

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Σ. ΚΟΛΙΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΟΥ
ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΣΤΡΩΣΗ ΕΔΡΑΣΗΣ ΜΕ
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΜΕ ΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ
ΕΛΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ**



**ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΙΑ ΣΟΥΜΠΑΣΗ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1998**

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΟΥ
ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΣΤΡΩΣΗ ΕΔΡΑΣΗΣ ΜΕ
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΜΕ ΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ ΕΛΑΦΙΚΟ
ΥΛΙΚΟ**

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1998

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ ΠΕΡΙ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΛΑΦΩΝ	5
ΓΕΝΙΚΑ - ΟΡΙΣΜΟΙ	5
1. ΧΗΜΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ	7
α) <u>Τύποι Σταθεροποιητών και Επιλογή</u>	7
β) <u>Σταθεροποίηση με τσιμέντο</u>	9
Γενικά	9
Αποτελέσματα της σταθεροποίησης με τσιμέντο.....	10
Προσδιορισμός της κατάλληλης ποσότητας τσιμέντου	12
Κατασκευή.....	13
γ) <u>Σταθεροποίηση με άσβεστο</u>	14
Γενικά	14
Αποτελέσματα της σταθεροποίησης με άσβεστο.....	17
Προσδιορισμός της κατάλληλης ποσότητας ασβέστου	21
Κατασκευή.....	23
δ) <u>Σταθεροποίηση με ιπτάμενη τέφρα</u>	25
Γενικά	25
Αποτελέσματα της σταθεροποίησης με Ιπτάμενη Τέφρα	28
Προσδιορισμός της κατάλληλης ποσότητας Ιπτάμενης Τέφρας	32
Κατασκευή.....	33
ε) <u>Σταθεροποίηση με ασφάλτο</u>	33
Γενικά - Αποτελέσματα.....	33
Προσδιορισμός του τύπου και της ποσότητας ασφάλτου.....	35
Κατασκευή.....	40
στ) <u>Σταθεροποίηση με άλλες χημικές ουσίες</u>	41
Ανόργανες Ουσίες	41
Ρητίνες αδιαβροχοποίησης	42
Συνδετικές Ρητίνες.....	42
ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ : ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	43
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ.....	43
ΥΛΙΚΑ.....	43
ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.....	44
ΠΡΟΤΥΠΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΕΩΣ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ ΚΑΙ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	44
ΞΗΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	44
ΠΡΟΤΥΠΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΛΕΠΤΟΤΕΡΟΥ ΤΟΥ ΚΟΣΚΙΝΟΥ Νο 200 ΣΕ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ.	47
ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ.....	52
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ	55
ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	55
ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΧΕΣΕΩΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΕΛΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΠΑΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ 2,5 ΧΛΓΡ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΠΤΩΣΕΩΣ 305 ΧΛΣΤ.- (PROCTOR ΠΡΟΤΥΠΗ ΜΕΘΟΔΟΣ).....	60
ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΛΑΦΟΥΣ	73
ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΛΑΦΩΝ ΚΑΤΑ ΑΑΣΗΤΟ.....	73
ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑΚΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΕΡΟΠΟΡΙΑΣ.....	75

ΕΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΛΑΦΩΝ.....	76
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	79
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	79
ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ.....	79
ΠΡΟΤΥΠΗ ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ - ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑ - ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	79
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	81
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	81
ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.....	82
ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ.....	82
ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ (ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ)	84
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	100
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	125
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗ (ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ) ΘΛΙΨΗ	125
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ (ΔΙΑΡΡΗΞΗ)	126
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	126
<u>ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ</u>	128
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	128
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	146
ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	184
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	185
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	186

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη διπλωματική αυτή εργασία γίνεται μια προσπάθεια αξιολόγησης των οδοστρωμάτων που περιλαμβάνουν στρώση έδρασης με σταθεροποιημένο με ιπτάμενη τέφρα εδαφικό υλικό. Η ιπτάμενη τέφρα αποτελεί ένα χημικό πρόσθετο που βελτιώνει τα χαρακτηριστικά του επιτόπου εδαφικού υλικού. Κύριος σκοπός μας είναι η μείωση του κόστους κατασκευής του έργου.

Στην εργασία αυτή επιδιώκεται να δοθούν ισοδύναμες, ως προς τα εντατικά μεγέθη, διατομές που περαιτέρω διερεύνηση θα οδηγήσει στην επιλογή της οικονομικά πιο συμφέρουσας. Για το σκοπό αυτό χρειάστηκε να γίνουν κάποιες βασικές εργαστηριακές δοκιμές ούτως ώστε να εκτιμηθούν παράμετροι απαραίτητες για την υπολογιστική ανάλυση. Οι δοκιμές αυτές είναι ο υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας και των αντοχών του σταθεροποιημένου εδαφικού υλικού σε μονοαξονική και αντιδιαμετρική θλίψη (διάρρηξη).

Θα ήθελα να ευχαριστήσω:

τον καθηγητή μου Σ. Κόλια για την καθοδήγησή κατά την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

την Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδας για την παροχή εργαστηριακών διευκολύνσεων στο εργαστήριό τους,

τους Α. Καραμπότσο και Χ. Σταυρίδη για την βοήθεια που μου έδωσαν στην παρασκευή των δοκιμών και στην εκτέλεση ορισμένων δοκιμών εδαφικού υλικού,

την επιστημονική συνεργάτιδα Μ. Κατσάκου για την βοήθεια της στην Μέτρηση και Ανάλυση των αποτελεσμάτων του Μέτρου Ελαστικότητας,

την επιστημονική συνεργάτιδα Ε. Κυρκιλή για την βοήθεια της στη χρησιμοποίηση των προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή, και

τον συμφοιτητή μου Ε. Μουστάκα για την συμβολή του στην επιτάχυνση της διαδικασίας των υπολογισμών μέσω προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ ΠΕΡΙ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΛΑΦΩΝ

Γενικά - Ορισμοί

Με τον όρο “σταθεροποίηση” ενός υλικού, φυσικού ή θραυστού, εννοούμε την κατεργασία στην οποία υποβάλλεται για να βελτιωθούν οι ιδιότητές του. [1]
Διακρίνεται σε:

α) **Σταθεροποίηση με συμπίκνωση** με την οποία μειώνονται τα κενά, πλησιάζουν οι κόκκοι μεταξύ τους και αυξάνει η εσωτερική τριβή με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η ευστάθεια και η αντίσταση στις μεταβολές όγκου.

β) **Μηχανική Σταθεροποίηση** στην οποία επιτυγχάνεται αύξηση της ευστάθειας-αντοχής του υλικού στα εξωτερικά φορτία και στις περιβαλλοντικές επιδράσεις με συνδυασμό προσθήκης άλλων εδαφικών υλικών και κατάλληλης συμπίκνωσης προκειμένου τα χαρακτηριστικά του τελικού σταθεροποιημένου υλικού να βρίσκονται μέσα στα όρια που ορίζουν οι προδιαγραφές.

γ) **Χημική Σταθεροποίηση** η οποία συνίσταται στην προσθήκη άλλου υλικού (όπως τσιμέντου, ασβέστη, ιπτάμενης τέφρας και κατ’ επέκταση ασφάλτου), που ονομάζεται σταθεροποιητής, την ανάμιξη του με το υλικό αυτό, την διάστρωση του τελικού στα προβλεπόμενα πάχη, τη συμπίκνωσή του και την “προστασία” του για ορισμένο χρόνο από εξωτερικές επιδράσεις όπως για παράδειγμα πρόωρη φόρτιση, ταχεία εξάτμιση και άλλα.

δ) **Σταθεροποίηση με ηλεκτρικό ρεύμα** όπου με την βοήθεια κατάλληλων ηλεκτροδίων μέσα στη μάζα ενός λεπτόκοκκου εδάφους μπορούμε να πετύχουμε την μετακίνηση του ύδατος από τους πόρους του.

ε) **Σταθεροποίηση με θερμική κατεργασία** που βασίζεται στην εφαρμογή θερμού αέρα υπό πίεση στις οπές του εδάφους.[8]

Οι δ και ε δεν βρίσκουν εφαρμογή στην οδοποιία και δεν εξετάζονται στην εδαφομηχανική.

Αναλυτικότερα η βελτίωση που επιτυγχάνεται με την σταθεροποίηση αποβλέπει σε ένα ή περισσότερους από τους ακόλουθους σκοπούς :

α) στην αύξηση της ευστάθειας του υλικού σε επιδράσεις φορτίων και σε περιβαλλοντικές επιδράσεις (παγετός, υγρασία, ξηρασία),

β) στην αύξηση της ικανότητας συμπίκνωσης ενός υλικού του οποίου η κοκκομετρική διαβάθμιση ή η περιεχόμενη φυσική υγρασία καθιστούν την συμπίκνωση αδύνατη στον απαιτούμενο χρόνο με τα κλασσικά μέσα,

γ) στην μείωση του δείκτη πλαστικότητας που είναι επιθυμητή στα πολύ πλαστικά εδάφη και επιτυγχάνεται με την προσθήκη σταθεροποιητών,

δ) στην οικονομία, λόγω χρησιμοποίησης ευτελέστερου υλικού που βρίσκεται στον τόπο των έργων ή μεταφέρεται σε μικρές αποστάσεις . [4]

Στην κατασκευή διακρίνουμε δύο μεθόδους σταθεροποίησης:

1. Επί τόπου ανάμιξη

2. Ανάμιξη σε κεντρική μονάδα ανάμιξης

Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιείται για σταθεροποίηση του υπάρχοντος εδάφους, για σταθεροποίηση υλικού που έχει μεταφερθεί και διαστρωθεί στην επιφάνεια της οδού (συνήθως σταθεροποίηση με άσβεστο ή υδράσβεστο ή τσιμέντο). Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιείται για σταθεροποίηση δανείων υλικών με συνηθέστερη εφαρμογή την σταθεροποίηση με τσιμέντο ή ιπτάμενη τέφρα.

Τα βήματα που ακολουθούνται για την κατασκευή σταθεροποιημένης στρώσης με την μέθοδο της επιτόπου ανάμιξης είναι [2]:

I. Προετοιμασία του εδάφους : περιλαμβάνει την διαμόρφωση της επιφάνειας στο κατάλληλο υψόμετρο, την αναμόχλευση και κονιορτοποίησή του

II. Διανομή του σταθεροποιητή : πρέπει να πραγματοποιείται ομοιόμορφα σ ' όλη την επιφάνεια της στρώσης με τη βοήθεια ειδικών μηχανημάτων για τον κάθε σταθεροποιητή.

III. Ανάμιξη εδάφους και σταθεροποιητή : πρέπει να επιτευχθεί η ομογενοποίηση του μίγματος προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι αντιδράσεις και να μεταβληθούν τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

IV. Προσθήκη νερού: πρέπει να επιτευχθεί ομοιομορφία και το μίγμα να αποκτήσει τη βέλτιστη υγρασία του.

V. Συμπύκνωση του μίγματος : πρέπει να αρχίζει αμέσως μετά την ομοιόμορφη ανάμιξη με το νερό και υπάρχει ποικιλία μηχανημάτων για τη διαδικασία αυτή ανάλογα με το σταθεροποιητή που έχει χρησιμοποιηθεί.

VI. Συντήρηση της τελικά διαμορφωμένης επιφάνειας : πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή αφού η αποκτηθείσα αντοχή σχετίζεται άμεσα με το χρόνο, τη θερμοκρασία και την παρουσία ή όχι ύδατος.

Τα βήματα που ακολουθούνται για την κατασκευή σταθεροποιημένης στρώσης με την μέθοδο της ανάμιξης σε κεντρική μονάδα ανάμιξης διακρίνονται σε παραλαβή, αποθήκευση και ανάμιξη των υλικών και εν συνεχεία τη μεταφορά τους στο χώρο εναπόθεσης. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι κατά την μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται καλύτερη εργασία από την άποψη βαθμού και ομοιομορφίας ανάμιξης του σταθεροποιητή με το έδαφος και το νερό, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται σε κατασκευές υψηλών απαιτήσεων όπως αυτοκινητόδρομοι.

1. Χημική Σταθεροποίηση

α) Τύποι Σταθεροποιητών και Επιλογή

Οι κυριότεροι σταθεροποιητές που χρησιμοποιούνται είναι :

- το τσιμέντο
- η άσβεστος
- η ιπτάμενη τέφρα
- μίγμα ιπτάμενης τέφρας και ασβέστου
- μίγμα ιπτάμενης τέφρας και τσιμέντου
- η άσφαλτος
- χημικές ουσίες (ανόργανες, φυσικές ή συνθετικές ρητίνες)

Η καθεμία από τις παραπάνω προσμίξεις παρουσιάζει τα δικά της ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που καθορίζουν και το πεδίο εφαρμογών της.

Το τσιμέντο Portland χρησιμοποιείται για τη σταθεροποίηση όλων των εδαφικών υλικών, πλην αυτών που περιέχουν οργανικές ύλες. Ωστόσο πολύ καλά αποτελέσματα έχουν διαπιστωθεί κατά την εφαρμογή του σε αμμοχαλικώδη εδάφη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε στρώσεις βάσης όσο και υπόβασης με ορισμένους περιορισμούς όσον αφορά το δείκτη πλαστικότητας και την κοκκομετρική διαβάθμιση του προς βελτίωση υλικού.[2,4]

Η άσβεστος, η οποία χρησιμοποιείται συνήθως με τη μορφή της υδρασβέστου Ca(OH)_2 , βρίσκει εφαρμογή στα αργιλικά εδάφη καθώς και στα λεπτόκοκκα πολύ

πλαστικά εδαφικά υλικά. Χρησιμοποιείται και με τη μορφή CaO που είναι φθηνότερο και περιέχει περισσότερο ασβέστιο, παρουσιάζει όμως ορισμένα προβλήματα λόγω καυστικότητας. Ωστόσο, χρησιμοποιείται στα εδάφη που περιέχουν πολύ μεγάλες ποσότητες υγρασίας. Η προσθήκη καυστικής ασβέστου προκαλεί ελάττωση της περιεχόμενης υγρασίας λόγω της ένωσης του ύδατος με το CaO προς σχηματισμό Ca(OH)_2 και λόγω του εντόνως εξώθερμου χαρακτήρα της χημικής αυτής αντίδρασης που οδηγεί στην εξάτμιση μέρους του περιεχόμενου ύδατος. [2,4]

Όταν η ιπτάμενη τέφρα περιέχει πυρίτιο και αργίλιο δρα ως ποζολάνη. Αν και μία από τις χρήσεις της είναι να μειώνει τα κενά αέρος ανάμεσα στους κόκκους των αδρανών δεν βρίσκει εφαρμογή στα λεπτόκοκκα εδάφη. Χρησιμοποιείται, λοιπόν, στις ιλείς (ως λεπτόκοκκα υλικά) σε συνδυασμό με άσβεστο ή τσιμέντο που περιγράφονται παρακάτω. Ας σημειωθεί, ωστόσο, ότι η εύρεσή της, σε ορισμένα μόνο σημεία, δυσχεραίνει πολλές φορές την χρήση της; λόγω της αύξησης του κόστους μεταφοράς. [2]

Το μίγμα ιπτάμενη τέφρα και άσβεστος αποτελεί έναν τύπο φυσικής συνθετικής κονιάς. Συνιστάται στα αμμώδη εδάφη, τα οποία δεν αντιδρούν μόνα τους με την άσβεστο. Συνεπώς με την προσθήκη ιπτάμενης τέφρας επιτυγχάνεται η πρόκληση αντίδρασης όμοιας με αυτήν που λαμβάνει χώρα ανάμεσα στην άσβεστο και τα αργιλικά εδάφη. Τα μίγματα αυτά παρουσιάζουν αυξημένη ανθεκτικότητα έναντι παγετού και χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα για την κατασκευή βάσεων οδών. Το ποσοστό Ca(OH)_2 μπορεί να μειωθεί όταν χρησιμοποιούνται για υποβάσεις. [8]

Η άσφαλτος είναι στεγανωτικό υλικό που με την προσθήκη της στο μίγμα επιτυγχάνεται η αδιαβροχοποίησή του. Η χρήση της δεν συνιστάται στα λεπτόκοκκα πλαστικά εδάφη, διότι για την καλή ανάμιξη απαιτείται η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων ύδατος με αποτέλεσμα το μίγμα να βρίσκεται σε ημίρρευστη κατάσταση που δεν ευνοεί τη συμύκνωση. Αντίθετα η ασφαλική σταθεροποίηση συνιστάται σε ημικοκκώδη εδάφη. [2]

Πλην των αναφερθέντων, υπάρχουν και μερικές χημικές ουσίες, όπως πυριτικό νάτριο, χλωριούχο ασβέστιο ή χλωριούχο νάτριο, οξέα, φυσικές ή συνθετικές ρητίνες, που με την προσθήκη τους στο έδαφος επιτυγχάνεται ο περιορισμός του ποσοστού υγρασίας. [8]

β) Σταθεροποίηση με τσιμέντο

Γενικά

Ο βαθμός σταθεροποίησης ενός εδάφους εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους. Έτσι, ένα έδαφος ερυθρού χρώματος, το οποίο δηλώνει την παρουσία σιδήρου σ' αυτό, αντιδρά καλά με το τσιμέντο. Αντίθετα, ένα επιφανειακό έδαφος μελανού χρώματος είναι δυνατόν να αντιδρά πολύ λίγο με το τσιμέντο λόγω της παρουσίας οργανικής ύλης. [8]

Το τσιμέντο συνδέει τους κόκκους του υλικού μεταξύ τους και σχηματίζει ένα νέο υλικό με εμφανώς μεγαλύτερες αντοχές. Η δράση του εντός του εδαφικού υλικού διαφέρει από τη δράση του στο σκυρόδεμα κατά το ότι δεν πληροί τα κενά των αδρανών και δεν περιβάλλει πλήρως τους κόκκους. Στα συνεκτικά εδάφη δημιουργεί συσσωματώματα, με τους μικρούς κόκκους του υλικού, τα οποία συνδέονται πολύ ισχυρά μεταξύ τους, δημιουργώντας μια κυψελωτή κατασκευή στα κενά της οποίας υπάρχουν κόκκοι υλικού χωρίς τσιμέντο. Η κυψελωτή αυτή κατασκευή δημιουργεί μέσα στη μάζα του υλικού έναν ισχυρότερο σκελετό ο οποίος επαυξάνει την μηχανική αντοχή διότι προσδίδει αντίσταση στην εξωτερικώς επιβαλλόμενη ολίσθηση των κόκκων και βελτιώνει την ανθεκτικότητα του εδάφους στις επιδράσεις ύδατος και παγετού. Στα κοκκώδη εδάφη το τσιμέντο δημιουργεί και πάλι την προαναφερθείσα κυψελωτή κατασκευή, συγκεντρωμένο κυρίως στα σημεία επαφής των κόκκων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας αλυσίδας τοπικών ισχυρών συνδέσεων των κόκκων μεταξύ τους. Συνεπώς όσο καλύτερη η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού τόσο πιο αποτελεσματική η δράση του τσιμέντου αφού αυξάνονται τα σημεία επαφής των κόκκων. [4]

Η προσθήκη της υδραυλικής αυτής κονίας συνοδεύεται από την προσθήκη ύδατος και την ανάμιξή τους προκειμένου το μίγμα να αποκτήσει την βέλτιστη υγρασία για συμύκνωση. Αξ σημειωθεί ότι η επίτευξη του μεγαλύτερου δυνατού βαθμού συμύκνωσης επηρεάζει σημαντικά την αντοχή του μίγματος. Επιπλέον σημαντικό ρόλο στα αποκτηθέντα χαρακτηριστικά του μίγματος παίζουν ο τύπος του εδάφους, η ποσότητα του τσιμέντου, η ανάμιξή τους, και οι συνθήκες ωρίμανσης και συντήρησης του συμπεκνωμένου μίγματος όπως ο χρόνος, η θερμοκρασία, η

υγρασία. Γι' αυτό πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά το χρόνο που θα δοθεί το βελτιωμένο τμήμα στην κυκλοφορία καθώς και στην προστασία από εξάτμιση του ύδατος. Η τελευταία επιτυγχάνεται με την κάλυψη με αδιάβροχη μεμβράνη, όπως επάλειψη με ασφαλικό γαλάκτωμα, ή με διατήρηση της επιφάνειας υγρής με συνεχή καταβρέγματα.

Ανάλογα με τα ποσοστά χρησιμοποιημένου τσιμέντου και ύδατος, διακρίνουμε τα σταθεροποιημένα εδάφη στις τρεις κατηγορίες που ακολουθούν [6,8]:

1. **Συμπυκνωμένο μίγμα εδάφους - τσιμέντου :** Περιέχει επαρκές τσιμέντο για την σκλήρυνση του εδάφους και επαρκή υγρασία τόσο για την ικανοποιητική συμπύκνωση όσο και για την ενυδάτωση του τσιμέντου. Καθώς το τσιμέντο ενυδατώνεται επέρχεται σκλήρυνση του μίγματος με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται υποχωρήσεις λόγω πυκνοποίησης υπό την επίδραση της κυκλοφορίας. Έχουμε λοιπόν μία ημιάκαμπτη κατασκευή που αντέχει στις καιρικές μεταβολές και έχει μεγάλη φέρουσα ικανότητα.

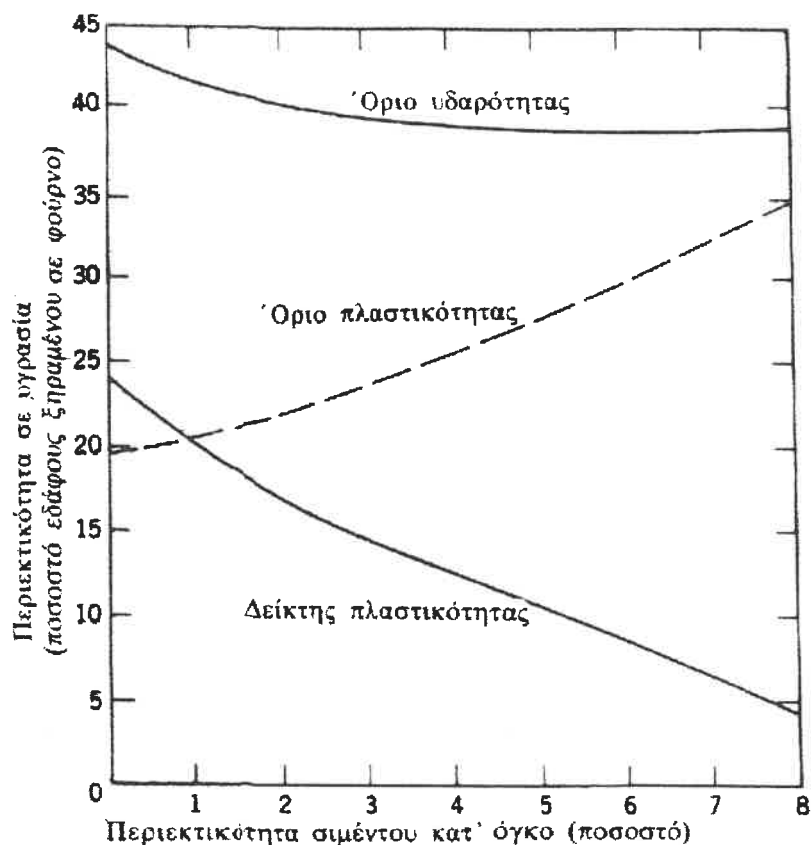
2. **Βελτιωμένο μίγμα εδάφους - τσιμέντου :** Το σχηματιζόμενο μίγμα αποτελεί ένα μη σκληρυθέν υλικό. Περιέχει μικρές σχετικά ποσότητες τσιμέντου; μόνον όσες απαιτούνται για την αλλαγή των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους ώστε αυτό να καταστεί παραδεκτό κατασκευαστικό υλικό. Το τσιμέντο μειώνει, μέσω επιφανειακών χημικών φαινομένων, την πλαστικότητα του εδάφους, την ικανότητα συγκράτησης ύδατος, και την ικανότητα μεταβολής του όγκου, αυξάνει όμως την φέρουσα ικανότητα και την διατμητική αντοχή.

3. **Πλαστικό μίγμα εδάφους - τσιμέντου :** Αποτελεί ένα καλό μίγμα κονιοποιημένου εδάφους και τσιμέντου με επαρκή ποσότητα ύδατος. Περιέχει, συνήθως, λίγο περισσότερο τσιμέντο και νερό από το συμπυκνωμένο μίγμα εδάφους τσιμέντου. Συνιστάται για την διάστρωση περιοχών οι οποίες βρίσκονται σε περιορισμένους χώρους ή παρουσιάζουν απότομες κλίσεις όπου καθίσταται δύσκολη έως και αδύνατη η χρήση μηχανημάτων οδοποιίας.

Αποτελέσματα της σταθεροποίησης με τσιμέντο

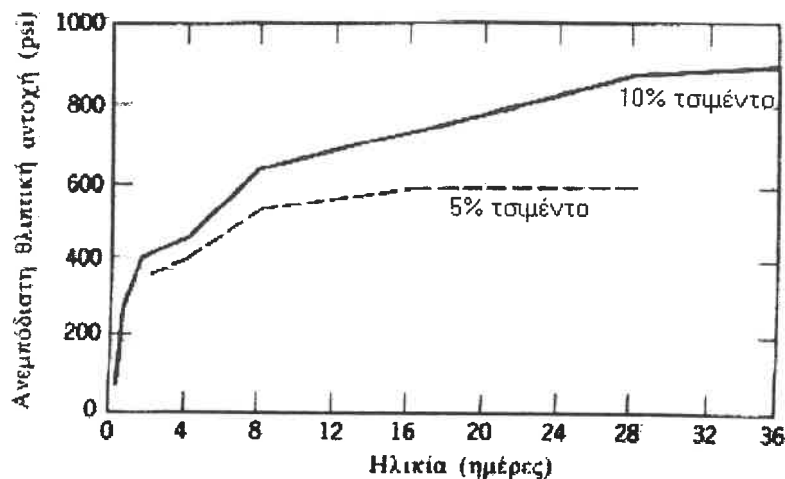
Η προσθήκη τσιμέντου σε εδαφικό υλικό οδηγεί σε σημαντικές αλλαγές των ιδιοτήτων του, μερικές από τις οποίες φαίνονται παρακάτω:

•*Όρια Atterberg* : Σε αργιλώδες έδαφος δεν παρατηρείται αλλαγή ή παρατηρείται μείωση του ορίου υδαρότητας (LL) , ενώ παρατηρείται σημαντική αύξηση στο όριο πλαστικότητας (PL) . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επέρχεται σημαντική μείωση του δείκτη πλαστικότητας (PI). Επιπλέον παρατηρείται αύξηση του ορίου συρρίκνωσης δηλαδή βελτιώνονται τα χαρακτηριστικά διόγκωσης του μίγματος. [17]



Σχήμα 1 Μεταβολή των φυσικών σταθερών δοκιμών ενός A-7-6 εδάφους ιλυώδους αργίλου από το Illinois με την προσθήκη σιμέντου (Τροποποιημένο από την Ένωση Τσιμέντου Portland) [20]

•*Φέρουσα ικανότητα*:- Ελέγχεται με την δοκιμή της ανεμπόδιστης θλίψης. Η αύξηση της φέρουσας ικανότητας είναι σημαντική και σχετίζεται άμεσα με τον χρόνο ωρίμανσης. Όσο αυξάνει ο χρόνος τόσο αυξάνει η αντοχή.



Σχήμα 2 Επίδραση του χρόνου ωρίμανσης στην θλιπτική αντοχή τυπικής ιλυώδους αργίλου σταθεροποιημένης με τσιμέντο. [20]

• *Ανθεκτικότητα στην επίδραση ύδατος και παγετού :* Η δημιουργία των συσσωματωμάτων, τα οποία έχουν προαναφερθεί, οδηγεί στην ελάττωση της ενεργού προς προσρόφιση ύδατος επιφάνειας των εδαφικών κόκκων. Συγχρόνως η προαναφερθείσα κυψελωτή δομή αποκόπτει τις διόδους του ύδατος και τα τεμάχια πάγου που σχηματίζονται από το νερό που απομένει δεν μπορούν να διασπαστούν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην επέρχεται χαλάρωση της σύνδεσης των κόκκων μεταξύ τους και το έδαφος δεν διογκώνεται. [4]

Προσδιορισμός της κατάλληλης ποσότητας τσιμέντου

Συνήθως η κατάλληλη ποσότητα τσιμέντου προσδιορίζεται μέσω των γνωστών δοκιμών διαβροχής - ξηράνσεως και καταψύξεως - ανατήξεως (AASHTO). Ωστόσο επειδή οι δοκιμές αυτές απαιτούν πολύ χρόνο, εξειδικευμένο προσωπικό και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον ανθρώπινο παράγοντα, χρησιμοποιείται περισσότερο η δοκιμή της ανεμπόδιστης θλίψης ως κριτήριο επαρκούς σταθεροποίησης του εδάφους και όπου οι κλιματολογικές συνθήκες είναι ιδιαίτερα δυσμενείς εξετάζεται και η επίδραση του παγετού και του ύδατος. Παρακάτω φαίνονται μερικές ενδεικτικές τιμές αντοχών όπως δίνονται σε διάφορες χώρες από τους αντίστοιχους κανονισμούς .

ΤΥΠΟΣ ΟΔΟΥ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ (MPa)
ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ - ΤΥΠΟΣ ΟΔΟΥ Α	5,25
ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ - ΤΥΠΟΣ ΟΔΟΥ Β	2,80
ΒΕΛΓΙΟ - ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΟΔΟΣ	1,25
ΒΕΛΓΙΟ - ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ ΟΔΟΣ	1,75
ΒΕΛΓΙΟ - ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ ΟΔΟΣ	2,50
ΜΕΓΑΛΗ ΒΡΕΤΑΝΙΑ - ΧΑΜΗΛΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ	1,75
ΓΕΡΜΑΝΙΑ - ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΟΔΟΙ	1,80 - 3,00
ΓΕΡΜΑΝΙΑ - ΛΟΙΠΕΣ ΟΔΟΙ	5,00 - 15,00(*)

(*) ΚΥΒΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 28 ΗΜΕΡΩΝ

Πίνακας 1.1 Ενδεικτικές τιμές αντοχών σε θλίψη σταθεροποιημένων εδαφών με τσιμέντο [4]

Κατασκευή

Κατά την κατασκευή, ανεξάρτητα από τον τύπο των μηχανημάτων κατασκευής (συνήθως χρησιμοποιούνται απλά γεωργικά μηχανήματα όπως δισκοσβάρνες, φρέζες και διαμορφωτήρες) ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Αναμόχλευση και κονιοποίηση του υλικού: κατά την κονιοποίηση πρέπει, σύμφωνα με τις προδιαγραφές, το 80% του υλικού να διέρχεται από το κόσκινο Νο4.
2. Διάστρωση και ανάμιξη τσιμέντου και εδάφους: το τσιμέντο διαστρώνεται είτε με το χέρι είτε με τη βοήθεια ενός μηχανικού διανομέα.
3. Προσθήκη ύδατος και ανάμιξη
4. Συμπύκνωση: πραγματοποιείται με τη βοήθεια οδοστρωτήρα με οδοντωτούς, ελαστικούς ή λείους κυλίνδρους. Η συμπύκνωση πρέπει να γίνεται όσο το δυνατό γρηγορότερα, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η τελική επιδιωκόμενη πυκνότητα πριν από την αρχική στερεοποίηση του τσιμέντου.
5. Τελική συμπύκνωση: εκτελείται με οδοστρωτήρες ελαστικών ή λείων τροχών, σε συνδυασμό με διαμορφωτήρες για να δώσουν στην οδό την τελική της μορφή, και γενικά είναι ανάγκη λίγο νερό.

6. Συντήρηση: πραγματοποιείται με την τοποθέτηση κάποιας μεμβράνης ωρίμανσης πάνω στο υλικό. Η μεμβράνη αυτή συχνά είναι κάλυμμα από ψάθα που διατηρείται υγρό κατά την περίοδο ωρίμανσης, ή ασφαλτικό στρώμα ή υγρή άμμος.

Η εργασία πρέπει να εκτελείται κατά μικρά τμήματα, μήκους αρκετά μικρού, ώστε να συμπληρωθεί η κατασκευή πριν από την αρχική στερεοποίηση του τσιμέντου. Κάθε τμήμα πρέπει να κατασκευάζεται τελείως πριν να αρχίσει η κατασκευή ενός άλλου. Στο τέλος κάθε εργάσιμης μέρας δημιουργείται συνήθως ένας αρμός διακοπής (η διαμόρφωσή του γίνεται με μια σανίδα ή ένα έλασμα) όπου γίνεται σύνδεση δύο τμημάτων. [20]

γ) Σταθεροποίηση με άσβεστο

Γενικά

Μια πολύ διαδεδομένη μορφή σταθεροποίησης είναι η προσθήκη ασβέστου, που γενικά προκαλεί ελάττωση της πυκνότητας του εδάφους, μεταβολή των ιδιοτήτων πλαστικότητας του εδάφους, και αύξηση της αντοχής του εδάφους.

Οι βασικότεροι τύποι ασβέστου που χρησιμοποιούνται φαίνονται παρακάτω:

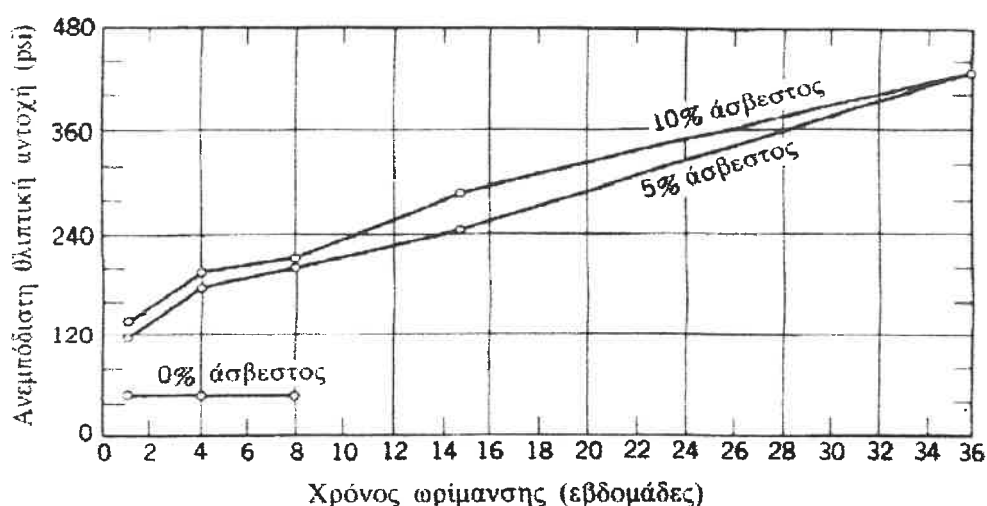
- Οξειδίο του ασβεστίου (CaO): παρασκευάζεται με θέρμανση θρυμματισμένου ανθρακικού βράχου σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Παρασκευάζεται από ασβεστόλιθο ή δολομίτη. Ο ασβεστόλιθος αποτελείται από ασβέστιο, άνθρακα και οξυγόνο, ενώ ο δολομίτης περιέχει επιπλέον μαγνήσιο.

- Υδροξείδιο του ασβεστίου (Ca(OH)_2) : ονομάζεται και υδράσβεστος ή σβησμένη άσβεστος και είναι το προϊόν της σβέσεως του οξειδίου του ασβεστίου. Η αντίδραση αυτή συνοδεύεται από την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας και είναι:



- Υδραυλική άσβεστος: αποτελεί τύπο ασβέστου που μπορεί να αντιδράσει και να σκληρυνθεί με την παρουσία νερού.

Ας σημειωθεί ότι τα μίγματα εδάφους - ασβέστου αυξάνουν την αντοχή τους κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων, σε αντίθεση με τα μίγματα εδάφους - τσιμέντου που αυξάνουν την αντοχή τους με ταχύτητα κατά την περίοδο ωρίμανσης. Επιπλέον ενώ τα μίγματα εδάφους - τσιμέντου είναι ανάγκη να ωριμάζουν αμέσως μετά την συμπύκνωση με παρουσία νερού, η ωρίμανση μιγμάτων εδάφους - ασβέστου μπορεί να καθυστερήσει αρκετά χωρίς επιζήμιο αποτέλεσμα (χαλίκι σταθεροποιημένο με άσβεστο έχει αποθηκευτεί για να χρησιμοποιηθεί σε επισκευές οδοστρωμάτων με επιτυχία).[20]



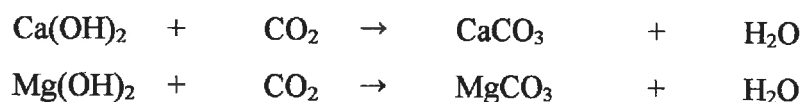
Σχήμα 3 Επίδραση του χρόνου ωρίμανσης στην θλιπτική αντοχή μιας ιλύώδους αργίλου σταθεροποιημένης με άσβεστο (Κατά Whitehurst και Yoder, Πρακτικά, Συμβούλιο Έρευνας Οδών, 1952). [20]

Όταν η άσβεστος αναμιγνύεται με το έδαφος πραγματοποιούνται τρεις βασικές αντιδράσεις:

1) **Ανταλλαγή ιόντων** : το δισθενές Ca^{++} αντικαθιστά τα μονοσθενή κατιόντα όπως Na^+ και K^+ . Αναπτύσσονται συνεπώς πολύ ισχυρά φορτία γύρω από τους κόκκους της αργίλου που σε συνδυασμό με την μεταβολή του ύδατος που περιβάλλει τους κόκκους οδηγεί στη δημιουργία συσσωματωμάτων. Παρατηρείται λοιπόν μια αισθητή μεταβολή στην υφή και στην συμπεριφορά του εδάφους, μείωση της πλαστικότητας που έχει σαν αποτέλεσμα μία ανοικτότερη και πιο κοκκώδη δομή, αύξηση του ορίου συρρίκνωσης, βελτίωση του εργάσιμου. [4, 5, 20]

2) **Ποζολανική Αντίδραση** : η άσβεστος αντιδρά με την αλουμίνα και το πυρίτιο, που αποτελούν τα δύο κύρια συστατικά του εδάφους, και σχηματίζονται πυριτικό ή αργίλικό ασβέστιο. Η αντίδραση αυτή είναι αργή υπό κανονικές συνθήκες συντήρησης και καταλήγει σε μεγαλύτερη αντοχή, αν μίγματα ασβέστου - εδάφους αφεθούν για ωρίμανση για μία χρονική περίοδο. Ωστόσο μπορεί να επιταχυνθεί με την αύξηση της θερμοκρασίας ή την προσθήκη ορισμένων χημικών υλικών. Επίσης η ποζολανική αντίδραση μπορεί να ενισχυθεί αν η άσβεστος χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ποζολάνες ή ιπτάμενη τέφρα. Ο βαθμός στον οποίο πραγματοποιείται η αντίδραση σχετίζεται άμεσα με τα χαρακτηριστικά του φυσικού εδάφους ορισμένα από τα οποία είναι η ικανότητα του εδάφους να αντιδρά με άσβεστο, το PH του, η παρουσία οργανικών ενώσεων, η φυσική του υγρασία, η ορυκτολογική σύσταση της αργίλου, το ποσοστό αλουμίνας και πυριτίου. Εάν το έδαφος χαρακτηρίζεται ως μη ενεργό, η δημιουργία εκτεταμένης ποζολανικής αντοχής δεν θα επιτευχθεί ανεξάρτητα από τον τύπο ασβέστου, το ποσοστό του, το χρόνο συντήρησης και τη θερμοκρασία. [5]

3) **Ενανθράκωση** : το Ca(OH)_2 ή το Mg(OH)_2 είναι δυνατό να ενωθεί με το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) της ατμόσφαιρας σχηματίζοντας ανθρακικό ασβέστιο ή μαγνήσιο όπως φαίνονται παρακάτω

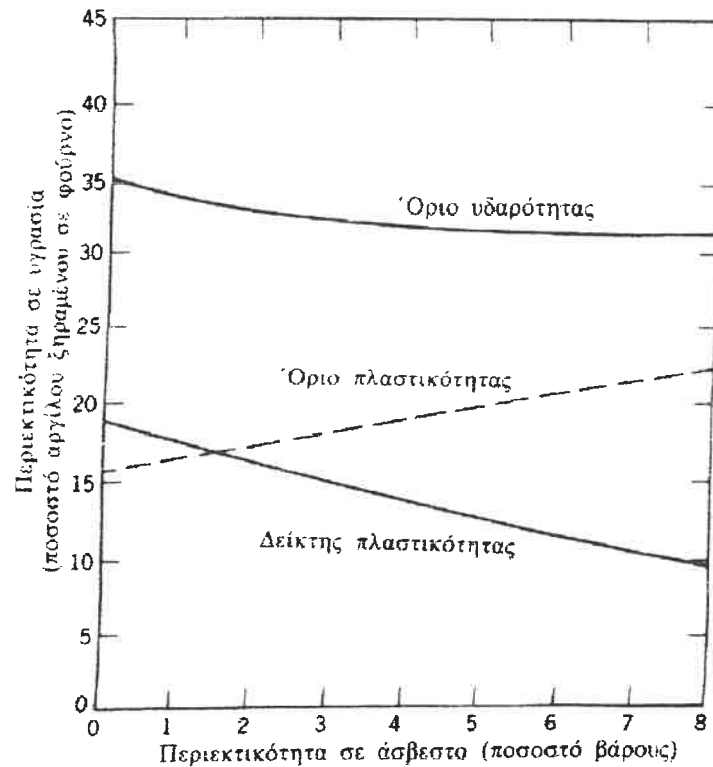


Η ενανθράκωση είναι ανεπιθύμητη, και γι' αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε κατά την κατασκευή να περιορίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο. [5]

Αποτελέσματα της σταθεροποίησης με άσβεστο

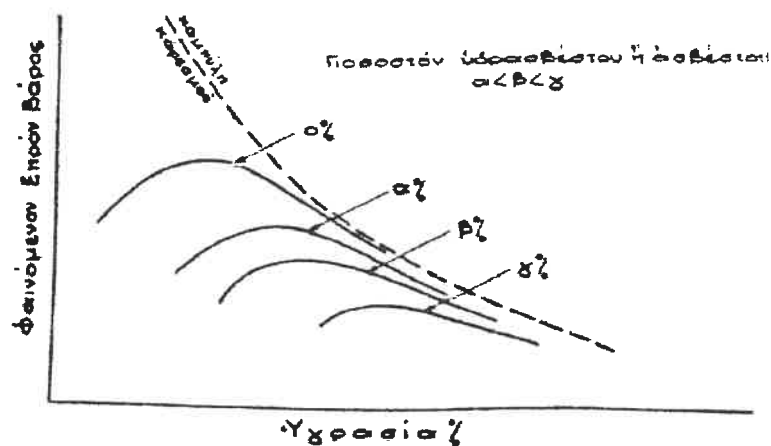
Η προσθήκη ασβέστου σε εδαφικό υλικό οδηγεί σε σημαντικές αλλαγές των ιδιοτήτων του, μερικές από τις οποίες φαίνονται παρακάτω:

- *Όρια Atterberg* : Με την προσθήκη ασβέστου παρατηρείται ταχεία μεταβολή των ορίων Atterberg. Στα εδάφη με δείκτη πλαστικότητας μικρότερο από 15 η σταθεροποίηση με άσβεστο συνήθως αυξάνει τόσο το όριο πλαστικότητας όσο και το όριο υδαρότητας, με αποτέλεσμα να διατηρείται η πλαστικότητα. Αντίθετα, στα περισσότερα πλαστικά εδάφη, επέρχεται μείωση του ορίου υδαρότητας ενώ αυξάνει σημαντικά το όριο πλαστικότητας, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά ο δείκτης πλαστικότητας. [4] Οι αρχικές ποσότητες ασβέστου που προστίθενται σε ένα πολύ πλαστικό έδαφος είναι πολύ πιο αποτελεσματικές όσον αφορά σε σχέση με τη μείωση του δείκτη πλαστικότητας, σε αντίθεση με τις επιπλέον προσθήκες. Όσο μεγαλύτερη η ποσότητα της προστιθέμενης ασβέστου τόσο μεγαλύτερη η μείωση του προαναφερθέντος δείκτη, μέχρι όμως κάποιου ποσοστού πέρα του οποίου παρατηρείται υπέρβαση του ορίου αντιστροφής και περαιτέρω αύξηση της ποσότητας ασβέστου οδηγεί σε μικρή ή καθόλου πρόσθετη αύξηση του ορίου πλαστικότητας. Έτσι, η σημαντική αυτή μείωση της πλαστικότητας του σταθεροποιημένου εδάφους με άσβεστο, και η ιλυώδης και εύθρυπτη υφή του βελτιώνουν την εργασιμότητά του διευκολύνοντας την εργασία στο εργοτάξιο. [5,14]



Σχήμα 4 Επίδραση της ασβέστου στα Όρια Atterberg. [20]

- **Βέλτιστη Υγρασία - Φαινόμενο Βάρους :** Όταν συμπυκνώνονται με την ίδια ενέργεια, στο σταθεροποιημένο έδαφος με ασβέστο παρατηρείται μειωμένο μέγιστο φαινόμενο βάρος σε σχέση με το φυσικό έδαφος και συνεχίζεται η μείωση όσο αυξάνει η περιεχόμενη ποσότητα ασβέστου. Επιπλέον η βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία αυξάνει με την προσθήκη ασβέστου.



Σχήμα 5 Επίδραση της ασβέστου στο μέγιστο φαινόμενο ξηρό βάρος και στη βέλτιστη υγρασία για την ίδια ενέργεια συμπίκνωσης. [4]

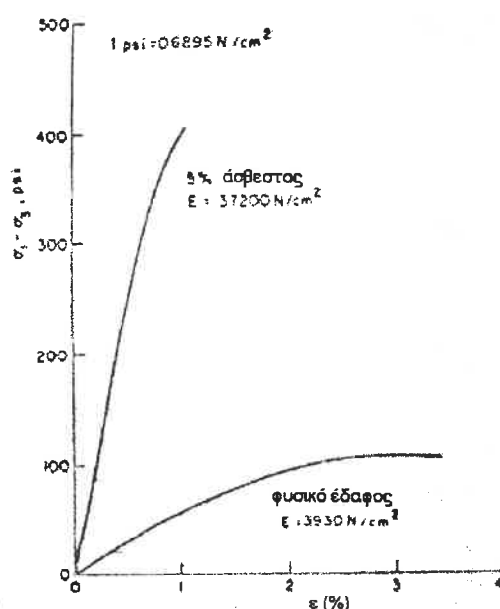
- *Διόγκωση - Διαπερατότητα* : Η προσθήκη ασβέστου σε ένα αργιλικό έδαφος έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των χαρακτηριστικών διόγκωσης και συστολής και επίσης μείωση της διαπερατότητας. Το γεγονός οφείλεται στους πολύ ισχυρούς δεσμούς που αναπτύσσονται ανάμεσα στα σωματίδια που απαρτίζουν το έδαφος και στη μείωση του πορώδους.
- *Φέρουσα Ικανότητα* : Πρέπει να τονισθεί ότι η αντοχή που αναπτύσσεται σε ένα έδαφος που έχει σταθεροποιηθεί με άσβεστο εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως ο τύπος του εδάφους, το ποσοστό της ασβέστου, ο χρόνος και η θερμοκρασία συντήρησης. Τα αργιλικά εδάφη μπορούν να χαρακτηρισθούν ως «αντιδρώντα» ή «μη αντιδρώντα» ανάλογα με το αν τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με προσθήκη ασβέστου και συντηρήθηκαν για 28 ημέρες στους 22,8° C παρουσιάζουν μεγαλύτερη, ή μικρότερη αντίστοιχα, αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη από 0,345 MPA. [5] Όσον αφορά την συντήρηση πρέπει να γίνεται η διάκριση ανάμεσα στην αρχική αντοχή που οφείλεται στις άμεσες αντιδράσεις (ανταλλαγή ιόντων) και στην αντοχή που σχετίζεται με την ποζολανική αντίδραση. Η πρώτη λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη κατά την κατασκευή, όταν έχουμε μαλακά, πολύ πλαστικά, συνεκτικά εδάφη που δεν μπορούν να αντέξουν τα φορτία των οχημάτων κατασκευής. Η δεύτερη, που είναι και η σημαντικότερη, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αντοχή ενός εδάφους σταθεροποιημένου με άσβεστο αυξάνει με το χρόνο.

Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι η αύξηση του ποσοστού ασβέστου οδηγεί σε αύξηση της αντοχής. Υπάρχει όμως κάποιο όριο στο ποσοστό αυτό, πέρα από το οποίο δεν παρατηρείται αύξηση της αντοχής (στο τσιμέντο αντίθετα αύξηση του ποσοστού οδηγεί σε συνεχή αύξηση της αντοχής) [14]

Συγκρίνοντας με τη σταθεροποίηση με τσιμέντο, που έχει αναλυθεί παραπάνω, παρατηρούμε ότι για μικρούς χρόνους συντήρησης και μικρά ποσοστά το τσιμέντο παρουσιάζει καλύτερες αντοχές από την άσβεστο, γεγονός που αντιστρέφεται με την αύξηση του χρόνου. Για ποσοστό όμως

τσιμέντου μεγαλύτερο από 7% οι αντοχές που αναπτύσσει είναι πάντα μεγαλύτερες από αυτές της ασβέστου. [13]

Τέλος, έχει διαπιστωθεί ότι η προσθήκη ασβέστου σε αργιλικό έδαφος οδηγεί σε σημαντική αύξηση της συνοχής και μικρότερη αύξηση της γωνίας εσωτερικής τριβής, δηλαδή σε βελτίωση της αντοχής σε διάτμηση, σε αύξηση του CBR και του μέτρου ελαστικότητας και σε βελτίωση της αντοχής σε εφελκυσμό. Η τάση αστοχίας παρουσιάζει αύξηση ενώ αντίθετα οι μέγιστες παραμορφώσεις μειώνονται, σε σχέση με το φυσικό έδαφος.



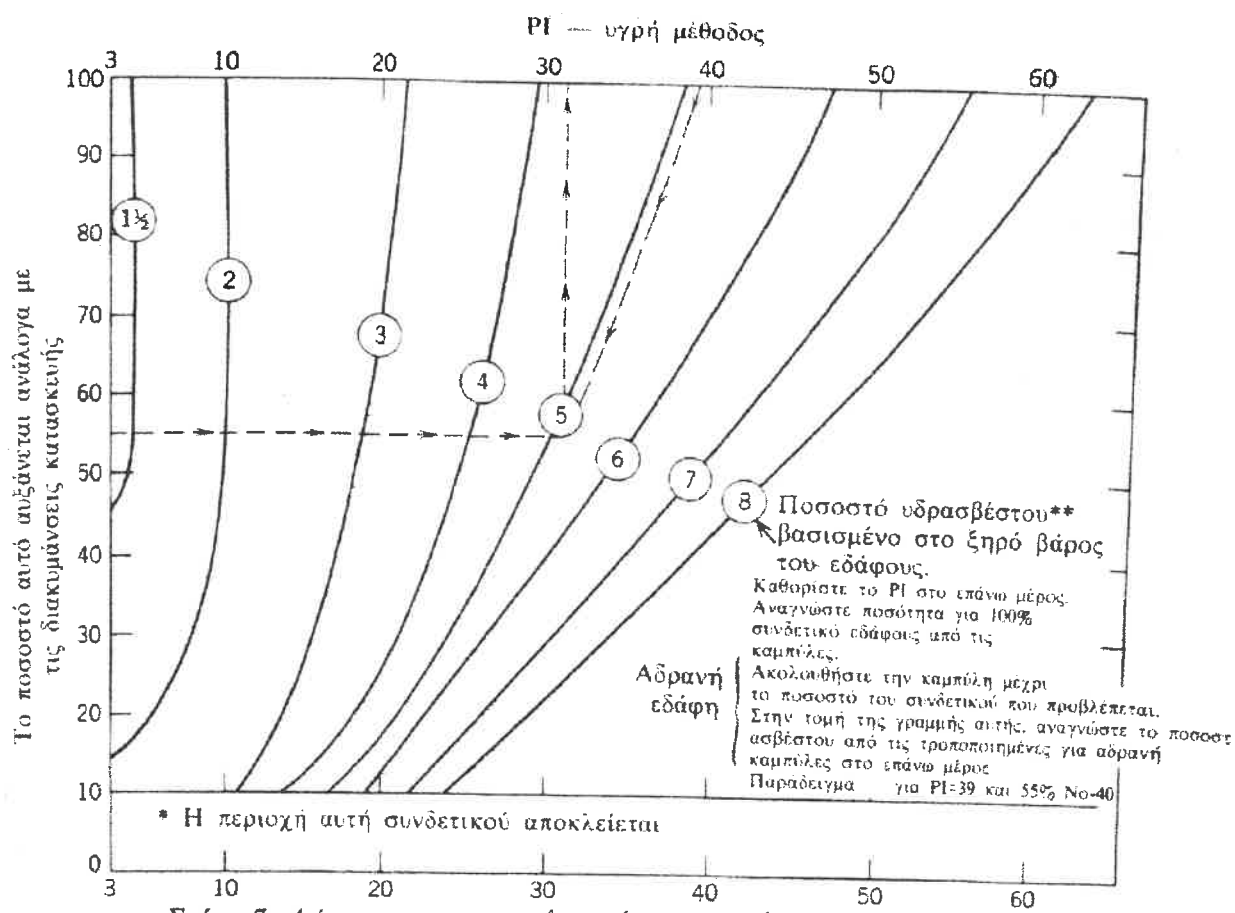
Σχήμα 6 Επίδραση της προσθήκης ασβέστου στο μέτρο Ελαστικότητας, στην τάση αστοχίας και στις παραμένουσες παραμορφώσεις. [5]

- **Αντοχή σε κόπωση :** Κατά τον υπολογισμό ενός οδοστρώματος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο παράγοντας κόπωση λόγω των συνεχών διελεύσεων, και κατ' επέκταση της συνεχής καταπόνησής του. Οι καμπύλες κόπωσης σε ένα σταθεροποιημένο έδαφος με ασβέστο είναι παρόμοιες μ' αυτές που επιτυγχάνονται με σταθεροποίηση με τσιμέντο. Οι αντοχές κόπωσης στις 5 εκατομμύρια διελεύσεις ποικίλει από 41 ως 66% της τελικής αντοχής με μέση τιμή 55%. Η τελική όμως αντοχή ενός σταθεροποιημένου εδάφους με ασβέστο σχετίζεται άμεσα με το χρόνο. Άρα, το επίπεδο καταπόνησης, ως ποσοστό της τελικής αντοχής, συνεχώς μειώνεται με αποτέλεσμα να επέρχεται αύξηση του επιτρεπόμενου αριθμού διελεύσεων.

- *Ανθεκτικότητα στον παγετό :* Ο παγετός σε όποιες χώρες παρατηρείται έχει καταστρεπτικές ιδιότητες όσον αφορά τις αναπτυσσόμενες αντοχές του εδάφους. Το συγκεντρωμένο νερό, με τη μορφή πάγου, επιβραδύνει την ποζολανική αντίδραση και οδηγεί στη διόγκωση του εδάφους. Με την προσθήκη ασβέστου αυξάνεται η ανθεκτικότητα του μίγματος έναντι του φαινομένου της επαναλαμβανόμενης πήξης και τήξης του ύδατος. Μελέτες έχουν δείξει ότι μερικά εδάφη σταθεροποιημένα με άσβεστο παρουσιάζουν το φαινόμενο της “αυτογενούς αποκατάστασης”, δηλαδή επανακτούν την ευστάθειά τους κατά την διάρκεια ευνοϊκών συνθηκών με αποτέλεσμα οι καταπονήσεις που επιβάλλονται κατά τις εναλλαγές πήξης - τήξης να μην προστίθενται. [5,19,7]

Προσδιορισμός της κατάλληλης ποσότητας ασβέστου

Η χρήση της ασβέστου σαν σταθεροποιητή καθορίζει τον τύπο δοκιμής που διεξάγεται για την αξιολόγηση των μιγμάτων ασβέστου - εδάφους. Όταν η άσβεστος χρησιμοποιείται για να ελαττωθεί ο δείκτης πλαστικότητας του εδάφους τότε εργαστηριακές δοκιμές εκτελούνται σε δοκίμια του υλικού με την πρόσμιξη ή χωρίς αυτήν. Δοκιμές πλαστικότητας διεξάγονται αμέσως μετά την ανάμιξη της ασβέστου, και μετά από μια περίοδο αναμονής για να δοθεί χρόνος στην άσβεστο να αντιδράσει με το έδαφος. Οι προδιαγραφές AASHTO περιέχουν τις απαιτούμενες ποσότητες ασβέστου για σταθεροποίηση βασιζόμενες στην πλαστικότητα και στην κατανομή κόκκων εδάφους.



Σχήμα 7 Διάγραμμα για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ασβέστου (Από την δοκιμή AASHO T-220-70) [20]

Όσον αφορά τις τιμές ελάχιστης ανεμπόδιστης θλιπτικής αντοχής, τα κριτήρια για το μίγμα εδάφους - τσιμέντου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν οδηγός για μίγματα εδάφους - ασβέστου, αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι αυτά τα μίγματα αυξάνουν σημαντικά την αντοχή τους με το χρόνο. Ο μόνος κίνδυνος αυτής της μεθόδου είναι το ότι μερικά εδάφη ίσως χαρακτηριστούν ακατάλληλα για χρήση με άσβεστο, ενώ στην πραγματικότητα ίσως είναι κατάλληλα μετά από μία μακρά περίοδο ωρίμανσης. Ένα κριτήριο που χρησιμοποιείται είναι πως, αν η αντοχή του μίγματος ύστερα από συμπίκνωση και δοκιμασία με τις συνήθειες μεθόδους είναι 0.689 MPa, τότε το μίγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί. [20] Επιπλέον για τον προσδιορισμό της επιτυγχανόμενης ευστάθειας και της αύξησης της φέρουσας ικανότητας των σταθεροποιημένων εδαφών διεξάγονται και η δοκιμή της τριαξονικής φόρτισης και η δοκιμή εύρεσης του Καλιφορνιακού Δείκτη Φέρουσας Ικανότητας.

Γενικά πιο κατάλληλα για σταθεροποίηση με άσβεστο είναι τα μετρίως λεπτά και πολύ λεπτά κοκκομετρικά εδάφη με ελάχιστο ποσοστό αργίλου 10% και με

δείκτη πλαστικότητας μεγαλύτερο από 10. [3] Οι Robnett και Thompson βασιζόμενοι πάνω στην εμπειρία που απέκτησαν ερευνώντας τα εδάφη του Illinois, υπέδειξαν την αποτελεσματική δράση της ασβέστου ως σταθεροποιητή σε αργιλικά εδάφη που περιέχουν άργιλο (μέγεθος κόκκου $<2\mu$) σε ελάχιστο ποσοστό 7% και με ελάχιστο δείκτη πλαστικότητας 8. Η Air Force υποδεικνύει ότι ο δείκτης πλαστικότητας PI πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 12, ενώ η National Lime Association προτείνει ο PI να είναι μεγαλύτερος του 10. [1]

Κατασκευή

Κατά την κατασκευή ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- 1) Προετοιμασία του εδάφους : η επιφάνεια του σταθεροποιημένου εδάφους πρέπει να διαμορφωθεί στο προβλεπόμενο υψόμετρο με τις κατάλληλες επικλίσεις. Ακολουθεί η αναμόχλευση του εδάφους μέχρι το επιθυμητό βάθος που για την περίπτωση ασβέστου σε ξηρή μορφή μπορεί να προηγείται ή να έπεται της προσθήκης ενώ όταν είναι σε υγρή μορφή είναι επιθυμητό να προηγείται η αναμόχλευση. Όταν η περιεχόμενη υγρασία του σταθεροποιημένου μίγματος είναι μικρότερη από την βέλτιστη τότε γίνεται πιο αφράτο και πρέπει να χαμηλώνει η στάθμη με την αφαίρεση του πλεονάζοντος υλικού. Εξάλλου αυτή η διαδικασία της αφαίρεσης είναι επιθυμητό να πραγματοποιείται για την άνω στρώση των 6,4 mm περίπου, αφού το υλικό αυτό δεν έχει σταθεροποιηθεί σωστά λόγω της απώλειας ασβέστου κατά την κατασκευή και της ενανθράκωσης που παρατηρείται στην εκτιθέμενη επιφάνεια.
- 2) Διανομή της ασβέστου : πρέπει να επιτευχθεί, όσο είναι δυνατόν, η ομοιομορφία. Όταν το έργο είναι μικρό ή όταν είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί ο κατάλληλος εξοπλισμός, η διανομή πραγματοποιείται με σάκους που τοποθετούνται με τα χέρια σε υπολογισμένες αποστάσεις. Αν και η μέθοδος αυτή είναι η πιο πρακτική, είναι πολύ αργή και ακριβή εξαιτίας του κόστους εργασίας. Σε μεγαλύτερα έργα η διανομή γίνεται με μεγάλα βυτιοφόρα που είναι εξοπλισμένα με κατάλληλο εξοπλισμό για να διανέμεται, χωρίς την ανθρώπινη βοήθεια, ο σταθεροποιητής στο έδαφος. Σε μερικές περιπτώσεις ο σταθεροποιητής έρχεται μέσα σε βυτιοφόρα όπου

έχει γίνει ήδη η ανάμιξη με το νερό, και το τελικό μίγμα σε μορφή πολτού διανέμεται με τη βοήθεια ψεκαστήρων.

- 3) Προσθήκη Ύδατος και Ανάμιξη : η ανάμιξη γίνεται όπως και στην περίπτωση της σταθεροποίησης εδάφους με τσιμέντο, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στον θρυμματισμό των σχηματιζόμενων σβώλων. Πολλές φορές όταν ο θρυμματισμός είναι πολύ δύσκολος γίνεται ανάμιξη και μερική συμύκνωση, το μίγμα αφήνεται για ένα διάστημα (24 - 48 ώρες) για να αρχίσει η δράση της ασβέστου, και στη συνέχεια πραγματοποιείται η τελική ανάμιξη. Σε μερικές περιοχές που το αργιλικό έδαφος είναι πάρα πολύ πλαστικό προτιμάται η προσθήκη της ασβέστου σε δύο δόσεις για την επίτευξη καλύτερης συμύκνωσης. Για παράδειγμα, 2 ή 3% άσβεστος προστίθεται αρχικά και πραγματοποιείται μερική ανάμιξη. Εν συνεχεία το στρώμα σφραγίζεται και αφήνεται να ωριμάσει για περίπου μία εβδομάδα. Η άσβεστος που έχει απομείνει προστίθεται τότε, και ακολουθεί η τελική ανάμιξη. Επιπλέον ψεκασμός με νερό μπορεί να χρειάζεται κατά τη διάρκεια της τελικής ανάμιξης, έτσι ώστε το έδαφος να αποκτήσει τη βέλτιστη υγρασία ή λίγο μεγαλύτερη. Όταν ο καιρός είναι πολύ ζεστός είναι απαραίτητο η υγρασία να είναι μεγαλύτερη από τη βέλτιστη για αν αναπληρώσει το χαμένο νερό λόγω εξάτμισης.
- 4) Συμύκνωση : για την ανάπτυξη των μέγιστων αντοχών είναι απαραίτητο τα εδάφη να συμυκνώνονται έως ότου επιτευχθεί ο προβλεπόμενος βαθμός συμύκνωσης. Τα κοκκώδη μίγματα εδάφους - ασβέστου γενικά συμυκνώνονται αμέσως μετά την ανάμιξη, παρόλο που καθυστερήσεις μέχρι δύο μέρες δεν είναι καταστρεπτικές αν το έδαφος προφυλάσσεται από την ξήρανση και την ενανθράκωση. Τα λεπτοκοκκώδη εδάφη μπορούν επίσης να συμυκνωθούν αμέσως μετά από την τελική ανάμιξη παρόλο που καθυστερήσεις μέχρι τέσσερις ημέρες δεν επιφέρουν αρνητικά αποτελέσματα. Όταν μεγαλύτερες καθυστερήσεις, για παράδειγμα δύο εβδομάδων ή περισσότερο, δεν μπορούν να αποφευχθούν, είναι απαραίτητη η προσθήκη μικρής, επιπλέον, ποσότητας ασβέστου μέσα στο μίγμα για να αναπληρώσει τις απώλειες λόγω ενανθράκωσης. Επιπλέον ψεκασμός με νερό μπορεί να χρειάζεται κατά τη διάρκεια της συμύκνωσης, ιδιαίτερα

όταν ο καιρός είναι ζεστός, έτσι ώστε να αναπληρωθεί το χαμένο νερό λόγω εξάτμισης.

- 5) Συντήρηση : ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας καθώς και το πέρασμα του χρόνου είναι απαραίτητα για την συντήρηση. Μερικοί προτείνουν ένα διάστημα τριών έως επτά ημερών προτού τοποθετηθεί άλλη στρώση πάνω από την σταθεροποιημένη. Κατά την περίοδο αυτή θα πρέπει η στρώση να διατηρείται υγρή με συχνές διαβροχές με νερό ή με επάλειψη με αδιάβροχη ασφαλική μεμβράνη. [5]

δ) Σταθεροποίηση με ιπτάμενη τέφρα

Γενικά

Ιπτάμενη τέφρα είναι η λεπτώς διαμερισμένη σκόνη καπνοδόχου που λαμβάνεται από τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια κατά την καύση κονιοποιημένου άνθρακα. Το στερεό αυτό υλικό συλλέγεται με μηχανικά ή ηλεκτροστατικά μέσα. Ανήκει στην κατηγορία των ποζολανών που είναι πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, η χαρακτηριστική ιδιότητα των οποίων είναι ότι σε λεπτότατο καταμερισμό και με την παρουσία υγρασίας ενώνονται χημικά με την υδράσβεστο, στη συνήθη θερμοκρασία και σχηματίζουν υδραυλικές ενώσεις. [3,8,18]

Εκτιμάται, ότι από τις μεγάλες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας που παράγονται κάθε χρόνο από τα λιγνιτικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος της ΔΕΗ μόνο ένα μικρό ποσοστό, γύρω στο 20%, αξιοποιείται στην τεχνολογία σκυροδέματος. Μια μεγάλη ποσότητα, κάθε χρόνο, δεν χρησιμοποιείται και μεταφέρεται και τοποθετείται σε ειδικές περιοχές, δημιουργώντας όχι μόνο προβλήματα αποθήκευσης αλλά εγκυμονώντας και περιβαλλοντικούς κινδύνους. [21,22]

Η ιπτάμενη τέφρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο υλικό στην κατασκευή υποβάσεων ή βάσεων των οδοστρωμάτων, είτε με την προσθήκη μικρού ποσοστού υδρασβέστου ή τσιμέντου, είτε και αυτούσια ανάλογα με την χημική της σύσταση.

Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, οι ιπτάμενες τέφρες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

1. Σε αυτές που περιέχουν SiO_2 σε υψηλό ποσοστό παρουσιάζοντας ποζολανικές ιδιότητες. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και η ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης.

2. Σε αυτές που περιέχουν CaO σε υψηλό ποσοστό παρουσιάζοντας υδραυλικές ιδιότητες. Στην κατηγορία αυτή ανήκει η ιπτάμενη τέφρα περιοχής Πτολεμαΐδας.

Η ποζολανική αντίδραση σχετίζεται με την ικανότητα της ιπτάμενης τέφρας να σχηματίζει ενώσεις που μοιάζουν με το τσιμέντο, σε κανονικές συνθήκες, όταν ενώνεται με αλκάλια και αλκαλικά υδροξείδια υπό την παρουσία υγρασίας. Τα αλκάλια και τα αλκαλικά υδροξείδια που απαιτούνται παρέχονται προσθέτοντας άσβεστο ή τσιμέντο στην ιπτάμενη τέφρα. Αν υπάρχουν σε επαρκείς ποσότητες σαν CaO ή MgO (όπως στην κατηγορία 2), τότε η ιπτάμενη τέφρα παρουσιάζει από μόνη της σκλήρυνση και ποζολανικότητα. [12]

Ανάλογα με το κάρβουνο από το οποίο προέρχονται, οι ιπτάμενες τέφρες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες [12] :

1) Κατηγορία F : ιπτάμενη τέφρα που παράγεται από την καύση ανθρακίτη ή ασφαλούχου κάρβουνου. Είναι σχεδόν πάντα απαραίτητο να συνδυάζεται με άσβεστο ή τσιμέντο για να παρουσιάζει ποζολανικές αντιδράσεις.

2) Κατηγορία C : ιπτάμενη τέφρα που παράγεται από την καύση λιγνίτη ή υποασφαλούχου κάρβουνου. Περιέχει σημαντικές ποσότητες CaO , ωστόσο παρουσιάζει καλύτερα χαρακτηριστικά σταθεροποίησης όταν προστίθεται άσβεστος ή τσιμέντο.

Η κρυσταλλική δομή της ιπτάμενης τέφρας παρέχει τα συστατικά που συγκροτούν το πυρίτιο και την αλουμίνα. Η αντοχή και η ανθεκτικότητα των μιγμάτων άσβεστος - ιπτάμενη τέφρα σχετίζονται άμεσα με την ποσότητα των ενώσεων που σχηματίζονται από την αντίδραση με την άσβεστο και από τα συστατικά της ιπτάμενης τέφρας. Εφόσον αυτές οι αντιδράσεις επηρεάζονται από τον χρόνο και την θερμοκρασία, ο χρόνος ωρίμανσης καθώς και οι συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο.

Η δραστηριότητα των ιπτάμενων τεφρών από διάφορες πηγές ποικίλει. Για το λόγο αυτό, η ιπτάμενη τέφρα από κάθε πηγή θα πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά ως

προς τη δραστικότητα της και την ομοιομορφία της, πριν χρησιμοποιηθεί σε μίγματα με άσβεστο ή/και τσιμέντο. [3]

Μερικές από τις βασικές ιδιότητες που πρέπει να παρουσιάζει η ιπτάμενη τέφρα και που είναι ενδεικτικές της δραστικότητάς της είναι [3]:

- αυξημένο ποσοστό της ιπτάμενης τέφρας που περνάει από το κόσκινο No. 325 ή αυξημένη ειδική επιφάνεια
- αυξημένη περιεκτικότητα σε SiO_2 , $\text{SiO}_2+\text{R}_2\text{O}_3$, και $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ ($\text{R}=\text{Ca}^{++}$ ή Mg^{++})
- χαμηλή ποσότητα άνθρακα ή χαμηλή απώλεια πυρώσεως
- αυξημένα αλκαλικά συστατικά.

