



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΑΣ ΕΜΠ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ



ΜΑΡΙΝΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Επιβλέπων:
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΛΟΙΖΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

Μάρτιος 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε από τον φοιτητή Μαρίνο Ιωάννη-Παναγιώτη της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το εργοταξιακό κομμάτι της διπλωματικής πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με την Κ/Ξ ΜΟΡΕΑΣ στο έργο αυτοκινητοδρόμου ΚΟΡΙΝΘΟΣ-ΤΡΙΠΟΛΗ-ΚΑΛΑΜΑΤΑ και το εργαστηριακό κομμάτι στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του ΕΜΠ υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Λοΐζου Ανδρέα.

Στον κύριο Λοΐζο οφείλω τις θερμές μου ευχαριστίες για την καθοδήγηση και την υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στη λέκτορα Πλατή Χριστίνα και στον επιστημονικό συνεργάτη του Εργαστηρίου Οδοποιίας Γεωργίου Παναγιώτη, χωρίς την βοήθεια των οποίων η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας θα ήταν αδύνατη, για το αμείωτο ενδιαφέρον και τη συμπαράστασή τους τόσο κατά την διάρκεια των πειραματικών εργασιών όσο και κατά τη συγγραφή και διόρθωσή της.

Επίσης, ευχαριστώ το Εργαστήριο Οδοποιίας του ΕΜΠ για την διάθεση του εργαστηριακού χώρου και την παραχώρηση των οργάνων για την πραγματοποίηση του πειραματικού μέρους, καθώς και όλο το προσωπικό του εργαστηρίου που ήταν πρόθυμο να με βοηθήσει σε ότι πρόβλημα προέκυπτε.

Ευχαριστώ την Κ/Ξ ΜΟΡΕΑΣ, το τμήμα ποιοτικού ελέγχου της κοινοπραξίας και την διευθύντριά του Μαρίνου Ασπασία, για την αμέριστη βοήθεια κατά τη διάρκεια των εργοταξιακών πειραματικών εργασιών. Ειδικότερα, θέλω να ευχαριστήσω τον Αυξέντιο, τον Σαράντη και τον Χρήστο που με βοήθησαν σε κάθε εργασία μου στο εργοτάξιο.

Η διπλωματική αυτή εργασία δεν θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς την βοήθεια του θείου μου, Μαρίνου Ιωάννη, ο οποίος συνέβαλλε τόσο στην επεξεργασία των δεδομένων όσο και στη συγγραφή της.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς τους γονείς μου, την αδερφή μου και τους φίλους μου που μου συμπαραστάθηκαν και συνέβαλλαν, ο καθένας με τον τρόπο του, στην συγγραφή αυτής της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	i
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	v
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ix
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	5
3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ - ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ	9
3.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΘΕΡΜΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ	9
3.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.....	13
3.2.1 Αδρανή υλικά.....	13
3.2.2 Ασφαλτος και θερμοκρασία συμπίκνωσης μίγματος	13
3.2.3 Κλιματολογικές συνθήκες.....	14
3.2.4 Πάχος στρώσης.....	14
3.2.5 Μηχανήματα συμπίκνωσης.....	15
3.2.6 Διαδικασία συμπίκνωσης	19
3.3 Έλεγχος συμπίκνωσης.....	22
4 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ	27
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	27
4.2 ΥΛΙΚΑ	27
4.2.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση και μηχανικά χαρακτηριστικά αδρανών.....	27
4.2.2 Ασφαλτος	29
4.2.3 Τροποποιητές.....	30
4.3 ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ.....	31
4.3.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση μίγματος αδρανών	32
4.3.2 Μέγιστη χαλαρή πυκνότητα (<i>G_{mm}</i>).....	34
4.3.3 Δοκιμή Marshall.....	35
4.4 ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΗ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ	42
4.4.1 Προετοιμασία βάσης και διάστρωση ασφαλτομίγματος.....	42
4.4.2 Συμπύκνωση ασφαλτικών στρώσεων.....	45
4.4.3 Μετρήσεις συμπίκνωσης με <i>Troxler</i>	46
4.4.4 Μετρήσεις συμπίκνωσης με πυρήνες	49
5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	51
5.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗΣ	51
5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.....	60
5.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΤΥΜΠΑΝΟΥ	82
5.4 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΤΥΜΠΑΝΟΥ	97
6 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	113
6.1 ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΜΕ ΚΥΛΙΝΔΡΟ ΤΥΠΟΥ ROLLER COMPACTOR	113
6.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	114
6.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.....	115
6.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΜΕ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	117
6.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΠΥΡΗΝΕΣ.....	118
6.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΕΝΩΝ	120
7 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	121
7.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	121
7.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΥΡΗΝΩΝ.....	127
7.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	130
7.4 ΑΝΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	145

8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	151
9	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	153
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	157

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1 Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών μίγματος ισοπεδωτικής στρώσης.....	28
Πίνακας 4.2 Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών μίγματος αντιολισθηρής στρώσης	28
Πίνακας 4.3 Δοκιμές αδρανών ισοπεδωτικής στρώσης.....	28
Πίνακας 4.4 Απορροφητικότητα και ειδικά βάρη αδρανών ισοπεδωτικής στρώσης	29
Πίνακας 4.5 Δοκιμές αδρανών αντιολισθηρής στρώσης	29
Πίνακας 4.6 Απορροφητικότητα και ειδικά βάρη αδρανών αντιολισθηρής στρώσης.....	29
Πίνακας 4.7 Χαρακτηριστικά ασφάλτου 50/70	30
Πίνακας 4.8 Χαρακτηριστικά ασφάλτου 80/100	30
Πίνακας 4.9 Χαρακτηριστικά τροποποιημένης ασφάλτου με SBS	30
Πίνακας 4.10 Σύνθεση ασφαλτομίγματος A265B ισοπεδωτικής στρώσης	31
Πίνακας 4.11 Σύνθεση ασφαλτομίγματος τύπου ΙΙ αντιολισθηρής στρώσης.....	31
Πίνακας 4.12 Κοκκομετρική ανάλυση ασφαλτομίγματος της Π.Τ.Π. A265B	32
Πίνακας 4.13 Κοκκομετρική ανάλυση ασφαλτομίγματος τύπου ΙΙ ανοικτής διαβάθμισης ...	33
Πίνακας 4.14 Διορθωτικοί συντελεστές Marshall	40
Πίνακας 4.15 Χαρακτηριστικά μίγματος A265B ισοπεδωτικής στρώσης	41
Πίνακας 4.16 Χαρακτηριστικά μίγματος τύπου ΙΙ αντιολισθηρής στρώσης	41
Πίνακας 4.17 Χαρακτηριστικά ασφαλτικών γαλακτωμάτων KE1 και KE5	43
Πίνακας 4.18 Περιγραφή της λειτουργίας συμπύκνωσης για κάθε τύπο ασφαλτομίγματος..	46
Πίνακας 5.1 Δοκιμή εκχύλισης ασφαλτομίγματος 3ης στρώσης.....	51
Πίνακας 5.2 Κοκκομετρική ανάλυση ασφαλτομίγματος 3ης στρώσης.....	52
Πίνακας 5.3 Προσδιορισμός θεωρητικού μέγιστου ειδικού βάρους χαλαρού ασφαλτομίγματος 3ης στρώσης.....	53
Πίνακας 5.4 Δελτίο ελέγχου χαρακτηριστικών δοκιμών Marshall 3ης στρώσης.....	53
Πίνακας 5.5 Δοκιμή εκχύλισης ασφαλτομίγματος αντιολισθηρής στρώσης.....	54
Πίνακας 5.6 Κοκκομετρική ανάλυση ασφαλτομίγματος αντιολισθηρής στρώσης	54
Πίνακας 5.7 Προσδιορισμός θεωρητικού μέγιστου ειδικού βάρους χαλαρού ασφαλτομίγματος αντιολισθηρής στρώσης	55
Πίνακας 5.8 Δελτίο ελέγχου χαρακτηριστικών δοκιμών Marshall αντιολισθηρής στρώσης .	56
Πίνακας 5.9 Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις της σύνθεσης και των τριών στρώσεων της A265B	58
Πίνακας 5.10 Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις της σύνθεσης και του δείγματος της αντιολισθηρής στρώσης	59
Πίνακας 5.11 Μετρήσεις συμπυκνώσεων 1ης ειδικής διατομής 3ης στρώσης με συσκευή τύπου troxler.....	61
Πίνακας 5.12 Μετρήσεις συμπυκνώσεων 2ης ειδικής διατομής 3ης στρώσης με συσκευή τύπου troxler.....	63
Πίνακας 5.13 Μετρήσεις συμπυκνώσεων αντιολισθηρής στρώσης 1 ^{ης} ειδικής διατομής με συσκευή τύπου troxler.....	65
Πίνακας 5.14 Μετρήσεις συμπυκνώσεων 2 ^{ης} ειδικής διατομής αντιολισθηρής στρώσης με συσκευή τύπου troxler.....	67
Πίνακας 5.15 Υπολογισμός του ποσοστού των κενών των πυρήνων της 3ης στρώσης A265B	78
Πίνακας 5.16 Υπολογισμός του ποσοστού των κενών των πυρήνων της αντιολισθηρής στρώσης.....	78
Πίνακας 5.17 Χαρακτηριστικά ασφαλτομίγματος A265B Ισοπεδωτικής & Αντιολισθηρής..	78
Πίνακας 5.18 Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων ανάλυσης.....	101
Πίνακας 5.19 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των παραμέτρων της καταστατικής εξίσωσης	104
Πίνακας 5.20 Συνοπτικός πίνακας χαρακτηριστικών προσομοίωσης (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση).....	111

Πίνακας 5.21 Συνοπτικός πίνακας χαρακτηριστικών προσομοίωσης (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης)	111
Πίνακας 5.22 Συνοπτικός πίνακας χαρακτηριστικών προσομοίωσης (ενιαία αρχική πυκνότητα για τις δονητικές φάσεις – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης)	111
Πίνακας 7.1 Στοιχεία εργαστηριακής συμπίκνωσης ασφαλτομίγματος Α265Β.....	122
Πίνακας 7.2 Στοιχεία εργαστηριακής συμπίκνωσης ασφαλτομίγματος τύπου ΙΙ αντιολισθηρής στρώσης	123
Πίνακας 7.3 Έλεγχος ομοιομορφίας συμπίκνωσης εντός των δοκιμίων ασφαλτομίγματος Α265Β	127
Πίνακας 7.4 Ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (θέση πυρήνα) ασφαλτομίγματος Α265Β	128
Πίνακας 7.5 Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία πυρήνων αντιολισθηρού ασφαλτομίγματος	129
Πίνακας 7.6 Ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (θέση πυρήνα) ασφαλτομίγματος αντιολισθηρής στρώσης	130
Πίνακας 7.7 Πίνακας θερμοκρασίας, προτύπων συμπίκνωσης και πυκνότητας πυρήνων Α265Β	131
Πίνακας 7.10 Παλινδρόμηση πυκνότητας πυρήνων για τη στατική και δονητική ενέργεια μαζί	132
Πίνακας 7.11 Πίνακας θερμοκρασίας, τύπου μίγματος, στατικής λειτουργίας και πυκνότητας πυρήνων.....	133
Πίνακας 7.12 Παλινδρόμηση πυκνότητας πυρήνων για τη στατική λειτουργία συμπίκνωσης	136
Πίνακας 7.13 Πίνακας θερμοκρασίας, τύπου μίγματος, δονητικής λειτουργίας και πυκνότητας πυρήνων.....	136
Πίνακας 7.14 Παλινδρόμηση πυκνότητας πυρήνων για τη δονητική λειτουργία.....	139
Πίνακας 7.15 Πίνακας θερμοκρασίας, τύπου μίγματος, συνδυαστικής λειτουργίας και πυκνότητας πυρήνων.....	139
Πίνακας 7.16 Παλινδρόμηση πυκνότητας πυρήνων για τη συνδυαστική λειτουργία	144
Πίνακας 7.15 Εύρος εργαστηριακών λειτουργιών συμπίκνωσης - επιτευχθείσας εργαστηριακής πυκνότητας για το ασφαλτόμιγμα Α265Β	145
Πίνακας 7.16 Εύρος εργαστηριακών λειτουργιών συμπίκνωσης - επιτευχθείσας εργαστηριακής πυκνότητας για το ασφαλτόμιγμα τύπου ΙΙ (αντιολισθηρά).....	146

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1 Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις τυπικών ασφαλτομιγμάτων (Νικολαΐδης, 2002).....	11
Σχήμα 3.2 Στατικός οδοστρωτήρας δύο κυλίνδρων	16
Σχήμα 3.3 Στατικός οδοστρωτήρας με έναν κύλινδρο και δύο μεταλλικούς τροχούς.....	16
Σχήμα 3.4 Δονητικός οδοστρωτήρας δύο κυλίνδρων	17
Σχήμα 3.5 Λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας με 4+4 ελαστικά.....	18
Σχήμα 3.6 Κυλίνδρωση ασφαλτικών μιγμάτων	20
Σχήμα 3.7 Δυνάμεις που δρουν κατά την κυλίνδρωση.....	21
Σχήμα 3.8 Συσκευή πυρηνικής μέτρησης πυκνότητας τύπου Troxler.....	22
Σχήμα 3.9 Σχηματική αναπαράσταση του πυρηνικού μετρητή πυκνότητας troxler (http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/07_construction/nu)	24
Σχήμα 4.1 Κοκκομετρική καμπύλη Π.Τ.Π. A265B.....	33
Σχήμα 4.2 Κοκκομετρική καμπύλη ασφαλτομίγματος τύπου ΙΙ αντιολισθηρή στρώση	33
Σχήμα 4.3 Πυκνόμετρο και συσκευή δόνησης	34
Σχήμα 4.4 Συσκευή συμπίκνωσης με κρουστικό φορτίο τύπου Marshall	36
Σχήμα 4.5 Δοκίμιο Marshall	36
Σχήμα 4.6 Υδρόλουτρο δοκιμίων Marshall	39
Σχήμα 4.7 Συσκευή προσδιορισμού ευστάθειας και υποχώρησης Marshall	39
Σχήμα 4.8 Διαστρωτήρας (Finisher) ασφαλτομιγμάτων.....	44
Σχήμα 4.9 Συμπύκνωση ασφαλτομίγματος με λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα.....	45
Σχήμα 4.10 Κάναβος ειδικών διατομών	47
Σχήμα 4.11 Μετρήσεις συμπίκνωσης με το πυρηνικό όργανο troxler.....	48
Σχήμα 4.12 Εξαγωγή πυρήνων στο διαστρωθέν τμήμα της αρτηρίας.....	49
Σχήμα 4.13 Διαχωρισμός πυρήνων σε στρώσεις	50
Σχήμα 5.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών ασφαλτομίγματος 3ης στρώσης	52
Σχήμα 5.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών ασφαλτομίγματος αντιολισθηράς στρώσης. 55	
Σχήμα 5.3 Κοκκομετρική διαβάθμιση των δειγμάτων των στρώσεων του ασφαλτομίγματος A265B	58
Σχήμα 5.4 Κοκκομετρική διαβάθμιση του δείγματος της αντιολισθηράς στρώσης.....	59
Σχήμα 5.5 Εξέλιξη της συμπίκνωσης ανά φάση (3 ^η στρώση A265B - 1η ειδική διατομή)....	70
Σχήμα 5.6 Εξέλιξη της συμπίκνωσης ανά φάση (αντιολισθηρή στρώση - 1η ειδική διατομή)	71
Σχήμα 5.7 Εξέλιξη της συμπίκνωσης ανά φάση (3η στρώση A265B - 2η ειδική διατομή) ...	71
Σχήμα 5.8 Εξέλιξη της συμπίκνωσης ανά φάση (αντιολισθηρή στρώση - 2η ειδική διατομή)	72
Σχήμα 5.9 Πυκνότητα ανά φάση συμπίκνωσης(3η στρώση - 1η ειδική διατομή).....	73
Σχήμα 5.10 Μεταβολή της πυκνότητας ανά φάση συμπίκνωσης (3η στρώση - 1η ειδική διατομή).....	73
Σχήμα 5.11 Πυκνότητα των πυρήνων ανά φάση συμπίκνωσης(3η στρώση - 2η ειδική διατομή).....	74
Σχήμα 5.12 Μεταβολή της πυκνότητας ανά φάση συμπίκνωσης (3η στρώση - 2η ειδική διατομή).....	74
Σχήμα 5.13 Πυκνότητα των πυρήνων ανά φάση συμπίκνωσης(αντιολισθηρή στρώση - 1η ειδική διατομή).....	75
Σχήμα 5.14 Μεταβολή της πυκνότητας ανά φάση συμπίκνωσης (αντιολισθηρή στρώση - 1η ειδική διατομή).....	75
Σχήμα 5.15 Πυκνότητα των πυρήνων ανά φάση συμπίκνωσης(αντιολισθηρή στρώση - 2 ^η ειδική διατομή).....	76
Σχήμα 5.16 Μεταβολή της πυκνότητας ανά φάση συμπίκνωσης (αντιολισθηρή στρώση - 2η ειδική διατομή).....	76

Σχήμα 5.17 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσει του πλάτους, 3ης στρώσης, 1ης ειδικής διατομής 1η σειρά.....	79
Σχήμα 5.18 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσει του πλάτους, 3ης στρώσης, 2ης ειδικής διατομής 2η σειρά.....	80
Σχήμα 5.19 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσει του πλάτους, αντλιοσθηρής στρώσης, 1ης ειδικής διατομής 3η σειρά.....	80
Σχήμα 5.20 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσει του πλάτους, αντλιοσθηρής στρώσης, 2ης ειδικής διατομής 4η σειρά.....	81
Σχήμα 5.21 Συντελεστές επιρροής κατά μήκος του τυμπάνου (Masad et al, 2008).....	83
Σχήμα 5.22 Ποσοστό κενών πυρήνων συναρτήσει ισοδύναμων περασμάτων (Σημεία ειδικών διατομών 3 ^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης).....	85
Σχήμα 5.23 Ποσοστό κενών πυρήνων συναρτήσει ισοδύναμων περασμάτων (Σημεία ειδικών διατομών αντλιοσθηρής στρώσης).....	86
Σχήμα 5.24 Ποσοστό κενών μετρήσεων troxler συναρτήσει ισοδύναμων περασμάτων (Σημεία ειδικών διατομών 3 ^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης).....	87
Σχήμα 5.25 Ποσοστό κενών μετρήσεων troxler συναρτήσει ισοδύναμων περασμάτων (Σημεία ειδικών διατομών αντλιοσθηρής στρώσης).....	88
Σχήμα 5.26 Διαγράμματα ln της πυκνότητας των μετρήσεων troxler συναρτήσει περασμάτων ή ισοδύναμων περασμάτων των δύο ειδικών διατομών 3ης στρώσης.....	91
Σχήμα 5.27 Διαγράμματα ln της πυκνότητας των μετρήσεων troxler συναρτήσει περασμάτων ή ισοδύναμων περασμάτων των δύο ειδικών διατομών αντλιοσθηρής στρώσης.....	92
Σχήμα 5.28 Διαγράμματα ln της πυκνότητας των μετρήσεων troxler συναρτήσει περασμάτων ή ισοδύναμων περασμάτων των δύο ειδικών διατομών αντλιοσθηρής στρώσης μετά την αφαίρεση των outliers.....	94
Σχήμα 5.29 Διαγράμματα μέσων όρων των ln της πυκνότητας των μετρήσεων troxler συναρτήσει των μέσων όρων των περασμάτων ή των ισοδύναμων περασμάτων των δύο ειδικών διατομών 3ης στρώσης.....	95
Σχήμα 5.30 Διαγράμματα μέσων όρων των ln της πυκνότητας των μετρήσεων troxler συναρτήσει των μέσων όρων των περασμάτων ή των ισοδύναμων περασμάτων των δύο ειδικών διατομών αντλιοσθηρής στρώσης.....	96
Σχήμα 5.31 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) A265B – 2η ειδική διατομή 3η στρώση.....	99
Σχήμα 5.32 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) A265B – 2η ειδική διατομή 3η στρώση.....	99
Σχήμα 5.33 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) A265B – 1η ειδική διατομή 3η στρώση.....	100
Σχήμα 5.34 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) A265B – 1η ειδική διατομή 3η στρώση.....	100
Σχήμα 5.35 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) Αντλιοσθηρά – 1η ειδική διατομή.....	102
Σχήμα 5.36 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) Αντλιοσθηρά – 1η ειδική διατομή.....	102

Σχήμα 5.37 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) Αντιολισθηρά – 2η ειδική διατομή	103
Σχήμα 5.38 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) Αντιολισθηρά – 2η ειδική διατομή	103
Σχήμα 5.39 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) 3 ^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B.....	105
Σχήμα 5.40 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) 3 ^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B.....	105
Σχήμα 5.41 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης –διαφορετική αντίσταση ανά φάση) αντιολισθηρής στρώσης	106
Σχήμα 5.42 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης –διαφορετική αντίσταση ανά φάση) αντιολισθηρής στρώσης	106
Σχήμα 5.43 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης-ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) 3 ^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B	107
Σχήμα 5.44 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) 3 ^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B	107
Σχήμα 5.45 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) αντιολισθηρής στρώσης	108
Σχήμα 5.46 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) αντιολισθηρής στρώσης	108
Σχήμα 5.47 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (ενιαία αρχική πυκνότητα για τις δονητικές φάσεις – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) 3 ^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B	109
Σχήμα 5.48 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (ενιαία αρχική πυκνότητα για τις δονητικές φάσεις – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) 3 ^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B	109
Σχήμα 5.49 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (ενιαία αρχική πυκνότητα για τις δονητικές φάσεις – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) αντιολισθηρής στρώσης	110
Σχήμα 5.50 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (ενιαία αρχική πυκνότητα για τις δονητικές φάσεις – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) αντιολισθηρής στρώσης	110
Σχήμα 5.51 Συντελεστές επίδρασης ασφαλτομίγματος A265B και αντιολισθηράς.....	112
Σχήμα 6.1 Η συσκευή συμπίκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor του Εργαστηρίου Οδοποιίας του ΕΜΠ.....	113
Σχήμα 6.2 Θέρμανση δείγματος στο φούρνο.....	114
Σχήμα 6.3 Μήτρες συμπίκνωσης ασφαλτομίγματος.....	115
Σχήμα 6.4 Δοκίμια μετά την εξαγωγή τους από τις μήτρες.....	116
Σχήμα 6.5 Δοκίμιο μίγματος αντιολισθηράς στρώσης την στιγμή της εξαγωγής του από τη μήτρα.....	117

Σχήμα 6.6 Ζύγιση δοκιμίου.....	118
Σχήμα 6.7 Σκαρίφημα διάταξης του τρόπου πυρηνοληψίας.....	119
Σχήμα 6.8 Εξαγωγή πυρήνων.....	119
Σχήμα 7.1 Αποτελέσματα πυκνότητας πυρήνων ασφαλτομίγματος A265B για διάφορες θερμοκρασίες συμπίκνωσης.....	125
Σχήμα 7.2 Αποτελέσματα πυκνότητας πυρήνων αντιολισθηρού ασφαλτομίγματος για διάφορες θερμοκρασίες συμπίκνωσης.....	125
Σχήμα 7.3 Αποτελέσματα πυκνότητας πυρήνων ασφαλτομίγματος A265B για διαφορετικό αριθμό περασμάτων.....	126
Σχήμα 7.4 Αποτελέσματα πυκνότητας πυρήνων αντιολισθηρού ασφαλτομίγματος για διαφορετικό αριθμό περασμάτων.....	126
Σχήμα 7.5 Θηκόγραμμα πυρήνων A,B,C,D ασφαλτομίγματος A265B.....	127
Σχήμα 7.6 Θηκόγραμμα πυρήνων A,B,C,D αντιολισθηρού ασφαλτομίγματος.....	129
Σχήμα 7.7 Ισοδύναμα περάσματα συναρτήσκει του εργαστηριακού δείκτη έργου για το ασφαλτόμιγμα A265B, για θερμοκρασία 145 ⁰ C.....	146
Σχήμα 7.8 Ισοδύναμα περάσματα συναρτήσκει του εργαστηριακού δείκτη έργου για το ασφαλτόμιγμα τύπου II, για θερμοκρασία 155 ⁰ C.....	147
Σχήμα 7.10 Υπολογισμός ισοδυνάμων περασμάτων στο εργοτάξιο για πυκνότητα που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο για το ασφαλτόμιγμα τύπου II (αντιολισθηρά).....	148
Σχήμα 7.9 Υπολογισμός ισοδυνάμων περασμάτων στο εργοτάξιο για πυκνότητα που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο για το ασφαλτόμιγμα A265B.....	149

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διερεύνηση των συνθηκών της διαδικασίας συμπύκνωσης στο έργο και στο εργαστήριο αποτέλεσε το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για τους σκοπούς της εργασίας, πραγματοποιήθηκε οδικό πείραμα στο έργο αυτοκινητοδρόμου ΚΟΡΙΝΘΟΣ-ΤΡΙΠΟΛΗ-ΚΑΛΑΜΑΤΑ και παράλληλα εργαστηριακές δοκιμές με χρήση της συσκευής συμπύκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor του Εργαστηρίου Οδοποιίας του Ε.Μ.Π.

Τα μίγματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εργοταξιακή διάστρωση ήταν το ασφαλτόμιγμα Α265Β και το ασφαλτόμιγμα αντιολισθηρής στρώσης. Κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος οδού δημιουργήθηκαν δύο ειδικές διατομές που περιείχαν 16 σημεία μετρήσεων (τετραγωνικός κάναβος 4x4), στα οποία πραγματοποιήθηκαν κατά την εξέλιξη των διαφόρων φάσεων της διαδικασίας συμπύκνωσης μετρήσεις του βαθμού συμπύκνωσης με τη πυρηνική συσκευή τύπου troxler. Στα ίδια ακριβώς σημεία ελήφθησαν πυρήνες για την επιβεβαίωση της επιτευχθείσας συμπύκνωσης. Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων συμπύκνωσης στο έργο εφαρμόστηκε η εκθετική σχέση πυκνότητας-ενέργειας συμπύκνωσης, με χρήση της παραμέτρου αντίστασης του ασφαλτομίγματος σε συμπύκνωση, η οποία έδωσε καλά αποτελέσματα συσχέτισης και πρόβλεψης των επιτευχθεισών πυκνοτήτων στο έργο. Επίσης, ελέγχθηκε η επίδραση της θέσης του σημείου μέτρησης σε σχέση με την απόστασή του από το άκρο του οδοστρωτήρα. Διαπιστώθηκε ότι, η αποτελεσματικότητα συμπύκνωσης στην περιοχή του άκρου του τυμπάνου είναι μειωμένη σε σύγκριση με το κέντρο του και προσδιορίστηκε η σχέση της αποτελεσματικότητάς του συναρτήσει της απόστασης του σημείου μέτρησης από το άκρο. Έτσι, έγινε ο συσχετισμός των αποτελεσμάτων συμπύκνωσης στο έργο με τα αντίστοιχα ισοδύναμα περάσματα σε κάθε σημείο των ειδικών διατομών.

Σε αντιπροσωπευτικά δείγματα των δύο ασφαλτομιγμάτων έγιναν στο εργαστήριο δοκιμές συμπύκνωσης σε διάφορες θερμοκρασίες και λειτουργίες συμπύκνωσης κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης-δόνησης της εργαστηριακής συσκευής συμπύκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor. Στα δοκίμια που προέκυψαν ελήφθησαν πυρήνες και προσδιορίστηκε η επιτευχθείσα πυκνότητα. Η συσχέτιση της πυκνότητας, που έγινε χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους την θερμοκρασία ασφαλτομίγματος, την πίεση τυμπάνου-περασμάτων, το είδος ασφαλτομίγματος και το είδος συμπύκνωσης (με ή χωρίς δόνηση), προέκυψε αρκετά καλή.

Ο συνδυασμός των δύο προτύπων που προέκυψαν τόσο στο εργαστήριο όσο και στο έργο δίνει την δυνατότητα προσδιορισμού της λειτουργίας συμπύκνωσης στο έργο για τα αντίστοιχα ασφαλτομίγματα.

ABSTRACT

The investigation of the conditions of the hot asphalt mixture compaction process in the project and the laboratory has been the subject of this thesis. For this purpose, a road experiment was executed on the Corinth-Tripoli-Kalamata highway project and parallel laboratory tests were made using the compaction simulation equipment (Roller Compactor type) of Laboratory of Highway Engineering of NTUA.

The Hot Asphalt Mixtures(HMA) used in the construction site were of the A265B type for the lower layers and of the Type II antiskid HMA for the upper/final layer. Along the road section under study two special sections, that contained 16 measurement points (grid square 4x4), were taken in consideration. During the evolution of various phases of the process of compaction, measurements of compaction density by the nuclear device Troxler type were made in each grid point. HMA cores were taken at the same points for the confirmation of the achieved compaction. In order to correlate the achieved compaction results, the exponential relationship was used between the HMA density and applied compaction energy, taking in consideration the parameter of resistance of asphalt concrete in compaction. This gave good correlation results and reliable forecasting of the achieved densities at the site.

Also the impact on the compaction of the position of the grid point in relation to its distance from the edge of the roller was investigated . It was found that the efficiency of the compaction near the edge of the roller is reduced compared to the center and determined the relationship between efficiency versus the distance of the grid point from the edge. In this way the achieved HMA density results in the site correlated with the corresponding equivalent roller passages at each point of the special sections.

In representative samples of the two used HMA, compaction tests were made in the laboratory at different temperatures and compaction functions under specified conditions of pressure-vibration in the laboratory compaction simulation equipment (Roller Compactor Type). In the achieved specimens HMA cores were taken and the HMA density was determined. The HMA density was correlated in relation to , the asphalt temperature, the product of the applied pressure and number of roller passages, the type of HMA and the type of compaction pattern (with or without vibration). The results of the correlation were fairly good.

The combination of the two simulation models obtained in the laboratory and in the site allows the design of the compaction pattern, which has to be applied to the site, for the corresponding asphalt mixtures.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την επιτυχή κατασκευή ενός οδοστρώματος, η συμπύκνωση των στρώσεων του ασφαλτομίγματος, της βάσης και της υπόβασης, είναι ίσως η σημαντικότερη παράμετρος. Από αυτή πρόκειται να εξαρτηθεί η καλή συμπεριφορά του οδοστρώματος και κυρίως των ασφαλτικών στρώσεων, η συμπύκνωση των οποίων διερευνάται στη παρούσα διπλωματική εργασία. Κατά τη συμπύκνωση των ασφαλτομιγμάτων, τα καλυμμένα με άσφαλο αδρανή συμπιέζονται, αναδιατάσσονται και λαμβάνουν θέσεις τέτοιες ώστε η μεταξύ τους απόσταση να είναι η μικρότερη δυνατή. Κατά συνέπεια, μειώνεται το ποσοστό των κενών και αυξάνεται η πυκνότητα του μίγματος.

Λόγω της αναδιάταξης των αδρανών, αυξάνονται οι επιφάνειες επαφής και αναπτύσσεται μεγαλύτερη εσωτερική τριβή μεταξύ τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η ευστάθεια του μίγματος και κατά συνέπεια η αντοχή της στρώσης και του οδοστρώματος. Η μείωση των κενών στο μίγμα αφενός καθιστά το μίγμα λιγότερο διαπερατό από τον αέρα και το νερό, αφετέρου αυξάνει το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος. Η μείωση της διαπερατότητας συμβάλλει ώστε να μην επιτρέπεται η διακίνηση αέρα και νερού στη μάζα του μίγματος προστατεύοντας την άσφαλο από οξείδωση (επίδραση του αέρα) και το ασφαλτόμιγμα από διάβρωση (επίδραση του νερού).

Στην περίπτωση κατά την οποία δεν συμπυκνωθεί καλά το ασφαλτόμιγμα, είναι σίγουρο ότι η στρώση(-εις) θα συμπυκνωθεί ανομοιόμορφα από την κυκλοφορία, με αποτέλεσμα την εμφάνιση πρόωρων αυλακώσεων στα ίχνη των τροχών. Γίνεται κατανοητό, ότι η επίτευξη βέλτιστου ποσοστού κενών και ομαλής επιφάνειας με το πέρας της συμπύκνωσης είναι μεγάλης σημασίας για τη διάρκεια της ζωής του οδοστρώματος και την ποιότητα κύλισης.

Αντικείμενο έρευνας για τους περισσότερους μελετητές οδοστρωμάτων ήταν και είναι πάντα η προσομοίωση των συνθηκών συμπύκνωσης και της επιτευχθείσας συμπύκνωσης στο πεδίο, με μία συσκευή συμπύκνωσης στο εργαστήριο. Ωστόσο, οι δυσκολίες προσομοίωσης έγκεινται στη συνεχή μεταβολή των καιρικών φαινομένων που επηρεάζουν την θερμοκρασία του ασφαλτομίγματος, την ποικιλία μηχανημάτων συμπύκνωσης στο πεδίο (στατικοί, δονητικοί, λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες και μεταβολή της πίεσης που ασκεί ο κάθε ένας), το πάχος της διαστρωθείσας στρώσης (όσο πιο λεπτή είναι μία στρώση τόσο πιο εύκολα συμπυκνώνεται) και ο τρόπος συμπύκνωσης (η σειρά με την οποία χρησιμοποιούνται οι οδοστρωτήρες και ο τρόπος με τον οποίο περνούν πάνω από το μίγμα). Γίνεται αντιληπτό ότι η συμπύκνωση που θα επιτευχθεί στο πεδίο εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, γεγονός το οποίο δυσχεραίνει την προσομοίωση της επί τόπου συμπύκνωσης στο

εργαστήριο. Στην προσπάθεια προσομοίωσης αυτών των συνθηκών έχουν αναπτυχθεί πολλές εργαστηριακές συσκευές συμπύκνωσης ασφαλτομιγμάτων όπως είναι η συσκευή συμπύκνωσης με κρουστικό φορτίο τύπου Marshall, η συσκευή συμπύκνωσης με γυροσκοπική μέθοδο και η συσκευή συμπύκνωσης με κύλινδρο. Ο έλεγχος προσομοίωσης των συνθηκών συμπύκνωσης του πεδίου διάστρωσης με τη συσκευή αυτή και η δημιουργία κριτηρίων για την επίτευξη δοκιμών με ίδιες ιδιότητες με αυτές του πεδίου είναι σε πρώιμο στάδιο. Οι συσκευές αυτές έχουν διερευνηθεί ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους και την αποτελεσματικότητα προσομοίωσης του πεδίου από πολλούς ερευνητές. Με την πάροδο του χρόνου όλο και περισσότερες συσκευές προσομοίωσης αναπτύσσονται. Μία σχετικά καινούρια συσκευή είναι η συσκευή συμπύκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται διερεύνηση της διαδικασίας συμπύκνωσης επί τόπου και στο εργαστήριο. Προς αυτή την κατεύθυνση, πραγματοποιήθηκε οδικό πείραμα στο έργο αυτοκινητοδρόμου ΚΟΡΙΝΘΟΣ-ΤΡΙΠΟΛΗ-ΚΑΛΑΜΑΤΑ και παράλληλα εργαστηριακές δοκιμές με χρήση της συσκευής συμπύκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor του Εργαστηρίου Οδοποιίας του Ε.Μ.Π.

Η διπλωματική εργασία πέραν της εισαγωγής διαρθρώνεται από :

α) το 2^ο κεφάλαιο, όπου γίνεται αναφορά των διεθνών ερευνών που έχουν ήδη γίνει από μελετητές στο ίδιο ερευνητικό πλαίσιο,

β) το 3^ο κεφάλαιο, όπου αναπτύσσονται γενικά, η σύνθεση και είδη ασφαλτομιγμάτων, οι παράμετροι συμπύκνωσης και οι τρόποι ελέγχου της συμπύκνωσης,

γ) το 4^ο κεφάλαιο, όπου γίνεται περιγραφή των υλικών και των μιγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εργοταξιακή διάστρωση και των δοκιμών ελέγχου αυτών στο εργαστήριο. Επίσης, γίνεται αναφορά στη διαδικασία συμπύκνωσης και στις μετρήσεις του ποσοστού κενών με τη συσκευή troxler και με τη λήψη πυρήνων,

δ) το 5^ο κεφάλαιο, όπου γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τον ποιοτικό έλεγχο των μιγμάτων, τη συμπύκνωση στο πεδίο και από τη στατιστική επεξεργασία αυτών.

ε) το 6^ο κεφάλαιο, όπου περιγράφεται η προετοιμασία δοκιμών και η διαδικασία συμπύκνωσης στο εργαστήριο και ο υπολογισμός του ποσοστού κενών των συμπυκνωμένων δοκιμών.

στ) το 7^ο κεφάλαιο, όπου γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις μετρήσεις των δοκιμίων που συμπυκνώθηκαν στο εργαστήριο και από την στατιστική επεξεργασία αυτών.

ζ) το 8^ο κεφάλαιο, όπου γίνεται αναφορά των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τα αποτελέσματα των πειραμάτων και των στατιστικών αναλύσεων.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η ανάγκη προσομοίωσης της διαδικασίας συμπίκνωσης στο πεδίο διάστρωσης με εργαστηριακές συσκευές, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη συσκευών συμπίκνωσης που προσπαθούν να επιτύχουν συνθήκες παρόμοιες με το πεδίο. Πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί για την αξιολόγηση της λειτουργίας και των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται κατά την συμπίκνωση και την προσπάθεια προσομοίωσης της διαδικασίας επί τόπου συμπίκνωσης.

Η διερεύνηση που έχει ήδη πραγματοποιηθεί από τους μελετητές διακρίνεται σε έρευνες στο πεδίο, έρευνες στο εργαστήριο και συνδυασμός αυτών.

Οι έρευνες που αναφέρονται στην επί τόπου συμπίκνωση εξετάζουν:

α) το συνολικό εφαρμοζόμενο έργο συμπίκνωσης, που εκφράζεται ως ACP (Accumulated Compaction Pressure) και την επιρροή των διάφορων παραμέτρων που επιδρούν στην συμπίκνωση του πεδίου, στο ACP. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη συμπίκνωση του πεδίου είναι η διαβάθμιση του υλικού, το μέγιστο ονομαστικό μέγεθος κόκκου (NMA5), το πάχος της στρώσης, η θερμοκρασία ανάμιξης και ο τύπος της ασφάλτου. Ως αποτέλεσμα αυτής της μελέτης προέκυψε ότι το συνολικό εφαρμοζόμενο έργο συμπίκνωσης εξαρτάται κυρίως από το πάχος της στρώσης, τη θερμοκρασία του μίγματος και την επιθυμητή πυκνότητα (Leiva & West 2008).

β) την σχέση μεταξύ διαφορετικών προτύπων συμπίκνωσης στο πεδίο με την ομοιόμορφη κατανομή των κενών αέρος στη μάζα του ασφαλτομίγματος. Δημιουργήθηκαν πιλοτικά τμήματα, όπου έγινε διάστρωση ασφαλτομίγματος και συμπίκνωση με διαφορετική λειτουργία στο κάθε κομμάτι, λήψη πυρήνων από κάθε πιλοτικό τμήμα και υπολογισμός της κατανομής των κενών στους πυρήνες χρησιμοποιώντας συστήματα τομογραφίας με ακτίνες Χ (X-ray CT). Προέκυψε, ότι η ομοιομορφία της κατανομής των κενών είναι συνδεδεμένη με τη χρήση διαφορετικών λειτουργιών και εξοπλισμού συμπίκνωσης. Ακόμη, η έρευνα αυτή έδειξε ότι, η αποτελεσματικότητα της συμπίκνωσης σε ένα σημείο είναι συνάρτηση της θέσης του σημείου σε σχέση με το πλάτος του οδοστρωτήρα (Masad et al 2009).

Οι έρευνες που αναφέρονται στη συμπίκνωση στο εργαστήριο εξετάζουν:

α) την μεταβολή του περιεχόμενου ποσοστού κενών, σε διαφορετικούς τύπους ασφαλτομιγμάτων (μίγμα συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης, λεπτόκοκκο μίγμα ανοικτής διαβάθμισης και ασφαλτόμιγμα μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης) που επιτυγχάνεται από διάφορους εργαστηριακούς συμπυκνωτές. Η διερεύνηση ελέγχει την επίδραση των διαστάσεων του δοκιμίου και της φοράς συμπίκνωσης των δοκιμίων μελετώντας την ομοιογένεια της κατανομής των κενών με χρήση ακτίνων γάμμα. Από τη μελέτη αυτή προέκυψε ότι τα δείγματα που ελήφθησαν από πυρήνες έχουν τη μεγαλύτερη ομοιογένεια κενών, ενώ τα δείγματα που παράχθηκαν με το γυροσκοπικό συμπυκνωτή έδωσαν αποτελέσματα με μεγάλη διασπορά (Dubois et al. 2009).

β) τη δυνατότητα σύγκρισης διαφορετικών μεθόδων συμπίκνωσης ασφαλτομιγμάτων στο εργαστήριο και στην εύρεση εκείνης της μεθόδου που παράγει ασφαλτομίγματα με χαρακτηριστικά, όμοια με αυτά του πραγματικού πεδίου διάστρωσης. Για τη διερεύνηση χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω εργαστηριακές μέθοδοι συμπίκνωσης: α. αυτόματη συσκευή συμπίκνωσης με κρουστικό φορτίο τύπου Marshall, β. χειροκίνητη συσκευή συμπίκνωσης με κρουστικό φορτίο τύπου Marshall, γ. Καλιφορνική μέθοδος συμπίκνωσης με ζύμωση, δ. συσκευή συμπίκνωσης με γυροσκοπική μέθοδο με γωνία περιστροφής 1.25° και ε. συσκευή συμπίκνωσης με γυροσκοπική μέθοδο με γωνία περιστροφής 6° . Τα δοκίμια που προέκυψαν από τις παραπάνω συσκευές ελέγχθηκαν ως προς την ομοιότητα των μηχανικών χαρακτηριστικών τους με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των πυρήνων (μέτρο δυσκαμψίας, ποσοστό κενών αέρος, φαινόμενο ειδικό βάρος και αντοχή σε παραμένουσες παραμορφώσεις). Για τη λήψη των πυρήνων του πεδίου διάστρωσης επιλέχθηκαν τέσσερα έργα οδοστρωσίας. Η μελέτη αυτή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η συσκευή συμπίκνωσης με γυροσκοπική μέθοδο με γωνία περιστροφής 1.25° είναι η συσκευή που δίνει αποτελέσματα όμοια με αυτά των πυρήνων (Khan et al. 1998).

