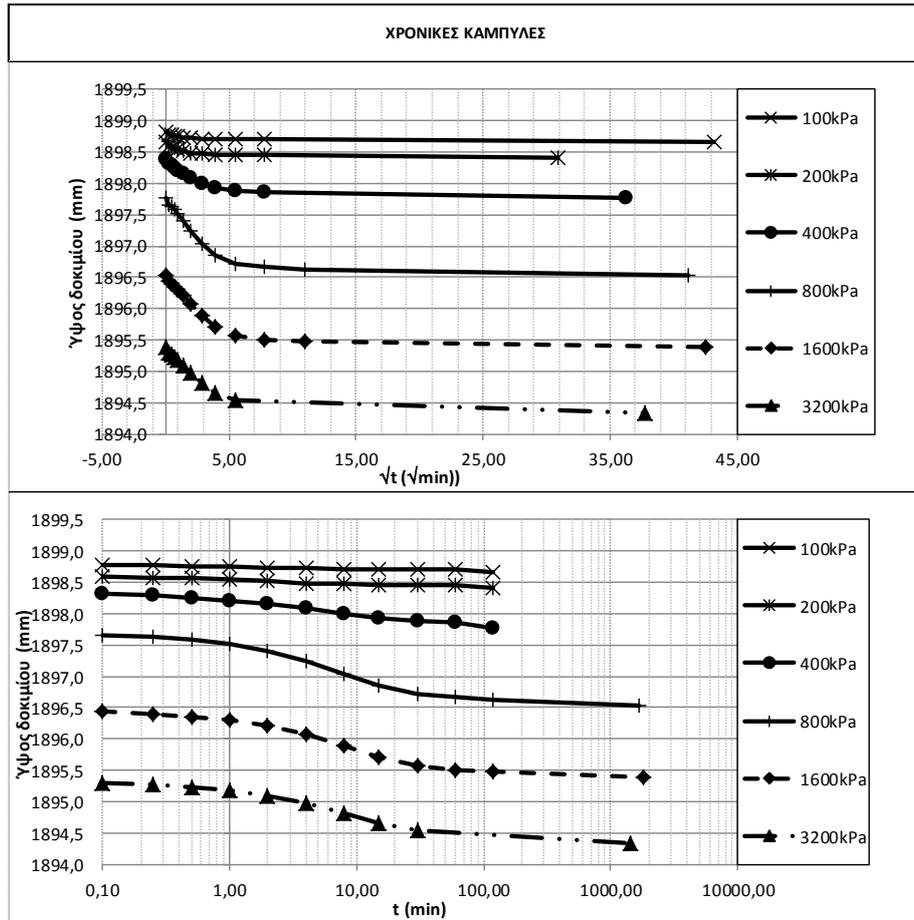


ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

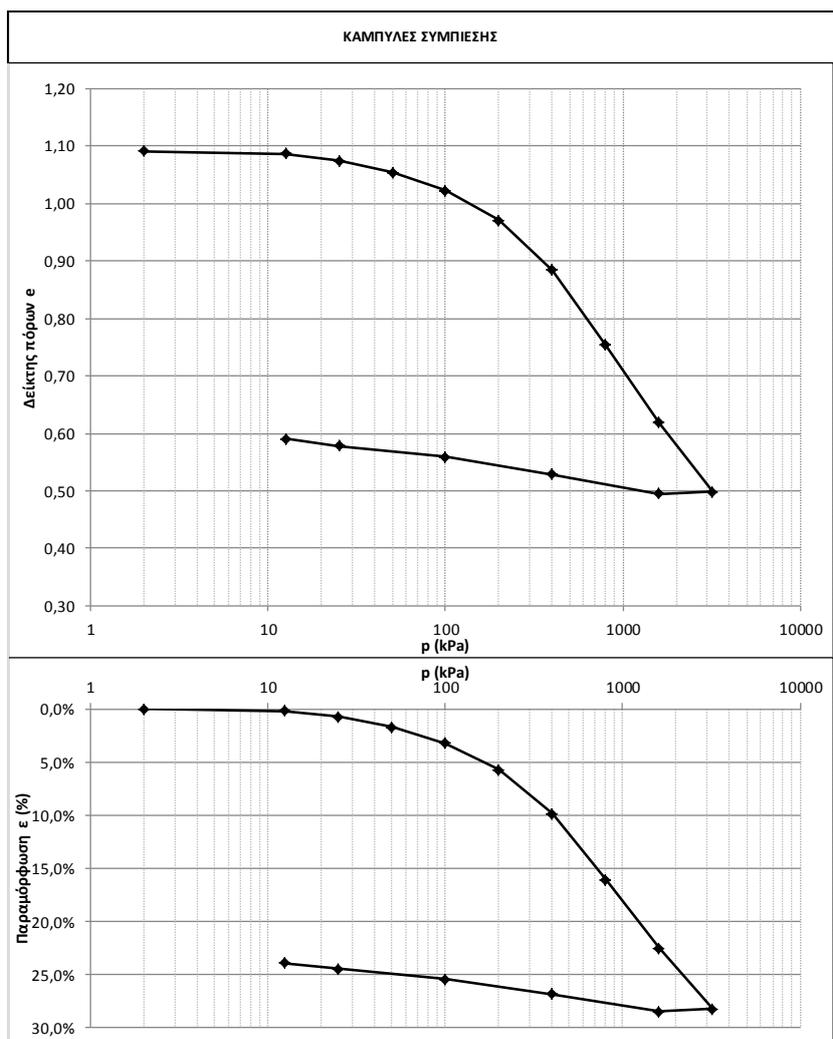


ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa	
ΘΕΣΗ:	5			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,15	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	CH			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	5/6/2012	
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	2 μήνες			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	24/6/2012	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	5	125	118		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	217,64	77,12	75,36		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		65,93	63,07		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,29
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,35	38,27	33,06		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,84
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	39,79	11,19	12,29		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,88
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	134,29	38,85	42,30		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,02
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	94,50	27,66	30,01		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,15
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	42,11%	40,46%	40,95%	40,90%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	101,9%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78	

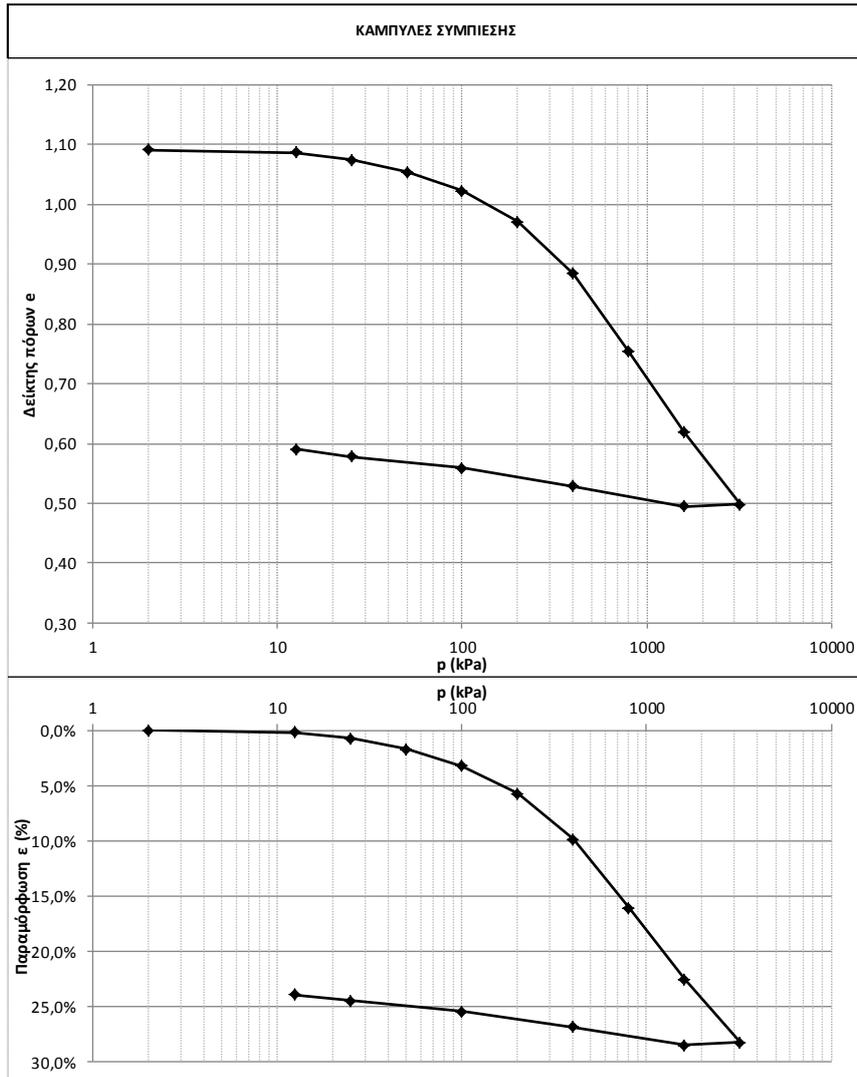




ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa		
ΘΕΣΗ:	1		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,09		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	26/6/2012		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	3 ΜΗΝΕΣ		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	14/6/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	1	115	112		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	221,47	96,03	82,32		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		78,91	69,13		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,33
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	93,36	37,63	37,42		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,75
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΟΥΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	30,75	17,12	13,19		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,91
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	128,11	58,40	44,90		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	0,99
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	31,58%	41,47%	41,60%	41,32%	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,09
					ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	80,9%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78	



ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ									
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa					
ΘΕΣΗ:	2		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,09					
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	26/6/2012					
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	3 ΜΗΝΕΣ		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	14/6/2012					
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP			
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11	0,0	
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0			
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	2	526	514		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11	0,0	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	223,25	92,24	88,56		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12			
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		74,03	70,95		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,33			
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,82	29,63	28,20		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,91	Δh (readings)	0,0	
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΓΥΟΜΕΝΟΥ	42,19	18,21	17,61		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,91			
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	139,43	62,61	60,36		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	0,99			
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	97,24	44,40	42,75		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,09			
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	43,39%	41,01%	41,19%	41,32%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	110,8%			
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78				

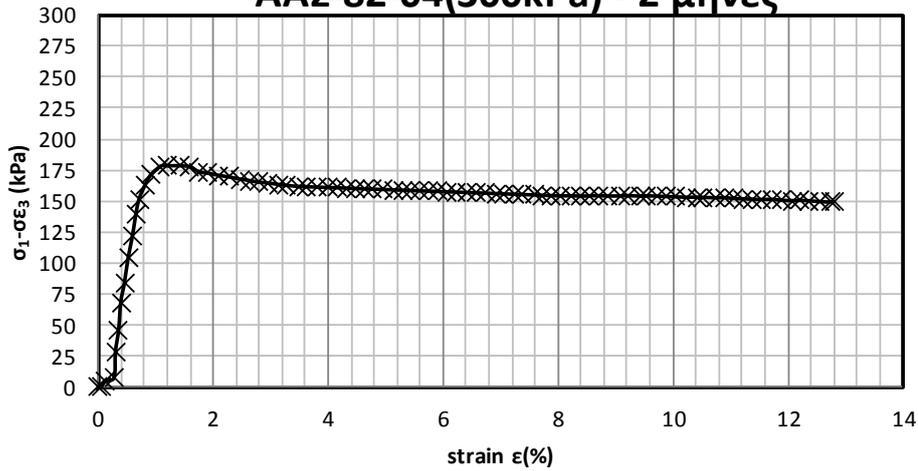


ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	1 ΜΗΝΑΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,203	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,29
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	44,3	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,82
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			74,42

ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	1 ΜΗΝΑΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,204	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,29
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	44,5	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,85
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			76,83

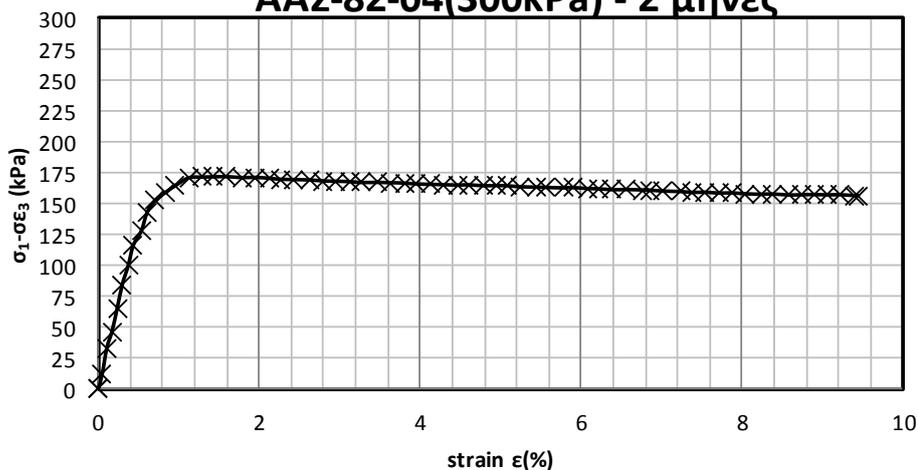
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	2 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN824321	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,194	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,27
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	41,06	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,78
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			89,19

**UC Triaxial test
ΑΑΣ-82-04(300kPa) - 2 μήνες**



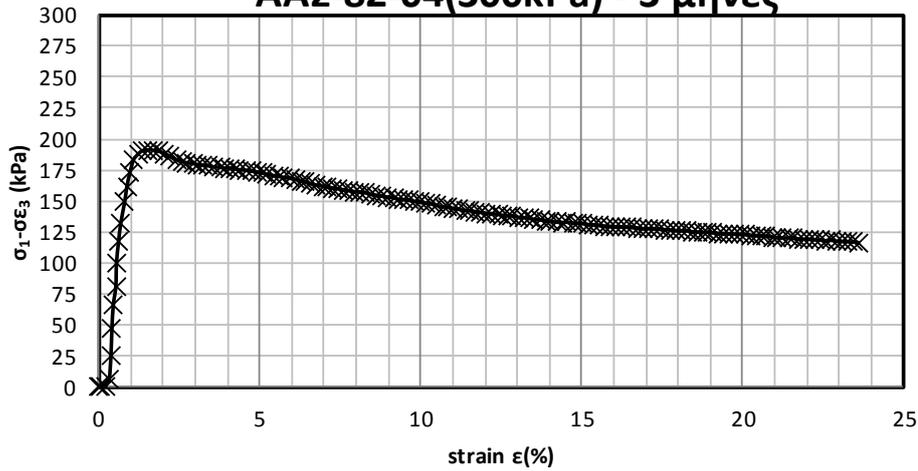
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	2 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN824322	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,197	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,27
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	41,54	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,79
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			86,02

**UC Triaxial test
ΑΑΣ-82-04(300kPa) - 2 μήνες**



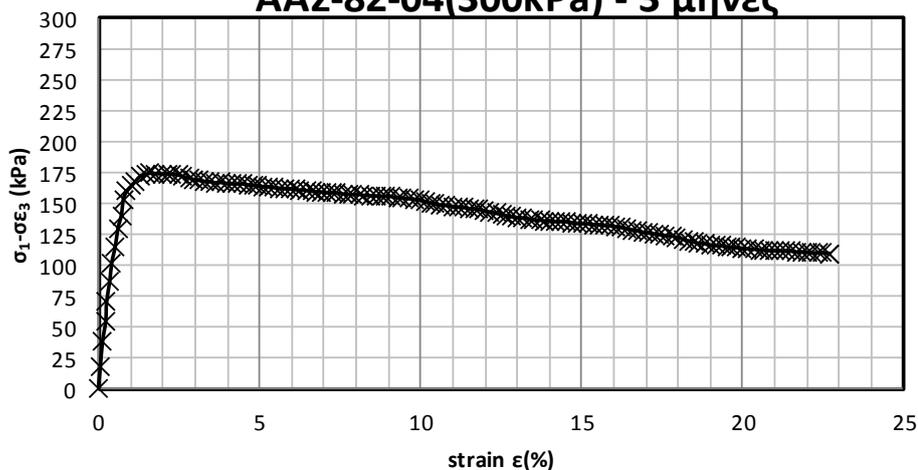
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	3 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN824331	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,185	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,26
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	41,29	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,78
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			95,57

**UC Triaxial test
ΑΑΣ-82-04(300kPa) - 3 μήνες**



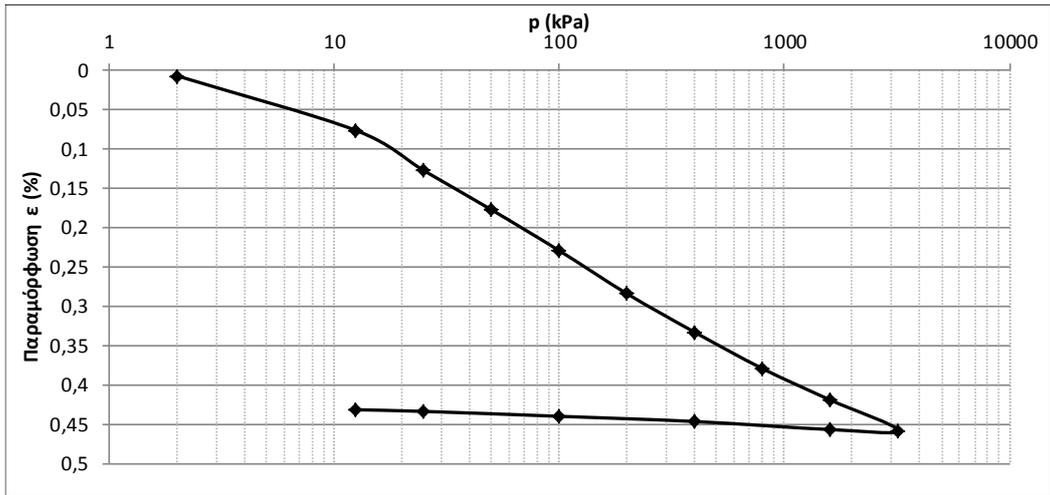
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-82-04	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	3 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN824332	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,19	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,26
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	41,93	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,78
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			97,39

**UC Triaxial test
ΑΑΣ-82-04(300kPa) - 3 μήνες**

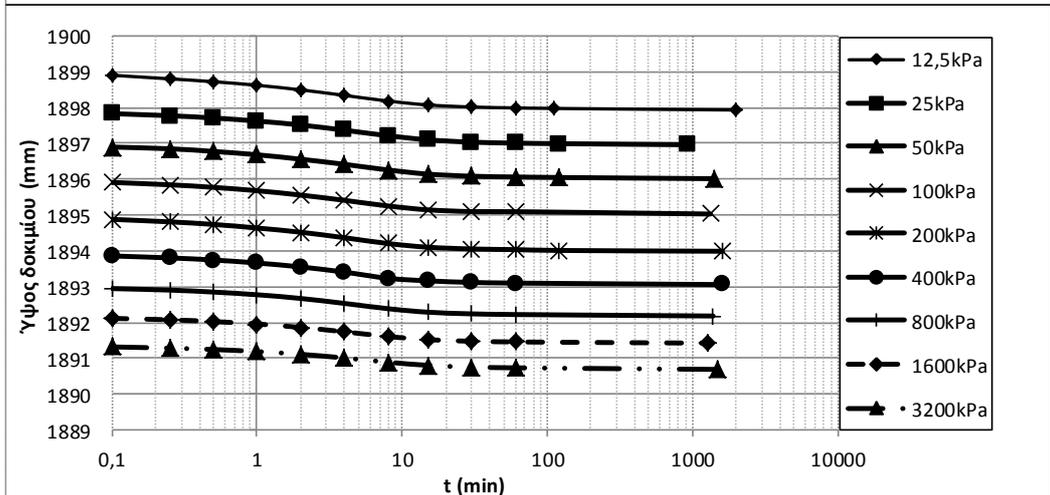
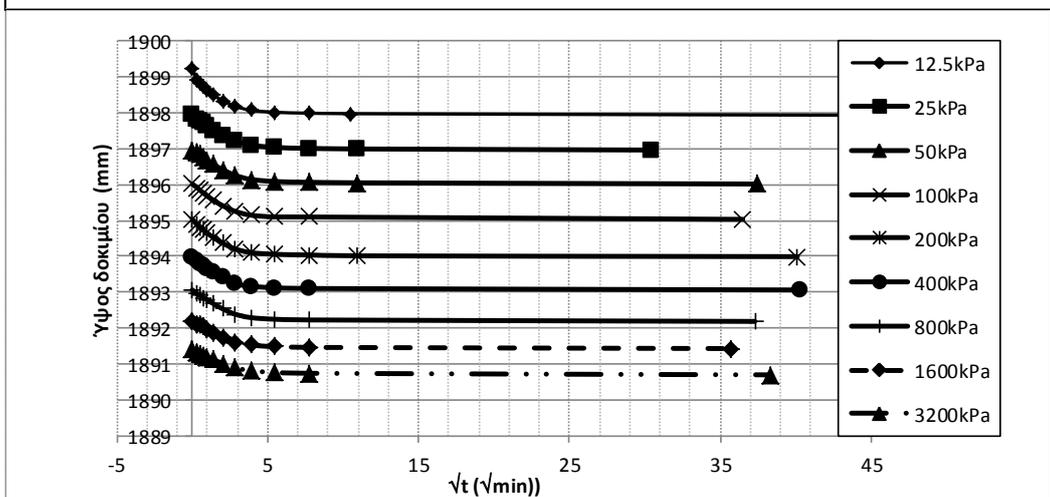


ΑΑΣ-85-06

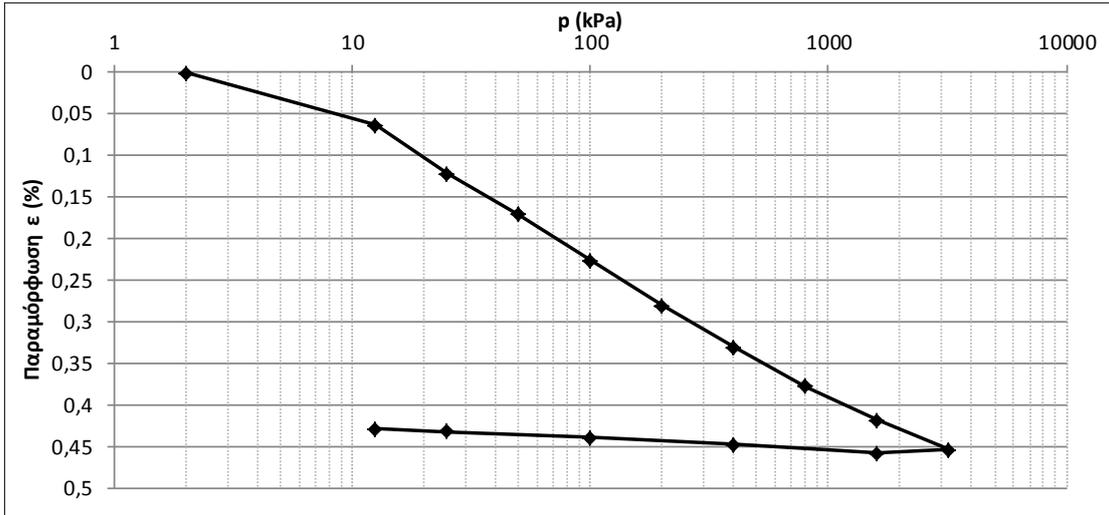
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ																																							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ		-																																		
ΘΕΣΗ:	1		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ		2,30																																		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	-		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ		19/12/2011																																		
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ		5/1/2012																																		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)			ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ			TOP CAP																																	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9																																	
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0																																	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	1	113	114		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48																																	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	270,21	72,27	74,33		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12																																	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		57,43	58,40		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,84																																	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	161,88	37,03	36,61		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,48																																	
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	46,75	14,84	15,93		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,58																																	
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	108,33	35,24	37,72		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,32																																	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	61,58	20,40	21,79		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,30																																	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	75,92%	72,75%	73,11%	72,93%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	91,9%																																	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78																																		
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ																																							
<table border="1"> <caption>Data points estimated from the compression curves graph</caption> <thead> <tr> <th>Pressure p (kPa)</th> <th>Porosity e (Series 1)</th> <th>Porosity e (Series 2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>2.3</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>2.1</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>1.9</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>1.7</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1.55</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>1.4</td> <td>0.88</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>1.2</td> <td>0.85</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>1.05</td> <td>0.82</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>0.95</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>5000</td> <td>0.85</td> <td>0.8</td> </tr> </tbody> </table>							Pressure p (kPa)	Porosity e (Series 1)	Porosity e (Series 2)	2	2.3	-	10	2.1	0.9	20	1.9	0.9	50	1.7	0.9	100	1.55	0.9	200	1.4	0.88	500	1.2	0.85	1000	1.05	0.82	2000	0.95	0.8	5000	0.85	0.8
Pressure p (kPa)	Porosity e (Series 1)	Porosity e (Series 2)																																					
2	2.3	-																																					
10	2.1	0.9																																					
20	1.9	0.9																																					
50	1.7	0.9																																					
100	1.55	0.9																																					
200	1.4	0.88																																					
500	1.2	0.85																																					
1000	1.05	0.82																																					
2000	0.95	0.8																																					
5000	0.85	0.8																																					



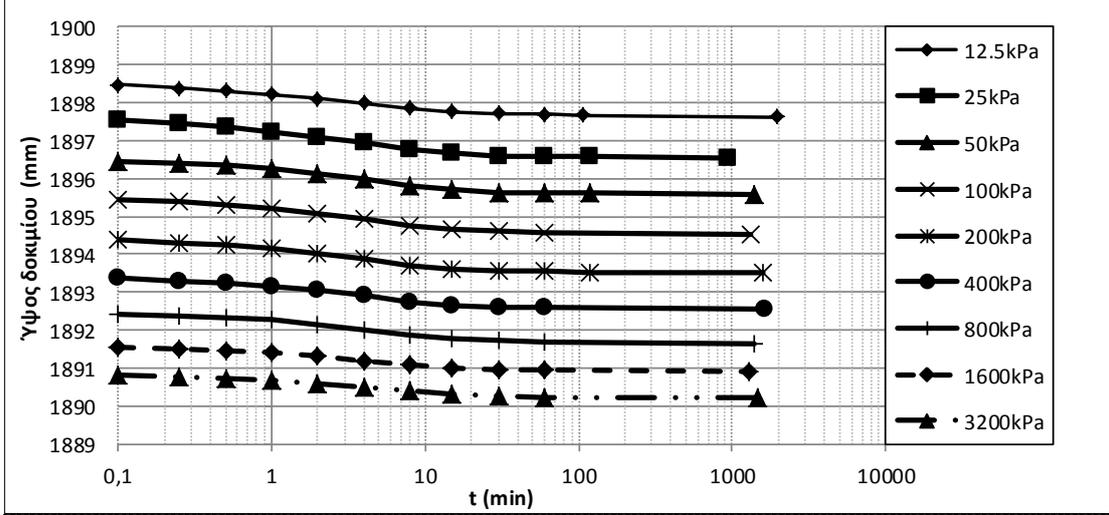
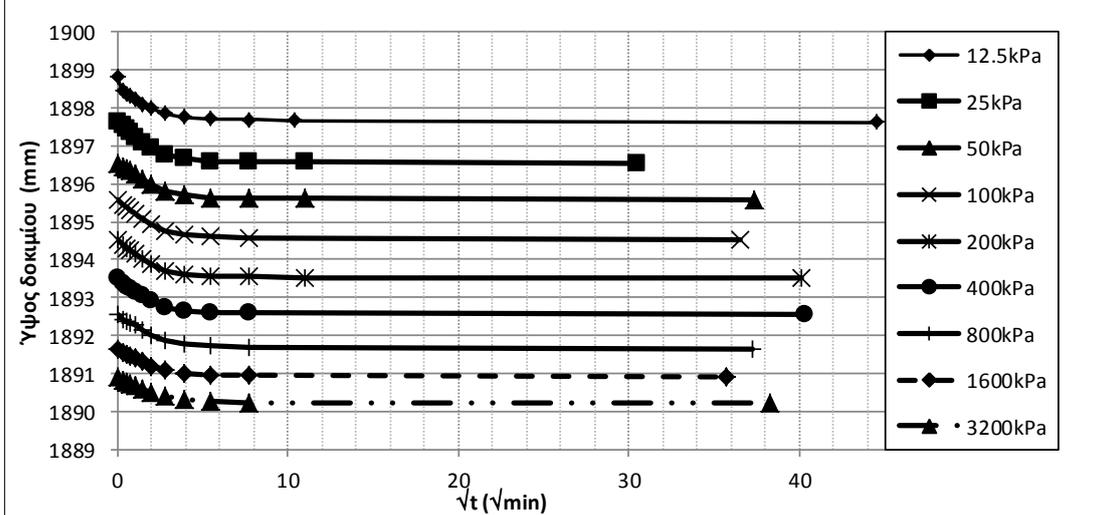
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



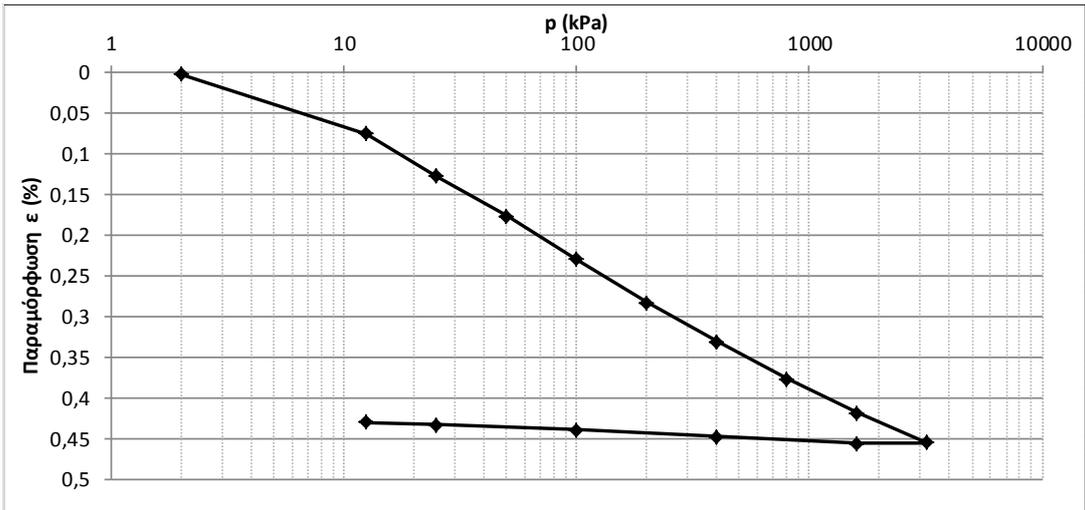
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-		
ΘΕΣΗ:	2			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,28		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	-			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	19/12/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	5/1/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	2	113	114		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	270,25	72,27	74,33		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		57,43	58,40		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,85	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	161,74	37,03	36,61		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,48	
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	46,54	14,84	15,93		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,58	14,2
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	108,51	35,24	37,72		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,32	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	61,97	20,40	21,79		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,28	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	75,10%	72,75%	73,11%	72,93%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	91,7%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)				2,78			
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ							