Οι χημικές αναλύσεις και άλλα χαρακτηριστικά των Ελληνικών Ιπτάμενων Τεφρών φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Περιεκτικότητα σε οξείδια %	I.T Πτολεμαΐδας	I.T. Μεγαλόπολης
SiO_2	28%	52%
CaO	36%	13%
Al_2O_3	16%	17%
Fe_2O_3	4%	9%
SO_3	6.6%	1.3%
MgO	3.6%	3%
Απώλεια Πυρώσεως	4,7%	0,8%
Αδιάλυτο Υπόλειμμα	21%	35%
Ειδική Επιφάνεια (cm^2/g)	4450	1450
Μέγιστη Ξηρή Πυκνότητα (kg/m^3)	1160	1160
Βέλτιστη Υγρασία	29%	34%

Πίνακας 1.2 Χημικές Αναλύσεις και Χαρακτηριστικά Ελληνικών Ιπτάμενων Τεφρών [21]

Εφόσον η Ιπτάμενη Τέφρα της Πτολεμαΐδας έχει σε πολύ υψηλό ποσοστό ανυδάτωτη άσβεστο, η προσθήκη νερού οδηγεί στην πραγματοποίηση μιας εντόνως εξώθερμης αντίδρασης, η θερμοκρασία του μίγματος αυξάνει σημαντικά (από 24°C ανεβαίνει στους 54°C) και παρατηρείται ουσιαστική μείωση της υγρασίας εξαιτίας της εξάτμισης και της χημικής αντίδρασης. Γι' αυτό εκτιμάται ότι χρειάζεται περίπου

45% νερό, προκειμένου να επιτευχθεί 29% περιεχόμενη υγρασία κατά την κατασκευή. Επίσης, εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας σε άσβεστο προβλέπεται ότι κατά την κατασκευή θα πρέπει να αντιμετωπισθούν κάποια προβλήματα τόσο πρακτικά όσο και ασφαλείας. [21,22]

Για την χρησιμοποίηση της Ιπτάμενης Τέφρας Μεγαλόπολης για σταθεροποίηση εδαφικών υλικών θα πρέπει να εξετασθεί αν η ποζολανική αντίδραση προσδίδει στο μίγμα ικανοποιητικές αντοχές με ποσοστά τέφρας και υδρασβέστου ή τσιμέντου που καθιστούν την κατασκευή ανταγωνιστική οικονομικά σε σύγκριση με τις συνήθεις μεθόδους κατασκευής. Γνωρίζοντας επίσης ότι η λεπτότητα της Ιπτάμενης Τέφρας είναι μία από τις βασικές παραμέτρους που επιδρά στον ρυθμό ανάπτυξης των μηχανικών αντοχών, και μάλιστα η αύξηση της λεπτότητας οδηγεί σε αύξηση της ποζολανικότητας, παρατηρούμε ότι η Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας υπερτερεί της Ιπτάμενης Τέφρας Μεγαλόπολης, αφού η τελευταία έχει σχετικά χονδρόκοκκη σύνθεση. Για το λόγο αυτό έχει δοκιμασθεί η λειοτρίβιση του χονδρόκοκκου υλικού που όμως με τα κοινά μέσα δεν επιφέρει σημαντική αύξηση της λεπτότητας και βελτίωση της αντοχής των μιγμάτων. [21]

Αποτελέσματα της σταθεροποίησης με Ιπτάμενη Τέφρα

Η προσθήκη ιπτάμενης τέφρας σε εδαφικό υλικό οδηγεί σε σημαντικές αλλαγές των ιδιοτήτων του, μερικές από τις οποίες φαίνονται παρακάτω:

- *Όριο Atterberg* : η προσθήκη ιπτάμενης τέφρας έχει ευεργετική επίδραση στον δείκτη πλαστικότητας ο οποίος μειώνεται, αφού αυξάνεται το όριο πλαστικότητας ενώ μειώνεται το όριο υδαρότητας. Η αύξηση του ορίου πλαστικότητας σημαίνει ότι το υλικό βελτιώνεται διότι αυξάνει το όριο μετά το οποίο το υλικό αρχίζει να «ζυμώνει». [21]

Περιγραφή Υλικού	LL	PL	PI
100% Άργιλος (από Ίσιωμα Καρυών)	56	18	38
75% Άργιλος +25% Τέφρα	45	22	23
66% Άργιλος +33% Τέφρα	42	23	19
60% Άργιλος +40% Τέφρα	41	28	13
50% Άργιλος +50% Τέφρα	41	31	10
100% Ορυκτό (αργιλ. Σχιστόλιθοι από Λυκοσούρα)	28	15	13
75% Ορυκτό +25% Τέφρα		Μη πλαστικό	
Αμμοχάλικο Τριπτόταμου		Μη πλαστικό	
Ι. Τέφρα Μεγαλόπολης		Μη πλαστικό	

Πίνακας 1.3 Επίδραση ανάμιξης Ιπτάμενης Τέφρας Μεγαλόπολης στα Όρια Atterberg. [21]

Περιγραφή Υλικού	LL	PL	PI
Αμμοχάλικο Ορυχείου Ν. Πεδίου (δειγματοληψία : ΛΚΠ - Α/1983)	24	16	8
Αμμοχάλικο Ορυχείου Ν. Πεδίου (δειγματοληψία : Δ - 9/1985)	32.4	20	12.4
Καστανή Άργιλος (Δ-6/85)	44.6	17	27.6
Ι. Τέφρα Πτολεμαΐδας		Μη πλαστικό	

Πίνακας 1.4 Αποτελέσματα Ορίων Atterberg υλικών Πτολεμαΐδας. [21]

• *Υγρασία - Ξηρή Πυκνότητα* : για την υπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης οι τιμές της μέγιστης ξηράς πυκνότητας κυμαίνονται από 1150 kg/m^3 για αυτούσια τέφρα έως $1500\text{-}1600 \text{ kg/m}^3$ για μίγματα 50% τέφρα + 50% αργίλικα υλικά και φθάνει τα 1800 kg/m^3 για ανάμιξη κατά 75% αμμοχάλικο με 25% τέφρα. Αντίστοιχα η τιμή της βέλτιστης υγρασίας μειώνεται από 33% για την αυτούσια τέφρα σε 13% για μίγμα 75% αμμοχάλικου και 25% τέφρα. Όταν χρησιμοποιείται η υπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας (που περιέχει CaO σε υψηλά ποσοστά) θα πρέπει να προστεθεί νερό κατά την ανάμιξη στο εργοτάξιο περισσότερο από την βέλτιστη υγρασία του εκάστοτε υλικού. Από δοκιμές συμπύκνωσης στο εργαστήριο βρέθηκε ότι, για παράδειγμα στο μίγμα 50% αμμοχάλικο + 50% τέφρα θα πρέπει να προστεθεί περίπου 5-7% νερό επιπλέον από αυτό της βέλτιστης υγρασίας, ενώ στην αυτούσια Ιπτάμενη Τέφρα, που έχει βέλτιστη υγρασία 28%, θα πρέπει να προστεθεί κατά την ανάμιξη 45% νερό, λόγω της χημικής δέσμευσης και εξάτμισης του νερού αναμίξεως των υλικών. Τα σημεία αυτά είναι πιθανόν να αποτελέσουν πηγή προβλημάτων κατά

την εφαρμογή της Ιπτάμενης Τέφρας στο Εργοτάξιο λόγω του περιορισμένου χρόνου που θα διατίθεται για την ανάμιξη και συμπίκνωση των υλικών χωρίς να γίνει εξάτμιση του νερού ανάμιξης και θα πρέπει να επιβεβαιωθούν μετά από κατασκευή πειραματικών τμημάτων. [21]

- *Αντοχή σε Θλίψη και Κάμψη* : εργαστηριακές έρευνες έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι με την προθήκη Ιπτάμενης Τέφρας σε ένα αργιλικό έδαφος επιτυγχάνεται η αύξηση της αντοχής σε θλίψη και κάμψη σε συνάρτηση πάντα με το χρόνο. Η καμπτική αντοχή εκτιμάται ότι είναι περίπου 20% της αντοχής σε θλίψη. Ας σημειωθεί ότι η Ιπτάμενη Τέφρα Πτολεμαΐδας αναπτύσσει πολύ υψηλές αντοχές σε θλίψη χωρίς καμία επεξεργασία (αυτούσια) ενώ στην Ιπτάμενη Τέφρα Μεγαλόπολης απαιτούνται μικρές ποσότητες τσιμέντου ή υδρασβέστου κατά την ανάμιξη με αργιλικά εδάφη. [3,21]

- *Κόπωση* : τα μίγματα ασβέστου - ιπτάμενης τέφρας μπορεί να αστοχήσουν όταν υποβάλλονται σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση με τάση μικρότερη από την τάση αστοχίας. Ωστόσο, παρουσιάζουν το χαρακτηριστικό της 'αυτογενούς αποκατάστασης', δηλαδή έχουν την ικανότητα να «θεραπεύουν» τις αναπτυσσόμενες ρωγμές μέσω αυτού του αυτογενούς μηχανισμού. Ο βαθμός κατά τον οποίο παρατηρείται το φαινόμενο αυτό, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως :

1. η ηλικία στην οποία θραύεται το μίγμα,
2. ο βαθμός επαφής των θραυόμενων επιφανειών,
3. οι συνθήκες ωρίμανσης,
4. η διαθεσιμότητα του σταθεροποιητή (άσβεστος και ιπτάμενη τέφρα)
5. οι συνθήκες υγρασίας.

Εξαιτίας του προαναφερθέντος φαινομένου τα μίγματα είναι λιγότερο επιρρεπή στην αστοχία λόγω κόπωσης σε σχέση με τα άλλα υλικά. Αν η αστοχία λόγω κόπωσης δεν παρατηρηθεί κατά την διάρκεια των πρώτων ημερών φόρτισης, κανονικά δεν αποτελεί παράγοντα ανησυχίας. [3]

Προσδιορισμός της κατάλληλης ποσότητας Ιπτάμενης Τέφρας

Οι ιλείς θεωρούνται τα πιο κατάλληλα εδαφικά υλικά για σταθεροποίηση με άσβεστο και ιπτάμενη τέφρα. Επιπλέον, αδρανή υλικά διαφόρων τύπων και διαβαθμίσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μίγματα ασβέστου - ιπτάμενης τέφρας. Θα πρέπει, όμως, το τελικό μίγμα να είναι μηχανικώς ευσταθές και ικανό να συμπυκνωθεί στο εργοτάξιο στη μέγιστη πυκνότητα. Γενικά τα μίγματα με λεπτόκοκκα αδρανή δημιουργούν προϊόντα με μεγαλύτερη ανθεκτικότητα από αυτά με τα χονδρόκοκκα. Ωστόσο, τα μίγματα με τα χονδρόκοκκα αδρανή είναι πιο ευσταθή και μπορεί να παρουσιάσουν υψηλότερη αντοχή σε μικρή ηλικία. Με το πέρασμα το χρόνου όμως τα μίγματα με τα λεπτόκοκκα αδρανή μπορεί να αναπτύξουν τελικές αντοχές ίσες ή ακόμα και μεγαλύτερες από αυτές που αποκτούν τα χονδρόκοκκα.

Οι σχετικές αναλογίες κάθε συστατικού που χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένα μίγματα ασβέστου - ιπτάμενης τέφρας ποικίλουν. Πολύ αποτελεσματικά μίγματα έχουν χρησιμοποιηθεί με ποσοστό ασβέστου 2-8% και ποσοστό ιπτάμενης τέφρας 8-36%. Οι τυπικές ποσότητες είναι $2^{1/2}$ -4% άσβεστος και 10-15% ιπτάμενη τέφρα. Σε μερικές περιπτώσεις, μικρές ποσότητες (0,5-1,5%) τσιμέντου Πόρτλαντ έχουν χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την αρχική αντοχή.

Για ένα δεδομένο συνδυασμό υλικών (άσβεστος, ιπτάμενη τέφρα, τσιμέντο, και αδρανή) οι παράγοντες που μπορεί να ποικίλουν είναι η αναλογία ασβέστου προς ιπτάμενη τέφρα, και η αναλογία ασβέστου και ιπτάμενης τέφρας προς αδρανή. Αν χρησιμοποιείται και τσιμέντο μαζί με την άσβεστο, τότε και η αναλογία ασβέστου προς τσιμέντο αποτελεί επίσης μία παράμετρο. Οι αναλογίες αυτές δεν είναι δεδομένες αλλά σχετίζονται, σε κάθε περίπτωση, με τις ιδιότητες των αδρανών και της ιπτάμενης τέφρας σε συνδυασμό με την αντοχή που επιθυμούμε να αποκτήσει το μίγμα. Έχει εκτιμηθεί ότι η αναλογία ασβέστου προς ιπτάμενη τέφρα κυμαίνεται από 1:2 έως 1:7, αλλά για λόγους οικονομίας και ποιότητας τα περισσότερα μίγματα παρουσιάζουν αναλογία 1:3 ή 1:4. Συχνά είναι πιο οικονομικό να αναμιγνύουμε αδρανή από διάφορες πηγές για να πετύχουμε ένα καλύτερο μίγμα, παρά να χρησιμοποιούμε έναν μόνο τύπο αδρανούς μεταβάλλοντας τα συνδετικά υλικά.

Η ποιότητα των μιγμάτων άσβεστος-ιπτάμενη τέφρα και άσβεστος -τσιμέντο - ιπτάμενη τέφρα, μετρούμενη με την αντοχή τους και την ανθεκτικότητά τους,

σχετίζεται άμεσα με την ποιότητα της ασβέστου και της ιπτάμενης τέφρας και το ποσοστού του αδρανούς που διέρχεται από το κόσκινο Νο 4. Γενικά, όσο πιο ομοιόμορφα είναι κατανεμημένοι οι ισομεγέθεις κόκκοι του αδρανούς, τόσο μικρότερη είναι η ποσότητα ασβέστου και ιπτάμενης τέφρας που απαιτείται για να επιτευχθεί υψηλή πυκνότητα συμύκνωσης. Προσοχή πρέπει να δοθεί ούτως ώστε η ποσότητα ασβέστου και ιπτάμενης τέφρας είναι επαρκής για να παρέχει καλή χημική αντίδραση. Επίσης, τα αμμόδη υλικά που δεν έχουν κόκκους που να διέρχονται από το κόσκινο Νο200, μπορεί να απαιτούν υψηλές ποσότητες Ιπτάμενης Τέφρας που θα λειτουργεί ως Φίλλερ (θα μειώνει τα κενά), παράλληλα με τη χρήση της ως ποζολάνη.

Τέλος, για να έχουμε ένα μίγμα καλής ποιότητας, είναι απαραίτητο η ποσότητα της ασβέστου με την ιπτάμενη τέφρα να είναι σε περίσσεια (2-3%) από αυτήν που απαιτείται για μέγιστη πυκνότητα. [3]

Κατασκευή

Κατά την κατασκευή τα βήματα που ακολουθούνται είναι αυτά που αναφέρονται στην σταθεροποίηση με άσβεστο και τσιμέντο.

ε) Σταθεροποίηση με άσφαλτο

Γενικά - Αποτελέσματα

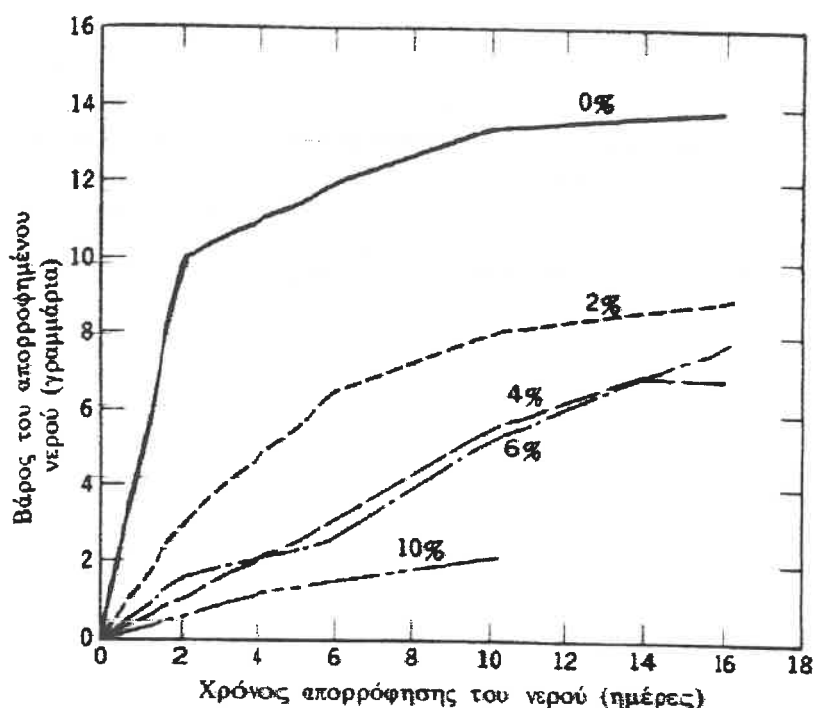
Η σταθεροποίηση με άσφαλτο, πίσσες και ασφαλτικά γαλακτώματα δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα για χονδρόκοκκα ή κοκκώδη εδάφη. Η χρήση της όμως σε πλαστικά λεπτόκοκκα εδάφη παρουσιάζει δυσκολίες λόγω κυρίως προβλημάτων καλής ανάμιξης, αερισμού και ξηράνσεως του μίγματος και επομένως δυσχερειών κατά την συμύκνωση, εκτός αν το έδαφος είναι βελτιωμένο κάπως με τσιμέντο ή άσβεστο από πριν. Ωστόσο, μετά από έρευνες πάνω στα λεπτόκοκκα πλαστικά εδάφη, ανακαλύφθηκε μέθοδος προσθήκης ασφαλτικού τσιμέντου σε αφρώδη μορφή που παρουσιάζει χαμηλό ιξώδες (επιτυγχάνεται καλύτερη ανάμιξη) και κατάλληλη

επιφανειακή τάση ώστε να καλύπτονται με ευχέρεια οι κόκκοι των λεπτόκοκκων εδαφών. Επιπλέον μια αφρώδης ασφαλτος περιέχει μικρές ποσότητες υγρασίας. Τέλος κατά την ανάμιξη του εδάφους με την αφρώδη ασφαλτο οι φυσαλίδες του αφρού καταστρέφονται, η περιεχόμενη υγρασία εξατμίζεται και η ασφαλτος μεταπίπτει στην αρχική της μορφή. Επομένως μπορούμε να συμπυκνώσουμε το έδαφος αμέσως μετά την ανάμιξη και τη διάστρωση.

Πρέπει να τονισθεί ότι η ασφαλτος δεν δρα χημικά με το έδαφος όπως οι σταθεροποιητές που προαναφέρθηκαν, αλλά ένας από τους κύριους λόγους χρησιμοποίησής της στο έδαφος είναι για να ελαττωθεί ο ρυθμός απορρόφησης ύδατος. Για να είναι αποτελεσματικός αυτός ο τύπος σταθεροποίησης, είναι αναγκαία η συμπύκνωση του εδάφους μέχρι σχετικά μεγάλη πυκνότητα, έτσι ώστε να προκύψει όλη η έμφυτη αντοχή του υλικού. Ο σκοπός του σταθεροποιητή είναι τότε η συγκράτηση της αντοχής αυτής μετά την απορρόφηση του ύδατος. [4,20]

Η ασφαλτος προέρχεται από την απόσταξη του πετρελαίου. Η υγρή ασφαλτος διαφέρει από την ασφαλτο της οδοστρώσεως στο ότι υγροποιείται με τη βοήθεια διαλυτών σχηματίζοντας διαλύματα ή γαλακτώματα. Στα διαλύματα ο χρόνος ωρίμανσης σχετίζεται άμεσα από τον τύπο του διαλύτη. Στα διαλύματα ταχείας ωρίμανσης (RC) χρησιμοποιούνται νέφτι ή βενζίνη ως διαλύτες, στα διαλύματα μέσης ωρίμανσης (MC) χρησιμοποιείται κηροζίνη, ενώ στα διαλύματα βραδείας ωρίμανσης (SC) χρησιμοποιούνται έλαια χαμηλής εξάτμισης. Τα ασφαλτικά γαλακτώματα είναι μίγματα ασφαλτικού τσιμέντου, ύδατος, και ενός παράγοντα γαλάκτωσης. Διακρίνονται σε ανιονικά και κατιονικά ανάλογα με το ηλεκτρικό φορτίο που φέρουν οι χημικές ουσίες από τις οποίες προέρχονται, καθώς και σε ταχείας (RS), μέσης (MS) και βραδείας (SS) πήξης. [3]

Ο μηχανισμός δράσης της ασφάλτου ως σταθεροποιητή διαφέρει από τους αντίστοιχους του τσιμέντου και της ασβέστου. Με την προσθήκη ασφάλτου στα λεπτόκοκκα συνεκτικά εδάφη παρατηρείται το φαινόμενο της αδιαβροχοποίησης. Οι κόκκοι καλύπτονται με ασφαλτο, σχηματίζοντας μια μεμβράνη που εμποδίζει την διείσδυση ύδατος και επομένως επιτυγχάνεται μείωση της τριχοειδούς ανύψωσης, που υπό κανονικές συνθήκες θα οδηγούσε σε μείωση των αντοχών.



Σχήμα 8 Απορρόφηση νερού μιας τυπικής αμμόδου αργίλου (SC) με SC-1 πρόσμιξη [20]

Στα μη συνεκτικά εδάφη, όπως άμμος και χαλίκια, δύο βασικοί μηχανισμοί ενεργοποιούνται: η αδιαβροχοποίηση και η συνεκτικότητα. Το ασφαλικό στρώμα που περιβάλλει τους κόκκους εμποδίζει τη διείσδυση ύδατος μειώνοντας την πιθανότητα το υλικό να παρουσιάσει μειωμένη αντοχή λόγω της παρουσίας ύδατος. Επίσης τα αδρανή υλικά προσκολλούν στην ασφαλτο με αποτέλεσμα η ασφαλτος να δρα ως συνδετικό υλικό. Η αύξηση, επομένως, της συνοχής χωρίς να παρατηρείται μείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής, οδηγεί σε αύξηση των αντοχών. [3]

Προσδιορισμός του τύπου και της ποσότητας ασφάλτου

Αν ένα λεπτόκοκκο εδαφικό υλικό μπορεί να σταθεροποιηθεί με ασφαλτο εξαρτάται από την κοκκομετρική του διαβάθμιση, από το όριο υδαρότητας και από τον δείκτη πλαστικότητας. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται χαρακτηριστικές τιμές που πρέπει να ικανοποιεί ένα υλικό προκειμένου να σταθεροποιηθεί με ασφαλτικά υλικά.

ΚΟΣΚΙΝΟ	ΑΜΜΟΣ	ΕΛΑΦΟΣ	ΘΡΑΥΣΤΟ ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟ
1-12''			100
1''	100		
3/4''			60-100
No. 4	50-100	50-100	35-100
No. 10	40-100		
No. 40		35-100	13-50
No. 100			8-35
No. 200	5-12	ΚΑΛΟ - 3-20	
		ΜΕΤΡΙΟ - 0-3& 20-30	
		ΚΑΚΟ - >30	
ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ		ΚΑΛΟ - <20	
		ΜΕΤΡΙΟ - 20-30	
		ΚΑΚΟ - 30-40	
		ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ->40	
ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	10	ΚΑΛΟ - <5	10
		ΜΕΤΡΙΟ - 5-9	
		ΚΑΚΟ - 9-15	
		ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ->12-15	

Πίνακας 1.5 Απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα υλικά για να είναι κατάλληλα να σταθεροποιηθούν με άσφαλτο. [3]

Όπως φαίνεται το ποσοστό του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο No. 200 πρέπει να είναι μικρότερο από 25%. Γενικά πολύ πλαστικά εδάφη δεν είναι κατάλληλα για τον τύπο αυτό σταθεροποίησης, γιατί είναι δύσκολος ο θρυμματισμός των σβώλων αργίλου και η καλή ανάμιξη της ασφάλτου με την εδαφική μάζα, συνεπώς ο δείκτης πλαστικότητας πρέπει να είναι μικρότερος από 10%. [3,8]

Ο τύπος ασφάλτου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την υφή του εδάφους, τον τύπο και το μέτρο του επιβαλλόμενου φορτίου, τις περιβαλλοντικές

συνθήκες, το προσομοίωμα του οδοστρώματος και τη μέθοδο κατασκευής με τον υπάρχον εξοπλισμό. Για τη σταθεροποίηση λεπτόκοκκων εδαφών μπορούν να χρησιμοποιηθούν κανονικά υγρές ασφαλτοι ταχείας, μέτριας και βραδείας ωρίμανσης. Τα υλικά βραδείας ωρίμανσης δεν συνιστώνται για πολύ πλαστικά εδάφη, λόγω του κινδύνου που υπάρχει τα πτητικά υλικά να μην εγκαταλείψουν τη μάζα μετά τη συμπίκνωση, με αποτέλεσμα να προκύψει μαλακό υπέδαφος. Επειδή η ασφατική σταθεροποίηση λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών δεν επιφέρει μεγάλη συνδετικότητα του υλικού τα εδάφη πρέπει να συμπυκνώνονται μέχρι σχετικά υψηλή πυκνότητα, έτσι ώστε να αξιοποιείται όλη η έμφυτη αντοχή της μάζας. Ο ρόλος της ασφάλτου είναι, τότε, να διατηρεί αυτή τη σταθερότητα ακόμη και ύστερα από διαποτισμό μέχρι κορεσμού.

Η άμμος που πρόκειται να σταθεροποιηθεί δεν πρέπει να περιέχει βλαβερά υλικά και δεν πρέπει να περιέχει υπερβολικές ποσότητες λεπτών υλικών. Αν πρόκειται να σταθεροποιηθούν καθαρές - μη συνεκτικές άμμοι, τότε μπορεί να γίνει προσθήκη λεπτών υλικών στην άμμο για να αυξηθεί η γωνία εσωτερικής τριβής. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για αιολικές αποθέσεις και υδατογενείς άμμους. Οι τύποι ασφάλτου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ασφαλτικό τσιμέντο, ασφαλτοι ταχείας ωρίμανσης, γαλακτώματα διαβάθμισης SS-1 γιατί οι άλλες διαβαθμίσεις θραύονται γρήγορα, και πίσσες.

Τύπος Υλικού	Μέγιστες τιμές επαρκούς σταθεροποίησης	Τύποι ασφάλτου και διαβαθμίσεις	Κατά προσέγγιση ποσότητα ασφάλτου (%)
Λεπτόκοκκα Εδάφη	Max LL=40% Max PI=18%	MC & SC Γαλακτώματα RT 3-6	4-8
Άμμοι	Μέγιστο ποσοστό που περνάει το No.200=25% Max PI=12%	AC Pen 85-100 & 120-150 RC 1-3 Γαλακτώματα RT 6-10	4-10
Χαλίκι και αμμώδες χαλίκι	Μέγιστο ποσοστό που περνάει το No.200=15% Max PI=12%	RC 1-3 RT 4,5 AC	2-6

Πίνακας 1.6 Σύνοψη τύπων υλικών και ασφάλτου για σταθεροποίηση. [20]

Οι μέθοδοι αξιολόγησης των υλικών που είναι σταθεροποιημένα με άσφαλτο εξαρτώνται από τον τύπο εδάφους. Για λεπτόκοκκα υλικά, γίνονται δοκιμές απορρόφησης σε δοκίμια με ορισμένη υγρασία και πυκνότητα. Μετά από την ωρίμανση των δοκιμίων σε μέτρια θερμοκρασία φούρνου για μία εβδομάδα, τα δοκίμια τοποθετούνται σε τεμάχια τσόχας ή πορώδους πέτρας, ενώ η στάθμη του νερού διατηρείται στο κάτω μέρος των δοκιμίων. Ο σκοπός της περιόδου ωρίμανσης είναι να εξασφαλιστεί η απομάκρυνση όλων των πτητικών υλικών και να προσομοιωθεί το σταθεροποιημένο μετά από ένα χρονικό διάστημα από την κατασκευή. Τα δοκίμια ζυγίζονται πριν και μετά τον διαποτισμό μέχρι κορεσμού και καθορίζεται η ποσότητα του απορροφημένου ύδατος. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων αυτών των δοκιμών είναι ποιοτική και με τη βοήθειά της ο μηχανικός κρίνει τη βέλτιστη περιεκτικότητα ασφάλτου.

Η Αμερικανική Εταιρία Δοκιμών και Υλικών (ASTM) έχει καθιερώσει μία δοκιμαστική μέθοδο για την αξιολόγηση μιγμάτων εδάφους - ασφάλτου. Κατά την

δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται η συσκευή Hubbard - Field. Οι προϋποθέσεις που θέτει η ASTM είναι:

- ελάχιστη τιμή εξώθησης πριν από την απορρόφηση 1000 λίβρες
- ελάχιστη τιμή εξώθησης μετά τη δοκιμή απορρόφησης 400 λίβρες
- μέγιστη διόγκωση κατά τη δοκιμή 5%
- μέγιστη ποσότητα νερού που απορροφάται κατά τη δοκιμή 7%.

Η δοκιμή Hubbard - Field χρησιμοποιείται και για την αξιολόγηση των μιγμάτων άμμου - ασφαλτικών υλικών. Η ελάχιστη τιμή που προβλέπεται από τις προδιαγραφές για τα μίγματα άμμου - ασφαλτικών για σταθερότητα είναι 1200 λίβρες. Η Florida έχει επινοήσει μία μέθοδο αξιολόγησης που βασίζεται σε μία δοκιμή φορτοϊκανότητας μικρού μεγέθους. Τα υλικά αξιολογούνται με τη βοήθεια ενός εμβόλου, που έχει εμβαδόν μία τετραγωνική ίντσα, και η αποτυχία συμβαίνει όταν ο ρυθμός παραμόρφωσης είναι μεγαλύτερος από 0,01 ίντσες ανά πέντε δευτερόλεπτα.

Τέλος, για μίγματα χαλίκων - ασφαλτικού και αμμοχάλικου - ασφαλτικών, χρησιμοποιούνται συμβατικές δοκιμές CBR και τριαξονικές. Οι δοκιμές διεξάγονται αρχικά στο ασταθεροποίητο υλικό και κατόπιν στο μίγμα. Οι αποφάσεις σχετικά με τη χρήση του μίγματος βασίζονται στη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο δοκιμών. [3,8,20]

Στους πίνακες που ακολουθούν δίνονται τύποι και ποσότητες ασφάλτου συναρτήσει μερικών από τους προαναφερθέντες παράγοντες.

ΠΑΧΟΣ ΑΣΦΑΛΤΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (cm) ⁽⁴⁾	ΚΛΙΜΑ	AASHTO M20	AASHTO M226	WEST COAST
<=3	ΚΡΥΟ ⁽¹⁾	200-300	AC-5	AR-1000
	ΜΕΤΡΙΟ ⁽²⁾	85-100	AC-10	AR-4000
	ΖΕΣΤΟ ⁽³⁾	85-100	AC-10	AR-4000
4-6	ΚΡΥΟ	120-150	AC-5	AR-2000
	ΜΕΤΡΙΟ	85-100	AC-10	AR-4000
	ΖΕΣΤΟ	60-70	AC-20	AR-8000
>7	ΚΡΥΟ	120-150	AC-15	AR-2000
	ΜΕΤΡΙΟ	60-70	AC-10	AR-8000
	ΖΕΣΤΟ	40-50	AC-20	AR-16000

(1) Ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία -12°C
(2) Μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία 32°C
(3) Μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία μεγαλύτερη από 32°C
(4) Ολικό πάχος επιφάνειας και βάσης

Πίνακας 1.7 Προτάσεις Επιλογής Ασφάλτου συναρτήσει του κλίματος [3]

ΣΧΗΜΑ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΥΦΗ ΑΔΡΑΝΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΚΑΤΑ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ
ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΜΕΝΑ ΚΑΙ ΛΕΙΑ	4
ΓΩΝΙΩΔΗ ΚΑΙ ΤΡΑΧΕΙΑ	6
ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ	5

Οι προτεινόμενες τιμές βασίζονται στην παρατήρηση και την κρίση των μηχανικών

Πίνακας 1.8 Επιλογή περιεχόμενου ποσοστού ασφάλτου. [3]

Κατασκευή

Οι βασικοί τύποι κατασκευής περιλαμβάνουν την ανάμιξη του μίγματος σε κεντρική εγκατάσταση εν θερμώ ή ψυχρά, και την επί τόπου ανάμιξη. Το ασφαλτικό τσιμέντο, γενικά, υποβάλλεται στις εν θερμώ διαδικασίες στην κεντρική εγκατάσταση ανάμιξης. Ωστόσο, οι μαλακές ασφαλτοι χρησιμοποιούνται στην επί τόπου ανάμιξη. Τα γαλακτώματα, μερικές φορές, χρησιμοποιούνται σε κεντρικές εγκαταστάσεις.

Όποια κι αν είναι η μέθοδος κατασκευής απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για να εξασφαλισθεί ένα προϊόν καλής ποιότητας. Τα λεπτόκοκκα υλικά πρέπει να κονιοποιηθούν και να προπαρασκευαστούν πριν από την ανάμιξη του ασφαλτικού. Το έδαφος πρέπει να είναι υγρό, πριν από την προσθήκη του ασφαλτικού, για να

γίνει καλή ανάμιξη. Η ποσότητα νερού που προστίθεται κυμαίνεται ανάλογα με τον τύπο εδάφους και βασίζεται κατά προτίμηση στην πείρα του μηχανικού. Η ποσότητα εδάφους που απαιτείται είναι, γενικά, μικρότερη από την βέλτιστη, που καθορίζεται από την τυποποιημένη δοκιμή συμπίκνωσης.

Το υλικό, μετά την ανάμιξη του εδάφους με το ασφαλικό, πρέπει να εκτεθεί στον αέρα έτσι ώστε να απομακρυνθούν τα πτητικά υλικά πριν από την συμπίκνωση. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή από τον μηχανικό προκειμένου να κρίνει αν το υλικό έχει εκτεθεί επαρκώς στον αέρα για να δώσει καλές πυκνότητες συμπίκνωσης.

Τα προαναφερθέντα ισχύουν και για τα μίγματα άμμου - ασφαλικού και χαλίκων - ασφαλικού. Η κρίση του μηχανικού για μίγματα άμμου - ασφαλικού βασίζεται σε ταχείες εργοταξιακές δοκιμές με μετρητές διείσδυσης κώνου και άλλες συσκευές που δίνουν το μέτρο το μέτρο συνοχής του υλικού κατά τη διάρκεια του αερισμού. [3,20]

στ) Σταθεροποίηση με άλλες χημικές ουσίες

Ανόργανες Ουσίες

Μερικές από τις ανόργανες χημικές ουσίες που δίνει καλά αποτελέσματα η προσθήκη τους στα διάφορα εδάφη είναι το πυριτικό νάτριο, το χλωριούχο ασβέστιο και το χλωριούχο νάτριο.

Το **πυριτικό νάτριο** χρησιμοποιείται τόσο για την σταθεροποίηση επιφανειακών στρώσεων οδών δευτερεύουσας σημασίας, όσο και υπεδάφους. Όλες οι πληροφορίες που διαθέτουμε συμφωνούν ότι τα καλύτερα αποτελέσματα δίνει το πλούσιο σε SiO_2 και φτωχό σε Na_2O πυριτικό νάτριο.

Τα **χλωριούχο ασβέστιο και χλωριούχο νάτριο** χρησιμοποιούνται με μεγάλη επιτυχία στην σταθεροποίηση εδαφικών υλικών. Η αντίδραση του χλωρίου και του εδάφους επιτυγχάνεται με μεταβολές του ίδιου του εδαφικού νερού. Οι ευεργετικές επιδράσεις των αλάτων πραγματοποιούνται με τον υποβιβασμό του σημείου πήξης και την ελάττωση του ρυθμού εξάτμισης του εδαφικού νερού, που αποτελεί και την σημαντικότερη ιδιότητα του μίγματος.

Η χρήση του χλωριούχου ασβεστίου σε κοκκώδη εδάφη επιφέρει καθυστέρηση της εξάτμισης του νερού. Αυτό είναι επιθυμητό κατά την κατασκευή κατά τους

ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες και συντελεί στην περαιτέρω συμπύκνωση της οδού κάτω από την κυκλοφορία των οχημάτων.

Πρόσθετο πλεονέκτημα της χρήσης χλωριούχου νατρίου είναι η ανακρυστάλλωση μετά την ξήρανση, που προκαλεί αύξηση της αντοχής. Η ανακρυστάλλωση όμως αυτή χάνεται με νέα ύγρανση και έτσι το πλεονέκτημα αυτό ελαχιστοποιείται κατά τις υγρές εποχές του έτους, δεν παύει όμως να είναι χρήσιμο για τον έλεγχο της σκόνης σε μη οδοστρωμένες οδούς.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι η παρουσία των ουσιών χλωριούχου ασβεστίου και νατρίου :

- ⇒ δρα ρυθμιστικά στην υγρασία
- ⇒ συντελεί στην περαιτέρω συμπύκνωση της οδού μέσω της κυκλοφορίας
- ⇒ μειώνει την επίδραση παγοπληξίας
- ⇒ συντελεί στην καλή διατήρηση της βάσης μέχρι την εποχή της ασφαλικής επικάλυψης
- ⇒ παρεμποδίζει τη δημιουργία σκόνης στην περίπτωση που η στρώση κυκλοφορείται.

Κατά γενικό κανόνα οι ποσότητες χλωριούχου ασβεστίου και νατρίου που απαιτούνται είναι πολύ μικρές, της τάξης 1 ½ % κατά βάρος. [8,20]

Ρητίνες αδιαβροχοποίησης

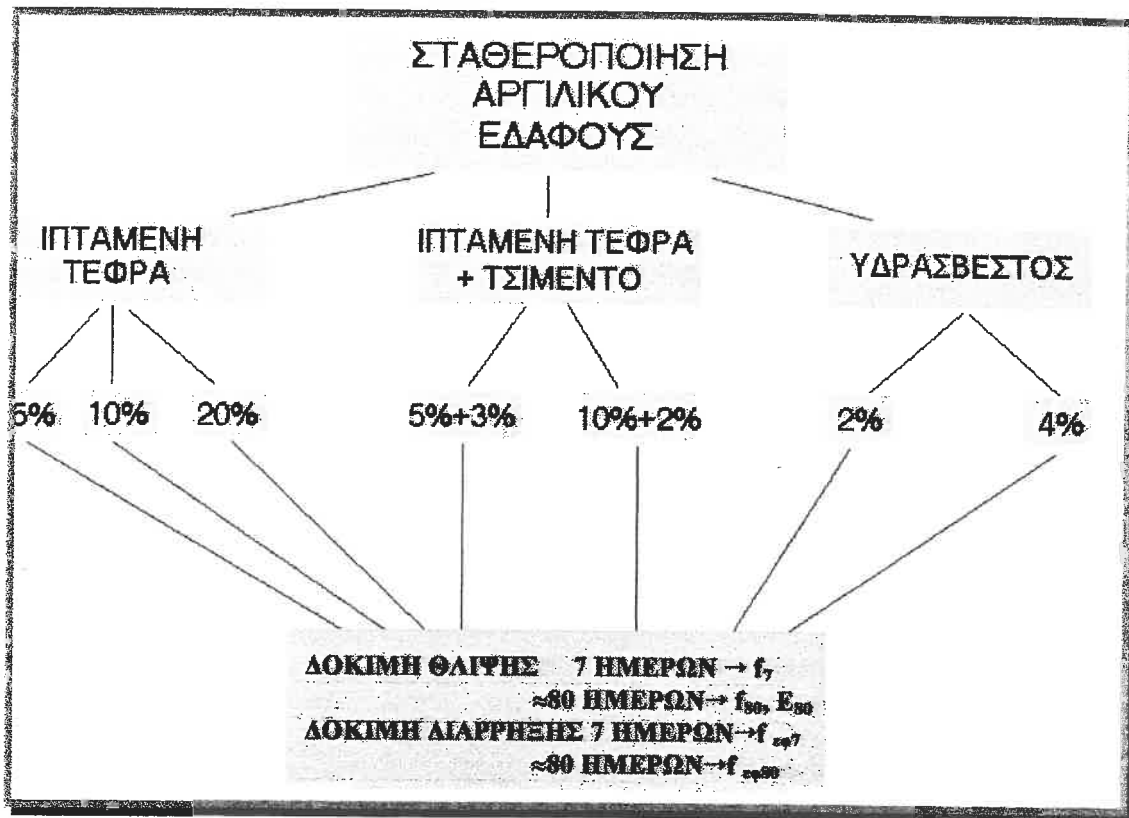
Είναι φυσικές ή συνθετικές ρητίνες που η προσθήκη τους στο έδαφος οδηγεί στην διατήρηση του ποσοστού υγρασίας κάτω ενός ορίου, μέσω της παρεμπόδισης της εισόδου του ύδατος στο σταθεροποιημένο και συμπυκνωμένο έδαφος. Συνήθως αποκτούν μικρή ή μηδαμινή συγκολλητική ικανότητα και απαιτούνται μικρές ποσότητες, συνήθως 2% και λιγότερο κατά βάρος εδάφους. [8]

Συνδετικές Ρητίνες

Είναι φυσικές ή συνθετικές ρητίνες οι οποίες συγκολλούν και συνδέουν τα μόρια του εδάφους με το οποίο αναμιγνύονται. Πολλές μάλιστα απ' αυτές παρουσιάζουν και ιδιότητες αδιαβροχοποίησης. [8]

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ : ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Διάγραμμα Ροής



Υλικά

- Εδαφικό υλικό : Χρησιμοποιήθηκε εδαφικό δείγμα από την περιοχή του κόμβου Θήβας (ΠΑΘΕ).

- Ιπτάμενη Τέφρα : Η Ιπτάμενη Τέφρα που χρησιμοποιήθηκε παράχθηκε στον «ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ» και αντιπροσωπεύει την παραγωγή τέφρας του σταθμού κατά τη διάρκεια μίας τυπικής εβδομάδας από 16-7-1997 έως 23-7-1997. Τα δείγματα τέφρας ανά ημέρα που συλλέχθηκαν αναμίχθηκαν καλά με τη βοήθεια διαχωριστού και στο τέλος δημιουργήθηκε ένα υλικό που στο εξής θα καλείται τέφρα. Η τέφρα αυτή δεν έχει υποστεί καμία περαιτέρω επεξεργασία και περιέχει μεγάλη ποσότητα ασβέστου. Η χημική της ανάλυση είναι αυτή που φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. [24]

ΟΞΕΙΔΙΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
SiO ₂	19,9
Fe ₂ O ₃	5,72
MgO	3,65
CaO	48,97
Na ₂ O	0,26
K ₂ O	0,45
Al ₂ O ₃	9,26
SO ₃	7,25
Απώλεια Πυρώσεως	3,01%
Ελεύθερη Άσβεστος	18,31%
Φαινόμενο ειδικό βάρος	0,5-0,7 gr/cm ³

Πίνακας 2.1 Χημική ανάλυση Ιπτάμενης Τέφρας «ΑΗΣ ΚΑΡΑΛΙΑΣ» [24]

- Υδράσβεστος (Ca(OH)₂) εμπορίου σε μορφή ξηρής σκόνης.
- Κοινό τσιμέντο εμπορίου Π35
- Νερό.

Προκαταρκτικές Διαδικασίες

ΠΡΟΤΥΠΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΕΩΣ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ ΚΑΙ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΞΗΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Σκοπός

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την διαδικασία για τον προσδιορισμό της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα αδρανή υλικά, με τη χρησιμοποίηση κόσκινων τετραγωνικών οπών. Επίσης η μέθοδος είναι εφαρμόσιμη και για τη χρησιμοποίηση Εργαστηριακών κόσκινων κυκλικών οπών. Η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κοκκομετρική ανάλυση αδρανών υλικών που ανακτήθηκαν από ασφαλικά μίγματα ή για την κοκκομετρική ανάλυση ορυκτής παυτάλης.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός πρέπει να αποτελείται από τα παρακάτω:

- Ζυγός. Ο ζυγός πρέπει να είναι ευαισθησίας 0,1% του βάρους του δείγματος που εξετάζεται.

- Κόσκινα. Τα πλέγματα των κόσκινων τετραγωνικών οπών πρέπει να είναι προσαρμοσμένα σε στερεά πλαίσια κατασκευασμένα κατά τρόπο που να αποφεύγεται απώλεια υλικού κατά το κοσκίνισμα. Πρέπει επίσης να εκλέγονται κόσκινα κατάλληλων διαστάσεων για την παροχή των πληροφοριών που απαιτούνται από τις προδιαγραφές που αναφέρονται στο υλικό που εξετάζεται. Τα κόσκινα με συρμάτινο πλέγμα να είναι σύμφωνα με τις Πρότυπες Προδιαγραφές κόσκινων για δοκιμές (A A S H T O M-92)

- Κλίβανος. Ο κλίβανος πρέπει να είναι ικανός να διατηρεί σταθερή θερμοκρασία 110°C.

Δείγματα

Τα δείγματα για κοκκομετρική ανάλυση πρέπει να παίρνονται από τα προς εξέταση υλικά με τη χρησιμοποίηση συσκευής διαχωρισμού δειγμάτων ή με τη μέθοδο του τετραμερισμού. Λεπτόκοκκο αδρανές υλικό που παίρνεται σαν δείγμα με τη μέθοδο του τετραμερισμού πρέπει να αναμιγνύεται καλά και να είναι ελαφρώς υγρό. Το δείγμα που εξετάζεται πρέπει να έχει κατά προσέγγιση το επιθυμητό βάρος και να είναι το τελικό αποτέλεσμα εφαρμογής της μεθόδου δειγματοληψίας. Η εκλογή δειγμάτων με βάρος που να καθορίζεται με ακρίβεια από προηγούμενα, πρέπει να αποφεύγεται.

Τα δείγματα λεπτόκοκκου αδρανούς υλικού για κοκκομετρική ανάλυση πρέπει μετά την ξήρανση να έχουν κατά προσέγγιση τα βάρη που αναφέρονται πιο κάτω:

Υλικό με κατ' ελάχιστο 95% διερχόμενο του κόσκινου No 8 500 γρμ.

Υλικό με κατ' ελάχιστο 90% διερχόμενο του κόσκινου No 4 και περισσότερο των 5% συγκρατούμενο στο κόσκινο No 8 500 γρμ.

Στην περίπτωση μιγμάτων λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών το υλικό πρέπει να διαχωρίζεται με το κόσκινο No 4 (4760 μ.) σε δύο μεγέθη και τα δείγματα λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών υλικών πρέπει να προετοιμάζονται όπως προαναφέρθηκε.

Στην περίπτωση λεπτόκοκκου αδρανούς υλικού το υλικό που είναι λεπτότερο του κόσκινου Νο 200 (74 μ) πρέπει να προσδιορίζεται σύμφωνα με την Πρότυπη Μέθοδο Προσδιορισμού της Ποσότητας Υλικού Λεπτότερου του Κόσκινου Νο 200 σε Αδρανή Υλικά και η κοκκομετρική ανάλυση να εκτελείται στο υλικό που είναι χονδρότερο του κόσκινου Νο 200 (74 μ).

Προετοιμασία δείγματος.

Τα δείγματα πρέπει κατ' αρχήν να εξετάζονται σύμφωνα με την Πρότυπη Μέθοδο Προσδιορισμού υλικού λεπτότερου του Κόσκινου Νο 200 στα Αδρανή με πλύση. Η διαδικασία αυτή μπορεί να παραληφθεί με την προϋπόθεση ότι δεν απαιτείται η συνολική ποσότητα του υλικού του λεπτότερου του κόσκινου Νο 200 και ότι απαιτήσεις ακριβείας της κοκκομετρικής αναλύσεως δεν απαιτούν πλύση των κόκκων. Όλα τα δείγματα πρέπει να ξηραίνονται ουσιαστικά μέχρι σταθερού βάρους σε θερμοκρασία που να μην υπερβαίνει τους 110°C.

Τρόπος εργασίας.

Το δείγμα πρέπει να διαχωρίζεται σε σειρά μεγεθών με τη χρησιμοποίηση εκείνων των κόσκινων τα οποία είναι αναγκαία για να διαπιστωθεί κατά πόσο το υλικό που εξετάζεται είναι μέσα στις Προδιαγραφές. Το κοσκίνισμα πρέπει να γίνεται με πλευρικές και κατακόρυφες κινήσεις του κόσκινου, και να συνοδεύεται από τραντάγματα, ώστε το δείγμα να είναι σε συνεχή κίνηση, πάνω στην επιφάνεια του κόσκινου. Σε καμιά περίπτωση δεν επιτρέπεται τεμάχια του δείγματος να περιστρέφονται ή να πιάζονται στο κόσκινο με τα χέρια.

Το βάρος κάθε κλάσματος πρέπει να προσδιορίζεται με ζυγό σύμφωνα με τις ανάλογες απαιτήσεις. Αν ζητείται η ολική ποσότητα του υλικού του λεπτότερου του κόσκινου Νο 200 αυτή πρέπει να προσδιορίζεται και με την πρόσθεση του βάρους του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο Νο 200, κατά το ξηρό κοσκίνισμα στο ποσοστό που διέρχεται με την πλύση όπως προσδιορίζεται με την υγρά μέθοδο.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής αναλύσεως πρέπει να αναφέρονται ως εξής: (α) με τα ολικά % ποσοστά που διέρχονται από κάθε κόσκινο, ή (β) με τα ολικά % ποσοστά που συγκρατούνται σε κάθε κόσκινο, ή (γ) με τα % ποσοστά που

συγκρατούνται μεταξύ των διαδοχικών κόσκινων, ανάλογα με τον τύπο των προδιαγραφών για τη χρησιμοποίηση του υλικού που εξετάζεται. Τα ποσοστά πρέπει να αναφέρονται στρογγυλεμένα στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό, με εξαίρεση το ποσοστό που διέρχεται από το κόσκινο No 200, το οποίο πρέπει να αναφέρεται με προσέγγιση 0.1%. Τα ποσοστά πρέπει να υπολογίζονται με βάση το ολικό βάρος του δείγματος, συμπεριλαμβανομένου και του υλικού του λεπτότερου του κόσκινου No 200. [9]

ΠΡΟΤΥΠΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΛΕΠΤΟΤΕΡΟΥ ΤΟΥ ΚΟΣΚΙΝΟΥ No 200 ΣΕ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ.

Σκοπός

Η μέθοδος αυτή περιγράφει την διαδικασία προσδιορισμού της ολικής ποσότητας υλικού λεπτότερου του πρότυπου κόσκινου No 200 σε αδρανή υλικά.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός πρέπει να αποτελείται από τα παρακάτω:

- Κόσκινα. Συνδυασμός δύο κόσκινων εκ των οποίων το κατώτερο είναι το κόσκινο No 200 και το ανώτερο το κόσκινο No 16 ή παραπλήσιο.
- Υποδοχέας. Υποδοχέας ικανού μεγέθους, ώστε να χωράει το δείγμα βυθισμένο όλο μέσα στο νερό και να επιτρέπει δυνατή ανατάραξη χωρίς απώλειες από απροσεξία.
- Ζυγός. Ο ζυγός πρέπει να είναι ευαισθησίας μέχρι 0,1% του βάρους του δείγματος που εξετάζεται.
- Κλίβανος. Ο κλίβανος πρέπει να είναι ικανός να διατηρεί θερμοκρασία σταθερή 110°C.

Δείγμα Δοκιμής

Το δείγμα της δοκιμής πρέπει να προέρχεται από υλικό που αναμίχθηκε καλά και το οποίο περιέχει αρκετή υγρασία, ώστε να αποφεύγεται ο διαχωρισμός. Πρέπει να λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα, αρκετό για να δώσει ξηρό βάρος υλικού όχι λιγότερο εκείνου που απαιτείται για τη δοκιμή, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΣΕ Kg
No 4 4.75 mm	0,5
9.5 mm	1,0
19.0 mm	2,5
37.5 mm ή μεγαλύτερο	5,0

Πίνακας 2.2 Ελάχιστο βάρος δείγματος λεπτόκοκκου αδρανούς

Τρόπος εργασίας

Το δείγμα για τη δοκιμή ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους, σε θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους 110°C, ζυγίζεται με προσέγγιση 0,1%.

Το δείγμα της δοκιμής μετά την ξήρανση και τη ζύγιση, τοποθετείται μέσα στον υποδοχέα και καλύπτεται με αρκετό νερό, ώστε να εξασφαλίζεται ο πλήρης διαχωρισμός του υλικού του λεπτότερου του κόσκινου No 200, από τα χονδρότερα τεμάχια. Το περιεχόμενο του υποδοχέα αναταράσσεται ισχυρά και το νερό πλύσεως χύνεται αμέσως μέσα στα συνδυασμένα δύο κόσκινα, διευθετημένα με το χονδρότερο κόσκινο επάνω. Η χρησιμοποίηση κουτάλας για την ανατάραξη του υλικού μέσα στο νερό πλύσεως αποδείχθηκε ικανοποιητική.

Η ανατάραξη πρέπει να είναι αρκετά ισχυρή, ώστε να επιτυγχάνεται ο πλήρης διαχωρισμός των κόκκων που διέρχονται από το κόσκινο No 200 από τους χονδρότερους και να προκαλεί αιώρηση του λεπτού υλικού, για να απομακρύνεται με στράγγιση του νερού πλύσεως. Η εργασία αυτή επαναλαμβάνεται όσο απαιτείται, ώστε το νερό πλύσεως να γίνει διαυγές.

Όλο το υλικό που συγκρατήθηκε στα κόσκινα επαναφέρεται στο δείγμα που πλύθηκε. Το πλυμένο αδρανές υλικό ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους, σε θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους 110°C και ζυγίζεται με προσέγγιση 0,1%.

Υπολογισμός

Τα αποτελέσματα υπολογίζονται με τον παρακάτω τύπο:

Ποσοστό υλικού λεπτότερου του κόσκινου No 200 = (Αρχικό ξηρό Βάρος-ξηρό βάρος με πλύση)/ Αρχικό ξηρό Βάρος *100

Όταν είναι επιθυμητή η εκτέλεση Προσδιορισμού επαλήθευσης, το νερό πλύσεως, είτε εξατμίζεται μέχρι ξηρού είτε διηθείται σε προζυγισμένο διηθητικό χαρτί το οποίο στη συνέχεια ξηραίνεται, το υπόλειμμα ζυγίζεται και το % ποσοστό υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Ξηρό Βάρος υπολείμματος} / \text{Ξηρό Βάρος αρχικού δείγματος} * 100 \quad [9]$$

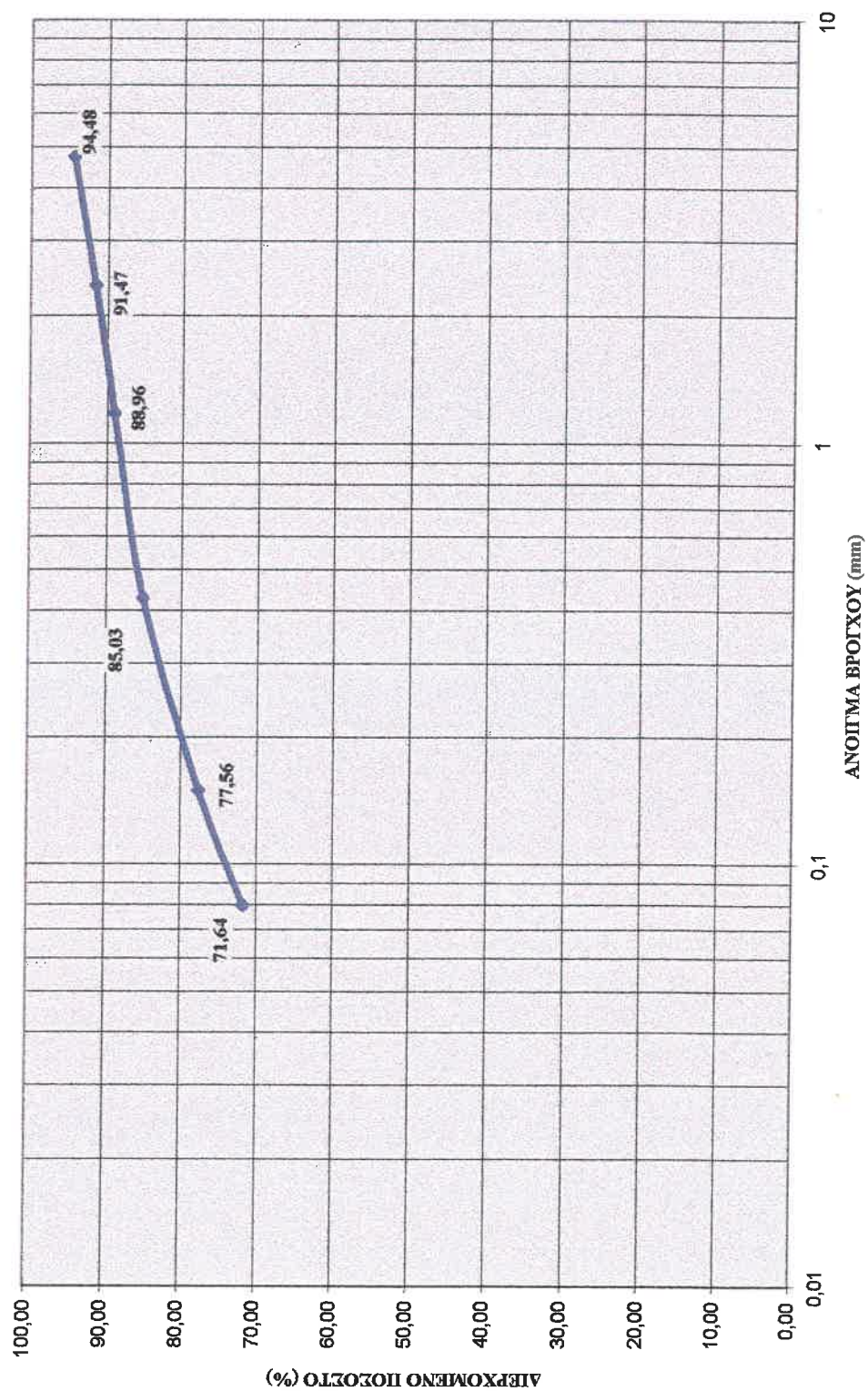
ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στοιχεία Δείγματος: Άργιλος από την περιοχή της Θήβας

Βάρος Ολικού Δείγματος					
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο Βάρος		Διερχόμενο Βάρος	
		gr	%	gr	%
4,75	No 4	386,08	5,5	6614,21	94,5
2,36	No 8	210,89	8,5	6403,32	91,5
1,18	No 16	175,94	11,0	6227,38	89,0
0,43	No 40	275,22	15,0	5952,16	85,0
0,15	No 100	522,79	22,4	5429,37	77,6
0,08	No 200	414,66	28,4	5014,71	71,6
	Παιπάλη	5014,71			
	Ολικό Βάρος	7000,29			

Πίνακας 2.3 Δελτίο Κοκκομετρικής Ανάλυσης Εδαφικού Υλικού

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ



Διάγραμμα 1 Κοκκομετρική Ανάλυση Εδαφικού Υλικού

ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

Εισαγωγή

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.
- Σπαθίδα ή μικρό μαχαίρι με λεπίδα μήκους περίπου 80 mm και πλάτους 20 mm
- Συσκευή ορίου υδαρότητας. Μηχανική συσκευή που συνίσταται από ένα ορειχάλκινο κύπελλο και μία βάση που είναι κατασκευασμένη σύμφωνα με συγκεκριμένες διαστάσεις.
- Όργανο χαράξεως συνδυασμένο με μετρητή στο πίσω μέρος .
- Υποδοχείς γυάλινοι που πορεμποδίζουν την απώλεια υγρασίας κατά την ζύγιση.
- Ζυγός με ευαισθησία 0.01 γρ.

Μηχανική Μέθοδος

Προκαταρκτικές εργασίες

Παίρνουμε δείγμα βάρους περίπου 100 γρ από το κλάσμα του υλικού, που έχει καλά αναμιχθεί και διέρχεται από το κόσκινο Νο 40. Η συσκευή του ορίου υδαρότητας πρέπει να επιθεωρείται για να διαπιστωθεί η καλή κατάσταση λειτουργίας, ότι δεν έχει επέλθει φθορά στον πείρο που συγκρατεί το κύπελλο, ότι είναι σφιγμένοι οι κοχλίες συνδέσεως του κυπέλλου και ότι δεν έχει χαραχθεί το κύπελλο λόγω μακράς χρήσεως. Με τον μετρητή που υπάρχει στο πίσω μέρος του οργάνου χαράξεως ρυθμίζουμε το ύψος στο οποίο θα ανυψώνεται το κύπελλο έτσι ώστε το σημείο του κυπέλλου που έρχεται σε επαφή με την βάση της συσκευής να είναι ακριβώς 1 εκατ. πάνω από τη βάση. Στη συνέχεια σταθεροποιούμε την πλάκα ρυθμίσεως σφίγγοντας τους κοχλίες. Με τον μετρητή ακόμα στη θέση ελέγχουμε την ρύθμιση περιστρέφοντας τον στρόφαλο μερικές φορές. Εάν η ρύθμιση είναι καλή θα

ακούγεται ένας ελαφρύς ήχος, όταν η προεξοχή του στροφάλου εφάπτεται της προεξοχής του κυπέλλου. Εάν το κύπελλο ανυψώνεται ή δεν ακούγεται ο ελαφρύς ήχος πρέπει να γίνει ξανά η ρύθμιση.

Τρόπος εργασίας

Τοποθετούμε το δείγμα εδάφους μέσα σε μία κάψα και ρίχνουμε 15-20 κυβ. εκ. απεσταγμένου νερού. Ανακατεύουμε πάρα πολύ καλά με την σπαθίδα (σπάτουλα) μέχρις ότου κατανεμηθεί ομοιόμορφα το νερό στο δείγμα. Παραπάνω προσθήκη νερού γίνεται σε ποσότητα 1-3 κυβ. εκ. και επακολουθεί η ανάμιξη ως ανωτέρω, πριν προστεθεί, αν χρειαστεί, άλλη ποσότητα νερού. Κατόπιν το μίγμα τοποθετείται στον υγραντήρα επί 30 λεπτά για ωρίμανση. Στην συνέχεια παίρνουμε μέρος της ομοιόμορφης πηκτής μάζας και την τοποθετούμε στο κύπελλο της συσκευής και στο μέρος πάνω από το σημείο που ακουμπά το κύπελλο στη βάση της συσκευής. Απλώνεται το υλικό με τη βοήθεια της σπαθίδας, καταβάλλοντας προσπάθεια να μην εγκλείσουμε φυσαλίδες μέσα στο δείγμα. Μετά την ισοπέδωση το μεγαλύτερο βάθος του δείγματος πρέπει να είναι 1 εκατ. Το επιπλέον έδαφος απομακρύνεται. Το εντός του κυπέλλου έδαφος διαιρείται με μια σταθερή διαδρομή του οργάνου χαράξεως κατά μήκος της διαμέτρου που διέρχεται από το μέσο του στηρίγματος του κυπέλλου, έτσι ώστε να σχηματίζεται καθαρή και απότομη χαραγή κατάλληλων διαστάσεων.

Με περιστροφή του στροφάλου με ταχύτητα δύο στροφών ανά δευτερόλεπτο, ανυψώνεται και πέφτει το κύπελλο με το παρασκεύασμα, μέχρις ότου οι δύο πλευρές του δείγματος ενωθούν στον πυθμένα της χαραγής και σε μήκος 112,7 χλστ. περίπου. Αναγράφεται ο αριθμός των κτύπων που χρειάστηκαν 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 πλακούντος του εδάφους, κάθετα προς τη χαραγή και περιλαμβάνοντας το μέρος της χαραγής που ενώθηκε με το έδαφος, τοποθετείται σε κατάλληλο γυάλινο υποδοχέα ζυγίζεται και ξηραίνεται 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 σε δύο τουλάχιστον 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 μια από τις ακόλουθες τρεις περιοχές κτύπων: 25-35, 20-30, 15-25.

Τήρηση στοιχείων

Η περιεκτικότητα σε νερό βρίσκεται όπως αναφέρεται στην προδιαγραφή προσδιορισμού φυσικής υγρασίας εδάφους. Στη συνέχεια επί ημιλογαριθμικού διαγράμματος σχηματίζεται η καμπύλη ροής, που παριστά τη σχέση μεταξύ περιεχόμενης υγρασίας και αντίστοιχου αριθμού κτύπων, με τα ποσοστά υγρασίας σαν τετμημένες στην γραμμική κλίμακα και των αριθμών κτύπων ως τεταγμένες, στην λογαριθμική κλίμακα. Η καμπύλη ροής θα σχεδιάζεται ως ευθεία γραμμή όσον δυνατόν πλησιέστερα προς τα τρία αποτυπωθέντα σημεία. Το ποσοστό υγρασίας που αντιστοιχεί στην καμπύλη ροής με την τεταγμένη των 25 κτύπων λαμβάνεται σαν όριο υδαρότητας.

Μηχανική Μέθοδος (εναλλακτική)

Το δείγμα και ο τρόπος εργασίας είναι ίδιος με την προηγούμενη μέθοδο εκτός του ότι το υγρό δείγμα που παίρνουμε για ζύγιση πρέπει να λαμβάνεται μόνο από μία αποδεκτή δοκιμή. Δύο τουλάχιστον κλεισίματα χαραγής πρέπει να γίνονται προτού ένα από αυτά γίνει αποδεκτό.

Για ακρίβεια ίση μ' αυτή που έχουμε με τη μέθοδο των τριών σημείων, ο αποδεκτός αριθμός κτύπων για κλείσιμο χαραγής πρέπει να περιορίζεται μεταξύ 20 και 30 κτύπων.

Ο προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας γίνεται μέσω της σχέσης :

$$W_L = W_N \cdot (N/25)^{0.121}$$

όπου W_N η περιεχόμενη υγρασία σε N κτύπους.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Το όριο υδαρότητας αναφέρεται σε ακέραιες μονάδες (στρογγυλεμένο στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό). Για υλικά με δείκτη πλαστικότητας μικρότερο του 10 το όριο υδαρότητας εκφράζεται με ακρίβεια 0,1.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Εισαγωγή

Το όριο πλαστικότητας εδάφους αντιστοιχεί, εξ ορισμού, στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεά κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 χλστ. χωρίς ο ραβδίσκος να θραύεται.

Εξοπλισμός

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός θα αποτελείται:

- Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου περίπου 120 χλστ.
- Σπαθίδα ή σπάτουλα με λεπίδα μήκους 80 χλστ περίπου και πλάτους 20 χλστ περίπου.
- Επιφάνεια για την κυλίνδρωση: Γυάλινη πλάκα σμυριδωμένη ή κομμάτι ομαλού και αστιλβώτου χαρτιού για κυλίνδρωση του δείγματος.
- Υποδοχείς. Κατάλληλοι υποδοχείς ώστε να προσαρμόζονται ύαλοι ωρολογίου, για την πρόληψη απώλειας υγρασίας κατά τη διάρκεια της ζυγίσεως.
- Κλίβανος θερμοκρασίας 110 °C.
- Ζυγός ευαισθησίας 0.01 γρ.

Τρόπος εργασίας

Λαμβάνεται ποσότητα εδάφους περίπου 20 γρ, από μέρος του υλικού που έχει αναμιχθεί καλά, του διερχομένου από το κόσκινο Νο 40 (425 μικρά).

Τοποθετείται το έδαφος, που έχει ξηραθεί στον αέρα, μέσα σε κάψα από πορσελάνη και αναμιγνύεται καλά με απεσταγμένο νερό μέχρι που η μάζα καταστεί αρκετά πλαστική ώστε να μορφώνεται εύκολα σε βώλο. Σαν δείγμα δοκιμής λαμβάνεται μέρος του βώλου αυτού βάρους 8 γρ περίπου. Συμπιέζεται και μορφώνεται το δείγμα δοκιμής των 8 γρ σε μάζα ελλειψοειδούς σχήματος. Η μάζα αυτή κυλινδρώνεται μεταξύ των δακτύλων και της σμυριδωμένης γυάλινης πλάκας ή του κομματιού χαρτιού που βρίσκεται πάνω σε ομαλή οριζόντια επιφάνεια 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, υπολογιζομένης της κινήσεως σαν μία πλήρη κίνηση του χεριού προς τα εμπρός και προς τα πίσω στη θέση εκκινήσεως.

Όταν η διάμετρος του ραβδίσκου καταστεί 3 χλστ ο ραβδίσκος θραύεται ξανά σε έξι ή οκτώ τεμάχια. Συμπιέζονται τα τεμάχια μαζί, μεταξύ των αντιχειρών και των δακτύλων και των δύο χεριών προς ομοιόμορφη μάζα, χονδρικά ελλειψοειδούς σχήματος και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση. Η εναλλαγή συνεχίζεται με κυλίνδρωση σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 χλστ, με συλλογή (συνένωση), με αναζύμωση και επανακυλίνδρωση, μέχρι που ο ραβδίσκος θρυμματιστεί με την απαιτούμενη για την κυλίνδρωση πίεση και το έδαφος δεν μπορεί πλέον να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο. Ο θρυμματισμός μπορεί να επέλθει όταν ο ραβδίσκος έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 3 χλστ. Αυτό πρέπει να θεωρηθεί ικανοποιητικό σημείο περατώσεως με τον όρο ότι το έδαφος κυλινδρώθηκε προηγουμένως σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 χλστ. Συγκεντρώνονται 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 (3) δοκιμών.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων.

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

Όριο πλαστικότητας = Βάρος Νερού / Βάρος εδάφους που ξηράνθηκε στον κλίβανο * 100.