Οι έρευνες που αναφέρονται στη συμπίκνωση στο πεδίο και στο εργαστήριο εξετάζουν:

α) τον έλεγχο συσχέτισης της επιτευχθείσας συμπίκνωσης στο πεδίο με την αντίστοιχη συμπίκνωση στο εργαστήριο. Ο έλεγχος συσχέτισης πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών που προέκυψαν από τη συσκευή συμπίκνωσης με γυροσκοπική μέθοδο. Η συμπίκνωση στο πεδίο περιελάμβανε τρία πιλοτικά τμήματα σε κάθε ένα από τα οποία χρησιμοποιήθηκε διαφορετική λειτουργία συμπίκνωσης. Για την εργαστηριακή συμπίκνωση χρησιμοποιήθηκε η συσκευή συμπίκνωσης με γυροσκοπική μέθοδο τύπου Superpave. Σε κάθε δοκιμή οι ρυθμίσεις της συσκευής μεταβάλλονταν. Το συμπέρασμα που προέκυψε από αυτή την έρευνα είναι ότι, χρησιμοποιώντας τους

κανονισμούς για τον συμπυκνωτή με γυροσκοπική μέθοδο παράγονται δοκίμια με σημαντικές διαφορές στα μηχανικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με των πυρήνων από το πεδίο, όπου χρησιμοποιήθηκε το ίδιο μίγμα διάστρωσης και συμπυκνώθηκε στο ίδιο ποσοστό κενών. Επίσης, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μεταβάλλοντας τις τιμές συγκεκριμένων ρυθμίσεων στον εργαστηριακό συμπυκνωτή, παράγονται δοκίμια, οι μηχανικές ιδιότητες των οποίων πλησιάζουν εκείνες των πυρήνων του πεδίου (Peterson 2004).

β) την πιθανή προσομοίωση των συνθηκών συμπύκνωσης στο πεδίο με τη συσκευή συμπύκνωσης ορθογωνικών δοκιμίων Turamesin. Επίσης εξετάζεται η δημιουργία κριτηρίων - κανόνων για τη συμπύκνωση των δοκιμίων, βάσει των οποίων θα επιτυγχάνεται η προσομοίωση της επί τόπου συμπύκνωσης. Για το σκοπό της έρευνας παράχθηκαν 9 ορθογωνικά δοκίμια χρησιμοποιώντας διάφορους συνδυασμούς έργων συμπύκνωσης. Η ανάλυση των μετρήσεων των δοκιμίων έδειξε ότι για συγκεκριμένο αριθμό περασμάτων (75 περάσματα) του συμπυκνωτή Turamesin και με συγκεκριμένη ασκούμενη πίεση (8.0 kgf/cm²) είναι δυνατή η επίτευξη του επιθυμητού ποσοστού κενών (4%). Η έρευνα επιπλέον θεωρεί τις παραπάνω παραμέτρους αντιπροσωπευτικές και για άλλους τύπους ασφαλτομιγμάτων για την επίτευξη του ποσοστού κενών 4% (Muniandy et al. 2007).

γ) τη δυνατότητα σύγκρισης της επιτευχθείσας συμπύκνωσης στο πεδίο με την αντίστοιχη συμπύκνωση στο εργαστήριο που επιτεύχθηκε από τη συσκευή συμπύκνωσης με γυροσκοπική μέθοδο τύπου Superpave. Τα στοιχεία που καταγράφηκαν σε τέσσερα διαφορετικά έργα οδοστρωσίας ήταν η πυκνότητα, η θερμοκρασία, ο αριθμός των περασμάτων και ο τύπος του οδοστρωτήρα. Επίσης, έγινε λήψη δειγμάτων για το κάθε ασφαλτόμιγμα. Η θερμοκρασία συμπύκνωσης κυμάνθηκε από 60°C έως 125°C και η επιθυμητή συμπύκνωση επιτεύχθηκε για θερμοκρασίες πάνω από 70-80°C. Η πίεση που ασκήθηκε από τον οδοστρωτήρα κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης εκτιμήθηκε μεταξύ 300 και 700 kPa. Σημειώνεται ότι, για την εργαστηριακή συμπύκνωση χρησιμοποιήθηκαν οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις που ασκήθηκαν στο πεδίο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πεδίου και του εργαστηρίου, αποδεικνύεται ότι η αποτελεσματικότητα της συμπύκνωσης μειώνεται δραστικά κάτω από τους 75°C (Delgadillo & Bahia 2008).

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει, ότι η προσπάθεια προσομοίωσης στο εργαστήριο των συνθηκών συμπύκνωσης στο πεδίο αν και έχει αναλυθεί από πολλούς ερευνητές απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση για να επιτευχθεί μία κοινά αποδεκτή και εφαρμόσιμη μεθοδολογία. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες εργαστηριακές συσκευές συμπύκνωσης βασιζόμενες σε διαφορετικές αρχές επιβολής του έργου συμπύκνωσης. Οι περισσότεροι μελετητές χρησιμοποιούν τη συσκευή συμπύκνωσης με γυροσκοπική μέθοδο τύπου Superpave για την προσπάθεια προσομοίωσης της συμπύκνωσης επί τόπου στο εργαστήριο. Σύμφωνα με τη

διεθνή βιβλιογραφία, η χρήση εργαστηριακών συσκευών συμπίκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor για την προσομοίωση της επί τόπου συμπίκνωσης στο εργαστήριο είναι αρκετά περιορισμένη και όχι ευρέως αποδεκτή. Η εφαρμογή της είναι σχετικά πρόσφατη και αρκετοί ερευνητές προσπαθούν να αναλύσουν τις εφαρμοζόμενες συνθήκες και τα αποτελέσματα στο εργαστήριο, ώστε να καταλήξουν σε ένα αποδεκτό τρόπο χρήσης της για την προσομοίωση της επί τόπου συμπίκνωσης και την συμβολή της για την βελτιστοποίηση αυτής στο έργο.

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα διπλωματική εργασία φιλοδοξεί να συμβάλλει στην περαιτέρω διερεύνηση και συμπλήρωση των δεδομένων χρήσης των εργαστηριακών συσκευών συμπίκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor.

3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ - ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά στα θερμά ασφαλτομίγματα και τη σύνθεση αυτών, στους παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπίκνωση και στους τρόπους ελέγχου της συμπίκνωσης.

3.1 Σύνθεση θερμών ασφαλτομιγμάτων

Στην κατασκευή των εύκαμπτων οδοστρωμάτων χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ασφαλτομιγμάτων, ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου. Έτσι διασφαλίζεται η βέλτιστη αξιοποίηση του υλικού. Η δυνατότητα χρησιμοποίησης πλέον του ενός ασφαλτομίγματος προϋποθέτει την ύπαρξη : κατάλληλης ποιότητας και διαβάθμισης αδρανών, κατάλληλου τύπου ασφάλτου, κατάλληλου μηχανικού και μηχανολογικού εξοπλισμού, τεχνογνωσίας των εμπλεκόμενων (μελετητών και κατασκευαστών) και σαφών και άρτιων προδιαγραφών. Βεβαίως από όλους τους τύπους ασφαλτομιγμάτων που υπάρχουν σε κάθε χώρα χρησιμοποιούνται αυτοί που εξυπηρετούν καλύτερα τις ανάγκες της σε συνδυασμό με τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται ο τύπος θερμού ασφαλτομίγματος που είναι γνωστός ως ασφαλτικό σκυρόδεμα.

Θερμό ασφαλτόμιγμα ορίζεται το μίγμα ασφάλτου και μίγματος αδρανών που παράγεται 'εν θερμώ' σε μόνιμη εγκατάσταση. Αναλόγως της κοκκομετρικής καμπύλης των αδρανών καθώς και του μέγιστου κόκκου αυτών, χρησιμοποιείται σε διαφόρων τύπων ασφαλτικά έργα.

Τα ασφαλτομίγματα έχουν να εκπληρώσουν ένα μεγάλο εύρος απαιτήσεων για τις σημερινές διαμορφωθείσες συνθήκες κυκλοφορίας και οδήγησης. Ειδικότερα τα ασφαλτομίγματα θα πρέπει:

- να ανθίστανται στην παραμένουσα παραμόρφωση
- να ανθίστανται στη ρηγμάτωση από κόπωση
- να συνεισφέρουν στην φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος
- να είναι αδιαπέρατα από το νερό ώστε να προστατεύουν τις υποκείμενες στρώσεις
- να παρουσιάζουν καλή εργασιμότητα κατά τη διάστρωση και να συμπυκνώνονται με τα διαθέσιμα μηχανήματα

- να συντηρούνται εύκολα και
- να είναι μικρού κατά το δυνατόν κόστους

Επιπροσθέτως, τα ασφαλτομίγματα για στρώσεις κυκλοφορίας θα πρέπει :

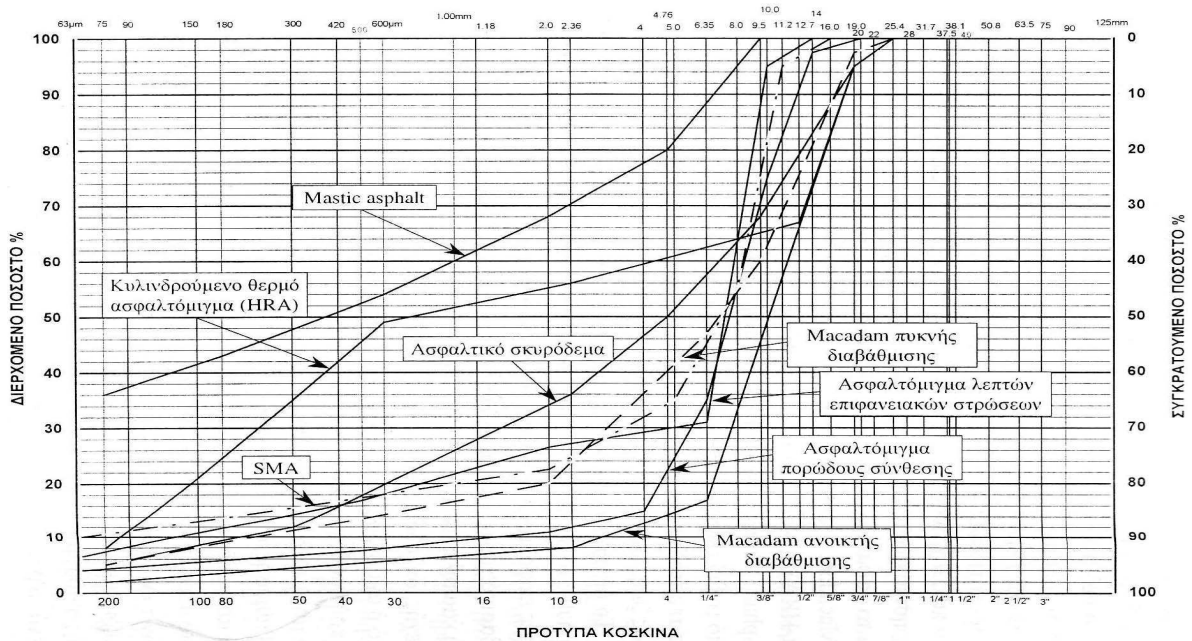
- να ανθίστανται στην λειαντική δράση των ελαστικών και στην καταστροφική επίδραση των καιρικών συνθηκών του περιβάλλοντος, παρέχοντας καλή και μακράς διάρκειας ζωής αντιστοιχισμένη επιφάνεια,
- να παρέχουν ομαλή επιφάνεια για άνετη και ασφαλή οδήγηση,
- να παρέχουν επιφάνεια ώστε ο δημιουργούμενος θόρυβος από τους τροχούς να είναι ανεκτός.

Οι παραπάνω απαιτήσεις καταδεικνύουν την αναγκαιότητα σωστού σχεδιασμού και σύνθεσης των ασφαλτομιγμάτων με παράλληλη χρήση όλων των διαθέσιμων υλικών και τεχνολογιών για την διασφάλιση της καλής συμπεριφοράς αυτών και κατά συνέπεια και του οδοστρώματος.

Οι τύποι των ασφαλτομιγμάτων χαρακτηρίζονται από την κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος των αδρανών. Θεωρητικά μπορούν να υπάρξουν άπειροι τύποι ασφαλτομιγμάτων, από ασφαλτομίγματα που αποτελούνται από χονδρόκοκκα αδρανή ενός μεγέθους (μονόκοκκα) έως μίγματα που αποτελούνται μόνο από λεπτόκοκκα αδρανή (άμμο). Μεταξύ αυτών των δύο ακραίων περιπτώσεων κυμαίνονται όλοι οι τύποι των ασφαλτομιγμάτων που χρησιμοποιούνται στις διάφορες χώρες του κόσμου. Εδώ και πάρα πολλά χρόνια αναπτύχθηκαν διάφοροι τύποι ασφαλτομιγμάτων, όπως το ασφαλτικό σκυρόδεμα (Asphaltic concrete), τα μίγματα Μακάνταμ (Macadam), το κυλινδρούμενο θερμό ασφαλτόμιγμα (Hot Rolled Asphalt: HRA), η Μαστίχη ασφάλτου (Mastic asphalt). Τα τελευταία 20 – 30 χρόνια αναπτύχθηκαν ασφαλτομίγματα με βελτιωμένες ιδιότητες όπως το ασφαλτόμιγμα πορώδους σύνθεσης (Porous asphalt), η Ασφαλτική Σκυρομαστίχη (Stone Mastic Asphalt: SMA) και το ασφαλτόμιγμα για λεπτές επιφανειακές στρώσεις (Thin surfacing).

Το βασικό χαρακτηριστικό όλων των ασφαλτομιγμάτων είναι η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος των αδρανών που μπορεί να είναι συνεχής ή μη συνεχής, όταν δηλαδή υπάρχουν όλα τα κλάσματα των αδρανών σε κάποιο ποσοστό ή αντίστοιχα κάποια κλάσματα αδρανών λείπουν ή βρίσκονται σε πολύ μικρή ποσότητα. Αναλόγως της ποσότητας κάθε κλάσματος των αδρανών, τα μίγματα χαρακτηρίζονται ως ανοικτής, μέσης,

πυκνής ή πολύ πυκνής διαβάθμισης ασφαλτομίγματα. Έτσι, διαθέτουν από πολλά έως πολύ λίγα κενά αέρος (V_a) % και συνεπώς είναι περισσότερο διαπερατά ή σχεδόν αδιαπέρατα από τον αέρα (ή νερό), αντίστοιχα. Οι αντιπροσωπευτικές καμπύλες των τυπικών ασφαλτομιγμάτων αυτών δίνονται στο Σχήμα 3.1. Το μίγμα με τα περισσότερα κενά αέρος είναι το μίγμα πορώδους σύνθεσης και το ανοικτής διαβάθμισης (ανοικτού τύπου) Macadam, ενώ το μίγμα με τα λιγότερα κενά αέρος είναι η ασφαλτική μαστίχη. Τα υπόλοιπα μίγματα κατά φθίνουσα σειρά κενών αέρα είναι : το ασφαλτόμιγμα για λεπτές επιφανειακές στρώσεις, το πυκνής διαβάθμισης (κλειστού τύπου) Macadam, το ασφαλτικό σκυρόδεμα, η Ασφαλτική Σκυρομαστίχη και το θερμό κυλινδρούμενο ασφαλτόμιγμα.



Σχήμα 3.1 Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις τυπικών ασφαλτομιγμάτων (Νικολαΐδης, 2002)

Το θερμό κυλινδρούμενο ασφαλτόμιγμα (HRA) παρουσιάζει μια χαρακτηριστική διαφορά από όλα τα άλλα ασφαλτομίγματα. Στο μίγμα αυτό η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος των αδρανών παρουσιάζει μια αλλαγή θέσης καμπυλότητας ή μια ασυνέχεια, με την ευρύτερη έννοια, στην περιοχή των αδρανών μεσαίου μεγέθους (2 έως 5 mm). Δηλαδή, το μίγμα των αδρανών παρουσιάζει έλλειψη ή περιέχει πολύ μικρή ποσότητα αδρανών μεσαίου μεγέθους. Λόγω αυτής της χαρακτηριστικής ιδιότητας τα μίγματα αυτά είναι γνωστά και ως μίγματα "μη συνεχούς" κοκκομετρικής διαβάθμισης. Για τον ίδιο λόγο και τα ασφαλτομίγματα για λεπτές επιφανειακές στρώσεις χαρακτηρίζονται ως μίγματα μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης.

Μια άλλη χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ όλων των προαναφερθέντων ασφαλτομιγμάτων είναι ο τρόπος που αναπτύσσουν την αντοχή τους ή γενικότερα ο

μηχανισμός μεταφοράς των τάσεων διαμέσου του μίγματος. Τα ασφαλτομίγματα οφείλουν την αντοχή τους σε δύο βασικούς παράγοντες: στη δυσκαμψία του ασφαλτοκονιάματος (άσφαλτος/ άμμος / παιπάλη) και στην τριβή και σύμπλεξη των αδρανών μεταξύ τους. Στον πρώτο παράγοντα οφείλει αποκλειστικά και μόνο την αντοχή της η ασφαλική μαστίχη, ενώ η αντοχή του μίγματος ανοικτής διαβάθμισης Macadam οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην τριβή και σύμπλεξη των αδρανών.

Η σύνθεση του ασφαλτομίγματος συνίσταται στον καθορισμό των αναλογιών των χονδροκόκκων και λεπτόκοκκων αδρανών και φύλλερ καθώς και στον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας της ασφάλτου με σκοπό τη βελτιστοποίηση των μηχανικών ιδιοτήτων του ασφαλτομίγματος σε σχέση με την επιθυμητή συμπεριφορά αυτού στο έργο. Τα δύο στάδια αυτά μαζί με την επιλογή του κατάλληλου αδρανούς (έλεγχος μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων) συνθέτουν την πλήρη μελέτη σύνθεσης ασφαλτομίγματος.

Ο αντικειμενικός σκοπός της πλήρους μελέτης σύνθεσης του ασφαλτομίγματος είναι να παραχθεί ένα κοστολογικά ωφέλιμο ασφαλτόμιγμα κάνοντας χρήση των διαθέσιμων υλικών και πηγών αδρανών υλικών.

Ο καθορισμός των αναλογιών των αδρανών έχει σκοπό να καθοριστεί η βέλτιστη αναλογία των κλασμάτων των αδρανών έτσι ώστε το τελικό μίγμα των αδρανών να είναι εντός των προδιαγραφόμενων ορίων.

Ο καθορισμός της βέλτιστης περιεκτικότητας της ασφάλτου συνίσταται στην εξεύρεση της κατάλληλης περιεκτικότητας ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα έτσι ώστε το μίγμα που θα παραχθεί να είναι εύκαμπτο, μεγάλης διάρκειας ζωής, οικονομικό και εργάσιμο δίχως να θυσιάζεται η αντίστασή του στην παραμόρφωση. Ο καθορισμός της βέλτιστης περιεκτικότητας της ασφάλτου γίνεται με διάφορες εργαστηριακές μεθόδους, εκ των οποίων η γνωστότερη και πιο διαδεδομένη είναι η μέθοδος Marshall που αναλύεται σε επόμενη ενότητα.

3.2 Παράμετροι συμπίκνωσης

Η συμπίκνωση είναι ίσως το πιο κρίσιμο στάδιο της κατασκευής, αφού από αυτήν θα εξαρτηθεί κατά ένα πολύ μεγάλο βαθμό η καλή λειτουργία των ασφαλτικών στρώσεων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την συμπίκνωση μίας ασφαλτικής στρώσης είναι α) τα αδρανή υλικά, β) η άσφαλτος και η θερμοκρασία συμπίκνωσης του μίγματος, γ) οι κλιματολογικές συνθήκες, δ) το πάχος της στρώσης, ε) τα μηχανήματα διάστρωσης και συμπίκνωσης και στ) η διαδικασία συμπίκνωσης.

3.2.1 Αδρανή υλικά

Η κοκκομετρική διαβάθμιση, το σχήμα και η τραχύτητα των αδρανών υλικών επηρεάζουν άμεσα την εργασιμότητα του μίγματος και συνεπώς και το ποσοστό συμπίκνωσης. Μίγματα με κοκκομετρική διαβάθμιση ανοικτού τύπου έχουν καλύτερη εργασιμότητα και συνεπώς απαιτούν μικρότερο έργο συμπίκνωσης, από τα μίγματα κοκκομετρικής διαβάθμισης κλειστού τύπου. Επίσης αύξηση του χονδρόκοκκου υλικού μειώνει την εργασιμότητα του υλικού με αποτέλεσμα να απαιτείται περισσότερο έργο συμπίκνωσης. Μίγματα που περιέχουν αδρανή υλικά με σφαιρικό σχήμα ή/και λεία επιφάνεια συμπτυκνώνονται πιο εύκολα σε σχέση με μίγματα που έχουν γωνιώδη ή/και με τραχεία επιφάνεια αδρανή υλικά. Επίσης, το αυξημένο ποσοστό παιπάλης μειώνει την εργασιμότητα του μίγματος.

3.2.2 Άσφαλτος και θερμοκρασία συμπίκνωσης μίγματος

Ο τύπος και η ποσότητα της ασφάλτου είναι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την συμπίκνωση του ασφαλτομίγματος. Ο κάθε τύπος ασφάλτου έχει για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία ανάλογη σκληρότητα και ιξώδες. Έτσι, όταν ενσωματωθεί σκληρή άσφαλτος (50-70 pen) στο ασφαλτόμιγμα, η συμπίκνωση σε δεδομένη θερμοκρασία είναι δυσκολότερη από αυτήν του ασφαλτομίγματος που περιέχει μαλακή άσφαλτο (80-100 pen). Ασφαλτομίγματα λοιπόν που περιέχουν σκληρή άσφαλτο θα πρέπει να συμπτυκνώνονται και να παράγονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες, αφού πρώτα καθορισθεί η κατάλληλη θερμοκρασία συμπίκνωσης, η οποία σχετίζεται άμεσα με το ιξώδες της ασφάλτου και προκύπτει από την σχέση ιξώδους/θερμοκρασίας της ασφάλτου (ASTM D2493/D2493M). Επίσης, η αύξηση της ποσότητας της ασφάλτου στο μίγμα, μέχρι ενός σημείου, λειτουργεί ευεργετικά ως προς την εργασιμότητα του μίγματος. Αυτό συμβαίνει διότι

η άσφαλτος λειτουργεί ως λιπαντικό μέσο των αδρανών, μειώνοντας τις τριβές που αναπτύσσονται μεταξύ τους.

Η θερμοκρασία συμπίκνωσης επιδρά σημαντικά στην επίτευξη της επιθυμητής συμπίκνωσης, αφού όταν η θερμοκρασία του ασφαλτομίγματος είναι πολύ χαμηλή, το υλικό δεν συμπτκνώνεται περαιτέρω, ενώ όταν είναι πολύ υψηλή το μίγμα δεν μπορεί να παραλάβει το φορτίο του οδοστρωτήρα. Σημαντική επιρροή στη συμπίκνωση έχει επίσης η μεταβολή θερμοκρασίας στη μάζα του μίγματος. Όταν το υλικό διαστρώνεται, τότε η ποσότητα που έρχεται σε επαφή με την υφιστάμενη στρώση χάνει αμέσως ένα ποσοστό θερμότητας λόγω του φαινομένου της θερμικής αγωγιμότητας. Όσο πιο μεγάλη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο στρώσεων τόσο μεγαλύτερη είναι η απώλεια θερμότητας από το ασφαλτόμιγμα. Αντίστοιχα, η ποσότητα του ασφαλτομίγματος που βρίσκεται στην επιφάνεια χάνει και αυτή γρήγορα κάποιο ποσοστό θερμότητας λόγω της εκπομπής της θερμικής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και της μεταφοράς της θερμότητας μέσω του αέρα.

3.2.3 Κλιματολογικές συνθήκες

Οι κλιματολογικές συνθήκες και κυρίως η ταχύτητα του ανέμου και η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι οι δύο βασικές παράμετροι που επηρεάζουν τη συμπίκνωση και ειδικότερα καθορίζουν το χρόνο μέσα στον οποίο θα πρέπει να ολοκληρωθεί η συμπίκνωση, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή πυκνότητα. Η χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος ή/και η υψηλή ταχύτητα του ανέμου έχουν ως αποτέλεσμα να μικραίνει ο χρόνος συμπίκνωσης.

3.2.4 Πάχος στρώσης

Το πάχος της στρώσης επηρεάζει την ευκολία επίτευξης της επιθυμητής συμπίκνωσης. Μία θερμή ασφαλτική στρώση μικρού πάχους χάνει πολύ πιο γρήγορα τη θερμότητά της σε σύγκριση με μια στρώση μεγάλου πάχους. Στη δεύτερη περίπτωση είναι πολύ πιο εύκολο να επιτευχθεί η απαιτούμενη πυκνότητα. Για το λόγο αυτό η διάστρωση μικρού πάχους στρώσεων, κάτω των 30 mm, θα πρέπει να αποφεύγεται τους χειμερινούς μήνες ή να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο χρόνο συμπίκνωσης, ο οποίος θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν συντομότερος.

3.2.5 Μηχανήματα συμπύκνωσης

Είναι σαφές ότι για την αποτελεσματική συμπύκνωση των ασφαλτικών στρώσεων θα πρέπει να χρησιμοποιείται το κατάλληλο μηχάνημα συμπύκνωσης. Τα μηχανήματα συμπύκνωσης των ασφαλτικών στρώσεων είναι αυτοκινούμενα οχήματα, γνωστά ως οδοστρωτήρες, τα οποία με το βάρος τους ή και με την επιβολή δυναμικού φορτίου συμπυκνώνουν την ασφαλτική στρώση διερχόμενα πάνω από αυτή με συγκεκριμένο τρόπο.

Οι οδοστρωτήρες χωρίζονται σε τρεις βασικούς τύπους:

- α) στους στατικούς οδοστρωτήρες λείου κυλίνδρου,
- β) στους δονητικούς οδοστρωτήρες λείου κυλίνδρου και
- γ) στους οδοστρωτήρες με ελαστικούς τροχούς (λαστιχοφόροι).

Επίσης, υπάρχουν οδοστρωτήρες που είναι συνδυασμός δύο από τους παραπάνω τύπους. Δηλαδή, οδοστρωτήρες που φέρουν στο ένα άκρο τους ένα λείο κύλινδρο και στο άλλο ελαστικούς τροχούς.

Οι οδοστρωτήρες πραγματοποιούν διελεύσεις πάνω από τυχαίο σημείο μέχρις ότου επιτευχθεί η επιθυμητή πυκνότητα. Ο αριθμός των διελεύσεων ονομάζεται έργο συμπύκνωσης. Ο καθορισμός του αριθμού των διελεύσεων γίνεται πάντοτε επί του έργου και εξαρτάται από τον τύπο του ασφαλτομίγματος, τις καιρικές συνθήκες και τον τύπο και πρότυπο του οδοστρωτήρα.

α) Στατικοί οδοστρωτήρες λείου κυλίνδρου

Οι στατικοί οδοστρωτήρες λείου κυλίνδρου είναι οι πρώτοι που αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιούνται σε όλα τα στάδια της συμπύκνωσης (αρχική, ενδιάμεση και τελική). Οι οδοστρωτήρες λείου κυλίνδρου διατίθενται σε δύο βασικούς τύπους:

- i) οδοστρωτήρες που φέρουν ένα κύλινδρο εμπρός και ένα πίσω (Σχήμα 3.2),



Σχήμα 3.2 Στατικός οδοστρωτήρας δύο κυλίνδρων

ii) οδοστρωτήρες που φέρουν έναν κύλινδρο εμπρός και δύο μεταλλικούς λείους τροχούς πίσω (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3 Στατικός οδοστρωτήρας με έναν κύλινδρο και δύο μεταλλικούς τροχούς

Παρόλο που και οι δύο τύποι οδοστρωτήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συμπύκνωση ασφαλτικών στρώσεων, ο πρώτος τύπος φαίνεται να χρησιμοποιείται περισσότερο από το δεύτερο. Από έρευνα βρέθηκε ότι ο δεύτερος τύπος μπορεί να δώσει ανομοιόμορφη συμπύκνωση σε αντίθεση με τον πρώτο τύπο οδοστρωτήρα, με τον οποίο επιτυγχάνεται περισσότερο ομοιόμορφη συμπύκνωση (Lister 1974). Το πλεονέκτημα του στατικού οδοστρωτήρα με έναν κύλινδρο και δύο μεταλλικούς τροχούς είναι ότι έχει καλύτερη ευστάθεια όταν συμπυκνώνει πλησίον των άκρων του οδοστρώματος. Το έργο

συμπύκνωσης που απαιτείται και για τους δύο τύπους οδοστρωτήρων, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, είναι ο ίδιος.

Οι στατικοί οδοστρωτήρες λείου κυλίνδρου ποικίλουν σε βάρος, ανάλογα με το μοντέλο, από 3.0 τόνους έως πλέον των 13 τόνων. Το τυπικό βάρος που χρησιμοποιείται, στις περισσότερες ασφαλικές εργασίες, είναι 8-12 τόνοι. Η κατανομή του βάρους είναι τέτοια ώστε η πίεση που ασκείται από τον κινητήριο κύλινδρο ή τροχούς να είναι περίπου 30 % μεγαλύτερη από του άλλου κυλίνδρου (μπροστινός κύλινδρος). Επίσης ανάλογα με το μοντέλο, ποικίλει και η διάμετρος των κυλίνδρων ή των μεταλλικών τροχών, όπως και το εύρος αυτών. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του κυλίνδρου τόσο μικρότερη είναι η τάση που ασκείται στην επιφάνεια που συμπυκνώνεται. Επίσης, σε πολλά μοντέλα των οδοστρωτήρων με δύο κυλίνδρους υπάρχει η δυνατότητα αύξησης του ίδιου βάρους με την προσθήκη έρματος στο εσωτερικό των κυλίνδρων.

β) Δονητικοί οδοστρωτήρες λείων κυλίνδρων

Οι δονητικοί οδοστρωτήρες αναπτύχθηκαν τα τελευταία περίπου τριάντα χρόνια και σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλες τις ασφαλικές εργασίες. Οι δονητικοί οδοστρωτήρες φέρουν έναν ή δύο λείους κυλίνδρους και σύστημα επιβολής δυναμικής φόρτισης. Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται δονητικός οδοστρωτήρας με δύο λείους κυλίνδρους, που χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή τυπικών ασφαλικών έργων.



Σχήμα 3.4 Δονητικός οδοστρωτήρας δύο κυλίνδρων

Το πλεονέκτημα των δονητικών οδοστρωτήρων είναι ότι η επιθυμητή συμπίκνωση επιτυγχάνεται με μικρότερο αριθμό διελεύσεων, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους τύπους οδοστρωτήρων. Επίσης, με χρήση δονητικών οδοστρωτήρων μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη συμπίκνωση, δηλαδή μεγαλύτερη πυκνότητα μίγματος, ή αποτελεσματική συμπίκνωση στρώσεων μεγάλου πάχους.

Το σύστημα δόνησης είναι συνήθως τοποθετημένο εντός των κυλίνδρων και η συχνότητα δόνησης μπορεί να μεταβάλλεται από τον χειριστή του μηχανήματος. Το στατικό φορτίο των δονητικών οδοστρωτήρων κυμαίνεται από 1.5 έως και 15 τόνους, ενώ η διάμετρος των κυλίνδρων κυμαίνεται συνήθως από 0.8 m έως 1.6 m, περίπου.

Οι δονητικοί οδοστρωτήρες έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν και ως στατικοί, με αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα στάδια της συμπίκνωσης. Αναφέρεται ότι στο τελευταίο στάδιο της συμπίκνωσης δεν χρησιμοποιείται η δόνηση, διότι υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής της δομής του ασφαλτομίγματος καθώς επίσης και η πιθανότητα βύθισης των επιφανειακών αδρανών.

γ) Λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες

Οι λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες αποτελούνται από έναν αριθμό ελαστικών στο μπροστινό μέρος, συνήθως 3 έως 5, και έναν αριθμό ελαστικών στο πίσω μέρος του μηχανήματος, συνήθως 3 έως 7 (Σχήμα 3.5). Οι λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες διαφέρουν από τους άλλους ως προς τον τρόπο συμπίκνωσης, δηλαδή η συμπίκνωση γίνεται υπό μορφή «ζυμώματος».



Σχήμα 3.5 Λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας με 4+4 ελαστικά

Το βασικό πλεονέκτημα των λαστιχοφόρων οδοστρωτήρων είναι ότι μπορεί να μεταβληθεί η πίεση επαφής μεταβάλλοντας την πίεση των ελαστικών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο ίδιος οδοστρωτήρας να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλους τους τύπους ασφαλτομιγμάτων από πολύ εύκαμπτα έως πολύ άκαμπτα ασφαλτομίγματα, όπως επίσης και για τάπητες με μεγάλο και πολύ μικρό πάχος (λεπτοτάπητες). Στο τελευταίο συμβάλλει και το γεγονός ότι το στατικό φορτίο του οδοστρωτήρα μπορεί να αυξομειωθεί με τη χρήση έρματος που τοποθετείται σε ειδικό χώρο που βρίσκεται στο μέσο του μηχανήματος. Το βάρος των λαστιχοφόρων οδοστρωτήρων, ανάλογα με το μοντέλο, κυμαίνεται από 3 έως και 35 τόνους.

Ο λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας χρησιμοποιείται κυρίως στο στάδιο της ενδιάμεσης ή/και της τελικής συμπύκνωσης. Η τελική συμπύκνωση με λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα έχει το πλεονέκτημα να δίνει καλύτερη επιφανειακή τραχύτητα και να εξαφανίζει τις τριχοειδείς ρωγμές που πιθανόν να δημιουργήθηκαν από την συμπύκνωση με οδοστρωτήρες λείων κυλίνδρων. Το τελευταίο είναι ενδεδειγμένο όταν η τελική συμπύκνωση γίνεται σε χαμηλότερη από την ενδεδειγμένη θερμοκρασία.

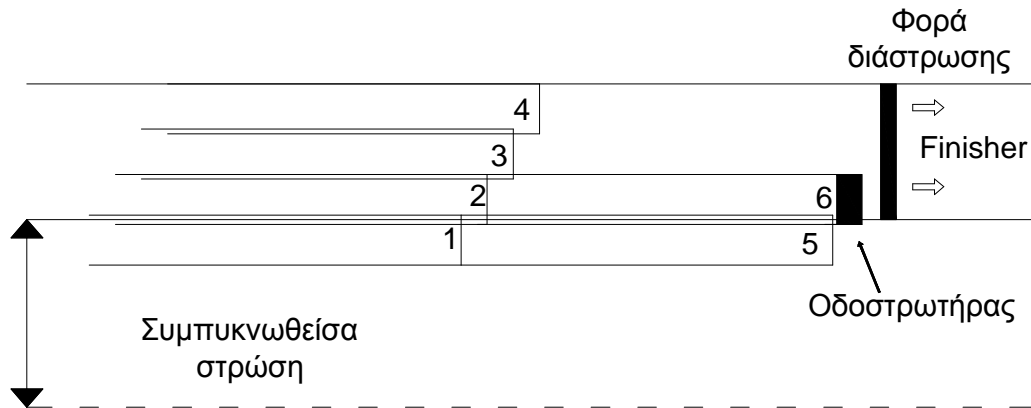
3.2.6 Διαδικασία συμπύκνωσης

Για τη σωστή και αποτελεσματική διαδικασία συμπύκνωσης των ασφαλτικών στρώσεων, μετά την προσυμπύκνωση που επιτυγχάνεται από το μηχάνημα διάστρωσης, θα πρέπει να ακολουθούνται τα παρακάτω :

1. Κατά την έναρξη της συμπύκνωσης, θα πρέπει πρώτα να συμπυκνώνονται οι αρμοί. Δηλαδή, στην περίπτωση της πρώτης διάστρωσης, θα πρέπει να συμπυκνωθεί ο εγκάρσιος αρμός. Επίσης, στην περίπτωση διάστρωσης της γειτονικής λωρίδας θα πρέπει να συμπυκνωθεί πρώτα ο διαμήκης αρμός τοποθετώντας τον οδοστρωτήρα μέσα στη λωρίδα που έχει ήδη συμπυκνωθεί και καλύπτοντας τη λωρίδα προς συμπύκνωση κατά περίπου 150 mm. Το ίδιο ισχύει και για την συμπύκνωση του εγκάρσιου αρμού.

Η διάστρωση συνεχίζεται από το σημείο του διαμήκους αρμού ακολουθώντας το σχηματισμό που φαίνεται στο Σχήμα 3.6. Ο οδοστρωτήρας συμπυκνώνει την ίδια επιφάνεια δύο φορές (μία μπρος και μία πίσω) και κατόπιν αλλάζει λωρίδα. Αφού συμπυκνώσει όλη τη διαστρωθείσα επιφάνεια δύο φορές επανέρχεται στην αρχική λωρίδα και συνεχίζει μια νέα λωρίδα (βλέπε Σχήμα 3.6). Η υπόλοιπη συμπύκνωση γίνεται από το δεύτερο οδοστρωτήρα τηρώντας και πάλι τον ίδιο σχηματισμό συμπύκνωσης.

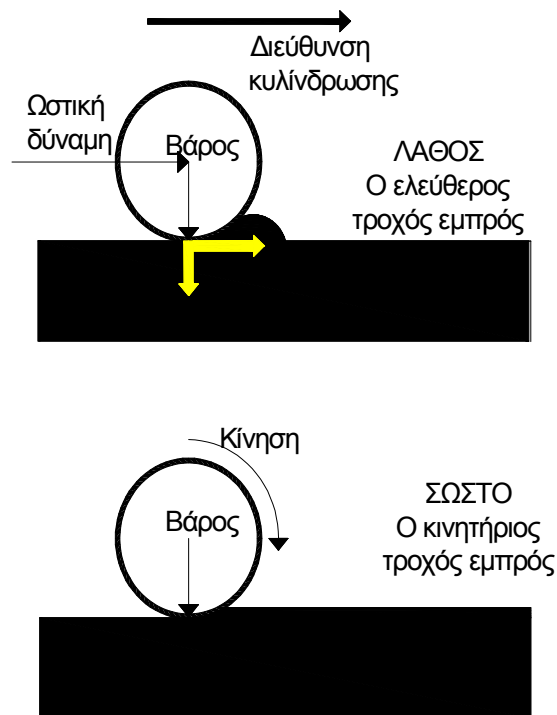
Το μήκος της πρώτης διέλευσης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο, συνήθως η ιδανική απόσταση είναι περίπου 30 – 50 m για στρώση από ασφαλτοσκυρόδεμα πάχους 100 mm, με έναν οδοστρωτήρα.



Σχήμα 3.6 Κυλίνδρωση ασφαλτικών μίγμάτων

2. Κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης, και κυρίως στα αρχικά στάδια, οι επιφάνειες των κυλίνδρων ή των ελαστικών διαβρέχονται με μικρή ποσότητα νερού για να αποφευχθεί η προσκόλληση μίγματος σ' αυτές.
3. Οι οδοστρωτήρες κινούνται με μικρή ταχύτητα, όχι μεγαλύτερη των 5 km/h για στατικούς ή δονητικούς οδοστρωτήρες και όχι μεγαλύτερη των 8 km/h για λαστιχοφόρους. Η επιλεγείσα ταχύτητα θα πρέπει να διατηρείται σταθερή καθ' όλο το χρονικό διάστημα συμπύκνωσης.
4. Οι απότομες αλλαγές των λωρίδων διάστρωσης, όπως επίσης και η μπρος/πίσω κίνηση σε μικρό μήκος ασφαλοτάπητα, θα πρέπει να αποφεύγονται. Η αλλαγή των λωρίδων κυλίνδρωσης θα πρέπει να γίνεται εκτός της στρώσης που συμπυκνώνεται ώστε να μην δημιουργηθούν αυλακώσεις και τοπική συσσώρευση υλικού κατά τον ελιγμό. Επίσης, απαγορεύεται να σταματά ο οδοστρωτήρας σε στρώση που μόλις συμπυκνώθηκε, εκτός εάν έχει μειωθεί αισθητά η θερμοκρασία του τάπητα.
5. Η συμπύκνωση αρχίζει πάντοτε από το χαμηλότερο σημείο της οδού, αφήνοντας 300-375 mm από την ακμή της διαστρωθείσας στρώσης. Η επιφάνεια των 300-375 mm συμπυκνώνεται στο τέλος.

6. Η κίνηση του οδοστρωτήρα λείων κυλίνδρων, κυρίως κατά τη διάρκεια της αρχικής συμπίκνωσης, θα πρέπει να γίνεται πάντοτε με τον κινητήριο κύλινδρο προς τη φορά διάστρωσης (Σχήμα 3.7). Με τον τρόπο αυτό η απευθείας κάθετη δύναμη που ασκείται είναι η μεγαλύτερη δυνατή. Σε αντίθετη περίπτωση, λόγω του ότι η κάθετη συνιστώσα είναι ελαφρώς μπροστά από τον κύλινδρο, υπάρχει ο κίνδυνος συσσώρευσης υλικού μπροστά από τον κύλινδρο. Εξάιρεση του παραπάνω κανόνα είναι η περίπτωση διάστρωσης/ συμπίκνωσης σε τμήματα με πολύ μεγάλη κλίση.



Σχήμα 3.7 Δυνάμεις που δρουν κατά την κυλίνδρωση

7. Συνίσταται όπως η αρχική συμπίκνωση γίνεται από στατικούς ή δονητικούς οδοστρωτήρες και η τελική από λαστιχοφόρους. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται δονητικός οδοστρωτήρας κατά την τελική συμπίκνωση, η δόνηση θα πρέπει πάντοτε να διακόπτεται και να λειτουργεί ο οδοστρωτήρας ως στατικός.

3.3 Έλεγχος συμπίκνωσης

Ο προσδιορισμός της πυκνότητας ενός συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος γίνεται με καταστροφικές και μη μεθόδους.

Στις καταστροφικές μεθόδους περιλαμβάνεται η εξαγωγή πυρήνων από το πεδίο, οι οποίοι μεταφέρονται στη συνέχεια σε εργαστήριο όπου γίνονται οι δοκιμές και οι μετρήσεις για τον προσδιορισμό της πυκνότητας και του ποσοστού των κενών (οι οποίες αναπτύσσονται σε ακόλουθη ενότητα) των πυρήνων και κατ'επέκταση της επιτευχθείσας συμπίκνωσης του πεδίου στο σημείο όπου πραγματοποιήθηκε η πυρηνοληψία. Το πλεονέκτημα της μεθόδου πυρηνοληψίας είναι ότι δίνει πολύ καλά αποτελέσματα ως προς τον υπολογισμό της πυκνότητας. Το κυριότερο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής, όπως και όλων των καταστροφικών μεθόδων ελέγχου, είναι ότι απαιτείται η εξαγωγή πυρήνων, διαδικασία η οποία καταστρέφει τη δομή και την συνέχεια του οδοστρώματος στο σημείο της πυρηνοληψίας. Επίσης, απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την εξαγωγή πυρήνων, μετά την ολοκλήρωση της συμπίκνωσης, με αποτέλεσμα την αδυναμία επέμβασης σε περίπτωση ανεπαρκούς συμπίκνωσης και την οικονομική ζημία.