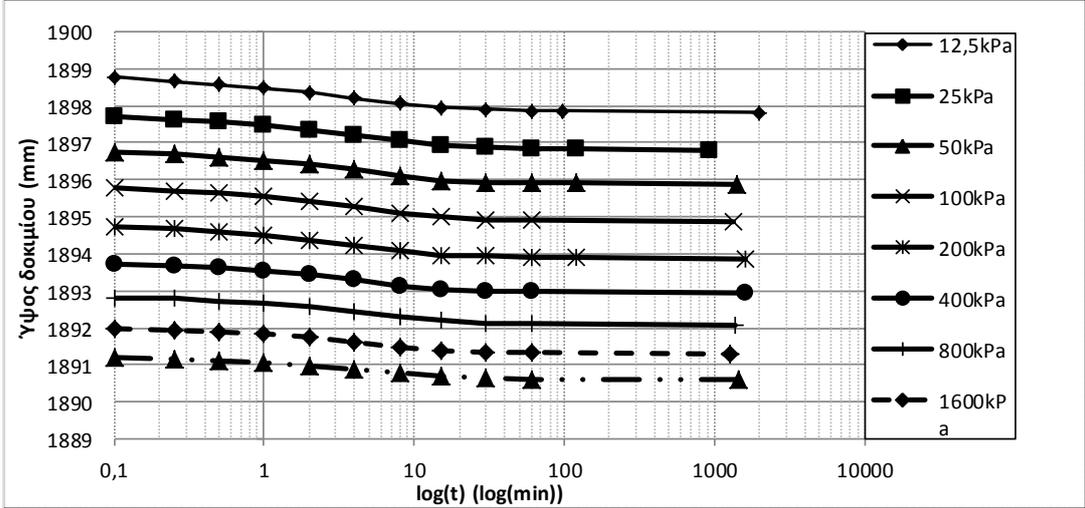
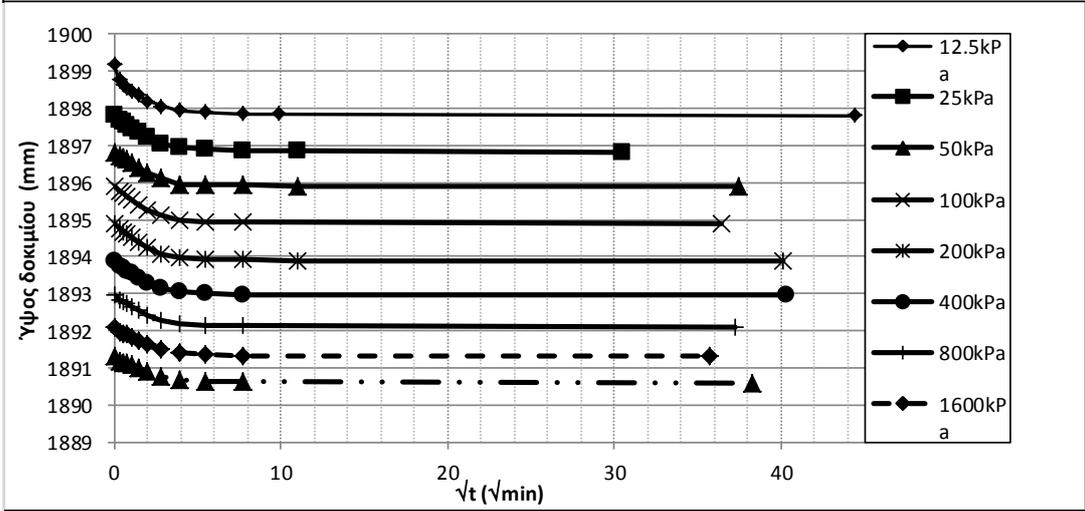
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-		
ΘΕΣΗ:	3			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,34		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	-			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	19/12/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	5/1/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	3	113	114		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	261,94	72,27	74,33		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		57,43	58,40		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,83	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	154,36	37,03	36,61		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,47	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	46,72	14,84	15,93		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,57	
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	107,58	35,24	37,72		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,33	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	60,86	20,40	21,79		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,34	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	76,77%	72,75%	73,11%	72,93%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	91,4%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78		
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ							

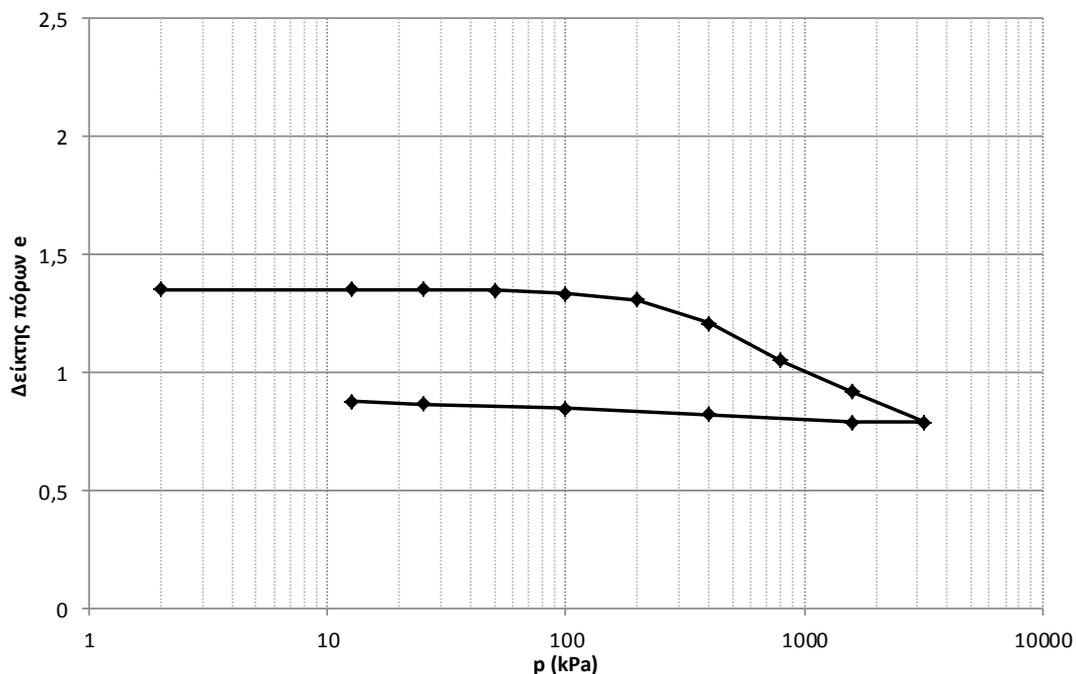


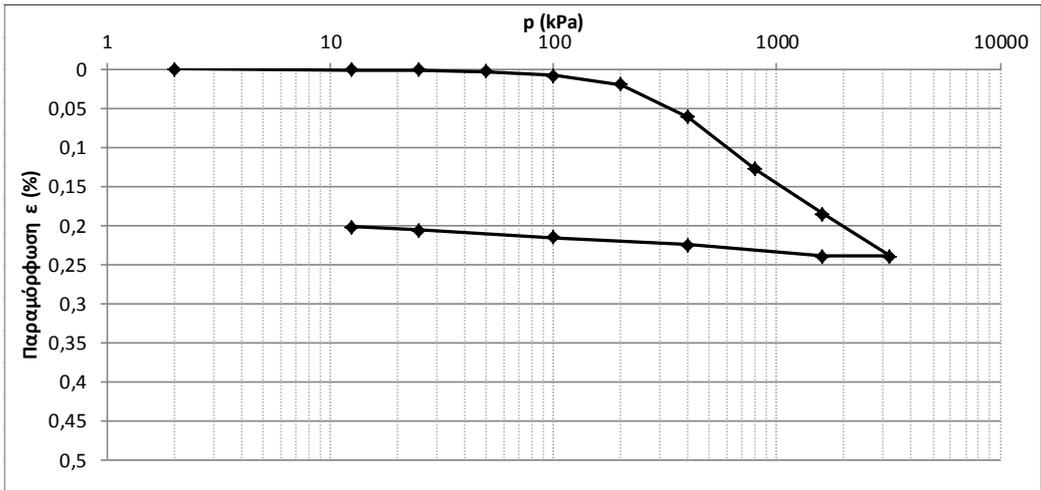
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



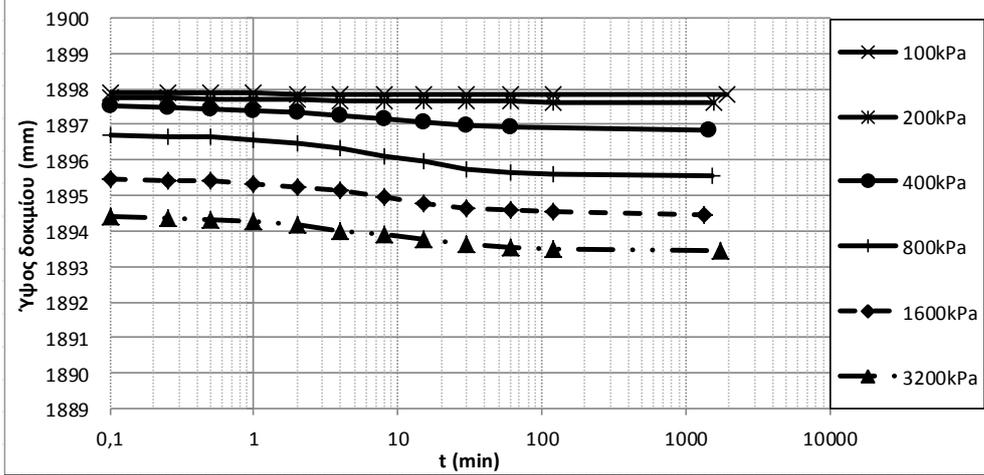
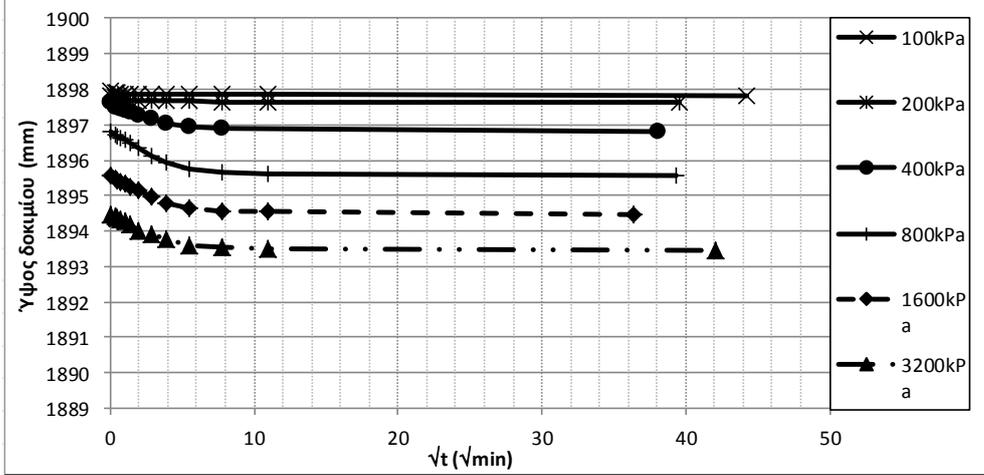
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa		
ΘΕΣΗ:	4		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,35		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	20/3/2012		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	1 μήνας		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	6/4/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	4	105	116		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	209,69	73,12	90,78		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		62,90	73,30		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,18
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	82,41	40,74	36,06		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,74
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	40,89	10,22	17,48		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,81
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	127,28	32,38	54,72		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,09
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	86,39	22,16	37,24		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,35
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	47,33%	46,12%	46,94%	45,88%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	97,4%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78	

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ



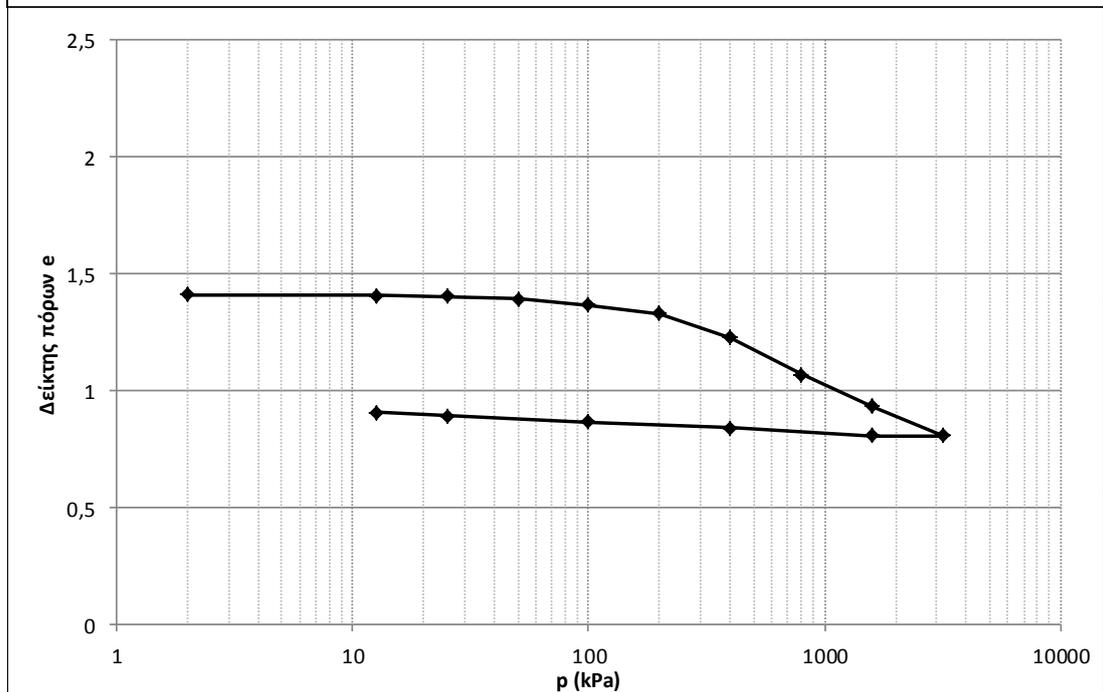


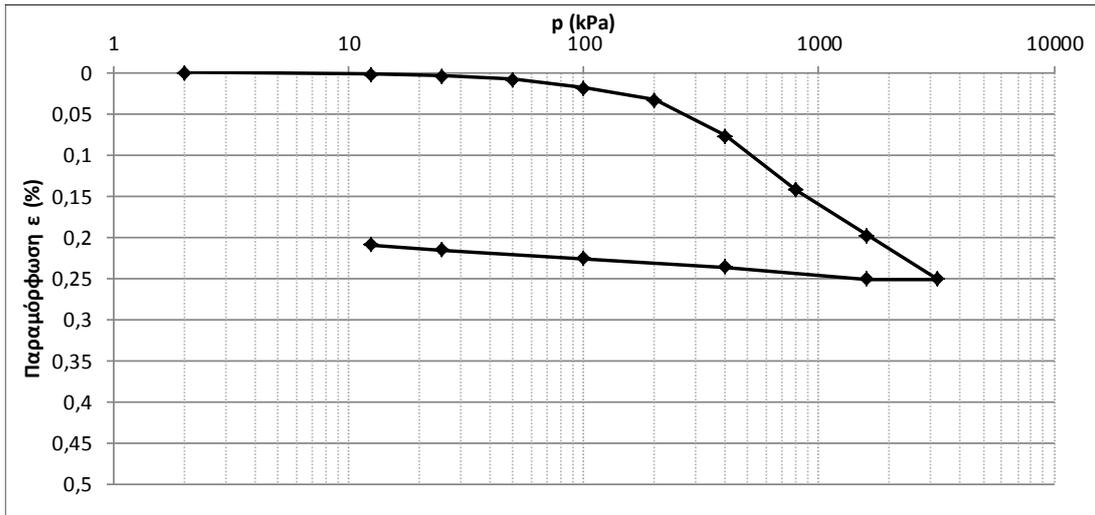
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



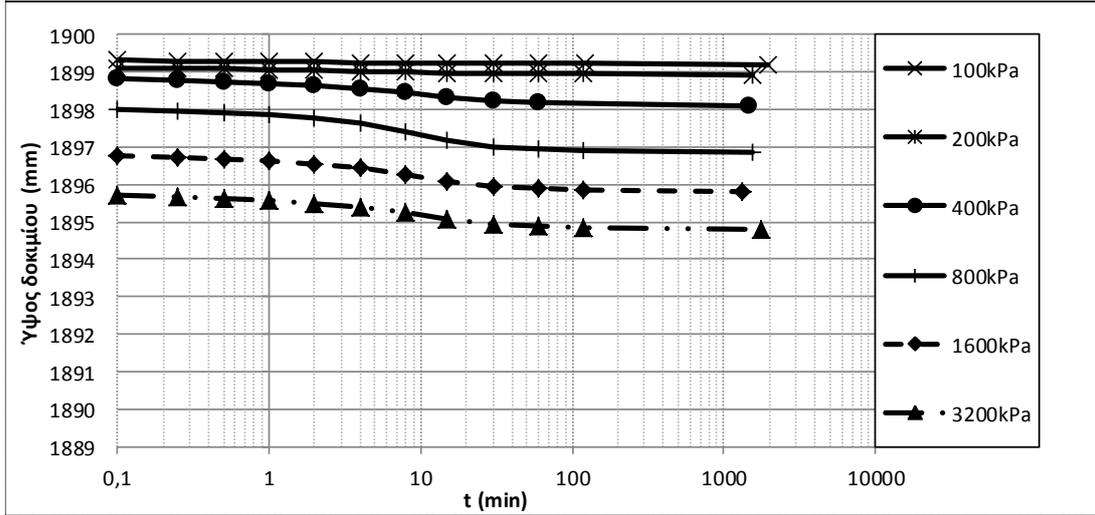
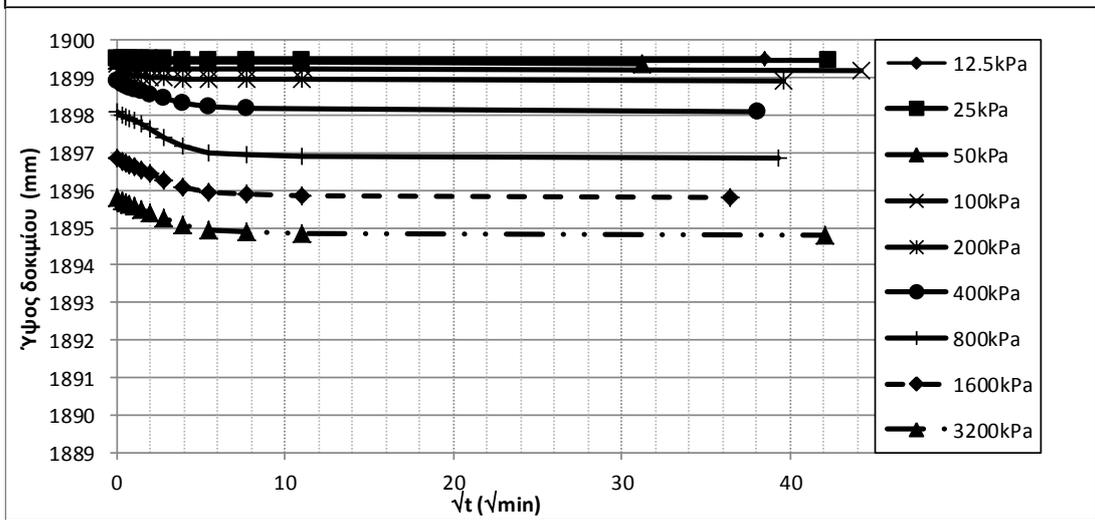
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa	
ΘΕΣΗ:	5			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,41	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	9/1/2012	
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	1 μήνας			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	6/4/2012	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	5	101	398		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	207,97	63,08	54,77		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		55,04	47,61		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,15
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,40	37,28	31,77		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,70
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	40,26	8,04	7,16		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,79
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	124,57	25,80	23,00		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,11
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	84,31	17,76	15,84		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,41
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	47,75%	45,27%	45,20%	45,88%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	94,2%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)				2,78		

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

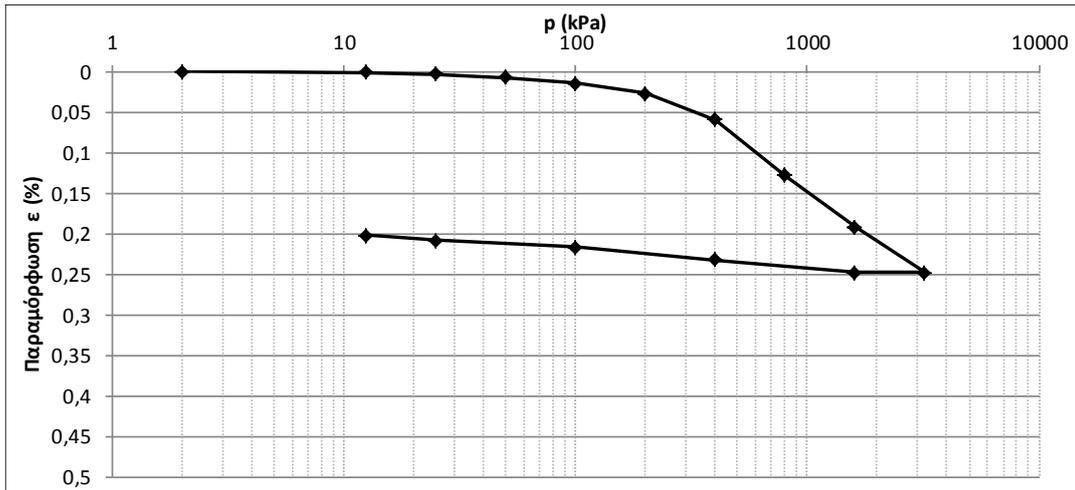




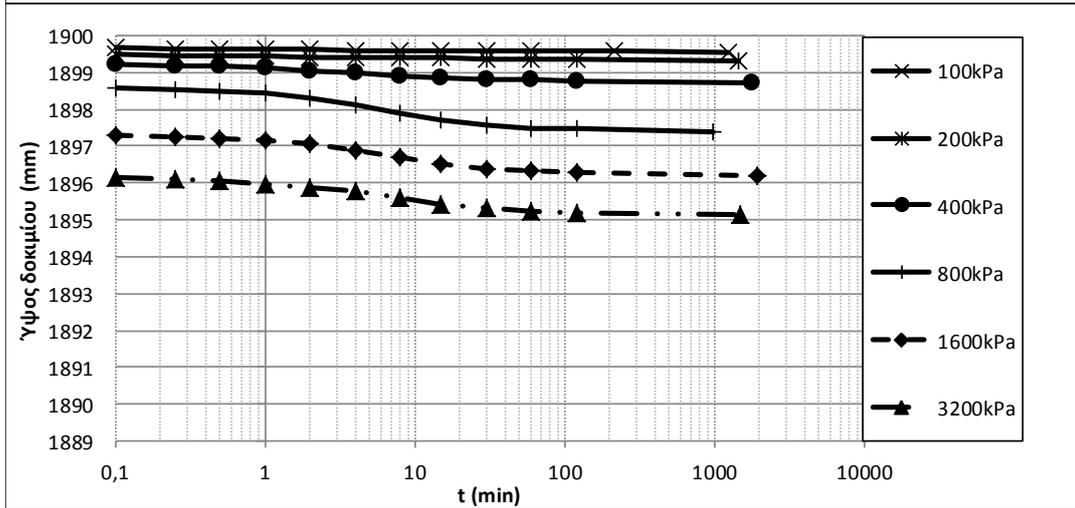
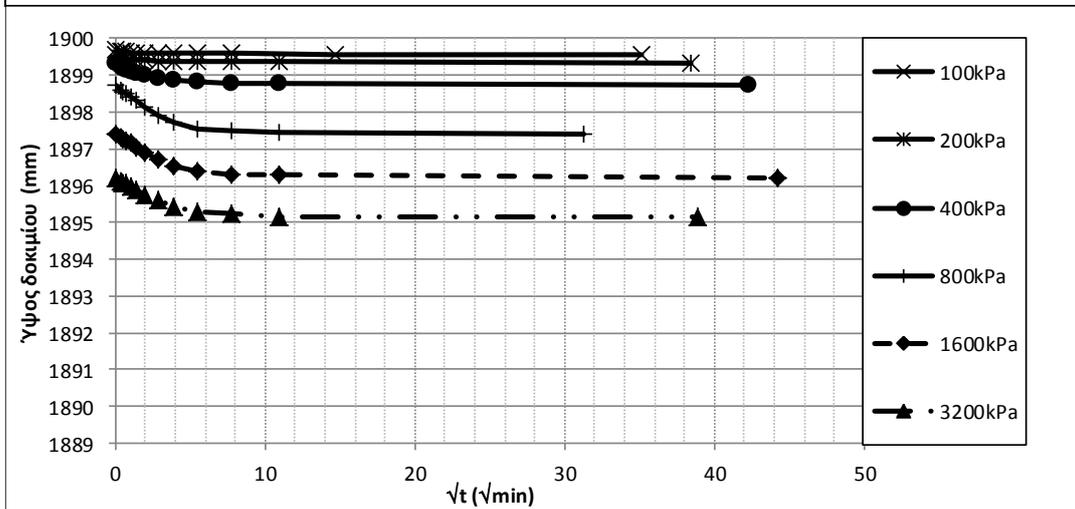
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

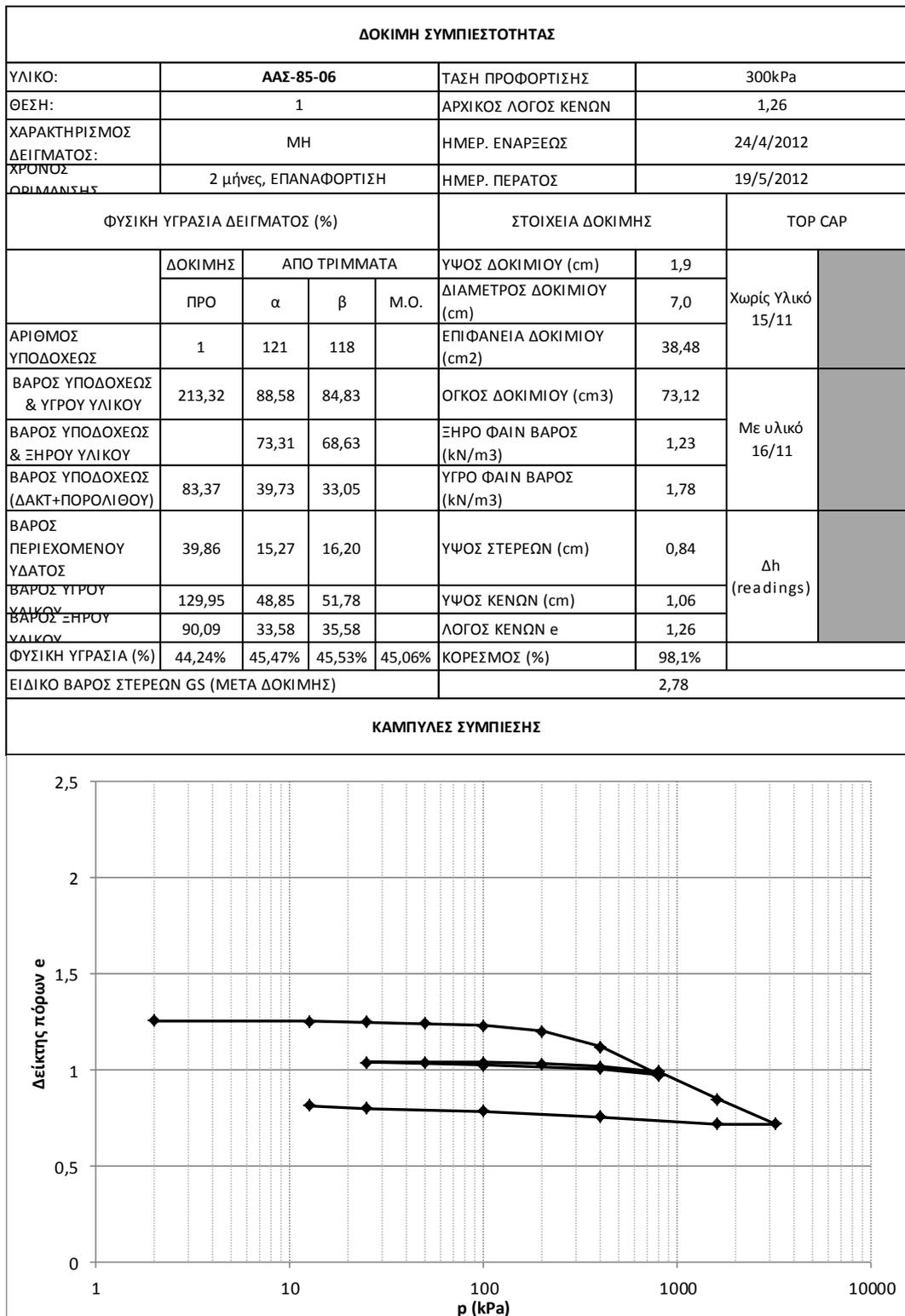


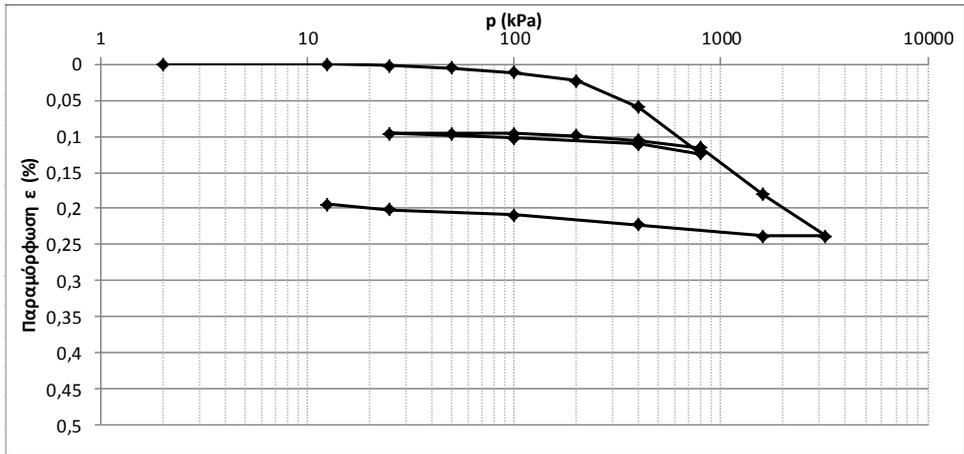
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa		
ΘΕΣΗ:	2		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,29		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	24/4/2012		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	2 μήνες		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	11/5/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	2	121	118		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	213,98	85,88	88,79		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		71,21	72,49		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,22
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,85	38,25	36,06		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,78
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	41,20	14,67	16,30		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,83
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	130,13	47,63	52,73		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,07
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	88,93	32,96	36,43		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,29
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	46,33%	44,51%	44,74%	45,06%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	100,3%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78	
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ						



