



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ
ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ**



Δευτεραίος Ευάγγελος

Επιβλέπων: κ. Μιχάλης Ι. Καββαδάς, Αναπληρωτής

Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας θα ήθελα αρχικώς να ευχαριστήσω τον κύριο Μ. Καββαδά, αναπληρωτή καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών και διευθυντή του τομέα Γεωτεχνικής. Τον ευχαριστώ ιδιαίτερω για την ανάθεση της εργασίας, για την επιστημονική καθοδήγηση που μου προσέφερε, καθώς και για τον χρόνο που αφιέρωσε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Οφείλω ακόμα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Σμαράγδα Ευθυμίου για τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις της, για την συμβολή της στην τελική διαμόρφωση της εργασίας, καθώς και για την προθυμία της να βοηθήσει όποτε χρειάστηκε. Επίσης ευχαριστώ τον Γιώργο Πυργιώτη, τεχνικό του εργαστηρίου θεμελιώσεων για την απαραίτητη συμβολή του στην διαξαγωγή των πειραμάτων και για την καλή συνεργασία που είχαμε στο εργαστήριο.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους μου, για την βοήθεια και την στήριξη και την υπομονή τους σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία κύριο αντικείμενο μελέτης αποτελεί το φαινόμενο της στερεοποίησης. Η διερεύνηση του φαινομένου γίνεται μέσα από εργαστηριακές δοκιμές συμπιεσομέτρου σε ένα αργιλικό και ένα καλκαρενιτικό έδαφικό υλικό του ελληνικού χώρου, καθώς και σε αναμοχλευμένα δοκίμια τους. Για τα εδαφικά αυτά υλικά, αρχικά προσδιορίστηκε η φυσική περιεχόμενη υγρασία τους και το ειδικό βάρος των εδαφικών τους κόκκων, ενώ για την άργιλο έγιναν επιπλέον εργασίες με σκοπό τον υπολογισμό των ορίων Atterberg και κατ' επέκταση την ταξινόμηση της βάσει του USCS.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν παραλλαγές της εργαστηριακής δοκιμής συμπιεσομέτρου, με σκοπό τον προσδιορισμό της επίδρασης τους στη μηχανική συμπεριφορά του κάθε σχηματισμού. Συγκεκριμένα εξετάστηκε η επιρροή του ρυθμού φόρτισης αλλά και των διαστάσεων του δοκιμίου (ύψος και διάμετρος) στη συμπιεστότητα του κάθε υλικού αλλά και στον ρυθμό χρονικής εξέλιξης του φαινομένου. Ακολούθως έγινε αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων των δοκιμών στα αναμοχλευμένα δοκίμια με αυτά των αντίστοιχων δοκιμών που έχουν γίνει σε φυσικά, αδιατάρακτα δείγματα. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να προσδιοριστεί η επίδραση που έχει η δομή και η γεωλογική ιστορία του φυσικού υλικού στη συμπιεστότητα και στην ταχύτητα ολοκλήρωσης της στερεοποίησης.

Τέλος, το 7ο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρεται στη σύγκριση των δύο διαφορετικών εδαφικών σχηματισμών ως προς τα χαρακτηριστικά και τη μηχανική συμπεριφορά τους κατά τη στερεοποίηση. Εξετάστηκαν οι μορφές των καμπυλών συμπίεσης, η μεταβολή του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης αλλά και του συντελεστή στερεοποίησης σε ομοειδείς εργαστηριακές δοκιμές των δύο αρχικών φυσικών υλικών, καθώς και των αναμοχλευμένων δοκιμίων τους.

Abstract

The main object of this study is the investigation and analysis of the phenomenon of consolidation, which is conducted on clay and calcarenite, soil materials of the Greek geological terrains, as well as their reconstituted samples. The laboratory investigation began with the determination of the physical properties and characteristics of the above soil materials, like the specific gravity of soil grains and the natural moisture content of the tested samples. In addition some tests took place in order to determine clay's Atterberg limits and classification according to Unified Soil Classification System.

Then, a series of oedometer tests with different parameters were conducted, aiming to investigate the mechanical behaviour of the tested soil samples during consolidation. The influence of the load rate and the sample size (height and diameter) on the compressibility of each material and on the time evolution of the consolidation were tested and examined as well. Next step of this dissertation was to analyse and compare the behavior of the reconstituted soils with the results obtained for the intact soils from tests in the same apparatus. This comparison is used to define the influence of the structure and the geological history of the intact soil on its subsequent response to normal compressibility and to the completion speed of consolidation.

Concluding, in the last chapter of the current thesis, there is a comparison of the two different types of soil formations on their mechanical properties and characteristics during consolidation. The shape of the compression curves, the change in the modulus of elasticity and the coefficient of consolidation are all examined and compared via the same oedometer tests on intact and reconstituted materials respectively.

ΣΥΜΒΟΛΑ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΕΣ

Σύμβολο	Μονάδες	Ονομασία	
		Ελληνική	Αγγλική
e	αδιάστατο	δείκτης πόρων ή λόγος κενών	void ratio
S	αδιάστατο	βαθμός κορεσμού	degree of saturation
w	%	ποσοστό υγρασίας	moisture content
V_k	m^3	όγκος κενών	volume of voids
$V_{στ}$	m^3	όγκος στερεών κόκκων	volume of solid particles
V_w	m^3	όγκος περιεχόμενης υγρασίας	volume of moisture
$M_{στ}$	kg	μάζα στερεών κόκκων	mass of solid particles
M_w	kg	μάζα περιεχόμενης υγρασίας	mass of moisture
u	kPa	υδατική πίεση πόρων	pore water pressure
σ	kPa	ολική τάση	total stress
σ'	kPa	ενεργός τάση	effective stress
σ_v	kPa	κατακόρυφη τάση	vertical stress
σ_h	kPa	οριζόντια τάση	horizontal stress
δ	m	υποχώρηση ή καθίζηση	settlement
ϵ	%	ανηγμένη παραμόρφωση	strain
U	%	βαθμός στερεοποίησης	degree of consolidation
c_v	m^2/year	συντελεστής στερεοποίησης	coefficient of consolidation
α_v	cm^2/kg	συντελεστής συμπιεστότητας	coefficient of compressibility
m_v	cm^2/kg	συντελεστής μεταβολής όγκου	coefficient of volume compressibility
T_v	αδιάστατο	χρονικός παράγων	time factor
k	m/s	συντελεστής υδατοπερατότητας	coefficient of permeability
E_s	MPa	μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης	modulus of elasticity
γ	kN/m^3	φαινόμενο βάρος	specific gravity
γ_d	kN/m^3	ξηρό φαινόμενο βάρος	dry specific gravity
γ_w	kN/m^3	φαινόμενο βάρος νερού	specific gravity of water
G_s	kN/m^3	φαινόμενο βάρος στερεών κόκκων	specific gravity of solid particles
ρ_d	kg/m^3	πυκνότητα ξηρού υλικού	dry density
ρ_w	kg/m^3	πυκνότητα νερού	water density
ρ_s	kg/m^3	πυκνότητα στερεών κόκκων	particle density
OCR	αδιάστατο	συντελεστής προφόρτισης	consolidation ratio
C_a	αδιάστατο	συντελεστής δευτερογενούς στερεοποίησης	coefficient of secondary consolidation

C_c	αδιάστατο	δείκτης συμπίεστότητας	compression index
C_e	αδιάστατο	δείκτης διόγκωσης	swell index
C_r	αδιάστατο	δείκτης επαναφόρτισης	recompression index
H	m	ύψος εδαφικής στρώσης	height
h	m	μέγιστο μήκος διαδρομής στράγγισης	maximum drainage path
n	αδιάστατο	πορώδες	porosity
i	αδιάστατο	υδραυλική κλίση	hydraulic gradient
v	m/s	ταχύτητα ροής	pore-water velocity
LL ή w_L	%	όριο υδαρότητας	liquid limit
PL ή w_p	%	όριο πλασ(τ)ιμότητας	plasticity limit
I_p	%	δείκτης πλασ(τ)ιμότητας	plasticity index
p	kPa	φορτίο	pressure
p_c	kPa	τάση προφόρτισης	preconsolidation pressure
A	m ²	εμβαδόν διατομής	area
τ	kPa	διατμητική τάση	shear stress
C_t	αδιάστατο	δείκτης δευτερογενούς συμπίεσης	Secondary compression index

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.

Εικόνα 1.1. Θεμελίωση κατασκευής με πέδιλα.....	3
Εικόνα 1.2. Ενίσχυση αργλικού στρώματος με προφόρτιση και χρήση κατακόρυφων στραγγιστηρίων βάθους 20-22 μέτρων, για την επιτάχυνση της διαδικασίας	4
Εικόνα 2.1. Δημιουργία ιζηματογενών σχηματισμών	15
Εικόνα 4.1. Συσκευή Casagrande για τον προσδιορισμό των ορίων υδαρότητας.....	63
Εικόνα 4.2. Δοκιμή ορίου υδαρότητας. Α) Συσκευή Casagrande, Β) Εργαλείο χάραξης, Γ) Εδαφικός πλακούντας πριν τη δοκιμή, Δ) Εδαφικό πλακούντας μετά τη δοκιμή (Das 1990, από Κούκης και Σταμπατακάκης 2002).....	64
Εικόνα 4.3. Δοκιμή προσδιορισμού ορίου πλαστικότητας (Λαγγιώτης και Σπηλιώπουλος 1978, από Κούκης και Σταμπατακάκης 2002).....	67
Εικόνα 4.4. Η συσκευή του συμπιεσομέτρου.....	68
Εικόνα 4.5. Κυψέλη πληρωμένη με νερό και τοποθετημένη στη συσκευή φόρτισης.....	70

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.

Σχήμα 2.1. Όρια μεγεθών κόκκων εδαφικών υλικών.....	Error! Bookmark not defined.
Σχήμα 2.2. Χάρτης πλαστιμότητας Casagrande.....	Error! Bookmark not defined.
Σχήμα 2.3. Το συνεχές γεωτεχνικό φάσμα (Johnston & Novello 1993)	17
Σχήμα 2.4. Ποσοστό αργίλου και ανθρακικού ασβεστίου σε βραχώδεις σχηματισμούς.....	19
Σχήμα 2.5. Καμπύλες μονοδιάστατης συμπίεσης διαφόρων αναμοχλευμένων αργίλων.....	21
Σχήμα 3.1. Πρωτογενής και δευτερογενής στερεοποίηση – Δείκτης δευτερογενούς στερεοποίησης.....	27
Σχήμα 3.2. Ελαστικό ανάλογο Terzaghi	28
Σχήμα 3.3. Μεταβολή του λόγου κενών συναρτήσει του χρόνου	30
Σχήμα 3.4. Καμπύλη τελικού λόγου κενών και ενεργών τάσεων.....	30
Σχήμα 3.5. Καμπύλη λόγου κενών και ενεργών τάσεων – Συντελεστής συμπιεστότητας. ...	32
Σχήμα 3.6. Καμπύλη λόγου κενών και λογαρίθμου ενεργών τάσεων – Δείκτης συμπιεστότητας	33
Σχήμα 3.7. Δείκτης επαναφόρτισης και δείκτης συμπιεστότητας μιας τυπικής καμπύλης στερεοποίησης.....	35
Σχήμα 3.8. Καμπύλη φόρτισης αποφόρτισης και επαναφόρτισης.	37
Σχήμα 3.9. Υδροστατική υπερπίεση πόρων σε κορεσμένο αργιλικό στρώμα.	40
Σχήμα 3.10. Μεταβολή πίεσης πόρων σε μια λεπτή φέτα αργιλικού στρώματος.	41
Σχήμα 3.11. Ισόχρονες καμπύλες ανοιχτού αργιλικού στρώματος.....	46
Σχήμα 3.12. Καμπύλες μέσου βαθμού στερεοποίησης και χρονικού παράγοντα.....	48
Σχήμα 3.13. Καμπύλη της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου	51
Σχήμα 3.14. Καμπύλη λογαρίθμου του χρόνου.....	53
Σχήμα 3.15. Κατασκευή Casagrande.....	54
Σχήμα 3.16. Φυσική καμπύλη στερεοποίησης κανονικώς στερεοποιημένων αργίλων	58
Σχήμα 3.17. Φυσική καμπύλη στερεοποίησης υπερστερεοποιημένων αργίλων	59

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.

Πίνακας 2.1. Συμβολισμοί του συστήματος USCS.....	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 2.2. Όρια Atterberg και σχετική υδαρότητα	13
Πίνακας 2.3. Συνέδρια και συμπόσια με θέματα “Σκληρά εδάφη – Μαλακούς βράχους” ..	18
Πίνακας 3.1. Τιμές του χρονικού παράγοντα T_v συναρτήσει του U	49
Πίνακας 4.1. Διαφορές Βρετανικών και Αμερικανικών προτύπων στη δοκιμή συμπίεσομέτρου	69
Πίνακας 4.2. Φυσικά χαρακτηριστικά εδαφικών δοκιμών	76
Πίνακας 4.3. Συνοπτική παρουσίαση των εργαστηριακών δοκιμών στερεοποίησης που πραγματοποιήθηκαν.....	77
Πίνακας 5.1. Τιμές λόγου κενών σε χαρακτηριστικές θέσεις.....	78
Πίνακας 5.2. Αποτελεσματα δοκιμής I.	79
Πίνακας 5.3. Αποτελεσματα δοκιμής II	82
Πίνακας 5.4. Αποτελεσματα δοκιμής III	84
Πίνακας 5.5. Αποτελεσματα δοκιμής IV	87
Πίνακας 5.6. Αποτελεσματα δοκιμής V	89
Πίνακας 5.7. Αποτελεσματα δοκιμής VI	101
Πίνακας 6.1. Τιμές λόγου κενών σε χαρακτηριστικές θέσεις.....	107
Πίνακας 6.2. Αποτελεσματα δοκιμής VII	108
Πίνακας 6.3. Αποτελεσματα δοκιμής VIII	110
Πίνακας 6.4. Αποτελεσματα δοκιμής IX	112
Πίνακας 6.5. Αποτελεσματα δοκιμής X	114
Πίνακας 6.6. Αποτελεσματα δοκιμής XI	116
Πίνακας 6.7. Αποτελεσματα δοκιμής XII	126

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 5.1. Καμπύλη συμπίεσης της δοκιμής I.....	80
Διάγραμμα 5.2. Καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της δοκιμής I	81
Διάγραμμα 5.3. Καμπύλη συμπίεσης της δοκιμής II.....	83
Διάγραμμα 5.4. Καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της δοκιμής II	83
Διάγραμμα 5.5. Καμπύλη συμπίεσης της δοκιμής III.....	85
Διάγραμμα 5.6. Καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της δοκιμής III	86
Διάγραμμα 5.7. Καμπύλη συμπίεσης της δοκιμής IV	87
Διάγραμμα 5.8. . Καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της δοκιμής IV	88
Διάγραμμα 5.9. Καμπύλη συμπίεσης της δοκιμής V.	89
Διάγραμμα 5.10. Καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της δοκιμής V	90
Διάγραμμα 5.11. Καμπύλες συμπίεσης των διαφορετικών ρυθμών φόρτισης στην άργιλο.91	
Διάγραμμα 5.12. Καμπύλες μέτρων μονοδιάστατης συμπίεσης για διαφορετικά ΔΡ/Ρ στην άργιλο.....	93
Διάγραμμα 5.13. Καμπύλες συντελεστών στερεοποίησης συναρτήσει της ενεργού τάσης για διαφορετικά ΔΡ/Ρ στην άργιλο	95
Διάγραμμα 5.14. Καμπύλες συμπίεσης δοκιμών διαφορετικού ύψους στην άργιλο.....	97
Διάγραμμα 5.15. Καμπύλες μέτρων μονοδιάστατης συμπίεσης δοκιμών διαφορετικού ύψους στην άργιλο.....	98
Διάγραμμα 5.16. Καμπύλες συντελεστών στερεοποίησης συναρτήσει της ενεργού τάσης δοκιμών διαφορετικού ύψους στην άργιλο.	100
Διάγραμμα 5.17. Καμπύλες συμπίεσης αναμοχλευμένης και αρχικής αργίλου για ΔΡ/Ρ=1	101
Διάγραμμα 5.18. Καμπύλες ανηγμένης παραμόρφωσης αναμοχλευμένης και αρχικής αργίλου για ΔΡ/Ρ=1.....	103
Διάγραμμα 5.19. Καμπύλες συντελεστών στερεοποίησης αναμοχλευμένης και αρχικής αργίλου για ΔΡ/Ρ=1.....	104
Διάγραμμα 5.20. Καμπύλες μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης αναμοχλευμένης και αρχικής αργίλου για ΔΡ/Ρ=1.....	105
Διάγραμμα 5.21. Καμπύλες μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης δοκιμών I και VI.	106
Διάγραμμα 6.1. Καμπύλη συμπίεσης της δοκιμής VII.	108
Διάγραμμα 6.2. Καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της δοκιμής VII.	109
Διάγραμμα 6.3. Καμπύλη συμπίεσης της δοκιμής VIII	111
Διάγραμμα 6.4. Καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της δοκιμής VIII	111

Διάγραμμα 6.5. Καμπύλη συμπίεσης της δοκιμής IX.....	113
Διάγραμμα 6.6. Καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της δοκιμής IX	113
Διάγραμμα 6.7. Καμπύλη συμπίεσης της δοκιμής X.....	115
Διάγραμμα 6.8. Καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της δοκιμής X	115
Διάγραμμα 6.9. Καμπύλη συμπίεσης της δοκιμής XI.....	117
Διάγραμμα 6.10. Καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της δοκιμής XI	117
Διάγραμμα 6.11. Καμπύλες συμπίεσης των διαφορετικών ρυθμών φόρτισης στον καλκαρενίτη.....	118
Διάγραμμα 6.12. Καμπύλες μέτρων μονοδιάστατης συμπίεσης για διαφορετικά $\Delta P/P$ στον καλκαρενίτη.....	119
Διάγραμμα 6.13. Καμπύλες συντελεστών στερεοποίησης συναρτήσει της ενεργού τάσης για διαφορετικά $\Delta P/P$ στον καλκαρενίτη.....	121
Διάγραμμα 6.14. Καμπύλες συμπίεσης δοκιμών διαφορετικής διαμέτρου στον καλκαρενίτη.	123
Διάγραμμα 6.15. Καμπύλες μέτρων μονοδιάστατης συμπίεσης δοκιμών διαφορετικής διαμέτρου στον καλκαρενίτη.	124
Διάγραμμα 6.16. Καμπύλες συντελεστών στερεοποίησης συναρτήσει της ενεργού τάσης δοκιμών διαφορετικής διαμέτρου στον καλκαρενίτη	125
Διάγραμμα 6.17. Καμπύλες συμπίεσης αναμοχλευμένου και αρχικού καλκαρενίτη για $\Delta P/P=1$	Error! Bookmark not defined.
Διάγραμμα 6.18. Καμπύλες ανηγμένης παραμόρφωσης αναμοχλευμένου και αρχικού καλκαρενίτη για $\Delta P/P=1$	Error! Bookmark not defined.
Διάγραμμα 6.19. Καμπύλες συντελεστών στερεοποίησης αναμοχλευμένου και αρχικού καλκαρενίτη για $\Delta P/P=1$	Error! Bookmark not defined.
Διάγραμμα 6.20. Καμπύλες μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης αναμοχλευμένου και αρχικού καλκαρενίτη	130
Διάγραμμα 7.1. Καμπύλες συμπίεσης αργίλου και καλκαρενίτη για $\Delta P/P=1$	132
Διάγραμμα 7.2. Συντελεστής στερεοποίησης συναρτήσει ενεργού τάσης σε άργιλο και καλκαρενίτη για $\Delta P/P=1$	133
Διάγραμμα 7.3. Καμπύλες συμπίεσης αργίλου και καλκαρενίτη για $\Delta P/P=0.5$	134
Διάγραμμα 7.4. Συντελεστής στερεοποίησης συναρτήσει ενεργού τάσης σε άργιλο και καλκαρενίτη για $\Delta P/P=0.5$	135
Διάγραμμα 7.5. Καμπύλες συμπίεσης αργίλου και καλκαρενίτη για $\Delta P/P=2$	136

Διάγραμμα 7.6. Συντελεστής στερεοποίησης συναρτήσει ενεργού τάσης σε άργιλο και καλκαρενίτη για $\Delta P/P=2$	137
Διάγραμμα 7.7. Μέτρο μονοδιάστατης στερεοποίησης αργίλου και καλκαρενίτη συναρτήσει της ενεργού τάσης.....	138
Διάγραμμα 7.8. Καμπύλες συμπίεσης αναμοχλευμένης αργίλου και αναμοχλευμένου καλκαρενίτη.....	140
Διάγραμμα 7.9. Εγγενές μέτρο μονοδιάστατης στερεοποίησης αργίλου και καλκαρενίτη συναρτήσει της ενεργού τάσης.....	141
Διάγραμμα 7.10. Καμπύλες εγγενούς συντελεστή στερεοποίησης αργίλου και καλκαρενίτη συναρτήσει της ενεργού τάσης.....	142

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>Ευχαριστίες</i>	iii
<i>Περίληψη</i>	iv
<i>Abstract</i>	v
<i>Σύμβολα και Μονάδες</i>	vi
<i>Ευρετήριο Εικόνων</i>	viii
<i>Ευρετήριο Σχημάτων</i>	ix
<i>Ευρετήριο Πινάκων</i>	x
<i>Ευρετήριο Διαγραμμάτων</i>	xi
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1 Αντικείμενο και μεθοδολογία της εργασίας	2
1.2 Εφαρμογές των πειραματικών δοκιμών του συμπιεσομετρου	2
2. ΕΛΑΦΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	6
2.1 Επισκόπηση των εδαφικών σχηματισμών που εξετάζονται	6
2.2 Ταξινόμηση των εδαφών	6
2.3 Αργιλικά εδάφη	9
2.3.1 Μηχανικές ιδιότητες των αργιλικών εδαφών	9
2.3.2 Φυσικά χαρακτηριστικά των αργιλικών εδαφών	13
2.4 Σκληρά εδάφη – Μαλακοί βράχοι	14
2.4.1 Ιζηματογενή πετρώματα	14
2.4.2 Συγκολλημένα ανθρακικά εδάφη – Καλκαρενίτης	15
2.5 Η μηχανική συμπεριφορά των	
“ σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων ”	16

2.6	Αναμογλευμένα υλικά	20
3.	ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	22
3.1	Προσέγγιση της πραγματικής συμπεριφοράς του εδάφους	22
3.2	Μονοδιάστατη συμπίεση των εδαφών	23
3.3	Στερεοποίηση των εδαφικών υλικών	25
3.3.1	Εισαγωγή	25
3.3.2	Άμεση, πρωτογενής και δευτερογενής στερεοποίηση	26
3.3.3	Ελαστικό ανάλογο της πρωτογενούς στερεοποίησης	28
3.3.4	Η συμπεριφορά των κορεσμένων δοκιμίων υπό πίεση	29
3.3.5	Προσδιορισμός του λόγου κενών στα διάφορα βήματα φόρτισης	31
3.3.6	Βασικοί ορισμοί	32
3.3.7	Καταστάσεις εδαφικών σχηματισμών ανάλογα με το ιστορικό φόρτισης	36
3.3.8	Θεωρία στερεοποίησης του Terzaghi	37
3.3.9	Επίλυση της διαφορικής εξίσωσης στερεοποίησης	43
3.3.10	Προσδιορισμός του συντελεστή στερεοποίησης	50
3.3.11	Τάση προφόρτισης	54
3.3.12	Υπολογισμός των καθιζήσεων εδαφικού στρώματος στη φύση	56
3.3.13	Η καμπύλη στερεοποίησης στη φύση	57
4.	ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	60
4.1	Φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφικών δοκιμίων	60
4.1.1	Προσδιορισμός της φυσικής περιεχόμενης υγρασίας	60
4.1.2	Προσδιορισμός ειδικού βάρους εδαφικών κόκκων	61
4.1.3	Προσδιορισμός ορίων Atterberg της αργίλου	62

4.2	Η δοκιμή του συμπιεσομέτρου	68
4.2.1	Χαρακτηριστικά της συσκευής και του δοκιμίου	68
4.2.2	Η διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής	71
4.3	Εργαστηριακές δοκιμές και αποτελέσματα	75
4.3.1	Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών χαρακτηριστικών	75
4.3.2	Δοκιμές συμπιεσομέτρου	75
5.	Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ	78
5.1	Αποτελέσματα δοκιμών στην άργιλο	78
5.1.1	Δοκιμή Νο. I – Εύρεση τάσης προφόρτισης	79
5.1.2	Δοκιμή Νο. II – Ρυθμός φόρτισης = 1	81
5.1.3	Δοκιμή Νο. III – Δοκίμιο μικρότερου ύψους	84
5.1.4	Δοκιμή Νο. IV – Ρυθμός φόρτισης = 0.5	86
5.1.5	Δοκιμή Νο. V – Ρυθμός φόρτισης = 2	88
5.2	Επίδραση του ρυθμού φόρτισης	90
5.2.1	Επίδραση του ρυθμού φόρτισης στη συμπιεστότητα του εδάφους	92
5.2.2	Επίδραση του ρυθμού φόρτισης στη χρονική εξέλιξη της στερεοποίησης	94
5.3	Επίδραση του ύψους του δοκιμίου	96
5.3.1	Επίδραση του ύψους δοκιμίου στη συμπιεστότητα του εδάφους	97
5.3.2	Επίδραση του ύψους δοκιμίου στη χρονική εξέλιξη της στερεοποίησης	99
5.4	Αναμοχλευμένο αργιλικό υλικό	100
6.	Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ	106
6.1	Αποτελέσματα δοκιμών στον καλκαρενίτη	106

6.1.1 Δοκιμή Νο. VII – Ρυθμός φόρτισης = 2	106
6.1.2 Δοκιμή Νο. VIII – Ρυθμός φόρτισης = 0.5	108
6.1.3 Δοκιμή Νο. IX – Ρυθμός φόρτισης = 1	111
6.1.4 Δοκιμή Νο. X – Εύρεση τάσης προφόρτισης	113
6.1.5 Δοκιμή Νο. XI – Δοκίμιο μεγαλύτερης διαμέτρου	115
6.2 Επίδραση του ρυθμού φόρτισης	118
6.2.1 Επίδραση του ρυθμού φόρτισης στη συμπιεστότητα του εδάφους	119
6.2.2 Επίδραση του ρυθμού φόρτισης στη χρονική εξέλιξη της στερεοποίησης	120
6.3 Επίδραση της διαμέτρου του δοκιμίου	122
6.3.1 Επίδραση της διαμέτρου του δοκιμίου στη συμπιεστότητα του εδάφους	123
6.3.2 Επίδραση της διαμέτρου του δοκιμίου στη χρονική εξέλιξη της στερεοποίησης	124
6.4 Αναμοχλευμένο καλκαρενιτικό υλικό	126
7. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ	131
7.1 Σύγκριση μηχανικής συμπεριφοράς αργίλου και καλκαρενίτη	131
7.1.1 Σύγκριση αργίλου και καλκαρενίτη κατά τη μονοδιάστατη στερεοποίηση με ρυθμό φόρτισης = 1	131
7.1.2 Σύγκριση αργίλου και καλκαρενίτη κατά τη μονοδιάστατη στερεοποίηση με ρυθμό φόρτισης = 0.5	134
7.1.3 Σύγκριση αργίλου και καλκαρενίτη κατά τη μονοδιάστατη στερεοποίηση με ρυθμό φόρτισης = 2	136
7.1.4 Σύγκριση E_s αργίλου και καλκαρενίτη κατά τη μονοδιάστατη στερεοποίηση μέσω των δοκιμών πυκνής φόρτισης	138

7.2 Σύγκριση μηχανικής συμπεριφοράς των αναμοχλευμένων δοκιμίων αργίλου και καλκαρενίτη	139
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	144
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	146

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αυτή έχει σαν στόχο την διερεύνηση της εργαστηριακής δοκιμής του συμπιεσομέτρου και του τρόπου με τον οποίο διάφορες παραλλαγές της, επιδρούν στην μηχανική συμπεριφορά των υπό εξέταση σχηματισμών. Για την επίτευξη των παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά εδαφικά υλικά του ελληνικού χώρου, τα οποία και υπεβλήθησαν στην παραπάνω δοκιμή.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά δέκα δοκιμές σε δοκίμια αργίλου και καλκαρενίτη, και δύο επιπλέον δοκιμές σε δοκίμια αναμοχλευμένων υλικών που πρέκυσαν αφού καταστράφηκε η δομή και η διάταξη των κόκκων των αρχικών υλικών.

Επιπλέον θεωρήθηκε σκόπιμο τα αποτελέσματα της εργαστηριακής μελέτης να αξιοποιηθούν περαιτέρω, για την επισήμανη των διαφορών στη μηχανική συμπεριφορά ενός μαλακού και ενός σκληρότερου σχηματισμού, καθώς επίσης και για την συσχέτιση της μηχανική συμπεριφοράς των αναμοχλευμένων υλικών με αυτή των αρχικών.

Σημειώνεται τέλος, πως για την ολοκλήρωση της εργασίας και την εξαγωγή πορισμάτων, λήφθηκε υπόψη ελληνική και ξένη βιβλιογραφία, η οποία μελετήθηκε και αξιοποιήθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό.

1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΤΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ

Τα αποτελέσματα της εργαστηριακής δοκιμής συμπιεσομέτρου έχουν εφαρμογή στους παρακάτω τύπους γεωτεχνικών προβλημάτων:

- I. Θεμελιώσεις κτιρίων.** Σε αυτή την κατηγορία προβλημάτων εκτελείται η δοκιμή στερεοποίησης σε δοκίμια διαφόρων δειγμάτων του εδαφικού στρώματος. Μια τυπική θεμελίωση με πέδιλα φαίνεται στην Εικόνα 1.1. Τα εδαφικά δείγματα που εξετάζονται σε ένα πρόβλημα θεμελίωσης δεν προέρχονται απαραίτητως μόνο από την μάζα περί του επιπέδου θεμελίωσης, αλλά και από άλλα αρκετά μεγαλύτερα βάθη. Τα απότελέσματα των δοκιμών στερεοποίησης, σε συνδυασμό με την κατάταξη του

εδάφους και του ιστορικού προηγούμενων φορτίσεων, οδηγούν στις παρακάτω εκτιμήσεις ως προς την συμπεριφορά του εδάφους.

- (1) Υπολογισμό του μεγέθους των τελικών καθιζήσεων που θα αναπτυχθούν λόγω του φοτίου της κατασκευής.
- (2) Διαφοροποιήσεις του μεγέθους των καθιζήσεων μεμονομένων πεδίων σε βάθος χρόνου. Σηνήτως οι διαφορικές καθιζήσεις είναι πιο επίφοβες της ολικής όσον αφορά την πρόκληση πιθανών αστοχιών σε μια κατασκευή.
- (3) Διαφοροποιήσεις των καθιζήσεων λόγω ανομοιογένειας του εδαφικού στρώματος. Διαφορετικά χαρακτηριστικά συμπεστότητας από μέρος σε μέρος του ίδιου εδαφικού στρώματος μπορούν να προβλεφθούν με λεπτομερή έρευνα και να προλάβουν πιθανόν αστοχίες λόγω διαφορικών καθιζήσεων και πάλι.
- (4) Καθιζήσεις σε θεμελιώσεις με πασάλους.
- (5) Προσδιορισμός του χρονικού ρυθμού εξέλιξης των καθιζήσεων. Έτσι μπορεί να προβλεφθεί αν το σημαντικότερο ποσοστό των καθιζήσεων θα έχει αναπτυχθεί εντός της περιόδου κατασκευής ή αναμένονται σημαντικές καθιζήσεις και μετά το πέρας αυτής. Επιπλέον, βασιζόμενοι στην οικονομική διάρκεια ζωής και στην λειτουργικότητα της κατασκευής επιλέγουμε ποιές καθιζήσεις και κατά πόσο πρέπει να ληφθούν υπόψιν.



ΕΙΚΟΝΑ 1.1 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΠΕΔΙΛΑ

II. Ενίσχυση μαλακών εδαφικών αποθέσεων. Τα πολύ μαλακά εδάφη, όπως οι αλλουβιακές άργιλοι και ιλείς, είναι πολύ ασθενείς σχηματισμοί για να αναλάβουν οποιοδήποτε υπολογίσιμο φορτίο. Έτσι σε τέτοιους σχηματισμούς, συχνά χρησιμοποιείται η προφόρτιση ως τεχνική αύξησης της αντοχής τους (Εικόνα 1.2). Σ' αυτές τις περιπτώσεις, η δοκιμή συμπίεσομέτρου χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του μεγέθους της καθίζησης αλλά κυρίως της χρονικής διάρκειας του φαινομένου της στεροποίησης ώστε να καθοριστεί η στιγμή της αποφόρτισης και εν συνεχεία της επαναφόρτισης.



ΕΙΚΟΝΑ 1.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΑΡΓΙΛΙΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΩΝ ΒΑΘΟΥΣ 20-22 ΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

III. Επίδραση του υπογείου νερού. Στερεοποίηση μιας εδαφικής μάζας μπορεί να προκληθεί και μέσω της ταπείνωσης του επιπέδου του υδροφορέα. Έτσι, αρχικώς υπολογίζεται η αύξηση των ενεργών τάσεων που προκαλεί η υποβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα, και στη συνέχεια υποβάλλονται εδαφικά δείγματα του συγκεκριμένου εδάφους στο ανάλογης έντασης πείραμα συμπίεσομέτρου.

Παρόλο που με το πέρασμα του χρόνου έχουν εμφανιστεί νέες πιο αποτελεσματικές δοκιμες, που κάνουν χρήση και μεγαλύτερων δοκιμίων, η

δοκιμή του συμπιεσομέτρου εξακολουθεί να αποτελεί μια αξιόπιστη λύση ως προς τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της στερεοποίησης, κυρίως για αργιλικούς σχηματισμούς. Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως όσον αφορά τη χρονική εξέλιξη των καθιζήσεων, το οιδήμετρο μας δίνει ελαφρώς υποεκτειμιμένες λύσεις σε σχέση με τις πραγματικές. Δηλαδή, ένα δεδομένο ποσοστό του συνόλου της στερεοποίησης ολοκληρώνεται σε συντομότερο χρόνο απ' αυτόν που προβλέπει το πείραμα στερεοποίησης. Οι λόγοι αυτού του γεγονότος σχετίζονται κυρίως με το πολύ μικρό μέγεθος του δοκιμίου. Έτσι δεν μπορούν να ληφθούν υπόψιν διάφορες ρωγμές και ασυνέχειες που πιθανόν να κρύβει το όλον εδαφικό στρώμα, καθώς αμελείται και η συμβολή της οριζοντίου στράγγισης στην όλη εξέλιξη του φαινομένου.

2.ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

2.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΙ

Ως πρώτο εδαφικό υλικό επιλέχτηκε η άργιλος. Οι αργιλικοί εδαφικοί σχηματισμοί ως γνωστόν, είναι αρκετά διαδεδομένοι στα τεχνικά έργα του Ελληνικού χώρου και η συμπεριφορά τους έχει διερευνηθεί εκτενέστατα σε πολλών ειδών τεχνικά έργα.

Το δεύτερο υλικό που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα είναι ο καλκαρενίτης. Το δείγμα της γεώτρησης που εξετάστηκε πάρθηκε από στρώμα βάθους 15,15~15,65 μέτρων. Οι καλκαρενιτικοί γεωλογικοί σχηματισμοί πετρογραφικά ανήκουν στα συγκολλημένα ανθρακικά εδάφη ενώ μηχανικά εντάσσονται στη μεταβατική ζώνη ανάμεσα στα εδάφη και τους βράχους και χαρακτηρίζονται πλέον διεθνώς ως “Σκληρά εδάφη – Μαλακοί βράχοι”. Σημειώνεται ότι οι σχηματισμοί αυτοί βρίσκονται τελευταία στο επίκεντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος, δεδομένου ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες μεταφέρονται πλέον με την κατασκευή διαφόρων τεχνικών έργων στις λιγότερο πλεονεκτικές αυτές γεωτεχνικά περιοχές.

2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Τα εδάφη διαιρούνται κατ’ αρχήν σε τρεις κατηγορίες:

- α . χονδρόκοκκα εδάφη
- β . λεπτόκοκκα εδάφη
- γ . οργανικά εδάφη

Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται κυρίως με βάση την κοκκομετρική τους σύνθεση και την πλαστικότητα τους. Οι άργιλοι ανήκουν στην κατηγορία των λεπτόκοκκων εδαφών έχοντας το μικρότερο μέγεθος κόκκων όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Τα εδάφη με μεγέθη κόκκων μεγαλύτερα από 0,06 χιλιοστά αποτελούν τα χονδρόκοκκα εδάφη και χαρακτηρίζονται ως άμμοι, χάλικες ή κροκάλες.

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

Διαστάσεις κόκκων (mm)

ΣΧΗΜΑ 2.1. ΟΡΙΑ ΜΕΓΕΘΩΝ ΚΟΚΚΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Στο θέμα κατηγοριοποίησης των λεπτόκοκκων εδαφών σε άργιλο ή ιλύ δεν χρησιμοποιείται σαν βάση το μέγεθος των κόκκων αλλά άλλες πρακτικές. Μια αποτελεσματική πρακτική είναι η εκτέλεση του πειράματος εμφάνισης διαστολικής και ταχείας συμπεριφοράς (quick / dilatancy test). Στο πείραμα αυτό ένα κομμάτι μαλακού εδάφους (με αρκετή υγρασία ώστε να κολλάει σε κάποιον βαθμό) τοποθετείται πάνω στην ανοιχτή παλάμη του χεριού και δονείται οριζοντίως. Συνήθως τοποθετείτε και το άλλο χέρι πάνω από αυτό που κρατάει το έδαφος. Εάν μετά από λίγο το νερό εμφανιστεί στην επιφάνεια δίνοντας στο έδαφος μια γυαλιστερή όψη και στη συνέχεια με αναμόχλευση και επανασυμπίεση όλο αυτό χαθεί, τραβώντας πάλι όλο το νερό στο εσωτερικό του, το έδαφος χαρακτηρίζεται ως ιλύ. Σε περίπτωση που δεν παρατηρηθεί η πιο πάνω συμπεριφορά το έδαφος κατατάσσεται στις αργίλους.

Μία περαιτέρω ταξινόμηση των εδαφών και κατ' επέκταση και των λεπτόκοκκων εδαφών ορίζεται από το “Ενοποιημένο Σύστημα Κατάταξης Εδαφών” (Unified Soil Classification System) το οποίο πρώτος δημιούργησε ο Casagrande το 1948 και τελικώς τροποποίησε στη σημερινή του μορφή το “Γραφείο Ανάκτησης και τα Σώματα Μηχανικών των Η.Π.Α” (Bureau of Reclamation and the Corps of Engineers of the United States of America) το 1952.

Στο σύστημα αυτό τα εδάφη χωρίζονται σε 15 υποκατηγορίες όπου η κάθεμία συμβολίζεται με δύο κεφαλαία γράμματα, οι ερμηνείες των οποίων δίνονται στον Πίνακα 2.1. Ως λεπτόκοκκα ορίζονται τα εδάφη των οποίων ποσοστό μεγαλύτερο του 50% διέρχεται από το κόσκινο No. 200. Αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- (1) Εδάφη χαμηλής συμπιεστότητας (L) εφόσον το όριο υδαρότητας τους είναι χαμηλότερο ή ίσο του 50%. Αυτά συμβολίζονται με ML, CL και OL.

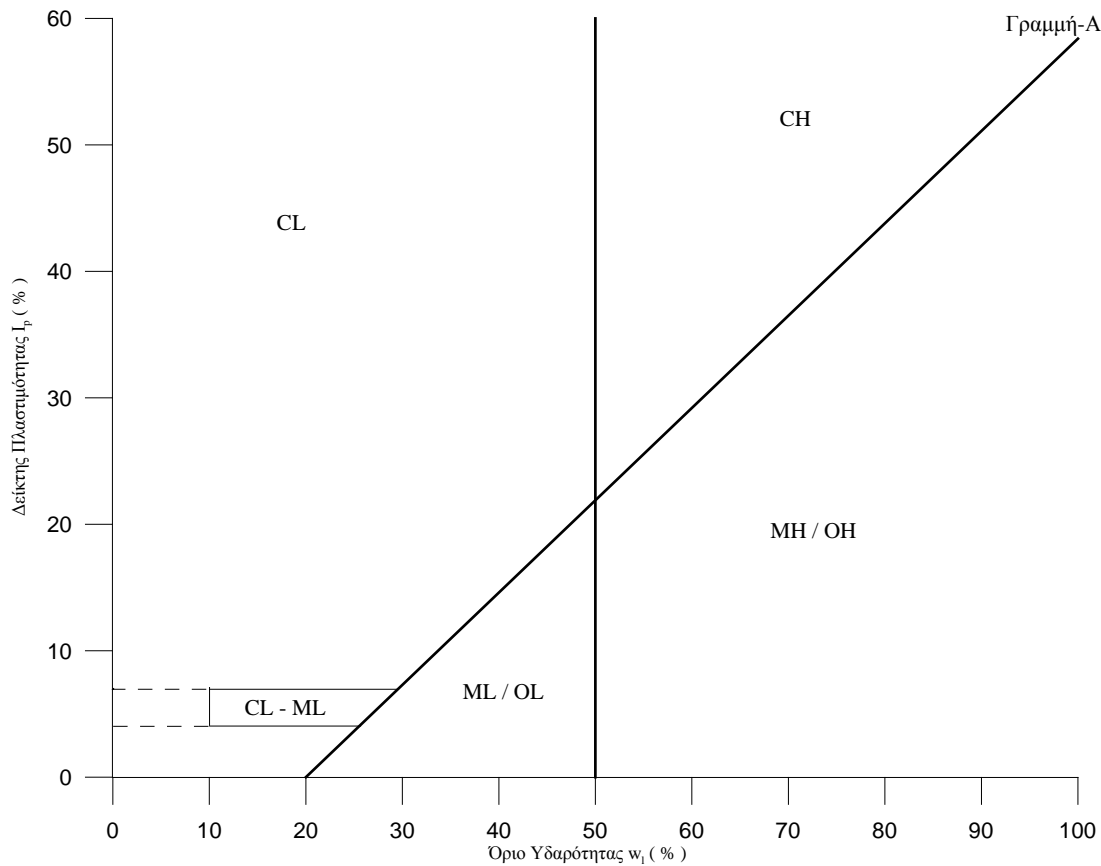
- (2) Εδάφη υψηλής συμπιεστότητας (H) εφόσον το όριο υδαρότητας τους είναι άνω του 50%, και συμβολίζονται με MH, CH, OH.

Γράμμα	Σύμβολο	Περιγραφή
Πρώτο	G	Χάλικες
	S	Άμμοι
	M	Ιλείς
	C	Άργιλοι
	O	Οργανικά
	Pt	Τέφρα
Δεύτερο	W	Καλώς-διαβαθμισμένο
	P	Φτωχά διαβαθμισμένο
	M	Μη πλαστικά πρόσθετα
	C	Πλαστικά πρόσθετα
	L	Χαμηλή πλαστικότητα
	H	Υψηλή πλαστικότητα

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ USCS

Ο ακριβής τύπος του εκάστοτε εδάφους προσδιορίζεται με βάση τα όρια Atterberg μέσω του “Χάρτη Πλαστιμότητας του Casagrande” (Σχήμα 2.2). Η γραμμή-A έχει εξίσωση: $I_p = 0,73 (w_l - 20)$ και χωρίζει τις ιλείς από τις άργιλους. Ενώ η κάθετη ευθεία που αντιστοιχεί σε ποσοστό ορίου υδαρότητας 50% διαχωρίζει τα υλικά με βάση την πλαστιμότητα – συμπιεστότητά τους.

Όταν ο δείκτης πλαστιμότητας και το όριο υδαρότητας αποτυπώνονται πάνω στην μικρή κλειστή περιοχή του διαγράμματος το έδαφος μπορεί να κατηγοριοποιηθεί είτε ως άργιλος (CL) είτε ως ιλύς (ML). Βλέπουμε επίσης ότι τα ανόργανα εδάφη (ML, MH) τοποθετούνται στην ίδια θέση με τα οργανικά (OL, OH) πάνω στον χάρτη. Ο διαχωρισμός αυτών επιτύγχανεται μέσω ξήρανσης δοκιμίων τους στον κλίβανο. Εάν μετά την ξήρανση τους έχει επέλθει μείωση του ορίου υδαρότητας τους κατά 30% ή περισσότερο, το έδαφος κατατάσσεται ως οργανικό, ειδάλλως ως ανόργανο.



ΣΧΗΜΑ 2.2. ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ CASAGRANDE

2.3 ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΕΔΑΦΗ

2.3.1 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Τα αργιλικά εδάφη παρουσιάζουν μια ιδιαίτερως ενδιαφέρουσα συμπεριφορά η οποία κυρίως οφείλεται στην φύση των αργιλικών ορυκτών και στην δομή του εδάφους. Ως δομή του εδάφους ορίζουμε την γεωμετρική “οργάνωση” των εδαφικών πλακιδίων μέσα στην εδαφική μάζα. Αυτή εξαρτάται από το σχήμα το μέγεθος και τον προσανατολισμό των πλακιδίων. Με πιο απλά λόγια εάν το κάθε πλακίδιο ξεχωριστά βρίσκεται πολύ κοντά στα άλλα, ο δείκτης πόρων είναι μικρός και το συνολικό έδαφος πιο πυκνό και πιο δυνατό. Αντιθέτως εάν τα πλακίδια είναι διατεταγμένα έτσι ώστε τα κενά να είναι μεγαλύτερα, το έδαφος είναι πιο χαλαρό και πιο αδύναμο.

Σημαντικότερο όμως ρόλο στις μηχανικές ιδιότητες των αργιλικών εδαφών διαδραματίζει η φύση και τα χαρακτηριστικά των ορυκτών. Εξ’ άλλου ο τύπος

των ορυκτών αυτών καθορίζει τις σημαντικότερες ιδιότητες της αργίλου προσδίδοντας της παράλληλα συνοχή και πλαστικότητα.

Είναι γνωστό πως οι βαρυτικές δυνάμεις των εδαφικών κόκκων είναι ανάλογες της μάζας και κατ' επέκταση του όγκου τους. Με άλλα λόγια όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των κόκκων, τόσο ισχυρότερες είναι οι δυνάμεις βαρύτητας. Από την άλλη πλευρά οι επιφανειακές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των κόκκων εξαρτώνται από το μέγεθος της επιφάνειας και όχι του όγκου. Το εμβαδόν της επιφάνειας σχετίζεται με το μέγεθος του όγκου, όμως οι επιφανειακές δυνάμεις γίνονται πιο ισχυρές όταν το μέγεθος των κόκκων είναι μικρό, δηλαδή καθώς το μέγεθος των κόκκων μειώνεται η επίδραση των επιφανειακών δυνάμεων στους κόκκους αρχίζει να υπερισχύει της επιδράσεως των βαρυτικών. Έτσι απαραίτητως ορίστηκε το μέγεθος της ειδικής επιφάνειας το οποίο δίνει το μέγεθος του εμβαδού της επιφάνειας ανά μονάδα όγκου (ή μάζας).

Στα χονδρόκοκκα εδάφη οι τιμές της ειδικής επιφάνειας είναι μικρές, με αποτέλεσμα να μην εμφανίζουν πλαστικότητα και συνοχή. Αντιθέτως στα λεπτόκοκκα εδάφη και ιδιαιτέρως στα αργιλικά, που οι δομές των κόκκων των ορυκτών είναι πολύ πεπλατυσμένες και έχουν την μορφή πλακιδίων, συναντάμε πολύ μεγαλύτερες τιμές.

Ένας κόκκος μεσόκοκκης άμμου έχει τιμή ειδικής επιφάνειας $2,3 \text{ m}^2/\text{kg}$, ενώ η αντίστοιχη τιμή του αργιλικού ορυκτού καολίνη είναι $15.000 \text{ m}^2/\text{kg}$ και του μοντμοριλλονίτη $800.000 \text{ m}^2/\text{kg}$. Όσο μεγαλύτερες τιμές παίρνει η ειδική επιφάνεια των κόκκων τόσο πιο ισχυρές είναι οι επιφανειακές δυνάμεις έναντι των βαρυτικών. Τα υλικά με αυτό το γνώρισμα ονομάζονται κολλώδη και τα αργιλικά εδάφη με κόκκους μικρότερου μεγέθους των 2 μικρών, είναι κυρίως κολλώδους φύσεως.

Οι επιφανειακές αυτές δυνάμεις στις αργίλους είναι ηλεκτρικής φύσεως (έλξης και άπωσης) και η ένταση τους είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από τις βαρυτικές δυνάμεις. Ειδικότερα η άνω και κάτω επιφάνειες φέρουν αρνητικά φορτία με την περιφέρεια να φέρει ίσα και αντίθετα θετικά. Αποτέλεσμα αυτών των δυνάμεων είναι η συνοχή που παρουσιάζουν τα αργιλικά εδάφη, τα οποία ονομάζονται και συνεκτικά.

Επίσης όπως γνωρίζουμε τα αργιλικά όρυκτα αλληλεπιδρούν με τα μόρια νερού δημιουργώντας μια ζώνη προσροφημένου νερού γύρω από τα πλακίδια, γνωστή ως διπλή στρώση. Η πλαστικότητα που παρουσιάζουν τα αργιλικά εδάφη οφείλεται στην ασηνύθιστη μοριακή δομή του νερού, το οποίο αν και ηλεκτρικά ουδέτερο συμπεριφέρεται ως ηλεκτρικό δίπολο. Πειράματα που

πραγματοποιήθηκαν σε αργίλους με χρήση ενός μη πολικού υγρού (αντί του νερού), όπως η κηροζίνη, απέδειξαν ότι η πλαστικότητα απουσιάζει παντελώς και τα αργιλικά εδάφη συμπεριφέρονταν σαν τα χονδρόκοκκα αμμώδη εδάφη.

Όταν λοιπόν τα αργιλικά πλακίδια βρεθούν σε υδάτινο περιβάλλον η σύνδεση των αρνητικά φορτισμένων επιφανειών τους με τα μόρια νερού γίνεται με τρεις τρόπους. (α] προσανατολισμός των διπόλων τέτοιος ώστε ο θετικός πόλος τους να συνδέεται με τις αρνητικές επιφάνειες. (β] Μέσω ελεύθερων κατιόντων τα οποία συνδέονται με τις αρνητικές επιφάνειες και ακολούθως τα δίπολα του νερού συνδέονται σε αυτά μέσω του αρνητικού τους πόλου. (γ] Σύνδεση επιφάνειας και μορίων νερού μέσω δημιουργίας δεσμών υδρογόνου στα άτομα οξυγόνου των μορίων νερού και των αργιλικών πλακιδίων.

Πιστεύεται επίσης ότι η διπλή στρώση αποτελείται αρχικά από μια πολύ λεπτή μεμβράνη νερού, που συνδέεται ισχυρότατα με την επιφάνεια των πλακιδίων πάχους περίπου 10 \AA . Ακολουθεί μια δεύτερη λιγότερο σταθερή στρώση μέχρι τα όρια των ελκτικών δυνάμεων, η οποία είναι γνωστή ως διάχυτη διπλή στρώση. Αυτή είναι πάχους περίπου 400 \AA και μέσα στο εσωτερικό της το νερό ονομάζεται προσρωφημένο ή προσανατολισμένο, ενώ εκτός ορίων της τα μόρια νερού είναι ελεύθερα.

Για ένα δεδομένο εδαφικό πλακίδιο, το πάχος της σταθερής στρώσης των κατιόντων εξαρτάται κυρίως από τη συγκέντρωση και το σθένος των κατιόντων. Τα μονοσθενή κατιόντα όπως το Na^+ , δημιουργούν μία πιο χοντρή στρώση σε σύγκριση με τα δισθενή, όπως το Ca^{2+} . Απαιτείται διπλάσιος αριθμός μονοσθενών κατιόντων από ότι δισθενών. Επίσης αυξάνοντας την συγκέντρωση των κατιόντων κοντά στην επιφάνεια των πλακιδίων, μειώνεται το πάχος της στιβαρής στρώσης κατιόντων που απαιτείται για να εξουδετερώσει το αρνητικό φορτίο των επιφανειών.

Αυτή η αύξηση του σθένους ή της συγκέντρωσης των κατιόντων που αρχικώς οδηγεί στη μείωση του πάχους της στιβαρής στρώσης, εν συνεχεία προκαλεί μείωση των απωστικών δυνάμεων μεταξύ δύο πλακιδίων. Οι απωστικές δυνάμεις δημιουργούνται μεταξύ ιόντων ίδιων φορτίων που υπάρχουν στις διπλές στρώσεις των πλακιδίων, και όπως εξηγήθηκε εξαρτώνται κυρίως από τα χαρακτηριστικά των διπλών στρώσεων. Από την άλλη οι ελκτικές δυνάμεις Vander Waal μεταξύ των πλακιδίων δεν σχετίζονται με την λεπτή στρώση αλλά με την απόσταση μεταξύ των πλακιδίων. Συγκεκριμένα μειώνονται εκθετικά καθώς η απόσταση μεγαλώνει.

Συνεπάγεται λοιπόν ότι η συνολική καθαρή δύναμη ανάμεσα στα πλακίδια, προκύπτει από τα σχετικά μεγέθη των απωστικών και των ελκτικών δυνάμεων. Έτσι στα αργιλικά εδάφη συναντώνται κυρίως δύο είδη σχηματικών διατάξεων των πλακιδίων, η ιξώδης και η διεσπαρμένη.

Στην ιξώδη δομή αναπτύσσεται σύνδεση των πλακιδίων μέσω των θετικά φορτισμένων άκρων τους και των αρνητικά φορτισμένων επιφανειών τους, και η καθαρή δύναμη που προκύπτει ανάμεσα στα πλακίδια είναι ελκτική. Η δομή αυτή διατηρείται ακόμα και αν η άργιλος βρεθεί σε υδάτινο περιβάλλον. Ο ιξώδης όμως χαρακτήρας της δομής ποικίλει, ανάλογα με τον τύπο των ορυκτών των πλακιδίων, το πλήθος τους αλλά και της αλατότητας του νερού. Οι άργιλοι που εμβαπτίζονται σε αλμυρό νερό έχουν πιο ιξώδη και συμπαγή δομή από αυτές σε γλυκό. Αυτό διότι το αλμυρό νερό με τα κατιόντα που έχει δρά σαν ηλεκτρολύτης, μειώνοντας τις απωστικές δυνάμεις ανάμεσα στα πλακίδια.

Τα εδάφη με ιξώδη δομή είναι ελαφριά με υψηλό δείκτη πόρων και ποσοστό υγρασίας. Παρόλα αυτά είναι αρκετά δυνατά και μπορούν να αντισταθούν σε εξωτερικές δυνάμεις εξαιτίας των ισχυρών ελκτικών δεσμών των πλακιδίων τους. Επίσης είναι ανθεκτικά στις δονήσεις, και γενικότερα παρουσιάζουν χαμηλή συμπιεστότητα, υψηλή διαπερατότητα και διατμητική αντοχή.

Η διασκορπισμένη δομή εμφανίζεται κυρίως στις αναμοχλευμένες αργίλους. Τα πλακίδια αναπτύσσονται λιγότερο ή περισσότερο σε μια περίπου παράλληλη στοίχιση. Δηλαδή ο προσανατολισμός “άκρου – προσώπου” μεταπίπτει σε έναν “προσώπου – προσώπου”. Στην φύση αυτή η δομή συναντάται όταν υπερτερούν οι απωστικές δυνάμεις των ελκτικών και η καθαρή δύναμη που προκύπτει ανάμεσα στα πλακίδια είναι απωστική. Τα εδάφη με διασκορπισμένη δομή παρουσιάζουν χαμηλή διατμητική αντοχή και διαπερατότητα αλλά και υψηλή συμπιεστότητα.

Η αναμόχλευση προκαλεί απώλεια αντοχής στα συνεκτικά εδάφη, όμως με το πέρασμα του χρόνου το έδαφος ανακτά κάποια από την χαμένη του αντοχή. Αυτό διότι με την διατάραξη, η χημική ισορροπία μεταξύ των πλακιδίων, των εισροφημένων ιόντων, και των μορίων νερού της διπλής στρώσης, χάνεται αρχικά ενώ στη συνέχεια αρχίζει να επανέρχεται σε κάποιο βαθμό. Το παραπάνω φαινόμενο της ανάκτησης της αντοχής των αργιλικών εδαφών με την πάροδο του χρόνου, χωρίς να υπάρχει αλλαγή στο ποσοστό υγρασίας, είναι γνωστό ως θιξοτροπία και οι δεσμοί που δημιουργούνται ως θιξοτροπικοί δεσμοί.

2.3.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Τα κύρια φυσικά χαρακτηριστικά των των αργιλικών εδαφών είναι το **ποσοστό υγρασίας (w)** και τα **όρια Atterberg**. Όπως διαπιστώθηκε από όσα προαναφέρθηκαν η παρουσία του νερού διαταράσσει και αποσυντονίζει την δομή των πλακιδίων, και ιδιαιτέρως το γλυκό νερό που δημιουργεί διπλές στρώσεις με μεγαλύτερα πάχη αυξάνοντας τις αποστάσεις μεταξύ των πλακιδίων. Όσο αυξάνεται λοιπόν το ποσοστό υγρασίας τoσό περισσότερο πλησιάζει η συμπεριφορά του εδαφικού υλικού σε αυτήν των ρευστών.

Υπάρχουν λοιπόν κάποιες οριακές τιμές του ποσοστού υγρασίας οι οποίες διαχωρίζουν τις τέσσερις καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί το εδαφικό υλικό. Οι τιμες αυτές ονομάζονται όρια Atterberg και οι καταστάσεις είναι : (α] Εύθρυπτο στερεό, (β] Ημιστερεό, (γ] Πλάστιμο στερεό, (δ] Παχύρευστο υγρό. Τα όρια αυτά είναι χαρακτηριστικά για κάθε συνεκτικό υλικό και προσδιορίζονται με πρότυπες δοκιμές. Στον Πίνακα 1.2 φαίνονται πως αυτά τα όρια διαχωρίζουν τις καταστάσεις του εδαφικού σχηματισμού.

Κατάσταση	Ποσοστό υγρασίας – Όρια Atterberg	Σχετική υδαρότητα LI
	0	
Εύθρυπτο στερεό		LI < 0
	SL όριο συρρίκνωσης	
Ημιστερεό		LI < 0
	PL όριο πλαστιμότητας	LI = 0
Πλάστιμο στερεό		0 < LI < 1
	LL όριο υδαρότητας	LI = 1
Παχύρευστο υγρό		LI > 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2. ΟΡΙΑ ATTERBERG ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑ

Η φυσική σημασία των παραπάνω ορίων, έγκειται στο να καθορίζουν το μέγιστο ποσοστό υγρασίας που μπορούν να απορροφήσουν οι αργιλικοί σχηματισμοί χωρίς να απωλέσουν σημαντική αντοχή και να μεταπηδίσουν σε μια πιο χαλαρή κατάσταση. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των δεικτών

πλαστιμότητας (PI) και σχετικής υδαρότητας (LI). Ο πρώτος εκφράζει το εύρος της πλάστιμης περιοχής και όσο μεγαλύτερος είναι τόσο περισσότερο νερό μπορεί να προσληφθεί από το εδαφικό υλικό χωρίς να μειθούν σημαντικά οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των πλακιδίων και χωρίς να μεταβεί το υλικό σε κατάσταση παχύρευστου υγρού. Ο δεύτερος εκφράζει τη σχέση του πραγματικού ποσοστού υγρασίας ως προς το όριο υδαρότητας και δίνεται από την σχέση $LI = \frac{w-PL}{LL-PL}$. Οι τιμές του δείκτη σχετικής υδαρότητας φαίνονται στον Πίνακα 2.2.

2.4 ΣΚΛΗΡΑ ΕΔΑΦΗ – ΜΑΛΑΚΟΙ ΒΡΑΧΟΙ

2.4.1 ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Οι σχηματισμοί που χαρακτηρίζονται από συμπεριφορές μεταξύ σκληρών εδαφών και μαλακών βράχων ανήκουν κατά κύριο λόγο στην οικογένεια των ιζηματογενών πετρωμάτων. Ο τρόπος σχηματισμού τους περιγράφεται από τις ακόλουθες διαδικασίες και αναπαρίσταται στην Εικόνα 2.1.

A) Διάβρωση και αποσάθρωση: Είναι οι φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες που υφίστανται τα προυπάρχοντα πετρώματα με αποτέλεσμα την καταστροφή τους.

B) Μεταφορά: Τα υλικά που προέξυψαν από την αποσάθρωση μεταφέρονται μέσω του ανέμου και του νερού των θαλασσών και των ποταμών.

Γ) Απόθεση: Τα υλικά που βρίσκονται σε αιώρηση και διάλυση αποτίθενται σε διαδοχικά στρώματα.

Δ) Διαγένεση: Είναι η διαδικασία μετατροπής ενός χαλαρού ιζήματος σε συμπαγές πέτρωμα. Το φαινόμενο ονομάζεται “βαρυτική συμπίκνωση” και συντελείται κάτω από μηδενική πλευρική τάση και υπό το φορτίο ενός υπερκείμενου ιζήματος. Ο συνδυασμός της βαρυτικής συμπίκνωσης και της φυσικής συνδετικής ύλης οδηγεί στην πετρογένεση, η οποία είναι χαρακτηριστικό των σκληρότερων εδαφών που προσομοιάζουν την συμπεριφορά των βράχων.

Επίσης τα ιζηματογενή πετρώματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο τον οποίο συντελέστηκε η παραπάνω διαδικασία. Αυτές είναι:

- Τα **κλαστικά** που είναι ιζήματα που προκύπτουν από απόθεση υλικών αποσάθρωσης, που αιωρούνται στο νερό ή στον αέρα.
- Τα **χημικά** τα οποία σχηματίστηκαν από συγκέντρωση ορυκτών που αποτέθηκαν κατευθείαν από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διεργασίες.
- Τα **βιογενή** όταν γίνεται συσσώρευση ή απόθεση ύλης προερχόμενης από ζωικούς ή φυτικούς οργανισμούς.



ΕΙΚΟΝΑ 2.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

2.4.2 ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΑ ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΕΔΑΦΗ - ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗΣ

Τα συγκολλημένα ανθρακικά εδάφη είναι μια ευρέως διαδεδομένη κατηγορία σχηματισμών, των οποίων κυρίαρχο συστατικό αποτελεί το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3). Αυτό είναι ένα εξαιρετικό ορυκτό, με κυρίαρχο ρόλο στην δημιουργία πετρωμάτων, καθώς αποτελεί κύριο συστατικό σιμέντωσης και συγκόλλησης μεταξύ των κόκκων του κάθε σχηματισμού. Στην Ελλάδα η πιο διαδεδομένη του μορφή είναι ο ασβεστίτης, ενώ στην υπόλοιπη Ευρώπη αρκετά συχνά συναντάται και με τη μορφή του αραγωνίτη. Στο φλοιό της γης περιέχεται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 4% και αποτελεί κυριο συστατικό βουνών και οροσειρών. Ακόμη βρίσκεται στους σκελετους και τα κελύφη φυτών και ζώων, τα οποία με τον θάνατο τους δίνουν συνέχεια στην κυκλική διαδικασία σχηματισμού των βράχων.

Από τις οικογένειες των χημικών και βιογενών ιζηματογενών τα σημαντικότερα πετρώματα με περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο είναι ο ασβεστόλιθος, ο τραβερτίνης, ο δολομίτης και οι κερατόλιθοι.

Ο καλκαρενίτης, του οποίου ερευνάται η συμπεριφορά στην παρούσα εργασία, ανήκει στην κατηγορία των κλαστικών ιζηματογενών πετρωμάτων. Τα πιο σημαντικά εξ' αυτών είναι ο ψαμμίτης, ο πηλόλιθος, η άργιλος, τα λατυποπαγή, ο φλύσχος και η μάργα. Η μάργα έχει αρκετές ομοιότητες με τον καλκαρενίτη μιας και ορυκτολογικά κυμαίνεται μεταξύ ασβεστολίθου και αργίλου. Το ποσοστό της αργίλου σε αυτήν βρίσκεται μεταξύ 35-65% και αντιστοίχα του ανθρακικού ασβεστίου 65-35%.

Ο καλκαρενίτης είναι ένα σύμπλεγμα εδαφών και καθιζηματικού βράχου αμμώδους φύσεως, το οποίο με το πέρασ του χρόνου έχει σκληρυνθεί και σιμεντωθεί σε μεγάλο βαθμό. Κύριο συστατικό του συμπλέγματος αυτού είναι τα θραύσματα ορυκτών **ανθρακικού ασβεστίου**, τα οποία έχουν προέλθει από μηχανική αποσάθρωση και εκτριβή του πρωτογενούς βράχου. Ως προς τη δομή το καλκαρενιτικό σύμπλεγμα έχει πολλές ομοιότητες με αυτή των ψαμμιτών και των πυριτιούχων ψαμμιτών.