Στις μη καταστροφικές μεθόδους ελέγχου της πυκνότητας των ασφαλτομιγμάτων εντάσσεται ο προσδιορισμός της πυκνότητας με την συσκευή πυρηνικής μέτρησης τύπου troxler (Σχήμα 3.8). Η συσκευή πυρηνικής μέτρησης προσδιορίζει την πυκνότητα του διαστρωμένου ασφαλτομίγματος χρησιμοποιώντας ακτινοβολία Γάμμα. Ο μετρητής συνήθως έχει μία μικρή πηγή ακτινοβολίας Γάμμα (περίπου 10 mCi), όπως είναι το στοιχείο Καίσιιο-137, στο άκρο μιας αποσπώμενης ράβδου.



Σχήμα 3.8 Συσκευή πυρηνικής μέτρησης πυκνότητας τύπου Troxler

Οι ακτίνες Γάμμα εκπέμπονται από την πηγή και αλληλεπιδρούν με τα ηλεκτρόνια του οδοστρώματος διαμέσου της απορρόφησης, της διάχυσης Compton και του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Ένας ανιχνευτής Geiger – Mueller μετρά τις ακτίνες γάμμα που δέχεται από την πηγή. Στη συνέχεια η πυκνότητα του ασφαλτομίγματος συσχετίζεται με τον αριθμό των ακτινών γάμμα που έφθασαν στον ανιχνευτή.

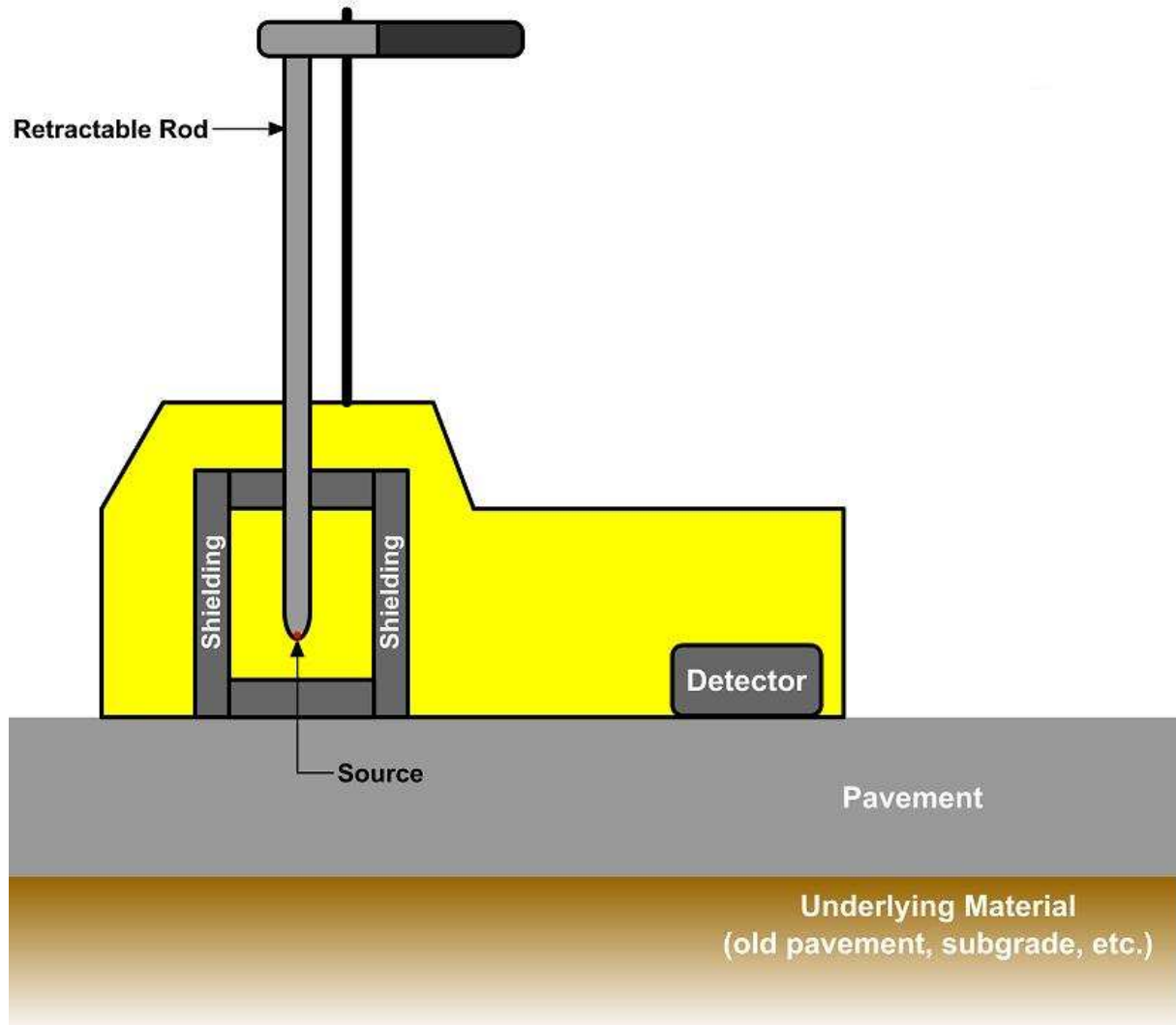
Οι πυρηνικοί μετρητές πυκνότητας (Σχήμα 3.9) διαθέτουν δύο βασικές λειτουργίες, κάθε μία από τις οποίες χρησιμοποιεί διαφορετικό τρόπο συσχέτισης για τον υπολογισμό της πυκνότητας της στρώσης:

α) Απευθείας διάδοση. Η αποσπώμενη ράβδος χαμηλώνεται και εισέρχεται μέσα στο υλικό από μία τρύπα που έχει ήδη διανοιχθεί (η τρύπα μπορεί να διανοιχθεί είτε τρυπώντας με τρυπάνι το υλικό είτε χτυπώντας με σφυρί μία ράβδο ίδιας διαμέτρου με της αποσπώμενης ράβδου του μετρητή). Η πηγή εκπέμπει ακτίνες γάμμα, οι οποίες αλληλεπιδρούν με τα ηλεκτρόνια του υλικού και χάνουν ενέργεια και/ή αλλάζουν διεύθυνση (διασκορπίζονται). Οι ακτίνες γάμμα που χάνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας ή διασκορπίζονται μακριά από τον ανιχνευτή, δεν υπολογίζονται. Όσο μεγαλύτερη πυκνότητα έχει ένα οδόστρωμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να υπάρξει αλληλεπίδραση μεταξύ των ακτινών γάμμα με τα ηλεκτρόνια(και συνεπώς η απώλεια ενέργειας) και τόσο μικρότερη η μέτρηση του ανιχνευτή. Κατά συνέπεια, η μέτρηση του ανιχνευτή Geiger – Mueller είναι αντιστρόφως ανάλογη της πυκνότητας του οδοστρώματος. Για τη συσχέτιση της μέτρησης των ακτινών Γάμμα με την πραγματική πυκνότητα του οδοστρώματος χρησιμοποιείται ένας συντελεστής βαθμονόμησης.

β) *Backscatter*. Η αποσπώμενη ράβδος χαμηλώνεται ώστε να είναι στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο με τον ανιχνευτή, δηλαδή ακόμα εντός της συσκευής. Η πηγή εκπέμπει ακτίνες Γάμμα, οι οποίες αλληλεπιδρούν με τα ηλεκτρόνια του υλικού και χάνουν ενέργεια ή/και αλλάζουν διεύθυνση (διασκορπίζονται). Οι ακτίνες Γάμμα που διασκορπίζονται κοντά στον ανιχνευτή μετρούνται. Όσο μεγαλύτερη πυκνότητα έχει το ασφαλτόμιγμα τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα οι ακτίνες γάμμα να κατευθυνθούν προς τον ανιχνευτή. Συνεπώς, η μέτρηση του ανιχνευτή Geiger – Mueller είναι ανάλογη της πυκνότητας του οδοστρώματος. Για τη συσχέτιση της μέτρησης των ακτινών Γάμμα με την πραγματική πυκνότητα του οδοστρώματος, χρησιμοποιείται ένας συντελεστής βαθμονόμησης.

Όταν η συσκευή είναι σε λειτουργία backscatter σε σχετικά λεπτές στρώσεις (μικρότερες από 75 – 100 mm), οι ακτίνες γάμμα που εκπέμπονται από την πηγή δεν αλληλεπιδρούν μόνο με τα ηλεκτρόνια της διαστρωθείσας στρώσης, αλλά και με τα ηλεκτρόνια του υλικού της υποκείμενης στρώσης. Οι πυρηνικοί μετρητές πυκνότητας που

είναι γνωστοί και ως μετρητές ‘λεπτής στρώσης’ επιλύουν το ανωτέρω πρόβλημα χρησιμοποιώντας δύο ανιχνευτές Geiger – Mueller, ο ένας πιο κοντά στην πηγή σε σχέση με τον άλλον. Ο ανιχνευτής που βρίσκεται πιο μακριά από την πηγή είναι πιθανότερο να ανιχνεύσει τις ακτίνες γάμμα που διασκορπίστηκαν από το υλικό της υποκείμενης στρώσης. Η διαφορά του βάθους του υλικού που επηρεάζει κάθε ανιχνευτή και ένα μαθηματικό πρότυπο που αναπτύχθηκε, επιτρέπουν στην συσκευή να υπολογίσει την πυκνότητα μόνο της πάνω στρώσης (Troxler 2002).



Σχήμα 3.9 Σχηματική αναπαράσταση του πυρηνικού μετρητή πυκνότητας troxler
(http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/07_construction/nu)

Τα πλεονεκτήματα του πυρηνικού μετρητή πυκνότητας σε σχέση με την καταστροφική μέθοδο μέτρησης της πυκνότητας (πυρήνες) είναι :

1. Φορητότητα. Ένας άνθρωπος μπορεί εύκολα να μεταφέρει έναν τυπικό πυρηνικό μετρητή πυκνότητας.

2. Γρήγορα αποτελέσματα. Οι περισσότεροι πυρηνικοί μετρητές μπορούν να κάνουν μετρήσεις που διαρκούν από ένα έως τέσσερα λεπτά. Αυτή η μέτρηση είναι πολύ πιο γρήγορη σε σχέση με την τυπική μέθοδο των πυρήνων που μπορεί να διαρκέσει από μερικές ώρες έως κάποιες μέρες.
3. Τυπικά μη καταστροφική μέθοδος μέτρησης. Σε λειτουργία backscatter, η μέθοδος του πυρηνικού μετρητή πυκνότητας είναι εντελώς μη καταστροφική μέθοδος. Στην απευθείας διάδοση, ο μετρητής απαιτεί μία μικρή τρύπα στη στρώση διαμέτρου περίπου 20 mm και βάθους διείσδυσης περίπου 50 mm.

4 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

4.1 Γενικά

Η συμπύκνωση των ασφαλικών στρώσεων ενός οδοστρώματος έχει πολύ μεγάλη σημασία για τη διάρκεια ζωής του. Για το λόγο αυτό, ο έλεγχος των υλικών του ασφαλτομίγματος και η διερεύνηση της συμπύκνωσής του είναι απαραίτητος. Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας έγινε διάστρωση και συμπύκνωση ασφαλτομίγματος στο οδικό έργο ΚΟΡΙΝΘΟΣ - ΤΡΙΠΟΛΗ - ΚΑΛΑΜΑΤΑ, στη γεωγραφική ενότητα Α4 στον αριστερό κλάδο με σκοπό την καταγραφή της διαδικασίας και τον τρόπο συμπύκνωσης του πεδίου και τη καταγραφή της εξέλιξης συμπύκνωσης με μετρήσεις πυκνότητας με τη συσκευή troxler για τον υπολογισμό του ποσοστού κενών αέρος στα σημεία μετρήσεων. Οι μετρήσεις έγιναν κατά μήκος της αρτηρίας και σε δύο πιλοτικά τμήματα ανά φάση συμπύκνωσης. Επίσης, έγινε δειγματοληψία ασφαλτομίγματος κατά τη διάρκεια της διάστρωσης κάθε στρώσης και έλεγχος των χαρακτηριστικών του. Τέλος, πραγματοποιήθηκε πυρηνοληψία στις δύο ειδικές διατομές και κατά μήκος της αρτηρίας για τον έλεγχο των μετρήσεων της συσκευής troxler.

4.2 Υλικά

Τα ασφαλτομίγματα της παρούσας εργασίας διακρίνονται σε ασφαλτοσκυρόδεμα ανοικτής και πυκνής διαβάθμισης. Τα μίγματα αυτά αποτελούνται από τα αδρανή υλικά, την άσφαλο ως συνδετικό υλικό και τους τροποποιητές της ασφάλτου (στην περίπτωση του ασφαλτοσκυροδέματος τύπου II) .

4.2.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση και μηχανικά χαρακτηριστικά αδρανών

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των ασφαλτομιγμάτων, ελήφθησαν από το λατομείο ΑΘΙΚΙΑ του οποίου η εγκατάσταση είναι στην ομώνυμη περιοχή. Παρουσιάζονται η κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών της Ισοπεδωτικής στρώσης (Πίνακας 4.1) και η κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών της αντιολισθηρής στρώσης (Πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.1 Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών μίγματος ισοπεδωτικής στρώσης

ΚΟΣΚΙΝΑ ASTM E11 (mm)	Κλάσματα αδρανών				
	16/25	12/16	5/12	0/5	Παιπάλη
	Διερχόμενο (%)				
25	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
19	80.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12.5	37.0	60.0	100.0	100.0	100.0
4.75	0.1	0.2	25.0	100.0	100.0
2.0	0.1	0.2	0.4	74.0	100.0
0.425	0.1	0.2	0.2	21.0	100.0
0.180	0.1	0.2	0.1	8.0	91.0
0.075	0.1	0.1	0.1	0.9	75.0

Πίνακας 4.2 Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών μίγματος αντιολισθηρής στρώσης

ΚΟΣΚΙΝΑ ASTM E11 (mm)	Κλάσματα αδρανών		
	12/16	4/12	0/4
	Διερχόμενο (%)		
19	100.0	100.0	100.0
12.5	68.5	100.0	100.0
9.5	6.7	81.2	100.0
4.75	2.1	9.5	99.4
2.36	1.2	1.7	69.4
1.18	0.5	0.9	41.5
0.300	0.3	0.8	17.9
0.075	0.1	0.6	10.9

Επίσης παρατίθενται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των αδρανών και οι προδιαγραφές των δοκιμών για κάθε τύπο ασφαλτομίγματος (πίνακες 4.3, 4.4, 4.5 & 4.6).

Πίνακας 4.3 Δοκιμές αδρανών ισοπεδωτικής στρώσης

Έλεγχοι	Αποτελέσματα	Όρια	Προδιαγραφές
Αντίσταση σε τριβή & κρούση	26 %	<40%	ASTM C131
Υγεία πετρώματος	0.5 %	<7%	ASTM C88
Ισοδύναμο άμμου	74 %	>55	AASHTO T176

Πίνακας 4.4 Απορροφητικότητα και ειδικά βάρη αδρανών ισοπεδωτικής στρώσης

Κλάσματα αδρανών	Απορροφητικότητα (%)	Ειδικό βάρος (kg/m ³)
16/25	0.5	2690
12/16	0.5	2690
5/12	0.5	2690
0/5	0.4	2700
Παιπάλη	0.6	2710

Πίνακας 4.5 Δοκιμές αδρανών αντιολισθηρής στρώσης

Έλεγχοι	Αποτελέσματα	Όρια	Προδιαγραφές
Αντοχή σε τριβή & κρούση	20.9 %	<22%	ASTM C131
Υγεία πετρώματος	0.5 %	<7%	ASTM C88
Αντίσταση σε στίλβωση	65	>56	BS 812
Αντίσταση σε απότριψη	1.5	<6	BS 812
Δείκτης πλακοειδούς	13 %	<30%	BS 812
Ισοδύναμο άμμου	77	>55	AASHTO T176

Πίνακας 4.6 Απορροφητικότητα και ειδικά βάρη αδρανών αντιολισθηρής στρώσης

Κλάσματα αδρανών	Απορροφητικότητα (%)	Ειδικό βάρος (kg/m ³)
12/16	1.165	3458
4/12	1.441	3367
0/4	0.610	2624

4.2.2 Ασφαλτος

Η ασφαλτος αποτελεί το βασικότερο συνδετικό υλικό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή ασφαλτικού σκυροδέματος. Η κοινή ασφαλτος οδοστρωσίας όπως καλείται διακρίνεται σε τύπου 20/30 , 35/50 , 50/70 ή 80/100 ren, σύμφωνα με τις απαιτήσεις (EN12591 1999). Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε ασφαλτος τύπου 50/70 για την A265B Ισοπεδωτική και τροποποιημένη (80/100+ πρόσθετα) για το ασφαλτοσκυρόδεμα τύπου II, τα χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στους πίνακες 4.7 & 4.8 αντίστοιχα.

Πίνακας 4.7 Χαρακτηριστικά ασφάλτου 50/70

Δοκιμή	Αποτελέσματα	Μονάδες	Μεθοδολογία
Διεισδυτικότητα σε 25 ^o C	58	pen	ASTM D5
Σημείο μάλθωσης	49.5	C	ASTM D36

Πίνακας 4.8 Χαρακτηριστικά ασφάλτου 80/100

Δοκιμή	Αποτελέσματα	Μονάδες	Μεθοδολογία
Διεισδυτικότητα σε 25 ^o C	83	pen	ASTM D5
Σημείο μάλθωσης	46	C	ASTM D36

Για το ασφαλτοσκυρόδεμα τύπου II (αντιολισθηρά) έγινε τροποποίηση της ασφάλτου με προσθήκη ελαστομερούς τύπου SBS 4%, προκειμένου να βελτιωθούν οι ιδιότητες της. Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της τροποποιημένης ασφάλτου (Πίνακας 4.9).

Πίνακας 4.9 Χαρακτηριστικά τροποποιημένης ασφάλτου με SBS

Δοκιμή	Αποτελέσματα	Μονάδες	Μεθοδολογία	Όρια
Διεισδυτικότητα σε 25 ^o C	52	pen	ASTM D5	
Σημείο μάλθωσης	72.8	C	ASTM D36	
Ιξώδες	1170	mPa.s	ASTM D2170	
Ελαστική επαναφορά	93 %	%	ASTM D6084, ASTM D113	>75

4.2.3 Τροποποιητές

Οι τροποποιητές είναι χημικά πρόσθετα τα οποία όταν αναμιχθούν με την ασφαλτο βελτιώνουν τις ιδιότητες αυτής αλλά κυρίως του ασφαλτομίγματος. Οι τροποποιητές είναι κυρίως παράγωγα του πετρελαίου. Οι πιο διαδεδομένοι σήμερα είναι τα πολυμερή, τα οποία διακρίνονται σε ελαστομερή (SBS κλπ), πλαστομερή (EVA κλπ.) και θερμοσκληρυνόμενα (ρητίνες). Στους τροποποιητές επίσης μπορούν να συμπεριληφθούν και οι ίνες, οι οποίες παρόλο που δεν αλλάζουν τις ιδιότητες τις ασφάλτου, επηρεάζουν την συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος. Οι τροποποιητές που χρησιμοποιήθηκαν για την τροποποίηση της ασφάλτου είναι το ελαστομερές χημικό πρόσθετο τύπου SBS σε ποσοστό 4% κ.β. της τροποποιημένης ασφάλτου.

4.3 Συνθέσεις ασφαλτομιγμάτων

Η μελέτη σύνθεσης του ασφαλτομίγματος αποσκοπεί στον καθορισμό των αναλογιών των κλασμάτων των αδρανών και της βέλτιστης περιεκτικότητας συνδετικού υλικού, έτσι ώστε το ασφαλτόμιγμα που θα παραχθεί να είναι εύκαμπτο, μεγάλης διάρκειας ζωής, οικονομικό και εργάσιμο. Ο καθορισμός της βέλτιστης περιεκτικότητας της ασφάλτου γίνεται με διάφορες εργαστηριακές μεθόδους, η πιο διαδεδομένη είναι η μέθοδος Marshall. Η μέθοδος Marshall συνίσταται στην παρασκευή συγκεκριμένων διαστάσεων δοκιμίων και στον έλεγχο της ευστάθειας και της παραμόρφωσης με την ειδική συσκευή Marshall. Παράλληλα ελέγχονται και άλλες ιδιότητες που όλες μαζί είναι γνωστές ως ιδιότητες Marshall (φαινόμενο ειδικό βάρος, ποσοστό κενών αέρος, το ποσοστό κενών στο σκελετό των αδρανών του συμπυκνωμένου μίγματος VMA και το ποσοστό κενών που πληρώθηκαν με ασφαλτό VFA). Μέσω της δημιουργίας διαγραμμάτων, που στον οριζόντιο άξονα απεικονίζουν την περιεκτικότητα της ασφάλτου και στους κατακόρυφους τις ιδιότητες, επιλέγεται το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου βάσει των απαιτήσεων του μίγματος. Οι συνθέσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο έργο βασίζονται στην μέθοδο Marshall. Παρακάτω παρουσιάζονται τα στοιχεία των συνθέσεων για το ασφαλτόμιγμα τύπου A265B (Πίνακας 4.10) και για το ασφαλτόμιγμα τύπου II (Πίνακας 4.11).

Πίνακας 4.10 Σύνθεση ασφαλτομίγματος A265B ισοπεδωτικής στρώσης

Αναλογία αδρανών	
Κλάσματα αδρανών	Διερχόμενο (%)
16/25	22.00
12/16	20.00
5/12	8.00
0/5	43.00
Παιπάλη	7.00
Σύνολο	100.00

Πίνακας 4.11 Σύνθεση ασφαλτομίγματος τύπου II αντιολισθηρής στρώσης

Αναλογία αδρανών	
Κλάσματα αδρανών	Διερχόμενο (%)
12/16	24.00
4/12	48.00
0/4	28.00
Σύνολο	100.00

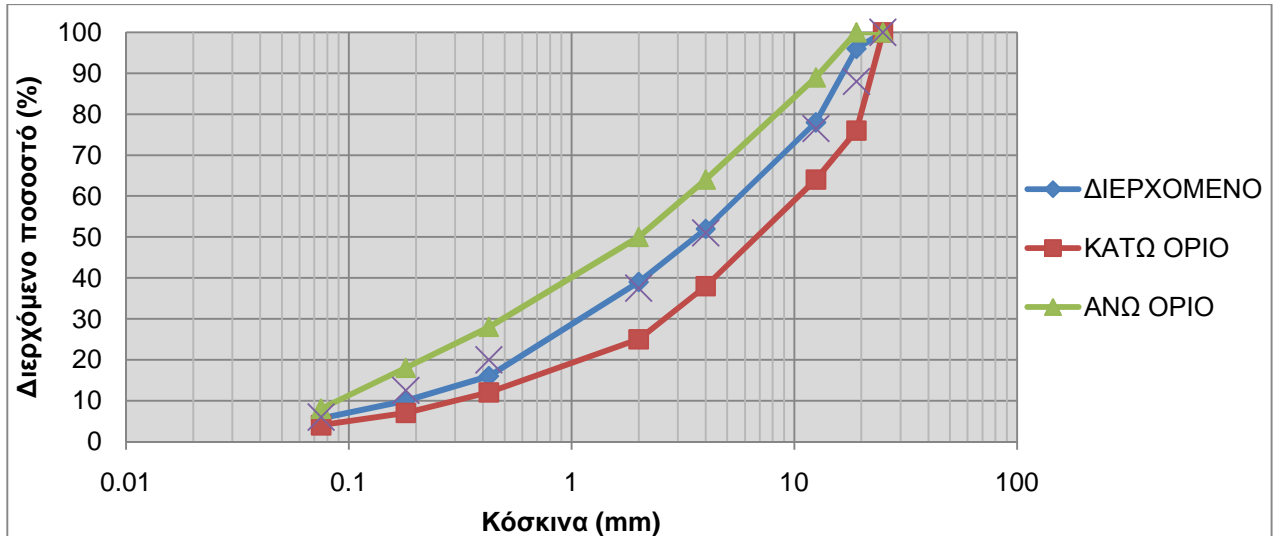
4.3.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση μίγματος αδρανών

Η κοκκομετρική ανάλυση του μίγματος των αδρανών πραγματοποιείται για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής καμπύλης. Η θέση, η μορφή και η κλίση της κοκκομετρικής καμπύλης παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για το μίγμα, όπως για την ομοιομορφία ή μη της κατανομής των κόκκων και την έλλειψη ή μη κόκκων κάποιας διάστασης. Η θέση της καμπύλης διακρίνει το μίγμα σε χονδρόκοκκο και λεπτόκοκκο και το χαρακτηρίζει ως προς τη μηχανική συμπεριφορά του (αντοχή ή αντίσταση σε φορτία) και τη δυνατότητα συγκράτησης ή αποστράγγισης του νερού από το μίγμα. Η κλίση της καμπύλης προσδιορίζει την κατανομή των κόκκων (διαβάθμιση του μίγματος). Η μέτρια κλίση υποδηλώνει την ύπαρξη στο μίγμα κόκκων όλων των μεγεθών (καλή διαβάθμιση), ενώ μία σχεδόν κατακόρυφη καμπύλη δηλώνει την ύπαρξη κόκκων του ίδιου μεγέθους (ομοιόμορφοι κόκκοι). Επίσης, η καμπύλη διπλού ανοικτού 'S', δηλώνει την έλλειψη κόκκων κάποιου μεγέθους.

Στους πίνακες 4.12 και 4.13 δίνονται η κοκκομετρική ανάλυση σύνθεσης για κάθε τύπο ασφαλτομίγματος που χρησιμοποιήθηκε στο εργοτάξιο (A265B Ισοπεδωτική και ασφαλτόμιγμα τύπου II αντιολισθηρά) και οι αντίστοιχες καμπύλες με τα όρια των προδιαγραφών για κάθε τύπο στα σχήματα 4.1 και 4.2 αντίστοιχα.

Πίνακας 4.12 Κοκκομετρική ανάλυση ασφαλτομίγματος της Π.Τ.Π. A265B

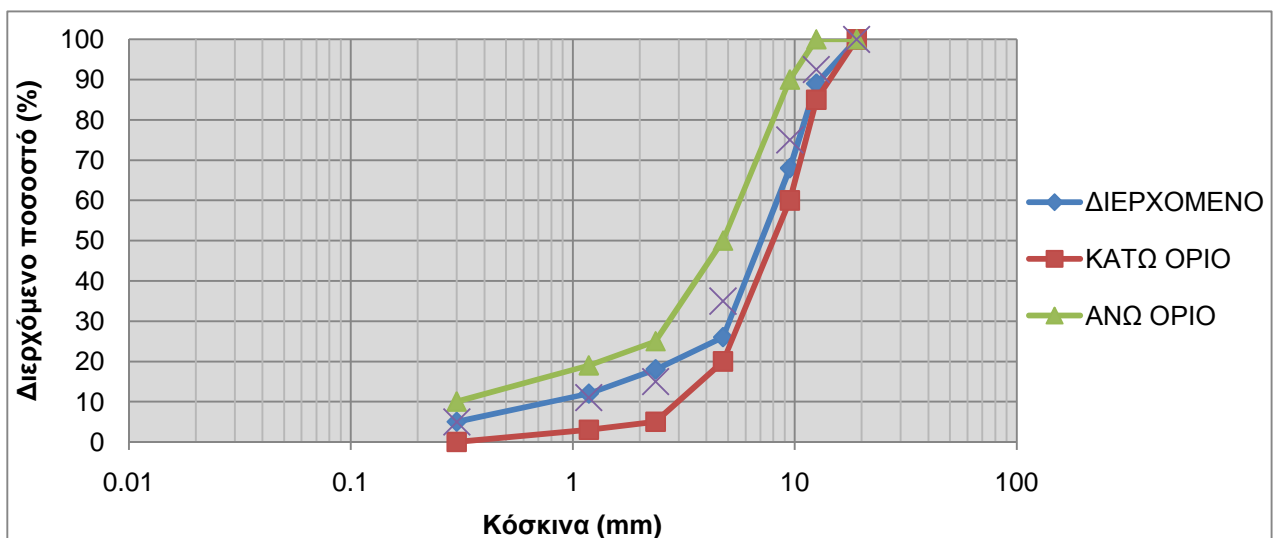
Κόσκια (mm)	Κάτω όριο	Σύνθεση	Άνω όριο
25	100	100	100
19	76	96	100
12.5	64	78	89
4.75	38	52	64
2	25	39	50
0.425	12	16	28
0.18	7	10	18
0.075	4	5.7	8



Σχήμα 4.1 Κοκκομετρική καμπύλη Π.Τ.Π. Α265Β

Πίνακας 4.13 Κοκκομετρική ανάλυση ασφαλτομίγματος τύπου II ανοικτής διαβάθμισης

Κόσκινα (mm)	Κάτω όριο	Σύνθεση	Άνω όριο
	Διερχόμενο (%)		
19	100	100	100
12.5	85	92	100
9.5	60	69	90
4.75	20	33	50
2.36	5	21	25
1.18	3	12	19
0.3	0	5	10
0.075		3.4	



Σχήμα 4.2 Κοκκομετρική καμπύλη ασφαλτομίγματος τύπου II αντιολισθηρή στρώση

4.3.2 Μέγιστη χαλαρή πυκνότητα (Gmm)

Ο προσδιορισμός μέγιστης χαλαρής πυκνότητας γίνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις (ASTM D2041 2003). Με βάση το πρότυπο ποσότητα δείγματος από ασφαλτικό σκυρόδεμα (λίγο παραπάνω από 1250 g), η οποία έχει θερμανθεί για να αποβάλλει την υγρασία και όσο είναι ακόμα ζεστή, διαχωρίζεται με τα χέρια έτσι ώστε το μέγιστο μέγεθος κόκκου να είναι μικρότερο από 6 mm. Στη συνέχεια, αφήνεται να κρυώσει σε θερμοκρασία δωματίου. Κατόπιν, τοποθετείται το πυκνόμετρο της δοκιμής (Σχήμα 4.3) πάνω σε μία ζυγαριά ακριβείας, η οποία μηδενίζεται. Τοποθετείται το κρύο υλικό στο πυκνόμετρο που βρίσκεται στη μηδενισμένη ζυγαριά και καταγράφεται το βάρος του μίγματος (A). Προστίθεται στο πυκνόμετρο νερό θερμοκρασίας 25 °C μέχρι να καλυφθεί όλο το υλικό, καλύπτεται με το ειδικό καπάκι της συσκευής και τίθεται σε λειτουργία για 15 περίπου λεπτά.



Σχήμα 4.3 Πυκνόμετρο και συσκευή δόνησης

Η συσκευή αφαιρεί τον αέρα από το πυκνόμετρο και συγχρόνως το δονεί με αποτέλεσμα το νερό να εισχωρεί στα κενά του μίγματος παίρνοντας τη θέση του αέρα, ο οποίος με τη μορφή φυσαλίδων βγαίνει από το νερό και αφαιρείται από το χώρο του δοχείου λόγω του κενού που έχει εφαρμοστεί στο πυκνόμετρο. Μετά την ολοκλήρωση της λειτουργίας της συσκευής αφαιρείται από αυτή το δοχείο, στο οποίο προστίθεται νερό θερμοκρασίας 25 °C μέχρι να γεμίσει. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στον τρόπο που προστίθεται το νερό, ώστε να μην δημιουργηθούν φυσαλίδες στο νερό ή στο μίγμα. Το πυκνόμετρο σφραγίζεται με ένα ειδικό καπάκι προσέχοντας να μην παγιδευτεί αέρας μέσα στο δοχείο. Σκουπίζεται

εξωτερικά για να αφαιρεθεί κάθε ίχνος νερού και τοποθετείται στη ζυγαριά, όπου καταγράφεται το βάρος του πυκνόμετρου, μίγματος και νερού (E). Τέλος καθαρίζεται το πυκνόμετρο και αφού πληρωθεί με νερό θερμοκρασίας 25 °C, σφραγίζεται όπως αναφέρθηκε παραπάνω και ζυγίζεται καταγράφοντας το βάρος πυκνόμετρου και νερού (D). Το μέγιστο ειδικό βάρος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$G_{mm} = \frac{A}{(A+D-E)} \quad (4.1)$$

Στο έργο όπου έγινε η διάστρωση το μέγιστο ειδικό βάρος ήταν 2506 kg/m³ για το ασφαλτόμιγμα Π.Τ.Π. Α265Β και 2961 kg/m³ για το ασφαλτόμιγμα τύπου ΙΙ (αντιολισθηρή στρώση).

4.3.3 Δοκιμή Marshall

Κατά τη δοκιμή Marshall εξετάζεται η ευστάθεια και η υποχώρηση δοκιμίων που έχουν παρασκευασθεί με τη συσκευή συμπύκνωσης με κρουστικό φορτίο τύπου Marshall. Παράλληλα ελέγχονται και άλλες ιδιότητες (φαινόμενο ειδικό βάρος, ποσοστό των κενών αέρος στο ασφαλτόμιγμα, το ποσοστό των κενών των συμπυκνωμένων αδρανών υλικών και το ποσοστό των κενών που πληρώθηκαν με άσφαλτο) που όλες μαζί είναι γνωστές ως ιδιότητες Marshall.

4.3.3.1 Παρασκευή δοκιμίων

Το ασφαλτόμιγμα χωρίζεται σε ποσότητες των 1200 g περίπου, τοποθετείται σε δοχεία και στη συνέχεια στο φούρνο για ξήρανση και για να αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία. Η θερμοκρασία που θα αποκτήσει το δείγμα, αντιπροσωπεύει την θερμοκρασία συμπύκνωσης στο έργο. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης το ασφαλτόμιγμα Α265Β θερμάνθηκε στους 150 °C, ενώ το ασφαλτόμιγμα τύπου ΙΙ αντιολισθηρά στους 155 - 160 °C. Στο φούρνο τοποθετούνται και οι ειδικές κυλινδρικές μεταλλικές μήτρες (διαμέτρου 101,6 mm ή 100 mm) στις οποίες θα τοποθετηθεί το ασφαλτόμιγμα όταν αποκτήσει την απαιτούμενη θερμοκρασία. Από το κάθε μίγμα παρασκευάζονται τουλάχιστον τρία δοκίμια. Το μίγμα τοποθετείται στις μήτρες σε δύο στρώσεις και κάθε στρώση δέχεται ελαφριά προσυμπύκνωση με μεταλλική ράβδο (15 χτυπήματα περιμετρικά και 10 στο κέντρο). Κατόπιν η μήτρα τοποθετείται στην ειδική συσκευή συμπύκνωσης (Σχήμα 4.4) και συμπυκνώνεται. Το ασφαλτόμιγμα δέχεται 75 χτυπήματα σε κάθε πλευρά του δοκιμίου αφού το έργο αφορά στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμου βαριάς κυκλοφορίας. Με το τέλος της συμπύκνωσης το μίγμα αφήνεται να κρυώσει μέσα στην μήτρα και μετά εξάγεται με ειδικό

εξολκεία. Τα δοκίμια, αφού ελεγχθούν ως προς την επιπεδότητα των δύο όψεων, αριθμούνται (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.4 Συσκευή συμπίκνωσης με κρουστικό φορτίο τύπου Marshall



Σχήμα 4.5 Δοκίμιο Marshall

4.3.3.2 Φαινόμενο ειδικό βάρος

Το φαινόμενο ειδικό βάρος (Φ.Ε.Β.) συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος υπολογίζεται από το βάρος και τον όγκο του δοκιμίου, όπως περιγράφεται στην προδιαγραφή ASTM D 2726. Για το ασφαλτόμιγμα της Π.Τ.Π. Α265Β το δοκίμιο αρχικά ζυγίζεται στον αέρα (ξηρό)

και στην συνέχεια τοποθετείται σε καλάθι που είναι κρεμασμένο από ζυγό ακριβείας και βυθισμένο σε υδρόλουτρο 25 °C. Μετά από 3 έως 5 λεπτά λαμβάνεται η ένδειξη του βάρους και χαρακτηρίζεται ως βάρος δοκιμίου στο νερό. Τέλος το δοκίμιο απομακρύνεται από το υδρόλουτρο, σκουπίζεται γρήγορα επιφανειακά με απορροφητική πετσέτα έτσι ώστε να μην στάζουν νερά και ζυγίζεται. Το βάρος αυτό χαρακτηρίζεται ως βάρος κορεσμένου δοκιμίου με στεγνή επιφάνεια. Με χρήση αυτών των ζυγίσεων υπολογίζεται αρχικά ο όγκος των δοκιμίων και στη συνέχεια το φαινόμενο ειδικό βάρος των δοκιμίων. Για το ασφαλτόμιγμα τύπου II αντιολισθηρά, το φαινόμενο ειδικό βάρος υπολογίζεται προσδιορίζοντας το ξηρό βάρος και τον όγκο του κάθε δοκιμίου (ASTM D3203. Για τον υπολογισμό του όγκου κάθε δοκιμίου μετράται με την βοήθεια ενός παχύμετρου το ύψος των δοκιμίων και η διάμετρος τους σε τέσσερα σημεία. Υπολογίζεται ο μέσος όρος των υψών και ο μέσος όρος των διαμέτρων και στη συνέχεια υπολογίζεται η επιφάνεια των δοκιμίων χρησιμοποιώντας τη μέση διάμετρο και ο όγκος των δοκιμίων πολλαπλασιάζοντας την επιφάνεια επί το μέσο ύψος κάθε δοκιμίου. Διαιρώντας το ξηρό βάρος του δοκιμίου προς τον όγκο του προκύπτει η πυκνότητα του δοκιμίου. Τέλος, μετατρέπεται η πυκνότητα σε φαινόμενο ειδικό βάρος διαιρώντας την με 0,9970 g/cm³ (ή 997 Kg/m³), που είναι η πυκνότητα του νερού στους 25°C.

4.3.3.3 Υπολογισμός κενών

Μετά τον υπολογισμό του φαινόμενου ειδικού βάρους των δοκιμίων Marshall αλλά και του μέγιστου θεωρητικού ειδικού βάρους χαλαρού ασφαλτομίγματος γίνεται υπολογισμός του ποσοστού των κενών του μίγματος. Αυτά διακρίνονται σε :

α) Ποσοστό κενών αέρος (PAV), το οποίο καθορίζει το αναμενόμενο ποσοστό κενών του μίγματος μετά από παρέλευση χρόνων. Στην περίπτωση που το μίγμα έχει κενά μικρότερα από τα επιτρεπτά, είναι βέβαιο ότι το μίγμα θα παραμορφωθεί πρόωρα, παρουσιάζοντας τροχαυλακώσεις, απωθήσεις, πλευρικές υπερυψώσεις. Το ποσοστό κενών αέρος στο συμπυκνωμένο ασφαλτόμιγμα PAV (%), υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$PAV = 100 \times \frac{G_{max} - G}{G_{max}} \quad (4.2)$$

όπου G_{max} : το μέγιστο θεωρητικό ειδικό βάρος χαλαρού ασφαλτομίγματος (gr/cm³)

G : το φαινόμενο ειδικό βάρος συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος (gr/cm³)

β) Κενά στο σκελετό των αδρανών VMA, τα οποία ορίζονται ως ο όγκος που καταλαμβάνουν τα κενά αέρος και ο όγκος που καταλαμβάνει η άσφαλτος και υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$VMA = PAV + C \quad (4.3)$$

όπου C: ο όγκος ασφάλτου στο δοκίμιο, που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του φαινόμενου ειδικού βάρους των δοκιμίων Marshall με το ποσοστό περιεκτικότητας ασφάλτου κατά βάρος ασφαλτομίγματος

PAV: το ποσοστό κενών αέρα ασφαλτομίγματος

Με το VMA διασφαλίζεται ότι ο διαθέσιμος χώρος μεταξύ των αδρανών είναι επαρκής για να παραλάβει την ποσότητα της ασφάλτου.

γ) Ποσοστό κενών που πληρώθηκαν με άσφαλο (VFA), που υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$VFA = 100 \times \frac{C}{VMA} \quad (4.4)$$

όπου C: όγκος ασφάλτου στο δοκίμιο

VMA: ποσοστό κενών στο σκελετό των αδρανών

Με το VFA διασφαλίζεται ότι επαρκής αριθμός κενών πληρώθηκε με άσφαλο και έμμεσα καθορίζει την απολύτως αναγκαία ποσότητα ασφάλτου στο μίγμα, δηλαδή, την ελάχιστη για να υπάρχει καλή συνεκτικότητα των κόκκων, τη μέγιστη που μπορεί να παραλάβει η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος.

Το VMA & VFA είναι απαραίτητοι παράμετροι της καλής συμπεριφοράς του ασφαλτομίγματος.

4.3.3.4 **Ευστάθεια και υποχώρηση κατά Marshall**

Η ευστάθεια και η παραμόρφωση είναι τα δύο χαρακτηριστικά Marshall που προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας την ειδική συσκευή Marshall. Με τον καθορισμό της ευστάθειας διασφαλίζεται ότι το ασφαλτόμιγμα έχει την απαιτούμενη αντοχή, ενώ με τον καθορισμό της παραμόρφωσης διασφαλίζεται ότι το ασφαλτόμιγμα δεν πρόκειται να παραμορφωθεί υπερβολικά. Τα δοκίμια πριν τοποθετηθούν στην ειδική συσκευή Marshall, βυθίζονται σε λουτρό ύδατος $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{ C}$ για 30 έως 40 λεπτά (Σχήμα 4.6). Η συσκευή Marshall (Σχήμα 4.7) συμπιέζει διαμετρικά το δοκίμιο με σταθερό ρυθμό (50.8 mm/min) μέχρι τελικής θραύσεως. Η μέγιστη δύναμη κατά την θραύση του δοκιμίου δίνει την ευστάθεια Marshall του μίγματος, μετρούμενη σε N (ή lb). Η παραμόρφωση που έχει υποστεί το δοκίμιο κατά το σημείο της θραύσης καταγράφεται ως παραμόρφωση Marshall, μετρούμενη σε mm (ή in).



Σχήμα 4.6 Υδρόλουτρο δοκιμών Marshall



Σχήμα 4.7 Συσκευή προσδιορισμού ευστάθειας και υποχώρησης Marshall

Οι τιμές της ευστάθειας που λαμβάνονται από την συσκευή Marshall διορθώνονται πολλαπλασιάζοντας με τους αντίστοιχους διορθωτικούς συντελεστές (Πίνακας 4.14). Η διόρθωση αυτή είναι αναγκαία λόγω της ανομοιομορφίας του ύψους ή του όγκου των δοκιμών. Τα μεγάλα δοκίμια είναι λογικό να απαιτούν ελαφρώς μεγαλύτερη δύναμη θραύσης από ότι τα μικρότερα δοκίμια του ίδιου ασφαλτομίγματος.