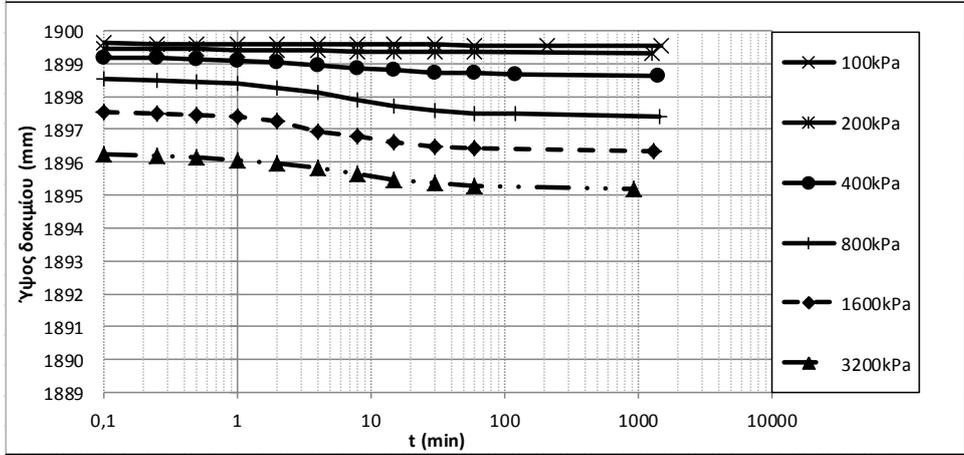
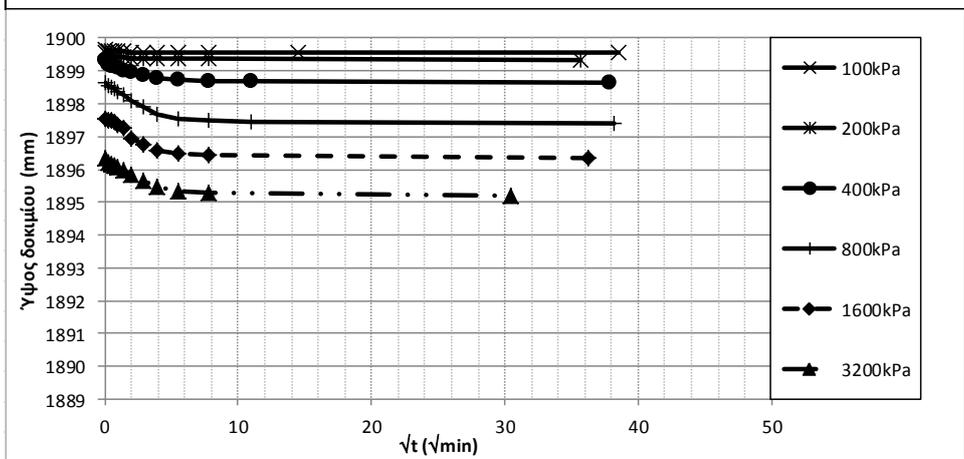
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



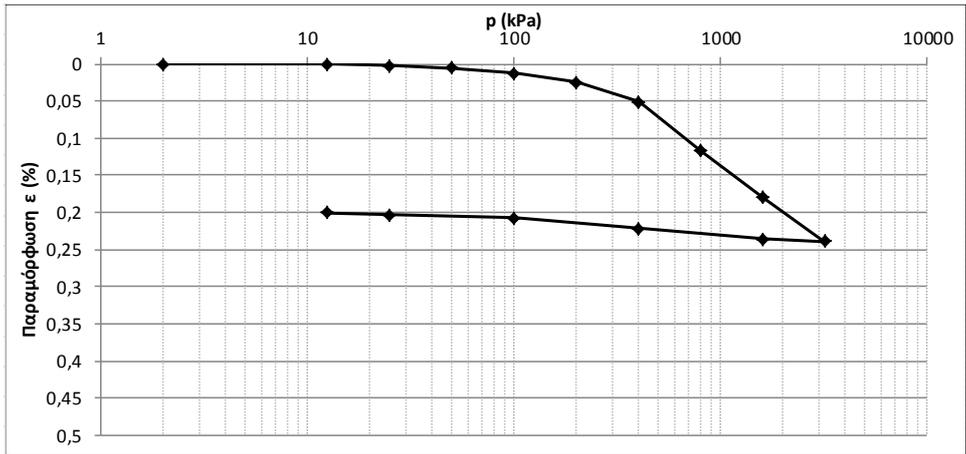




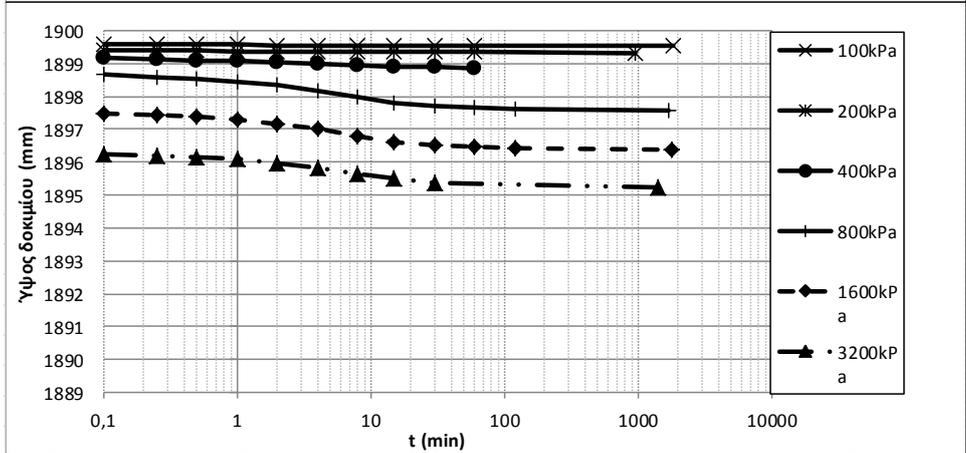
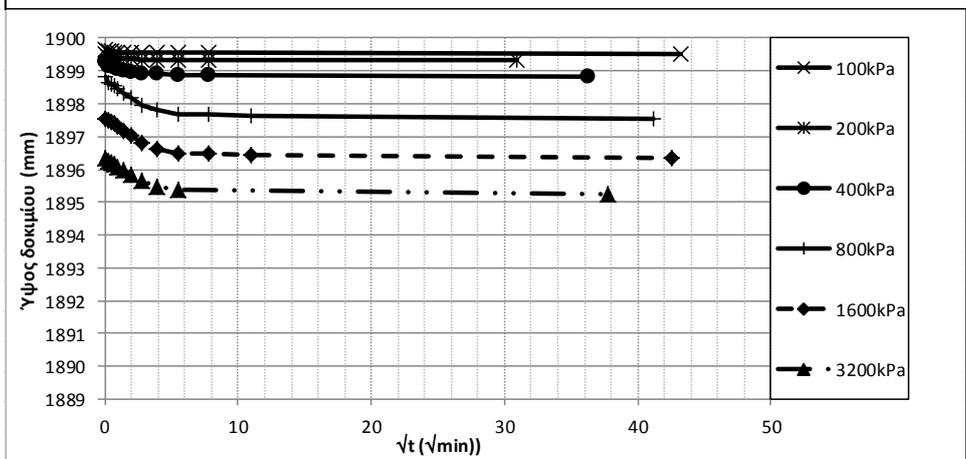
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



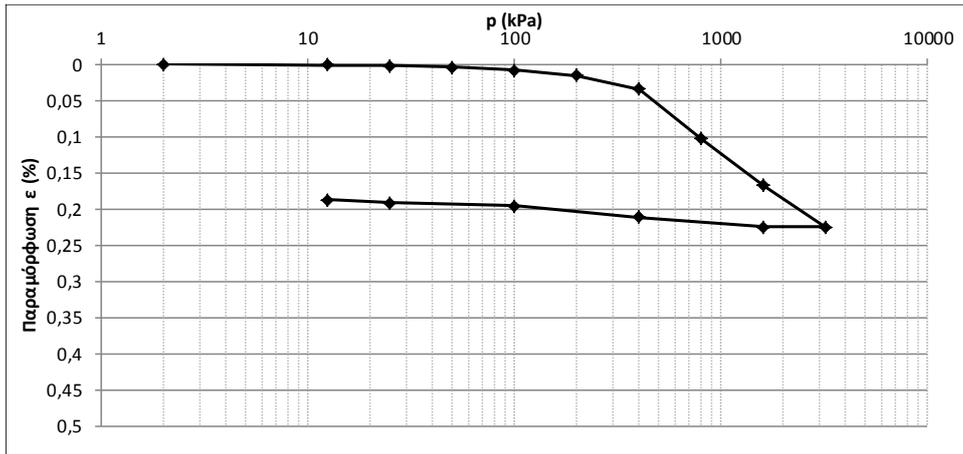
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa		
ΘΕΣΗ:	1		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,30		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	CH		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	5/6/2012		
ΧΡΟΝΟΣ ΦΟΡΜΑΝΣΗΣ	3 μήνες		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	24/6/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	2	113	129		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	211,57	141,49	137,76		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		109,27	107,00		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,22
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,81	37,03	37,38		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,78
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	40,26	32,22	30,76		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,83
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	127,76	104,46	100,38		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,07
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	87,50	72,24	69,62		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,30
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	46,01%	44,60%	44,18%	44,39%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	99,5%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78	
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ						



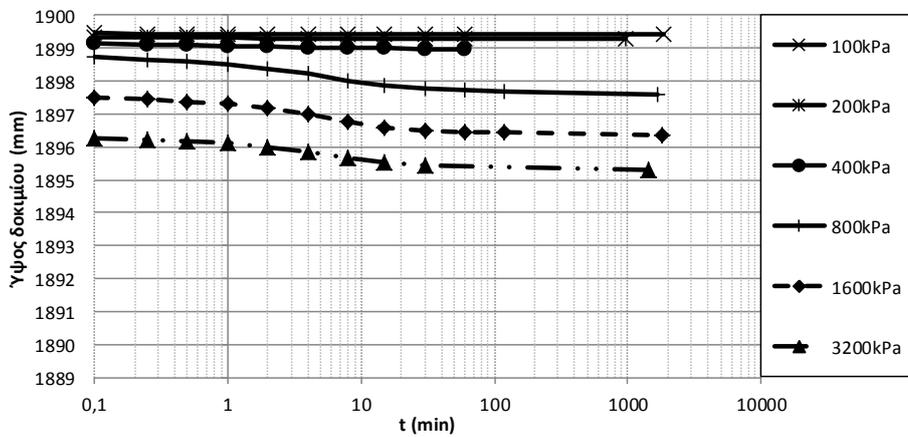
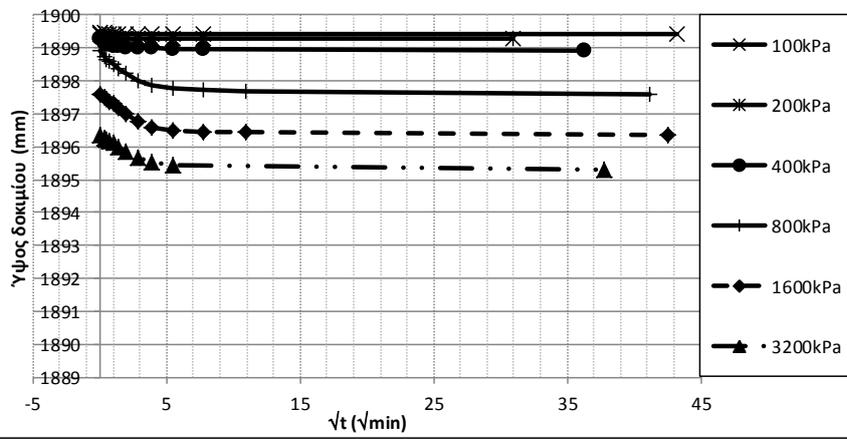
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



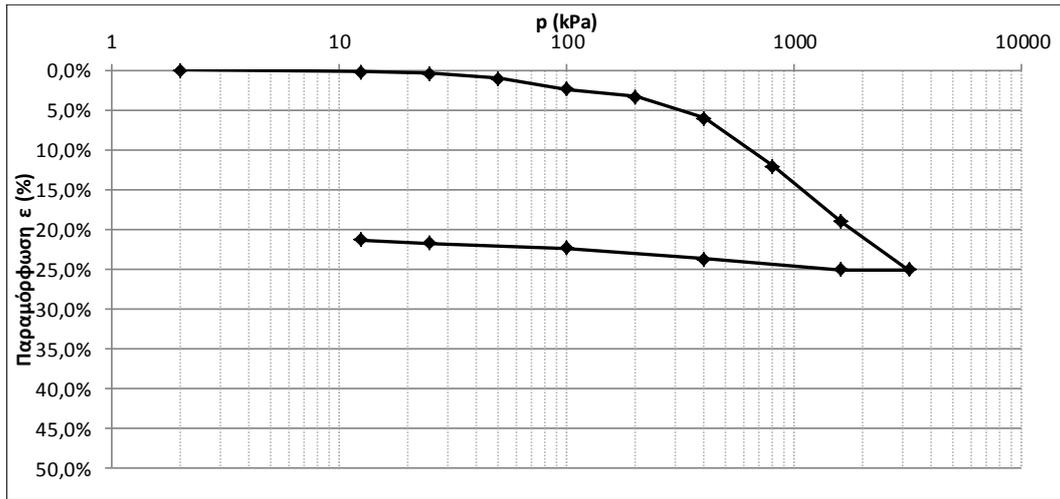
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa	
ΘΕΣΗ:	2			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,32	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	CH			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	5/6/2011	
ΧΡΟΝΟΣ ΦΟΡΜΑΝΣΗΣ	3 μήνες			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	24/6/2012	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	2	113	129		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	211,57	141,49	137,76		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		109,27	107,00		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,20
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,81	37,03	37,38		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,75
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	40,26	32,22	30,76		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,82
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	127,76	104,46	100,38		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,08
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	87,50	72,24	69,62		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,32
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	46,01%	44,60%	44,18%	44,39%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	96,8%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78	
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ						



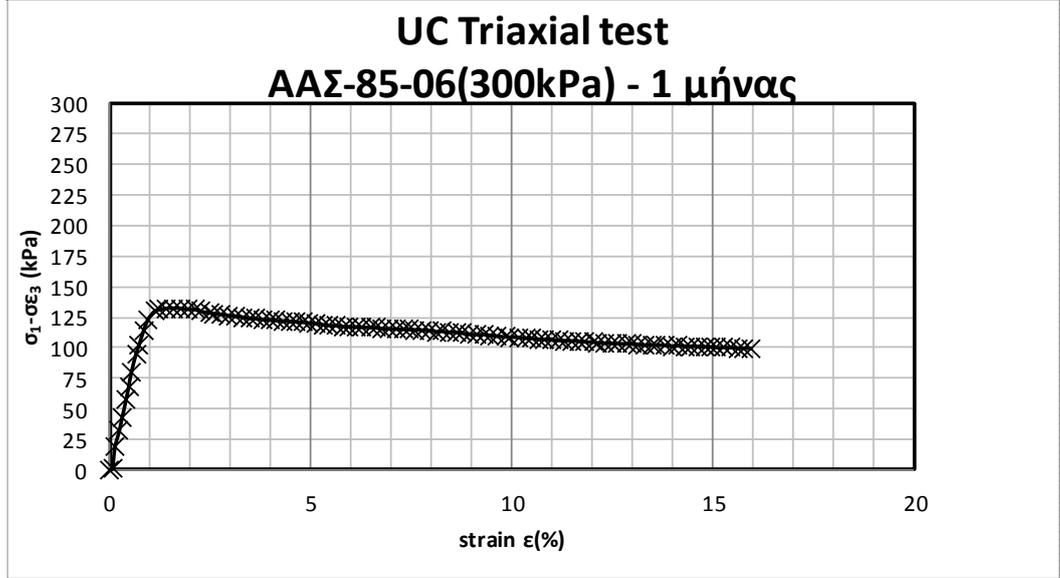
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



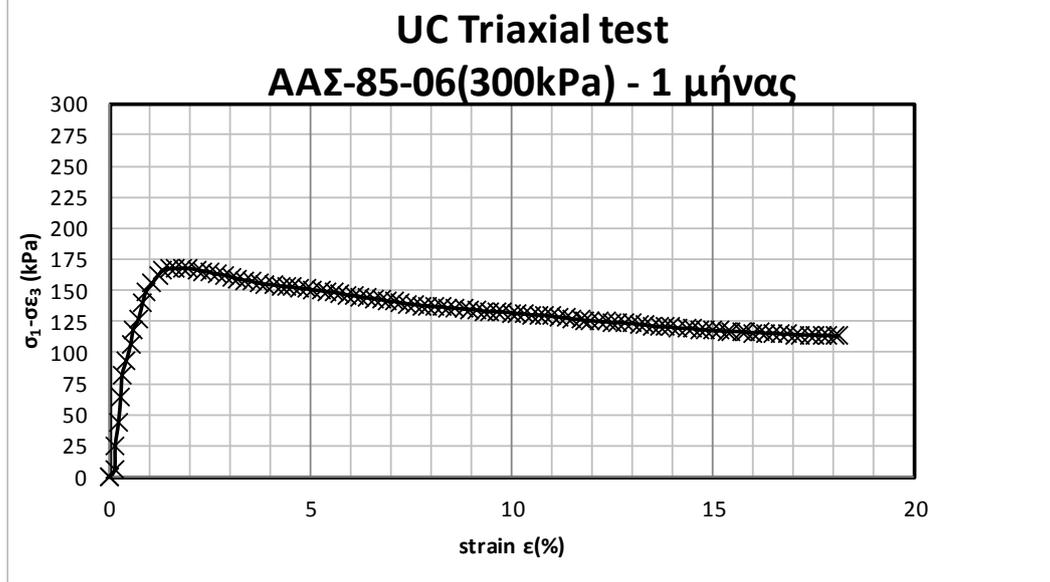
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa		
ΘΕΣΗ:	3		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,24		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	26/6/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΘΙΜΑΝΣΗΣ	4 μήνες		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	15/7/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	3	125	116		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	216,25	85,88	88,79		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		71,21	72,49		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,24
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,57	38,25	36,06		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,81
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	41,81	14,67	16,30		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,85
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	132,68	47,63	52,73		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,05
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	90,87	32,96	36,43		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,24
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	46,01%	44,51%	44,74%	45,06%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	103,6%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,78	
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ						



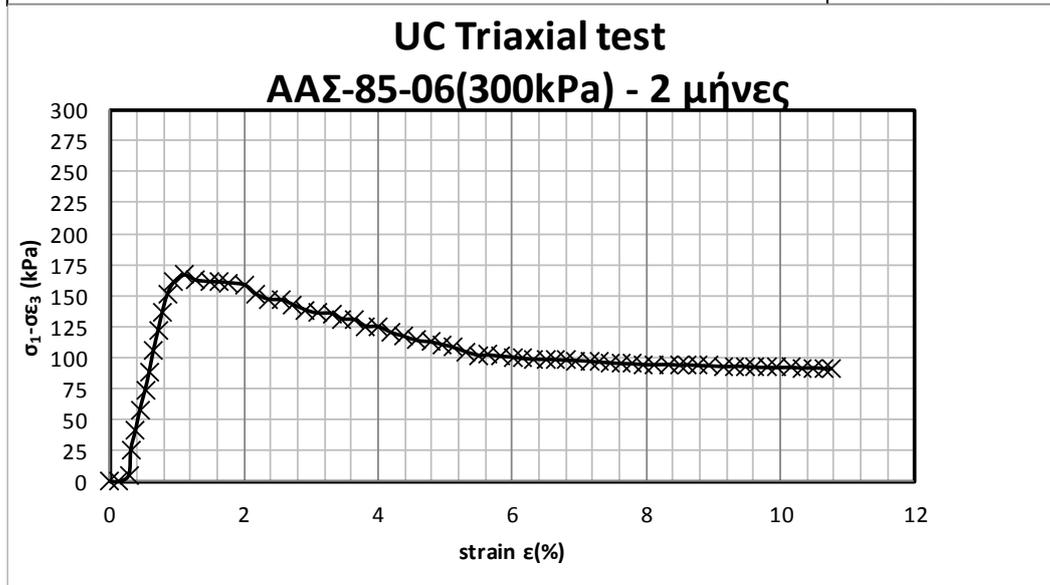
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	1 ΜΗΝΑΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN856311	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,32	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,198
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	45,42	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,74
ΑΣΤΡΑΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			86,13



ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	1 ΜΗΝΑΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN856312	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,32	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,202
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	45,04	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,74
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			86,90

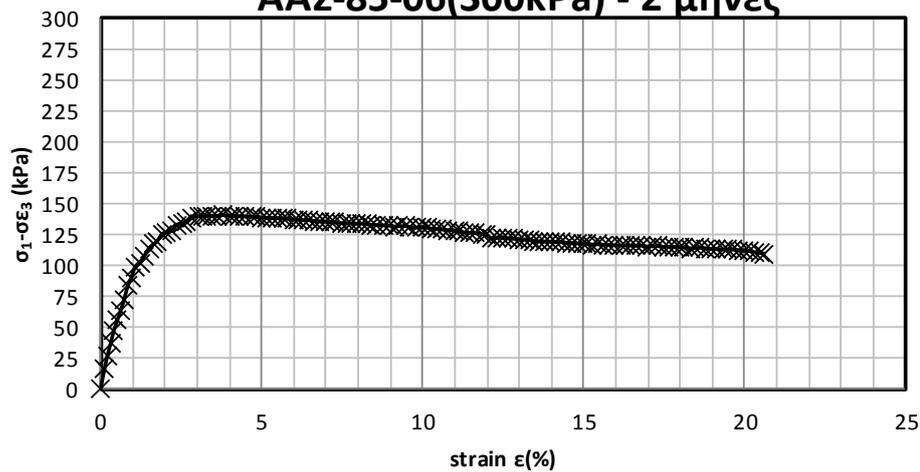


ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	2 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN856321	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,31	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,195
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	45,1	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,74
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			92,35



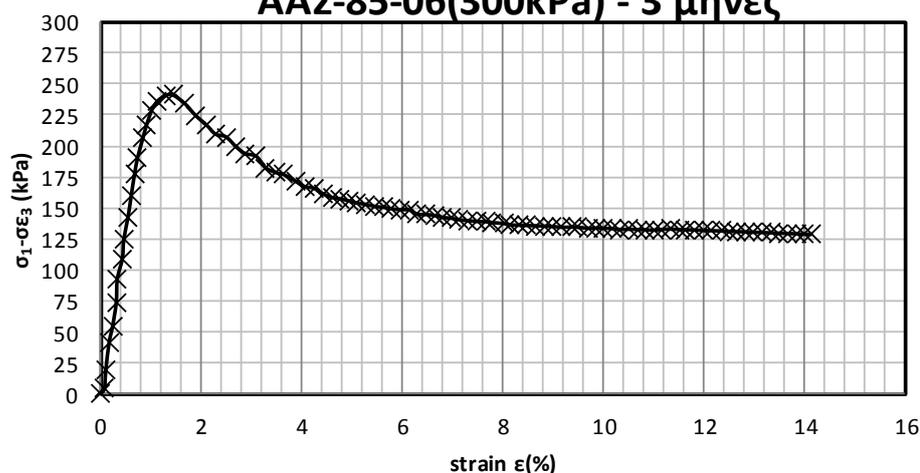
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	2 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN856322	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,31	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,195
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	44,97	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,74
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			95,47

UC Triaxial test ΑΑΣ-85-06(300kPa) - 2 μήνες

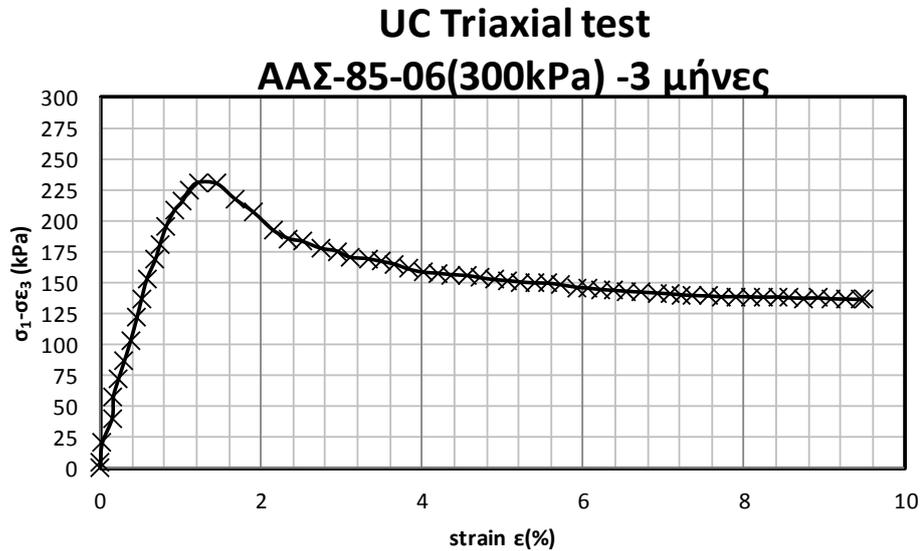


ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	3 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN856331	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,29	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,187
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	44,42	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,72
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			120,53

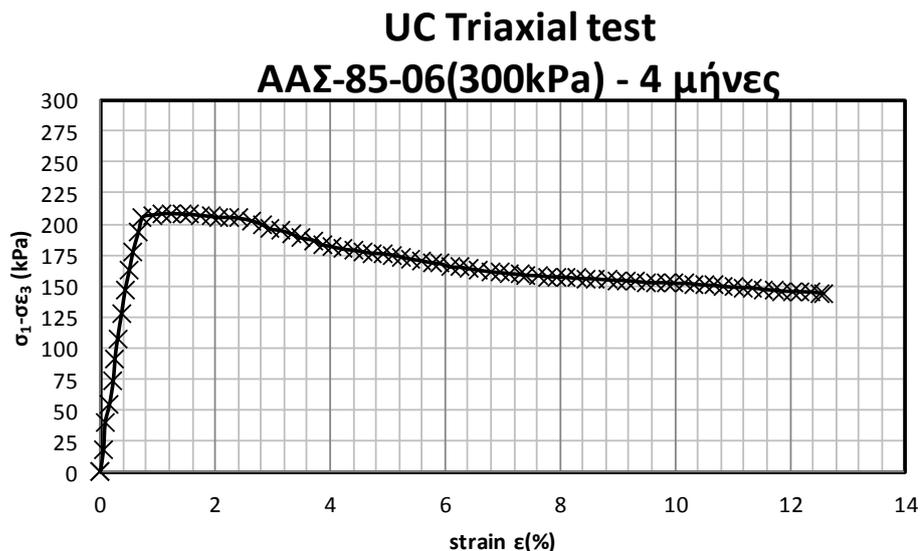
UC Triaxial test ΑΑΣ-85-06(300kPa) - 3 μήνες

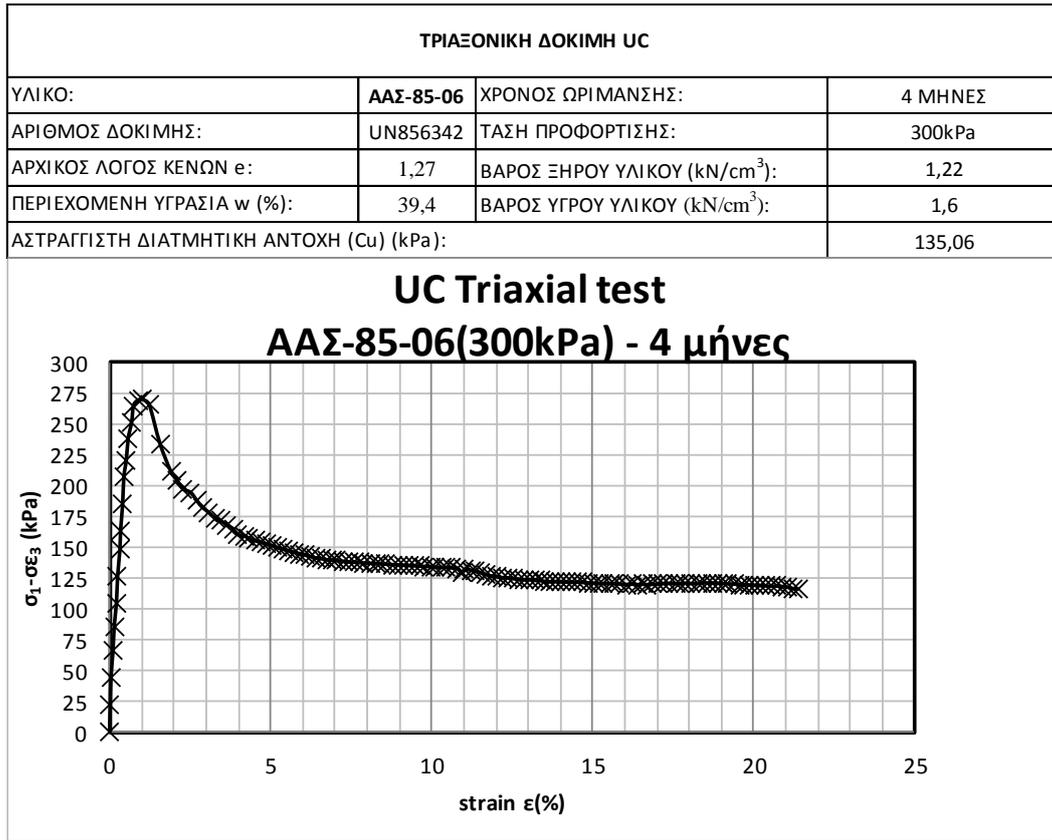


ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	3 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN856332	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,29	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,18
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	44,97	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,72
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			115,68