Το 1903 ο A.W.Grabau πρότεινε έναν ορισμό του καλκαρενίτη, κατά τον οποίο είναι ένα είδος ασβεστόλιθου ή δολομίτη αποτελούμενος κυρίως από κοραλλιογενή ή ασβεστολιθική άμμο, η οποία προήλθε από τη διάβρωση παλαιότερων ασβεστολίθων.

2.5 Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ “ΣΚΛΗΡΩΝ ΕΔΑΦΩΝ – ΜΑΛΑΚΩΝ ΒΡΑΧΩΝ”

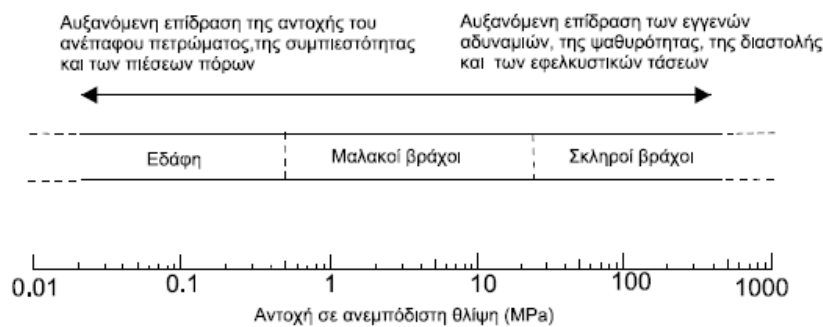
Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.1, τα καλκαρενιτικά εδαφικά υλικά μηχανικώς κατατάσσονται στη μεταβατική ζώνη ανάμεσα στα εδάφη και στους βράχους. Η μεταβατική αυτή ζώνη καθώς και η συμπεριφορά των σχηματισμών που εντάσσονται σε αυτήν έχουν τις τελευταίες δεκαετίες αποτελέσει αντικείμενο έρευνας και μελέτης σε παγκόσμια κλίμακα, λόγω της αυξανόμενης ανάγκης κατασκευής έργων (ιδιαίτερα έργων μεγάλης κλίμακας) σε τέτοιους σχηματισμούς. Έτσι η εμπειρία που έχει συσσωρευτεί διεθνώς κατά το διάστημα αυτό είναι πολύ σημαντική, όμως ο επακριβής προσδιορισμός των ορίων της μεταβατικής ζώνης, καθώς και των χαρακτηριστικών των σχηματισμών αυτής εξακολουθεί να παραμένει σε μεγάλο βαθμό ασαφής.

Ο όρος που έχει επικρατήσει σήμερα για την ονομασία των σχηματισμών που ανήκουν στην μεταβατική (συχνώς αναφέρεται και γκρίζα) ζώνη είναι “σκληρά εδάφη – μαλακοί βράχοι”. Από τους ποσοτικούς προσδιορισμούς

της ISRM (1981), προκύπτει ως κατώτερο όριο ανεμπόδιστης θλίψης για τα σκληρά εδάφη η τιμή των 0,5 MPa. Ενώ για τους μαλακούς βράχους η αντίστοιχη ανώτερη τιμή ανεμπόδιστης θλίψης κυμαίνεται από 2 έως 20 MPa. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι για αυτό το εύρος των τιμών, η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη των βράχων εξαρτάται άμεσα από τον βαθμό κορεσμού (Marinos, 1993).

Μια άλλη οριοθέτηση της μεταβατικής ζώνης μπορεί να εξαχθεί από όσα προβλέπονται απ' τους Βρετανικούς Κανονισμούς (BS 5930:1981). Αυτοί βασίζονται στην αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη για τον χαρακτηρισμό των βραχώδων σχηματισμών και την αστράγγιστη διατμητική αντοχή για τον χαρακτηρισμό των εδαφών. Έτσι σκληρά εδάφη είναι όσα έχουν αστράγγιστη διατμητική αντοχή > 150 KPa και μαλακοί βράχοι όσοι έχουν αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη $< 1,25$ MPa.

Τέλος αξίζει να αναφερθεί και η θεωρία των Johnston and Novello (1993), σύμφωνα με την οποία τα “σκληρά εδάφη – μαλακοί βράχοι” δεν υπάρχουν στις παρυφές της εδαφομηχανικής και της βραχομηχανικής, αλλά αποτελούν κεντρική συνιστώσα ενός υλικού συνεχούς διαβάθμισης, από τις μαλακές αργίλους έως τους σκληρούς βράχους (Σχήμα 2.3).



ΣΧΗΜΑ 2.3 ΤΟ ΣΥΝΕΧΕΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΦΑΣΜΑ (JOHNSTON AND NOVELLO 1993)

Μετά την οριοθέτηση της μεταβατικής ζώνης, η επιστημονική κοινότητα των γεωτεχνικών ασχολήθηκε με την διερεύνηση της συμπεριφοράς των σχηματισμών της ζώνης αυτής. Έτσι τις τελευταίες δεκαετίες, διεξήχθησαν αρκετά συνέδρια και συμπόσια ανα τον κόσμο με κύριο αντικείμενο τα σκληρά εδάφη και τους μαλακούς βράχους. Ο πίνακας 1.3 αναφέρει τα σημαντικότερα εξ' αυτών.

Έτος	Τοποθεσία	Φορέας	Θεματική ενότητα Συμποσίου / Συνεδρίου
1975	Buenos Aires	ISSMFE	V Panam. Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engin.
1981	Tokyo	ISRM	International Symposium on Weak Rocks
1986	Buenos Aires	IAEG	5 th Int. Congress of IAEG
1989	Rio	ISSMFE	XII Int. Congress of ISSMFE
1990	Leeds	IAEG	Weak Rocks Conference of the Engineering Group of the Geological Society of London
1993	Athens	ISSMFE,IAEG,ISRM	Int. Symposium on Soft Rocks – Hard Soils

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3 ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΟΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ ΤΑ “ ΣΚΛΗΡΑ ΕΔΑΦΗ – ΜΑΛΑΚΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ ”

Ο Akai (1993) στο αντίστοιχο συνέδριο του Πίνακα 1.3 υποστήριξε ότι τα υλικά της μεταβατικής αυτής ζώνης παρουσιάζουν τα παρακάτω κοινά χαρακτηριστικά:

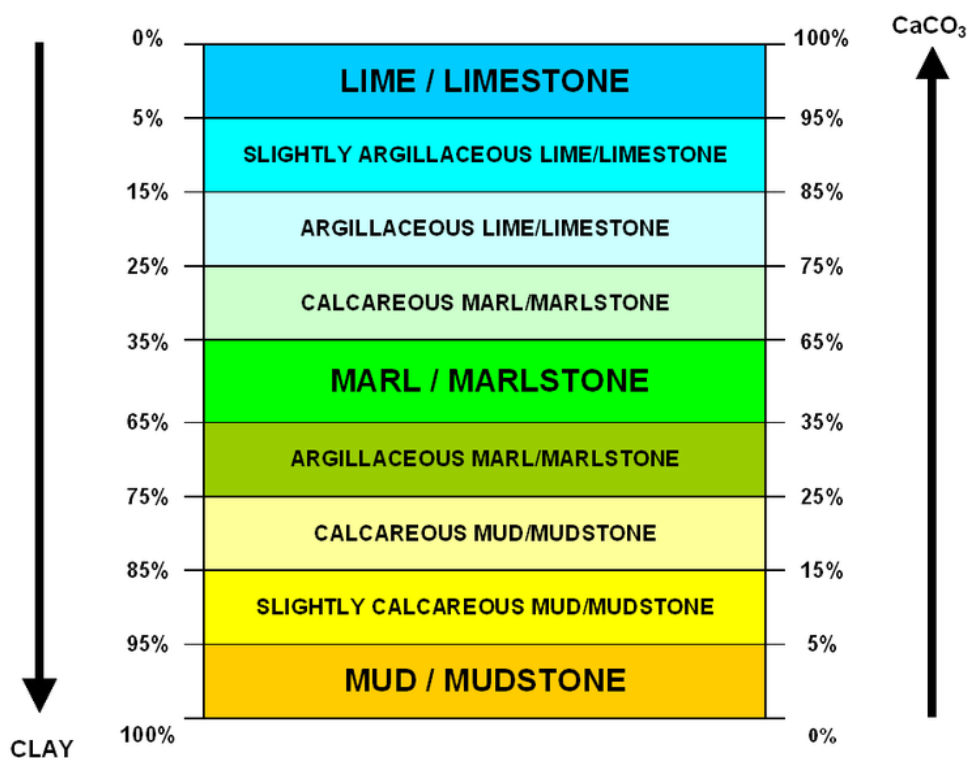
- Οι μηχανικές και φυσικές τους ιδιότητες είναι μεταξύ αυτών του εδάφους και του βράχου.
- Η αντοχή τους σε ανεμπόδιση θλίψη κυμαίνεται από 1 έως 10 MPa.
- Η συγκόλληση μεταξύ των τεμαχιδίων τους αναμένεται σε κάποιο βαθμό, αλλά μπορεί εύκολα να εξασθενήσει λόγω περιβαλλοντικών αλλαγών.
- Η μηχανική τους συμπεριφορά αλλάζει από ψαθυρή σε όλκιμη, ανάλογα με την πλευρική πίεση.
- Το νερό των πόρων έχει σημαντική επίδραση στη μηχανική τους συμπεριφορά, σηνύθως δε σε αυτά τα υλικά, επικρατεί η αρχή της ενεργού τάσης, σε σχέση με τα σκληρά πετρώματα.

Επίσης οι Vaughan και Akai (1993) αναφέρουν ότι η συνολική συμπεριφορά των σχηματισμών αυτών ελέγχεται κυρίως από τα μηχανικά χαρακτηριστικά των περιεχομένων στη σύσταση τους υλικών. Όσον αφορά την αναγνώριση τους συνιστούν να λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο η γεωλογική τους ηλικία, αλλά και οι διαγενετικές διεργασίες τις οποίες έχει υποστεί το υλικό.

Ένα άλλο σημείο στο οποίο έχουν σταθεί πολλοί ερευνητές σχετίζεται με την ακαμψία των σχηματισμών της μεταβατικής ζώνης, η οποία θα πρέπει να προσδιορίζεται και σε επίπεδο μικρών τάσεων, καθώς έχει βρεθεί ότι για πολλά από τα υλικά αυτά η ακαμψία τους αναπτύσσεται σε πολύ μικρές τάσεις. Οι Corthesy and Gill (1993) αναφέρουν ότι τα σκληρά εδάφη και οι μαλακοί βράχοι παρουσιάζουν μη ελαστικές παραμορφώσεις σε σχετικά χαμηλά

επίπεδα τάσεων, καθώς και μεταβαλλόμενες χρονικά παραμορφώσεις σε όλα τα επίπεδα των τάσεων. Επιπλέον, συμπεριφέρονται ελαστικά κατά την αποφόρτιση, καθώς και οι ανακτώμενες παραμορφώσεις, πέραν των πολύ χαμηλών επιπέδων τάσεων, είναι κατά κανόνα ελαστικές. Η ελαστική αυτή συμπεριφορά είναι συνήθως μη γραμμική και ανισότροπη.

Ακόμα, σύμφωνα με τους Bell et al (1993) ο τύπος και το ποσοστό των αργιλικών ορυκτών που συμμετέχουν στη δομή των “σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων” γενικότερα θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να λαμβάνεται υπόψη, καθώς επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά τους. Το ίδιο ισχύει και για το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου το οποίο προσδίδει μεγαλύτερη δυσκαμψία, συνεκτικότητα και αντοχή στους σχηματισμούς στους οποίους βρίσκεται. Έτσι ενδιάμεσοι σχηματισμοί όπως ο καλκάρενιτης ή οι μάργες που περιέχουν σημαντικά ποσοστά ανθρακικού ασβεστίου τείνουν να έχουν συμπεριφορά βράχου όπως ο ασβεστόλιθος. Αντίθετα στην περίπτωση που το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου είναι μικρό και αυτό της άμμου ή της αργίλου μεγάλο, οι σχηματισμοί αυτοί συμπεριφέρονται ως σκληρά εδάφη ή αδύναμοι βράχοι, όπως ο πηλόλιθος (Σχήμα 2.4).



ΣΧΗΜΑ 2.4 ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΣΕ ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

2.6 ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες ο τύπος της σχηματικής διάταξης των κόκκων είναι καθοριστικής σημασίας ως προς τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά ενός σχηματισμού. Έτσι και τα αναμοχλευμένα υλικά των οποίων η δομή των κόκκων έχει μεταβληθεί σε σχέση με αυτή των φυσικών παρουσιάζουν αρκετές διαφοροποιήσεις στην μηχανική τους συμπεριφορά.

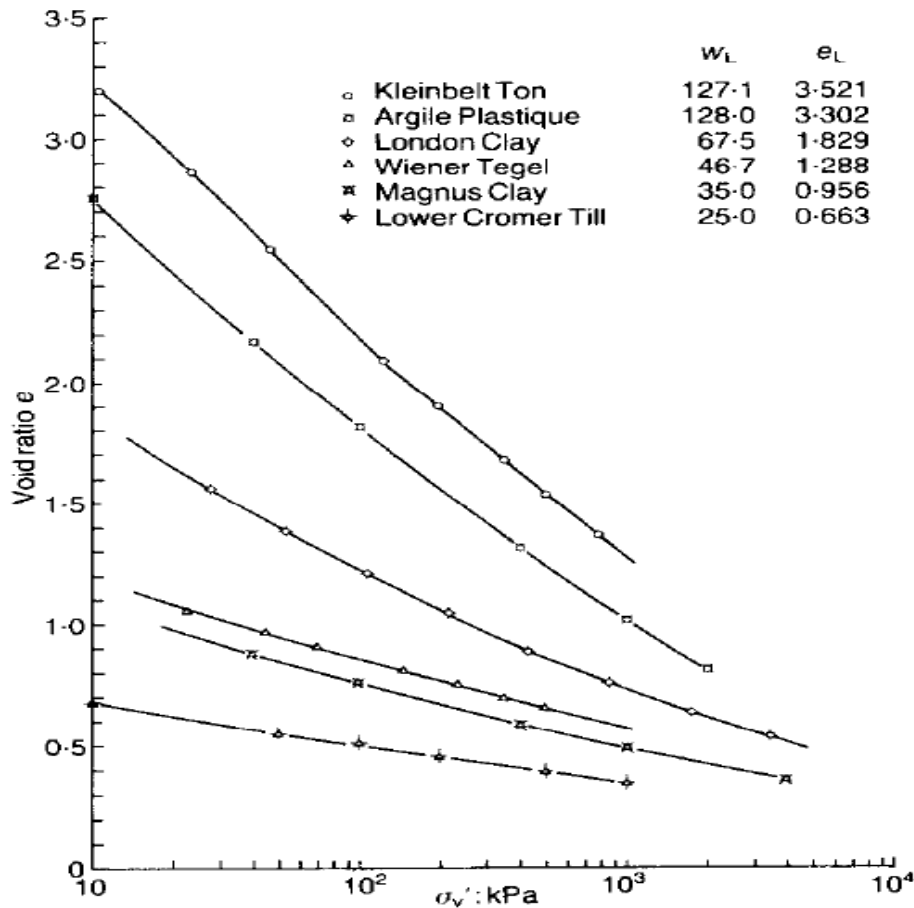
Από την άλλη πλευρά όμως, κάθε εδαφικό υλικό πέρα από τις επίκτητες ιδιότητες του (εκείνες που οφείλονται στην γεωλογική του ιστορία), έχει και κάποιες ιδιότητες τις οποίες διατηρεί ανεξάρτητα από την φυσική του κατάσταση. Οι ιδιότητες αυτές ονομάζονται εγγενείς και χαρακτηρίζουν υλικά που έχουν χάσει τη δομή τους, όπως τα αναμοχλευμένα.

Με την μελέτη λοιπόν αναμοχλευμένων υλικών προκύπτουν στοιχεία για την συμπεριφορά και την αντοχή τους, τα οποία αποτελούν ένα πλαίσιο αναφοράς για τις ιδιότητες και την συμπεριφορά των αντίστοιχων φυσικών υλικών, καθώς φαίνεται επίσης η επίδραση της δομής του εδαφικού σκελετού.

Σύμφωνα με τον Burland (1990) η αναμοχλευμένη άργιλος είναι εκείνη η άργιλος που έχει πλήρως αναμειχθεί με νερό σε ποσοστό υγρασίας μεταξύ w_L και $1,5w_L$, με την τιμή $1,25w_L$ να είναι η πιο επιθυμητή. Από αυτή την αναμοχλευμένη άργιλο προκύπτουν μέσω της δοκιμής μονοδιάστατης στερεοποίησης οι εγγενείς μηχανικές ιδιότητες της φυσικής αργίλου. Είναι δηλαδή οι βασικές, εσωτερικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν το αργιλικό υλικό, ανεξαρτήτως της φυσικής του κατάστασης.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2.5) παρουσιάζονται οι καμπύλες στερεοποίησης σε όρους λόγου κενών e και λογαρίθμου της ενεργού κατακορύφου τάσεως $\log_{10} \sigma'_v$, για διάφορες αναμοχλευμένες αργίλους διαφορετικού αρχικού λόγου κενών και ποσοστού υγρασίας, από σειρά πειραμάτων που παρουσίασε ο Burland.

Από το διάγραμμα φαίνεται πως οι καμπύλες εγγενούς συμπεριφοράς συνήθως είναι ελαφρά κοίλες, έχουν παρόμοιο σχήμα, και συγκλίνουν προς ένα σημείο με την αύξηση της τάσης. Η διαφοροποίηση ως προς τη θέση οφείλεται στα διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά κάθε αργίλου (ποσοστά υγρασίας, όρια Atterberg).



ΣΧΗΜΑ 2.5 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ

Τέλος είναι γνωστό (Terzaghi, 1941) ότι οι καμπύλες συμπίεσης των φυσικών υλικών βρίσκονται σηνύθως δεξιά από τις καμπύλες εγγενούς συμπίεστότητας. Δηλαδή για δεδομένο δείκτη πόρων e το φυσικό υλικό μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερη κατακόρυφη τάση από το αντίστοιχο αναμοχλευμένο. Αυτή η διαφορά οφείλεται στην ύπαρξη των δεσμών και στη δομή του εδαφικού σκελετου που παρουσιάζουν τα φυσικά υλικά, σε αντίθεση με την ανυπαρξία όλων αυτών στα αναμοχλευμένα υλικά.

3. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

3.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η εκτίμηση της συνολικής συμπεριφοράς της εδαφικής μάζας, που επιδέχεται αλλαγή της εντατικής της καταστάσεως (άρση η επιβολή τάσεων αντιστοίχως), είναι πρακτικώς αδύνατο να γίνει με ακρίβεια. Στην πραγματικότητα μόνον τα πολύ απλά προβλήματα της γεωτεχνικής (π.χ. φέρουσα ικανότητα και καθίζηση συνηθισμένων κτιρίων) επιλύονται με τη βοήθεια αναλυτικών ή εμπειρικών μεθόδων.

Σήμερα τα γεωτεχνικά προβλήματα που αφορούν μεγάλα έργα υποδομής (θεμελιώσεις γεφυρών, υπόγεια νερά, ευστάθεια πρανών, σεισμική απόκριση θεμελιώσεων και γεωτεχνικών κατασκευών), αντιμετωπίζονται κυρίως με υπολογιστικές μεθόδους. Τέτοιες είναι οι αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών αλλά και οι επιλύσεις ελαστοπλαστικών αριθμητικών προσομοιωμάτων Cam Clay (Wood 1990, Whittle and Kanvadas 1994), οι οποίες προσφέρουν επαρκή ακρίβεια, στον υπολογισμό των εδαφικών καθιζήσεων και της μεταβολής των οριζοντίων τάσεων.

Ωστόσο, η διεργασία αυτή ανέκαθεν μπορούσε να πραγματοποιηθεί και μέσα από πιο απλές μεθόδους. Για παράδειγμα ο υπολογισμός των καθιζήσεων των τεχνικών έργων μπορεί να επιτευχθεί:

α) Με απλουστευτική εκτίμηση της “συνολικής” παραμορφωσιμότητας του εδαφικού σχηματισμού, μέσω της εργαστηριακής προσομοίωσης στην δοκιμή συμπίεσης / οιδημέτρου. Η δοκιμή αυτή προσομοιώνει θεωρητικώς προβλήματα μονοδιάστατης συμπίεσης εδάφους, υπό στραγγιζόμενες συνθήκες, και θα αναλυθεί διεξοδικώς στην συνέχεια της παρούσας διατριβής.

β) Με ανεξάρτητη εκτίμηση των συνιστωσών της καθιζήσεως, που προϋποθέτει “μέτρηση” της παραμορφωσιμότητας υπο αστράγγιστες αλλά και υπό στραγγιζόμενες συνθήκες. Οι δύο αυτές μετρήσεις πραγματοποιούνται στο εργαστήριο με την τριαξονική δοκιμή και με την δοκιμή συμπίεσης / αντιστοίχως.

γ) Με την μέθοδο των διαδρομών τάσεων (Lambe 1967, Simons 1971) και κατάλληλη εργαστηριακή προσομοίωση της αναμενόμενης αλλαγής της εντατικής καταστάσεως επί αντιπροσωπευτικών εδαφικών δειγμάτων.

3.2 ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η μονοδιάστατη συμπίεση είναι ένας συνηθισμένος τρόπος παραμόρφωσης των εδαφικών υλικών, οι συνθήκες του οποίου συναντώνται όταν η έκταση της επιφάνειας φόρτισης είναι αρκετά μεγάλη σε σχέση με το πάχος του συμπιεστού εδαφικού στρώματος. Τέτοια περίπτωση αποτελεί και το φαινόμενο της ιζηματογένεσης, όπου η απόθεση των εδαφικών υλικών στους πυθμένες των θαλασσών γίνεται σε οριζόντιες στρώσεις μεγάλης έκτασης και οι υποκείμενες στρώσεις συμπιέζονται κατακόρυφα. Επίσης ο τύπος αυτής της παραμόρφωσης συναντάται με μικρές αποκλίσεις και σε πολλά τεχνικά έργα, όπως τα επιχώματα οδοποιίας μεγάλου πλάτους, οι δεξαμενές υγρών καυσίμων μεγάλης διαμέτρου, τα κτίρια με μεγάλη επιφάνεια κάτοψης εδραζόμενα με γενική κοιτόστρωση αλλά και οι θεμελιώσεις με μεμονωμένα πέδιλα σε εδαφικές στρώσεις μικρού πάχους.

Κατά την μονοδιάστατη συμπίεση επιβάλλεται ορθή παραμόρφωση στον κατακόρυφο άξονα (z) με ταυτόχρονη παρεμπόδιση των ορθών παραμορφώσεων στους άξονες (x,y) καθώς και όλων των διατμητικών παραμορφώσεων. Έτσι στις σχέσεις της γραμμικής ισότροπης ελαστικότητας όπου E το μέτρο ελαστικότητας και ν ο λόγος Poisson έχουμε: $\varepsilon_{zz} \neq 0$, $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = \gamma_{xy} = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$.

Οι καταστατικές σχέσεις τάσεων – παραμορφώσεων της γραμμικής ισότροπης ελαστικότητας είναι:

$$(1) \varepsilon_{xx} = \frac{1}{E} [\sigma'_{xx} - \nu(\sigma'_{yy} + \sigma'_{zz})]$$

$$(2) \varepsilon_{yy} = \frac{1}{E} [\sigma'_{yy} - \nu(\sigma'_{zz} + \sigma'_{xx})]$$

$$(3) \varepsilon_{zz} = \frac{1}{E} [\sigma'_{zz} - \nu(\sigma'_{xx} + \sigma'_{yy})]$$

$$(4) \gamma_{xy} = \frac{1}{G} \sigma'_{xy}$$

$$(5) \gamma_{yz} = \frac{1}{G} \sigma'_{yz}$$

$$(6) \gamma_{zx} = \frac{1}{G} \sigma'_{zx}$$

Από τις σχέσεις (4), (5), (6) προκύπτουν $\sigma'_{xy} = \sigma'_{yz} = \sigma'_{zx} = 0$, ενώ από τις σχέσεις (1) ή (2) και από τις $\sigma'_{xx} = \sigma'_{yy} = \sigma'_h$ (λόγω ισοτροπίας),

$\sigma'_{zz} = \sigma'_v$ έχουμε: $\sigma'_h = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma'_v$ (7). Η σχέση (7) μας δίνει τις οριζόντιες θλιπτικές τάσεις των παράπλευρων επιπέδων, οι οποίες δημιουργούνται καθώς το συμπιεζόμενο έδαφος τείνει να διογκωθεί πλευρικά αλλά ταυτόχρονα παρεμποδίζεται η πλευρική του παραμόρφωση. Μεγάλος αριθμός εργαστηριακών μετρήσεων αποδεικνύει ότι ο λόγος σ'_h / σ'_v παραμένει σταθερός κατά την φόρτιση και λαμβάνει τιμές μεταξύ 0,40 και 0,60 για διάφορους τύπους εδαφών. Αυτός ο λόγος είναι γνωστός με τον όρο συντελεστής οριζόντιας ώθησης με παρεμπόδιση της πλευρικής παραμόρφωσης και συμβολίζεται με K_0 . Επίσης εργαστηριακές μετρήσεις της οριζόντιας τάσης σ'_h έχουν δείξει ότι κατά την αποφόρτιση ο συντελεστής οριζόντιας ώθησης αυξάνεται μιας και η οριζόντια τάση μειώνεται με πολύ βραδύτερο ρυθμό από αυτόν της κατακόρυφης.

Τέλος από τις σχέσεις (3), (7) και για $\epsilon_{zz} = \epsilon_v$, προκύπτει:

$$\epsilon_v = \frac{1}{E} \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \sigma'_v \quad (8), \quad \text{όπου ο συντελεστής} \quad \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} = E_s,$$

ονομάζεται **μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης**.

Το μέτρο αυτό σε ένα θεωρητικώς γραμμικό ισότροπο υλικό θα αποτελούσε την ενιαία κλίση του διαγράμματος ενεργών τάσεων (σ'_v) – συμβατικών ανηγμένων παραμορφώσεων (ϵ_{zz}). Στο φυσικό εδαφικό υλικό όμως η τιμή του μέτρου αυτού μεταβάλλεται συνεχώς και είναι συνάρτηση της κατακόρυφου τάσεως και του κλάδου στον οποίο αναφέρεται (φόρτισης, αποφόρτισης ή επαναφόρτισης). Για ένα συγκεκριμένο σημείο λοιπόν της καμπύλης, φέρεται η εφαπτομένη σε αυτό, η τιμή της οποίας είναι και η τιμή του μετρου στο συγκεκριμένο σημείο. Σε κάθε εδαφικό υλικό παρατηρείται όλο και μικρότερη συμπίεστικότητα με την αύξηση της κατακόρυφης τάσης, με συνέπεια και την αύξηση του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης. Αύτη η τάση του εδάφους οφείλεται στην όλο και πιο συμπαγή δομή που αποκτά το υλικό καθώς μειώνεται σταδιακά ο όγκος των κενών. Βέβαια θα διαπιστώσουμε πως αυτή η γενική αίσθηση δεν επαληθεύεται πάντα καθώς παράγοντες όπως η προφόρτιση, η θραύση των κόκκων και ο ερπυσμός, υπεισέρχονται επηρεάζοντας σημαντικά την συμπεριφορά του εδάφους.

Τέλος, θα δούμε και στη συνέχεια της θεωρίας της στερεοποίησης ότι πέραν του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης χρησιμοποιούμε και άλλα μεγέθη παραμορφωσιμότητας του εδάφους όπως ο συντελεστής συμπίεστικότητας (α_v) και ο συντελεστής μεταβολής όγκου m_v (modulus of volume change).

3.3 ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

3.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν μια εδαφική μάζα υπόκειται σε μια θλιπτική δύναμη, όπως σε κάθε υλικό, ο όγκος της μειώνεται. Η ιδιότητα αυτή του εδάφους στην οποία οφείλεται η άνωθι μείωση του όγκου του, ονομάζεται συμπίεστικότητα. Η συμπίεση λοιπόν ενός εδαφικού στρώματος μπορεί να οφείλεται σε μια ή περισσότερες από τις αιτίες που ακολουθούν:

- α) Συμπίεση των εδαφικών κόκκων / πλακιδίων και του νερού των πόρων
- β) Συμπίεση και απόδραση του αέρα των πόρων
- γ) Διαφυγή του νερού των πόρων

Η συμπίεση των κόκκων είναι αμελητέα, καθώς και η συμπίεση του νερού είναι τόσο μικρή, ώστε το νερό να θεωρείται πρακτικώς ασυμπίεστο για τα μεγέθη των τάσεων που εξετάζει η εδαφομηχανική. Ως εκ τούτου, το πρώτο αίτιο παραμόρφωσης ενός εδαφικού υλικού δεν είναι και τόσο σημαντικό.

Από την άλλη πλευρά, ο αέρας που βρίσκεται στους πόρους των μερικώς κορεσμένων και των ξηρών εδαφών, είναι εντόνως συμπίεσιμος και η συμπίεσή του είναι σχεδόν ταυτόχρονη με την επιβολή του φορτίου. Επίσης, ο αέρας αυτός αρχίζει να διαφεύγει ταχύτατα μετά την επιβολή της φόρτισης. Είναι λοιπόν επακόλουθο το δεύτερο αίτιο να προκαλεί κατά μεγάλο βαθμό την μείωση του όγκου των συγκεκριμένων εδαφικών στρώσεων.

Στα πλήρως κορεσμένα εδάφη, το δεύτερο αίτιο δεν μπορεί να ληφθεί υπόψιν και η συμπίεστικότητά τους οφείλεται κυρίως στο τρίτο αίτιο. Αυτή η διερεύνηση του φαινομένου της διαφυγής του νερού των πλήρως κορεσμένων υλικών, αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας ενότητας.

Η συμπίεση ενός κορεσμένου εδάφους υπό μια σταθερή στατική φόρτιση, είναι γνωστή ως **στερεοποίηση**, και αποδίδεται αποκλειστικά στην διαφυγή του νερού των πόρων. Το έδαφος συμπεριφέρεται σαν ένα “βρεγμένο σφουγγάρι” και το όλο φαινόμενο μπορεί να παρομοιαστεί με το στύψιμο του. Κατά τη στερεοποίηση, οι εδαφικοί κόκκοι αλλάζουν θέση ο ένας με τον άλλο, μέσω περιστροφής και ολίσθησης, προσδίδοντας στην μάζα του εδάφους μια πιο συμπαγή διάταξη. Κατά ένα μικρότερο ποσοστό, που είναι σχεδόν ασήμαντο για το μέγεθος των τάσεων των προβλημάτων της εδαφομηχανικής, η μεταβολή του εδαφικού όγκου οφείλεται και σε κάμψη, παραμόρφωση ή

ακόμα και θραύση των εδαφικών κόκκων. Παρόλα αυτά είναι υπαρκτό και υπεύθυνο για μια πρόσθετη παραμόρφωση του εδάφους.

Η καθίζηση ενός κτιρίου είναι η κατακόρυφη κίνηση του προς τα κάτω λόγω της μείωσης του όγκου του εδάφους στο οποίο είναι χτισμένο. Οπότε γίνεται αντιληπτό πως τα χαρακτηριστικά της στερεοποίησης είναι απαραίτητα στην εκτίμηση του μεγέθους και της χρονικής διάρκειας των καθιζήσεων των κατασκευών.

3.3.2 ΑΜΕΣΗ, ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ

Η στερεοποίηση μιας εδαφικής μάζας χωρίζεται σε τρία στάδια :

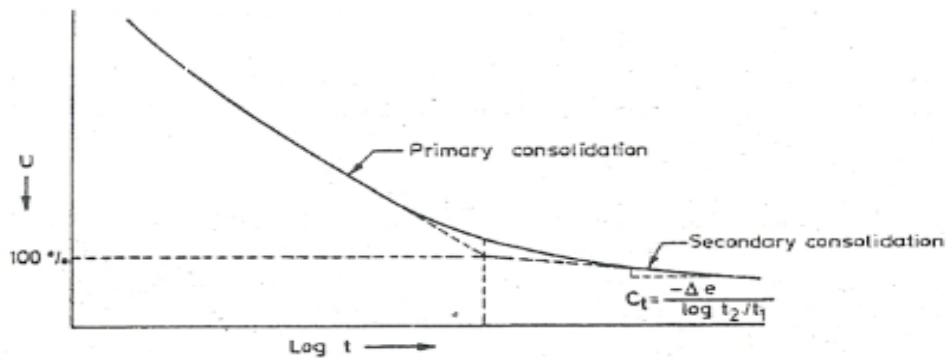
- (1) **Άμεση στερεοποίηση.** Με την επιβολή ενός φορτίου σε ένα μερικώς κορεσμένο έδαφος, προκαλείται μια μείωση του όγκου του λόγω της απόδρασης και της συμπίεσης του αέρα των πόρων. Μια μικρή μείωση όγκου επίσης συμβαίνει λόγω της συμπίεσης των εδαφικών κόκκων. Αυτή η μείωση του όγκου που παρατηρείται αμέσως μετά την επιβολή του φορτίου, ονομάζεται άμεση στερεοποίηση ή άμεση συμπίεση. Για τα πλήρως κορεσμένα εδάφη η άμεση στερεοποίηση οφείλεται κυρίως στην συμπίεση των εδαφικών κόκκων.
- (2) **Πρωτογενής στερεοποίηση.** Μετά την άμεση στερεοποίηση, η περαιτέρω μείωση όγκου οφείλεται στη διαφυγή του νερού των πόρων. Όταν ένα κορεσμένο έδαφος υπόκειται σε μία πίεση, αρχικώς όλη η επιβαλλόμενη πίεση αναλαμβάνεται από το νερό ως υπερπίεση πόρων, καθώς το νερό είναι σχεδόν ασυμπίεστο εν συγκρίση με τους εδαφικούς κόκκους. Έτσι δημιουργείται υδραυλική κλίση και το νερό αρχίζει να απορρέει επιφέροντας μείωση όγκου. Η μείωση αυτή εξαρτάται από την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους και κατ' επέκταση από τον χρόνο. Καθώς το νερό διαφεύγει από το έδαφος, η επιβαλλόμενη πίεση σταδιακά μεταφέρεται στους εδαφικούς κόκκους με αποτέλεσμα την αύξηση των ενεργών τάσεων. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται πρωτογενής στερεοποίηση και στα λεπτόκοκκα εδάφη είναι μακράς διάρκειας. Αντιθέτως στα χονδρόκοκκα εδάφη η πρωτογενής στερεοποίηση συντελείται σχετικά γρήγορα λόγω της υψηλής υδατοπερατότητάς τους.
- (3) **Δευτερογενής στερεοποίηση.** Αφού επέλθει η πλήρης αποτόνωση των υδροστατικών υπερπιέσεων λόγω της επιβολής φορτίου, και μετά το πέρας της πρωτογενούς συμπίεσης, εξακολουθεί να μειώνεται ο όγκος

της εδαφικής μάζας με πολύ αργό ρυθμό. Αυτή η επιπλέον μείωση του όγκου ονομάζεται δευτερογενής στερεοποίηση, τα αίτια της οποίας δεν έχουν καθοριστεί πλήρως. Αποδίδεται κυρίως στην αναπροσαρμογή του εδαφικού σκελετού, ώστε να ανταποκριθεί στο νέο περιβάλλον των αυξανόμενων ενεργών τάσεων. Άλλα πιθανά αίτια αποτελούν η σταδιακή θραύση των δεσμών μεταξύ των κόκκων, αλλά και η θραύση των κόκκων των ίδιων. Η δευτερογενής συμπίεση συνήθως δεν ανακτάται με την αναίρεση του φορτίου και έχει μεγάλη διάρκεια και συνεισφορά στην ολική καθίζηση κυρίως στα οργανικά εδάφη.

Σημειώνεται ακόμα πως ο βαθμός της δευτερογενούς στερεοποίησης αυξάνεται με την μείωση του ρυθμού φόρτισης, γεγονός το οποίο επηρέασε σε μεγάλο βαθμό τα όσα αναφέρονται στις ενότητες περί επίδρασεως του ρυθμού φόρτισης στο πείραμα της στερεοποίησης. Επίσης στο ίδιο αποτέλεσμα οδηγούμαστε όταν μειώσουμε το πάχος του δοκιμίου ή αυξήσουμε την διάρκεια παραμονής του κάθε φορτίου.

Γενικώς η δευτερογενής στερεοποίηση είναι σημαντική μόνον στις υψηλής πλαστικότητας αργίλους και στα οργανικά εδάφη. Αντιθέτως, σε υπερστερεοποιημένα ανόργανα εδάφη είναι τόσο ασήμαντη που συνήθως αμελείται.

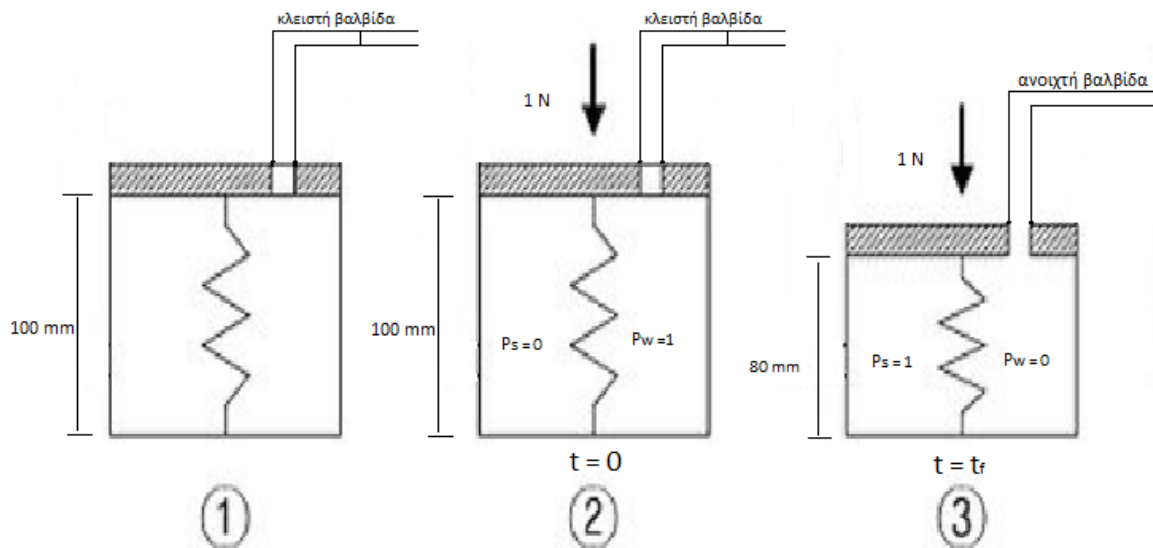
Στο Σχήμα 3.1 που ακολουθεί φαίνεται η αλληλουχία των δυο κυριότερων φάσεων του φαινομένου.



ΣΧΗΜΑ 3.1 ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΡΟΓΕΝΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ – ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.3.3 ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΑΝΑΛΟΓΟ ΤΗΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η διαδικασία της πρωτογενούς στερεοποίησης μπορεί να εξηγηθεί με τη βοήθεια του ελαστικού αναλόγου του Terzaghi το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Το σχήμα αυτό δείχνει έναν κύλινδρο στον οποίο υπάρχουν ένα έμβολο και μία βαλβίδα. Μέσα στον κύλινδρο υπάρχει νερό και ένα ελατήριο δεδομένης ακαμψίας. Θεωρείται έστω ελατήριο με αρχικό μήκος 100 mm και δεδομένη ακαμψία ίση με 20 mm/N. Γίνεται επίσης η υπόθεση πως το έμβολο είναι αβαρές, έτσι ώστε το ελατήριο και το νερό να μην δέχονται καμία αρχική πίεση.



ΣΧΗΜΑ 3.2 ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΑΝΑΛΟΓΟ TERZAGHI

Αν στην συνέχεια επιβληθεί φορτίο P ενός Newton στο έμβολο, με τη βαλβίδα να διατηρείται κλειστή, τότε όλο το φορτίο θα αναληφθεί από το νερό. Αυτό διότι η ακαμψία του ελατηρίου είναι αμελητέα σε σύγκριση με αυτή του νερού. Από την ισορροπία $P_w + P_s = P$, όπου P_w , P_s , τα φορτία που αναλαμβάνουν το νερό και το ελατήριο αντίστοιχα και P το ολικό φορτίο για $P = 1$ N, έχουμε $P_w + P_s = 1$, και για $(t = 0)$ $P_w = 1$, $P_s = 0$.

Αν τώρα ανοιχτεί σταδιακά η βαλβίδα, το νερό θα αρχίσει να διαφεύγει από τον κύλινδρο, το ελατήριο θα αρχίσει να μοιράζεται μέρος του φορτίου και το μήκος του να μειώνεται. Όταν λοιπόν ένα τμήμα ΔP του φορτίου μεταφερθεί από το νερό στο ελατήριο, τότε στην ισορροπία θα έχουμε: $\Delta P + (1 - \Delta P) = 1$. Καθώς φεύγει όλο και περισσότερο νερό το φορτίο που αναλαμβάνει το

ελατήριο αυξάνεται, και συνεπώς όταν αποκατασταθούν οι συνθήκες ισορροπίας, το νερό θα σταματήσει να φεύγει. Τότε, την στιγμή ($t = t_f$) όλο το φορτίο θα έχει αναληφθεί από το ελατήριο. Έτσι $P_w = 0$, $P_s = 1$.

Αυτό το φορτίο θα προκαλέσει μείωση του μήκους του ελατηρίου κατά 20 mm όπως φαίνεται και στο τρίτο βήμα του Σχήματος 2.1. Καθώς λοιπόν το φορτίο που αναλαμβάνεται από το νερό ξαναείναι μηδενικό δεν υπάρχει υπερπίεση πόρων. Έτσι αν κλειστεί πάλι η βαλβίδα και το φορτίο P αυξηθεί στα 2 Newton, η προηγούμενη διαδικασία μεταφοράς του φορτίου επαναλαμβάνεται ώσπου το ελατήριο να αναλάβει πάλι το πλήρες φορτίο και το μήκος του να γίνει 60 mm. Παρόμοια είναι, όπως θα φανεί και στη συνέχεια, η διαδικασία της δοκιμής του συμπιεσομέτρου με την επιβολή φορτίων έως ότου ασκηθεί και το τελευταίο φορτίο.

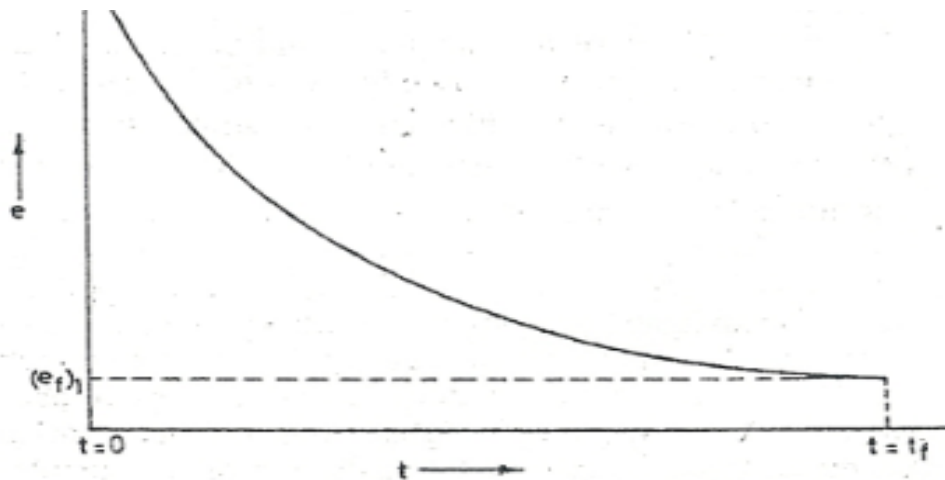
3.3.4 Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

Η συμπεριφορά του κορεσμένου δοκιμίου είναι παρόμοια με αυτήν του παραπάνω ελαστικού αναλόγου. Οι εδαφικοί κόκκοι συμπεριφέρονται όπως το ελατήριο ενώ το νερό των πόρων όπως το νερό του κυλίνδρου. Η υδραυλική αγωγιμότητα του δοκιμίου καθορίζει τη ροή του νερού και κατά κάποιον τρόπο μπορεί να συνδεθεί με την βαλβίδα του εμβόλου. Η υπερπίεση του νερού των πόρων (u) είναι ανάλογη με την πίεση που αναλαμβάνει το νερό του κυλίνδρου, και τέλος η πίεση που αναπτύσσεται στο ελατήριο είναι ανάλογη με την ενεργό τάση (σ') που αναπτύσσεται στο εδαφικό δοκίμιο.

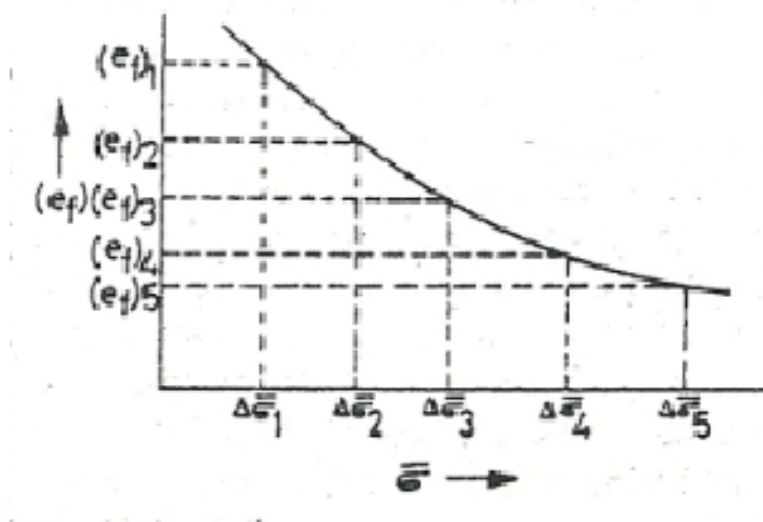
Όταν πίεση $\Delta\sigma_1$ ασκείται σε μία εγκάρσια διατομή ενός κορεσμένου εδαφικού δοκιμίου, η πίεση μεταβιβάζεται στους εδαφικούς κόκκους και στο νερό των πόρων έτσι ώστε: $\Delta\sigma' + \Delta u = \Delta\sigma_1$. Αρχικά, αμέσως μετά την επιβολή της τάσης όλο το φορτίο αναλαμβάνεται από το νερό. Η πίεση που δημιουργείται στο νερό, γνωστή ως υδροστατική υπερπίεση ή υδροδυναμική πίεση (u), ισούται με την επιβαλλόμενη τάση. Η πίεση που αναλαμβάνεται από τους εδαφικούς κόκκους αντιπροσωπεύεται από την ενεργό τάση $\Delta\sigma'$ και είναι μηδενική, άρα $0 + u = \Delta\sigma_1$.

Στη συνέχεια η υπερπίεση πόρων που αναπτύσσεται προκαλεί μία υδραυλική κλίση με αποτέλεσμα το νερό να αρχίσει να διαφεύγει από τους πόρους. Ταυτοχρόνως η επιβαλλόμενη πίεση μεταφέρεται από το νερό στους εδαφικούς κόκκους έως ότου η ασκούμενη εξωτερική τάση εξισωθεί με την ενεργό τάση και η υπερπίεση πόρων μηδενιστεί, ώστε $\Delta\sigma' = \Delta\sigma_1$.

Παράλληλα με την εκτέλεση των παραπάνω συντελείται και σταδιακή μείωση του όγκου η οποία εκφράζεται μέσω της μείωσης του λόγου κενών (e). Ο αρχικός λόγος κενών είναι e_0 και τελικώς μετά το πέρας της μεταφοράς του κάθε φορτίου στον εδαφικό σκελετό μειώνεται σε μία τιμή e_f (Σχήμα 3.3). Εάν χαραχτεί η καμπύλη των τελικών λόγων κενών $(e_f)_i$ ως προς τις αντίστοιχες ενεργές τάσεις $\Delta\sigma_i'$ για κάθε βήμα φόρτισης, παρατηρείται ότι καθώς οι ενεργές τάσεις αυξάνονται οι τελικοί λόγοι κενών μειώνονται (Σχήμα 3.4).



ΣΧΗΜΑ 3.3 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΚΕΝΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ



ΣΧΗΜΑ 3.4 ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΕΛΙΚΟΥ ΛΟΓΟΥ ΚΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

3.3.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΚΕΝΩΝ ΣΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΒΗΜΑΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Στο πείραμα της στερεοποίησης το κάθε βήμα φόρτισης αποτυπώνεται ως σημείο στην καμπύλη στερεοποίησης, με συντεταγμένες την τελική τιμή του λόγου κενών και την αντίστοιχη ενεργό τάση, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.4. Για τον υπολογισμό του λόγου των κενών χρησιμοποιείται η **μέθοδος του ύψους των στερεών κόκκων**. Το ύψος των στερεών κόκκων το οποίο συμβολίζεται με H_s δίδεται από την σχέση:

$$H_s = \frac{V_s}{A} = \left(\frac{M_s}{G_s \rho_w} \right) \cdot \frac{1}{A} = \left(\frac{W_s}{G_s \gamma_w} \right) \cdot \frac{1}{A} \quad \dots (3.1)$$

όπου V_s ο όγκος στερεών κόκκων, W_s το βάρος του ξερού υλικού που μετράται σε gr, G_s η ειδική πυκνότητα των στερεών κόκκων, γ_w το ειδικό βάρος του νερού ($\cong 1 \text{gr/cm}^3$) και A το εμβαδόν της διατομής του δοκιμίου.

Στη συνέχεια από τον ορισμό του λόγου κενών προκύπτει:

$$e = \frac{\text{όγκος κενών}}{\text{όγκος στερεών}} = \frac{V - V_s}{V_s} \quad \dots (3.2)$$

η οποία μπορεί να γραφεί και σαν,

$$e = \frac{(A \times H) - (A \times H_s)}{(A \times H_s)} = \frac{H - H_s}{H_s} \quad \dots (3.3)$$

όπου H το ολικό ύψος (πάχος). Έτσι ο λόγος κενών προσδιορίζεται από το ολικό ύψος H και το ύψος των στερεών κόκκων. Το ολικό ύψος μετράται στην αρχή και στο τέλος του πειράματος. Το αρχικό συμβολίζεται H_0 ενώ το ύψος των άλλων σταδίων φόρτισης προκύπτει από το αρχικό και την διαφορά στις ενδείξεις μετρήσεων του μετρητή. Συνεπώς $H = H_0 \pm \Sigma \Delta H$. Αρχικά λοιπόν ο λόγος κενών e_0 δίδεται από: $e_0 = (H_0 - H_s)/H_s$, ενώ στα ενδιάμεσα στάδια $e = (H - H_s)/H_s$. Σημειώνεται τέλος πως με τον προσδιορισμό του λόγου κενών και του ποσοστού υγρασίας w στην αρχή και στο τέλος του πειράματος, ο αντίστοιχος βαθμός κορεσμού μπορεί να προκύψει από την σχέση $S = w \cdot G_s/e$.

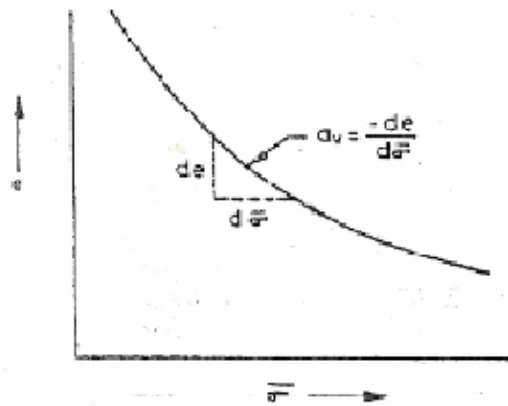
3.3.6 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Οι παρακάτω ορισμοί σχετίζονται άμεσα το φαινόμενο της στερεοποίησης και είναι υψίστης σημασίας.

(1) **Συντελεστής συμπίεστότητας (α_v).** Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως το πηλίκο της μείωσης του όγκου κενών ανά μοναδιαία αύξηση της ενεργού τάσης. Είναι επίσης ίσος με την κλίση της καμπύλης $e - \sigma'$ στο σημείο που μας ενδιαφέρει, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.5. Έτσι:

$$\alpha_v = \frac{-de}{d\sigma'} = \frac{-\Delta e}{\Delta \sigma'} \quad \dots (3.4)$$

, καθώς λοιπόν η ενεργός τάση αυξάνεται ο λόγος κενών μειώνεται, δηλαδή ο λόγος είναι αρνητικός αλλά η ύπαρξη του “-” μετατρέπει το πρόσημο του συντελεστή σε θετικό. Είναι προφανές πως σε κάθε ενεργό τάση αντιστοιχεί και διαφορετική τιμή του συντελεστή, και συγκεκριμένα ο συντελεστής συμπίεστότητας μειώνεται με την αύξηση της ενεργού τάσεως. Με άλλα λόγια το έδαφος γίνεται πιο στιβαρό και η καμπύλη $e - \sigma'$ πιο οριζόντια. Οι διαστάσεις του είναι $[L^2 / F]$ και οι μονάδες του στο SI m^2 / kN .



ΣΧΗΜΑ 3.5 ΚΑΜΠΥΛΗ ΛΟΓΟΥ ΚΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΩΝ ΤΑΣΕΩΝ – ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ

(2) **Συντελεστής μεταβολής όγκου (m_v).** Ο συντελεστής αυτός χρησιμοποιείται συχνότερα από τον προηγούμενο και ορίζεται ως το πηλίκο της μεταβολής της ανηγμένης ογκομετρικής παραμόρφωσης προς την μεταβολή της ενεργού τάσης. Δίνεται δε από την σχέση:

$$m_v = \frac{-\Delta V/V_0}{\Delta \sigma'} \quad \dots (3.5)$$

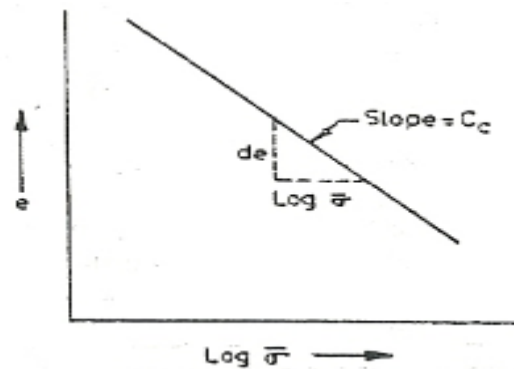
Όπου ΔV η μεταβολή του όγκου και V_0 ο αρχικός όγκος. Ο συντελεστής μεταβολής όγκου είναι το αντίστροφο μέγεθος του μέτρου συμπίεστος E_s που αναφέρθηκε πιο πάνω και οι τιμές του για τις περισσότερες αργίλους κυμαίνονται μεταξύ του 1×10^{-3} και του $1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{kN}$.

Αποδεικνύεται επίσης πως η μεταβολή του όγκου ισούτε με την μεταβολή του λόγου κενών ($\Delta V = \Delta e$) και ότι η αρχική τιμή του όγκου V_0 ισούτε με τον όρο $(1 + e_0)$, ενώ για τις συνθήκες μονοδιάστατης συμπίεσης ισχύει $(\Delta V/V_0) = (\Delta H/H_0)$. Με την χρήση των παραπάνω προκύπτει άλλη μια ισότητα για τον συντελεστή m_v καθώς και μια συσχέτιση του με τον συντελεστή συμπίεστος α_v .

$$m_v = \frac{-\Delta e / (1 + e_0)}{\Delta \sigma'} = \frac{-\Delta H / H_0}{\Delta \sigma'} \quad \dots (3.6)$$

$$m_v = \frac{\alpha_v}{1 + e_0} \quad \dots (3.7)$$

Αναλόγως με τον συντελεστή συμπίεστος και η τιμή του συντελεστή m_v μειώνεται με την αύξηση της ενεργού τάσης για την οποία υπολογίζεται.



ΣΧΗΜΑ 3.6 ΚΑΜΠΥΛΗ ΛΟΓΟΥ ΚΕΝΩΝ ΚΑΙ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΥ ΕΝΕΡΓΩΝ ΤΑΣΕΩΝ – ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ

(3) **Δείκτης συμπίεστος (C_c)**. Ο δείκτης συμπίεστος ισούτε με την κλίση του ευθύγραμμου κομματιού της καμπύλης του λόγου κενών προς τον λογάριθμο της ενεργού τάσης $e - \log \sigma'$ (Σχήμα 3.6):

$$C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log_{10}(\sigma')} = \frac{-\Delta e}{\log_{10}(\sigma' / \sigma'_0)} = \frac{-\Delta e}{\log_{10}\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0}\right)} \quad \dots (3.8)$$

Όπου σ'_0 η τάση στην αρχή και $\Delta \sigma'$ η μεταβολή της ενεργού τάσης. Η τιμή επίσης του δείκτη C_c υπολογίζεται ευκολότερα αν προεκτείνουμε την ευθεία του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης ώσπου να καλύψει το εύρος ενός λογαριθμικού κύκλου. Έτσι ο δείκτης ισούται με την

διαφορά του λόγου κενών ($C_c = - \Delta e / 1 = - \Delta e$). Ο δείκτης συμπίεστικότητας είναι μείζωνος σημασίας στον προσδιορισμό της καθίζησης στην φύση.

Ειδικά για τις αργίλους ο δείκτης συμπίεστικότητας συνδέθηκε μέσω εμπειρικών σχέσεων από τους Terzaghi και Peck με το όριο υδαρότητας τους. Οι σχέσεις αυτές είναι:

$$(a) \text{ Για αδιατάρακτα εδάφη, } C_c = 0,009 (LL - 10)$$

$$(b) \text{ Για αναδιαταγμένα εδάφη, } C_c = 0,007 (LL - 10)$$

όπου LL = όριο υδαρότητας (%), και οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 0,30 για τις πολύ πλαστικές μέχρι και 0,075 για αργίλους χαμηλής πλαστικότητας.

Ακόμα υπάρχουν σχέσεις που συνδέουν τον δείκτη συμπίεστικότητας με τα επι τόπου μετρημένα μεγέθη του λόγου κενών (e_0) και του ποσοστού υγρασίας (w_0), καθώς και μια σχέση που μας δίνει τον συντελεστή συμπίεστικότητας α_v συναρτήσει του C_c .

$$C_c = 0,54 \cdot (e_0 - 0,35) = 0,0054 \cdot (2,6w_0 - 35) \quad \dots (3.9)$$

$$\alpha_v = 0,435 \cdot \frac{C_c}{\sigma'_a} \quad \dots (3.10)$$

Με σ'_a την μέση τάση για κάθε βήμα φόρτισης.

- (4) **Δείκτης Διόγκωσης (C_e).** Ο δείκτης διόγκωσης είναι η αντίστοιχη κλίση της καμπύλης $e - \log \sigma'$ στον κλάδο της αποφόρτισης που σχηματίζεται κατά την διάρκεια της αποφόρτισης. Δίνεται από την παρακάτω σχέση και η τιμή του είναι πολύ μικρότερη από αυτήν του δείκτη συμπίεστικότητας.

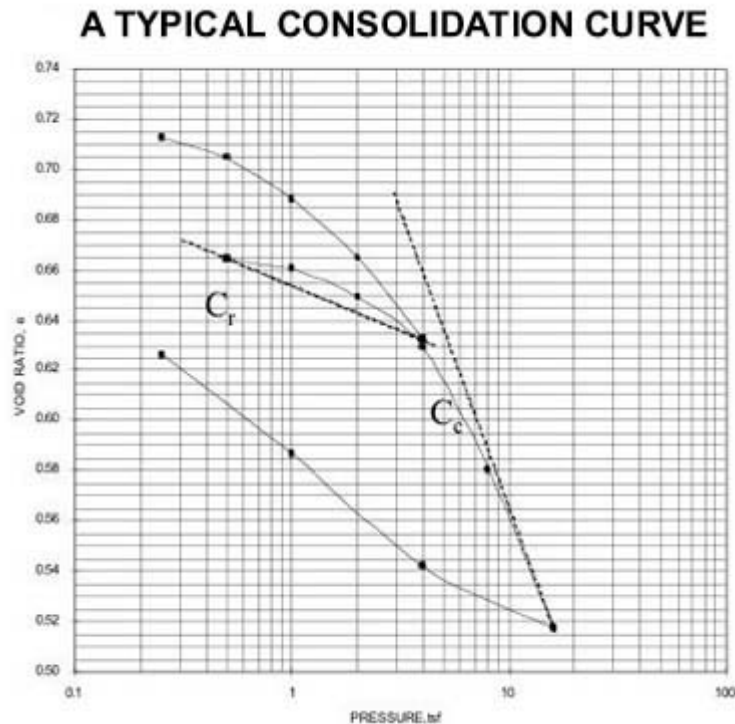
$$C_e = \frac{\Delta e}{\log_{10} \left(\frac{\sigma' + \Delta \sigma'}{\sigma'} \right)} \quad \dots (3.11)$$

- (5) **Δείκτης Επαναφόρτισης (C_r).** Ο δείκτης αυτός δείχνει τη συμπίεση μιας εδαφικής μάζας που προηγουμένως έχει φορτιστεί και αποφορτιστεί. Εκφράζεται πάλι από την κλίση της καμπύλης $e - \log \sigma'$ στον κλάδο της επαναφόρτισης και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C_r = \frac{-\Delta e}{\log_{10} \left(\frac{\sigma' + \Delta \sigma'}{\sigma'} \right)} \quad \dots (3.12)$$

ενώ η τιμή του συνήθως κυμαίνεται μεταξύ του 1/10 και του 1/5 της τιμής του δείκτη συμπίεστικότητας. Στο Σχήμα 3.7 φαίνεται και ο δείκτης

επαναφόρτισης αλλά και ο δείκτης συμπίεστος μιας τυπικής καμπύλης στερεοποίησης με εμφανή την διαφορά που έχουν στην τιμή.



ΣΧΗΜΑ 3.7 ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

(6) **Δείκτης δευτερογενούς συμπίεσης (C_t)**. Ο δείκτης αυτός δίνει τον βαθμό της δευτερογενούς στερεοποίησης και ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$C_t = \frac{-\Delta e}{\log_{10}(t_2/t_1)} \quad \dots (3.13)$$

με Δe την μεταβολή του λόγου κενών μεταξύ των χρονικών στιγμών t_1, t_2 . Ο δείκτης C_t ισούτε με την κλίση του τελευταίου ευθύγραμμου κομματίου της καμπύλης του λόγου κενών συναρτήσει του λογαρίθμου του χρόνου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1

(7) **Συντελεστής δευτερογενούς στερεοποίησης (C_a)**. Αποτελεί την πιο διαδεδομένη παράμετρο περιγραφής του φαινομένου της δευτερογενούς στερεοποίησης. Αν e_p ο λόγος κενών στο τέλος της πρωτογενούς στερεοποίησης τότε ο συντελεστής C_a δίνεται από την σχέση:

$$C_a = \frac{C_t}{1 + e_p} = \frac{\Delta e}{1 + e_p} \cdot \frac{1}{\log_{10}\left(\frac{t_2}{t_1}\right)} \quad \dots (3.14)$$

,ενώ το μέγεθος της δευτερογενούς στερεοποίησης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$s_s = C_a \times H \cdot \log_{10}(t_2/t_1) \quad \dots (3.15)$$

3.3.7 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Είναι πολύ σημαντικό να προσδιοριστεί η κατάσταση ενός εδαφικού σχηματισμού με βάση την προιστορία των τάσεων στις οποίες έχει υποβληθεί. Στη συνέχεια δίνονται τα χαρακτηριστικά αυτών των καταστάσεων:

Α. Κανονικώς στερεοποιημένα και υπερστερεοποιημένα εδάφη. Ένα κανονικώς στερεοποιημένο έδαφος είναι ένα έδαφος το οποίο δεν έχει ποτέ υποβληθεί σε τάσεις μεγαλύτερες από αυτές που βρίσκεται στην τωρινή του κατάσταση, ενώ ένα υπερστερεοποιημένο έδαφος έχει υποστεί στο παρελθόν τάσεις μεγαλύτερες από τις παρούσες.

Το τμήμα OP όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.8 αντιπροσωπεύει ένα έδαφος σε μια κανονικώς στερεοποιημένη κατάσταση. Η καμπύλη σε αυτό το τμήμα της είναι γνωστή και ως **virgin καμπύλη συμπίεσης**. Από την άλλη πλευρά το έδαφος στην περιοχή QR καθώς επαναφορτίζεται, αναπαριστά μια υπερστερεοποιημένη κατάσταση καθώς το έδαφος προηγουμένως έχει βρεθεί υπό τάση σ_2' που είναι μεγαλύτερη από τις τάσεις που επικρατούν στον κλάδο της επαναφόρτισης.