Πίνακας 4.14 Διορθωτικοί συντελεστές Marshall

Όγκος δοκιμίου (cm ³)	Ύψος δοκιμίου (mm)	Διορθωτικός συντελεστής
200 - 213	25.4	5.56
214 - 225	27.0	5.00
226 - 237	28.6	4.55
238 - 250	30.2	4.17
251 - 264	31.8	3.85
265 - 276	33.3	3.57
277 - 289	34.9	3.33
290 - 301	36.5	3.03
302 - 316	38.1	2.78
317 - 328	39.7	2.50
329 - 340	41.3	2.27
341 - 353	42.9	2.08
354 - 367	44.4	1.92
368 - 379	46.0	1.79
380 - 392	47.6	1.67
393 - 405	49.2	1.56
406 - 420	50.8	1.47
421 - 431	52.4	1.39
432 - 443	54.0	1.32
444 - 456	55.6	1.25
457 - 470	57.2	1.19
471 - 482	58.7	1.14
483 - 495	60.3	1.09
496 - 508	61.9	1.04
509 - 522	63.5	1.00
523 - 535	65.1	0.96
536 - 546	66.7	0.93
547 - 559	68.3	0.89
560 - 573	69.9	0.86
574 - 585	71.4	0.83
586 - 598	73.0	0.81
599 - 610	74.6	0.78
611 - 625	76.2	0.76

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά του ασφαλτομίγματος της Π.Τ.Π. Α265Β (Πίνακας 4.15) και του ασφαλτομίγματος αντιολισθηρής στρώσης (Πίνακας 4.16), σύμφωνα με την μελέτη σύνθεσης.

Πίνακας 4.15 Χαρακτηριστικά μίγματος Α265Β ισοπεδωτικής στρώσης

A265B	Αποτελέσματα	Όρια	Μονάδες
Ευστάθεια	2600	>1500	N
Υποχώρηση	3.5	2.5-4	mm
Φ.Ε.Β.	2405		Kg/m ³
ΡΑΥ	4.5	3-8	%
VMA	14.8	>14	%
VFA	70		
% Ασφάλτου/Ασφαλτόμιγμα	4.3		
% Ασφάλτου/Αδρανή	4.5		
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: Αριθμός χτύπων σε κάθε πλευρά δοκιμίου: 75 Θερμοκρασία ανάμιξης 140 – 145 βαθμούς Τα ποσοστά είναι κατά ασφαλτόμιγμα			

Πίνακας 4.16 Χαρακτηριστικά μίγματος τύπου II αντιολισθηρής στρώσης

ΤΥΠΟΥ II	Αποτελέσματα	Όρια	Μονάδες
Ευστάθεια	9000	>6000	N
Υποχώρηση	3.4	2 - 5	mm
Φ.Ε.Β.	2605		Kg/m ³
ΡΑΥ	11.5	5 - 15	%
VMA	23.3		%
% Ασφάλτου/Ασφαλτόμιγμα	4.6		
% Ασφάλτου/Αδρανή	4.8		
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: Αριθμός χτύπων σε κάθε πλευρά δοκιμίου: 75 Θερμοκρασία ανάμιξης 155 - 160 βαθμούς Τα ποσοστά είναι κατά ασφαλτόμιγμα			

4.4 Εργοταξιακή διάστρωση και συμπύκνωση

Για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με την Κ/Ξ ΜΟΡΕΑΣ διάστρωση ασφαλοτάτητα στο έργο ΚΟΡΙΝΘΟΣ - ΤΡΙΠΟΛΗ –ΚΑΛΑΜΑΤΑ. Η διάστρωση πραγματοποιήθηκε στη γεωγραφική ενότητα Α4 στον αριστερό κλάδο, όπου διαστρώθηκε η Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (Λ.Ε.Α.) και η βραδεία λωρίδα κυκλοφορίας. Το τμήμα που διαστρώθηκε είχε μήκος 480 m και περιελάμβανε τις διατομές 413 – 437, όπως αυτές καθορίστηκαν από τη μελέτη οδοποιίας. Η διάστρωση περιελάμβανε 3 στρώσεις ασφαλτομίγματος Α265Β (μία διορθωτική στρώση και 2 στρώσεις των 50 mm) με ασβεστολιθικά αδρανή και άσφαλο 50-70 ρεη. Η τελευταία στρώση ασφαλτομίγματος ήταν αντιολισθηρή (τύπου ΙΙ, πάχους 40 mm) και κατασκευάστηκε με προδιαγραφή ανοιχτού τύπου, χρησιμοποιώντας σκληρά αδρανή (σκουριά), στα κλάσματα 5-12 & 12-16 mm και ασβεστολιθικής προέλευσης στο κλάσμα 0-5 mm (χαρακτηριστικά αδρανών δίνονται στους πίνακες 4.3 έως 4.6), με συνδετικό υλικό πολυμερούς τροποποιημένου ελαστομερούς ασφάλτου (Πίνακας 4.9). Κατόπιν έγινε μέτρηση της επιτευχθείσας συμπύκνωσης με trochler και με τη μέθοδο των πυρήνων και υπολογίστηκε το ποσοστό των κενών στο ασφαλτόμιγμα.

4.4.1 Προετοιμασία βάσης και διάστρωση ασφαλτομίγματος

Πριν τη διάστρωση του ασφαλτομίγματος έγινε έλεγχος της επιφάνειας της στρώσης έδρασης της ασφαλτικής βάσης για ομαλότητα, γεωμετρικό σχήμα και βαθμό συμπύκνωσης. Στη συνέχεια καθαρίστηκε τελείως η επιφάνεια από χαλαρά και ξένα υλικά είτε με σάρωθρα είτε με φύσημα με αεροσυμπιεστή και διαβρέχτηκε ελαφρώς από την προηγούμενη μέρα της διάστρωσης όπου και εφαρμόστηκε και ένα ελαφρό «σιδέρωμα» με οδοστρωτήρα πριν την προεπάλειψη.

Η προεπάλειψη εφαρμόστηκε επί της προετοιμασθείσας ασύνδετης στρώσης έδρασης αφού προηγουμένως είχε προσδιοριστεί από το εργαστήριο η απαιτούμενη ποσότητα, που κυμάνθηκε από 0,8 – 1,2 kg/m² και η ταχύτητα του διανομέα (distributor τύπου Federal) για την καλύτερη διείσδυση εντός του υλικού της βάσης. Ως υλικό προεπάλειψης χρησιμοποιήθηκε το όξινο (κατιονικό) γαλάκτωμα ΚΕ-5 (Πίνακας 4.17). Βασικός σκοπός της προεπάλειψης είναι η αδιαβροχοποίηση της εμποτιζόμενης στρώσης και η επίτευξη συνοχής της επιφάνειας και κόκκων. Η συγκολλητική επάλειψη εφαρμόστηκε επί της ασφαλτικής επιφάνειας που σκοπό είχε την καλή σύνδεση των δύο στρώσεων χρησιμοποιώντας όξινο (κατιονικό) γαλάκτωμα ΚΕ1 (Πίνακας 4.17), με χρήση διανομέα τύπου Federal αφού προηγουμένως είχε προσδιοριστεί η απαιτούμενη αναλογία που

κυμάνθηκε από 0,3 – 0,5Kg/m² και ταχύτητα από το εργαστήριο. Μεγάλη προσοχή δόθηκε στο πάχος της μεμβράνης, κατά το δυνατόν λεπτή, για να αποφευχθεί το φαινόμενο της ολίσθησης (ερπυσμού).

Πίνακας 4.17 Χαρακτηριστικά ασφαλτικών γαλακτωμάτων ΚΕ1 και ΚΕ5

ΠΤΠ ΔΟΚΙΜΕΣ	Α203	
	Κατηγορία	
	ΚΕ1	ΚΕ5
Ιξώδες Furol(25C)	20	25
Υπόλειμμα απόσταξης(%)	60	55
Δοκιμή Κοσκίνου(%)	0	0
Δείκτης pH	3.1	5

Η παραγωγή του ασφαλτομίγματος πραγματοποιήθηκε στο ασφαλτικό συγκρότημα, όπου το κάθε κλάσμα των θερμών αδρανών και της ασφάλτου μετρήθηκαν με ακρίβεια και με τις αναλογίες που προέκυψαν από την μελέτη σύνθεσης. Αρχικά έγινε η ανάμιξη των θερμών αδρανών και μετά ο ψεκασμός τους με την θερμή άσφαλο όπου συντελέστηκε και η τελική ανάμιξη. Η θερμοκρασία ανάμιξης για την Α265 κυμάνθηκε από 145-165°C αναλόγως των καιρικών συνθηκών και την απόσταση μεταφοράς. Η θερμοκρασία ανάμιξης του μίγματος της αντιολισθηρής στρώσης ήταν πολύ πιο αυξημένη λόγω της πολυμερούς τροποποιημένης ασφάλτου και σύμφωνα με τις οδηγίες των προμηθευτών και τη μελέτη σύνθεσης.

Το συγκρότημα παραγωγής ασφαλτομίγματος του Σπαθοβουνίου από όπου έγινε ο εφοδιασμός των διαστρωτήρων για την διάστρωση, έχει δύο αποθηκευτικά σιλό των 25 τόνων το καθένα, έτοιμου ασφαλτομίγματος που διευκόλυναν την γρήγορη και απρόσκοπτη τροφοδότηση της διάστρωσης. Η μεταφορά του μίγματος έγινε με οχήματα (φορητά) των 25 τόνων και ο αριθμός τους ρυθμίστηκε σύμφωνα με τις αποστάσεις και τις καιρικές συνθήκες. Κατά την μεταφορά το ασφαλτόμιγμα προστατεύτηκε καταλλήλως, ώστε η θερμοκρασία του μίγματος κατά την διάστρωση να είναι η κατάλληλη για να επιτευχθεί η απαιτούμενη συμπύκνωση και ομαλή διάστρωση.

Η διάστρωση και συμπύκνωση του ασφαλτομίγματος στον αυτοκινητόδρομο έγινε με διαστρωτήρες (Finisher Σχήμα 4.8). Ο διαστρωτήρας ήταν προσαρμοσμένος να λειτουργήσει είτε με την χρήση ράμματος (string-line) για την πρώτη & δεύτερη στρώση, είτε με δοκό (average beam) ή με laser για τις υπόλοιπες. Όλες οι εντολές για τις ως άνω λειτουργίες μεταφέρονταν ηλεκτρονικά και αυτόματα στην δονητική πλάκα (screed), που ρύθμιζε το απαιτούμενο πάχος και ομαλότητα της επιφάνειας.

Κατά τη διάστρωση της πρώτης και δεύτερης στρώσης ακολούθησε η εξής διαδικασία: Για την πρώτη στρώση τοποθετήθηκαν τρεις πάσσαλοι (άκρες και μέση) σε κάθε διατομή πάνω στους οποίους είχε τοποθετηθεί κατά μήκος ράμμα σε γνωστή και σταθερή απόσταση από τα υψόμετρα της ερυθράς. Η πλάκα του διαστρωτή ρυθμίστηκε έτσι ώστε να έχει ύψος (πάχος ασφαλτικού), που να αντιστοιχεί στο απαιτούμενο συμπυκνωμένο πάχος της στρώσης μετά την κυλίνδρωση. Στο ύψος αυτό οι αισθητήρες (δεξιά και αριστερά) ακουμπούσαν στα ράμματα και ρυθμίστηκε το ύψος στην ένδειξη μηδέν (0). Στη δεύτερη στρώση ο εξωτερικός αισθητήρας ακολουθούσε με την ίδια διαδικασία το ράμμα, ενώ ο εσωτερικός είχε πλέον οδηγό «παπούτσι» (shoe) που κινούνταν πάνω στη διαστρωμένη ασυμπύκνωτη ασφαλτική στρώση (άρα είχε εξασφαλιστεί το πάχος διάστρωσης από την μια μεριά). Στον οδηγό «παπούτσι» ακουμπούσε ο άλλος αισθητήρας και ρυθμίστηκε στο μηδέν (0) για ύψος όσο του παπουτσιού και επομένως κατασκευάστηκε (αυτόματα) τάπητας αρχικού ασυμπιέστου πάχους. Για την τελευταία (άνω) στρώση A265B και την αντιολισθηρή έγινε η ίδια εργασία, αλλά με την χρήση της εξισορροπητικής δοκού (average beam) ή συστήματος laser για την γεφύρωση τυχόν μικροδιαφορών, ώστε αυτές να μη μεταφερθούν στην τελευταία στρώση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η κάθε στρώση εξομαλυνε την προηγούμενη και μείωνε κάθε απόκλιση τόσο σε πάχος όσο και σε ανωμαλίες. Η χρήση των διαφόρων αυτοματοποιημένων συστημάτων διάστρωσης που έχουν αναφερθεί δεν είναι υποχρεωτική αλλά προαιρετική, νοουμένου ότι το τελικό αποτέλεσμα (end-result) είναι ικανοποιητικό και αποδεκτό. Επίσης, κατά τη διάρκεια της διάστρωσης έγινε δειγματοληψία πίσω από το finisher και το δείγμα που συγκεντρώθηκε χρησιμοποιήθηκε στις εργαστηριακές δοκιμές. Η δειγματοληψία έγινε με σκοπό το ασφαλτόμιγμα να είναι το ίδιο στο πεδίο και στις εργαστηριακές δοκιμές που ακολούθησαν.



Σχήμα 4.8 Διαστρωτήρας (Finisher) ασφαλτομιγμάτων

4.4.2 Συμπύκνωση ασφαλτικών στρώσεων

Η αρχική προσυμπύκνωση του ασφαλτομίγματος που επιτεύχθηκε με την εξελεγμένου τύπου δονητική πλάκα του διαστρωτή ήταν μέχρι και 90% της τελικής πυκνότητας, σε θερμοκρασία της τάξης 140°-150°C. Πίσω από τον διαστρωτή ακολούθησε ο οδοστρωτήρας δύο κυλίνδρων (Tandem Roller) για την πρώτη κυλίνδρωση (break-down rolling) σε θερμοκρασία της τάξης 140°C με ομοίμορφες διελεύσεις παράλληλα με τον άξονα της αρτηρίας, σε μεν τα ευθύγραμμα τμήματα από τα άκρα προς τα μέσα (κέντρο), σε δε τις καμπύλες από το χαμηλότερο σημείο προς το υψηλότερο άκρο (περίπτωση επικλινούς οδοστρώματος). Πριν την κυλίνδρωση, συμπυκνώθηκαν οι εγκάρσιοι αρμοί και όπου υπήρχαν οι διαμήκεις.

Σε κάθε διαδρομή του οδοστρωτήρα οι τροχοί, που διαβρέχονταν συνεχώς με νερό, επικάλυπταν κάθε ίχνος προηγούμενης διέλευσης, αποφεύγοντας απότομες αλλαγές της σειράς διαδρομής και απότομα σταματήματα, μπρος – πίσω, που ενδεχομένως να μετατόπιζαν το μίγμα, να δημιουργούσαν ανωμαλίες και ίσως, τριχοειδείς ρωγμές.

Μετά τις αρχικές διελεύσεις του δίτροχου οδοστρωτήρα (2-3 φορές χωρίς δόνηση), ακολούθησαν οι λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες (Σχήμα 4.9) με το κατάλληλο βάρος, ακολουθώντας τις ίδιες διαδρομές που είχαν διαγραφεί από τον δίτροχο οδοστρωτήρα σε θερμοκρασία που επέτρεπε την επίτευξη της απαιτούμενης συμπύκνωσης, αποφεύγοντας απότομες αλλαγές στις διελεύσεις και σταματήματα. Στο αρχικό ξεκίνημα των λαστιχοφόρων οδοστρωτήρων, αν υπήρχαν επικολλημένα αδρανή στα ελαστικά, αυτά αφαιρέθηκαν με την επάλειψη λεπτόρρευστων λαδιών (veg. Oil) ή με σαπωνοδιάλυμα. Στη συνέχεια τα ελαστικά διαβρέχονταν συνεχώς με νερό.



Σχήμα 4.9 Συμπύκνωση ασφαλτομίγματος με λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα

Η τελική διαμόρφωση της διαστρωθείσας επιφάνειας επιτεύχθηκε με την διέλευση (1-2 φορές) του στατικού οδοστρωτήρα, ακολουθώντας τις ίδιες διαδρομές που είχαν διαγραφεί από τους προηγούμενους οδοστρωτήρες. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι μεταξύ των φάσεων συμπίκνωσης δεν υπήρξε καμία διακοπή.

Κατά τη διαδικασία της συμπίκνωσης της αντιολισθηρής στρώσης χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά και μόνο διτύμπανος οδοστρωτήρας. Οι αρμοί συμπυκνώθηκαν πριν την κυλίνδρωση (όπου υπήρχαν) και κατόπιν με ομοιόμορφες διελεύσεις παράλληλα με τον άξονα της λεωφόρου, σε μεν τα ευθύγραμμα τμήματα από τα άκρα προς τα μέσα (κέντρο), σε δε τις καμπύλες από το χαμηλότερο σημείο προς το υψηλότερο άκρο (περίπτωση επικλινούς οδοστρώματος). Παρακάτω, παρουσιάζονται οι φάσεις συμπίκνωσης για κάθε τύπο μίγματος (Πίνακας 4.18), όπως αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της επί τόπου συμπίκνωσης .

Πίνακας 4.18 Περιγραφή της λειτουργίας συμπίκνωσης για κάθε τύπο ασφαλτομίγματος

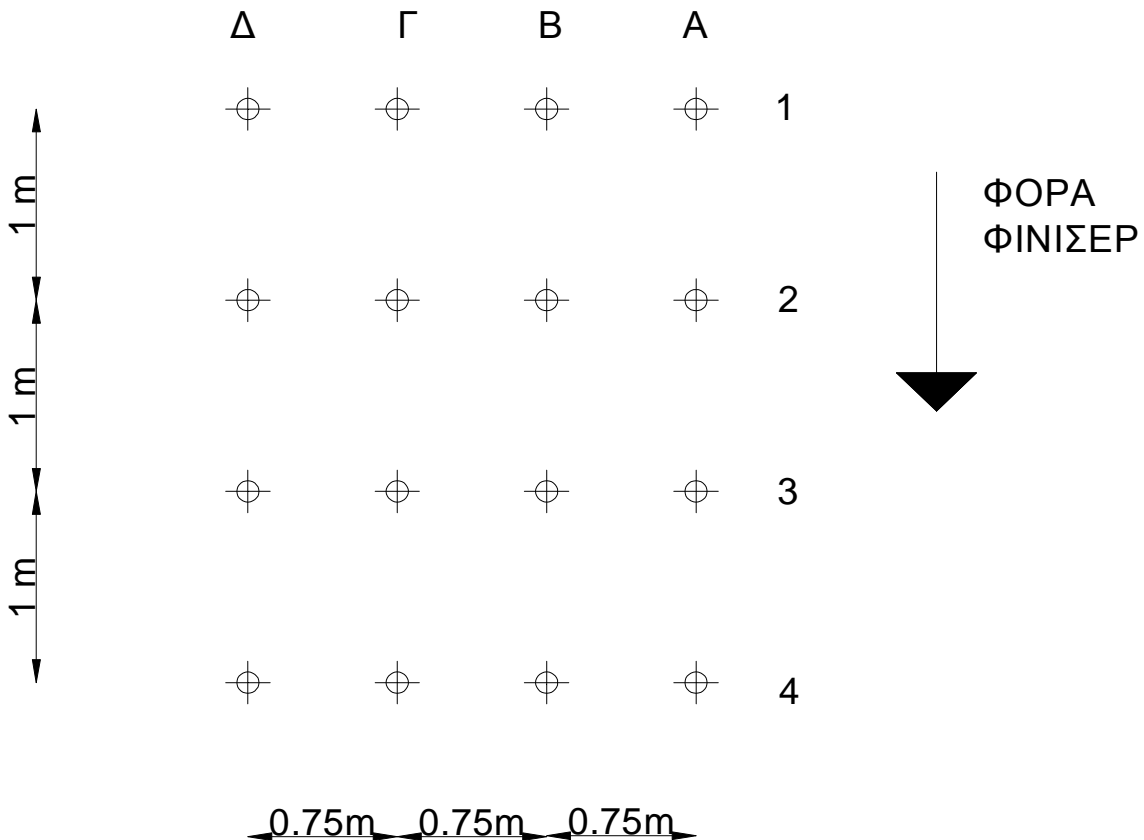
Τύπος μίγματος	Λειτουργία συμπίκνωσης		
	Αρχική	Ενδιάμεση	Τελική
A265B	Στατικός οδοστρωτήρας	Δονητικός και λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας	Στατικός οδοστρωτήρας
Τύπου II Αντιολισθηρά	Στατικός οδοστρωτήρας	Δονητικός οδοστρωτήρας	Στατικός οδοστρωτήρας

Αξίζει να σημειωθεί ότι η τελική φάση συμπίκνωσης με στατικό οδοστρωτήρα πραγματοποιήθηκε με σκοπό την ομαλοποίηση και την εξαφάνιση τυχόν ανωμαλιών που υπάρχουν από το τύμπανο ή τα λάστιχα του λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα στο ασφαλτόμιγμα. Θεωρήθηκε ότι, η επιθυμητή συμπίκνωση είχε επιτευχθεί κατά τη διάρκεια της ενδιάμεσης λειτουργίας συμπίκνωσης και συνεπώς, η τελική λειτουργία δεν ελήφθη υπόψη στις αναλύσεις.

4.4.3 Μετρήσεις συμπίκνωσης με Troxler

Μετά την ολοκλήρωση της διάστρωσης του ασφαλτομίγματος A265B και κατά την διάρκεια της συμπίκνωσης έγιναν μετρήσεις συμπίκνωσης με την πυρηνική συσκευή τύπου troxler σε λειτουργία backscatter. Οι μετρήσεις έγιναν κατά μήκος της αρτηρίας και ανά διατομή (μία διατομή ανά 20 m) σε απόσταση περίπου 2.55 m από την τριγωνική νησίδα, όπου υπολογίζεται ότι διέρχεται το ίχνος του δεξιού τροχού των οχημάτων. Στα σημεία αυτά

ελήφθησαν δύο μετρήσεις συμπίκνωσης : μία μέτρηση αμέσως μετά τη διάστρωση του ασφαλτομίγματος, και μία στο τέλος της διαδικασίας συμπίκνωσης. Επίσης δημιουργήθηκαν δύο ειδικές διατομές (1^η Ειδική διατομή 425 και 2^η Ειδική διατομή 427), όπου έγιναν μετρήσεις αμέσως μετά τη διάστρωση του ασφαλτομίγματος από το φίνισερ και σε κάθε φάση συμπίκνωσης. Στις ειδικές αυτές διατομές δημιουργήθηκε κάναβος 16 σημείων (Σχήμα 4.10).



Σχήμα 4.10 Κάναβος ειδικών διατομών

Οι μετρήσεις έγιναν και στις δύο ειδικές διατομές με την διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω :

Αμέσως μετά το πέρασμα του φίνισερ, η συσκευή troxler τοποθετήθηκε σε κάθε σημείο του κάναβου (Σχήμα 4.11) και έγινε μέτρηση της συμπίκνωσης του σημείου, η οποία καταγράφηκε σε ειδικό έντυπο. Στη συνέχεια, το ασφαλτόμιγμα συμπυκνώθηκε με τον οδοστρωτήρα δύο κυλίνδρων στατικά. Αμέσως μετά την πρώτη φάση συμπίκνωσης, με χρήση της συσκευής troxler μετρήθηκε ξανά η επιτευχθείσα συμπίκνωση σε κάθε σημείο του κάναβου. Η επόμενη φάση συμπίκνωσης πραγματοποιήθηκε από τον ίδιο οδοστρωτήρα με επιβολή δόνησης. Οι μετρήσεις με τη συσκευή του troxler επαναλήφθηκαν σε κάθε σημείο και ακολούθησε η τρίτη φάση συμπίκνωσης δονητικά και οι μετρήσεις συμπίκνωσης με τη

συσκευή troxler για την εν λόγω φάση συμπίκνωσης. Τέλος, το ασφαλτόμιγμα συμπακνώθηκε ξανά δονητικά τις ειδικές διατομές και πραγματοποιήθηκαν οι αντίστοιχες μετρήσεις. Σημειώνεται ότι, κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης έγινε καταγραφή του αριθμού των διελεύσεων του οδοστρωτήρα για κάθε σημείο των ειδικών διατομών καθώς και της απόστασης που βρισκόταν το σημείο της ειδικής από το άκρο του τυμπάνου.



Σχήμα 4.11 Μετρήσεις συμπίκνωσης με το πυρηνικό όργανο troxler

Πρέπει να σημειωθεί, ότι μετά τη διέλευση του στατικού οδοστρωτήρα απαιτείται, για τη σωστή συμπίκνωση του ασφαλτομίγματος, η διέλευση του λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα, η οποία και έγινε. Ωστόσο, επειδή δεν υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσής του στο εργαστήριο, η φάση συμπίκνωσης του λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα ενοποιήθηκε με τη 1^η φάση συμπίκνωσης του οδοστρωτήρα δονητικά στο τέλος της οποίας πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Για την συμπίκνωση της στρώσης του αντιολισθηρού τάπητα χρησιμοποιήθηκε μόνο ο οδοστρωτήρας δύο κυλίνδρων στατικά στην πρώτη φάση και δονητικά στις υπόλοιπες. Η διαδικασία μετρήσεων των συμπακνώσεων με τη συσκευή troxler παραμένει ίδια με εκείνη της διαδικασίας του ασφαλτομίγματος A265B.

Κατά τη διάρκεια της διάστρωσης του ασφαλτομίγματος έγινε δειγματοληψία του μίγματος για τον εργαστηριακό έλεγχο της περιεχόμενης ασφάλτου, της κοκκομετρικής

διαβάθμισης των αδρανών, της μέγιστης χαλαρής πυκνότητας Gmm και του φαινόμενου ειδικού βάρους δοκιμίων Marshall. Μετά τον υπολογισμό του φαινόμενου ειδικού βάρους, οι μετρήσεις συμπίκνωσης που προέκυψαν από τη συσκευή troxler διορθώθηκαν με βάση το υπολογισθέν φαινόμενο ειδικό βάρος, ώστε οι διορθωμένες συμπτυκνώσεις να αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές που επικρατούν στο συμπτυκνωμένο ασφαλτόμιγμα.

4.4.4 Μετρήσεις συμπίκνωσης με πυρήνες

Για λόγους διακρίβωσης των στοιχείων των μετρήσεων της συσκευής troxler, έγινε επιλεκτικά εξαγωγή πυρήνων στο διαστρωθέν τμήμα σε θέσεις τόσο κατά μήκος της αρτηρίας όσο και στις ειδικές διατομές.



Σχήμα 4.12 Εξαγωγή πυρήνων στο διαστρωθέν τμήμα της αρτηρίας

Η πυρηνοληψία πραγματοποιήθηκε 20 μέρες μετά την διάστρωση της αντιολισθηρής στρώσης σε συνεργασία με το εργαστήριο ελέγχου ποιότητας της Κ/Ξ ΜΟΡΕΑΣ (Σχήμα 4.12). Συνολικά έγινε εξαγωγή 21 πυρήνων, εκ των οποίων 6 ήταν στην πρώτη ειδική διατομή, 6 ήταν στην δεύτερη ειδική διατομή και οι υπόλοιποι 9 κατά μήκος της αρτηρίας. Κατόπιν πάνω στους πυρήνες επισημάνθηκε η επιφάνεια διαχωρισμού κάθε στρώσης και ο αριθμός της εκάστοτε στρώσης (1^η ή 2^η ή 3^η στρώση) με ειδικό μαρκαδόρο. Μετρήθηκε το συνολικό πάχος των πυρήνων και το πάχος της κάθε στρώσης ξεχωριστά και στη συνέχεια κόπηκαν με τον τροχό (Σχήμα 4.13).



Σχήμα 4.13 Διαχωρισμός πυρήνων σε στρώσεις

Μετά την κοπή των πυρήνων ανά στρώση, οι πυρήνες αφέθηκαν να στεγνώσουν. Στη συνέχεια υπολογίστηκε το φαινόμενο ειδικό βάρος κάθε πυρήνα ανά στρώση και το ποσοστό των κενών αέρος του πυρήνα όπως περιγράφηκε σε προηγούμενες ενότητες.

5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

5.1 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών ασφαλτομιγμάτων διάστρωσης

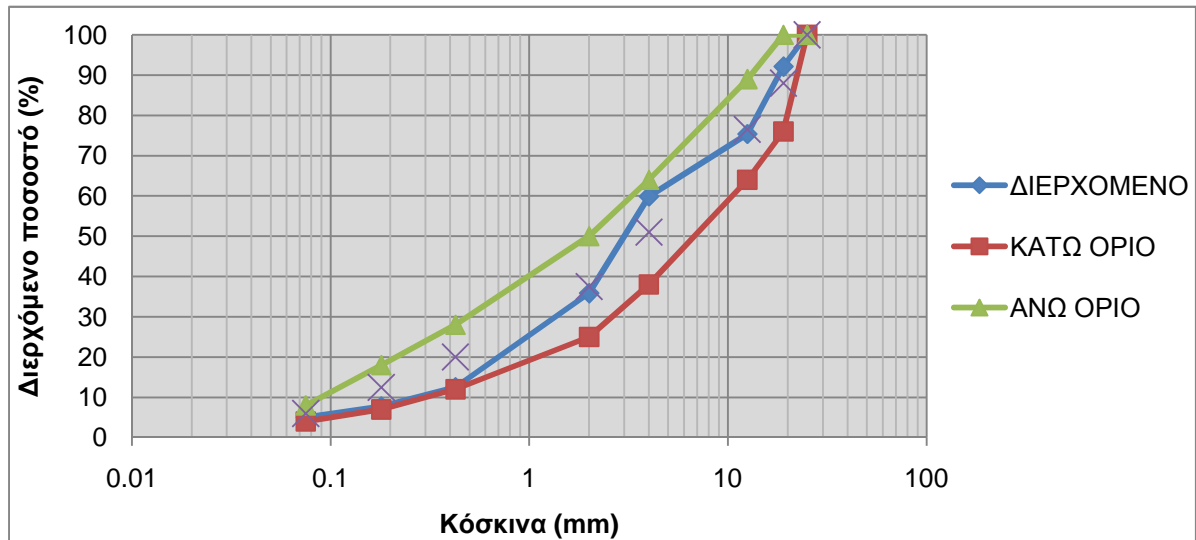
Κατά τη φάση της διάστρωσης πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία ασφαλτομίγματος, το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν η δοκιμή εκχύλισης για τον προσδιορισμό του ποσοστού ασφάλτου στο μίγμα και την κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών του μίγματος (ASTM D2172 2005), ο προσδιορισμός του μέγιστου ειδικού βάρους χαλαρού ασφαλτομίγματος και ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών Marshall. Σημειώνεται, ότι ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του ασφαλτομίγματος κρίνεται αναγκαίος τόσο για τον έλεγχο αυτών σε σχέση με τις προδιαγραφές όσο και για τη χρήση τους στη διερεύνηση της συμπίκνωσης στα επόμενα κεφάλαια. Παρακάτω παρατίθενται πίνακες και διαγράμματα των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σε δείγμα υλικού διάστρωσης της 3^{ης} ισοπεδωτικής και αντιολισθηρής στρώσης. Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών της 1^{ης} και 2^{ης} στρώσης παρατίθενται στο Παράρτημα.

Πίνακας 5.1 Δοκιμή εκχύλισης ασφαλτομίγματος 3ης στρώσης

ΔΟΚΙΜΗ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (ASTM D 2172)		
Βάρος δείγματος	g.	1188
Βάρος φίλτρου πριν τη δοκιμή	g.	19.3
Βάρος φίλτρου μετά τη δοκιμή	g.	21.7
Βάρος αδρανών μετά τη δοκιμή	g.	1134.7
Ολικό βάρος αδρανών	g.	1137.1
Απώλεια βάρους	g.	50.9
Άσφαλτος κατά βάρος αδρανών	%	4.48
Άσφαλτος κατά βάρος ασφαλτομίγματος	%	4.28

Πίνακας 5.2 Κοκκομετρική ανάλυση ασφαλτομίγματος 3ης στρώσης

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (ASTM C136)				
Κόσκια (mm)	Συγκρατούμενο βάρος (g)	Διερχόμενο		Όρια προδιαγραφής
		Βάρος (g)	%	
37.5				
25		1137.1	100	100
19	89.6	1047.5	92	76-100
16				
12.5	190.4	857.1	75	64-89
9.5				
6.3				
4.75	176.2	680.9	60	38-64
2.36	230.2	450.7	40	
2.0	43	407.7	36	25-50
1.18				
0.600	227.1	180.6	16	
0.425	38.2	142.4	13	12-28
0.300				
0.180	54.2	88.2	8	7-18
0.150				
0.075	30.7	57.5	5.1	4-8
ΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1137.1			



Σχήμα 5.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών ασφαλτομίγματος 3ης στρώσης

Πίνακας 5.3 Προσδιορισμός θεωρητικού μέγιστου ειδικού βάρους χαλαρού ασφαλτομίγματος 3ης στρώσης

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΧΑΛΑΡΟΥ ΑΣΦ/ΤΟΣ (ASTM D2041)						
Βάρος	Δείγματος	g.	A	1260.0	$G_{mm} = \frac{A}{(A + D - E)}$	2.509
	Πυκνόμετρου + Νερού	g.	D	7600.4		
	Πυκνόμετρου + Νερού + υλικού στον αέρα t=25°C	g.	E	8358.3		

Πίνακας 5.4 Δελτίο ελέγχου χαρακτηριστικών δοκιμών Marshall 3ης στρώσης

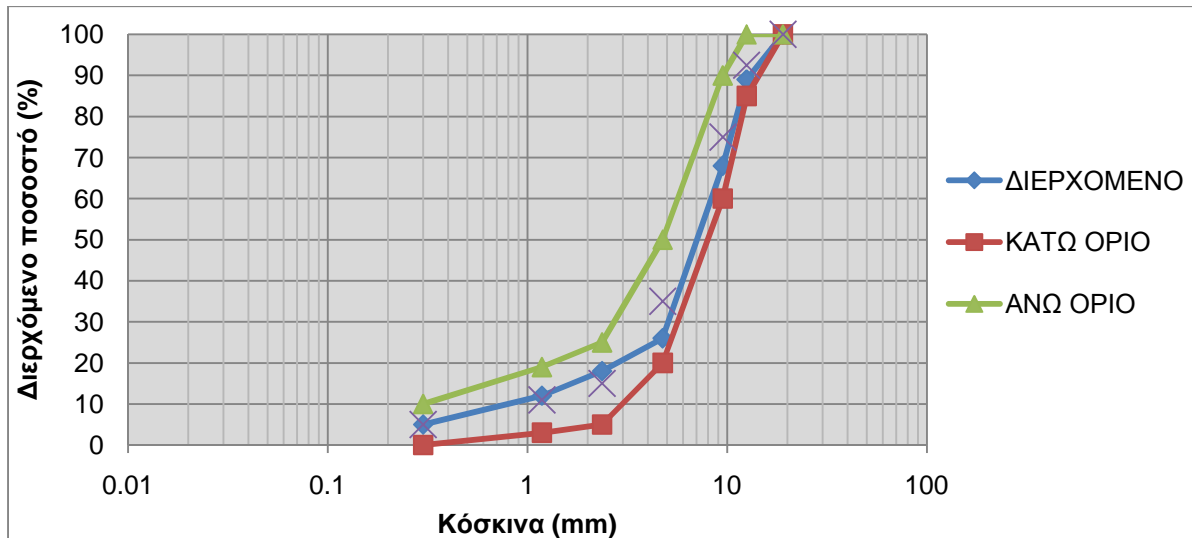
ΔΕΛΤΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ (ASTM D6927- D3203)								
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ:	50-70	ΕΙΔ.ΒΑΡ.ΑΣΦ. (G _{Asph})	1.0 0	ΘΕΡΜ.ΣΥΜΠ.150°C: ΚΤΥΠΟΙ: 75	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩ Ν			
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ					G _{ssd}			
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ %	ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ AC _{by Weight} =		4.48	ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΜΙΞΕΩΣ AC _{mix} =		4.28		
ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ASTM D 1559			ΑΡ.ΔΟΚΙΜΙΟΥ		1	2	3	4
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ (g)			W		1219.9	1230.5	1215.2	
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ (g) ASTM D 2726			W ₁		713.7	718.7	709.5	
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ (g) Κ.Ε.Ξ.			W _{SSD}		1220.6	1232.2	1215.6	
ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³) ASTM D 2726			V = W _{SSD} - W ₁		506.9	513.5	506.1	
ΦΑΙΝ.ΕΙΔ.ΒΑΡΟΣ ΔΟΚ. MARSHALL	ΔΟΚΙΜΙΩΝ		G = W/V		2.407	2.396	2.401	
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		G		2.401			
ΘΕΩΡ.ΜΑΧ ΕΙΔ.ΒΑΡΟΣ ΑΣΦ/ΤΟΣ	G _{max}		g/cm ³		2.509			
ΟΓΚΟΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΣΤΟ ΔΟΚΙΜΙΟ			c		10.3			
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ							ΟΡΙΑ	
ΚΕΝΑ %	ΑΕΡΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ ASTM D 3203	100x	G _{max} -G	PAV	4.3		3-8	
			G _{max}					
	ΑΔΡΑΝΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ	PAV+C		VMA	14.6		>14	
ΠΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΜΕ ΑΣΦΑΛΤΟ	100x	C		VFA	70.5			
		VMA						
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ MARSHALL					1.110	0.960	1.040	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΣ			ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ MARSHALL		1.293	1.293	1.293	
			ΟΓΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ		1.04	1.00	1.04	
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ (Kg) ASTM D 1559			ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΝΔΕΙΞΗ MARSHALL		3291	2737	3083	
			ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		3037		>1500	
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (mm) ASTM D 1559			ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL		2.32	2.64	3.14	
			ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		2.70		2,5-4	

Πίνακας 5.5 Δοκιμή εκχύλισης ασφαλτομίγματος αντιολισθηρής στρώσης

ΔΟΚΙΜΗ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (ASTM D 2172)		
Βάρος δείγματος	g.	1725.9
Βάρος φίλτρου πριν τη δοκιμή	g.	19
Βάρος φίλτρου μετά τη δοκιμή	g.	21.8
Βάρος αδρανών μετά τη δοκιμή	g.	1645.9
Ολικό βάρος αδρανών	g.	1648.7
Απώλεια βάρους	g.	77.2
Άσφαλτος κατά βάρος αδρανών	%	4.68
Άσφαλτος κατά βάρος ασφαλτομίγματος	%	4.47

Πίνακας 5.6 Κοκκομετρική ανάλυση ασφαλτομίγματος αντιολισθηρής στρώσης

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (ASTM C136)				Όρια προδιαγραφής
Κόσκινα (mm)	Συγκρατούμενο βάρος (g)	Διερχόμενο		
		Βάρος (g)	%	
37.5				
25				
19	0	1648.7	100	100
16				
12.5	181.3	1467.4	89	85-100
9.5	345.9	1121.5	68	60-90
6.3	520.1	601.4	36	
4.75	166.2	435.2	26	20-50
2.36	140.3	294.9	18	5-25
2.0				
1.18	92.8	202.1	12	3-19
0.600				
0.425				
0.300	116.1	86	5	0-10
0.180				
0.150				
0.075	42.9	43.1	2.6	
ΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1648.7			



Σχήμα 5.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών ασφαλτομίγματος αντιολισθηράς στρώσης

Πίνακας 5.7 Προσδιορισμός θεωρητικού μέγιστου ειδικού βάρους χαλαρού ασφαλτομίγματος αντιολισθηράς στρώσης

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΧΑΛΑΡΟΥ ΑΣΦ/ΤΟΣ (ASTM D2041)						
Βάρος	Δείγματος	g.	A	1015.6	$G_{mm} = \frac{A}{(A + D - E)}$	2.951
	Πυκνόμετρου + Νερού	g.	D	7620.1		
	Πυκνόμετρου + Νερού + υλικού στον αέρα t=25°C	g.	E	8291.6		

Πίνακας 5.8 Δελτίο ελέγχου χαρακτηριστικών δοκιμών Marshall αντιολισθηράς στρώσης

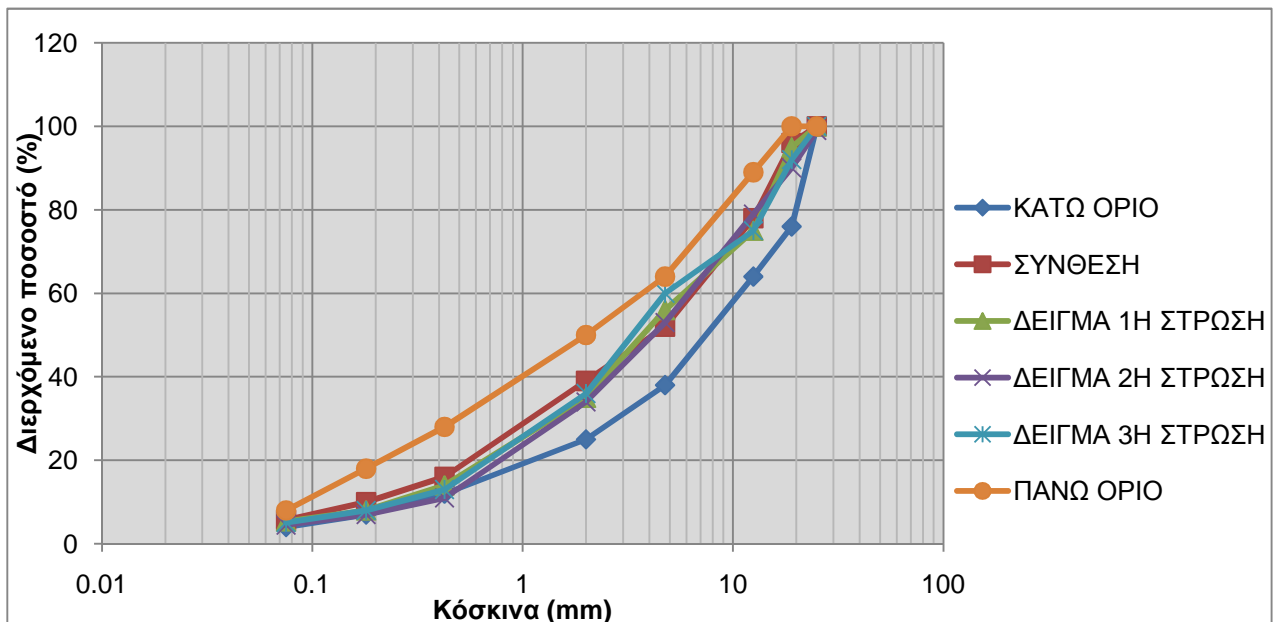
ΔΕΛΤΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL							
ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΤΥΠΟΥ (ASTM D6927- D3203)							
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	ΘΕΡΜ. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ			ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ		
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ	1.00	155-160					
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL							
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ %	ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ	4.68	ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΜΙΞΕΩΣ	4.47	ΟΡΙΑ ΠΡΟΔ/ΦΩΝ		
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ			1	2	3	4	
ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm)		h	6.14	6.17	6.19	6.24	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ²)		s	81				
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (g)		W	1293.4	1298.2	1297.1	1301.5	
ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³)		V=h x s	497.3	499.8	501.4	505.4	
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	ΔΟΚΙΜΙΩΝ	G=W/V	2.601	2.598	2.587	2.575	
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (g/cm ³)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	G	2.590				
ΜΑΧ. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (g/cm ³)	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ G _{max} (ASTM D2041)		2951				
% ΟΓΚΟΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΣΤΟ ΔΟΚΙΜΙΟ C=		AC _{min} x G E.B. ΑΣΦ	11.6				
% ΚΕΝΑ	PAV E=	100-(G/G _{max})*100	12.2				5-15
	VMA D=	PAV+C	23.8				>15
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ MARSHALL			0.92	0.97	0.91	0.90	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΣ	MARSHALL		1.293	1.293	1.293	1.293	
	ΥΨΟΥΣ		1.04	1.04	1.04	1.04	
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ (kg)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΝΔΕΙΞΗ MARSHALL		12124	12783	11992	11860	
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		12190				>6000
ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (mm)	ΑΡΧΙΚΗ - ΤΕΛΙΚΗ		2.93	3.01	2.94	2.91	
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		2.9				2-5

Επίσης, για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του ασφαλτομίγματος διάστρωσης, συντάχθηκαν οι πίνακες με τις κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των τριών στρώσεων του ασφαλτομίγματος τύπου A265B σε σύγκριση με την κοκκομετρική διαβάθμιση της σύνθεσης και των ορίων της Π.Τ.Π. (

Πίνακας 5.9 και Σχήμα 5.3). Αντίστοιχα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ασφαλτομίγματος αντιολισθηρής στρώσης (Πίνακας 5.10 και Σχήμα 5.4).