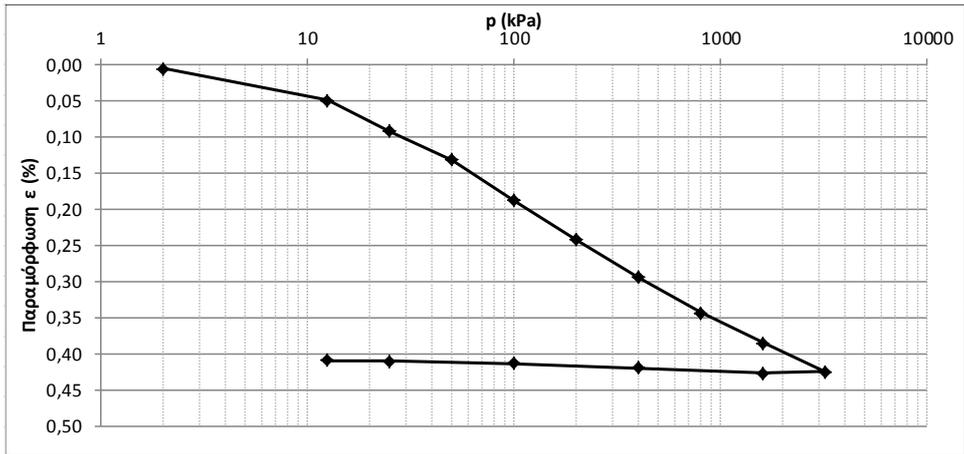
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-85-06	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	4 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN856341	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,26	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,23
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	39,2	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,62
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			134,18



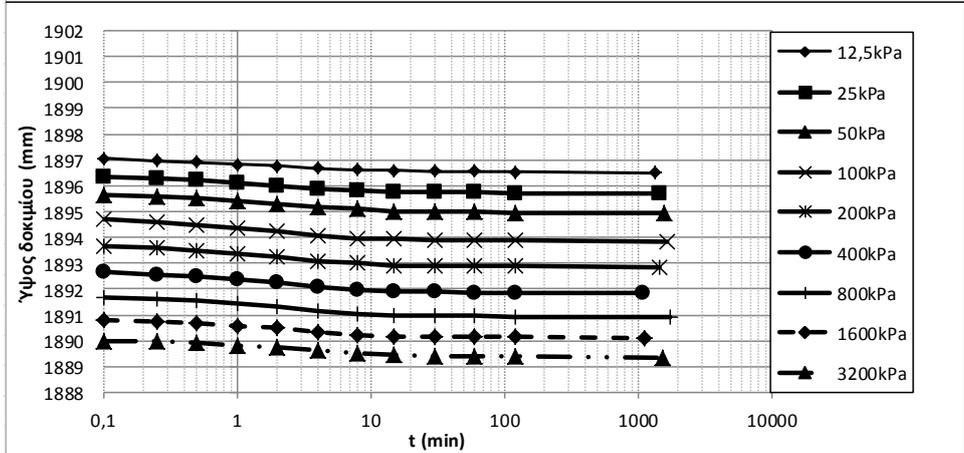
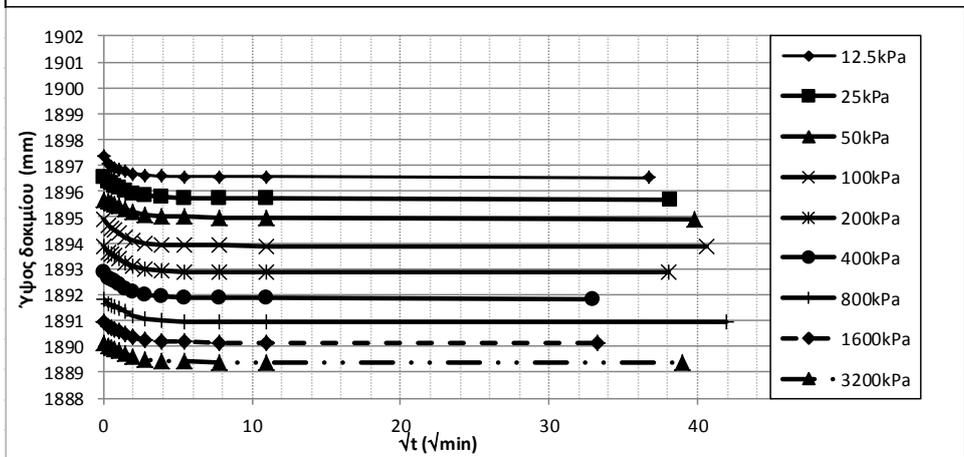


ΑΑΣ-90-10

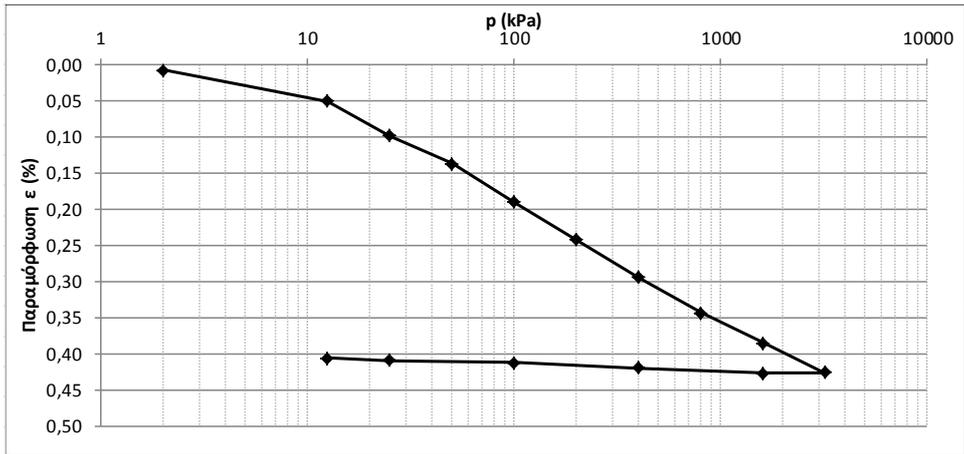
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-		
ΘΕΣΗ:	4			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,26		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	-			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	21/11/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	7/12/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	4	42	112		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	2415,0
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	267,03	51,40	49,66		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		45,40	44,58		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,86	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	157,86	36,94	37,40		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,49	
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	46,36	6,00	5,08		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,58	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	109,17	14,46	12,26		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,32	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	62,81	8,46	7,18		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,26	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	73,81%	70,92%	70,75%	70,84%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	91,6%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80		
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ							



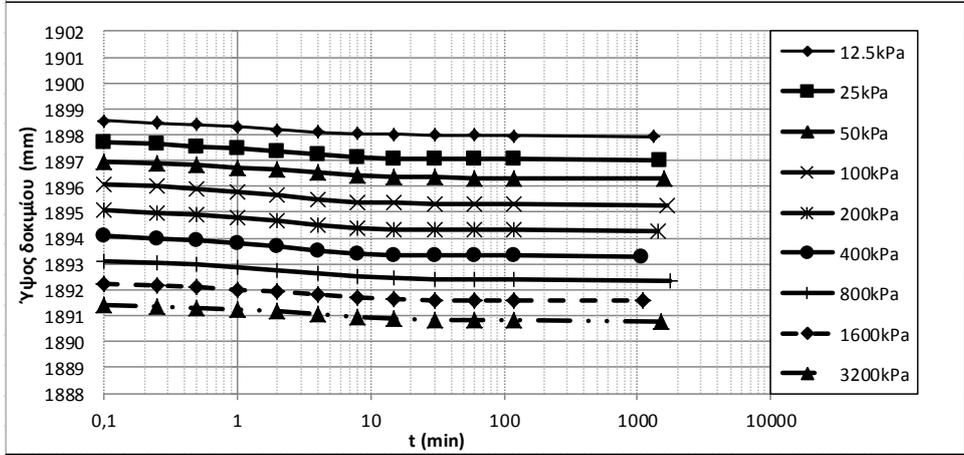
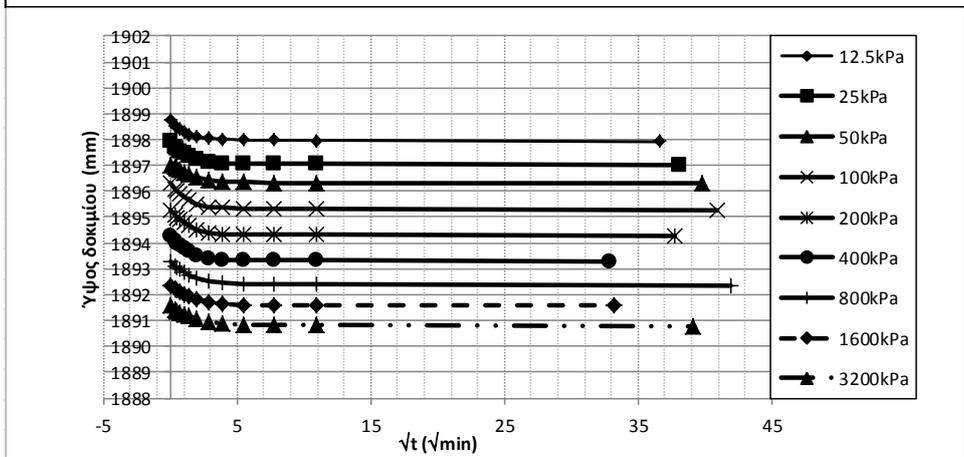
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



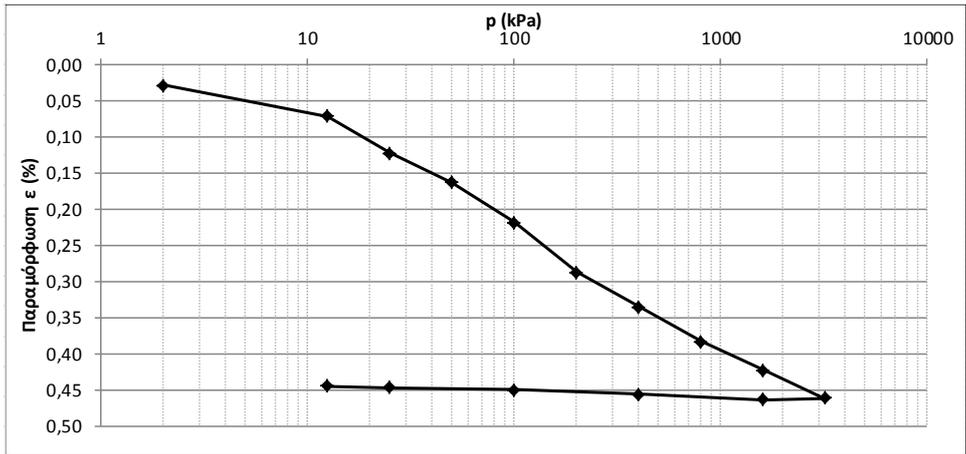
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-		
ΘΕΣΗ:	5			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,25		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	-			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	21/11/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	7/12/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	5	42	112		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	264,20	51,40	49,66		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		45,40	44,58		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,86	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	155,41	36,94	37,40		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,49	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	45,80	6,00	5,08		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,58	
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	108,79	14,46	12,26		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,32	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	62,99	8,46	7,18		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,25	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	72,71%	70,92%	70,75%	70,84%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	90,6%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80		
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ							



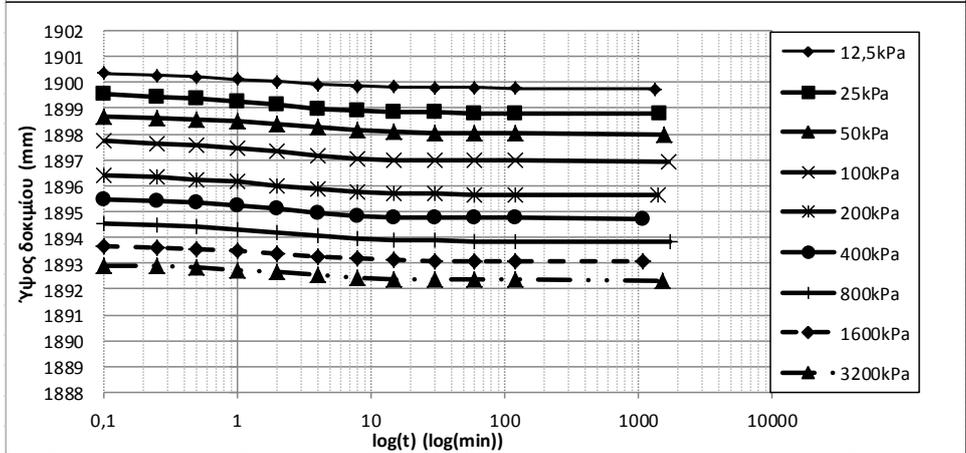
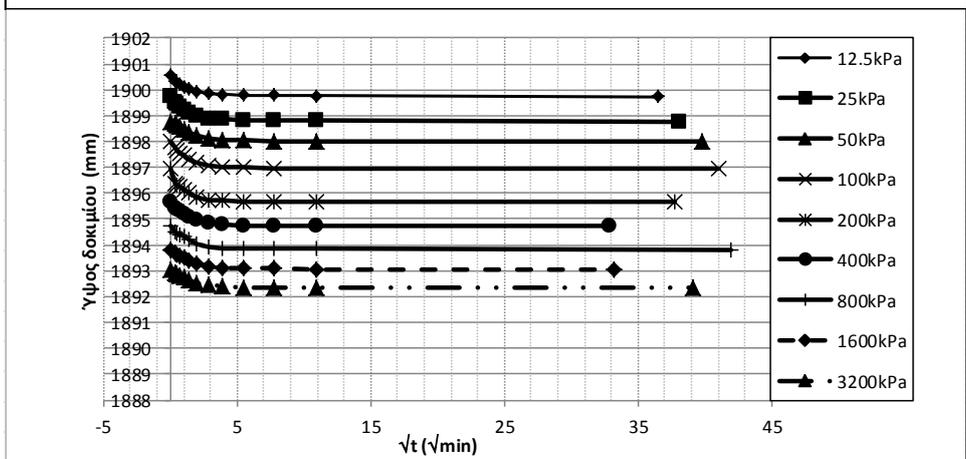
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

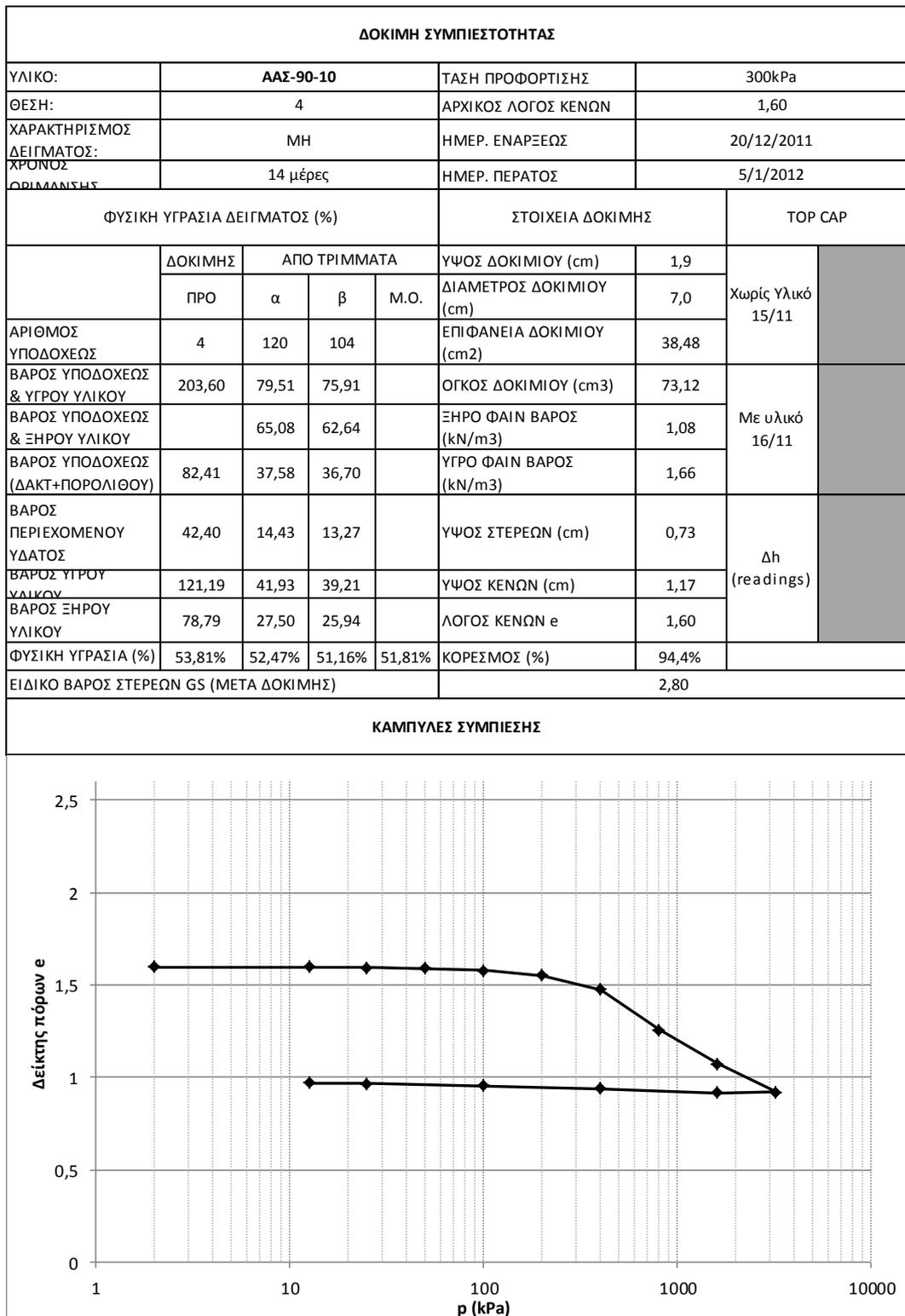


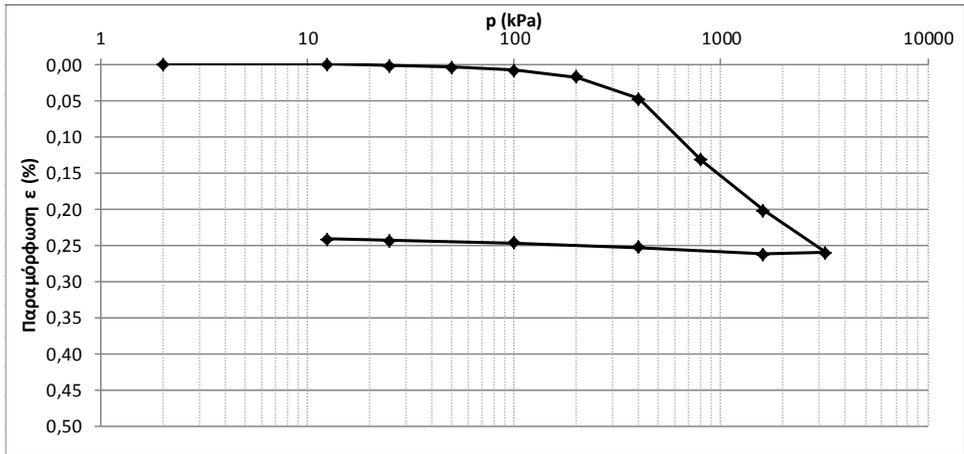
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-		
ΘΕΣΗ:	6			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,40		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	-			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	21/11/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	7/12/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	6	42	112		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	260,70	51,40	49,66		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		45,40	44,58		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,82	2859,0
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	153,14	36,94	37,40		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,47	
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	47,28	6,00	5,08		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,56	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	107,56	14,46	12,26		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,34	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	60,28	8,46	7,18		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,40	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	78,43%	70,92%	70,75%	70,84%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	91,8%	276,4
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80		
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ							



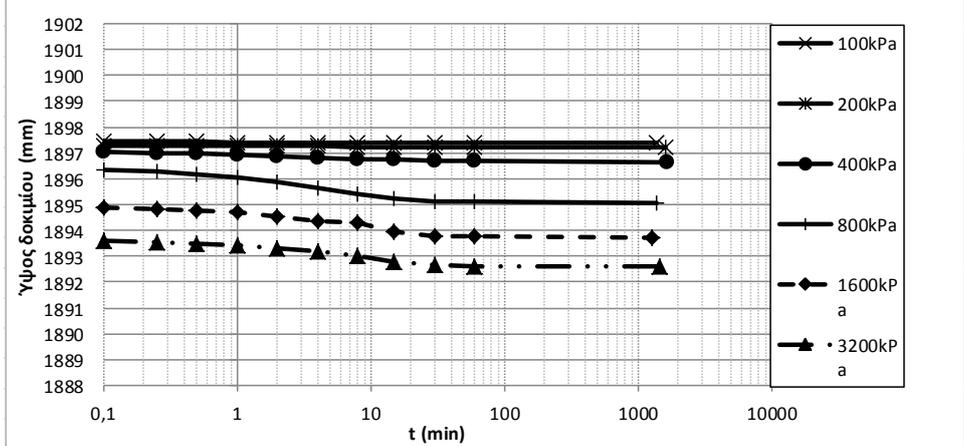
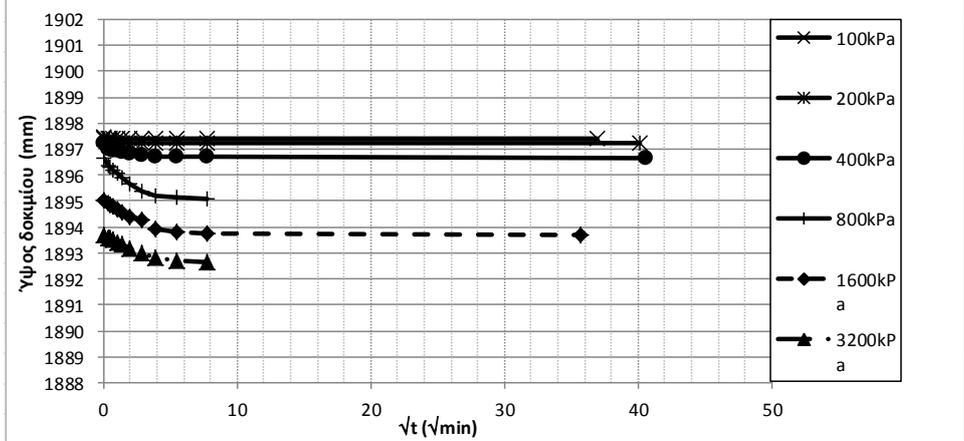
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ





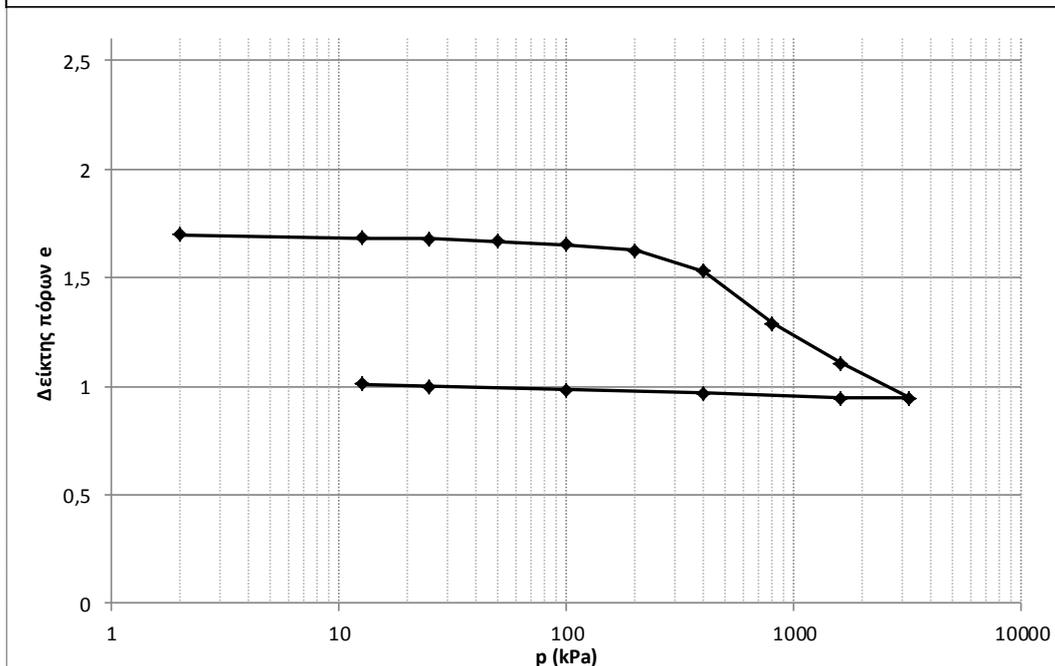


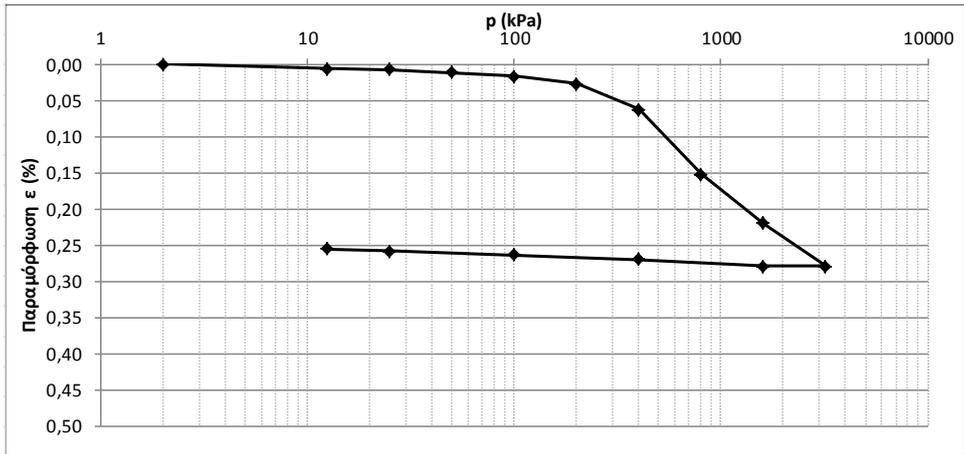
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



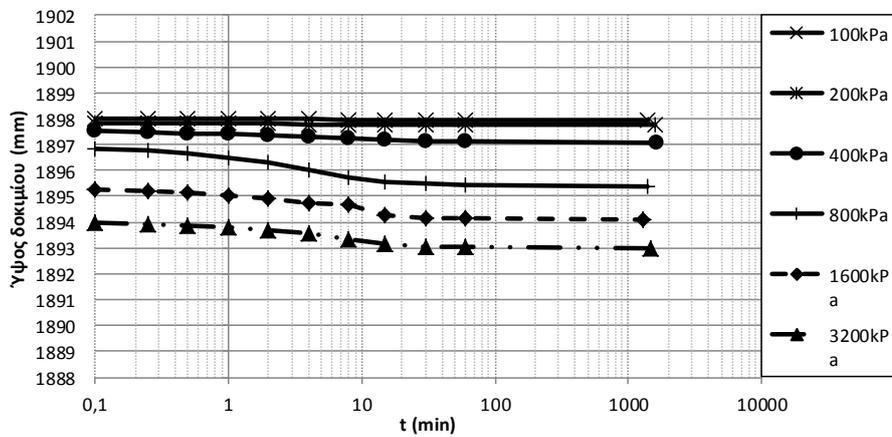
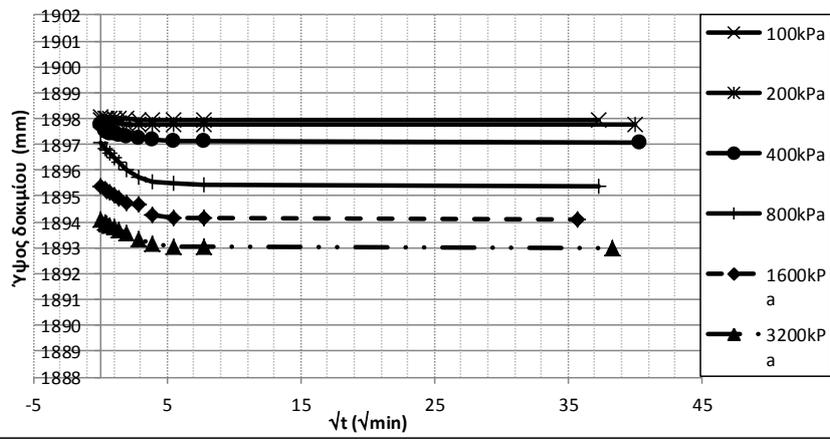
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa		
ΘΕΣΗ:	5			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,70		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	20/12/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	14 μέρες			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	5/1/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	5	120	104		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	201,88	79,51	75,91		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		65,08	62,64		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,04	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,36	37,58	36,70		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,62	
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	42,60	14,43	13,27		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,70	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	118,52	41,93	39,21		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,20	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	75,92	27,50	25,94		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,70	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	56,11%	52,47%	51,16%	51,81%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	92,8%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80		