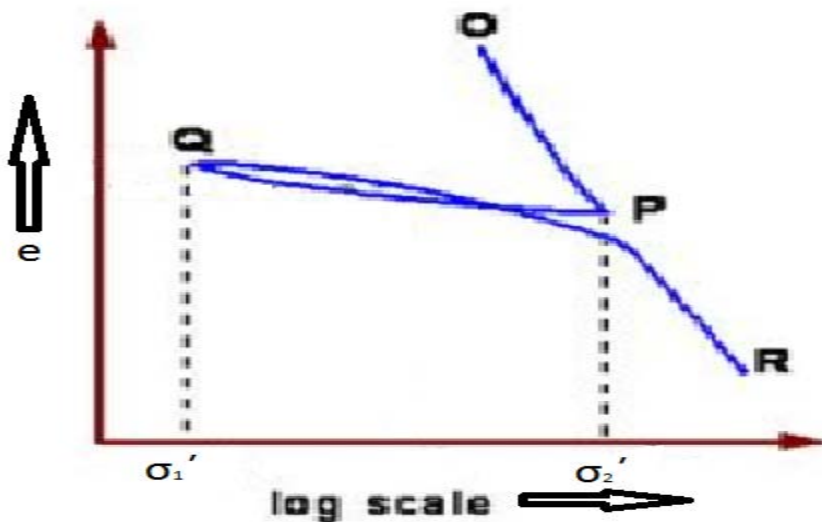
Μπορεί να τονιστεί επίσης πως το κανονικώς στερεοποιημένο έδαφος και το υπερστερεοποιημένο έδαφος δεν είναι διαφορετικά είδη εδαφών, αλλά διαφορετικές καταστάσεις στις οποίες μπορεί ένα έδαφος να βρεθεί. Το ίδιο έδαφος μπορεί να συμπεριφέρεται ως κανονικώς στερεοποιημένο σε ένα συγκεκριμένο εύρος τάσεων και ως υπερστερεοποιημένο σε ένα άλλο εύρος. Παράδειγμα αποτελεί το έδαφος του Σχήματος 3.8 όπου στην περιοχή QR συμπεριφέρεται ως υπερστερεοποιημένο αλλά στη συνέχεια θα ξανασυμπεριφερθεί σαν κανονικώς στερεοποιημένο στον κλάδο PR.

Αν διαιρέσουμε την μεγαλύτερη τάση στην οποία έχει υποβληθεί ένα υπερστερεοποιημένο έδαφος με την τάση της τωρινής του κατάστασης προκύπτει το μέγεθος που ονομάζεται **βαθμός προφόρτισης (O.C.R.)**.

Για παράδειγμα στο παραπάνω Σχήμα 2.2 ένα έδαφος στην κατάσταση του σημείου Q έχει βαθμό προφόρτισης ίσο με τον λόγο σ_2'/σ_1' .

Τέλος γίνεται κατανοητό πως αφού ο δείκτης C_r είναι πολύ μικρότερος σε σύγκριση με τον δείκτη C_c τα εδάφη σε υπερστερεοποιημένη κατάσταση έχουν πολύ μικρότερη συμπίεστικότητα και κατ'επέκταση οι καθιζήσεις κατασκευών που εδράζονται σε τέτοια εδάφη είναι μικρές.

Β. Υποστερεοποιημένα εδάφη. Αυτά συνήθως είναι αργιλικές αποθέσεις, οι οποίες δεν έχουν έρθει ακόμα σε ισορροπία κάτω από το ασκούμενο υπερκείμενο φορτίο. Τέτοιοι σχηματισμοί παρατηρούνται κυρίως σε περιοχές πρόσφατων εδαφικών αποθέσεων.



ΣΧΗΜΑ 3.8 ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗΣ

3.3.8 ΘΕΩΡΙΑ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ TERZAGHI

Α] Παραδοχές. Ο Terzaghi το 1925 καθιέρωσε τη θεωρία προσδιορισμού του ρυθμού στερεοποίησης μιας κορεσμένης εδαφικής μάζας, η οποία υποβάλλεται σε σταθερό στατικό φορτίο. Η θεωρία αυτή βασίστηκε στις παραπάνω παραδοχές:

- 1) Το έδαφος είναι ομογενές και ισότροπο
- 2) Το έδαφος είναι πλήρως κορεσμένο
- 3) Οι εδαφικοί κόκκοι και το νερό των πόρων είναι πρακτικώς ασυμπίεστα. Η στερεοποίηση συντελείται με την διαφυγή του νερού των πόρων.

- 4) Ο συντελεστής υδατοπερατότητας του εδάφους έχει την ίδια τιμή σε όλα τα σημεία, και παραμένει σταθερός σε όλη τη διάρκεια του φαινομένου.
- 5) Ο νόμος Darcy ισχύει καθ' όλη τη διάρκεια της στερεοποίησης.
- 6) Το έδαφος είναι πλευρικό περιορισμένο, με αποτέλεσμα η στερεοποίηση να πραγματοποιείται μόνον κατά την αξονική διεύθυνση. Επίσης και η στράγγιση του νερού συντελείται μόνο κατακόρυφα.
- 7) Η χρονική υστέρηση του όλου φαινομένου οφείλεται αποκλειστικά στη χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους.
- 8) Υπάρχει μια μοναδική συσχέτιση ανάμεσα στον λόγο κενών και την ενεργό τάση, η οποία παραμένει σταθερή σε όλη τη διάρκεια μίας βαθμίδας φόρτισης, Αυτό σημαίνει πως ο συντελεστής συμπίεστότητας α_v και ο συντελεστής μεταβολής όγκου m_v παραμένουν σταθεροί.

Σχολιασμός των παραδοχών

Οι παραδοχές του Terzaghi δεν ικανοποιούνται πλήρως στα πραγματικά προβλήματα της φύσης, με αποτέλεσμα τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την θεωρία να είναι κατά προσέγγιση. Όμως συνυπολογίζοντας και την πολυπλοκότητα του όλου φαινομένου, η θεωρία παρέχει ευλόγως ακριβείς εκτιμήσεις της χρονικής εξέλιξης των καθιζήσεων που συντελούνται σε μια θεμελιωμένη στο έδαφος κατασκευή. Πιο αναλυτικά μπορούν να σχολιαστούν τα παρακάτω.

Οι παραδοχές 1,2,3 γενικώς ικανοποιούνται στις πλήρως κορεσμένες αργιλικές αποθέσεις. Παρόλα αυτά η οποιαδήποτε παρουσία αέρα στην εδαφική μάζα μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Οι παραδοχές 4,5 δεν ικανοποιούνται απόλυτα. Η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας διαφοροποιείται στα διάφορα σημεία της εδαφικής μάζας, ενώ μειώνεται με την πάροδο του χρόνου λόγω της αύξησης της ενεργού τάσης. Επιπλέον, για πολύ μικρές τιμές της υδραυλικής κλίσης ο νόμος Darcy δεν είναι απόλυτα εφαρμόσιμος. Ευτυχώς, τα όποια σφάλματα απορρέουν από τις δύο αυτές παραδοχές είναι αρκετά μικρά.

Το μεγαλύτερο σφάλμα της όλης θεωρίας προέρχεται κυρίως από την παραδοχή 6. Στην φύση η στερεοποίηση είναι τρισδιάστατο φαινόμενο και όχι μονοδιάστατο. Το σφάλμα αυτού του γεγονότος γίνεται όλο και μικρότερο με την αύξηση της επιφάνειας της εδαφικής μάζας εν συγκρίση με το πάχος της.

Η έβδομη παραδοχή δεν είναι πλήρως ορισμένη καθώς δεν περιλαμβάνει την δευτερογενή συμπίεση η οποία ακολουθεί την πρωτογενή. Βέβαια στα περισσότερα ανόργανα εδαφικά υλικά το ποσοστό της δευτερογενούς

στερεοποίησης είναι τόσο μικρό με συνέπεια τα αποτελέσματα να επηρεάζονται σε πολύ μικρό βαθμό.

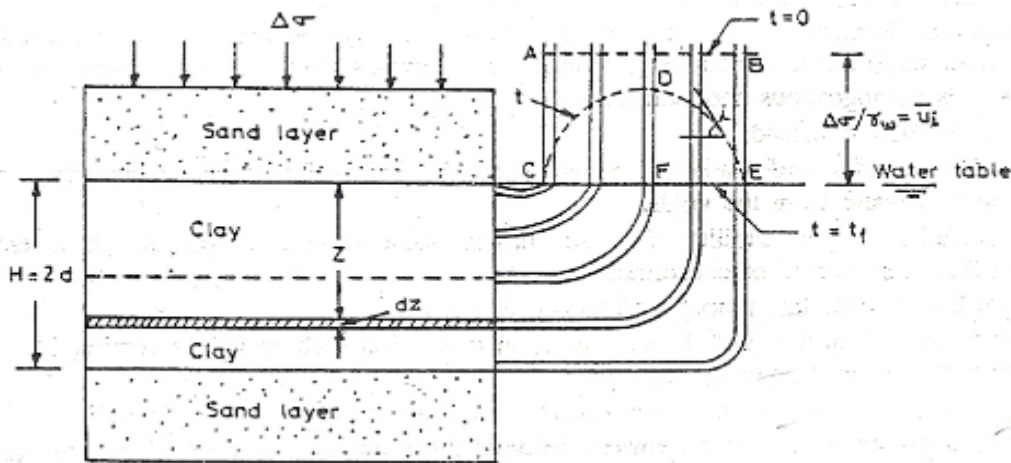
Τελειώνοντας αξίζει να επισημανθεί πως η σχέση ανάμεσα στον λόγο κενών και την ενεργό τάση δεν είναι γραμμική στο εσωτερικό της κάθε βαθμίδας φόρτισης όπως υποθέτει η όγδοη παραδοχή. Έχει αποδειχτεί όμως, με μια σειρά πειραμάτων πως το σφάλμα της υπόθεσης αυτής δεν είναι και τόσο μεγάλο, και αν συνυπολογιστεί το μέγεθος της διευκόλυνσης που προσφέρει αυτή η παραδοχή στους υπολογισμούς, συμπεραίνεται ότι η παραδοχή αυτή είναι απαραίτητη.

Β] Προσδιορισμός της διαφορικής εξίσωσης. Η βασική διαφορική εξίσωση της μονοδιάστατης στερεοποίησης μπορεί να εξαχθεί ως εξής:

Υποτίθεται αρχικά ένα κορεσμένο στρώμα αργίλου, πάχους $2d (= H)$ περικλειώμενο άνω και κάτω από δύο στρώματα άμμου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.9. Όταν μία ομοιόμορφη τάση $\Delta\sigma$ ασκηθεί στην επιφάνεια του άνω αμμώδους στρώματος τότε η ολική τάση που αναπτύσσεται σε όλα τα σημεία της αργίλου αυξάνεται κατά $\Delta\sigma$.

Όπως εξηγήθηκε με το ελαστικό προσωμοίωμα του φαινομένου, αρχικά το σύνολο της πίεσης αναλαμβάνεται εξ' ολοκλήρου από το νερό μέσω της δημιουργίας υπερπίεσης πόρων ύψους $\Delta\sigma/\gamma_w$. Στο Σχήμα 3.9 φαίνεται η τιμή της υπερπίεσης πόρων στα πιεζόμετρα στο δεξί μέρος. Βλέπουμε πως τα πιεζόμετρα συνδέονται με σημεία καθ' όλο το πάχος του αργιλικού στρώματος μέσω ελαστικών σωλήνων. Την στιγμή λοιπόν $t = 0$, αμέσως μετά την επιβολή του φορτίου, η υπερπίεση πόρων u_i ισούτε με $\Delta\sigma / \gamma_w$ σε όλο το πάχος του αργιλικού στρώματος, όπως φαίνεται με την οριζόντια γραμμή AB. Μιάς και η υπερπίεση πόρων είναι ανεξάρτητη του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα θέτουμε εμείς για διευκόλυνση το επίπεδο της επιφάνειας της αργίλου ως το επίπεδο μηδενικού υδροστατικού φορτίου.

Στη συνέχεια το νερό αρχίζει να διαφεύγει προς τα άνω και κάτω αμμώδη στρώματα με παράλληλη απομείωση της υπερπίεσης πόρων. Η υπερπίεση πόρων της κορυφής και του πυθμένα της αργιλικής στρώσης που παριστάται από τα σημεία C και E αντίστοιχα, πέφτει στο μηδέν. Όμως η υπερπίεση στο μέσο τμήμα της αργίλου παραμένει υψηλή όπως φαίνεται και από το σημείο D. Οι καμπύλες που παριστάνουν την διασπορά της υπερπίεσης πόρων καθ' ύψος του αργιλικού στρώματος ονομάζονται **ισόχρονες**. Η καμπύλη CDE του σχήματος μας δίνει την κατανομή της υπερπίεσης πόρων για μια ενδιάμεση τιμή του χρόνου t .



ΣΧΗΜΑ 3.9 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΥΠΕΡΠΙΕΣΗ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ

Καθώς το φαινόμενο τείνει να ολοκληρωθεί, τα επίπεδα της υπερπίεσης πόρων του μέσου του στρώματος μειώνονται διαρκώς έως την στιγμή $t = t_f$ όπου το σύνολο της υπερπίεσης πόρων σε όλο το ύψος του στρώματος έχει εξαλειφθεί όπως φαίνεται και στην ισόχρονη CFE.

Στη συνέχεια εξετάζεται η ισορροπία σε ένα στοιχείο της αργίλου σε βάθος z από την κορυφή του αργιλικού στρώματος για μια χρονική στιγμή t . Εκεί η τάση στερεοποίησης $\Delta\sigma$ αναλαμβάνεται μερικώς από το νερό και μερικώς από τους εδαφικούς κόκκους ως εξής: $\Delta\sigma = \Delta\sigma' + u$. Η υδραυλική κλίση (i) στο βάθος αυτό ισούτε με την κλίση της ισόχρονης καμπύλης CDE για οριζόντια απόσταση ίση με z από το σημείο C του διαγράμματος των υπερπίεσεων. Έτσι,

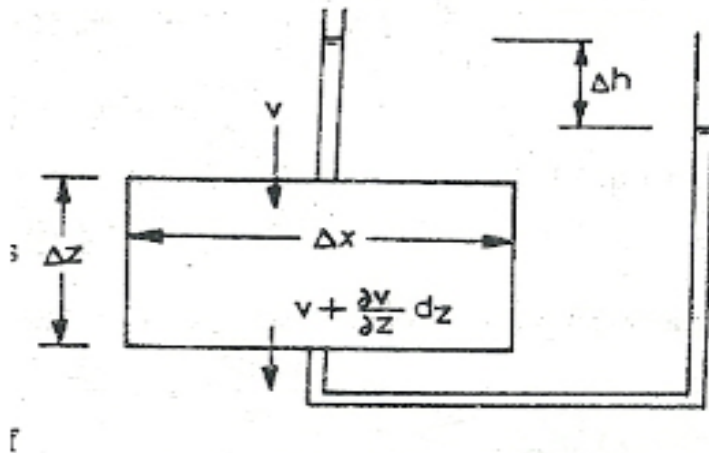
$$i = \frac{\theta h}{\theta z} = \frac{\theta(u/\gamma_w)}{\theta z} = \frac{1}{\gamma_w} \cdot \left(\frac{\theta u}{\theta z}\right) \quad \dots (3.16)$$

όπου u η υδροστατική υπερπίεση πόρων σε βάθος z .

Ένας άλλος τρόπος έκφρασης της υδραυλικής κλίσης προκύπτει αν θεωρήσουμε μία λεπτή “φέτα” Δz αργιλικού στρώματος στο βάθος z , όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10. Η μεταβολή της πίεσης πόρων για αυτό το πάχος δίνεται τώρα από την σχέση $\Delta u = \left(u + \frac{\theta u}{\theta z} \cdot dz\right) - u = \frac{\theta u}{\theta z} \cdot dz$ και το αντίστοιχο υδραυλικό ύψος υπολογίζεται ως $\Delta h = \frac{\Delta u}{\gamma_w} = \frac{1}{\gamma_w} \left(\frac{\theta u}{\theta z} \cdot dz\right)$. Έτσι καταλήγουμε στην

$$i = \frac{\Delta h}{dz} = \frac{1}{\gamma_w} \cdot \left(\frac{\theta u}{\theta z}\right)$$

που είναι η ίδια σχέση με την προηγούμενη (3.16).



ΣΧΗΜΑ 3.10 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΙΕΣΗΣ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΛΕΠΤΗ ΦΕΤΑ ΑΡΓΙΛΙΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Από τον νόμο του Darcy, η ταχύτητα ροής σε βάθος z δίνεται από τη σχέση

$$v = k \cdot i = k \cdot \frac{1}{\gamma_w} \left(\frac{\theta u}{\theta z} \right) \quad \dots (3.17)$$

Και έτσι η αντίστοιχη ταχύτητα του πυθμένα της ζώνης πάχους Δz μπορεί να γραφτεί ως: $v + \frac{\theta v}{\theta z} \cdot dz = v + \frac{\theta}{\theta z} \left[\frac{k}{\gamma_w} \left(\frac{\theta u}{\theta z} \right) \right] dz$ ή

$$v + \frac{\theta v}{\theta z} \cdot dz = v + \frac{k}{\gamma_w} \left(\frac{\theta^2 u}{\theta z^2} \right) \cdot dz$$

Συνεπώς, :

$$\frac{\theta v}{\theta z} = \frac{k}{\gamma_w} \cdot \frac{\theta^2 u}{\theta z^2} \quad \dots (3.18)$$

Η παροχή Q_{in} που εισέρχεται στο στοιχείο Δz είναι $Q_{in} = v(\Delta x \times \Delta y)$, όπου Δx και Δy οι άλλες δυο διαστάσεις του στοιχείου,

ενώ παροχή που εξέρχεται από το Δz είναι $Q_{out} = \left(v + \frac{\theta v}{\theta z} \cdot dz \right) (\Delta x \times \Delta y)$,

άρα η καθαρή συνολική παροχή που διαφεύγει από το στοιχείο δίνεται από την διαφορά $\Delta Q = Q_{out} - Q_{in}$, ή οποία με αντικατάσταση καταλήγει στην

$$\Delta Q = \frac{\theta v}{\theta z} (\Delta x \times \Delta y \times \Delta z) \quad \dots (3.19)$$

Καθώς το νερό διαφεύγει, η ενεργός τάση μεγαλώνει και ο όγκος της εδαφικής μάζας μειώνεται. Έτσι από τη σχέση (3.5) έχουμε:

$$\Delta V = -m_v \cdot V_0 \cdot \Delta \sigma' \quad \dots (3.20)$$

όπου V_0 ($=\Delta x \Delta y \Delta z$) ο αρχικός όγκος της εδαφικής μάζας και $\Delta \sigma'$ η αύξηση της ενεργού τάσης, ενώ η αντίστοιχη μεταβολή του όγκου στην μονάδα του χρόνου θα είναι:

$$\frac{\theta(\Delta V)}{\theta t} = -m_v (\Delta x \times \Delta y \times \Delta z) \frac{\theta(\Delta \sigma')}{\theta t} \quad \dots (3.21)$$

Τώρα εξισώνοντας την μείωση του όγκου της εδαφικής μάζας, με τον όγκο νερού που διαφεύγει ανά μονάδα χρόνου (σχέσεις 3.19 και 3.21) προκύπτει:

$$\begin{aligned} \frac{\theta v}{\theta z} (\Delta x \times \Delta y \times \Delta z) &= -m_v (\Delta x \times \Delta y \times \Delta z) \frac{\theta(\Delta \sigma')}{\theta t} \quad \Rightarrow \\ \frac{\theta v}{\theta z} &= -m_v \frac{\theta(\Delta \sigma')}{\theta t} \quad \dots (3.22) \end{aligned}$$

Και από την σχέση $\Delta \sigma' = \Delta \sigma - u$ με παραγωγή και με δεδομένο ότι για ένα βημα φόρτισης ισχύει $\theta \Delta \sigma = 0$ έχουμε: $\frac{\theta(\Delta \sigma')}{\theta t} = -\frac{\theta u}{\theta t}$, έτσι η (3.22) γίνεται:

$$\frac{\theta v}{\theta z} = -m_v \left(-\frac{\theta u}{\theta t} \right) = m_v \frac{\theta u}{\theta t} \quad \dots (3.23)$$

Τελειώνοντας με εξίσωση των δυο ποσοτήτων $\theta v/\theta z$ των σχέσεων (3.18) και (3.23) παίρνουμε:

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{\theta^2 u}{\theta z^2} = m_v \left(\frac{\theta u}{\theta t} \right) \Rightarrow c_v \frac{\theta^2 u}{\theta z^2} = \frac{\theta u}{\theta t} \quad \dots (3.24)$$

Όπου c_v ο συντελεστής στερεοποίησης.

$$c_v = \frac{k}{\gamma_w \cdot m_v} = \frac{k}{g \cdot \rho_w \cdot m_v} \quad \dots (3.25)$$

Η εξίσωση (3.24) είναι η βασική διαφορική εξίσωση της μονοδιάστατης στερεοποίησης, και μας δίνει την κατανομή της υδροστατικής υπερπίεσης πόρων συναρτήσει του βάθους z και του χρόνου t .

3.3.9 ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

A] Διαδικασία επίλυσης. Η επίλυση της διαφορικής εξίσωσης που ακολουθεί, συντελείται με την χρήση σειρών Fourier. Αρχικά εκφράζεται η υδροστατική υπερπίεση πόρων u , σαν γινόμενο συναρτήσεων του βάθους z και του χρόνου t , ως εξής

$$u = f_1(z) \cdot f_2(t) \quad \dots (3.26)$$

Αντικαθιστώντας την πιο πάνω τιμή της u στην σχέση (3.24) προκύπτει:

$$c_v \left[f_2(t) \frac{\theta^2}{\theta z^2} [f_1(z)] \right] = f_1(z) \frac{\theta [f_2(t)]}{\theta t} \Rightarrow$$

$$\frac{\theta^2}{\theta z^2} [f_1(z)] = \frac{\theta}{\theta t} [f_2(t)] \quad \dots (3.27)$$

Το αριστερό μέλος της σχέσης είναι συνάρτηση μόνο του z , ενώ το δεξί μόνο του t . Με άλλα λόγια, αν το αριστερό μέλος ισούτε με κάποια σταθερά (έστω, $-A^2$) όταν το t λαμβάνεται ως μεταβλητή, τότε και το δεξί μέλος ισούτε με την ίδια σταθερά όταν το z θεωρείται ως μεταβλητή. Έτσι:

$$\frac{\theta^2}{\theta z^2} [f_1(z)] = -A^2 \cdot f_1(z) \quad \dots (3.28)$$

$$\frac{\theta^2}{\theta t^2} [f_2(t)] = -A^2 \cdot c_v \cdot f_2(t) \quad \dots (3.29)$$

Η λύση της πρώτης μερικής διαφορικής εξίσωσης είναι της μορφής:

$$f_1(z) = C_1 \cdot \cos Az + C_2 \cdot \sin Az \quad \dots (3.30)$$

με C_1, C_2 σταθερές ολοκλήρωσης, και της δεύτερης:

$$f_2(t) = C_3 \cdot e^{-A^2 c_v t} \quad \dots (3.31)$$

με σταθερά ολοκλήρωσης την C_3 .

Αντικαθιστώντας τώρα τις λύσεις (3.30) και (3.31) στην σχέση (3.26) δίνεται

$$u = [C_1 \cdot \cos Az + C_2 \cdot \sin Az] \cdot C_3 \cdot e^{-A^2 c_v t} \Rightarrow$$

$$u = [C_4 \cdot \cos Az + C_5 \cdot \sin Az] \cdot e^{-A^2 c_v t} \quad \dots (3.32)$$

με τις C_4, C_5 νέες σταθερές που προέκυψαν απ' τις $C_4 = C_1 C_3$ και $C_5 = C_2 C_3$.

Οι τιμές των νέων αυτών σταθερών μπορούν να προσδιοριστούν από τις συνοριακές συνθήκες του προβλήματος. Αυτές είναι:

- i) $t = 0$, $u = u_i$, για κάθε τιμή του βάθους z
- ii) $t = \infty$, $u = 0$, για κάθε τιμή του βάθους z
- iii) $z = 0$, $u = 0$, για κάθε τιμή του χρόνου $t \geq 0$
- iv) $z = H = 2d$, $u = 0$, για κάθε τιμή του χρόνου $t \geq 0$

με u_i την αρχική υδροστατική υπερπίεση πόρων. Για την συνοριακή συνθήκη (iii), από την σχέση (3.32) προκύπτει $C_4 = 0$. Έτσι η (3.32) γίνεται

$$u = C_5 \sin(Az) \cdot e^{-A^2 c_v t} \quad \dots (3.33)$$

Αν τώρα στην τελευταία σχέση εφαρμοστεί η τελευταία συνοριακή συνθήκη τότε προκύπτει η εξής ισότητα: $C_5 \sin(AH) \cdot e^{-A^2 c_v t} = 0$. Η ισότητα αυτή ικανοποιείται μόνο όταν $AH = n\pi$, όπου n οποιοσδήποτε ακέραιος. Η εξίσωση (3.33) τώρα μπορεί να γραφεί ως ακολούθως:

$$\begin{aligned} u &= B_1 \sin(\pi z/H) e^{-(\pi^2/H^2)c_v t} + B_2 \sin(2\pi z/H) e^{-(4\pi^2/H^2)c_v t} + \dots \\ &+ B_n \sin(n\pi z/H) e^{-(n^2\pi^2/H^2)c_v t} + \dots \Rightarrow \\ u &= \sum_{n=1}^{n=\infty} B_n \sin(n\pi z/H) e^{-(n^2\pi^2/H^2)c_v t} \quad \dots (3.34) \end{aligned}$$

όπου B_1, B_2, \dots, B_n σταθερές.

Από την πρώτη συνοριακή συνθήκη η τελευταία εξίσωση δίνει:

$$u_i = \sum_{n=1}^{n=\infty} B_n \sin(n\pi z/H) \quad \dots (3.35)$$

Στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν οι δύο ταυτότητες που ισχύουν για δύο ακέραιους n, m με $n \neq m$.

$$\int_0^\pi \sin mx \sin nx \, dx = 0 \quad , \quad \int_0^\pi (\sin nx)^2 \, dx = \pi / 2$$

Σ' αυτές αν αντικατασταθεί το x με την ποσότητα $(\pi z / H)$, το διαφορικό dx αλλάζει σε $(\pi/H)dz$ και τα όρια ολοκλήρωσης σε 0 και H . Έτσι οι πιο πάνω ταυτότητες γίνονται:

$$\int_0^H \sin(m\pi z/H) \sin(n\pi z/H) dz = 0 \quad \dots (3.36)$$

$$\int_0^H (\sin(n\pi z/H))^2 dz = H/2 \quad \dots (3.37)$$

Πολλαπλασιάζοντας τώρα τα δύο μέλη της σχέσης (2.32) με $\sin(n\pi z/H)$, και ολοκληρώνοντας ανάμεσα σε 0 και H προκύπτει η:

$\int_0^H u_i \sin(n\pi z/H) dz = \sum_{m=1}^{\infty} \left[B_m \cdot \int_0^H \sin\left(\frac{m\pi z}{H}\right) \sin\left(\frac{n\pi z}{H}\right) dz \right] + \sum_{n=1}^{\infty} \left[B_n \cdot \int_0^H (\sin(n\pi z/H))^2 dz \right]$. Το δεξί μέλος της χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το πρώτο είναι για $m \neq n$ και το δεύτερο για $m = n$. Χρησιμοποιώντας τώρα τις ταυτότητες (3.36) και (3.37), η παραπάνω εξίσωση καταλήγει στην :

$$\int_0^H u_i \sin\left(\frac{n\pi z}{H}\right) dz = B_n \cdot \left(\frac{H}{2}\right) \Rightarrow B_n = \frac{2}{H} \int_0^H u_i \sin(n\pi z/H) dz \dots (3.38)$$

Η τιμή αυτή της σταθεράς B_n που μόλις υπολογίστηκε, τοποθετείται στην εξίσωση (3.34) με αποτέλεσμα:

$$u = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[\frac{2u_i}{H} \int_0^H \sin(n\pi z/H) dz \right] \cdot \sin(n\pi z/H) e^{-(n^2\pi^2/H^2)c_v t} \Rightarrow$$

$$u = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2u_i}{n\pi} (1 - \cos n\pi) (\sin n\pi z/H) e^{-(n^2\pi^2/H^2)c_v t} \quad \dots (3.39)$$

, το οποίο ορίζεται μόνο για περιττούς ακεραίους n , διότι για άρτιους $1 - \cos n\pi = 0$, ενώ για περιττούς $1 - \cos n\pi = 2$.

Τέλος, αν τεθεί $n = 2N + 1$, όπου N ακέραιος, η εξίσωση (3.39) γίνεται:

$$u = \frac{4}{\pi} u_i \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{1}{2N+1} \cdot \left[\sin \frac{(2N+1)\pi z}{H} \right] e^{-((2N+1)^2\pi^2/H^2)c_v t} \dots (3.40)$$

Η τελευταία εξίσωση αποτελεί την ζητούμενη λύση της βασικής διαφορικής εξίσωσης της μονοδιάστατης στερεοποίησης. Δίνει την κατανομή της υδροστατικής υπερπίεσης πόρων u με το βάθος, για κάθε χρονική στιγμή t , σε όρους της αρχικής υδροστατικής υπερπίεσης πόρων u_i (που ισούτε με $\Delta\sigma/\gamma_w$).

Β] Ο χρονικός παράγοντας T_v . Αρχικώς αντικαθιστάται στην πιο πάνω λύση η τιμή H με $2d$, όπου d το μήκος του μονοπατιού στράγγισης.

$$u = \frac{4}{\pi} u_i \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{1}{2N+1} \cdot \left[\sin \frac{(2N+1)\pi z}{2d} \right] e^{-((2N+1)^2 \pi^2 / 4d^2) c_v t} \dots (3.41)$$

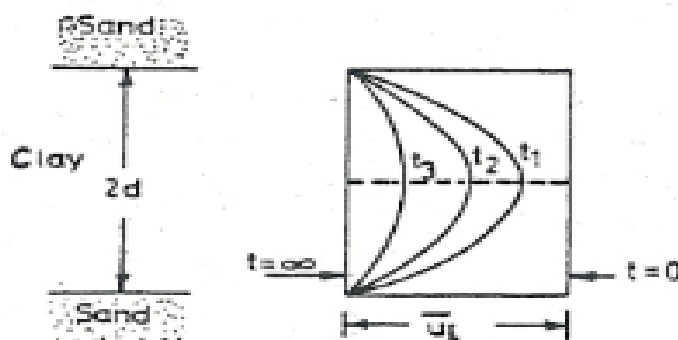
Στη συνέχεια εισάγεται η έννοια του χρονικού παράγοντα T_v , ο οποίος δίνεται από την σχέση:

$$T_v = \frac{c_v t}{d^2} \dots (3.42)$$

, μετά από αυτό η λύση της διαφορικής γίνεται:

$$u = \frac{4}{\pi} u_i \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{1}{2N+1} \cdot \left[\sin \frac{(2N+1)\pi z}{2d} \right] e^{-(2N+1)^2 \pi^2 T_v / 4} \dots (3.43)$$

Μετα και την τελευταία μετατροπή, μπορεί να σχεδιαστεί μια σειρά από **ισόχρονες καμπύλες**, οι οποίες θα δίνουν την κατανομή της υπερπίεσης u με το βάθος, για διάφορες τιμές του χρονικού παράγοντα T_v . Το σχήμα των καμπύλων αυτών, εξαρτάται από την αρχική κατανομή της υπερπίεσης πόρων (u_i), και απ' τις συνθήκες στράγγισης στα σύνορα του αργιλικού στρώματος. Εάν η στράγγιση μπορεί να πραγματοποιηθεί και από το πάνω, αλλά και από το κάτω όριο, το αργιλικό στρώμα χαρακτηρίζεται ως **ανοικτό στρώμα**. Στην αντίθετη περίπτωση, που η στράγγιση γίνεται μόνο μέσω του ενός ορίου, το αργιλικό στρώμα καλείται **ημίκλειστο στρώμα**.



ΣΧΗΜΑ 3.11 ΙΣΟΧΡΟΝΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Ένα παράδειγμα ισόχρονων καμπυλών ενός ανοικτού στρώματος, για ομοιόμορφη αρχική πίεση δίνεται στο Σχήμα 3.11. Σ' αυτό η υδραυλική κλίση σε οποιοδήποτε σημείο ισούτε με την τιμή της κλίσης της ισόχρονης στο σημείο αυτό. Έτσι η εξέλιξη του φαινομένου σε οποιοδήποτε σημείο, βασίζεται στην υπερπίεση πόρων του σημείου, και εκφράζεται μέσω του

βαθμού στερεοποίησης U_z . Ο βαθμός αυτός σε οποιοδήποτε σημείο, οποιοδήποτε βάθος, ορίζεται ως το κλάσμα της απωλεσθείσας υπερπίεσης πόρων προς την αρχική υπερπίεση, σύμφωνα και με την ακόλουθη σχέση.

$$U_z = \frac{u_i - u}{u_i} = 1 - \frac{u}{u_i} \quad \dots (3.44)$$

Με αντικατάσταση στην παραπάνω της ποσότητας u/u_i , από την σχέση (3.43), προκύπτει:

$$U_z = 1 - \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{2}{M} \sin\left(\frac{Mz}{d}\right) \cdot e^{-M^2 T_v} \quad \dots (3.45)$$

όπου $M = \frac{\pi}{2}(2N + 1)$.

Η εξίσωση (3.44) δίνει τον βαθμό στερεοποίησης σε οποιοδήποτε σημείο. Στα πρακτικά όμως προβλήματα, ενδιαφέρει κυρίως ο μέσος βαθμός στερεοποίησης του όλου στρώματος. Αυτός ορίζεται ως:

$$U = \frac{U_i - U_t}{U_i} \quad \dots (3.46)$$

,όπου U_i η αρχική υδροστατική υπερπίεση πόρων σε όλο το βάθος, και U_t η μέση υπερπίεση μετά από χρόνο t για το σύνολο του βάθους. Με:

$$U_i = \frac{1}{2d} \int_0^{2d} u_i dz \quad , \quad U_t = \frac{1}{2d} \int_0^{2d} u dz$$

Έτσι η (3.46) μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$$U = 1 - \frac{\frac{1}{2d} \int_0^{2d} u dz}{\frac{1}{2d} \int_0^{2d} u_i dz} \Rightarrow$$

$$U = 1 - \frac{\int_0^{2d} u dz}{\int_0^{2d} u_i dz} \quad \dots (3.47)$$

Αν τώρα στην προηγούμενη σχέση υποθεθεί σταθερή αρχική υπερπίεση πόρων u_i , τότε για τον μέσο βαθμό κορεσμού προκύπτει:

$$U = 1 - \frac{1}{2du_i} \int_0^{2d} u dz \quad \dots (3.48)$$

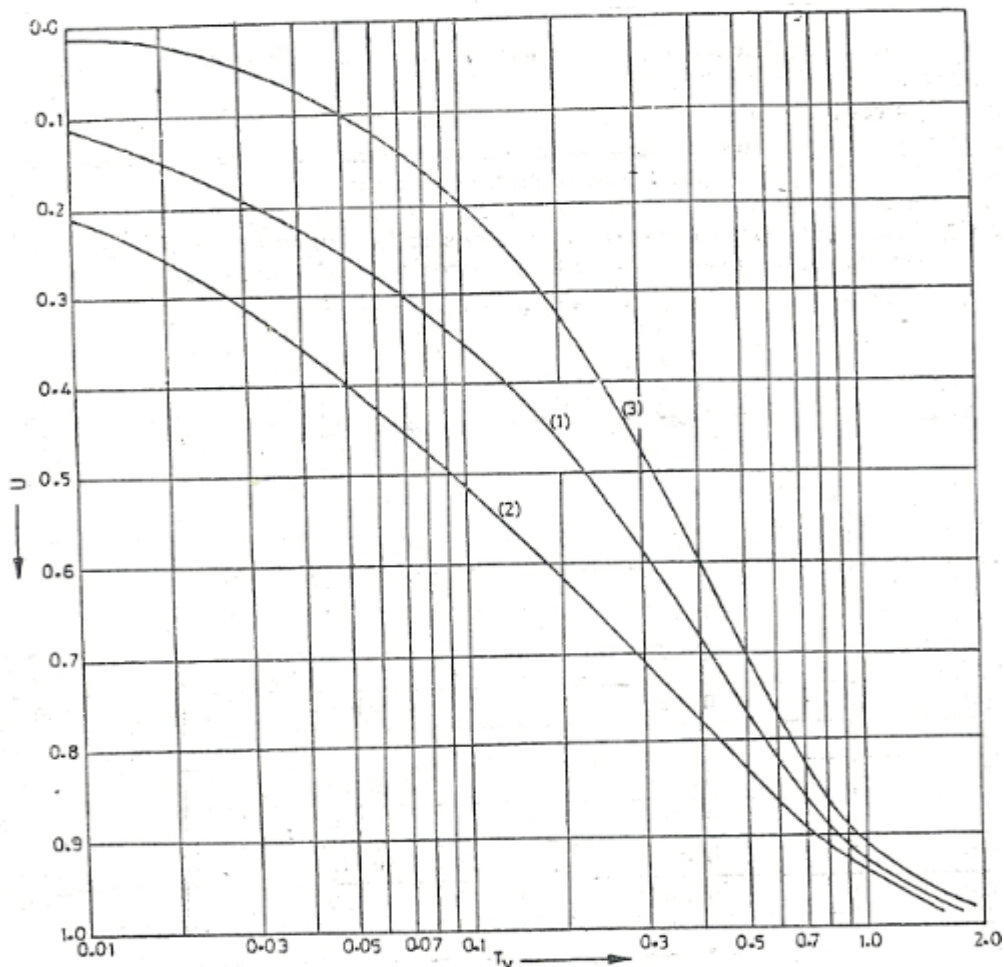
που για αντικατάσταση της τιμής u με αυτήν της εξίσωσης (3.43), εξάγεται η:

$$U = 1 - \frac{1}{2du_i} \int_0^{2d} \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{2u_i}{M} \sin\left(\frac{Mz}{d}\right) \cdot e^{-M^2 T_v} , \quad M = \frac{\pi}{2}(2N + 1) \Rightarrow$$

$$U = 1 - \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 T_v} \quad \dots (3.49)$$

$$U = f(T_v) \quad \dots (3.50).$$

Από τα παραπάνω, συμπαίρνεται πως ο μέσος βαθμός στερεοποίησης U , εξαρτάται από τον αδιάστατο χρονικό παράγοντα T_v . Έτσι μπορούν να σχεδιαστούν καμπύλες, ανάμεσα στον μέσο βαθμό στερεοποίησης και τον χρονικό παράγοντα, για διάφορες κατανομές τάσεων και συνθήκες στράγγισης. Ο Πίνακας 3.1 δίνει τις τιμές του T_v για τις διάφορες τιμές του U , σύμφωνα με τις καμπύλες που φαίνονται στο Σχήμα 3.12.



ΣΧΗΜΑ 3.12 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕΣΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ

Η περίπτωση 1 έχει εφαρμογή για ομοιόμορφη κατανομή τάσεων, και ανοιχτό ή ημίκλειστο στρώμα, καθώς και για τριγωνική κατανομή τάσεων, αλλά μόνο σε ανοιχτό στρώμα. Η περίπτωση 2 εφαρμόζεται για τριγωνική κατανομή τάσεων και ημίκλειστο στρώμα, με την προϋπόθεση η μέγιστη τάση να είναι στο όριο απ'όπου συντελείται η στράγγιση. Η τελευταία περίπτωση 3 εφαρμόζεται επίσης για τριγωνική κατανομή τάσεων σε ημίκλειστο στρώμα, με την διαφορά όμως της ύπαρξης της μηδενικής τάσεως από την πλευρά της στράγγισης.

Κατανομή τάσεων	Καμπύλη 1 Περίπτωση 1	Καμπύλη 2 Περίπτωση 2	Καμπύλη 3 Περίπτωση 3
U	T_v	T_v	T_v
0	0,0	0,0	0,0
0,1	0,008	0,003	0,047
0,2	0,031	0,009	0,100
0,3	0,071	0,024	0,158
0,4	0,126	0,048	0,221
0,5	0,196	0,092	0,294
0,6	0,287	0,160	0,383
0,7	0,403	0,270	0,500
0,8	0,567	0,440	0,665
0,9	0,848	0,720	0,940
1,0	∞	∞	∞

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ T_v ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ U

Ο χρονικός παράγων T_v , εξαρτάται από τον συντελεστή στερεοποίησης c_v , τον χρόνο t και το μονοπάτι στράγγισης d . Όπως φαίνεται και στην σχέση (3.25), ο συντελεστής στερεοποίησης αντιπροσωπεύει την συνδυασμένη επίδραση του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας k , και του συντελεστή μεταβολής όγκου m_v . Έτσι και ο χρονικός παράγοντας γράφεται ως:

$$T_v = \frac{c_v t}{d^2} = \left(\frac{k}{m_v \gamma_w} \right) \frac{t}{d^2} = \left(\frac{k}{m_v g \rho_w} \right) \frac{t}{d^2} \quad \dots (3.51)$$

Αξίζει εδώ να τονιστεί πως, καθώς το φαινόμενο της στερεοποίησης εξελίσσεται, και η υδατοπερατότητα k αλλά και ο συντελεστής m_v μειώνονται. Η μείωση τους όμως είναι τέτοια ώστε ο λόγος τους (k/m_v) να παραμένει σχεδόν σταθερός, για ένα σημαντικό εύρος τάσεων, με συνέπεια να μην μεταβάλλεται αρκετά και η τιμή του συντελεστού στερεοποίησης.

Το μονοπάτι στράγγισης (d) αντιπροσωπεύει την μέγιστη απόσταση που χρειάζεται το νερό να διανύσει, ώσπου να φτάσει σε ένα ελεύθερο όριο στράγγισης. Έτσι για ένα ανοιχτό στρώμα, η τιμή του d ισούτε με το μισό του πάχους του στρώματος, ενώ για ένα ημίκλειστο με το σύνολο του πάχους.

Γ] Περιορισμοί της θεωρίας στερεοποίησης. Η διαφορική εξίσωση στερεοποίησης έχει τους ακόλουθους περιορισμούς.

1. Η τιμή του συντελεστή στερεοποίησης (c_v) λαμβάνεται ως σταθερή. Στην πραγματικότητα μεταβάλλεται με την αλλαγή της τάσης στερεοποίησης. Έτσι στην φύση για πιο ακριβείς προβλέψεις, η τιμή του πρέπει να προσδιορίζεται για το αναμενόμενο εύρος πιέσεων.
2. Η απόσταση d του μονοπατιού στράγγισης δεν μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια στην φύση. Το πάχος των αποθέσεων είναι γενικώς μεταβλητό, και έτσι εκτιμούμε μια μέση τιμή.
3. Μερικές φορές είναι δύσκολος ο προσδιορισμός του ορίου στράγγισης. Συχνά λοιπόν λεπτές μεμβράνες που δρουν αποτελεσματικά σαν όρια στράγγισης διαφεύγουν από μη λεπτομερείς επιχειρήσεις, ενώ άλλες φορές απομονομένες αποθέσεις άμμου λαμβάνονται λανθασμένα ως όρια στράγγισης.
4. Η εξίσωση βασίζεται στην υπόθεση της μονοδιάστατης στερεοποίησης. Στη φύση η στερεοποίηση είναι γενικώς τρισδιάστατη, και συχνά η πλευρική στράγγιση μπορεί να “παίξει” σημαντικό ρόλο στην χρονική εξέλιξη του φαινομένου.
5. Η άμεση και η δευτερογενής στερεοποίηση έχουν αμεληθεί. Αυτό δημιουργεί αποκλίσεις στις περιπτώσεις που αποτελούν σημαντικό κομμάτι της συνολικής στερεοποίησης.
6. Στην φύση, η φόρτιση σπανίως επιβάλλεται ακαριαία. Η επίδρασή λοιπόν της διάρκειας φόρτισης πρέπει να ληφθεί υπόψιν, όπως θα δούμε και σε επόμενη ενότητα.
7. Στην πράξη, η κατανομή των τάσεων ίσως απέχει σημαντικά από την γραμμική ή την ομοιόμορφη. Στις περιπτώσεις αυτές η θεωρία γίνεται αρκετά πιο πολύπλοκη.

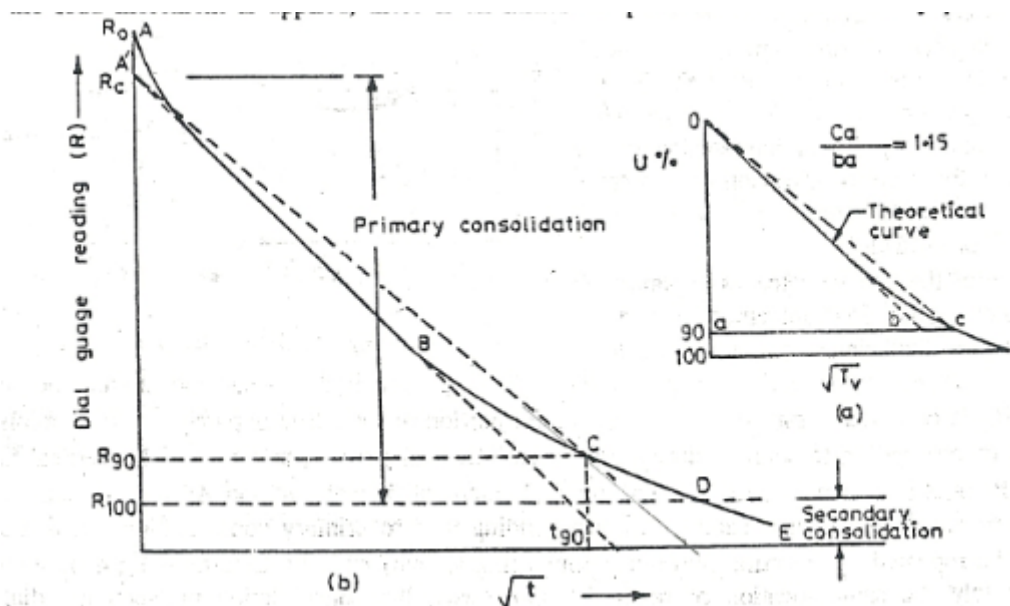
Παρόλο όμως τους παραπάνω περιορισμούς, αν η θεωρία στερεοποίησης εφαρμοσθεί προσεκτικά, μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμη στον προσδιορισμό του χρονικού ρυθμού των καθιζήσεων, για κατασκευές θεμελιωμένες πάνω σε εδάφη.

3.3.10 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η καμπύλη αναγνώσεων του μετρητή ως προς τον χρόνο t , η οποία σχηματίζεται στο εργαστήριο σε κάθε βήμα φόρτισης, είναι παρόμοιας μορφής με την καμπύλη $U-T_v$ της θεωρίας στερεοποίησης. Αυτή η ομοιότητα χρησιμοποιείται από μεθόδους εργαστηριακού προσδιορισμού του συντελεστή

c_v , οι οποίες είναι γνωστές με τον όρο **curve fitting**. Οι δύο πιο διαδεδομένες απ' αυτές περιγράφονται στη συνέχεια της συγκεκριμένης ενότητας.

(1) **Μέθοδος της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου.** Η μέθοδος αυτή, γνωστή και ως μέθοδος Taylor, χρησιμοποιεί την θεωρητική σχέση μεταξύ των $U, \sqrt{T_v}$. Σύμφωνα με αυτήν, κατά πρώτον τα δύο μεγέθη συνδέονται γραμμικά ($T_v = (\pi/4)U^2$) μέχρι το 60% του μέσου βαθμού στερεοποίησης. Κατά δεύτερον, στο σημείο του 90% του μέσου βαθμού στερεοποίησης, η τιμή της $\sqrt{T_v}$ ισούτε με το 115% της τιμής που προκύπτει από την προέκταση του αρχικού ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης (Σχήμα 3.13).



ΣΧΗΜΑ 3.13 ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΗΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΡΙΖΑΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Στο Σχήμα 3.13 φαίνεται η εφαρμογή της μεθόδου στην καμπύλη του δοκιμίου για ένα δεδομένο βήμα φόρτισης. Η καμπύλη αυτή μορφώνεται από τις ενδείξεις του μετρητή που παίρνονται ανά καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Οι αναγνώσεις του μετρητή (R) τίθενται ως τεταγμένη του διαγράμματος, ενώ οι τιμές \sqrt{t} ως τεταγμένη. Έτσι με την ένωση όλων των σημείων σχηματίζεται μια καμπύλη παρόμοια με την $ABCDE$ του σχήματος.

Η καμπύλη ξεκινά από το σημείο A , το οποίο ορίζεται από την αρχική ανάγνωση R_0 , την στιγμή $t_0 = 0$. Στη συνέχεια προεκτείνουμε το ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης ώσπου να τμήσει τον άξονα των τεταγμένων, στο σημείο A' . Σε αυτό το σημείο

αντιστοιχεί η διορθωμένη ανάγνωση εκκίνησης του φαινομένου R_c . Έτσι η στερεοποίηση από την ένδειξη R_0 στην R_c , αντιστοιχεί στην φάση της άμεσης στερεοποίησης, ενώ η πρωτογενής στερεοποίηση που εξετάζει και η θεωρία Terzaghi ξεκινά από την ανάγνωση R_c .

Στη συνέχεια, από το A' φέρουμε την ευθεία $A'C$ έτσι ώστε να έχει κλίση 1,15 φορές μεγαλύτερη από το ευθύ τμήμα $A'B$ της καμπύλης. Το σημείο τομής της παραπάνω ευθείας με την καμπύλη είναι το σημείο C , το οποίο αντιστοιχεί στο 90% του βαθμού στερεοποίησης. Η τεταγμένη του σημείου C είναι η ένδειξη R_{90} , ενώ η τετμημένη του $\sqrt{t_{90}}$. Το σημείο D που αντιστοιχεί στο τέλος της πρωτογενούς στερεοποίησης υπολογίζεται μέσω του προσδιορισμού της ανάγνωσης R_{100} , ως εξής: $R_c - R_{100} = (10/9)(R_c - R_{90})$, και το τελευταίο τμήμα DE της καμπύλης αποτελεί την δευτερογενή στερεοποίηση.

Συνεπώς η τιμή του συντελεστή στερεοποίησης του εδάφους για το συγκεκριμένο βήμα φόρτισης υπολογίζεται μέσω της τιμής $\sqrt{t_{90}}$ και της τιμής του χρονικού παράγοντα για $U = 90\%$, από τον Πίνακα 3.1.

$$c_v = \frac{T_v d^2}{t} = \frac{0,848 d^2}{(\sqrt{t_{90}})^2} = \frac{0,848 d^2}{t_{90}} \quad \dots (3.52)$$

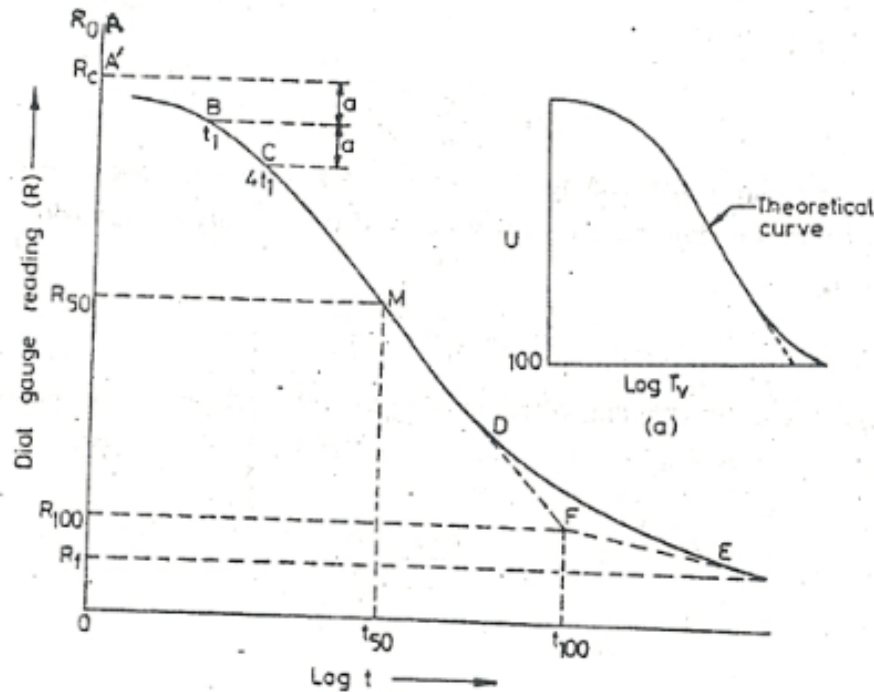
όπου d το μονοπάτι στράγγισης, το οποίο ισούτε με το μισό του πάχους του δοκιμίου για την υπό εξέταση βαθμίδα φόρτισης. Ως αντιπροσωπευτικό πάχος παίρνουμε τον μέσο όρο του πάχους στην αρχή (H_i) και στο τέλος (H_f) του βήματος.

$$d = \frac{H}{2} = \frac{1}{2} \left[\frac{H_i + H_f}{2} \right] \quad \dots (3.53)$$

(2) Μέθοδος του λογαρίθμου του χρόνου. Η μέθοδος αυτή εισηγήθηκε αρχικώς από τον Casagrande και βασίζεται στην θεωρητική καμπύλη μεταξύ των U , $\text{Log}T_v$. Η εργαστηριακή καμπύλη σχεδιάζεται όπως περιγράφηκε πιο πάνω, και αποτελείται από τρία χαρακτηριστικά τμήματα. Ένα αρχικό παραβολικής μορφής, ένα ενδιάμεσο σχεδόν ευθύγραμμο, και ένα τελικό ασύμπτωτικό προς τον οριζόντιο άξονα.

Στην καμπύλη αυτή το 100% της πρωτογενούς στερεοποίησης ορίζεται από το σημείο τομής των εφαπτομένων του σημείου καμπής και του τελικού ασύμπτωτου τμήματος της καμπύλης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.14. Για τον υπολογισμό του σημείου (A') της αρχής της πρωτογενούς στερεοποίησης, ορίζουμε δύο σημεία B, C πάνω στην καμπύλη, τετοια ώστε να ικανοποιείτε η αναλογία $t_C/t_B = 4$. Στη συνέχεια, η τεταγμένη R_c του σημείου A' προκύπτει από την ισότητα

$R_C - R_B = a \Rightarrow R_B - R_C = a$. Προφανώς η στερεοποίηση μεταξύ των αναγνώσεων R_0 και R_c αποτελεί την άμεση στερεοποίηση, ενώ μεταξύ των R_{100} και R_f την δευτερογενή.



ΣΧΗΜΑ 3.14 ΚΑΜΠΥΛΗ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΥ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Στη συνέχεια, πάνω στον κατακόρυφο άξονα εντοπίζεται το μέσο των ενδείξεων R_0 και R_{100} , που είναι η ένδειξη R_{50} . Από αυτήν άγεται μια κάθετη στον άξονα, και το σημείο στο οποίο η κάθετη αυτή τέμνει την καμπύλη είναι το σημείο M του οποίου η τετμήμενη αποτελεί τον χρόνο t_{50} .

Εδώ αξίζει να αναφερθεί πως στο σημείο αυτό του προσδιορισμού της ακριβούς τιμής t_{50} έγκειται κάποια δυσκολία. Αφού χαρακτηί η κατακόρυφη από το σημείο M , πολλές φορές θα τύχει να τμήσει τον οριζόντιο άξονα σε σημείο ενδιάμεσα των αναγραφόμενων χρονικών τιμών της λογαριθμικής κλίμακας. Έτσι κρίνεται αναγκαία η χρήση της **λογαριθμικής παρεμβολής**. Έστω λοιπόν η ένδειξη t_{50} απέχει απόσταση a από την προηγούμενη αναγραφόμενη ένδειξη x_1 και b από την επόμενη x_2 . Τότε ορίζουμε $f = \frac{a}{a+b}$ και η ζητούμενη τιμή της t_{50} προκύπτει από την εξής σχέση:

$$t_{50} = x_2^f \cdot x_1^{1-f} \quad \dots (3.54)$$

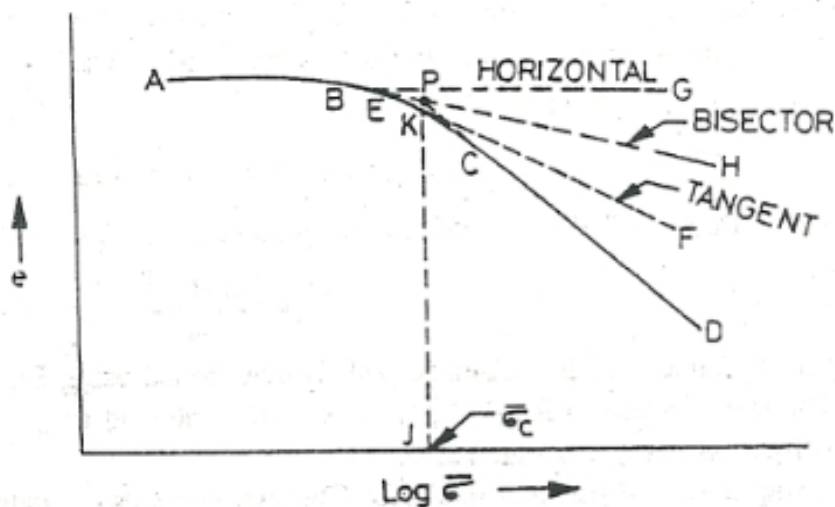
Αφού λοιπόν προσδιοριστεί ο ακριβής χρόνος t_{50} , ο συντελεστής στερεοποίησης της εκάστοτε βαθμίδας φόρτισης υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$c_v = \frac{0,196 \cdot d^2}{t_{50}} \quad \dots (3.55)$$

3.3.11 ΤΑΣΗ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η μέγιστη τάση στην οποία ένα υπερστερεοποιημένο έδαφος έχει υποβληθεί στο παρελθόν ονομάζεται **τάση προφόρτισης** p_c . Όταν ένα εδαφικό δοκίμιο αφαιρεθεί από την φυσική του απόθεση τότε αφαιρείται και όλο το υπερκείμενο εδαφικό υλικό του. Έτσι αυτή η μείωση της τάσης στη συνέχεια οδηγεί στην διόγκωση του εδαφικού υλικού. Έτσι γενικώς κάθε εδαφικό δοκίμιο είναι προφορτισμένο ή υπερστερεοποιημένο.

Όταν λοιπόν φορτίζεται ένα δοκίμιο κατά την δοκιμή συμπίεστρο, το αρχικό τμήμα AB της καμπύλης συμπίεσης $ABCD$ αποτελεί έναν κλάδο επαναφόρτισης (Σχήμα 3.15). Συνεπώς το τμήμα αυτό είναι σχεδόν οριζόντιο. Επίσης το ευθύγραμμο τμήμα CD με την μεγάλη κλίση, παρουσιάζει μια συμπίεση ενός “παρθένου” (κανονικώς στερεοποιημένου) εδάφους. Τέλος, το ενδιάμεσο κομμάτι συναρμογής BC παρουσιάζει διαρκώς μεταβαλλόμενη κλίση, και μέσα σ’αυτό βρίσκεται η τάση προφόρτισης p_c . Για το προσδιορισμό της υπάρχουν πολλοί τρόποι, συνήθως όμως προτιμάται η ακόλουθη μέθοδος που φέρει το όνομα κατασκευή Casagrande. Η διαδικασία της αποτελείται από τα εξής βήματα:



ΣΧΗΜΑ 3.15 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ CASAGRANDE

1. Προσδιορισμός του σημείου E της καμπύλης, που είναι το σημείο μέγιστης καμπυλότητάς της.
2. Σχεδίαση της εφαπτομένης EF στο σημείο E της καμπύλης
3. Χάραξη μίας οριζντίου ευθείας EG που να περνάει από το E.
4. Σχεδιασμός της διχοτόμου EH της γωνίας που σχηματίζεται από την εφαπτομένη EF και την οριζόντια EG.
5. Προέκταση του ευθύγραμμου τμήματος CD της καμπύλης, έως ότου τμήσει την διχοτόμο EH στο σημείο P.
6. Η συντεταγμένη του σημείου P στον άξονα του λογαρίθμου της τάσης, αποτελεί την τομή της τάσης προφόρτισης p_c .
7. Η κατακόρυφη ευθεία από το σημείο P στον άξονα των τετμημένων τέμνει την καμπύλη στο σημείο K. Ο κλάδος ABK αποτελεί κλάδο καμπύλης επαναφόρτισης, ενώ ο κλάδος KCD κλάδο καμπύλης κανονικής (virgin) φόρτισης.

Αφού υπολογιστεί η τάση προφόρτισης ενός εδάφους μέσω του δοκιμίου του και με δεδομένη την τάση των υπερκειμένων γαιών που είχε στη φύση, μπορεί να προσδιοριστεί εάν η συγκεκριμένη εδαφική μάζα είναι υπερστερεοποιημένη. Οι αιτίες για τις οποίες συνήθως συναντάμε υπερστερεοποιημένες / προφορτισμένες εδαφικές αποθέσεις είναι οι εξής:

- i) Υπερκείμενες στρώσεις εδαφών που υπήρχαν αλλά με το πέρασμα των καιρών εξαλείφθηκαν εξ' αιτίας της διάβρωσης.
- ii) Φορτία κτιρίων ή κατασκευών, που έχουν πλέον κατεδαφιστεί.
- iii) Λιώσιμο των παγετώνων που ίσως κάλυπταν τις εδαφικές αυτές αποθέσεις στο παρελθόν.
- iv) Δημιουργία προφόρτισης μέσω της τριχωειδούς πίεσης που πιθανόν να ασκείτο στο παρελθόν, αλλά σταμάτησε να υπάρχει λόγω αναβάθμισης του υδροφόρου ορίζοντα.
- v) Δημιουργία προφόρτισης μετά την αποξήρανση αργιλικής απόθεσης. Κατά την διάρκεια της ανόδου της θερμοκρασίας προκαλείται διαστολή στο νερό των πόρων, και εν συνεχεία αυξάνεται η ενεργός τάση. Στο τέλος αφού έχει επέλθει ολική αποξήρανση το έδαφος απομένει προφορτισμένο.
- vi) Δημιουργία προφόρτισης λόγω των έντονων τεκτονικών δυνάμεων, που προκαλούνται από μετακινήσεις του φλοιού της γης, οι οποίες στη συνέχεια έγιναν πιο ασθενείς.

3.3.12 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΦΥΣΗ

Ο υπολογισμός των καθιζήσεων μιας εδαφικής στρώσης, αποτελείται από δύο σκέλη:

- I. Υπολογισμός του μεγέθους της τελικής καθίζησης
- II. Προσδιορισμός της χρονικής εξέλιξης των καθιζήσεων

Για τον υπολογισμό της τελικής καθίζησης απαιτούνται οι τιμές του συντελεστή μεταβολής όγκου (m_v) ή δείκτη συμπιεστότητας (C_c). Ενώ για την χρονική εξέλιξη των καθιζήσεων χρησιμοποιούμε τον συντελεστή στερεοποίησης και την θεωρία Terzaghi, όπως είδαμε προηγουμένως.

A. Τελική καθίζηση μέσω του συντελεστή μεταβολής όγκου. Έστω μια ζώνη μικρού πάχους Δz σε βάθος z , ενός εδαφικού στρώματος ολικού πάχους / ύψους H_0 . Εάν $\Delta\sigma'$ η ενεργός τάση που προκαλεί την καθίζηση. Από την σχέση (3.6) έχω: $\Delta H = m_v H_0 (\Delta\sigma')$.

Αν τώρα για την στοιχειώδη ζώνη ονομάσω την τελική καθίζηση Δs_f θα έχω: $\Delta s_f = m_v \cdot \Delta z \cdot (\Delta\sigma')$, και για το σύνολο της στρώσης θα ισχύει:

$$s_f = \int_0^{H_0} \Delta s_f = \int_0^{H_0} m_v \cdot \Delta\sigma' \cdot dz \quad \dots (3.56)$$

Βέβαια αν οι τιμές των m_v , $\Delta\sigma'$ παραμένουν σταθερές με το βάθος, τότε

$$s_f = m_v \cdot \Delta\sigma' \cdot H_0 \quad \dots (3.57)$$

Σε μία ρεαλιστική όμως περίπτωση, μιας και η ένταση των τάσεων $\Delta\sigma'$ αλλά και ο συντελεστής μεταβολής όγκου m_v μειώνονται με το βάθος, το πρόβλημα πρέπει να απλουστευθεί. Έτσι διαιρείται το όλο στρώμα σε n στοιχειώδεις στρώσεις πάχους Δz . Συνεπάγεται λοιπόν πως τα $\Delta\sigma'$ και m_v είναι σταθερά καθ' ύψος της κάθε στρώσης. Έτσι η τελική καθίζηση προκύπτει από την:

$$s_f = \sum_{i=1}^{i=n} (m_v)_i \cdot (\Delta\sigma')_i \cdot (\Delta z)_i \quad \dots (3.58)$$

B. Τελική καθίζηση μέσω του δείκτη συμπιεστότητας. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η καμπύλη συμπίεσης ενός εδάφους η οποία καθορίζει και τις καθιζήσεις διαφέρει στα κανονικώς στερεοποιημένα εδάφη από τα υπερστερεοποιημένα. Στο πρόβλημα των καθιζήσεων η διαφοροποίηση αυτή μεταφράζεται στη χρήση διαφορετικών συντελεστών σε κάθε περίπτωση. Έτσι όταν μελετάται ο κλάδος κανονικής συμπίεσης χρησιμοποιείται ο δείκτης συμπιεστότητας C_c ,

ενώ στον κλάδο επαναφόρτισης χρησιμοποιείται ο δείκτης επαναφόρτισης C_r . Οι τιμές των δεικτών αυτών μπορούν να θεωρηθούν πρακτικώς σταθερές.