Πίνακας 5.9 Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις της σύνθεσης και των τριών στρώσεων της Α265Β

Κόσκινα (mm)	Κάτω όριο	Σύνθεση	1η Στρώση	2η Στρώση	3η Στρώση	Πάνω όριο
25	100	100	100	99	100	100
19	76	96	95	90	92	100
12.5	64	78	75	79	75	89
4.75	38	52	56	53	60	64
2	25	39	35	34	36	50
0.425	12	16	14	11	13	28
0.18	7	10	8	7	8	18
0.075	4	5.7	5.4	4.5	5.1	8

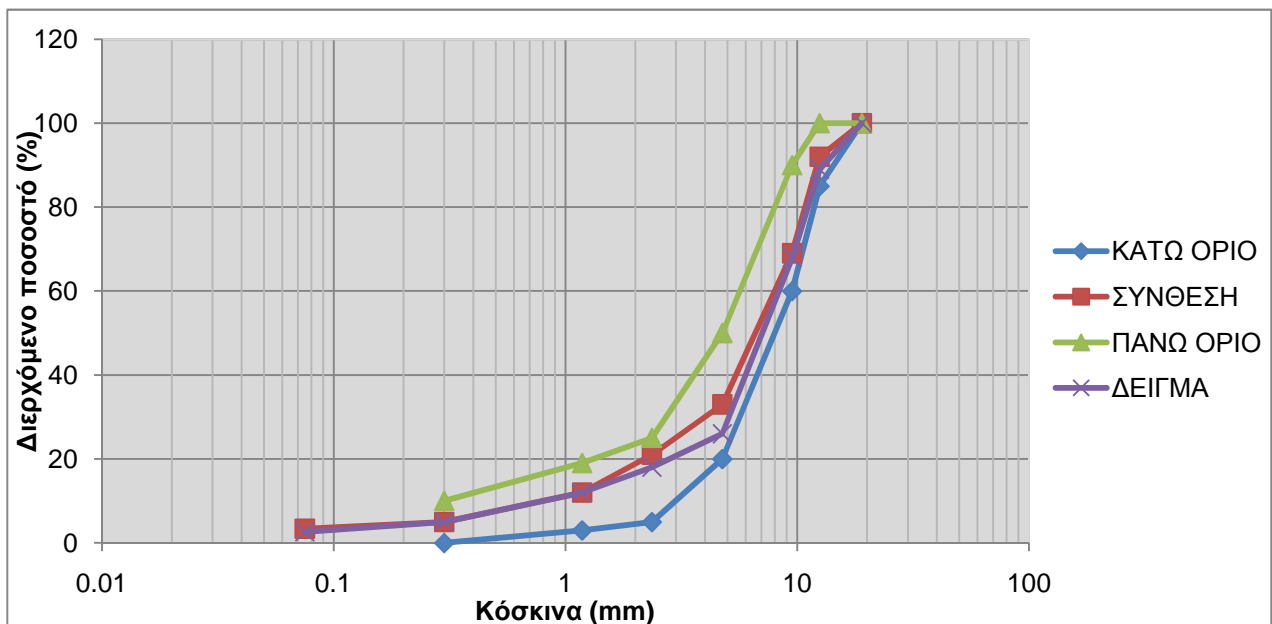


Σχήμα 5.3 Κοκκομετρική διαβάθμιση των δειγμάτων των στρώσεων του ασφαλτομίγματος Α265Β

Από το παραπάνω διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης των ασφαλτομιγμάτων Α265Β των τριών στρώσεων σε σχέση με τα όρια που έχουν τεθεί από την Π.Τ.Π. Α265Β, παρατηρείται ότι και τα τρία ασφαλτομίγματα είναι εντός ορίων και μάλιστα είναι πολύ κοντά στη καμπύλη της μελέτης σύνθεσης. Επιπλέον, και οι τρεις στρώσεις πληρούν τα όρια επιτρεπόμενων αποκλίσεων που καθορίζονται από την Π.Τ.Π. Α265Β.

Πίνακας 5.10 Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις της σύνθεσης και του δείγματος της αντιολισθηρής στρώσης

Κόσκινα (mm)	Κάτω όριο	Σύνθεση	Πάνω όριο	Αντιολισθηρή
19	100	100	100	100
12.5	85	92	100	89
9.5	60	69	90	68
4.75	20	33	50	26
2.36	5	21	25	18
1.18	3	12	19	12
0.3	0	5	10	5
0.075		3.4		2.6



Σχήμα 5.4 Κοκκομετρική διαβάθμιση του δείγματος της αντιολισθηρής στρώσης

Από το παραπάνω διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης του ασφαλτομίγματος της αντιολισθηρής στρώσης σε σχέση με τα όρια που έχουν τεθεί από την πρότυπη προδιαγραφή του Κ.Ε.Δ.Ε. για αντιολισθηρούς τάπητες, παρατηρούμε ότι το ασφαλτόμιγμα είναι εντός ορίων και μάλιστα είναι πολύ κοντά στη καμπύλη της μελέτης σύνθεσης. Επιπλέον το ασφαλτόμιγμα της αντιολισθηρής στρώσης πληρεί τα όρια επιτρεπόμενων αποκλίσεων που καθορίζονται από τις απαιτήσεις του έργου.

5.2 Επεξεργασία των επί τόπου στοιχείων συμπίκνωσης

Για την επεξεργασία των στοιχείων που μετρήθηκαν στο πεδίο δημιουργήθηκαν οι πίνακες με τα στοιχεία των συμπυκνώσεων και των πυκνοτήτων που επιτεύχθηκαν. Οι παρακάτω πίνακες περιλαμβάνουν στοιχεία συμπίκνωσης της 3^{ης} ισοπεδωτικής και της αντιολισθηρής στρώσης, της 1^{ης} και 2^{ης} ειδικής διατομής. Οι μετρήσεις συμπίκνωσης κατά μήκος της αρτηρίας, και οι ειδικές διατομές 1^{ης} και 2^{ης} στρώσης παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Στις ειδικές διατομές έγινε διαχωρισμός των φάσεων διάστρωσης και συμπίκνωσης η κάθε μία από τις οποίες συμβολίστηκε ως εξής:

- ΦΙΝΙΣΕΡ: η πυκνότητα του ασφαλτομίγματος που μετρήθηκε αμέσως μετά την διάστρωση του από το finisher,
- ΣΤΑΤΙΚΟ: η πυκνότητα του ασφαλτομίγματος που μετρήθηκε αμέσως μετά το πέρας της στατικής φάσης συμπίκνωσης,
- 1^η ΔΟΝΗΣΗ: η πυκνότητα του ασφαλτομίγματος που μετρήθηκε αμέσως μετά το πέρας της 1^{ης} δονητικής φάσης συμπίκνωσης,
- 2^η ΔΟΝΗΣΗ: η πυκνότητα του ασφαλτομίγματος που μετρήθηκε αμέσως μετά το πέρας της 2^{ης} δονητικής φάσης συμπίκνωσης,
- 3^η ΔΟΝΗΣΗ: η πυκνότητα του ασφαλτομίγματος που μετρήθηκε αμέσως μετά το πέρας της 3^{ης} δονητικής φάσης συμπίκνωσης και
- ΤΕΛΙΚΗ: η πυκνότητα του ασφαλτομίγματος που μετρήθηκε στο τέλος της διαδικασίας συμπίκνωσης, η οποία αποτελεί και την τελική επιτευχθείσα συμπίκνωση του ασφαλτομίγματος.

Πίνακας 5.11 Μετρήσεις συμπτυκνώσεων 1ης ειδικής διατομής 3ης στρώσης με συσκευή τύπου troxler

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (kg/m ³)	Φ.Ε.Β. Marshall (kg/m ³)	Συμπύκνωση (%)
A1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1868	2401	77.80
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2160	2401	89.96
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2216	2401	92.29
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2310	2401	96.21
	ΤΕΛΙΚΗ	2334	2401	97.21
A2	ΦΙΝΙΣΕΡ	2065	2401	86.01
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2199	2401	91.59
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2286	2401	95.21
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2323	2401	96.75
	ΤΕΛΙΚΗ	2339	2401	97.42
A3	ΦΙΝΙΣΕΡ	2134	2401	88.88
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2238	2401	93.21
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2340	2401	97.46
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2351	2401	97.92
	ΤΕΛΙΚΗ	2372	2401	98.79
A4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1881	2401	78.34
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2129	2401	88.67
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2322	2401	96.71
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2362	2401	98.38
	ΤΕΛΙΚΗ	2375	2401	98.92
B1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1836	2401	76.47
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2171	2401	90.42
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2262	2401	94.21
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2323	2401	96.75
	ΤΕΛΙΚΗ	2363	2401	98.42
B2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1880	2401	78.30
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2257	2401	94.00
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2310	2401	96.21
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2317	2401	96.50
	ΤΕΛΙΚΗ	2382	2401	99.21
B3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1907	2401	79.43
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2174	2401	90.55
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2347	2401	97.75
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2360	2401	98.29
	ΤΕΛΙΚΗ	2371	2401	98.75
B4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1780	2401	74.14
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2198	2401	91.55
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2304	2401	95.96
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2355	2401	98.08

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (kg/m ³)	Φ.Ε.Β. Marshall (kg/m ³)	Συμπύκνωση (%)
	ΤΕΛΙΚΗ	2356	2401	98.13
Γ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1965	2401	81.84
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2310	2401	96.21
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2318	2401	96.54
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2345	2401	97.67
	ΤΕΛΙΚΗ	2472	2401	102.96
Γ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1960	2401	81.63
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2245	2401	93.50
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2313	2401	96.33
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2334	2401	97.21
	ΤΕΛΙΚΗ	2437	2401	101.50
Γ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1872	2401	77.97
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2331	2401	97.08
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2344	2401	97.63
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2374	2401	98.88
	ΤΕΛΙΚΗ	2374	2401	98.88
Γ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1882	2401	78.38
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2353	2401	98.00
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2382	2401	99.21
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2386	2401	99.38
	ΤΕΛΙΚΗ	2400	2401	99.96
Δ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1938	2401	80.72
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2219	2401	92.42
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2260	2401	94.13
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2347	2401	97.75
	ΤΕΛΙΚΗ	2430	2401	101.21
Δ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1932	2401	80.47
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2318	2401	96.54
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2332	2401	97.13
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2351	2401	97.92
	ΤΕΛΙΚΗ	2468	2401	102.79
Δ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1885	2401	78.51
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2280	2401	94.96
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2376	2401	98.96
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2382	2401	99.21
	ΤΕΛΙΚΗ	2437	2401	101.50
Δ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1900	2401	79.13
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2199	2401	91.59
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2357	2401	98.17
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2383	2401	99.25
	ΤΕΛΙΚΗ	2396	2401	99.79

Πίνακας 5.12 Μετρήσεις συμπτυκνώσεων 2ης ειδικής διατομής 3ης στρώσης με συσκευή τύπου troxler

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (kg/m ³)	Φ.Ε.Β. Marshall (kg/m ³)	Συμπύκνωση (%)
A1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1932	2401	80.47
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2221	2401	92.50
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2276	2401	94.79
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2303	2401	95.92
	ΤΕΛΙΚΗ	2349	2401	97.83
A2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1926	2401	80.22
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2219	2401	92.42
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2286	2401	95.21
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2299	2401	95.75
	ΤΕΛΙΚΗ	2324	2401	96.79
A3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1923	2401	80.09
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2273	2401	94.67
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2307	2401	96.08
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2309	2401	96.17
	ΤΕΛΙΚΗ	2354	2401	98.04
A4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1894	2401	78.88
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2254	2401	93.88
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2304	2401	95.96
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2309	2401	96.17
	ΤΕΛΙΚΗ	2344	2401	97.63
B1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1878	2401	78.22
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2214	2401	92.21
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2259	2401	94.09
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2317	2401	96.50
	ΤΕΛΙΚΗ	2346	2401	97.71
B2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1854	2401	77.22
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2248	2401	93.63
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2313	2401	96.33
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2334	2401	97.21
	ΤΕΛΙΚΗ	2359	2401	98.25
B3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1909	2401	79.51
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2259	2401	94.09
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2324	2401	96.79
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2370	2401	98.71
	ΤΕΛΙΚΗ	2379	2401	99.08
B4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1904	2401	79.30
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2221	2401	92.50
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2318	2401	96.54
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2331	2401	97.08

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (kg/m ³)	Φ.Ε.Β. Marshall (kg/m ³)	Συμπύκνωση (%)
	ΤΕΛΙΚΗ	2329	2401	97.00
Γ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1839	2401	76.59
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2289	2401	95.34
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2326	2401	96.88
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2335	2401	97.25
	ΤΕΛΙΚΗ	2371	2401	98.75
Γ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1962	2401	81.72
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2231	2401	92.92
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2317	2401	96.50
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2331	2401	97.08
	ΤΕΛΙΚΗ	2380	2401	99.13
Γ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1968	2401	81.97
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2263	2401	94.25
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2288	2401	95.29
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2380	2401	99.13
	ΤΕΛΙΚΗ	2381	2401	99.17
Γ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1918	2401	79.88
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2250	2401	93.71
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2323	2401	96.75
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2351	2401	97.92
	ΤΕΛΙΚΗ	2399	2401	99.92
Δ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1997	2401	83.17
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2243	2401	93.42
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2284	2401	95.13
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2290	2401	95.38
	ΤΕΛΙΚΗ	2323	2401	96.75
Δ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1939	2401	80.76
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2241	2401	93.34
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2244	2401	93.46
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2312	2401	96.29
	ΤΕΛΙΚΗ	2391	2401	99.58
Δ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1926	2401	80.22
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2254	2401	93.88
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2264	2401	94.29
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2319	2401	96.58
	ΤΕΛΙΚΗ	2334	2401	97.21
Δ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1936	2401	80.63
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2259	2401	94.09
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2271	2401	94.59
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2339	2401	97.42
	ΤΕΛΙΚΗ	2368	2401	98.63

Πίνακας 5.13 Μετρήσεις συμπτυκνώσεων αντιολισθηρής στρώσης 1^{ης} ειδικής διατομής με συσκευή τύπου troxler

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (kg/m ³)	Φ.Ε.Β. Marshall (kg/m ³)	Συμπύκνωση (%)
A1	ΦΙΝΙΣΕΡ	2108	2584	81.58
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2280	2584	88.24
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2332	2584	90.25
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2355	2584	91.14
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2490	2584	96.36
	ΤΕΛΙΚΗ	2529	2584	97.87
A2	ΦΙΝΙΣΕΡ	2062	2584	79.80
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2171	2584	84.02
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2363	2584	91.45
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2348	2584	90.87
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2398	2584	92.80
	ΤΕΛΙΚΗ	2542	2584	98.37
A3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1998	2584	77.32
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2253	2584	87.19
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2482	2584	96.05
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2550	2584	98.68
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2590	2584	100.23
	ΤΕΛΙΚΗ	2616	2584	101.24
A4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1970	2584	76.24
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2246	2584	86.92
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2460	2584	95.20
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2520	2584	97.52
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2542	2584	98.37
	ΤΕΛΙΚΗ	2569	2584	99.42
B1	ΦΙΝΙΣΕΡ	2073	2584	80.22
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2286	2584	88.47
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2321	2584	89.82
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2422	2584	93.73
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2536	2584	98.14
	ΤΕΛΙΚΗ	2539	2584	98.26
B2	ΦΙΝΙΣΕΡ	2181	2584	84.40
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2303	2584	89.13
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2393	2584	92.61
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2407	2584	93.15
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2430	2584	94.04
	ΤΕΛΙΚΗ	2506	2584	96.98
B3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1916	2584	74.15
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2289	2584	88.58

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (kg/m ³)	Φ.Ε.Β. Marshall (kg/m ³)	Συμπύκνωση (%)
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2429	2584	94.00
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2429	2584	94.00
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2527	2584	97.79
	ΤΕΛΙΚΗ	2577	2584	99.73
B4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1983	2584	76.74
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2281	2584	88.27
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2482	2584	96.05
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2509	2584	97.10
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2540	2584	98.30
	ΤΕΛΙΚΗ	2605	2584	100.81
Γ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	2022	2584	78.25
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2184	2584	84.52
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2373	2584	91.83
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2399	2584	92.84
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2499	2584	96.71
	ΤΕΛΙΚΗ	2509	2584	97.10
Γ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	2045	2584	79.14
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2196	2584	84.98
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2480	2584	95.98
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2499	2584	96.71
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2518	2584	97.45
	ΤΕΛΙΚΗ	2523	2584	97.64
Γ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1939	2584	75.04
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2234	2584	86.46
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2376	2584	91.95
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2475	2584	95.78
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2529	2584	97.87
	ΤΕΛΙΚΗ	2540	2584	98.30
Γ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1956	2584	75.70
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2323	2584	89.90
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2373	2584	91.83
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2405	2584	93.07
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2435	2584	94.23
	ΤΕΛΙΚΗ	2573	2584	99.57
Δ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	2013	2584	77.90
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2152	2584	83.28
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2346	2584	90.79
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2356	2584	91.18
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2419	2584	93.61
	ΤΕΛΙΚΗ	2482	2584	96.05
Δ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	2028	2584	78.48

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (kg/m ³)	Φ.Ε.Β. Marshall (kg/m ³)	Συμπύκνωση (%)
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2286	2584	88.47
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2374	2584	91.87
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2412	2584	93.34
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2468	2584	95.51
	ΤΕΛΙΚΗ	2499	2584	96.71
Δ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1970	2584	76.24
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2465	2584	95.39
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2474	2584	95.74
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2519	2584	97.48
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2573	2584	99.57
	ΤΕΛΙΚΗ	2578	2584	99.77
Δ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1836	2584	71.05
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2242	2584	86.76
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2377	2584	91.99
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2399	2584	92.84
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2522	2584	97.60
	ΤΕΛΙΚΗ	2579	2584	99.81

Πίνακας 5.14 Μετρήσεις συμπίκνωσης 2^{ης} ειδικής διατομής αντιολισθηρής στρώσης με συσκευή τύπου troxler

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (kg/m ³)	Φ.Ε.Β. Marshall (kg/m ³)	Συμπύκνωση (%)
A1	ΦΙΝΙΣΕΡ	2020	2584	78.17
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2207	2584	85.41
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2338	2584	90.48
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2436	2584	94.27
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2422	2584	93.73
	ΤΕΛΙΚΗ	2536	2584	98.14
A2	ΦΙΝΙΣΕΡ	2024	2584	78.33
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2233	2584	86.42
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2338	2584	90.48
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2414	2584	93.42
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2498	2584	96.67
	ΤΕΛΙΚΗ	2522	2584	97.60
A3	ΦΙΝΙΣΕΡ	2020	2584	78.17
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2204	2584	85.29
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2333	2584	90.29
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2399	2584	92.84
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2427	2584	93.92
	ΤΕΛΙΚΗ	2546	2584	98.53

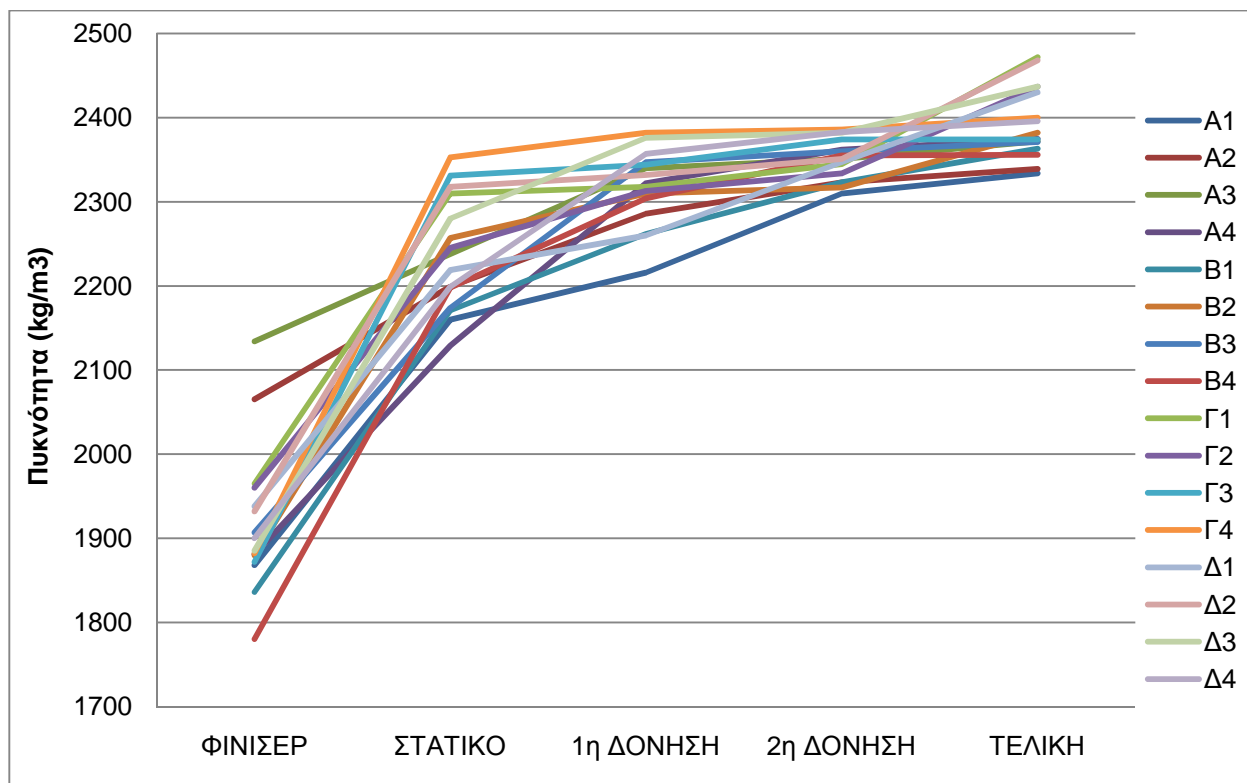
Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (kg/m ³)	Φ.Ε.Β. Marshall (kg/m ³)	Συμπύκνωση (%)
Α4	ΦΙΝΙΣΕΡ	2036	2584	78.79
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2281	2584	88.27
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2339	2584	90.52
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2405	2584	93.07
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2502	2584	96.83
	ΤΕΛΙΚΗ	2599	2584	100.58
Β1	ΦΙΝΙΣΕΡ	2050	2584	79.33
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2245	2584	86.88
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2326	2584	90.02
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2441	2584	94.47
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2462	2584	95.28
	ΤΕΛΙΚΗ	2538	2584	98.22
Β2	ΦΙΝΙΣΕΡ	2037	2584	78.83
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2252	2584	87.15
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2353	2584	91.06
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2468	2584	95.51
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2468	2584	95.51
	ΤΕΛΙΚΗ	2491	2584	96.40
Β3	ΦΙΝΙΣΕΡ	2052	2584	79.41
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2221	2584	85.95
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2336	2584	90.40
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2473	2584	95.70
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2464	2584	95.36
	ΤΕΛΙΚΗ	2532	2584	97.99
Β4	ΦΙΝΙΣΕΡ	2040	2584	78.95
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2239	2584	86.65
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2336	2584	90.40
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2450	2584	94.81
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2460	2584	95.20
	ΤΕΛΙΚΗ	2587	2584	100.12
Γ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	2010	2584	77.79
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2185	2584	84.56
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2345	2584	90.75
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2447	2584	94.70
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2483	2584	96.09
	ΤΕΛΙΚΗ	2498	2584	96.67
Γ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	2014	2584	77.94
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2200	2584	85.14
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2343	2584	90.67
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2400	2584	92.88
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2445	2584	94.62

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (kg/m ³)	Φ.Ε.Β. Marshall (kg/m ³)	Συμπύκνωση (%)
	ΤΕΛΙΚΗ	2514	2584	97.29
Γ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	2034	2584	78.72
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2204	2584	85.29
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2341	2584	90.60
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2431	2584	94.08
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2466	2584	95.43
	ΤΕΛΙΚΗ	2504	2584	96.90
Γ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	2048	2584	79.26
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2205	2584	85.33
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2377	2584	91.99
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2464	2584	95.36
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2473	2584	95.70
	ΤΕΛΙΚΗ	2517	2584	97.41
Δ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	2056	2584	79.57
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2238	2584	86.61
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2373	2584	91.83
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2470	2584	95.59
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2482	2584	96.05
	ΤΕΛΙΚΗ	2587	2584	100.12
Δ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	2024	2584	78.33
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2165	2584	83.78
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2322	2584	89.86
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2421	2584	93.69
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2464	2584	95.36
	ΤΕΛΙΚΗ	2559	2584	99.03
Δ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1997	2584	77.28
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2200	2584	85.14
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2347	2584	90.83
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2445	2584	94.62
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2495	2584	96.56
	ΤΕΛΙΚΗ	2558	2584	98.99
Δ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	2030	2584	78.56
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2178	2584	84.29
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2433	2584	94.16
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2449	2584	94.78
	3 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2472	2584	95.67
	ΤΕΛΙΚΗ	2542	2584	98.37

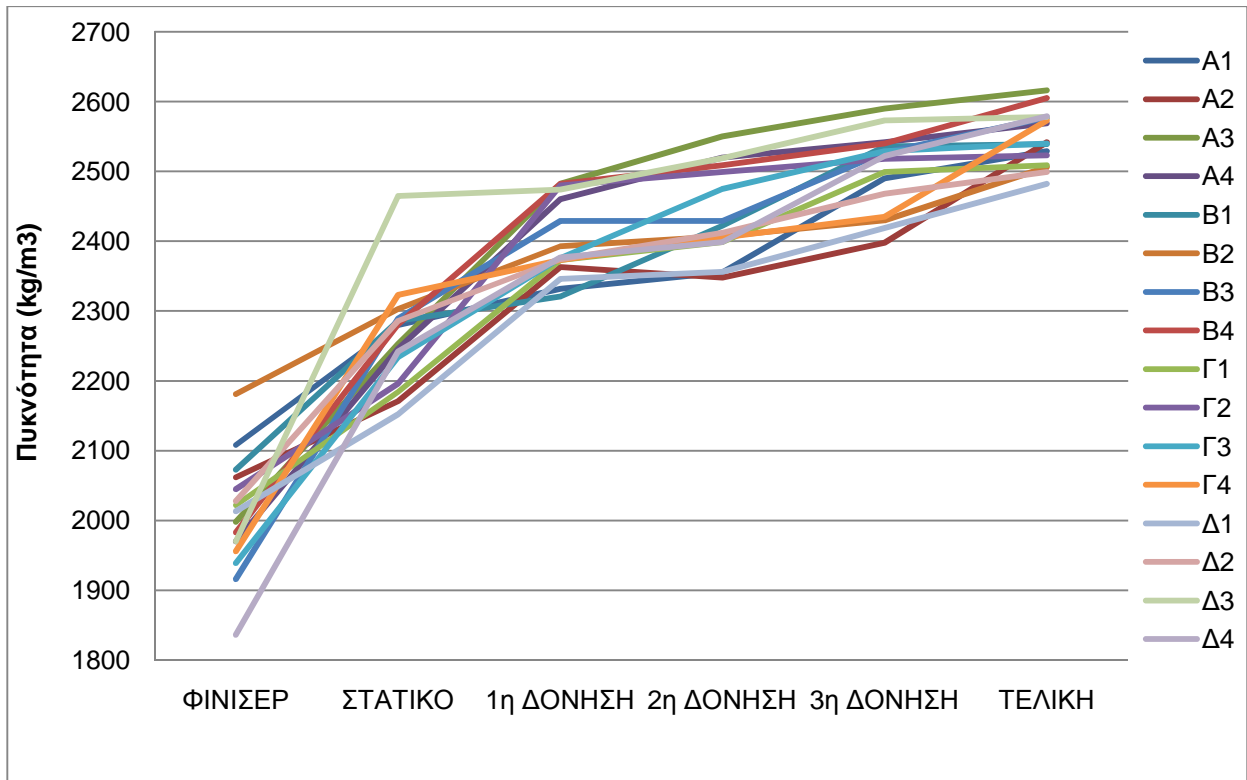
Η μεταβολή της πυκνότητας (η οποία μετρήθηκε με τη συσκευή troxler) στις ειδικές διατομές 425 και 427 (1^η ειδική και 2^η ειδική διατομή αντίστοιχα) κατά τη διάστρωση της 3^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης και της αντιολισθηρής, ανά φάση συμπύκνωσης φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα. Στο κάθε διάγραμμα απεικονίζεται, η εξέλιξη της συμπύκνωσης για κάθε σημείο ελέγχου της ειδικής διατομής. Τα αντίστοιχα διαγράμματα της πρώτης και δεύτερης στρώσης παρατίθενται στο Παράρτημα.

Γενικά παρατηρείται μεγάλη διασπορά στις τιμές της πυκνότητας που επιτυγχάνεται από την πλάκα διάστρωσης του finisher στην 1^η ειδική (σχήματα 5.5 και 5.6). Η δεύτερη ειδική διατομή παρουσιάζει γενικά μικρότερες διασπορές πυκνότητας τόσο στο τέλος της διάστρωσης όσο και σε όλες τις φάσεις της συμπύκνωσης σε σύγκριση με την πρώτη ειδική διατομή (σχήματα 5.7 και 5.8).

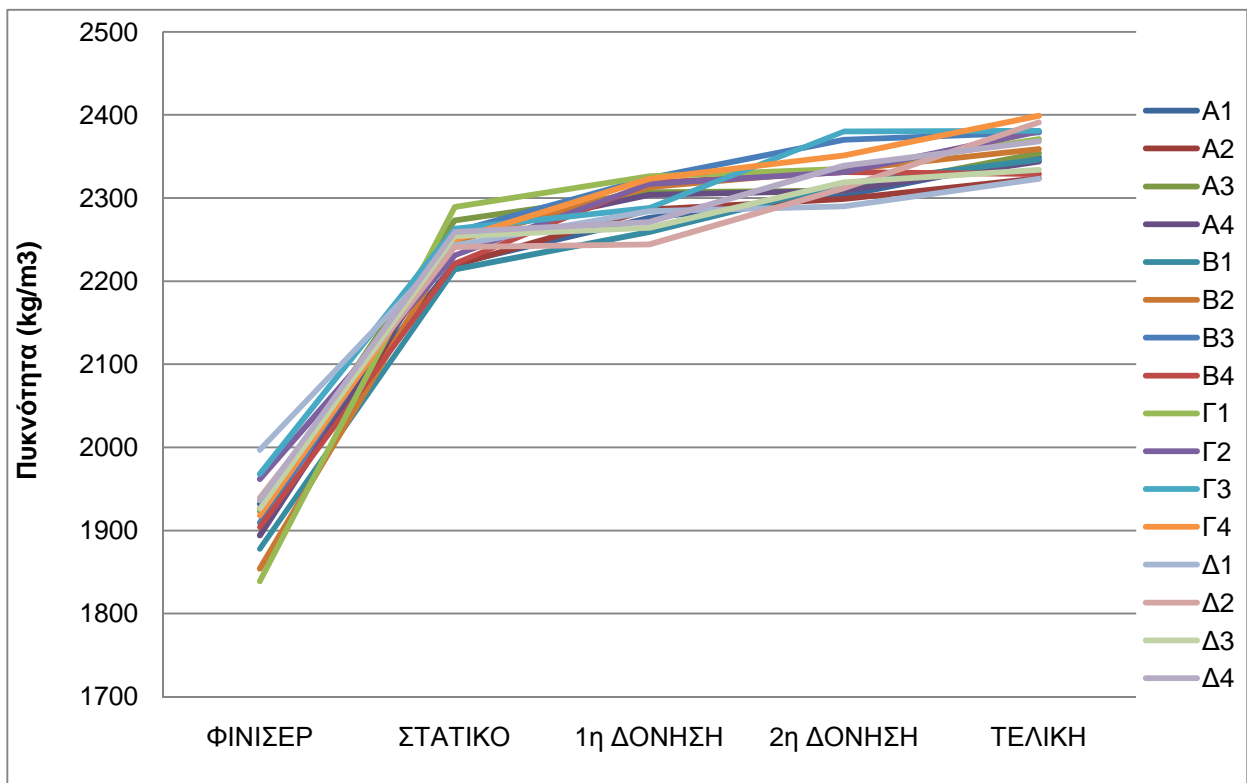
Παρατηρείται ακόμη ότι στην πρώτη φάση της συμπύκνωσης επιτυγχάνεται μεγαλύτερη συμπύκνωση (μεγάλη κλίση καμπύλης), συγκριτικά με τις επόμενες φάσεις συμπύκνωσης, όπου το αποτέλεσμα είναι σχετικά μικρότερο (μικρή κλίση καμπύλης).



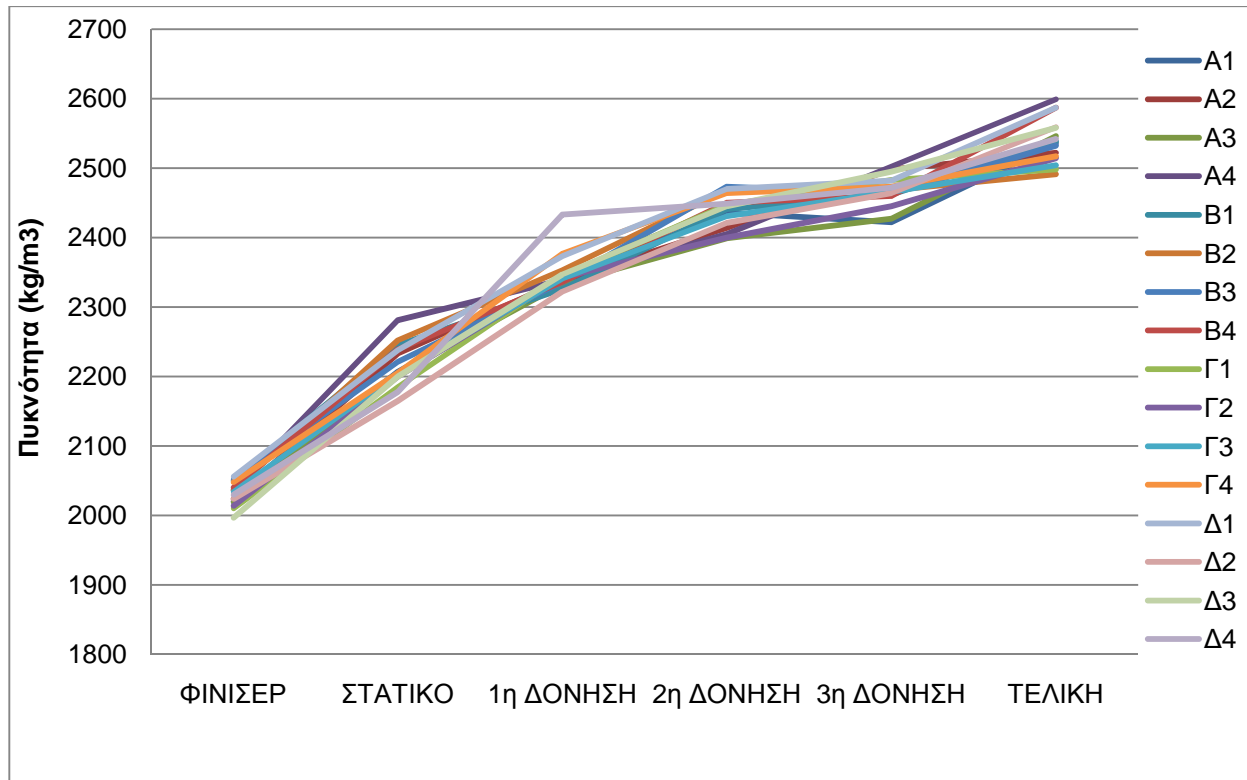
Σχήμα 5.5 Εξέλιξη της συμπύκνωσης ανά φάση (3^η στρώση A265B - 1η ειδική διατομή)



Σχήμα 5.6 Εξέλιξη της συμπίκνωσης ανά φάση (αντιολισθηρή στρώση - 1η ειδική διατομή)

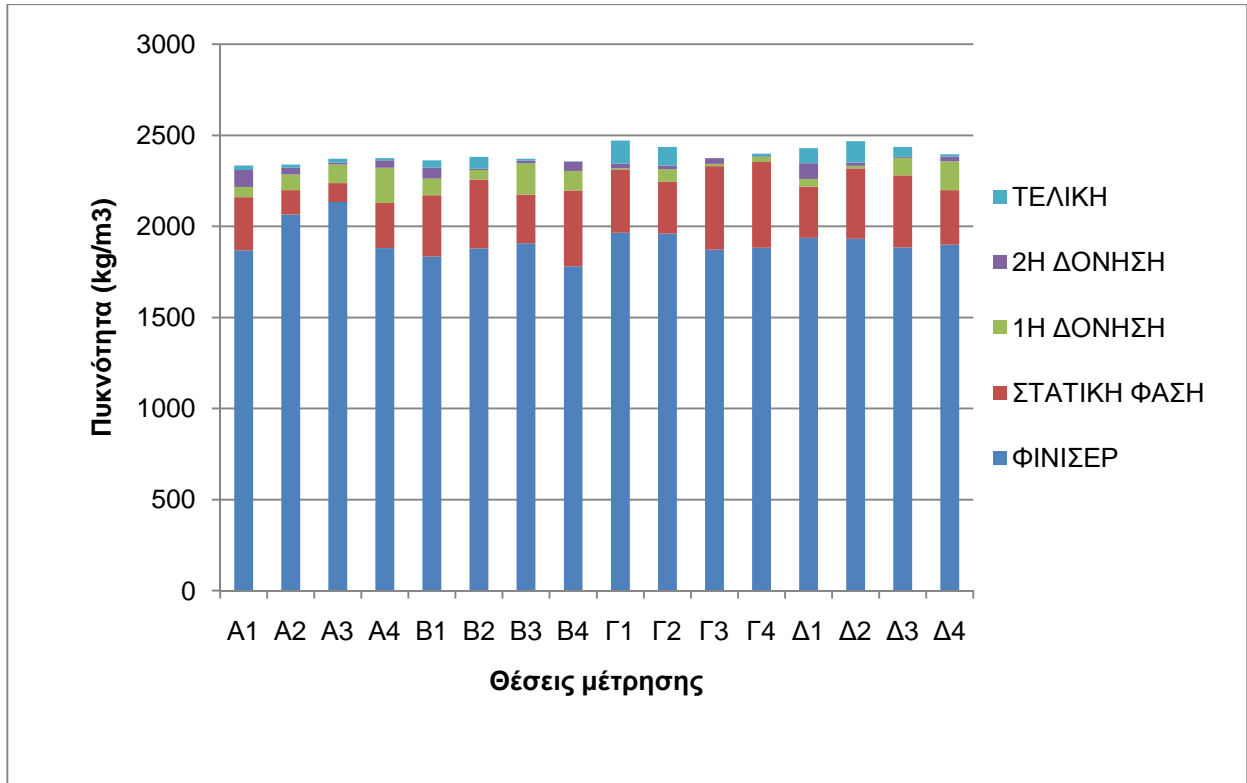


Σχήμα 5.7 Εξέλιξη της συμπίκνωσης ανά φάση (3η στρώση A265B - 2η ειδική διατομή)

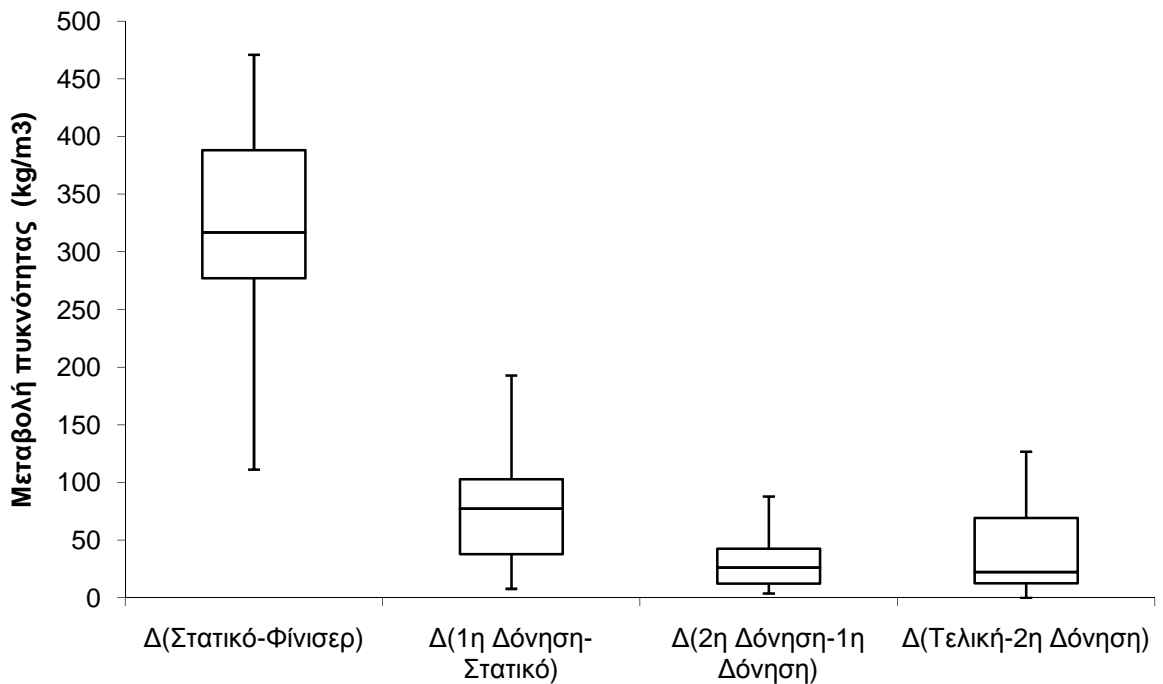


Σχήμα 5.8 Εξέλιξη της συμπίκνωσης ανά φάση (αντιολισθηρή στρώση - 2η ειδική διατομή)

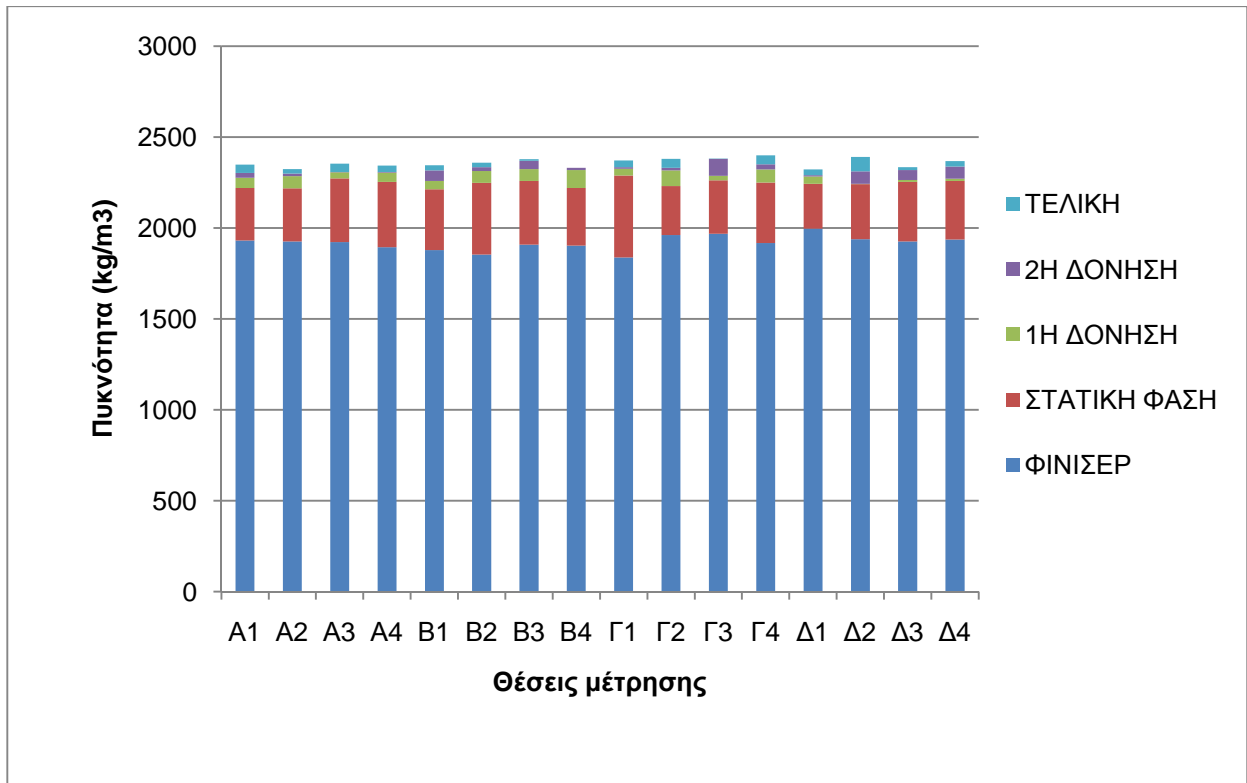
Από τα παραπάνω διαγράμματα κρίθηκε σκόπιμη η περαιτέρω διερεύνηση της μεταβολής της πυκνότητας κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν διαγράμματα, όπου απεικονίζεται η αρχική πυκνότητα που επιτυγχάνεται από το finisher και η συνεισφορά των ενδιάμεσων φάσεων συμπίκνωσης στην τελική πυκνότητα. Επίσης, δημιουργήθηκαν τα θηκογράμματα των μεταβολών της πυκνότητας ανά φάση για κάθε ειδική διατομή (1^η και 2^η) και κάθε τύπο μίγματος (A265B ισοπεδωτική και αντιολισθηρή στρώση).