Ο δείκτης πλαστικότητας εδάφους υπολογίζεται σαν η διαφορά μεταξύ του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας ως εξής:

Δείκτης πλαστικότητας = Όριο Υδαρότητας - Όριο Πλαστικότητας

Η διαφορά που αναγράφεται από τον υπολογισμό αναφέρεται ως <<δείκτης πλαστικότητας>> με εξαίρεση τις εξής περιπτώσεις:

- Όταν το όριο υδαρότητας ή το όριο πλαστικότητας δεν μπορούν να προσδιοριστούν αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό).
- Όταν το έδαφος είναι εξαιρετικά αμμώδες, η δοκιμή για το όριο πλαστικότητας πρέπει να εκτελείται πριν από το όριο υδαρότητας. Αν το όριο πλαστικότητας δεν μπορεί να προσδιοριστεί, αναφέρονται και το όριο υδαρότητας και το όριο πλαστικότητας σαν NP.
- Όταν το όριο πλαστικότητας είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το όριο υδαρότητας, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP. Το όριο πλαστικότητας και ο δείκτης πλαστικότητας εκφράζονται στρογγυλεμένοι στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό. Για υλικά με δείκτη πλαστικότητας μικρότερο του 10 εκφράζονται με ακρίβεια 0,1. [9]

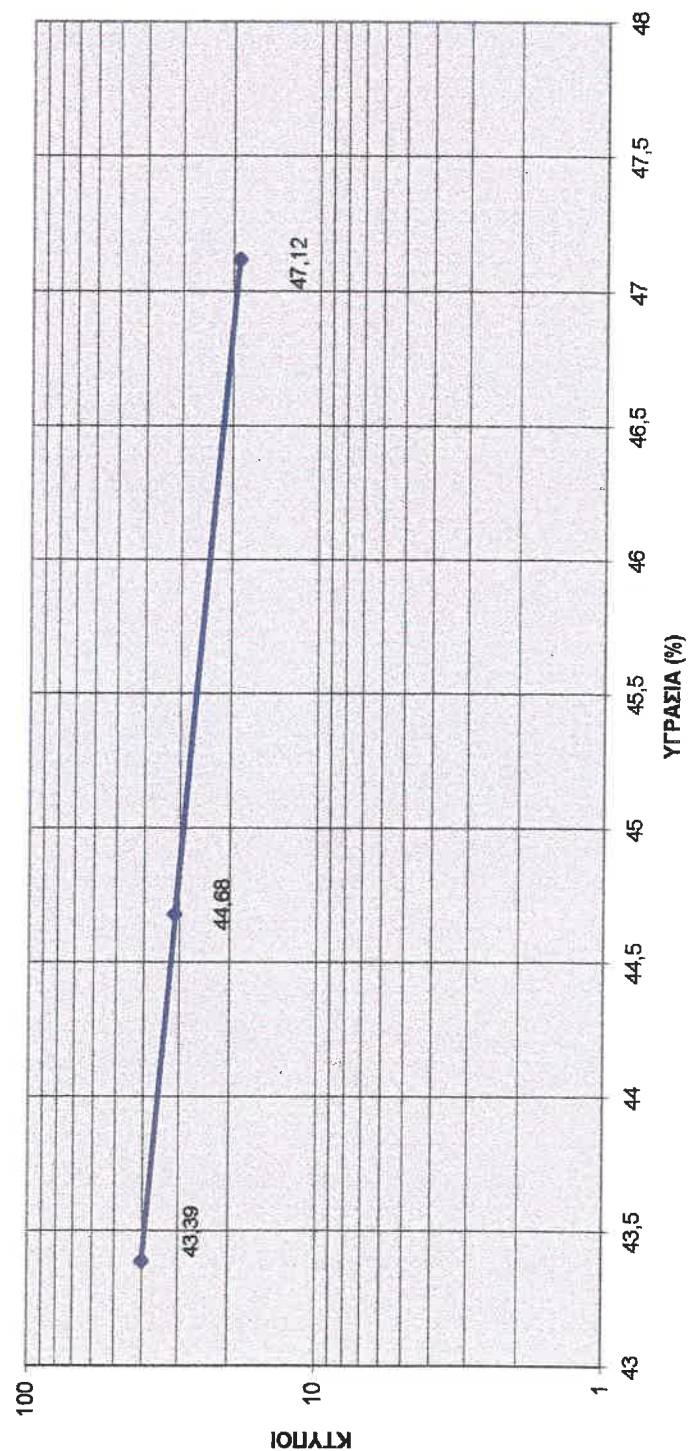
ΔΕΛΤΙΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΛΛΑΦΩΝ

ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	Όριο Υδαρότητας	Όριο Υδαρότητας	Όριο Υδαρότητας	Όριο Υδαρότητας	Όριο Πλαστικότητα	Όριο Πλαστικότητα	Όριο Πλαστικότητα	Όριο Πλαστικότητα
Αριθμός Υποδοχέα	5	6	8	1	2	3	4	
Αριθμός Κτύπων	40	19	31					
A Βάρος Υγρού Δείγματος + Υποδοχέα (γρ.)	33,78	36,54	35,16	27,11	27,48	27,32	28,11	
B Βάρος Ξηρού Δείγματος + Υποδοχέα (γρ.)	30,76	32,45	31,59	26,50	26,74	26,63	27,22	
Γ Βάρος Υδατος (Γ=A-B) (γρ.)	3,02	4,09	3,57	0,61	0,74	0,69	0,89	
Δ Βάρος Υποδοχέα (γρ.)	23,80	23,77	23,6	23,8	23,48	23,65	23,40	
E Βάρος Ξηρού Δείγματος (E=B-Δ) (γρ.)	6,96	8,68	7,99	2,70	3,26	2,98	3,82	
Z Περιεχόμενη Υγρασία (Z=Γ*100/E) (%)	43,39	47,12	44,68	22,59	22,70	23,15	23,30	
Όριο Υδαρότητας: Όριο Πλαστικότητα: Δείκτης Πλαστικότητα:								
						46	(%)	
						23	(%)	
						23	(%)	

Πίνακας 2.4 Προσδιορισμός των ορίων Atterberg του φυσικού εδάφους.

Υγρασία (%)	Κτύποι
43,39	40
47,12	19
44,68	31

ΚΑΜΠΥΛΗ ΡΟΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ



Διάγραμμα 2 Καμπύλη ροής για την Εύρεση του Ορίου Υδαρότητας.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΧΕΣΕΩΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΕΛΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΙΛΑΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ 2,5 χλγρ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΠΤΩΣΕΩΣ 305 χλστ.- (PROCTOR ΠΡΟΤΥΠΗ ΜΕΘΟΔΟΣ)

Εισαγωγή

Οι δοκιμές αυτές έχουν σαν σκοπό τον προσδιορισμό της σχέσεως μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και της πυκνότητας των εδαφών με συμπίκνωση αυτών μέσα σε τύπο ορισμένου μεγέθους με κόπανο βάρους 2,49 χλγρ που πέφτει από ύψος 304,8 χλστ.

Προβλέπονται τέσσερις διαφορετικές διαδικασίες, οι ακόλουθες:

ΜΕΘΟΔΟΣ Α. Τύπος διαμέτρου 101,6 χλστ. Το εδαφικό υλικό διέρχεται από κόσκινο Νο 4.

ΜΕΘΟΔΟΣ Β. Τύπος διαμέτρου 152,4 χλστ. Το εδαφικό υλικό διέρχεται από κόσκινο Νο 4.

ΜΕΘΟΔΟΣ Γ. Τύπος διαμέτρου 101,6 χλστ. Το εδαφικό υλικό διέρχεται από κόσκινο 19,0 χλστ.

ΜΕΘΟΔΟΣ Δ. Τύπος διαμέτρου 152,4 χλστ. Το εδαφικό υλικό διέρχεται από κόσκινο 19.0 χλστ.

Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος θα πρέπει να καθορίζεται στις προδιαγραφές για το προς δοκιμή υλικό. Αν δεν προδιαγράφεται μέθοδος θα εφαρμόζεται η μέθοδος Α.

Εργαστηριακός εξοπλισμός.

• Τύποι: οι τύποι θα είναι κυλινδρικού σχήματος, κατασκευασμένοι από μέταλλο και θα έχουν χωρητικότητα και διαστάσεις που δίνονται παρακάτω. Αυτοί θα έχουν ένα πρόσθετο δακτύλιο ύψους περίπου 60.3 χλστ. Ο τύπος και ο πρόσθετος δακτύλιος μαζί θα είναι έτσι κατασκευασμένοι, ώστε να μπορούν να συνδέονται σταθερά με την ανεξάρτητη πλάκα βάσεως. Η χωρητικότητα και οι διαστάσεις των τύπων θα είναι οι ακόλουθες:

α) Τύπος με χωρητικότητα $(943 \pm 8) \cdot 10^3 \text{ χλστ}^3$. Εσωτερικής διαμέτρου $101.6 \pm 0.406 \text{ χλστ}$ και ύψους $116,4 \pm 0,127 \text{ χλστ}$.

β) Τύπος που έχει χωρητικότητα $(2124 \pm 21) \cdot 10^3 \text{ χλστ}^3$,

Εσωτερικής διαμέτρου $152,4 \pm 0,66 \text{ χλστ}$. και ύψους $116,4 \pm 0,127 \text{ χλστ}$.

- Κόπανος. Ένας μεταλλικός κόπανος με κυκλική διατομή διαμέτρου $50,8 \pm 0,127$ χλστ. και βάρους $2,49 \pm 0,01$ χλγρ. Ο κόπανος θα είναι εφοδιασμένος με κατάλληλο οδηγό (διάταξη) για τον έλεγχο του ύψους πτώσεως, ώστε να πέφτει ελεύθερα από ύψος $304,8 \pm 1,524$ χλστ. από τη στάθμη του εδαφικού δοκιμίου.
- Εξολκέας δείγματος (προαιρετικά): Μια κατάλληλη συσκευή για την εξαγωγή των συμπτκνωθέντων δοκιμίων από τον τύπο.
- Ζυγοί: Ένας ζυγός ικανότητας τουλάχιστον 10 χλγρ. και ακρίβειας ως 5 γρ. και ένας ζυγός ικανότητας τουλάχιστον 1 χλγρ. και ακρίβειας ως 0,1 γρ.
- Κλίβανος ξηράνσεως. Ένας θερμοστατικά ελεγχόμενος κλίβανος ξηράνσεως ικανός για τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε $110 \pm 5^\circ\text{C}$ για την ξήρανση υγρών δειγμάτων.
- Κανόνας. Ένας χαλύβδινος κανόνας μήκους περίπου 300 χλστ. που έχει τη μια πλευρά λοξά κομμένη.
- Κόσκινα. Κόσκινα 50 χλστ., 19 χλστ. και Νο 4 (4,75 χλστ.)
- Εργαλεία αναμίξεως: Διάφορα εργαλεία όπως λεκάνη αναμίξεως, κουτάλα, μυστρί, σπάτουλα κλπ, ή κατάλληλη μηχανική συσκευή για την καλή ανάμιξη του δείγματος του εδάφους με τα προστιθέμενα ποσοστά του ύδατος.

Περιγραφή εργασίας

Α Μέθοδος

Εάν το δείγμα του εδάφους, όταν λαμβάνεται από το έργο, είναι υγρό, ξηραίνεται μέχρι που να γίνει εύθρυπτο. Η ξήρανση μπορεί να γίνει με τον αέρα ή μέσα σε συσκευή ξηράνσεως τέτοια ώστε η θερμοκρασία του δείγματος να μην υπερβαίνει τους 60°C . Μετά θραύονται καλά τα συσσωματώματα με τρόπο που επιτρέπει, να αποφευχθεί η ελάττωση του φυσικού μεγέθους (θραύση) των κόκκων.

Κοσκινίζεται επαρκής ποσότητα αντιπροσωπευτικού κονιοποιηθέντος εδάφους με το κόσκινο Νο 4. Απορρίπτεται το χονδρόκοκκο υλικό που συγκρατήθηκε στο κόσκινο Νο 4, αν υπάρχει.

Σημείωση 1. Σε περίπτωση που το ποσοστό του υλικού που συγκρατείται στο κόσκινο Νο 4 είναι μεγαλύτερο από 7% τότε συνιστάται να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Γ.

Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα βάρους περίπου 3 χλγρ. ή και περισσότερο, από το έδαφος που παρασκευάστηκε.

Το αντιπροσωπευτικό δείγμα που πάρθηκε αναμιγνύεται καλά με επαρκή ποσότητα νερού, για να υγρανθεί, κατά 4 περίπου μονάδες (επί τοις % του βάρους), κάτω από τη βέλτιστη υγρασία.

Σχηματίζεται ένα δοκίμιο με συμπίκνωση του παρασκευασθέντος εδάφους μέσα στον τύπο των 101,6 χλστ. (με τον δακτύλιο προσαρμοσμένο), σε τρεις ίσες στρώσεις για την παρασκευή ενός υλικού συμπυκνωμένου βάρους περίπου 127 χλστ. Συμπυκνώνεται κάθε στρώση με 25 ομοιόμορφα διανεμημένους κτύπους με τον κόπανο (Κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης, ο τύπος θα πρέπει να στηρίζεται σε σταθερό βάθρο). Μετά τη συμπίκνωση, απομακρύνεται από τον τύπο ο δακτύλιος, περικόπεται με τον κανόνα με προσοχή το συμπυκνωμένο έδαφος μέχρι τα χείλη του τύπου και ζυγίζεται. Πολλαπλασιάζεται το βάρος του συμπυκνωμένου δοκιμίου μαζί με τον τύπο, μείον το βάρος του τύπου, (σε χλγρ.), επί 1059. Αναφέρεται το αποτέλεσμα ως το υγρό φαινόμενο βάρος συμπυκνωμένου εδάφους σε χλγρ./μ³.

Εξάγεται το δοκίμιο από τον τύπο και αποκόπτεται κάθετα με ένα επίπεδο που διέρχεται από το κέντρο του. Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα του υλικού από μία από τις δύο επιφάνειες της τομής. Ζυγίζεται αμέσως και ξηραίνεται μέσα σε κλίβανο σε θερμοκρασία $110 \pm 5^\circ\text{C}$ επί δώδεκα τουλάχιστον ώρες ή μέχρι σταθερού βάρους για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας. Το βάρος του υγρού δείγματος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 100 γρ.

Το υπόλοιπο υλικό θραύεται τελείως μέχρι που να διέρχεται αυτό από το κόσκινο No 4. Προστίθεται νερό σε επαρκή ποσότητα ώστε να αυξηθεί η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος του εδάφους κατά μία ή δύο μονάδες επί τοις % και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία για κάθε νέα αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας. Συνεχίζεται η σειρά αυτή των προσδιορισμών μέχρι που να ελαττωθεί ή δεν μεταβληθεί το υγρό φαινόμενο βάρος του συμπυκνωθέντος εδάφους.

Στις περιπτώσεις που το εδαφικό υλικό είναι εύθραυστο και θα ελαττωθεί σημαντικά το μέγεθος των κόκκων λόγω των επαναλαμβανόμενων συμπυκνώσεων και στις περιπτώσεις όπου το έδαφος είναι αργιλώδες υλικό, εντός του οποίου είναι δύσκολο να ενσωματωθεί το νερό, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα ξεχωριστό και νέο δείγμα για κάθε δοκιμή συμπίκνωσης. Στις περιπτώσεις αυτές, ξεχωριστά

δείγματα αναμιγνύονται καλά με επαρκή ποσά νερού, για να προσδώσουν περιεχόμενες υγρασίες στα δείγματα, που διαφέρουν κατά περίπου 2 μονάδες επί τοις %.

Β Μέθοδος

Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα σύμφωνα προς τα ανωτέρω με τη διαφορά, ότι αυτό θα πρέπει να έχει βάρος περίπου 7 χλγρ.

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία όπως περιγράφηκε για την Α Μέθοδο εκτός από τα ακόλουθα: σχηματίζεται δοκίμιο με συμπίκνωση του παρασκευασθέντος εδάφους στον τύπο των 152,4 χλστ. (με τον δακτύλιο προσαρμοσμένο), σε 3 ίσες στρώσεις για απόκτηση ενός υλικού συμπτυκνωθέντος βάθους περίπου 127 χλστ., με κάθε στρώση να συμπτυκνώνεται με 56 ομοιόμορφες διανεμημένες κρούσεις με τον κόπανο. Πολλαπλασιάζεται το βάρος του συμπτυκνωμένου δοκιμίου με τον τύπο, μείον το βάρος του τύπου, (σε χλγρ.) επί 471. Αναφέρεται το αποτέλεσμα ως το υγρό φαινόμενο βάρος του συμπτυκνωμένου εδάφους σε χλγρ./μ³

Σημείωση 2: Σε περίπτωση που ποσοστό μεγαλύτερο από 7% του υλικού συγκρατείται στο κόσκινο Νο 4, τότε συνίσταται να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Δ.

Γ Μέθοδος

Εάν το δείγμα του εδάφους είναι υγρό, ξηραίνεται όπως στην Α Μέθοδο. Κοσκινίζεται μια επαρκής ποσότητα αντιπροσωπευτικού κονιοποιημένου εδάφους με το κόσκινο (19,0 χλστ.). Απορρίπτεται το χονδρόκοκκο υλικό, το συγκρατούμενο στο κόσκινο (19,0 χλστ.) αν υπάρχει.

Σημείωση 3: Σε περίπτωση που περισσότερο από 10% του υλικού συγκρατείται στο κόσκινο (19,0 χλστ.) τότε είναι σκόπιμο να διατηρηθεί το ίδιο ποσοστό % χονδρόκοκκου υλικού διερχόμενου από το κόσκινο (50 χλστ.) και συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο 4, στο δείγμα υγρασίας πυκνότητας όπως στο αρχικά ληφθέν από το έργο δείγμα. Το υλικό το συγκρατούμενο στο κόσκινο (19,0 χλστ.) θα πρέπει να αντικατασταθεί με τον ακόλουθο τρόπο: κοσκινίζεται επαρκής ποσότητα από το αντιπροσωπευτικό κονιοποιημένο έδαφος με τα κόσκινα (50 χλστ.) και (19,0 χλστ.). Απορρίπτεται το χονδρόκοκκο υλικό που συγκρατείται στο κόσκινο (50 χλστ.) Ζυγίζεται τα υλικά το διερχόμενο από το κόσκινο (50 χλστ.) και συγκρατούμενο στο κόσκινο (19,0 χλστ.) και αντικαθίσταται αυτό με ένα ίσου βάρους υλικό διερχόμενο

από το κόσκινο (19,0 χλστ.) και συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο 4. Το προς αντικατάσταση υλικό λαμβάνεται από το εναπομείναν μέρος του δείγματος.

Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα βάρους περίπου 5,5 χλγρ. ή περισσότερο από το έδαφος που παρασκευάστηκε όπως περιγράφεται πιο πάνω.

Το αντιπροσωπευτικό δείγμα που έχει ληφθεί, αναμιγνύεται καλά με αρκετό νερό για να υγρανθεί κατά 4 περίπου μονάδες, (επί τοις %, του βάρους), κάτω από την βέλτιστη υγρασία.

Σχηματίζεται ένα δοκίμιο με συμπίκνωση του παρασκευασθέντος εδάφους μέσα στον τύπο των 101,6 χλστ., (με τον δακτύλιο προσαρμοσμένο), σε τρεις στρώσεις ίσες για την παρασκευή ενός υλικού συμπτυκνωμένου βάθους περίπου 127 χλστ. Συμπυκνώνεται κάθε στρώση με 25 ομοιόμορφα διανεμημένους κτύπους με τον κόπανο. Κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης ο τύπος θα πρέπει να στηρίζεται σε σταθερό βάθρο. Μετά τη συμπίκνωση, απομακρύνεται από τον τύπο ο δακτύλιος και περικόπτεται με τον κανόνα με προσοχή το συμπτυκνωμένο έδαφος, μέχρι τα χείλια του τύπου. Οι σχηματιζόμενες οπές στην επιφάνεια λόγω της απομάκρυνσης χονδρών κόκκων συμπληρώνονται με λεπτότερο υλικό. Ζυγίζεται ο τύπος με το υγρό έδαφος. Πολλαπλασιάζεται το βάρος του συμπτυκνωμένου δοκιμίου με τον τύπο μείον το βάρος του τύπου (σε χλγρ.), επί 1059 και αναφέρεται το αποτέλεσμα ως το υγρό φαινόμενο βάρος του συμπτυκνωμένου εδάφους σε χλγρ./μ³.

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία όπως περιγράφεται για την Α Μέθοδο.

Δ Μέθοδος

Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα, αυτό θα πρέπει να ζυγίζει περίπου 11,5 χλγρ.

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία που περιγράφεται για τη Γ Μέθοδο εκτός από τα ακόλουθα: σχηματίζεται δοκίμιο με συμπίκνωση του παρασκευασμένου εδάφους στον τύπο των 152,4 χλστ. (με τον δακτύλιο προσαρμοσμένο), σε 3 ίσες στρώσεις προς απόκτηση ενός υλικού συμπτυκνωμένου βάθους περίπου 127 χλστ., κάθε στρώσης συμπτυκνωμένης για 56 ομοιόμορφα διανεμημένων κρούσεων με τον κόπανο. Πολλαπλασιάζεται το βάρος του συμπτυκνωμένου δοκιμίου με τον τύπο μείον το βάρος του τύπου (σε χλγρ.) επί 471. Αναφέρεται το αποτέλεσμα σαν το υγρό φαινόμενο βάρος του συμπτυκνωμένου εδάφους, σε χλγρ./μ³.

Σημείωση 4: Εάν παραπάνω από 30% του υλικού συγκρατείται στο κόσκινο (19,0 χλστ.) τότε συνιστάται να μην ακολουθείται καμιά από τις παραπάνω μεθόδους για τον προσδιορισμό της μέγιστης πυκνότητας και της βέλτιστης υγρασίας.

Υπολογισμοί - Τήρηση στοιχείων

Υπολογίζεται η περιεχόμενη υγρασία και το ξηρό βάρος του εδάφους, όπως αυτό συμπτυνώθηκε για κάθε δοκιμή με τον ακόλουθο τρόπο:

$$W=(A-B)/(B-\Gamma)*100$$

και

$$\gamma_d = \gamma / (W+100)*100$$

όπου

W = % περιεχόμενη υγρασία στο δοκίμιο, βασιζόμενη στο βάρος εδάφους που ξηράθηκε σε κλίβανο.

A = Βάρος υποδοχέα και υγρού εδάφους

B = Βάρος υποδοχέα και ξηρού εδάφους

Γ = Βάρος υποδοχέα

γ_d = Ξηρό φαινόμενο βάρος, σε χλγρ./ μ³ συμπτυνωμένου εδάφους

και

γ = Υγρό φαινόμενο βάρος σε χλγρ./ μ³ συμπτυνωμένου εδάφους.

Σχέση υγρασίας πυκνότητας

Οι υπολογισμοί θα γίνονται, για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας και του ξηρού φαινομένου βάρους που αντιστοιχεί σ' αυτή σε κλίβανο, (πυκνότητας), για κάθε ένα από τα συμπτυνωμένα δείγματα εδάφους. Τα σε κλίβανο ξηρά βάρη ανά κυβικό μέτρο, (πυκνότητες), του εδάφους θα σημειώνονται σε σχετικό διάγραμμα, σαν τεταγμένες και οι αντίστοιχες περιεχόμενες υγρασίες, σαν τετμημένες.

Βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία

Όταν έχουν προσδιορισθεί και σχεδιαστεί, οι πυκνότητες και οι αντίστοιχες περιεχόμενες υγρασίες, παρατηρείται ότι με σύνδεση των σχεδιασμένων σημείων με ομαλή γραμμή, σχηματίζεται μια καμπύλη.

Η περιεχόμενη υγρασία που αντιστοιχεί στο ανώτατο σημείο της καμπύλης ορίζεται σαν «βέλτιστη υγρασία» του εδάφους για την ανωτέρω συμπίκνωση.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Το δελτίο θα περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

Τη χρησιμοποιηθείσα μέθοδο. (Μέθοδος Α. Β. Γ ή Δ)

Τη βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία %.

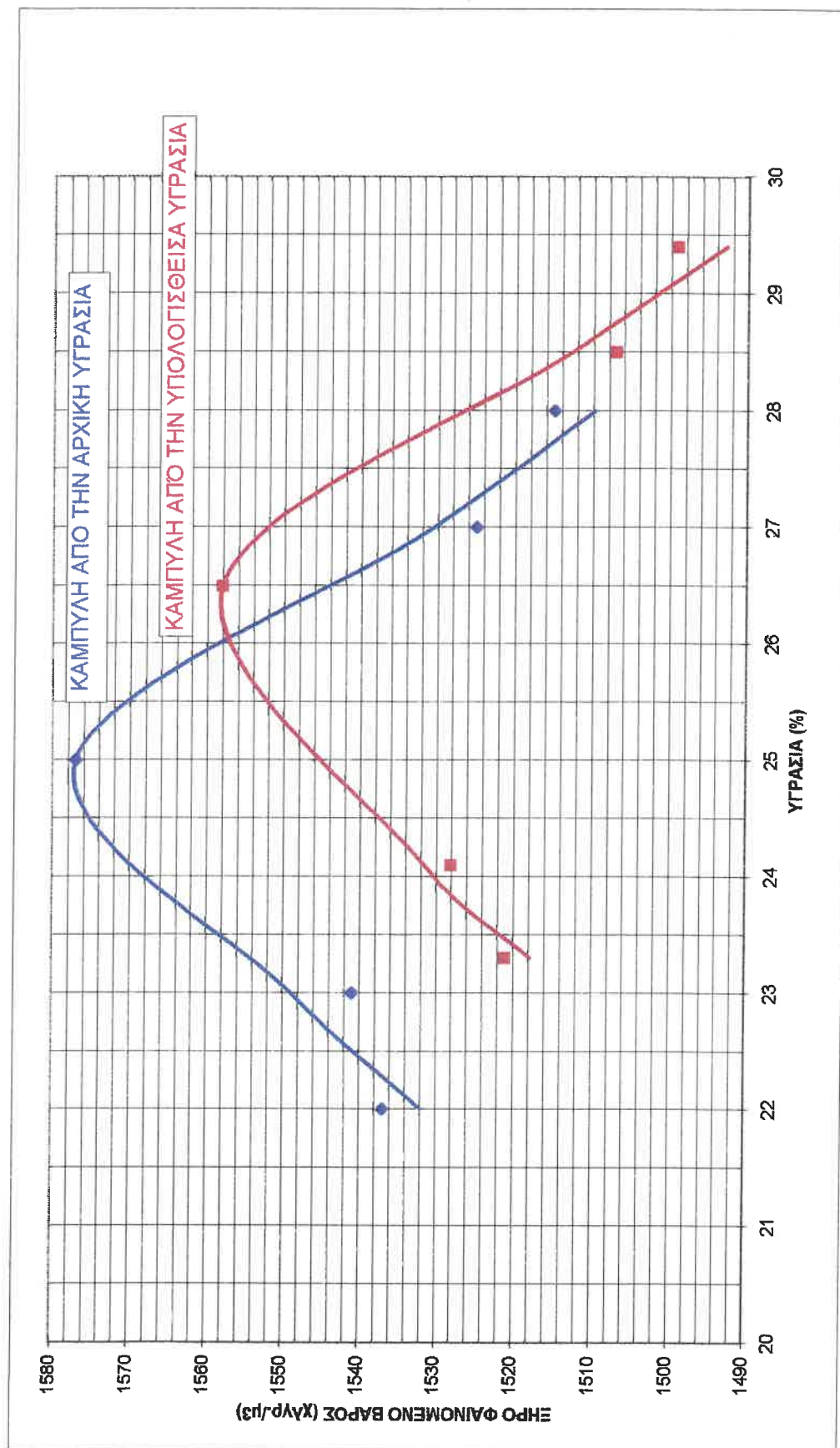
Τη μέγιστη ξηρά πυκνότητα, χλγρ./μ^3 με προσέγγιση χιλιοστού και στις Μεθόδους Γ και Δ, αν το επί του κόσκινου 19,0 χλστ. συγκρατούμενο υλικό, απομακρύνθηκε ή αντικαταστάθηκε. [9]

ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (ΠΡΟΤΥΠΗ) ΕΛΑΦΙΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

	Δοκιμή 1			Δοκιμή 2			Δοκιμή 3			Δοκιμή 4			Δοκιμή 5		
	22	15	17	23	4	10	25	8	14	27	16	23	28	9	20
Θεωρητική Υγρασία (%)	22						25								
Βάρος υγρού δείγματος + τύπου (γρ.)	6240			6260			6330			6298			6300		
Βάρος τύπου (γρ.)	4487			4487			4487			4487			4487		
Βάρος Υγρού δείγματος (γρ.)	1753			1773			1843			1811			1813		
Όγκος Τύπου (λίτρα)	0,935			0,935			0,935			0,935			0,935		
Υγρό Φανόμενο Βάρος (γλ.γρ./μ ³)	1875			1896			1971			1937			1939		
Αριθμός Κάψας	11	15	17	1	4	10	2	8	14	5	16	23	6	9	20
Βάρος Υγρού Δείγματος + κάψας (γρ.)	161,91	159,58	181,51	192,56	171,41	167,78	179,60	216,10	188,93	168,05	227,31	188,04	180,72	176,39	232,22
Βάρος Ξηρού Δείγματος + κάψας (γρ.)	132,60	130,11	148,78	156,94	139,55	135,87	143,33	172,03	150,61	131,82	178,57	147,86	141,01	137,70	181,10
Βάρος Υδάτος (γρ.)	29,31	29,47	32,73	35,62	31,86	31,91	36,27	44,07	38,32	36,23	48,74	40,18	39,71	38,69	51,12
Βάρος Κάψας (γρ.)	6,53	5,84	5,98	6,54	7,29	6,40	6,6	6,25	5,91	6,12	6,58	6,33	6,41	5,91	6,00
Βάρος Υγρού Δείγματος (γρ.)	155,38	153,74	175,53	186,02	164,12	161,38	173	209,85	183,02	161,93	220,73	181,71	174,31	170,48	226,22
Περιεχόμενη Υγρασία (%)	23,2	23,7	22,9	23,7	24,1	24,6	26,5	26,6	26,5	28,8	28,3	28,4	29,5	29,4	29,2
Μ.Ο. Υγρασίας (%)	23,3			24,1			26,5			28,5			29,4		
Ξηρό Φανόμενο Βάρος (γλ.γρ./μ ³)	1521			1528			1558			1507			1499		
Θεωρητικό Ξηρό Φανόμενο Βάρος (γλ.γρ./μ ³)	1537			1542			1577			1525			1515		

Πίνακας 2.5 Πρότυπη Δοκιμή Συμπύκνωσης Εδαφικού Υλικού.

ΚΑΜΠΥΛΗ PROCTOR ΕΛΛΗΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ



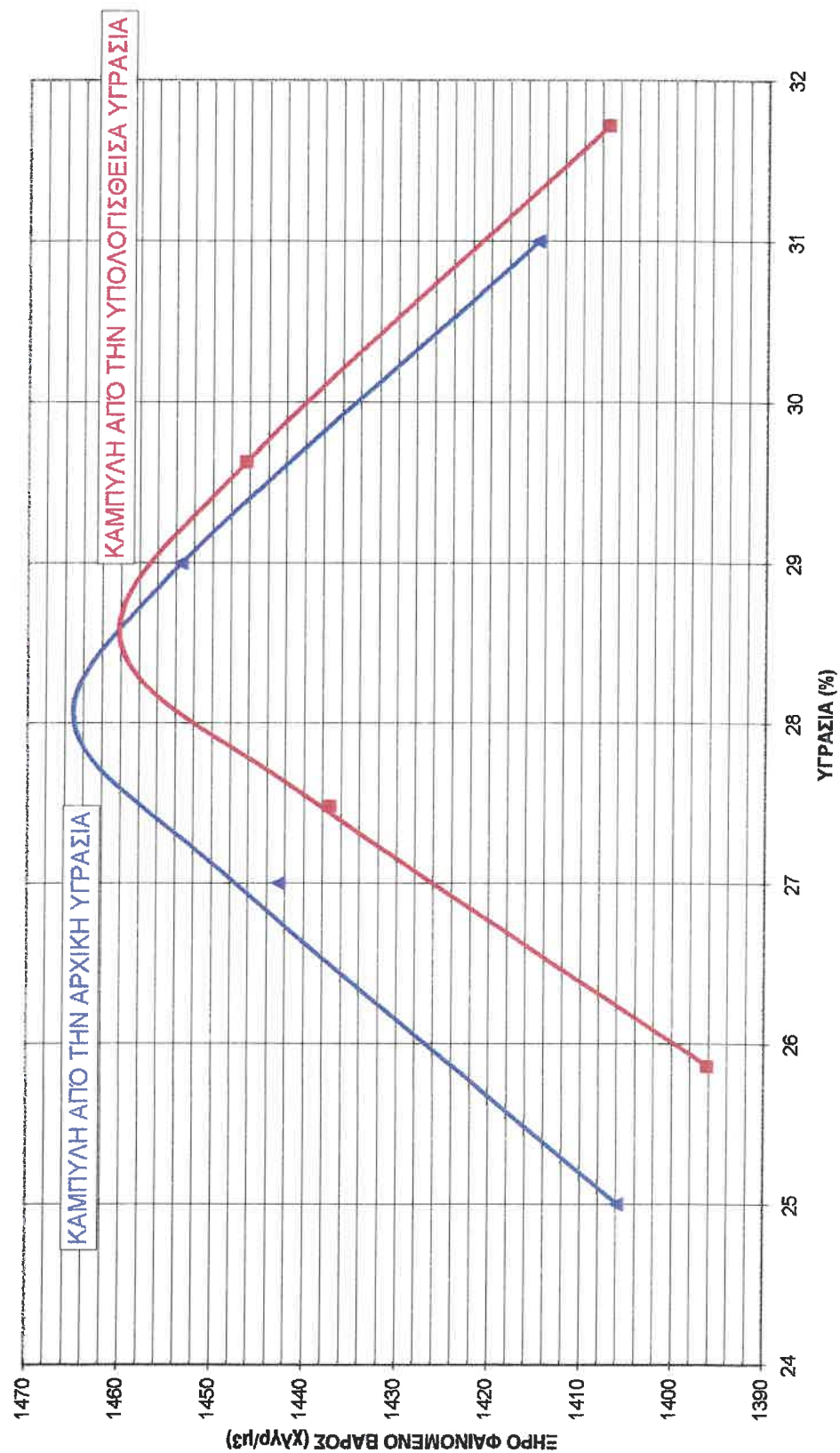
Διάγραμμα 3 Καμπύλη PROCTOR του Εδαφικού Υλικού

ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (ΠΡΟΤΥΠΗ) ΓΙΑ ΤΟ ΜΙΓΜΑ ΕΛΑΦΟΣ + 5% ΠΙΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

	Δοκιμή 1				Δοκιμή 2				Δοκιμή 3				Δοκιμή 4			
	25				27				29				31			
Θεωρητική Υγρασία (%)	6130				6200				6240				6220			
Βάρος υγρού δείγματος + τύπου (γρ.)	4487				4487				4487				4487			
Βάρος τύπου (γρ.)	1643				1713				1753				1733			
Βάρος Υγρού δείγματος (γρ.)	0,935				0,935				0,935				0,935			
Όγκος Τύπου (λίτρα)	1757				1832				1875				1853			
Υγρό Φανόμενο Βάρος (γλ.γρ./μ ³)	5	23	15		1	4	14		6	11	20		2	8	10	
Αριθμός Κάννας	173,00	138,89	161,6		180,45	168,55	127,41		169,98	195,96	165,38		181,25	178,68	191,85	
Βάρος Υγρού Δείγματος +																
κάννας (γρ.)	138,62	111,78	129,52		142,76	133,8	101,34		134,74	151,43	127,93		138,61	136,94	147,86	
Βάρος Ξηρού Δείγματος +																
κάννας (γρ.)	34,38	27,11	32,08		37,69	34,75	26,07		35,24	44,53	37,45		42,64	41,74	43,99	
Βάρος Υδατος (γρ.)	6,12	6,33	5,84		6,54	7,29	5,91		6,41	6,53	6,00		5,91	6,25	6,4	
Βάρος Κάννας (γρ.)	166,88	132,56	155,76		173,91	161,26	121,5		163,57	189,43	159,38		175,34	172,43	185,45	
Βάρους Υγρού Δείγματος (γρ.)																
Περιοζόμενη Υγρασία (%)	25,9	25,7	25,9		27,7	27,5	27,3		27,5	30,7	30,7		32,1	31,9	31,1	
Μ.Ο. Υγρασίας (%)	25,9				27,5				29,6				31,7			
Ξηρό Φανόμενο Βάρος (γλ.γρ./μ ³)	1396				1437				1446				1407			
Θεωρητικό Ξηρό Φανόμενο Βάρος (γλ.γρ./μ ³)	1406				1443				1453				1415			

Πίνακας 2.6 Πρότυπη Δοκιμή Συμπύκνωσης του μίγματος Ελάφους+5% Πιτάμενης Τέφρας.

ΚΑΜΠΥΛΗ PROCTOR ΕΔΑΦΟΥΣ + 5% ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ



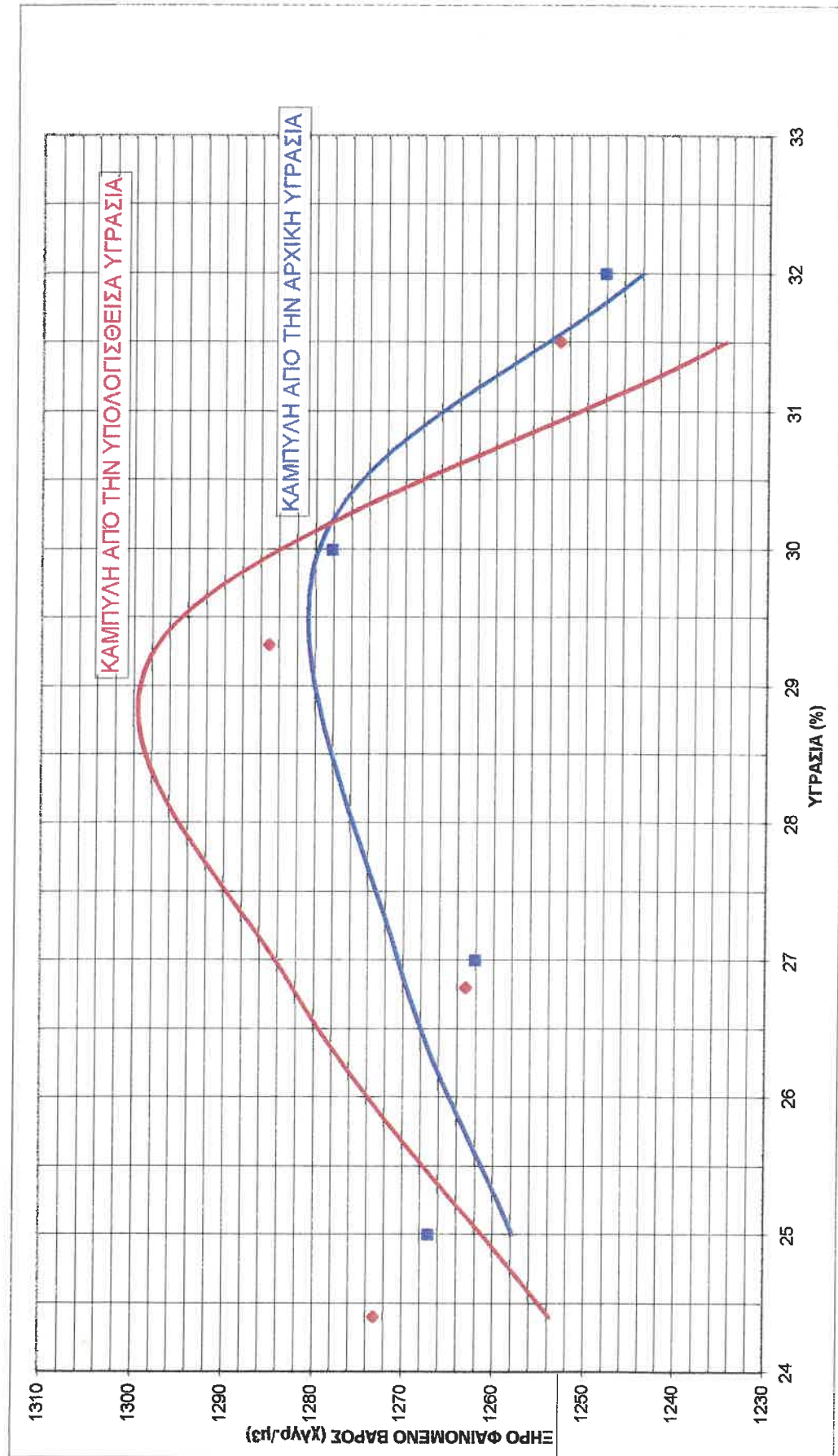
Διάγραμμα 4 Καμπύλη PROCTOR του μίγματος Εδάφους + 5% Ιπτάμενης Τέφρας

ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (ΠΡΟΤΥΠΗ) ΓΙΑ ΤΟ ΜΙΓΜΑ ΕΛΑΦΟΣ + 20% ΠΗΛΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ.

	Δοκιμή 1				Δοκιμή 2				Δοκιμή 3				Δοκιμή 4			
	25	14	15	27	4	6	8	30				32				
Θεωρητική Υγρασία (%)																
Βάρος υγρού δείγματος +τύπου (γρ.)	5968			5985				6040				6027				
Βάρος τύπου (γρ.)	4487			4487				4487				4487				
Βάρος Υγρού δείγματος (γρ.)	1481			1498				1553				1540				
Όγκος Τύπου (λίτρα)	0,935			0,935				0,935				0,935				
Υγρό Φανόμενο Βάρος (γλ.γρ./μ ³)	1584			1602				1661				1647				
Αριθμός Κάννας	5	14	15	1	4	6	8									
Βάρος Υγρού Δείγματος +																
κάννας (γρ.)	186,60	170,16	164,74	179,36	206,22	190,51	152,28	223,40	174,03			194,01	140,98	211,93		
Βάρος Ξηρού Δείγματος +																
κάννας (γρ.)	151,08	137,87	133,81	142,71	164,17	151,68	119,11	174,5	135,95			149,10	108,88	162,43		
Βάρος Υδατος (γρ.)	35,52	32,29	30,93	36,65	42,05	38,83	33,17	48,9	38,08			44,91	32,1	49,5		
Βάρος Κάννας (γρ.)	6,12	5,91	5,84	6,54	7,29	6,41	6,25	6,33	6,40			5,91	6,53	6,00		
Βάρους Υγρού Δείγματος (γρ)	180,48	164,25	158,9	172,82	198,93	184,1	146,03	217,07	167,63			188,1	134,45	205,93		
Περιεχόμενη Υγρασία (%)	24,5	24,5	24,2	26,9	26,8	26,7	29,4	29,1	29,4			31,4	31,4	31,6		
Μ.Ο. Υγρασίας (%)	24,4			26,8			29,3					31,5				
Ξηρό Φανόμενο Βάρος (γλ.γρ./μ ³)	1273			1263			1285					1253				
Θεωρητικό Ξηρό Φανόμενο Βάρος (γλ.γρ./μ ³)	1267			1262			1278					1248				

Πίνακας 2.7 Πρότυπη Δοκιμή Συμπύκνωσης του μίγματος Ελάφους + 20% Πηλάμενης Τέφρας.

ΚΑΜΠΥΛΗ PROCTOR ΕΔΑΦΟΥΣ + 20% ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ



Διάγραμμα 5 Καμπύλη PROCTOR του μίγματος Εδάφους + 20% Ιπτάμενης Τέφρας.

Κατάταξη Εδάφους

KATATAΞH EΔAΦΩN KATA AASHTO

Το σύστημα κατάταξης εδαφών της Διεύθυνσης Δημοσίων Οδών αναθεωρήθηκε το 1945 από μία Επιτροπή του Συμβουλίου Έρευνας Οδών. Από το 1945 έχει γίνει διαδοχικά γνωστό σε σύστημα του Συμβουλίου Έρευνας Οδών, του Αμερικανικού Κρατικού Συνδέσμου Οδοποιίας και τροποποιημένο σύστημα του Γραφείου Δημοσίων Οδών. Το σύστημα αυτό είναι η γνωστότερη και πιο χρησιμοποιημένη μέθοδος κατάταξης εδαφών στην οδοποιία.

Τα εδάφη διαιρούνται σε δύο κύριες ομάδες, κοκκώδη υλικά με περιεκτικότητα υλικού που περνάει από το κόσκινο Νο 200 όχι μεγαλύτερη από 35% και άργιλο και ιλύ με περιεκτικότητα υλικών που περνούν από το κόσκινο Νο 200 μεγαλύτερη από 35%. Τα συστατικά του εδάφους όπως αναγνωρίζονται από το σύστημα αυτό είναι:

Χαλίκι - υλικό που περνάει από κόσκινο 3 ιντσών αλλά όχι από το κόσκινο Νο 10.

Χοντρόκοκκη άμμος - υλικό που περνάει από το κόσκινο Νο 10 αλλά όχι από το κόσκινο Νο 40.

Λεπτόκοκκη άμμος - υλικό που περνάει από το κόσκινο Νο 40 αλλά όχι από το κόσκινο Νο 200.

Ανάμικτα ιλύς και άργιλος - υλικό που περνάει από το κόσκινο Νο 200.

Ο δείκτης ομάδας ενός εδάφους παρέχεται από την εξίσωση:

$$GI = 0.2*a + 0.005*a*c + 0.01*b*d$$

όπου

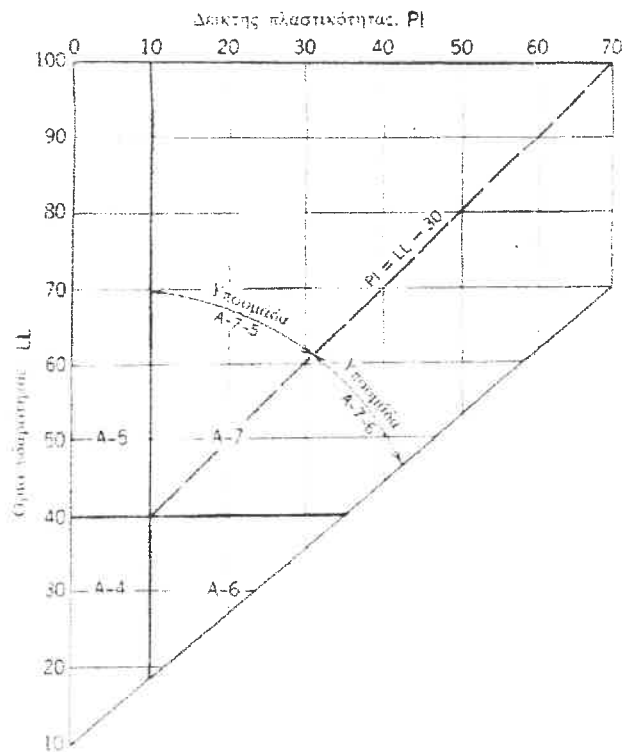
a= Τμήμα του ποσοστού που περνάει από το κόσκινο Νο 200 μεταξύ 35% και 75%, εκφρασμένο σαν ακέραιος θετικός αριθμός (από 0 έως 40)

b= Τμήμα του ποσοστού που περνάει από το κόσκινο Νο 200 μεταξύ 15% και 55%, εκφρασμένο σαν ακέραιος θετικός αριθμός (από 0 έως 20)

c= Τιμές του ορίου υδαρότητας που είναι μεταξύ 40 και 60, εκφρασμένο σαν ακέραιος θετικός αριθμός (από 0 έως 20)

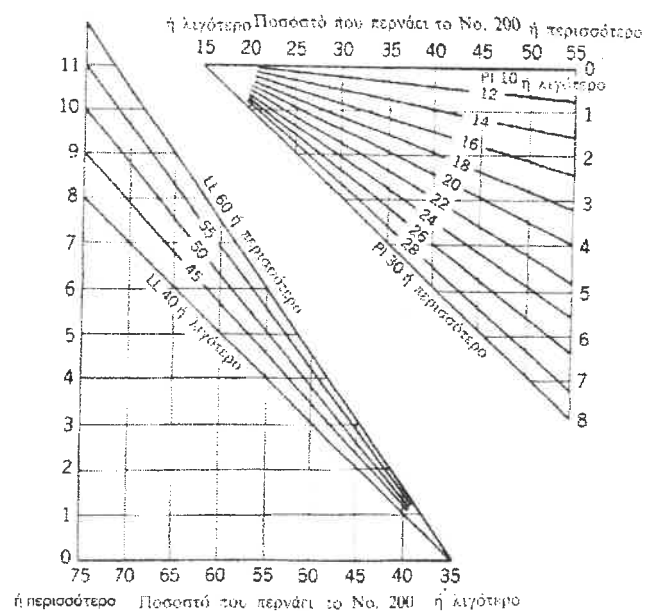
d= Τιμές του δείκτη πλαστικότητας που είναι μεταξύ 10 και 30, εκφρασμένο σαν ακέραιος θετικός αριθμός (από 0 έως 20).

Η τιμή του δείκτη ομάδας είναι χρήσιμη για συσχετισμούς. Στον πίνακα και στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται πώς μπορεί να προσδιοριστεί ο δείκτης ομάδας και εν συνεχεία πώς γίνεται η κατάταξη των εδαφών. [20]



Σχήμα 9 Εύρεση της υποομάδας κατά AASHTO. [20]

Σχήμα 10 Προσδιορισμός του δείκτη Ομάδας.



ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ	ΚΟΚΚΩΔΗ ΥΛΙΚΑ			ΙΛΥΩΔΗ-ΑΡΓΙΛΩΔΗ ΥΛΙΚΑ			
Κατάταξη Ομάδας	A-1	A-3	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
Ανάλυση κόκκων, ποσοστό που περνούν							
No. 10							
No. 40	50max	51min					
No. 200	26 max	10max	35max	36min	36min	36min	36min
Χαρακτηριστικά του τμήματος που περνά το No.40							
Όριο Υδαρότητας				40max	41min	40max	41min
Δείκτης Πλαστικότητας	6max	NP		10max	10max	11min	11min
Δείκτης Ομάδας	4max			8max	12max	16max	20max
Βαθμός καταλληλότητας σαν υπέδαφος	Εξαιρετικό έως καλό			Μέτριο έως ακατάλληλο			
	(υποομάδες)						
ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ							
	A- 1	A-3	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
Κατάταξη Ομάδας	A-1-α A-1-β	A2-4 A2-5 A2-6 A2-7		A-7-5 A-7-6			
Ανάλυση κόκκων, ποσοστό που περνούν							
No. 10	50max						
No. 40	30max	50max	51min				
No. 200	15max	25max	10max 35max 35max 35max 35max	36min	36min	36min	36min
Χαρακτηριστικά του τμήματος που περνά το No.40							
Όριο Υδαρότητας	40max 41min 40max 41min			40max	41min	40max	41min
Δείκτης Πλαστικότητας	6max	NP	10max 10max 11min 11min	10max	10max	11min	11min
Δείκτης Ομάδας	0	0	0 4max	8max	12max	16max	20max
Βαθμός καταλληλότητας σαν υπέδαφος	Εξαιρετικό έως καλό			Μέτριο έως μετριότατο			

Πίνακας 2.8 Κατάταξη Εδαφών κατά AASHTO [20]

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑΚΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΕΡΟΠΟΡΙΑΣ

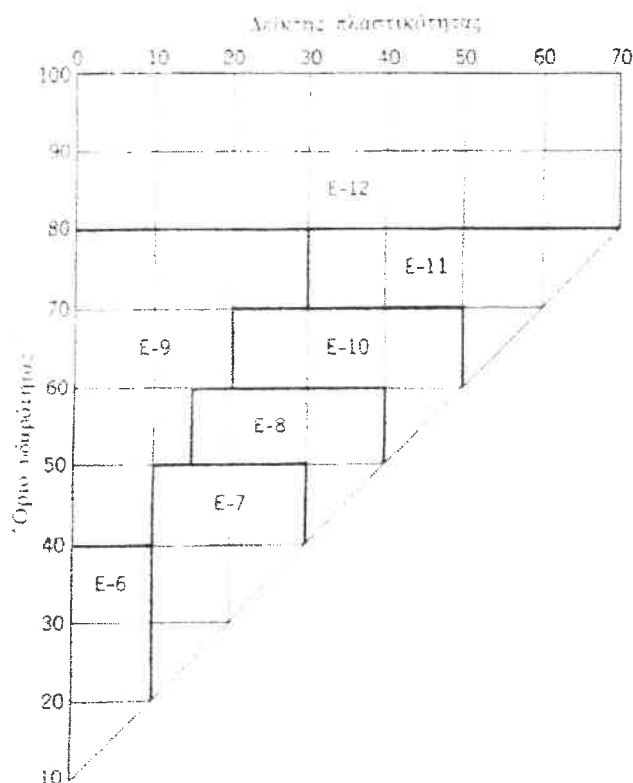
Το σύστημα της Ομοσπονδιακής Διεύθυνσης Αεροπορίας παρέχεται από το σχήμα που ακολουθεί. Τα εδάφη, σύμφωνα με το σύστημα αυτό, χαρακτηρίζονται από 1 έως 13 και συμβολίζονται E-1 έως E-13. Η κατάταξη αυτή βασίζεται σε ανάλυση του τμήματος του δείγματος που περνάει από το κόσκινο No 10. Επιπλέον το κόσκινο No 200 χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των λεπτών από τα χοντρά υλικά.

Τα συστατικά του εδάφους χαρακτηρίζονται σαν:

Χοντρή άμμος - περνάει από το κόσκινο No 10 αλλά όχι από το κόσκινο No 40.

Λεπτή άμμος - περνάει από το κόσκινο Νο 40 αλλά όχι από το κόσκινο Νο 200.

Γλύς και άργιλος - περνάει από το κόσκινο Νο 200. [20]



Σχήμα 11 Διάγραμμα κατάταξης της Ομοσπονδιακής Διεύθυνσης Αεροπορίας για λεπτόκοκκα εδάφη. [20]

ΕΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΛΑΦΩΝ

Για το Ενιαίο Σύστημα Κατάταξης, τα εδάφη συμβολίζονται με γράμματα που το καθένα έχει ιδιαίτερη σημασία. Τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται σε αυτό το σύστημα κατάταξης είναι τα ακόλουθα:

G - χαλίκι

S - άμμος

M - ιλύς

C - άργιλος

W - καλή κοκκομετρική διαβάθμιση

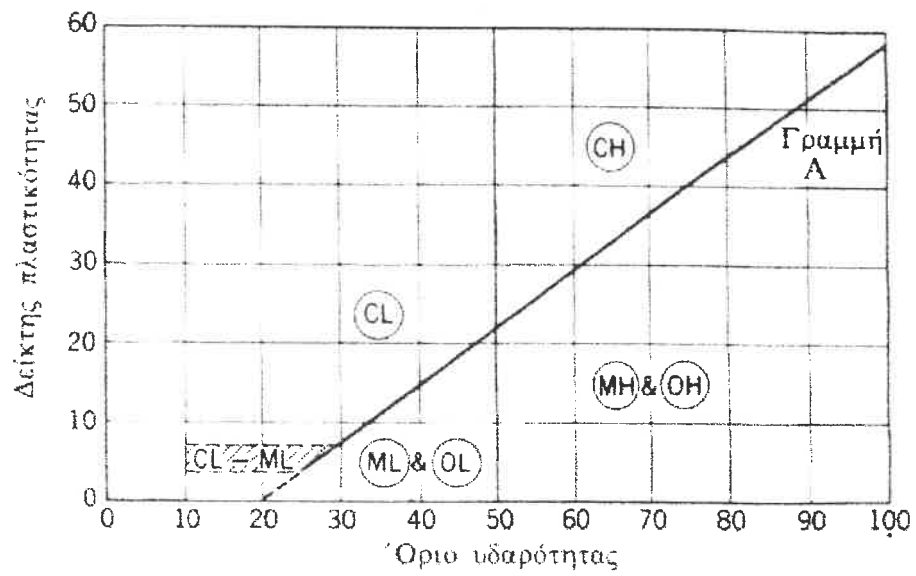
P - μέτρια κοκκομετρική διαβάθμιση

U - ομοιόμορφη κοκκομετρική διαβάθμιση

L - χαμηλό όριο υδαρότητας

H - υψηλό όριο υδαρότητας

Για το χαρακτηρισμό των εδαφών χρησιμοποιούνται συνδυασμοί των γραμμάτων. [20]



Σχήμα 12 Διάγραμμα Πλαστικότητας (Κατά το σώμα των Μηχανικών). [20]

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΤΑ ΑΑΣΗΤΟ

LL	PL	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟ ΤΟ ΚΟΣΚΙΝΟ ΝΟ200	GI	ΟΜΑΔΑ
46	23	71,64%	9	A-7-6

Πίνακας 2.9 Κατάταξη Εδάφους κατά ΑΑΣΗΤΟ

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑΚΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΕΡΟΠΟΡΙΑΣ

LL	PI	ΟΜΑΔΑ
46	23	E-7

Πίνακας 2.10 Κατάταξη Ομοσπονδιακής Διεύθυνσης Αεροπορίας

ΕΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ

LL	PI	ΟΜΑΔΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
46	23	CL	ΑΜΜΩΔΗΣ ΑΡΓΙΛΟΣ

Πίνακας 2.11 Ενιαία Κατάταξη Εδαφών.

Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Κοκκομετρική Ανάλυση

Από τα εργαστηριακά αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης του φυσικού εδαφικού υλικού και συγκρίνοντας με τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης της Αργίλου II (προέρχεται από την ίδια περιοχή) από παρόμοια διπλωματική [24], προκύπτει ότι η Αργίλος II έχει λεπτότερη διαβάθμιση. Ωστόσο η διαφορά δεν είναι τόσο μεγάλη, με αποτέλεσμα να μπορούμε να πούμε ότι πρόκειται για παρόμοια υλικά.

Όρια Atterberg του φυσικού εδάφους

Όπως φαίνεται από τον αντίστοιχο πίνακα (*Πίνακας 2.4 και Διάγραμμα 2*) το Όριο Πλαστικότητας προκύπτει 23(%) και το Όριο Υδαρότητας 46(%). Επομένως ο Δείκτης Πλαστικότητας είναι 23(%). Το υλικό μας, λοιπόν, είναι πλαστικό που επιδέχεται σταθεροποίηση ούτως ώστε να μετατραπεί σε μη πλαστικό.

Η αντίστοιχη Αργίλος II αν και παρουσιάζει το ίδιο Όριο Πλαστικότητας, το Όριο Υδαρότητάς της είναι αυξημένο (53%). Οι διαφοροποιήσεις αυτές κατατάσσουν τις δύο Αργίλους σε διαφορετικές κατηγορίες Εδαφών (κατά AASHTO και κατά την Ενιαία Κατάταξη Εδαφών) που δεν παρουσιάζουν όμως μεγάλες διαφορές. Συνεπώς η σύγκριση των εργαστηριακών αποτελεσμάτων εξακολουθεί να είναι επιθυμητή και εφικτή.

Πρότυπη δοκιμή Συμπύκνωσης - Βέλτιστη Υγρασία - Ξηρό Φαινόμενο Βάρος

Η πρότυπη δοκιμή συμπύκνωσης έγινε στο φυσικό έδαφος, στο μίγμα Αργίλου - 5% Ιπτάμενης Τέφρας και 20% Ιπτάμενης Τέφρας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε αντίστοιχους πίνακες και διαγράμματα (*Πίνακες 2.5, 2.6, 2.7 και Διαγράμματα 3, 4, 5*). Η βέλτιστη υγρασία και το ξηρό φαινόμενο βάρος, όπως προέκυψαν από τα προαναφερθέντα διαγράμματα, παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

	Φ.Ξ.Β (χλγρ./μ ³)	Β.Υ (%)	
φυσικό έδαφος	1560	26,5	
5% ιπτάμενη τέφρα	1460	28,5	
10% ιπτάμενη τέφρα	1380	28,5	
20% ιπτάμενη τέφρα	1300	29	
Φ.Ξ.Β (χλγρ./μ ³)	Β.Υ %		
1460	28,5	Ca(OH) ₂	2%
			4%
1460			5%
1380	28,5	ιπτάμενη τέφρα	10%
1300	29,0		20%
1380	28,5	ιπτάμενη τέφρα	5%+3%
1300	29,0	+τσιμέντο	10%+2%
Πίνακας 2.12 Συγκεντρωτικός Πίνακας με το Ξηρό Φαινόμενο Βάρους και τη Βέλτιστη Υγρασία			

Όπως γνωρίζουμε, και εδώ επιβεβαιώνεται, αύξηση του ποσοστού της Ιπτάμενης Τέφρας οδηγεί σε μείωση του Ξηρού Φαινόμενου Βάρους και σε αύξηση της Βέλτιστης Υγρασίας. Με αυτό το σκεπτικό έγινε ο υπολογισμός του Ξηρού Φαινόμενου Βάρους και της Βέλτιστης Υγρασίας του Μίγματος αργίλου + 10% ιπτάμενης τέφρας. Το ξηρό φαινόμενο βάρος υπολογίστηκε με γραμμική παρεμβολή ενώ η βέλτιστη υγρασία είναι ίδια μ' αυτή του μίγματος αργίλου + 5% ιπτάμενης τέφρας. Για τα υπόλοιπα είδη σταθεροποιητών στα διάφορα ποσοστά τους οι επιλογές ήταν τέτοιες ούτως ώστε να έχουμε συγκρίσιμα αποτελέσματα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι αν και αναμενόταν η τελική υπολογισθείσα υγρασία σε κάθε δοκιμή να είναι μικρότερη της αρχικής, εξαιτίας της δέσμευσης ύδατος κατά την 24-ωρη αποθήκευση του μίγματος πριν από τη δοκιμή, του εξώθερμου χαρακτήρα της ενυδάτωσης της ασβέστου και της εξάτμισης ύδατος κατά τη συμπύκνωση, στο φυσικό έδαφος και στο μίγμα αργίλου - 5% ιπτάμενης τέφρας ήταν μεγαλύτερη. Το φαινόμενο αυτό δεν παρουσιάστηκε στο μίγμα αργίλου-20% ιπτάμενης τέφρας διότι η μεγαλύτερη ποσότητα προστιθέμενης ιπτάμενης τέφρας συντέλεσε στο να μειωθεί το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας (όπως αναφέρεται παραπάνω) και η υπολογισθείσα να είναι μικρότερη της αρχικής. Μπορούμε λοιπόν να συμπεράνουμε ότι το εδαφικό μας υλικό δεν ήταν απόλυτα ξηρό αλλά περιείχε ποσότητα ύδατος (γύρω στο 2%).

Παρασκευή Δοκιμίων

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την παρασκευή των δοκιμίων είναι τα εξής:

1. Ξήρανση του εδαφικού υλικού σε κλίβανο στους 110°C.
2. Θρυμματισμός των συσσωματωμάτων και κοσκίνισμα του τελικού προϊόντος με το κόσκινο Νο 4. Πάρθηκε το υλικό το διερχόμενο από το Νο 4 κόσκινο.
3. Αφού έγιναν οι προκαταρκτικές διαδικασίες και προσδιορίστηκαν η βέλτιστη υγρασία και το μέγιστο ξηρό φαινόμενο βάρος, καθορίστηκαν οι απαραίτητες ποσότητες εδάφους, ιπτάμενης τέφρας, τσιμέντου, υδρασβέστου και ύδατος.
4. Έγινε ξηρή ανάμιξη των υλικών (έδαφος - ιπτάμενη τέφρα, έδαφος - υδράσβεστος) και ακολούθησε η προσθήκη ύδατος.
5. Τα μίγματα φυλάχθηκαν μέσα σε σακούλες για 24 ώρες, για να γίνει ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας μέσα στο μίγμα και για να πραγματοποιηθούν οι πρώτες χημικές αντιδράσεις. Η προσθήκη τσιμέντου έγινε μετά το πέρας των 24 ωρών και ακολούθησε αμέσως η παρασκευή των δοκιμίων για να αποφευχθεί η σκλήρυνση.
6. Μετά το πέρας των 24 ωρών έγινε η τελική ανάμιξη και ο θρυμματισμός των σχηματισμένων σβώλων έτσι ώστε το δοκίμιο να έχει προκαθορισμένη πυκνότητα.
7. Ακολούθησε η ζύγιση των απαραίτητων ποσοτήτων από το κάθε μίγμα.
8. Τοποθετήθηκε η κάθε ζυγισμένη ποσότητα μέσα στον τύπο σε τρεις στρώσεις.
9. Ακολούθησε συμπίκνωση με ηλεκτρόσφυρα.
10. Η εξαγωγή του δοκιμίου έγινε με τη βοήθεια εξολκέα.

Συντήρηση των Δοκιμίων

Τα δοκίμια αμέσως μετά την παρασκευή τους περιτυλίχθηκαν με πλαστική μεμβράνη (μαγειρική) και τοποθετήθηκαν στον θάλαμο συντήρησης όπου επικρατούν σταθερές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας (υγρασία 80-95% και θερμοκρασία 20-23°C).

Κύριες Διαδικασίες

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

Η μέθοδος αφορά τον ταχύ προσδιορισμό της ανεμπόδιστης αντοχής συνεκτικού εδάφους αδιατάρακτου ή αναζυμωμένου δείγματος. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συνεκτικότητα του εδάφους να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει τη διατήρηση της γεωμετρίας του δοκιμίου χωρίς την εφαρμογή πλευρικής πίεσεως.

Ορισμός

Είναι η δοκιμή κατά την οποία εφαρμόζεται στο δοκίμιο, ελεύθερο από πλευρική πίεση, ένα αξονικό φορτίο. Σαν αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ορίζεται η τάση στην οποία το δοκίμιο εμφανίζει δύο από τις ακόλουθες καταστάσεις:

- Αρχίζει να παρουσιάζει επιφάνεια θραύσεως.
- Η παραμόρφωση συνεχίζεται χωρίς την αύξηση φορτίου.

Εάν καμία από τις παραπάνω καταστάσεις δεν συμβαίνει, τότε σαν αντοχή λαμβάνεται η τάση που αντιστοιχεί σε ανηγμένη παραμόρφωση 20%.

Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- ◇ Συσκευή Θλίψεως
- ◇ Μετρητής Παραμορφώσεως
- ◇ Μορφωτής Δοκιμίου
- ◇ Διαστημόμετρο τύπου Vernier
- ◇ Εξολκέας Δείγματος
- ◇ Ζυγοί Ακριβείας
- ◇ Διάφορες άλλες συσκευές γενικής χρήσεως (μαχαίρια, σπάτουλες, κάψες)

Προπαρασκευή των Δοκιμίων

Το δοκίμιο δεν πρέπει να έχει διάμετρο μικρότερη από 33 χλστ. ενώ η μέγιστη διάμετρος των κόκκων θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 1/10 της διαμέτρου του δοκιμίου. Για δοκίμια που έχουν διάμετρο ίση με ή μεγαλύτερη από 71,1 χλστ. η μέγιστη διάμετρος των κόκκων θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 1/6 της διαμέτρου του δοκιμίου. Εάν μετά τη δοκιμή αδιατάρακτου δοκιμίου, διαπιστωθεί

ότι η μέγιστη διάμετρος των περιεχόμενων κόκκων δεν ικανοποιεί τις παραπάνω απαιτήσεις θα πρέπει να σημειώνεται στο έντυπο χαρτί της δοκιμής.

Ο λόγος ύψους προς τη διάμετρο του δοκιμίου θα πρέπει να είναι 2 ως 3. Η μέτρηση των διαστάσεων του δοκιμίου θα πρέπει να γίνεται με το διαστημόμετρο τύπου Vernier με ακρίβεια 0,25 χλστ.

Πορεία Δοκιμής

Το δοκίμιο τοποθετείται στη συσκευή φορτίσεως (θλίψεως) στο κέντρο της κάτω πλάκας. Η συσκευή ρυθμίζεται έτσι ώστε η άνω πλάκα να βρίσκεται σε επαφή με την άνω επιφάνεια του δοκιμίου και μηδενίζεται ο μετρητής των παραμορφώσεων.

Στο δοκίμιο εφαρμόζεται θλιπτικό αξονικό φορτίο τέτοιο ώστε η παραμόρφωση που θα επιτυγχάνεται να είναι της τάξεως των $\frac{1}{2}$ ως 2% ανά λεπτό και γίνεται η καταγραφή των τιμών των αξονικών φορτίων και των παραμορφώσεων ανά 30 δευτερόλεπτα. Η ταχύτητα των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η ολική διάρκεια της δοκιμής να μην ξεπερνά τα 10 λεπτά προκειμένου για δοκίμια που δεν προστατεύονται με αεροστεγή μεμβράνη. Η επιβολή του θλιπτικού αξονικού φορτίου συνεχίζεται μέχρι να παρατηρηθεί μείωση του φορτίου με αυξανόμενες παραμορφώσεις ή μέχρι να φθάσει η παραμόρφωση την τιμή 20%.

Στην περίπτωση που τα δοκίμια προστατεύονται με αεροστεγή μεμβράνη η ταχύτητα των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων μπορεί να είναι μικρότερη και συνεπώς η ολική διάρκεια της δοκιμής μεγαλύτερη για καλύτερα αποτελέσματα της δοκιμής. Η ταχύτητα αυτή αναγράφεται στα αποτελέσματα της δοκιμής. Όλα γενικώς τα στοιχεία του δοκιμίου, οι ενδείξεις των παραμορφώσεων και φορτίου καθώς και ο τρόπος θραύσεως του δοκιμίου θα πρέπει να σημειώνονται σε έντυπα χαρτιά της δοκιμής.

Η τάση αστοχίας σε θλίψη μας δίνεται από την σχέση :

$$\sigma = P/A$$

όπου P =φορτίο αστοχίας

A =επιφάνεια εφαρμογής (πr^2). [9]

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ (ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ)

Η δοκιμή αυτή γίνεται όπως ακριβώς η δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης, στην ίδια συσκευή, με την διαφορά ότι το κυλινδρικό δοκίμιο τοποθετείται στο πλάι έτσι ώστε να εφαρμόζεται θλιπτικό φορτίο κατά τις δύο αντιδιαμετρικές γενέτειρες, με αποτέλεσμα την έμμεση ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων - παραμορφώσεων εγκάρσια στη διεύθυνση επιβολής του φορτίου. Η αντοχή σε αντιδιαμετρική θλίψη (διάρρηξη) υπολογίζεται από την σχέση:

$$\sigma_{\text{εφ}} = 2 \cdot P / \pi \cdot d \cdot l$$

όπου $\sigma_{\text{εφ}}$ = αντοχή σε αντιδιαμετρική θλίψη.

P = φορτίο θραύσεως.

d = διάμετρος του δοκιμίου

l = ύψος του δοκιμίου. [9]

ΘΑΙΨΗ 7 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΚΑΙ ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
2		538,51		211,0	135,89	0,35			
4	1006,800	538,51	1,87	198,0	127,56	0,33	0,35	0,02	6,4
11	1008,600	538,51	1,87	225,0	144,86	0,38			

Πίνακας 2.13 Δοκιμή θλίψης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14\text{cm}$) Αργίλου και 5% Ιπτάμενης Τέφρας.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
17	954,63	538,51	1,77	552,0	353,85	0,92			
18	954,16	538,51	1,77	533,5	341,99	0,89	0,92	0,03	3,6
23	954,55	538,51	1,77	573,0	367,31	0,95			

Πίνακας 2.14 Δοκιμή θλίψης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14\text{cm}$) Αργίλου και 10% Ιπτάμενης Τέφρας.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
26	902,06	538,51	1,68	766	490,39	1,27			
32	902,60	538,51	1,68	695	445,52	1,16	1,27	0,11	8,3
36	901,43	538,51	1,67	821	526,76	1,37			

Πίνακας 2.15 Δοκιμή θλίψης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14\text{cm}$) Αργίλου και 20% Ιπτάμενης Τέφρας.