Αρχικά εκφράζεται η καθίζηση συναρτήσει του λόγου κενών.

$$e = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V}{V_s} - 1 \Rightarrow V = V_s(1 + e) \Rightarrow A \cdot H = V_s(1 + e) \Rightarrow$$

$$A \cdot dH = V_s \cdot de$$

$$\frac{dH}{H} = \frac{de}{1 + e} \Rightarrow \Delta e = \frac{(1 + e)}{H} \cdot \Delta H \Rightarrow \Delta H = H_0 \left(\frac{\Delta e}{1 + e_0} \right)$$

$$s_f = H_0 \left(\frac{\Delta e}{1 + e_0} \right) \quad \dots (3.59)$$

Για τα κανονικώς στερεοποιημένα εδάφη, από την σχέση (3.8) προκύπτει:

$$-\Delta e = C_c \log_{10} \left(\frac{\sigma_0 + \Delta \sigma'}{\sigma_0} \right) \quad \dots (3.60)$$

,όπου Δe η μεταβολή του λόγου κενών για αύξηση της ενεργού τάσης από σ_0 σε $(\sigma_0 + \Delta \sigma')$. Αντικαθιστώντας τώρα την τιμή Δe στην σχέση (3.59) δίνεται:

$$s_f = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot H_0 \cdot \log_{10} \left(\frac{\sigma_0 + \Delta \sigma'}{\sigma_0} \right) \quad \dots (3.61)$$

Για τα προφορτισμένα εδάφη, όπου αναμένουμε σαφώς μικρότερες καθιζήσεις από τις σχέσει (2.12) και (2.56) παίρνουμε:

$$s_f = \frac{C_r}{1 + e_0} \cdot H_0 \cdot \log_{10} \left(\frac{\sigma_0 + \Delta \sigma'}{\sigma_0} \right) \quad \dots (3.62)$$

,όπου η σχέση αυτή δίνει τις καθιζήσεις για τάση μικρότερη της τάσεως προφόρτισης.

Τέλος για την περίπτωση κατά την οποία ισχύει $\sigma_0 < p_c < \sigma_0 + \Delta \sigma'$ η καθίζηση υπολογίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο υπολογίζει την καθίζηση από την αρχική τάση ως την τάση προφόρτισης και το δεύτερο από την τάση προφόρτισης έως την τελική ενεργό πίεση.

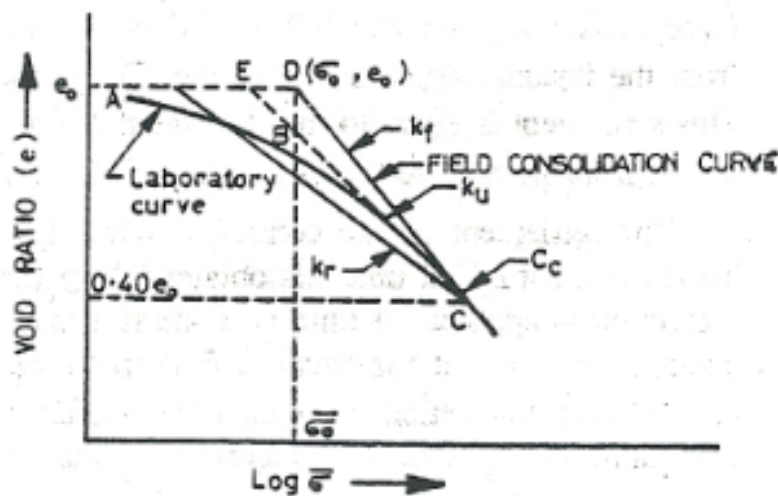
$$s_f = \frac{C_r}{1 + e_0} \cdot H_0 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_c}{\sigma_0} \right) + \frac{C_c \cdot H_0}{1 + e_0} \cdot \log_{10} \left(\frac{\sigma_0 + \Delta \sigma'}{p_c} \right) \quad \dots (3.63)$$

3.3.13 Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗ ΦΥΣΗ

Τα εδαφικά χαρακτηριστικά επί τόπου διαφέρουν απ'αυτά των δοκιμίων, που

υπολογίζονται από τις εργαστηριακές δοκιμές. Ακόμα και στα αδιατάρακτα δείγματα συντελείται μια μικρή αλλοίωση κατά την αφαίρεση τους από την εδαφική μάζα. Η διατάραξη αυτή οδηγεί σε μια μικρή μείωση της κλίσης της εργαστηριακής καμπύλης συμπίεσης που προκύπτει από την δοκιμή του συμπιεσομέτρου. Συνεπώς στην ενότητα αυτή θα περιγραφούν οι τεχνικές από τις οποίες μπορεί να προσδιοριστεί η πραγματική καμπύλη συμπίεσης του εδάφους μέσω της εργαστηριακής.

- a) **Κανονικώς στερεοποιημένα εδάφη.** Σύμφωνα με τον Schmertmann, η εργαστηριακή καμπύλη τέμνει την πραγματική για τιμή του λόγου κενών ίση με $0,40e_0$, όπου e_0 ο αρχικός λόγος κενών. Η αρχική τιμή του λόγου κενών μπορεί να θεωρηθεί ως η τιμή του ακριβώς πριν την επιβολή του πρώτου φορτίου. Συνεπώς ένα σημείο της πραγματικής καμπύλης είναι το σημείο C, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.9. Το σημείο D έχει συντεταγμένες τον αρχικό λόγο κενών της φύσης και την ενεργό τάση των υπερκείμενων γαιών στην οποία υπόκειται το δείγμα πριν αφαιρεθεί. Όταν λοιπόν αφαιρέθηκε το δείγμα, η υπερκείμενη τάση μηδενίστηκε, ενώ ο λόγος κενών παρέμεινε αναλόγιος λόγω της διατήρησης του ποσοστού υγρασίας.



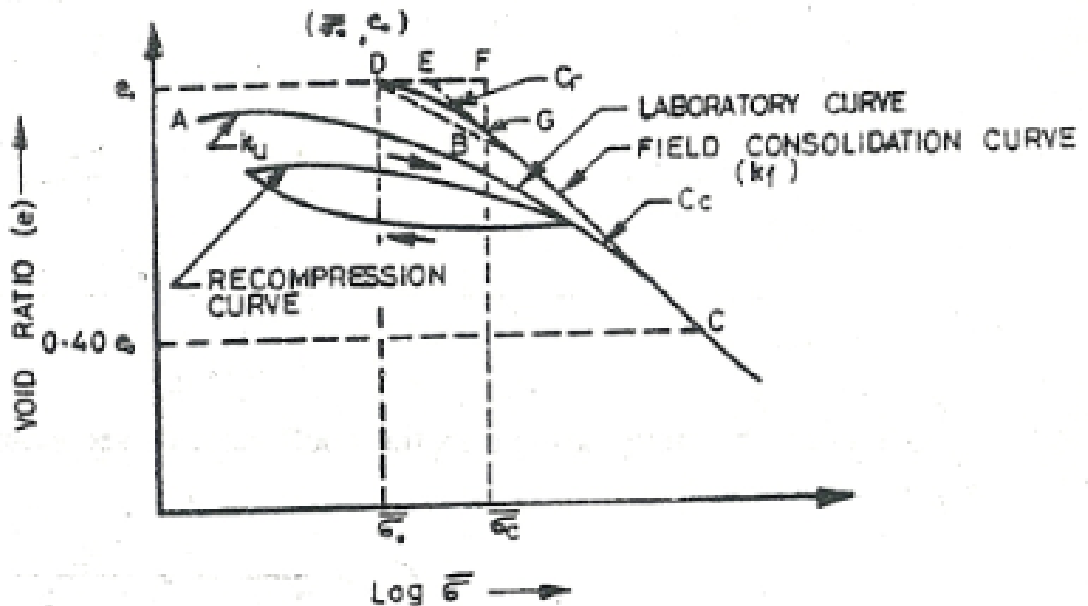
ΣΧΗΜΑ 3.16 ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΩΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ

Στο Σχήμα 2.9, φαίνεται η εργαστηριακή καμπύλη ABC, με τον κλάδο AB να αναπαριστά την επαναφόρτιση και τον BC την κανονική φόρτιση. Στη συνέχεια προεκτείνεται το ευθύγραμμο κομμάτι του κλάδου BC ώσπου να τμήσει την οριζόντια που άγεται από το e_0 , στο σημείο E. Αν το E βρίσκεται στα αριστερά του D τότε το έδαφος είναι

κανονικώς στερεοποιημένο και η πραγματική καμπύλη στερεοποίησης είναι η ευθεία DC.

Εάν το έδαφος αναμοχλευθεί, τότε προκύπτει καμπύλη συμπίεσης με κλίση ακόμα μικρότερη από αυτήν της αρχικής εργαστηριακής καμπύλης όπως φαίνεται και στο σχήμα.

- b) **Υπερστερεοποιημένα εδάφη.** Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.17, η κατασκευή Schmertmann είναι αρχικώς η ίδια με την διαφορά ότι το σημείο E βρίσκεται στα δεξιά του D. Για τον προσδιορισμό της πραγματικής καμπύλης αρχικά από το σημείο D χαράσσεται μια ομαλή καμπύλη με κλίση ίδια με αυτήν του κλάδου επαναφόρτισης έως το σημείο G που αντιστοιχεί στην τάση προφόρτισης. Από το σημείο G έως το σημείο C άγεται μια ευθεία σχηματίζοντας έτσι την καμπύλη DGC, η οποία αποτελεί την ζητούμενη καμπύλη στερεοποίησης στην φύση.



ΣΧΗΜΑ 3.17 ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΠΕΡΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ

4. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

4.1 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

4.1.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Η υγρασία μιας εδαφικής μάζας (w) καθορίζεται ως ο λόγος του βάρους του νερού W_w προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους W_s και εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad \dots (4.1)$$

Εργαστηριακός εξοπλισμός

- Κατάλληλοι υποδοχείς τέτοιοι ώστε να προλαμβάνεται απώλεια υγρασίας κατά τη διάρκεια της ζυγίσεως.
- Μεταλικά κουτιά.
- Κλίβανος θερμοκρασίας 110°C.
- Ζυγός ευαισθησίας 0,01g.

Τρόπος εργασίας

Για να μειωθεί η επίδραση της επιφανειακής ξήρανσης πρέπει η όλη διαδικασία να εκτελεστεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Η περιεχόμενη υγρασία του κάθε δοκιμίου είναι προτιμότερο να προκύψει ως ο μέσος όρος της υγρασίας του δοκιμίου αλλά και τριμάτων αυτού κατά την κοπή του. Επίσης υπολογισμός της περιεχόμενης υγρασίας γίνεται στα δοκίμια και μετά την ολοκλήρωση των πειραμάτων στερεοποίησης.

Αρχικά το δοκίμιο ζυγίζεται προσεκτικά και εν συνεχεία ξηραίνεται σε φούρνο θερμοκρασίας 105-110°C μέχρι σταθερού βάρους. Ο χρόνος ξηράνσεως εξαρτάται από τον τύπο, την ποσότητα και το σχήμα του δοκιμίου. Μετά την απομάκρυνση του από το φούρνο το δοκίμιο ψύχεται και ζυγίζεται. Η φυσική υγρασία εκφράζεται επί τοις εκατό και είναι αριθμός με ακρίβεια δεκάτου.

4.1.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΟΚΚΩΝ

Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί στον προσδιορισμό του ειδικού βάρους εδαφών. Το ειδικό βάρος ενός εδάφους είναι ο λόγος του βάρους ορισμένου όγκου κόκκων προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου νερού θερμοκρασίας 4°C. Το ειδικό βάρος ενός εδάφους συνήθως χρησιμοποιείται για τον συσχετισμό του βάρους του εδάφους προς τον όγκο του.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

- Πυκνόμετρο χωρητικότητας 100 ml, είτε λύκηθος χωρητικότητας 50 ml.
- Απεσταγμένο νερό
- Αντλία κενού (προεραϊτικά)
- Ζυγός ακρίβειας 0,01g.
- Εστία θερμάνσεως
- Κλίβανος
- Ξηραντήρας
- Θερμόμετρο με ακρίβεια 0,1°C.
- Δοχεία ζέσεως
- Σταγονόμετρο ή προχοΐδα.

Τρόπος εργασίας

Το πυκνόμετρο καθαρίζεται, ξηραίνεται, ζυγίζεται και το βάρος αυτό αναγράφεται. Στη συνέχεια το πυκνόμετρο γεμίζεται με απεσταγμένο νερό πραγματικής θερμοκρασίας δωματίου. Προσδιορίζεται κατόπιν το βάρος του πυκνομέτρου με το νερό (W_a) και καταγράφεται. Στη συνέχεια βυθίζεται ένα θερμόμετρο μέσα στο νερό και προσδιορίζεται η θερμοκρασία του (T_i) με προσέγγιση ακέραιου βαθμού. Από το βάρος W_a που προσδιορίζεται στη θερμοκρασία T_i , συντάσσεται πίνακας διαφόρων βαρών W_a , που αντιστοιχούν σε σειρά θερμοκρασιών, που είναι πιθανόν να επικρατούν κατά τον προσδιορισμό των βαρών W_b που ακολουθεί παρακάτω.

Το έδαφος που θα χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή του ειδικού βάρους, μπορεί ή να περιέχει τη φυσική του υγρασία ή να έχει ξηρανθεί σε κλίβανο. Το βάρος του δείγματος με βάση αυτό που προκύπτει από την ξήρανση σε κλίβανο πρέπει να είναι τουλάχιστον 25g όταν χρησιμοποιείται ογκομετρική φιάλη και 10g όταν χρησιμοποιείται λύκηθος. Το δείγμα τοποθετείται μέσα στο πυκνόμετρο, αφού ληφθεί πρόνοια ώστε να μην υπάρχει απώλεια εδάφους στην περίπτωση που το δείγμα έχει ζυγιστεί.

Προστίθεται απεσταγμένο νερό μέχρι να γεμίσει η ογκομετρική φιάλη περίπου κατά τα 3/4 , ή όταν πρόκειται για λυκήθους περίπου κατά το ήμισυ.

Ο αέρας που έχει κατά τύχη παγιδευτεί απομακρύνεται με ελαφρύ βρασμό για τουλάχιστον 10 λεπτά. Το πυκνόμετρο στη συνέχεια γεμίζεται με απεσταγμένο νερό, καθαρίζεται και ξηραίνεται εξωτερικά με τη βοήθεια καθαρού στεγνού υφάσματος. Λαμβάνεται το βάρος W_b του πυκνομέτρου με το περιεχόμενό του, και η θερμοκρασία T_x του περιεχομένου σε °C. Έτσι το ειδικό βάρος των εδαφικών κόκκων, ως προς νερό θερμοκρασίας T_x υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$G_s \frac{T_x}{T_x} = \frac{W_0}{W_0 + (W_a - W_b)} \quad \dots (4.2)$$

όπου W_0 το βάρος του ξηρού σε κλίβανο δείγματος εδάφους σε g, και T_x η θερμοκρασία του περιεχομένου του πυκνομέτρου, κατά τη έτρηση του βάρους W_b σε °C.

4.1.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG ΤΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ

Α] Προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, το όριο υδαρότητας εδάφους αντιστοιχεί εξ ορισμού στην υγρασία στην οποία το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή κατάσταση, όπως αυτή προσδιορίζεται από τη δοκιμή του ορίου υδαρότητας.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

- Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου περίπου 120 mm.
- Μικρό μαχαίρι ή σπαθίδα με λεπίδα μήκους περίπου 80 mm και πλάτους 20 mm.
- Συσκευή ορίου υδαρότητας (Συσκευή Casagrande) (Εικόνα 4.1). Μηχανική συσκευή που συνίσταται από ένα ορειχάλκινο κύπελο και μία βάση που είναι κατασκευασμένη σύμφωνα με το σχέδιο και τις διαστάσεις που ορίζονται από τις προδιαγραφές που παρουσιάζονται στο Φ.Ε.Κ 955/31-12-86B (Προδιαγραφές Ε 105-86).
- Όργανο χαράξεως συνδυασμένο με μετρητή στο πίσω μέρος, σύμφωνα με τις διαστάσεις που ορίζονται από τις προδιαγραφές στο Φ.Ε.Κ 955/31-12-86B (Προδιαγραφές Ε 105-86).

- Υποδοχείς γυάλινοι που παρεμποδίζουν την απώλεια υγρασίας κατά τη ζύγιση.
- Ζυγός με ευαισθησία 0,01g.

Προκαταρκτικές εργασίες

Παίρνεται δείγμα βάρους περίπου 100g από το κλάσμα του υλικού που έχει καλά αναμειχθεί και διέρχεται από το κόσκινο Νο.40. Η συσκευή του ορίου υδαρότητας, η οποία δίνεται διαγραμματικά στην Εικόνα 4.2, πρέπει να επιθεωρείται για να διαπιστωθεί η καλή κατάσταση λειτουργίας, ότι δεν έχει επέλθει φθορά στον πείρο που συγκρατεί το κύπελο, ότι είναι σφιγμένοι οι κοχλίες συνδέσεως του κυπέλου, καιότι δεν έχει χαραχτεί το κύπελο λόγω χρήσεως. Με τον μετρητή που υπάρχει στο πίσω μέρος του οργάνου χαράξεως, ρυθμίζεται το ύψος στο οποίο θα ανυψώνεται το κύπελο. Στη συνέχεια σταθεροποιείται η πλάκα ρυθμίσεως σφίγγοντας τους κοχλίες. Με τον μετρητή ακόμη στη θέση, ελέγχεται η ρύθμιση περιστρέφοντας το στρόφαλο μερικές φορές.

Εάν η ρύθμιση είναι καλή θα ακούγεται ένας ελαφρύς ήχος, όταν η προεξοχή του στροφάλου εφάπτεται της προεξοχής του κυπέλου. Εάν το κύπελο ανυψώνεται η δεν ακούγεται ο ελαφρύς ήχος πρέπει να γίνει ξανά η ρύθμιση.

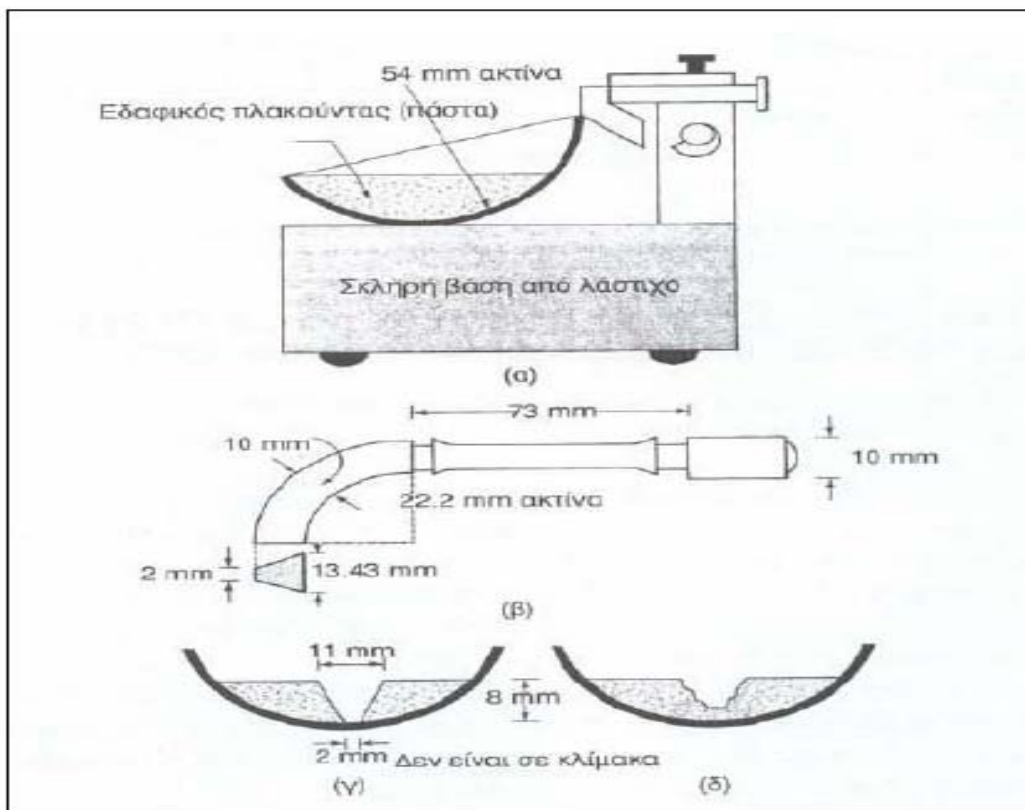


ΕΙΚΟΝΑ 4.1 ΣΥΣΚΕΥΗ CASAGRANDE ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

Τρόπος εργασίας

Αρχικά τοποθετείται το δείγμα εδάφους μέσα σε μία κάψα και στην συνέχεια προστίθονται $15\text{--}20\text{ cm}^3$ απεσταγμένου νερού. Ακολουθως το μείγμα ανακατεύεται πάρα πολύ καλά με την σπαθίδα μέχρις ότου κατανεμηθεί ομοιόμορφα το νερό στο δείγμα. Παραπάνω προσθήκη νερού γίνεται σε ποσότητα $1\text{--}3\text{ cm}^3$ και ακολουθεί η ανάμιξη ως ανωτέρω.

Κατόπιν το δείγμα τοποθετείται στον υγραντήρα επί 30 λεπτά για ωρίμανση. Στη συνέχεια παίρνεται μέρος της ομοιόμορφης πεικτής μάζας και τοποθετείται στο κύπελο της συσκευής και στο μέρος πάνω από το σημείο που ακουμπά το κύπελο στη βάση της συσκευής. Απλώνεται το υλικό με τη βοήθεια της σπαθίδας με ταυτόχρονη προσπάθεια να μην εγκλειστούν φυσαλίδες μέσα στο δείγμα. Μετά την ισοπέδωση το μεγαλύτερο βάθος του δείγματος πρέπει να είναι 1 cm, το υπόλοιπο απομακρύνεται. Το εντός του κυπέλου έδαφος διαιρείται με μία σταθερή διαδρομή του οργάνου χαραξέως κατά μήκος της διαμέτρου που διέρχεται από το μέσο του στηρίγματος του κυπέλου, έτσι ώστε να σχηματιστεί καθαρή και απότομη χαραγή κατάλληλων διαστάσεων.



ΕΙΚΟΝΑ 4.2 ΔΟΚΙΜΗ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ. Α) ΣΥΣΚΕΥΗ CASAGRANDE, Β) ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΧΑΡΑΞΗΣ. Γ) ΕΔΑΦΙΚΟΣ ΠΛΑΚΟΥΝΤΑΣ ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ Δ) ΕΔΑΦΙΚΟΣ ΠΛΑΚΟΥΝΤΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ (DAS 1990, ΑΠΟ ΚΟΥΚΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2002)

Προς αποφυγή δημιουργίας σχισμών επί των πλευρών της χαραγής ή ολισθήσεως του εδάφους, επιτρέπονται μέχρι έξι τέτοιοι χειρισμοί. Το βάθος της χαραγής πρέπει να αυξάνει με κάθε χειρισμό, στο τέλος δε, πρέπει να φαίνεται ο πυθμένας του κυπέλου.

Με περιστροφή του στροφάλου με ταχύτητα δύο στροφές ανά δευτερόλεπτο, ανυψώνεται και πέφτει το κύπελο με το παρασκεύασμα, μέχρις ότου οι δύο πλευρές του δείγματος ενωθούν στον πυθμένα της χαραγής και σε μήκος 12,7 χιλιοστά περίπου. Αναγράφεται ο αριθμός των κτύπων που απαιτήθηκαν για να κλείσει έτσι η χαραγή. Όταν περιστρέφεται ο στρόφαλος η συσκευή πρέπει να κρατιέται με το άλλο χέρι.

Τμήμα εδάφους ίσο περίπου με το πλάτος της σπαθίδας εκτεινόμενο από άκρο σε άκρο του πλακούντα του εδάφους, κάθετα προς τη χαραγή και περιλαμβάνοντας το μέρος της χαραγής που ενώθηκε το έδαφος, τοποθετείται σε γυάλινο υποδοχέα, ζυγίζεται και ξηρένεται μέχρι σταθερού βάρους σε κλίβανο θερμοκρασίας 110°C, και ζυγίζεται πάλι. Καταγράφεται το ξηρό βάρος, ως επίσης και το νερό που έχασε κατά την ξήρανση.

Η πιο πάνω διαδικασία, επαναλαμβάνεται τουλάχιστον σε δύο επιπλέον τμήματα του δείγματος, στα οποία έχει προστεθεί αρκετό νερό για να γίνει το δείγμα περισσότερο ρευστό. Ο σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η επίτευξη δειγμάτων τέτοιας συστάσεως ώστε να γίνεται τουλάχιστον ένας προσδιορισμός σε κάθε μία από τις ακόλουθες τρεις περιοχές κτύπων: 25-35, 20-30, 15-25.

Τήρηση στοιχείων

Στη συνέχεια επί λογαριθμικού διαγράμματος σχηματίζεται η καμπύλη ροής, που παριστά την σχέση μεταξύ περιεχόμενης υγρασίας και αντίστοιχου αριθμού κτύπων, με τα ποσοστά υγρασίας σαν τετμημένες στη γραμμική κλίμακα και τον αριθμό των κτύπων ως τεταγμένες, στην λογαριθμική κλίμακα. Η καμπύλη ροής θα σχεδιάζεται ως ευθεία γραμμή όσο δυνατόν πλησιέστερα προς τα τρία αποτυπωθέντα σημεία. Το ποσοστό υγρασίας που αντιστοιχεί στην καμπύλη ροής με την τεταγμένη των 25 κτύπων λαμβάνεται ως όριο υδαρότητας. Το όριο υδαρότητας αναφέρεται σε ακέραιες μονάδες (στρογγυλεμένο στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό). Για υλικά με δείκτη πλαστιμότητας μικρότερο του 10, το όριο υδαρότητας εκφράζεται με ακρίβεια 0,1.

B) Προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας. Το όριο πλαστικότητας εδάφους αντιστοιχεί, στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος

μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm χωρίς ο ραβδίσκος να θραύεται.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

- Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου περίπου 120 mm.
- Σπαθίδα ή σπάτουλα με λεπίδα μήκους 80 mm και πλάτους 20 mm περίπου.
- Επιφάνεια για την κυλίνδρωση: Γυάλινη πλάκα σμυριδωμένη ή κομμάτι ομαλού και αστίλβωτου χαρτιού για την κυλίνδρωση του δείγματος.
- Κατάλληλοι υποδοχείς, ώστε να προσαρμόζονται ύαλοι ωρολογίου για την πρόληψη απώλειας υγρασίας κατά τη διάρκεια της ζυγίσεως.
- Κλίβανος θερμοκρασίας 110°C.
- Ζυγός ακριβείας 0,001g.

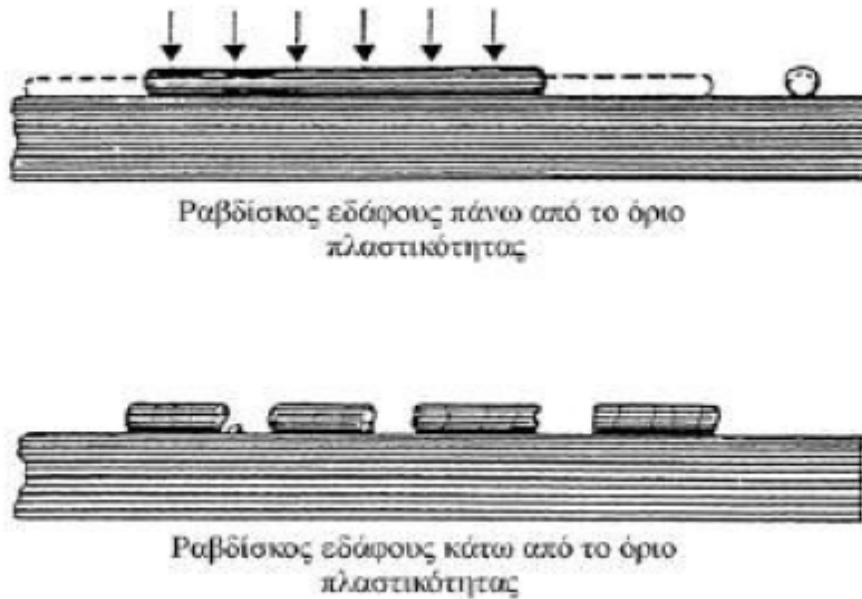
Τρόπος εργασίας

Λαμβάνεται ποσότητα εδάφους περίπου 20g από μέρος του υλικού που έχει αναμειχθεί καλά, του διερχόμενου από το κόσκινο Νο.40. Τοποθετείται το έδαφος, που έχει ξηρανθεί στον αέρα, μέσα σε κάψα από πορσελάνη και αναμυγνείται καλά με απεσταγμένο νερό, μέχρι που η μάζα καταστεί αρκετά πλαστική ώστε να μορφώνεται εύκολα σε βόλο. Σαν δείγμα δοκιμής λαμβάνεται μέρος του βόλου αυτού, βάρους περίπου 8g.

Συμπιέζεται και μορφώνεται το δείγμα δοκιμής των 8g σε μάζα ελλειψοειδούς σχήματος (Εικόνα 4.3). Η μάζα αυτή κυλινδρώνεται μεταξύ των δακτύλων και της σμυριδωμένης γυάλινης πλάκας (ή του χαρτιού), με την ακριβώς απαιτούμενη πίεση ώστε να κυλινδρωθεί η μάζα σε ραβδίσκο ομοιόμορφης διαμέτρου σε όλο το μήκος του. Ο αριθμός κυλινδρώσεως πρέπει να είναι μεταξύ 80-90 κινήσεων ανά λεπτό, υπολογιζόμενης της κινήσεως σαν μια πλήρη κίνηση του χεριού προς τα εμπρός και προς τα πίσω στη θέση εκκινήσεως. Όταν η διάμετρος του ραβδίσκου καταστεί 3mm, ο ραβδίσκος θραύεται ξανά σε έξι ή οχτώ κομμάτια. Συμπιέζονται τα κομμάτια μαζί μεταξύ των δακτύλων και των αντιχειρών και των δύο χεριών προς ομοιόμορφη μάζα, χονδρικά ελλειψοειδούς σχήματος και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση.

Η εναλλαγή συνεχίζεται με κυλίνδρωση σε ραβδίσκο 3 διαμέτρου mm, με συλλογή (συνένωση). Με αναζύμωση και επανακυλίνδρωση, μέχρι που ο ραβδίσκος θρυμματίζεται με την απαιτούμενη για την κυλίνδρωση πίεση, και το έδαφος δεν μπορεί πλέον να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο. Ο θρυμματισμός μπορεί να προέλθει όταν ο ραβδίσκος έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 3 mm. Αυτό πρέπει να θεωρηθεί ικανοποιητικό σημείο περατώσεως, με τον όρο ότι το

έδαφος κυλινδρώθηκε προηγουμένως σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm. Συγγεντρώνονται μαζί τα μέρη του θραυσθέντος εδάφους και τοποθετούνται μέσα σε κατάλληλο προζυγισμένο υποδοχέα. Ο υποδοχέας με το έδαφος ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος. Το έδαφος που είναι μέσα στον υποδοχέα, ξηραίνεται σε κλίβανο μέχρι σταθερού βάρους, σε θερμοκρασία 110°C και ζυγίζεται. Το βάρος αυτό καταγράφεται. Η απώλεια βάρους αναφέρεται στο βάρος ύδατος. Ο προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας προκύπτει σαν ο μέσος όρος τριών δοκιμών.



ΕΙΚΟΝΑ 4.3 ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΛΑΓΓΙΩΤΗΣ ΚΑΙ ΣΠΗΛΙΩΠΟΥΛΟΣ 1978, ΑΠΟ ΚΟΥΚΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2002)

Το όριο πλαστικότητας υπολογίζεται σαν το ποσοστό επί τοις εκατό (%) του νερού, κατά βάρος, που περιέχεται στους ραβδίσκους των 3 mm που ξηράθηκαν στον κλίβανο μέχρι του ξηρού βάρους, ως εξής:

$$\text{Όριο πλαστικότητας} = \frac{\text{Βάρος νερού}}{\text{Βάρος εδάφους που ξηραθηκε στο κλίβανο}} \times 100$$

4.2 Η ΔΟΚΙΜΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ

4.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Η εργαστηριακή δοκιμή του συμπίεσομέτρου για την μελέτη της συμπεστότητας των εδαφών πραγματοποιείται σε μία συσκευή που ονομάζεται **συμπιεσόμετρο ή οιδήμετρο** (Εικόνα 4.4). Αποτελείται από μια συσκευή φόρτισης και από ένα κυλινδρικό δοχείο που ονομάζεται κυψέλη στερεοποίησης. Το εδαφικό δοκίμιο αφού κοπεί με τον δακτύλιο στις επιθυμητές διαστάσεις τοποθετείται μαζί μ' αυτόν μέσα στην κυψέλη ανάμεσα σε δύο πορόλιθους, έναν πάνω και έναν κάτω. Όταν το 1945 η δοκιμή συμπίεσομέτρου πρωτοαναγνωρίστηκε ως πρότυπη δοκιμή, χρησιμοποιούνταν δύο είδη κυψέλης, αυτή του σταθερού δακτυλίου (fixed-ring cell) και αυτή του επιπλέοντος (floating-ring cell).



ΕΙΚΟΝΑ 4.4 Η ΣΥΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ

Πλέον η δοκιμή έχει τυποποιηθεί με βάση δύο είδη προτύπων, των βρετανικών BS και των αμερικάνικων ASTM, τα οποία διαφέρουν ελάχιστα. Οι διαφορές τους υπάρχουν στον Πίνακα 4.1. Οι δέκα δοκιμές που

πραγματοποιήσαμε εμείς ακολούθησαν όσο ήταν δυνατό το βρετανικό πρότυπο BS 1377:1975, Test 17. Οι όποιες αποκλίσεις αφορούν τα μεγέθη των δοκιμίων τα οποία αναγκαστικά διέφεραν από αυτά του προτύπου ($d=75mm$, $H=20mm$) λόγω των σκοπών της εργασίας, αλλά και τις αλληλουχίες των φορτίσεων, που διαφοροποιούνταν για τους ίδιους ακριβώς λόγους.

	BS 1377:1975	ASTM D2435
Είδος κυψέλης	Fixed-ring	Floating-ring, Fixed ring
Διαστάσεις δοκιμίου	Min: $d=60mm, H=15mm$ $d/H=3$ to 4	Min: $d=50mm, H=12mm$ $d/H>2,5$
Δοκιμές βαθμονόμησης	Χωρίς νερό στην κυψέλη	Με κορεσμένους πορόλιθους
Βήματα φόρτισης	3-6-12-25-50-100-200	5-12,5-25-50-100-200

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΒΡΕΤΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΣΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ

Πρίν την εκκίνηση των διαδικασιών σε εδαφικά δοκίμια, έγιναν οι δοκιμές βαθμονόμησης των δύο τύπων συμπίεσομέτρου που βρίσκονται στο εργαστήριο Θεμελιώσεων του τομέα Γεωτεχνικής της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε σιδερένιο δοκίμιο, και είναι απαραίτητη ώστε να ληφθεί υπόψιν η ελαστικότητα του πλαισίου και οι όποιες επιρροές της κάμψεως των επιφανειών φόρτισης. Έτσι το μέγεθος της παραμόρφωσης που θα μετράται κατά το πείραμα και θα οφείλεται στην συσκευή θα αφαιρείται από το ολικό.

Α) Προετοιμασία των δοκιμίων. Τα αντικείμενα που χρειάστηκαν για την εκτέλεση των πειραμάτων ήταν:

1. Επίπεδα γυάλινα πιάτα για την τοποθέτηση των τριμμάτων.
2. Εργαλεία κοπής για την διαμόρφωση των δοκιμίων.
3. Διάταξη στερέωσης του δακτυλίου του δοκιμίου μέσα στην κυψέλη.
4. Εργαστηριακή ύαλος διαμέτρου 100mm, που θα κρατάει τον δακτύλιο στερεοποίησης.
5. Όργανα μέτρησης του βάρους και των διαστάσεων των δοκιμίων και του δακτυλίου.
6. Συσκευή προσδιορισμού του ποσοστού υγρασίας όπως περιγράφηκε στην ενότητα 4.1.1.

Β) Συσκευή των πειραμάτων.

7. Κυψέλη στερεοποίησης (Εικόνα 4.5), η οποία απαρτίζεται από:

- Δακτυλίδι στερεοποίησης (δακτυλίδι κοπής) από ανοξείδωτο ατσάλι με λειασμένες εσωτερικές επιφάνειες, για παρεμπόδιση ανάπτυξης πλευρικών τριβών.
 - Στεγανή βάση και σώμα κυψέλης
 - Διάταξη σταθεροποίησης του δακτυλίου στερεοποίησης, με βίδες ή παξιμάδια στερέωσης.
 - Κεφαλόδεσμο φόρτισης
 - Δυο υδατοπερατούς πορόλιθους, με επίπεδες άνω και κάτω επιφάνειες. Ο άνω πορόλιθος πρέπει να είναι 0,5mm μικρότερος από την εσωτερική διάμετρο του δακτυλίου, ενώ ο κάτω αρκετά μεγάλος ώστε να χωράει πάνω του ο δακτύλιος. Επίσης πρέπει να προσεχθεί, οι πορόλιθοι να αντέχουν την μέγιστη πίεση που θα ασκηθεί στο δοκίμιο.
8. Μετρητής μικρομέτρων με κάθε ένδειξη να αντιστοιχεί σε 0,002mm. Στους μετρητές του εργαστηρίου οι τιμές των αναγνώσεων αυξάνονται καθώς επιμυκνείται ο κορμός τους.



ΕΙΚΟΝΑ 4.5 ΚΥΨΕΛΗ ΠΛΗΡΩΜΕΝΗ ΜΕ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΗ ΣΤΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

9. Πλαίσιο φόρτισης, του οποίου τα χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:
 - Άκαμπτη δοκός φόρτισης με κατάλληλα ρουλεμάν έτσι ώστε να παρέχει αναλογία μεγέθυνσης περί το 1%.
 - Ρυθμιζόμενο εξισορροπτικό αντίβαρο της δοκού.
 - Γάντζος φόρτισης, που να επιβάλλει κατακόρυφη δύναμη στον κεφαλόδεσμο του δοκιμίου μέσω σφαιρικής έρδασης στον κορμό τοποθέτησης βαριδίων.
 - Πύρος υποστήριξης της δοκού φόρτισης.
 - Άκαμπτη βάση που να υποστηρίζει την κυψέλη στερεοποίησης.
 - Άκαμπτη στήριξη του μετρητή παραμορφώσεων
 - Θέση κρέμασης μεγάλων τρυπητών βαριδίων
 - Πλάκα τοποθέτησης για πιο μικρά βάρη.
10. Σταθερός πάγκος, ο οποίος θα μπορεί να υποστηρίξει τα βιδωμένα σ' αυτόν πλαίσια φόρτισης χωρίς κίνδυνο να ανατραπεί.
11. Βαθμονομημένες μάζες φόρτισης, ακρίβειας 1%.
12. Χρονόμετρο ικανό να αναγνώσει με ακρίβεια δευτερολέπτου
13. Δοχείο που να περιέχει νερό σε θερμοκρασία δωματίου και θερμόμετρο.
14. Διθητικά χαρτία, Whatman No. 54, διαμέτρου 110mm.
15. Γράσο σιλικόνης.

4.2.2 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

(1) Προετοιμασία της συσκευής

Αρχικά ελέγχεται εάν ο δακτύλιος στερεοποίησης είναι καθαρός και απαραμόρφωτος, καθώς και αν η εσωτερική του επιφάνεια είναι λεία και η αιχμή του κοφτερή. Επίσης δοκιμάζετε αν το σώμα της κυψέλης και η βάση της ταιριάζουν απόλυτα και ακολούθως τοποθετείται λίγο γράσο σιλικόνης πρώτου σφιχτεί δυνατά η βάση. Στη συνέχεια επιβεβαιώνεται ότι τα κομμάτια της κυψέλης είναι καθαρά και στεγνά, καθώς και ότι “δένουν” απόλυτα το ένα με το άλλο σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Αφού ικανοποιηθούν όλα τα παραπάνω, αποσυναρμολογούνται τα τμήματα της κυψέλης και βρέχονται οι εσωτερικές της επιφάνειες. Οι πορόλιθοι πρέπει και αυτοί να είναι βρεγμένοι αλλά όχι κορεσμένοι. Αρχικά τοποθετείται στην

κατώτατη θέση στο κέντρο της κυψέλης ο μεγάλος πορόλιθος. Πρίν από οποιαδήποτε επόμενη ενέργεια, ισορροπείται η δοκός φόρτισης, που είναι καλά συνδεδεμένη με τον γάντζο, ρυθμίζεται το αντίβαρο στην κατάλληλη θέση, και ασφαρίζεται.

(2) Μέτρηση του δακτυλίου στερεοποίησης

Μετράται η εσωτερική διάμετρος του δακτυλίου με ακρίβεια 0,1mm, σε δύο διευθύνσεις χρησιμοποιώντας δαγκάνες Vernier. Η μέση διάμετρος σημειώνεται με d (mm). Ακολούθως μετράται το ύψος του σε διάφορα σημεία με ακρίβεια 0,01mm, με χρήση μικρομέτρου. Ο μέσος όρος στρογγυλοποιείται στο πλησιέστερο 0,1mm και ονομάζεται αρχικό ύψος του δοκιμίου H_0 . Τέλος αφού λειανθεί με γράσο σιλικόνης η εσωτερική επιφάνεια, μετράται το βάρος του δακτυλίου (m_R), και της υάλου παρακολούθησης (m_T), με ακρίβεια 0,01g.

(3) Κόψιμο και διαμόρφωση του δοκιμίου μέσα στον δακτύλιο

Προσαρμόζεται το καρότο της γεώτρησης πάνω στην μηχανή κοπής και περιστρέφεται ο στρόφαλος έως ότου αποσπαστεί μέσα στο δακτυλίδι όλος ο απαιτούμενος εδαφικός όγκος του δοκιμίου. Στην περίπτωση των αναμοχλευμένων δικιμίων, ακολουθείται ο τρόπος δημιουργίας τους με βάση όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.6.

(4) Ζύγιση του δοκιμίου

Ζυγίζουμε τα δοκίμια με ακρίβεια 0,01g (υγρα και ξηρα) και αφού τα βάρη των υποδοχέων είναι γνωστά, προσδιορίζονται τα ακριβή βάρη των εδαφικών μαζών των δοκιμίων.

(5) Συνδεσμολογία της κυψέλης στερεοποίησης

Όπως αναφέρθηκε και πρίν πάνω από τον μεγάλο πορόλιθο τοποθετείται ο δακτύλιος με το δοκίμιο προσανατολισμένος με την κοφτερή αιχμή προς τα πάνω. Αφού “δέθει” ο δακτύλιος στην κυψέλη, τοποθετείται και ο άνω πορόλιθος και στη συνέχεια εφαρμόζεται ο κεφαλόδεσμος κεντρικά.

(6) Τοποθέτηση της κυψέλης στο πλαίσιο φόρτισης

Η κυψέλη τοποθετείται κεντρικά στη θέση της πλατφόρμας, στη βάση της συσκευής. Στη συνέχεια σηκώνεται η δοκός φόρτισης πάνω από την οριζόντια θέση και την διατηρείται στη θέση αυτή μέσω του πείρου, έτσι ώστε να μην εφάπτονται κεφαλόδεσμος και τάπα φόρτισης.

(7) Εγκατάσταση του γάντζου φόρτισης

Σηκώνεται το άκρο της δοκού και τοποθετείται κατακόρυφα ο γάντζος φόρτισης. Στη συνέχεια στρέφεται ο κορμός φόρτισης προς τα κάτω ώστε να πλησιάσει την κορυφή του κεφαλόδεσμου φόρτισης, και βιδώνεται.

(8) Ρύθμιση του μετρητή παραμορφώσεων

Στερεώνεται αρχικά ο μετρητής στον βραχίονα υποστήριξης. Στη συνέχεια προσαρμόζεται το αρχικό ύψος του κορμού του μετρητή πάνω στον κεφαλόδεσμο, και περιστρέφεται ο δείκτης των αναγνώσεων ώστε να συμπίσει σε μία ακριβή ένδειξη εκατοντάδων, η οποία θα είναι και η αρχική μηδενική.

(9) Τοποθέτηση των βαριδίων στον γάντζο φόρτισης

Τοποθετούνται προσεκτικά τα βάρη και αφαιρείται το μικρό βαρίδιο της άνω θέσης εφόσον υπήρχε για αποφυγή αιώρησης της δοκού. Σηνύθως δεν παρατηρείται κάποια παραμόρφωση αφού το φορτίο αναλαμβάνεται από τον πείρο ασφαλείας. Τα μεγαλύτερα βάρη τοποθετούνται στην κάτω και στην μεσαία θέση, ενώ τα μικρά στην πάνω.

(10) Κορεσμός του δοκιμίου

Προστίθεται νερό με θερμοκρασία δωματίου μέσα στην κυψέλη, προσέχοντας ο άνω πορόλιθος να είναι πλήρως βυθισμένος.

(11) Επιβολή του φορτίου στο δοκίμιο

Ξεβιδώνεται ο πείρος υποστήριξης και την ίδια στιγμή πιέζεται το κουμπί του χρονόμετρο. Ο μετρητής συμπίεσης πρέπει αμέσως να καταγράψει μία άμεση καθοδική κίνηση.

(12) Καταγραφή των αναγνώσεων καθίζησης

Παρατηρούνται όσο το δυνατόν ταυτόχρονα ή με την βοήθεια κάποιου άλλου προσώπου, οι αναγνώσεις του μετρητή και του χρονομέτρου, σε καθορισμένους χρόνους. Μέχρι την πρώτη ώρα οι χρόνοι είναι καθορισμένοι, ενώ στην συνέχεια καταγράφονται δύο με τρεις ακόμα ενδιάμεσες μετρήσεις μέχρι την πάροδο 24 ωρών που λήγει η εκάστοτε βαθμίδα φόρτισης. Όπως φαίνεται και στα φύλλα μετρήσεων, οι χρόνοι της πρώτης ώρας είναι: [0 sec, 6 sec, 15 sec, 30 sec, 1 min, 2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min, 1 hour]

(13) *Σχεδιασμός καμπυλών βάσει των αναγνώσεων*

Πλοττάρονται οι αναγνώσεις του κάθε βήματος, ως προς τον λογάριθμο του χρόνου και την τετραγωνική ρίζα του χρόνου. Έτσι μπορεί να προσδιοριστεί η τιμή του συντελεστή στερεοποίησης c_v και με τις δύο μεθόδους που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

(14) *Αποφάσεις προσδιορισμού του επομένου βήματος φόρτισης*

Μετά και την καταγραφή της ένδειξης των 24 ωρών, παρατηρείται πως σε όλα τα πειράματα έχει ολοκληρωθεί η πρωτογενής συμπίεση και έχει ξεκινήσει η δευτερογενής. Βέβαια η έναρξη του επομένου βήματος επηρεάζει το ποσοστό της δευτερογενούς στερεοποίησης που συντελείται σε κάθε πείραμα, η διερεύνηση όμως της οποίας δεν μας ενδιαφέρει και τόσο στην παρούσα εργασία ώστε να επιμυκήνουμε τις διάρκειες παραμονής των φορτίων. Έτσι ακολουθείται η επιβολή του πρόσθετου φορτίου ανάλογα με τον ρυθμό φόρτισης που έχει επιλεγεί να εφαρμοστεί.

(15) *Επιβολή του επόμενου φορτίου*

Ανασηκώνεται ξανά ο πείρος υποστήριξης μέχρι να αγγίξει την δοκό φόρτισης και ασφαρίζεται. Μηδενίζεται το χρονόμετρο και στη συνέχεια τοποθετούνται τα πρόσθετα βάρη στον γάντζο έτσι ώστε να επιτευχθεί η επόμενη επιθυμητή πίεση. Αν χρειαστεί να αφαιρεθούν βάρη, αυτό γίνεται αφού έχουμε προστέθει πρώτα τα άλλα βάρη έτσι ώστε να μην παρατηρηθεί προσωρινή μείωση πίεσης. Άλλωστε όλες οι επιπρόσθετες τάσεις αναλαμβάνονται προσωρινά από τον πείρο. Για να εκκινήσει το νέο βήμα φόρτισης κατέρχεται ο πείρος και ταυτοχρόνως εκκινά το χρονόμετρο. Επαναλαμβάνονται τα βήματα (14) και (15).

(16) *Αποφόρτιση*

Η αποφόρτιση συντελείται σε λιγότερα βήματα από αυτά της φόρτισης και μετράται μόνο τελική ένδειξη στο τέλος των 24 ωρών του κάθε βήματος. Πριν την αφαίρεση των βαρών μηδενίζεται το χρονόμετρο και ανασηκώνεται ο πείρος ώσπου να αγγίξει την δοκό φόρτισης. Η χρήση ενός δευτέρου ατόμου είναι απαραίτητη ώστε να κρατά σταθερή την δοκό κατά την αφαίρεση των βαρών. Στη συνέχεια ελευθερώνεται η δοκός και επανεκκινά το χρονόμετρο. Όταν φτάσει το μέγιστο σημείο αποφόρτισης φροντίζεται να έχει επέλθει η ισορροπία στις αναγνώσεις πριν την επαναφόρτιση ή την αφαίρεση του δοκιμίου.

(17) *Αφαίρεση του δοκιμίου*

Αρχικά αφαιρείται το νερό από το εσωτερικό της κυψέλης, η οποία και παραμένει στη θέση της για περίπου μισή ώρα ώστε να στραγγίξουν οι πορόλιθοι. Καταγράφεται οποιαδήποτε επιπλέον μετακίνηση στον μετρητή. Στη συνέχεια στρέφεται ο μετρητής σε άλλη θέση, και μετακινείται προς τα μπροστά η δοκός φόρτισης ώστε να αφαιρεθεί η κυψέλη. Ακολούθως η κυψέλη αποσυναρμολογείται και της αφαιρούνται το δαχτυλίδι και το δοκίμιο. Οι πορόλιθοι πρέπει να απομακρυνθούν προσεκτικά ώστε να μην “τραυματίσσει” το εδαφικό υλικό.

(18) *Επαναζύγιση του δοκιμίου και προσδιορισμός του νέου ποσοστού υγρασίας.*

Τα δοκίμια ζυγίζονται και ακολουθείται η διαδικασία της παραγράφου 4.1.1.

4.3 ΟΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

4.3.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές προσδιορισμού του ορίου πλαστικότητας και του ορίου υδαρότητας στην άργιλο της παρούσας εργασίας καθώς και δοκιμές υπολογισμού του ειδικού βάρους των εδαφικών κόκκων τόσο της άργιλου όσο και του καλκαρενίτη. Επίσης για κάθε δοκίμιο υπολογίστηκε η φυσική περιεχόμενη υγρασία του πριν και μετά την δοκιμή στερεοποίησης. Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπάρχουν στον Πίνακα 4.2. Επίσης στο Σχήμα 4.1 σημειώνεται με κόκκινο χρώμα η θέση της άργιλου της παρούσας εργασίας, πάνω στον χάρτη πλαστιμότητας του Casagrande.

4.3.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ

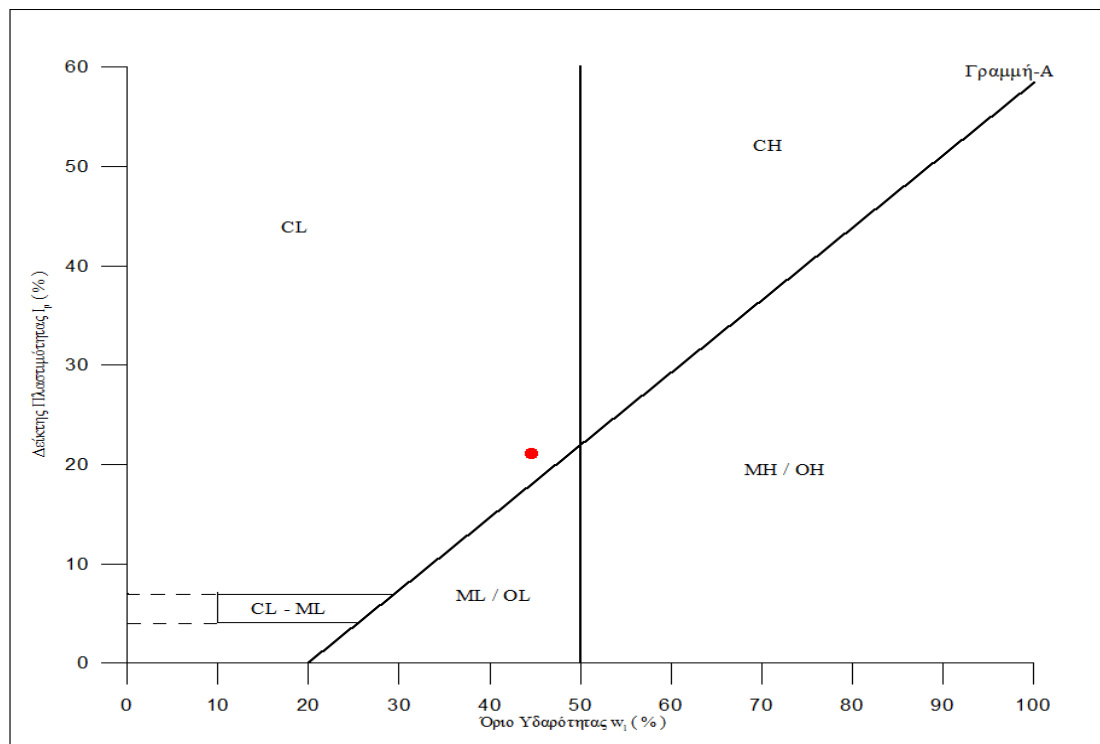
Ο Πίνακας 4.3 αναφέρει συνοπτικά τα στοιχεία των δέκα δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο θεμελιώσεων. Σε κάθε υλικό έγινε μια δοκιμή για τον προσδιορισμό της τάσεως προφόρτισης. Σε αυτήν δεν υπήρχε κλάδος αποφόρτισης και επαναφόρτισης και ο ρυθμός φόρτισης ήταν ιδιαίτερα πυκνός ώστε να προσδιοριστεί η τάση p_c με όσο δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Ακόμα πραγματοποιήθηκε και μία δοκιμή σε αναμοχλευμένο υλικό άργιλου και καλκαρενίτη, στην οποία επίσης δεν πραγματοποιήθηκε ανακυκλική

φόρτιση. Ο σκοπος των δοκιμών αυτών έχει αναφερθεί ήδη στην ενότητα 2.6, καθώς επίσης έχουν επισημανθεί και τα χαρακτηριστικά των καμπυλών που αναμένονται στην άργιλο. Υπάρχουν τέλος έξι δοκιμές που εξετάζουν το ρυθμό φόρτισης στο κάθε υλικό, μαζί με άλλες δύο δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε δοκίμια διαφορετικών διαστάσεων (πάχους και διαμέτρου).

No.	Φυσική υγρασία μετα	Φυσική υγρασία πριν	Ειδικό βάρος G_s	Όριο Υδαρότητας LL	Όριο Πλαστικότητας PL
ΑΡΓΙΛΟΣ					
I	19,67	23,78	2,76	44,6%	23,4%
II	21,81	27,69			
III	19,98	24,25			
IV	21,34	27,07			
V	19,35	23,87			
VI	20,62	37,06			
ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗΣ					
VII	20,57	26,82	2,54	-	-
VIII	18,00	24,91			
IX	18,25	23,44			
X	17,44	20,06			
XI	12,99	15,94			
XII	9,18	24,80			

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ



ΣΧΗΜΑ 4.1 ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ _____ ΣΤΟ ΧΑΡΤΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ CASAGRANDE

No.	Θέση	Ρυθμός Φόρτισης (ΔΡ/Ρ)	Χαρακτηριστικά Δοκιμίων	Βήματα Φόρτισης (kPa)
ΑΡΓΙΛΟΣ				
I	1 _a	Πυκνός-Ρ _c	$H_0=1,9cm$ $d=7cm$	0-25-50-100-200-400-600-800-1200-1600-2400-3200
II	1 _b	1	$H_0=1,9cm$ $d=7cm$	0-25-50-100-200-300-200-100-25-50-100-200-400-800-1600-3200-1600-400-100-25
III	2	1	$H_0=1,2cm$ $d=7cm$	0-25-50-100-200-300-200-100-25-50-100-200-400-800-1600-3200-1600-400-100-25
IV	3	0,5	$H_0=1,9cm$ $d=7cm$	0-44-67-100-150-225-300-225-100-44-67-100-150-225-350-525-775-1150-1725-2600-3900-2600-1725-775-150-44
V	4	2	$H_0=1,9cm$ $d=7cm$	0-16.6-50-150-300-150-16.6-50-150-450-1350-4050-1350-150-16.6
VI	6	1	Αναμοχλευμένο $H_0=1,9cm$ $d=7cm$	0-25-50-100-200-400-800-1600-3200-1600-400-100-25
ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗΣ				
VII	7	2	$H_0=1,9cm$ $d=5cm$	0-25-75-225-675-1200-675-225-25-75-225-675-2025-6075-2025-225-25
VIII	8	0,5	$H_0=1,9cm$ $d=5cm$	0-50-75-120-180-270-400-600-900-1200-400-120-50-75-120-180-270-400-600-900-1350-2000-3000-4500-6750-4500-2000-900-400-50
IX	9 _a	1	$H_0=1,9cm$ $d=5cm$	0-25-50-100-200-400-800-1200-800-200-25-50-100-200-400-800-1600-3200-6400-3200-800-200-25
X	9 _b	Πυκνός-Ρ _c	$H_0=1,9cm$ $d=5cm$	0-50-100-200-400-600-800-1200-1600-2400-3200-6400-12800-6400-3200-800-200-50
XI	10	1	$H_0=1,9cm$ $d=7cm$	0-25-50-100-200-400-800-1200-800-200-25-50-100-200-400-800-1600-3200-6400-3200-800-200-50-25
XII	11	1	Αναμοχλευμένο $H_0=1,9cm$ $d=5cm$	0-12.5-25-50-100-200-400-800-1600-3200-6400-12800-6400-3200-800-200-12.5

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

5. Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ

5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΓΙΛΟ

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.3 σε κάθε υλικό η συμπίεση του αναμοχλευμένου δοκιμίου και η συμπίεση με σκοπό την εύρεση της τάσης προφόρτισης συντελέστηκαν σε ένα κλάδο φόρτισης δίχως να μεσολαβούν φάσεις αποφόρτισης και επαναφόρτισης. Στις υπόλοιπες δοκιμές επιλέχτηκε να γίνει και ένας κύκλος αποφόρτισης – επαναφόρτισης ώστε να φανεί πως επηρεάζεται η συμπιεστότητα του κάθε υλικού κάθε φορά που στην γεωλογική του ιστορία προστίθεται μια νέα φορτική καταπόνηση. Οι τιμές του δείκτη C_r αλλά και οι μορφές των καμπυλών συμπίεσης και ανηγμένων παραμορφώσεων καταδεικνύουν πως συντελεί ένας κύκλος αποφόρτισης επαναφόρτισης στην σημαντική μείωση της συμπιεστότητας του εδαφικού υλικού. Επίσης δόθηκε προσοχή ώστε η μέγιστη τάση της πρώτης φόρτισης να κρατηθεί σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτό της τάσης προστεροποίησης για να μην επηρεαστεί η συμπεριφορά του υλικού στον κλάδο πέραν της υπάρχουσας τάσης προστεροποίησης.

Ακόμη κρίθηκε σκόπιμο η παράθεση ενός πίνακα (Πίνακας 5.1) με τις τιμές του λόγου κενών e σε χαρακτηριστικά σημεία των καμπυλών συμπίεσης, τιμές οι οποίες δεν φαίνονται αριθμητικά στα διαγράμματα που ακολουθούν. Ο όρος e_{min} εκπροσωπεί την τιμή του λόγου κενών όταν ασκείται στο δοκίμιο ασκείται η μέγιστη τάση της κάθε δοκιμής. Η τιμή αυτή είναι μικρότερη από όλες τις άλλες και λόγω αυτού συμβολίστηκε με e_{min} .

Δοκιμή Νο.	e_0	e_{pc}	e_{min}	e_f
ΑΡΓΙΛΟΣ				
I	0,69	0,61	0,45	-
II	0,77	0,68	0,47	0,58
III	0,68	0,60	0,42	0,51
IV	0,78	0,65	0,49	0,59
V	0,67	0,60	0,42	0,52
VI	1,07	-	0,46	0,56

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 ΤΙΜΕΣ ΛΟΓΟΥ ΚΕΝΩΝ ΣΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ

5.1.1 ΔΟΚΙΜΗ N_o. I – ΕΥΡΕΣΗ ΤΑΣΗΣ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.3, στη θέση 1_α το αργιλικό δοκίμιο υποβλήθηκε σε μια αλληλουχία πυκνής φόρτισης χωρίς κλάδο αποφόρτισης και επαναφόρτισης. Σκοπός της δοκιμής αυτής ήταν η όσο το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση της μεγαλύτερης κατακορύφου ενεργού τάσης η οποία είχε ποτέ ασκηθεί στο συγκεκριμένο έδαφος στη φύση, δηλαδή της **τάσης προφόρτισης**.

Σε κάθε βήμα φόρτισης υπολογίστηκαν το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης (E_s), ο συντελεστής μεταβολής όγκου (m_v), και ο δείκτης συμπιεστότητας (C_c). Τα αποτελέσματα υπάρχουν στον Πίνακα 5.2. Οι τιμές της στήλης C_c μέχρι και το φορτίο των 400 kPa το οποίο είναι κοντά στην τάση προφόρτισης δεν αποτελούν τιμές του δείκτη συμπιεστότητας. Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν, η τιμή του δείκτη C_c είναι η κλίση του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης.