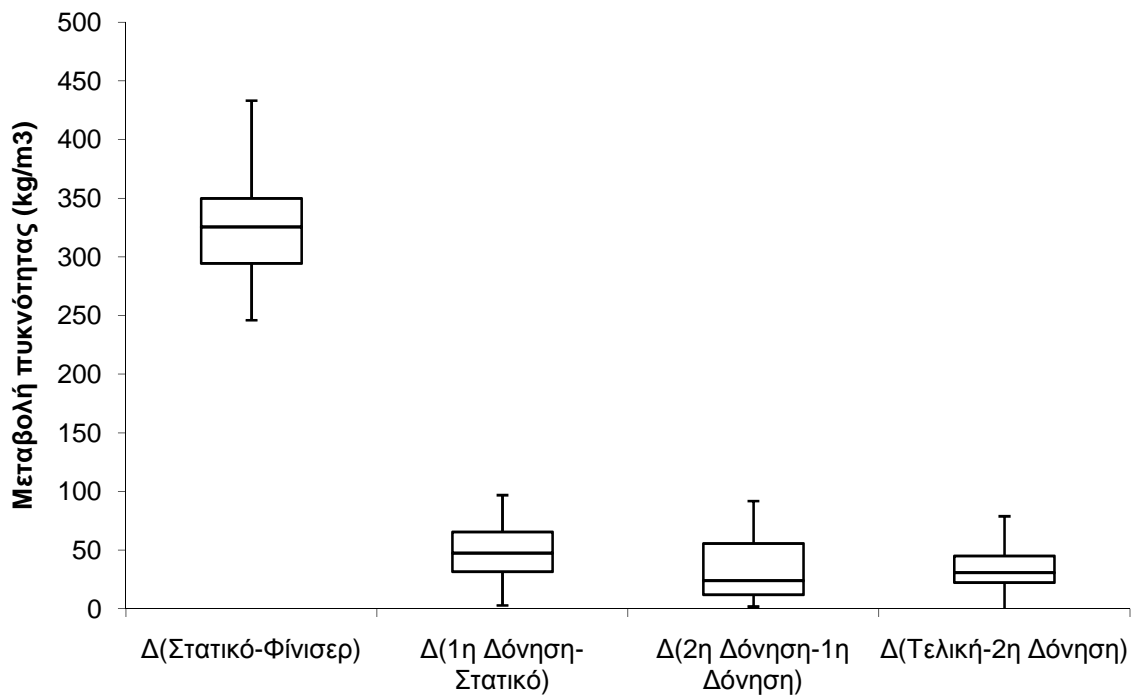
Σχήμα 5.9 Πυκνότητα ανά φάση συμπίκνωσης(3η στρώση - 1η ειδική διατομή)



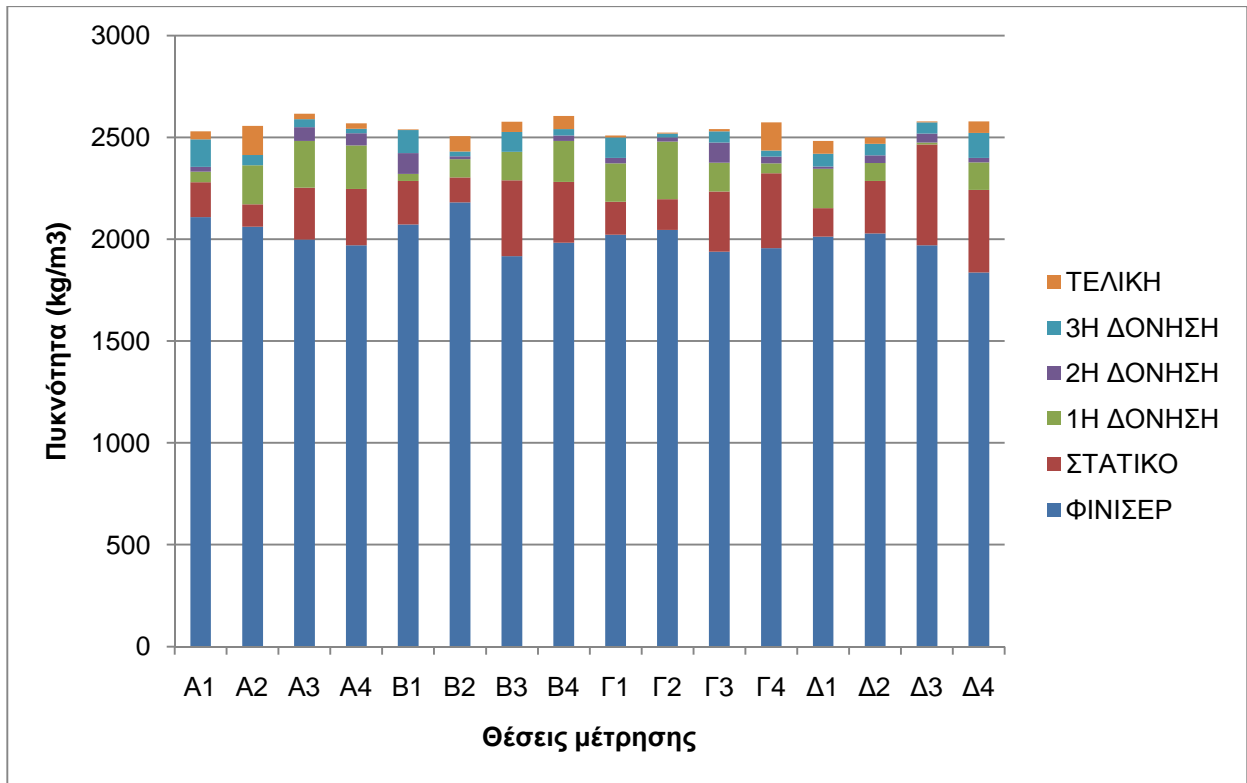
Σχήμα 5.10 Μεταβολή της πυκνότητας ανά φάση συμπίκνωσης (3η στρώση - 1η ειδική διατομή)



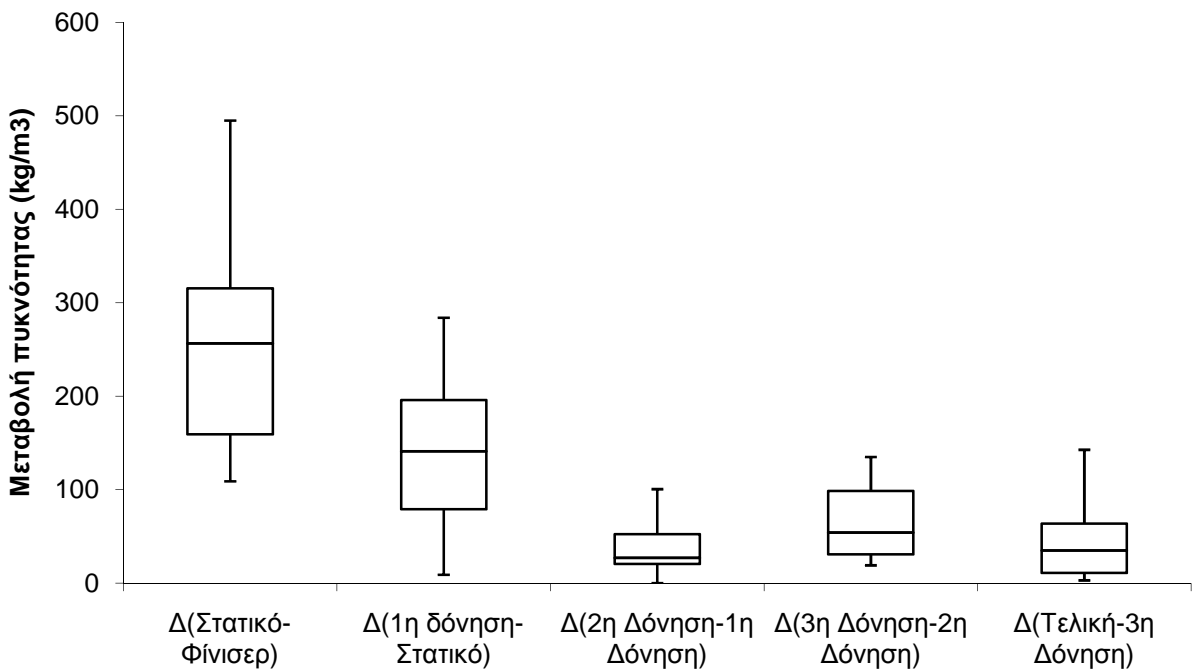
Σχήμα 5.11 Πυκνότητα των πυρήνων ανά φάση συμπίκνωσης(3η στρώση - 2η ειδική διατομή)



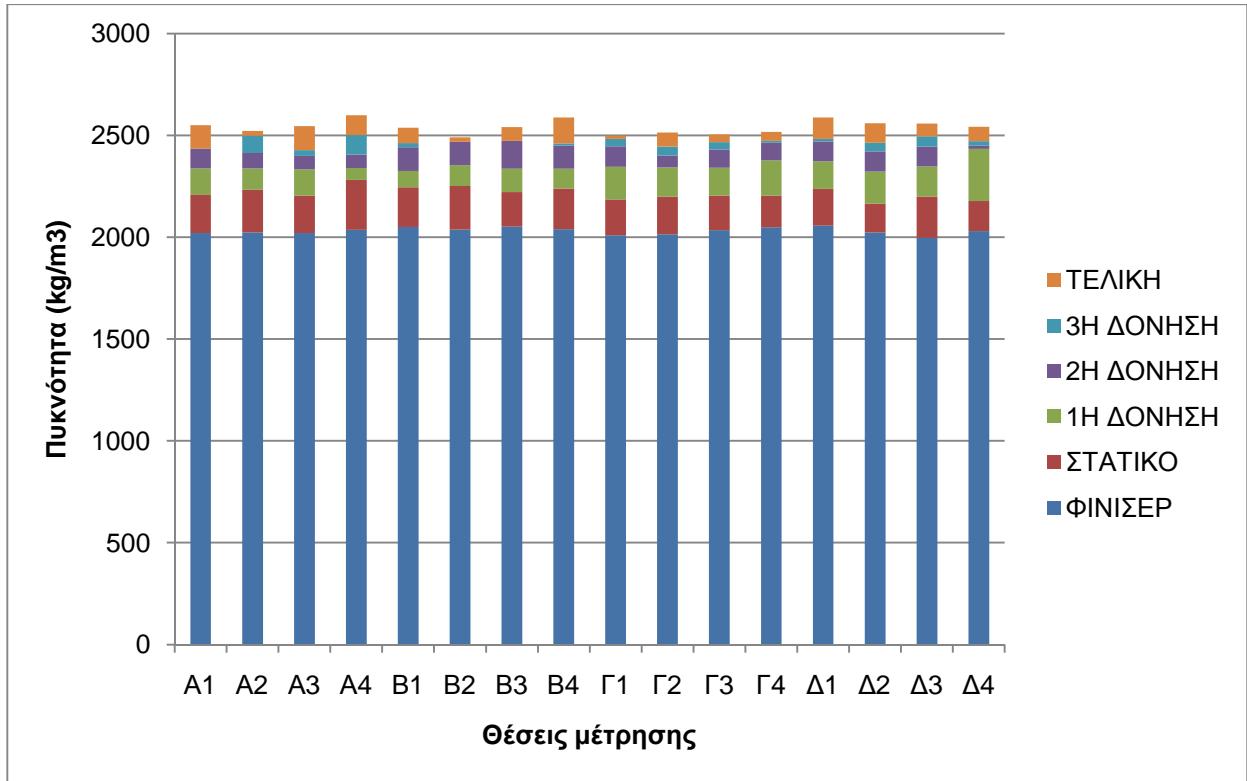
Σχήμα 5.12 Μεταβολή της πυκνότητας ανά φάση συμπίκνωσης (3η στρώση - 2η ειδική διατομή)



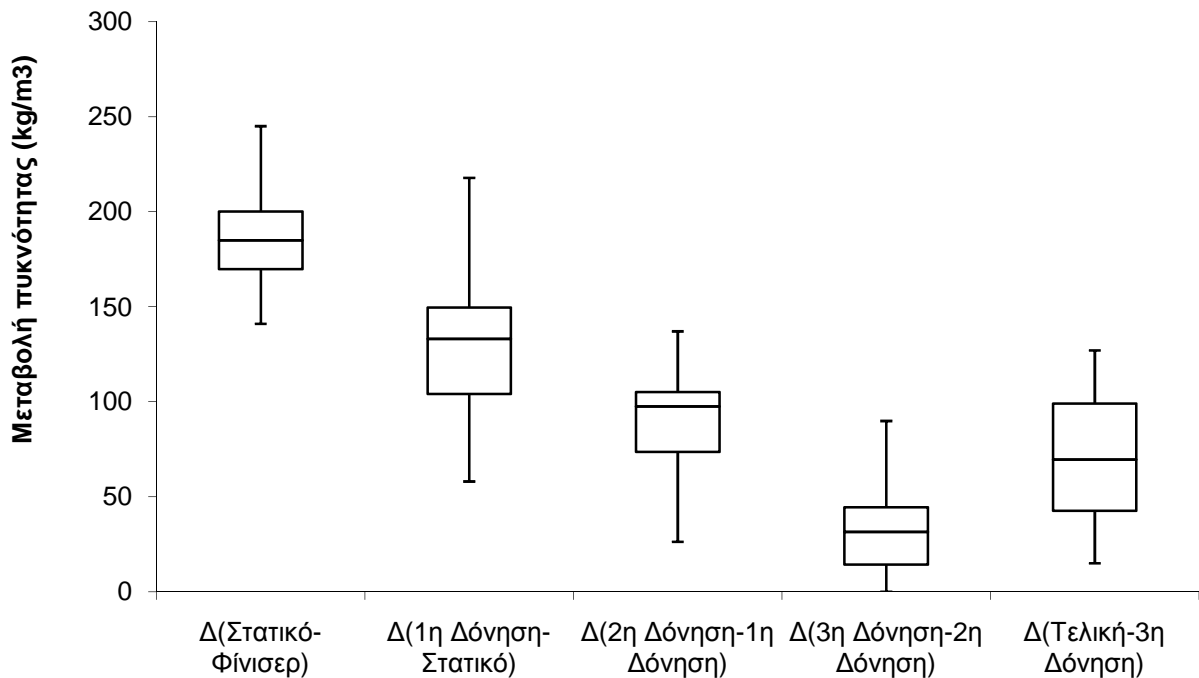
Σχήμα 5.13 Πυκνότητα των πυρήνων ανά φάση συμπίκνωσης (αντιολισθηρή στρώση - 1η ειδική διατομή)



Σχήμα 5.14 Μεταβολή της πυκνότητας ανά φάση συμπίκνωσης (αντιολισθηρή στρώση - 1η ειδική διατομή)



Σχήμα 5.15 Πυκνότητα των πυρήνων ανά φάση συμπίκνωσης (αντιολισθηρή στρώση - 2^η ειδική διατομή)



Σχήμα 5.16 Μεταβολή της πυκνότητας ανά φάση συμπίκνωσης (αντιολισθηρή στρώση - 2^η ειδική διατομή)

Από τα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος της συμπύκνωσης επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια της διάστρωσης από το finisher και από την αρχική συμπύκνωση με τον στατικό οδοστρωτήρα. Η μεταβολή της πυκνότητας μειώνεται σημαντικά στις τελευταίες φάσεις συμπύκνωσης, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι στην πρώτη φάση συμπύκνωσης επιτυγχάνεται μεγαλύτερη συμπύκνωση σε σχέση με τις υπόλοιπες φάσεις και για τους δύο τύπους μιγμάτων, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω.

Επίσης, παρατηρώντας τα θηκογράμματα γίνεται φανερό ότι η τιμή της διαμέσου της πυκνότητας συνεχώς μειώνεται με την ολοκλήρωση κάθε φάσης συμπύκνωσης. Αυτό ενισχύει τον πιο πάνω ισχυρισμό της συνεχώς μειούμενης μεταβολής πυκνότητας ανά φάση συμπύκνωσης και για τους δύο τύπους μιγμάτων. Ακόμη, η διάμεσος του τελευταίου θηκογράμματος (ΤΕΛΙΚΗ – 3^η ΔΟΝΗΣΗ) στα διαγράμματα της 2^{ης} ειδικής διατομής, εμφανίζεται να έχει μεγαλύτερη τιμή από εκείνη της προηγούμενης φάσης συμπύκνωσης, γεγονός το οποίο πιθανότατα οφείλεται στη τελική λειτουργία συμπύκνωσης, η οποία όπως αναφέρθηκε δεν ελήφθη υπόψη στις αναλύσεις, καθώς πραγματοποιείται για διόρθωση της επιφάνειας και θεωρήθηκε ότι η επιθυμητή συμπύκνωση είχε ήδη επιτευχθεί. Τέλος, η συνεχής αυτή μείωση της μεταβολής της πυκνότητας αυξανόμενων των περασμάτων, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αντίσταση του ασφαλτομίγματος στη συμπύκνωση, αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου κατά τις φάσεις της συμπύκνωσης.

Για την επαλήθευση των μετρήσεων συμπύκνωσης με τη συσκευή troxler, έγινε εξαγωγή πυρήνων από τις ειδικές διατομές όπως επίσης και από σημεία ελέγχου κατά μήκος της αρτηρίας για τον υπολογισμό του ποσοστού των κενών των συμπυκνωμένων στρώσεων (3^{ης} ισοπεδωτικής και αντιολισθηρής στρώσης), τα αποτελέσματα των οποίων παρατίθενται στους πίνακες 5.15 και 5.16. Οι πίνακες με τα στοιχεία των πυρήνων της 1^{ης} και 2^{ης} στρώσης παρατίθενται στο Παράρτημα. Στους πίνακες αυτούς φαίνεται το ακριβές σημείο από το οποίο έγινε πυρηνοληψία καθώς και η μεθοδολογία υπολογισμού της πυκνότητας των πυρήνων και συνεπώς και του ποσοστού των κενών.

Πίνακας 5.15 Υπολογισμός του ποσοστού των κενών των πυρήνων της 3ης στρώσης A265B

Θέση πυρήνα	W Στον αέρα (g)	W ₁ (g) ASTM D 2726	W _{ssd} Στον αέρα (g) Κ.Ε.Ξ.	V (cm ³) ASTM D 2726	Πυκνότητα (kg/m ³)	G _{mm} (kg/m ³)	Κενά %
A1 1η Ειδική	834.9	485.1	836.3	351.2	2377	2506	5.14
A2 1η Ειδική	760.1	444.1	761.8	317.7	2392	2506	4.53
Δ1 1η Ειδική	746.4	433.3	747.9	314.6	2372	2506	5.33
Δ3 1η Ειδική	754.2	439.2	755.5	316.3	2384	2506	4.85
B4 1η Ειδική	761.1	443.3	762.5	319.2	2384	2506	4.85
Γ4 1η Ειδική	735.1	429.4	736.1	306.7	2397	2506	4.36
Γ1 2η Ειδική	717.1	420.9	717.5	296.6	2418	2506	3.52
B2 2η Ειδική	719.4	420.8	720.3	299.5	2402	2506	4.15
Δ2 2η Ειδική	650.1	379.2	651.4	272.2	2388	2506	4.70
Γ3 2η Ειδική	721.6	422.8	722.1	299.3	2411	2506	3.79
Δ4 2η Ειδική	705.0	412.2	706.1	293.9	2399	2506	4.28
A4 2η Ειδική	807.6	470.3	808.6	338.3	2387	2506	4.74

Πίνακας 5.16 Υπολογισμός του ποσοστού των κενών των πυρήνων της αντιολισθηρής στρώσης

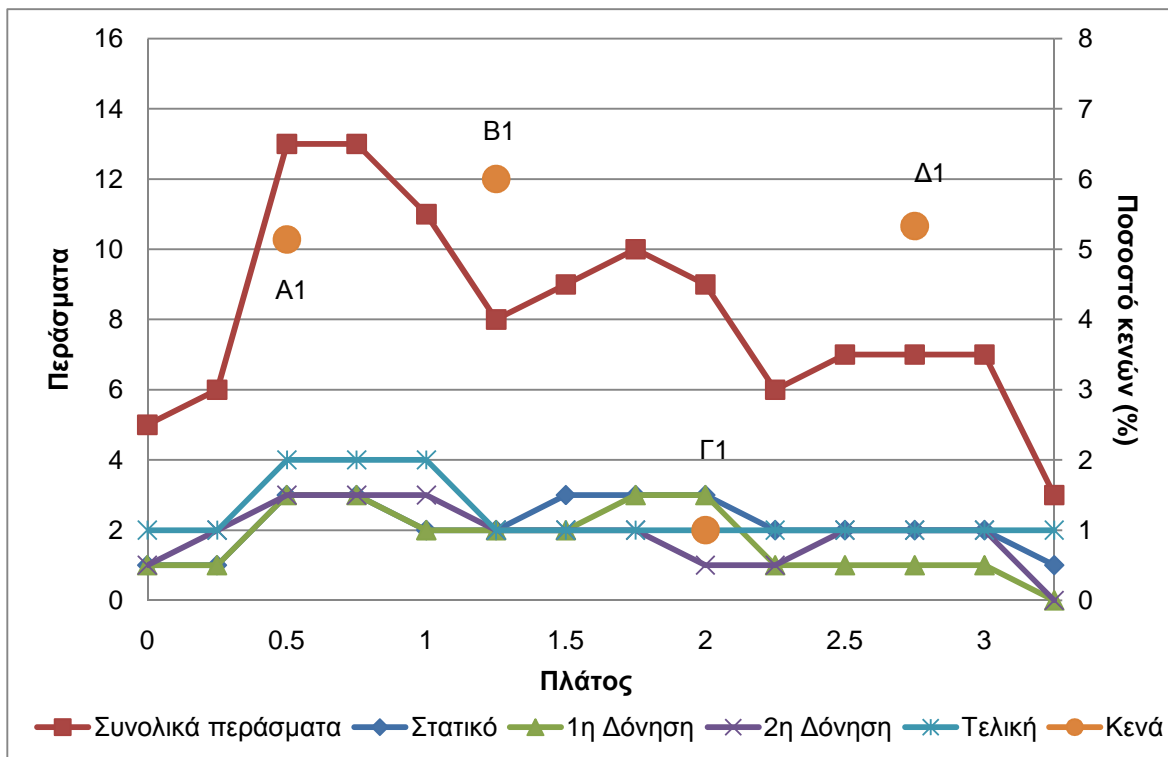
Θέση πυρήνα	H (cm)	D (cm)	A (cm ²)	W (g)	V (cm ³)	Πυκνότητα (kg/m ³)	G _{mm} (kg/m ³)	Κενά %
A1 1η Ειδική	4.10	9.36	68.77	696.7	281.97	2471	2951	16.27
A2 1η Ειδική	4.21	9.4	69.36	725.4	292.02	2484	2951	15.82
Δ1 1η Ειδική	4.18	9.45	70.10	717.4	293.03	2448	2951	17.04
Δ3 1η Ειδική	4.00	9.42	69.66	691.8	278.63	2483	2951	15.86
B4 1η Ειδική	4.00	9.4	69.36	695	277.45	2505	2951	15.12
Γ4 1η Ειδική	4.10	9.4	69.36	701.9	284.39	2468	2951	16.36
Γ1 2η Ειδική	4.19	9.43	69.81	723.4	292.49	2473	2951	16.19
B2 2η Ειδική	4.02	9.44	69.95	696	281.22	2475	2951	16.13
Δ2 2η Ειδική	4.37	9.46	70.25	756.9	307.00	2466	2951	16.45
Γ3 2η Ειδική	4.18	9.45	70.10	719.9	293.03	2457	2951	16.75
Δ4 2η Ειδική	4.05	9.43	69.81	697.1	282.71	2466	2951	16.44
A4 2η Ειδική	3.85	9.38	69.07	658.8	265.91	2478	2951	16.04

Πίνακας 5.17 Χαρακτηριστικά ασφαλτομίγματος A265B Ισοπεδωτικής & Αντιολισθηρής

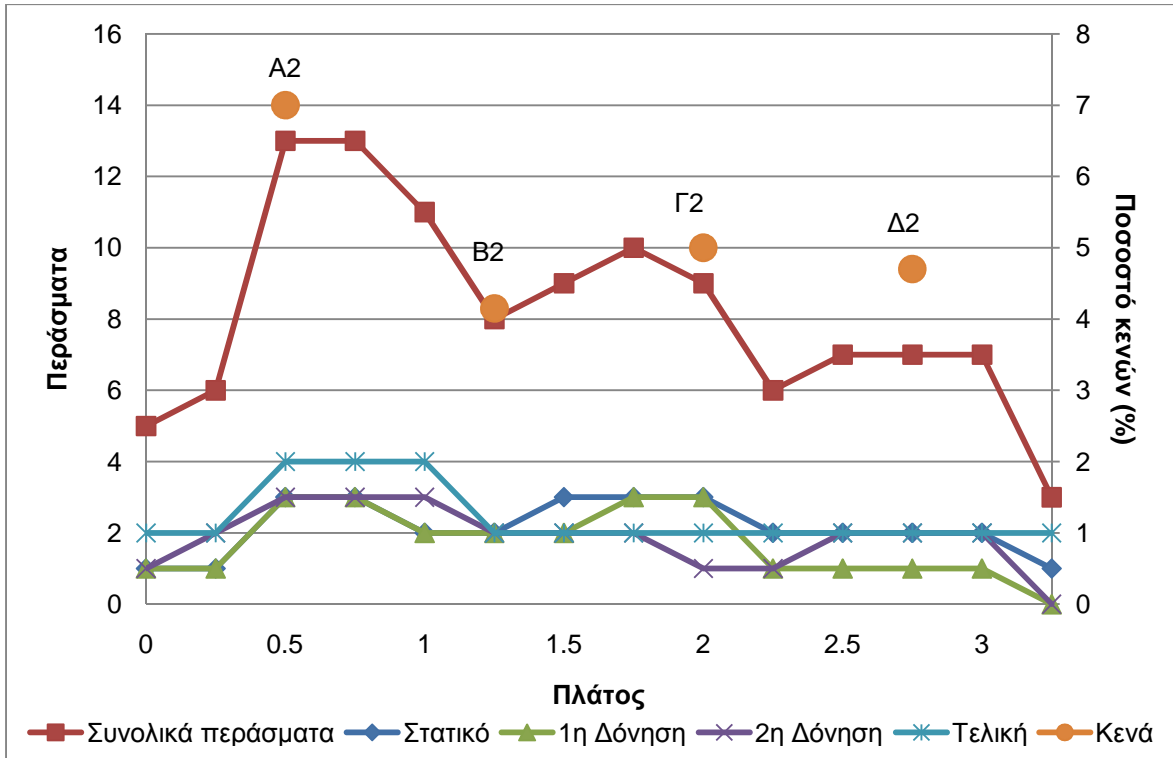
	A265B			Αντιολισθηρά		
	Σύνθεση	Δείγμα	Μέτρηση troxler	Σύνθεση	Δείγμα	Μέτρηση troxler
Φ.Ε.Β	2405	2401	2385	2605	2584	2490
ΡΑΥ	4.5	4.3	4.8	11.5	12.4	15.6
Συμπύκνωση %	100	100	99.3	100	100	96.4

Στο ασφαλτόμιγμα της ισοπεδωτικής στρώσης, τα αποτελέσματα των δοκιμών, που προέκυψαν στο εργαστήριο (φαινόμενο ειδικό βάρος), δεν διαφοροποιούνται από τα αντίστοιχα της μελέτης σύνθεσης και της μέτρησης troxler (Πίνακας 5.17). Στην αντιολισθηρή στρώση τα αποτελέσματα των δοκιμών στο εργαστήριο δεν διέφεραν σημαντικά από εκείνα της μελέτης σύνθεσης, ενώ στη διάστρωση τα χαρακτηριστικά αυτά διαφοροποιήθηκαν ως προς τα άνω όρια των προδιαγραφών του έργου (Πίνακας 5.17), γεγονός που δείχνει την σημασία των παραμέτρων που υπεισέρχονται στην διαδικασία διάστρωσης – συμπύκνωσης (καθυστερήσεις) και στην ιδιαιτερότητα των μιγμάτων που περιέχουν τροποποιημένη άσφαλο.

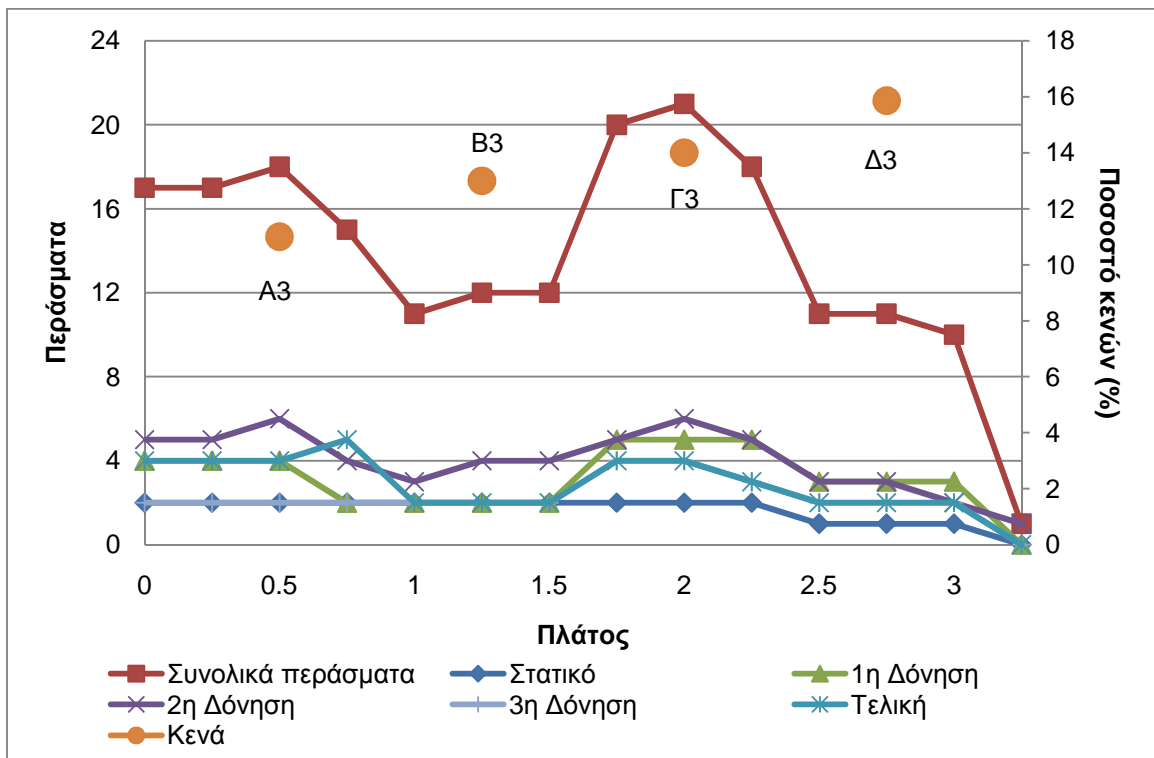
Σύμφωνα με τις μετρήσεις συμπύκνωσης και την καταγραφή των διελεύσεων από προηγούμενες ενότητες, απεικονίστηκαν τα περάσματα του οδοστρωτήρα ανά φάση συμπύκνωσης και τα συνολικά περάσματα κατά πλάτος των ειδικών διατομών καθώς και το ποσοστό των κενών στα σημεία ελέγχου της πυκνότητας σε διαγράμματα συναρτήσεως του πλάτους της λωρίδας. Σημειώνεται ότι, το ποσοστό των κενών έχει υπολογιστεί με βάση την πυκνότητα των πυρήνων, όπου ελήφθησαν, και την πυκνότητα της συσκευής troxler στα υπόλοιπα σημεία. Τα σχήματα 5.17 έως 5.20 απεικονίζουν ενδεικτικά τις διελεύσεις των οδοστρωτήρων ανά φάση συμπύκνωσης και το ποσοστό των κενών της συμπυκνωμένης στρώσης σε σημεία των δύο ειδικών διατομών (ισοπεδωτικής και αντιολισθηρής).



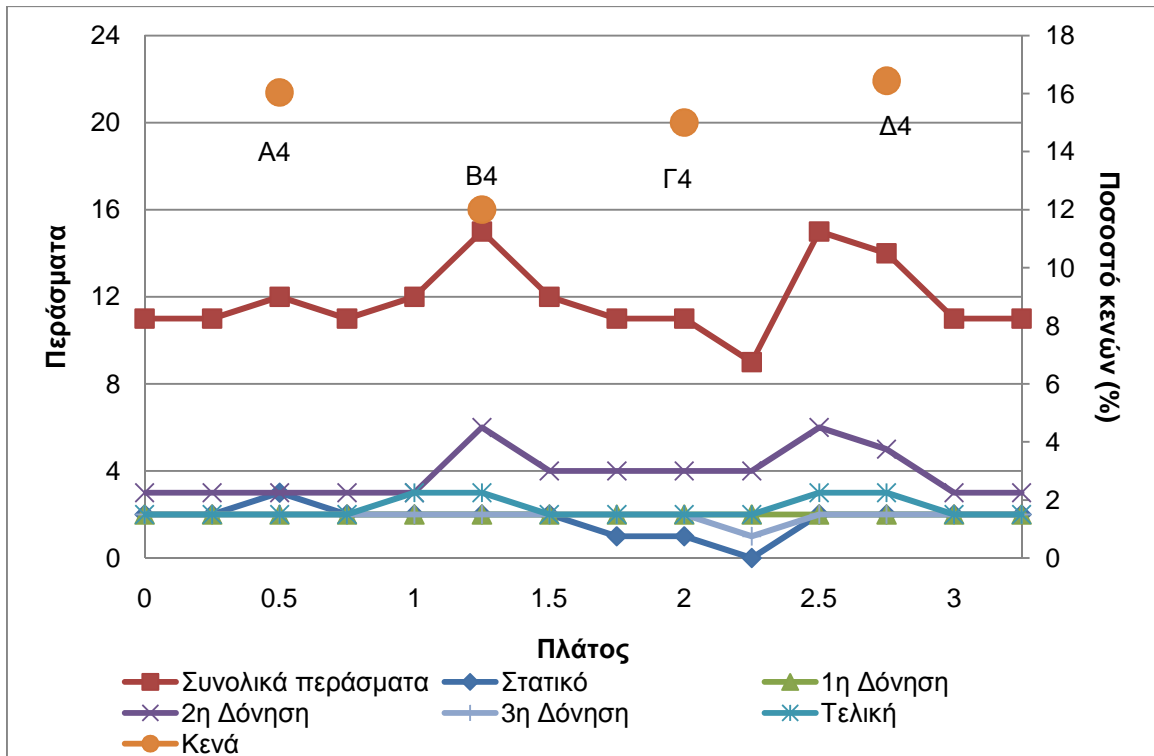
Σχήμα 5.17 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεως του πλάτους, 3ης στρώσης, 1ης ειδικής διατομής 1η σειρά



Σχήμα 5.18 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, 3ης στρώσεσι, 2ης ειδικής διατομής 2η σειρά



Σχήμα 5.19 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, αντιολισθηρής στρώσεσι, 1ης ειδικής διατομής 3η σειρά



Σχήμα 5.20 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσει του πλάτους, αντιολισθηρής στρώσης, 2ης ειδικής διατομής 4η σειρά

Γενικά, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση του ποσοστού των κενών στο συμπυκνωμένο μίγμα με τα συνολικά περάσματα του οδοστρωτήρα, καθόσον αύξηση του συνολικού αριθμού των περασμάτων δεν συνεπάγεται μείωση του ποσοστού των κενών. Συνεπώς, γίνεται περαιτέρω διερεύνηση χρησιμοποιώντας τη διεθνή εμπειρία και πρακτική (παράγραφος 5.3).

5.3 Διερεύνηση της επίδρασης του τυμπάνου

Με βάση τα αποτελέσματα της προηγούμενης ενότητας παρατηρήθηκε ότι, η τελική πυκνότητα του ασφαλτομίγματος είναι συνάρτηση του αριθμού των περασμάτων και της θέσης μέτρησης ως προς το πλάτος του τυμπάνου του οδοστρωτήρα. Ερευνητές (Masad et al, 2008) έχουν δείξει ότι, σημεία που συμπυκνώθηκαν κοντά στο κέντρο του τυμπάνου τείνουν να έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από σημεία που συμπυκνώθηκαν στο άκρο του τυμπάνου, ακόμη και αν τα σημεία αυτά βρίσκονταν στο κέντρο της διάστρωσης, μακριά από την ένωση. Η επιρροή στη συμπύκνωση που έχει η θέση του πυρήνα ως προς το πλάτος του τυμπάνου δηλώνεται με τον συντελεστή επίδρασης (Σ.Ε.). Για την μαθηματική έκφραση της αποτελεσματικότητας της συμπύκνωσης των άκρων, έχει προταθεί η παρακάτω γραμμική σχέση:

$$\Sigma. E. = \begin{cases} a + \frac{(1-a)}{L_m} * L & \rightarrow L < L_m \\ 1 & \rightarrow L > L_m \end{cases} \quad (5.1)$$

όπου: L = η απόσταση του σημείου μέτρησης της συμπύκνωσης από το άκρο του τυμπάνου

L_m =η απόσταση από το άκρο του τυμπάνου από την οποία και πέρα η αποτελεσματικότητα συμπύκνωσης είναι 1 (100%).

a =η αποτελεσματικότητα συμπύκνωσης στο άκρο του τυμπάνου

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι ο Σ.Ε. 0, που χρησιμοποιείται παρακάτω αφορά σε επιρροή 100% σε όλο το πλάτος του τυμπάνου. Το άθροισμα των γινομένων των περασμάτων του τυμπάνου του οδοστρωτήρα πάνω από ένα σημείο επί τον αντίστοιχο συντελεστή επίδρασης για κάθε πέρασμα, ορίζεται ως ισοδύναμο πέρασμα (CI).

Στο πλαίσιο της παρούσας διερεύνησης, σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία και πρακτική χρησιμοποιούνται οι παρακάτω Σ.Ε. (Σχήμα 5.21).