ΘΛΙΨΗ 7 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΙΟΥ, ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
37	954,14	538,51	1,77	419	269,24	0,70			
42	954,13	538,51	1,77	403	258,98	0,67	0,69	0,01	2,0
48	954,79	538,51	1,77	414	266,03	0,69			

Πίνακας 2.16 Δοκιμή θλίψης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14\text{cm}$) Αργίλου, 5% Ιπτάμενης Τέφρας και 3% Τσιμέντου.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
49	902,38	538,51	1,68	539	345,51	0,90			
54	902,61	538,51	1,68	501	321,15	0,83	0,86	0,03	3,7
60	903,45	538,51	1,68	515	330,13	0,86			

Πίνακας 2.17 Δοκιμή θλίψης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14\text{cm}$) Αργίλου, 10% Ιπτάμενης Τέφρας και 2% Τσιμέντου.

ΘΛΙΨΗ 7 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΑΙΝΑΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ.

Α/Α	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
61	1008,53	538,51	1,87	226	145,50	0,38			
65	1008,24	538,51	1,87	219	141,01	0,37	0,38	0,01	2,5
68	1009,34	538,51	1,87	230	148,06	0,38			

Πίνακας 2.18 Δοκιμή θλίψης 7 ημερών σε καλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 2% Ca(OH)₂.

Α/Α	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
73	1007,97	538,51	1,87	475	304,80	0,79			
79	1008,64	538,51	1,87	479	307,37	0,80	0,78	0,03	4,3
84	1009,17	538,51	1,87	442	283,98	0,74			

Πίνακας 2.19 Δοκιμή θλίψης 7 ημερών σε καλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 4% Ca(OH)₂.

ΔΙΑΡΡΗΞΗ 7 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
3	1008,72	538,51	1,87	100	64,75	0,04			
7	1008,85	538,51	1,87	106	68,59	0,04	0,04	0,005	11,0
10	1009,26	538,51	1,87	85	55,13	0,04			

Πίνακας 2.20 Δοκιμή Διάρρηξης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 5% Ιπτάμενης Τέφρας.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
13	954,09	538,51	1,77	309	198,38	0,13			
15	954,31	538,51	1,77	245	157,68	0,10	0,12	0,02	16,2
20	951,75	538,51	1,77	340	218,59	0,14			

Πίνακας 2.21 Δοκιμή Διάρρηξης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 10% Ιπτάμενης Τέφρας.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
25	902,28	538,51	1,68	409	262,82	0,17			
27	902,55	538,51	1,68	403	258,98	0,17	0,17	0,01	4,1
34	902,58	538,51	1,68	435	279,49	0,18			

Πίνακας 2.22 Δοκιμή Διάρρηξης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 20% Ιπτάμενης Τέφρας.

ΔΙΑΡΡΗΞΗ 7 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ, ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
38	954,34	538,51	1,77	280	179,79	0,12			
43	954,71	538,51	1,77	160	103,20	0,07	0,09	0,02	26,9
47	955,33	538,51	1,77	224	144,22	0,09			

Πίνακας 2.23 Δοκιμή Διάρρηξης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου, 5% Ιπτάμενης Τέφρας και 3% Τσιμέντου.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
50	902,91	538,51	1,68	210	135,25	0,09			
55	901,75	538,51	1,67	249	160,24	0,10	0,11	0,02	17,5
59	902,75	538,51	1,68	299	191,97	0,12			

Πίνακας 2.24 Δοκιμή Διάρρηξης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου, 10% Ιπτάμενης Τέφρας και 2% Τσιμέντου.

ΔΙΑΡΡΗΞΗ 7 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
63	1008,88	538,51	1,87	95	61,54	0,04			
69	1008,26	538,51	1,87	100	64,75	0,04	0,04	0,003	5,9
72	1007,56	538,51	1,87	107	69,24	0,05			

Πίνακας 2.25 Δοκιμή Διάρρηξης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 2% Ca(OH)₂.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
75	1008,71	538,51	1,87	277	177,87	0,12			
80	1008,89	538,51	1,87	234	150,63	0,10	0,11	0,010	9,4
83	1009,96	538,51	1,88	278	178,51	0,12			

Πίνακας 2.26 Δοκιμή Διάρρηξης 7 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 4% Ca(OH)₂.

ΘΛΙΨΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ
ΗΛΙΚΙΑ 84 ΗΜΕΡΩΝ

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (KN)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
1		538,51		1	2,393	0,62			
5	1009,56	538,51	1,87	3	2,344	0,61	0,60	0,02	3,2
6	1008,43	538,51	1,87	3	2,246	0,58			

Πίνακας 2.27 Δοκιμή θλίψης 84 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια (d/h=7/14cm) Αργίλου και 5% Ιπτάμενης Τέφρας.
ΗΛΙΚΙΑ 84 ΗΜΕΡΩΝ

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (KN)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
14	954,64	538,51	1,77	1	7,28	1,89			
16	954,45	538,51	1,77	3	6,59	1,71	1,83	0,10	5,4
19	954,42	538,51	1,77	3	7,23	1,88			

Πίνακας 2.28 Δοκιμή θλίψης 84 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια (d/h=7/14cm) Αργίλου και 10% Ιπτάμενης Τέφρας.
ΗΛΙΚΙΑ 81 ΗΜΕΡΩΝ

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (KN)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
28	903,18	538,51	1,68	1	11,04	2,87			
29	902,89	538,51	1,68	3	11,52	2,99	2,85	0,16	5,6
35	902,42	538,51	1,68	3	10,30	2,68			

Πίνακας 2.29 Δοκιμή θλίψης 81 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια (d/h=7/14cm) Αργίλου και 20% Ιπτάμενης Τέφρας.

ΘΛΙΨΗ 83 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ, ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (KN)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
39	955,27	538,51	1,77	1	4,59	1,19			
44	954,09	538,51	1,77	3	4,88	1,27	1,27	0,08	6,0
46	954,58	538,51	1,77	3	5,18	1,34			

Πίνακας 2.30 Δοκιμή θλίψης 83 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια (d/h=7/14cm) Αργίλου, 5% Ιπτάμενης Τέφρας και 3% Τσιμέντου.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (KN)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
51	902,66	538,51	1,68	1	7,28	1,89			
56	904,1	538,51	1,68	3	7,08	1,84	1,81	0,10	5,4
58	902,99	538,51	1,68	3	6,54	1,70			

Πίνακας 2.31 Δοκιμή θλίψης 83 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια (d/h=7/14cm) Αργίλου, 10% Ιπτάμενης Τέφρας και 2% Τσιμέντου.

ΘΑΙΨΗ 82 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (KN)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
62	1007,67	538,51	1,87	1	2,44	0,63			
66	1009,07	538,51	1,87	3	2,15	0,56	0,60	0,04	6,4
71	1007,86	538,51	1,87	3	2,29	0,60			

Πίνακας 2.32 Δοκιμή θλίψης 82 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 2% Ca(OH)₂.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (KN)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
74	1009,11	538,51	1,87	1	10,25	2,66			
78	1009,37	538,51	1,87	3	10,35	2,69	2,64	0,07	2,5
82	1009,34	538,51	1,87	3	9,86	2,56			

Πίνακας 2.33 Δοκιμή θλίψης 82 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 4% Ca(OH)₂.

ΔΙΑΡΡΗΞΗ 84 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
8	1009,15	538,51	1,87	130	83,97	0,05			
9	1007,00	538,51	1,87	147	94,87	0,06	0,06	0,006	9,4
12	1007,65	538,51	1,87	157	101,28	0,07			

Πίνακας 2.34 Δοκιμή Διάρρηξης 84 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 5% Ιπτάμενης Τέφρας.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
21	954,15	538,51	1,77	528	338,46	0,22			
22	953,03	538,51	1,77	525	336,54	0,22	0,23	0,01	5,7
24	954,25	538,51	1,77	580	371,79	0,24			

Πίνακας 2.35 Δοκιμή Διάρρηξης 84 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 10% Ιπτάμενης Τέφρας.

ΔΙΑΡΡΗΞΗ 81 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
30	903,16	538,51	1,68	845	542,04	0,35			
31	902,40	538,51	1,68	740	473,72	0,31	0,33	0,02	6,8
33	901,13	538,51	1,67	805	516,56	0,34			

Πίνακας 2.36 Δοκιμή Διάρρηξης 81 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h=7/14cm$) Αργίλου και 20% Ιπτάμενης Τέφρας.

ΔΙΑΡΡΗΞΗ 83 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ, ΠΗΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Α/Α	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
40	954	538,51	1,77	323	207,69	0,13			
41	954,63	538,51	1,77	349	224,36	0,15	0,13	0,02	14,7
45	954,88	538,51	1,77	260	167,29	0,11			

Πίνακας 2.37 Δοκιμή Διάρρηξης 83 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια (d/h=7/14cm) Αργίλου, 5% Ιπτάμενης Τέφρας και 3% Τσιμέντου.

Α/Α	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
52	903,00	538,51	1,68	480	308,01	0,20			
53	902,42	538,51	1,68	490	314,42	0,20	0,21	0,01	3,6
57	902,96	538,51	1,68	515	330,13	0,21			

Πίνακας 2.38 Δοκιμή Διάρρηξης 83 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια (d/h=7/14cm) Αργίλου, 10% Ιπτάμενης Τέφρας και 2% Τσιμέντου.

ΔΙΑΡΡΗΞΗ 82 ΗΜΕΡΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ.

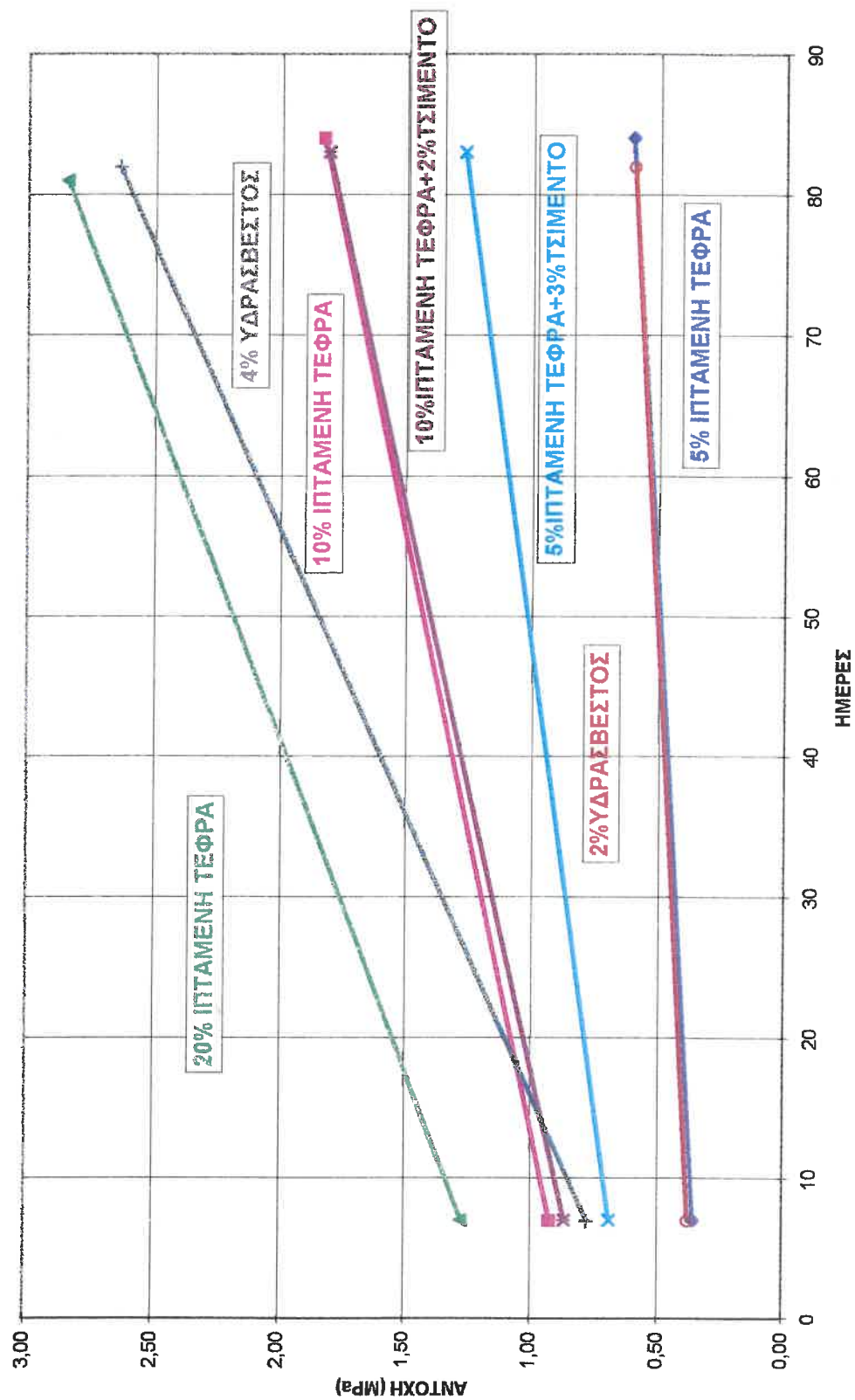
A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
64	1009,55	538,51	1,87	155	100,00	0,06			
67	1009,06	538,51	1,87	145	93,59	0,06	0,06	0,002	3,8
70	1009,06	538,51	1,87	155	100,00	0,06			

Πίνακας 2.39 Δοκιμή Διάρρηξης 82 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h = 7/14 \text{ cm}$) Αργίλου και 2% Ca(OH)₂.

A/A	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm ³)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (0,002 mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (kg)	ΑΝΤΟΧΗ ΘΡΑΥΣΕΩΣ (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV (%)
76	1009,61	538,51	1,87	780	500,64	0,33			
77	1009,41	538,51	1,87	846	542,68	0,35	0,33	0,022	6,6
81	1007,48	538,51	1,87	745	476,93	0,31			

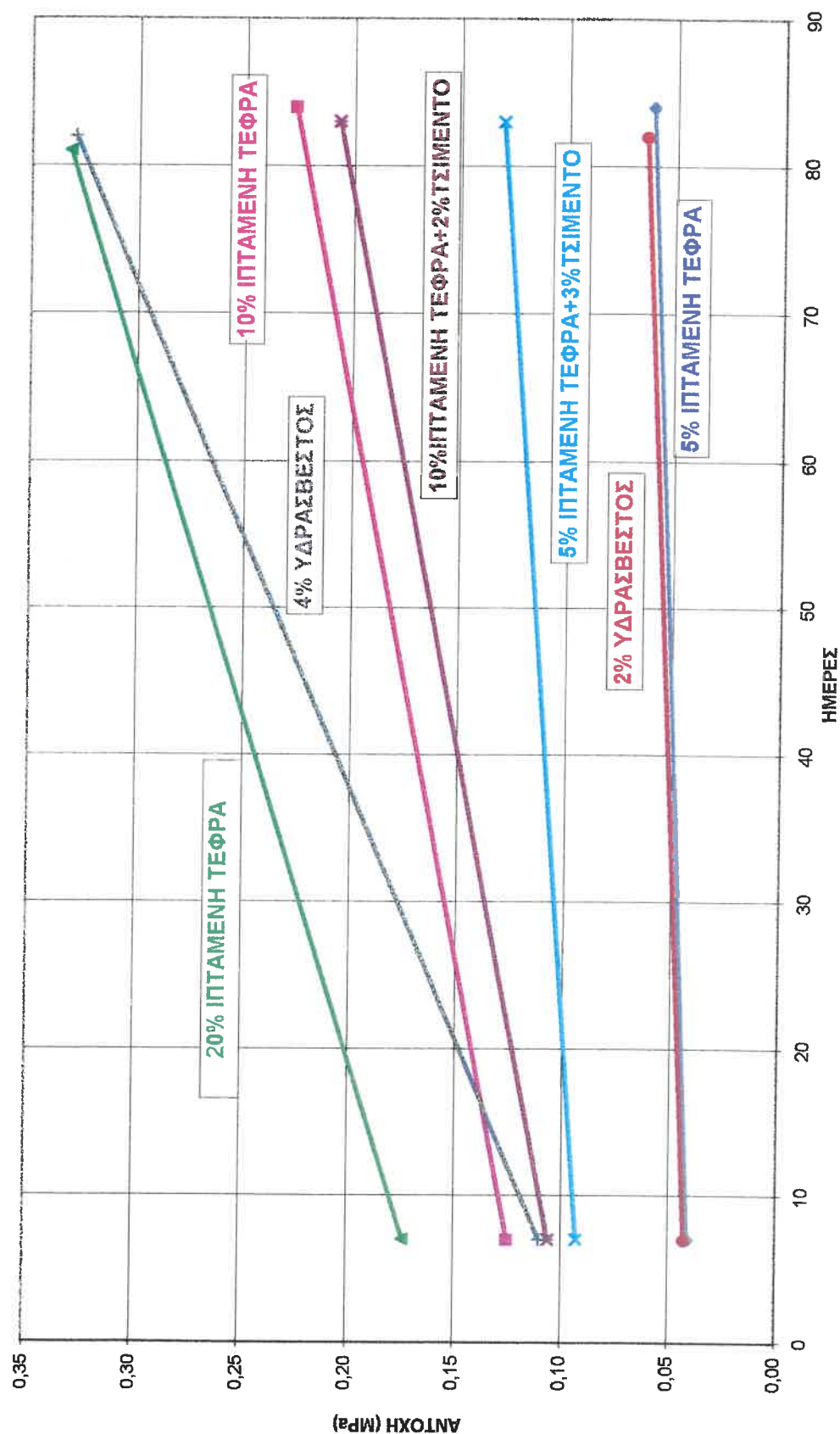
Πίνακας 2.40 Δοκιμή Διάρρηξης 82 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια ($d/h = 7/14 \text{ cm}$) Αργίλου και 4% Ca(OH)₂.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ



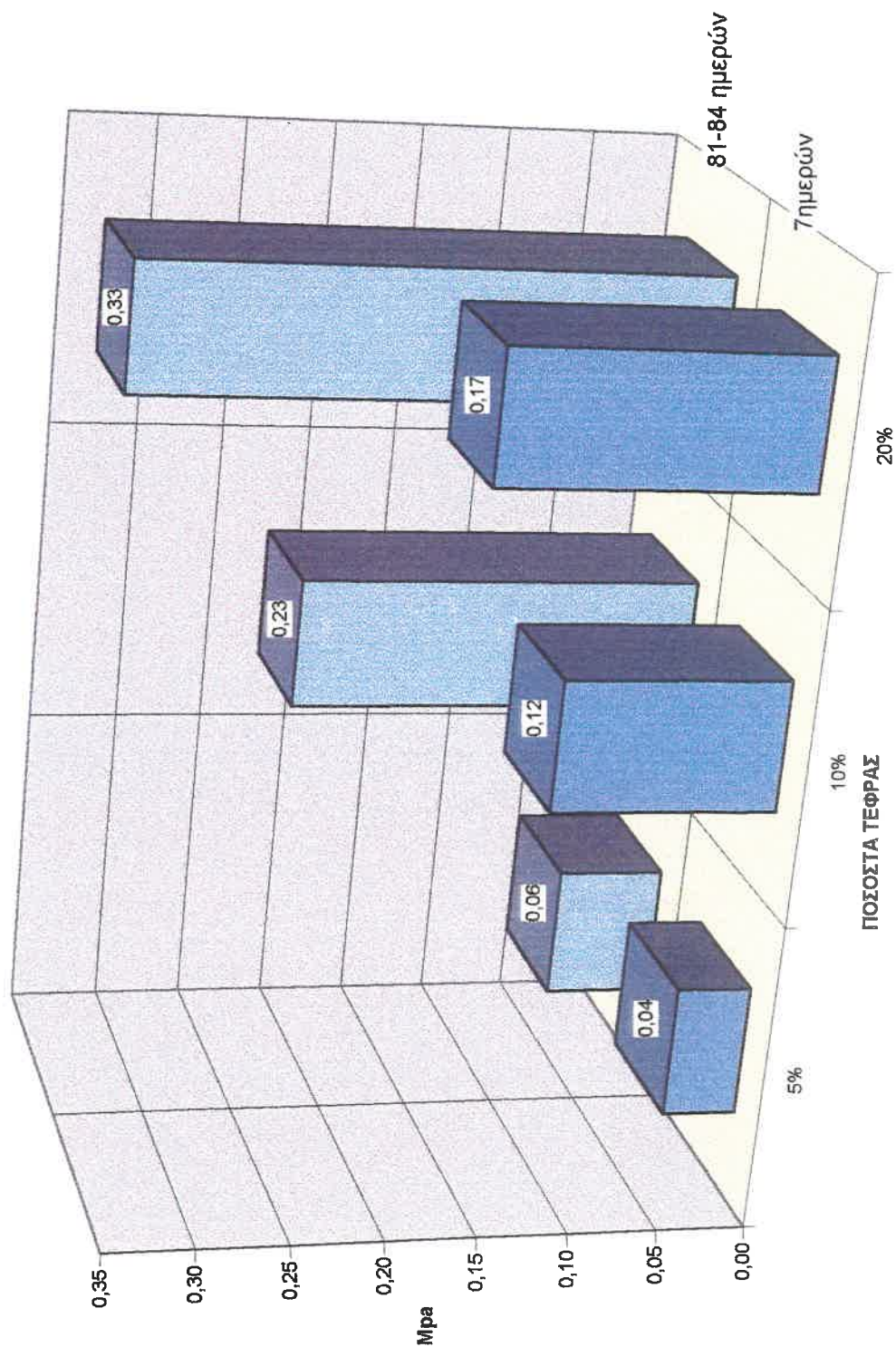
Διάγραμμα 6 Αντοχή σε θλίψη συνάρτησει του χρόνου.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ



Διάγραμμα 7 Αντοχή σε αντιδιαμετρική θλίψη συναρτήσει του χρόνου.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ (ΔΙΑΡΡΗΞΗ)



Διάγραμμα 8 Αντοχή σε αντιδιαμετρική θλίψη για τα διάφορα ποσοστά τέφρας.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο προσδιορισμός του Μέτρου Ελαστικότητας έγινε με τη χρησιμοποίηση της συσκευής MTS. Αυτή αποτελεί μια υδραυλική πρέσα στην οποία μπορεί κανείς να δίνει διάφορες παραμέτρους πραγματοποιώντας διαφορετικές φορτίσεις (είτε στατικές είτε δυναμικές).

Στις δύο επίπεδες επιφάνειες του κυλινδρικού δοκιμίου τοποθετείται σιδηρόστοκος και αλουμινόχαρτο και στη συνέχεια το δοκίμιο τοποθετείται στην ειδική πλάκα. Κατεβαίνει και το έμβολο (κινούμενο στέλεχος) και αφήνεται να πήξει ο σιδηρόστοκος. Έτσι εξασφαλίζεται η απόλυτη επαφή των επιφανειών του δοκιμίου με τις πλάκες της συσκευής. Τοποθετούνται τα μηχανοσκόπετρα αντιδιαμετρικά και ακολουθεί η φόρτιση, σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνονται στον υπολογιστή. Στο πέρας της δίνονται στον υπολογιστή στοιχεία τόσο για την επιβαλλόμενη φόρτιση ανά δεδομένες χρονικές στιγμές, όσο και για τις αντίστοιχες παραμορφώσεις.

Ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας έγινε στα δοκίμια ηλικίας περίπου 90 ημερών. Πραγματοποιήθηκαν οι τρεις δοκιμές που περιγράφονται παρακάτω. Ανά κατηγορία εξετάστηκαν τρία δοκίμια από τα οποία το πρώτο υποβλήθηκε στην πρώτη δοκιμή ενώ τα άλλα δύο στις δύο επόμενες.

Δοκιμή 1: Επιβάλλεται θλιπτικό φορτίο στο δοκίμιο με σταθερή ταχύτητα επιβολής $0,2 \text{ N/mm}^2/\text{sec}$ ως τη θραύση του. Από τη δοκιμή αυτή λαμβάνεται τόσο η θλιπτική αντοχή του δοκιμίου (μέγιστο φορτίο), όσο και το μέτρο ελαστικότητας λαμβάνοντας το $1/3$ της θλιπτικής αντοχής και διακλώντας με την αντίστοιχη παραμόρφωση.

Δοκιμή 2: Η επιβολή του φορτίου πραγματοποιείται μέχρι το επιβαλλόμενο φορτίο να φτάσει το $1/3$ της θλιπτικής αντοχής (όπως αυτή υπολογίζεται στη Δοκιμή 1) σε χρόνο $0,30 \text{ sec}$. Πραγματοποιούνται συνεχείς κύκλοι φορτίσεων με περίοδο $0,60 \text{ sec}$. Η επιλογή του χρόνου φόρτισης έγινε με βάση τα σχετικά στοιχεία που μας δίνονται για το χρόνο φόρτισης - αποφόρτισης που προκαλείται από την κίνηση ενός οχήματος κινούμενου με 18 km/h και για βάθος 60 εκ .

Δοκιμή 3: Η επιβολή του φορτίου πραγματοποιείται έτσι ώστε να είναι σταθερή η ταχύτητα παραμόρφωσης και ίση με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στα $0,30$

sec όπως υπολογίζεται από την Δοκιμή 2. Κατά την δοκιμή αυτή παίρνουμε τιμές της τάσης και τις αντίστοιχες παραμορφώσεις και πέρα από το σημείο θραύσης.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

**ΑΡΓΙΛΟΣ + 5% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ
ΗΛΙΚΙΑ 84 ΗΜΕΡΩΝ**

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ kN	ΤΑΣΗ MPa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	E
1		1	0,781	0,203	3,91E-04	MPa 520
5	1009,56	3	0,781	0,203	6,25E-04	325
6	1008,43	3	0,781	0,203	2,74E-04	742 533

Πίνακας 2.41 Προσδιορισμός Μέτρου Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου + 5% Ιπτάμενης Τέφρας ηλικίας 84 ημερών.

**ΑΡΓΙΛΟΣ + 10% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ
ΗΛΙΚΙΑ 84 ΗΜΕΡΩΝ**

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ kN	ΤΑΣΗ MPa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	E
14	954,64	1	2,441	0,634	3,91E-04	MPa 1624
16	954,45	3	2,100	0,546	5,47E-04	997
19	954,42	3	2,783	0,723	8,20E-04	882 939

Πίνακας 2.42 Προσδιορισμός Μέτρου Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου + 10% Ιπτάμενης Τέφρας ηλικίας 84 ημερών.

**ΑΡΓΙΛΟΣ + 20% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ
ΗΛΙΚΙΑ 81 ΗΜΕΡΩΝ**

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ kN	ΤΑΣΗ MPa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	E
28	903,18	1	3,662	0,952	5,08E-04	MPa 1874
29	902,89	3	3,369	0,875	4,30E-04	2038
35	902,42	3	3,760	0,977	5,47E-04	1787 1912

Πίνακας 2.43 Προσδιορισμός Μέτρου Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου + 20% Ιπτάμενης Τέφρας ηλικίας 81 ημερών.

**ΑΡΓΙΛΟΣ + 5% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ +3% ΤΣΙΜΕΝΤΟ
ΗΛΙΚΙΑ 83 ΗΜΕΡΩΝ**

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ kN	ΤΑΣΗ MPa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε	Ε
39	955,27	1	1,563	0,406	3,91E-04	1039	1039
44	954,09	3	1,709	0,444	3,52E-04	1263	
46	954,58	3	1,563	0,406	4,30E-04	945	1104

Πίνακας 2.44 Προσδιορισμός Μέτρου Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου + 5% Ιπτάμενης Τέφρας + 3% Τσιμέντου ηλικίας 83 ημερών.

**ΑΡΓΙΛΟΣ +10% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ +2% ΤΣΙΜΕΝΤΟ
ΗΛΙΚΙΑ 83 ΗΜΕΡΩΝ**

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ kN	ΤΑΣΗ MPa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε	Ε
51	902,66	1	2,441	0,634	3,52E-04	1804	1804
56	904,10	3	2,148	0,558	5,08E-04	1099	
58	902,99	3	2,588	0,672	3,91E-04	1721	1410

Πίνακας 2.45 Προσδιορισμός Μέτρου Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου + 10% Ιπτάμενης Τέφρας + 2% Τσιμέντου ηλικίας 83 ημερών.

ΑΡΓΙΛΟΣ + 2% ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ
ΗΛΙΚΙΑ 82 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ kN	ΤΑΣΗ MPa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	E
						MPa
62	1007,67	1	0,830	0,216	3,91E-04	552
66	1009,07	3	0,781	0,203	5,47E-04	371
71	1007,86	3	0,732	0,190	8,59E-04	221
						296

Πίνακας 2.46 Προσδιορισμός Μέτρουν Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου + 2% Υδρασβέστου ηλικίας 82 ημερών.

ΑΡΓΙΛΟΣ + 4% ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ
ΗΛΙΚΙΑ 82 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΟΚΙΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ kN	ΤΑΣΗ MPa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	E
						MPa
74	1009,11	1	3,418	0,888	5,08E-04	1749
78	1009,37	3	3,223	0,837	4,69E-04	1787
82	1009,34	3	3,369	0,875	4,69E-04	1867
						1827

Πίνακας 2.47 Προσδιορισμός Μέτρουν Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου + 4% Υδρασβέστου ηλικίας 82 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 5% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

ΗΛΙΚΙΑ 84 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ kN	ΤΑΣΗ MPa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε MPa
5	1009,56	0	0,56	0,15	1,94E-04	753
5	1009,56	1	0,63	0,16	2,35E-04	693
5	1009,56	2	0,64	0,17	2,21E-04	747
5	1009,56	3	0,63	0,16	2,45E-04	665
5	1009,56	4	0,62	0,16	2,45E-04	663
5	1009,56	5	0,63	0,16	2,37E-04	688
5	1009,56	6	0,63	0,16	2,43E-04	669
5	1009,56	7	0,63	0,16	2,38E-04	693
5	1009,56	8	0,62	0,16	2,44E-04	665
5	1009,56	9	0,64	0,17	2,41E-04	688
5	1009,56	89	0,60	0,16	2,61E-04	600
5	1009,56	90	0,59	0,15	2,38E-04	644
5	1009,56	91	0,63	0,16	2,44E-04	668
5	1009,56	92	0,62	0,16	2,50E-04	642
5	1009,56	93	0,60	0,16	2,40E-04	650
5	1009,56	94	0,61	0,16	2,52E-04	628
5	1009,56	95	0,62	0,16	2,39E-04	671
5	1009,56	96	0,59	0,15	2,43E-04	627
5	1009,56	97	0,61	0,16	2,47E-04	645
5	1009,56	98	0,62	0,16	2,46E-04	651
5	1009,56	99	0,59	0,15	2,50E-04	614
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			0,61	0,16	2,40E-04	665

Πίνακας 2.48 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου + 5% Ιπτάμενης Τέφρας ηλικίας 84 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 5% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

ΗΛΙΚΙΑ 84 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ Mpa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε Mpa
6	1008,43	0	0,78	0,13	3,30E-04	401
6	1008,43	1	0,60	0,16	4,20E-04	371
6	1008,43	2	0,60	0,15	4,17E-04	371
6	1008,43	3	0,60	0,16	4,26E-04	367
6	1008,43	4	0,60	0,16	4,34E-04	358
6	1008,43	5	0,59	0,15	4,36E-04	354
6	1008,43	6	0,59	0,15	4,23E-04	365
6	1008,43	7	0,61	0,16	4,51E-04	354
6	1008,43	8	0,59	0,15	4,35E-04	355
6	1008,43	9	0,61	0,16	4,37E-04	363
6	1008,43	89	0,61	0,16	4,61E-04	345
6	1008,43	90	0,60	0,16	4,65E-04	338
6	1008,43	91	0,61	0,16	4,66E-04	339
6	1008,43	92	0,61	0,16	4,65E-04	339
6	1008,43	93	0,60	0,16	4,63E-04	337
6	1008,43	94	0,61	0,16	4,57E-04	346
6	1008,43	95	0,61	0,16	4,58E-04	344
6	1008,43	96	0,59	0,15	4,75E-04	324
6	1008,43	97	0,60	0,15	4,72E-04	328
6	1008,43	98	0,59	0,15	4,66E-04	329
6	1008,43	99	0,60	0,16	4,54E-04	346
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			0,61	0,16	4,43E-04	351

Πίνακας 2.49 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου+5% Ιπτάμενης Τέφρας ηλικίας 84 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 10% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

ΗΛΙΚΙΑ 84 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ Mpa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε Mpa
16	954,45	0	2,12	0,55	4,69E-04	1174
16	954,45	1	2,24	0,58	5,01E-04	1159
16	954,45	2	2,23	0,58	4,91E-04	1180
16	954,45	3	2,22	0,58	5,05E-04	1143
16	954,45	4	2,23	0,58	5,19E-04	1118
16	954,45	5	2,23	0,58	5,07E-04	1142
16	954,45	6	2,23	0,58	5,05E-04	1147
16	954,45	7	2,25	0,58	5,08E-04	1148
16	954,45	8	2,21	0,57	5,14E-04	1114
16	954,45	9	2,22	0,58	5,12E-04	1128
16	954,45	89	2,22	0,58	5,25E-04	1099
16	954,45	90	2,24	0,58	5,43E-04	1071
16	954,45	91	2,24	0,58	5,30E-04	1097
16	954,45	92	2,22	0,58	5,36E-04	1076
16	954,45	93	2,22	0,58	5,46E-04	1059
16	954,45	94	2,24	0,58	5,32E-04	1094
16	954,45	95	2,23	0,58	5,36E-04	1081
16	954,45	96	2,23	0,58	5,28E-04	1099
16	954,45	97	2,24	0,58	5,30E-04	1097
16	954,45	98	2,23	0,58	5,32E-04	1089
16	954,45	99	2,21	0,58	5,26E-04	1094
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			2,22	0,58	5,19E-04	1115

Πίνακας 2.50 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου+10% Ιπτάμενης Τέφρας ηλικίας 84 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 10% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

ΗΛΙΚΙΑ 84 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ MPa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε MPa
19	954,42	0	2,12	0,55	4,20E-04	1311
19	954,42	1	2,24	0,58	4,53E-04	1281
19	954,42	2	2,25	0,58	4,67E-04	1251
19	954,42	3	2,24	0,58	4,60E-04	1266
19	954,42	4	2,23	0,58	4,75E-04	1220
19	954,42	5	2,25	0,58	4,59E-04	1273
19	954,42	6	2,22	0,58	4,58E-04	1261
19	954,42	7	2,24	0,58	4,68E-04	1242
19	954,42	8	2,25	0,59	4,58E-04	1278
19	954,42	9	2,25	0,58	4,68E-04	1247
19	954,42	89	2,24	0,58	4,86E-04	1196
19	954,42	90	2,25	0,59	4,76E-04	1230
19	954,42	91	2,26	0,59	4,84E-04	1212
19	954,42	92	2,25	0,58	4,80E-04	1217
19	954,42	93	2,23	0,58	4,83E-04	1200
19	954,42	94	2,25	0,58	4,91E-04	1190
19	954,42	95	2,24	0,58	4,85E-04	1199
19	954,42	96	2,25	0,58	4,72E-04	1237
19	954,42	97	2,25	0,58	4,90E-04	1193
19	954,42	98	2,24	0,58	4,99E-04	1167
19	954,42	99	2,26	0,59	4,85E-04	1209
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			2,24	0,58	4,72E-04	1232

Πίνακας 2.51 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου+10% Ιπτάμενης Τέφρας ηλικίας 84 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 20% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

ΗΛΙΚΙΑ 81 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ Mpa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε Mpa
29	902,89	0	3,27	0,85	3,35E-04	2533
29	902,89	1	3,41	0,89	3,80E-04	2332
29	902,89	2	3,37	0,88	3,72E-04	2355
29	902,89	3	3,39	0,88	3,74E-04	2357
29	902,89	4	3,39	0,88	3,77E-04	2335
29	902,89	5	3,39	0,88	3,42E-04	2575
29	902,89	6	3,38	0,88	3,71E-04	2368
29	902,89	7	3,40	0,88	3,85E-04	2299
29	902,89	8	3,38	0,88	3,85E-04	2282
29	902,89	9	3,39	0,88	3,84E-04	2294
29	902,89	89	3,41	0,89	3,72E-04	2379
29	902,89	90	3,40	0,88	3,77E-04	2339
29	902,89	91	3,40	0,88	3,78E-04	2334
29	902,89	92	3,40	0,88	3,74E-04	2359
29	902,89	93	3,39	0,88	3,73E-04	2357
29	902,89	94	3,39	0,88	3,97E-04	2221
29	902,89	95	3,39	0,88	3,75E-04	2349
29	902,89	96	3,41	0,89	3,68E-04	2409
29	902,89	97	3,40	0,88	3,81E-04	2319
29	902,89	98	3,39	0,88	3,73E-04	2361
29	902,89	99	3,39	0,88	3,77E-04	2338
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			3,39	0,88	3,74E-04	2357

Πίνακας 2.52 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου+20% Ιπτάμενης Τέφρας ηλικίας 81 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 20% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

ΗΛΙΚΙΑ 81 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ Mpa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε Mpa
35	902,42	0	3,18	0,83	3,69E-04	2239
35	902,42	1	3,39	0,88	4,16E-04	2118
35	902,42	2	3,37	0,88	4,11E-04	2133
35	902,42	3	3,36	0,87	4,14E-04	2110
35	902,42	4	3,38	0,88	4,12E-04	2131
35	902,42	5	3,38	0,88	4,24E-04	2071
35	902,42	6	3,37	0,88	4,29E-04	2044
35	902,42	7	3,38	0,88	4,32E-04	2028
35	902,42	8	3,38	0,88	4,29E-04	2043
35	902,42	9	3,38	0,88	4,44E-04	1977
35	902,42	89	3,37	0,88	4,31E-04	2035
35	902,42	90	3,39	0,88	4,34E-04	2030
35	902,42	91	3,37	0,88	4,22E-04	2077
35	902,42	92	3,37	0,88	4,29E-04	2043
35	902,42	93	3,37	0,88	4,22E-04	2078
35	902,42	94	3,38	0,88	4,35E-04	2019
35	902,42	95	3,37	0,88	4,16E-04	2107
35	902,42	96	3,38	0,88	4,22E-04	2081
35	902,42	97	3,37	0,88	4,29E-04	2040
35	902,42	98	3,37	0,88	4,42E-04	1980
35	902,42	99	3,37	0,87	4,31E-04	2031
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			3,37	0,87	4,23E-04	2067

Πίνακας 2.53 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου+20% Ιπτάμενης Τέφρας ηλικίας 81 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 5% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ + 3% ΤΣΙΜΕΝΤΟ

ΗΛΙΚΙΑ 83 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ Mpa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε Mpa
44	954,09	0	1,33	0,34	3,82E-04	903
44	954,09	1	1,35	0,35	4,05E-04	870
44	954,09	2	1,37	0,36	4,04E-04	882
44	954,09	3	1,40	0,36	4,14E-04	881
44	954,09	4	1,38	0,36	3,99E-04	900
44	954,09	5	1,36	0,35	4,22E-04	837
44	954,09	6	1,34	0,35	3,79E-04	919
44	954,09	7	1,37	0,36	4,12E-04	863
44	954,09	8	1,37	0,35	4,20E-04	845
44	954,09	9	1,38	0,36	3,97E-04	903
44	954,09	89	1,34	0,35	4,02E-04	867
44	954,09	90	1,34	0,35	4,30E-04	811
44	954,09	91	1,35	0,35	3,84E-04	917
44	954,09	92	1,36	0,35	4,28E-04	827
44	954,09	93	1,34	0,35	3,94E-04	882
44	954,09	94	1,34	0,35	4,12E-04	844
44	954,09	95	1,34	0,35	3,97E-04	877
44	954,09	96	1,35	0,35	4,13E-04	852
44	954,09	97	1,35	0,35	4,19E-04	837
44	954,09	98	1,36	0,35	4,09E-04	865
44	954,09	99	1,34	0,35	4,20E-04	833
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			1,36	0,35	4,07E-04	867

Πίνακας 2.54 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου, 5% Ιπτάμενης Τέφρας + 3% τσιμέντου ηλικίας 83 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 10% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ + 2% ΤΣΙΜΕΝΤΟ

ΗΛΙΚΙΑ 83 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ Mpa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε Mpa
56	904,10	0	2,11	0,55	4,26E-04	1289
56	904,10	1	2,25	0,58	4,36E-04	1338
56	904,10	2	2,24	0,58	4,27E-04	1362
56	904,10	3	2,25	0,58	4,37E-04	1336
56	904,10	4	2,25	0,58	4,47E-04	1307
56	904,10	5	2,25	0,58	4,34E-04	1347
56	904,10	6	2,24	0,58	4,36E-04	1333
56	904,10	7	2,23	0,58	4,39E-04	1319
56	904,10	8	2,24	0,58	4,49E-04	1294
56	904,10	9	2,26	0,59	4,48E-04	1307
56	904,10	89	2,23	0,58	4,56E-04	1270
56	904,10	90	2,23	0,58	4,63E-04	1255
56	904,10	91	2,24	0,58	4,50E-04	1293
56	904,10	92	2,24	0,58	4,47E-04	1302
56	904,10	93	2,24	0,58	4,70E-04	1242
56	904,10	94	2,23	0,58	4,59E-04	1260
56	904,10	95	2,24	0,58	4,70E-04	1242
56	904,10	96	2,25	0,58	4,62E-04	1264
56	904,10	97	2,23	0,58	4,81E-04	1205
56	904,10	98	2,25	0,58	4,56E-04	1283
56	904,10	99	2,24	0,58	4,72E-04	1234
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			2,23	0,58	4,51E-04	1290

Πίνακας 2.55 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου, 10% Ιπτάμενης Τέφρας + 2% τσιμέντου ηλικίας 83 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 10% ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ + 2% ΤΣΙΜΕΝΤΟ

ΗΛΙΚΙΑ 83 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ Mpa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε Mpa
58	902,99	0	2,12	0,55	4,31E-04	1275
58	902,99	1	2,24	0,58	4,49E-04	1296
58	902,99	2	2,24	0,58	4,60E-04	1268
58	902,99	3	2,24	0,58	4,49E-04	1296
58	902,99	4	2,24	0,58	4,53E-04	1286
58	902,99	5	2,25	0,59	4,65E-04	1260
58	902,99	6	2,23	0,58	4,64E-04	1251
58	902,99	7	2,24	0,58	4,63E-04	1254
58	902,99	8	2,23	0,58	4,56E-04	1269
58	902,99	9	2,25	0,58	4,78E-04	1222
58	902,99	89	2,23	0,58	4,51E-04	1287
58	902,99	90	2,23	0,58	4,79E-04	1208
58	902,99	91	2,22	0,58	4,64E-04	1245
58	902,99	92	2,21	0,57	4,84E-04	1188
58	902,99	93	2,23	0,58	4,78E-04	1213
58	902,99	94	2,22	0,58	4,59E-04	1257
58	902,99	95	2,22	0,58	4,66E-04	1236
58	902,99	96	2,23	0,58	4,67E-04	1237
58	902,99	97	2,24	0,58	4,65E-04	1253
58	902,99	98	2,24	0,58	4,68E-04	1243
58	902,99	99	2,24	0,58	4,62E-04	1260
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			2,23	0,58	4,62E-04	1253

Πίνακας 2.56 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου, 10% Ιπτάμενης Τέφρας+2% τσιμέντου ηλικίας 83 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2
ΑΡΓΙΛΟΣ + 2% ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ
ΗΛΙΚΙΑ 82 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ Mpa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε Mpa
66	1009,07	0	0,43	0,11	3,56E-04	312
66	1009,07	1	0,48	0,13	3,99E-04	316
66	1009,07	2	0,50	0,13	4,07E-04	321
66	1009,07	3	0,50	0,13	4,18E-04	310
66	1009,07	4	0,50	0,13	4,09E-04	316
66	1009,07	5	0,49	0,13	3,81E-04	335
66	1009,07	6	0,48	0,13	4,00E-04	315
66	1009,07	7	0,50	0,13	4,28E-04	306
66	1009,07	8	0,49	0,13	4,18E-04	303
66	1009,07	9	0,50	0,13	4,14E-04	317
66	1009,07	89	0,57	0,15	4,71E-04	313
66	1009,07	90	0,55	0,14	4,66E-04	308
66	1009,07	91	0,55	0,14	4,70E-04	305
66	1009,07	92	0,54	0,14	4,95E-04	283
66	1009,07	93	0,56	0,15	4,64E-04	316
66	1009,07	94	0,56	0,14	4,63E-04	312
66	1009,07	95	0,55	0,14	4,81E-04	295
66	1009,07	96	0,58	0,15	4,87E-04	309
66	1009,07	97	0,57	0,15	4,97E-04	298
66	1009,07	98	0,57	0,15	4,77E-04	308
66	1009,07	99	0,57	0,15	4,78E-04	309
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			0,53	0,14	4,42E-04	310

Πίνακας 2.57 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου+2% Υδρασβεστού ηλικίας 82 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 2% ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ

ΗΛΙΚΙΑ 82 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ Mpa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε Mpa
71	1007,86	0	0,43	0,11	4,64E-04	240
71	1007,86	1	0,47	0,12	5,31E-04	230
71	1007,86	2	0,49	0,13	5,85E-04	217
71	1007,86	3	0,49	0,13	5,71E-04	221
71	1007,86	4	0,47	0,12	5,65E-04	218
71	1007,86	5	0,48	0,12	5,74E-04	215
71	1007,86	6	0,49	0,13	5,63E-04	227
71	1007,86	7	0,49	0,13	5,84E-04	219
71	1007,86	8	0,49	0,13	6,10E-04	208
71	1007,86	9	0,51	0,13	5,94E-04	221
71	1007,86	89	0,56	0,15	6,82E-04	213
71	1007,86	90	0,55	0,14	6,99E-04	204
71	1007,86	91	0,55	0,14	6,91E-04	208
71	1007,86	92	0,55	0,14	6,81E-04	211
71	1007,86	93	0,56	0,15	6,73E-04	217
71	1007,86	94	0,56	0,15	6,73E-04	218
71	1007,86	95	0,55	0,14	6,90E-04	206
71	1007,86	96	0,56	0,14	6,94E-04	209
71	1007,86	97	0,55	0,14	6,78E-04	210
71	1007,86	98	0,56	0,14	6,90E-04	210
71	1007,86	99	0,55	0,14	6,93E-04	206
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			0,52	0,13	6,28E-04	216

Πίνακας 2.58 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου+2% Υδρασβεστόν ηλικίας 82 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 4% ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ

ΗΛΙΚΙΑ 82 ΗΜΕΡΩΝ

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ Mpa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	Ε Mpa
78	1009,37	0	3,01	0,78	0,000405817	1925
78	1009,37	1	3,15	0,82	0,000495474	1653
78	1009,37	2	3,14	0,81	0,000441361	1846
78	1009,37	3	3,16	0,82	0,000468515	1752
78	1009,37	4	3,14	0,82	0,000474119	1722
78	1009,37	5	3,15	0,82	0,000447134	1829
78	1009,37	6	3,13	0,81	0,0004772	1706
78	1009,37	7	3,14	0,82	0,000458534	1780
78	1009,37	8	3,14	0,82	0,000478936	1706
78	1009,37	9	3,15	0,82	0,000463334	1768
78	1009,37	89	3,13	0,81	0,000500934	1625
78	1009,37	90	3,13	0,81	0,000441606	1843
78	1009,37	91	3,14	0,82	0,00045951	1778
78	1009,37	92	3,14	0,82	0,000517855	1575
78	1009,37	93	3,14	0,82	0,000435898	1870
78	1009,37	94	3,15	0,82	0,000506572	1614
78	1009,37	95	3,14	0,82	0,000419215	1945
78	1009,37	96	3,14	0,82	0,000516036	1582
78	1009,37	97	3,14	0,82	0,000489287	1668
78	1009,37	98	3,14	0,82	0,000448622	1818
78	1009,37	99	3,14	0,81	0,000507384	1606
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			3,14	0,81	4,69E-04	1743

Πίνακας 2.59 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου+4% Υδρασβεστού ηλικίας 82 ημερών.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΡΓΙΛΟΣ + 4% ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ

ΗΛΙΚΙΑ 82 ΗΜΕΡΩΝ

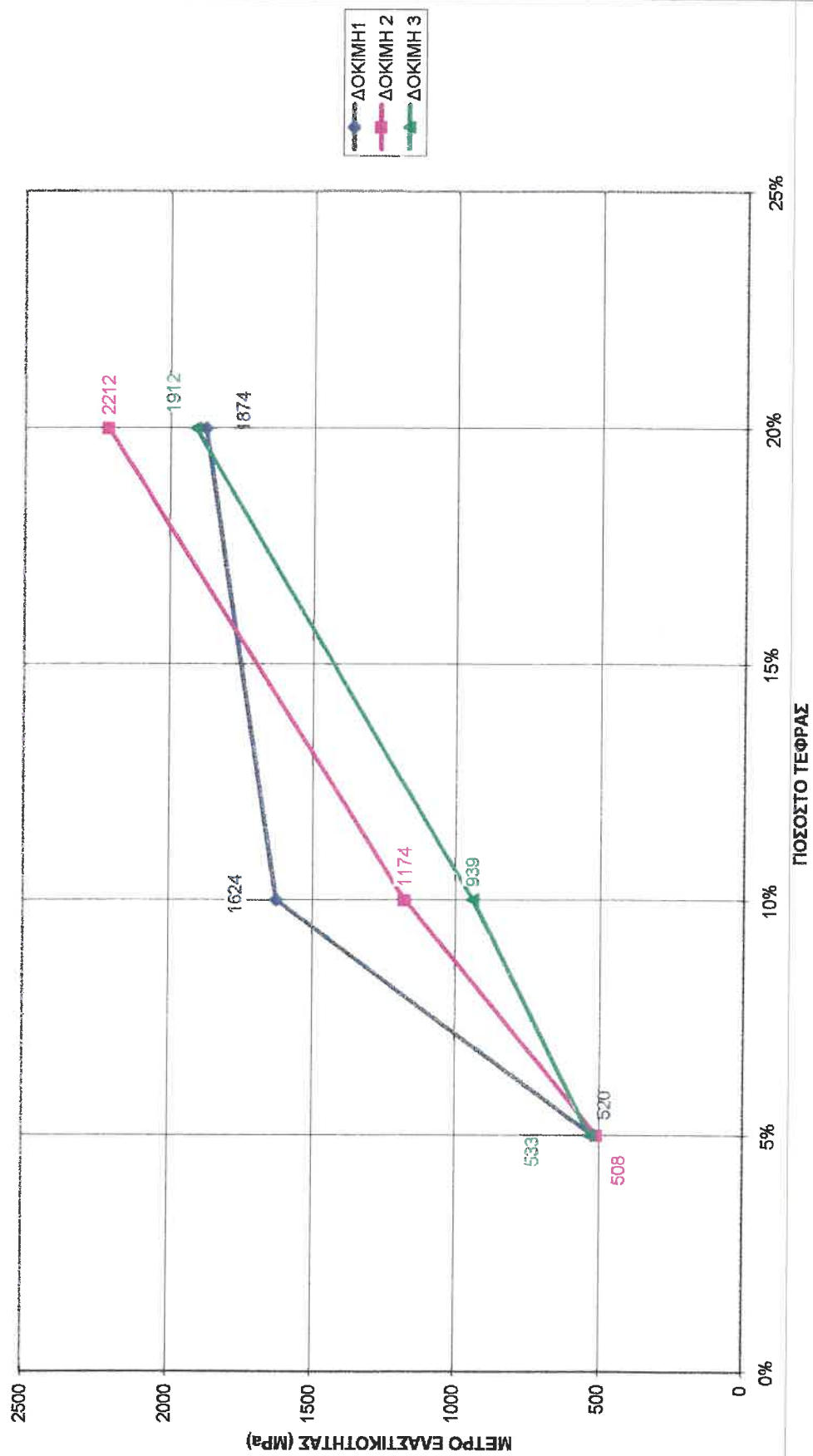
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΤΑΣΗ Mpa	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	E Mpa
82	1009,34	0	3,00	0,78	4,58E-04	1705
82	1009,34	1	3,15	0,82	4,90E-04	1671
82	1009,34	2	3,15	0,82	5,19E-04	1574
82	1009,34	3	3,17	0,82	5,00E-04	1646
82	1009,34	4	3,16	0,82	5,10E-04	1608
82	1009,34	5	3,15	0,82	4,84E-04	1693
82	1009,34	6	3,15	0,82	5,13E-04	1597
82	1009,34	7	3,15	0,82	5,29E-04	1546
82	1009,34	8	3,15	0,82	4,83E-04	1694
82	1009,34	9	3,16	0,82	4,95E-04	1662
82	1009,34	89	3,15	0,82	5,32E-04	1540
82	1009,34	90	3,15	0,82	5,06E-04	1619
82	1009,34	91	3,15	0,82	4,93E-04	1660
82	1009,34	92	3,16	0,82	5,39E-04	1523
82	1009,34	93	3,15	0,82	5,28E-04	1547
82	1009,34	94	3,16	0,82	5,20E-04	1578
82	1009,34	95	3,17	0,82	5,03E-04	1637
82	1009,34	96	3,16	0,82	5,13E-04	1601
82	1009,34	97	3,16	0,82	5,13E-04	1601
82	1009,34	98	3,15	0,82	5,01E-04	1632
82	1009,34	99	3,16	0,82	5,03E-04	1630
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			3,15	0,82	5,06E-04	1617

Πίνακας 2.60 Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας για το μίγμα Αργίλου+4% Υδρασβέστου ηλικίας 82 ημερών.

ΥΛΙΚΟ	ΔΟΚΙΜΗ 1	ΔΟΚΙΜΗ 2	ΔΟΚΙΜΗ 3
ΑΡΓΙΛΟΣ + 5% ΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ	520	508	533
ΑΡΓΙΛΟΣ + 10% ΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ	1624	1174	939
ΑΡΓΙΛΟΣ + 20% ΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ	1874	2212	1912
ΑΡΓΙΛΟΣ,5% ΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ+3% ΤΣΙΜΕΝΤΟ	1039	867	1104
ΑΡΓΙΛΟΣ,10% ΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ+2% ΤΣΙΜΕΝΤΟ	1804	1272	1410
ΑΡΓΙΛΟΣ + 2% ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ	552	263	296
ΑΡΓΙΛΟΣ + 4% ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ	1749	1680	1827

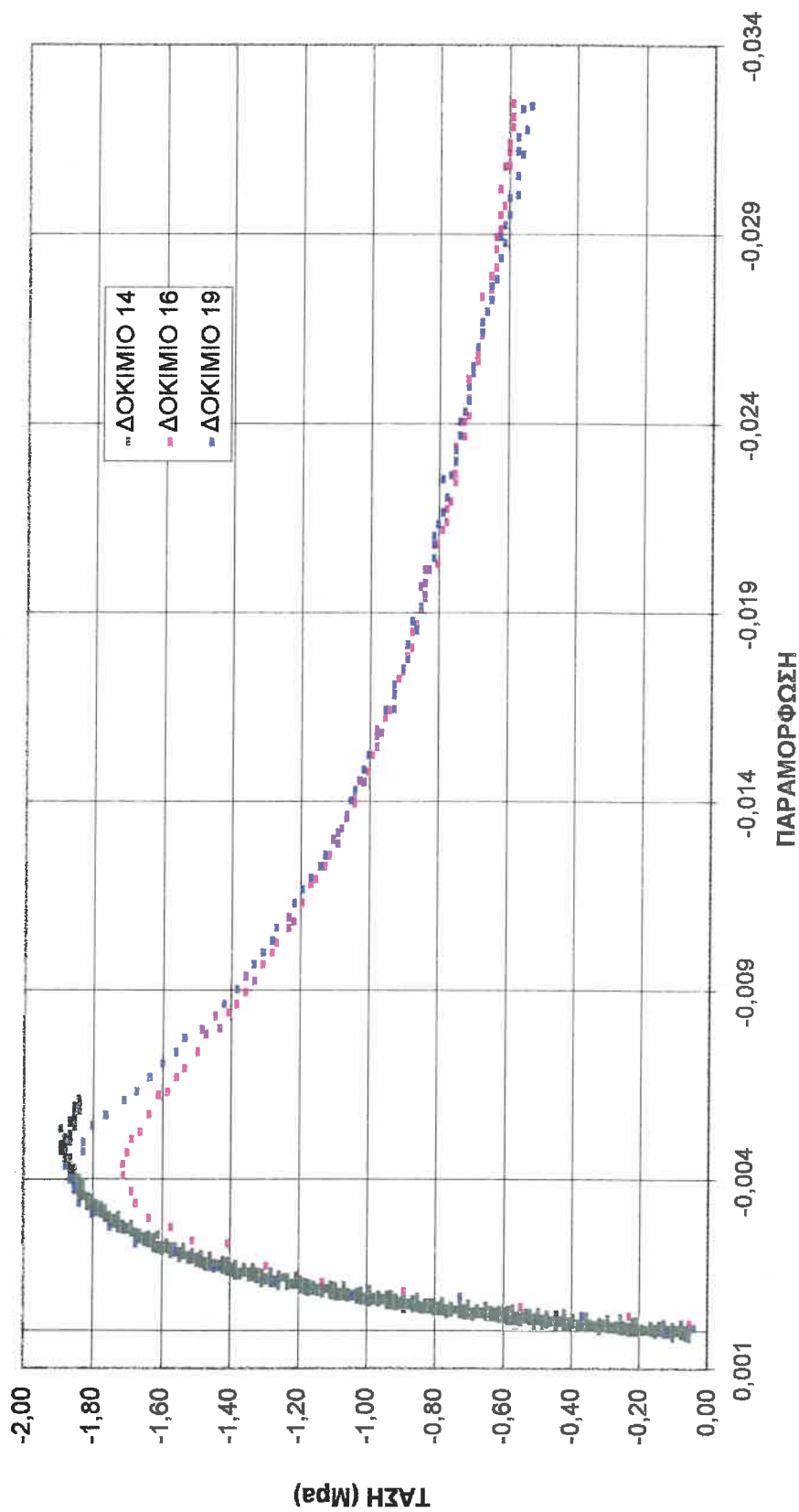
Πίνακας 2.61 Συγκεντρωτικός πίνακας των μέτρων ελαστικότητας όπως προκύπτουν και από τις τρεις δοκιμές.

ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΤΕΦΡΑΣ



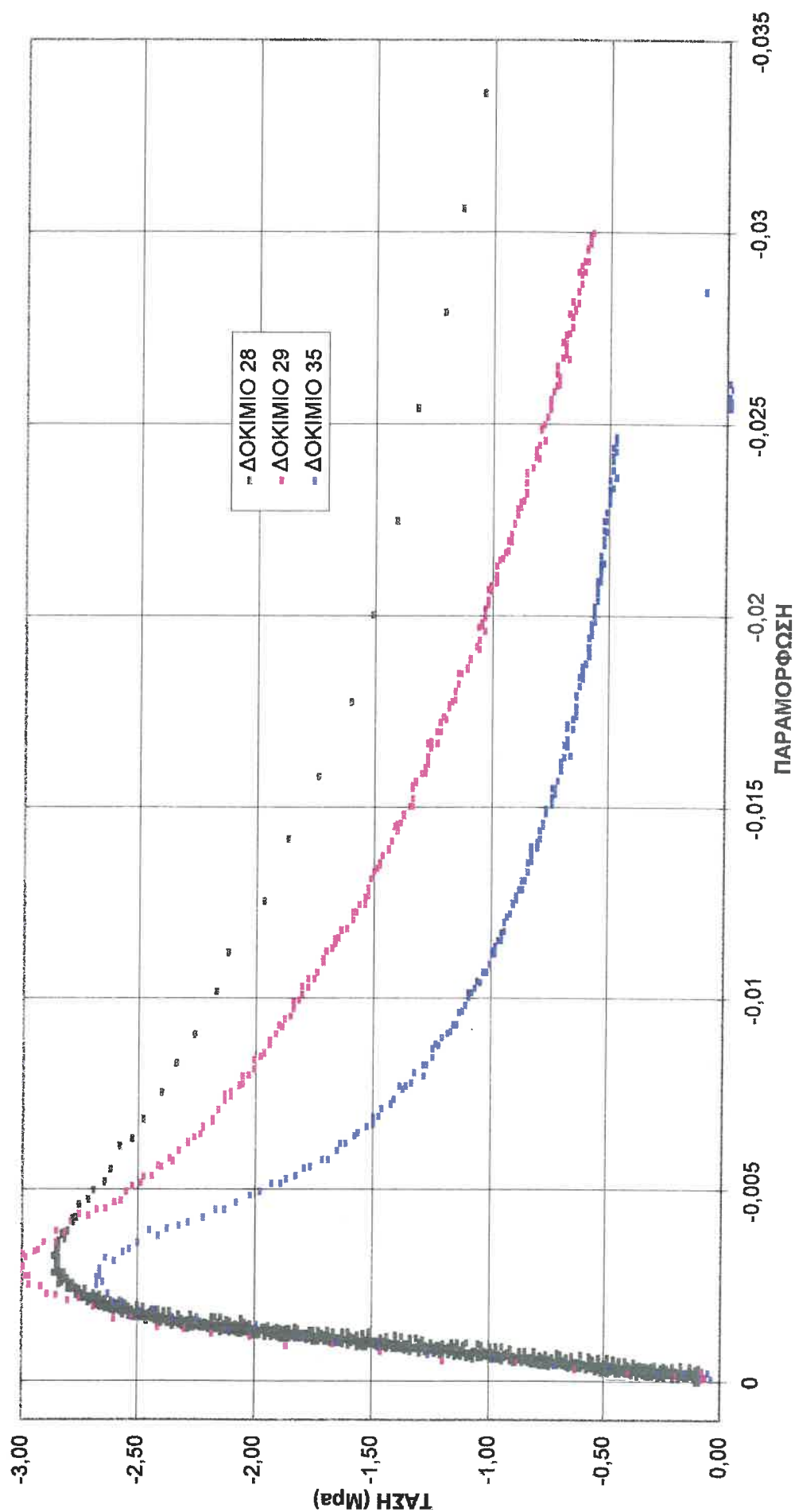
Διάγραμμα 9 Μέτρα Ελαστικότητας συναρτήσει του ποσοστού τέφρας για τις διάφορες δοκιμές.

**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ - ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ + 10% ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ
ΗΛΙΚΙΑΣ 84 ΗΜΕΡΩΝ**



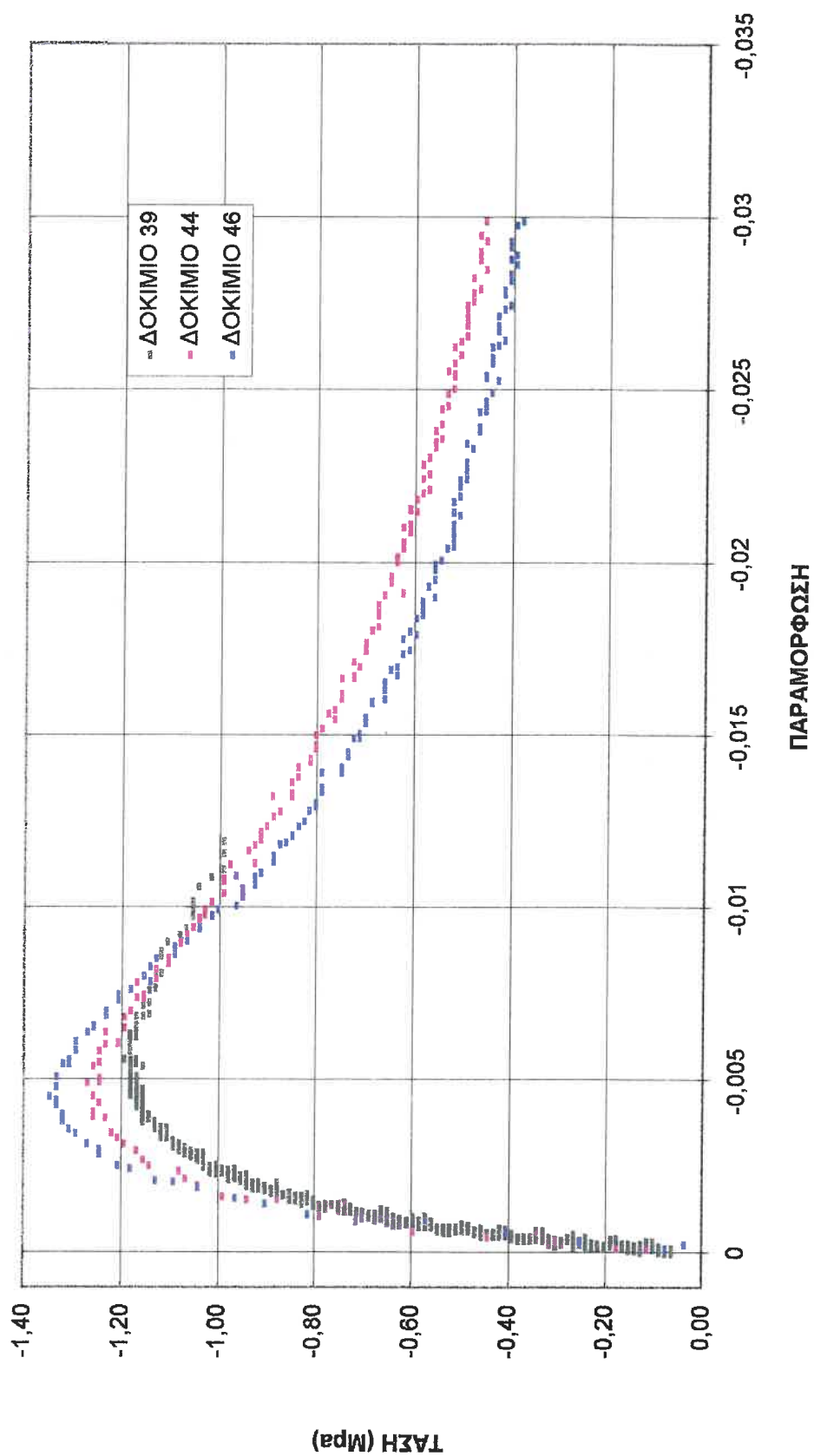
Διάγραμμα 10 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων αργίλου + 10% Ιπτάμενης τέφρας ηλικίας 84 ημερών, όπως προκύπτει από τις δοκιμές 1,3.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ + 20% ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ
ΗΛΙΚΙΑΣ 81 ΗΜΕΡΩΝ



Διάγραμμα 11 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων αργίλου + 20% Ιπτάμενης τέφρας ηλικίας 81 ημερών, όπως προκύπτει από τις δοκιμές 1,3.