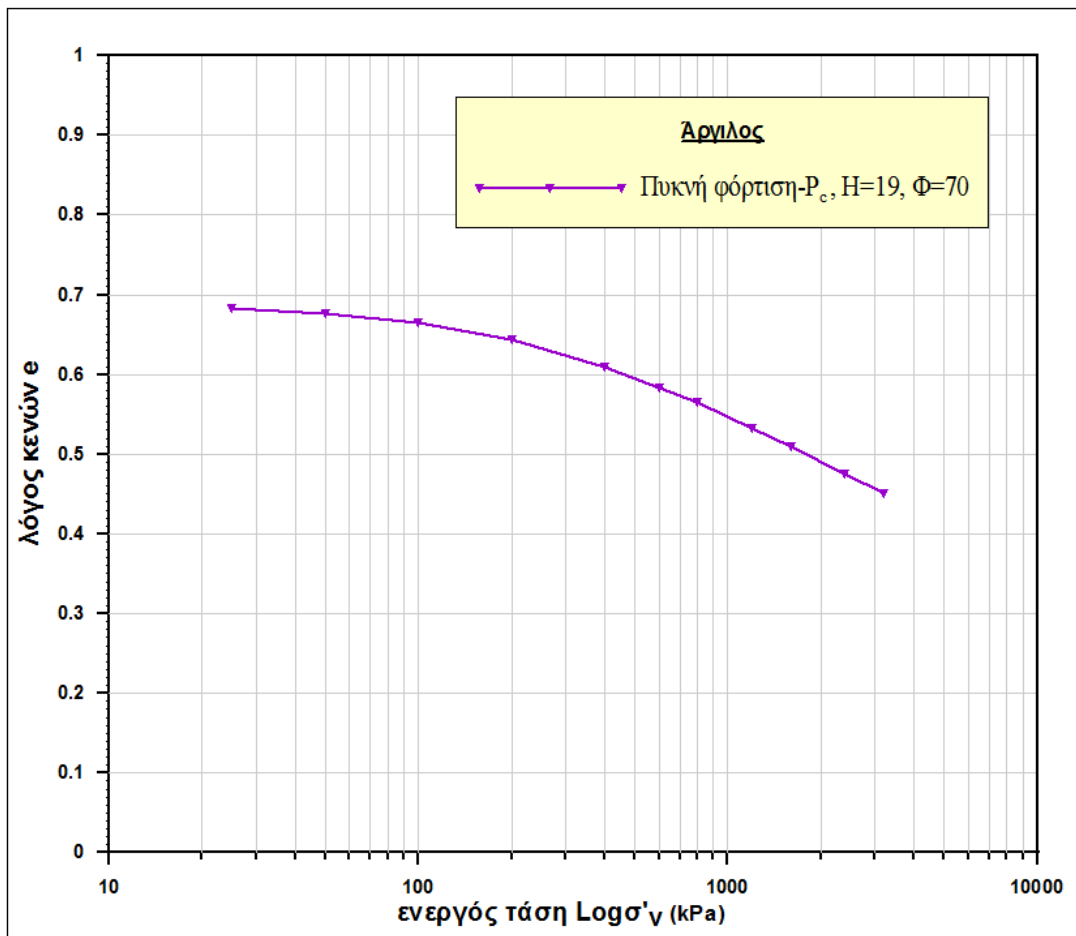
ΔΟΚΙΜΗ N_o. I			
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	C_c
0			
25	0,168	5,937	<i>N.D.</i>
50	0,150	6,662	0,021
100	0,138	7,250	0,038
200	0,129	7,754	0,071
400	0,106	9,399	0,116
600	0,079	12,673	0,144
800	0,058	17,399	0,146
1200	0,053	18,848	0,189
1600	0,037	27,227	0,180
2400	0,029	34,453	0,199
3200	0,020	50,608	0,187

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ I

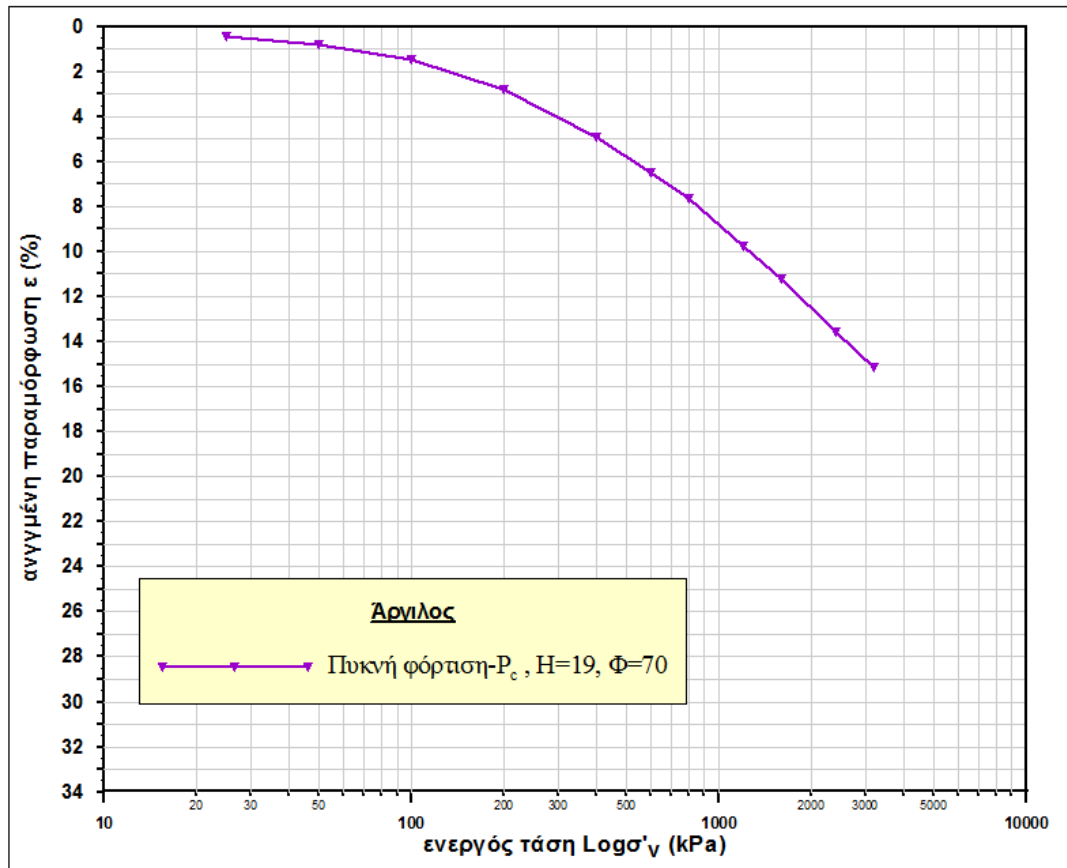
Στις εργαστηριακές καμπύλες το κατώτατο ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης στερεοποίησης αποτελείται από τα μικρότερα ευθύγραμμο τμήματα του κάθε βήματος και όπως είναι λογικό, οι τιμές των κλίσεων τους παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφορές. Έτσι ως αντιπροσωπευτική τιμή του δείκτη συμπιεστότητας

μπορεί να οριστεί ο μέσος όρος των κλίσεων αυτών. Στην παρούσα δοκιμή $C_c = 0,189$ (μέση τιμή των $C_{c(1200)}$, $C_{c(1600)}$, $C_{c(2400)}$, $C_{c(3200)}$).

Επίσης σχεδιάστηκαν οι καμπύλες του λόγου κενών (e), και της ανηγμένης παραμόρφωσης ($\varepsilon\%$), συναρτήσει του λογαρίθμου της κατακορύφου ενεργού τάσεως $\text{Log}\sigma'_v$ (Διάγραμμα 5.1 και Διάγραμμα 5.2 αντίστοιχα). Από την καμπύλη του Διαγράμματος 5.1, με χρήση λογαριθμικής παρεμβολής, προσδιορίστηκε η τιμή της τάσης προφόρτισης σύμφωνα με την μέθοδο Casagrande που περιγράφηκε στην ενότητα 3.3.11, $P_c = 366 \text{ kPa}$.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.1 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ Ι



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.2 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ Ι

5.1.2 ΔΟΚΙΜΗ N_0 . II – ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ = 1

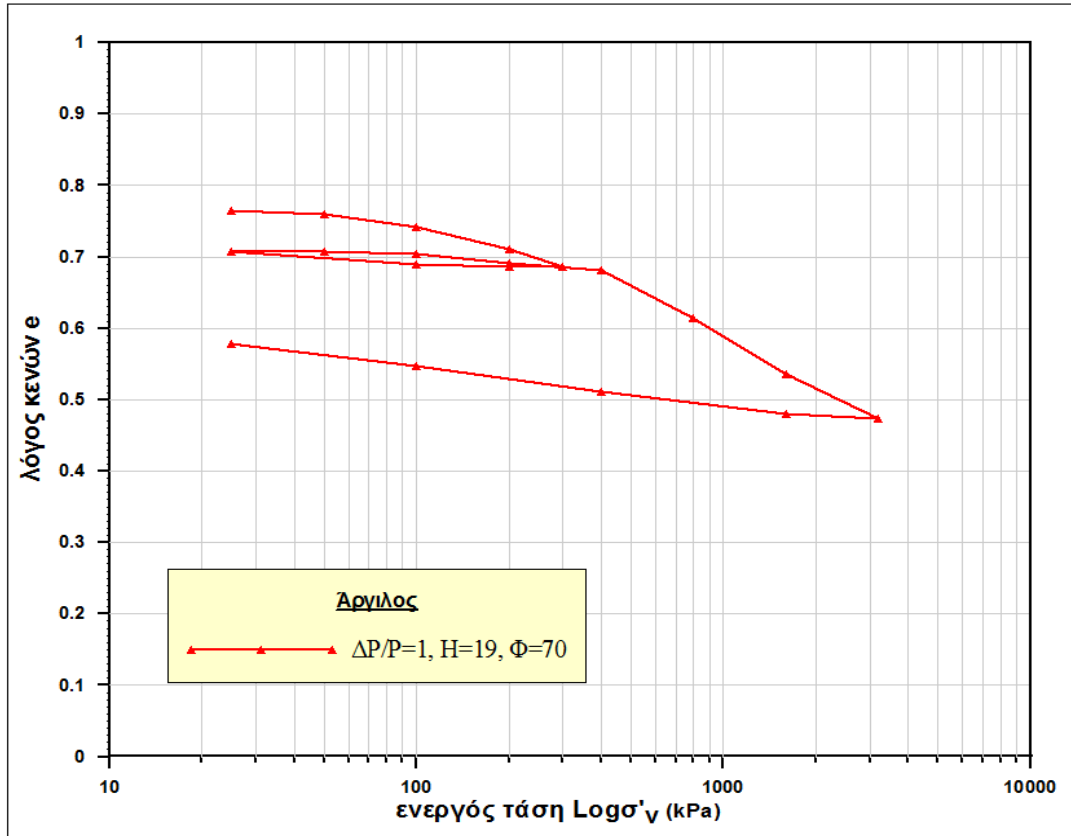
Στη θέση 1_b πραγματοποιήθηκε δοκιμή στερεοποίησης αργιλικού υλικού σύμφωνα με τις Βρετανικές προδιαγραφές και με τον τυπικό ρυθμό φόρτισης $\Delta P/P = 1$. Στη δοκιμή αυτή κρίθηκε σκόπιμο να δημιουργηθεί ένας κύκλος αποφόρτισης – επαναφόρτισης πριν την επιβολή των μεγαλύτερων τάσεων. Έτσι το δοκίμιο αρχικά φορτίστηκε έως την τάση των 300 kPa, στη συνέχεια αποφορτίστηκε στα 25 kPa, επαναφορτίστηκε έως το τελικό φορτίο και τελικώς αποφορτίστηκε ως την αφαίρεση κάθε φορτίου και το τέλος του πειράματος.

Στον Πίνακα 5.3 που ακολουθεί, υπάρχουν οι τιμές του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης (E_s), του συντελεστή μεταβολής όγκου (m_v), του συντελεστή συμπίεστότητας (C_c), του συντελεστή επαναφόρτισης (C_r) και του συντελεστή στερεοποίησης (c_v). Επίσης σχηματίστηκαν και οι καμπύλες $e - \text{Log} \sigma'_v$ και $\varepsilon(\%) - \text{Log} \sigma'_v$, οι οποίες δίνονται στα Διαγράμματα 5.3 και 5.4 αντίστοιχα.

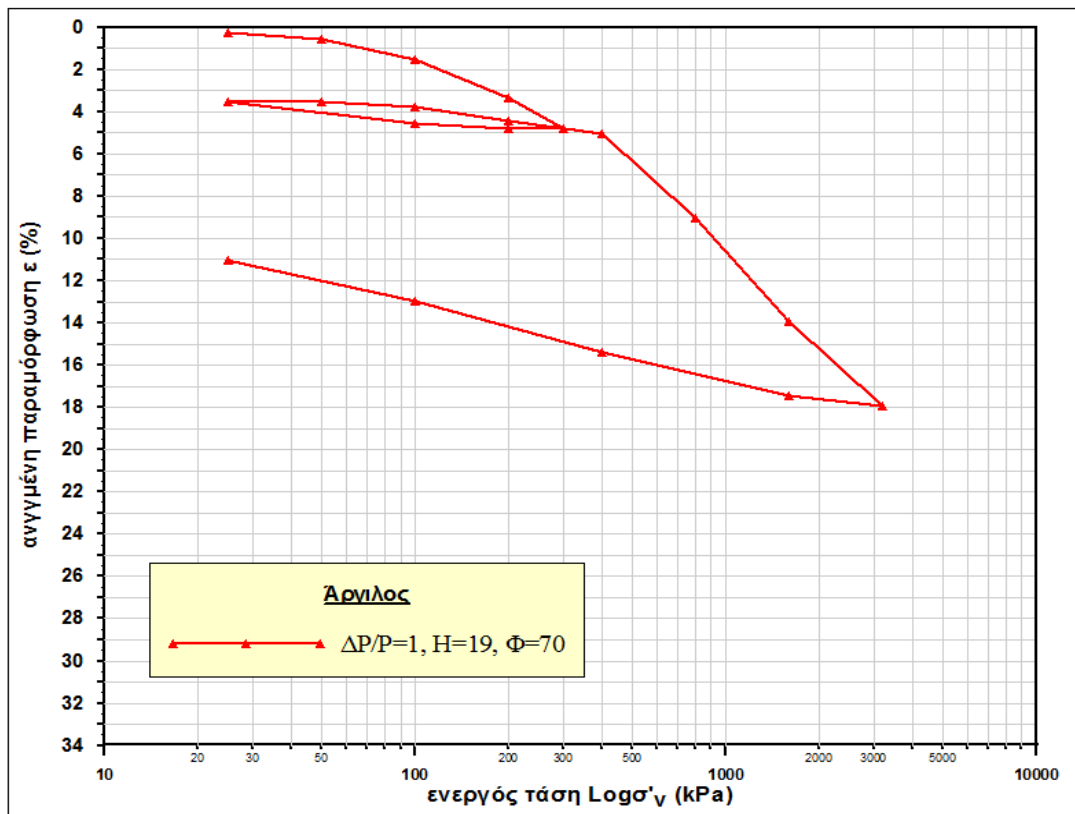
Η τιμή του δείκτη επαναφόρτισης είναι ο μέσος όρος των τριών τιμών που υπάρχουν στον πίνακα $C_r = 0,029$ (μέση τιμή $C_{r(100)}$, $C_{r(200)}$, $C_{r(400)}$) ενώ η τιμή του δείκτη συμπίεστότητας είναι ο μέσος όρος των δυο μεγαλύτερων τιμών των κλίσεων του ευθύγραμμου κλάδου της καμπύλης $C_c = 0,243$ (μέση τιμή των $C_{c(800)}$, $C_{c(1600)}$). Αξίζει να σημειωθεί πως στο τελευταίο βήμα φόρτισης παρατηρείται μείωση της κλίσης του ευθύγραμμου τμήματος στερεοποίησης όπως φαίνεται και στην τελευταία τιμή του συντελεστή C_c . Συγκεκριμένα περί την τάση των 1600 kPa η καμπύλη συμπίεσης παρουσιάζει μία ελαφριά ανάκαμψη δηλαδή μία μείωση της κλίσης της. Το ίδιο ακριβώς παρατηρείται και στην καμπύλη της ανηγμένης παραμόρφωσης. Αύτη η καμπύλη στερεοποίησης που προσεγγίζει μία μορφή τύπου S είναι χαρακτηριστική των ευαίσθητων αργίλων. Όσο πιο ευαίσθητη είναι η άργιλος τόσο εντονότερη γίνεται και η μορφή αυτή. Πιστεύεται επίσης ότι η ύπαρξη του σημείου ανάκαμψης οφείλεται στην μετάπτωση της δομής του υλικού από μία μετασταθή (meta-stable) δομή σε μία πιο σταθερή.

ΔΟΚΙΜΗ Νο. II					
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	c_v	C_c	C_r
0					
25	0,097	10,326	N.D.		
50	0,122	8,170	1,634		
100	0,193	5,191	1,555		
200	0,184	5,440	1,046		
300	0,146	6,854	0,840		
50	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.
100	0,049	20,467	N.D.		0,014
200	0,068	14,635	1,916		0,039
400	0,031	32,044	N.D.		0,035
800	0,099	10,093	0,904	0,221	
1600	0,061	16,282	0,813	0,264	
3200	0,025	39,971	0,583	0,204	

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ II



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ II



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.4 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ II

Η προηγούμενη περιγραφή αυτού του χαρακτηριστικού των ευαίσθητων αργίλων έχει αποδοθεί και αναλυθεί διεξοδικώς από τους Skempton και Northey (1952). Επίσης και οι Terzaghi – Peck (1948) αναφέρουν το γεγονός ότι άργιλοι με “ευαισθησία” 4 και πάνω παρουσιάζουν καμπύλες στερεοποίησης μορφής S.

5.1.3 ΔΟΚΙΜΗ No. III – ΔΟΚΙΜΙΟ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ ΥΨΟΥΣ

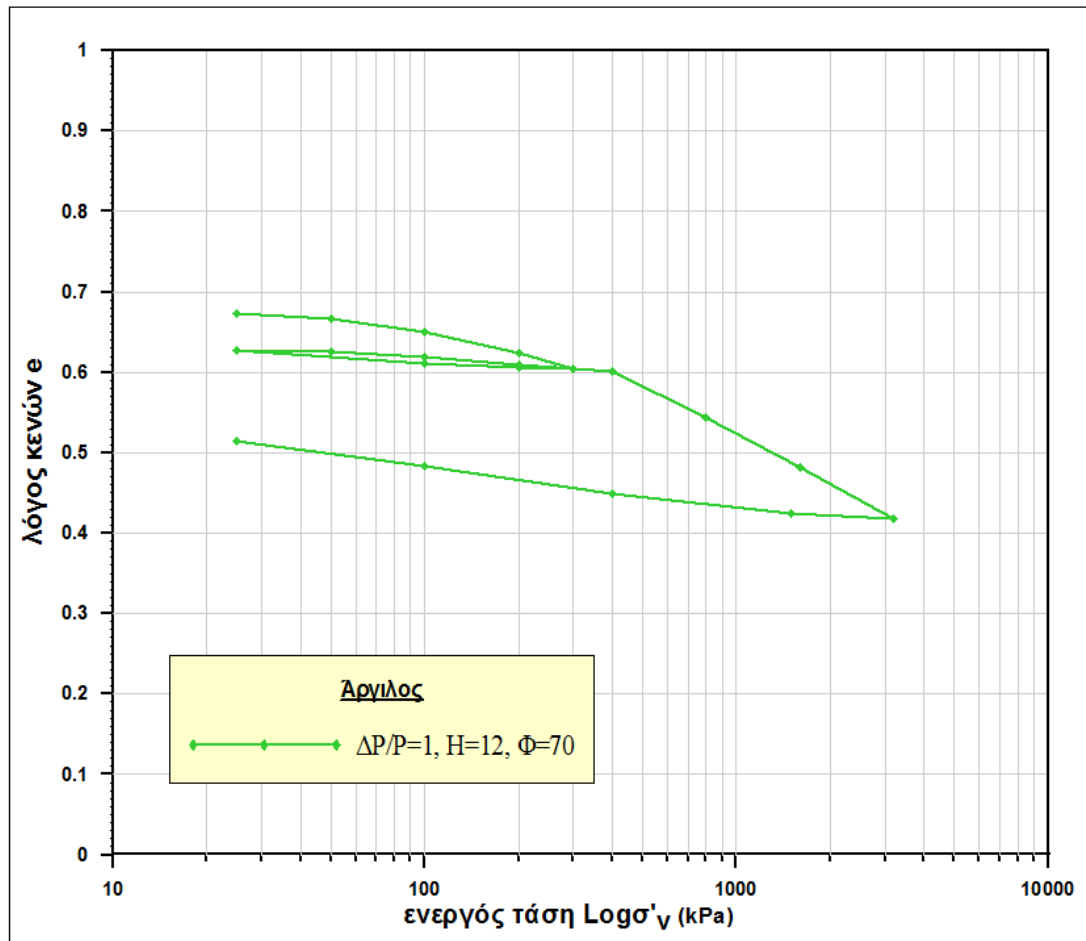
Στη θέση 2 των συμπιεσομέτρων του εργστηρίου συντελέστηκε ακριβώς η ίδια δοκιμή στερεοποίησης με αυτήν της προηγούμενης θέσης 1_b, με τη μόνη διαφορά στο ύψος (ή πάχος) του δοκιμίου. Το δοκίμιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν πάχους 12 mm ενώ σε όλες τις υπόλοιπες δοκιμές τα δοκίμια είχαν πάχος 19 mm. Ο ρυθμός φόρτισης ήταν $\Delta P/P = 1$, ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια αλληλουχία φορτίσεων με την δοκιμη Νο. II, καθώς και ίδια πορεία αποφόρτισης, επαναφόρτισης και τελικής αποφόρτισης.

ΔΟΚΙΜΗ No. III					
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	c_v	C_c	C_r
0					
25	0,172	5,814	N.D.		
50	0,175	5,701	1,990		
100	0,198	5,041	1,791		
200	0,157	6,353	1,398		
300	0,123	8,107	1,648		
50	0,043	23,062	N.D.		0,006
100	0,085	11,751	3,224		0,023
200	0,065	15,415	2,106		0,035
400	0,025	40,021	2,013		0,027
800	0,089	11,243	1,154	0,189	
1600	0,050	19,904	1,353	0,206	
3200	0,027	36,957	0,909	0,213	

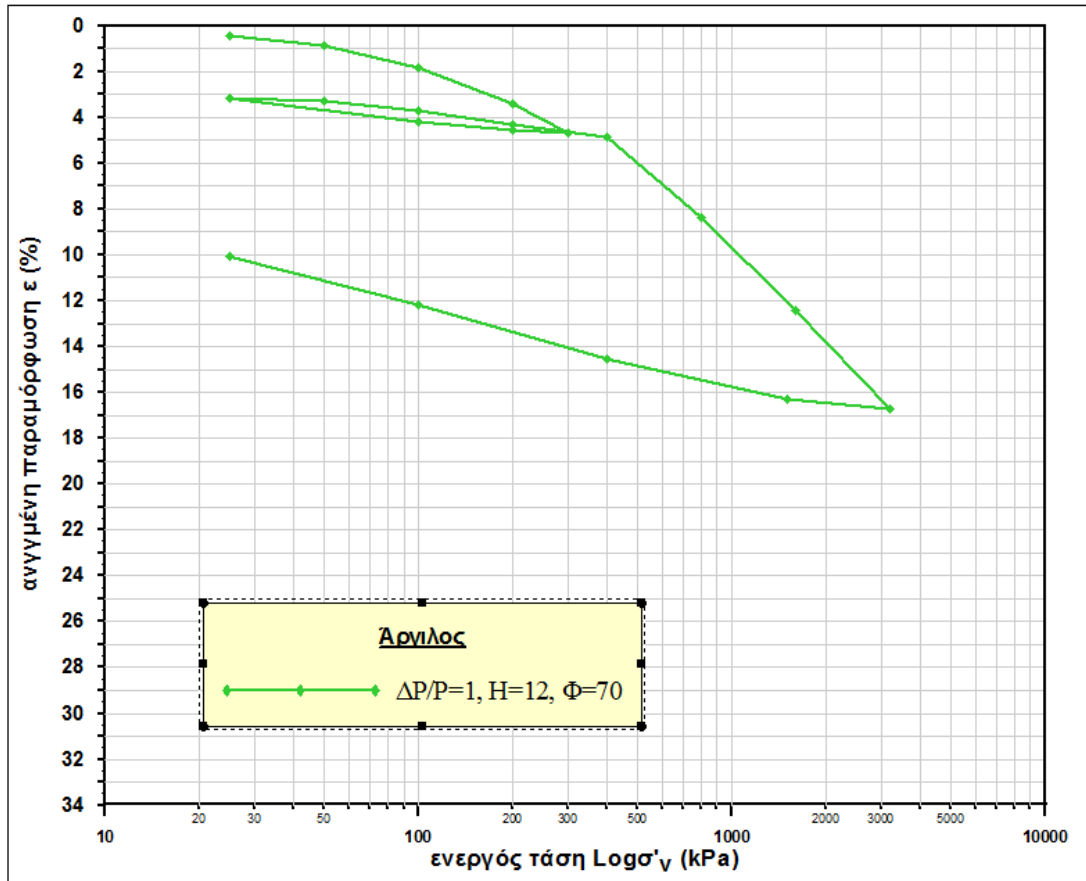
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ III

Ο Πίνακας 5.4 περιέχει τις τιμές καθενός βήματος φόρτισης των μεγεθών m_v , E_s , c_v , C_c και C_r της δοκιμής No. III. Η τιμή του συντελεστή επαναφόρτισης προκύπτει από τον μέσο όρο των τιμών των κλίσεων των βημάτων επαναφόρτισης και είναι $C_r = 0,023$ (μέση τιμή των $C_{r(50)}$, $C_{r(100)}$, $C_{r(200)}$, $C_{r(400)}$) ενώ αυτή του συντελεστή συμπίεσης από τον μέσο όρο των κλίσεων των ευθύγραμμων τμημάτων των δύο τελευταίων φορτίσεων $C_c = 0,210$ (μέση τιμή των $C_{c(1600)}$, $C_{c(3200)}$).

Επιπλέον σχεδιάστηκαν και οι καμπύλες $e - \text{Log}\sigma'_v$ και $\varepsilon(\%) - \text{Log}\sigma'_v$, όπως φαίνονται στα Διαγράμματα 5.5 και 5.6 αντίστοιχα. Σημειώνεται τέλος, πως σε αυτές δεν παρατηρείται το φαινόμενο του σημείου ανάκαμψης και μετάβασης σε μία σταθερότερη δομή όπως στις καμπύλες του προηγούμενου πειράματος.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.5 ΚΑΜΠΗΛΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ III



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.6 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΙΙΙ

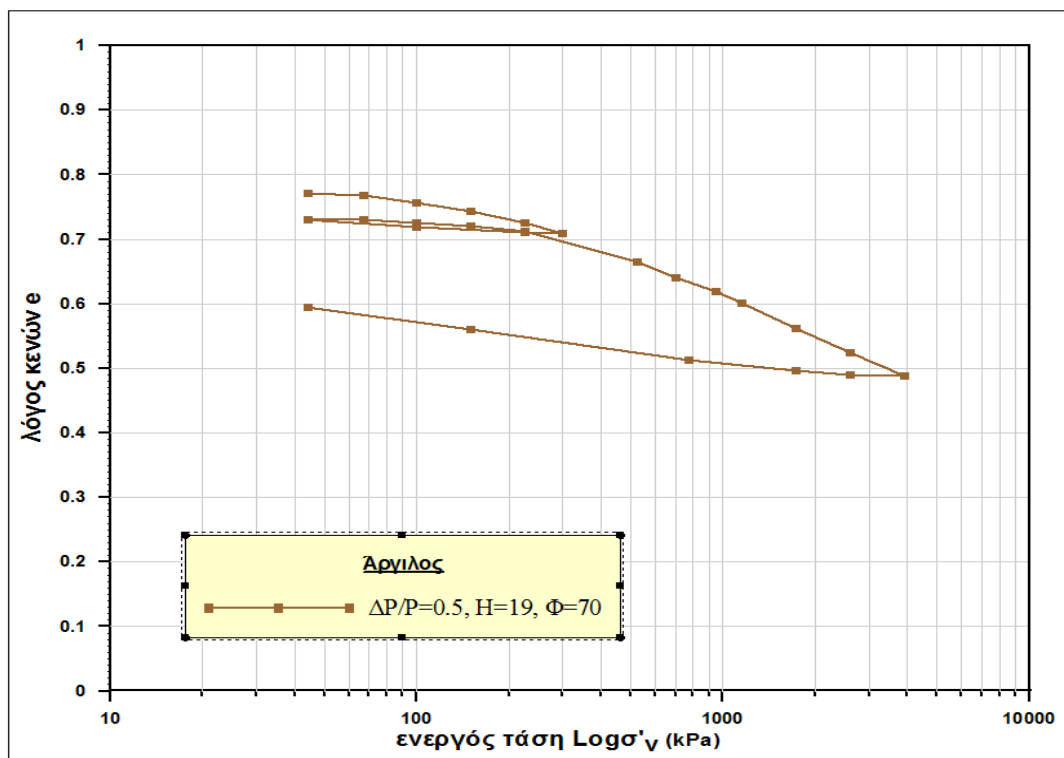
5.1.4 ΔΟΚΙΜΗ N_0 . IV – ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ = 0.5

Η δοκιμή αυτή εκτελέστηκε στην θέση 3 με δοκίμιου ύψους 19mm και διαμέτρου 70mm, ενώ ο ρυθμός φόρτισης του εδαφικού δοκίμιου ισούταν με 0,5. Ομοίως με τις άνωθεν δύο δοκιμές ακολουθήθηκε η ίδια πορεία φορτίσης, αποφόρτισης, επαναφόρτισης και τελικής αποφόρτισης, καθώς και προσδιορισμού των τιμών των μεγεθών του Πίνακα 5.5, αλλά και σχεδιασμού των καμπύλων $e - \text{Log } \sigma'_v$ και $\varepsilon(\%) - \text{Log } \sigma'_v$, των Διαγραμμάτων 5.7 και 5.8 αντίστοιχα.

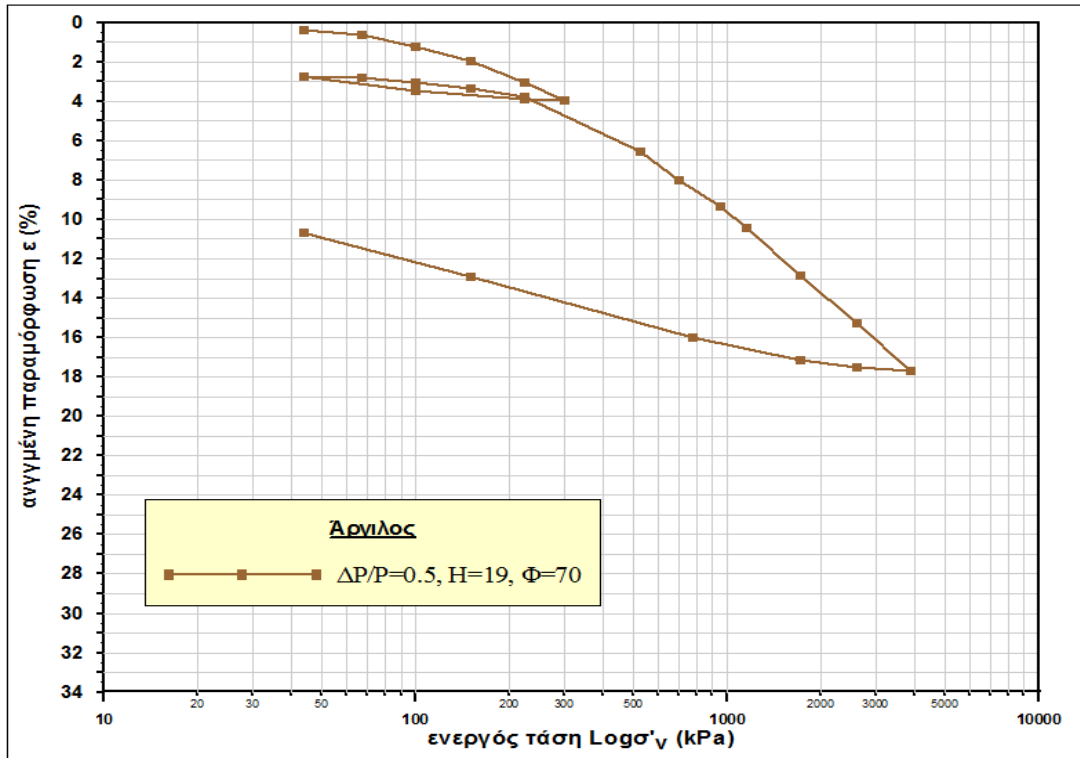
Η τιμή του συντελεστή επαναφόρτισης είναι ο μέσος όρος των τεσσάρων τιμών του πίνακα $C_r = 0,025$ (μέση τιμή των $C_{c(67)}$, $C_{r(100)}$, $C_{r(150)}$, $C_{r(225)}$) και η τιμή του συντελεστή συμπίεσης είναι ο μέσος όρος των τεσσάρων μεγαλύτερων τιμών των κλίσεων του ευθύγραμμου κλάδου της καμπύλης $C_c = 0,213$ (μέση τιμή των $C_{c(1150)}$, $C_{c(1725)}$, $C_{c(2600)}$, $C_{c(3900)}$).

ΔΟΚΙΜΗ Νο. IV					
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	c_v	C_c	C_r
0					
44	0,090	11,088	N.D.		
67	0,098	10,218	4,041		
100	0,186	5,390	1,325		
150	0,149	6,731	1,168		
225	0,139	7,179	0,672		
300	0,128	7,837	0,577		
67	0,031	32,704	N.D.		0,007
100	0,073	13,668	N.D.		0,024
150	0,060	16,752	2,596		0,029
225	0,057	17,666	1,929		0,041
350	0,093	10,732	1,279	0,130	
525	0,083	12,016	0,554	0,194	
775	0,054	18,564	0,523	0,167	
1150	0,054	18,589	0,601	0,210	
1725	0,042	23,730	0,571	0,220	
2600	0,028	36,214	0,494	0,212	
3900	0,019	53,405	0,570	0,211	

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ IV



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.7 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ IV



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.8 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ IV

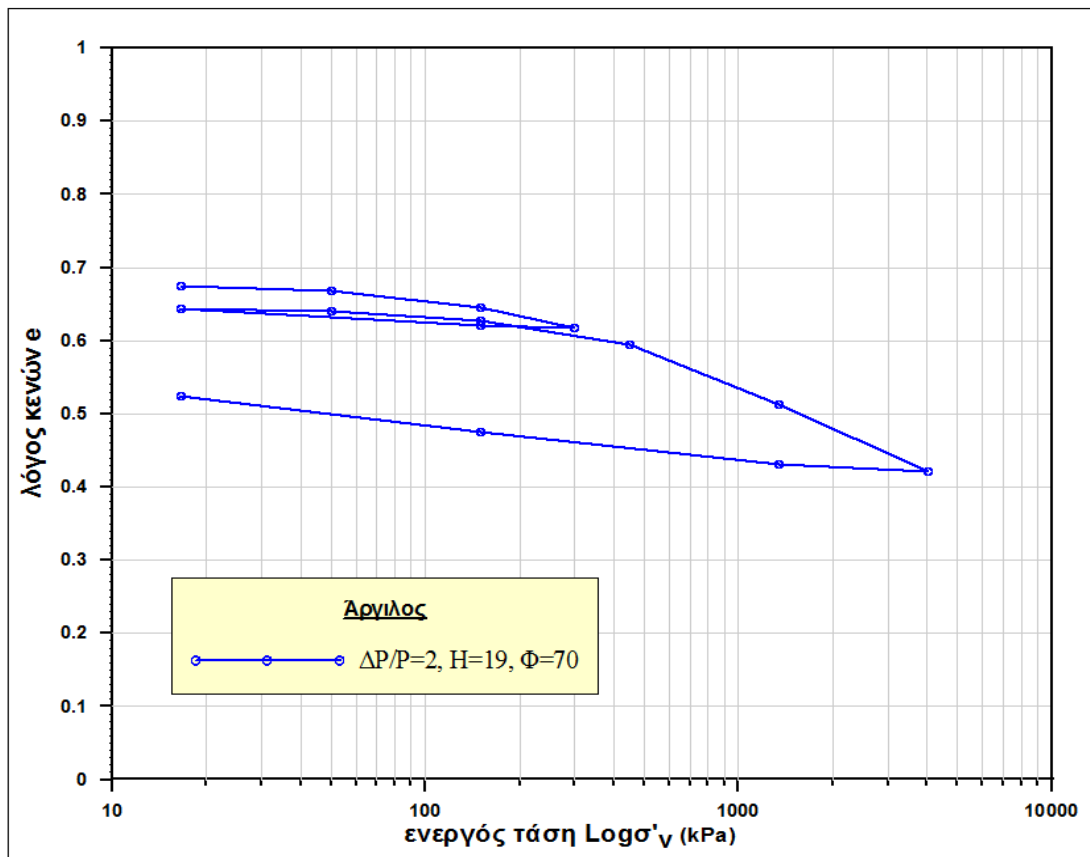
5.1.5 ΔΟΚΙΜΗ N_0 . V – ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ = 2

Στη θέση 4, σε δοκίμιο 19 mm ύψους και 70 mm διαμέτρου, πραγματοποιήθηκε δοκιμή στερεοποίησης με ρυθμό φόρτισης 2 και κλάδους φόρτισης, αποφόρτισης και επαναφόρτισης όμοιους με αυτούς των προηγούμενων δοκιμών. Τα αριθμητικά αποτελέσματα των διαφόρων μεγεθών που απασχολούν κατά την μονοδιάστατη στερεοποίηση υπάρχουν στον Πίνακα 5.6 και οι καμπύλες $e - \text{Log } \sigma'_v$ και $\epsilon(\%) - \text{Log } \sigma'_v$ δίνονται στα Διαγράμματα 5.9 και 5.10.

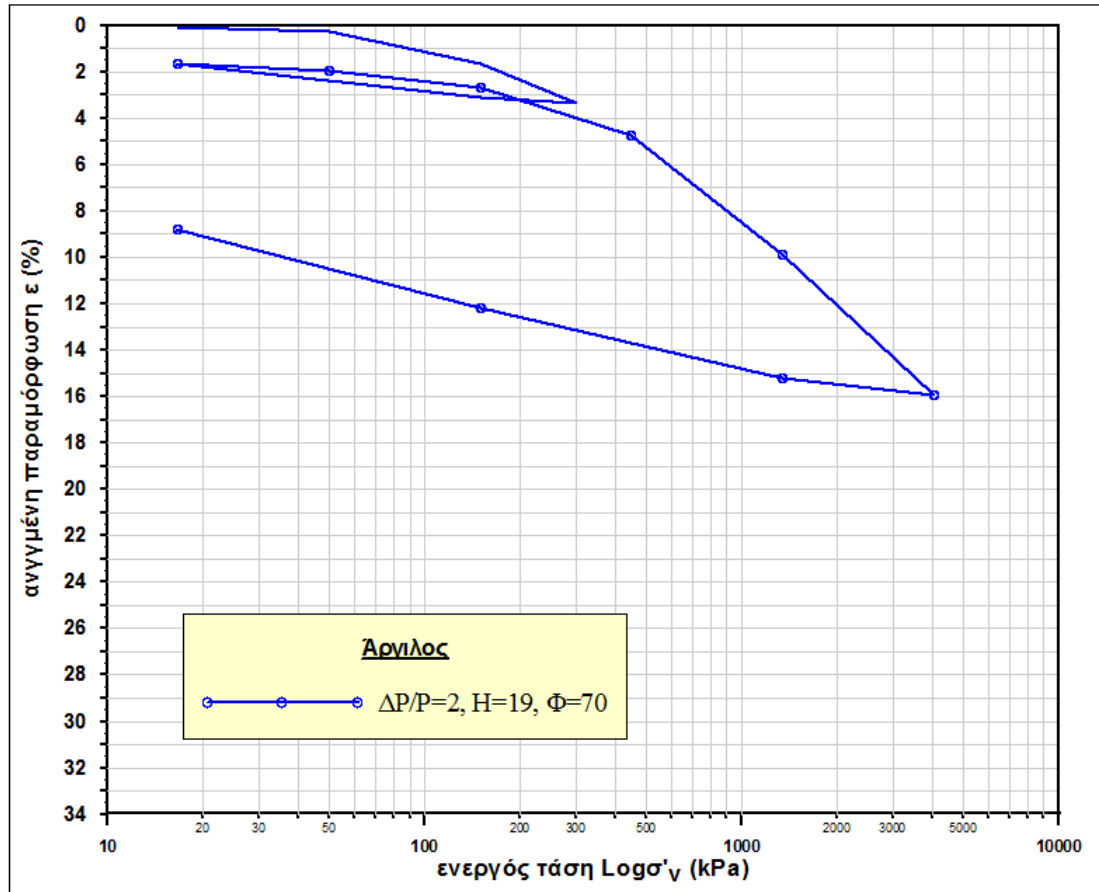
Στη δοκιμή αυτή το ευθύγραμμο τμήμα με την μεγαλύτερη κλίση είναι αυτό του τελευταίου βήματος φόρτισης, άρα η τιμή του συντελεστή στερεοποίησης είναι $C_c = 0,192$. Ο συντελεστής επαναφόρτισης είναι ίσος με τον μέσο όρο των αντίστοιχων τιμών του Πίνακα 5.5 $C_r = 0,018$ (μέσος όρος των $C_{r(50)}$, $C_{r(150)}$).

ΔΟΚΙΜΗ Νο. V					
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	c_v	C_c	C_r
0					
16.6	-0,089	N.D.	N.D.		
50	0,119	8,407	5,019		
150	0,141	7,082	3,022		
300	0,111	9,018	2,212		
50	0,081	12,379	4,934		0,009
150	0,076	13,119	2,448		0,026
450	0,069	14,587	1,836	0,070	
1350	0,057	17,553	1,013	0,171	
4050	0,022	44,640	0,956	0,192	

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ V



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.9 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ V

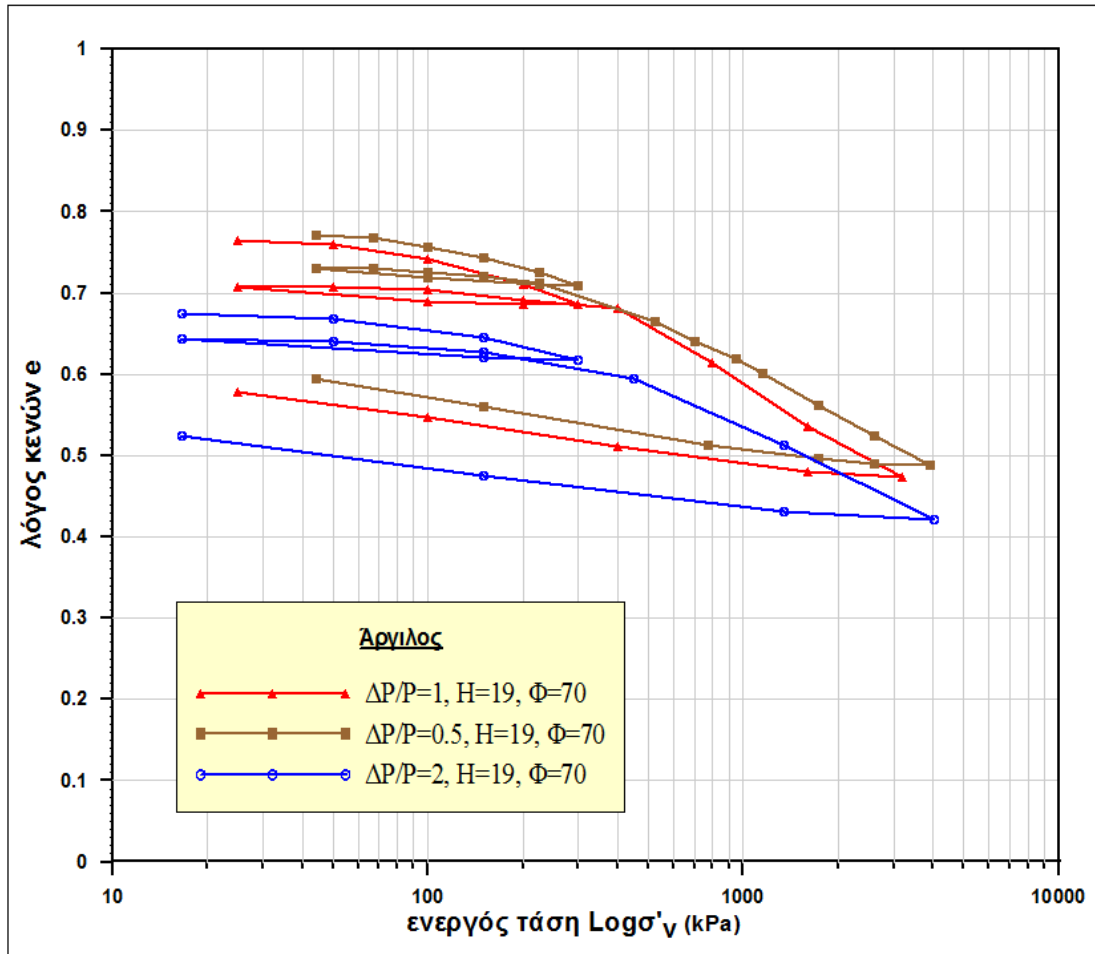


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.10 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ V

5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Σκοπός της ενότητας αυτής είναι να επιδείξει το πώς η διαφοροποίηση στον ρυθμό φόρτισης επηρεάζει το φαινόμενο της στερεοποίησης σε ένα αγλικό εδαφικό υλικό. Η επίδραση αυτή θα διερευνηθεί υπό την σκοπιά του μεγέθους των καθιζήσεων που αναπτύσσονται αλλά και της χρονικής εξέλιξης τους, στις δύο υποενότητες που ακολουθούν.

Πριν όμως αναλυθούν οι ανωτέρω πτυχές του προβλήματος, παρατίθενται οι τρεις καμπύλες $e - \text{Log} \sigma'_v$ (μία για τον κάθε ρυθμό φόρτισης) στο ίδιο Διάγραμμα, ώστε να εντοπιστούν οι όποιες διαφοροποιήσεις τους, λόγω του διαφορετικού $\Delta P/P$.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.11 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΡΥΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΡΓΙΛΟ

Από το Διάγραμμα 5.11 φαίνεται πως και οι 3 καμπύλες να έχουν την ίδια μορφή χωρίς να έχουν επηρεαστεί σημαντικά από τον διαφορετικό ρυθμό φόρτισης. Διαπιστώνεται πάντως, πως η τιμή της τάσης προφόρτισης προκύπτει διαφορετική για τη συγκεκριμένη άργιλο με την αλλαγή του $\Delta P/P$, και συγκεκριμένα αυξάνεται με την αύξηση του. Οι τιμές που υπολογίστηκαν είναι: $p_c^{(2)} = 437,6 > p_c^{(1)} = 416,2 > p_c^{(0,5)} = 391,2$. Σημειώνεται πως η τιμή της p_c για τον μικρότερο ρυθμό φόρτισης είναι πιο κοντά σε αυτήν που προσδιορίστηκε ως τάση προφόρτισης του υλικού από την σχετική δοκιμή, κάτι που αναμενόταν. Επιπλέον μπορεί να τονιστεί πως και για τους 3 ρυθμούς φόρτισης, κατά την τελική αποφόρτιση η ελαστική ανάκαμψη του λόγου κενών είναι ίδια και ίση με 0,1. Ακόμα, η ελαφριά ανάκαμψη της κλίσης της καμπύλης του υλικού στο τελευταίο βήμα φόρτισης, που σηματοδοτεί την μετάβαση σε ένα πιο σταθερό υλικό παρατηρείται μόνο για $\Delta P/P = 1$. Τέλος πρέπει να επισημανθεί πως καθώς οι τάσεις μεγαλώνουν και οι 3 καμπύλες συγκλίνουν αναμεταξύ τους, με αποτέλεσμα να μπορεί να υποθεθεί πως αν μπορούσαν να επιτευχθούν μεγαλύτερες τάσεις θα γινόταν πιο ευδιάκριτη η

σύγκλιση των κλάδων επαναφόρτισης προς ένα ίδιο σημείο. Το παραπάνω μπορεί να διαπιστωθεί και από τις τιμές e_0 και e_{min} του Πίνακα 5.1, όπου οι διαφορές των λόγων κενών για κάθε ζεύγος των τριών δοκιμών ισχύει:

$$e_0^{(i)} - e_0^{(j)} > e_{min}^{(i)} - e_{min}^{(j)}$$

5.2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Μία αρχική εκτίμηση για την επίδραση του ρυθμού φόρτισης στην συμπίεστικότητα της αργίλου μπορεί να γίνει μέσω των συντελεστών συμπίεστικότητας. Βάσει λοιπόν των προαναφερθέντων αποτελεσμάτων ισχύει:

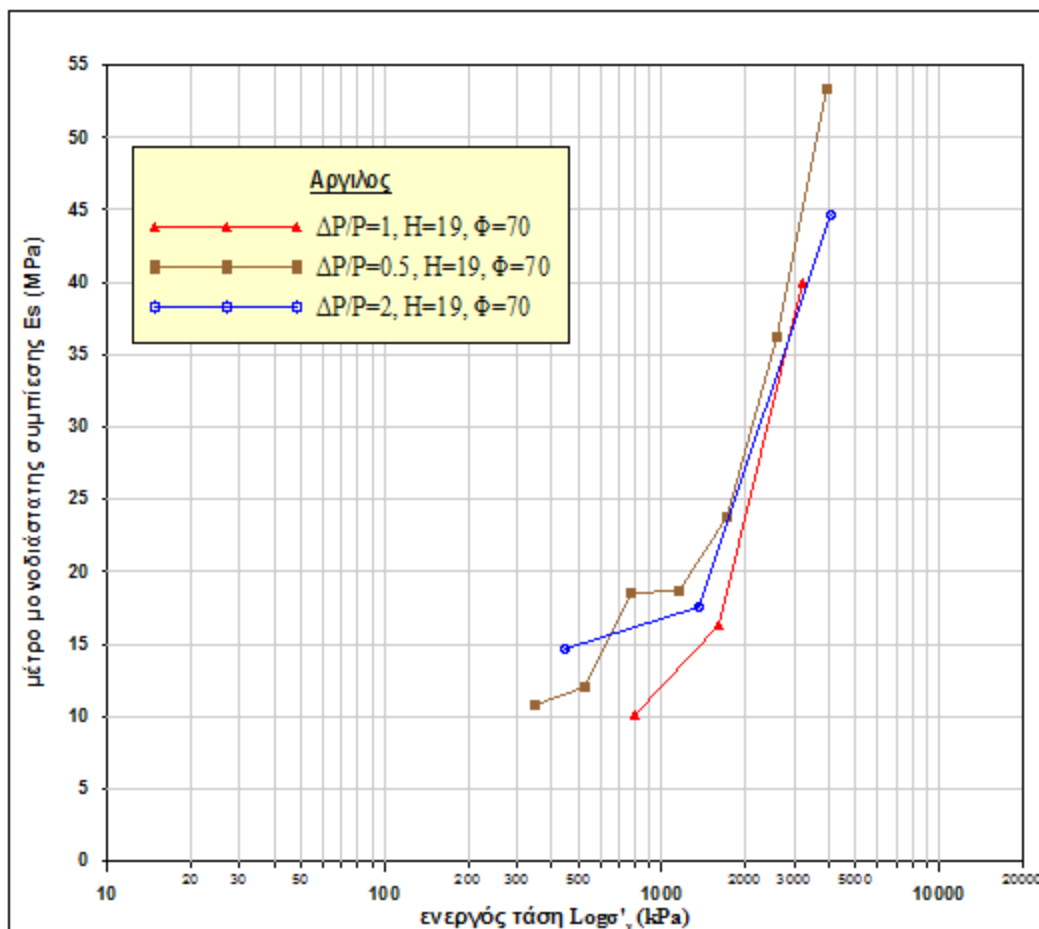
$$C_c^{(1)} > C_c^{(0.5)} > C_c^{(2)} \quad \dots (5.1)$$

Βέβαια ο συντελεστής συμπίεστικότητας περιγράφει την συμπίεστικότητα ενός σχηματισμού για τάσεις μεγαλύτερες της τάσης προφόρτισης και όχι για όλη τη φόρτιση. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι και ιδιαίτερος αρνήτικο διότι το μεγαλύτερο τμήμα των καθιζήσεων συντελείται στην περιοχή των τάσεων που συνδέονται με τον συντελεστή C_c διότι η συμπίεστικότητα των εδαφικών σχηματισμών είναι αισθητά μικρότερη μέχρι το σημείο προφόρτισης όπως φαίνεται και από τις τιμές των συντελεστών επαναφόρτισης C_r .

Σε μία παρόμοια διαπίστωση πάνω στο θέμα της συμπίεστικότητας οδηγεί και το Διάγραμμα 5.2. Σε αυτό δίνονται οι καμπύλες της μεταβολής του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης συναρτήσει της κατακόρυφης ενεργού τάσης για φορτία πέραν του σημείου προστερεοποίησης. Όπως αναμενόταν και για τους τρεις ρυθμούς φόρτισης η τιμή του μέτρου E_s αυξάνεται συνεχώς με την αύξηση της ενεργού τάσης. Συγκεκριμένα από τα 500 έως τα 1000 kPa το μέτρο E_s είναι μεγαλύτερο για ρυθμό φόρτισης 2, μικρότερο για $\Delta P/P = 0.5$ και αρκετά πιο μικρό (περίπου 5 MPa) για $\Delta P/P = 1$. Από τα 1000 έως τα 2000 kPa οι τιμές του μέτρου είναι παραπλήσιες για $\Delta P/P = 2$ και $\Delta P/P = 0.5$ και εμφανώς μεγαλύτερες από αυτές για $\Delta P/P = 1$. Στο τελευταίο κομμάτι παρατηρείται πως το μέτρο E_s να είναι περίπου ίδιο για $\Delta P/P = 1$ και $\Delta P/P = 2$ και ελαφρώς μεγαλύτερο για $\Delta P/P = 0.5$.

Η παραπάνω συμπεριφορά η οποία περιγράφηκε, αποτελεί το σύνθετο αποτέλεσμα δύο διαφορετικών αιτιών. Ο Langer (1963) ερευνώντας την επίδραση του ρυθμού φόρτισης σε δοκιμές συμπίεστικότητας αργιλικών εδαφών παρατήρησε πως με την αύξηση του ρυθμού φόρτισης αυξάνεται η

συμπιεστότητα άρα μειώνεται το μέτρο E_s . Απέδωσε αυτό το γεγονός στο ότι μία απότομη αύξηση της φορτίσεως δημιουργεί πρώτον μία κρούση (shock) στον εδαφικό σκελετό και δεύτερον αναπτύσσει μεγάλη υδροστατική υπερπίεση πόρων με αποτέλεσμα την εσωτερική θραύση της δομής. Τόνισε επίσης πως η επίδραση του ρυθμού φόρτισης είναι εντονότερη στις στιφρές από ότι στις μαλακές αργίλους. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Leonard και Altschefael (1964) που πειραματίστηκαν σε αργιλικά ιζήματα, αποδίδοντας το γεγονός στην μεγαλύτερη διολίσθηση (slippage) που συμβαίνει μεταξύ περισσοτέρων εδαφικών σωματιδίων στα σημεία επαφής, κατά τους μεγαλύτερους ρυθμούς φόρτισης.



$E_{s(450\text{kPa})}$		$E_{s(1350\text{kPa})}$		$E_{s(4050\text{kPa})}$		
14,59		17,55		44,64		
$E_{s(800\text{kPa})}$		$E_{s(1600\text{kPa})}$		$E_{s(3200\text{kPa})}$		
10,09		16,28		39,97		
$E_{s(350\text{kPa})}$	$E_{s(525\text{kPa})}$	$E_{s(775\text{kPa})}$	$E_{s(1150\text{kPa})}$	$E_{s(1725\text{kPa})}$	$E_{s(2600\text{kPa})}$	$E_{s(3900\text{kPa})}$
10,73	12,02	18,56	18,59	23,73	36,21	53,05

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.12 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ $\Delta P/P$ ΣΤΗΝ ΑΡΓΙΛΟ

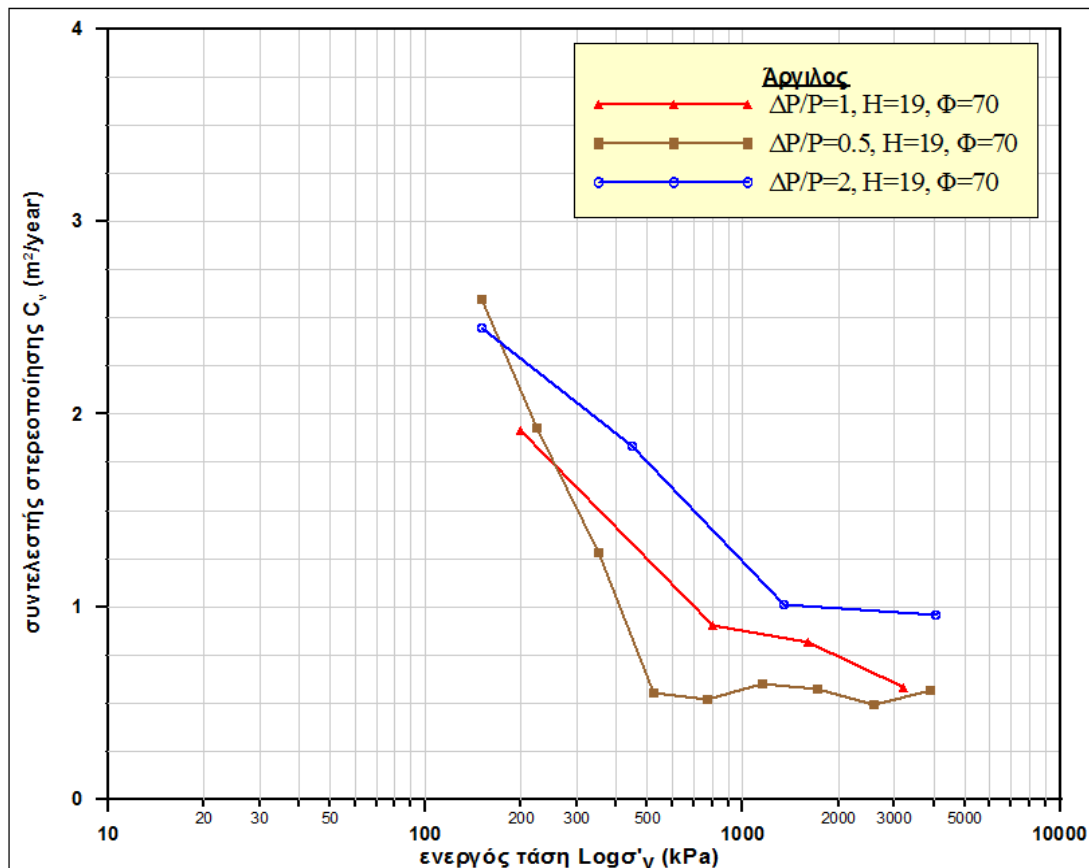
Ομοίως οι Yong και Warkentin (1975) ερμήνευσαν την συμπεριφορά αυτή μεσώ της ανακατάταξης των εδαφικών σωματιδίων σε νέες θέσεις ισορροπίας. Έτσι σε περίπτωση μεγάλου $\Delta P/P$ τα σωματίδια μετατοπίζονται περισσότερο ενώ παράλληλα αναπτύσσεται και μεγάλη υπερπίεση πόρων που κινεί επιπλέον ορισμένα σωματίδια και προκαλλει αυξημένο βαθμό συμπίεσεως. Βάσει των παραπάνω αναμενόταν μεγαλύτερο E_s για $\Delta P/P = 0.5$ από ότι για $\Delta P/P=1$, κάτι το οποίο φαίνεται καθαρά στο Διάγραμμα 5.11 για όλα τα βήματα φόρτισης. Παρατηρήθηκε όμως και μικρότερη αναμενομένου συμπίεστότητα για τον $\Delta P/P = 2$ ενώ θα αναμενόταν μεγαλύτερη και από αυτήν του $\Delta P/P = 0.5$ αλλά και από αυτήν του $\Delta P/P = 1$. Αυτό δεν αποδίδεται στην δράση διαφορετικών μηχανισμών από αυτούς που αναφέρθηκαν πριν, αλλά στη συμβολή της δευτερογενούς συμπίεσης η οποία είναι αρκετά σημαντική στις μαλακές αργίλους.

Στην περίπτωση του $\Delta P/P = 2$ η επαναφόρτιση πραγματοποιείται μέσα σε 5 ημέρες ενώ στις άλλες δύο περιπτώσεις σε 7 και 11 αντίστοιχα. Έτσι κατά την επίτευξη μεγάλων πιέσεων με μικρό ρυθμό $\Delta P/P$, ο συνολικός χρόνος παραμονής των φορτίων, ένεκα της ανάπτυξης της δευτερογενούς στερεοποίησεως μπορεί να επηρεάσει την συμπίεστότητα περισσότερο από τον ρυθμό επιβολής των φορτίων, με αποτέλεσμα να παρουσιαστεί μεγαλύτερο E_s για $\Delta P/P = 2$ από ότι για $\Delta P/P = 1$ όπως στα συγκεκριμένα πειράματα. Αυτό το φαινόμενο το οποίο αντιβαίνει στην υπό των περισσότερων ερευνητών επικρατούσα άποψη διατύπωσαν και οι Brand και Kim (1971) σε έρευνα που έκαναν για την συμπίεστότητα της ευαίσθητης μαλακής αργίλου της Bangkok. Προφανώς και σε αυτήν την ευαίσθητη άργιλο με 'ανοικτή' δομή, η ανάπτυξη της δευτερογενούς συμπίεσεως επηρέασε περισσότερο την συμπεριφορά της αργίλου, από ότι η πρόκληση μικρότερης κρούσης στις περιπτώσεις μικρών ρυθμών φόρτισης.

Συμπερασματικά λοιπόν αναφέρεται πως, οι συμπεριφορές της αργίλου ως προς την συμπίεστότητα καθορίζεται από την επίδραση των δύο αυτών παραγόντων. Έτσι αν και ο μικρότερος ρυθμός φόρτισης συνήθως συνεπάγεται μικρότερη συμπίεστότητα του εδάφους, σε ορισμένες περιπτώσεις μαλακών αργίλων που παρουσιάζουν σημαντική δευτερογενή συμπίεση, η επίδραση της μεγάλης χρονικής διάρκειας των μικρών ρυθμών φόρτισης οδηγεί τελικώς σε μεγαλύτερη συμπίεστότητα εν σύγκριση με την εδαφική συμπίεστότητα για μεγαλύτερους ρυθμούς φόρτισης.

5.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε στις σχετικές ενότητες του κεφαλαίου 3, ο ρυθμός εξέλιξης της πρωτογενούς στερεοποίησης, για μία επιβληθείσα φόρτιση εκφράζεται σύμφωνα με την θεωρία του Terzaghi από μία παράμετρο που ονομάζεται συντελεστής στερεοποίησης c_v . Βάσει της σχέσης (3.25) ο συντελεστής αυτός συνδέεται με τον συντελεστή υδατοπερατότητας του εδάφους k , το ειδικό βάρος του νερού γ_w και τον συντελεστή μεταβολής όγκου m_v . Από αυτά είναι προφανές ότι ο ρυθμός της συμπίεσης εξαρτάται κυρίως από την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, όπως υποστήριξαν και οι Lambe – Whitman (1969), αλλά και από την συμπιεστότητα του εδαφικού σκελετού.



$C_v(150\text{kPa})$		$C_v(450\text{kPa})$		$C_v(1350\text{kPa})$		$C_v(4050\text{kPa})$		
2,448		1,836		1,013		0,956		
$C_v(200\text{kPa})$		$C_v(800\text{kPa})$		$C_v(1600\text{kPa})$		$C_v(3200\text{kPa})$		
1,916		0,904		0,813		0,583		
$C_v(150\text{kPa})$	$C_v(350\text{kPa})$	$C_v(525\text{kPa})$	$C_v(775\text{kPa})$	$C_v(1150\text{kPa})$	$C_v(1725\text{kPa})$	$C_v(2600\text{kPa})$	$C_v(3900\text{kPa})$	$C_v(350\text{kPa})$
2,596	1,929	1,279	0,554	0,523	0,601	0,571	0,494	0,570

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.13 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ $\Delta P/P$ ΣΤΗΝ ΑΡΓΙΛΟ

Στην παρούσα έρευνα προσδιορίστηκε ο συντελεστής στερεοποίησης σε κάθε βήμα φόρτισης και στο παραπάνω Διάγραμμα 5.13 φαίνεται η μεταβολή του c_v συναρτήσει της κατακορύφου ενεργού τάσης, και για τους τρεις ρυθμούς φόρτισης που εξετάστηκαν.