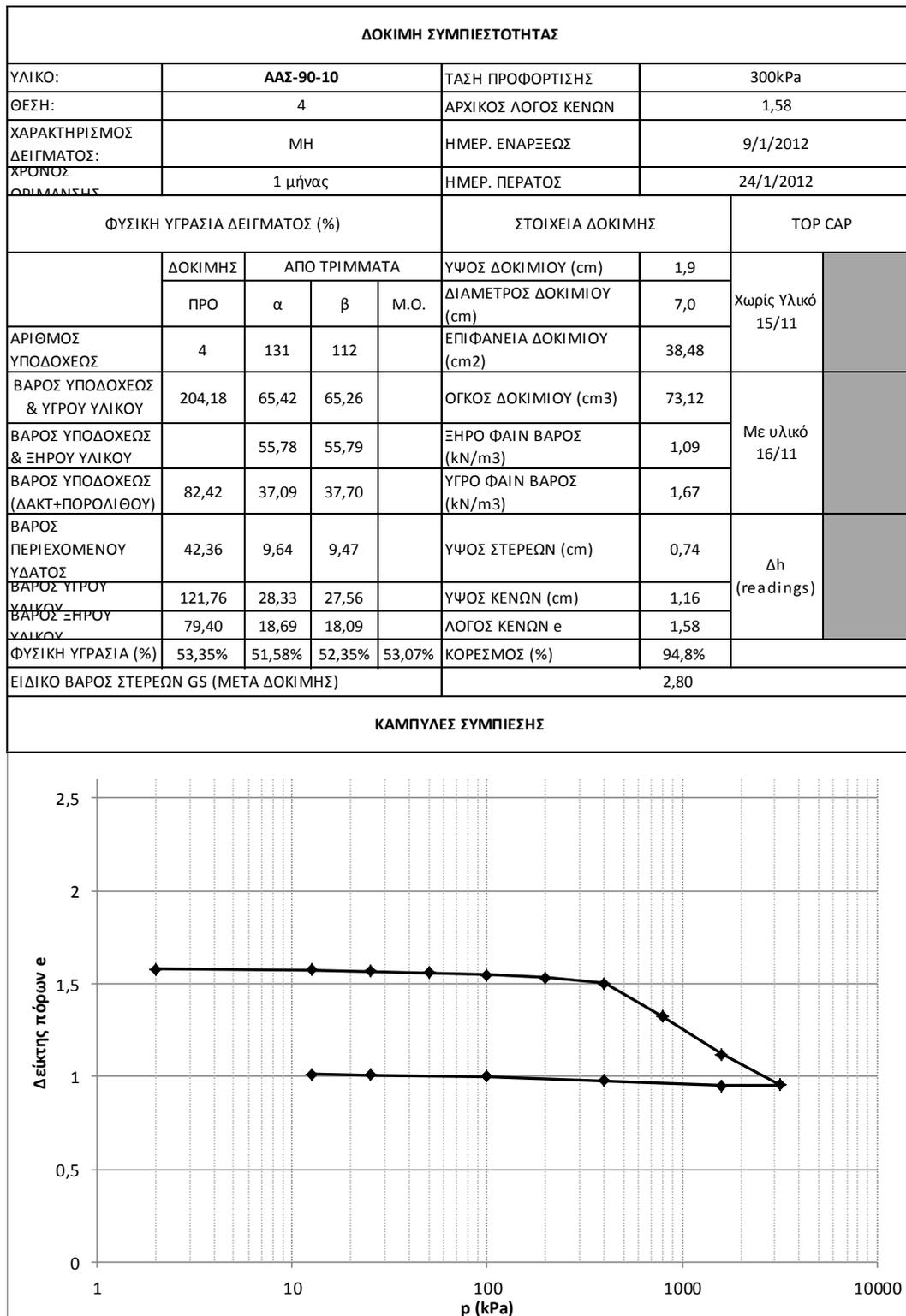
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

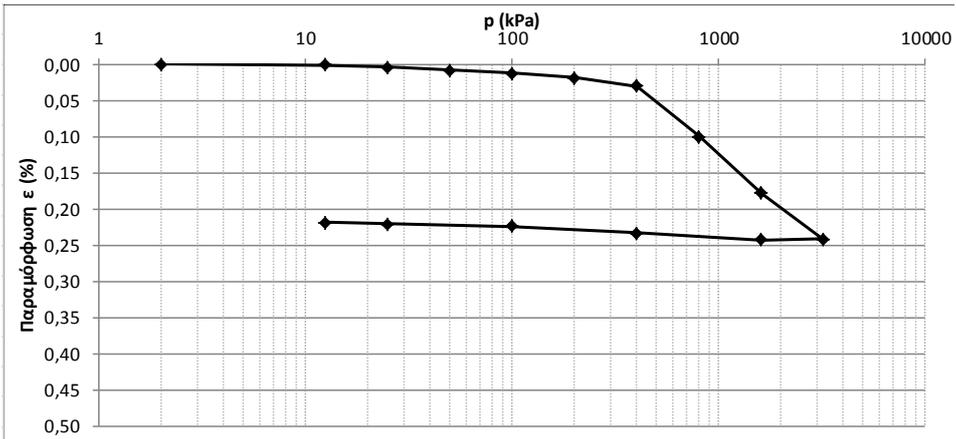




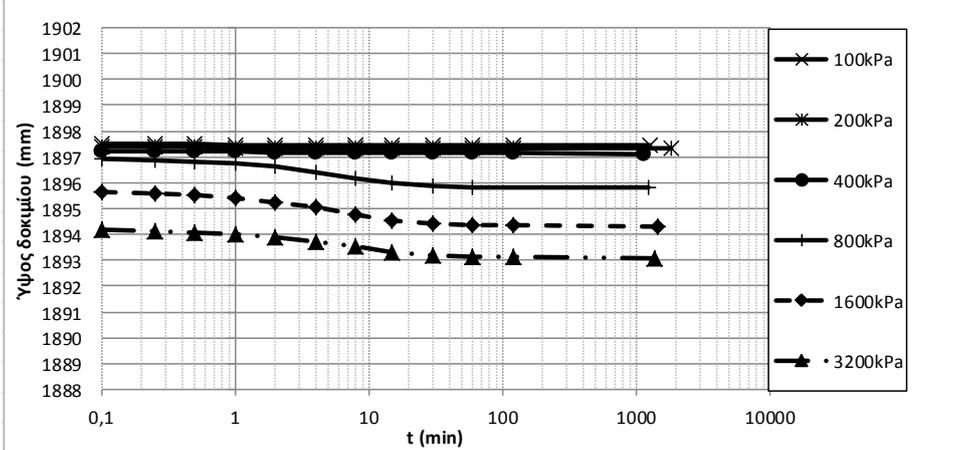
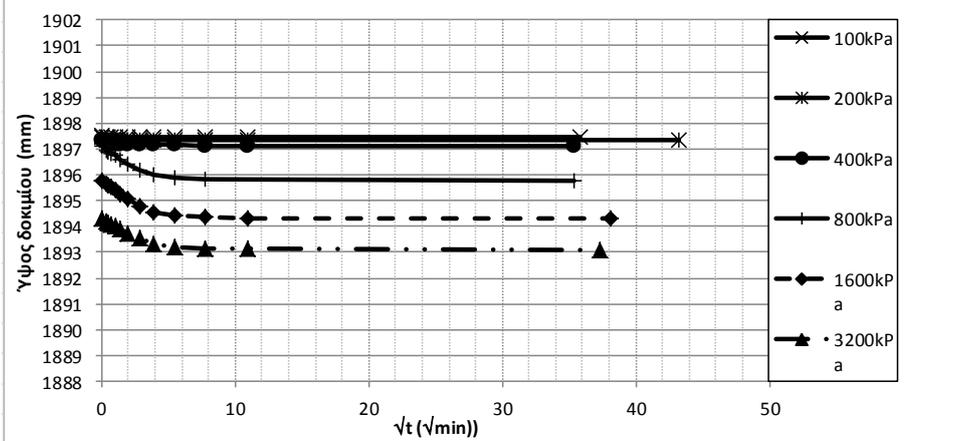
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



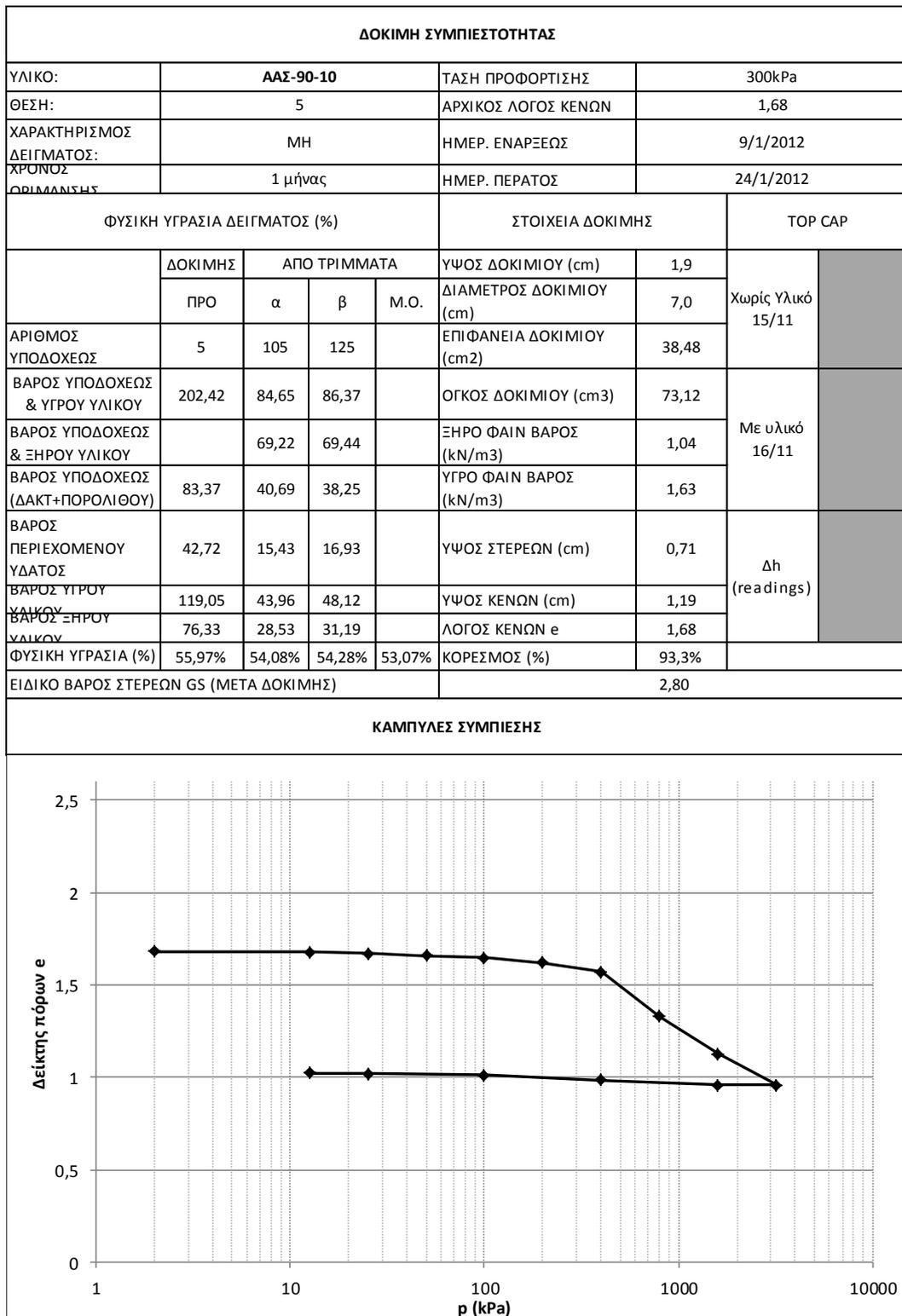


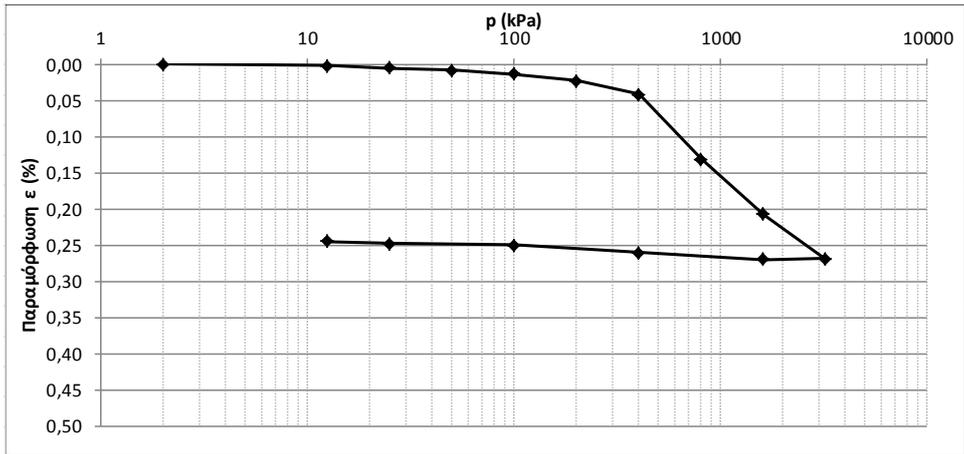


ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

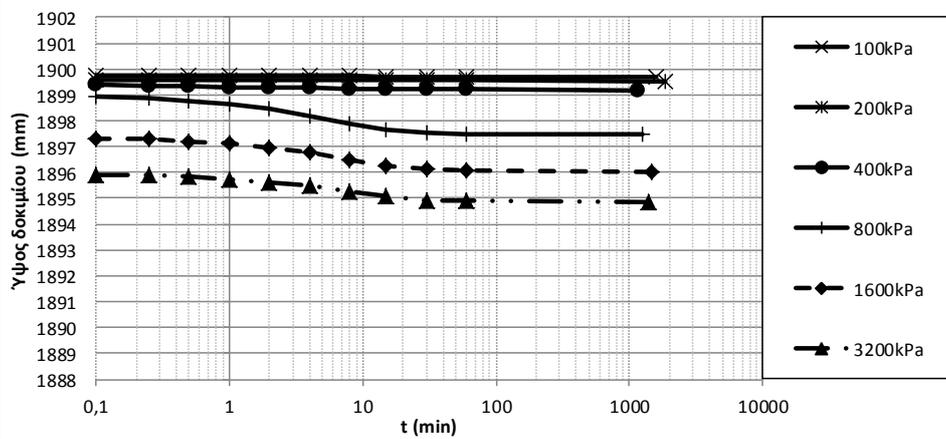
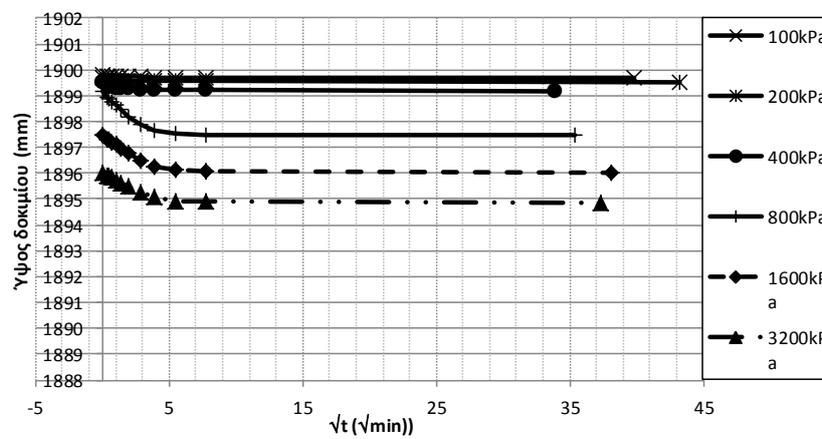


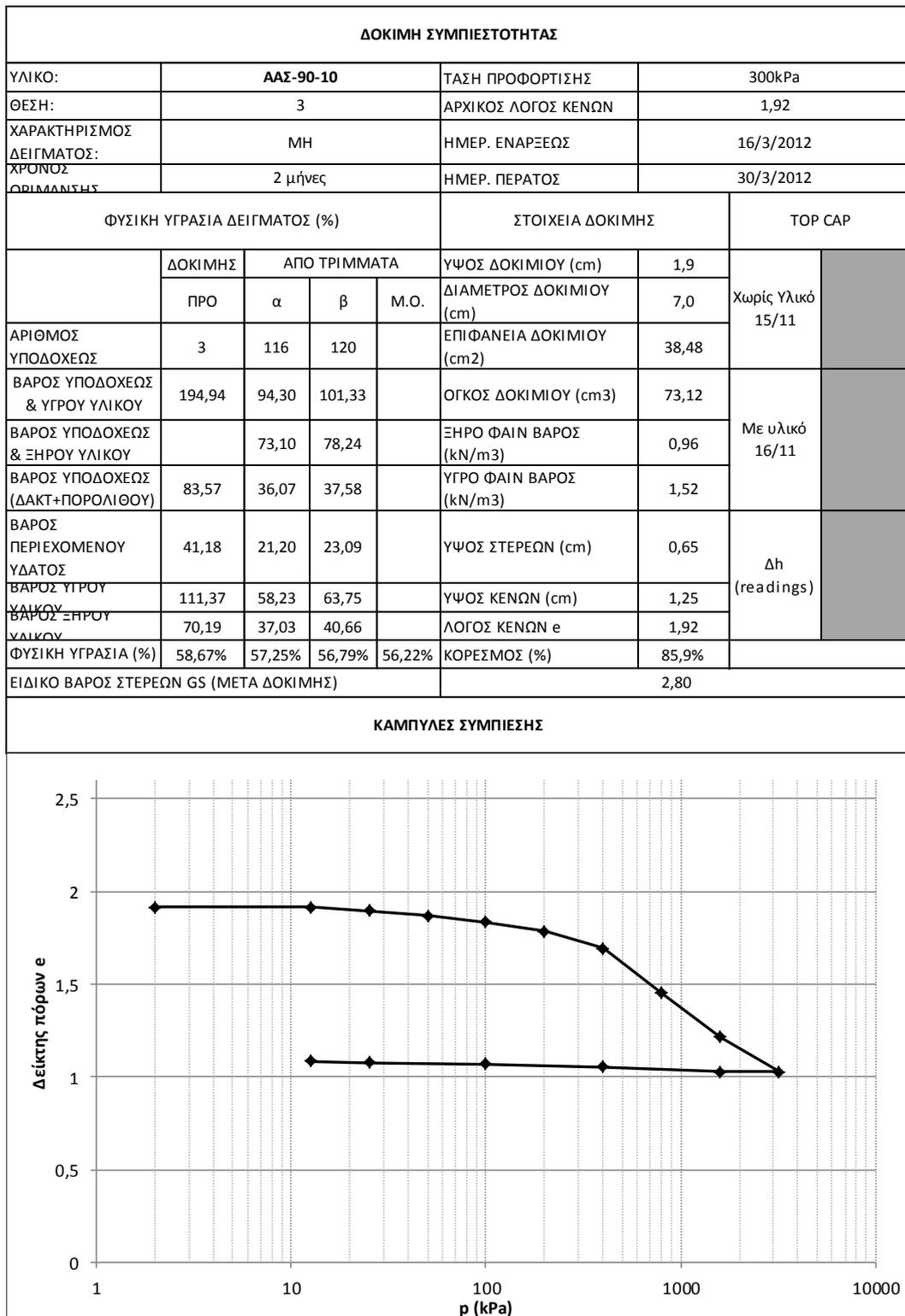


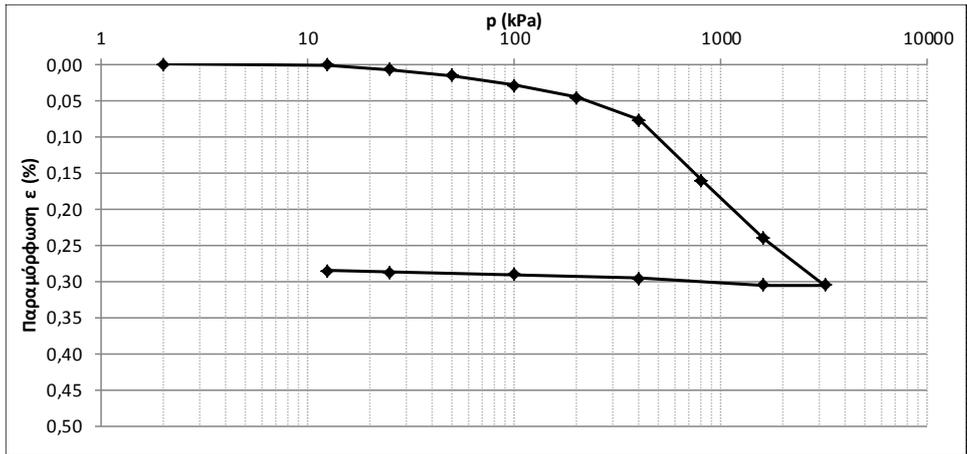




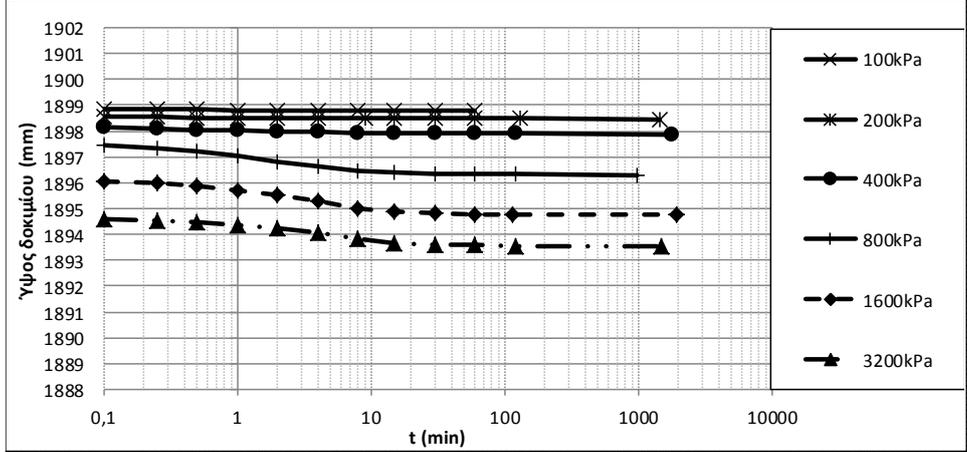
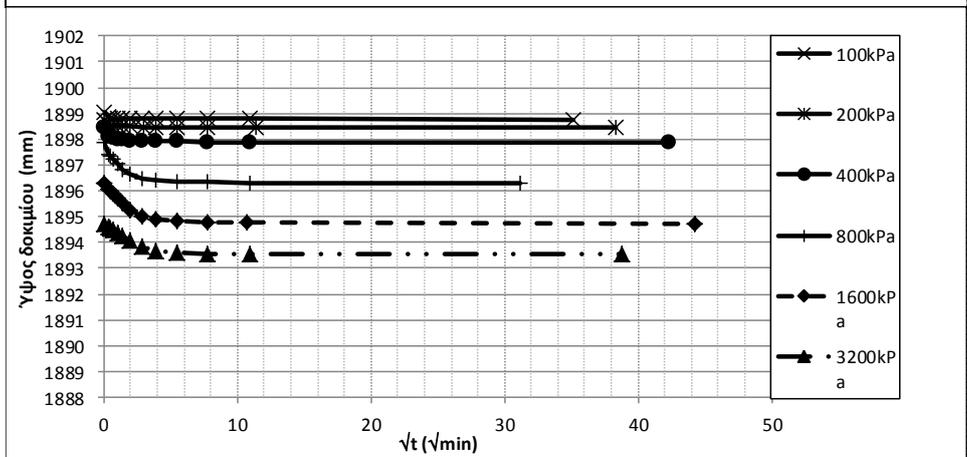
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



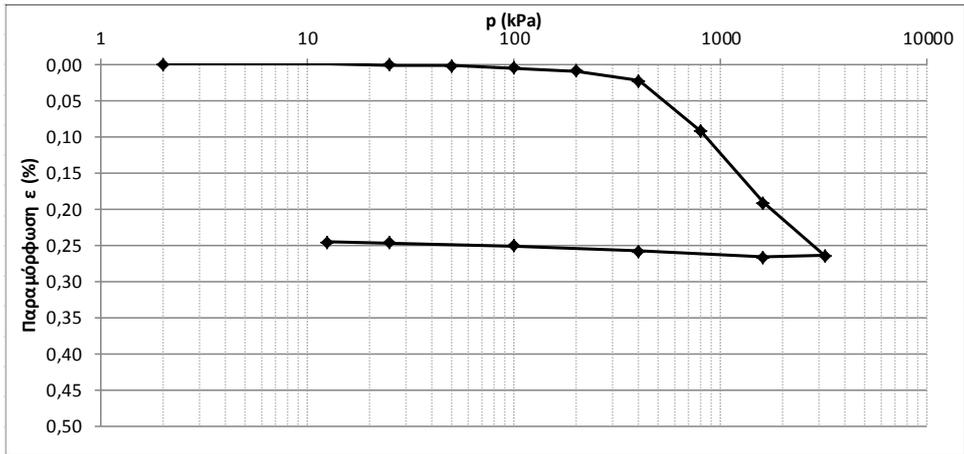




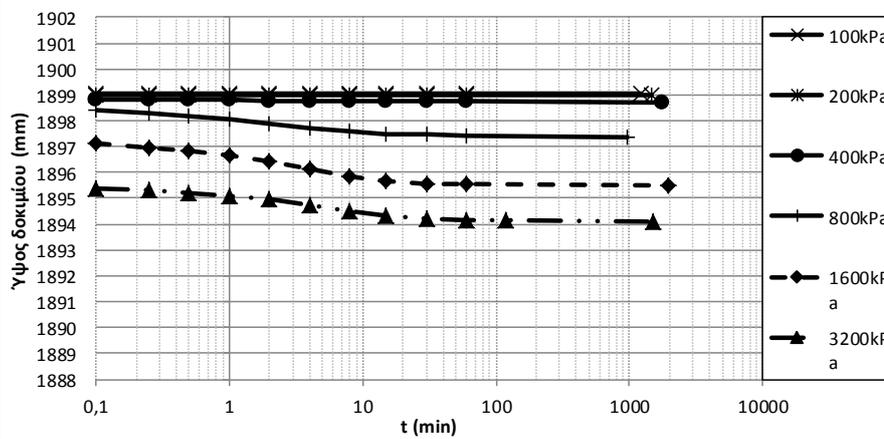
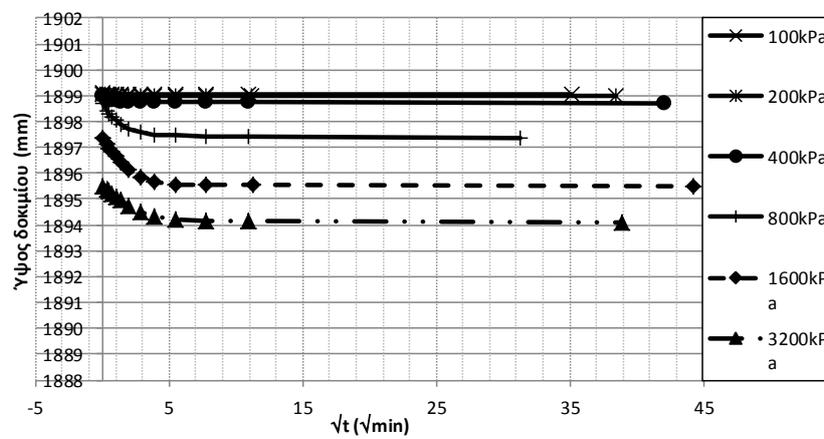
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



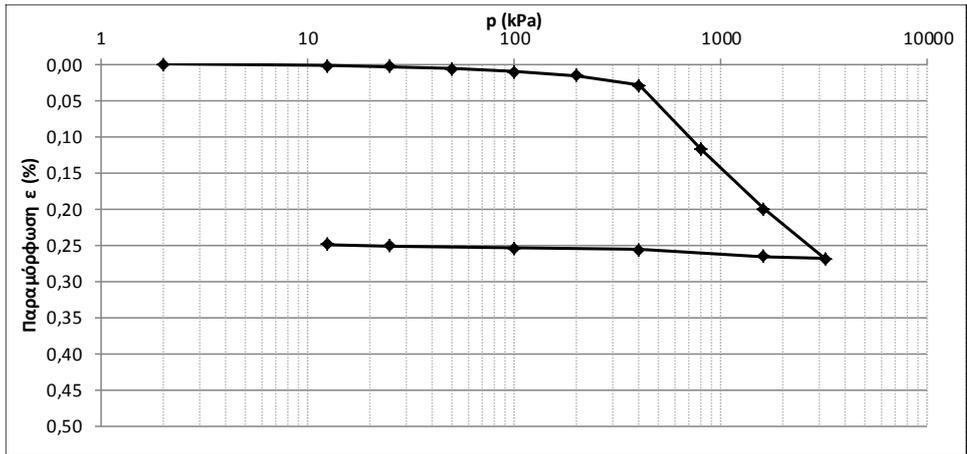
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa	
ΘΕΣΗ:	9			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,72	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	16/3/2012	
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	2 μήνες			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	30/3/2012	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	5,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	2	121	102		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	19,63
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	119,15	73,04	66,80		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	37,31
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		61,27	55,91		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,03
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	58,26	39,73	36,53		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,63
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	22,53	11,77	10,89		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,70
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	60,89	33,31	30,27		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,20
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	38,36	21,54	19,38		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,72
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	58,73%	54,64%	56,19%	56,22%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	95,6%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80	
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ						