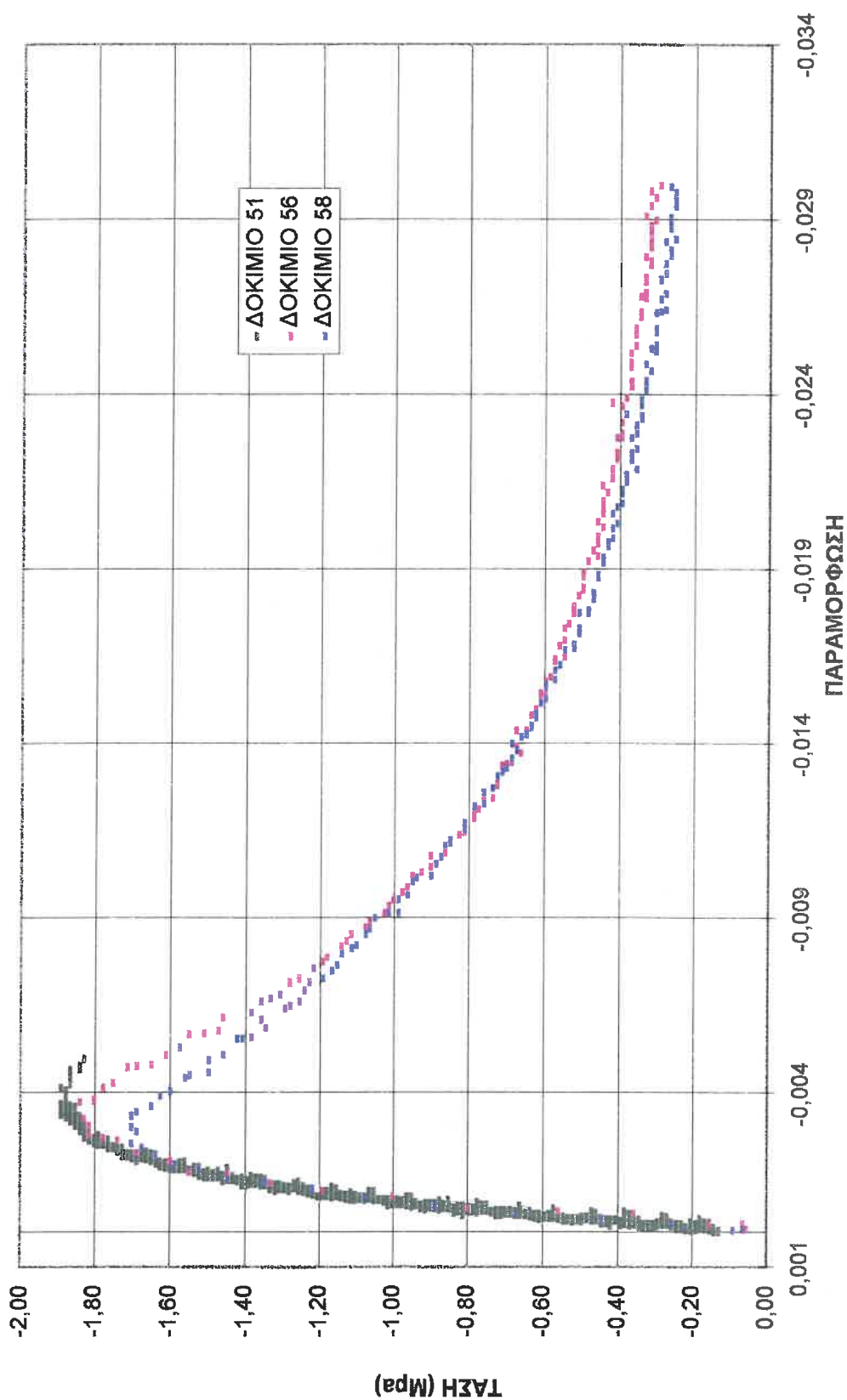
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ, 5% ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ + 3% ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ
ΗΛΙΚΙΑΣ 83 ΗΜΕΡΩΝ



Διάγραμμα 12 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων αργίλου, 5% ιπτάμενης τέφρας + 3% τσιμέντου ηλικίας 83 ημερών, όπως προκύπτει από τις δοκιμές 1,3.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ, 10% ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ + 2% ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

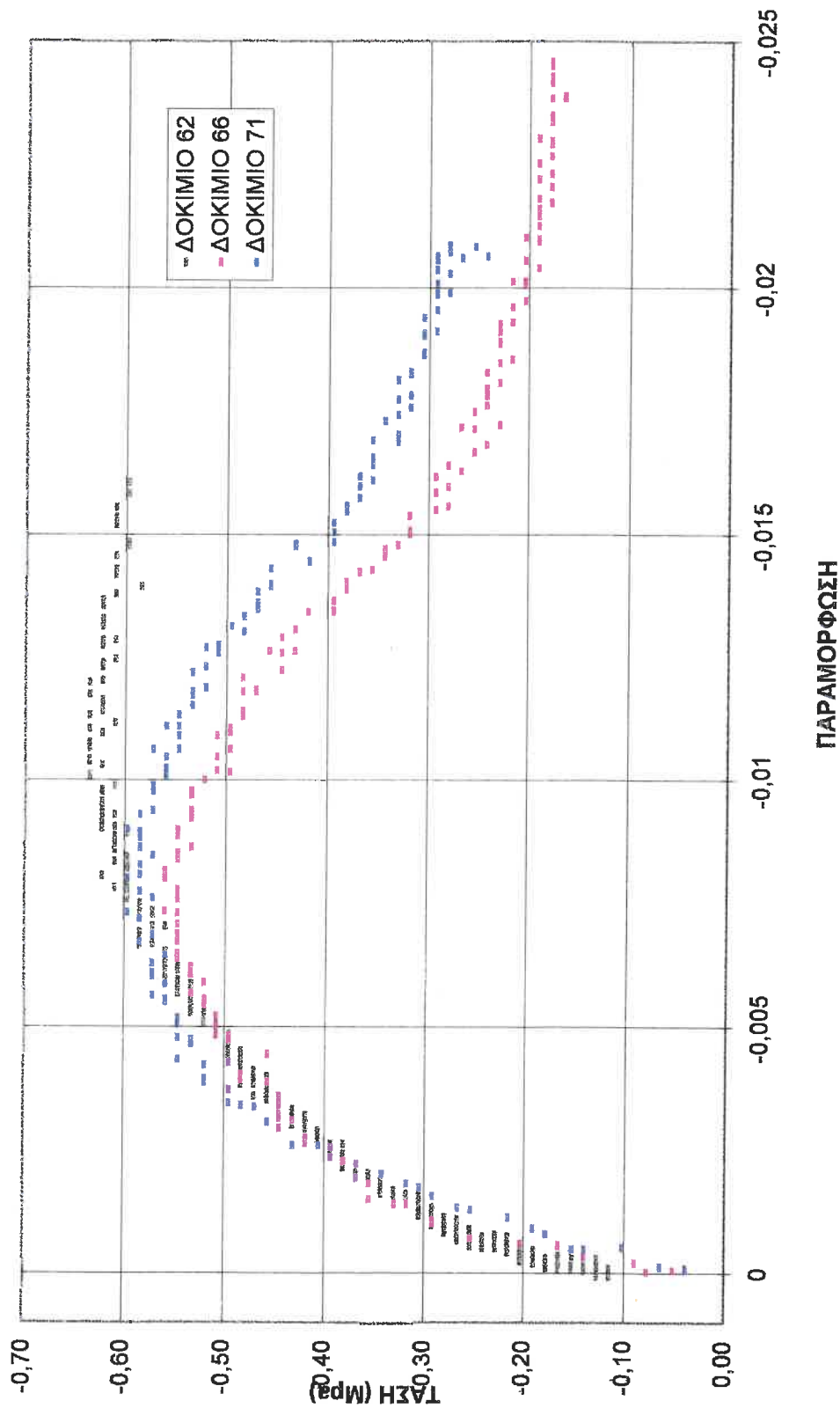
ΗΛΙΚΙΑΣ 83 ΗΜΕΡΩΝ



Διάγραμμα 13 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων αργίλου, 10% ιπτάμενης τέφρας + 2% τσιμέντου ηλικίας 83 ημερών, όπως προκύπτει από τις δοκιμές 1,3.

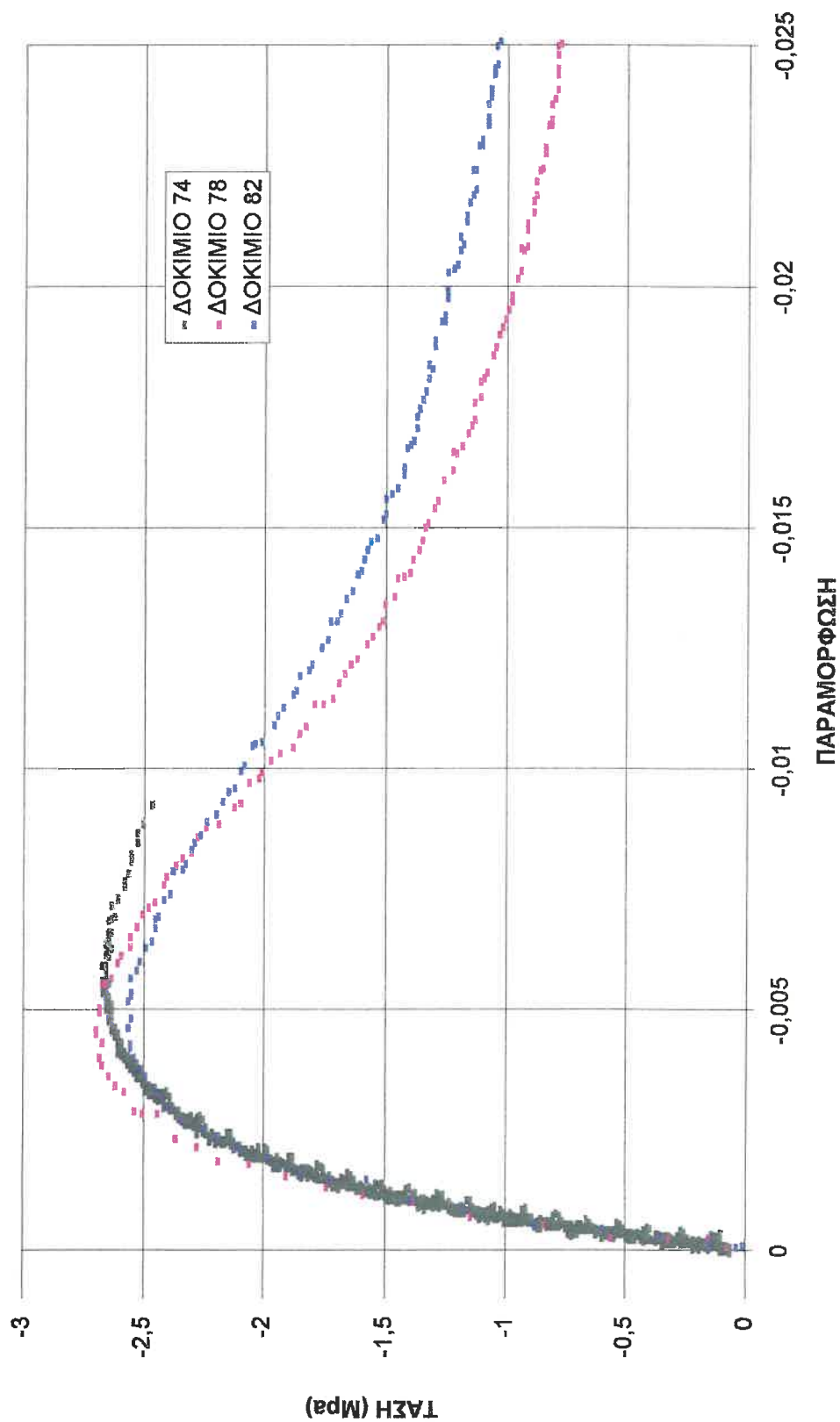
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ + 2% ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ

ΗΛΙΚΙΑΣ 82 ΗΜΕΡΩΝ



Διάγραμμα 14 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων αργίλου + 2% υδρασβεστόν ηλικίας 82 ημερών, όπως προκύπτει από τις δοκιμές 1, 3.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΡΓΙΛΟΥ + 4% ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ
ΗΛΙΚΙΑΣ 82 ΗΜΕΡΩΝ



Διάγραμμα 15 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων αργίλου + 4% υδρασβέστου ηλικίας 82 ημερών, όπως προκύπτει από τις δοκιμές 1,3.

Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Αντοχή σε ανεμπόδιστη (μονοαξονική) θλίψη

Οι δοκιμές για τον προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των κυλινδρικών δοκιμίων πραγματοποιήθηκαν σε ηλικία 7 ημερών και περίπου 80 ημερών, ούτως ώστε να εξεταστούν τα φορτία που μπορούν να αναλάβουν άμεσα αλλά και μετά την εκδήλωση της ποζολανικής αντίδρασης. Τα δοκίμια που εξετάστηκαν από την κάθε κατηγορία ήταν τρία και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μπορεί να ελεγχθεί με τον συντελεστή μεταβλητότητας που φαίνεται στους αντίστοιχους Πίνακες. Παρατηρώντας ότι ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται γύρω στο 7% μπορούμε να πούμε ότι αν και οι δοκιμές ήταν λίγες μπορούμε να βγάλουμε σημαντικά και βάσιμα συμπεράσματα για τους σκοπούς της εργασίας αυτής.

Μια πρώτη παρατήρηση είναι ότι με τον χρόνο παρατηρείται αύξηση των αντοχών και μάλιστα ο μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης παρατηρείται για το μίγμα Αργίλου + 4% Υδρασβέστου. Τα μίγματα που περιέχουν και τσιμέντο παρουσιάζουν συγκριτικά μεγάλες αρχικές αντοχές, λόγω της άμεσης δράσης του τσιμέντου, μικρό όμως ρυθμό αύξησης σε συνάρτηση με το χρόνο. Επιπλέον, για τα μίγματα με την ιπτάμενη τέφρα, παρατηρούμε ότι η αντοχή εξαρτάται από την ποσότητα της Ιπτάμενης τέφρας. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα (20%) τόσο μεγαλύτερες είναι οι αναπτυσσόμενες αντοχές.

Επίσης παρατηρούμε ότι η αντοχή του μίγματος Αργίλου, 10% Ιπτάμενης Τέφρας και 2% Τσιμέντου, που αναμενόταν να είναι μεγαλύτερη από την αντοχή του μίγματος Αργίλου + 10% Ιπτάμενης Τέφρας, προκύπτει μικρότερη. Εξαιτίας του μικρού δείγματος και της πιθανότητας εργαστηριακού σφάλματος κρίνεται αναγκαία η περαιτέρω διερεύνηση.

Συγκρίνοντας και με αντίστοιχη διπλωματική εργασία, [24] με τα αποτελέσματα της Αργίλου II, παρατηρούμε ότι τα συμπεράσματα είναι παρόμοια οι αναπτυσσόμενες όμως αντοχές είναι πολύ μικρότερες από αυτές που υπολογίστηκαν στην διπλωματική αυτή. Ίσως οι διαφορές να οφείλονται στο ότι τελικά το εδαφικό υλικό δεν ήταν το ίδιο ή ενδέχεται να οφείλεται σε διαφορές στην παρασκευή και συντήρηση (θερμοκρασία) των δοκιμίων. Περαιτέρω διερεύνηση θα μας δώσει την απάντηση.

Αντοχή σε αντιδιαμετρική θλίψη (διάρρηξη)

Ομοίως με την δοκιμή σε ανεμπόδιστη θλίψη χρησιμοποιήθηκαν τρία δοκίμια από την κάθε κατηγορία που εξετάστηκαν σε ηλικίες 7 και περίπου 80 ημερών για τους προαναφερθέντες λόγους. Ενδεικτικό της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων εξακολουθεί να αποτελεί ο συντελεστής μεταβλητότητας που παρουσιάζεται αρκετά μεγάλος. Δεδομένου ότι στη δοκιμή αυτή η φόρτιση και η θραύση παρατηρείται σε ένα επίπεδο που μπορεί να παρουσιάζει και κάποιες ατέλειες, η μεγάλη διασπορά των αποτελεσμάτων είναι αναμενόμενη. Ωστόσο στις περιπτώσεις που ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από το 10% (όπως στην περίπτωση των δοκιμών Αργίλου, 5% ιπτάμενης τέφρας και 3% τσιμέντου που ο συντελεστής μεταβλητότητας προκύπτει 27%) απαιτείται περαιτέρω εξέταση.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι παρόμοια με αυτά που αναπτύχθηκαν στην Δοκιμή Μονοαξονικής Θλίψης. Επιπλέον η σύγκριση με την αντίστοιχη Διπλωματική Εργασία [24] δεν μας δίνει πολύ μεγάλες διαφορές στα αποτελέσματα όπως στη Θλίψη.

Προσδιορισμός Μέτρου Ελαστικότητας

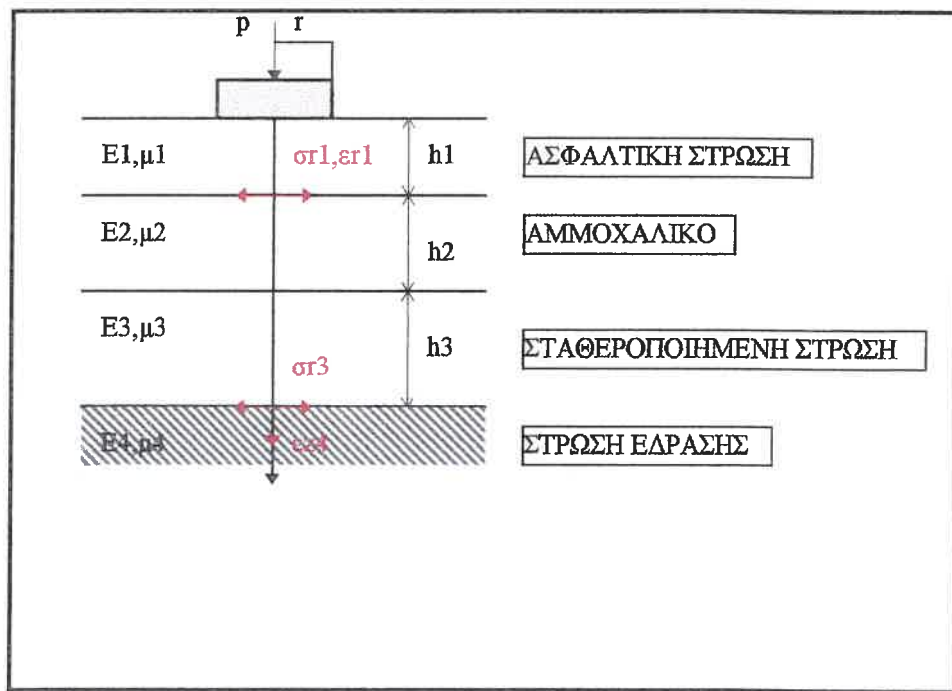
Όπως έχει προαναφερθεί το Μέτρο Ελαστικότητας υπολογίσθηκε στις τριάδες των δοκιμών ηλικίας περίπου 80 ημερών μέσω των τριών δοκιμών. Το μέτρο ελαστικότητας, όπως φαίνεται από το *Διάγραμμα 9*, αυξάνεται με την αύξηση του περιεχόμενου ποσοστού ιπτάμενης τέφρας. Όπως παρουσιάζεται από το ίδιο διάγραμμα τα Μέτρα Ελαστικότητας όπως προκύπτουν από τις τρεις Δοκιμές έχουν μικρές διαφορές, εξαιρώντας την τιμή του Μέτρου Ελαστικότητας από την δοκιμή 1 για 10% Ιπτάμενη Τέφρα που μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει σφάλμα, δεδομένου ότι υπολογίσθηκε από ένα μόνο δοκίμιο.

Τέλος συγκρίνοντας με την αντίστοιχη Διπλωματική Εργασία [24] παρατηρούμε ότι τα Μέτρα Ελαστικότητας είναι πολύ μικρά σε σχέση με τα αντίστοιχα αυτής της Διπλωματικής Εργασίας. Το γεγονός αυτό ενδέχεται να οφείλεται στα πολύ μικρότερα φορτία που αναπτύσσονται και πρέπει να εξετασθεί.

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Εισαγωγή

Στο τρίτο αυτό μέρος γίνεται μια προσπάθεια υπολογισμού εντατικών μεγεθών στις κρίσιμες θέσεις της διατομής του οδοστρώματος που φαίνεται παρακάτω. Οι παράμετροι που μεταβάλλονται είναι τόσο τα Μέτρα Ελαστικότητας όσο και τα πάχη των στρώσεων. Η όλη προσέγγιση έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος Bisar και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη βοήθεια διαγραμμάτων, από τα οποία μπορούν να εξαχθούν πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα.



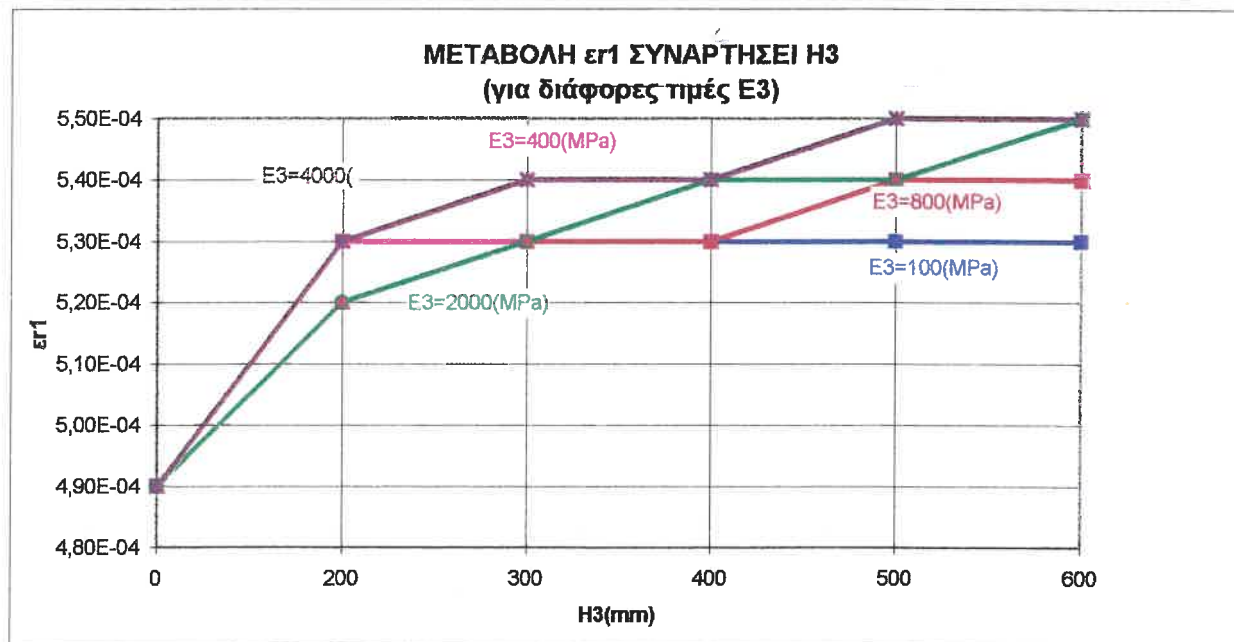
Σχήμα 13 Το στατικό προσομοίωμα του οδοστρώματος που μελετάται.

Οι παράμετροι και τα μεγέθη που παρουσιάζονται στο μέρος αυτό είναι:

- h_1 = Πάχος ασφαλτικής στρώσης (mm)
- h_2 = Πάχος στρώσης από αμμοχάλικο (mm)
- h_3 = Πάχος σταθεροποιημένης στρώσης (mm)
- E_1 = Μέτρο Ελαστικότητας της ασφαλτικής στρώσης (MPa)
- E_2 = Μέτρο Ελαστικότητας της στρώσης από Αμμοχάλικο (MPa)

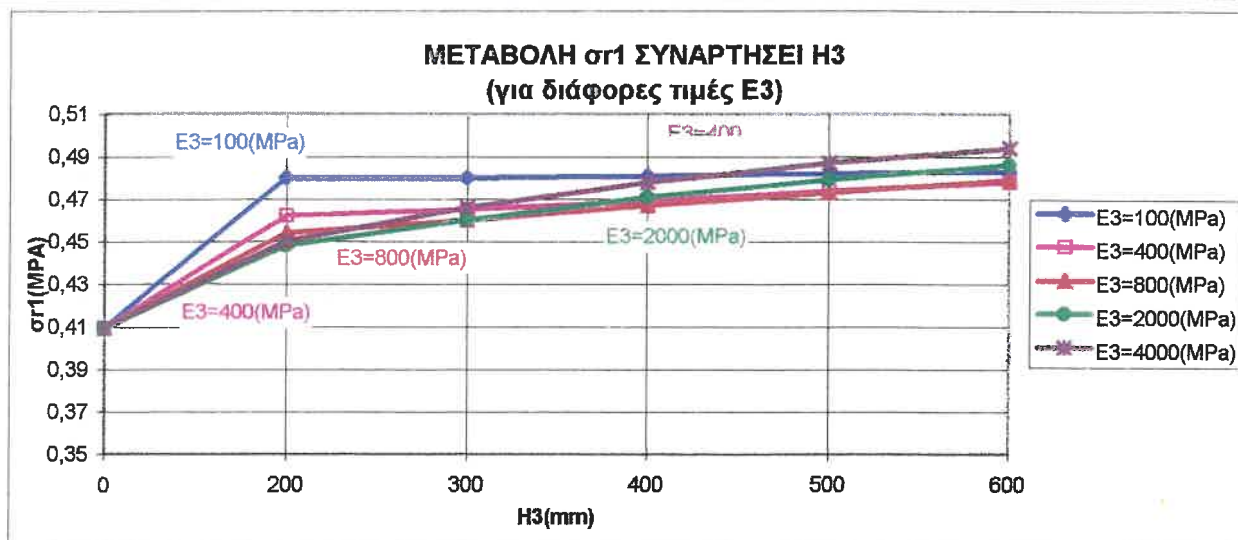
- $E3$ = Μέτρο Ελαστικότητας της Σταθεροποιημένης στρώσης (MPa)
- $E4$ = Μέτρο Ελαστικότητας της στρώσης έδρασης (MPa)
- $\mu1$ = Λόγος του Poisson της Ασφαλτικής στρώσης (0,40)
- $\mu2$ = Λόγος του Poisson της Στρώσης από Αμμοχάλικο (0,40)
- $\mu3$ = Λόγος του Poisson της Σταθεροποιημένης στρώσης (0,30)
- $\mu4$ = Λόγος του Poisson της Στρώσης Έδρασης (0,40)
- p = Πίεση Ελαστικού Επισώτρου (13t απλός τροχός, $p=0.92$ MPa)
- r = Ακτίνα κύκλου επαφής (150 mm)
- $\sigma1$ (MPa), $\epsilon r1$ = Κριτήρια για την αντοχή σε ρηγμάτωση της ασφαλτικής στρώσης
- $\sigma3$ (MPa) = Κριτήριο για την αντοχή σε ρηγμάτωση της σταθεροποιημένης στρώσης
- $\epsilon z4$ = Κριτήριο για την αστοχία - παραμορφωσιμότητα της στρώσης έδρασης.

	H3(mm)	ϵ_{r1} E3=100(MPa)	ϵ_{r1} E3=400(MPa)	ϵ_{r1} E3=800(MPa)	ϵ_{r1} E3=2000(MPa)	ϵ_{r1} E3=4000(MPa)
	0	4,90E-04	4,90E-04	4,90E-04	4,90E-04	4,90E-04
E1=1000(MPa)	200	5,30E-04	5,30E-04	5,20E-04	5,20E-04	5,30E-04
E2=300(MPa)	300	5,30E-04	5,30E-04	5,30E-04	5,30E-04	5,40E-04
E4=50(MPa)	400	5,30E-04	5,30E-04	5,30E-04	5,40E-04	5,40E-04
H1=100(mm)	500	5,30E-04	5,40E-04	5,40E-04	5,40E-04	5,50E-04
H2=300(mm)	600	5,30E-04	5,40E-04	5,40E-04	5,50E-04	5,50E-04



Διάγραμμα 3.1 Μεταβολή ϵ_{r1} συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

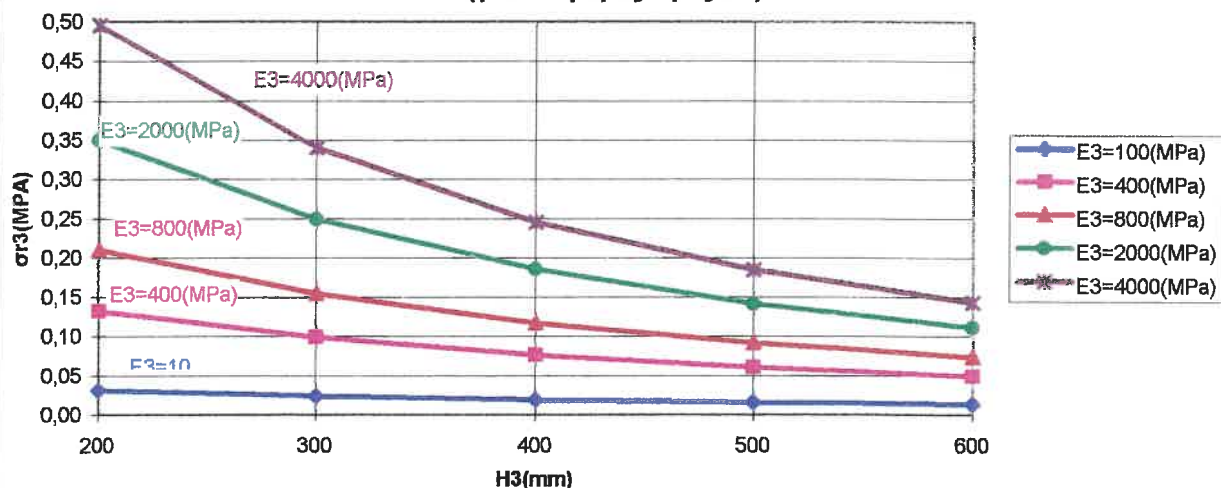
	H3(mm)	σ_{r1} E3=100(MPa)	σ_{r1} E3=400(MPa)	σ_{r1} E3=800(MPa)	σ_{r1} E3=2000(MPa)	σ_{r1} E3=4000(MPa)
	0	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
E1=1000(MPa)	200	0,48	0,46	0,45	0,45	0,45
E2=300(MPa)	300	0,48	0,47	0,46	0,46	0,47
E4=50(MPa)	400	0,48	0,47	0,47	0,47	0,48
H1=100(mm)	500	0,48	0,47	0,47	0,48	0,49
H2=300(mm)	600	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49



Διάγραμμα 3.2 Μεταβολή σ_{r1} συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H3(mm)	E3=100(MPa)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=1000(MPa)	200	0,03	0,13	0,21	0,35	0,50
E2=300(MPa)	300	0,02	0,10	0,15	0,25	0,34
E4=50(MPa)	400	0,02	0,08	0,12	0,19	0,25
H1=100(mm)	500	0,02	0,06	0,09	0,14	0,18
H2=300(mm)	600	0,01	0,05	0,07	0,11	0,14

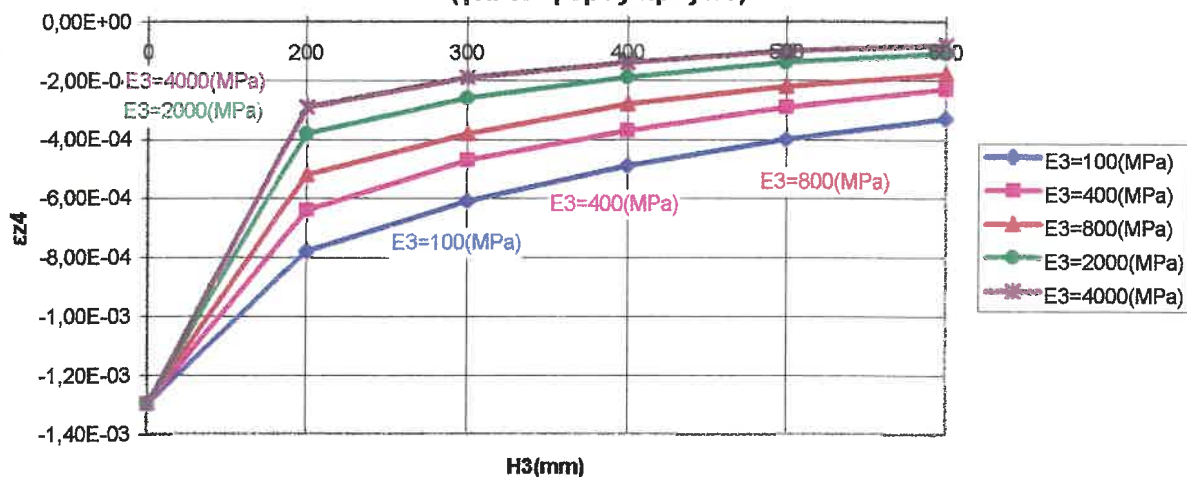
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.3 Μεταβολή σ_3 συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

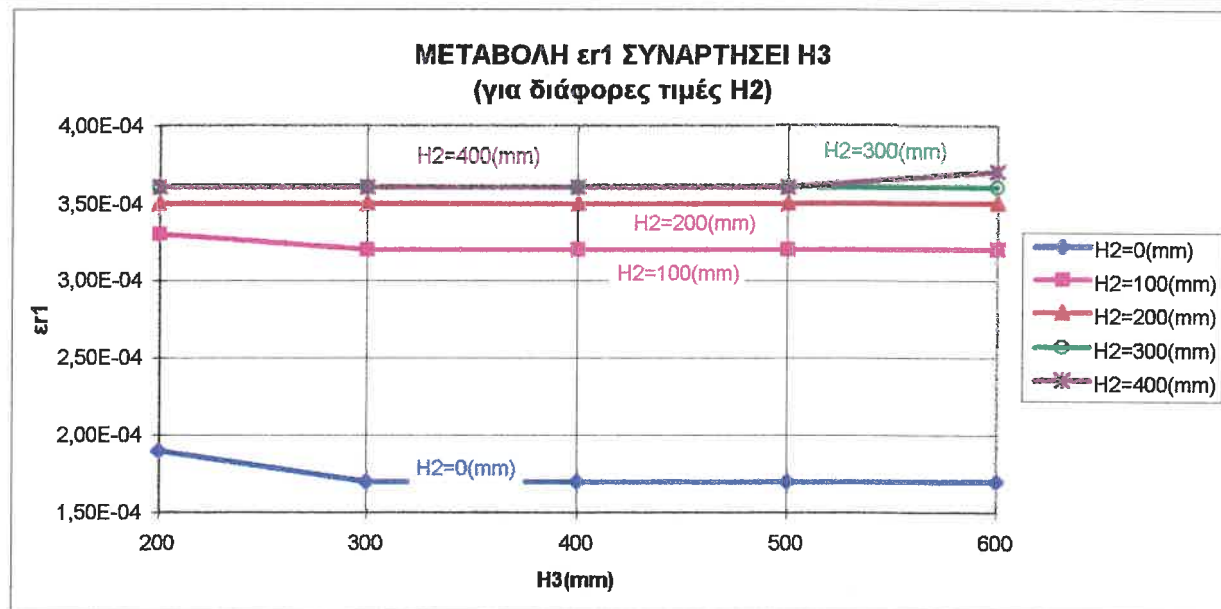
		ε_4	ε_4	ε_4	ε_4	ε_4
	H3(mm)	E3=100(MPa)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
	0	-1,30E-03	-1,30E-03	-1,30E-03	-1,30E-03	-1,30E-03
E1=1000(MPa)	200	-7,80E-04	-6,40E-04	-5,20E-04	-3,80E-04	-2,90E-04
E2=300(MPa)	300	-6,10E-04	-4,70E-04	-3,80E-04	-2,60E-04	-1,90E-04
E4=50(MPa)	400	-4,90E-04	-3,70E-04	-2,80E-04	-1,90E-04	-1,40E-04
H1=100(mm)	500	-4,00E-04	-2,90E-04	-2,20E-04	-1,40E-04	-1,00E-04
H2=300(mm)	600	-3,30E-04	-2,30E-04	-1,80E-04	-1,10E-04	-8,00E-05

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ε_4 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές E3)



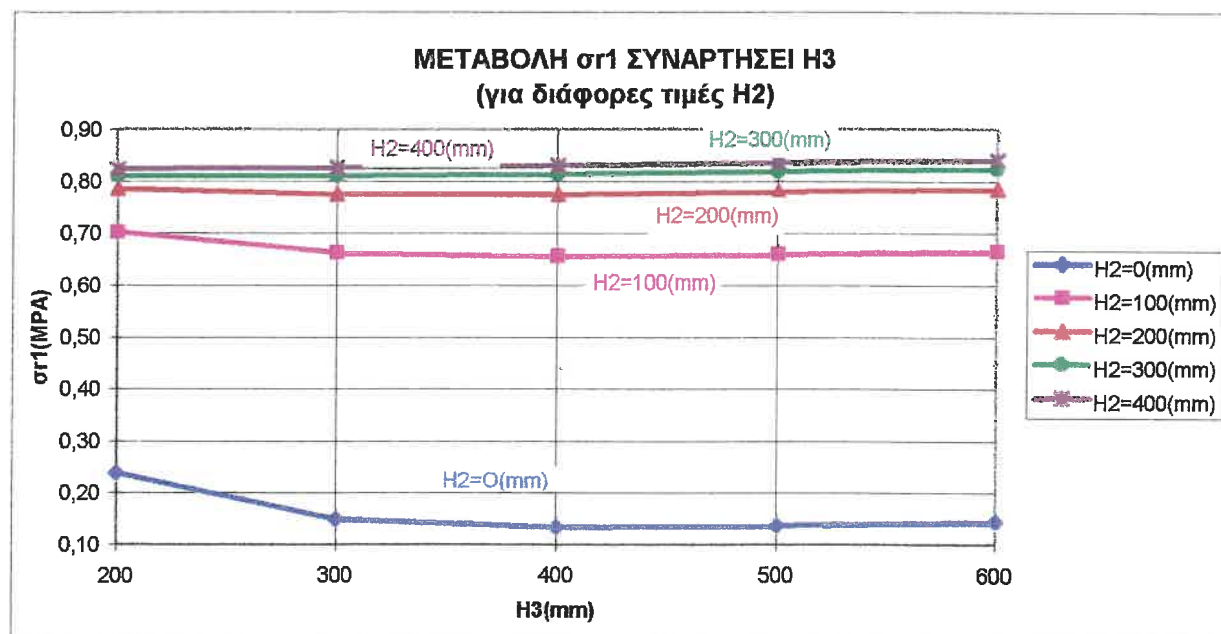
Διάγραμμα 3.4 Μεταβολή ε_4 συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

	H3(mm)	ϵ_{r1} H2=0(mm)	ϵ_{r1} H2=100(mm)	ϵ_{r1} H2=200(mm)	ϵ_{r1} H2=300(mm)	ϵ_{r1} H2=400(mm)
E1=2000(MPa)	200	1,90E-04	3,30E-04	3,50E-04	3,60E-04	3,60E-04
E2=400(MPa)	300	1,70E-04	3,20E-04	3,50E-04	3,60E-04	3,60E-04
E3=800(MPa)	400	1,70E-04	3,20E-04	3,50E-04	3,60E-04	3,60E-04
E4=50(MPa)	500	1,70E-04	3,20E-04	3,50E-04	3,60E-04	3,60E-04
H1=100(mm)	600	1,70E-04	3,20E-04	3,50E-04	3,60E-04	3,70E-04



Διάγραμμα 3.5 Μεταβολή ϵ_{r1} συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του H2.

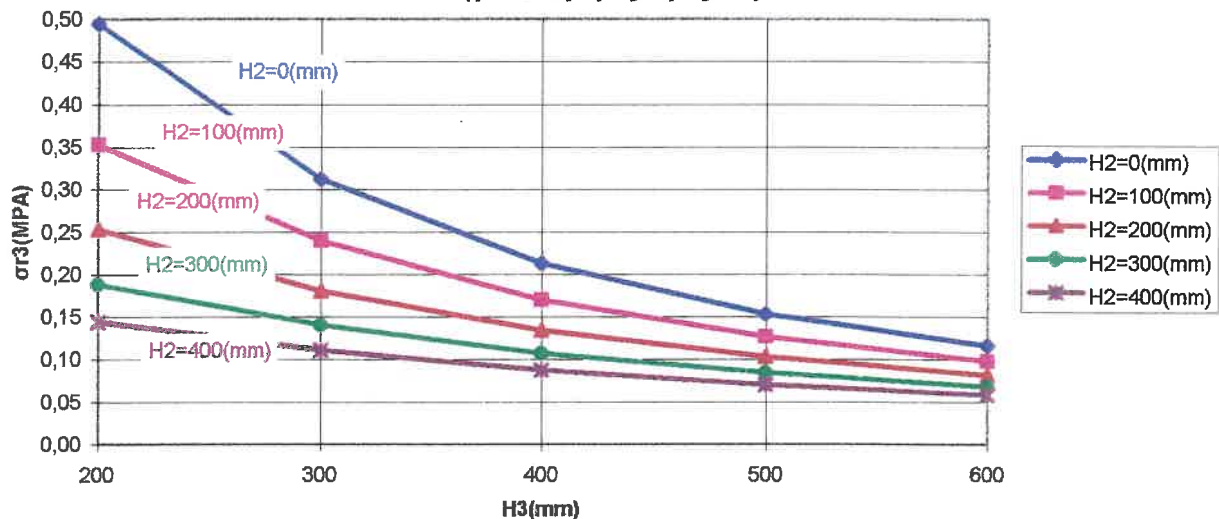
	H3(mm)	σ_{r1} H2=0(mm)	σ_{r1} H2=100(mm)	σ_{r1} H2=200(mm)	σ_{r1} H2=300(mm)	σ_{r1} H2=400(mm)
E1=2000(MPa)	200	0,24	0,70	0,79	0,81	0,82
E2=400(MPa)	300	0,15	0,66	0,77	0,81	0,83
E3=800(MPa)	400	0,13	0,66	0,77	0,81	0,83
E4=50(MPa)	500	0,14	0,66	0,78	0,82	0,84
H1=100(mm)	600	0,14	0,66	0,78	0,82	0,84



Διάγραμμα 3.6 Μεταβολή σ_{r1} συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του H2.

		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H3(mm)	H2=0(mm)	H2=100(mm)	H2=200(mm)	H2=300(mm)	H2=400(mm)
E1=2000(MPa)	200	0,50	0,35	0,25	0,19	0,14
E2=400(MPa)	300	0,31	0,24	0,18	0,14	0,11
E3=800(MPa)	400	0,21	0,17	0,13	0,11	0,09
E4=50(MPa)	500	0,15	0,13	0,10	0,08	0,07
H1=100(mm)	600	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06

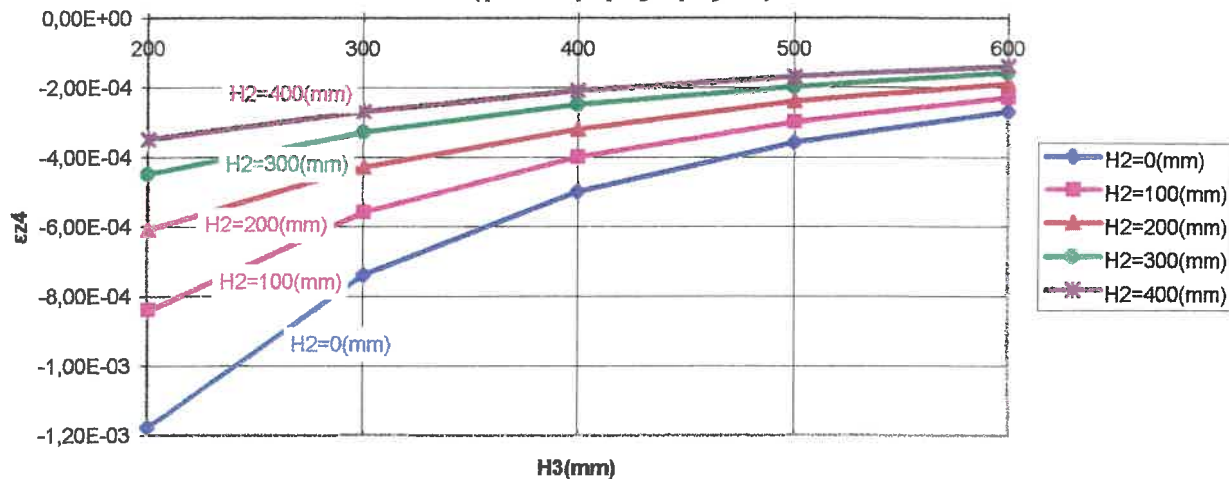
**ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές H2)**



Διάγραμμα 3.7 Μεταβολή σ_3 συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του H2.

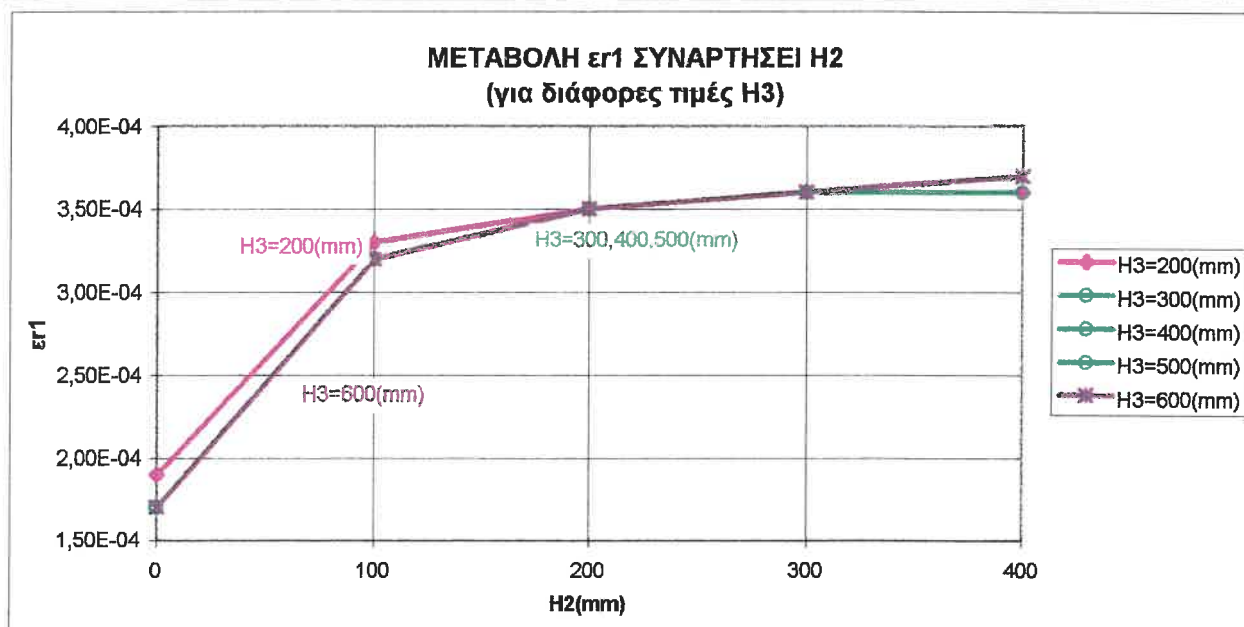
		ϵ_{z4}	ϵ_{z4}	ϵ_{z4}	ϵ_{z4}	ϵ_{z4}
	H3(mm)	H2=0(mm)	H2=100(mm)	H2=200(mm)	H2=300(mm)	H2=400(mm)
E1=2000(MPa)	200	-1,18E-03	-8,40E-04	-6,10E-04	-4,50E-04	-3,50E-04
E2=400(MPa)	300	-7,40E-04	-5,60E-04	-4,30E-04	-3,30E-04	-2,70E-04
E3=800(MPa)	400	-5,00E-04	-4,00E-04	-3,20E-04	-2,50E-04	-2,10E-04
E4=50(MPa)	500	-3,60E-04	-3,00E-04	-2,40E-04	-2,00E-04	-1,70E-04
H1=100(mm)	600	-2,70E-04	-2,30E-04	-1,90E-04	-1,60E-04	-1,40E-04

**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_{z4} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές H2)**



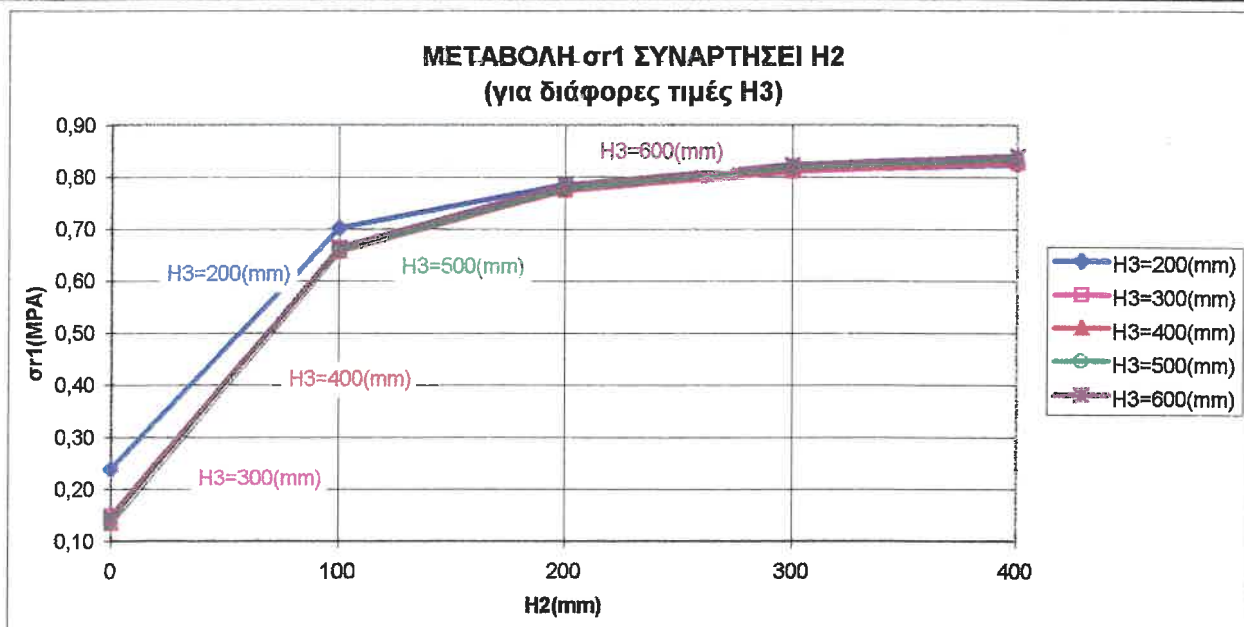
Διάγραμμα 3.8 Μεταβολή ϵ_{z4} συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του H2.

	H2(mm)	ϵ_{r1} H3=200(mm)	ϵ_{r1} H3=300(mm)	ϵ_{r1} H3=400(mm)	ϵ_{r1} H3=500(mm)	ϵ_{r1} H3=600(mm)
E1=2000(MPa)	0	1,90E-04	1,70E-04	1,70E-04	1,70E-04	1,70E-04
E2=400(MPa)	100	3,30E-04	3,20E-04	3,20E-04	3,20E-04	3,20E-04
E3=800(MPa)	200	3,50E-04	3,50E-04	3,50E-04	3,50E-04	3,50E-04
E4=50(MPa)	300	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04
H1=100(mm)	400	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,70E-04



Διάγραμμα 3.9 Μεταβολή ϵ_{r1} συναρτήσει του H2 για διάφορες τιμές του H3.

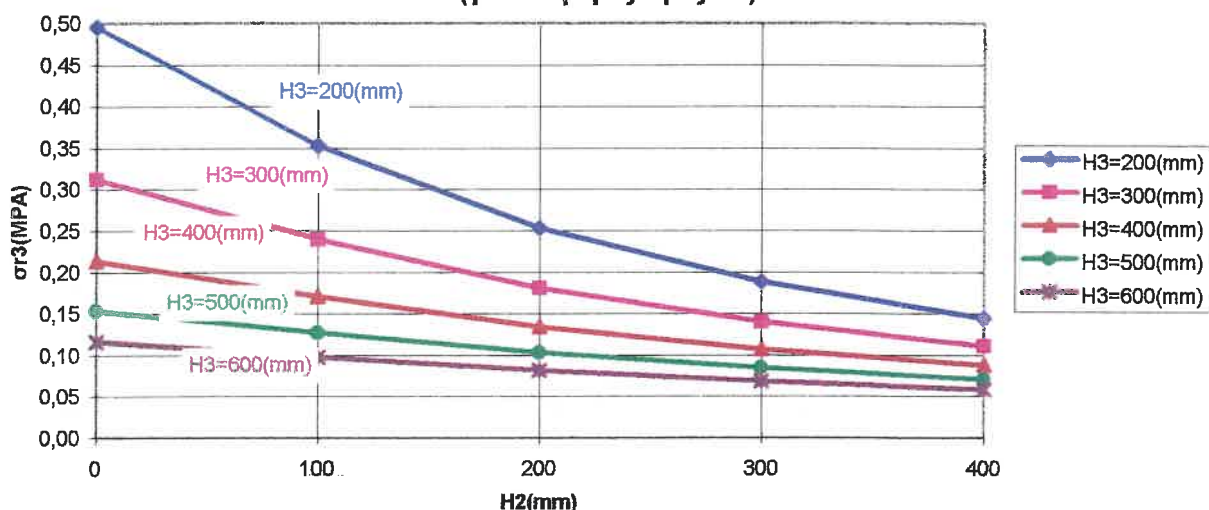
	H2(mm)	σ_{r1} H3=200(mm)	σ_{r1} H3=300(mm)	σ_{r1} H3=400(mm)	σ_{r1} H3=500(mm)	σ_{r1} H3=600(mm)
E1=2000(MPa)	0	0,24	0,15	0,13	0,14	0,14
E2=400(MPa)	100	0,70	0,66	0,66	0,66	0,66
E3=800(MPa)	200	0,79	0,77	0,77	0,78	0,78
E4=50(MPa)	300	0,81	0,81	0,81	0,82	0,82
H1=100(mm)	400	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84



Διάγραμμα 3.10 Μεταβολή σ_{r1} συναρτήσει του H2 για διάφορες τιμές του H3.

	H2(mm)	σ_3 H3=200(mm)	σ_3 H3=300(mm)	σ_3 H3=400(mm)	σ_3 H3=500(mm)	σ_3 H3=600(mm)
E1=2000(MPa)	0	0,50	0,31	0,21	0,15	0,12
E2=400(MPa)	100	0,35	0,24	0,17	0,13	0,10
E3=800(MPa)	200	0,25	0,18	0,13	0,10	0,08
E4=50(MPa)	300	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07
H1=100(mm)	400	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06

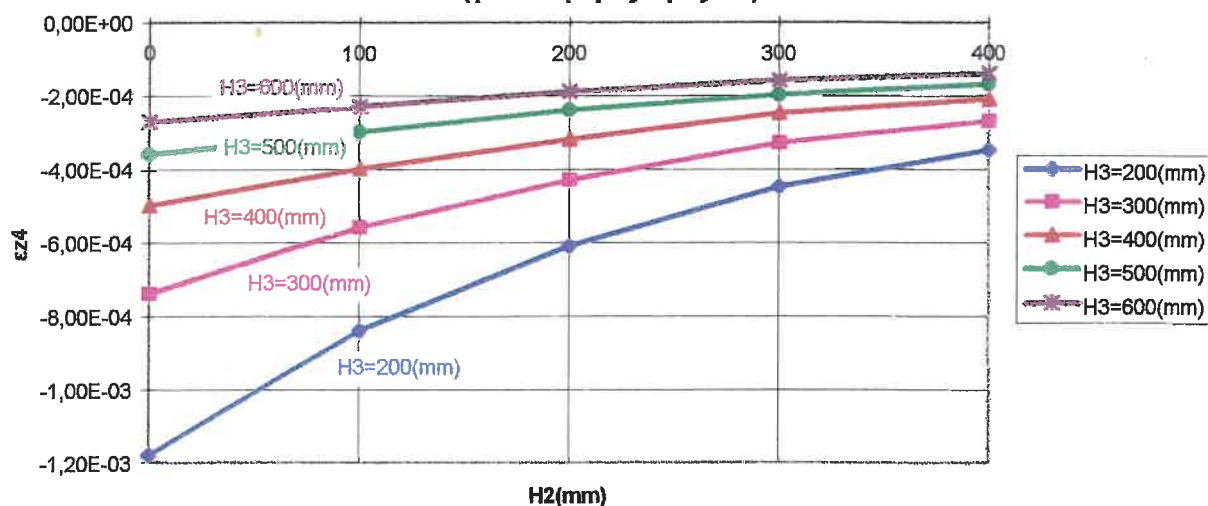
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H2
(για διάφορες τιμές H3)



Διάγραμμα 3.11 Μεταβολή σ_3 συναρτήσει του H2 για διάφορες τιμές του H3.

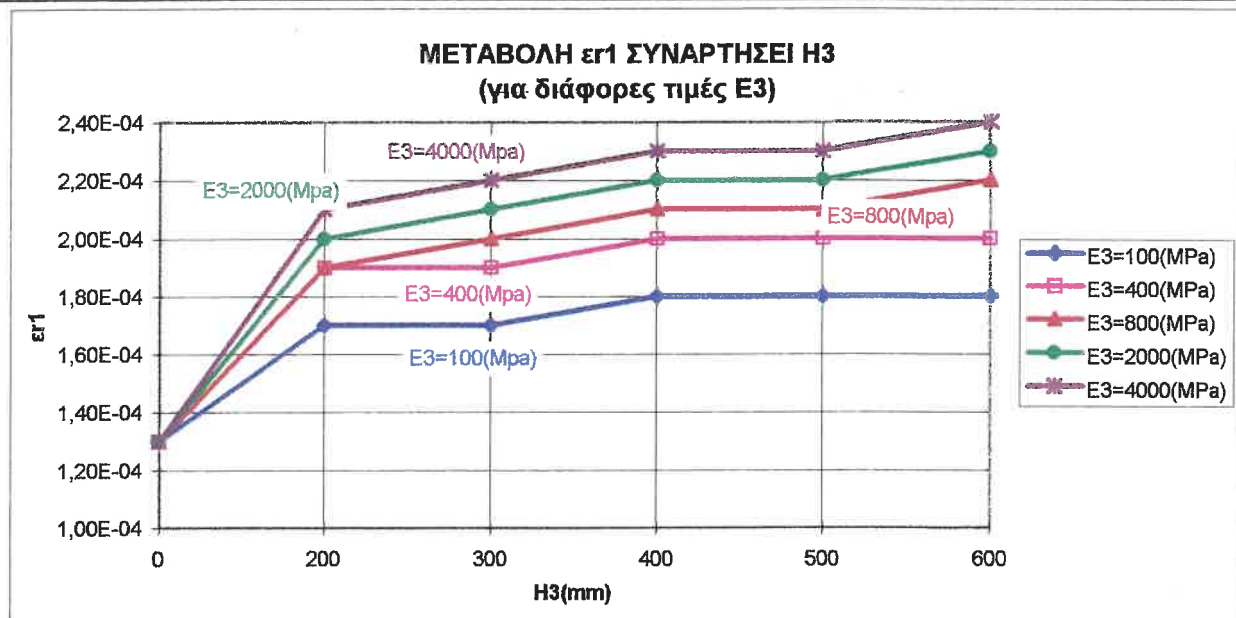
	H2(mm)	ϵ_{z4} H3=200(mm)	ϵ_{z4} H3=300(mm)	ϵ_{z4} H3=400(mm)	ϵ_{z4} H3=500(mm)	ϵ_{z4} H3=600(mm)
E1=2000(MPa)	0	-1,18E-03	-7,40E-04	-5,00E-04	-3,60E-04	-2,70E-04
E2=400(MPa)	100	-8,40E-04	-5,60E-04	-4,00E-04	-3,00E-04	-2,30E-04
E3=800(MPa)	200	-6,10E-04	-4,30E-04	-3,20E-04	-2,40E-04	-1,90E-04
E4=50(MPa)	300	-4,50E-04	-3,30E-04	-2,50E-04	-2,00E-04	-1,60E-04
H1=100(mm)	400	-3,50E-04	-2,70E-04	-2,10E-04	-1,70E-04	-1,40E-04

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_{z4} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H2
(για διάφορες τιμές H3)



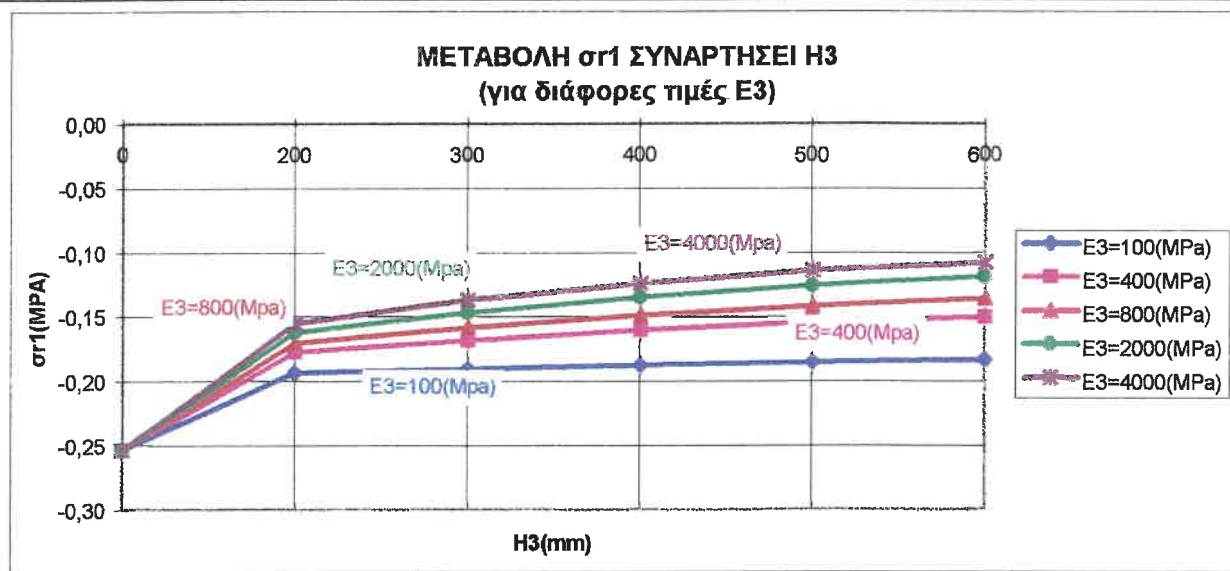
Διάγραμμα 3.12 Μεταβολή ϵ_{z4} συναρτήσει του H2 για διάφορες τιμές του H3.

	H3(mm)	ϵ_{r1} E3=100(MPa)	ϵ_{r1} E3=400(MPa)	ϵ_{r1} E3=800(MPa)	ϵ_{r1} E3=2000(MPa)	ϵ_{r1} E3=4000(MPa)
	0	1,30E-04	1,30E-04	1,30E-04	1,30E-04	1,30E-04
E1=1000(MPa)	200	1,70E-04	1,90E-04	1,90E-04	2,00E-04	2,10E-04
E2=800(MPa)	300	1,70E-04	1,90E-04	2,00E-04	2,10E-04	2,20E-04
E4=50(MPa)	400	1,80E-04	2,00E-04	2,10E-04	2,20E-04	2,30E-04
H1=100(mm)	500	1,80E-04	2,00E-04	2,10E-04	2,20E-04	2,30E-04
H2=300(mm)	600	1,80E-04	2,00E-04	2,20E-04	2,30E-04	2,40E-04



Διάγραμμα 3.13 Μεταβολή ϵ_{r1} συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

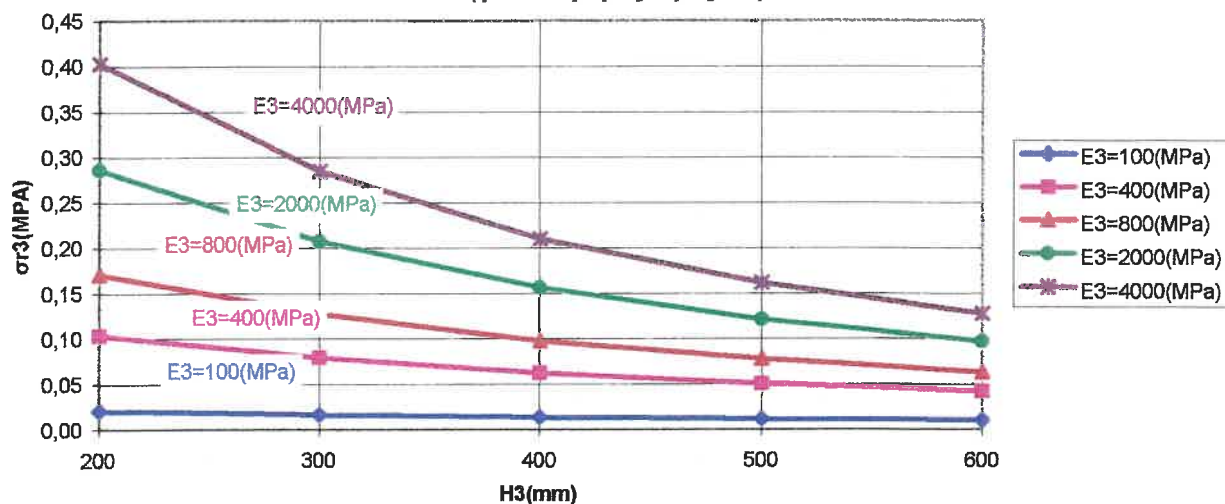
	H3(mm)	σ_{r1} E3=100(MPa)	σ_{r1} E3=400(MPa)	σ_{r1} E3=800(MPa)	σ_{r1} E3=2000(MPa)	σ_{r1} E3=4000(MPa)
	0	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25
E1=1000(MPa)	200	-0,19	-0,18	-0,17	-0,16	-0,16
E2=800(MPa)	300	-0,19	-0,17	-0,16	-0,15	-0,14
E4=50(MPa)	400	-0,19	-0,16	-0,15	-0,14	-0,12
H1=100(mm)	500	-0,19	-0,16	-0,14	-0,13	-0,11
H2=300(mm)	600	-0,18	-0,15	-0,14	-0,12	-0,11



Διάγραμμα 3.14 Μεταβολή σ_{r1} συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H3(mm)	E3=100(MPa)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=1000(MPa)	200	0,02	0,10	0,17	0,29	0,40
E2=800(MPa)	300	0,02	0,08	0,13	0,21	0,29
E4=50(MPa)	400	0,01	0,06	0,10	0,16	0,21
H1=100(mm)	500	0,01	0,05	0,08	0,12	0,16
H2=300(mm)	600	0,01	0,04	0,06	0,10	0,13

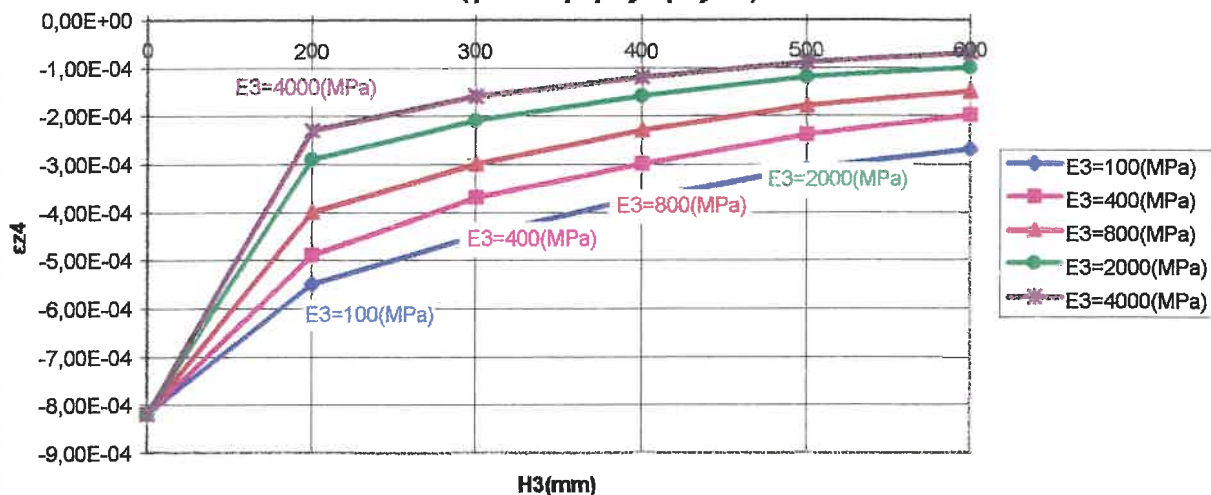
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.15 Μεταβολή σ_3 συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

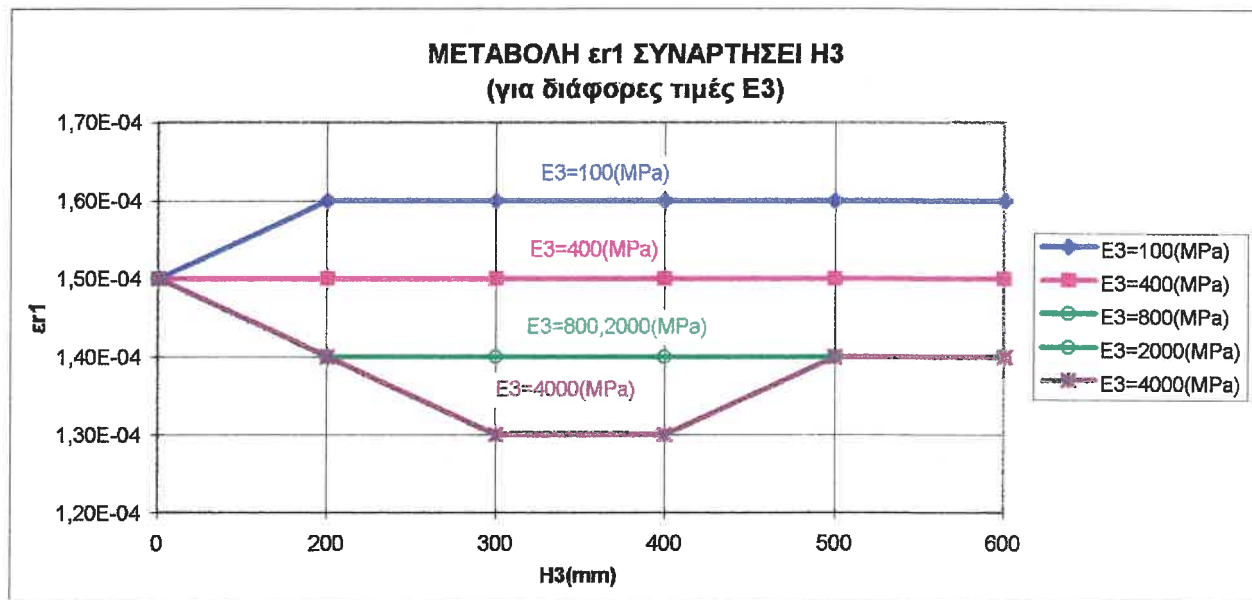
		ε_4	ε_4	ε_4	ε_4	ε_4
	H3(mm)	E3=100(MPa)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
	0	-8,20E-04	-8,20E-04	-8,20E-04	-8,20E-04	-8,20E-04
E1=1000(MPa)	200	-5,50E-04	-4,90E-04	-4,00E-04	-2,90E-04	-2,30E-04
E2=800(MPa)	300	-4,50E-04	-3,70E-04	-3,00E-04	-2,10E-04	-1,60E-04
E4=50(MPa)	400	-3,70E-04	-3,00E-04	-2,30E-04	-1,60E-04	-1,20E-04
H1=100(mm)	500	-3,10E-04	-2,40E-04	-1,80E-04	-1,20E-04	-9,00E-05
H2=300(mm)	600	-2,70E-04	-2,00E-04	-1,50E-04	-1,00E-04	-7,00E-05

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ε_4 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές E3)



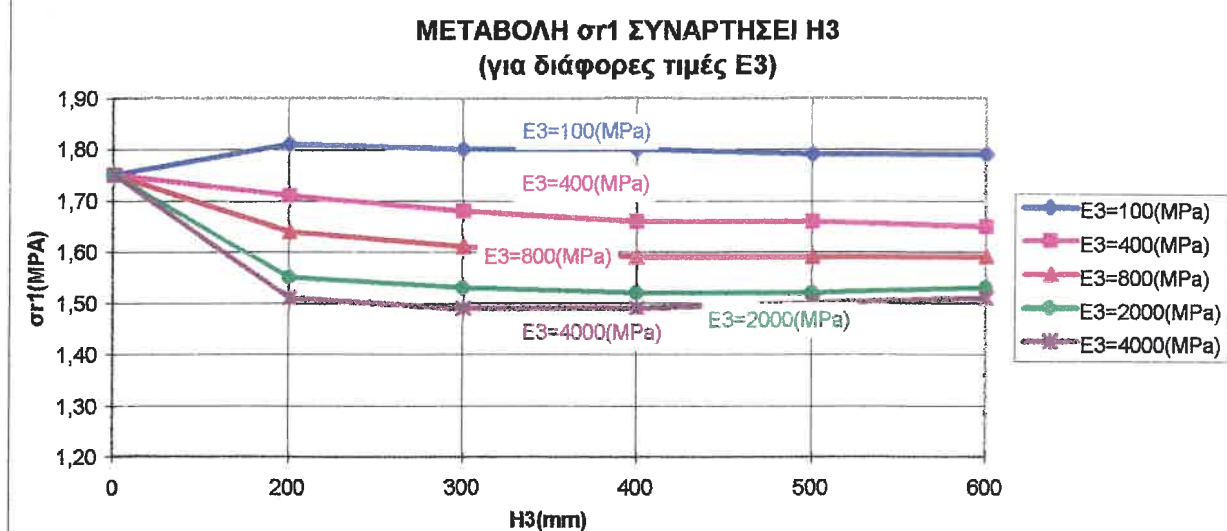
Διάγραμμα 3.16 Μεταβολή ε_4 συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