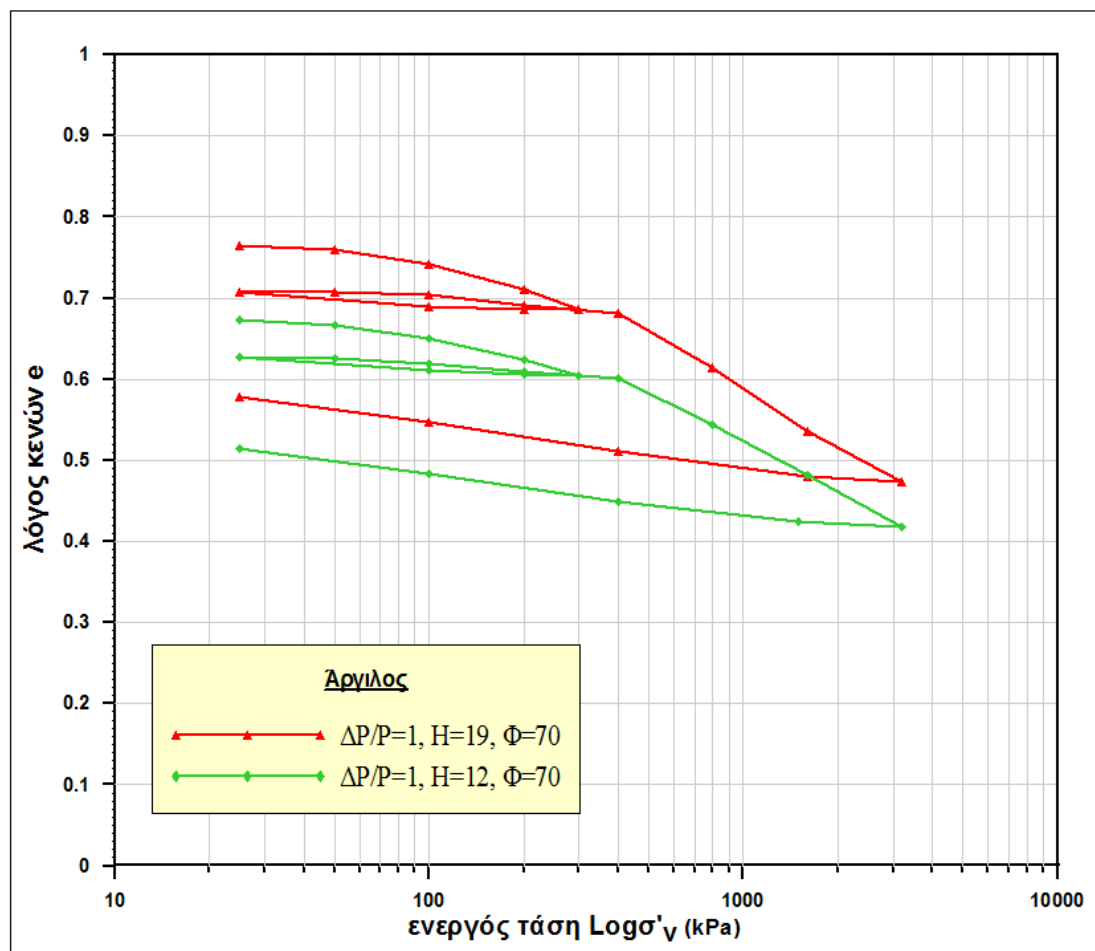
Είναι γνωστό ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής στερεοποίησης τόσο μικρότερος είναι και ο χρόνος ολοκλήρωσης της πρωτογενούς στερεοποίησης. Στο Διάγραμμα 5.12 παρατηρείται ότι και στις τρεις περιπτώσεις, ο συντελεστής στερεοποίησης μειώνεται έντονα με την αύξηση της πίεσης μέχρι περίπου την τάση προφόρτισης. Στη συνέχεια μειώνεται με μικρότερο ρυθμό μέχρι το σημείο ανάκαμψης (εφόσον πρόκειται για μαλακές αργίλους που παρουσιάζουν μορφή S και σημείο ανάκαμψης) και στο τέλος για της μεγάλες τιμές των πιέσεων φαίνεται να σταθεροποιείται η τιμή του περί μια ελάχιστη τιμή.

Η συμπεριφορά του υλικού στον κλάδο της προφόρτισης μπορεί να αποδοθεί στην πολύ μικρή μείωση του συντελεστή m_v σε σύγκριση με την πτώση της διαπερατότητας λόγω μείωσης των κενών. Στη συνέχεια τα σχετικά μεγέθη των μειώσεων των k , m_v καθορίζουν και τον μικρότερο ρυθμό μείωσης του συντελεστή c_v για τάσεις μεγαλύτερες της p_c . Και τέλος στις πολύ μεγάλες τιμές των τάσεων, μια σχεδόν ανάλογη μείωση των k , m_v δίνει περίπου μία σταθερά τιμή στον συντελεστή στερεοποίησης c_v .

Ως προς την επίδραση του ρυθμού φόρτισης στις τιμές του συντελεστή στερεοποίησης, φαίνεται καθαρά πως οι τιμές του c_v τείνουν να ελλατωθούν καθώς μικραίνει η τιμή του $\Delta P/P$. Το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο στους κλάδους κοντά στην τάση προφόρτισης και λιγότερο έντονο στις μεγάλες τιμές των πιέσεων μετά το σημείο ανάκαμψης. Το συμπέρασμα αυτό κρίνεται λογικό εφόσον ήταν αναμενόμενο το φαινόμενο της στερεοποίησης να συντελείται γρηγορότερα για μεγάλους ρυθμούς φόρτισης όπου μια συγκεκριμένη πίεση μπορεί να επιτευχθεί με πολύ λιγότερες διαδοχικές φορτίσεις από ότι για ρυθμό φόρτισης της τάξεως του 0.5.

5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

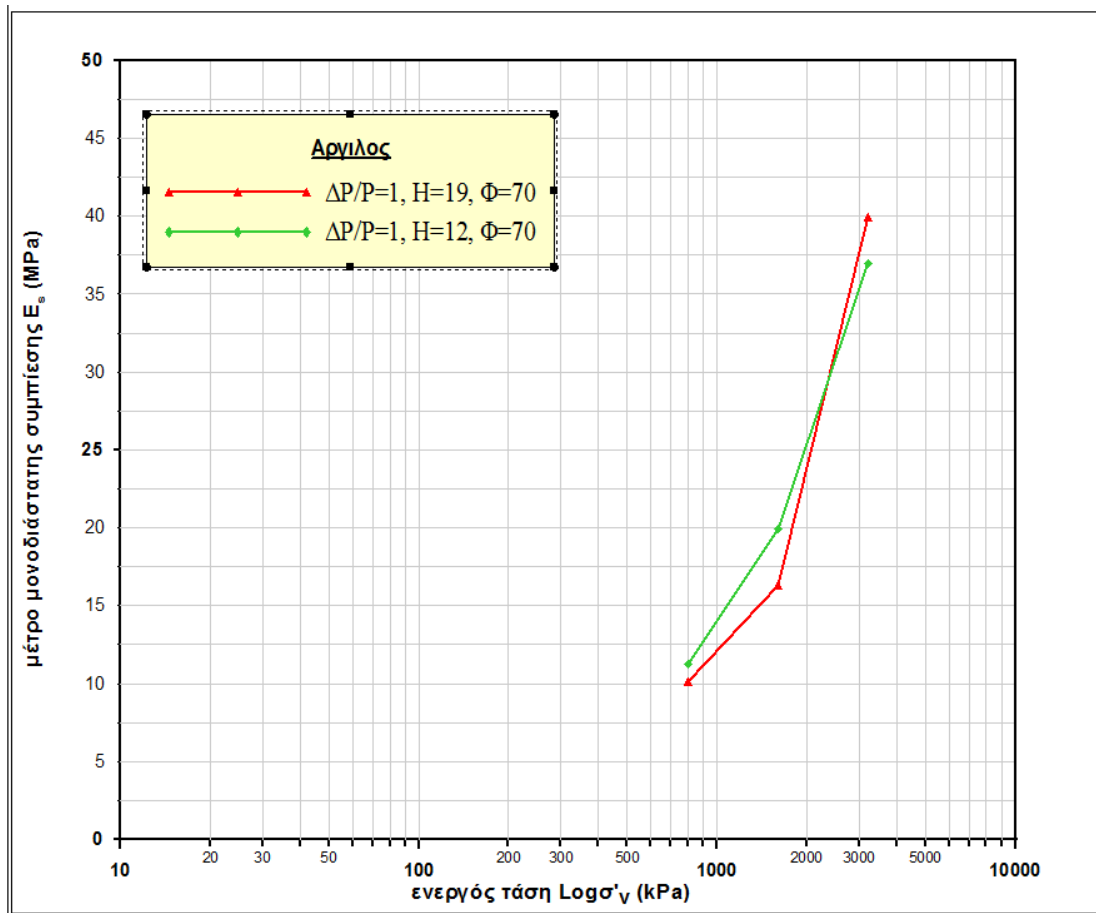
Στις δύο παρακάτω υποενότητες εξετάζεται η επίδραση του ύψους του δοκιμίου στα χαρακτηριστικά της στερεοποίησης. Στις περισσότερες των περιπτώσεων οι δοκιμές στερεοποίησης διεξάγονται σε δοκίμια ύψους περίπου 2 cm, σύμφωνα και με τις προδιαγραφές των αμερικάνικων και των βρετανικών προτύπων. Σκοπός της έρευνας όμως ήταν και η διερεύνηση της δοκιμής σε ένα ίδιο ακριβώς αργιλικό υλικό για δοκίμιο μικρότερου ύψους καθώς και η αντιπαράταξη των χαρακτηριστικών της δοκιμής αυτής με την αντίστοιχη του δοκιμίου των 1,9 cm. Αρχικά παρατίθεται το Διάγραμμα 5.14 με τις καμπύλες στερεοποίησης και των δύο δοκιμών. Φαίνεται ξεκάθαρα πως οι δύο καμπύλες είναι ακριβώς ίδιες με μόνη διαφορά την μεγαλύτερη τιμή του αρχικού λόγου κενών στο δοκίμιο του μεγαλύτερου δοκιμίου με αποτέλεσμα όλη η κόκκινη καμπύλη να είναι υψηλότερα από την πράσινη. Η σύγκλιση που αναφέρθηκε και παραπάνω παρατηρείται σχηματικά και στο παρών διάγραμμα αλλά και μέσω των τιμών e_0 και e_{min} του Πίνακα 5.1.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.14 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΡΓΙΛΟ

5.3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

Βάσει των συντελεστών συμπίεστος και του ύψους του δοκιμίου, ισχύει: $C_c^{(19)} > C_c^{(12)}$. Η ίδια σχέση ισχύει και για τις τιμές των συντελεστών επαναφόρτισης. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως με την μείωση του ύψους συνεπάγεται και μείωση της συμπίεστος της εδαφικής μάζας, καθ' όλην την καμπύλη συμπίεσης. Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγεί και το Διάγραμμα 5.15 για την περιοχή πέραν του σημείου προστερεοποίησης.



$E_{s(800kPa)}$	$E_{s(1600kPa)}$	$E_{s(3200kPa)}$
11,24	19,90	36,96
$E_{s(800kPa)}$	$E_{s(1600kPa)}$	$E_{s(3200kPa)}$
10,09	16,28	39,97

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.15 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΡΓΙΛΟ

Στο διάγραμμα αυτό η τιμή του μέτρου E_s είναι μεγαλύτερη για το δοκίμιο μικρότερου ύψους για τάσεις μέχρι και 2500 kPa περίπου, με την διαφορά των τιμών να μειώνεται καθώς αυξάνεται η τάση, ενώ για ένα μικρό κομμάτι πέραν των 2500 kPa η τιμή του E_s του μεγαλύτερου δοκιμίου γίνεται ελάχιστα μεγαλύτερη.

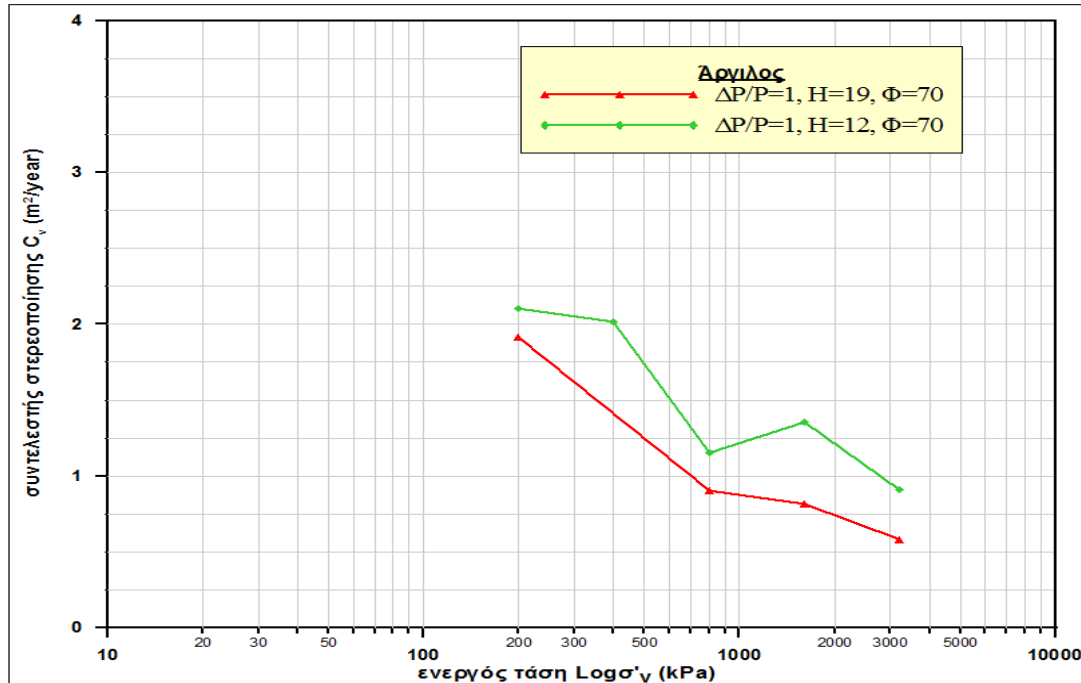
Γενικώς αναμενόταν το δοκίμιο μικρότερου ύψους να παρουσίαζε μικρότερη συμπίεστικότητα και παραμορφωσιμότητα από το μεγαλύτερο, καθώς υπάρχουν λιγότερα κενά, άρα και νερό να διαφεύγει, στον εδαφικό σκελετό του κοντύτερου δοκιμίου. Επίσης, και από την διαισθητική πλευρά του φαινομένου της συμπίεσης είναι λογικό ένα δοκίμιο μεγαλύτερου ύψους να εμφανίζει εντονότερη παραμορφωσιμότητα από ένα αντίστοιχο πιο μικρό. Τέλος η μεγαλύτερη τιμή του μέτρου E_s , για το δοκίμιο των 19 cm, πέραν των 2500 kPa, πρέπει να αποδοθεί στο σημείο ανάκαμψης που εμφανίζεται στην καμπύλη συμπίεσης της δοκιμής No. II όπως περιγράφηκε στην ενότητα 5.1.2.

5.3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Στην ενότητα αυτή συγκρίνονται οι τιμές των συντελεστών στερεοποίησης συναρτήσει της ενεργού τάσης σε κάθε βήμα φόρτισης. Στο Διάγραμμα 5.14 που ακολουθεί φαίνεται η μεταβολή του c_v συναρτήσει της κατακορύφου ενεργού τάσης και για τα δύο ύψη δοκιμίων που εξετάστηκαν. Είναι λοιπόν ξεκάθαρο πως σε όλο το εύρος των τάσεων που εφαρμόστηκαν η τιμή του συντελεστή στερεοποίησης για το δοκίμιο μικρού ύψους είναι μεγαλύτερη από αυτήν του δοκιμίου ύψους 19 cm.

Με άλλα λόγια βάσει του Διαγράμματος 5.16 διαπιστώνεται πως η στερεοποίηση σε ένα μικρότερου ύψους δοκίμιο ολοκληρώνεται γρηγορότερα από ότι σε ένα μεγαλύτερου ύψους. Αυτή η πρόταση ισχύει σε κάθε περίπτωση, και μέσω αυτής γίνεται αντιληπτό πως η επιλογή του σωστού ύψους δοκιμίου επηρεάζει τον συντελεστή στερεοποίησης ανεξαρτήτως του είδους του εδάφους. Στην πράξη, για την εξαγωγή αντιπροσωπευτικών τιμών των μεγεθών στερεοποίησης για ένα συγκεκριμένο έδαφος, συνήθως επιλέγονται να δοκιμαστούν δοκίμια ύψους 19 ή 20 cm. Σε κάθε περίπτωση όμως οι διαφορές στην τιμή του συντελεστή στερεοποίησης για διαφορετικά ύψη δοκιμίου είναι σχετικά μικρές και ορισμένες φορές αμελητέες. Αξιοσημείωτη είναι η έντονη πτώση στην τιμή του c_v κατά την φόρτιση από τα 400 kPa στα 800 kPa. Η παρατήρηση αυτή δείχνει πόσο σημαντικό ρόλο έχει η τάση προφόρτισης στην χρονική εξέλιξη των καθιζήσεων.

Συγκεκριμένα όταν ένα υλικό είναι προφορτισμένο και έχει μικρή συμπιεστότητα ολοκληρώνει το φαινόμενο της στερεοποίησης σε σημαντικά μικρότερο χρόνο από αυτόν που θα χρειαζόταν αν βρισκόταν σε μη προφορτισμένο κλάδο πέραν της τάσης p_c .



$C_v(200\text{kPa})$	$C_v(400\text{kPa})$	$C_v(800\text{kPa})$	$C_v(1600\text{kPa})$	$C_v(3200\text{kPa})$
2,106	2,013	1,154	1,353	0,909
$C_v(200\text{kPa})$	$C_v(800\text{kPa})$	$C_v(1600\text{kPa})$	$C_v(3200\text{kPa})$	
1,916	0,904	0,813	0,513	

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.16 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΤΑΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΥΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΡΓΙΛΟ

5.4 ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΟ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

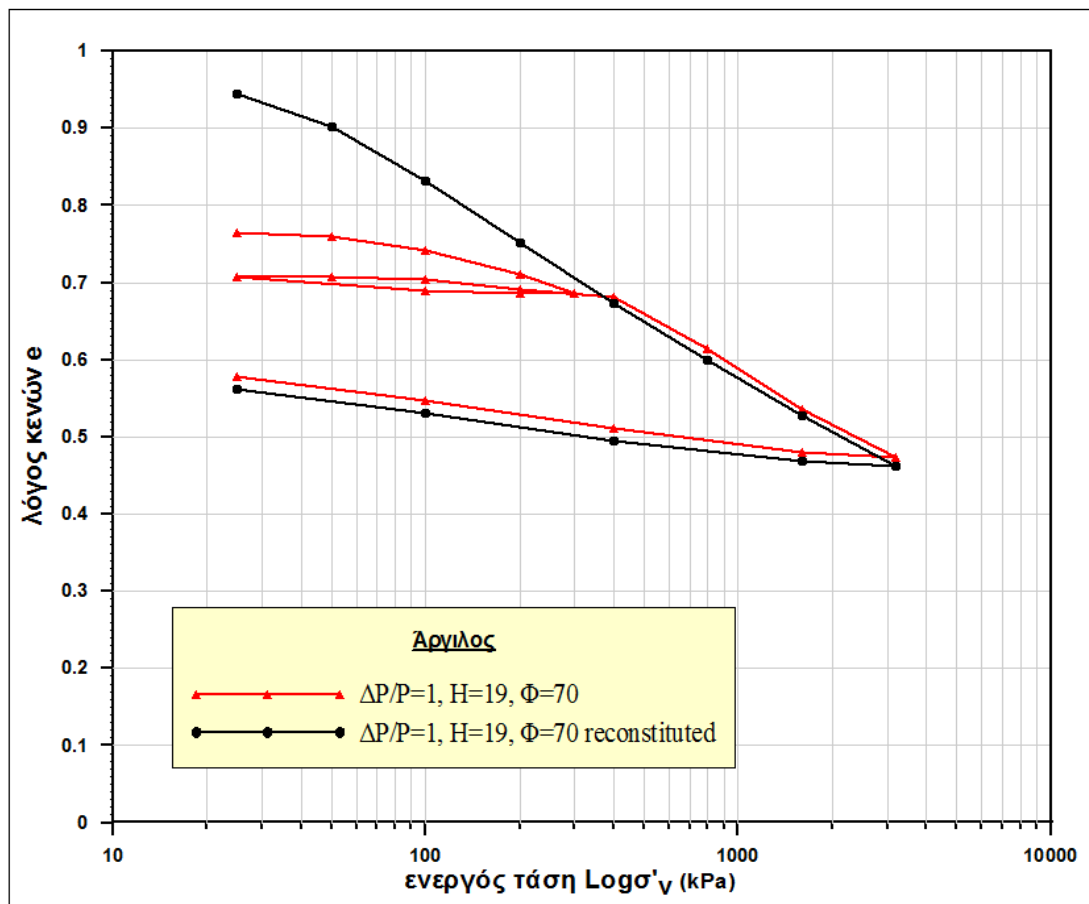
Στη θέση 6 εκτελέστηκε η δοκιμή Νο. VI, σε αναμοχλευμένο δοκίμιο αργίλου το οποίο σχηματίστηκε στο εργαστήριο, βασεί των όσων αναφέρονται στην παράγραφο 2.6. Το δοκίμιο είχε τις ίδιες διαστάσεις με τα δοκίμια και των υπολοίπων δοκιμών πλην της δοκιμής Νο. III, φορτίστηκε έως την τάση των 3200 kPa και στη συνέχεια αποφορτίστηκε. Στον Πίνακα 5.7 υπάρχουν οι τιμές των μεγεθών m_v , E_s , c_v , C_c που υπολογίστηκαν για το κάθε βήμα της συγκεκριμένης δοκιμής στερεοποίησης.

Στο Διάγραμμα 5.17 έχει σχεδιαστεί η καμπύλη $e - \text{Log}\sigma'_v$ του αναμοχλευμένου υλικού, ενώ επίσης έχει χαραχτεί και η καμπύλη της δοκιμής με ρυθμό φόρτισης 1 για την αρχική αργίλο. Παρατηρείται λοιπόν πως οι δύο

καμπύλες έχουν μεγάλη συγγένεια και σχεδόν όμοια μορφή για τάσεις μεγαλύτερες της τάσης p_c ενώ στο προφορτισμένο τμήμα παρουσιάζονται δύο εντελώς διαφορετικές καμπύλες, και κατ' επέκταση και συμπεριφορές.

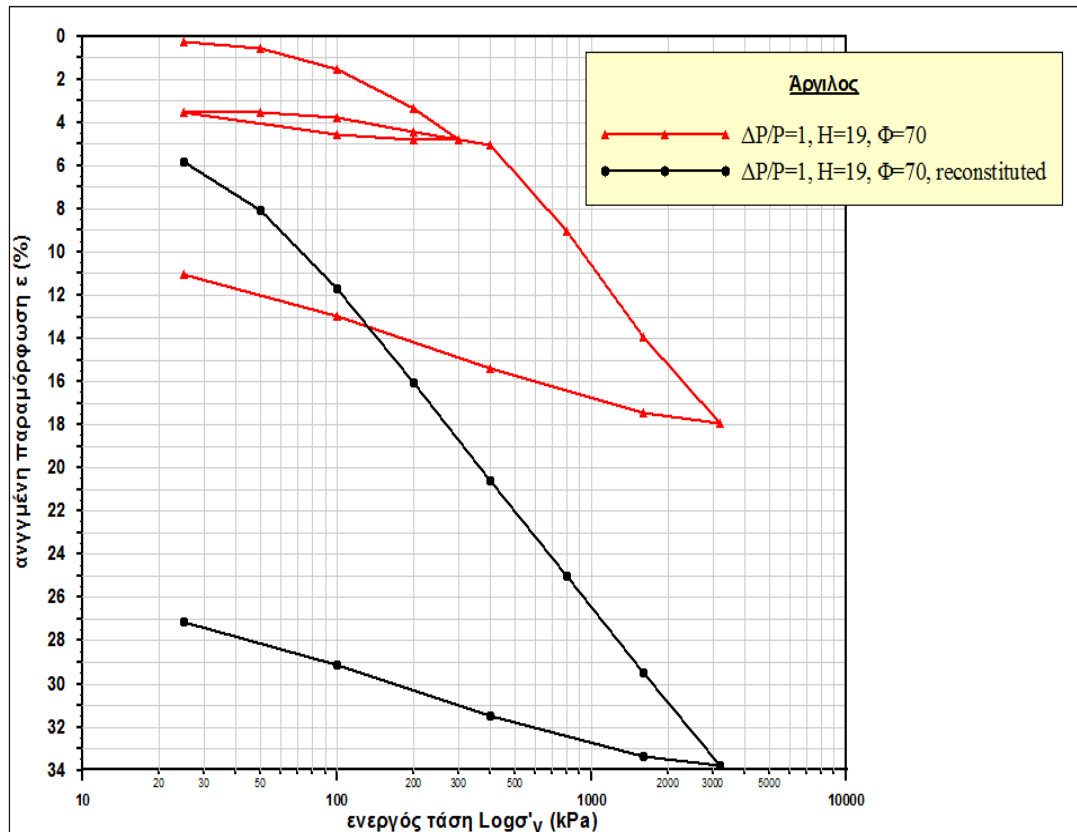
ΔΟΚΙΜΗ No. VI				
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	c_v	C_c
0				
25	2,333	0,429	0,316	N.D.
50	0,882	1,134	0,309	0,142
100	0,735	1,361	0,402	0,232
200	0,435	2,298	0,458	0,265
400	0,227	4,396	0,479	0,265
800	0,110	9,084	0,498	0,245
1600	0,056	17,874	0,846	0,238
3200	0,027	37,162	0,789	0,218

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ VI

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.17 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΓΙΑ $\Delta P/P=1$

Συγκεκριμένα η καμπύλη του αναμοχλευμένου υλικού παρουσιάζει μια σχεδόν ενιαία κλίση για τάσεις μεγαλύτερες των 50 kPa, κλίση η οποία είναι παραπλήσια με την αυτήν της virgin καμπύλης που προκύπτει από την δοκιμή στερεοποίησης της αρχικής αργίλου. Η συμπεριφορά αυτή του αναμοχλευμένου υλικού δείχνει τις βασικές εγγενείς ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την συγκεκριμένη άργιλο και φαίνεται ξεκάθαρα πως οι ιδιότητες αυτές κυριαρχούν στην συμπεριφορά της αργίλου πέραν της τάσης προστερεοποίησης. Αντιθέτως η εντόνως πιο σκληρή συμπεριφορά που δείχνει το αργιλικό υλικό στα αρχικά επίπεδα τάσεων συνδέεται αποκλειστικά με την ιστορία των φορτίσεων που έχει δεχτεί το αργιλικό στρώμα μετά τον σχηματισμό του. Επίσης, η μικρή αύξηση της κλίσεως που εντοπίζεται στην τιμή των 50 kPa (μοιάζει με σημείο στην περιοχή της τάσης προφόρτισης) οφείλεται στην συμπίεση που ασκήθηκε με το χέρι στο εδαφικό υλικό κατά την κατασκευή του δοκιμίου. Τελειώνοντας αξίζει να επισημανθεί πως η εργαστηριακή καμπύλη συμπίεσης της αναμοχλευμένης αργίλου συμβαδίζει με τις μορφές των καμπυλών αργίλου που παρουσίασε ο Burland ως προς την ελαφρώς κοίλη μορφή που έχουν.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της αναμοχλευμένης αργίλου σε αντιπαράθεση με αυτήν της αρχικής αργίλου για $\Delta P/P = 1$ (Διάγραμμα 5.18). Διαπιστώνεται εύκολα η εντονότερη παραμορφωσιμότητα του αναμοχλευμένου σε σχέση με το προφορτισμένο τμήμα της αρχικής αργίλου.

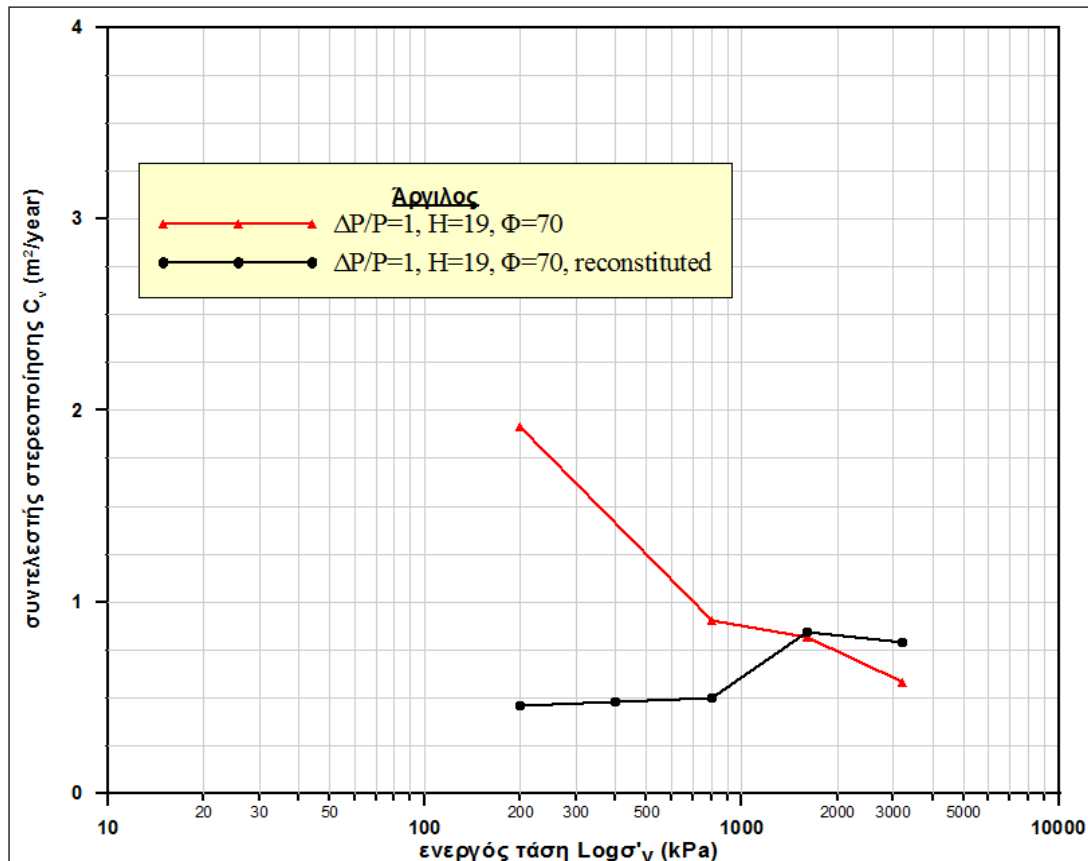


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.18 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΓΙΑ $\Delta P/P=1$

Ενδεικτικό της διαπίστωσης αυτής είναι η διαφορά μεταξύ των 400 και των 3200 kPa στις τιμές των δύο καμπύλων. Η μαύρη (αναμοχλευμένο υλικό) έχει 13,5% (από 20,5% στο 34%) ενώ η κόκκινη (αρχικό υλικό) έχει 13% (από 5% στο 18%). Αυτή η διαφορά στην παραμόρφωση μετά την τάση προφόρτισης, της τάξης του 0,5% είναι πάρα πολύ μικρή σε σύγκριση με την διαφορά του 16% (34%-18%) που υπάρχει στις αντίστοιχες τελικές τιμές των ανηγμένων παραμορφώσεων.

Ακολουθεί το Διάγραμμα 5.19 που δείχνει πως μεταβάλλεται ο συντελεστής στερεοποίησης συναρτήσει της ενεργού τάσης και περιέχει την αντίστοιχη καμπύλη για την αρχική άργιλο για $\Delta P/P = 1$ ώστε να γίνουν εμφανέστερες οι όποιες διαφορές. Φαίνεται λοιπόν ξεκάθαρα πως το αναμοχλευμένο δοκίμιο παρουσιάζει μια ιδιάζουσα συμπεριφορά, έχοντας πολύ μικρές τιμές c_v στην αρχή της φόρτισης, οι οποίες αυξάνονται με αργό ρυθμό ώσπου να σταθεροποιηθούν κοντά στη μέγιστη τιμή (0,75) στις πολύ υψηλές τάσεις. Η συμπεριφορά αυτή διαφέρει πλήρως από αυτές που έχουν τα δοκίμια των αρχικών αργίλων και δείχνει πως στην αρχή που το υλικό είναι νέο και

ασημάτιστο η στερεοποίηση συντελείται πολύ αργά.

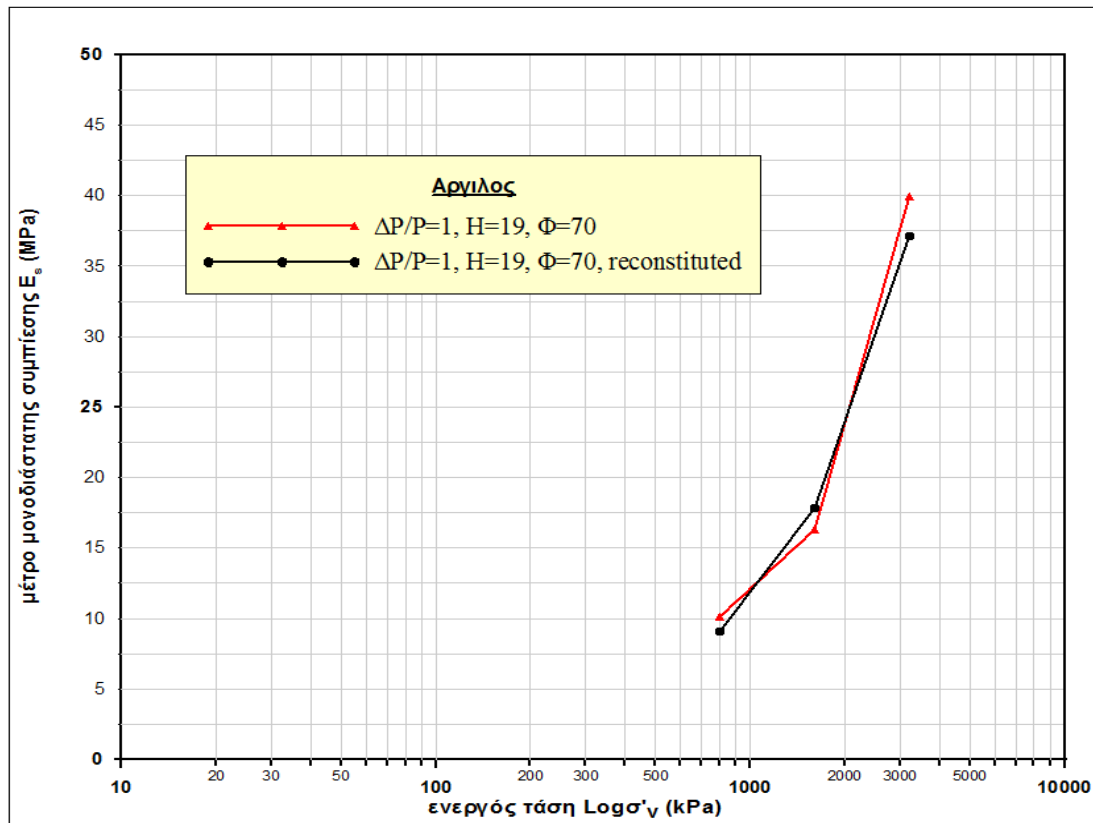


$Cv_{(200kPa)}$	$Cv_{(400kPa)}$	$Cv_{(800kPa)}$	$Cv_{(1600kPa)}$	$Cv_{(3200kPa)}$
0,458	0,479	0,498	0,846	0,789
$Cv_{(200kPa)}$		$Cv_{(800kPa)}$	$Cv_{(1600kPa)}$	$Cv_{(3200kPa)}$
1,916		0,904	0,813	0,513

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.19 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΓΙΑ $\Delta P/P=1$

Όταν έπειτα το υλικό αφού συμπιεστεί, αποκτήσει μια στιβαρότητα και αυξηθεί κάπως την τιμή του m_v σημειώνονται μεγαλύτερες τιμές του c_v που δείχνουν και μια επιτάχυνση του φαινομένου στα επίπεδα των ψηλών τάσεων. Αξίζει να τονισθεί πως στις υψηλές τάσεις ο συντελεστής στερεοποίησης κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα και για την αναμοχλευμένη αλλά και για την αρχική άργιλο, όπως αναμενόταν.

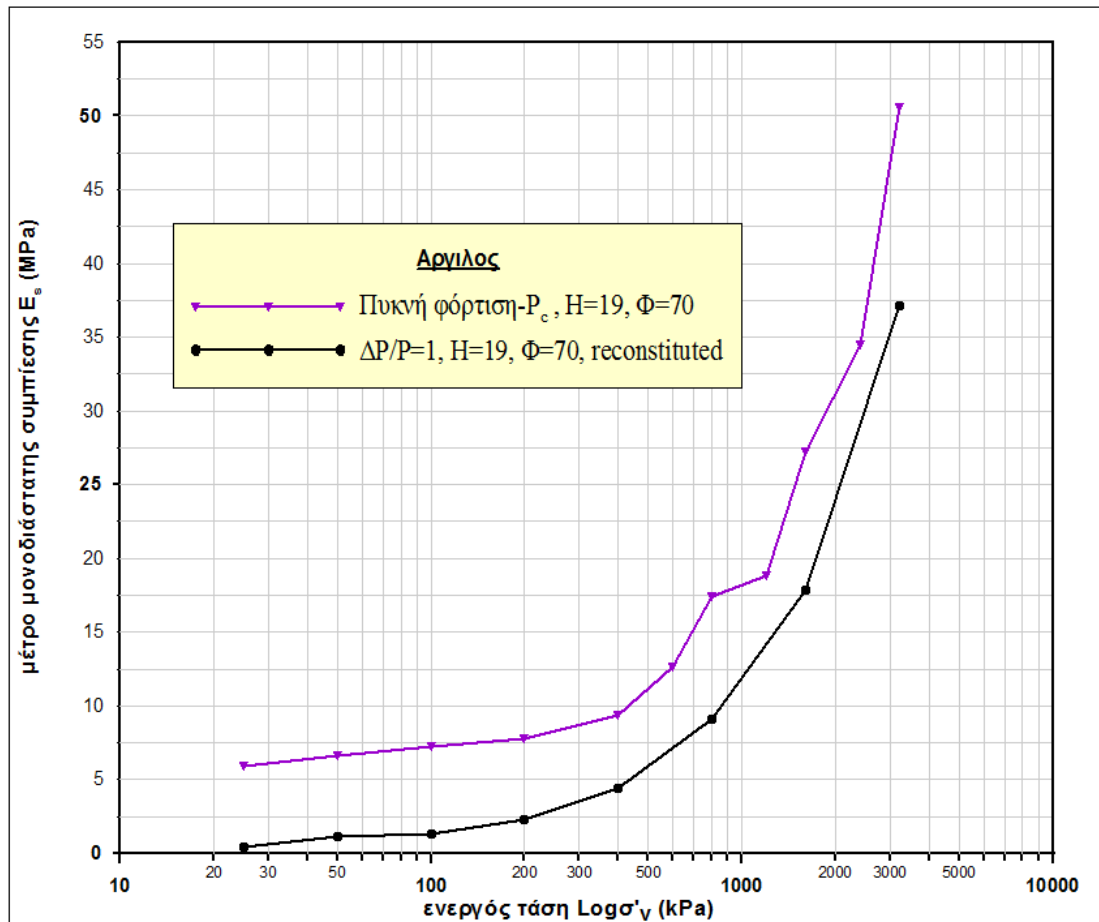
Τελειώνοντας, παρατίθενται καμπύλες που παρουσιάζουν τη μεταβολή του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης E_s όπως υπολογίστηκε μέσω του πειράματος για την αναμοχλευμένη άργιλο. Στο Διάγραμμα 5.20 υπάρχουν οι καμπύλες του μέτρου E_s του αναμοχλευμένου σε σύγκριση με το αρχικό υλικό για τον ίδιο ρυθμό φόρτισης, και φαίνεται ξεκάθαρα η ομοιότητα στην συμπεριφορά των δύο υλικών για τάσεις μεγαλύτερες της τάσης προστερεοποίησης.



$E_{s(800kPa)}$	$E_{s(1600kPa)}$	$E_{s(3200kPa)}$
9,08	17,87	37,16
$E_{s(800kPa)}$	$E_{s(1600kPa)}$	$E_{s(3200kPa)}$
10,09	16,28	39,97

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.20 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕΤΡΟΥ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΓΙΑ $\Delta P/P=1$

Η σύγκριση των μέτρων και για τις προηγούμενες τιμές των τάσεων δεν μπορεί να γίνει διότι η δοκιμή No. II εμφανίζει πολύ μεγάλες τιμές του μέτρου E_s λόγω της αποφόρτισης και επαναφόρτισης της. Έτσι προτιμήθηκε να γίνει η σύγκριση των δύο μέτρων για όλο το φάσμα της φόρτισης μεταξύ των αποτελεσμάτων της δοκιμή No. VI και No. I, όπου υπάρχει μία ενιαία φόρτιση αλλά διαφέρει ο ρυθμός φόρτισης.



$E_s(100\text{kPa})$	$E_s(200\text{kPa})$	$E_s(400\text{kPa})$	$E_s(800\text{kPa})$		$E_s(1600\text{kPa})$		$E_s(3200\text{kPa})$	
1,36	2,30	4,40	9,08		17,87		37,16	
$E_s(100\text{kPa})$	$E_s(200\text{kPa})$	$E_s(400\text{kPa})$	$E_s(600\text{kPa})$	$E_s(800\text{kPa})$	$E_s(1200\text{kPa})$	$E_s(1600\text{kPa})$	$E_s(2400\text{kPa})$	$E_s(3200\text{kPa})$
7,25	7,75	9,40	12,67	17,40	18,85	27,23	34,45	50,61

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.21 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕΤΡΟΥ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΔΟΚΙΜΩΝ I ΚΑΙ VI

Στο Διάγραμμα 5.21 φαίνεται οι δύο καμπύλες να έχουν την ίδια περίπου μορφή πράγμα που σημαίνει πως το μέτρο E_s αυξάνεται με παρόμοιο τρόπο και στο αναμοχλευμένο αλλά και στο αρχικό υλικό. Επίσης είναι εμφανής η ανωτερότητα των τιμών του αρχικού υλικού καθ'όλον το διάγραμμα κάτι που ναι μόν είναι λογικό αλλά επηρεάζεται επίσης και από τον πιο πυκνό ρυθμό φόρτισης της μωβ καμπύλης. Έτσι μία καμπύλη με $\Delta P/P = 1$ και χωρίς κλάδους φόρτισης και επαναφόρτισης θα είχε παρόμοια μορφή με αυτές του Διαγράμματος 5.10 και θα βρισκόταν ανάμεσα σε αυτές.

6. Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

6.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΟΝ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

Στην ίδια λογική με τις δοκιμές της αργίλου πραγματοποιήθηκαν και οι δοκιμές στον καλκαρενίτη. Έτσι οι δύο αντίστοιχες δοκιμές και εδώ εκτελέστηκαν με μία ενιαία φόρτιση ενώ στις υπόλοιπες τέσσερις πραγματοποιήθηκε αποφόρτιση, επαναφόρτιση και τελική αποφόρτιση. Οι τιμές των λόγων κενών σε χαρακτηριστικές θέσεις για την κάθε δοκιμή σε καλκαρενίτη παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα 6.1

Δοκιμή Νο.	e_0	e_{pc}	e_{min}	e_f
ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗΣ				
VII	0,64	0,56	0,41	0,45
VIII	0,62	0,55	0,40	0,42
IX	0,55	0,48	0,37	0,39
X	0,58	0,52	0,37	0,38
XI	0,51	0,44	0,34	0,35
XII	0,61	-	0,27	0,29

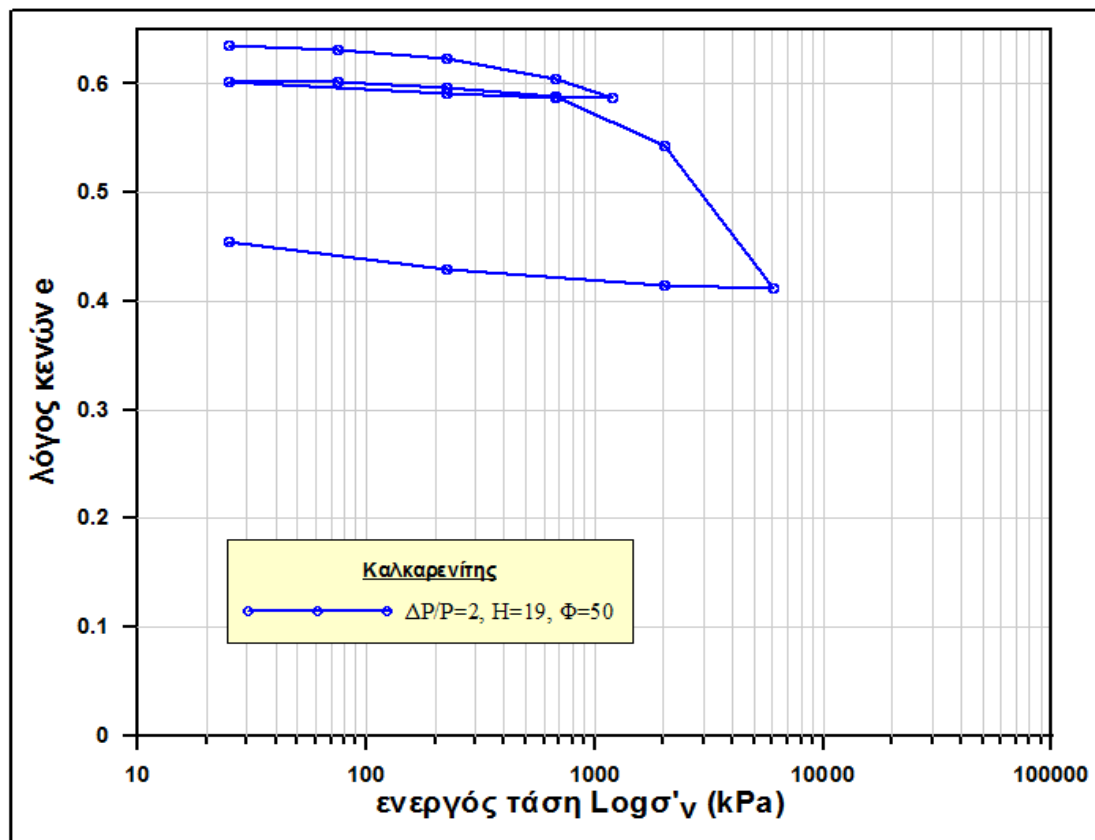
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 ΤΙΜΕΣ ΛΟΓΟΥ ΚΕΝΩΝ ΣΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ

6.1.1 ΔΟΚΙΜΗ N_0 , VII – ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ = 2

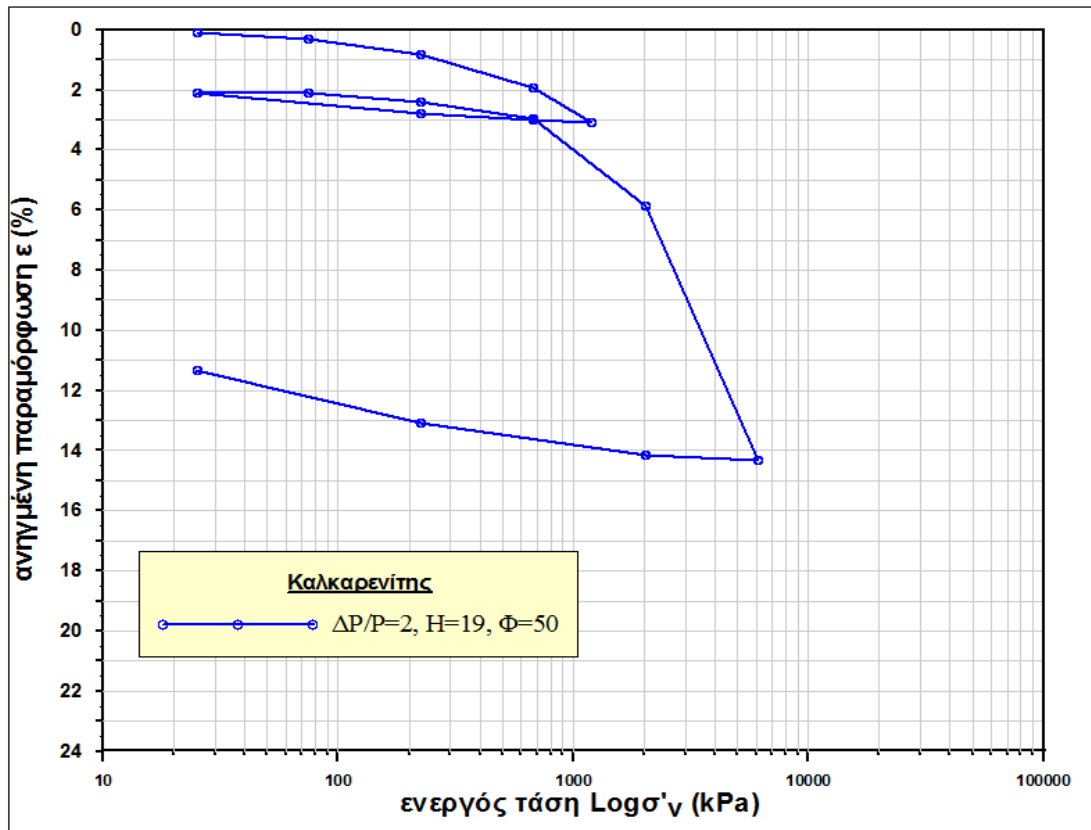
Η συγκεκριμένη δοκιμή εκτελέστηκε στη θέση 7 σε δοκίμιο καλκαρενίτη διαστάσεων $H = 19mm$ και $\Phi = 50mm$. Το δοκίμιο αρχικά φορτίστηκε βήμα βήμα έως την τάση των 1200 kPa, στη συνέχεια αποφορτίστηκε έως τα 25 kPa, ακολούθησε η επαναφόρτιση του μέχρι τα 6075 kPa και η τελική αποφόρτιση. Στον Πίνακα 6.2 δίνονται οι τιμές των μεγεθών c_v , E_s , m_v , C_c και C_r σε κάθε βήμα φόρτισης, ενώ οι καμπύλες $e - \text{Log} \sigma'_v$ και $\varepsilon(\%) - \text{Log} \sigma'_v$ δίνονται στα Διαγράμματα 6.1 και 6.2 αντίστοιχα. Σύμφωνα με τις τιμές του πίνακα αλλά και της καμπύλης $e - \text{Log} \sigma'_v$ προκύπτουν $C_c = 0,273$ και $C_r = 0,010$.

ΔΟΚΙΜΗ Νο. VII					
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	c_v	C_c	C_r
0					
25	0,032	31,667	N.D.		
75	0,046	21,574	10,032		
225	0,035	28,698	7,984		
675	0,024	41,563	4,936		
1200	0,022	45,092	2,324		
75	0,001	N.D.	N.D.		0,000
225	0,021	48,106	26,194		0,010
675	0,012	80,234	15,028		0,019
2025	0,021	46,879	1,489	0,096	
6075	0,021	47,873	1,425	0,273	

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ VII



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ VII



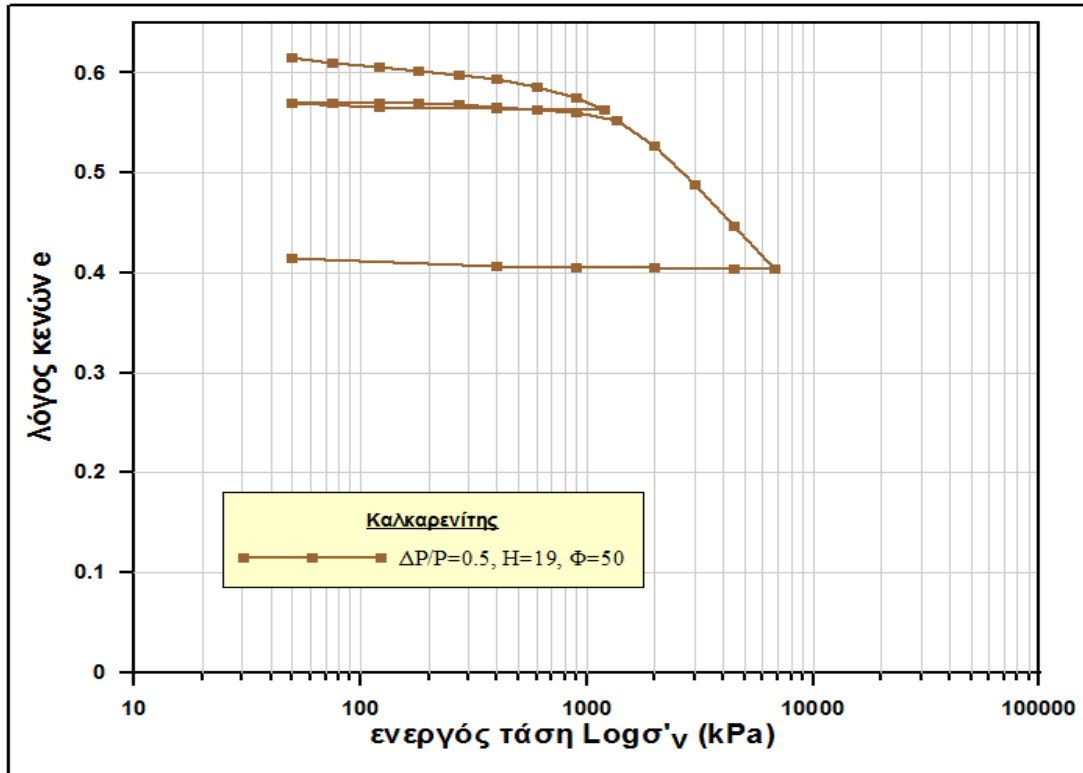
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ VII

6.1.2 ΔΟΚΙΜΗ N₀. VIII – ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ = 0.5

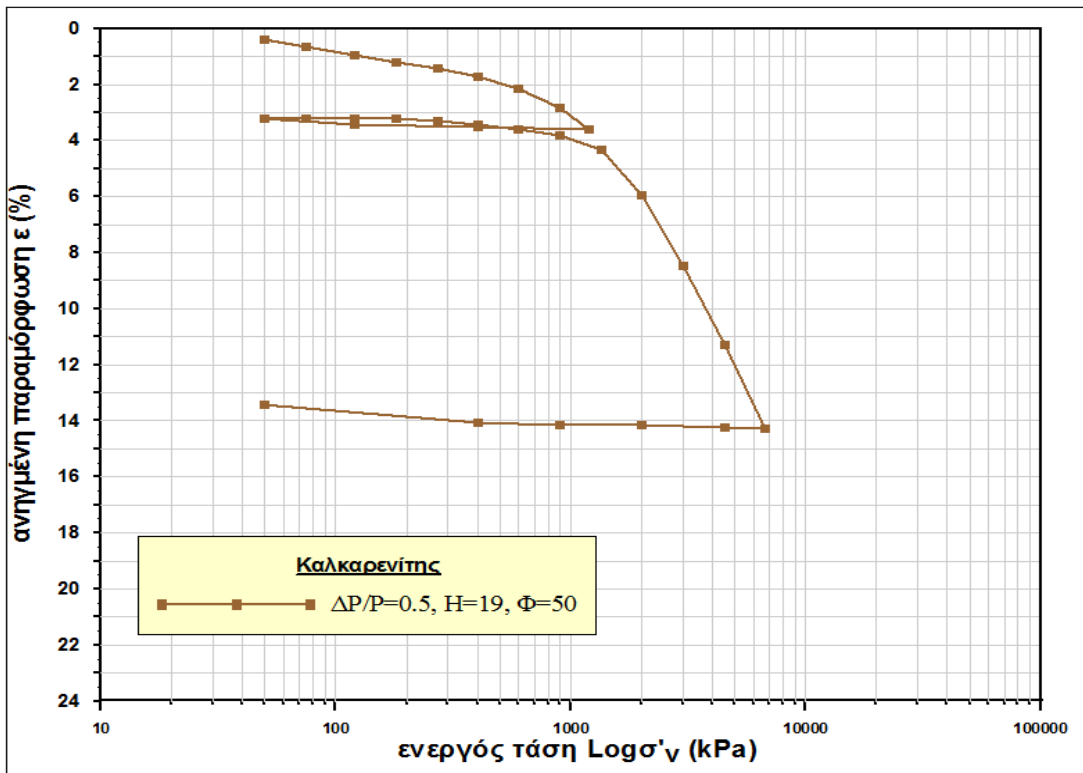
Στη θέση 8 και σε δοκίμιο καλκαρενίτη διαστάσεων ($H=19\text{mm}$, $\Phi=50\text{mm}$) εκτελέστηκε δοκιμή στερεοποίησης με ρυθμό φόρτισης ίσο με 2. Το δοκίμιο αρχικώς φορτίστηκε στα 1200 kPa, στη συνέχεια αποφορτίστηκε έως τα 50 kPa, επαναφορτίστηκε μέχρι τα 6750 kPa και τελικώς αποφορτίστηκε πλήρως. Οι τιμές των μεγεθών c_v , E_s , m_v , C_c και C_r υπολογίστηκαν για κάθε βήμα φόρτισης και υπάρχουν στον σχετικό Πίνακα 6.3. Παρουσιάζονται επίσης και οι ανάλογες τιμές του λόγου κενών και της παραμόρφωσης συναρτήσεως της ενεργού τάσης μέσω των καμπυλών $e - \text{Log} \sigma'_v$ και $\epsilon(\%) - \text{Log} \sigma'_v$ στα Διαγράμματα 6.3 και 6.4 αντίστοιχα. Τελειώνοντας προσδιορίστηκαν οι τιμές των συντελεστών $C_c = 0,242$ (μέσος όρος των $C_{c(4500)}$ και $C_{c(6750)}$) και $C_r = 0,008$ (μέσος όρος των $C_{r(180)}$, $C_{r(270)}$, $C_{r(400)}$, $C_{r(600)}$, $C_{r(900)}$ και $C_{r(1200)}$) της συγκεκριμένης δοκιμής.

ΔΟΚΙΜΗ Νο. VIII					
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	c_v	C_c	C_r
0					
50	0,080	12,500	5,011		
75	0,101	9,856	3,999		
120	0,066	15,168	2,658		
180	0,040	25,093	2,652		
270	0,027	37,550	1,748		
400	0,023	44,271	1,615		
600	0,022	44,570	1,313		
900	0,022	44,548	0,652		
1200	0,026	38,849	0,228		
75	<i>N.D.</i>	<i>N.D.</i>	<i>N.D.</i>		0,000
120	<i>N.D.</i>	<i>N.D.</i>	<i>N.D.</i>		0,000
180	0,005	190,345	<i>N.D.</i>		0,003
270	0,009	113,389	12,983		0,007
400	0,009	105,723	7,481		0,011
600	0,009	116,184	2,589		0,015
900	0,006	159,815	2,584		0,017
1350	0,012	82,640	0,868	0,048	
2000	0,025	39,893	0,906	0,148	
3000	0,025	40,034	0,938	0,217	
4500	0,019	52,937	0,746	0,240	
6750	0,013	75,957	0,942	0,243	

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ VIII



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ VIII



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ VIII

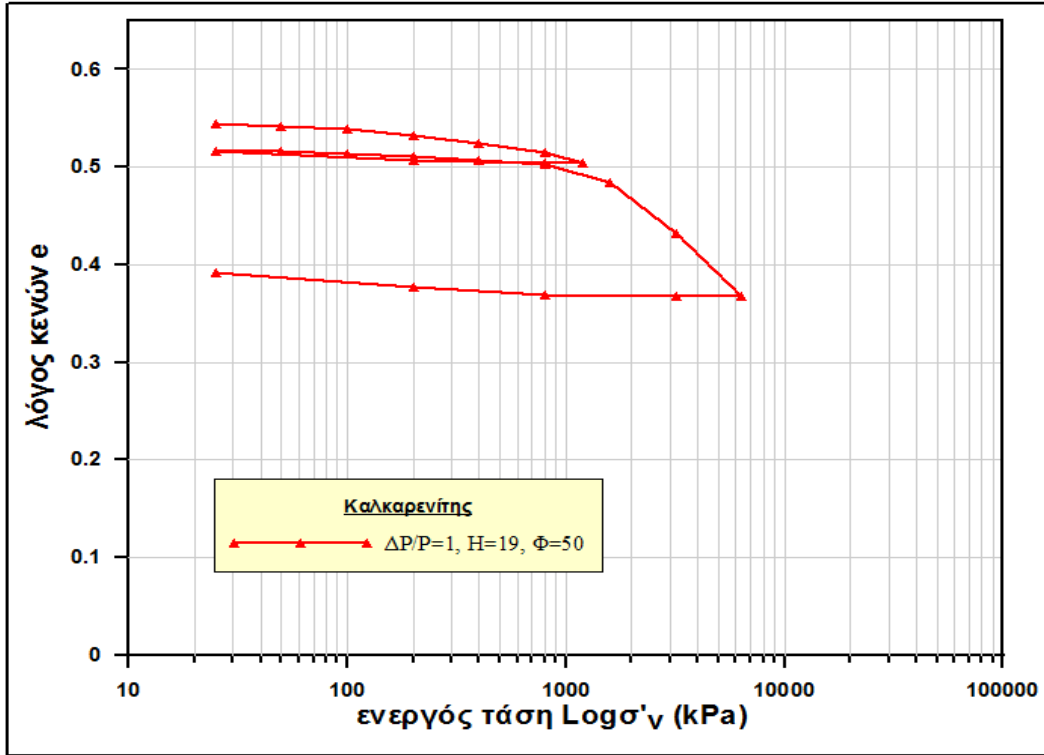
6.1.3 ΔΟΚΙΜΗ N₀. IX – ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ = 1

Δοκιμή με ρυθμό φόρτισης την μονάδα, σε δοκίμιο ομοίων διαστάσεων και με ανάλογη πρώτη φόρτιση στα 1200 kPa, αποφόρτιση και επαναφόρτιση συντελέστηκε στην θέση 9. Ο Πίνακας 6.4 που ακολουθεί περιέχει τις τιμές των c_v , E_s , m_v , C_c και C_r για κάθε βήμα φόρτισης.

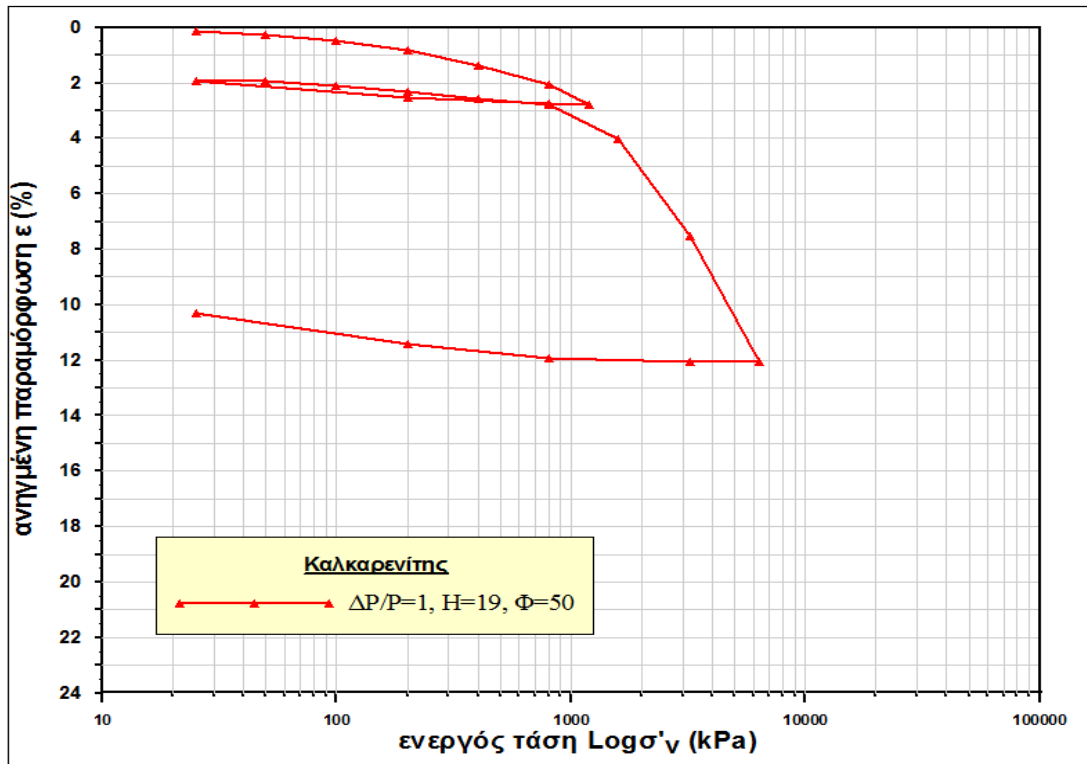
ΔΟΚΙΜΗ No. IX					
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	c_v	C_c	C_r
0					
25	0,051	19,792	N.D.		
50	0,057	17,570	7,043		
100	0,044	22,558	10,014		
200	0,035	28,389	3,801		
400	0,027	37,161	4,963		
800	0,017	59,020	3,342		
1200	0,018	55,976	1,305		
50	N.D.	N.D.	N.D.		0,001
100	0,029	35,019	26,278		0,007
200	0,021	47,947	9,834		0,010
400	0,013	78,003	8,917		0,013
800	0,006	163,145	10,036		0,012
1600	0,015	64,927	1,703	0,062	
3200	0,022	45,753	1,284	0,172	
6400	0,014	70,512	0,961	0,216	

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ IX

Από τον Πίνακα 6.4 προκύπτουν οι τιμές των συντελεστών συμπιεστότητας και επαναφόρτισης, οι οποίες είναι $C_c = 0,216$ και $C_r = 0,009$ (μέσος όρος των $C_{c(50)}$, $C_{c(100)}$, $C_{c(200)}$, $C_{c(400)}$, και $C_{c(800)}$ αντίστοιχα). Επίσης σχεδιάστηκαν και τα Διαγράμματα 6.5 και 6.6 στα οποία υπάρχουν οι καμπύλες $e - \text{Log} \sigma'_v$ και $\varepsilon(\%) - \text{Log} \sigma'_v$ και παρατίθενται στην επόμενη σελίδα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.5 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΙΧ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.6 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΙΧ

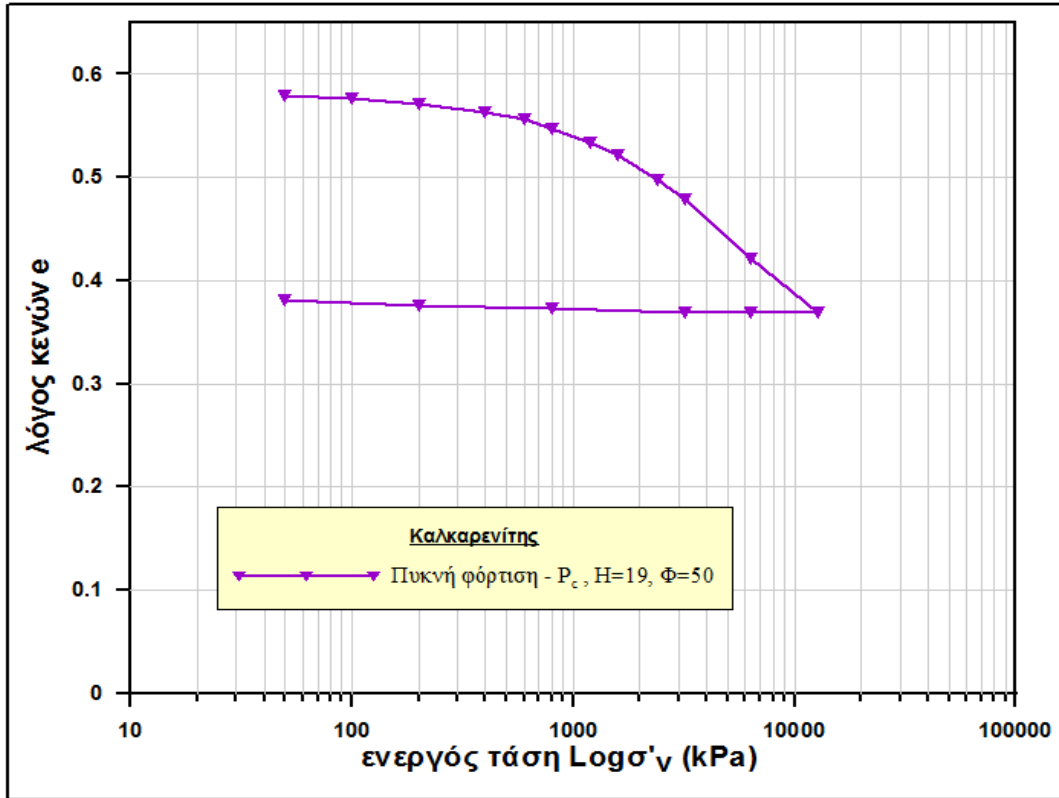
6.1.4 ΔΟΚΙΜΗ N_o. X – ΕΥΡΕΣΗ ΤΑΣΗΣ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗΣ

Από τον Πίνακα 4.3, φαίνεται πως στη θέση θ_b το δοκίμιο καλκαρενίτη που δημιουργήθηκε υποβλήθηκε σε μια αλληλουχία πυκνής φόρτισης χωρίς κλάδο αποφόρτισης και επαναφόρτισης. Έτσι όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, επιτεύχθηκε με μεγαλύτερη ακρίβεια ο προσδιορισμός της τιμής της μεγαλύτερης κατακορύφου ενεργού τάσης η οποία είχε ποτέ ασκηθεί στο συγκεκριμένο καλκαρενιτικό έδαφος στη φύση, δηλαδή της **τάσης προφόρτισης**. Οι τιμές των μεγεθών c_v , E_s , m_v και C_c υπάρχουν στον Πίνακα 6.5 από τον οποίο επίσης προκύπτει $C_c = 0,183$ (μέση τιμή των $C_{c(6400)}$ και $C_{c(12800)}$).