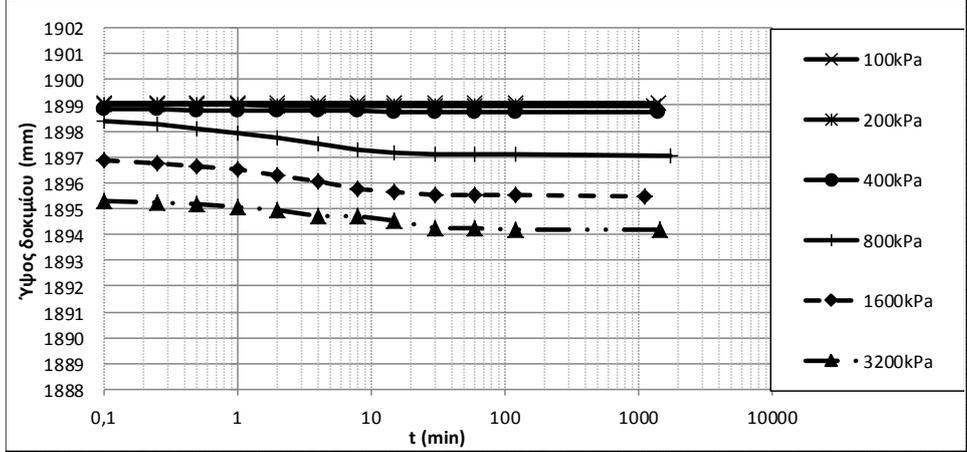
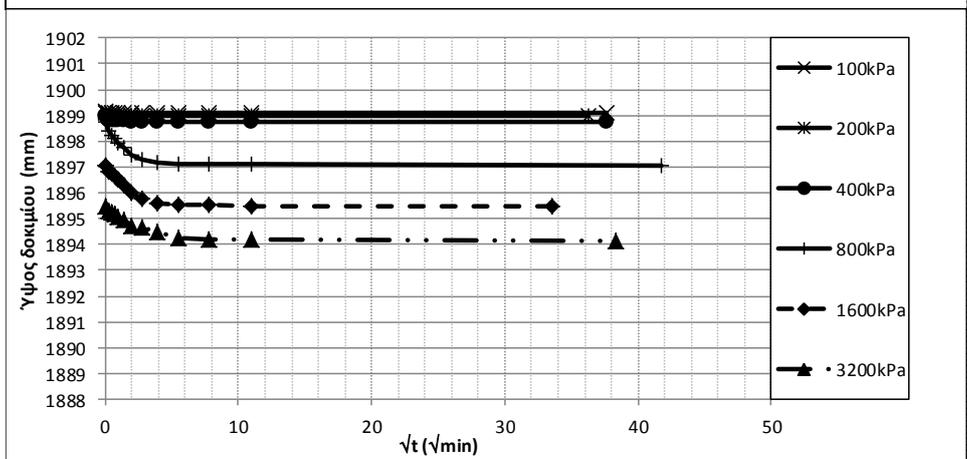
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



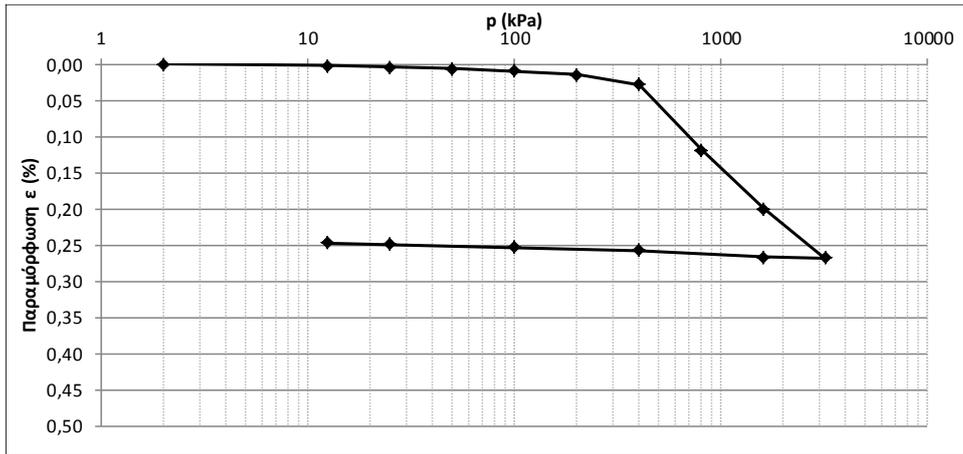
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa		
ΘΕΣΗ:	1		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,69		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	7/3/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΦΟΡΜΑΝΙΣΗΣ	3 μήνες		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	21/3/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	1	126	398		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	202,91	85,78	58,99		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		68,79	49,30		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,04
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,38	38,24	31,77		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,63
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	43,32	16,99	9,69		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,71
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	119,53	47,54	27,22		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,19
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	76,21	30,55	17,53		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,69
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	56,84%	55,61%	55,28%	55,45%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	94,5%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80	
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ						



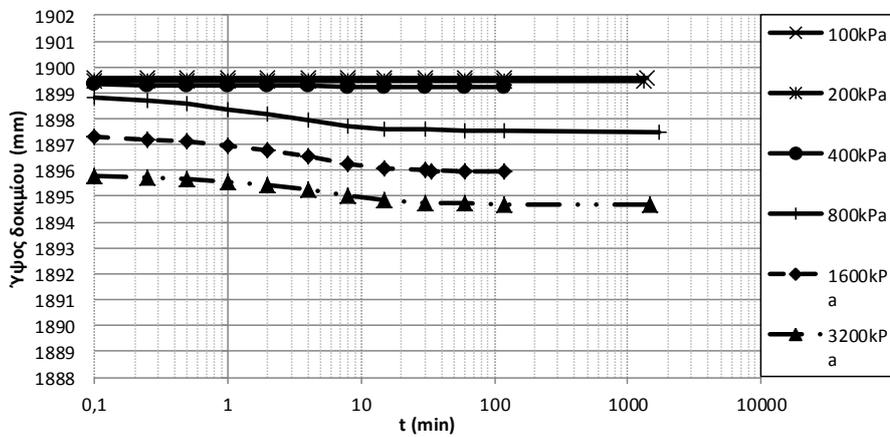
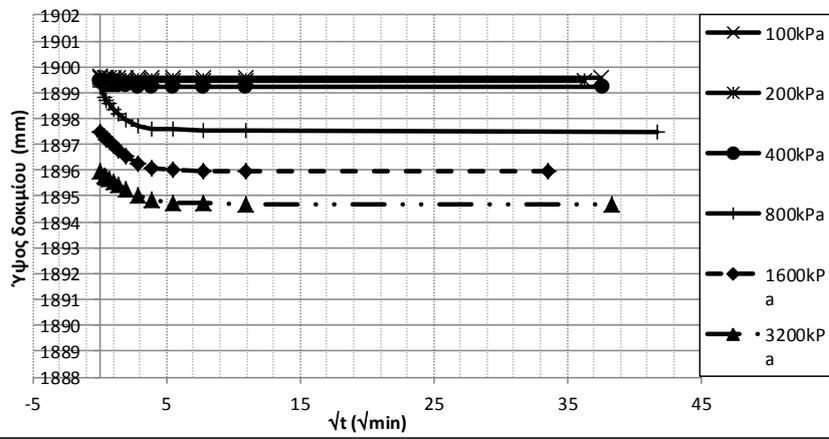
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



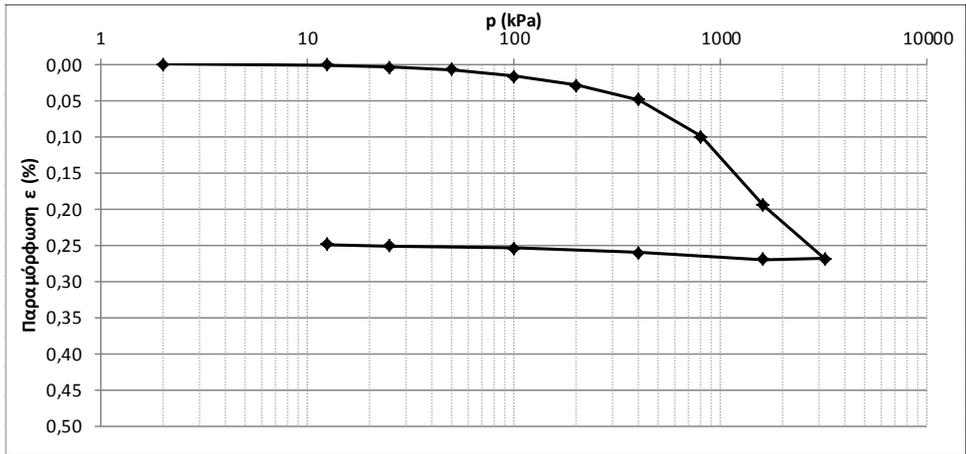
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10		ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa		
ΘΕΣΗ:	2		ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,65		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ		ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	7/3/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	3 μήνες		ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	21/3/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	2	104	117		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	204,51	80,03	75,82		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		64,65	61,97		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,06
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,84	36,70	36,72		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,65
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	43,48	16,99	9,69		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,72
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	120,67	47,54	27,22		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,18
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	77,19	30,55	17,53		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,65
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	56,33%	55,61%	55,28%	55,45%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	95,6%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80	
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ						



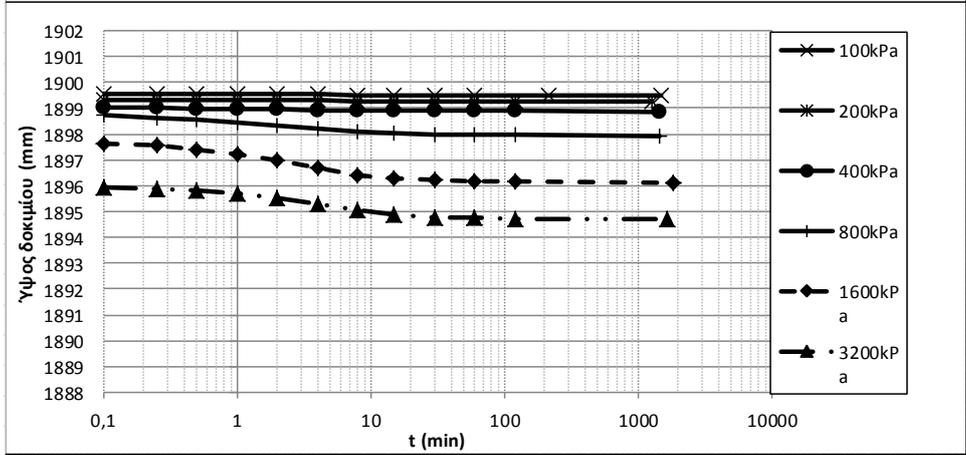
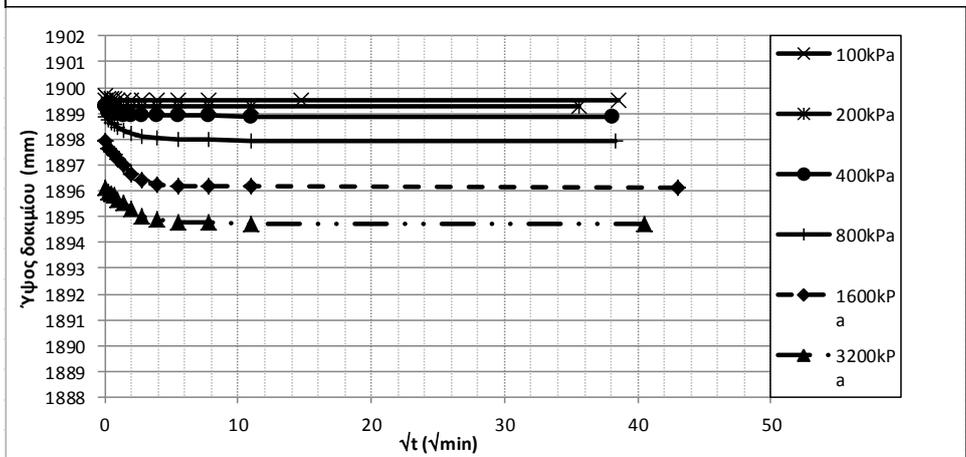
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



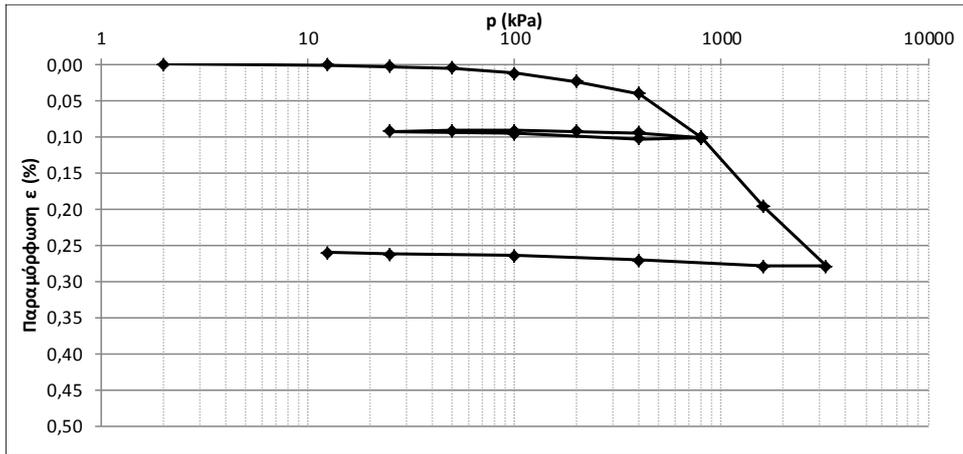
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ						
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa	
ΘΕΣΗ:	3			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,69	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	24/4/2012	
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	4 μήνες			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	11/5/2012	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	3	101	105		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	203,19	70,33	69,48		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		58,50	59,32		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,04
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,57	37,27	40,73		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,64
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	43,59	11,83	10,16		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,71
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	119,62	33,06	28,75		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,19
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	76,03	21,23	18,59		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,69
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	57,33%	55,72%	54,65%	55,45%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	95,0%
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80	
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ						



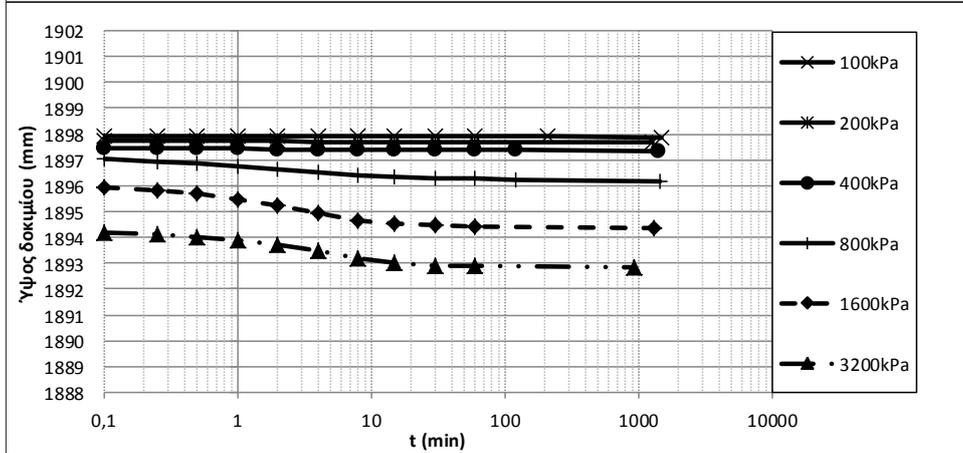
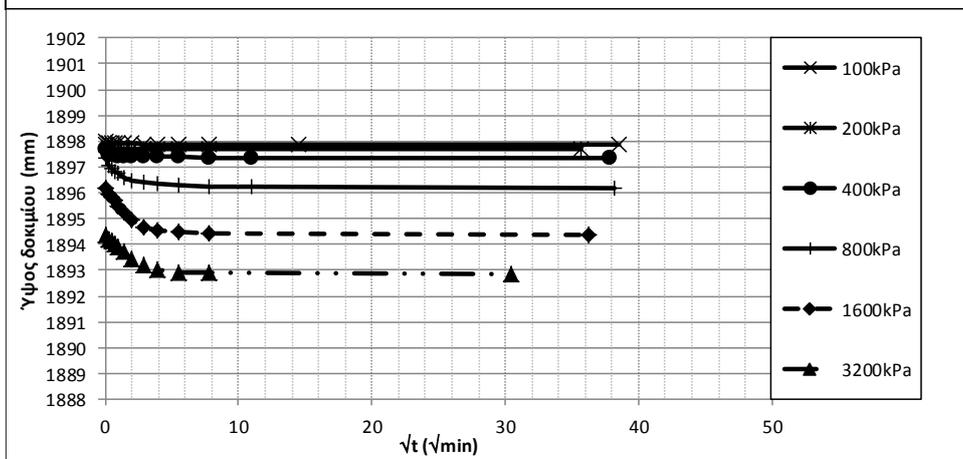
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



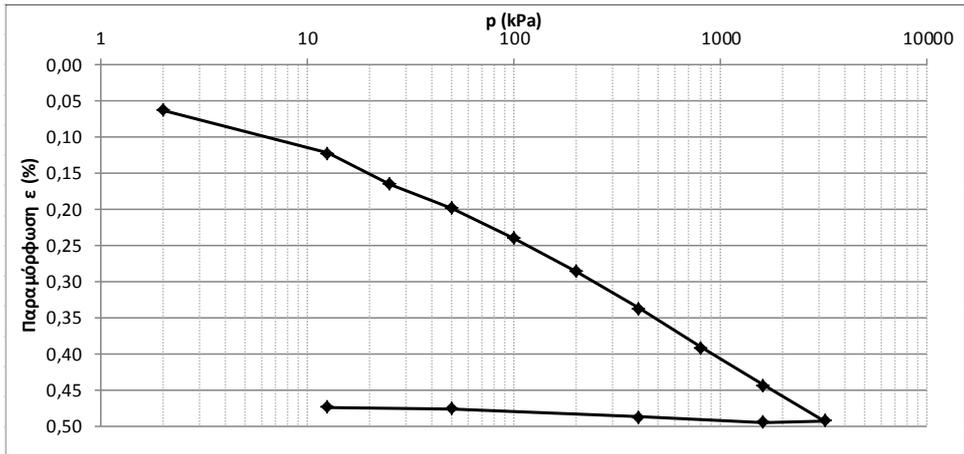
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ																																															
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa																																										
ΘΕΣΗ:	4			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,67																																										
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	24/4/2012																																										
ΧΡΟΝΟΣ ΦΟΡΜΑΝΙΣΗΣ	4 μήνες			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	191/5/2012																																										
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP																																									
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11																																								
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0																																									
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	4	128	115		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11																																								
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	204,22	82,16	61,64		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12																																									
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		66,04	53,07		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,05																																									
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	82,41	37,10	37,69		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,67	Δh (readings)																																								
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	45,00	16,12	8,57		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,71																																									
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	121,81	45,06	23,95		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,19																																									
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	76,81	28,94	15,38		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,67																																									
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	58,59%	55,70%	55,72%	55,45%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	98,7%																																									
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80																																										
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ																																															
<p>The graph plots the void index (e) on the y-axis against pressure (p) in kPa on the x-axis. The x-axis is logarithmic, ranging from 1 to 10000 kPa. The y-axis ranges from 0 to 2.5. Three data series are shown, each represented by diamond markers connected by lines. All three series show a relatively constant void index at low pressures, followed by a significant decrease as pressure increases, particularly after 1000 kPa. The top curve starts at e ≈ 1.7, the middle at e ≈ 1.4, and the bottom at e ≈ 1.0.</p> <table border="1"> <caption>Approximate data points from the compression curves graph</caption> <thead> <tr> <th>Pressure p (kPa)</th> <th>Series 1 (e)</th> <th>Series 2 (e)</th> <th>Series 3 (e)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2</td><td>1.7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>1.7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td>1.4</td><td></td></tr> <tr><td>100</td><td>1.65</td><td>1.4</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>200</td><td>1.6</td><td>1.4</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>500</td><td>1.55</td><td>1.4</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>1000</td><td>1.4</td><td>1.35</td><td>0.95</td></tr> <tr><td>2000</td><td>1.15</td><td>1.15</td><td>0.95</td></tr> <tr><td>5000</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td></tr> </tbody> </table>								Pressure p (kPa)	Series 1 (e)	Series 2 (e)	Series 3 (e)	2	1.7			10	1.7			20		1.4		100	1.65	1.4	1.0	200	1.6	1.4	1.0	500	1.55	1.4	1.0	1000	1.4	1.35	0.95	2000	1.15	1.15	0.95	5000	0.95	0.95	0.95
Pressure p (kPa)	Series 1 (e)	Series 2 (e)	Series 3 (e)																																												
2	1.7																																														
10	1.7																																														
20		1.4																																													
100	1.65	1.4	1.0																																												
200	1.6	1.4	1.0																																												
500	1.55	1.4	1.0																																												
1000	1.4	1.35	0.95																																												
2000	1.15	1.15	0.95																																												
5000	0.95	0.95	0.95																																												



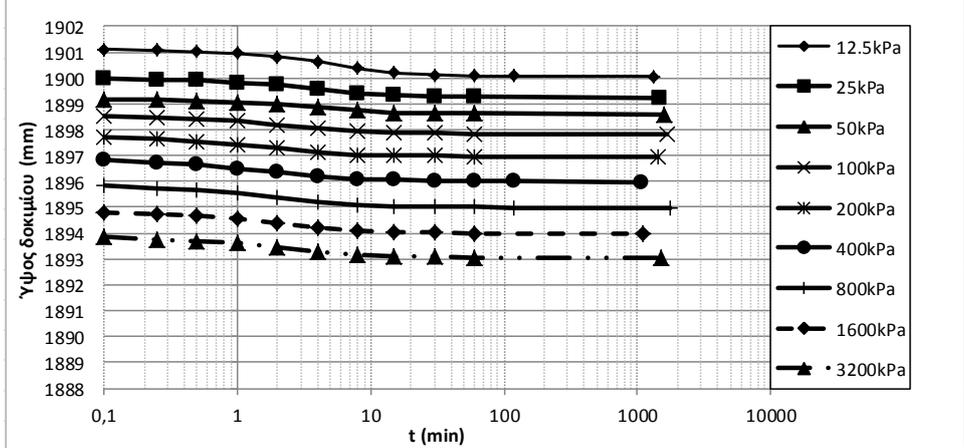
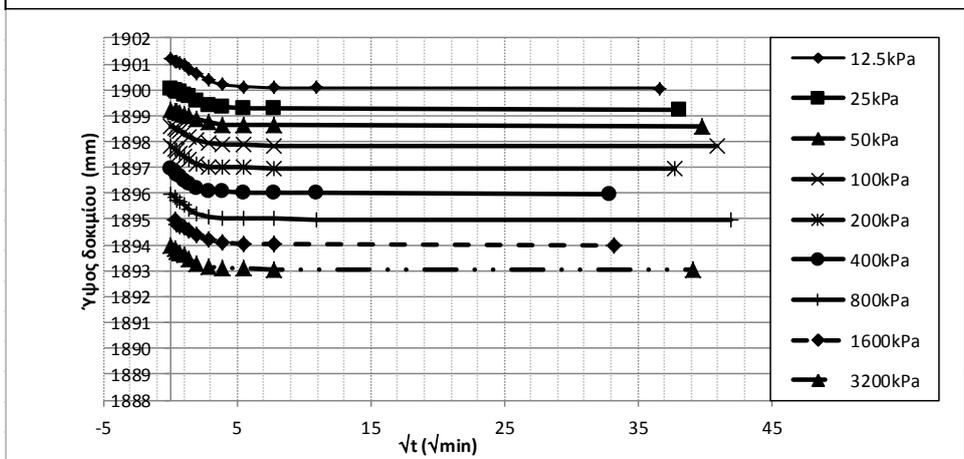
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



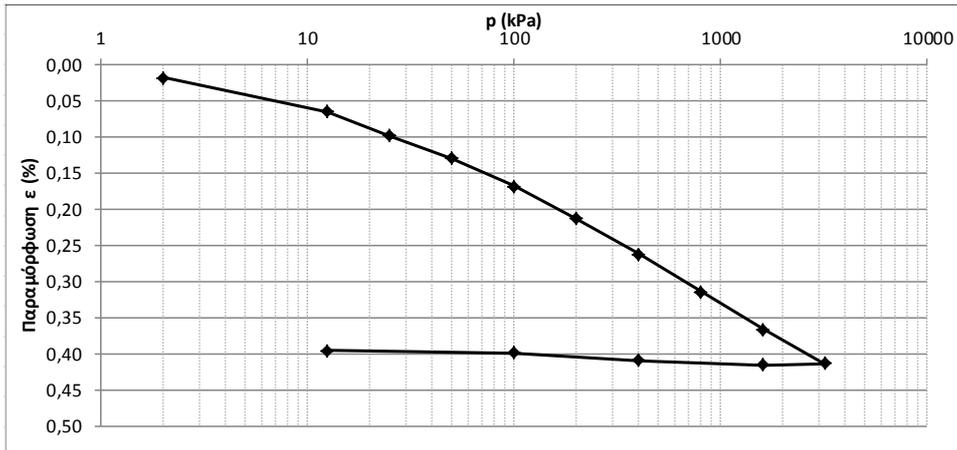
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-		
ΘΕΣΗ:	2			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,53		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	-			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	23/5/2012		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	RECONSTITUTED-ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΣΗ			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	5/6/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	M.O.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	2	114	122		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	265,65	77,61	86,08		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		58,43	64,85		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,79	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	155,81	36,61	40,89		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,50	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	51,80	19,18	21,23		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,54	
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	109,84	41,00	45,19		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,36	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	58,04	21,82	23,96		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,53	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	89,25%	87,90%	88,61%	88,35%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	99,0%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80		
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ							



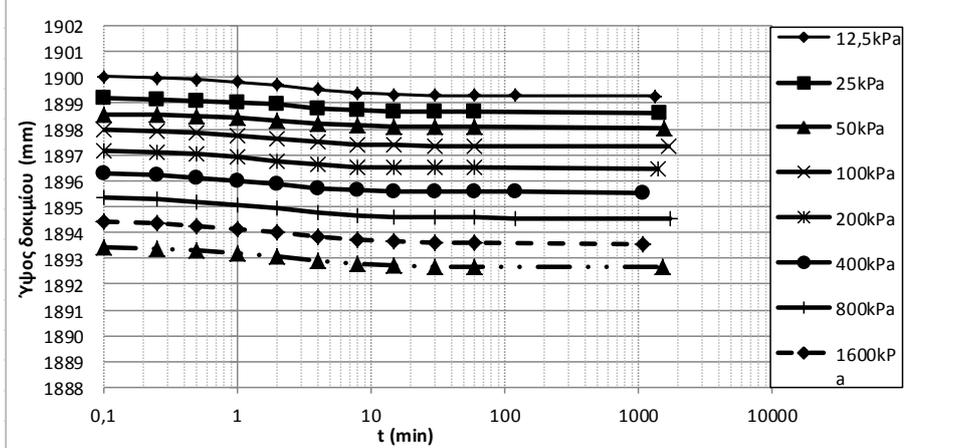
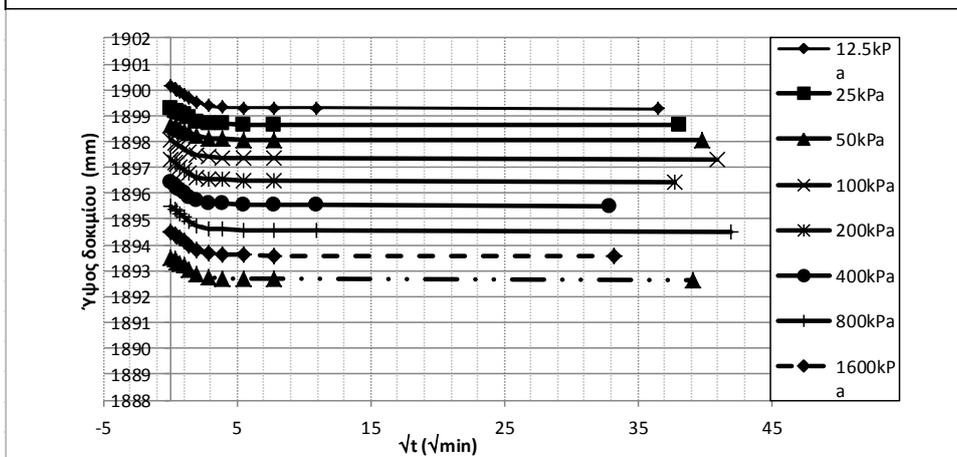
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



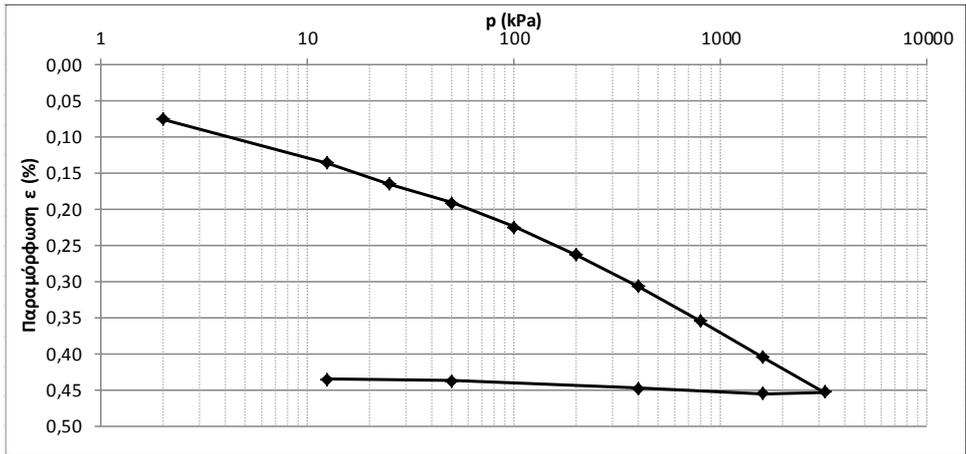
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-		
ΘΕΣΗ:	3			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,56		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	-			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	23/5/2012		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	RECONSTITUTED-ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΣΗ			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	5/6/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	1	107	110		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	271,35	77,63	90,50		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		58,74	65,65		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,79	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	162,26	37,37	37,57		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,49	
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	51,50	18,89	24,85		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,53	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	109,09	40,26	52,93		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,37	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	57,59	21,37	28,08		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,56	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	89,43%	88,39%	88,50%	88,35%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	98,2%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80		
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ							