	H3(mm)	ϵ_{r1} E3=100(MPa)	ϵ_{r1} E3=400(MPa)	ϵ_{r1} E3=800(MPa)	ϵ_{r1} E3=2000(MPa)	ϵ_{r1} E3=4000(MPa)
	0	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04
E1=8000(MPa)	200	1,60E-04	1,50E-04	1,40E-04	1,40E-04	1,40E-04
E2=800(MPa)	300	1,60E-04	1,50E-04	1,40E-04	1,40E-04	1,30E-04
E4=50(MPa)	400	1,60E-04	1,50E-04	1,40E-04	1,40E-04	1,30E-04
H1=100(mm)	500	1,60E-04	1,50E-04	1,40E-04	1,40E-04	1,40E-04
H2=300(mm)	600	1,60E-04	1,50E-04	1,40E-04	1,40E-04	1,40E-04



Διάγραμμα 3.17 Μεταβολή ϵ_{r1} συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

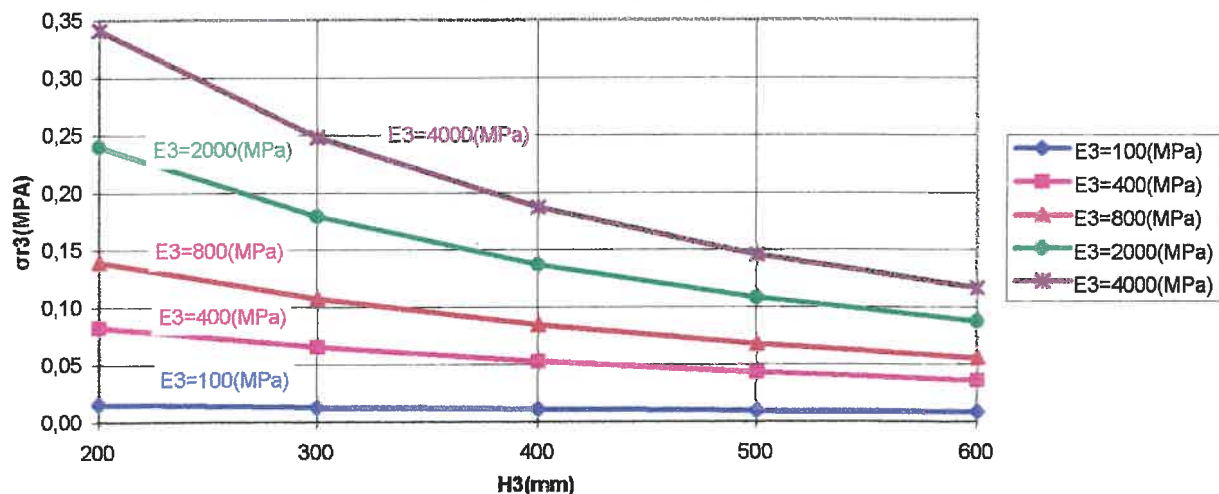
	H3(mm)	σ_{r1} E3=100(MPa)	σ_{r1} E3=400(MPa)	σ_{r1} E3=800(MPa)	σ_{r1} E3=2000(MPa)	σ_{r1} E3=4000(MPa)
	0	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
E1=8000(MPa)	200	1,81	1,71	1,64	1,55	1,51
E2=800(MPa)	300	1,80	1,68	1,61	1,53	1,49
E4=50(MPa)	400	1,80	1,66	1,59	1,52	1,49
H1=100(mm)	500	1,79	1,66	1,59	1,52	1,50
H2=300(mm)	600	1,79	1,65	1,59	1,53	1,51



Διάγραμμα 3.18 Μεταβολή σ_{r1} συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

	H3(mm)	σ_3 E3=100(MPa)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
E1=8000(MPa)	200	0,02	0,08	0,14	0,24	0,34
E2=800(MPa)	300	0,01	0,07	0,11	0,18	0,25
E4=50(MPa)	400	0,01	0,05	0,08	0,14	0,19
H1=100(mm)	500	0,01	0,04	0,07	0,11	0,15
H2=300(mm)	600	0,01	0,04	0,06	0,09	0,12

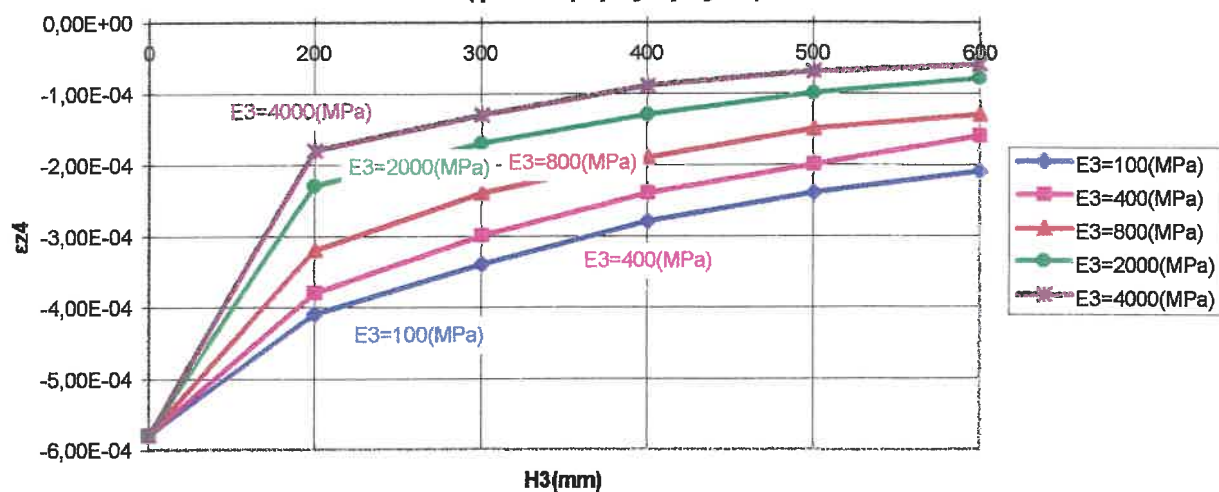
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.19 Μεταβολή σ_3 συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

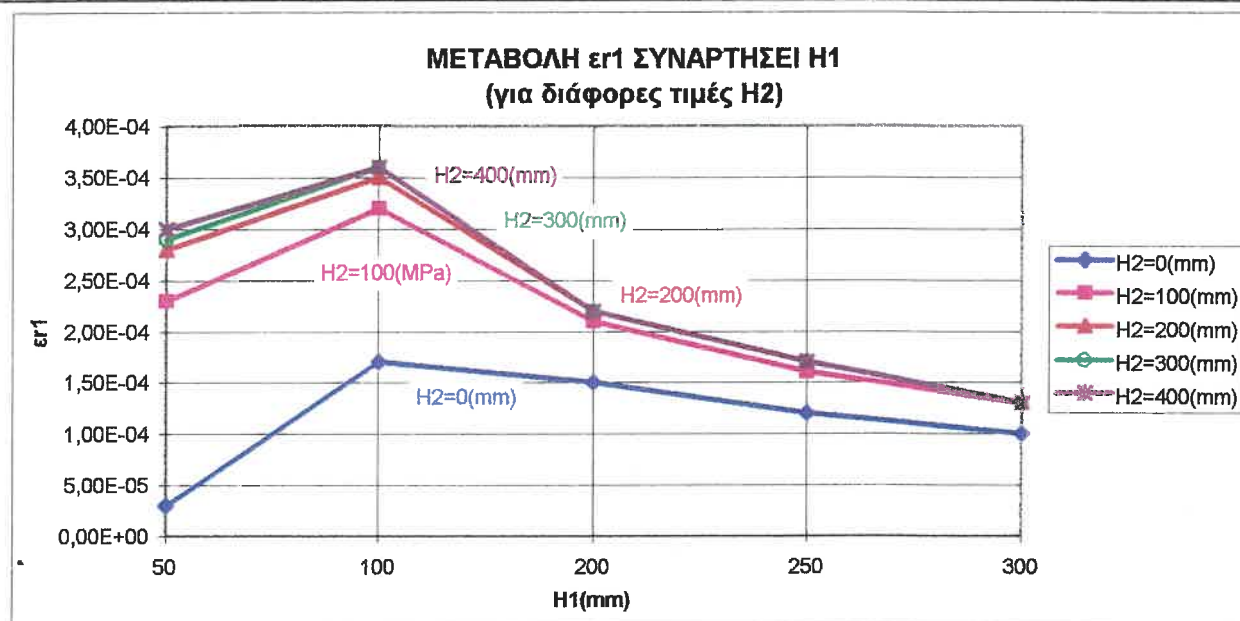
	H3(mm)	ε_4 E3=100(MPa)	ε_4 E3=400(MPa)	ε_4 E3=800(MPa)	ε_4 E3=2000(MPa)	ε_4 E3=4000(MPa)
	0	-5,80E-04	-5,80E-04	-5,80E-04	-5,80E-04	-5,80E-04
E1=8000(MPa)	200	-4,10E-04	-3,80E-04	-3,20E-04	-2,30E-04	-1,80E-04
E2=800(MPa)	300	-3,40E-04	-3,00E-04	-2,40E-04	-1,70E-04	-1,30E-04
E4=50(MPa)	400	-2,80E-04	-2,40E-04	-1,90E-04	-1,30E-04	-9,00E-05
H1=100(mm)	500	-2,40E-04	-2,00E-04	-1,50E-04	-1,00E-04	-7,00E-05
H2=300(mm)	600	-2,10E-04	-1,60E-04	-1,30E-04	-8,00E-05	-6,00E-05

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ε_4 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές E3)



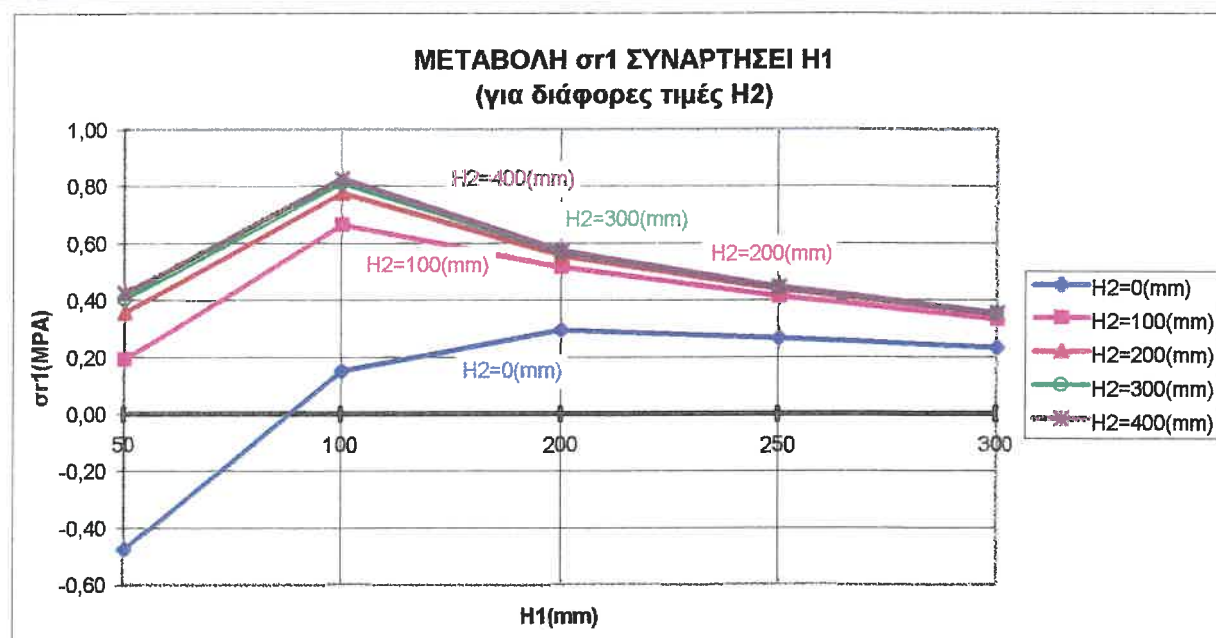
Διάγραμμα 3.20 Μεταβολή ε_4 συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του E3.

	H1(mm)	ϵ_{r1} H2=0(mm)	ϵ_{r1} H2=100(mm)	ϵ_{r1} H2=200(mm)	ϵ_{r1} H2=300(mm)	ϵ_{r1} H2=400(mm)
E1=2000(MPa)	50	3,00E-05	2,30E-04	2,80E-04	2,90E-04	3,00E-04
E2=400(MPa)	100	1,70E-04	3,20E-04	3,50E-04	3,60E-04	3,60E-04
E3=800(MPa)	200	1,50E-04	2,10E-04	2,20E-04	2,20E-04	2,20E-04
E4=50(MPa)	250	1,20E-04	1,60E-04	1,70E-04	1,70E-04	1,70E-04
H3=300(mm)	300	1,00E-04	1,30E-04	1,30E-04	1,30E-04	1,30E-04



Διάγραμμα 3.21 Μεταβολή ϵ_{r1} συναρτήσει του H1 για διάφορες τιμές του H2.

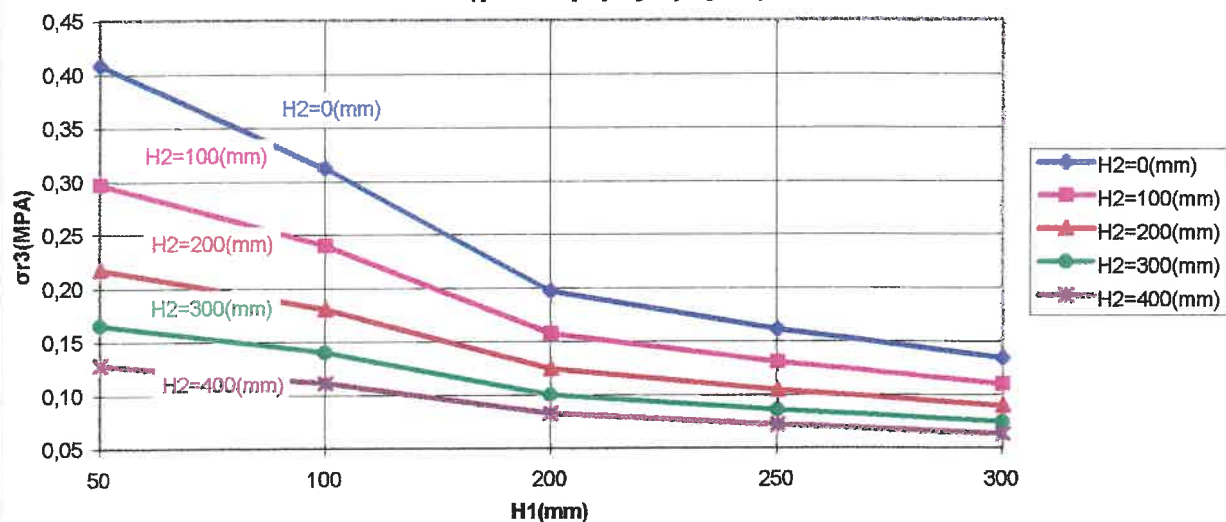
	H1(mm)	σ_{r1} H2=0(mm)	σ_{r1} H2=100(mm)	σ_{r1} H2=200(mm)	σ_{r1} H2=300(mm)	σ_{r1} H2=400(mm)
E1=2000(MPa)	50	-0,48	0,19	0,35	0,40	0,42
E2=400(MPa)	100	0,15	0,66	0,77	0,81	0,83
E3=800(MPa)	200	0,30	0,52	0,56	0,57	0,57
E4=50(MPa)	250	0,27	0,41	0,44	0,44	0,45
H3=300(mm)	300	0,23	0,33	0,35	0,35	0,35



Διάγραμμα 3.22 Μεταβολή σ_{r1} συναρτήσει του H1 για διάφορες τιμές του H2.

		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	H2=0(mm)	H2=100(mm)	H2=200(mm)	H2=300(mm)	H2=400(mm)
E1=2000(MPa)	50	0,41	0,30	0,22	0,17	0,13
E2=400(MPa)	100	0,31	0,24	0,18	0,14	0,11
E3=800(MPa)	200	0,20	0,16	0,12	0,10	0,08
E4=50(MPa)	250	0,16	0,13	0,10	0,09	0,07
H3=300(mm)	300	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06

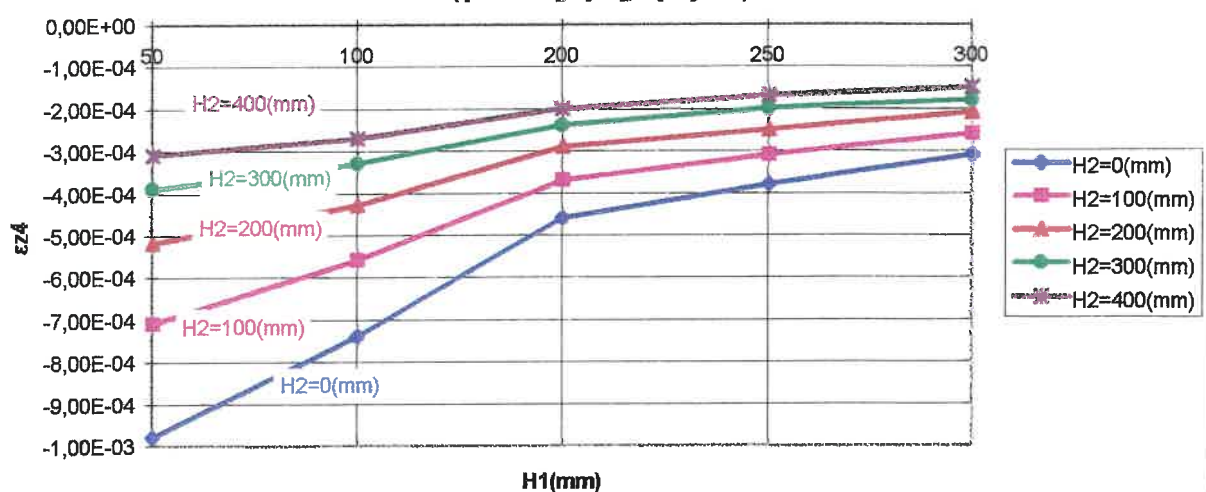
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές H2)



Διάγραμμα 3.23 Μεταβολή σ_3 συναρτήσει του H1 για διάφορες τιμές του H2.

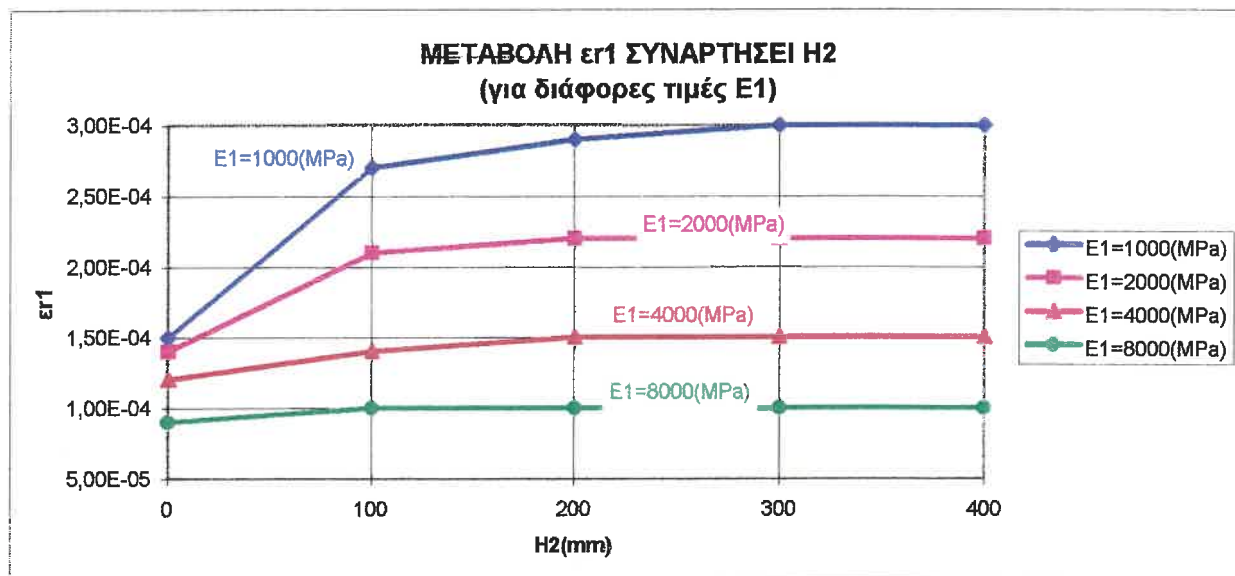
		ϵ_{z4}	ϵ_{z4}	ϵ_{z4}	ϵ_{z4}	ϵ_{z4}
	H1(mm)	H2=0(mm)	H2=100(mm)	H2=200(mm)	H2=300(mm)	H2=400(mm)
E1=2000(MPa)	50	-9,80E-04	-7,10E-04	-5,20E-04	-3,90E-04	-3,10E-04
E2=400(MPa)	100	-7,40E-04	-5,60E-04	-4,30E-04	-3,30E-04	-2,70E-04
E3=800(MPa)	200	-4,60E-04	-3,70E-04	-2,90E-04	-2,40E-04	-2,00E-04
E4=50(MPa)	250	-3,80E-04	-3,10E-04	-2,50E-04	-2,00E-04	-1,70E-04
H3=300(mm)	300	-3,10E-04	-2,60E-04	-2,10E-04	-1,80E-04	-1,50E-04

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_{z4} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές H2)



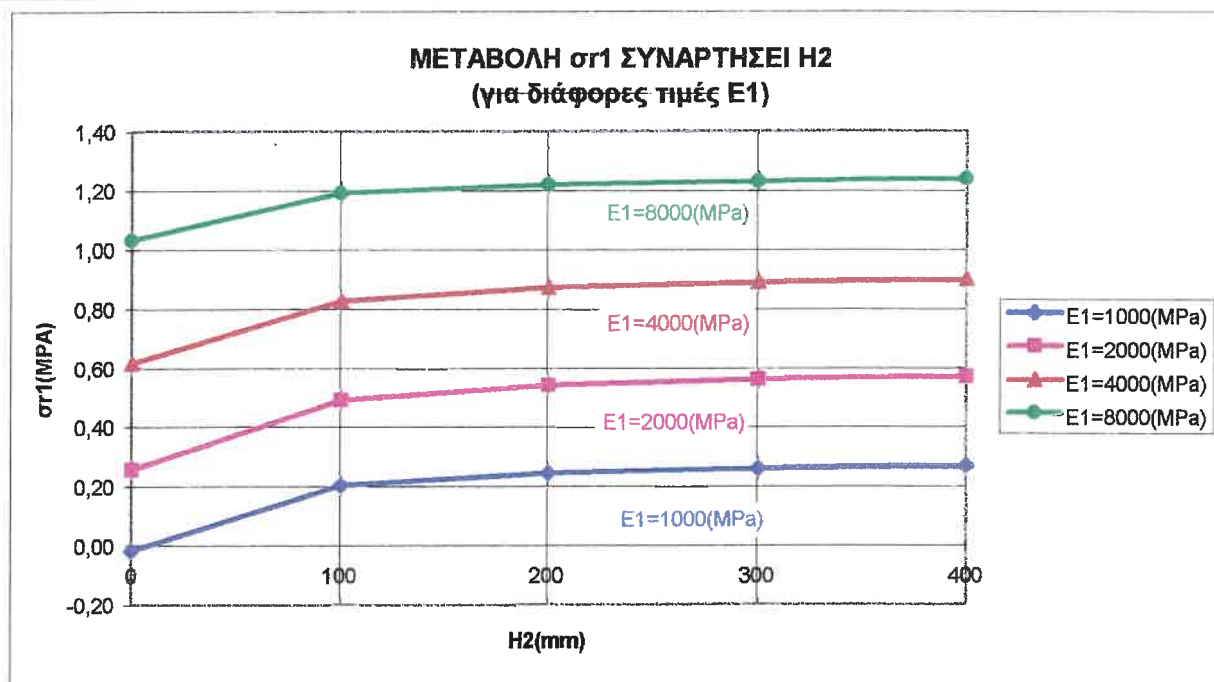
Διάγραμμα 3.24 Μεταβολή ϵ_{z4} συναρτήσει του H1 για διάφορες τιμές του H2.

	H2(mm)	ε_1 E1=1000(MPa)	ε_1 E1=2000(MPa)	ε_1 E1=4000(MPa)	ε_1 E1=8000(MPa)
E2=400(MPa)	0	1,50E-04	1,40E-04	1,20E-04	9,00E-05
E3=800(MPa)	100	2,70E-04	2,10E-04	1,40E-04	1,00E-04
E4=50(MPa)	200	2,90E-04	2,20E-04	1,50E-04	1,00E-04
H1=200(mm)	300	3,00E-04	2,20E-04	1,50E-04	1,00E-04
H3=400(mm)	400	3,00E-04	2,20E-04	1,50E-04	1,00E-04



Διάγραμμα 3.25 Μεταβολή ε_1 συναρτήσει του H_2 για διάφορες τιμές του E_1 .

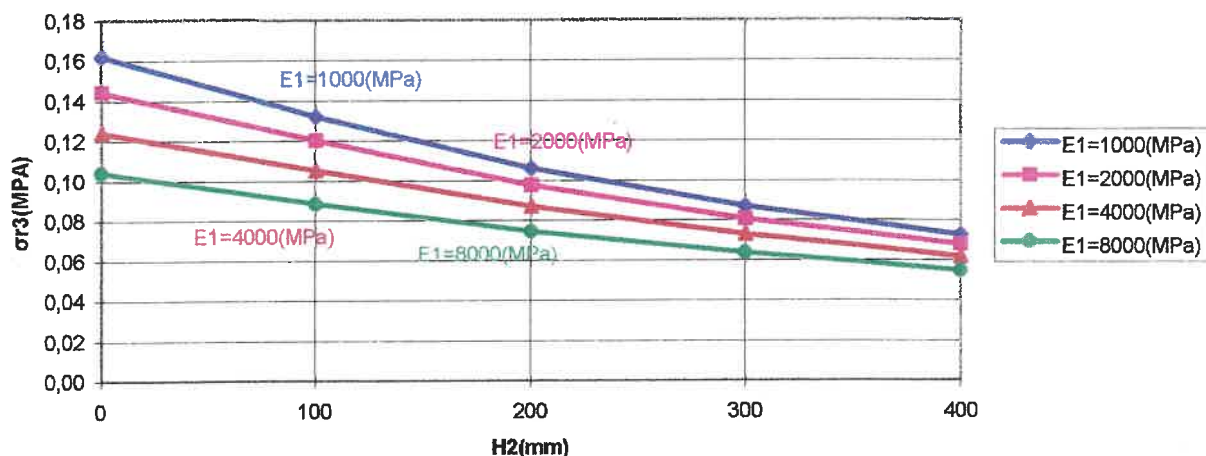
	H2(mm)	σ_1 E1=1000(MPa)	σ_1 E1=2000(MPa)	σ_1 E1=4000(MPa)	σ_1 E1=8000(MPa)
E2=400(MPa)	0	-0,02	0,26	0,62	1,03
E3=800(MPa)	100	0,20	0,49	0,83	1,19
E4=50(MPa)	200	0,25	0,54	0,87	1,22
H1=200(mm)	300	0,26	0,56	0,89	1,23
H3=400(mm)	400	0,27	0,57	0,90	1,24



Διάγραμμα 3.26 Μεταβολή σ_1 συναρτήσει του H_2 για διάφορες τιμές του E_1 .

		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H2(mm)	E1=1000(MPa)	E1=2000(MPa)	E1=4000(MPa)	E1=8000(MPa)
E2=400(MPa)	0	0,16	0,14	0,12	0,10
E3=800(MPa)	100	0,13	0,12	0,11	0,09
E4=50(MPa)	200	0,11	0,10	0,09	0,07
H1=200(mm)	300	0,09	0,08	0,07	0,06
H3=400(mm)	400	0,07	0,07	0,06	0,05

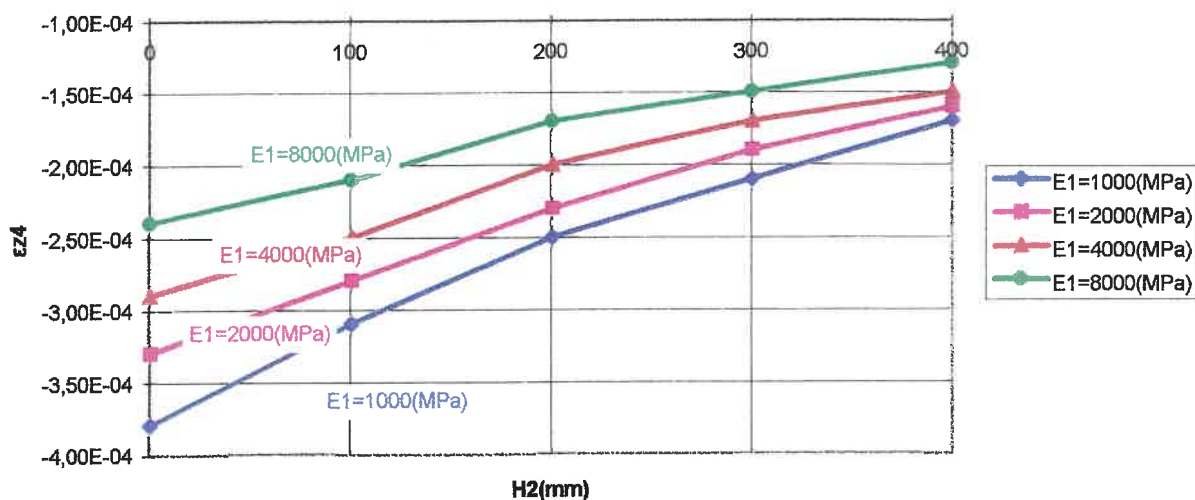
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H2
(για διάφορες τιμές E1)



Διάγραμμα 3.27 Μεταβολή σ_3 συναρτήσει του H2 για διάφορες τιμές του E1.

		ε_4	ε_4	ε_4	ε_4
	H2(mm)	E1=1000(MPa)	E1=2000(MPa)	E1=4000(MPa)	E1=8000(MPa)
E2=400(MPa)	0	-3,80E-04	-3,30E-04	-2,90E-04	-2,40E-04
E3=800(MPa)	100	-3,10E-04	-2,80E-04	-2,50E-04	-2,10E-04
E4=50(MPa)	200	-2,50E-04	-2,30E-04	-2,00E-04	-1,70E-04
H1=200(mm)	300	-2,10E-04	-1,90E-04	-1,70E-04	-1,50E-04
H3=400(mm)	400	-1,70E-04	-1,60E-04	-1,50E-04	-1,30E-04

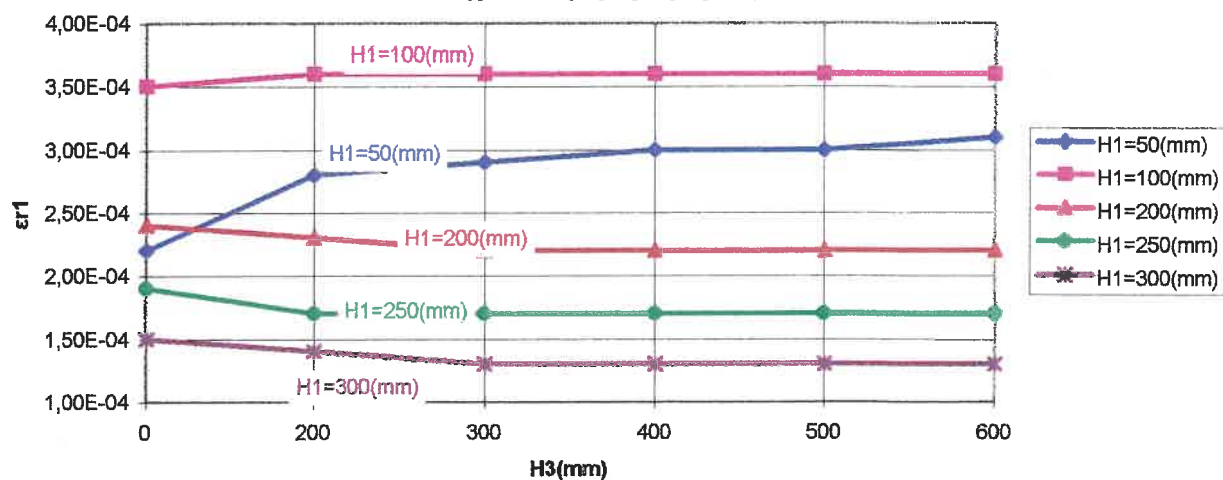
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ε_4 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H2
(για διάφορες τιμές E1)



Διάγραμμα 3.28 Μεταβολή ε_4 συναρτήσει του H2 για διάφορες τιμές του E1.

		ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}
	H3(mm)	H1=50(mm)	H1=100(mm)	H1=200(mm)	H1=250(mm)	H1=300(mm)
	0	2,20E-04	3,50E-04	2,40E-04	1,90E-04	1,50E-04
E1=2000(MPa)	200	2,80E-04	3,60E-04	2,30E-04	1,70E-04	1,40E-04
E2=400(MPa)	300	2,90E-04	3,60E-04	2,20E-04	1,70E-04	1,30E-04
E3=800(MPa)	400	3,00E-04	3,60E-04	2,20E-04	1,70E-04	1,30E-04
E4=50(MPa)	500	3,00E-04	3,60E-04	2,20E-04	1,70E-04	1,30E-04
H2=300(mm)	600	3,10E-04	3,60E-04	2,20E-04	1,70E-04	1,30E-04

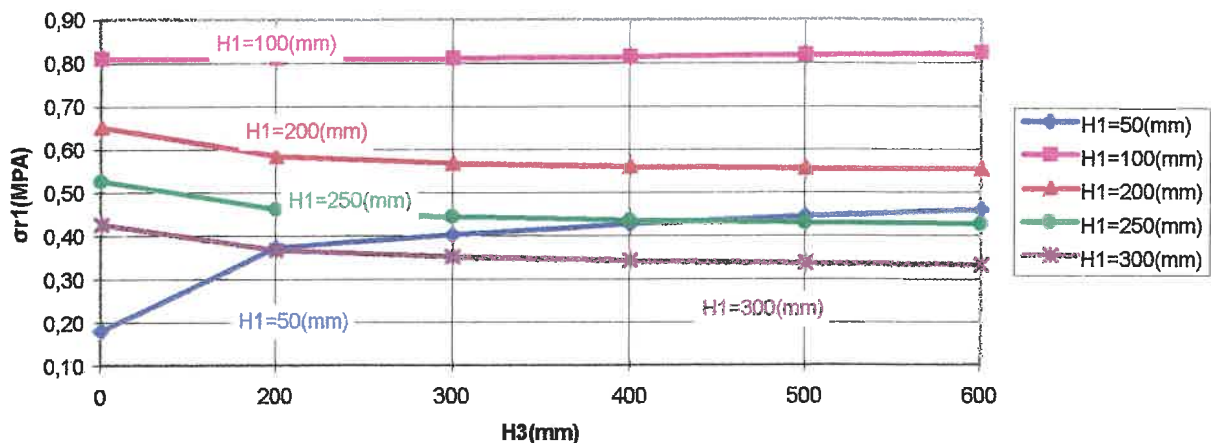
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_{r1} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές H1)



Διάγραμμα 3.29 Μεταβολή ϵ_{r1} συναρτήσει του H_3 για διάφορες τιμές του H_1 .

		σ_{r1}	σ_{r1}	σ_{r1}	σ_{r1}	σ_{r1}
	H3(mm)	H1=50(mm)	H1=100(mm)	H1=200(mm)	H1=250(mm)	H1=300(mm)
	0	0,18	0,81	0,65	0,53	0,43
E1=2000(MPa)	200	0,37	0,81	0,58	0,46	0,37
E2=400(MPa)	300	0,40	0,81	0,57	0,44	0,35
E3=800(MPa)	400	0,43	0,81	0,56	0,44	0,34
E4=50(MPa)	500	0,44	0,82	0,56	0,43	0,34
H2=300(mm)	600	0,46	0,82	0,55	0,43	0,33

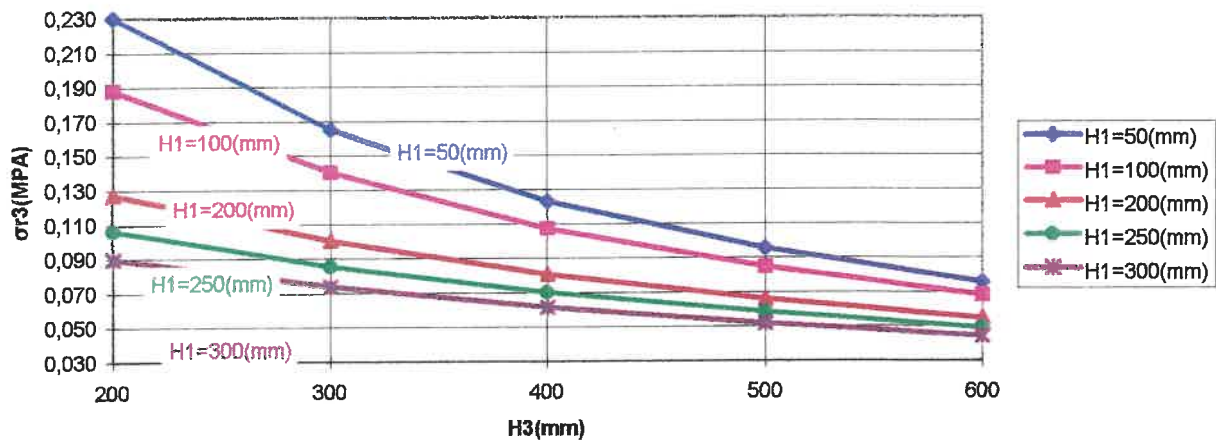
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_{r1} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές H1)



Διάγραμμα 3.30 Μεταβολή σ_{r1} συναρτήσει του H_3 για διάφορες τιμές του H_1 .

	H3(mm)	σ_3 H1=50(mm)	σ_3 H1=100(mm)	σ_3 H1=200(mm)	σ_3 H1=250(mm)	σ_3 H1=300(mm)
E1=2000(MPa)	200	0,23	0,19	0,13	0,11	0,09
E2=400(MPa)	300	0,17	0,14	0,10	0,09	0,07
E3=800(MPa)	400	0,12	0,11	0,08	0,07	0,06
E4=50(MPa)	500	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05
H2=300(mm)	600	0,08	0,07	0,05	0,05	0,04

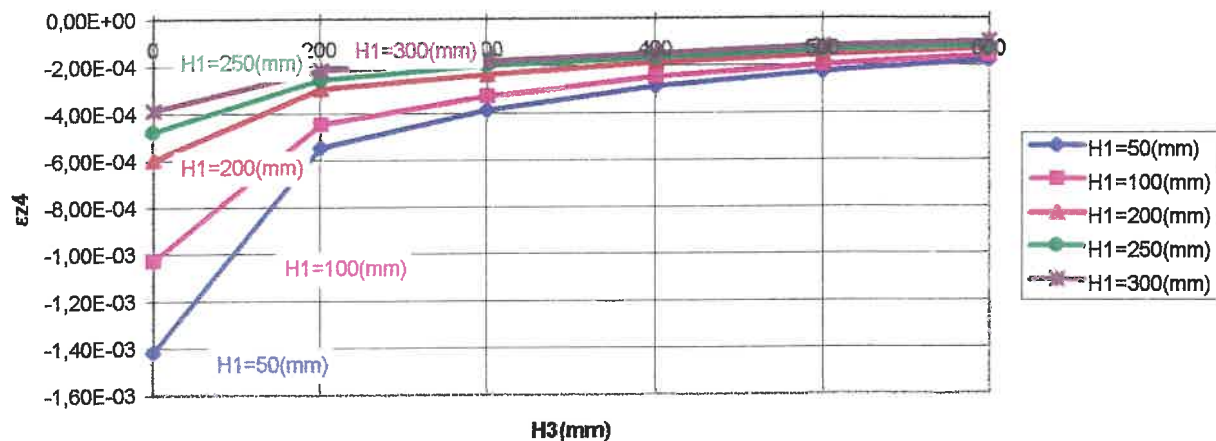
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές H1)



Διάγραμμα 3.31 Μεταβολή σ_3 συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του H1.

	H3(mm)	ϵ_{z4} H1=50(mm)	ϵ_{z4} H1=100(mm)	ϵ_{z4} H1=200(mm)	ϵ_{z4} H1=250(mm)	ϵ_{z4} H1=300(mm)
	0	-1,42E-03	-1,03E-03	-6,00E-04	-4,80E-04	-3,90E-04
E1=2000(MPa)	200	-5,50E-04	-4,50E-04	-3,00E-04	-2,60E-04	-2,20E-04
E2=400(MPa)	300	-3,90E-04	-3,30E-04	-2,40E-04	-2,00E-04	-1,80E-04
E3=800(MPa)	400	-2,90E-04	-2,50E-04	-1,90E-04	-1,70E-04	-1,50E-04
E4=50(MPa)	500	-2,30E-04	-2,00E-04	-1,60E-04	-1,40E-04	-1,20E-04
H2=300(mm)	600	-1,80E-04	-1,60E-04	-1,30E-04	-1,20E-04	-1,00E-04

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_{z4} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H3
(για διάφορες τιμές H1)



Διάγραμμα 3.32 Μεταβολή ϵ_{z4} συναρτήσει του H3 για διάφορες τιμές του H1.

Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα οι παράμετροι που εναλλάσσονται ποικίλουν και το κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει δύο μεταβλητές παραμέτρους για να γίνουν πιο φανερές οι διαφορές και πιο άμεσα τα συμπεράσματα. Κάθε φορά, με τις ίδιες σταθερές παραμέτρους εξετάζονται και τα τέσσερα εντατικά μεγέθη (ϵ_{g1} , σ_{g1} , σ_{g3} , ϵ_{z4}) παρόλο που ορισμένα διαγράμματα ήταν ήδη γνωστό πώς θα προέκυπταν.

Από τα αρχικά κιόλας διαγράμματα φαίνεται ότι αν έχουμε το στατικό προσομοίωμα του *Σχήματος 13* με $E3=400-2000$ (Mpa) όπως προκύπτει για τα σταθεροποιημένα εδάφη, αύξηση του πάχους της σταθεροποιημένης στρώσης (αύξηση δηλαδή της δυσκαμψίας της) οδηγεί σε αύξηση της αναπτυσσόμενης τάσης και της παραμόρφωσης της ασφαλικής στρώσης ενώ, όπως εξάλλου αναμενόταν, σε μείωση της τάσης στην σταθεροποιημένη στρώση και της παραμόρφωσης της στρώσης έδρασης. Επιπλέον από το *Διάγραμμα 3.5* παρατηρούμε ότι η ύπαρξη στρώσης αμμοχάλικου, που έχει μέτρο Ελαστικότητας μικρότερο από της σταθεροποιημένης στρώσης, οδηγεί σε επιβάρυνση της ασφαλικής στρώσης, ενώ αντίθετα όπως φαίνεται από το *Διάγραμμα 3.7* ανακούφιση της σταθεροποιημένης στρώσης και της στρώσης έδρασης (*Διάγραμμα 3.8*). Η άποψη αυτή ενισχύεται και από το *Διάγραμμα 3.9* όπου φαίνεται πλέον ότι αν δεν έχουμε καθόλου αμμοχάλικο έχουμε μικρή παραμόρφωση της ασφαλικής στρώσης, ενώ ακόμα και 10 εκ. αμμοχάλικου μπορεί να οδηγήσουν σχεδόν στον διπλασιασμό της. Το *Διάγραμμα 3.13* μας δείχνει επιπλέον ότι και αυξανόμενου του μέτρου ελαστικότητας της σταθεροποιημένης στρώσης, για το ίδιο πάχος, παρατηρείται επιβεβαρυμένη καταπόνηση της ασφαλικής στρώσης. Ας σημειωθεί όμως ότι παίρνοντας ως μέτρο ελαστικότητας του αμμοχάλικου 800Mpa, που αποτελεί ωστόσο ένα θεωρητικό νούμερο που τις περισσότερες φορές δεν μπορεί να επιτευχθεί, παρατηρούμε ότι οι παραμορφώσεις της ασφαλικής στρώσεις είναι αρκετά μικρότερες από αυτές που παρουσιάζονται στο *Διάγραμμα 3.1* για $E2=300$ (Mpa). Εξάλλου όπως παρατηρούμε από το *Διάγραμμα 3.14* η ασφαλική στρώση παραμένει στην θλιπτική περιοχή. Συνεπώς η δυσμενής επίδραση του αμμοχάλικου στην ασφαλική στρώση οφείλεται

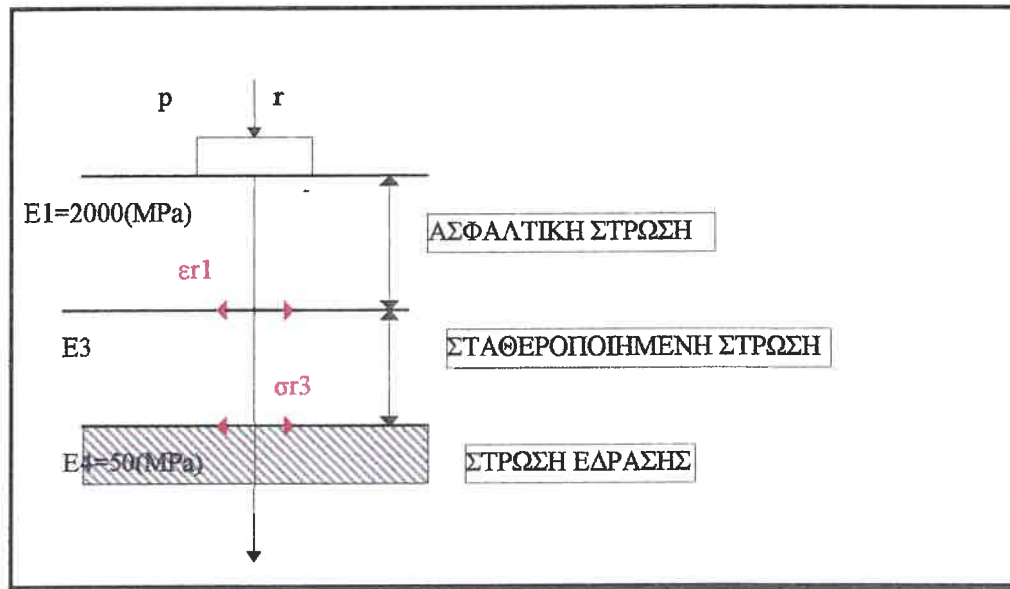
στο μικρότερο μέτρο ελαστικότητας του συγκρινόμενο με της ασφάλτου που υπέρκειται και του σταθεροποιημένου υλικού που υπόκειται.

Το *Διάγραμμα 3.17* παρουσιάζει ένα οδόστρωμα κατά τους χειμερινούς μήνες όπου το μέτρο ελαστικότητας αυξάνει. Βέβαια το νούμερο που χρησιμοποιείται είναι υπερβολικά μεγάλο, αλλά μας δείχνει ότι η ύπαρξη της σταθεροποιημένης στρώσης σε συνδυασμό με το αμμοχάλικο δεν επιβαρύνει την ασφαλική στρώση. Η επίδραση του μέτρου ελαστικότητας της ασφαλικής στρώσης στις κρίσιμες θέσεις φαίνεται και στα *Διαγράμματα 3.25-3.28*.

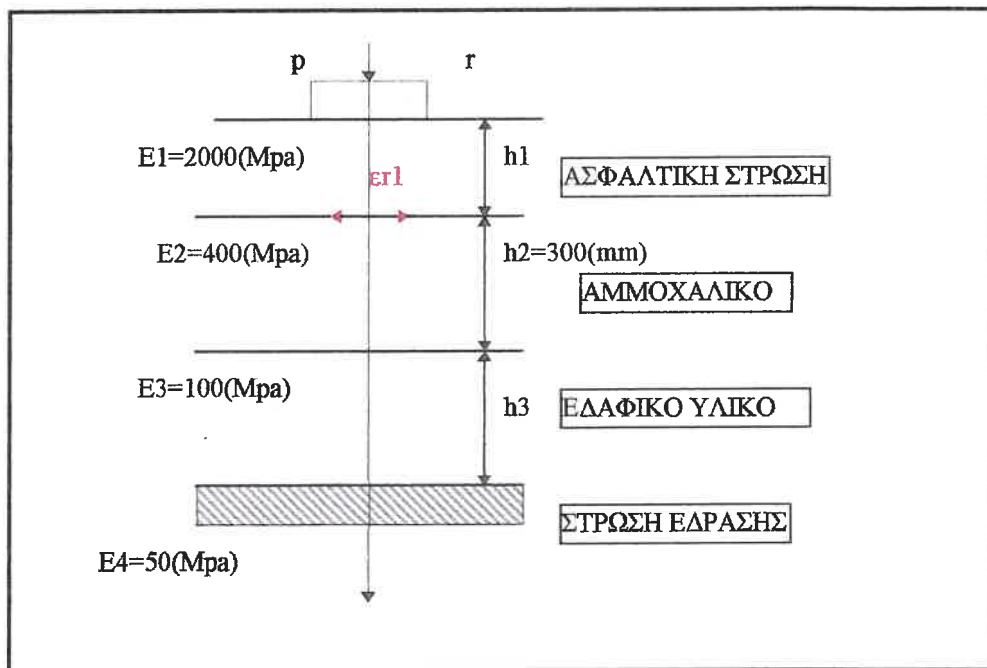
Ακολουθούν τα *Διαγράμματα 3.21-3.24* όπου γίνεται φανερό ότι αν δεν έχουμε αμμοχάλικο έχουμε τη μικρότερη δυνατή παραμόρφωση της ασφαλικής στρώσης δηλαδή την ευμενέστερη εντατική κατάσταση, σε αντίθεση με τη δυσμενέστερη κατάσταση που παρατηρείται στη σταθεροποιημένη στρώση και στη στρώση έδρασης.

Τελειώνοντας με τα *Διαγράμματα 3.29-3.32* οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι αν χρησιμοποιήσουμε αμμοχάλικο για να μην αυξηθεί υπερβολικά το πάχος της ασφαλικής στρώσης θα πρέπει το πάχος της σταθεροποιημένης να είναι τουλάχιστον 30εκ.

- Τα προαναφερθέντα συμπεράσματα μας οδηγούν στο να μελετήσουμε τα πάχη των στρώσεων των δύο διατομών που ακολουθούν, έτσι ώστε να είναι ισοδύναμα όσον αφορά τις καταπονήσεις της ασφαλτικής στρώσης.



Σχήμα 14 Στατικό προσομοίωμα στο οποίο δεν έχουμε στρώση από αμμοχάλικο αλλά έχουμε σταθεροποιημένη στρώση.



Σχήμα 15 Στατικό προσομοίωμα στο οποίο έχουμε στρώση από αμμοχάλικο χωρίς να έχουμε σταθεροποιημένη στρώση.

Κάνοντας χρήση του νόμου αστοχίας της ασφαλτικής στρώσης, δεχόμενοι ως επιτρεπόμενο αριθμό διελεύσεων 1 εκατομμύριο, μπορούμε στο Σχήμα 15 να βρούμε διάφορους συνδυασμούς για τα πάχη h_1 , h_3 . Για να έχουμε μια καλύτερη εικόνα αυτό θα επιτευχθεί με τη βοήθεια διαγράμματος όπως αυτό φαίνεται παρακάτω.

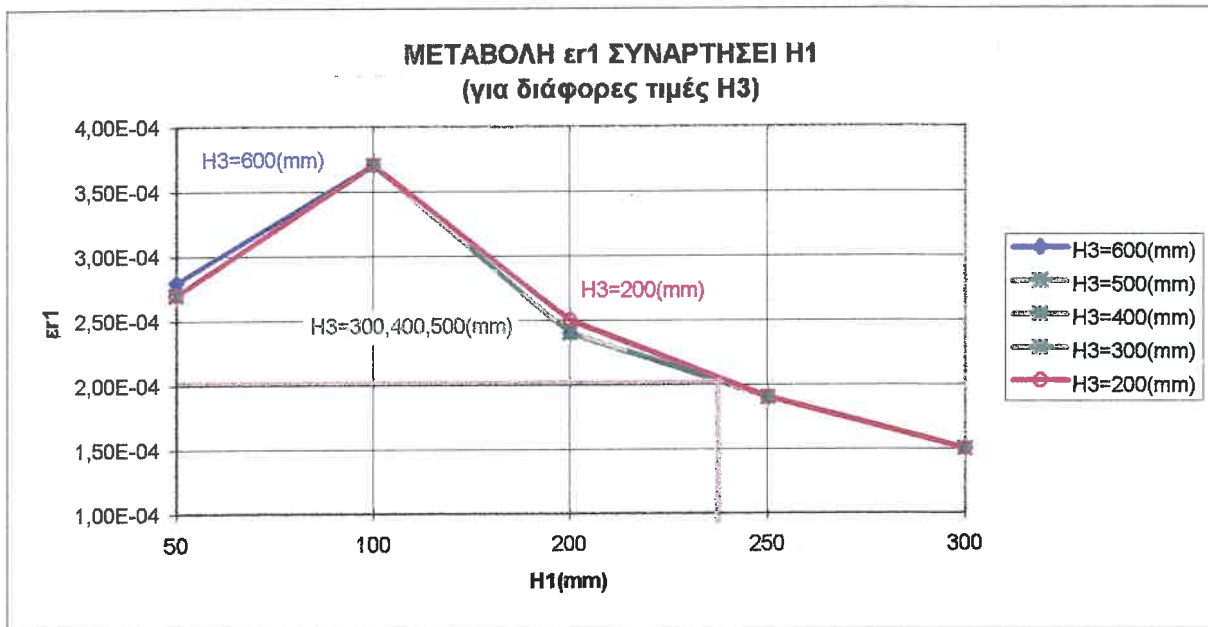
ΝΟΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΣΦΑΛΤΙΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ: $N_{επ}=1,61*10^{12}*ε^{-4,831}$ [26]

Για $N_{επ}=1000000$ διελεύσεις προκύπτει $ε=2,074E-04$.

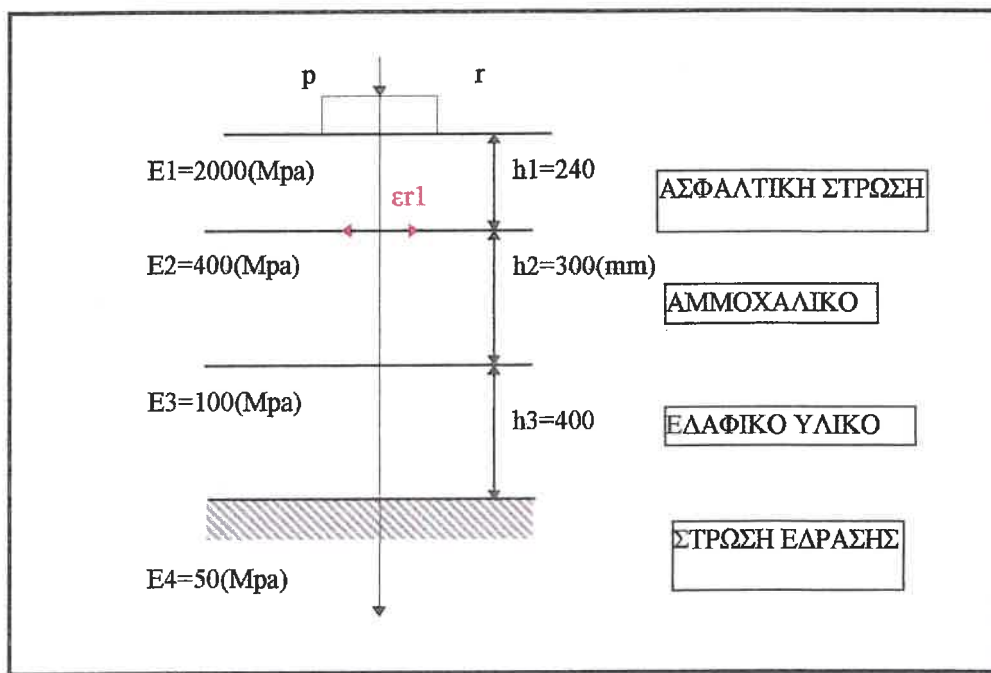
Για το στατικό προσομοίωμα του Σχήματος 15 έχουμε δύο κριτήρια αστοχίας που αφορούν την ασφαλτική στρώση και την σταθεροποιημένη στρώση. Ο Νόμος Αστοχίας της ασφαλτικής στρώσης είναι ίδια με προηγουμένως. Για την σταθεροποιημένη στρώση θα χρησιμοποιήσουμε τα μέτρα ελαστικότητας, όπως αυτά προέκυψαν από την Δοκιμή 3, και το 60% της αντοχής σε διάρρηξη των 80 περίπου ημερών (λαμβάνοντας υπόψη το φαινόμενο της κόπωσης) όπως αυτά προέκυψαν από το εργαστηριακό μέρος.

Οι υπολογισμοί που ακολουθούν αφορούν τη σταθεροποίηση με 10% και 20% ιπτάμενη τέφρα, επειδή υπάρχουν αμφιβολίες ως προς τις υπόλοιπες αντοχές που προέκυψαν από τα εργαστήρια. Γίνονται με τη χρήση διαγραμμάτων και ακολουθούν σχήματα όπου φαίνονται τα συμπεράσματα. Στα σχήματα αυτά τα μέτρα ελαστικότητας είναι εκφρασμένα σε MPa και τα πάχη των στρώσεων σε mm. Τα νούμερα εντός παρενθέσεων αναφέρονται στη σταθεροποίηση με 20% ιπτάμενη τέφρα.

		ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}
	H1(mm)	H3=600(mm)	H3=500(mm)	H3=400(mm)	H3=300(mm)	H3=200(mm)
E1=2000(MPa)	50	2,80E-04	2,70E-04	2,70E-04	2,70E-04	2,70E-04
E2=400(MPa)	100	3,70E-04	3,70E-04	3,70E-04	3,70E-04	3,70E-04
E3=100(MPa)	200	2,40E-04	2,40E-04	2,40E-04	2,40E-04	2,50E-04
E4=50(MPa)	250	1,90E-04	1,90E-04	1,90E-04	1,90E-04	1,90E-04
H2=300(mm)	300	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04



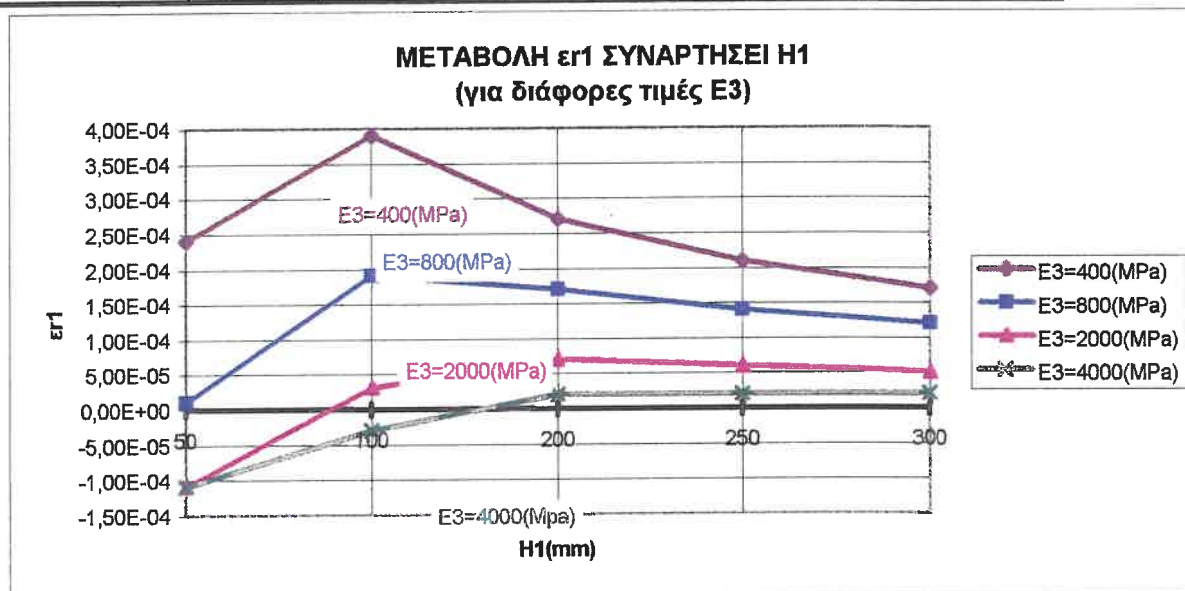
Διάγραμμα 3.33 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για την διατομή του Σχήματος 15.



Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω διάγραμμα στην περίπτωση του Σχήματος 15, κάνοντας χρήση του νόμου αστοχίας από κόπωση της ασφαλτικής στρώσης προκύπτει ότι η ασφαλτική στρώση πρέπει να έχει ελάχιστο πάχος 240 mm, ανεξαρτήτως του πάχους $H3$ του εδαφικού υλικού. Ωστόσο, πάχος $H3=400$ mm κρίνεται ως ελάχιστα απαραίτητο για την εξασφάλιση των στρώσεων έδρασης.

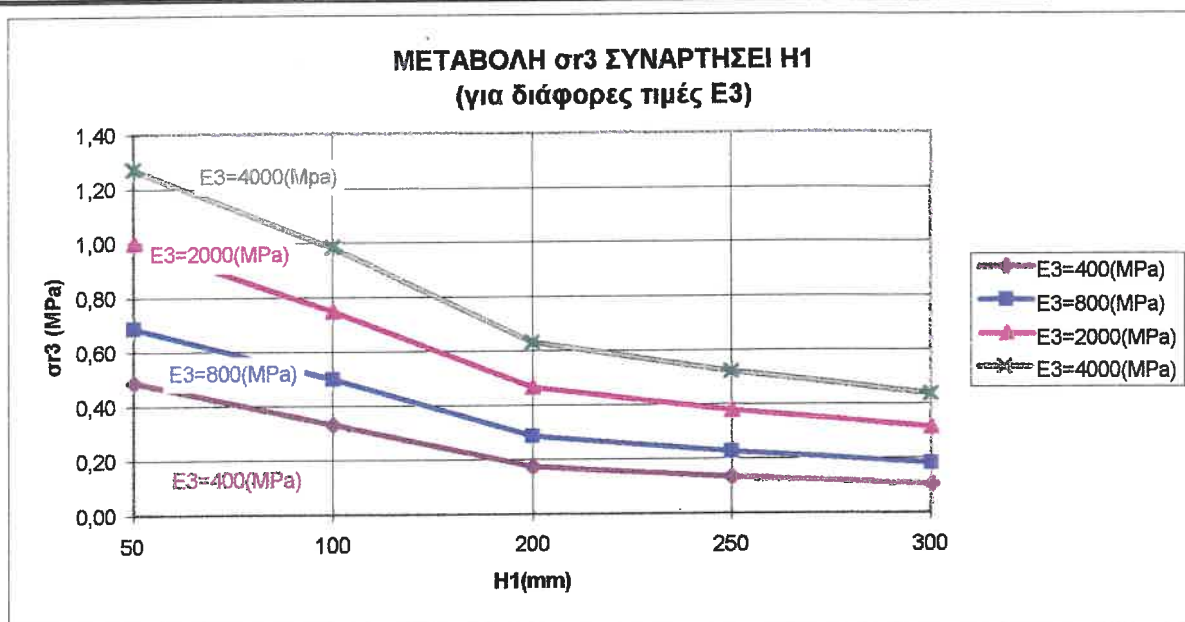
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, και εν συνεχεία στα αντίστοιχα σχήματα, εξετάζεται η περίπτωση του Σχήματος 14.

	H1(mm)	ϵ_1 E3=400(MPa)	ϵ_1 E3=800(MPa)	ϵ_1 E3=2000(MPa)	ϵ_1 E3=4000(MPa)
	50	2,40E-04	1,00E-05	-1,10E-04	-1,10E-04
	100	3,90E-04	1,90E-04	3,00E-05	-3,00E-05
E1=2000(MPa)	200	2,70E-04	1,70E-04	7,00E-05	2,00E-05
E4=50(MPa)	250	2,10E-04	1,40E-04	6,00E-05	2,00E-05
H3=200(mm)	300	1,70E-04	1,20E-04	5,00E-05	2,00E-05



Διάγραμμα 3.34 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για την διατομή του Σχήματος 14 και H3=200mm.

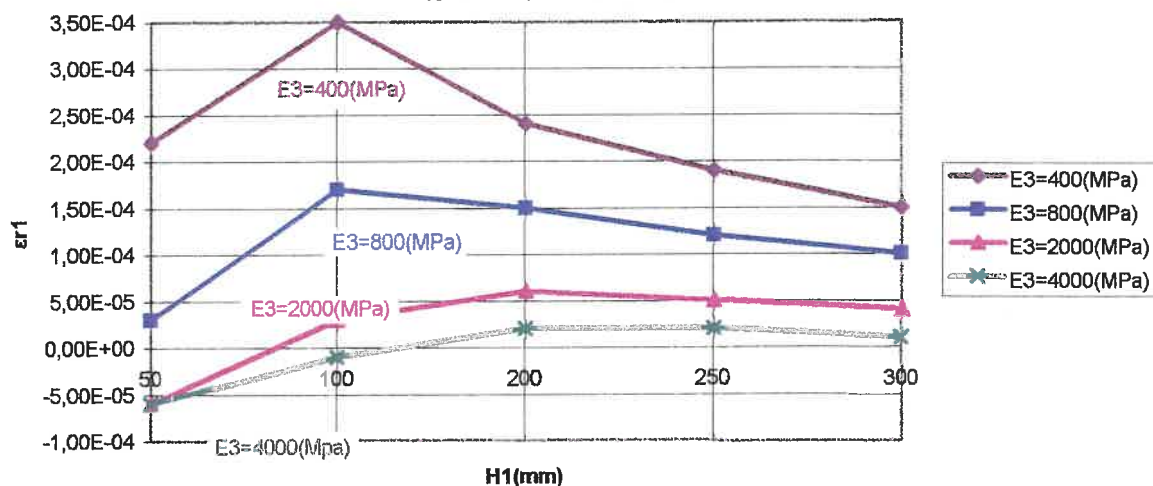
	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
	50	0,48	0,69	1,00	1,27
	100	0,33	0,50	0,75	0,98
E1=2000(MPa)	200	0,17	0,28	0,46	0,63
E4=50(MPa)	250	0,13	0,22	0,38	0,52
H3=200(mm)	300	0,10	0,18	0,31	0,43



Διάγραμμα 3.35 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για την διατομή του Σχήματος 14 και H3=200mm.

	H1(mm)	ϵ_{r1} E3=400(MPa)	ϵ_{r1} E3=800(MPa)	ϵ_{r1} E3=2000(MPa)	ϵ_{r1} E3=4000(MPa)
	50	2,20E-04	3,00E-05	-6,00E-05	-6,00E-05
	100	3,50E-04	1,70E-04	3,00E-05	-1,00E-05
E1=2000(MPa)	200	2,40E-04	1,50E-04	6,00E-05	2,00E-05
E4=50(MPa)	250	1,90E-04	1,20E-04	5,00E-05	2,00E-05
H3=300(mm)	300	1,50E-04	1,00E-04	4,00E-05	1,00E-05

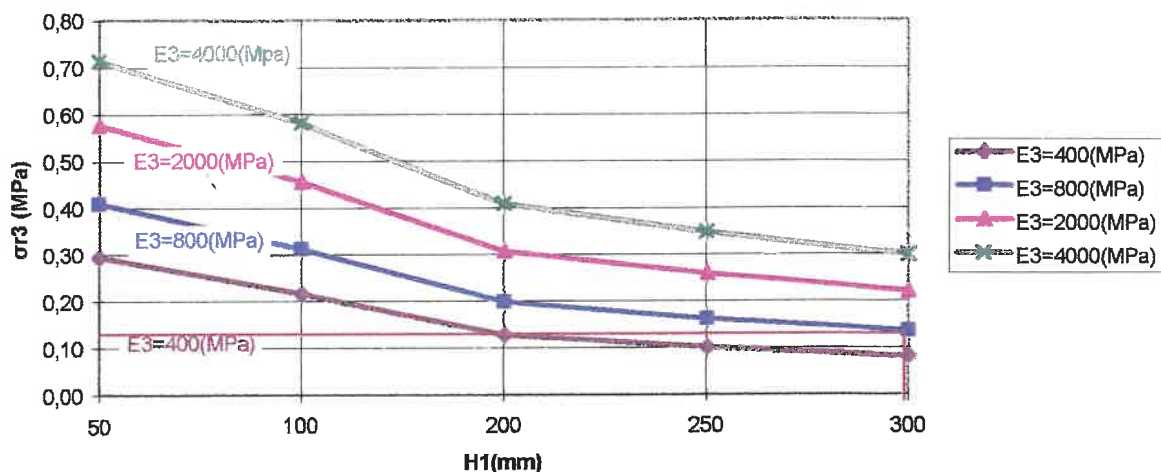
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_{r1} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.36 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για την διατομή του Σχήματος 14 και H3=300mm.