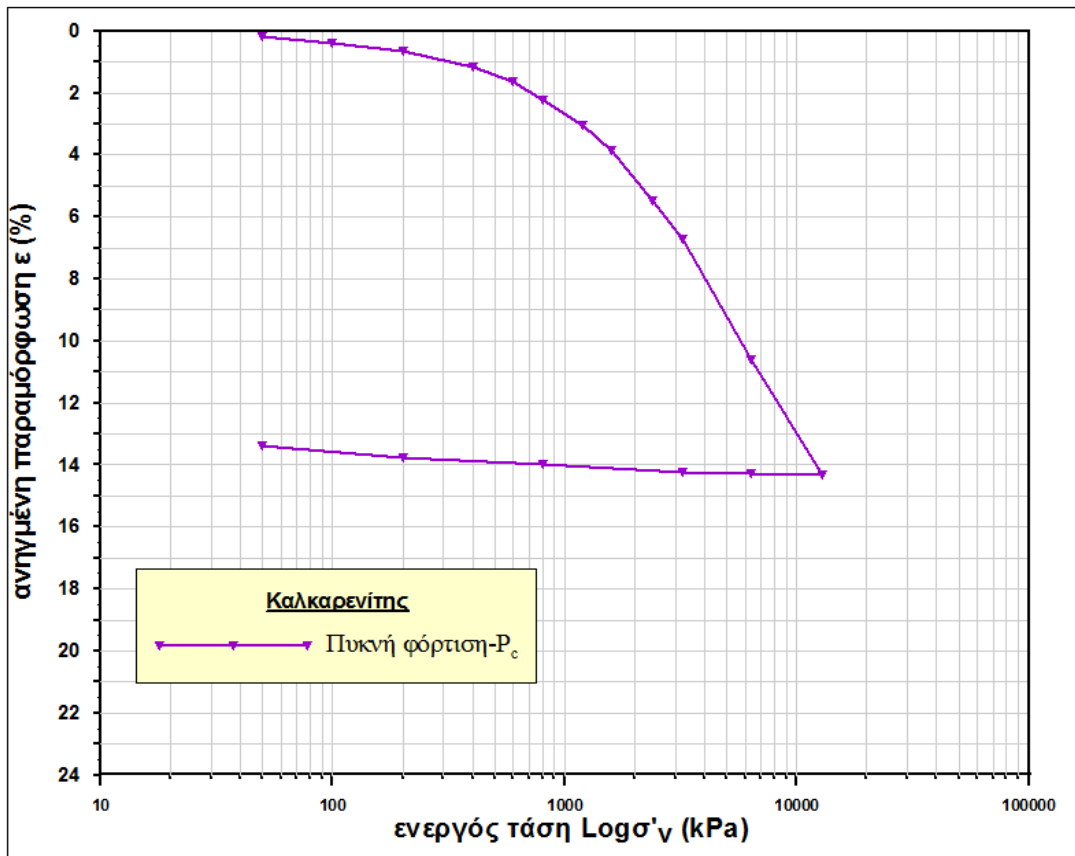
Η τάση προφόρτισης προέκυψε με βάση την θεωρία από το Διάγραμμα 6.7(καμπύλη $e - \text{Log} \sigma'_v$) και με την βοήθεια της λογαριθμικής παρεμβολής (ενότητα 3.3.11), ώστε $P_c = 1611 \text{ kPa}$. Επίσης σχεδιάστηκε και η καμπύλη $\varepsilon(\%) - \text{Log} \sigma'_v$, η οποία υπάρχει στο Διάγραμμα 6.8

ΔΟΚΙΜΗ No. X				
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	c_v	C_c
0				
50	0,036	27,941	N.D.	N.D.
100	0,040	24,955	N.D.	0,011
200	0,029	35,052	N.D.	0,015
400	0,025	39,735	N.D.	0,026
600	0,024	41,273	N.D.	0,043
800	0,028	35,260	N.D.	0,071
1200	0,021	47,343	N.D.	0,074
1600	0,019	51,538	N.D.	0,095
2400	0,021	48,493	N.D.	0,143
3200	0,015	64,970	N.D.	0,148
6400	0,012	82,075	N.D.	0,192
12800	0,006	173,761		0,174

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ X



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.7 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ Χ



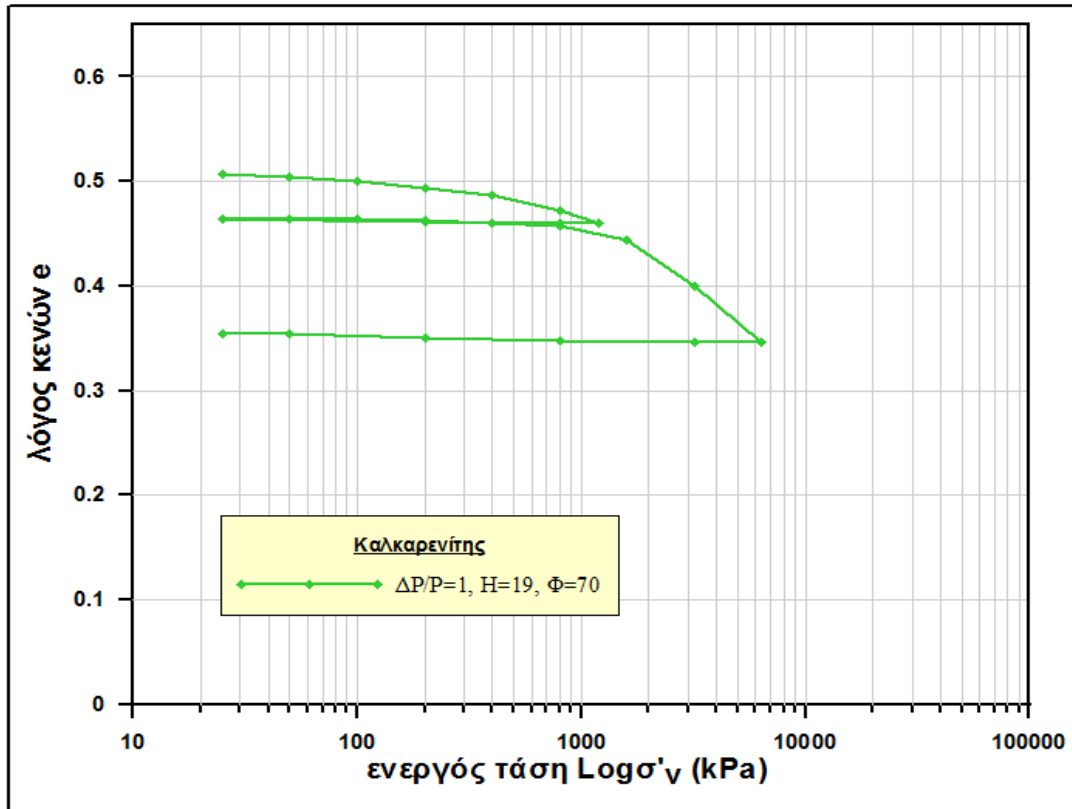
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.8 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ Χ

6.1.5 ΔΟΚΙΜΗ N_o. XI – ΔΟΚΙΜΙΟ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ

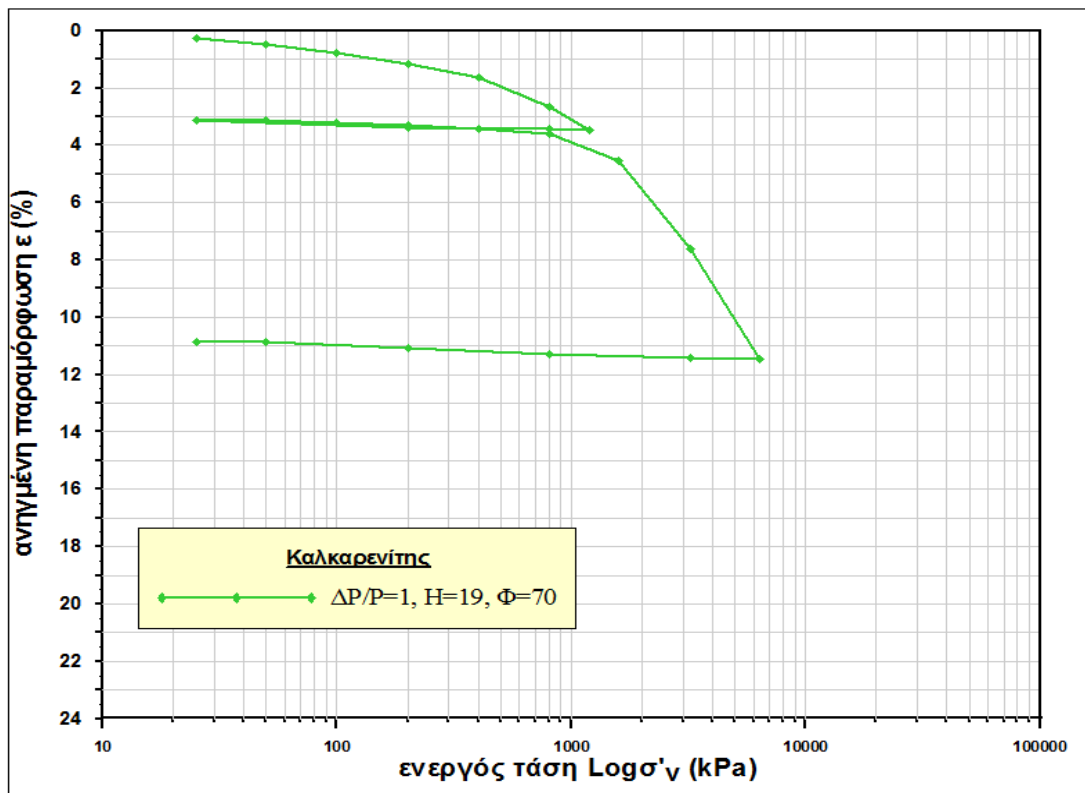
Σε αντιστοιχία με τη σειρά των πειραμάτων σε αργιλικά δοκίμια, όπου η δοκιμή III εκτελέστηκε σε δοκίμιο διαφορετικού ύψους ώστε να διερευνηθεί η επιρροή αυτού του παράγοντα στο φαινόμενο της στερεοποίησης, υπάρχει και στη σειρά δοκιμών του καλκαρενίτη η συγκεκριμένη δοκιμή σε δοκίμιο μεγαλύτερης διαμέτρου ($\Phi=50mm$). Όπως φαίνεται και στα Διαγράμματα 6.9 και 6.10 των καμπυλών $e - \text{Log}\sigma'_v$ και $\varepsilon(\%) - \text{Log}\sigma'_v$ αντίστοιχα ο ρυθμός και οι βαθμίδες φόρτισης είναι ακριβώς ίδιες με της προηγούμενης δοκιμής. Υπολογίστηκαν επίσης οι τιμές των των c_v , E_s , m_v , C_c και C_r (Πίνακας 6.6) και προσδιορίστηκαν οι συντελεστές $C_c = 0,180$ και $C_r = 0,005$ (από τις τιμές των $C_{c(50)}$, $C_{c(100)}$, $C_{c(200)}$, $C_{c(400)}$, και $C_{c(800)}$).

ΔΟΚΙΜΗ No. XI					
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	c_v	C_c	C_r
0					
25	0,111	8,976	N.D.		
50	0,078	12,822	9,105		
100	0,059	16,911	5,626		
200	0,039	25,868	3,790		
400	0,024	42,272	2,152		
800	0,026	38,208	1,485		
1200	0,020	50,756	0,627		
50	N.D.	N.D.	N.D.		0,000
100	0,013	76,833	19,494		0,003
200	0,008	118,128	4,869		0,004
400	0,006	157,371	2,970		0,006
800	0,005	204,322	N.D.		0,009
1600	0,012	86,571	2,150	0,045	
3200	0,019	52,195	1,244	0,147	
6400	0,012	82,703	1,537	0,180	

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ XI



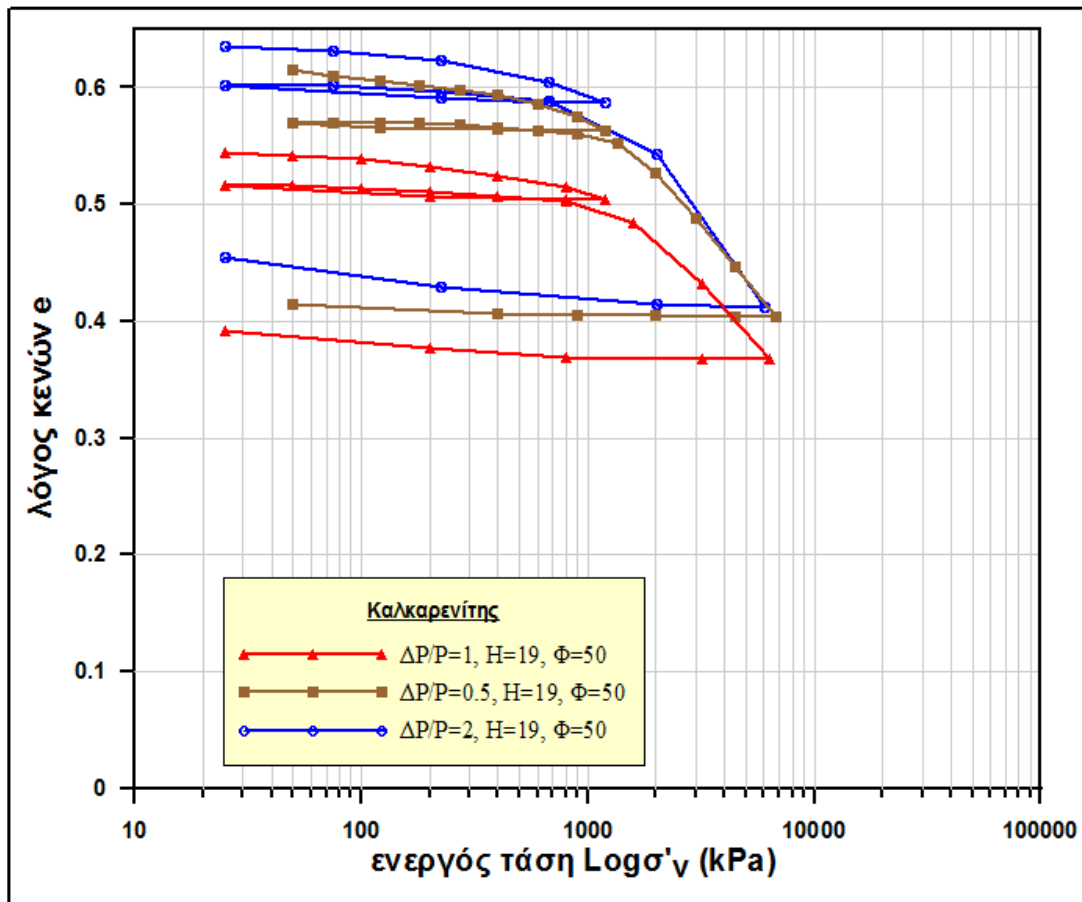
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.9 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ XI



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.10 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ XI

6.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Όπως στην άργιλο, και για τον καλκαρενίτη αρχικά θα παρουσιαστούν οι 3 καμπύλες των διαφορετικών ρυθμών φόρτισης στο Διάγραμμα 6.11 και στη συνέχεια θα ακολουθήσουν οι υποενότητες που διερευνούν την επίδραση του $\Delta P/P$ στην συμπίεστικότητα και στην χρονική εξέλιξη της στερεοποίησης.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.11 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΡΥΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

Με μια προσεχτική ματιά παρατηρείται και εδώ το φαινόμενο της αύξησης της εκτιμώμενης τάσης προφόρτισης με την αύξηση του ρυθμού φόρτισης. Αυτό επιβεβαιώνεται και μέσω υπολογισμών, κατά τους οποίους:

$$p_c^{(2)} = 1834 > p_c^{(1)} = 1795 > p_c^{(0,5)} = 1682$$

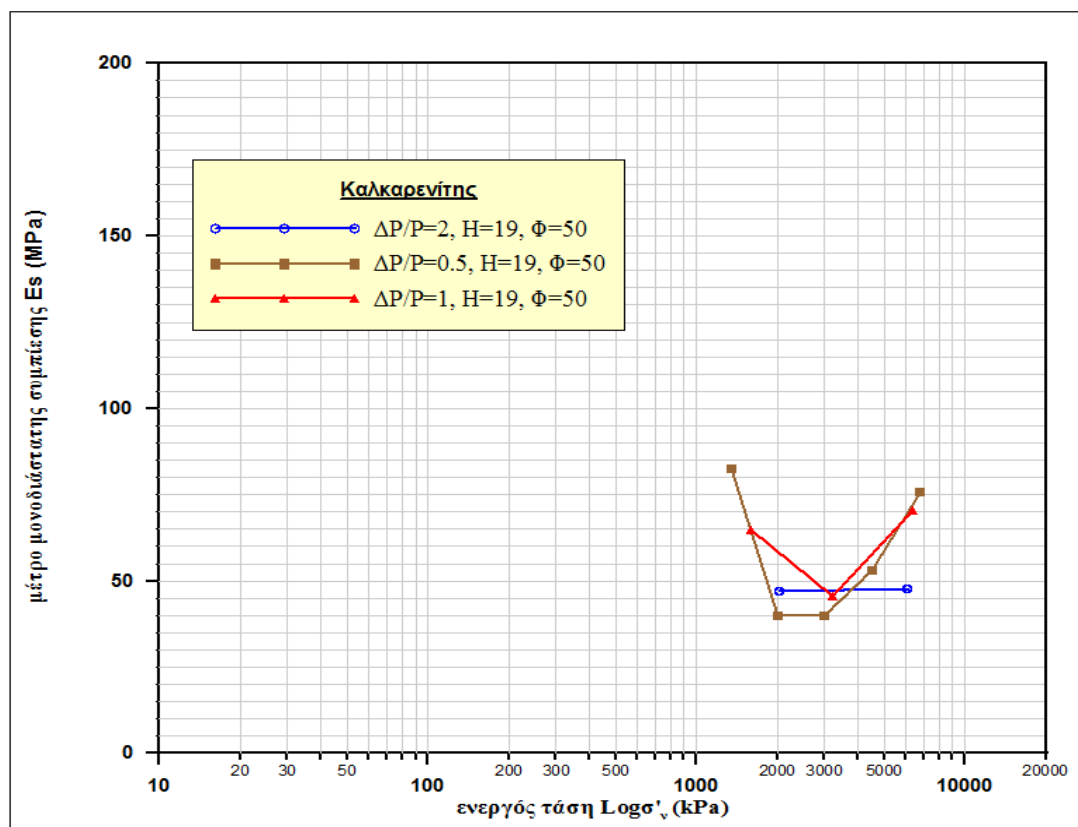
Ότι παρατηρήθηκε στην άργιλο με την σύγκλιση των καμπύλων συμπίεσης για τις μεγάλες τιμές των ενεργών τάσεων, παρατηρείται εντόνως και εδώ.

Μετά την τάση προφόρτισης του καλκαρενίτη βλέπουμε τις τρεις καμπύλες να πλησιάζουν όλο και περισσότερο δίνοντας την εντύπωση πως για πολύ μεγάλες τάσεις, που στα πλαίσια της παρούσας έρευνας δεν μπόρεσαν να επιτευχθούν, οι τρεις καμπύλες πιθανόν να αλληλοτεμνότουσαν.

6.2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Μια αρχική επισκόπηση στην επίδραση του $\Delta P/P$ στην συμπίεστικότητα του δοκιμίου γίνεται μέσω της σύγκρισης των τιμών των συντελεστών συμπίεστικότητας των τριών σχετικών δοκιμών. Βάσει αυτών ισχύει:

$$C_c^{(1)} < C_c^{(0.5)} < C_c^{(2)} \quad \dots (6.1)$$



E_s (2025kPa)		E_s (6075kPa)		
46,9		47,8		
E_s (1600kPa)		E_s (3200kPa)	E_s (6400kPa)	
64,9		45,8	70,5	
E_s (1350kPa)	E_s (2000kPa)	E_s (3000kPa)	E_s (4500kPa)	E_s (6750kPa)
82,6	39,9	40	52,9	76

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.12 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ $\Delta P/P$ ΣΤΟΝ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

Έτσι σύμφωνα με την συμπεστικότητα των σχηματισμών για τάσεις πέραν τις τάσης προφόρτισης διαπιστώνεται πως για $\Delta P/P = 2$ εμφανίζεται μεγαλύτερη συμπεστικότητα, σε συμφωνία με τα όσα ειπώθηκαν στην παράγραφο 5.2.2 και ιδιαίτερος τις διαπιστώσεις των Yong και Warkentin (1975). Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και η μελέτη του Διαγράμματος 6.12 που αναπαριστά τις μεταβολές του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης E_s για τάσεις μεγαλύτερες της τάσης προστεροποίησης. Φαίνεται καθαρά πως η μπλέ καμπύλη βρίσκεται σε χαμηλότερο επίπεδο από τις άλλες δύο και κυμαίνεται περί μιας σταθερής τιμής.

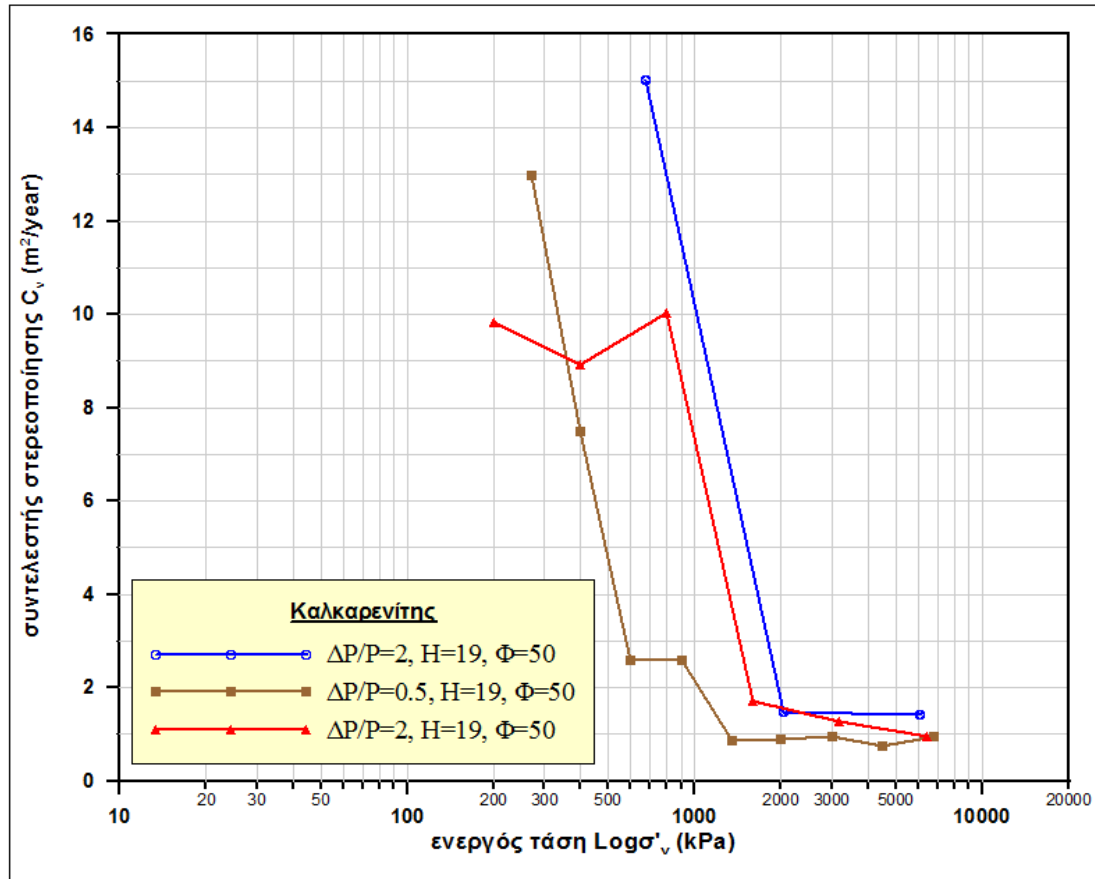
Στη συνέχεια θα αναμενόταν η καμπύλη για $\Delta P/P = 0.5$ να ήταν ψηλότερα των άλλων δύο και ενδιάμεσα να βρισκόταν η καμπύλη για $\Delta P/P = 1$, ομοίως και για τις τιμές των συντελεστών συμπεστικότητας C_c . Φαίνεται όμως οι δύο καμπύλες (καφέ και κόκκινη) να είναι περίπου ίδιας μορφής, με την κόκκινη ελάχιστα πάνω από την καφέ και $C_c^{(1)} < C_c^{(0.5)}$. Αυτό μπορεί να αποδοθεί και πάλι στην εμπλοκή της δευτερογενούς συμπίεσης ή οποία αν και επηρεάζει εμφανώς λιγότερο τον καλκαρενίτη από ότι την άργιλο (φαίνεται και από το γεγονός ότι για $\Delta P/P = 2$ έχουμε μεγαλύτερη συμπεστικότητα όπως αναμενόταν παρόλο την αντίθετη επιρροή που εξ ορισμού θα είχε η μικρότερη παρουσία της δευτερογενούς στερεοποίησης στη συγκεκριμένη δοκιμή), καταφέρνει να αυξήσει την συμπεστικότητα του δοκιμιού για $\Delta P/P = 0.5$ σε σημείο που να γίνει μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για $\Delta P/P = 1$. Λογικά η δευτερογενής συμπίεση αρχίζει να επιδρά για $\Delta P/P = 0.5$ μιας και η επαναφόρτιση γίνεται μέσα σε διάρκεια 5 ημερών αντί 3 και 2 που συμβαίνει για $\Delta P/P = 1$ και $\Delta P/P = 2$ αντίστοιχα.

Τελος, μέσω των συγκεκριμένων δοκιμών παρατηρείται πως, ακόμα και σε σκληρά εδάφη (πχ. Καλκαρενίτης), ένας πολύ χαμηλός ρυθμός φόρτισης μπορεί να προκαλέσει μία υπολογίσιμη δευτερογενή στερεοποίηση η οποία τελικώς να συμβάλει σε μεγαλύτερη συμπεστικότητα από την αντίστοιχη ενός κάπως μεγαλύτερου $\Delta P/P$.

6.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε και στην 5.2.2 ο ρυθμός της συμπίεσης εξαρτάται κυρίως από την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, όπως υποστήριξαν και οι

Lambe – Whitman (1969), αλλά και από την συμπιεστότητα του εδαφικού σκελετού και εκφράζεται διαμέσου του συντελεστή στερεοποίησης c_v .



$C_v(675kPa)$				$C_v(2025kPa)$		$C_v(6075kPa)$		
15,028				1,489		1,425		
$C_v(200kPa)$		$C_v(400kPa)$		$C_v(800kPa)$		$C_v(1600kPa)$		$C_v(3200kPa)$
1,916		0,904		0,813		0,583		
$C_v(150kPa)$	$C_v(350kPa)$	$C_v(525kPa)$	$C_v(775kPa)$	$C_v(1150kPa)$	$C_v(1725kPa)$	$C_v(2600kPa)$	$C_v(3900kPa)$	$C_v(350kPa)$
2,596	1,929	1,279	0,554	0,523	0,601	0,571	0,494	0,570

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.13 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΔΡ/Ρ ΣΤΟΝ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

Στο Διάγραμμα 6.13 υπάρχει φαίνεται η μεταβολή του c_v συναρτήσει της κατακόρυφου ενεργού τάσης, και για τους τρεις ρυθμούς φόρτισης που εξετάστηκαν στον καλκαρενίτη. Όπως είναι γνωστό, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής στερεοποίησης τόσο μικρότερος είναι και ο χρόνος ολοκλήρωσης της πρωτογενούς στερεοποίησης. Στο Διάγραμμα 6.13 παρατηρείται ότι και στις τρεις περιπτώσεις, ο συντελεστής στερεοποίησης μειώνεται πάρα πολύ απότομα με την αύξηση της πίεσης μέχρι περίπου την τάση προφόρτισης. Στη συνέχεια, μέσα σε πολύ μικρό διάστημα σταθεροποιείται σε μία πολύ μικρή

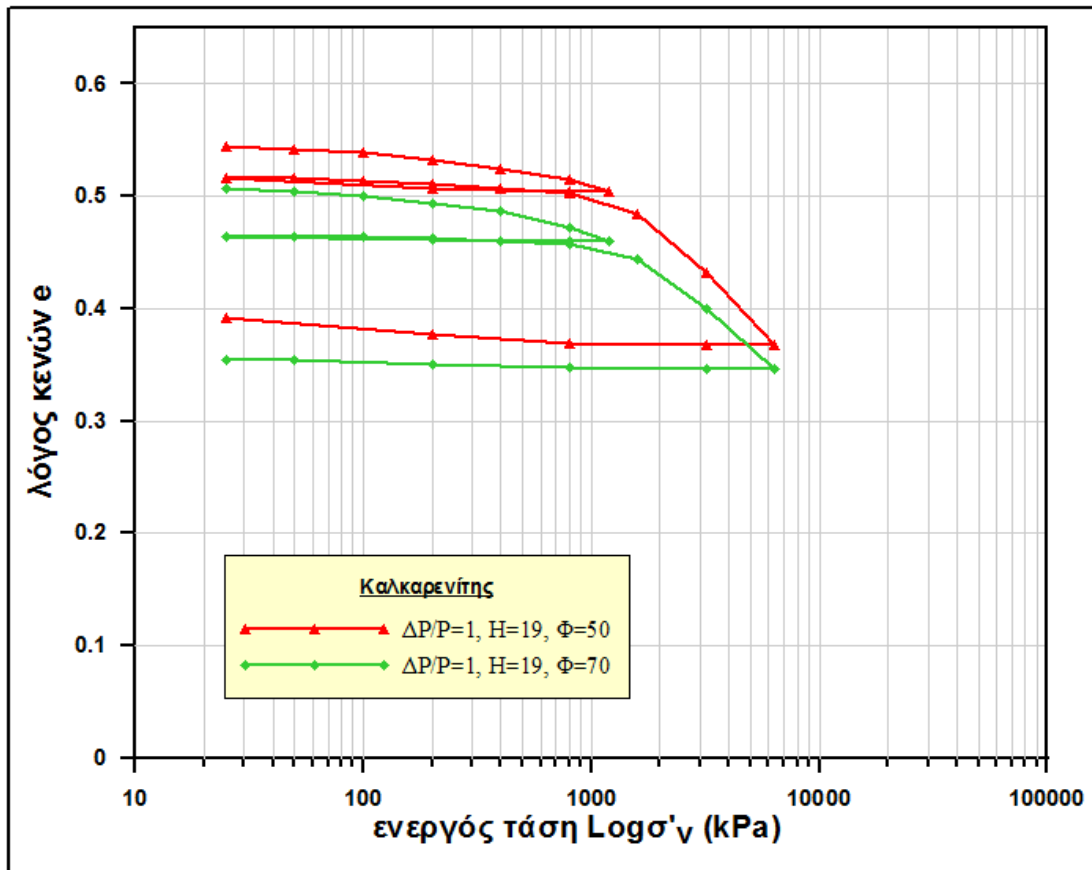
τιμη γύρω από την οποία συνεχίζει να κείται η κάθε καμπύλη με επιπλέον αύξηση της τάσης. Οι 3 ελάχιστες αυτές τιμές είναι παραπλήσιες και κυμαίνονται μεταξύ του 1,5 και 2 m²/year.

Παρατηρείται και στον καλκαρενίτη η ίδια με την άργιλο επίδραση του ρυθμού φόρτισης στον συντελεστή στερεοποίησης. Δηλαδή οι τιμές του c_v μικραίνουν καθώς μικραίνει η τιμή του $\Delta P/P$. Με την διαφορά βέβαια πως εδώ το φαινόμενο αυτό παρατηρείται για τάσεις έως την τάση προφόρτισης, διότι πέραν από αυτή πολύ σύντομα και οι 3 τρεις καμπύλες σταθεροποιούνται άμεσα γύρω από παραπλήσιες ελάχιστες τιμές. Όπως και στην 5.2.2 η διερεύνηση της επίδρασης του ρυθμού φόρτισης στη χρονική εξέλιξη της στερεοποίησης οδηγεί στο λογικό συμπέρασμα της ολοκλήρωσης του φαινομένου συντομότερα για μεγαλύτερους ρυθμούς φόρτισης άρα και για μικρότερο αριθμό διαδοχικών φορτίσεων.

6.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Στον καλκαρενίτη αποφασίστηκε η διερεύνηση της επίδρασης της διαμέτρου το δοκιμίου στην μονοδιάστατη στερεοποίηση. Στη συγκεκριμένη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε δοκίμιο διαμέτρου 70 mm, σε αντίθεση με όλες τις άλλες δοκιμές για το συγκεκριμένο υλικό, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε δοκίμια διαμέτρου 50 mm.

Στο Διάγραμμα 6.14 φαίνονται οι καμπύλες στερεοποίησης των δοκιμών με διαφορετικού μεγέθους δοκίμιο (XI και IX) για μοναδιαίο ρυθμό φόρτισης. Οι καμπύλες φαίνονται να έχουν την ίδια μορφή και να βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα λόγω της διαφορετικότητας των δοκιμών. Κατά τα άλλα παρατηρείται μια ελαφρώς μειώμενη συμπιεστότητα στο δοκίμιο μεγαλύτερης διαμέτρου πράγμα που φαίνεται και στον Πίνακα 6.1, αλλά θα φανεί και παρακάτω. Επίσης η τάση προφόρτισης του καλκαρενίτη για τις δύο αυτές δοκιμές βρίσκεται περίπου στο ίδιο επίπεδο ενεργών τάσεων (υπολογίστηκε 1795 kPa για την δοκιμή IX και 1778 kPa για την δοκιμή XI), ενώ όπως και στην διερεύνηση των διαφορετικών ρυθμών φόρτισης παρατηρείται σύγκλιση των κλάδων των καμπύλων πέραν της p_c , καθώς αυξάνεται η ενεργός τάση. Η τελευταία παρατήρηση επιβεβαιώνεται και από τις σχετικές τιμές του Πίνακα 6.1.

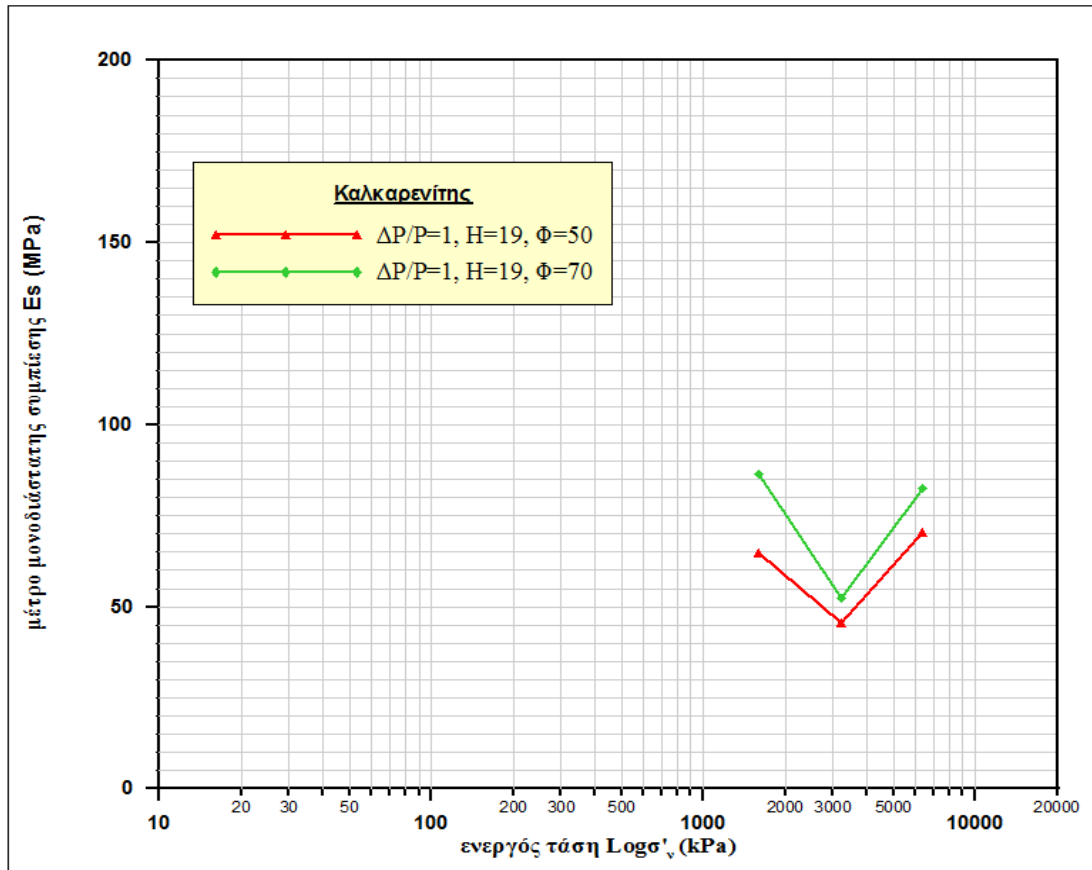


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.14 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΣΤΟΝ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

6.3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Βάσει των συντελεστών συμπίεστότητας και της διαμέτρου του δοκιμίου, ισχύει: $C_c^{(50)} > C_c^{(70)}$. Η ανισότητα αυτή ισχύει και για τους συντελεστές επαναφόρτισης. Από το Διάγραμμα 6.15 επίσης φαίνεται πως το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο συναρτήσει της ενεργού τάσης και για τις δύο δοκιμές, μόνο που για την δοκιμή των 70 mm οι τιμές του είναι πάντα μεγαλύτερες από τις τιμές για τα 50 mm. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως με την αύξηση της διαμέτρου συνεπάγεται και μείωση της συμπίεστότητας της εδαφικής μάζας, καθ' όλην την καμπύλη συμπίεσης.

Το συμπέρασμα αυτό ήταν αναμενόμενο από διαισθητική άποψη καθώς γενικώς όσο μεγαλώνει ο λόγος *εμβαδόν/ύψος* τόσο μικραίνει και η αξονική παραμορφωσιμότητα του υπό εξέταση στοιχείου.



$E_s(1600\text{kPa})$ 86,6	$E_s(3200\text{kPa})$ 52,2	$E_s(6400\text{kPa})$ 82,7
$E_s(1600\text{kPa})$ 64,9	$E_s(3200\text{kPa})$ 45,8	$E_s(6400\text{kPa})$ 70,5

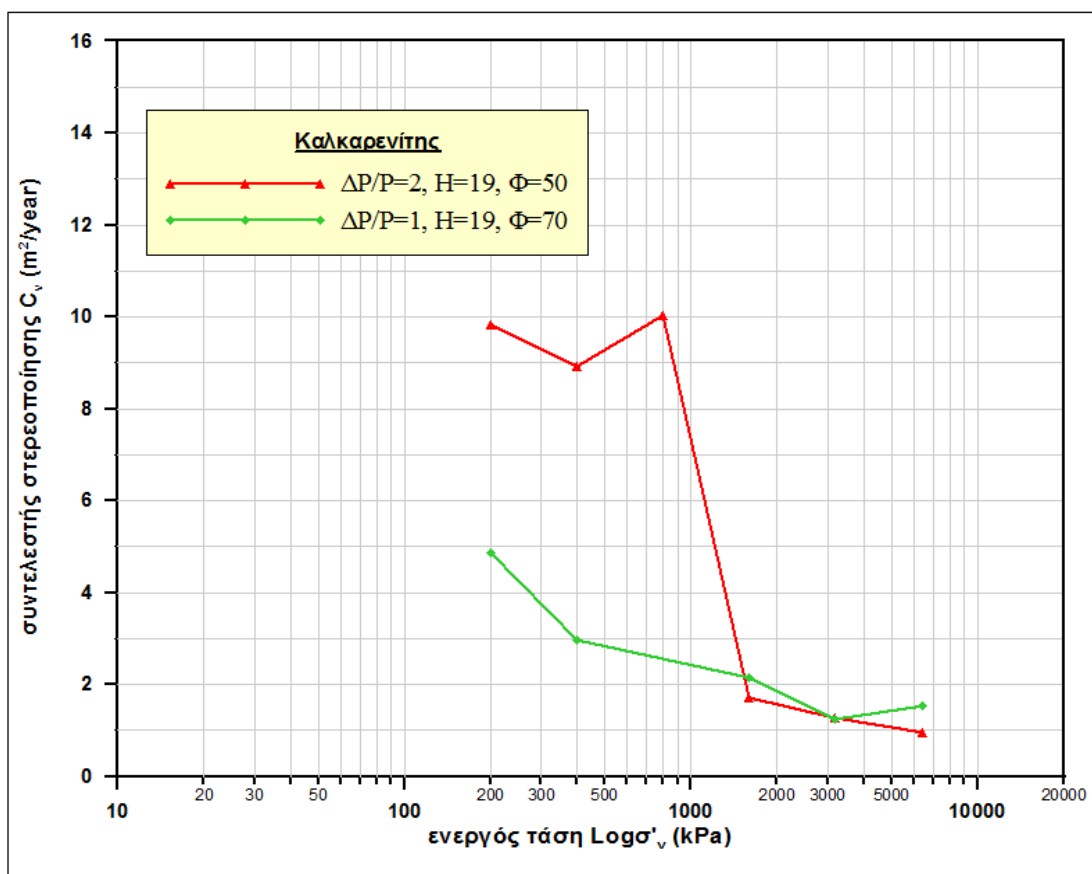
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.15 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΣΤΟΝ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

6.3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Σε αυτήν την παράγραφο θα συγκριθούν οι τιμές των συντελεστών στερεοποίησης συναρτήσει της ενεργού τάσης σε κάθε βήμα φόρτισης. Στο Διάγραμμα 6.16 που ακολουθεί φαίνεται η μεταβολή του c_v συναρτήσει της κατακορύφου ενεργού τάσης και για τις δύο διαμέτρους δοκιμίων που εξετάστηκαν.

Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται η τιμή του συντελεστή στερεοποίησης για το δοκίμιο μεγαλύτερης διαμέτρου να είναι η μικρότερη από 200 έως τα 1500 kPa περίπου. Αυτό συνεπάγεται και βραδύτερη ολοκλήρωση του φαινομένου για το δοκίμιο αυτό έως περίπου την τάση προφόρτισης. Στη συνέχεια και οι δύο καμπύλες φαίνεται να έχουν πάρει μία παρόμοια πολύ μικρή τιμή η οποία

να μεταβάλλεται (μειώνεται) ελάχιστα με κάθε περαιτέρω αύξηση της ενεργού τάσης. Άρα από εκεί και πέρα η στερεοποίηση ολοκληρώνεται με ένα αρκετά πιο αργό ρυθμό της τάξης του $c_v = 1 \sim 1,5 \text{ kPa}$ περίπου. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως η διάμετρος του δοκιμίου μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον εκτιμώμενο χρόνο ρξέλιξης της στερεοποίησης για τάσεις περί της περιοχής προφόρτισης. Οι διαφορές θα είναι όλο και πιο μικρές και αμελητέες όσο λογότερο προφορτισμένο είναι το υλικό και όσο μεγαλύτερο μέρος της φόρτισης αντιστοιχεί έξω και πέραν από την περιοχή τάσεων που το υλικό έχει κάποτε ξαναβρεθεί.



$Cv_{(200kPa)}$	$Cv_{(400kPa)}$	$Cv_{(1600kPa)}$		$Cv_{(3200kPa)}$	$Cv_{(6400kPa)}$
4,869	2,970	2,150		1,244	1,537
$Cv_{(200kPa)}$	$Cv_{(400kPa)}$	$Cv_{(800kPa)}$	$Cv_{(1600kPa)}$	$Cv_{(3200kPa)}$	$Cv_{(6400kPa)}$
9,834	8,917	10,036	1,703	1,284	0,965

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.16 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΤΑΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΣΤΟΝ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

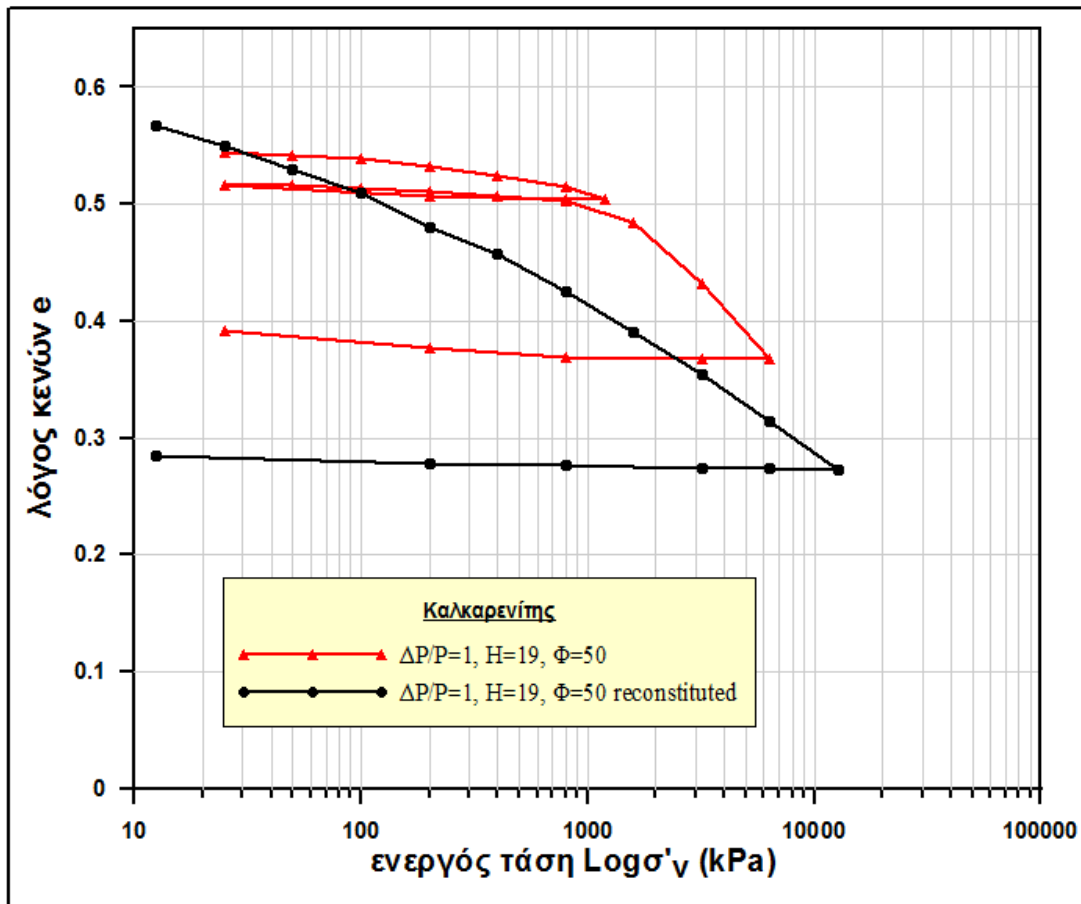
6.4 ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΟ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Στη θέση 11 εκτελέστηκε η δοκιμή Νο. XII, σε αναμοχλευμένο δοκίμιο καλκαρενίτη το οποίο σχηματίστηκε στο εργαστήριο, βάσει των όσων αναφέρονται στην παράγραφο 2.6. Το δοκίμιο είχε τις ίδιες διαστάσεις με τα δοκίμια και των υπολοίπων δοκιμών πλην της δοκιμής Νο. XI, φορτίστηκε έως την τάση των 12800 kPa και στη συνέχεια αποφορτίστηκε. Στον Πίνακα 6.7 υπάρχουν οι τιμές των μεγεθών m_v , E_s , c_v , C_c που υπολογίστηκαν για το κάθε βήμα φόρτισης της συγκεκριμένης δοκιμής στερεοποίησης.

ΔΟΚΙΜΗ Νο. XII				
Φορτία (kPa)	m_v	E_s	c_v	C_c
0				
12.5	2,177	0,459	12,634	<i>N.D.</i>
25	0,889	1,125	<i>N.D.</i>	0,058
50	0,530	1,887	<i>N.D.</i>	0,068
100	0,267	3,742	<i>N.D.</i>	0,068
200	0,192	5,206	<i>N.D.</i>	0,096
400	0,079	12,711	2,785	0,077
800	0,055	18,197	1,942	0,106
1600	0,030	33,153	6,127	0,114
3200	0,017	60,442	8,105	0,122
6400	0,009	111,130	9,217	0,129
12800	0,005	199,455	16,116	0,140

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ XII

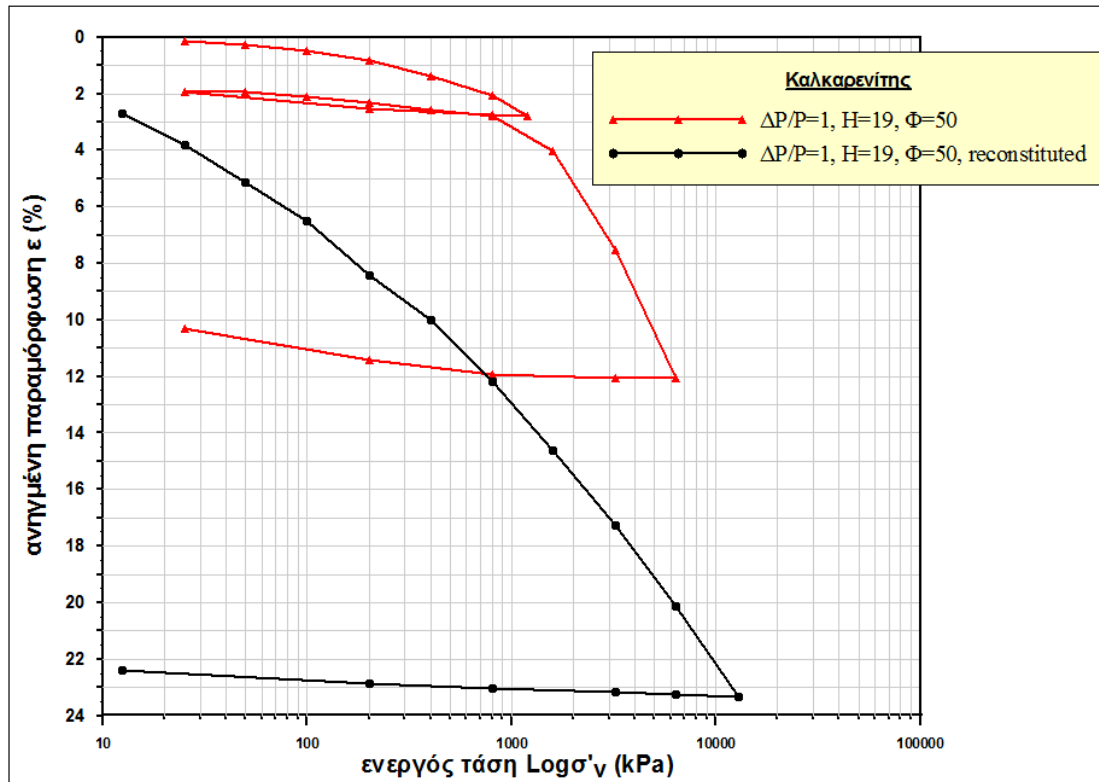
Στο Διάγραμμα 6.17 έχει σχεδιαστεί η καμπύλη $e - \text{Log} \sigma'_v$ του αναμοχλευμένου υλικού, ενώ επίσης έχει χαραχτεί και η καμπύλη της δοκιμής με ρυθμό φόρτισης 1 για το αρχικό καλκαρενιτικό υλικό. Όπως και στην άργιλο, και εδώ παρατηρείται πως οι δύο καμπύλες έχουν ίδια κλίση και σχεδόν όμοια μορφή για τάσεις μεγαλύτερες της τάσης p_c ενώ για τις πιο μικρές τάσεις παρουσιάζονται δύο καμπύλες με διαφορετική κλίση, μορφή και μηχανική συμπεριφορά.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.17 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΟΥ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΓΙΑ $\Delta P/P=1$

Το αναμοχλευμένο υλικό παρουσιάζει από την αρχή μία όμοια σχεδόν κλίση (συμπίεστότητα) με την αυτήν της virgin καμπύλης που προκύπτει από την δοκιμή στον αρχικό καλκαρενίτη. Αυτή δείχνει τις βασικές εγγενείς ιδιότητες που διέπουν το συγκεκριμένο καλκαρενιτικό υλικό, ιδιότητες οι οποίες επικρατούν και στο αρχικό υλικό για τις πολύ μεγάλες τάσεις πέραν της p_c .

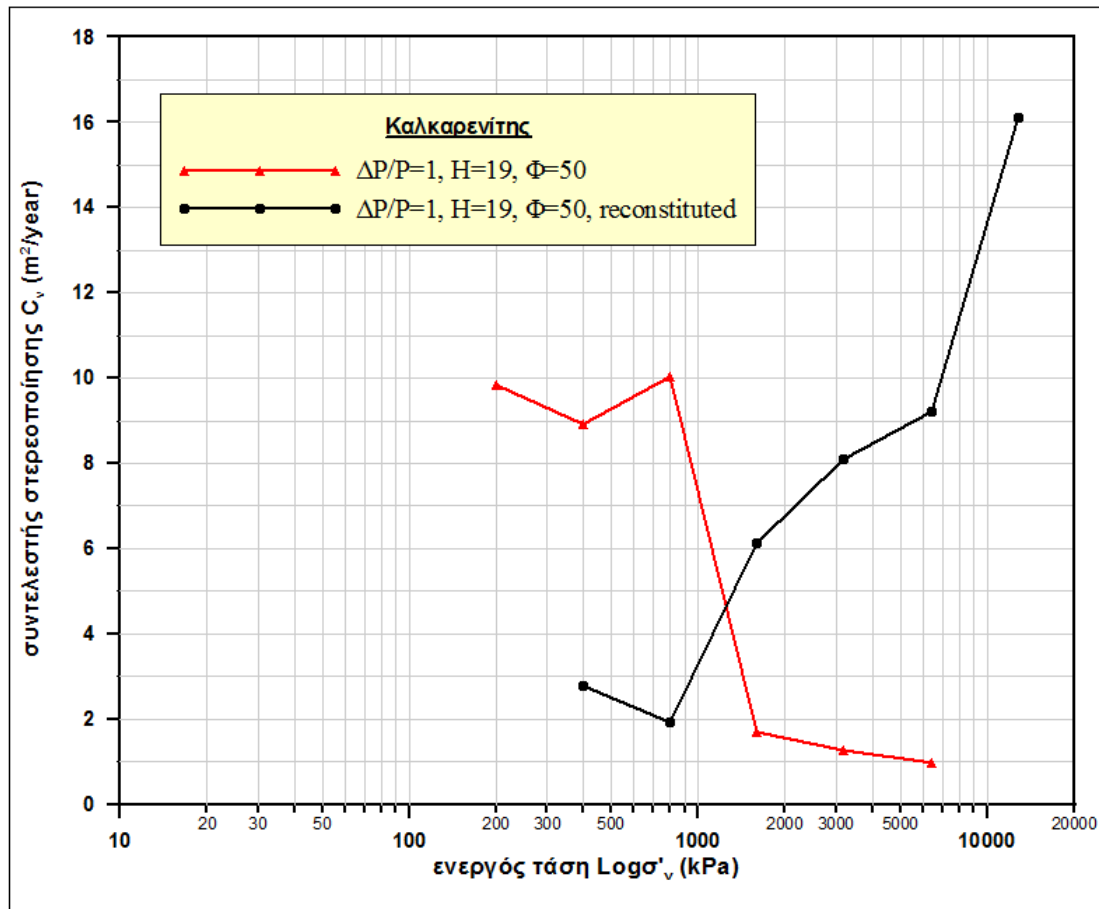
Στην καμπύλη ανηγμένης παραμόρφωσης της αναμοχλευμένης αργίλου σε αντιπαράθεση με αυτήν της αρχικής αργίλου για $\Delta P/P = 1$ (Διάγραμμα 6.18) γίνεται εύκολα αντιληπτή η σημαντικά αυξημένη παραμορφωσιμότητα του αναμοχλευμένου υλικού για το πεδίο των τάσεων του προφορτισμένου τμήματος του αρχικού καλκαρενίτη. Ένα πολύ μεγάλο μέρος της ολικής παραμόρφωσης του αναμοχλευμένου υλικού (εώς τιμή ανηγμένης παραμόρφωσης $\varepsilon \cong 15\%$) έχει αναπυχθεί έως την τάση των 1600 kPa (ποσοστό περίπου 63%), ενώ το αντίστοιχο για το αρχικό υλικό είναι έως $\varepsilon \cong 4\%$ (ποσοστό περίπου 33%).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.18 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΟΥ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΓΙΑ $\Delta P/P=1$

Στο Διάγραμμα 6.19 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται ο συντελεστής στερεοποίησης συναρτήσει της ενεργού τάσης για την δοκιμή του αναμοχλευμένου καλκαρενίτη αλλά και του αρχικού για $\Delta P/P = 1$. Φαίνεται λοιπόν ξεκάθαρα πως το αναμοχλευμένο δοκίμιο παρουσιάζει μια ιδιάζουσα συμπεριφορά, έχοντας πολύ μικρές τιμές c_v στην αρχή της φόρτισης, οι οποίες όμως αυξάνονται ταχύτητα καθώς αυξάνεται και η ενεργός τάση. Η συμπεριφορά αυτή διαφέρει πλήρως από αυτές που έχουν τα δοκίμια των αρχικών φυσικών καλκαρενιτών και δείχνει πως όσο το υλικό είναι νέο και ασχημάτιστο η στερεοποίηση συντελείται αργά αλλά καθώς αυτό συμπιέζεται και γίνεται πιο σταθερό αυξάνει κατακόρυφα το ρυθμό χρονικής εξέλιξης της στερεοποίησης του.

Όταν λοιπόν το υλικό αφού συμπιεστεί, αποκτήσει μια στιβαρότητα και μειώσει αρκετά την τιμή του m_v σημειώνονται μεγαλύτερες τιμές του c_v που δείχνουν και μια έντονη επιτάχυνση του φαινομένου στα επίπεδα των ψηλών τάσεων. Αξίζει να τονισθεί πως στις υψηλές τάσεις (πέραν των 1500 kPa) ο συντελεστής στερεοποίησης αρχίζει να ξεπερνά συνεχώς τον αντίστοιχο συντελεστή του αρχικού υλικού και μέχρι το σημείο μέγιστης φόρτισης του δεν φαίνεται η αύξηση αυτή να ελατώνεται ή να σταματά σε κάποιο σημείο.



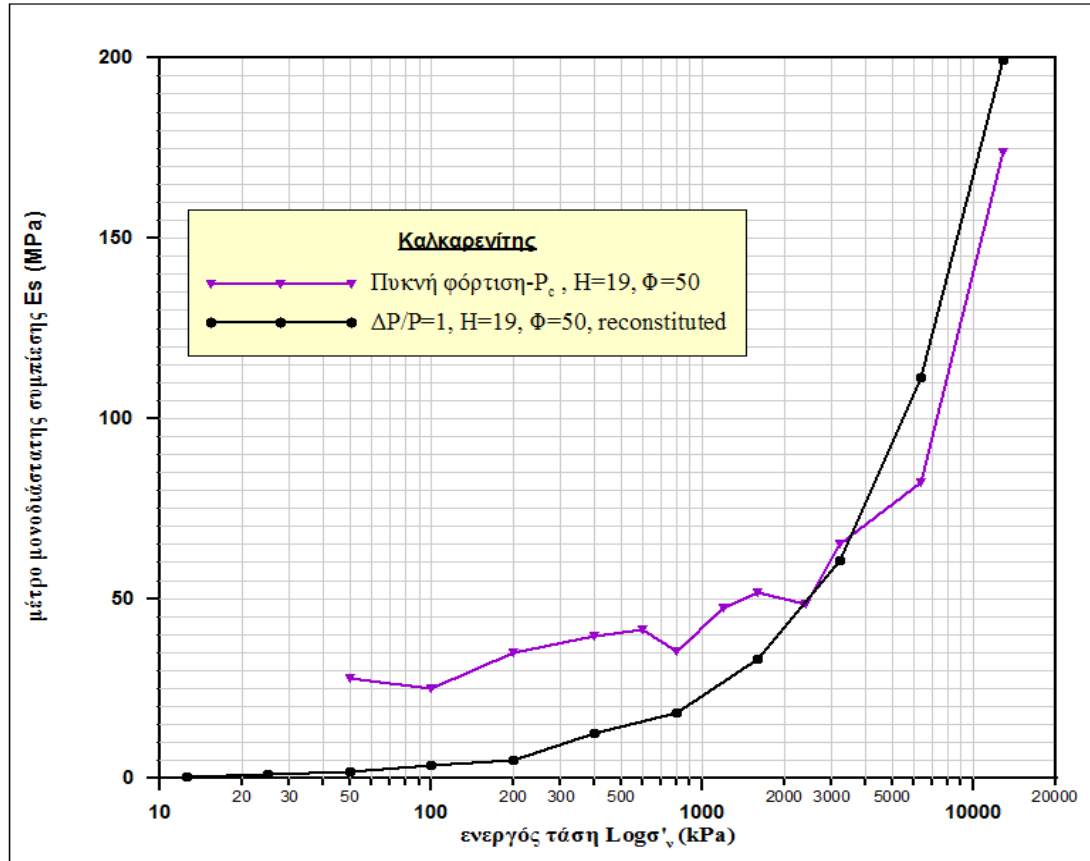
$C_{V(400\text{kPa})}$	$C_{V(800\text{kPa})}$	$C_{V(1600\text{kPa})}$	$C_{V(3200\text{kPa})}$	$C_{V(6400\text{kPa})}$	$C_{V(12800\text{kPa})}$
2,785	1,942	6,127	8,105	9,217	16,116
$C_{V(200\text{kPa})}$	$C_{V(400\text{kPa})}$	$C_{V(800\text{kPa})}$	$C_{V(1600\text{kPa})}$	$C_{V(3200\text{kPa})}$	$C_{V(6400\text{kPa})}$
9,834	8,917	10,036	1,703	1,284	0,965

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.19 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΟΥ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΓΙΑ ΔΡ/Ρ=1

Τελειώνοντας παρατίθεται η καμπύλη που συγκρίνει την μεταβολή του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης E_s του αναμοχλευμένου με το αρχικό υλικό. Λόγω του ότι το αναμοχλευμένο υλικό είναι εντελώς ασχημάτιστο χωρίς συμπαγή δομή αλλά και του ότι φορτίζεται με $\Delta P/P = 1$ (αποδείχτηκε πως ο μεγαλύτερος ρυθμός φόρτισης αυξάνει την συμπίεστικότητα) αναμένεται να έχει μικρότερο μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης E_s όπως και συμβαίνει. Παρατηρείται όμως η καμπύλη για το αναμοχλευμένο να υπερβαίνει αυτής του αρχικού για τάσεις μεγαλύτερες των 3500 kPa.