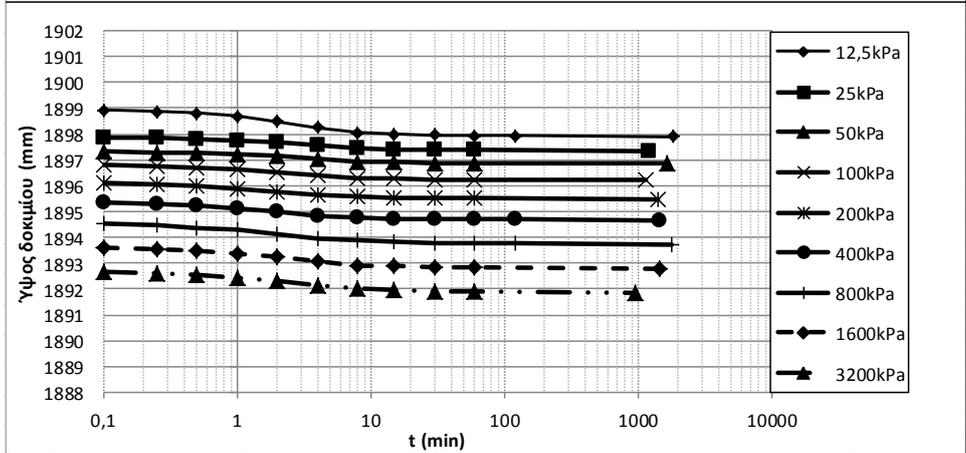
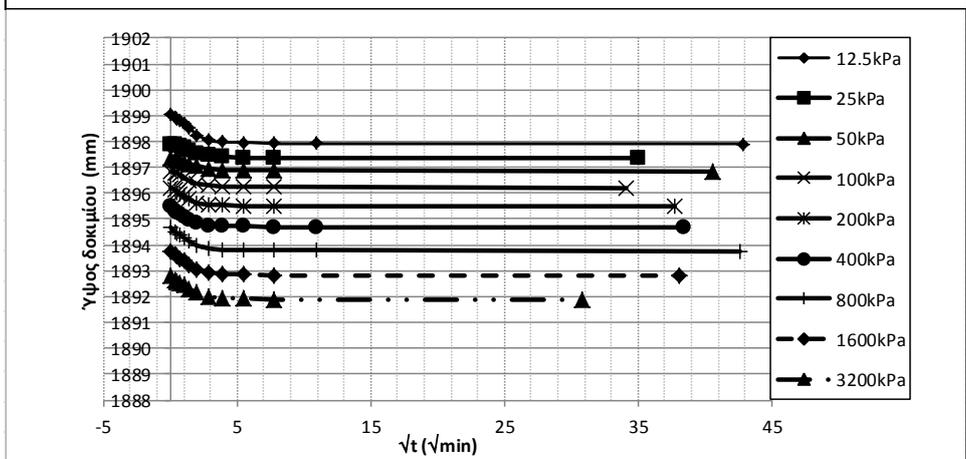
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



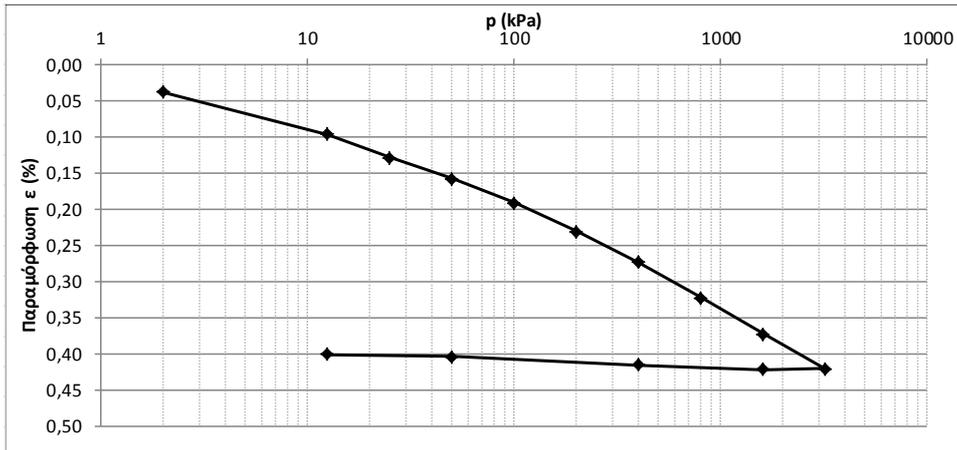
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	150kPa		
ΘΕΣΗ:	4			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,42		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	-			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	21/11/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	RECONSTITUTED-ΜΕ ΦΟΡΤΙΣΗ			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	5/6/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	4	111	106		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	271,70	72,82	73,94		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		56,17	58,05		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,82	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	160,46	36,48	39,54		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,52	
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	51,45	16,65	15,89		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,55	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	111,24	36,34	34,40		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,35	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	59,79	19,69	18,51		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,42	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	86,05%	84,56%	85,85%	85,53%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	99,6%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)				2,80			
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ							



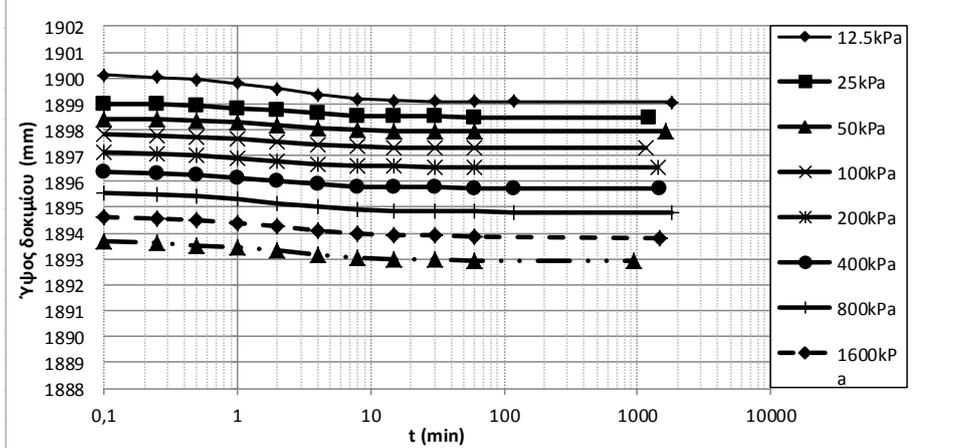
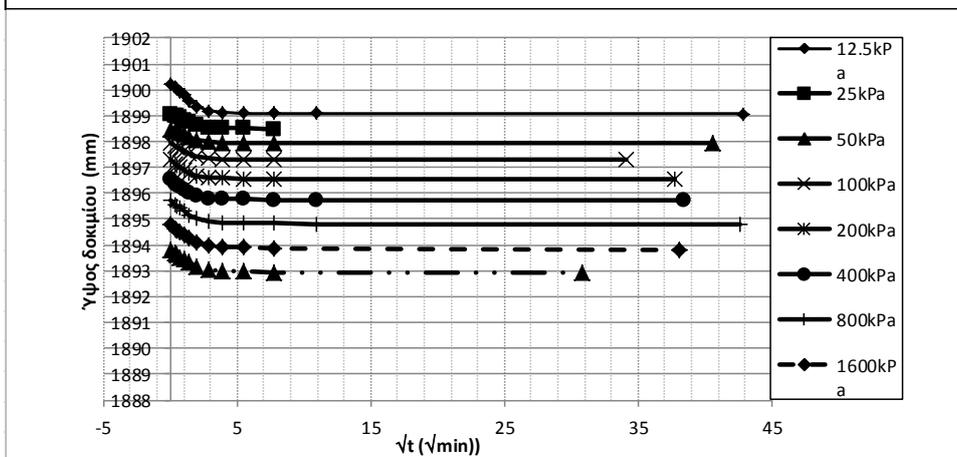
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

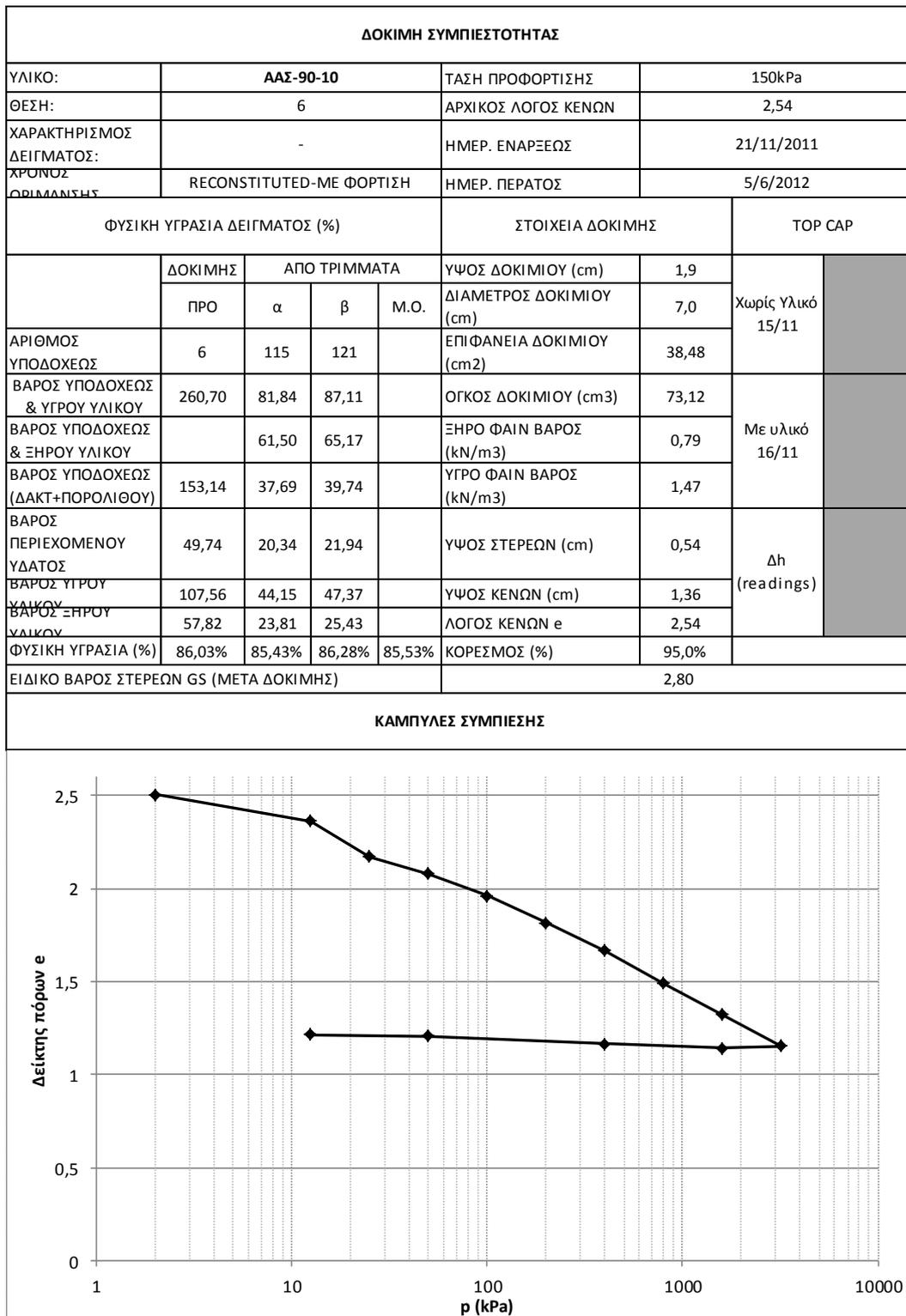


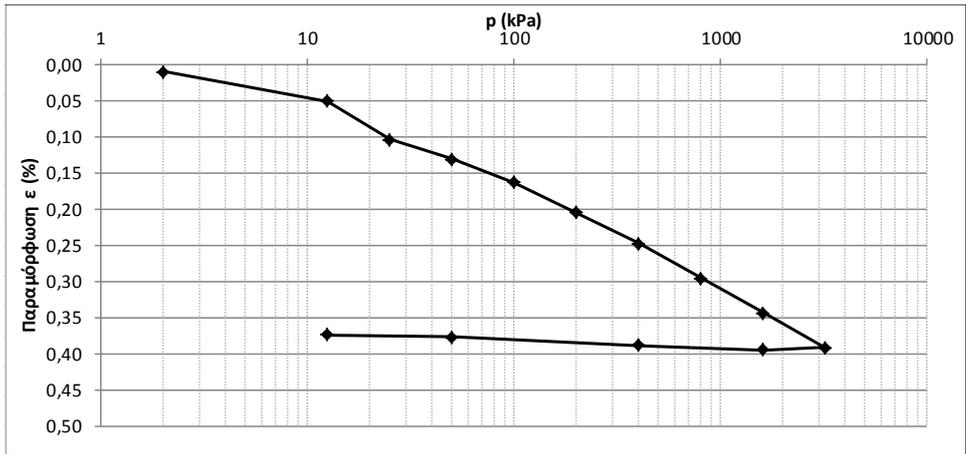
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	150kPa		
ΘΕΣΗ:	5			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,49		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	-			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	21/11/2011		
ΧΡΟΝΟΣ ΦΟΡΜΑΝΣΗΣ	RECONSTITUTED-ΜΕ ΦΟΡΤΙΣΗ			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	5/6/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	5	115	121		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	269,10	81,84	87,11		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		61,50	65,17		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,80	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	158,88	37,69	39,74		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,51	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	51,50	20,34	21,94		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,54	
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	110,22	44,15	47,37		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,36	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	58,72	23,81	25,43		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,49	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	87,70%	85,43%	86,28%	85,53%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	98,9%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80		
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ							



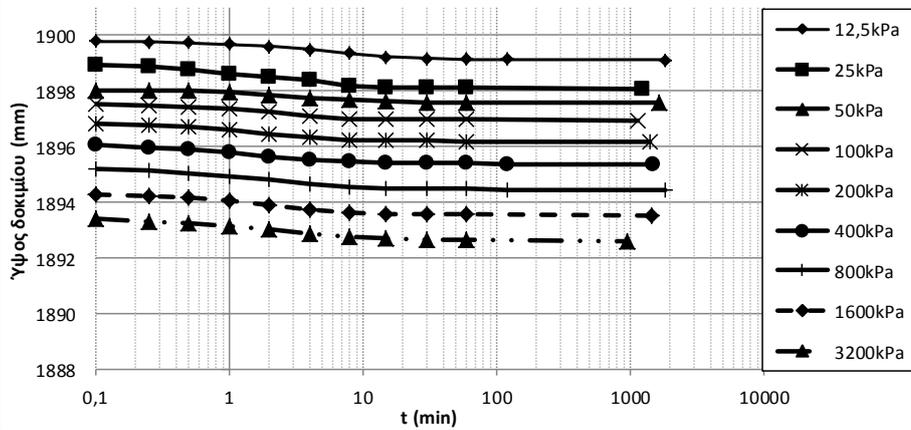
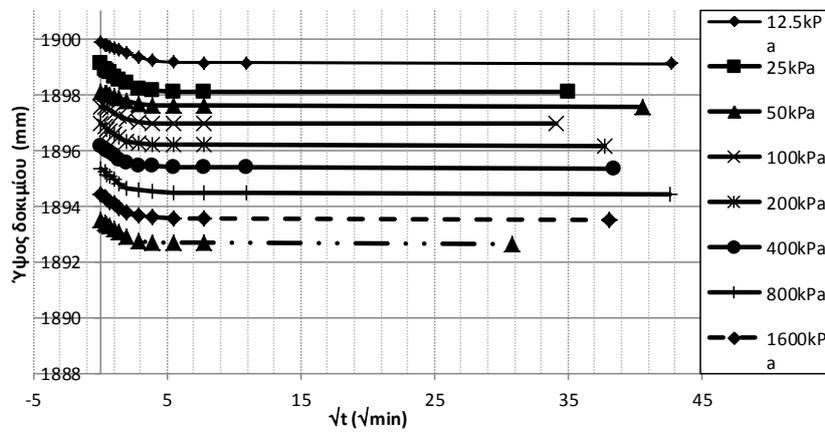
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



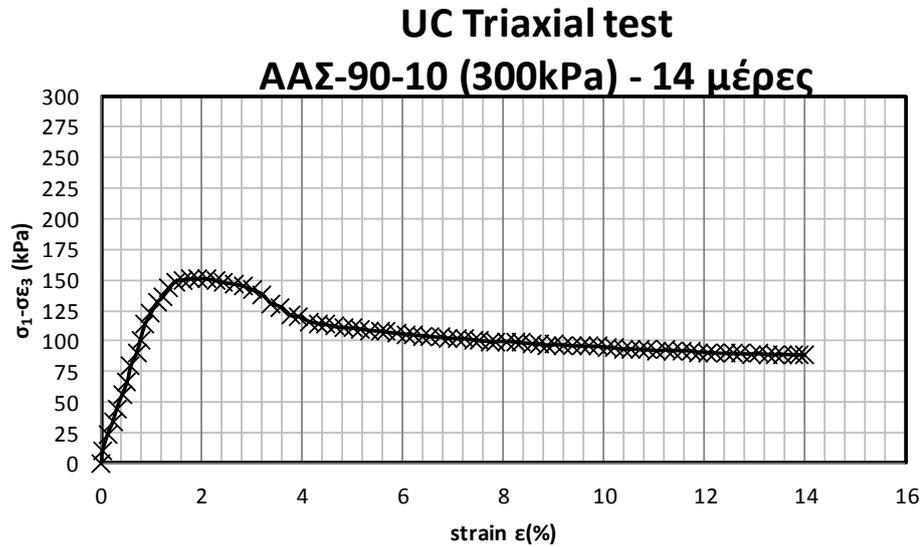




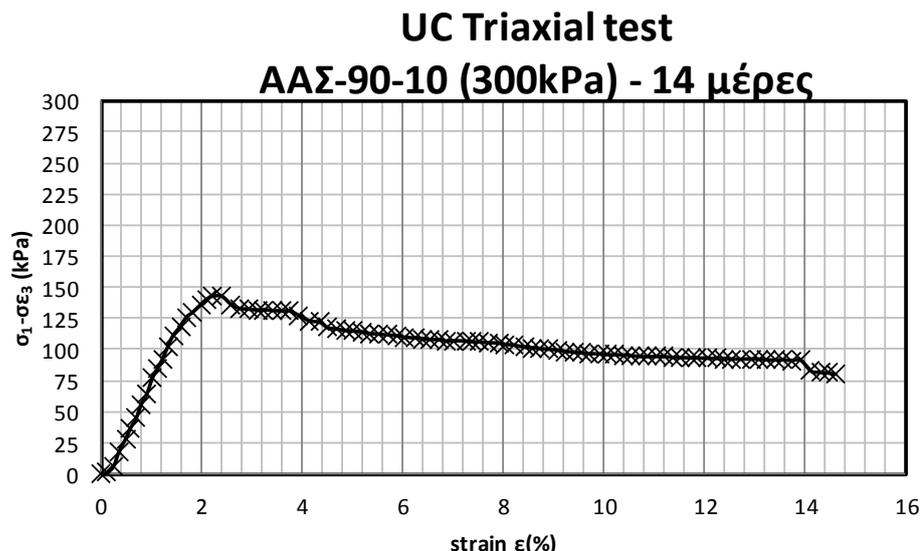
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



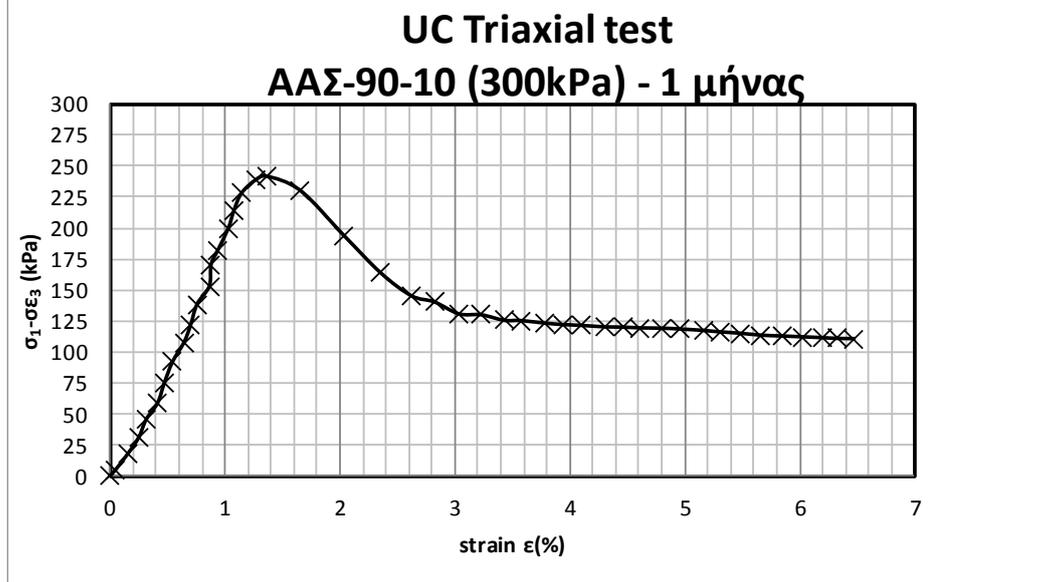
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	14 ΜΕΡΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	AS913141	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,69	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,04
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	54,94	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,61
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			75,51



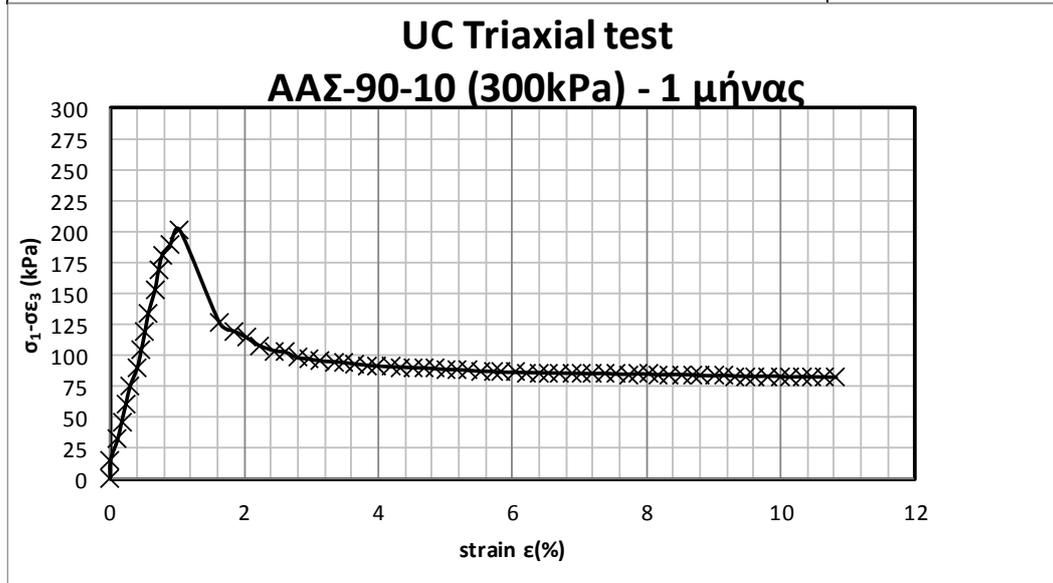
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	14 ΜΕΡΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	AS913142	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,69	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,04
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	55,51	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,62
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			71,45



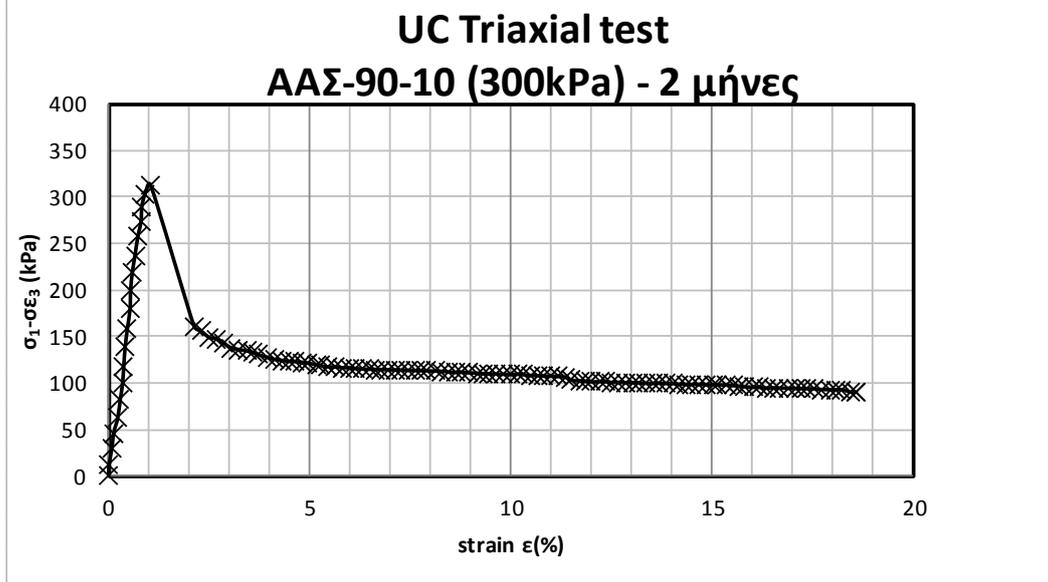
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	1 ΜΗΝΑΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	AS91311	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,61	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,07
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	55,19	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,66
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			120,86



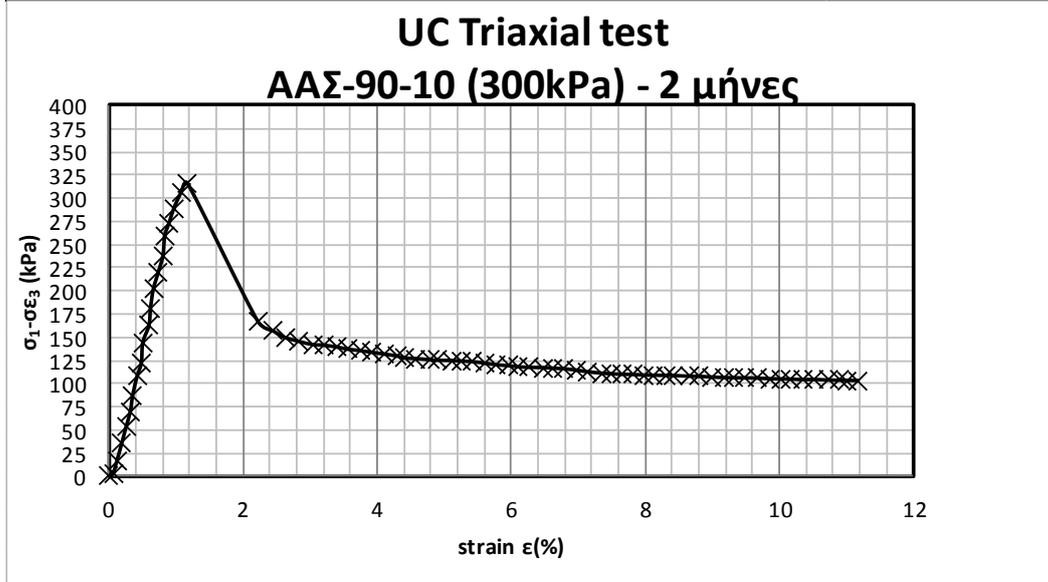
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	1 ΜΗΝΑΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	AS91312	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,62	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,07
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	55,96	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,67
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			119,89



ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	2 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN91321	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,61	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,07
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	57,46	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,66
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			156,56

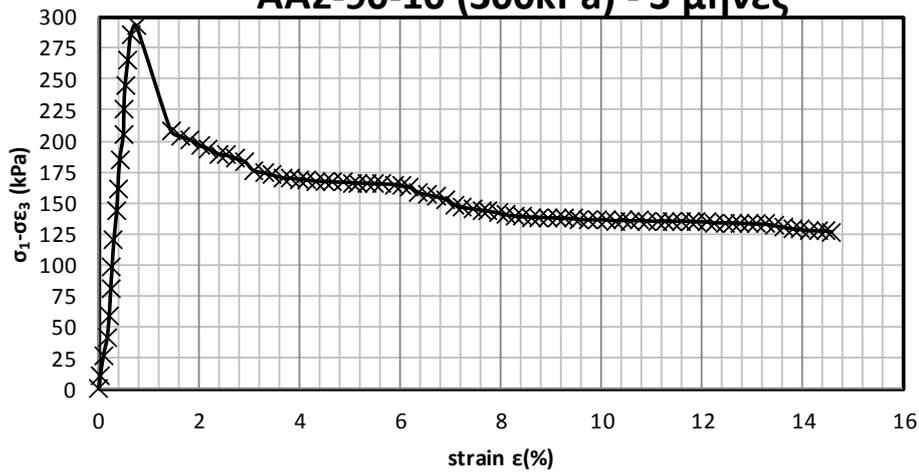


ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	2 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN91322	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,6	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,08
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	57,29	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,67
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			158,10



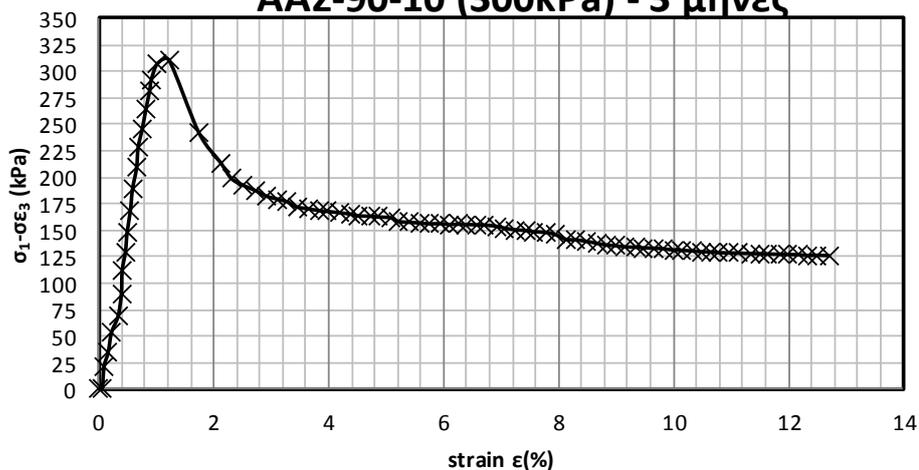
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	3 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN91331	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,6	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,08
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	53,46	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,66
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			156,45