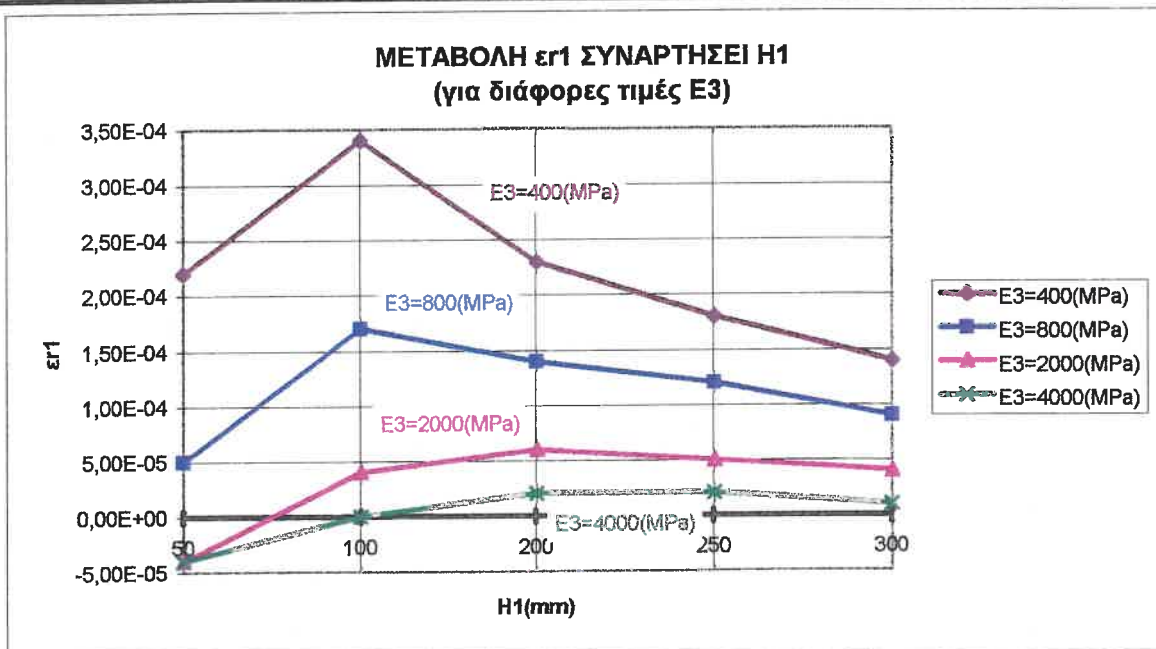
	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
	50	0,29	0,41	0,58	0,71
	100	0,22	0,31	0,45	0,58
E1=2000(MPa)	200	0,13	0,20	0,31	0,41
E4=50(MPa)	250	0,10	0,16	0,26	0,35
H3=300(mm)	300	0,08	0,13	0,22	0,30

ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



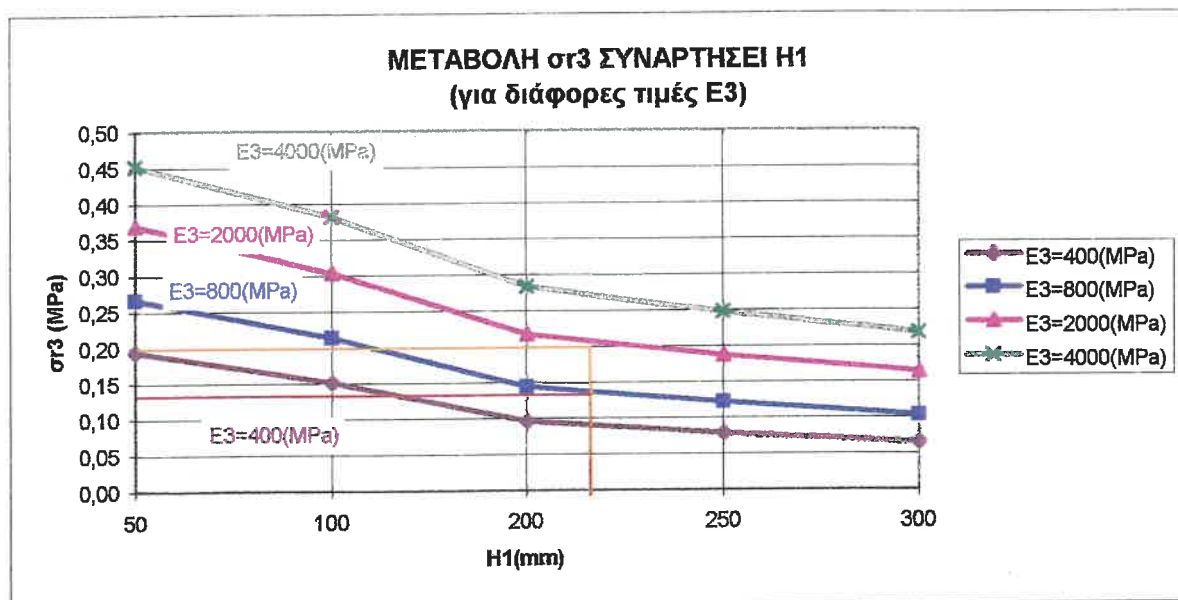
Διάγραμμα 3.37 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για την διατομή του Σχήματος 14 και H3=300mm.

		ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
	50	2,20E-04	5,00E-05	-4,00E-05	-4,00E-05
	100	3,40E-04	1,70E-04	4,00E-05	0,00E+00
E1=2000(MPa)	200	2,30E-04	1,40E-04	6,00E-05	2,00E-05
E4=50(MPa)	250	1,80E-04	1,20E-04	5,00E-05	2,00E-05
H3=400(mm)	300	1,40E-04	9,00E-05	4,00E-05	1,00E-05



Διάγραμμα 3.38 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για την διατομή του Σχήματος 14 και H3=400mm.

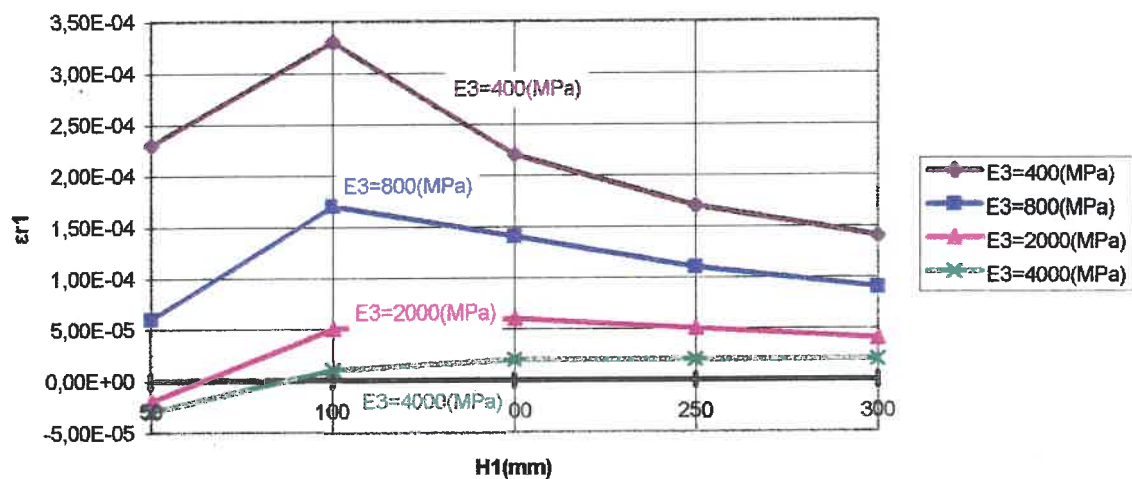
		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
	50	0,19	0,27	0,37	0,45
	100	0,15	0,21	0,30	0,38
E1=2000(MPa)	200	0,10	0,14	0,22	0,28
E4=50(MPa)	250	0,08	0,12	0,19	0,25
H3=400(mm)	300	0,06	0,10	0,16	0,22



Διάγραμμα 3.39 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για την διατομή του Σχήματος 14 και H3=400mm.

	H1(mm)	ϵ_{r1} E3=400(MPa)	ϵ_{r1} E3=800(MPa)	ϵ_{r1} E3=2000(MPa)	ϵ_{r1} E3=4000(MPa)
	50	2,30E-04	6,00E-05	-2,00E-05	-3,00E-05
	100	3,30E-04	1,70E-04	5,00E-05	1,00E-05
E1=2000(MPa)	200	2,20E-04	1,40E-04	6,00E-05	2,00E-05
E4=50(MPa)	250	1,70E-04	1,10E-04	5,00E-05	2,00E-05
H3=500(mm)	300	1,40E-04	9,00E-05	4,00E-05	2,00E-05

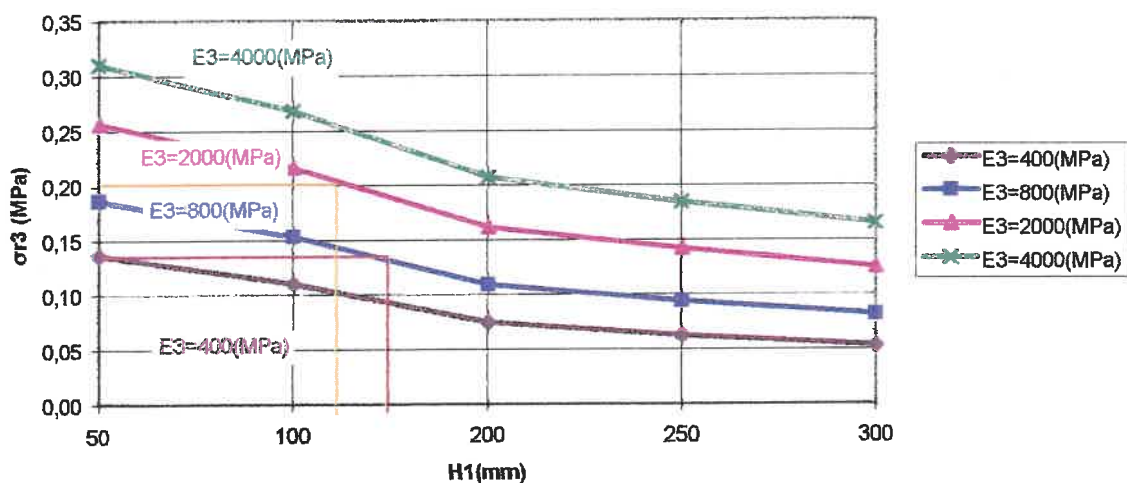
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_{r1} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.40 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για την διατομή του Σχήματος 14 και H3=500mm.

	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
	50	0,14	0,19	0,26	0,31
	100	0,11	0,15	0,22	0,27
E1=2000(MPa)	200	0,07	0,11	0,16	0,21
E4=50(MPa)	250	0,06	0,09	0,14	0,18
H3=500(mm)	300	0,05	0,08	0,13	0,17

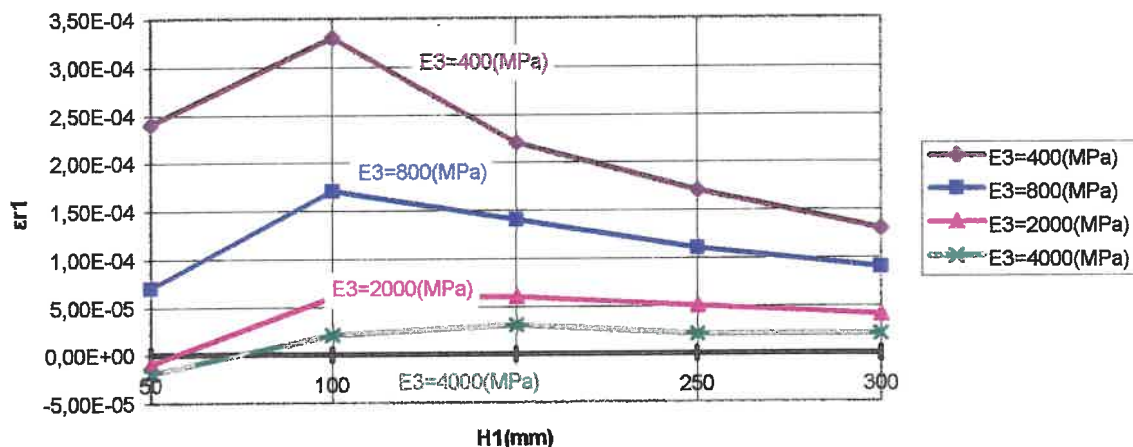
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.41 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για την διατομή του Σχήματος 14 και H3=500mm.

		ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
	50	2,40E-04	7,00E-05	-1,00E-05	-2,00E-05
	100	3,30E-04	1,70E-04	6,00E-05	2,00E-05
E1=2000(MPa)	200	2,20E-04	1,40E-04	6,00E-05	3,00E-05
E4=50(MPa)	250	1,70E-04	1,10E-04	5,00E-05	2,00E-05
H3=600(mm)	300	1,30E-04	9,00E-05	4,00E-05	2,00E-05

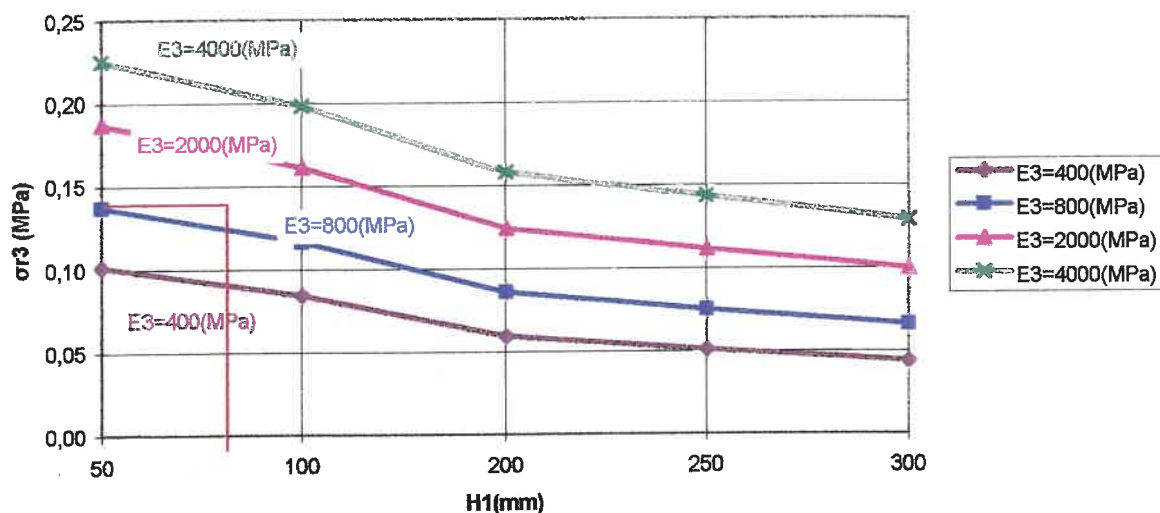
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



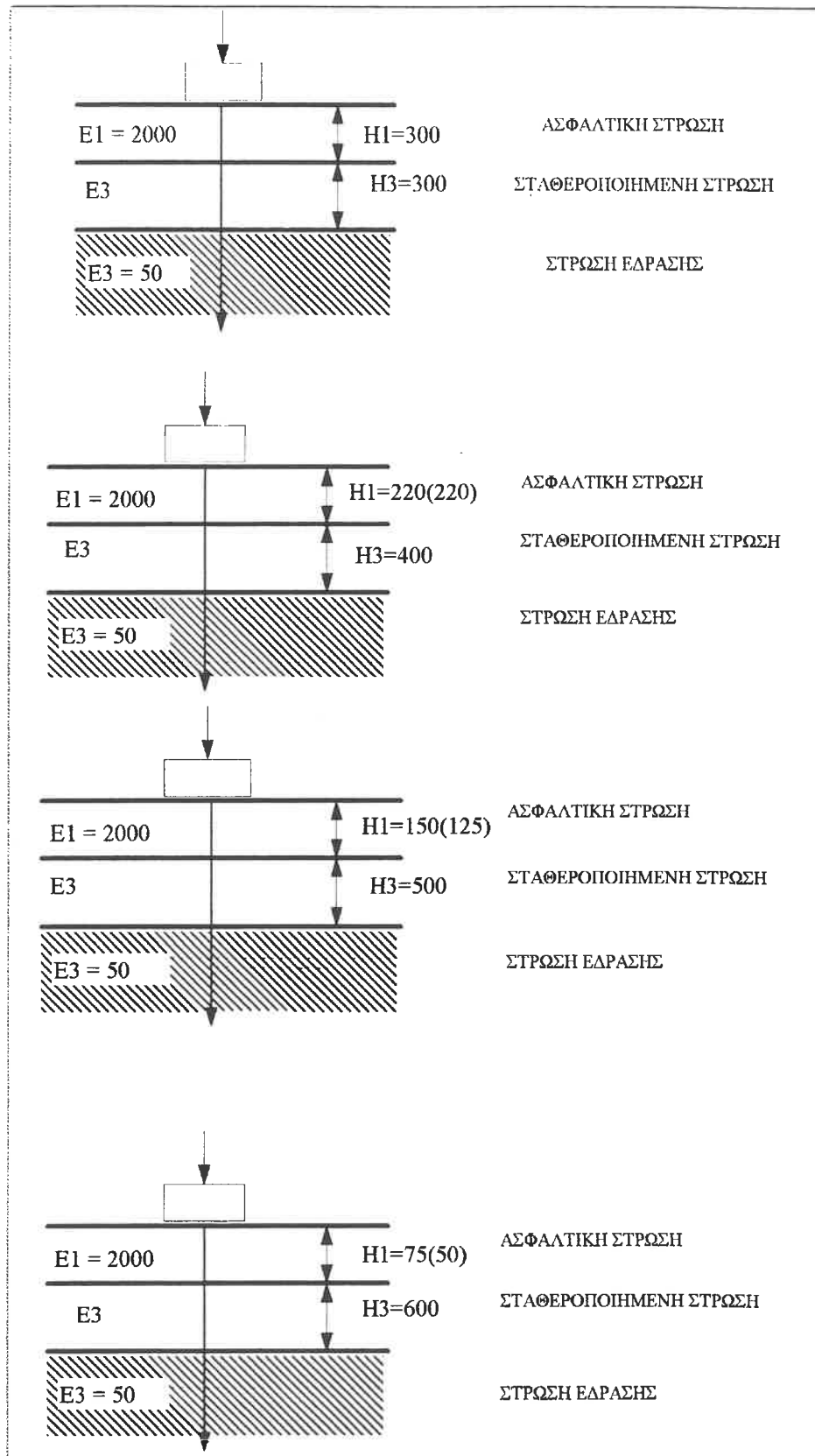
Διάγραμμα 3.42 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για την διατομή του Σχήματος 14 και H3=600mm.

		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
	50	0,10	0,14	0,19	0,23
	100	0,08	0,12	0,16	0,20
E1=2000(MPa)	200	0,06	0,09	0,12	0,16
E4=50(MPa)	250	0,05	0,07	0,11	0,14
H3=600(mm)	300	0,04	0,07	0,10	0,13

ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)

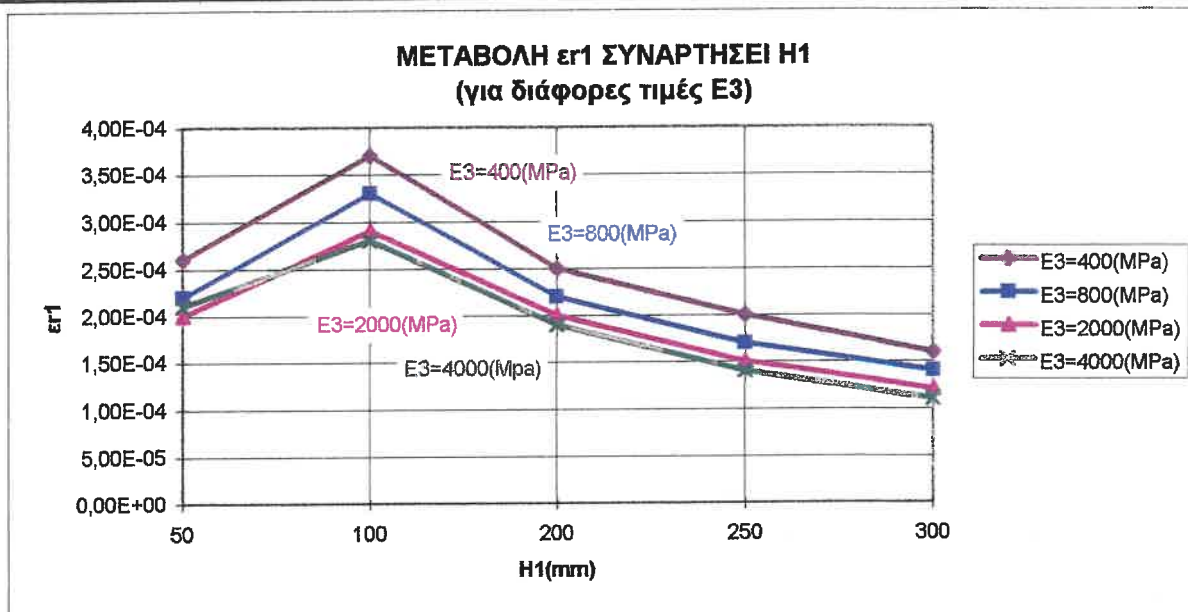


Διάγραμμα 3.43 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για την διατομή του Σχήματος 14 και H3=600mm.



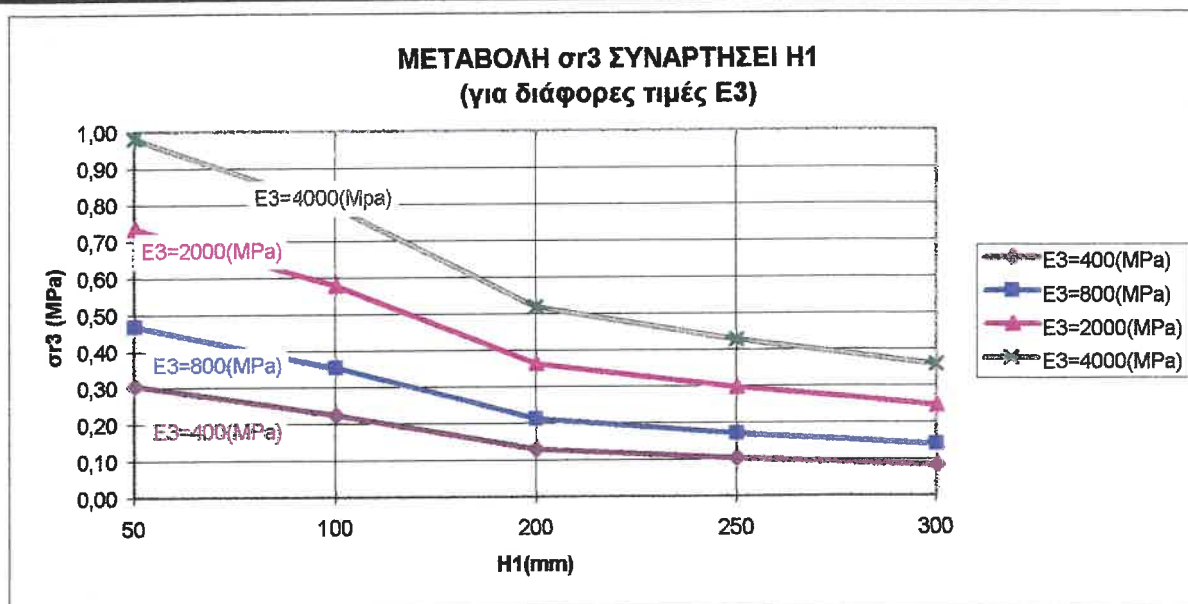
Η ύπαρξη αμμοχάλικου που υπέρκειται της σταθεροποιημένης στρώσης επιβαρύνει μεν την ασφατική, ανακουφίζει ωστόσο τη σταθεροποιημένη. Κρίνοντας ότι είναι απαραίτητη όσον αφορά το θέμα της στράγγισης και της παρεμπόδισης της ανάδυσης της ρηγμάτωσης στην επιφάνεια, στα επόμενα διαγράμματα και σχήματα εξετάζουμε τα απαιτούμενα πάχη στη διατομή οδοστρώματος όπου συνυπάρχουν αμμοχάλικο και σταθεροποιημένη στρώση.

		ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	2,60E-04	2,20E-04	2,00E-04	2,10E-04
E2=400(MPa)	100	3,70E-04	3,30E-04	2,90E-04	2,80E-04
E4=50(MPa)	200	2,50E-04	2,20E-04	2,00E-04	1,90E-04
H2=100(mm)	250	2,00E-04	1,70E-04	1,50E-04	1,40E-04
H3=200(mm)	300	1,60E-04	1,40E-04	1,20E-04	1,10E-04



Διάγραμμα 3.44 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=200mm, H2=100mm με E2=400MPa

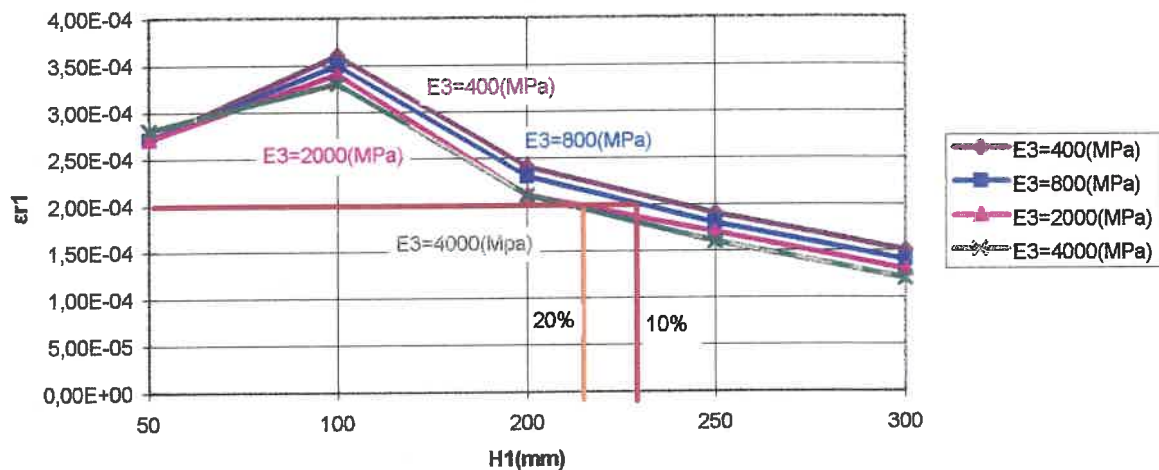
		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,30	0,47	0,73	0,98
E2=400(MPa)	100	0,22	0,35	0,58	0,79
E4=50(MPa)	200	0,13	0,21	0,36	0,52
H2=100(mm)	250	0,10	0,17	0,30	0,43
H3=200(mm)	300	0,08	0,14	0,24	0,36



Διάγραμμα 3.45 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=200mm, H2=100mm με E2=400MPa

		ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	2,70E-04	2,70E-04	2,70E-04	2,80E-04
E2=400(MPa)	100	3,60E-04	3,50E-04	3,40E-04	3,30E-04
E4=50(MPa)	200	2,40E-04	2,30E-04	2,10E-04	2,10E-04
H2=200(mm)	250	1,90E-04	1,80E-04	1,70E-04	1,60E-04
H3=200(mm)	300	1,50E-04	1,40E-04	1,30E-04	1,20E-04

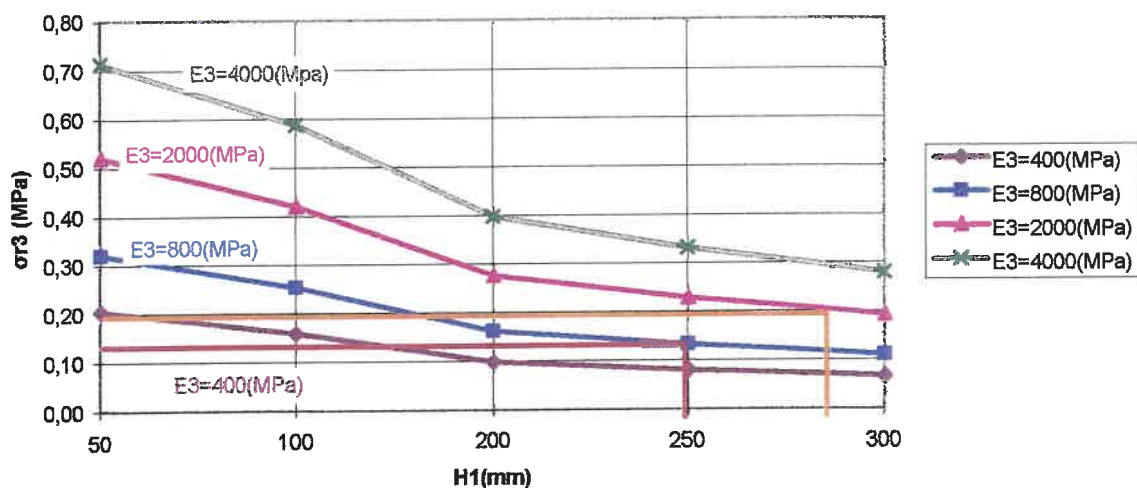
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_{r1} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.46 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=200mm, H2=200mm με E2=400MPa

		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,20	0,32	0,52	0,71
E2=400(MPa)	100	0,16	0,25	0,42	0,59
E4=50(MPa)	200	0,10	0,16	0,28	0,40
H2=200(mm)	250	0,08	0,13	0,23	0,33
H3=200(mm)	300	0,07	0,11	0,19	0,28

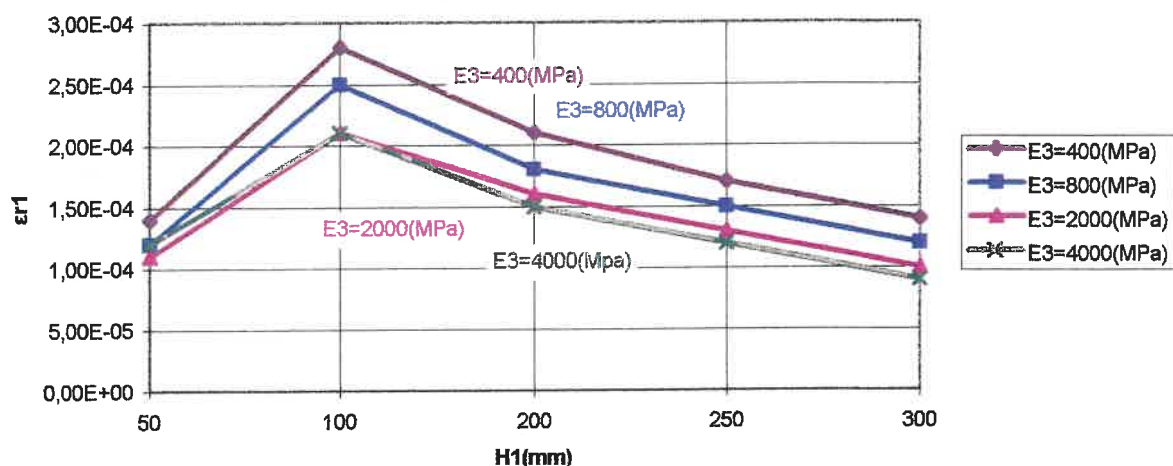
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.47 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=200mm, H2=200mm με E2=400MPa

	H1(mm)	ϵ_1 E3=400(MPa)	ϵ_1 E3=800(MPa)	ϵ_1 E3=2000(MPa)	ϵ_1 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	1,40E-04	1,20E-04	1,10E-04	1,20E-04
E2=600(MPa)	100	2,80E-04	2,50E-04	2,10E-04	2,10E-04
E4=50(MPa)	200	2,10E-04	1,80E-04	1,60E-04	1,50E-04
H2=100(mm)	250	1,70E-04	1,50E-04	1,30E-04	1,20E-04
H3=200(mm)	300	1,40E-04	1,20E-04	1,00E-04	9,00E-05

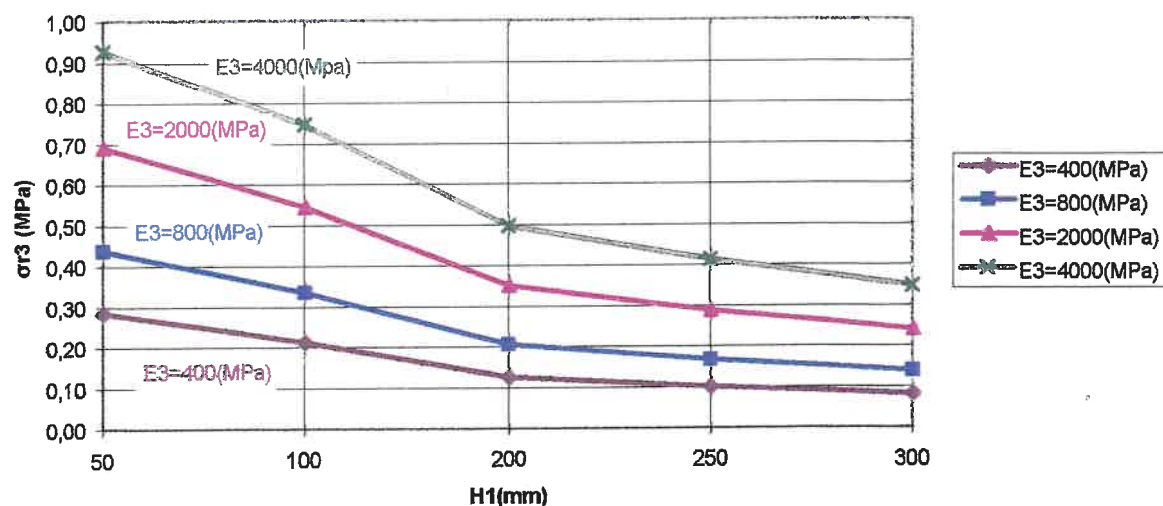
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.48 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=200mm, H2=100mm με E2=600MPa

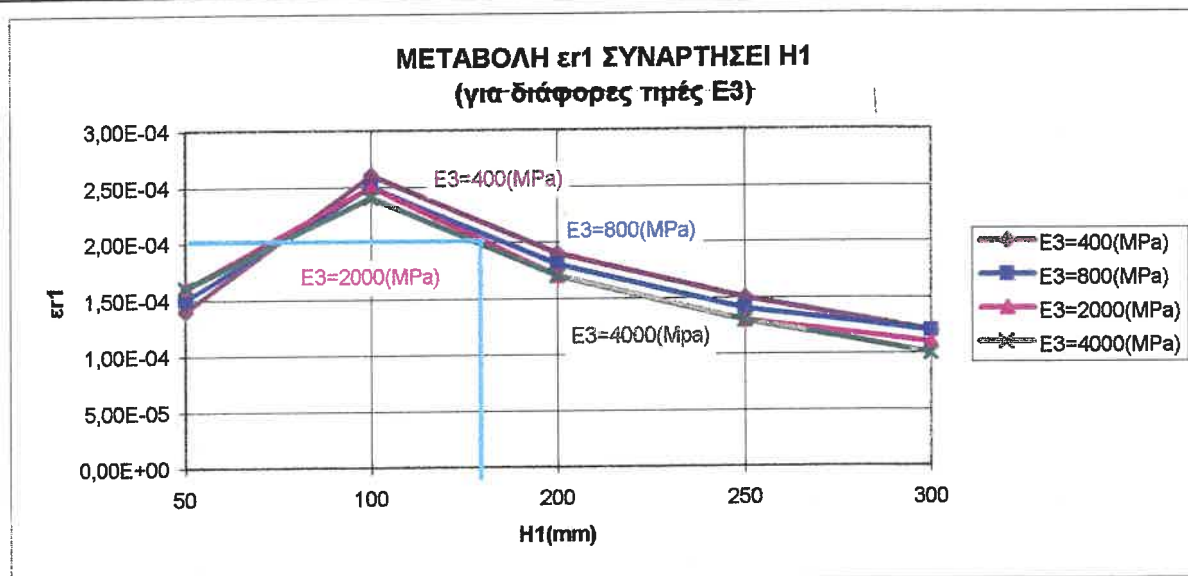
	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,28	0,44	0,69	0,93
E2=600(MPa)	100	0,21	0,33	0,54	0,75
E4=50(MPa)	200	0,12	0,21	0,35	0,50
H2=100(mm)	250	0,10	0,17	0,29	0,41
H3=200(mm)	300	0,08	0,14	0,24	0,35

ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



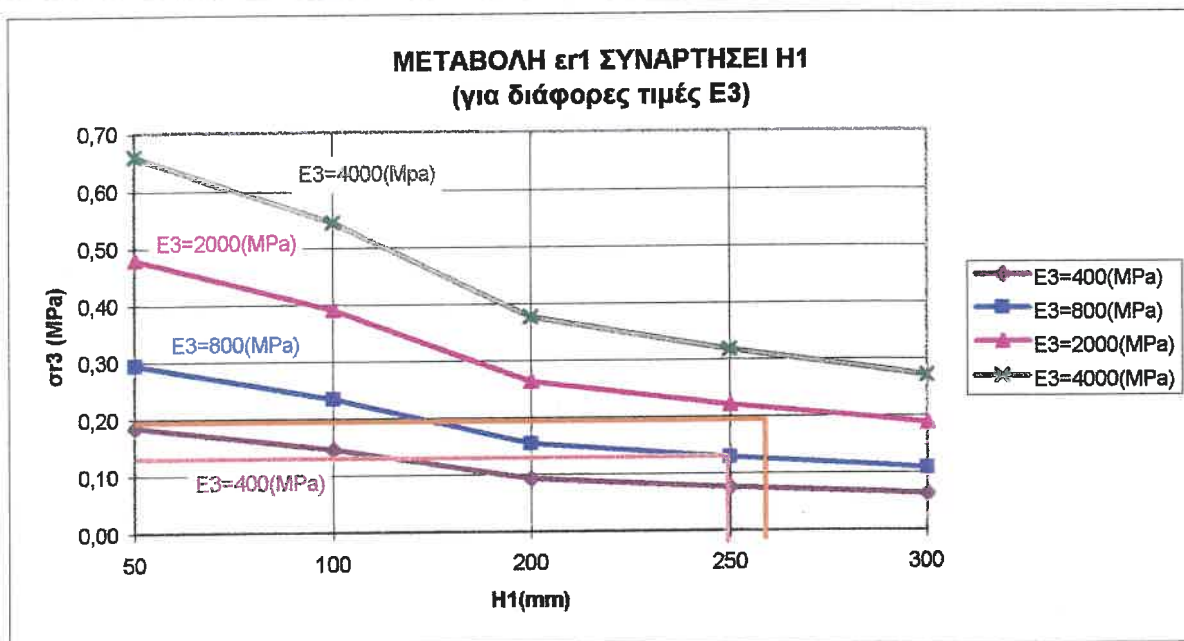
Διάγραμμα 3.49 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=200mm, H2=100mm με E2=600MPa

	H1(mm)	ϵ_1 E3=400(MPa)	ϵ_1 E3=800(MPa)	ϵ_1 E3=2000(MPa)	ϵ_1 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	1,40E-04	1,50E-04	1,60E-04	1,60E-04
E2=600(MPa)	100	2,60E-04	2,50E-04	2,50E-04	2,40E-04
E4=50(MPa)	200	1,90E-04	1,80E-04	1,70E-04	1,70E-04
H2=200(mm)	250	1,50E-04	1,40E-04	1,30E-04	1,30E-04
H3=200(mm)	300	1,20E-04	1,20E-04	1,10E-04	1,00E-04



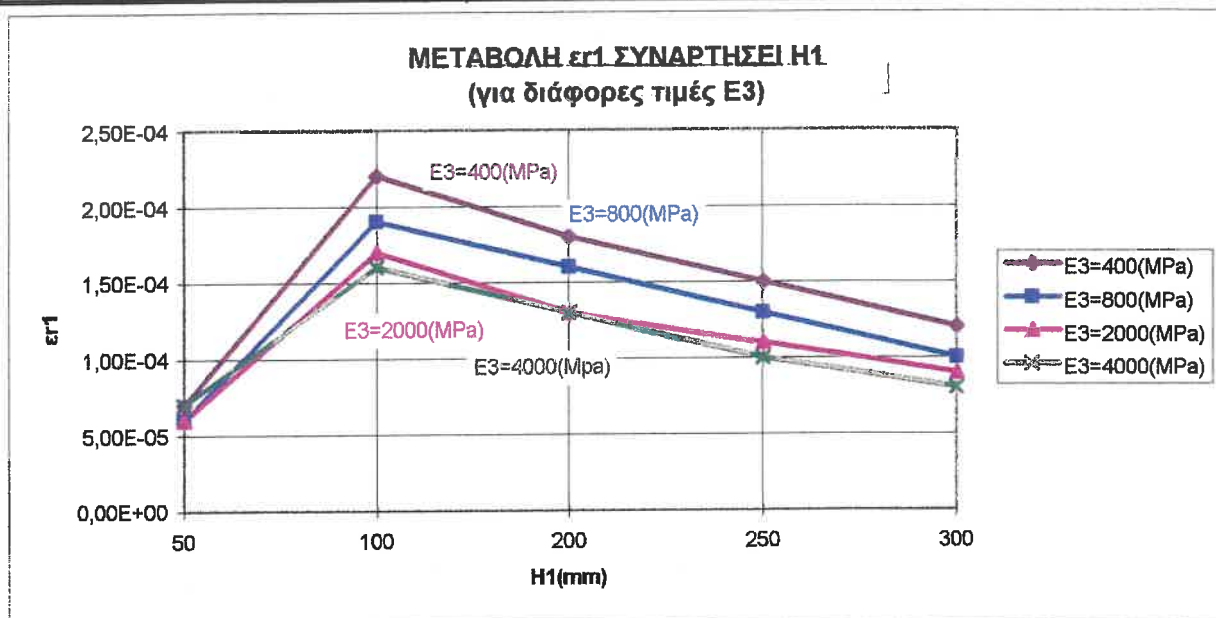
Διάγραμμα 3.50 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=200mm, H2=200mm με E2=600MPa

	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,19	0,29	0,48	0,66
E2=600(MPa)	100	0,15	0,23	0,39	0,54
E4=50(MPa)	200	0,09	0,15	0,26	0,38
H2=200(mm)	250	0,08	0,13	0,22	0,32
H3=200(mm)	300	0,06	0,11	0,19	0,27



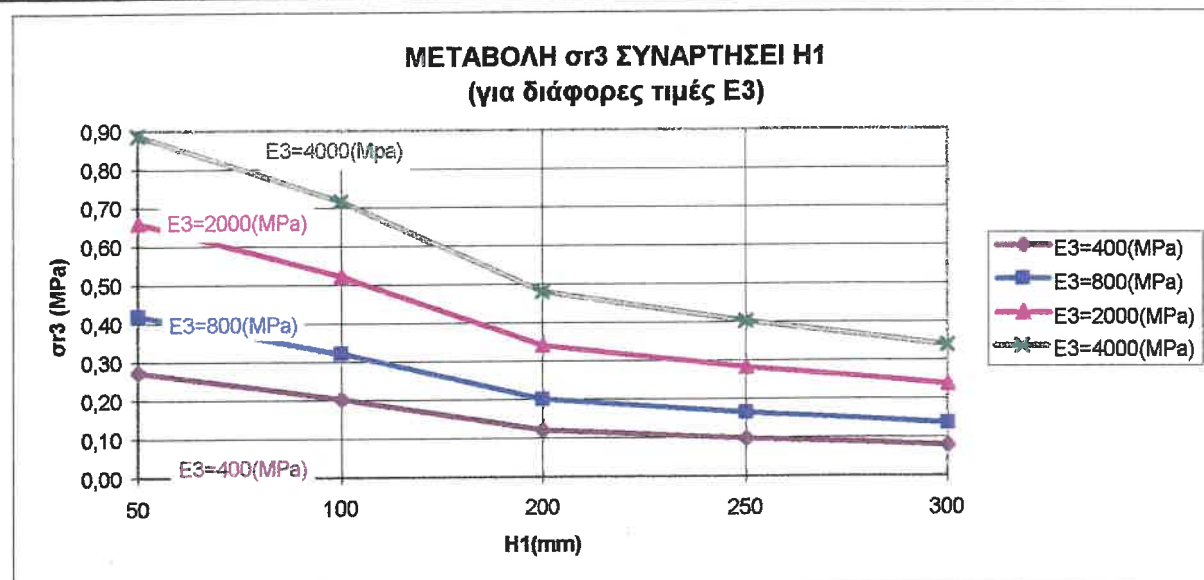
Διάγραμμα 3.51 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=200mm, H2=200mm με E2=600MPa

	H1(mm)	ε_1 E3=400(MPa)	ε_1 E3=800(MPa)	ε_1 E3=2000(MPa)	ε_1 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	7,00E-05	6,00E-05	6,00E-05	7,00E-05
E2=800(MPa)	100	2,20E-04	1,90E-04	1,70E-04	1,60E-04
E4=50(MPa)	200	1,80E-04	1,60E-04	1,30E-04	1,30E-04
H2=100(mm)	250	1,50E-04	1,30E-04	1,10E-04	1,00E-04
H3=200(mm)	300	1,20E-04	1,00E-04	9,00E-05	8,00E-05



Διάγραμμα 3.52 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για $H3=200mm$, $H2=100mm$ με $E2=800MPa$

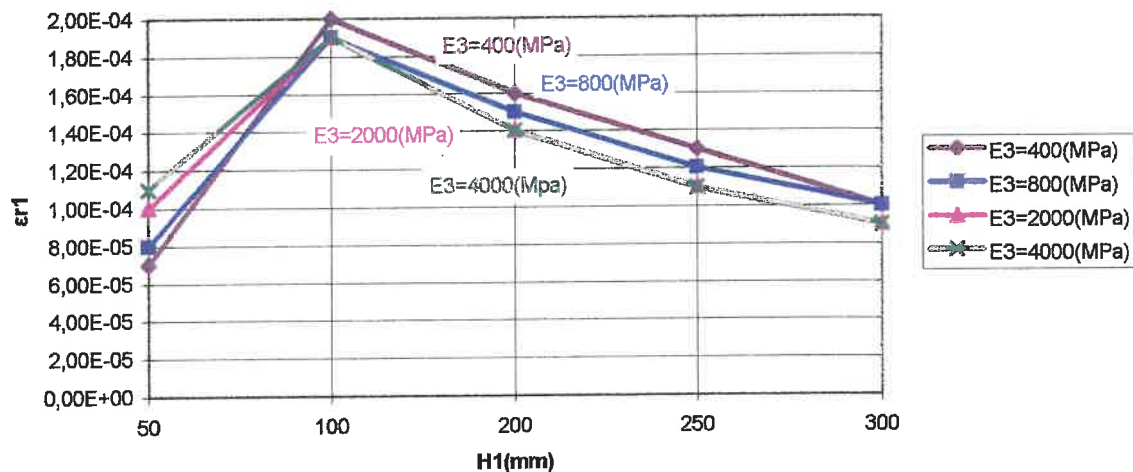
	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,27	0,42	0,66	0,89
E2=800(MPa)	100	0,20	0,32	0,52	0,72
E4=50(MPa)	200	0,12	0,20	0,34	0,48
H2=100(mm)	250	0,10	0,16	0,28	0,40
H3=200(mm)	300	0,08	0,14	0,24	0,34



Διάγραμμα 3.53 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για $H3=200mm$, $H2=100mm$ με $E2=800MPa$

	H1(mm)	ϵ_1 E3=400(MPa)	ϵ_1 E3=800(MPa)	ϵ_1 E3=2000(MPa)	ϵ_1 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	7,00E-05	8,00E-05	1,00E-04	1,10E-04
E2=800(MPa)	100	2,00E-04	1,90E-04	1,90E-04	1,90E-04
E4=50(MPa)	200	1,60E-04	1,50E-04	1,40E-04	1,40E-04
H2=200(mm)	250	1,30E-04	1,20E-04	1,10E-04	1,10E-04
H3=200(mm)	300	1,00E-04	1,00E-04	9,00E-05	9,00E-05

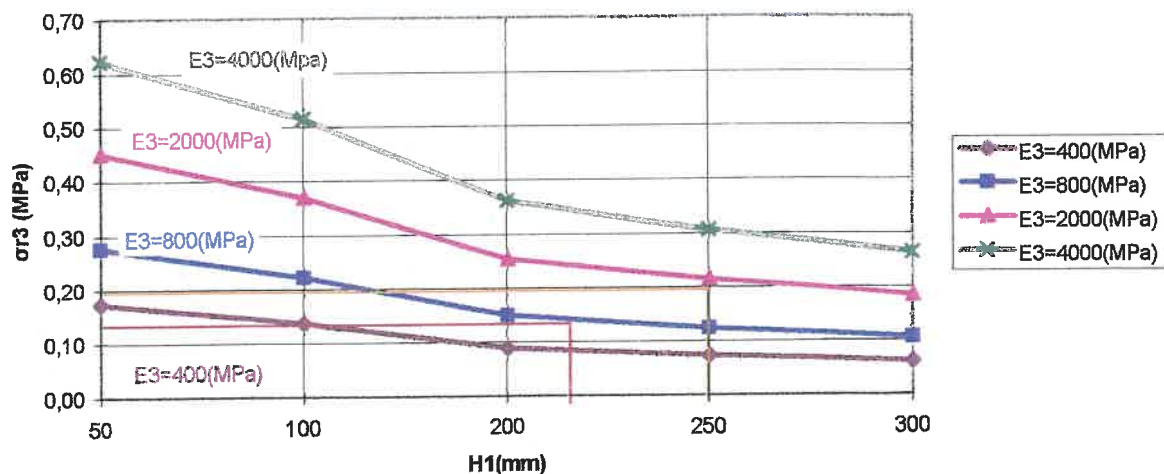
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.54 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=200mm, H2=200mm με E2=800MPa

	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,17	0,28	0,45	0,62
E2=800(MPa)	100	0,14	0,22	0,37	0,52
E4=50(MPa)	200	0,09	0,15	0,25	0,36
H2=200(mm)	250	0,07	0,12	0,21	0,31
H3=200(mm)	300	0,06	0,11	0,18	0,26

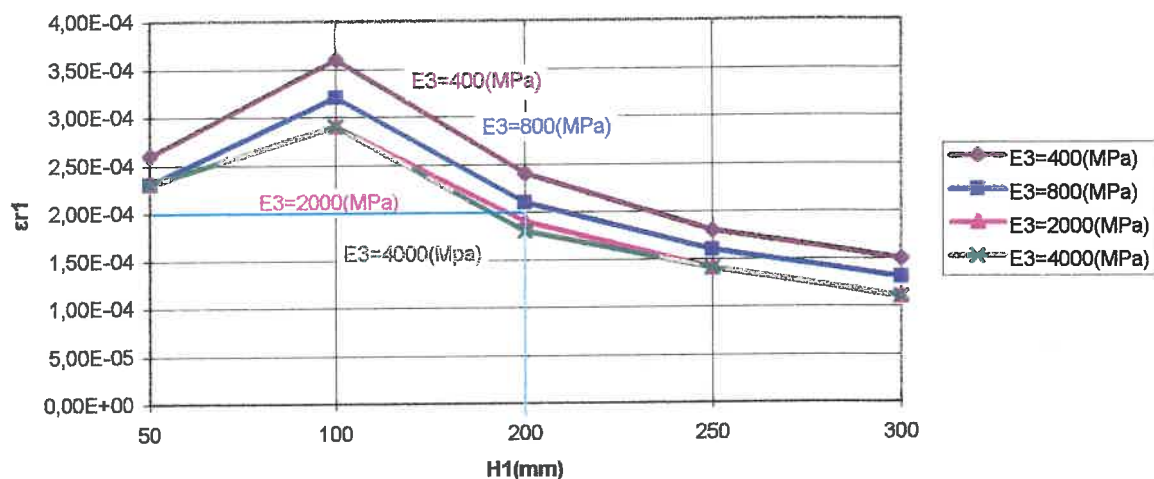
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.55 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=200mm, H2=200mm με E2=800MPa

	H1(mm)	ϵ_1 E3=400(MPa)	ϵ_1 E3=800(MPa)	ϵ_1 E3=2000(MPa)	ϵ_1 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	2,60E-04	2,30E-04	2,30E-04	2,30E-04
E2=400(MPa)	100	3,60E-04	3,20E-04	2,90E-04	2,90E-04
E4=50(MPa)	200	2,40E-04	2,10E-04	1,90E-04	1,80E-04
H2=100(mm)	250	1,80E-04	1,60E-04	1,40E-04	1,40E-04
H3=300(mm)	300	1,50E-04	1,30E-04	1,10E-04	1,10E-04

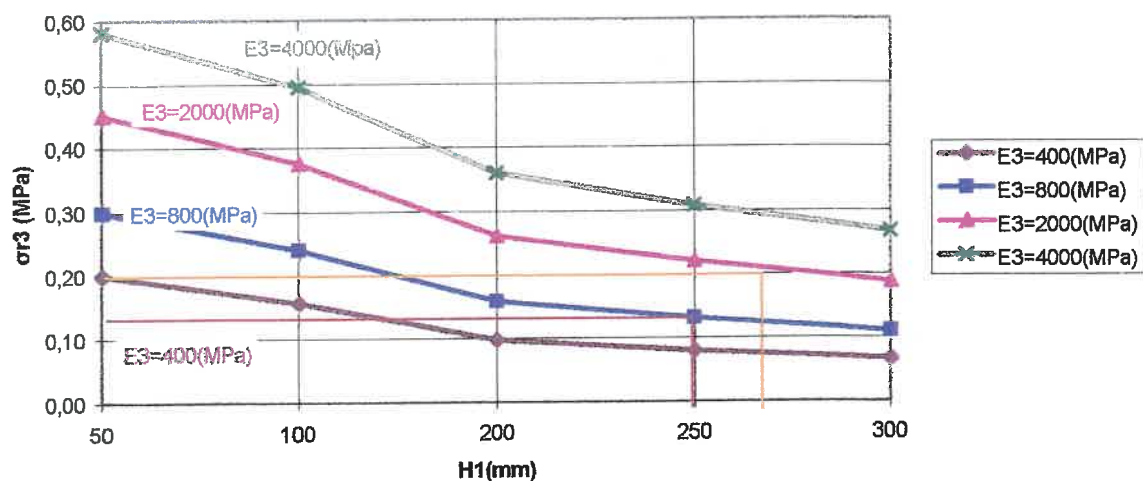
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.56 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=300mm, H2=100mm με E2=400MPa

	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,20	0,30	0,45	0,58
E2=400(MPa)	100	0,16	0,24	0,37	0,50
E4=50(MPa)	200	0,10	0,16	0,26	0,36
H2=100(mm)	250	0,08	0,13	0,22	0,31
H3=300(mm)	300	0,07	0,11	0,19	0,27

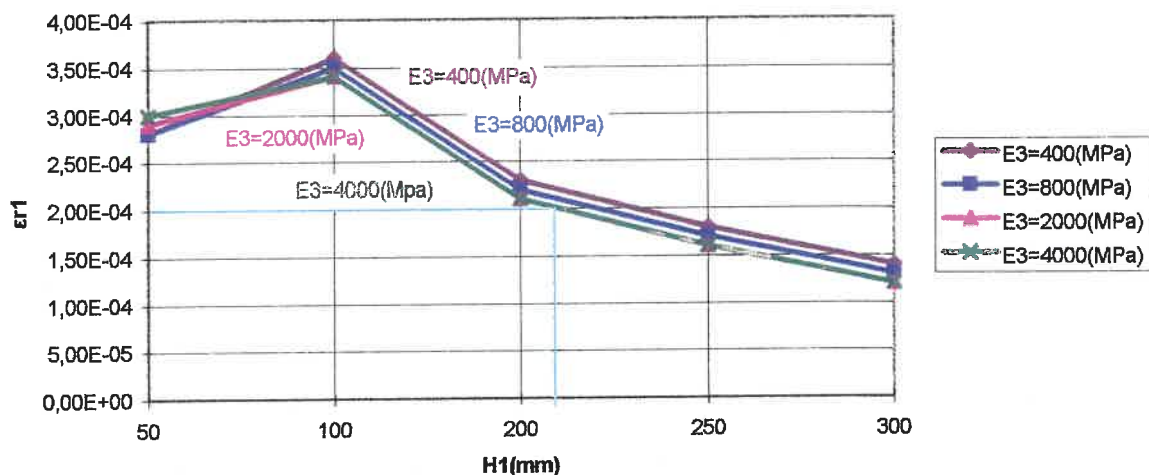
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.57 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=300mm, H2=100mm με E2=400MPa

		ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	2,80E-04	2,80E-04	2,90E-04	3,00E-04
E2=400(MPa)	100	3,60E-04	3,50E-04	3,40E-04	3,40E-04
E4=50(MPa)	200	2,30E-04	2,20E-04	2,10E-04	2,10E-04
H2=200(mm)	250	1,80E-04	1,70E-04	1,60E-04	1,60E-04
H3=300(mm)	300	1,40E-04	1,30E-04	1,20E-04	1,20E-04

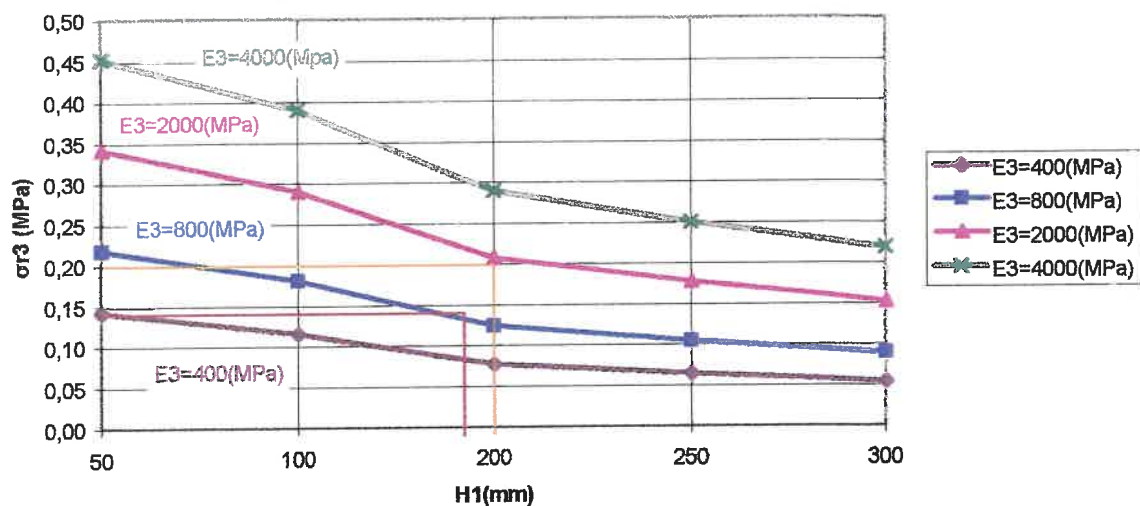
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_{r1} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.58 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για H3=300mm, H2=200mm με E2=400MPa

		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,14	0,22	0,34	0,45
E2=400(MPa)	100	0,12	0,18	0,29	0,39
E4=50(MPa)	200	0,08	0,12	0,21	0,29
H2=200(mm)	250	0,06	0,10	0,18	0,25
H3=300(mm)	300	0,05	0,09	0,15	0,22

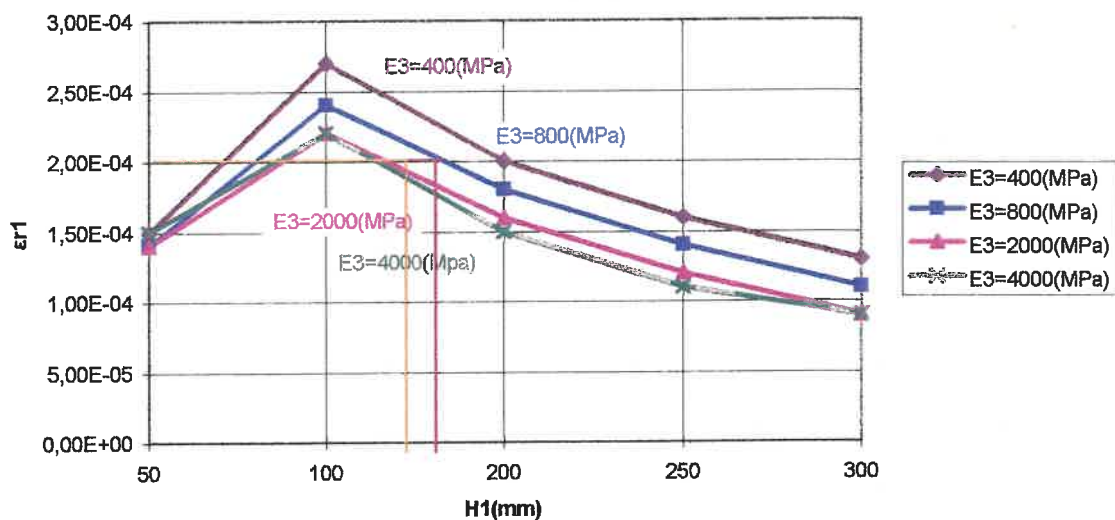
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.59 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για H3=300mm, H2=200mm με E2=400MPa

	H1(mm)	ε_1 E3=400(MPa)	ε_1 E3=800(MPa)	ε_1 E3=2000(MPa)	ε_1 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	1,50E-04	1,40E-04	1,40E-04	1,50E-04
E2=600(MPa)	100	2,70E-04	2,40E-04	2,20E-04	2,20E-04
E4=50(MPa)	200	2,00E-04	1,80E-04	1,60E-04	1,50E-04
H2=100(mm)	250	1,60E-04	1,40E-04	1,20E-04	1,10E-04
H3=300(mm)	300	1,30E-04	1,10E-04	9,00E-05	9,00E-05

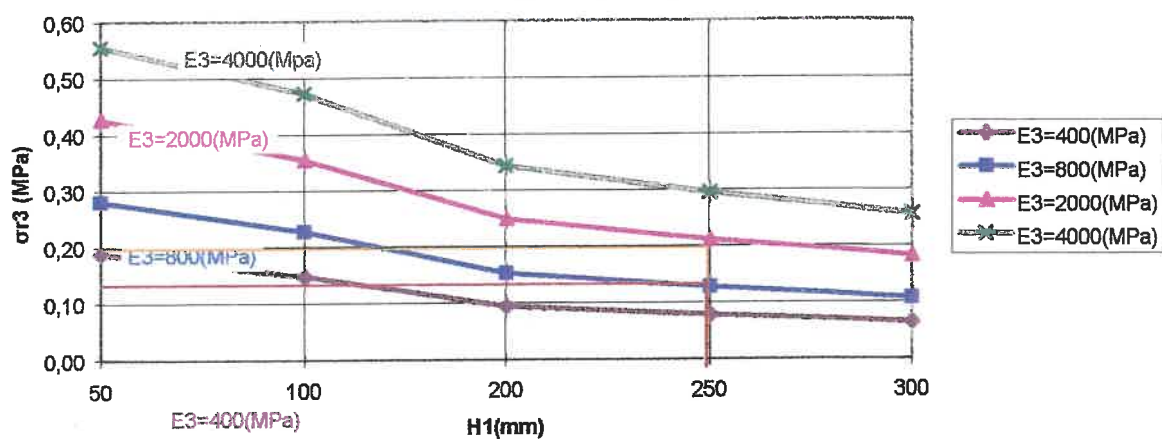
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ε_1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.60 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για $H3=300mm$, $H2=100mm$ με $E2=600MPa$

	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,19	0,28	0,43	0,56
E2=600(MPa)	100	0,15	0,23	0,35	0,47
E4=50(MPa)	200	0,09	0,15	0,25	0,34
H2=100(mm)	250	0,08	0,13	0,21	0,30
H3=300(mm)	300	0,06	0,11	0,18	0,26

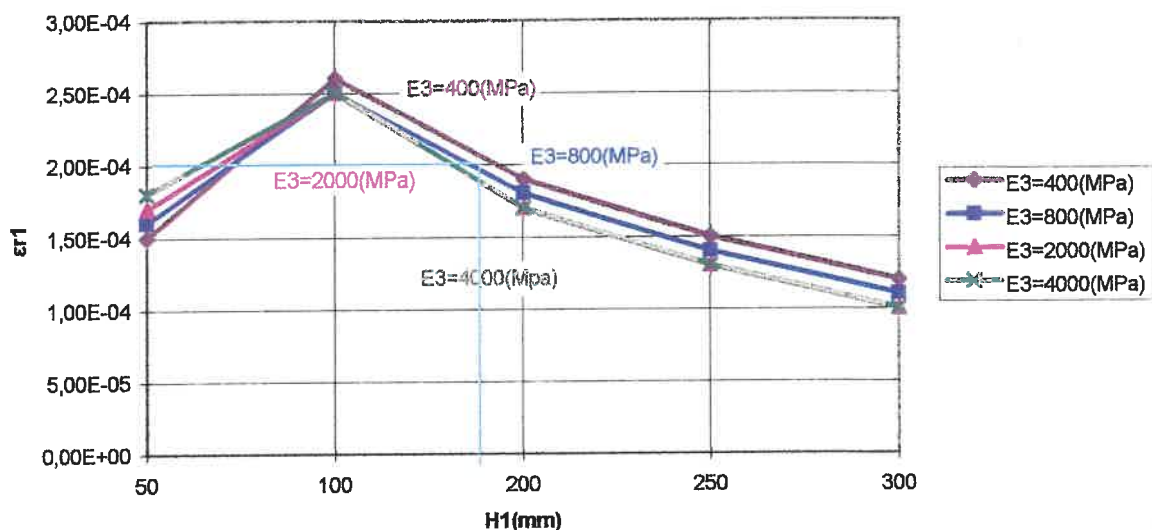
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.61 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για $H3=300mm$, $H2=100mm$ με $E2=600MPa$

	H1(mm)	ϵ_1 E3=400(MPa)	ϵ_1 E3=800(MPa)	ϵ_1 E3=2000(MPa)	ϵ_1 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	1,50E-04	1,60E-04	1,70E-04	1,80E-04
E2=600(MPa)	100	2,60E-04	2,50E-04	2,50E-04	2,50E-04
E4=50(MPa)	200	1,90E-04	1,80E-04	1,70E-04	1,70E-04
H2=200(mm)	250	1,50E-04	1,40E-04	1,30E-04	1,30E-04
H3=300(mm)	300	1,20E-04	1,10E-04	1,00E-04	1,00E-04

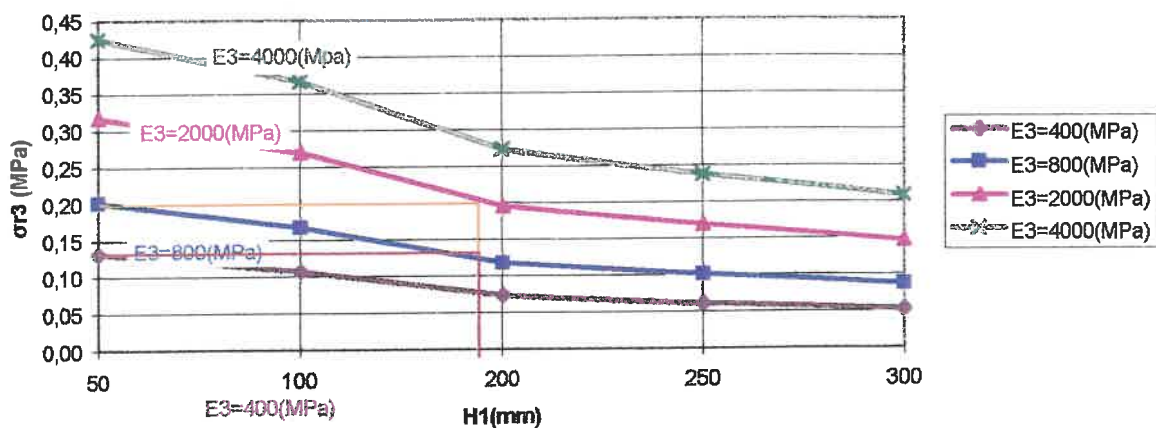
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.62 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για H3=300mm, H2=200mm με E2=600MPa

	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,13	0,20	0,32	0,43
E2=600(MPa)	100	0,11	0,17	0,27	0,37
E4=50(MPa)	200	0,07	0,12	0,20	0,27
H2=200(mm)	250	0,06	0,10	0,17	0,24
H3=300(mm)	300	0,05	0,09	0,15	0,21

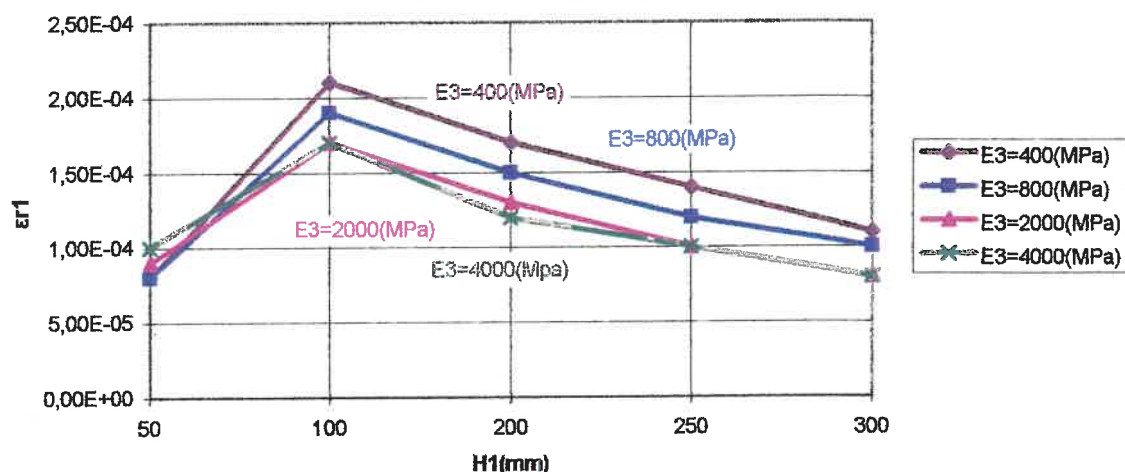
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.63 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για H3=300mm, H2=200mm με E2=600MPa

	H1(mm)	ε_1 E3=400(MPa)	ε_1 E3=800(MPa)	ε_1 E3=2000(MPa)	ε_1 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	8,00E-05	8,00E-05	9,00E-05	1,00E-04
E2=800(MPa)	100	2,10E-04	1,90E-04	1,70E-04	1,70E-04
E4=50(MPa)	200	1,70E-04	1,50E-04	1,30E-04	1,20E-04
H2=100(mm)	250	1,40E-04	1,20E-04	1,00E-04	1,00E-04
H3=300(mm)	300	1,10E-04	1,00E-04	8,00E-05	8,00E-05

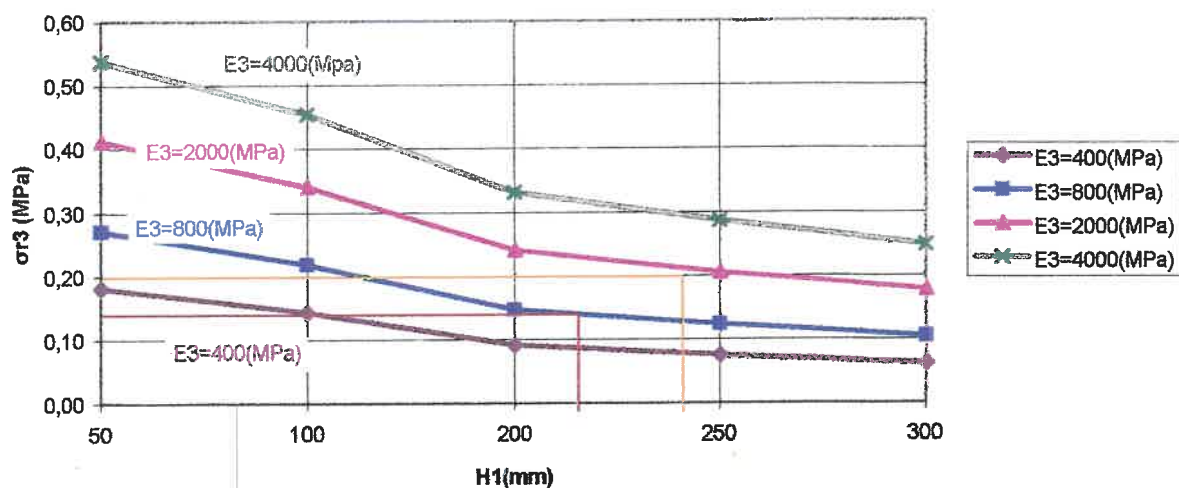
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ε_1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.64 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=300mm, H2=100mm με E2=800MPa