Η εργαστηριακή αυτή παρατήρηση είναι αρκετά ενδιαφέρουσα και δείχνει πως για τα σκληρά υλικά που συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία των “σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων”, η συμπαγής και σταθερή δομή

μπορεί να αποκτηθεί αρκετά εύκολα ακόμα και με την πρώτη φόρτιση τους και εύρεση τους σε μεγάλες ενεργές τάσεις.



ES_(400kPa)	ES_(800kPa)		ES_(1600kPa)		ES_(3200kPa)		ES_(6400kPa)	ES_(12800kPa)
12,71	18,20		33,15		60,44		111,13	199,46
ES_(400kPa)	ES_(600kPa)	ES_(800kPa)	ES_(1200kPa)	ES_(1600kPa)	ES_(2400kPa)	ES_(3200kPa)	ES_(6400kPa)	ES_(12800kPa)
39,74	41,27	35,26	47,34	51,54	48,49	64,97	82,08	173,76

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.20 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕΤΡΟΥ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΟΥ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

7. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

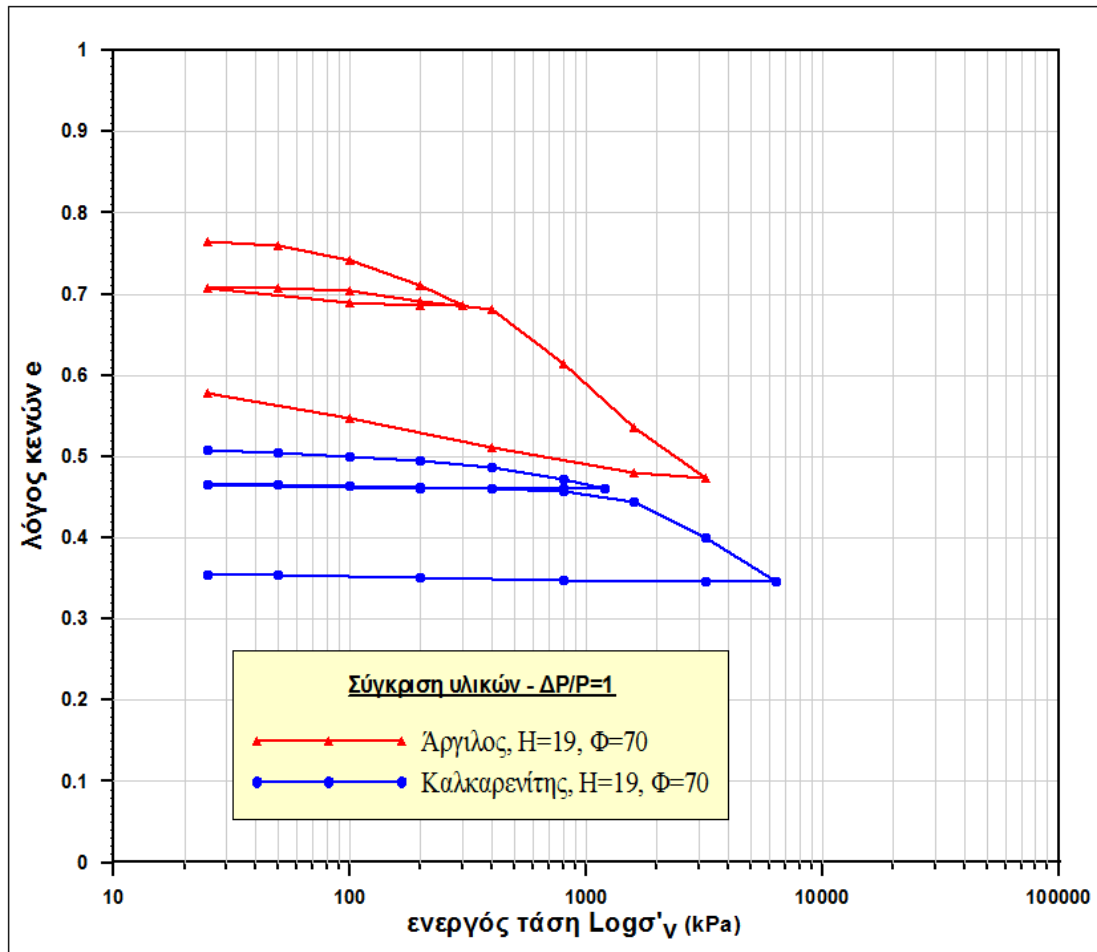
Στην ενότητα αυτή θα αντιπαρατεθούν οι δοκιμές αργίλου και καλκαρενίτη με ομοειδής παραμέτρους, έτσι ώστε να ενοπιστούν οι διαφορές στη μηχανική συμπεριφορά οι οποίες θα οφείλονται αποκλειστικά στην διαφορετικότητα των υλικών και των ιδιοτήτων τους. Η παρούσα ενότητα χωρίζεται σε δύο μέρη, το ένα αφορά τη σύγκριση των αρχικών υλικών, έτσι εκτός της διαφορετικότητας του εδάφους υπεισέρχεται και η διαφορετική γεωλογική ιστορία του κάθε σχηματισμού, και το άλλο τη σύγκριση των αναμοχλευμένων, όπου εδώ διαπιστώνονται οι διαφορές στις εγγενείς ιδιότητες που παρουσιάζουν τα δύο υλικά.

7.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

Η συγκεκριμένη παράγραφος χωρίζεται σε τέσσερις υποπαργράφους, καθεμία εκ των οποίων αντιπαραθέτει τις δοκιμές ίδιου ρυθμού φόρτισης (και όπου είναι δυνατόν δοκιμίου ίδιων ακριβώς διαστάσεων) των δύο υλικών. Σε κάθε ενότητα παρουσιάζονται μέσω διαγραμμάτων οι καμπύλες $e - \text{Log} \sigma'_v$, καθώς και τα γραφήματα των c_v και E_s συναρτήσει της κατακορύφου ενεργού τάσης. Από το σημείο αυτό το μπλέ χρώμα θα αντιπροσωπεύει τον καλκαρενίτη ενώ το κόκκινο την άργιλο.

7.1.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΡΥΘΜΟ ΦΟΡΤΙΣΗΣ = 1

Για $\Delta P/P = 1$ και μόνο, έχουν γίνει δοκιμές τόσο σε άργιλο όσο και σε καλκαρενίτη σε δοκίμια ίδιων διαστάσεων ($H=1,9cm$ και $\Phi=70 mm$). Οι δοκιμές αυτές, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.3 είναι οι II και XI. Αρχικά συγκρίνονται οι καμπύλες συμπίεσης των δύο αυτών δοκιμών, οι οποίες φαίνονται στο Διάγραμμα 7.1.

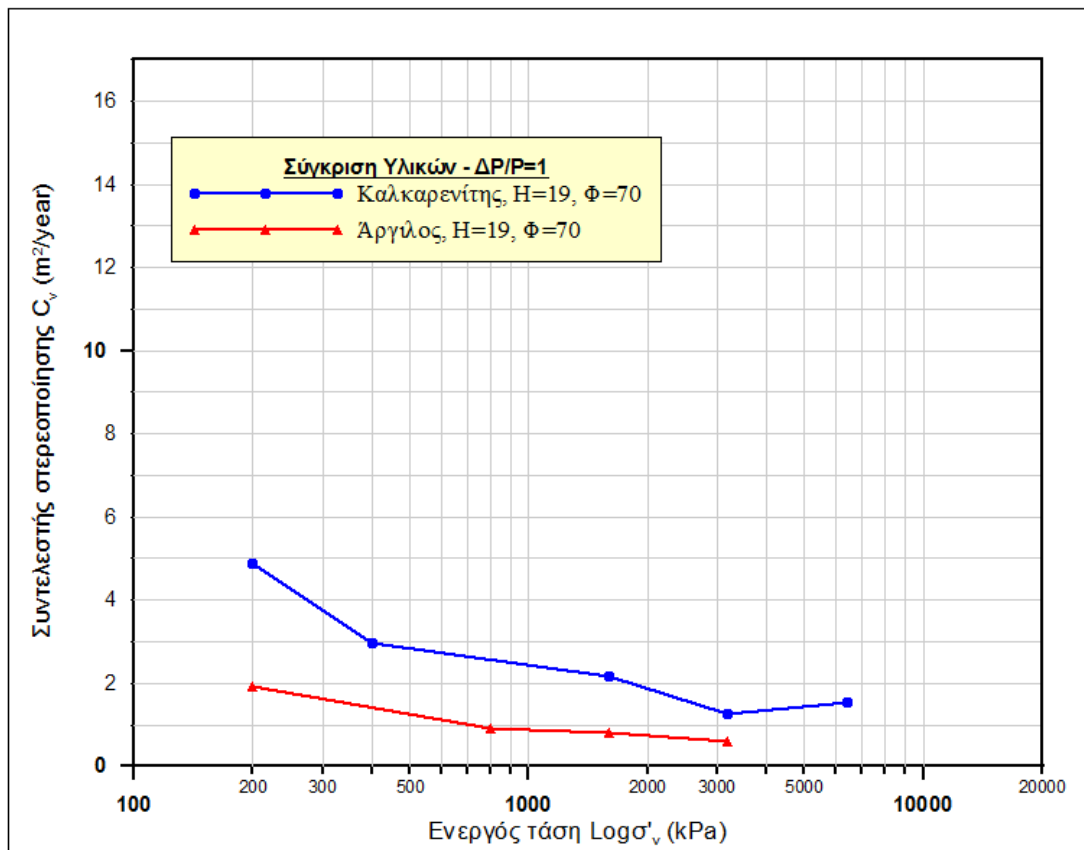


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7.1 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΓΙΑ ΔΡ/Ρ=1

Παρατηρείται πως τα δοκίμια των δύο υλικών διαφέρουν κατά πολύ στον λόγο κενών. Καθ' όλη την συμπίεση η καμπύλη της αργίλου μεταβάλλεται μεταξύ σημαντικά μεγαλύτερων τιμών λόγου κενών από αυτή του καλκαρενίτη. Συγκεκριμένα έχει $e_0 = 0,77$ και $e_{min} = 0,47$ ενώ ο καλκαρενίτης $e_0 = 0,51$ και $e_{min} = 0,34$. Αυτό αποδεικνύει πως η άργιλος είναι ένα αρκετά πιο πορώδες υλικό και κατ' επέκταση πιο συμπιεστό και μαλακό από τον καλκαρενίτη. Το τελευταίο αποδεικνύεται και με το σύνολο της μεταβολής του λόγου κενών από την αρχική έως την τελική τάση (σημειώνεται επίσης πως η τελική τάση που φορτίζεται ο καλκαρενίτης είναι διπλάσια αυτής της αργίλου). Για τον καλκαρενίτη έχουμε μία μείωση της τάξης του 0,16 ενώ για την άργιλο του 0,30. Οι αντίστοιχοι συντελεστές συμπιεστότητας είναι $C_c = 0,243$ και $C_c = 0,180$. Τέλος άξιο αναφοράς είναι το γεγονός της σχεδόν παντελούς απουσίας ελαστικότητας στον καλκαρενίτη. Φαίνεται και από το Διάγραμμα 7.1 αλλά και από τις τιμές των Πινάκων 5.1 και 5.2 πως στον καλκαρενίτη η αποφόρτιση οδηγεί σε μηδαμινή επαναφορά του υλικού και ανελαστική συμπεριφορά, σε αντίθεση με την

άργιλο που ένα μέρος των παραμορφώσεων της επανέρχεται κατά την αποφόρτιση, παρουσιάζοντας μια ελαστικότητα.

Ως προς την χρονική εξέλιξη των καθιζήσεων αναμένεται η στερεοποίηση να συντελείται σαφώς ταχύτερα σε ένα σκληρό έδαφος που η μηχανική του συμπεριφορά πλησιάζει τον βράχο, από ότι σε μία μαλακή άργιλο με υψηλή πλαστικότητα και συμπιεστότητα. Το Διάγραμμα 7.2 παρουσιάζει την μεταβολή των συντελεστών στερεοποίησης των αντίστοιχων δοκιμών των δύο υλικών. Στο εν λόγω Διάγραμμα διαπιστώνεται αυτό που αναμενόταν. Ο συντελεστής στερεοποίησης του καλκαρενίτη είναι καθ' όλην τη φόρτιση μεγαλύτερος αυτού της αργίλου, και ακόμα και στην υψηλότερη τάση (6400 kPa) παραμένει σε σημαντικά υψηλότερο επίπεδο από αυτό του συντελεστή της αργίλου για μικρότερη μέγιστη τάση (3200 kPa).

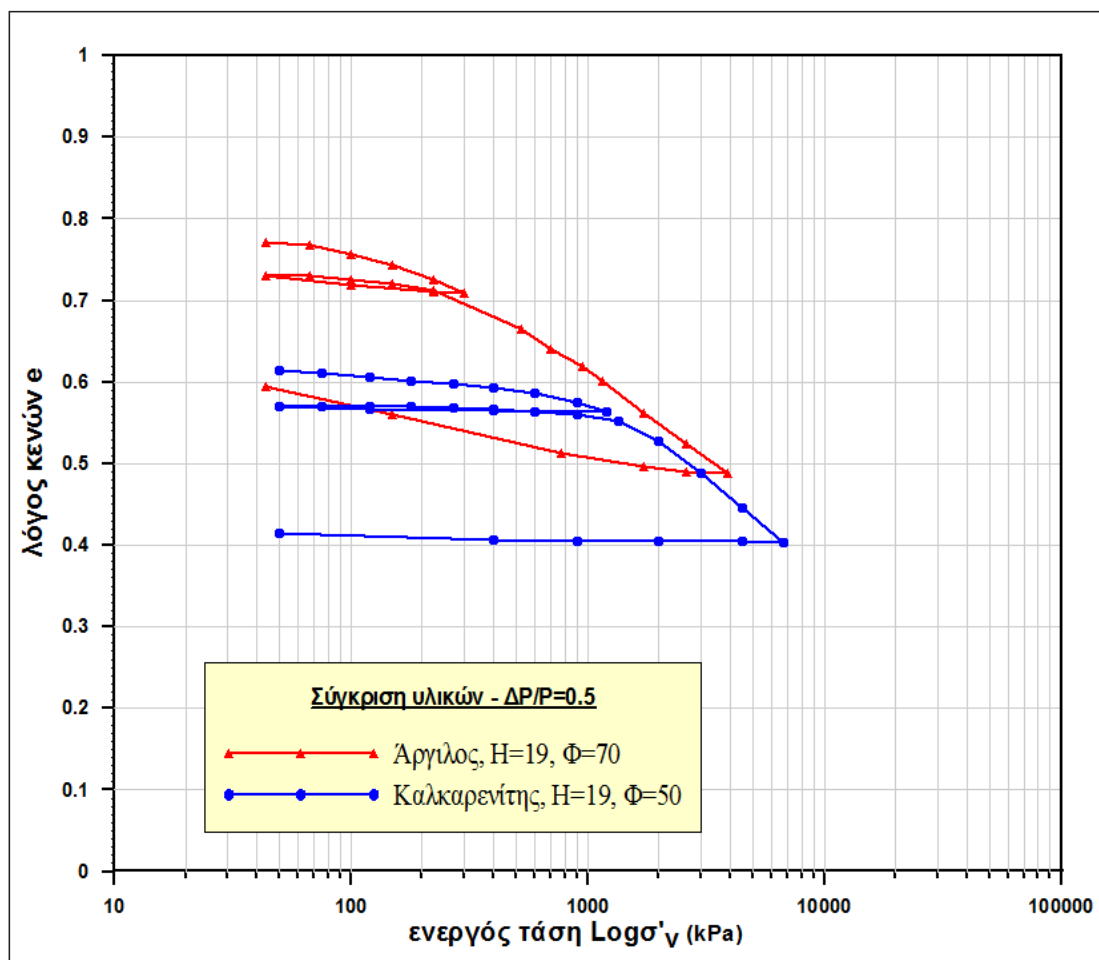


$C_v(200\text{kPa})$ 4,869	$C_v(400\text{kPa})$ 2,970	$C_v(1600\text{kPa})$ 2,150	$C_v(3200\text{kPa})$ 1,244	$C_v(6400\text{kPa})$ 1,537
$C_v(200\text{kPa})$ 1,916	$C_v(800\text{kPa})$ 0,904	$C_v(1600\text{kPa})$ 0,813	$C_v(3200\text{kPa})$ 0,513	

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΟ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΓΙΑ $\Delta P/P=1$

7.1.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΡΥΘΜΟ ΦΟΡΤΙΣΗΣ = 0.5

Στην παράγραφο αυτήν θα συγκριθούν οι δοκιμές IV και VIII, όπου έγιναν σε δοκίμια αργίλου και καλκαρενίτη ύψους $H=19 \text{ mm}$ και με $\Delta P/P = 0.5$ αντίστοιχα. Η μόνη διαφορά στα δύο δοκίμια έγκειται στο μέγεθος της διαμέτρου, όπου στο μεν αργιλικό η διάμετρος ήταν 70 mm ενώ στο δε καλκαρενιτικό 50 mm. Στο Διάγραμμα 7.3 που ακολουθεί υπάρχουν οι καμπύλες συμπίεσης των εν λόγω πειραμάτων.

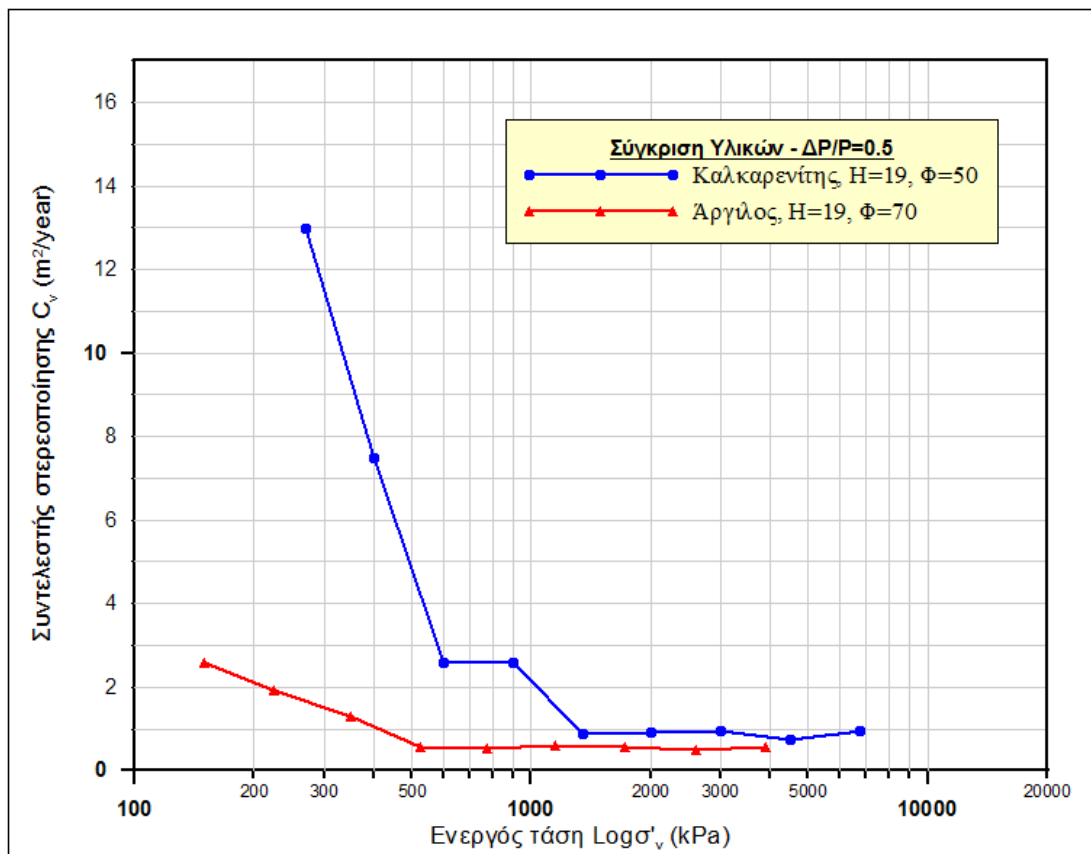


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7.3 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΓΙΑ $\Delta P/P=0.5$

Και σε αυτό το γράφημα φαίνεται το μεγαλύτερο πορώδες της αργίλου από τον καλκαρενίτη ($e_0 = 0,77$ για την άργιλο και $e_0 = 0,51$ για τον καλκαρενίτη). Υπάρχει επίσης διαφορά στη συμπιεστότητα των δύο υλικών η οποία όμως φαίνεται μικρότερη από αυτή του Διαγράμματος 7.1, διότι τώρα το

καλκαρενιτικό δοκίμιο είναι μικρότερης διαμέτρου από το αργιλικό, γεγονός που αναφέρθηκε να αυξάνει την μετρούμενη συμπίεστικότητα ενός εδαφικού σχηματισμού (από τα νούμερα των Πινάκων 5.1 και 6.1 για την άργιλο $e_0 - e_{min} = 0,29$ και για τον καλκαρενίτη $e_0 - e_{min} = 0,22$). Επίσης είναι και εδώ εμφανής η ανελαστικότητα των παραμορφώσεων του καλκαρενίτη συγκριτικά με της αργίλου ($e_f - e_{min} = 0,10$ και $e_f - e_{min} = 0,02$).

Τέλος για την χρονική εξέλιξη του φαινομένου της στερεοποίησης σχεδιάστηκε το Διάγραμμα 7.4. Σε αυτό το γράφημα παρατηρείται μεγάλη διαφορά στους συντελεστές στερεοποίησης, η οποία οφείλεται και στις διαφορετικές ιδιότητες των υλικών (γίνεται αναφορά στην 7.1.1) αλλά και στο γεγονός ότι το καλκαρενιτικό δοκίμιο είναι μικρότερης διαμέτρου, γεγονός που ενισχύει την ταχύτερη αποτόνωση των υπερπλίσεων και συνεπώς την ολοκλήρωση του φαινομένου.

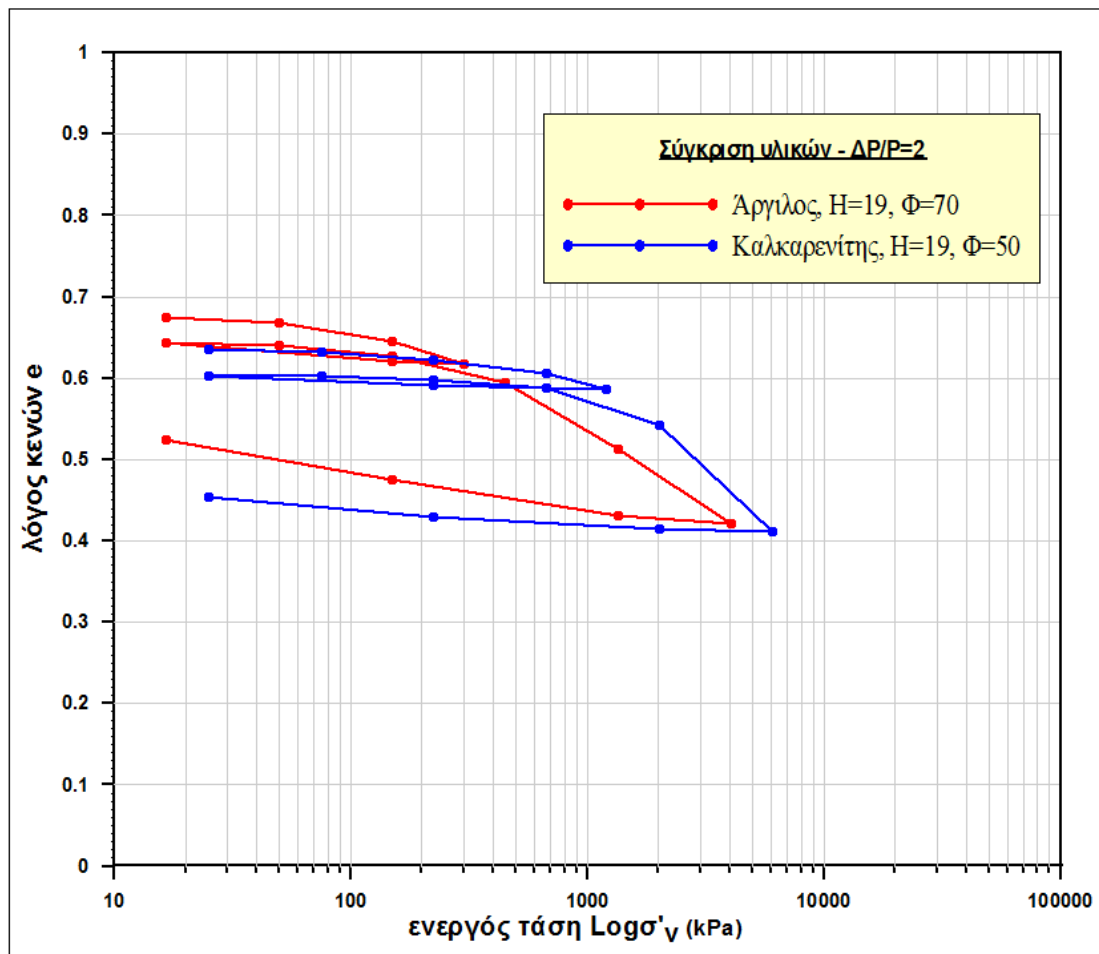


$C_{V(270kPa)}$	$C_{V(400kPa)}$	$C_{V(600kPa)}$	$C_{V(900kPa)}$	$C_{V(1350kPa)}$	$C_{V(2000kPa)}$	$C_{V(300kPa)}$	$C_{V(4500kPa)}$	$C_{V(6750kPa)}$
12,983	7,481	2,589	2,584	0,868	0,906	0,938	0,746	0,942
$C_{V(150kPa)}$	$C_{V(225kPa)}$	$C_{V(350kPa)}$	$C_{V(525kPa)}$	$C_{V(775kPa)}$	$C_{V(1150kPa)}$	$C_{V(1725kPa)}$	$C_{V(2600kPa)}$	$C_{V(3900kPa)}$
2,596	1,929	1,279	0,554	0,523	0,601	0,571	0,494	0,570

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΙ ΕΝΕΡΓΟΥ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΟ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΓΙΑ $\Delta P/P=0.5$

7.1.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΡΥΘΜΟ ΦΟΡΤΙΣΗΣ = 2

Εδώ συγκρίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων V και VII. Τα συγκεκριμένα πειράματα εκτελέστηκαν με $\Delta P/P = 2$, σε δοκίμια ίδιου ύψους και διαμέτρου 70 και 50 mm για την άργιλο και τον καλκαρενίτη αντίστοιχα. Αρχικά παρατίθενται οι καμπύλες συμπίεσης των άνωθι δοκιμών στο Διάγραμμα 7.5 που ακολουθεί.

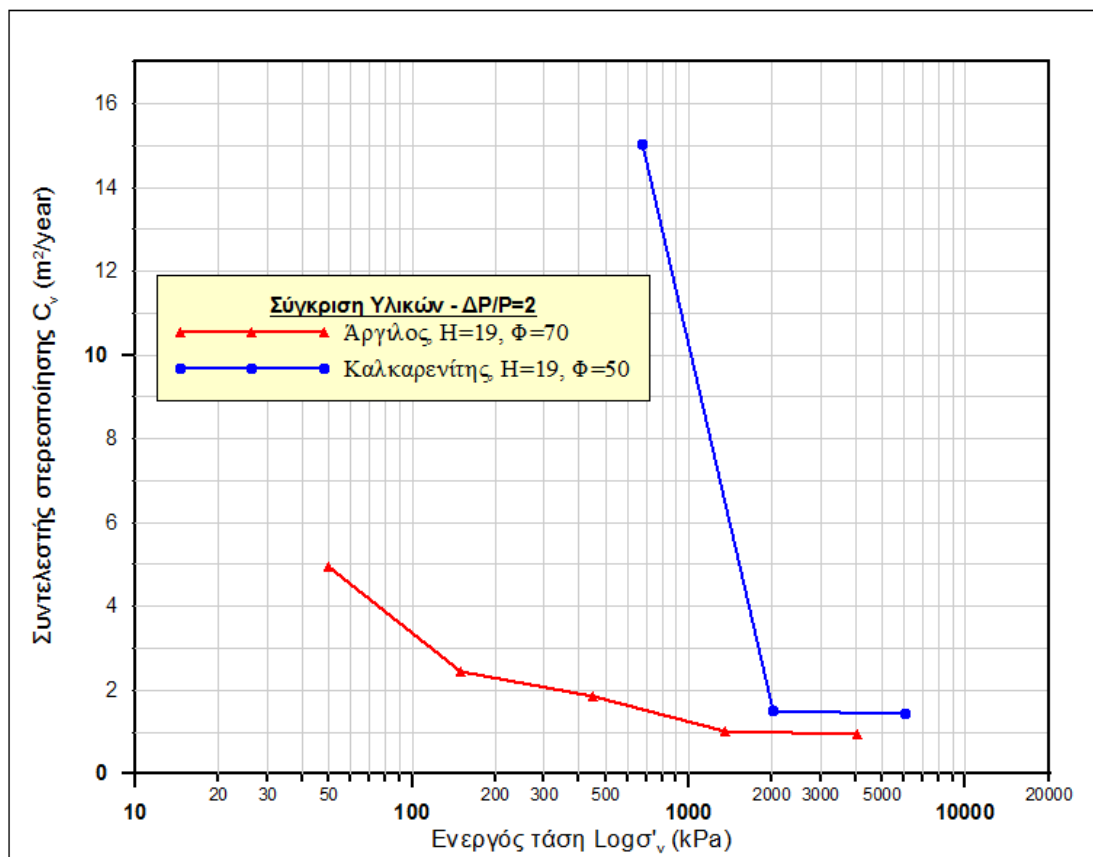


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7.5 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΓΙΑ $\Delta P/P=2$

Σε αντιστοιχία και με τις διαπιστώσεις των προηγούμενων ενοτήτων, και εδώ το καλκαρενιτικό δοκίμιο έχει μικρότερη πορώδες παρουσιάζει μικρότερη συμπιεστότητα και σχεδόν μόνιμες ανελαστικές παραμορφώσεις σε σχέση με το αργιλικό. Όπως και στην 7.1.2 η μικρότερη διάμετρος του δοκιμίου μειώνει κάπως την μετρούμενη διαφορά στη συμπιεστότητα για τα δύο υλικά γεγονός

που φαίνεται και μέσω των σχετικών τιμών e_0 και e_f των Πινάκων 5.1 και 6.1 για τις δοκιμές V και VII.

Σχετικά με τον ρυθμό εξέλιξης του φαινομένου στερεοποίησης σχεδιάστηκε το Διάγραμμα 7.6 που δίνει την μεταβολή του συντελεστή στερεοποίησης συναρτήσει της ενεργού τάσης και για τα δύο υλικά. Η στερεοποίηση στον καλκαρενίτη εξελίσσεται πολύ γρηγορότερα για τάσεις έως τα 1500 kPa αλλά και σε μεγαλύτερες τάσεις υπάρχει μια σταθερή διαφορά της τάξης των 0,5 $m^2/year$ μεταξύ των συντελεστών των δύο υλικών. Οι αιτίες των όσων επισημάνθηκαν είναι ίδιες με αυτές των υποενοτήτων 7.1.1 και 7.1.2.

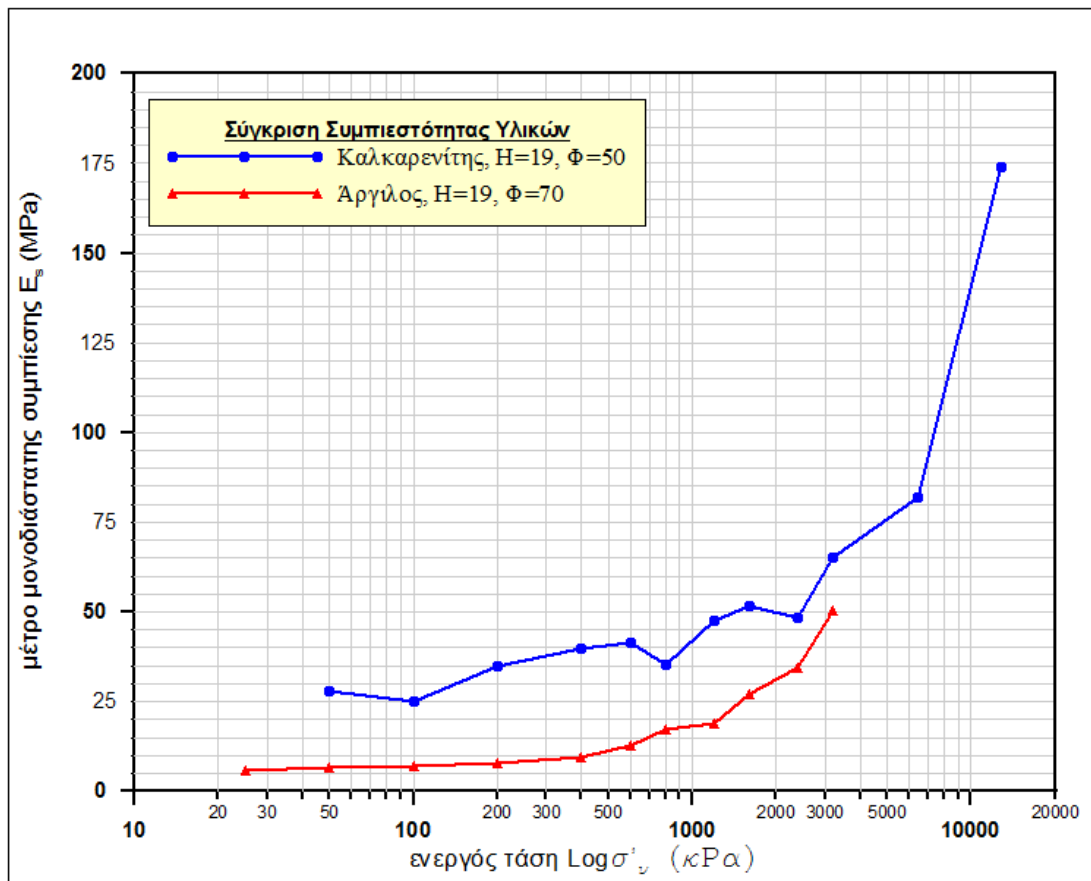


CV_(200kPa)			CV_(3200kPa)	CV_(6400kPa)
15,028			1,489	1,425
CV_(50kPa)	CV_(150kPa)	CV_(450kPa)	CV_(1350kPa)	CV_(4050kPa)
4,934	2,448	1,836	1,013	0,956

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΟ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΓΙΑ $\Delta P/P=2$

7.1.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ E_s ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΠΥΚΝΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η συμπίεστικότητα των δύο υλικών συγκρίθηκε παραπάνω μέσω των μορφών των καμπυλών συμπίεσης και των δεικτών συμπίεστικότητας C_c . Μια πιο πλήρης αντιπαράθεση δύναται όμως να επιτευχθεί μέσω των γραφημάτων μεταβολής του μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης E_s των δύο υλικών, συναρτήσει της ενεργού τάσης. Για την αποφυγή επηρεασμού των τιμών του μέτρου λόγω του κύκλου επαναφόρτισης, καταλληλότερες για αυτή τη σύγκριση δοκιμές κρίνονται αυτές των πυκνών φορτίσεων που συντελέστηκαν προς χάρην έρευνας της τάσης προφόρτισης.



$E_{s(200kPa)}$	$E_{s(400kPa)}$	$E_{s(600kPa)}$	$E_{s(800kPa)}$	$E_{s(1200kPa)}$	$E_{s(1600kPa)}$	$E_{s(2400kPa)}$	$E_{s(3200kPa)}$	$E_{s(6400kPa)}$	$E_{s(12600kPa)}$
35,05	39,74	41,27	35,26	47,34	51,54	48,49	64,97	82,08	173,76
$E_{s(200kPa)}$	$E_{s(400kPa)}$	$E_{s(600kPa)}$	$E_{s(600kPa)}$	$E_{s(1200kPa)}$	$E_{s(1600kPa)}$	$E_{s(2400kPa)}$	$E_{s(3200kPa)}$		
7,75	9,40	12,67	17,40	18,85	27,23	34,45	50,61		

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7.7 ΜΕΤΡΟ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΤΑΣΗΣ

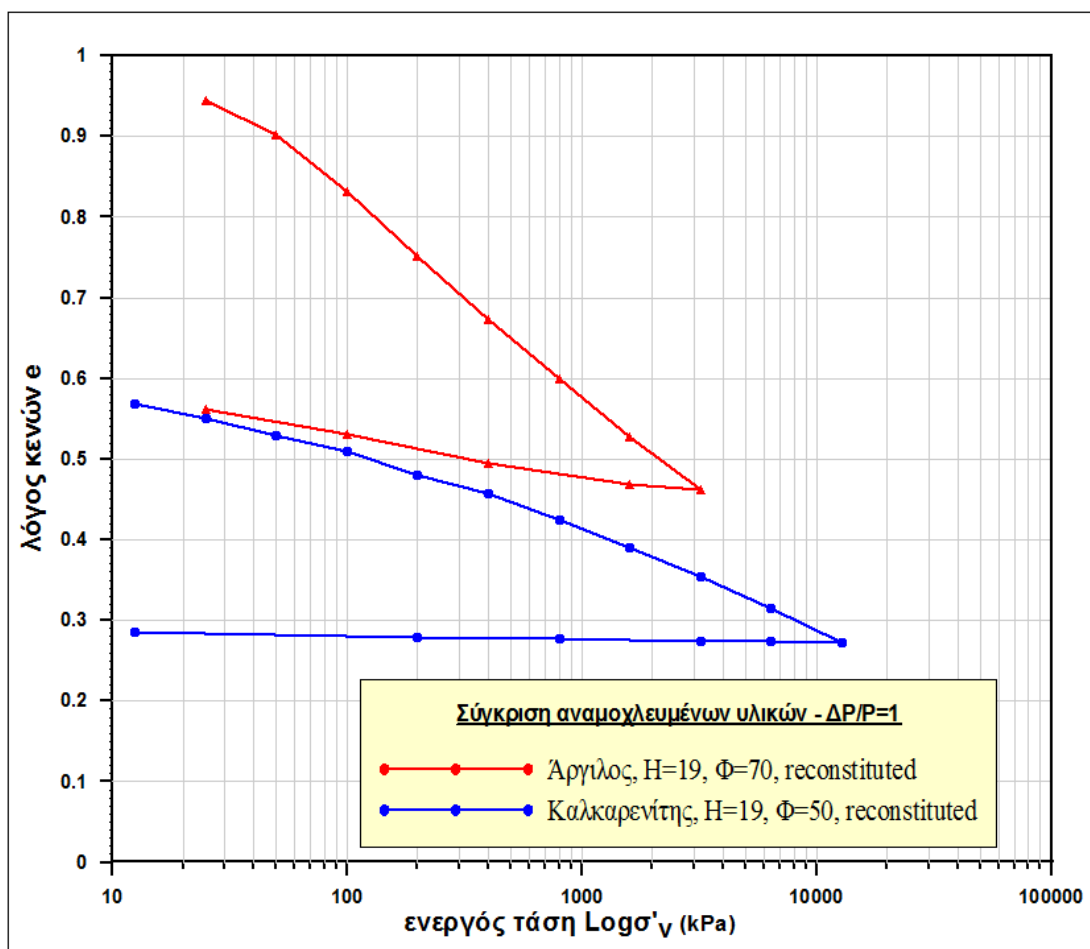
Προφανώς ο πυκνός ρυθμός φόρτισης οδηγεί σε υψηλότερες τιμές από αυτές για τον συνήθη $\Delta P/P = 1$, αλλά είναι πυκνός και για τα δύο υλικά, οπότε δεν επιδρά στην σύγκριση. Οι δοκιμές αυτές είναι οι υπ' αριθμόν I και X βάσει του Πίνακα 4.3. Επιπλέον η δοκιμή στον καλκαρενίτη έγινε σε δοκίμιο μικρότερης διαμέτρου ($\Phi=50mm$) με αποτέλεσμα οι τιμές του μέτρου που υπολογίστηκαν να είναι ελαφρώς μικρότερες από αυτές που θα προέκυπταν από καλκαρενιτικό δοκίμιο διαμέτρου 70mm.

Στο Διάγραμμα 7.7 φαίνεται ξεκάθαρα η μεγαλύτερη συμπιεστότητα και παραμορφωσιμότητα της αργίλου έναντι του καλκαρενίτη σε όλα τα επίπεδα τάσεων και παρόλο το δοκίμιο μεγαλύτερης διαμέτρου που χρησιμοποιήθηκε στην δοκιμή με το αργιλικό υλικό. Και οι δύο καμπύλες αυξάνουν το μέτρο τους με την αύξηση της τάσεως εκτός από τις τάσεις μεταξύ 1600 και 2400 kPa όπου για τον καλκαρενίτη παρατηρείται μία μικρή μείωση με πιθανότερη αιτία την μετάβαση από κλάδο επαναφόρτισης σε κλάδο virgin καμπύλης στερεοποίησης. Αυτό ισχύει μιας και η τάση προστερεοποίησης του καλκαρενίτη είναι περίπου στα 1600 kPa, και σε τάση 2400 kPa το υλικό δεν έχει υποβληθεί ξανά, πράγμα που το κάνει να εμφανίζει μεγάλη συμπιεστότητα, έως ότου αυξηθεί αρκετά η τάση και κατ'επεκτασην συμπιεστεί και σκληρύνει το υλικό. Σημειώνεται επίσης πως δεν μπορούν να συγκριθούν τα μέτρα για τάσεις 6400 και 12800 kPa μιας και η φόρτιση του αργιλικού δοκιμίου σταμάτησε πριν από αυτά τα επίπεδα φόρτισης. Παρατηρείται όμως μία τάση το μέτρο E_s της αργίλου να συγκλίνει όλο και περισσότερο σε αυτό του καλκαρενίτη, πιθανών λόγω αναδιάταξης των αργιλικών πλακιδίων σε νέες θέσεις που καθιστούν την άργιλο πιο στιφρή και απαραμόρφωτη. Θα ήταν χρήσιμο σε επόμενες έρευνες να εξετασθεί κατά πόσον η συμπιεστότητα μιας μαλακής αργίλου μπορεί να εξισωθεί με αυτή ενός σκληρού ανθρακικού εδάφους στα πολύ υψηλά επίπεδα τάσεων.

7.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

Στην ενότητα αυτήν θα συγκριθούν τα αποτελέσματα των δύο δοκιμών (VI και XII) που έγιναν σε αναμοχλευμένα δοκίμια με μοναδιαίο ρυθμό φόρτισης. Τα δοκίμια είχαν ύψος 19mm και διάμετρο 70 και 50 mm το αργιλικό και το καλκαρενιτικό αντίστοιχα.

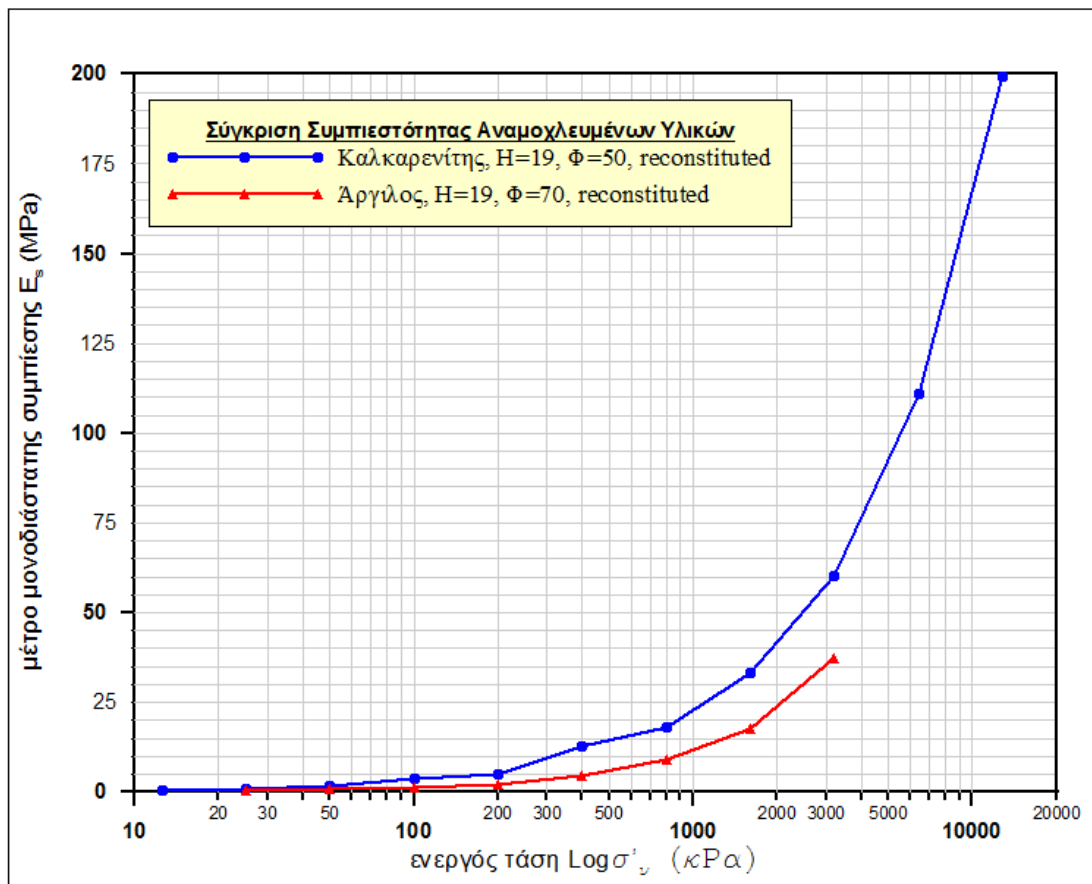
Όπως επισημανθηκε και στο θεωρητικό μέρος (ενότητα 2.6), με την μελέτη αναμοχλευμένων υλικών προκύπτουν στοιχεία για τις ιδιότητες τις οποίες διατηρεί ένα υλικό ανεξάρτητα από τη φυσική του κατάσταση, τις εγγενείς ιδιότητες. Με την σύγκριση των συμπεριφορών του αρχικού με το αντίστοιχο αναμοχλευμένο υλικό διερευνήθηκε η επίδραση της δομής και των επίκτητων ιδιοτήτων (αυτές που οφείλονται στην γεωλογική ιστορία) σε έναν εδαφικό σχηματισμό. Στην ενότητα αυτή θα διερευνηθούν οι διαφορές στην αντοχή, στη συμπίεστικότητα και στο ρυθμό στερεοποίησης μεταξύ των εγγενών ιδιοτήτων αργίλου και καλκαρενίτη.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7.8 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΜΕΝΟΥ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ

Από το Διάγραμμα 7.8 είναι εμφανής η διαφορά στο πορώδες της αργίλου από του καλκαρενίτη. Το μεν αργίλικό δοκίμιο που σχηματίστηκε είχε αρχικό λόγο κενών $e_0 = 1,07$ ενώ το καλκαρενιτικό $e_0 = 0,61$. Άλλες δύο σημαντικές διαφορές που προκύπτουν από το συγκεκριμένο γράφημα έχουν να κάνουν με

την διαφορά στη συμπίεστικότητα και με την ελαστικότητα ή όχι των παραμορφώσεων κατά την αποφόρτιση. Η σημαντικά μεγαλύτερη συμπίεστικότητα της αργίλου διακρίνεται και από τον δείκτη συμπίεστικότητας $C_c = 0,265$, $C_c = 0,140$ και $e_0 - e_{min} = 0,61$, $e_0 - e_{min} = 0,34$. Για το πόσο ανελαστικότερη είναι η συμπεριφορά του καλκαρενίτη συγκριτικά με της αργίλου κατά την αποφόρτιση, ενδεικτική είναι η διαφορά $e_f - e_{min} = 0,02$, η οποία στην άργιλο είναι πολύ μεγαλύτερη ($e_f - e_{min} = 0,10$). Η διαφορά αυτή φαντάζει ακόμα μεγαλύτερη αν συνυπολογιστεί πως ο καλκαρενίτης αποφορτίστηκε από τα 12800 kPa στα 12,5 kPa, ενώ η άργιλος από τα 3200 kPa στα 25 kPa.

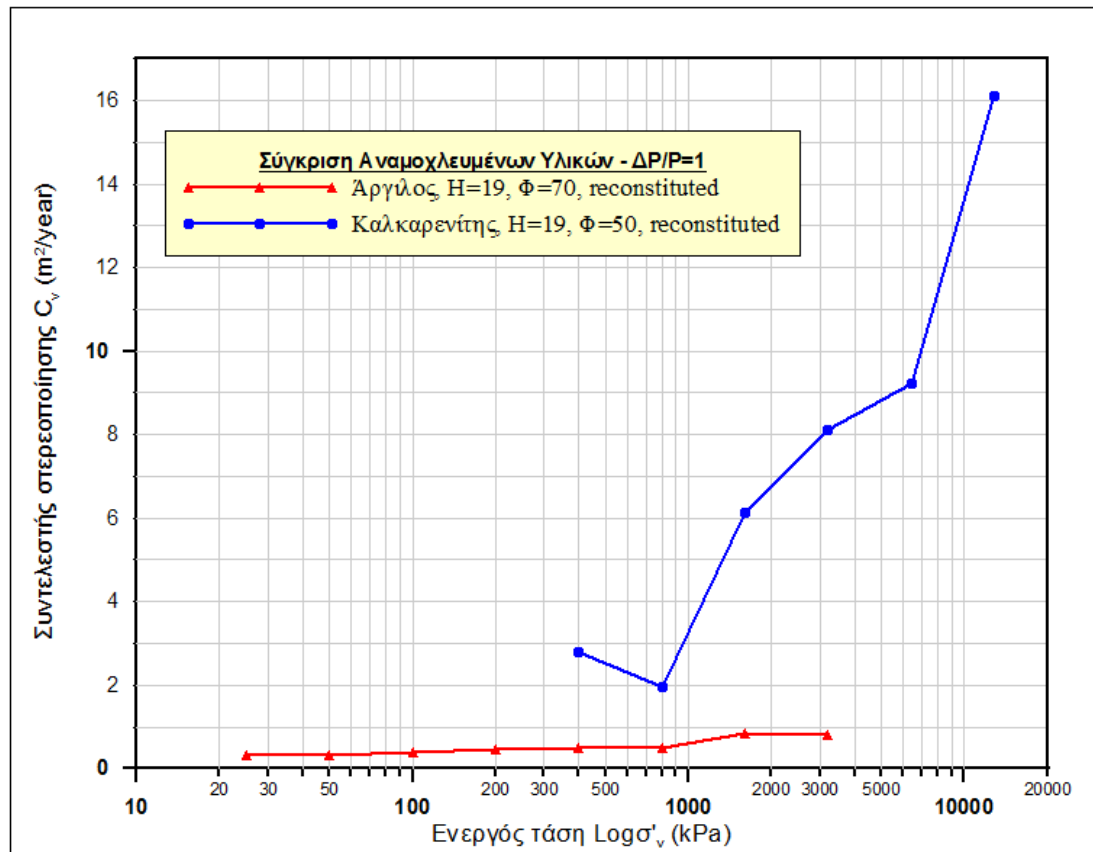


$ES_{(25kPa)}$	$ES_{(50kPa)}$	$ES_{(100kPa)}$	$ES_{(200kPa)}$	$ES_{(400kPa)}$	$ES_{(800kPa)}$	$ES_{(1600kPa)}$	$ES_{(3200kPa)}$	$ES_{(6400kPa)}$	$ES_{(12600kPa)}$
1,13	1,89	3,74	5,21	12,71	18,20	33,15	60,44	111,13	199,46
$ES_{(25kPa)}$	$ES_{(50kPa)}$	$ES_{(100kPa)}$	$ES_{(200kPa)}$	$ES_{(400kPa)}$	$ES_{(800kPa)}$	$ES_{(1600kPa)}$	$ES_{(3200kPa)}$		
0,43	1,13	1,36	2,30	4,40	9,08	17,87	37,16		

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7.9 ΕΓΓΕΝΕΣ ΜΕΤΡΟ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΝΙΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΤΑΣΗΣ

Ένα επιπλέον μέτρο σύγκρισης της εγγενούς συμπιεστότητας των δύο υλικών αποτελεί και το Διάγραμμα 7.9. Σε αυτό απεικονίζεται η μεταβολή του E_s συναρτήσει της ενεργού τάσης και για τα δύο υλικά. Βλέποντας τις δύο καμπύλες, διακρίνεται η μεγαλύτερη συμπιεστότητα της αργίλου από του καλκαρεμίτη, καθώς και μία συνεχής αύξηση της διαφοράς των τιμών των δύο μέτρων με την αύξηση της ενεργού τάσης.

Τελευταίο κομμάτι της σύγκρισης αποτελεί η διερεύνηση των διαφορετικών ρυθμών εξέλιξης του φαινομένου της στερεοποίησης. Στο σχετικό Διάγραμμα 7.10 παρατηρείται και στα δύο υλικά αύξηση του συντελεστή c_v με την αύξηση της τάσης (άρα και του m_v). Η αύξηση αυτή όμως είναι αρκετά πιο έντονη και πιο ραγδαία στον καλκαρεμίτη από ότι στην άργιλο. Το γεγονός αυτό πιθανό να οφείλεται σε δύο λόγους.



$C_{V(400kPa)}$			$C_{V(800kPa)}$	$C_{V(1600kPa)}$	$C_{V(3200kPa)}$	$C_{V(6400kPa)}$	$C_{V(12800kPa)}$
2,1785			1,942	6,127	8,105	9,217	16,116
$C_{V(25kPa)}$	$C_{V(50kPa)}$	$C_{V(100kPa)}$	$C_{V(200kPa)}$	$C_{V(400kPa)}$	$C_{V(800kPa)}$	$C_{V(1600kPa)}$	$C_{V(3200kPa)}$
0,316	0,309	0,402	0,458	0,479	0,498	0,846	0,789

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7.10 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΓΓΕΝΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΚΑΡΕΜΙΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΤΑΣΗΣ

Από την σχέση: $c_v = k/\gamma_w \cdot m_v$... (3.25) φαίνεται πως καθώς η τιμή του m_v μειώνεται αυξάνεται ο συντελεστής στερεοποίησης. Από το Διάγραμμα 7.9 φάνηκε η μείωση αυτή να είναι αρκετά πιο έντονη στον καλκαρενίτη, με αποτέλεσμα να αιτιολογεί σε έναν βαθμό την σημαντικότερη αύξηση του συντελεστή στερεοποίησης του καλκαρενίτη σε σχέση με την άργιλο.

Όμως σε μία τόσο μεγάλη διαφορά είναι πιθανότερο να συμβάλλουν περισσότερα του ενός παράγοντα. Προτείνεται λοιπόν να διερευνηθεί το κατά πόσο διαφέρει η πτώση της τιμής της κατακόρυφης υδραυλικής αγωγιμότητας μίας μαλακής αργίλου από ένα σκληρότερο ανθρακικό έδαφος κατά την φόρτιση υπό συνθήκες μονοδιάστατης στερεοποίησης. Η μέτρηση της υδατοπερατότητας (του συντελεστή k) μπορεί να γίνει εργαστηριακά μέσα από δοκιμές τριαξονικής φόρτισης.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η δοκιμή της στερεοποίησης αποδεικνύεται υψηλής σημασίας στην ερμηνεία της μηχανικής συμπεριφοράς εδαφικών σχηματισμών. Οι διαφορετικές παράμετροι της δοκιμής που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία επηρέασαν σε κάθε περίπτωση τα αποτελέσματα των δοκιμών σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό.

Αναλυτικότερα, το διαφορετικό ύψος του δοκιμίου φαίνεται να επιδρά ελάχιστα στη συμπίεστικότητα του αργιλικού υλικού, λίγο περισσότερο στον μετρούμενο συντελεστή στερεοποίησης και σχεδόν καθόλου στην μορφή των καμπύλων συμπίεσης και την τάση προφόρτισης. Η μεγαλύτερη διάμετρος (εξετάστηκε στον καλκαρενίτη) προφανώς υποεκτιμά τον συντελεστή στερεοποίησης και συνιστάται να αποφεύγεται, δεδομένου πως εξ' ορισμού η δοκιμή συμπίεσομέτρου υποεκτιμά τον συντελεστή στερεοποίησης για λόγους οι οποίοι έχουν αναφερθεί παραπάνω. Επιδρά λίγο στην συμπίεστικότητα, μειώνοντας την, ενώ αφήνει σχεδόν ανεπηρέαστη τη μορφή της καμπύλης συμπίεσεως. Αξίζει να τονισθεί πως και στις δύο δοκιμές παρατηρήθηκε και μέσω των σχετικών Διαγραμμάτων αλλά και των τιμών των Πινάκων 5.1 και 6.1, πως οι κλάδοι επαναφόρτισης των καμπύλων συνεχώς συγκλίνουν καθώς μεγαλώνουν οι τάσεις. Το φαινόμενο αυτό είχε εντοπίσει και ο Burland σε δοκιμές που είχε πραγματοποιήσει σε αναμοχλευμένες αργίλους. Προκύπτει λοιπόν ως πρόταση για επιπλέον έρευνα, η διεξαγωγή δοκιμών σε ίδια υλικά για διάφορες τιμές υψών και διαμέτρων αλλά και για μεγαλύτερες τιμές ενεργών τάσεων ώστε να διαπιστωθεί ή όχι η ισχύς αυτής της παρατήρησης.

Όσον αφορά τον διαφορετικό ρυθμό φόρτισης, παρατηρήθηκε και για τα δύο υλικά πως όσο μεγαλύτερος είναι τόσο μεγαλύτερη είναι και η τιμή του συντελεστή στερεοποίησης, καθ' ολην τη φόρτιση, άρα και τόσο συντομότερη η διάρκεια ολοκλήρωσης του φαινομένου. Το σημείο το οποίο έχει ιδιαίτερη δυσκολία και θα χρειαστεί επιπλέον μελέτες για να διασαφινιστεί πλήρως έχει να κάνει με την συμπίεστικότητα και το μέτρο E_s που εμφανίζει ο κάθε εδαφικός σχηματισμός για διαφορετικούς ρυθμούς φόρτισης. Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια αλλά και από προηγούμενους ερευνητές, ένας μεγαλύτερος ρυθμός φόρτισης λόγω της μεγαλύτερης κρούσης, της μεγαλύτερης διολίσθησης μεταξύ των κόκκων, και της μεγαλύτερης υπερπίεσης πόρων που αναπτύσσεται, οδηγεί στην εμφάνιση μεγαλύτερης συμπίεστικότητας. Το φαινόμενο αυτό αν και παρατηρείται συχνά, δεν παρατηρήθηκε στην συγκεκριμένη άργιλο που εξετάστηκε λόγω των αντίθετων

αποτελεσμάτων που επιφέρει η δευτερογενής στερεοποίηση η οποία είναι σημαντική στους χαμηλούς ρυθμούς φόρτισης. Επειδή λοιπόν σε ορισμένες μαλακές εδαφικές μάζες ο συνολικός χρόνος παραμονής των φορτίων, ένεκα της ανάπτυξης της δευτερογενούς στερεοποίησης μπορεί να επηρεάσει την συμπίεστικότητα περισσότερο από τον ρυθμό επιβολής των φορτίων, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μεγαλύτερο E_s για μεγαλύτερα $\Delta P/P$ είναι ορθότερο να διαπιστώνεται με πειράματα η μηχανική συμπεριφορά τέτοιων σχηματισμών πριν την λήψη αποφάσεων. Προτείνεται ακόμα η συνέχιση των ερευνών πάνω στο αντικείμενο των διαφορετικών ρυθμών φόρτισης ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο οι κλάδοι επαναφόρτισης των καμπυλών συμπίεσης συγκλίνουν στο ίδιο σημείο καθώς αυξάνονται οι ενεργές τάσεις.

Τέλος η σύγκριση των δύο διαφορετικών εδαφικών υλικών έδειξε τις αναμενόμενες διαφορές στην συμπίεστικότητα και στο μέτρο E_s , τόσο για τα φυσικά αδιατάρακτα δείγματα όσο και για τα αναμοχλευμένα δοκίμια τους. Επίσης παρατηρείται πως η στερεοποίηση εξελίσσεται πολύ γρηγορότερα στον καλκαρενίτη από την άργιλο ιδίως για τάσεις έως την τάση προστερεοποίησης του καλκαρενίτη. Για τάσεις πέραν αυτής η διαφορά στις τιμές των c_v βρέθηκε αρκετά μικρότερη και περίπου σταθερή με την αύξηση της ενεργού τάσης. Ακόμα οι εγγενείς ιδιότητες που προσδιορίστηκαν μέσω των αναμοχλευμένων δοκιμίων και στα δύο υλικά χαρακτηρίζουν σε μεγάλο βαθμό και τη συμπεριφορά των αδιατάρακτων φυσικών υλικών στα επίπεδα μεγάλων πιέσεων πέραν την τάση προφόρτισης. Η τελευταία διαπίστωση είναι ακόμα πιο εμφανής στα σκληρότερα εδάφη όπως ο καλκαρενίτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- "K.R. Arora, Soil Mechanics and Foundation Engineering [in SI Units]."
- "Attkinson J ., "An Introduction to the Mechanis of Soils and Foundations", Mc GRAW – HILL International Series in Civil Engineering."
- "A A Balkema, (1990) "Observations on Different Procedures for the Oedometer Test": Mortari R., Gerardi, T, Budassi, L Proc 6th International Congress International Association of Engineering Geology, Amsterdam, 6–10 August 1990V1, P425–429. Publ Rotterdam."
- "J. N. Grammatikopoulos, N. E. Manou - Andreadis, C.A. Anagnostopoulos DETERMINATION OF THE MODULUS OF ELASTICITY E_s IN SATURATED CLAY - SILTY SAND MIXTURES."
- "Bardet Jean – Pierre, "experimental Soil Mechanics"."
- "Burland J.B. "On the Compressibility and Shear Strength of Natural Clays", Geotechnique, Vol.40, No.3, Pp.329-344."
- "Casagrande A. (1932), The Structure of Clay and Its Importance on Foundation Engineering. J.Boston Soc. Civ. Eng. Vol.19."
- "Cooling, L.F. and Skempton, A.W. (1941) 'Some Experiments on the Consolidation of Clay' J. Int. Civ. Eng. Vol 16."
- "Yukitoshi Murakami, Effect on Loading Duration on Results of One – Dimensional Consolidation Tests / Soils and Foundations Vol.17 No. 4 1977 – Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering."
- "Carl B. Crawford, State of the Art: Evaluation and Interpretation of Soil Consolidation Tests."
- "NZ Geotechnical Society INC 2005, Field Description of Soil and Rock, Guideline for the Field Classification and Description of Soil and Rock for Engineering Purposes."
- Λοΐζος Αντώνιος Α. , Εδαφομηχανική, Θεμελιώσεις – Μέρος 1
- Γεωργιάνου Β.Ν.(2004). "Ειδικά Θέματα Εδαφομηχανικής" Εκδόσεις ΕΜΠ
- Καββαδάς Μ.(2005). "Στοιχεία Εδαφομηχανικής" Εκδόσεις ΕΜΠ

Πλέτσης Σ., Εγγενή χαρακτηριστικά αναζυμωμένων αργίλων, Διπλωματική εργασία

Αθανασία Γ. Κούκη (2006), Τεχνικογεωλογικές – Γεωτεχνικές Παράμετροι και Μηχανική Συμπεριφορά Σκληρών Εδαφών και Μαλακών Βράχων στο σχεδιασμό υπόγειων γεωτεχνικών έργων, Διαδακτορική Διατριβή - Πάτρα