**UC Triaxial test
ΑΑΣ-90-10 (300kPa) - 3 μήνες**

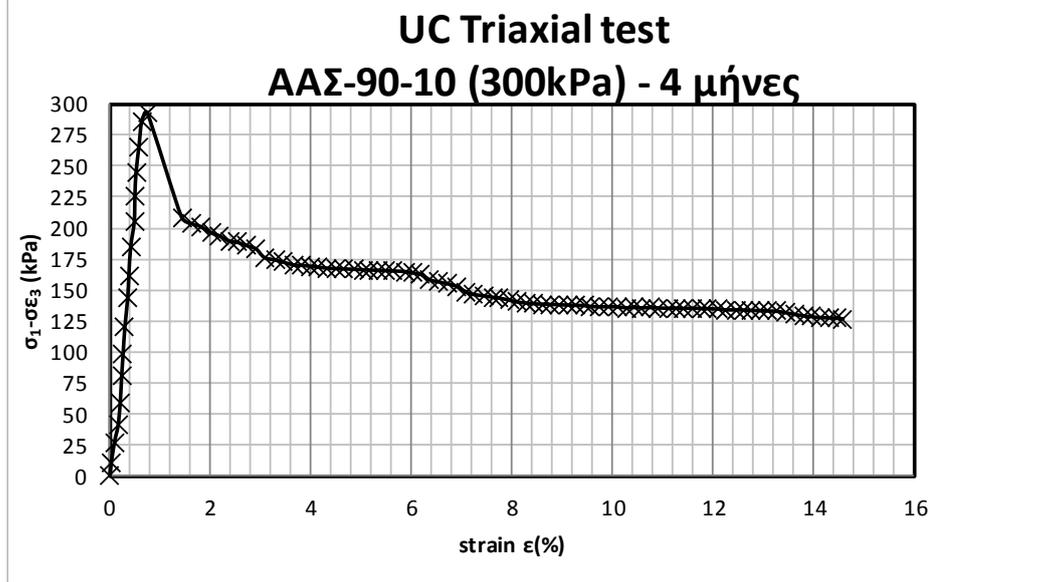


ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	3 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN91332	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,62	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,07
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	54,55	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,65
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			155,26

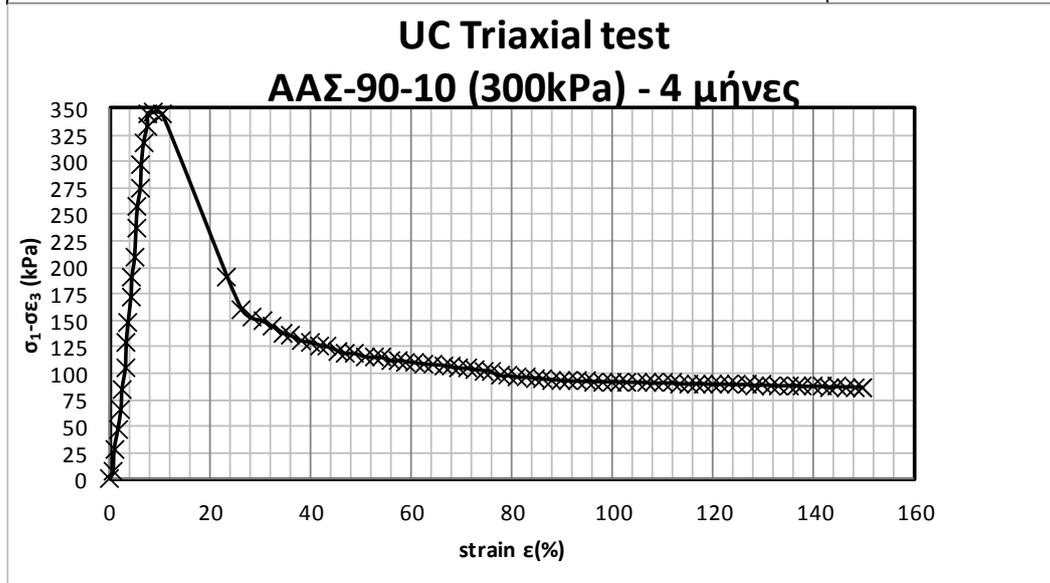
**UC Triaxial test
ΑΑΣ-90-10 (300kPa) - 3 μήνες**



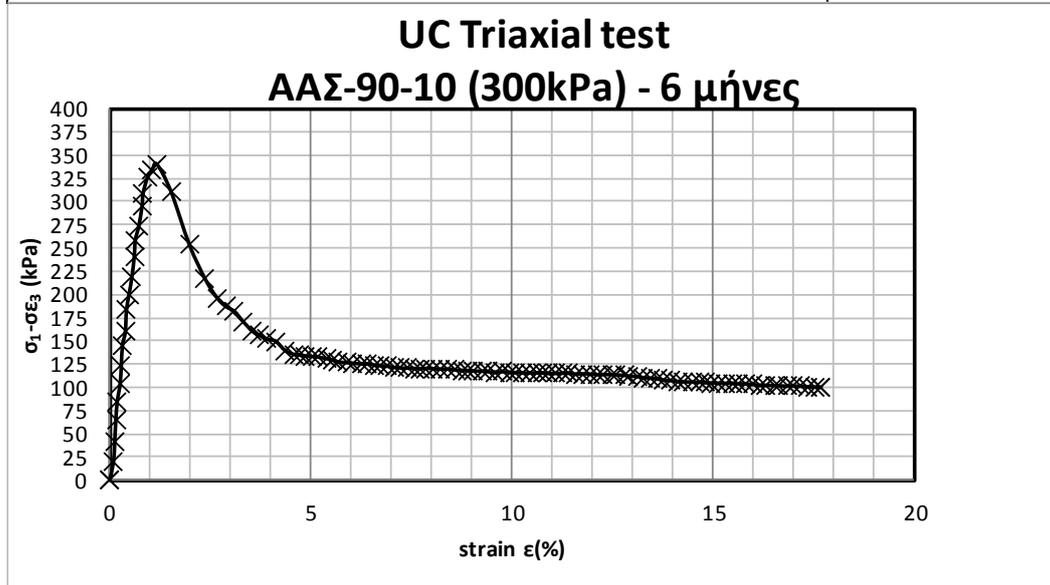
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	4 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN91341	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,6	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,06
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	53,92	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,66
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			156,72



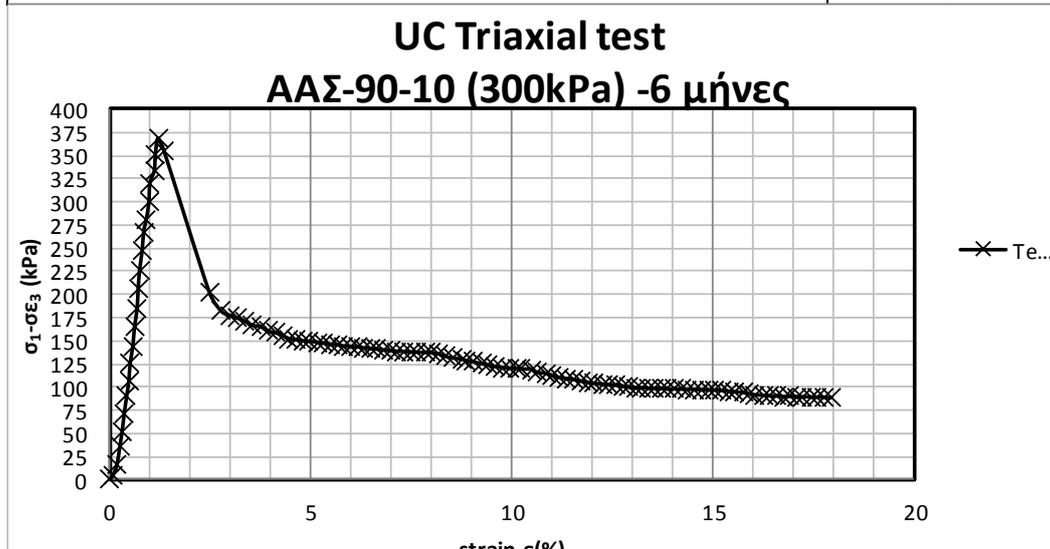
ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	4 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN91342	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,59	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,06
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	53,82	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,67
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			156,91



ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	6 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN91361	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,59	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,065
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	54,31	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,665
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			160,20

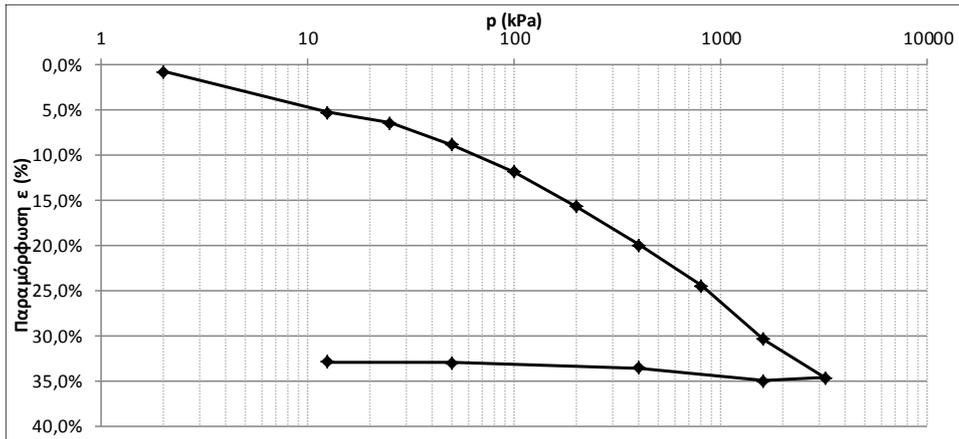


ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-90-10	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	6 ΜΗΝΕΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN91362	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,59	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,063
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	53,86	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,65
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			158,31

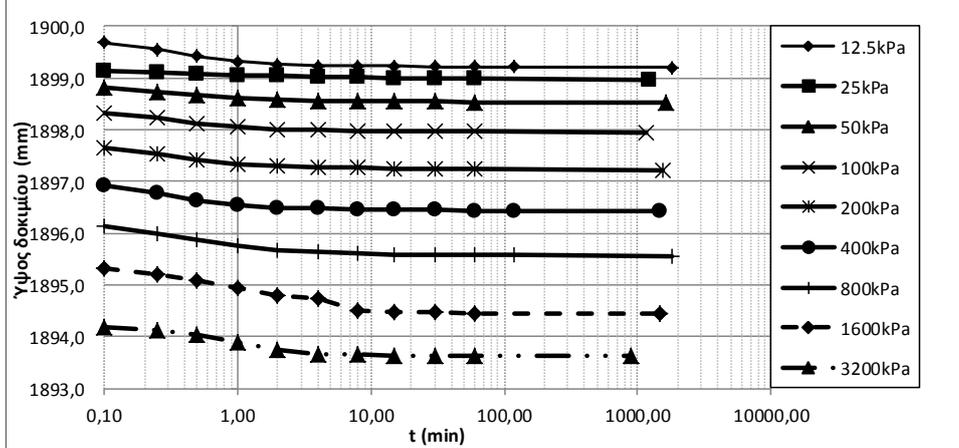
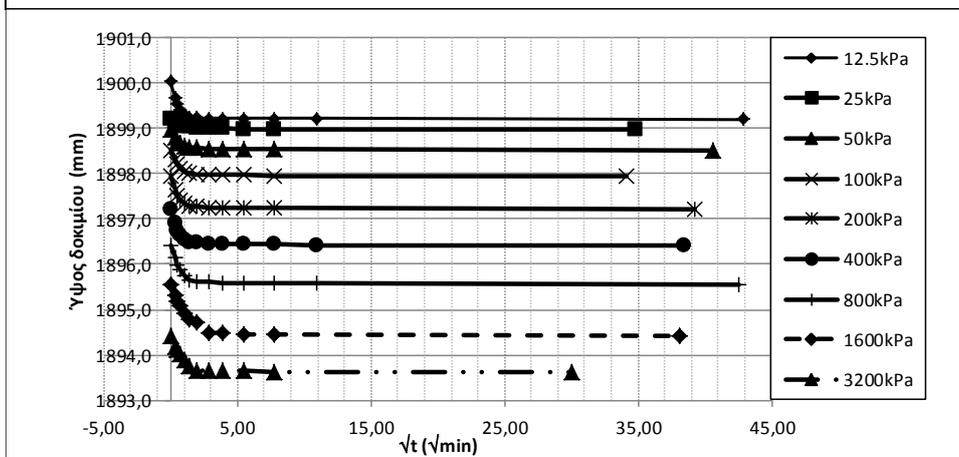


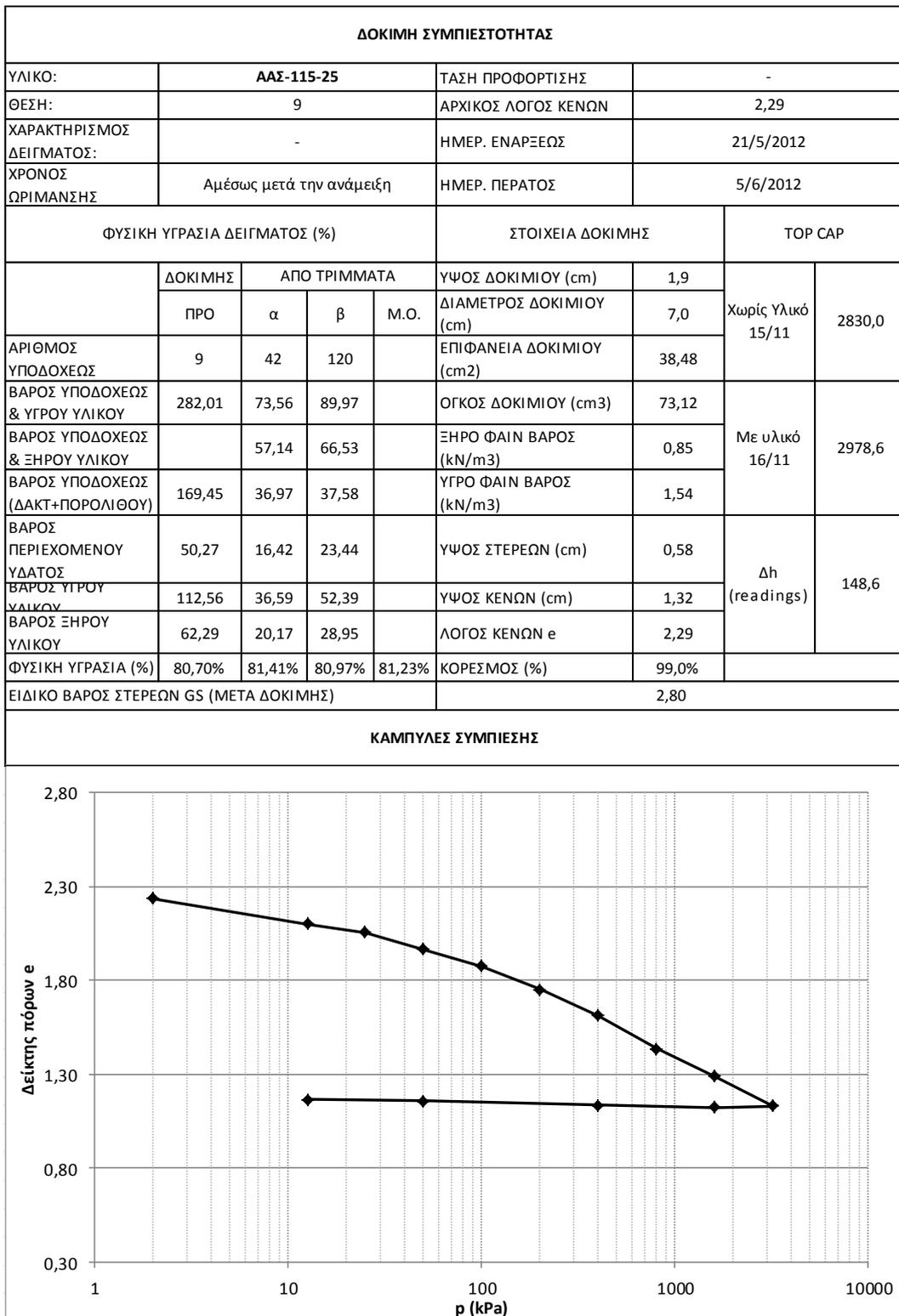
ΑΑΣ-115-25

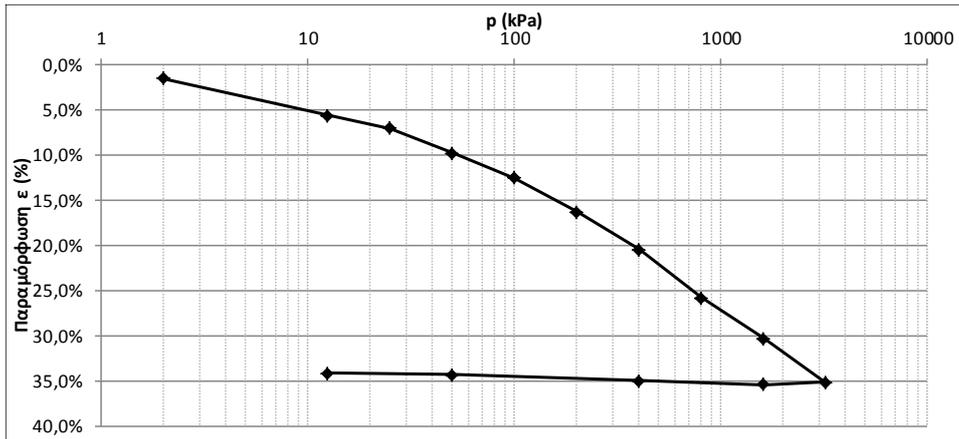
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ																									
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-115-25			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	-																				
ΘΕΣΗ:	8			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	2,30																				
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	-			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	21/5/2012																				
ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	Αμέσως μετά την ανάμειξη			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	5/6/2012																				
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP																			
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11																		
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0																			
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	8	127	131		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11																		
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	284,09	102,18	83,64		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12																			
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		73,00	62,78		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,85																			
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	171,44	37,12	37,10		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,54	Δh (readings)																		
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	50,54	29,18	20,86		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,58																			
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	112,65	65,06	46,54		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,32																			
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	62,11	35,88	25,68		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	2,30																			
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	81,37%	81,33%	81,23%	81,23%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	99,4%																			
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80																				
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ																									
<table border="1"> <caption>Data points for compression curves</caption> <thead> <tr> <th>p (kPa)</th> <th>e (Curve 1)</th> <th>e (Curve 2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2.30</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>2.15</td> <td>1.30</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1.95</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>1.65</td> <td>1.20</td> </tr> <tr> <td>10000</td> <td>1.30</td> <td>1.15</td> </tr> </tbody> </table>								p (kPa)	e (Curve 1)	e (Curve 2)	1	2.30	-	10	2.15	1.30	100	1.95	1.25	1000	1.65	1.20	10000	1.30	1.15
p (kPa)	e (Curve 1)	e (Curve 2)																							
1	2.30	-																							
10	2.15	1.30																							
100	1.95	1.25																							
1000	1.65	1.20																							
10000	1.30	1.15																							



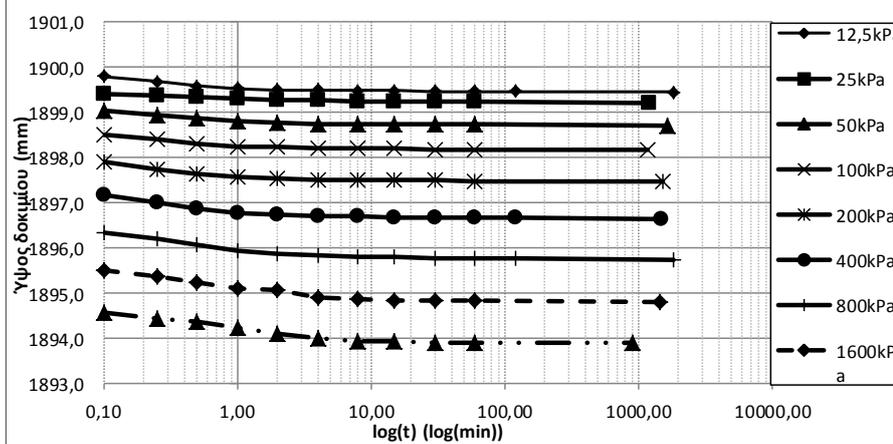
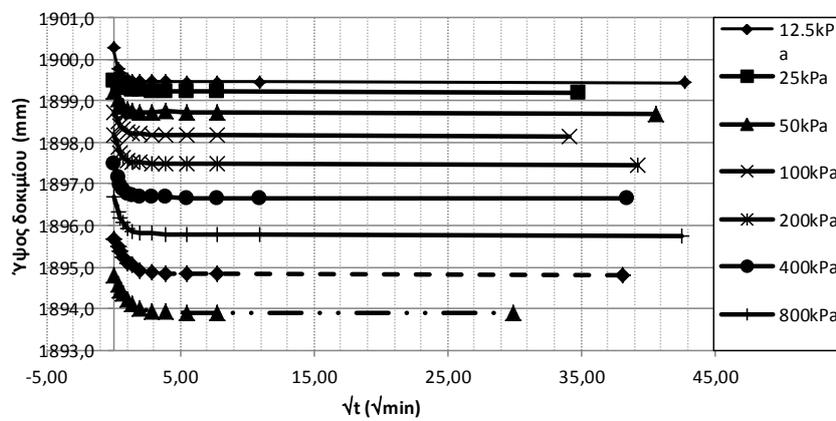
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



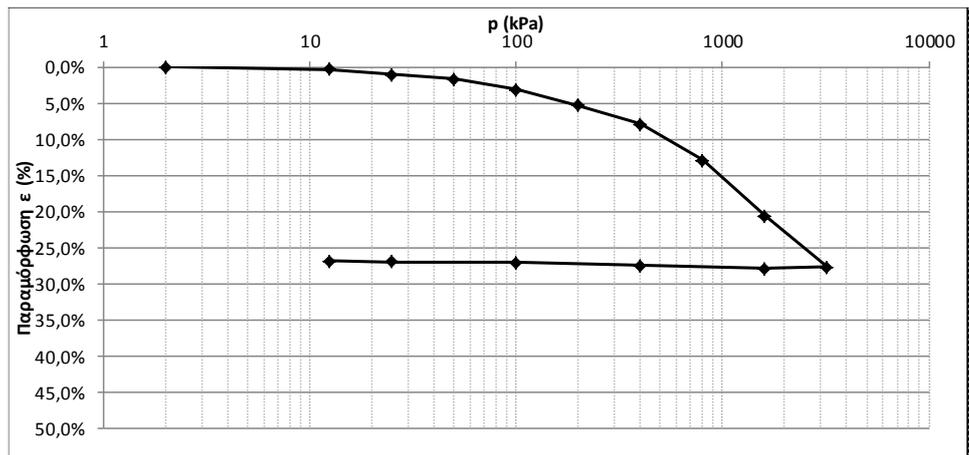




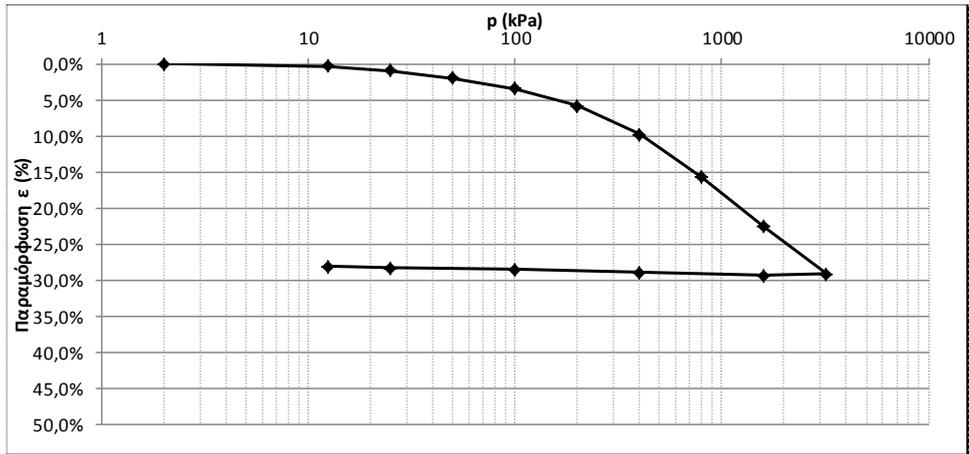
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ



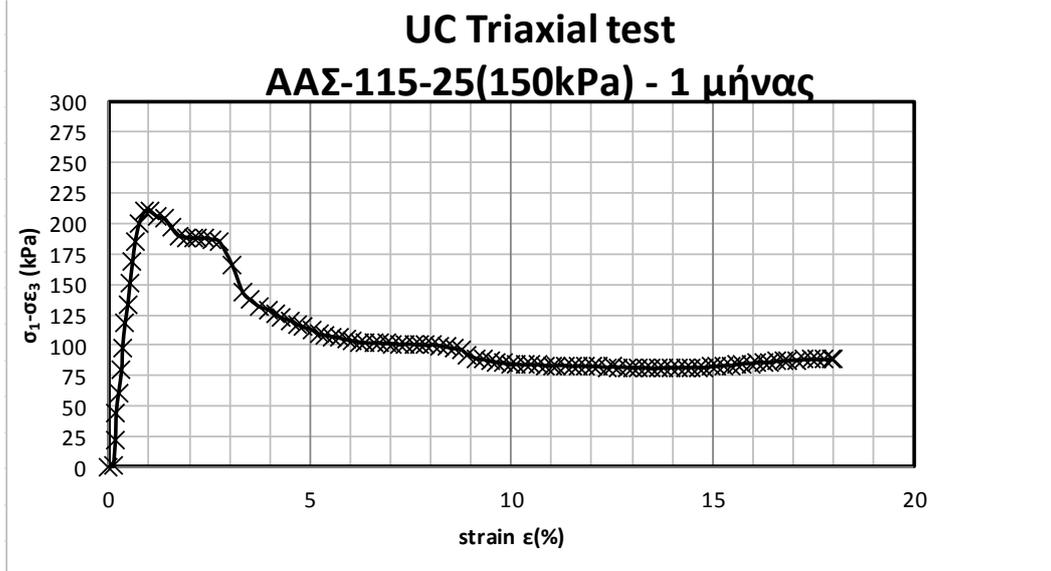
ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	115-25			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	300kPa		
ΘΕΣΗ:	4			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,75		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	26/6/2012		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΣΜΑΝΣΗΣ	1 μήνας			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	15/7/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	4	105	125		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	203,21	84,65	86,37		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		69,22	69,44		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,02	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	82,40	40,69	38,25		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,65	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	46,31	15,43	16,93		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,69	
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΩΝ	120,81	43,96	48,12		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,21	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	74,50	28,53	31,19		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,75	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	62,16%	54,08%	54,28%	53,07%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	99,7%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80		
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ							



ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ							
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-115-25			ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	150kPa		
ΘΕΣΗ:	5			ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	1,24		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΜΗ			ΗΜΕΡ. ΕΝΑΡΞΕΩΣ	26/6/2012		
ΧΡΟΝΟΣ ΟΡΙΜΑΝΣΗΣ	1 μήνας			ΗΜΕΡ. ΠΕΡΑΤΟΣ	15/7/2012		
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ		TOP CAP	
	ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΟ ΤΡΙΜΜΑΤΑ			ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	1,9	Χωρίς Υλικό 15/11
	ΠΡΟ	α	β	Μ.Ο.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)	7,0	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ	5	131	112		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)	38,48	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	200,14	65,42	65,26		ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	73,12	Με υλικό 16/11
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ & ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ		55,78	55,79		ΞΗΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	0,97	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ (ΔΑΚΤ+ΠΟΡΟΛΙΘΟΥ)	83,34	37,09	37,70		ΥΓΡΟ ΦΑΙΝ ΒΑΡΟΣ (kN/m ³)	1,60	
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ	45,86	9,64	9,47		ΥΨΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (cm)	0,66	Δh (readings)
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	116,80	28,33	27,56		ΥΨΟΣ ΚΕΝΩΝ (cm)	1,24	
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	70,94	18,69	18,09		ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	1,89	
ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	64,65%	51,58%	52,35%	53,07%	ΚΟΡΕΣΜΟΣ (%)	96,1%	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ GS (ΜΕΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ)					2,80		

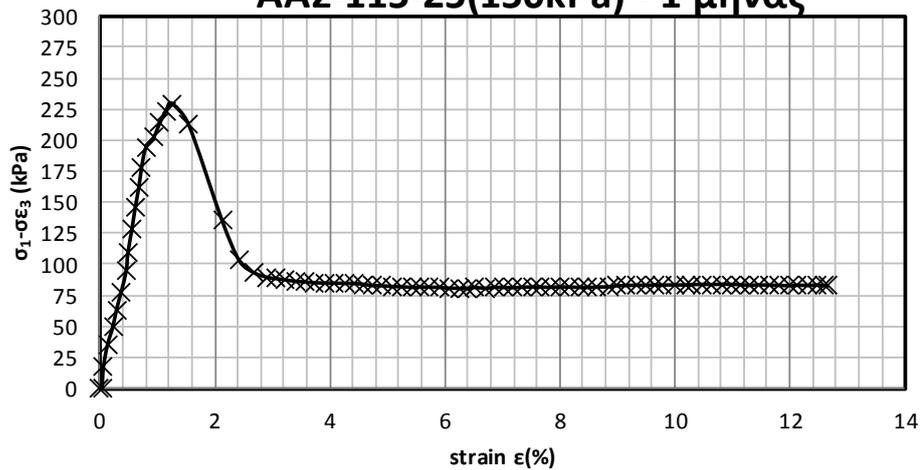


ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-115-25	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	1 ΜΗΝΑΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	U1251511	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	150kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,95	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	0,95
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	60,94	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,53
ΑΣΤΡΑΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			105,07



ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-115-25	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	1 ΜΗΝΑΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	U1251512	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	150kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,94	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	0,95
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	61,99	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,53
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			104,87

UC Triaxial test ΑΑΣ-115-25(150kPa) - 1 μήνας



ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ UC			
ΥΛΙΚΟ:	ΑΑΣ-115-25	ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ:	1 ΜΗΝΑΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ:	UN125311	ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ:	300kPa
ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e:	1,81	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	0,99
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%):	59,23	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (kN/cm ³):	1,58
ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Cu) (kPa):			156,82

UC Triaxial test ΑΑΣ-115-25(300kPa) - 1 μήνας