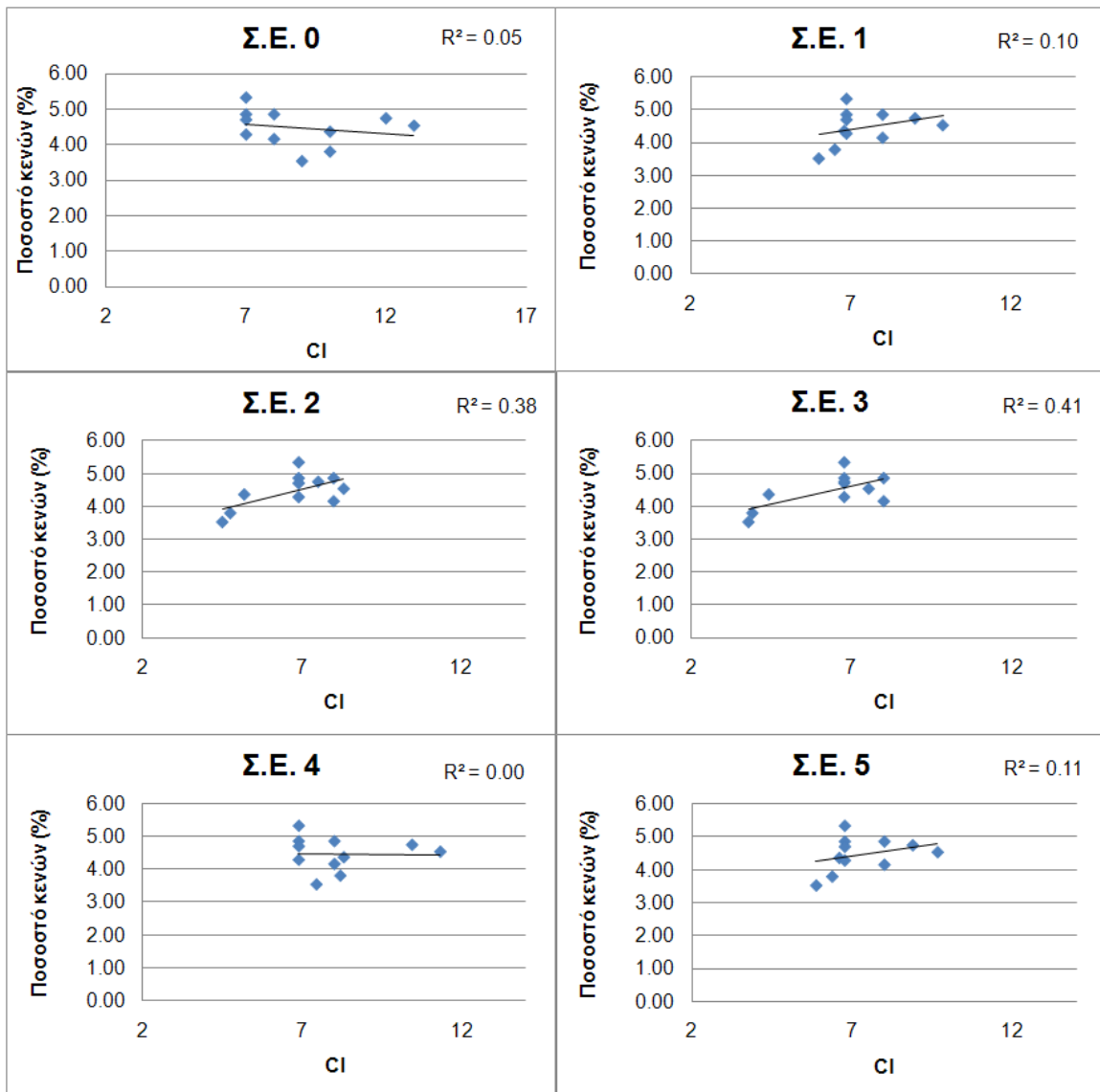


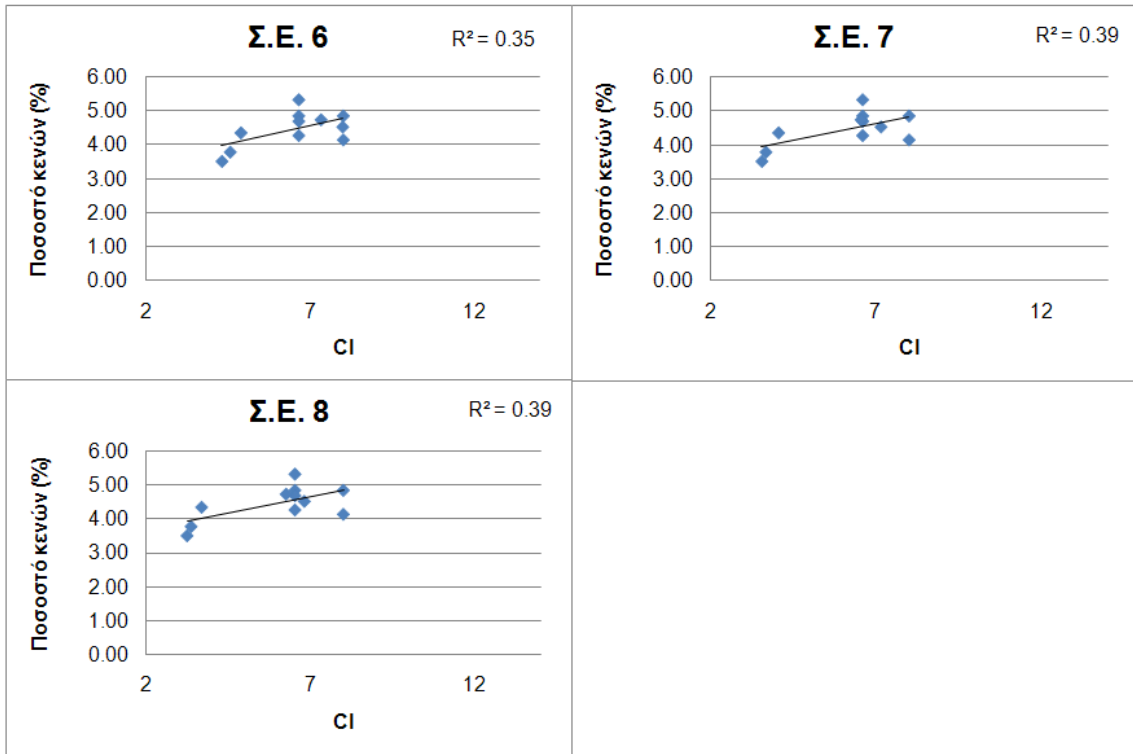
Σχήμα 5.21 Συντελεστές επιρροής κατά μήκος του τυμπάνου (Masad et al, 2008)

Βάσει των στοιχείων που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης (αριθμός διελεύσεων πάνω από κάθε θέση μέτρησης και απόσταση της από το άκρο του τυμπάνου), υπολογίστηκε ο συντελεστής επίδρασης για κάθε πέρασμα και πολλαπλασιαζόμενος με το αντίστοιχο πέρασμα προέκυψε το ισοδύναμό του πέρασμα. Από το άθροισμα των επιμέρους ισοδυνάμων περασμάτων υπολογίστηκε ο δείκτης CI. Χρησιμοποιώντας τους 9 παραπάνω διαφορετικούς συντελεστές επιρροής υπολογίστηκαν 9 διαφορετικοί δείκτες CI.

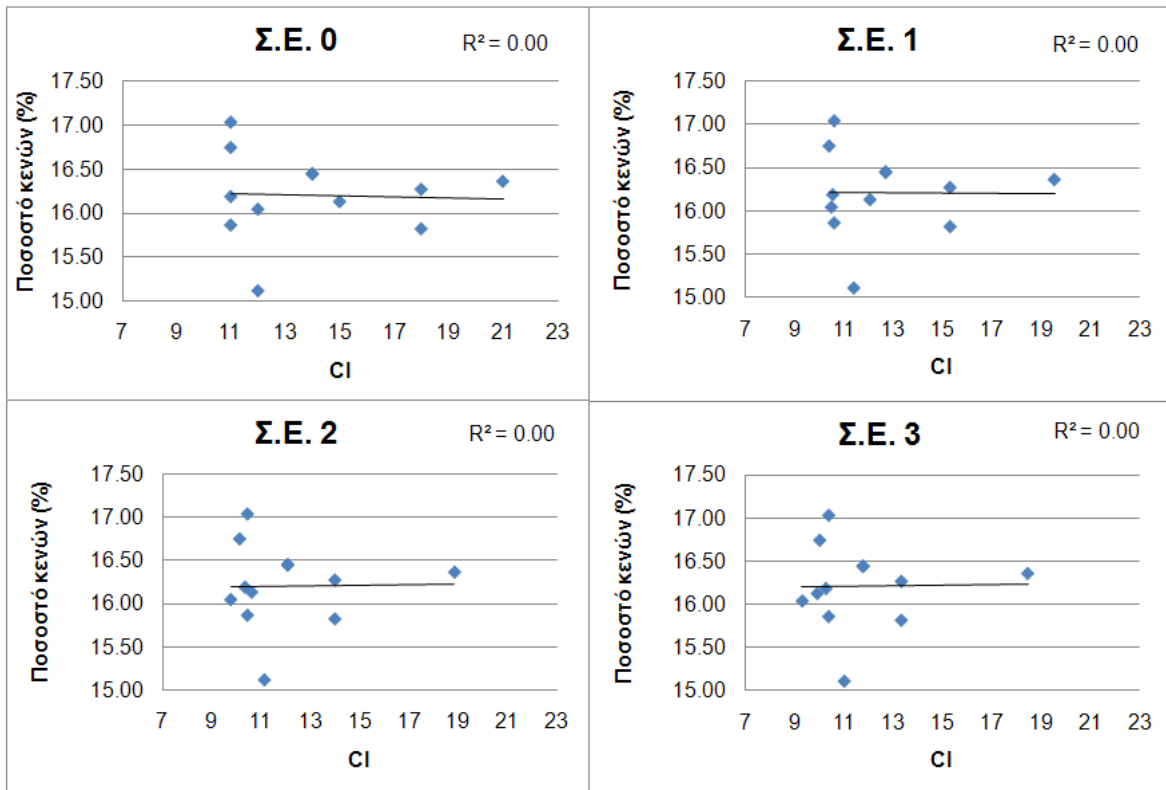
Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ποσοστό των κενών που επιτυγχάνεται στο πεδίο είναι αντιστρόφως ανάλογο του αριθμού των διελεύσεων, κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα ποσοστού κενών συναρτήσεως των ολικών διελεύσεων ή των υπολογιζόμενων ισοδυνάμων διελεύσεων και για τις δύο ειδικές διατομές μαζί.

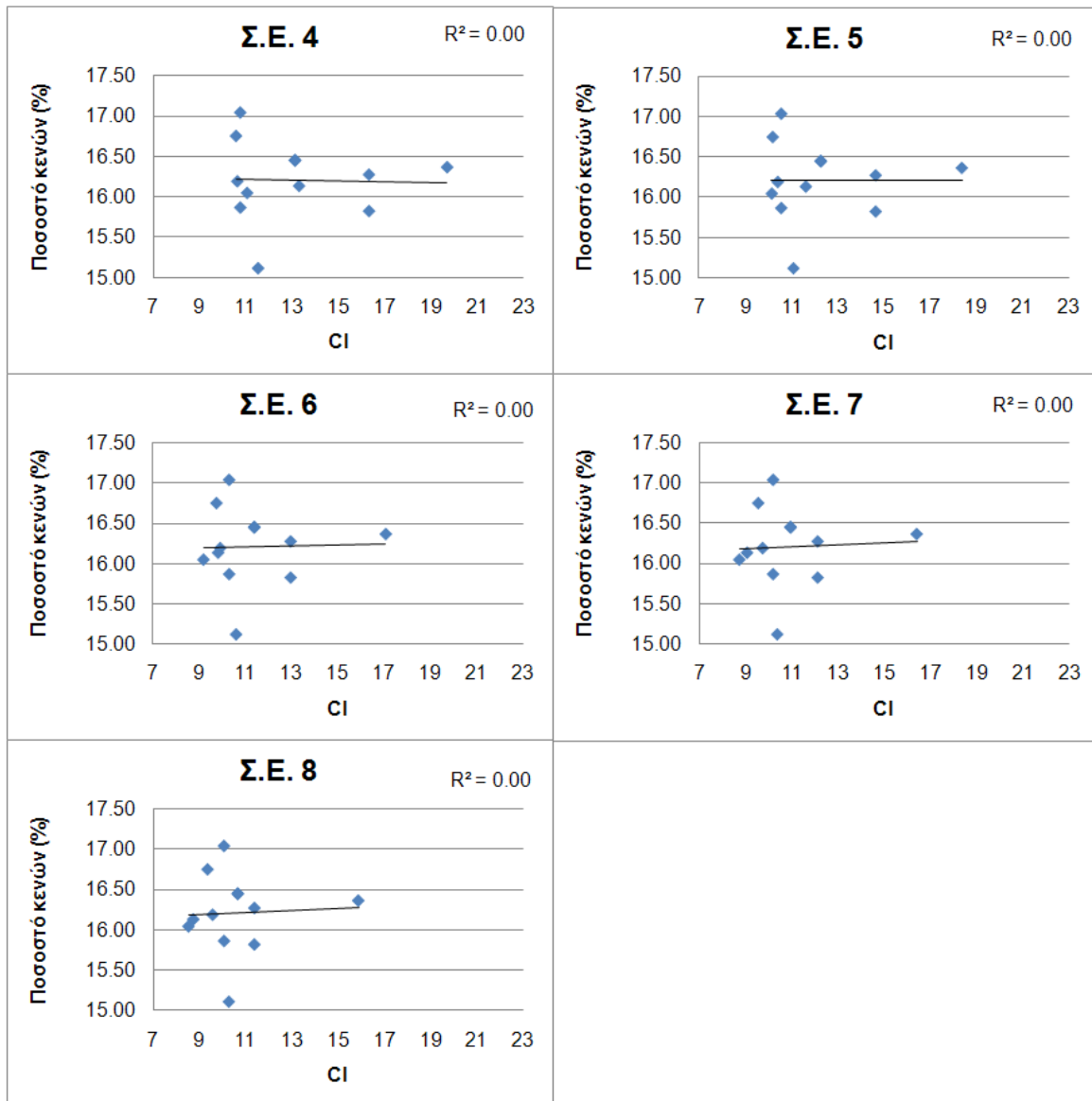
Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία συμπύκνωσης που υπολογίστηκαν από τους πυρήνες του ασφαλτομίγματος A265B (Σχήμα 5.22) και της αντιολισθηρής στρώσης (Σχήμα 5.23).





Σχήμα 5.22 Ποσοστό κενών πυρήνων συναρτήσει ισοδύναμων περασμάτων (Σημεία ειδικών διατομών 3^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης)



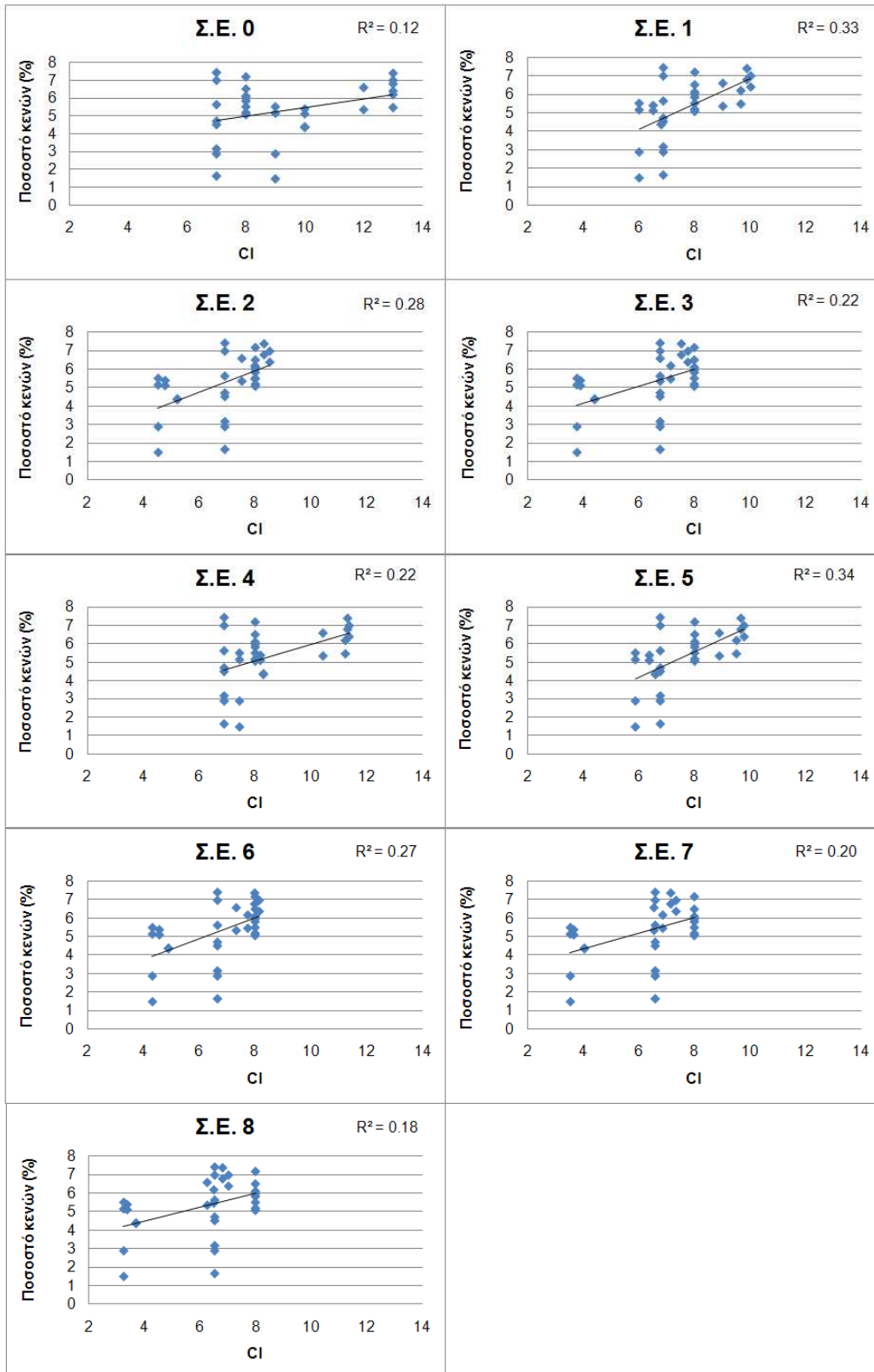


Σχήμα 5.23 Ποσοστό κενών πυρήνων συναρτήσεϊ ισοδύναμων περασμάτων (Σημεία ειδικών διατομών αντιολισθηρής στρώσης)

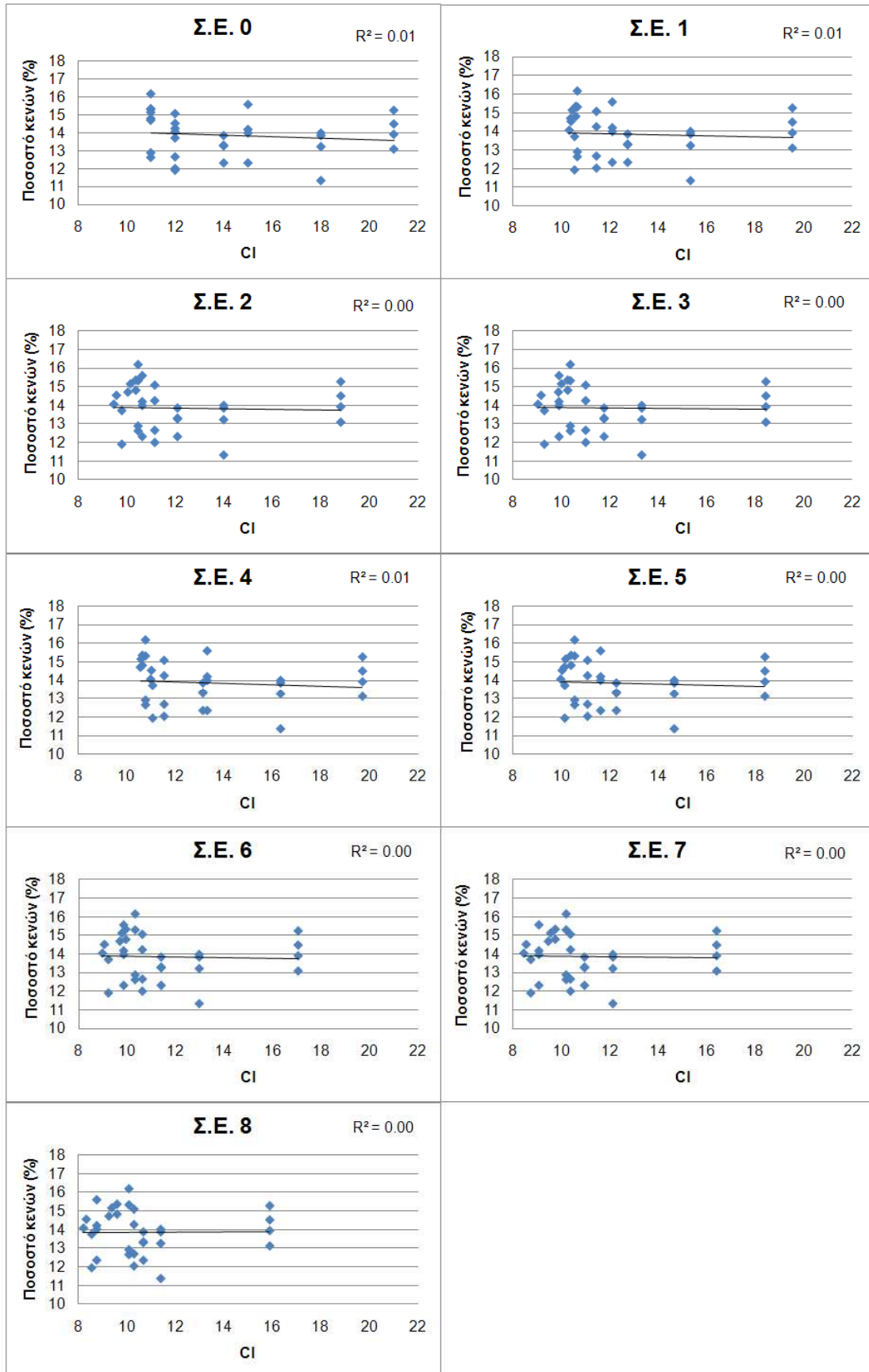
Από τα σχήματα 5.22 και 5.23 διαπιστώθηκε ότι, ακόμη και εκείνα τα οποία είχαν σχετικά καλούς συντελεστές συσχετισμού, η κλίση των ευθειών για το ασφαλτόμιγμα A265B ήταν θετική, το οποίο δεν είναι σωστό διότι δείχνει ότι αυξανόμενων των ισοδύναμων περασμάτων αυξάνονται τα κενά και μηδενική ή ελαφρά θετική στην αντιολισθηρά στρώση. Ακόμη, στα διαγράμματα που αντιστοιχούν στους πυρήνες της αντιολισθηρής στρώσης η κλίση των ευθειών είναι περίπου οριζόντια, το οποίο δηλώνει μηδενική συσχέτιση του ποσοστού κενών με τα περάσματα.

Σε δεύτερο στάδιο ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα στοιχεία συμπίκνωσης που μετρήθηκαν με τη συσκευή troxler. Όπως φαίνεται από τα σχήματα 5.24

και 5.25, η κλίση των ευθειών παρέμεινε θετική και οι συντελεστές συσχέτισμού σε χαμηλές τιμές.



Σχήμα 5.24 Ποσοστό κενών μετρήσεων trochler συναρτήσεϊ ισοδύναμων περασμάτων (Σημεία ειδικών διατομών 3^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης)



Σχήμα 5.25 Ποσοστό κενών μετρήσεων τροχlear συναρτήσει ισοδύναμων περασμάτων (Σημεία ειδικών διατομών αντιολισθηρής στρώσης)

Στην προσπάθεια εξήγησης των υπόψη αποτελεσμάτων μπορεί κανείς να σημειώσει ότι:

- Η σχέση του ποσοστού των κενών (ή της πυκνότητας) με τις διελεύσεις των οδοστρωτήρων (προσπάθεια / ενέργεια συμπύκνωσης) δεν είναι γραμμική (Kezdi 1969).
- Επίσης η τελική πυκνότητα (ή ποσοστό κενών αέρα) για την ίδια προσπάθεια / ενέργεια συμπύκνωσης εξαρτάται σαφώς από την αρχική πυκνότητα κατά τη διάστρωση του ασφαλτομίγματος. Η πυκνότητα που επιτυγχάνεται από την πλάκα διάστρωσης του finisher έχει αρκετά μεγάλη διασπορά και ως εκ τούτου πιστεύεται ότι η μεταβολή των κενών συσχετίζεται καλύτερα με τα ισοδύναμα περάσματα.
- Επιπλέον θα πρέπει να εξετασθεί η αφαίρεση, κατά τον συσχετισμό, μερικών σημείων τα οποία διαφοροποιούνται σημαντικά από τα υπόλοιπα (outliers).

Με βάση τα παραπάνω για την επίλυση του προβλήματος συσχετισμού με τα ισοδύναμα περάσματα χρησιμοποιήθηκε η εκθετική εξίσωση κατά Kezdi – Huerne, η οποία λαμβάνει επίσης υπόψη της την αρχική πυκνότητα του ασφαλτομίγματος (Huerne 2004). Συγκεκριμένα, η μεταβολή της πυκνότητας $d\gamma$ σε σχέση με τη μεταβολή της επιβαλλόμενης ενέργειας συμπύκνωσης dC , η οποία στην παρούσα διερεύνηση θα μπορούσε να εκφραστεί με τις ισοδύναμες διελεύσεις των οδοστρωτήρων, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{d\gamma}{dC} = \frac{1}{R} (\gamma_{\infty} - \gamma) \quad (5.2)$$

Η ολοκλήρωση της προηγούμενης διαφορικής εξίσωσης δίνει ως αποτέλεσμα την παρακάτω σχέση:

$$\gamma_C = \gamma_{\infty} - (\gamma_{\infty} - \gamma_0) e^{-\frac{C}{R}} \quad (5.3)$$

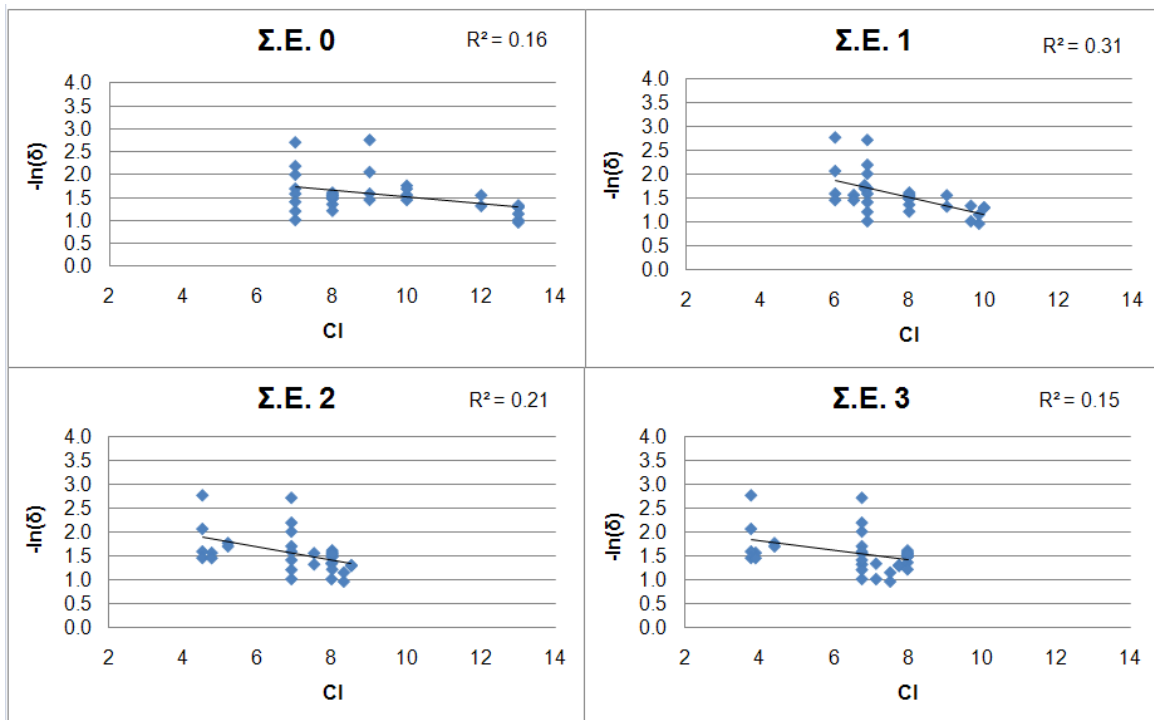
- όπου
- γ_C : η πυκνότητα σε συγκεκριμένο επίπεδο συμπύκνωσης
 - γ_0 : η αρχική πυκνότητα μετά την διάστρωση
 - γ_{∞} : η μέγιστη πυκνότητα που μπορεί να επιτευχθεί
 - C : η επιβαλλόμενη προσπάθεια (ενέργεια) συμπύκνωσης
 - R : η αντίσταση στην συμπύκνωση του ασφαλτομίγματος

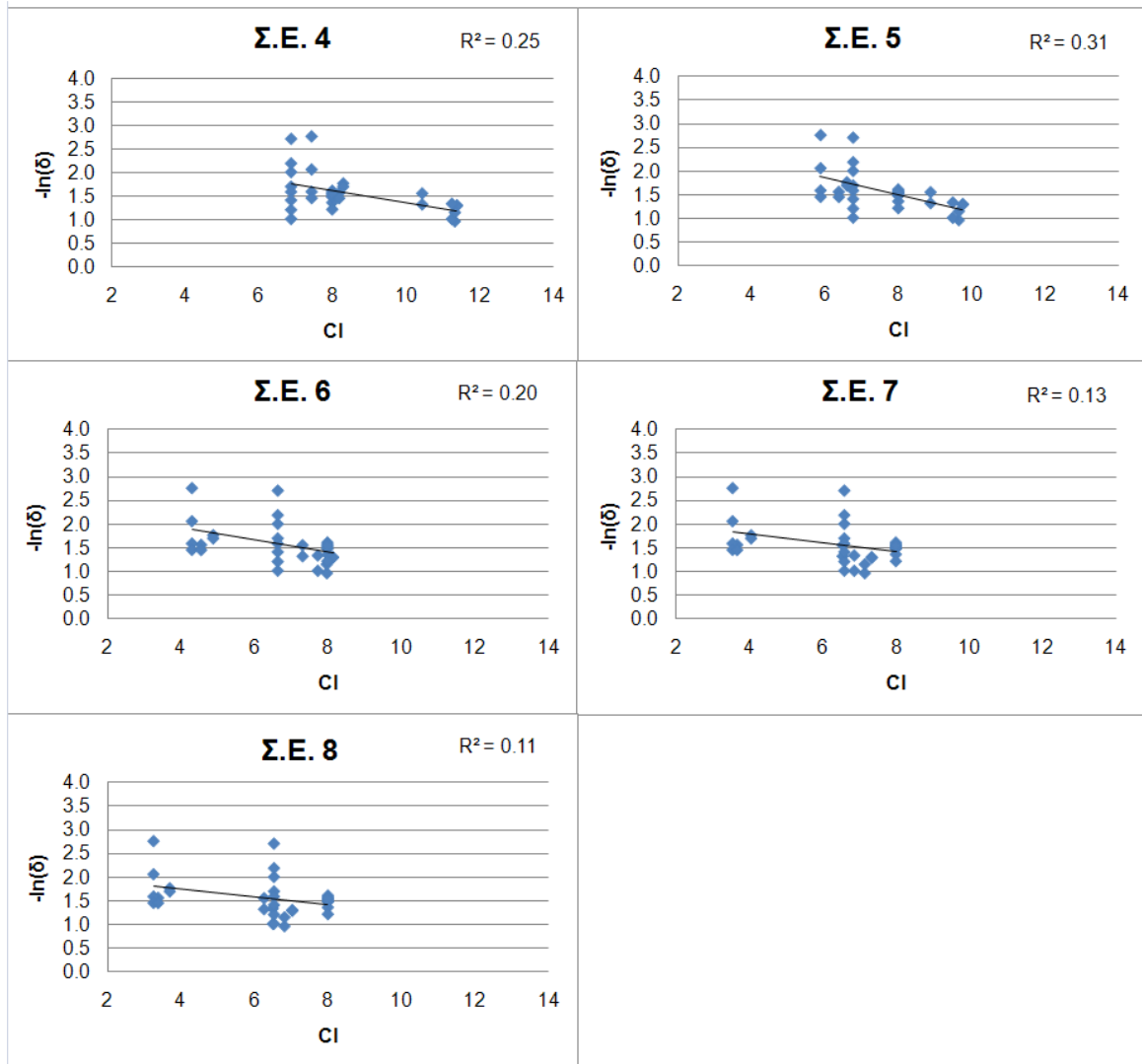
Για την διευκόλυνση του συσχετισμού και της απεικόνισης σε σχετικό διάγραμμα η εξίσωση 5.3 διαμορφώθηκε ως εξής:

$$-\ln \left(\frac{\gamma_{\infty} - \gamma_C}{\gamma_{\infty} - \gamma_0} \right) = \frac{C}{R} \quad (5.4)$$

- όπου:
- γ_0 : η επιτευχθείσα πυκνότητα κατά την φάση της διάστρωσης με finisher,
 - γ_∞ : η θεωρητική μέγιστη πυκνότητα χαλαρού ασφαλτομίγματος (Gmm),
 - γ_c : η τελική πυκνότητα συμπίκνωσης στα διάφορα σημεία των δύο ειδικών διατομών και
 - C: τα αντίστοιχα συνολικά ισοδύναμα περάσματα υπολογισμένα με βάση τους ανωτέρω συντελεστές επίδρασης (σχήμα Σχήμα 5.21).

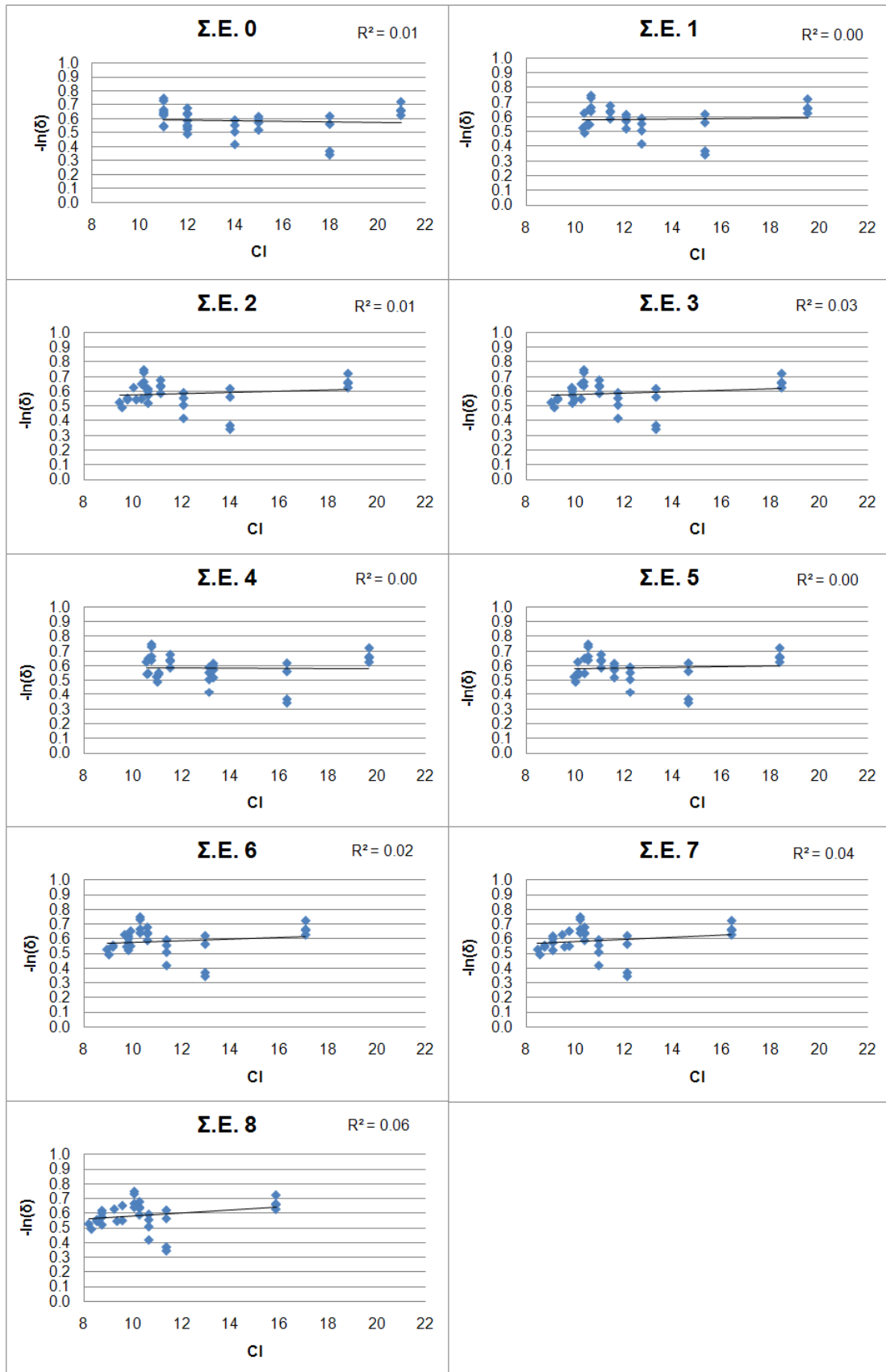
Με βάση την προσέγγιση που περιγράφηκε παραπάνω προέκυψαν νέα διαγράμματα (Σχήμα 5.26). Στα νέα διαγράμματα παρατηρείται αρνητική συσχέτιση, η οποία δηλώνει ότι αυξανόμενων των διελεύσεων προκύπτει μείωση του ποσοστού των κενών και επιτυγχάνονται σχετικά μικρές τιμές του συντελεστή προσδιορισμού R^2 , όσον αφορά στην ισοπεδωτική στρώση. Σημειώνεται ότι ο όρος $\left(\frac{\gamma_\infty - \gamma_c}{\gamma_\infty - \gamma_0}\right)$ της εξίσωσης 5.4 συμβολίζεται με δ .





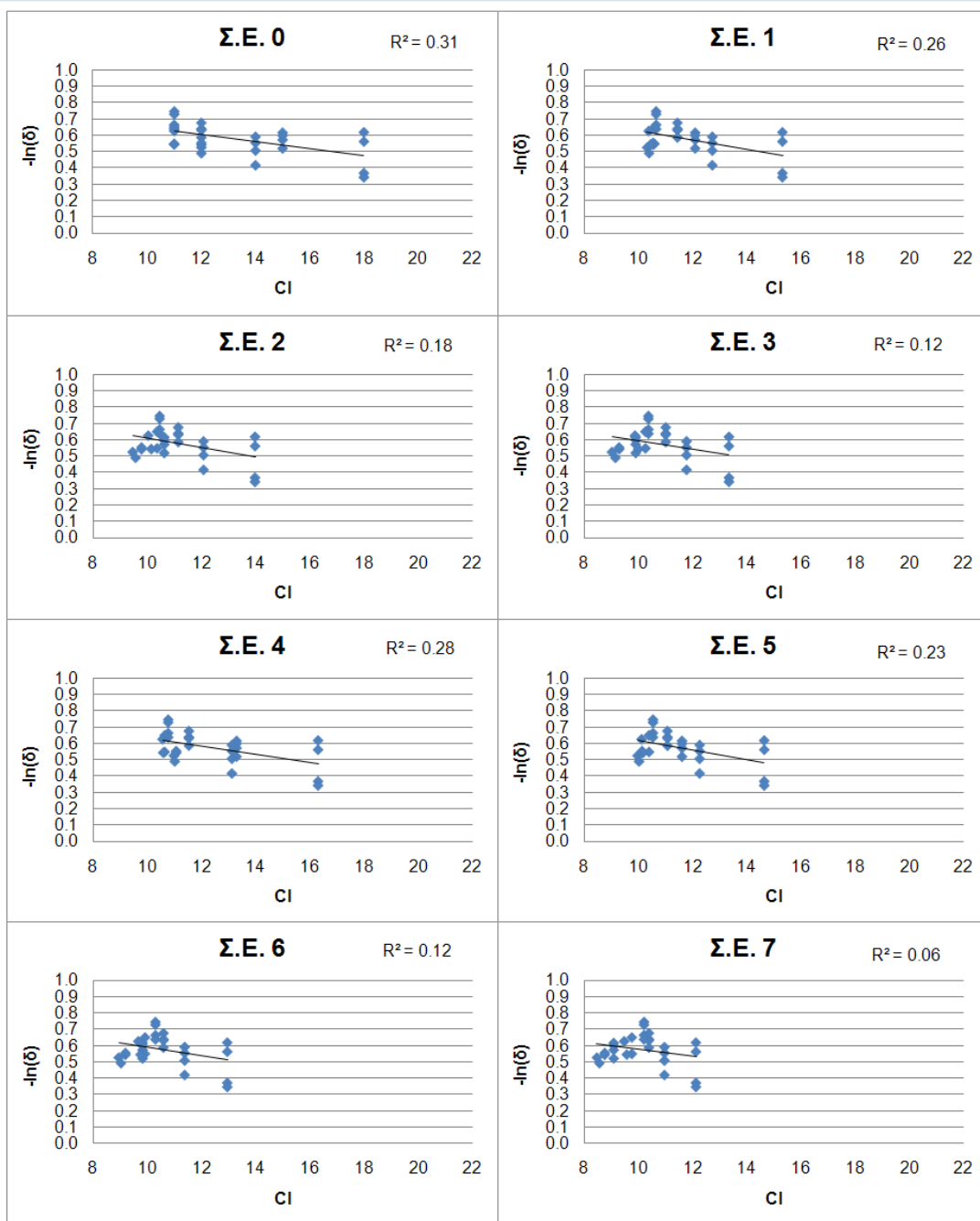
Σχήμα 5.26 Διαγράμματα \ln της πυκνότητας των μετρήσεων *troxler* συναρτήσει περασμάτων ή ισοδύναμων περασμάτων των δύο ειδικών διατομών 3ης στρώσης

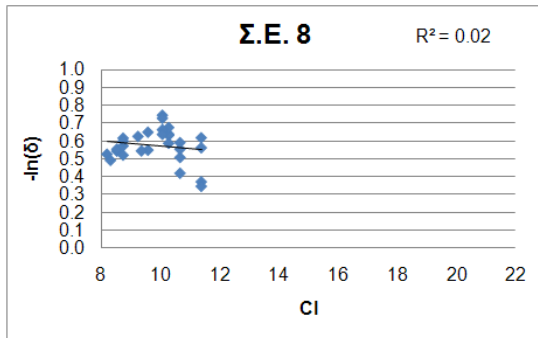
Στα διαγράμματα συσχέτισης που προέκυψαν με την παραπάνω μεθοδολογία για την αντιολισθηρά στρώση εμφανίζεται όχι τόσο καλή κλίση της ευθείας πράγμα το οποίο οφείλεται στην ύπαρξη τεσσάρων σημείων (Γ1, Γ2, Γ3, Γ4) με τα ίδια συνολικά περάσματα στην 1^η ειδική διατομή τα οποία διαφοροποιούνται σημαντικά ως προς την γενική τάση συμπεριφοράς των υπολοίπων σημείων, όπως φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 5.27).