	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,18	0,27	0,41	0,54
E2=800(MPa)	100	0,14	0,22	0,34	0,45
E4=50(MPa)	200	0,09	0,15	0,24	0,33
H2=100(mm)	250	0,08	0,12	0,21	0,29
H3=300(mm)	300	0,06	0,10	0,18	0,25

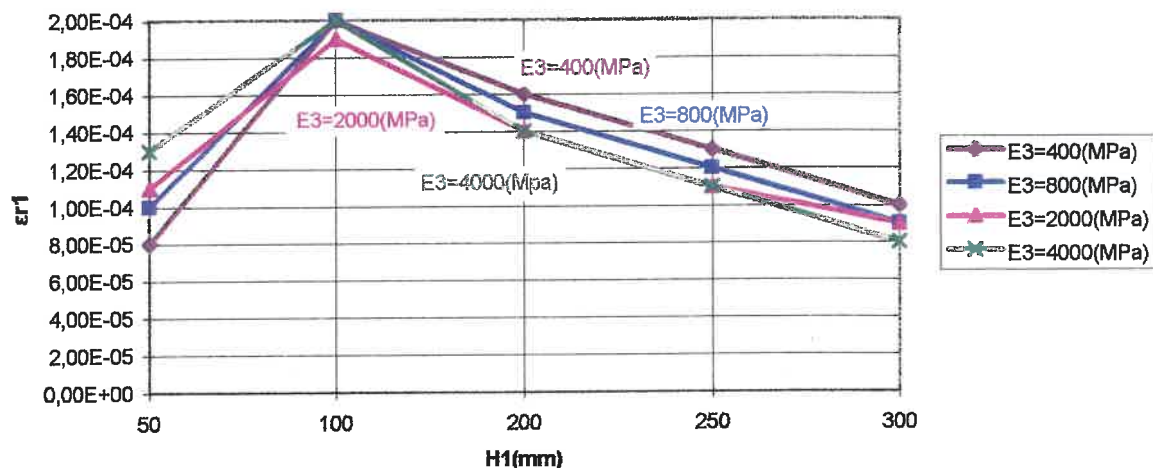
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.65 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=300mm, H2=100mm με E2=800MPa

		ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}	ϵ_{r1}
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	8,00E-05	1,00E-04	1,10E-04	1,30E-04
E2=800(MPa)	100	2,00E-04	2,00E-04	1,90E-04	2,00E-04
E4=50(MPa)	200	1,60E-04	1,50E-04	1,40E-04	1,40E-04
H2=200(mm)	250	1,30E-04	1,20E-04	1,10E-04	1,10E-04
H3=300(mm)	300	1,00E-04	9,00E-05	9,00E-05	8,00E-05

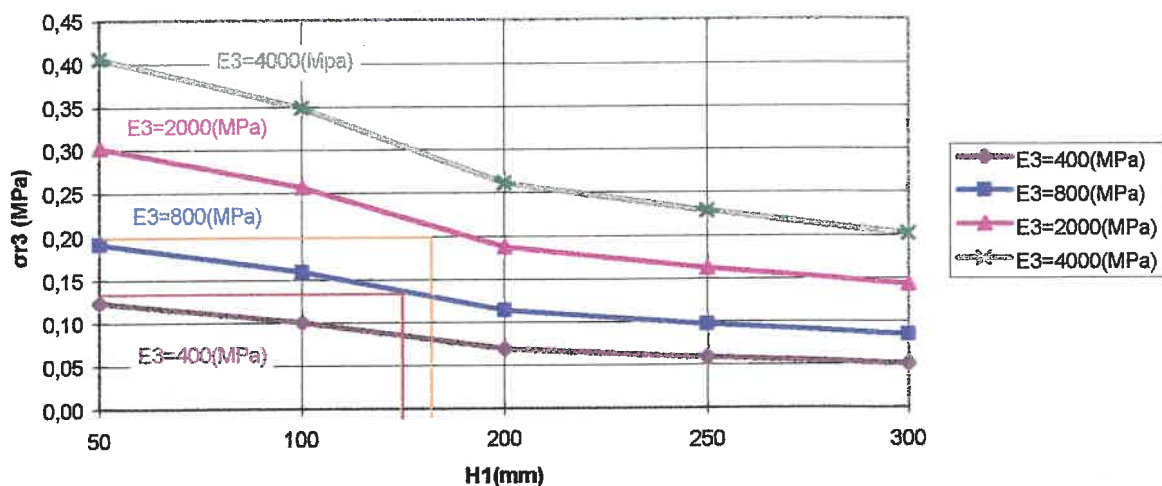
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_{r1} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.66 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=300mm, H2=200mm με E2=800MPa

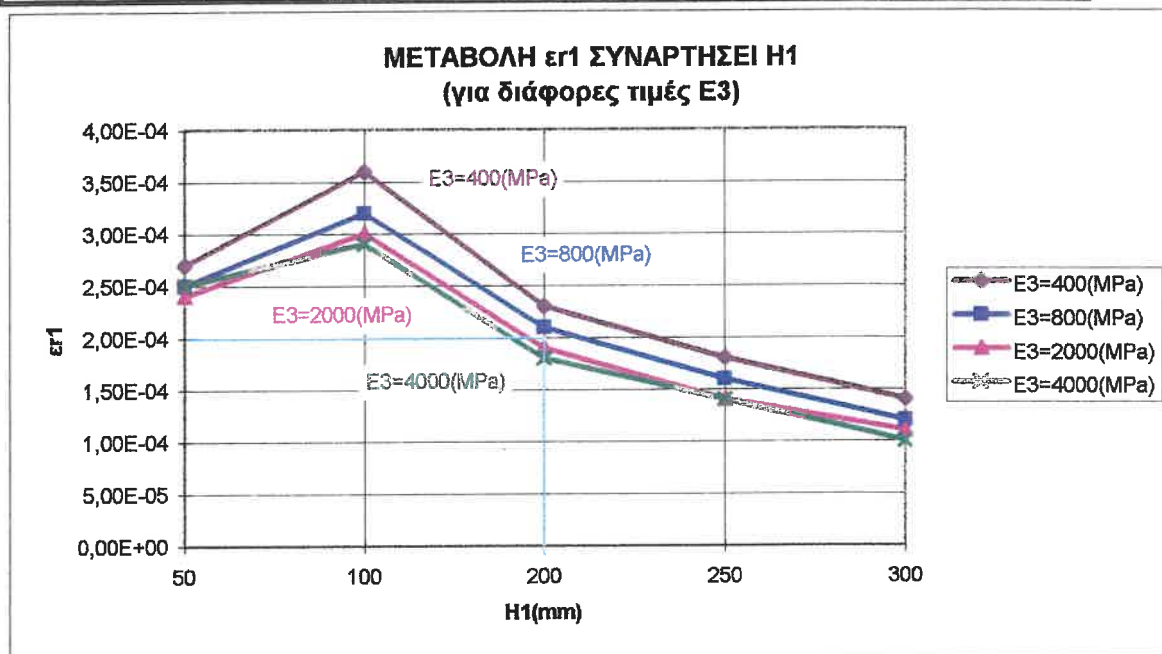
		σ_{r3}	σ_{r3}	σ_{r3}	σ_{r3}
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,12	0,19	0,30	0,41
E2=800(MPa)	100	0,10	0,16	0,26	0,35
E4=50(MPa)	200	0,07	0,11	0,19	0,26
H2=200(mm)	250	0,06	0,10	0,16	0,23
H3=300(mm)	300	0,05	0,08	0,14	0,20

ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_{r3} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



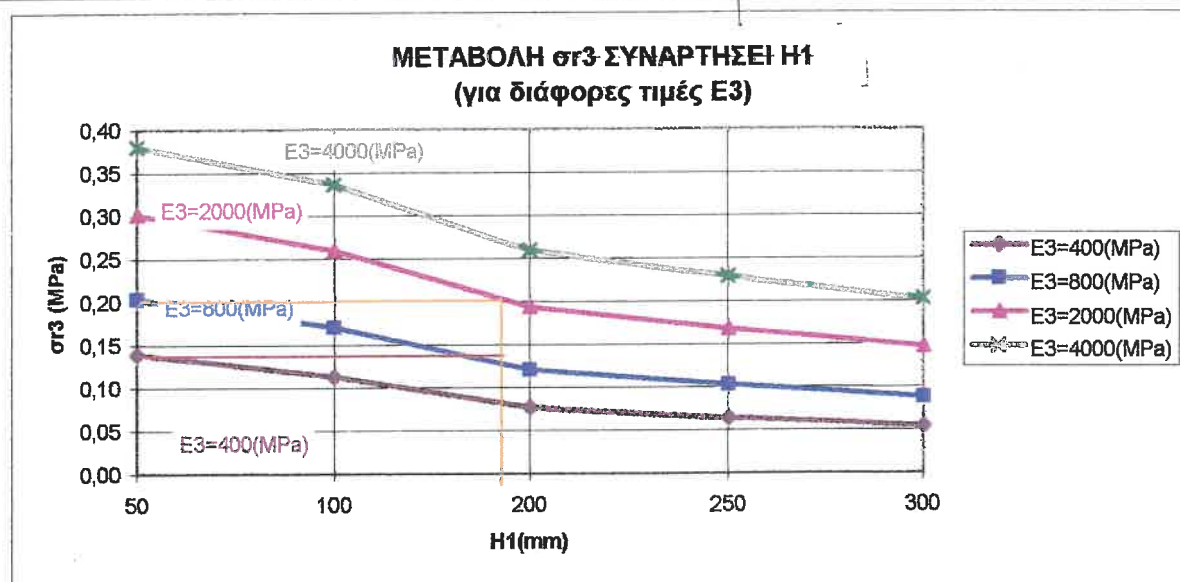
Διάγραμμα 3.67 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=300mm, H2=200mm με E2=800MPa

		ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	2,70E-04	2,50E-04	2,40E-04	2,50E-04
E2=400(MPa)	100	3,60E-04	3,20E-04	3,00E-04	2,90E-04
E4=50(MPa)	200	2,30E-04	2,10E-04	1,90E-04	1,80E-04
H2=100(mm)	250	1,80E-04	1,60E-04	1,40E-04	1,40E-04
H3=400(mm)	300	1,40E-04	1,20E-04	1,10E-04	1,00E-04



Διάγραμμα 3.68 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=400mm, H2=100mm με E2=400MPa

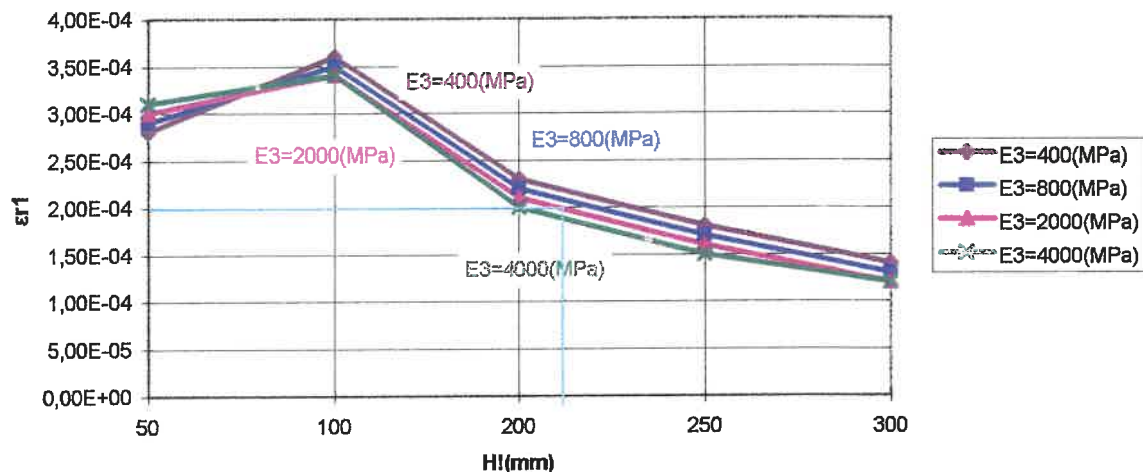
		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,14	0,20	0,30	0,38
E2=400(MPa)	100	0,11	0,17	0,26	0,34
E4=50(MPa)	200	0,08	0,12	0,19	0,26
H2=100(mm)	250	0,06	0,10	0,17	0,23
H3=400(mm)	300	0,05	0,09	0,15	0,20



Διάγραμμα 3.69 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=400mm, H2=100mm με E2=400MPa

		ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	2,80E-04	2,90E-04	3,00E-04	3,10E-04
E2=400(MPa)	100	3,60E-04	3,50E-04	3,40E-04	3,40E-04
E4=50(MPa)	200	2,30E-04	2,20E-04	2,10E-04	2,00E-04
H2=200(mm)	250	1,80E-04	1,70E-04	1,60E-04	1,50E-04
H3=400(mm)	300	1,40E-04	1,30E-04	1,20E-04	1,20E-04

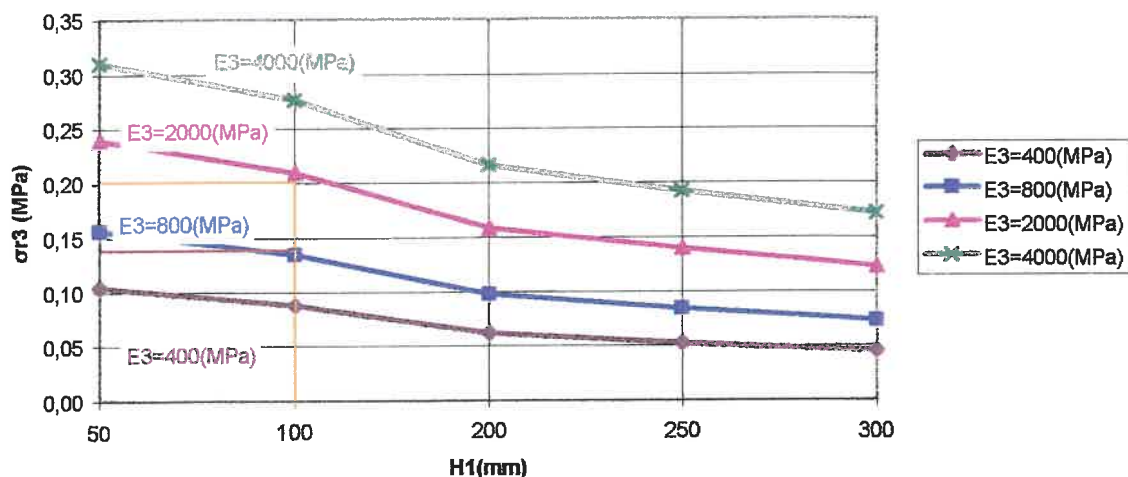
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.70 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για H3=400mm, H2=200mm με E2=400MPa

		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,10	0,16	0,24	0,31
E2=400(MPa)	100	0,09	0,13	0,21	0,28
E4=50(MPa)	200	0,06	0,10	0,16	0,22
H2=200(mm)	250	0,05	0,08	0,14	0,19
H3=400(mm)	300	0,04	0,07	0,12	0,17

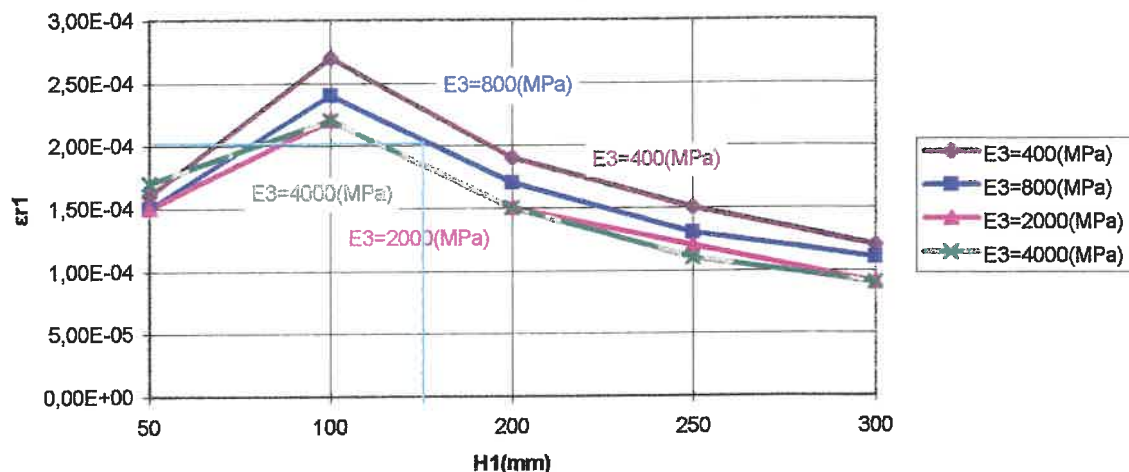
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.71 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για H3=400mm, H2=200mm με E2=400MPa

		ε_1	ε_1	ε_1	ε_1
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	1,60E-04	1,50E-04	1,50E-04	1,70E-04
E2=600(MPa)	100	2,70E-04	2,40E-04	2,20E-04	2,20E-04
E4=50(MPa)	200	1,90E-04	1,70E-04	1,50E-04	1,50E-04
H2=100(mm)	250	1,50E-04	1,30E-04	1,20E-04	1,10E-04
H3=400(mm)	300	1,20E-04	1,10E-04	9,00E-05	9,00E-05

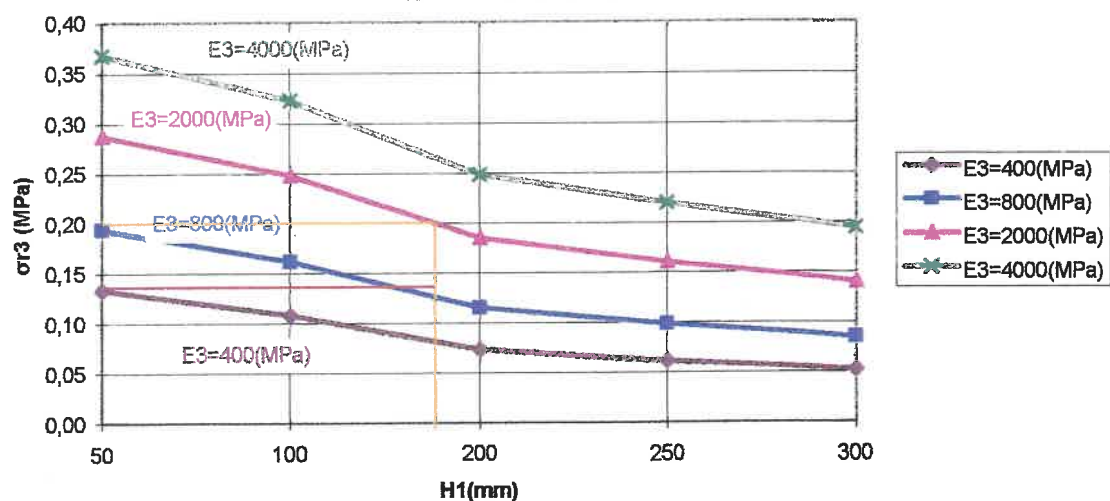
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ε_1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.72 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=400mm, H2=100mm με E2=600MPa

		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,13	0,19	0,29	0,37
E2=600(MPa)	100	0,11	0,16	0,25	0,32
E4=50(MPa)	200	0,07	0,12	0,18	0,25
H2=100(mm)	250	0,06	0,10	0,16	0,22
H3=400(mm)	300	0,05	0,08	0,14	0,19

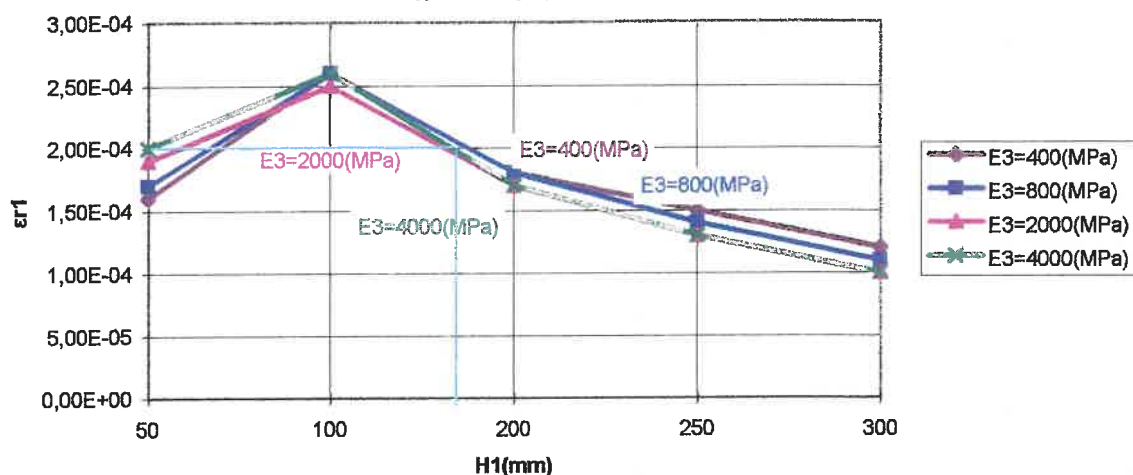
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.73 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=400mm, H2=100mm με E2=600MPa

		ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	1,60E-04	1,70E-04	1,90E-04	2,00E-04
E2=600(MPa)	100	2,60E-04	2,60E-04	2,50E-04	2,60E-04
E4=50(MPa)	200	1,80E-04	1,80E-04	1,70E-04	1,70E-04
H2=200(mm)	250	1,50E-04	1,40E-04	1,30E-04	1,30E-04
H3=400(mm)	300	1,20E-04	1,10E-04	1,00E-04	1,00E-04

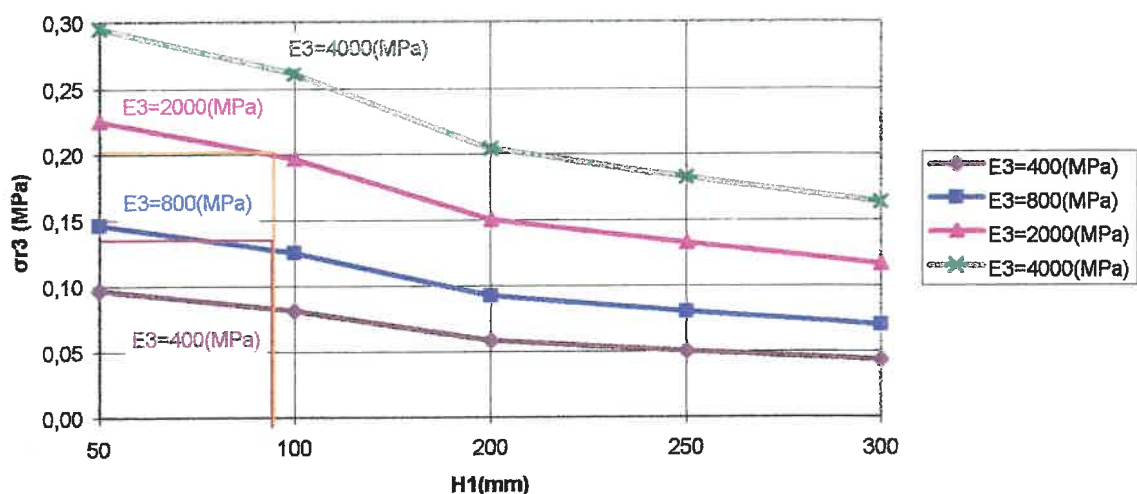
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



Διάγραμμα 3.74 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=400mm, H2=200mm με E2=600MPa

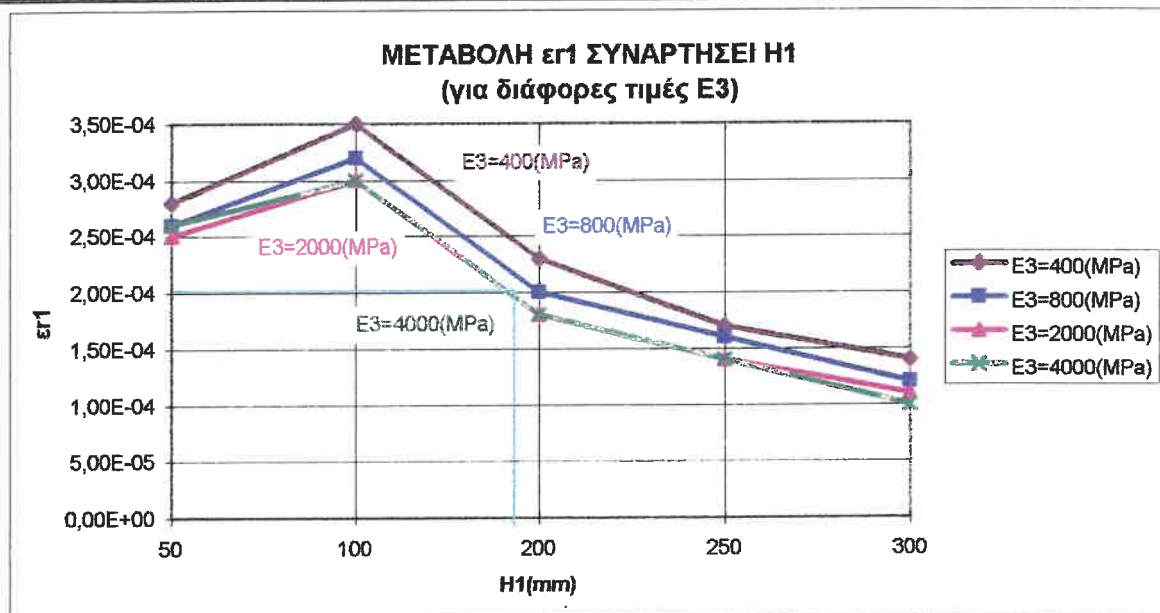
		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,10	0,15	0,23	0,30
E2=600(MPa)	100	0,08	0,13	0,20	0,26
E4=50(MPa)	200	0,06	0,09	0,15	0,20
H2=200(mm)	250	0,05	0,08	0,13	0,18
H3=400(mm)	300	0,04	0,07	0,12	0,16

ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



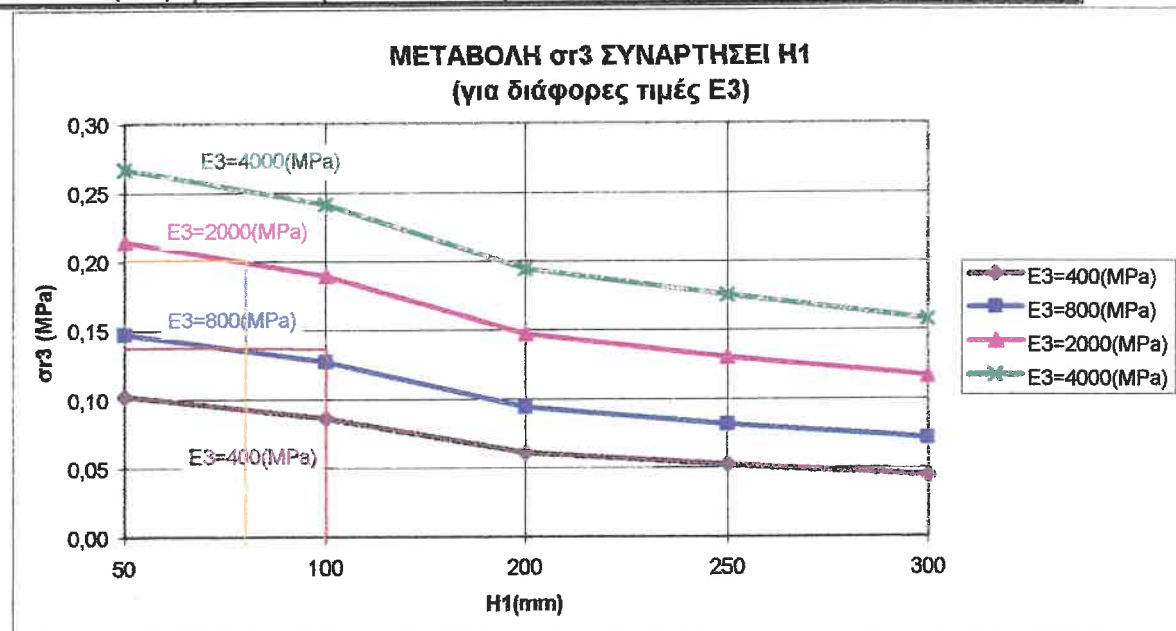
Διάγραμμα 3.75 Υπολογισμός πάχους ασφαλικής στρώσης για H3=400mm, H2=200mm με E2=600MPa

		ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1	ϵ_1
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	2,80E-04	2,60E-04	2,50E-04	2,60E-04
E2=400(MPa)	100	3,50E-04	3,20E-04	3,00E-04	3,00E-04
E4=50(MPa)	200	2,30E-04	2,00E-04	1,80E-04	1,80E-04
H2=100(mm)	250	1,70E-04	1,60E-04	1,40E-04	1,40E-04
H3=500(mm)	300	1,40E-04	1,20E-04	1,10E-04	1,00E-04



Διάγραμμα 3.76 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για H3=500mm, H2=100mm με E2=400MPa

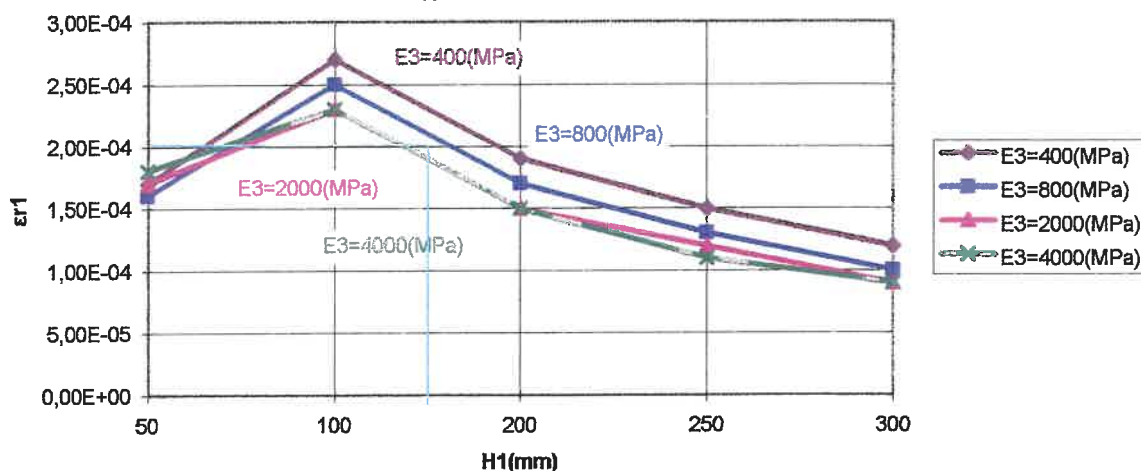
		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	E3=400(MPa)	E3=800(MPa)	E3=2000(MPa)	E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,10	0,15	0,21	0,27
E2=400(MPa)	100	0,09	0,13	0,19	0,24
E4=50(MPa)	200	0,06	0,09	0,15	0,19
H2=100(mm)	250	0,05	0,08	0,13	0,18
H3=500(mm)	300	0,04	0,07	0,12	0,16



Διάγραμμα 3.77 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για H3=500mm, H2=100mm με E2=400MPa

	H1(mm)	ϵ_1 E3=400(MPa)	ϵ_1 E3=800(MPa)	ϵ_1 E3=2000(MPa)	ϵ_1 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	1,70E-04	1,60E-04	1,70E-04	1,80E-04
E2=600(MPa)	100	2,70E-04	2,50E-04	2,30E-04	2,30E-04
E4=50(MPa)	200	1,90E-04	1,70E-04	1,50E-04	1,50E-04
H2=100(mm)	250	1,50E-04	1,30E-04	1,20E-04	1,10E-04
H3=500(mm)	300	1,20E-04	1,00E-04	9,00E-05	9,00E-05

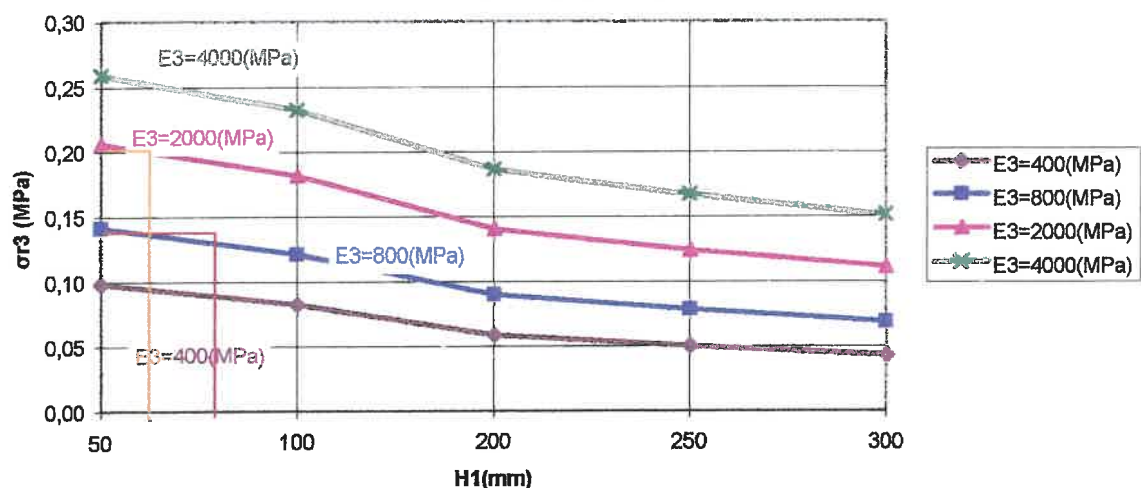
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ϵ_1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)



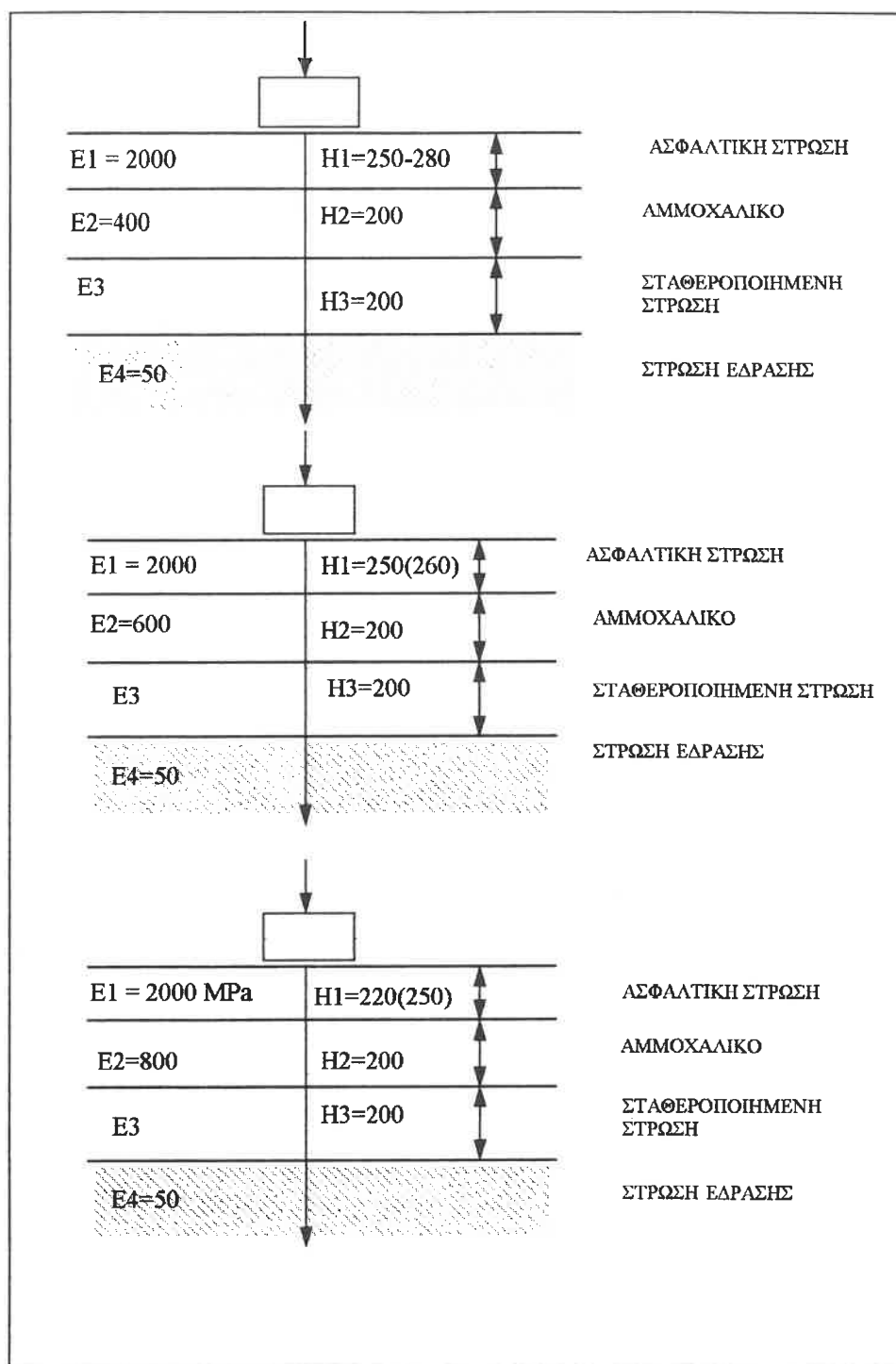
Διάγραμμα 3.78 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για H3=500mm, H2=100mm με E2=600MPa

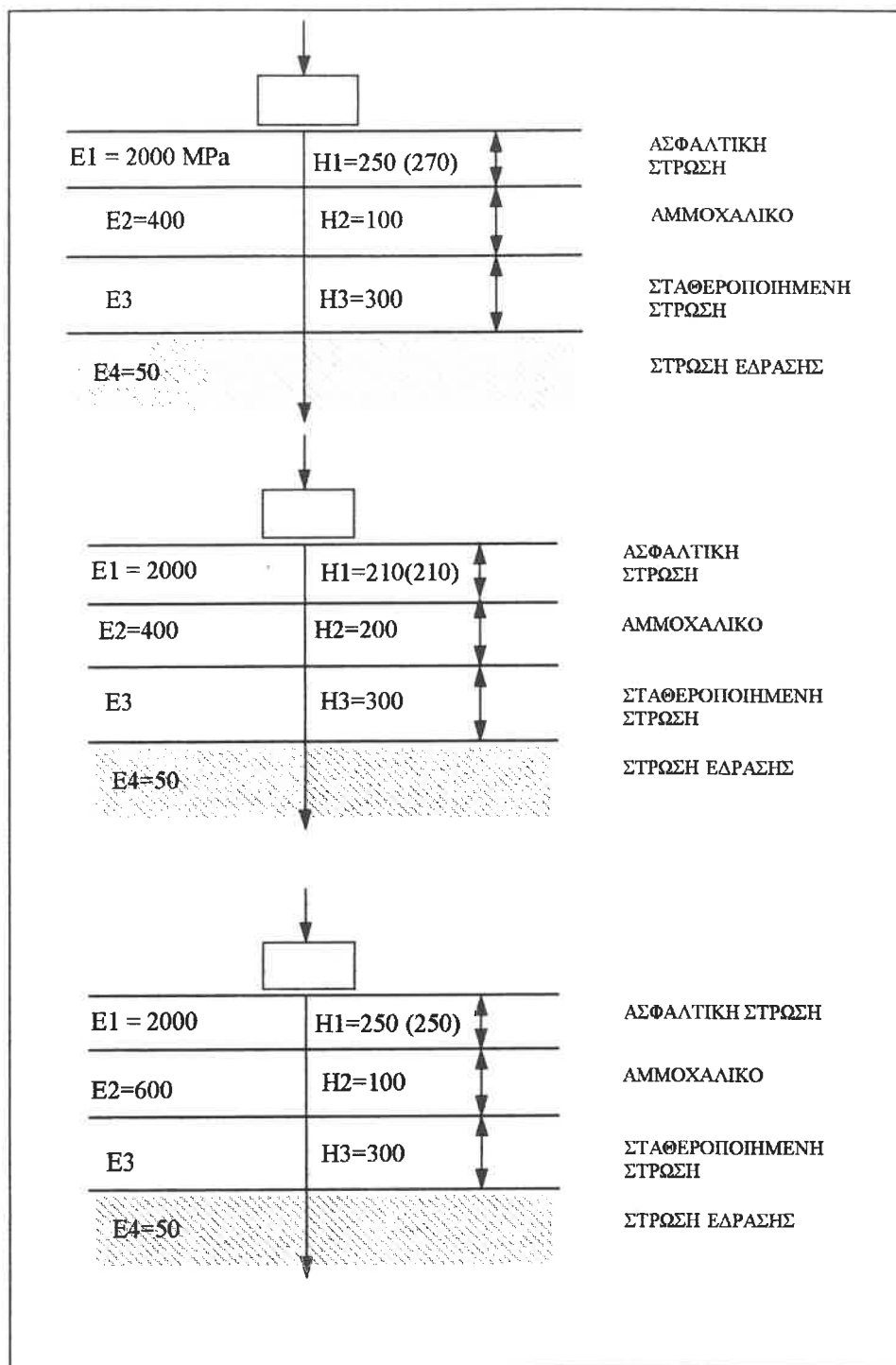
	H1(mm)	σ_3 E3=400(MPa)	σ_3 E3=800(MPa)	σ_3 E3=2000(MPa)	σ_3 E3=4000(MPa)
E1=2000(MPa)	50	0,10	0,14	0,21	0,26
E2=600(MPa)	100	0,08	0,12	0,18	0,23
E4=50(MPa)	200	0,06	0,09	0,14	0,19
H2=100(mm)	250	0,05	0,08	0,12	0,17
H3=500(mm)	300	0,04	0,07	0,11	0,15

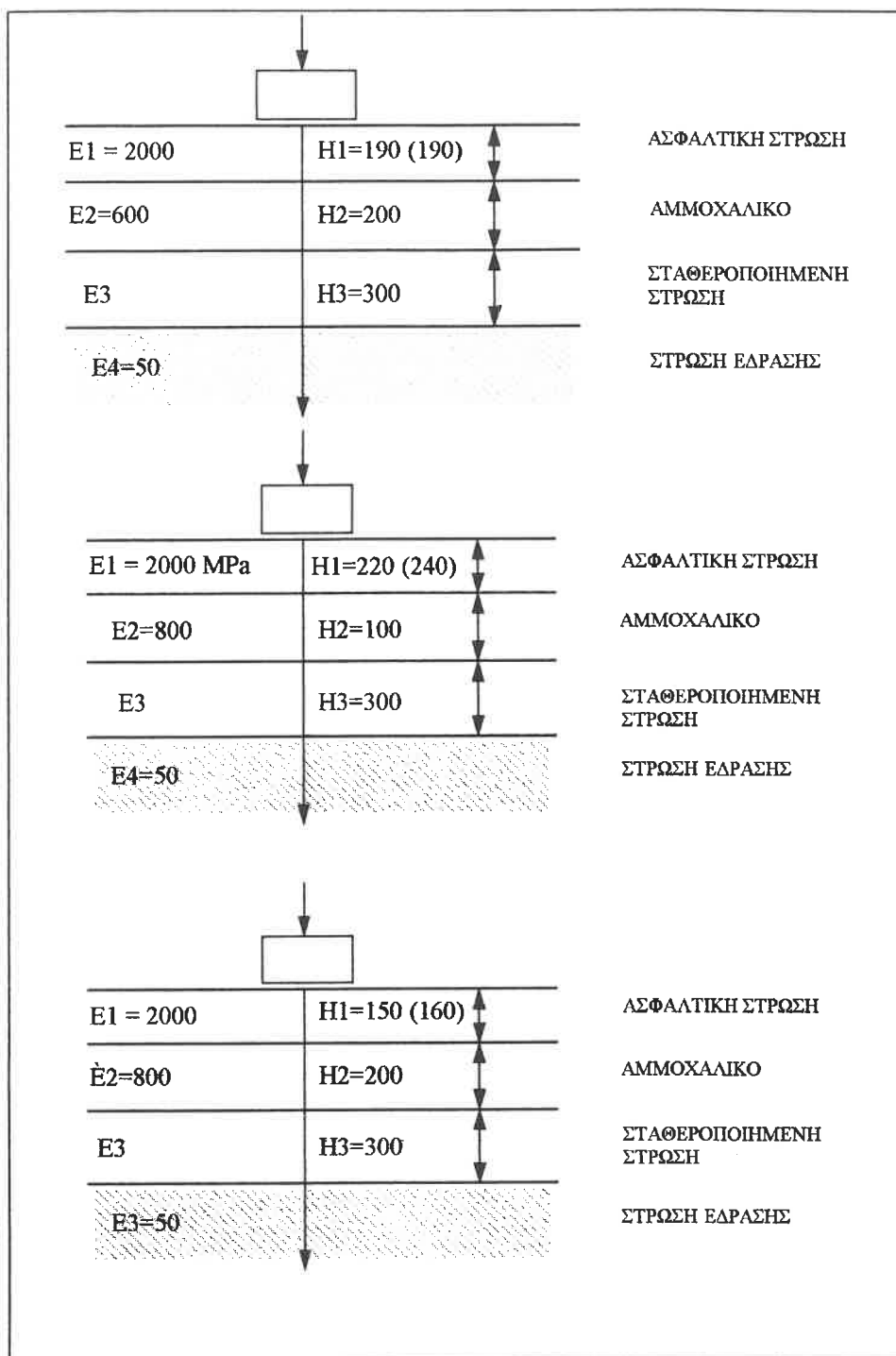
ΜΕΤΑΒΟΛΗ σ_3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ H1
(για διάφορες τιμές E3)

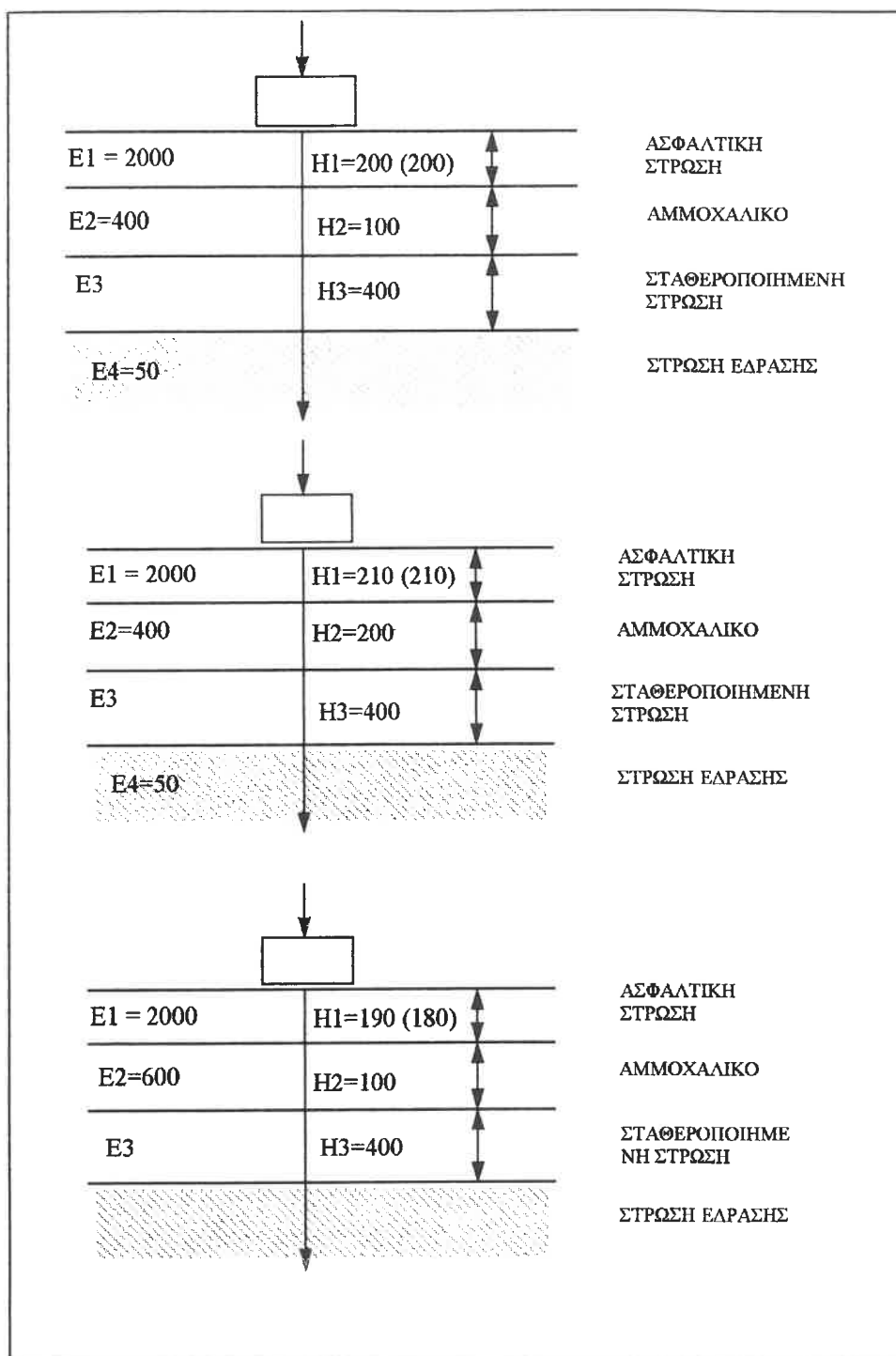


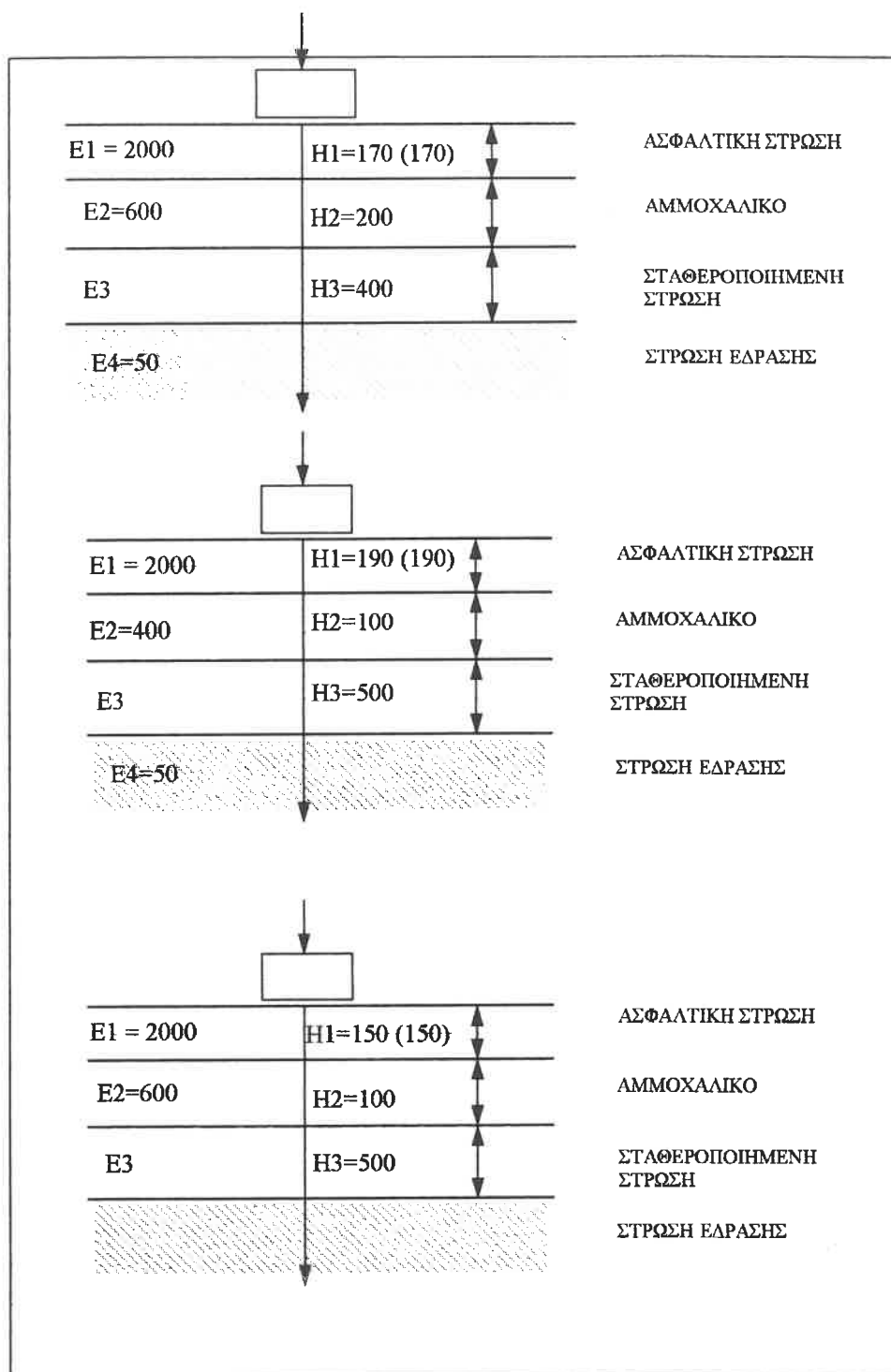
Διάγραμμα 3.79 Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης για H3=500mm, H2=100mm με E2=600MPa











Τέλος, εξετάζουμε την περίπτωση κατασκευαστικής κυκλοφορίας (15t, $r=160\text{mm}$) σταθεροποιημένης στρώσης χωρίς να υπάρχει ασφαλτική στρώση. Και στην περίπτωση αυτή εξετάζουμε τη σταθεροποίηση με 10 και 20% ιπτάμενη τέφρα, ωστόσο οι επιτρεπόμενες αναπτυσσόμενες τάσεις είναι το 60% της αντοχής σε διάρρηξη των δοκιμών ηλικίας 7 ημερών, όπως προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές.

Μη έχοντας υπολογίσει τα μέτρα ελαστικότητας σε πολύ μικρή ηλικία, κάνουμε χρήση των στοιχείων που έχουν προκύψει από Διατριβή [25] όσον αφορά την αύξηση του μέτρου ελαστικότητας αμμοχάλικου σε συνάρτηση με το χρόνο. Η συσχέτιση αυτή είναι εφικτή εφόσον παρατηρείται αύξηση της αντοχής, επιπλέον όμως εργαστηριακές δοκιμές θα μας έδιναν ακριβή αποτελέσματα.

Σύμφωνα λοιπόν με τη Διατριβή αυτή έχουμε ότι:

σε ηλικία 2 ημερών το μέτρο ελαστικότητας του αμμοχάλικου είναι 20 GN/m^2

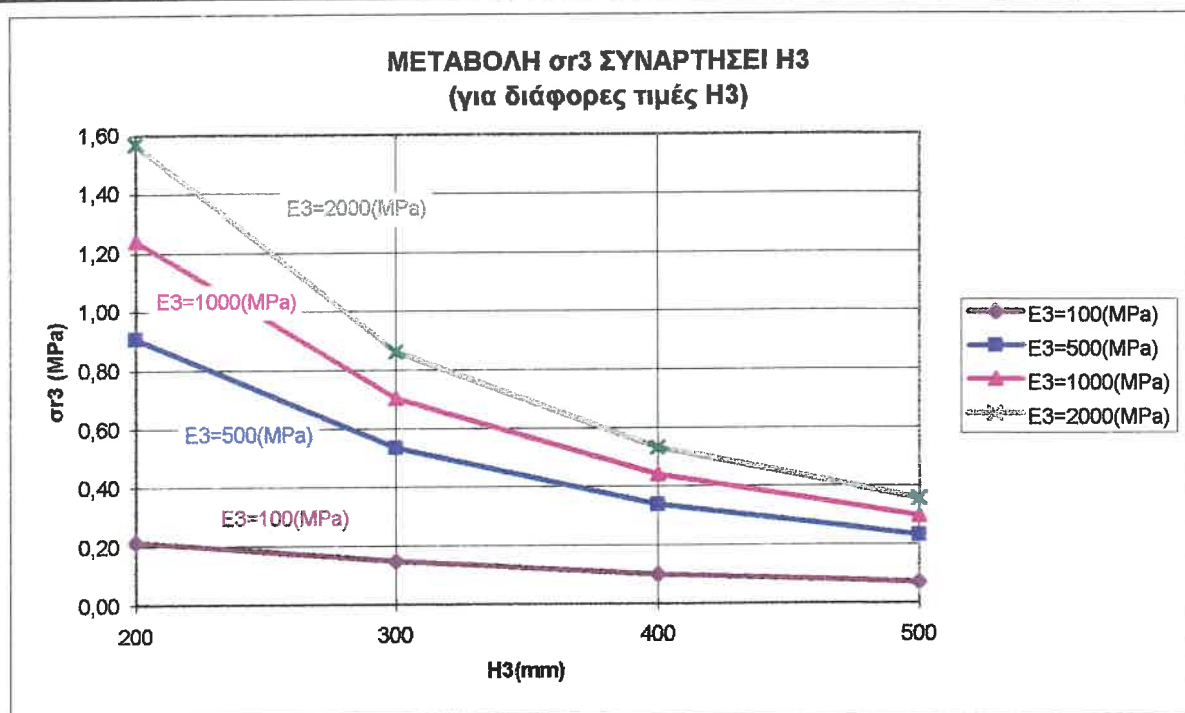
σε ηλικία 7 ημερών το μέτρο ελαστικότητας του αμμοχάλικου είναι $30,7 \text{ GN/m}^2$

σε ηλικία 28 ημερών το μέτρο ελαστικότητας του αμμοχάλικου είναι $34,8 \text{ GN/m}^2$

σε ηλικία 100 ημερών το μέτρο ελαστικότητας του αμμοχάλικου είναι $40,6 \text{ GN/m}^2$

Από τους λόγους των αντοχών και μια μέση εκτίμηση μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το μέτρο ελαστικότητας της σταθεροποιημένης στρώσης E σε μικρή ηλικία είναι το 66% του μέτρου ελαστικότητας σε ηλικία 80 ημερών περίπου το οποίο έχει υπολογιστεί. Άρα $E=0,66 \cdot E_{80}$. Ως μέτρα ελαστικότητας χρησιμοποιούνται αυτά που έχουν προκύψει από τη Δοκιμή 3.

		σ_3	σ_3	σ_3	σ_3
	H1(mm)	E3=100(MPa)	E3=500(MPa)	E3=1000(MPa)	E3=2000(MPa)
	200	0,21	0,91	1,24	1,57
	300	0,15	0,53	0,70	0,86
E4=50(MPa)	400	0,10	0,34	0,44	0,53
	500	0,07	0,23	0,30	0,36



Διάγραμμα 3.80 Εύρεση του πάχους σταθεροποιημένης στρώσης για να αντέχει την κατασκευαστική κυκλοφορία σε μικρή ηλικία.

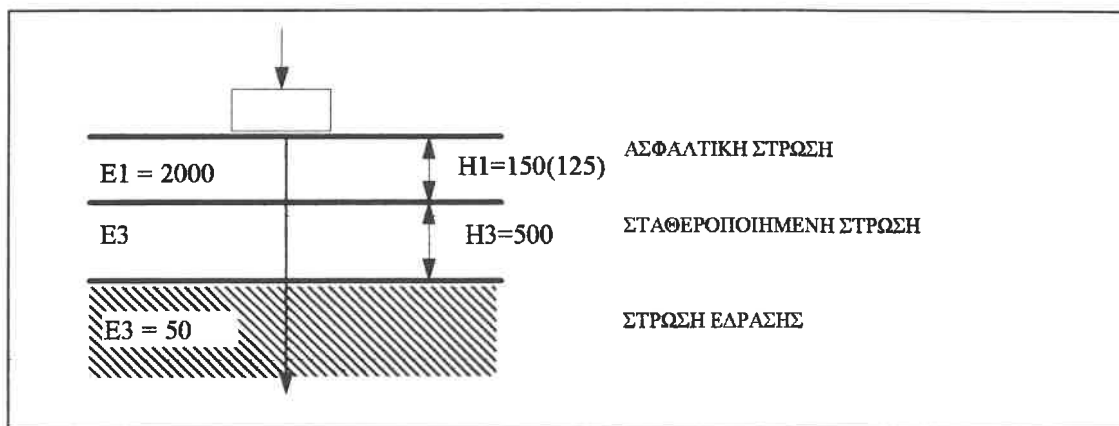
Από το προηγούμενο διάγραμμα παρατηρούμε ότι το οδόστρωμα (στρώση έδρασης-σταθεροποιημένη στρώση) δεν μπορεί να δεχθεί κυκλοφορία σε πολύ μικρή ηλικία γιατί θα ρηγματωθεί. Η ρηγμάτωση θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του μέτρου ελαστικότητας, χωρίς όμως να είναι γνωστό εκ των προτέρων το μέγεθος της μείωσης αυτής. Αν είναι μικρή μπορεί να γίνεται δεκτή, ωστόσο απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση. Αξίζει να μελετηθεί και η περίπτωση της προσθήκης τσιμέντου προκειμένου να αυξηθούν οι αρχικές αντοχές.

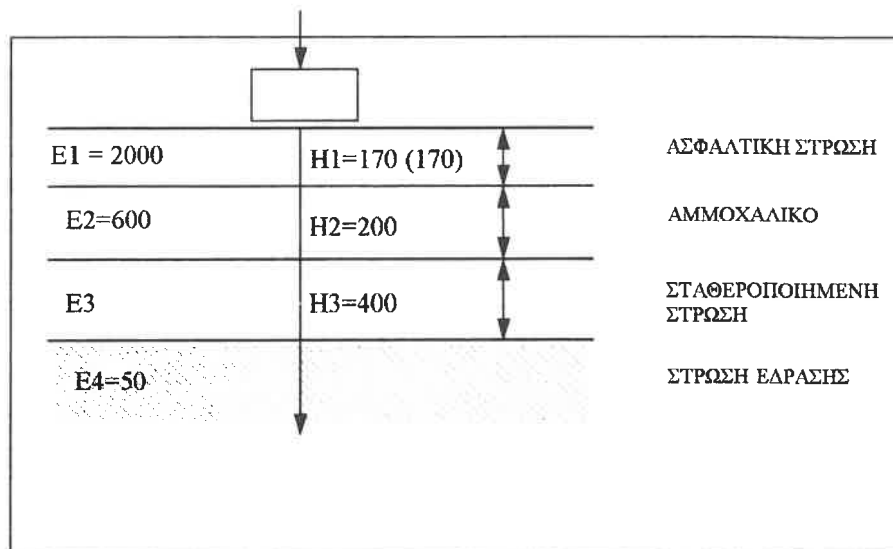
Γενικά Συμπεράσματα

Με την επιφύλαξη του μικρού αριθμού των δοκιμών, έγινε υπολογισμός των μέτρων ελαστικότητας και των αντοχών, δίνοντάς μας τη δυνατότητα να έχουμε μια τάξη μεγέθους. Άλλωστε, ούτως ή άλλως πρέπει να γίνονται στην πράξη δοκιμές και να προσδιορίζονται οι δοκιμές.

Χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα και τα σχήματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, μπορεί κανείς να επιλέξει τον οικονομικότερο συνδυασμό λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις παραμέτρους που συνθέτουν το γενικευμένο κόστος.

Μια εκτίμηση, χωρίς να έχει γίνει μελέτη κόστους, είναι ότι οι διατομές που παρουσιάζονται παρακάτω είναι οικονομικά συμφάρουσες. Ας σημειωθεί ότι στην επιλογή δεν συγκαταλέγονται οι διατομές εκείνες που το αμμοχάλικο έχει μέτρο ελαστικότητας $E2=800 \text{ MPa}$ γιατί θεωρείται αρκετά υψηλό.





Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Πρέπει να γίνουν περισσότερες δοκιμές για τον υπολογισμό

- των αντοχών,
- της κόπωσης,
- της πτώσης του μέτρου ελαστικότητας εξαιτίας της ρηγμάτωσης και
- της ανάδυσης των ρωγμών στην επιφάνεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) **Σ. ΚΟΛΙΑΣ - Α. ΛΟΪΖΟΣ:** *Σημειώσεις Οδοστρωμάτων*, Ε.Μ.Π. Τμήμα: Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας : Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Αθήνα 1992.
- 2) *Soil Stabilization in Pavement Structures A User' s Manual, Volume 1 Pavement Design And Construction Considerations*, U.S. Department Of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Development, Implementation Division, October 1979.
- 3) *Soil Stabilization in Pavement Structures A User' s Manual, Volume 2 Mixture Design Considerations*, U.S. Department Of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Development, Implementation Division, October 1979.
- 4) **ΓΡΗΓ. ΚΟΤΤΕΑΚΟΥ:** *Περί Σταθεροποίησης Εδάφους δια Τσιμέντου ή Ασβέστου*, Ανάτυπον εκ του Δελτίου Κεντρικού Εργαστηρίου Δ.Ε. Τεύχη 1-2, Αθήναι 1968.
- 5) **Transportation Research Circular, State of the Art: Lime Stabilization, Reactions, Properties, Design, Construction**, Prepared by Transportation Research Board Committee on Lime-Fly Ash Stabilization, September 1976.
- 6) **Transportation Research Record 501, Soil Stabilization**, TRB Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1974.
- 7) **Highway Research Record Number 263, Soil Stabilization, Lime 4 Reports, Cement 4 Reports**, HRB Highway Research Board, National Research Council, National Academy of Sciences- National Academy of Engineering, Washington D.C. 1969.
- 8) **ΓΕΩΡΓΙΟΥ Ν. ΛΕΚΚΑ,** *Η Σταθεροποίησης των Εδαφών Δια Κατασκευάς Έργων Οδοποιίας*, Ανάτυπον εκ των Τεχνικών Χρονικών, Τεύχος 3, Αθήναι 1961.
- 9) **Προδιαγραφές Εργαστηριακών Δοκιμών Εδαφομηχανικής (Ε 105-86)**, Φ.Ε.Κ. υπ' αρ. 955/31-12-86 Τεύχος Δεύτερο, Ελληνική Δημοκρατία Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημ. Έργων, Γενική Γραμματεία Δημ. Έργων, Διεύθυνση Ερευνών Εδαφών (ΕΚ1), Αθήνα 1986.

- 10) **Journal of the Highway Division**, Proceedings of the American Society of Civil Engineering, Vol.94 NO.HW2. NOV. 1968.
- 11) **O.G. INGLES - S. FRYDMAN**: *The effect of Cement and Lime on the strength of some soil minerals, and its relevance to the stabilization of Australian soils*, A.R.R.B. Australian Road Research Board Proceedings 1966.
- 12) **MUMTAZ A. USMEN AND JOHN J. BOWDERS, JR.**: *Stabilization Characteristics of Class F Fly Ash*, Transportation Research Record 1288.
- 13) **H.G RATHMAYER & K.H.O. SAARI**, *Improvement of Ground Volume Two*, Proceedings of the Eighth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering/ Helsinki/ 23-26 May 1983.
- 14) **H. BRANDL**: *Alteration of Soil Parameters by Stabilization with Lime*.
- 15) **MADAN G. ARORA AND SUDARSHAN K. KHANNA**: *Characterization of Lime- Fly Ash Concrete Pavement under load*, Transportation Engineering Journal, March 1978.
- 16) **E. OTTE**: *The Stress - Strain Curve for Cement- and Lime - Treated Materials*, Reprinted from proc. 2nd Conference Asphalt Pavements for South Africa Durban 29th July- 2 August 1974.
- 17) **THOMAS W. KENNEDY, ROBERT SMITH, RICHARD J. HOLMGREEN, JR. AND MAGHSOUD TAHMORESSI**: *An Evaluation of Lime and Cement Stabilization*, Transportation Research Record 1119.
- 18) **ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΤΣΙΜΑΣ - ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΡΙΣΑΚΗΣ**: *Ανόργανη Χημεία - Χημεία Τσιμέντου*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Τομέας Χημικών Επιστημών, Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Αθήνα 1993.
- 19) **ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΤΣΙΜΑΣ**: *Ασβέστης: Ένα αναντικατάστατο συστατικό των κονιαμάτων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Αθήνα 1992.
- 20) **YODER/WITCZAK**: *Αρχές σχεδιασμού οδοστρωμάτων*, Μόσχος Γκιούρδας, Αθήνα 1987.
- 21) **N. ΜΑΡΣΕΛΛΟΥ - Σ. ΧΡΙΣΤΟΥΛΑ - Σ. ΚΟΛΙΑ**: *Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στην Οδοποιία*, Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημ. Έργων,

Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Ανάπτυπο από το Δελτίο Κέντρου Ερευνών Δημοσίων Έργων, Τεύχος 3-4/1986, Αθήνα 1986.

- 22) **S. CHRISTOULAS - S. KOLIAS - N. MARSELLOS**: *The use of fly-ash in road construction in Greece*, XVII WORLD ROAD CONGRESS, Sydney Australia 8-15 October 1983.
- 23) **Χ. ΦΤΙΚΟΣ, Σ. ΤΣΙΜΑΣ, Ν. ΜΑΡΣΕΛΛΟΣ, Γ. ΚΑΛΟΣ, Φ. ΜΠΑΤΖΙΑΣ, Π. ΙΟΡΔΑΝΗΣ**: *Μελέτη των δυνατοτήτων αξιοποίησης των ελληνικών ιπτάμενων τεφρών*, Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Επιστημονική Επιτροπή Δομικών Υλικών και Στοιχείων, Αθήνα Μάιος 1985.
- 24) **ΚΑΡΑΧΑΛΙΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ**: *Διπλωματική Εργασία Διερεύνηση των δυνατοτήτων σταθεροποίησης εδαφικών υλικών με ιπτάμενη τέφρα Αής Καρδιάς*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Εργαστήριο Οδοστρωμάτων, Αθήνα 1998.
- 25) **S. KOLIAS and R.I.T. WILLIAMS** (University of Surrey): *Cement-bound road materials: Strength and elastic properties measured in the laboratory*, TRRL Department of Environment, Department of Transport, Supplementary Report 344, 1978.
- 26) **Σ. ΚΟΛΙΑΣ**: *Υπολογισμός εόκαμπτων και ημιάκαμπτων οδοστρωμάτων, Μέθοδος εργαστηρίου οδοποιίας ΕΜΠ*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εργαστήριο Οδοποιίας, Αθήνα 1984.