Σχήμα 5.27 Διαγράμματα \ln της πυκνότητας των μετρήσεων *troxler* συναρτήσει περασμάτων ή ισοδύναμων περασμάτων των δύο ειδικών διατομών αντιολισθηρής στρώσης

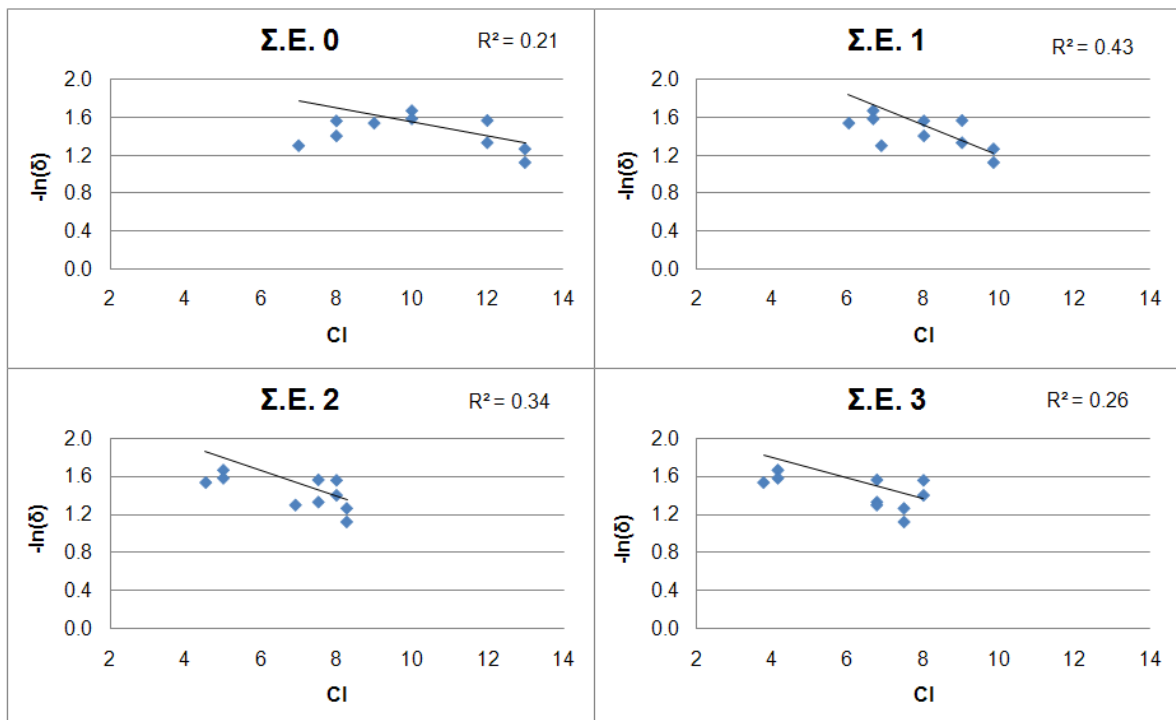
Έτσι, κρίθηκε σκόπιμο να αφαιρεθούν αυτά τα σημεία ως outliers με αποτέλεσμα ο συσχετισμός να βελτιωθεί σημαντικά. Τα διαγράμματα τα οποία προέκυψαν μετά την αφαίρεση των outliers φαίνονται παρακάτω:

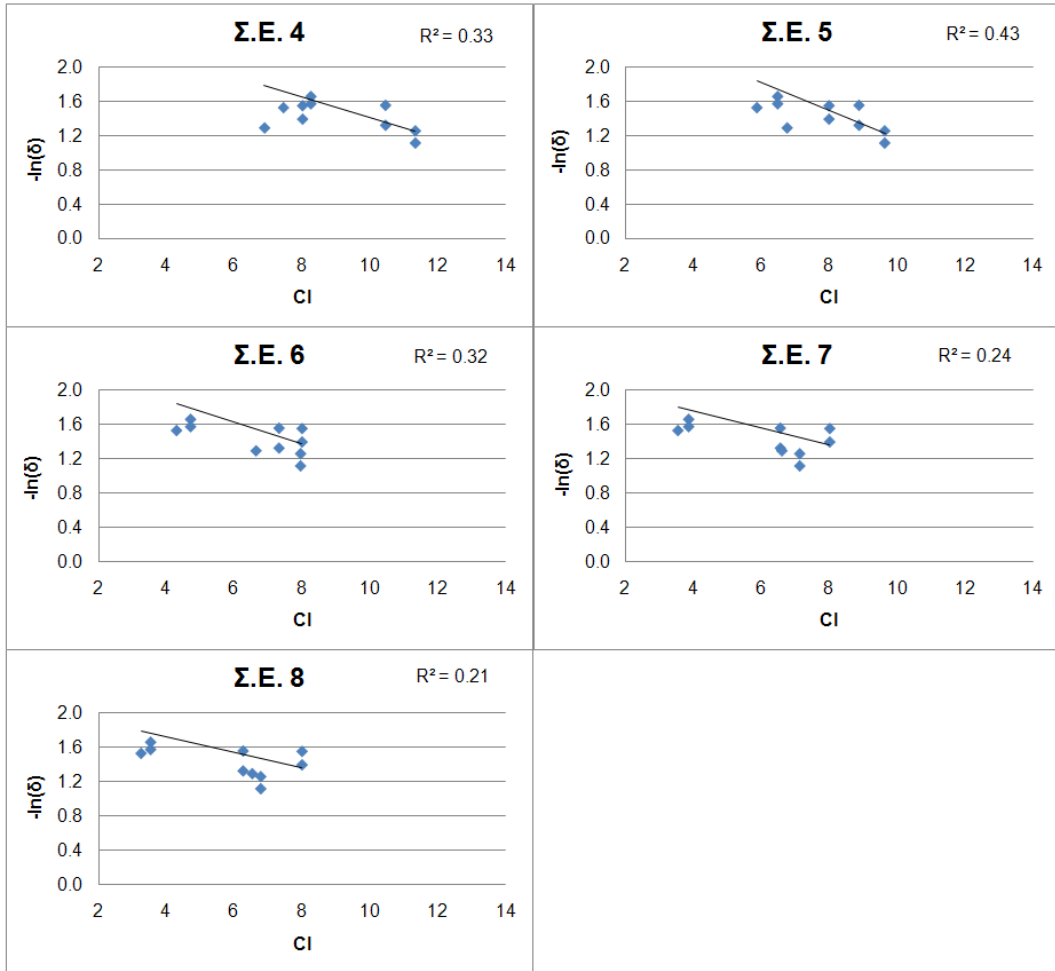




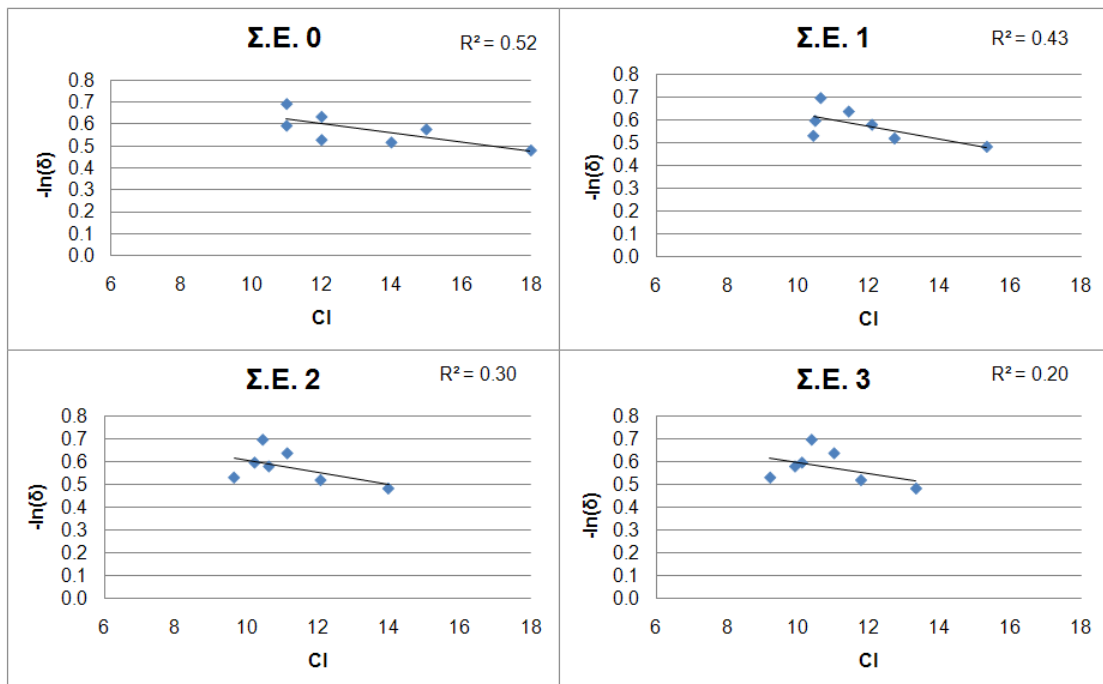
Σχήμα 5.28 Διαγράμματα \ln της πυκνότητας των μετρήσεων *troxler* συναρτήσει περασμάτων ή ισοδύναμων περασμάτων των δύο ειδικών διατομών αντιολισθηρής στρώσης μετά την αφαίρεση των *outliers*

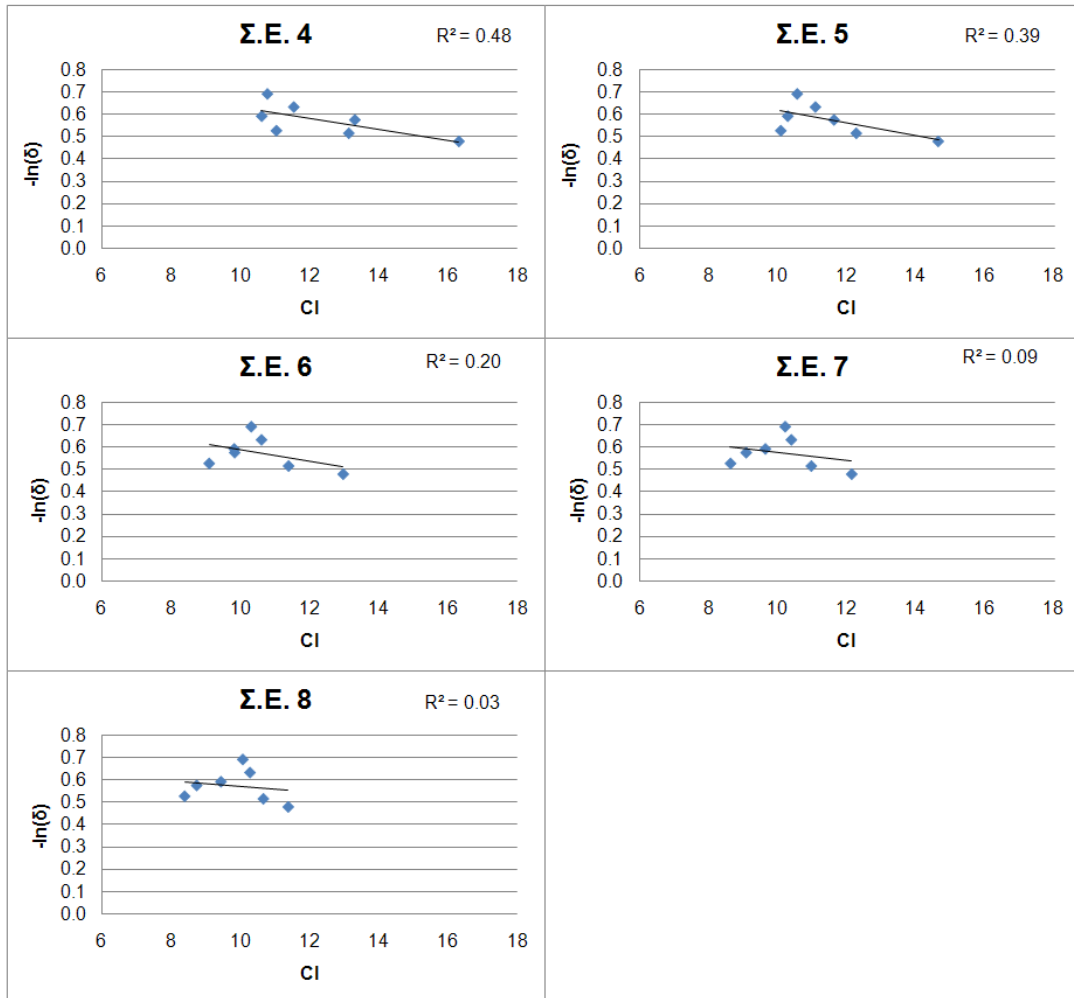
Στη συνέχεια, έγινε προσπάθεια ομαδοποίησης των δεδομένων λαμβάνοντας τους μέσους όρους των σημείων, όπου καταγράφηκαν ίδια συνολικά περάσματα, και εφαρμόζοντας αντίστοιχα την παραπάνω εξίσωση. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.





Σχήμα 5.29 Διαγράμματα μέσω των όρων των ln της πυκνότητας των μετρήσεων τροχλει συναρτήσεϊ των μέσω των όρων των περασμάτων ή των ισοδύναμων περασμάτων των δύο ειδικών διατομών 3ης στρώσεϊ





Σχήμα 5.30 Διαγράμματα μέσων όρων των \ln της πυκνότητας των μετρήσεων τροχλει συναρτήσει των μέσων όρων των περασμάτων ή των ισοδύναμων περασμάτων των δύο ειδικών διατομών αντιολισθηρής στρώσης

Από τα σχήματα 5.29 και 5.30 διαπιστώνεται ότι, ο συντελεστής επίδρασης, ο οποίος συσχετίζει καλύτερα τα δεδομένα της εργοταξιακής συμπύκνωσης με τις ισοδύναμες διελεύσεις είναι:

- για τις ειδικές διατομές της 3^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B ο συντελεστής επίδρασης Σ.Ε. 1 με μέγιστο μήκος επιρροής τυμπάνου 34.3 cm και αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου 0.50. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 του διαγράμματος Σ.Ε. 1 είναι 0.43 έναντι 0.21 του διαγράμματος Σ.Ε 0, το οποίο αντιπροσωπεύει την 100% επιρροή κατά πλάτος του τυμπάνου. Επίσης το διάγραμμα Σ.Ε. 5 (με μέγιστο μήκος επιρροής τυμπάνου 45.7 cm και αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου 0.50) δίνει τον ίδιο συντελεστή συσχέτισης $R^2=0.43$ με το διάγραμμα Σ.Ε. 1.

- για τις ειδικές διατομές της αντιολισθηρής στρώσης το διάγραμμα Σ.Ε. 0 με ομοιόμορφη αποτελεσματικότητα σε όλο το μήκος του τυμπάνου. Ο συντελεστής συσχέτισης του διαγράμματος αυτού είναι 0.52. Επίσης, το διάγραμμα Σ.Ε. 4 (με μέγιστο μήκος επιρροής τυμπάνου 45.7 cm και αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου 0.75) δίνει ελαφρώς χειρότερο συντελεστή συσχέτισης $R^2=0.48$ από το διάγραμμα Σ.Ε. 0.

5.4 Συνδυασμός αποτελεσμάτων για την αξιολόγηση της επίδρασης του τυμπάνου

Από τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου, γίνεται αντιληπτό ότι οι Σ.Ε. που χρησιμοποιήθηκαν από τη διεθνή βιβλιογραφία (Σχήμα 5.21) στην προσπάθεια συσχέτισμού των ισοδύναμων περασμάτων με το ποσοστό των κενών της συμπυκνωμένης στρώσης, δεν αντιπροσωπεύουν πλήρως τα μετρημένα στοιχεία της επί τόπου συμπύκνωσης. Στην παρούσα ενότητα, επιχειρείται να βρεθεί ένας νέος Σ.Ε. που θα δίνει καλύτερη συσχέτιση, χρησιμοποιώντας την εξίσωση 5.3 που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα και υπενθυμίζεται παρακάτω.

$$\gamma_c = \gamma_\infty - (\gamma_\infty - \gamma_0)e^{\frac{-c}{R}} \quad (5.3)$$

Η διερεύνηση που επιχειρείται βασίζεται στη θεώρηση ότι, η περιοχή των άκρων του τυμπάνου του οδοστρωτήρα έχει μικρότερη συνεισφορά στην συμπύκνωση από ότι το κεντρικό μέρος του. Για την μαθηματική έκφραση της αποτελεσματικότητας των άκρων έχει προταθεί η παρακάτω γραμμική σχέση:

$$\Sigma. E. = \begin{cases} a + \frac{(1-a)}{L_m} * L & \rightarrow L < L_m \\ 1 & \rightarrow L > L_m \end{cases} \quad (5.1)$$

όπου:

L = η απόσταση του σημείου μέτρησης της συμπύκνωσης από το άκρο του τυμπάνου

L_m =η απόσταση από το άκρο του τυμπάνου από την οποία και πέρα η αποτελεσματικότητα συμπύκνωσης είναι 1(100%).

a =η αποτελεσματικότητα συμπύκνωσης στο άκρο του τυμπάνου

Σημειώνεται επίσης ότι για τις ανάγκες της ανάλυσης των πειραματικών δεδομένων της εργοταξιακής συμπίκνωσης, η μεταβλητή C της εξίσωσης 5.3 θα εκφράζεται ως ο ισοδύναμος αριθμός περασμάτων του οδοστρωτήρα.

Χρησιμοποιώντας τις ανωτέρω σχέσεις για κάθε φάση της εργοταξιακής συμπίκνωσης αποτυπώθηκαν οι προβλεπόμενες πυκνότητες στα διάφορα σημεία. Στη συνέχεια με ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών με τις μετρηθείσες πυκνότητες (Trochler), μέσω του επιλυτή του Excel, προσδιορίστηκαν η αποτελεσματικότητα των άκρων του τυμπάνου (L_m , a) και οι αντιστάσεις στην συμπίκνωση του ασφαλτομίγματος.

Για την εκτίμηση της καλής προσαρμογής του προτύπου στα πειραματικά δεδομένα, υπολογίστηκε ο δείκτης συσχέτισης R^2 σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$R^2 = 1 - SSE/SST \quad (5.5)$$

όπου: SSE είναι το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών προβλεπόμενων – πραγματικών τιμών και

SST είναι το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών των πραγματικών τιμών από το μέσο όρο τους.

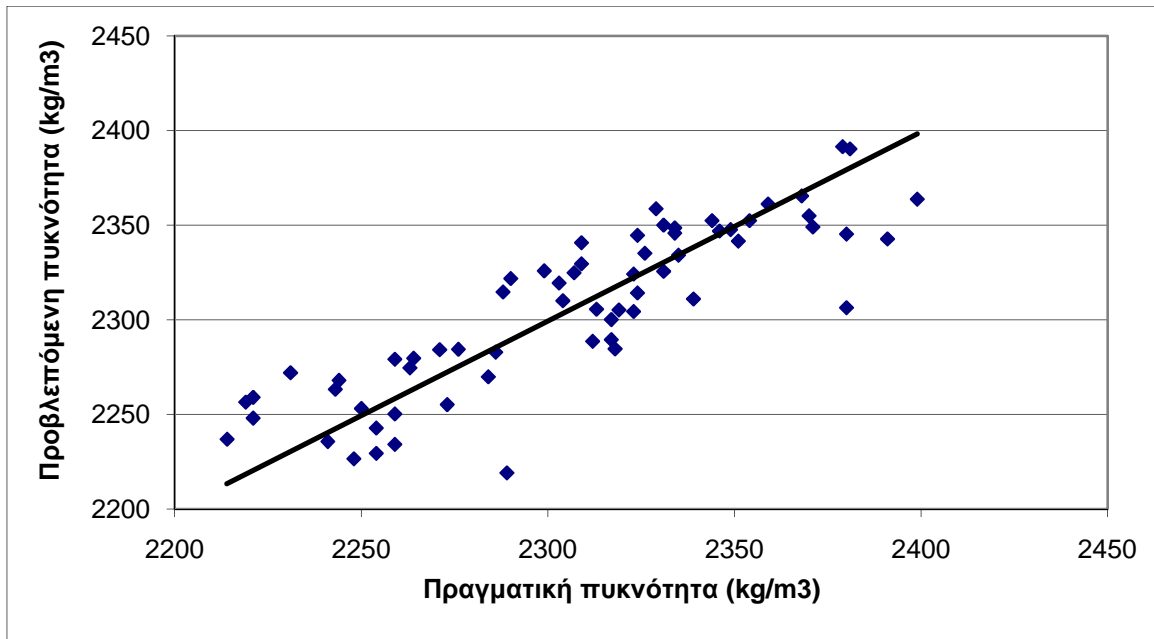
Αρχικά, μελετήθηκε η 2^η ειδική της 3^{ης} στρώσης του ασφαλτομίγματος A265B και εφαρμόστηκε η καταστατική εξίσωση 5.3 σε κάθε φάση συμπίκνωσης, θεωρώντας ως αρχική πυκνότητα την επιτευχθείσα πυκνότητα της προηγούμενης φάσης, δεδομένου ότι αυτό θα βελτίωνε και την όποια αβεβαιότητα των μετρήσεων της πυκνότητας ιδιαίτερα κατά την φάση του finisher.

Η μεταβλητή R της καταστατικής εξίσωσης, η οποία ορίζεται ως η αντίσταση στην συμπίκνωση και αποτυπώνει την συμπτωσιμότητα ενός ασφαλτομίγματος εξαρτάται από:

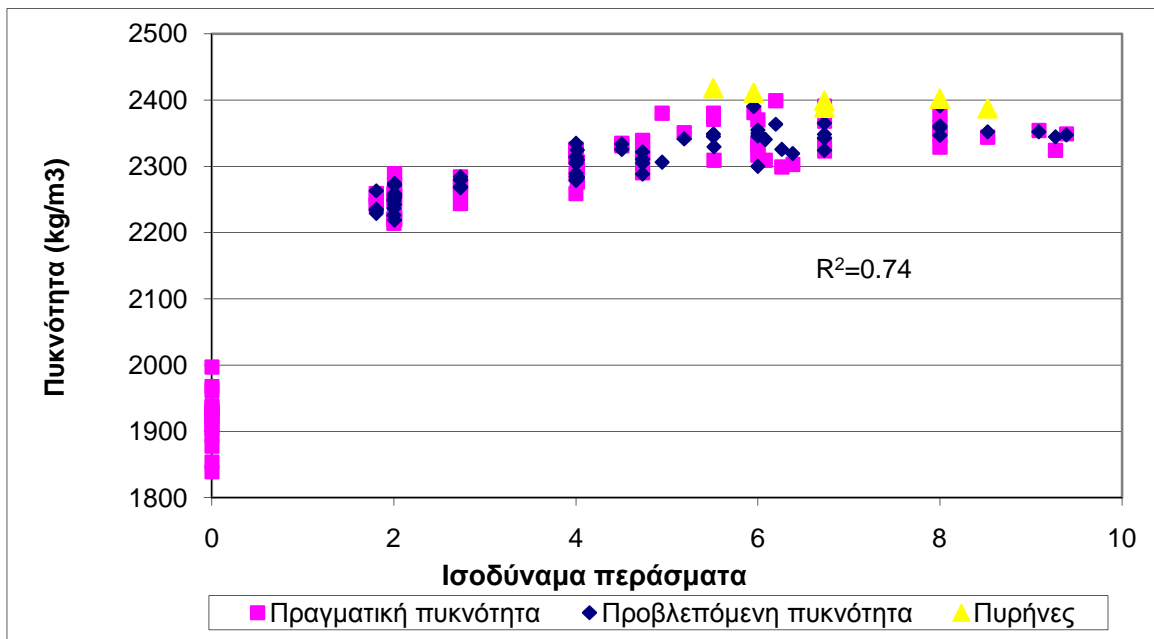
- την σύνθεση του ασφαλτομίγματος
- το ιξώδες της ασφάλτου, επομένως και από την θερμοκρασία, η οποία κατά την διάρκεια εκτέλεσης των διαδοχικών φάσεων συμπίκνωσης ελατώνεται
- την εφαρμοζόμενη μέθοδο συμπίκνωσης (με ή χωρίς δόνηση)

Έτσι θεωρήθηκε ότι σε κάθε φάση διάστρωσης η αντίσταση συμπίκνωσης είναι διαφορετική.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτής φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:



Σχήμα 5.31 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) A265B – 2η ειδική διατομή 3η στρώση



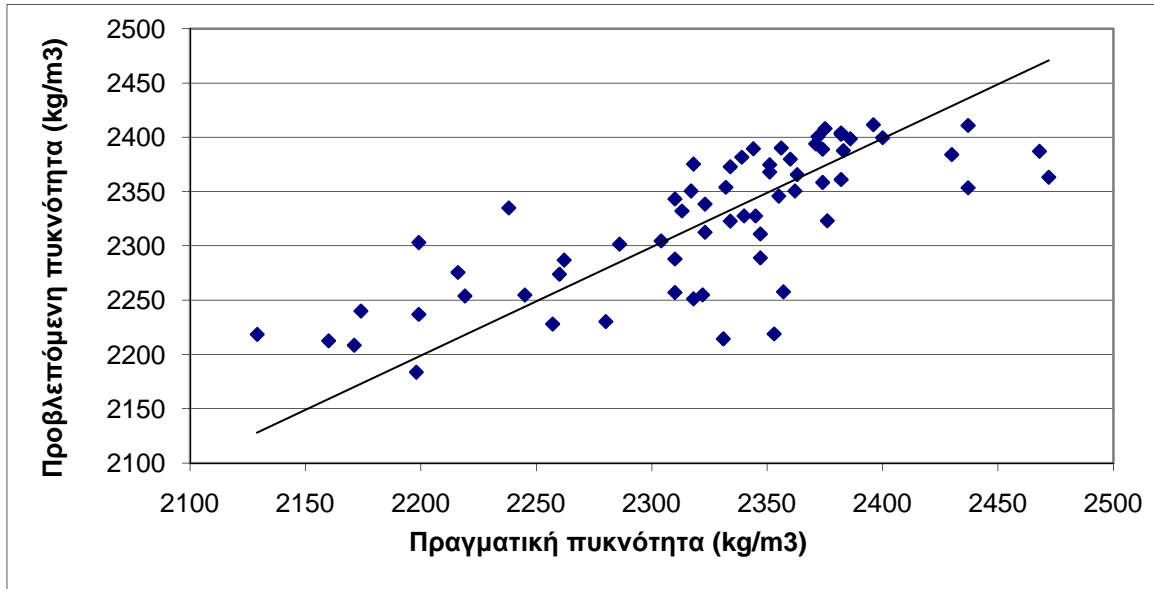
Σχήμα 5.32 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) A265B – 2η ειδική διατομή 3η στρώση

Το σημείο της μέγιστης επιρροής του τυμπάνου L_m προσδιορίστηκε στα 46 cm και η αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου στα 0.44 (44%).

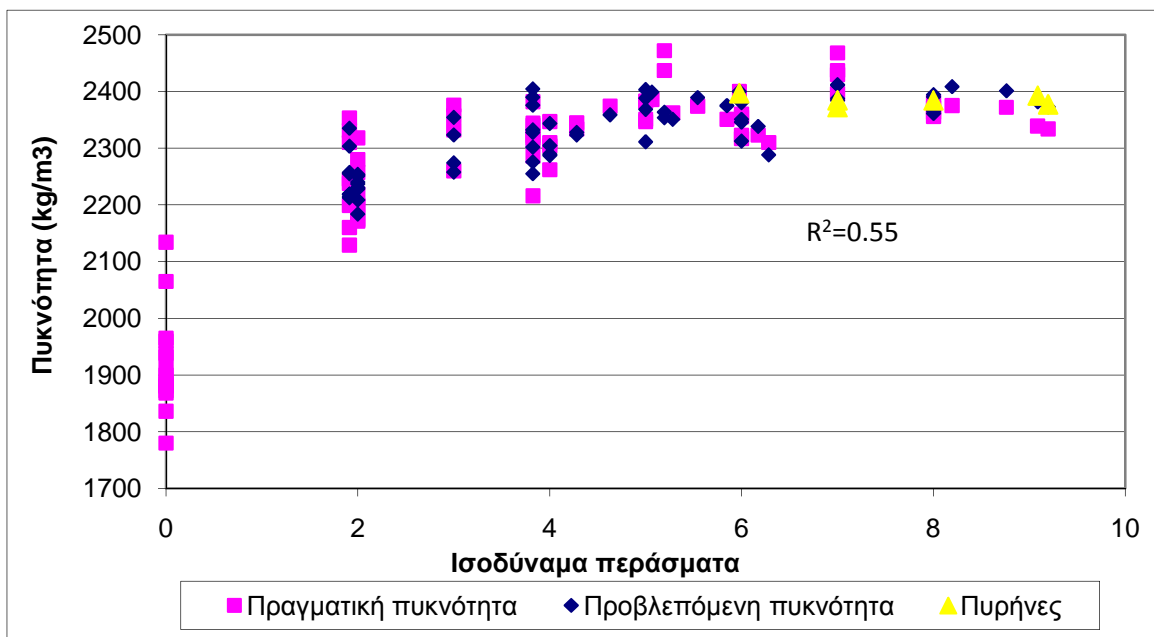
Με βάση το παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 5.32) φαίνεται ότι επιτεύχθηκε ικανοποιητική σύγκλιση μετρηθείσας και προβλεπόμενης πυκνότητας. Τα στοιχεία των

μετρημένων-προβλεπόμενων πυκνοτήτων συσχετίζονται με τα ισοδύναμα περάσματα και ο συντελεστής συσχέτισης είναι ικανοποιητικός ($R^2 = 0.74$).

Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόσθηκε επίσης στην 1^η ειδική της 3^{ης} στρώσης, όπου ελήφθησαν και πάλι ικανοποιητικά αποτελέσματα, όπως φαίνεται από τα σχήματα 5.33 και 5.34.



Σχήμα 5.33 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) A265B – 1η ειδική διατομή 3η στρώση



Σχήμα 5.34 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) A265B – 1η ειδική διατομή 3η στρώση

Το σημείο της μέγιστης επιρροής του τυμπάνου L_m προσδιορίστηκε στα 30 cm και η αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου στα 0.35 (35%). Ο συντελεστής συσχέτισμού της επιτευχθείσας προσομοίωσης είναι $R^2 = 0.55$. Ο μικρότερος συντελεστής συσχέτισμού πιθανόν να οφείλεται στην μεγαλύτερη διασπορά των αρχικών πυκνοτήτων στην φάση του “finisher”.

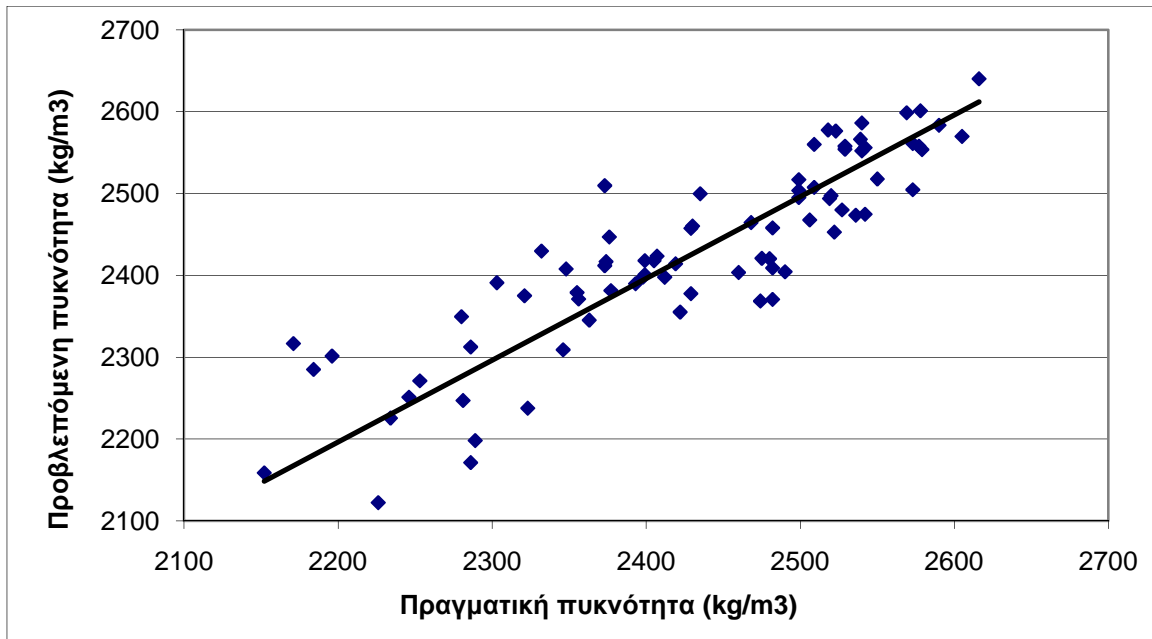
Θεωρώντας ότι, στην 2^η ειδική 3^η στρώση ο προσδιορισμός του σημείου μέγιστης επιρροής του τυμπάνου L_m και η αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου a , είναι πιο αποτελεσματικός, ελήφθησαν τα ίδια και στην 1^η ειδική και επαναλήφθηκε η μη γραμμική παλινδρόμηση. Ο συντελεστής συσχέτισμού που επιτεύχθηκε είναι $R^2 = 0.53$ έναντι 0.55. Η διαφορά αυτή είναι μη ουσιαστική και έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε ότι για την 3^η στρώση και για τον χρησιμοποιηθέντα εξοπλισμό συμπίκνωσης το σημείο της μέγιστης επιρροής του τυμπάνου L_m είναι 46 cm και η αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου 0.44 (44%).

Συγκεντρωτικά οι προσδιορισθείσες παράμετροι της καταστατικής εξίσωσης για την 3^η στρώση του ασφαλτομίγματος A265B φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

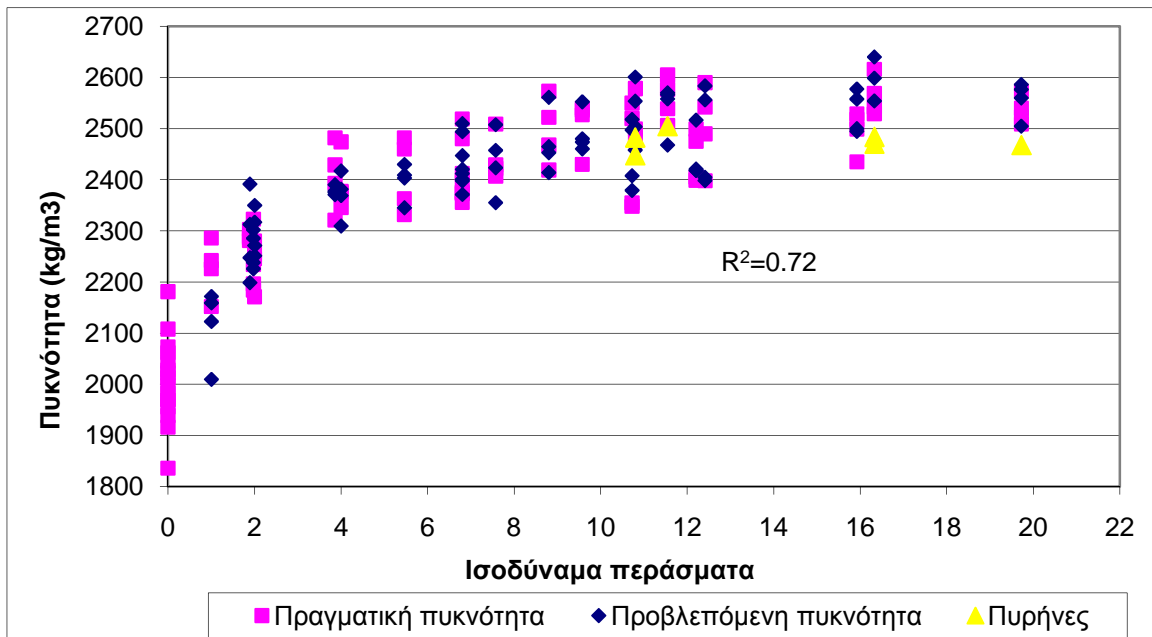
Πίνακας 5.18 Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων ανάλυσης

Ειδικές διατομές	Μήκος επιρροής L_m	Αποδοτικότητα α	Αντίσταση συμπίκνωσης στατικού R_s	Αντίσταση συμπίκνωσης 1 ^{ης} δόνησης R_{v1}	Αντίσταση συμπίκνωσης 2 ^{ης} δόνησης R_{v2}	Αντίσταση συμπίκνωσης 3 ^{ης} δόνησης R_{v3}	Συντελεστής συσχέτισης R^2
1 ^η	30	0.35	2.46	4.70	8.62	7.53	0.55
1 ^{η*}	46	0.44	2.45	4.82	8.53	7.63	0.53
2 ^η	46	0.44	2.39	8.13	11.00	11.90	0.74

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η ίδια μεθοδολογία για τις δύο ειδικές διατομές της αντιολισθηρής στρώσης λαμβάνοντας τα παρακάτω διαγράμματα:

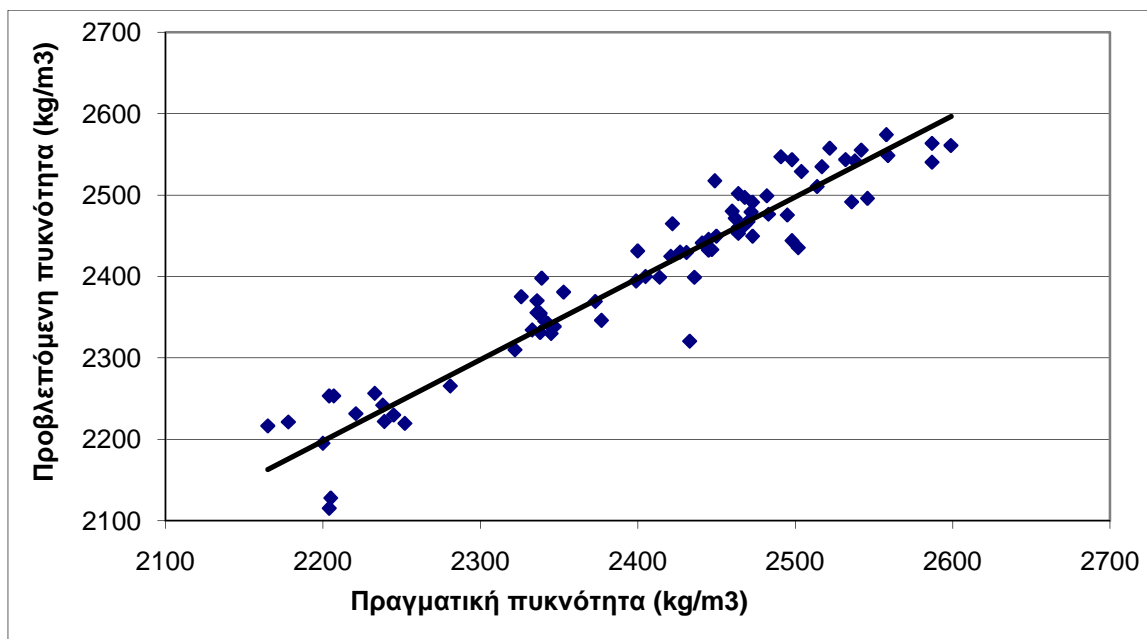


Σχήμα 5.35 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) Αντιολισθηρά – 1η ειδική διατομή

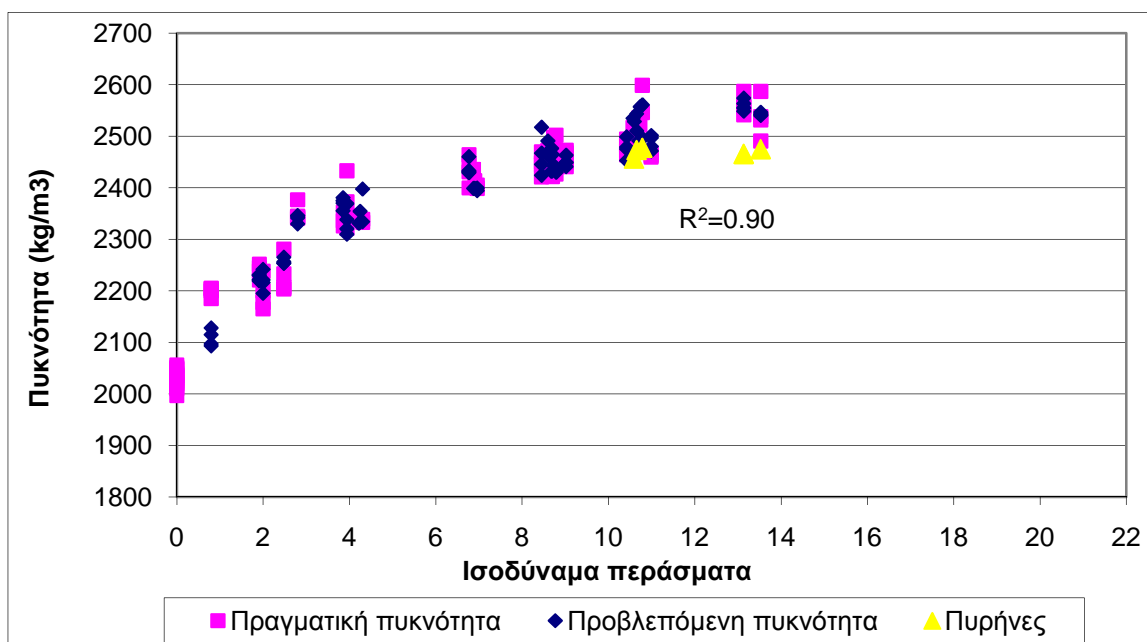


Σχήμα 5.36 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) Αντιολισθηρά – 1η ειδική διατομή

Το σημείο της μέγιστης επιρροής του τυμπάνου L_m προσδιορίστηκε στα 45 cm και η αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου στα 0.74 (74%). Με βάση τα σχήματα 5.35 και 5.36 προκύπτει ότι, ο συντελεστής συσχέτισμού της επιτευχθείσας προσομοίωσης είναι $R^2 = 0.72$.



Σχήμα 5.37 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) Αντιολισθηρά – 2η ειδική διατομή



Σχήμα 5.38 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) Αντιολισθηρά – 2η ειδική διατομή

Το σημείο της μέγιστης επιρροής του τυμπάνου L_m προσδιορίστηκε στα 45 cm και η αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου στα 0.74 (74%). Με βάση τα σχήματα 5.37 και 5.38 προκύπτει ότι, ο συντελεστής συσχετισμού της επιτευχθείσας προσομοίωσης είναι $R^2 = 0.90$.

Συγκεντρωτικά οι προσδιορισθείσες παράμετροι της καταστατικής εξίσωσης για την αντιολισθηρή στρώση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.19 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των παραμέτρων της καταστατικής εξίσωσης

Ειδικές διατομές	Μήκος επιρροής	Αποδοτικότητα	Αντίσταση συμπίκνωσης στατικού	Αντίσταση συμπίκνωσης 1ης δόνησης	Αντίσταση συμπίκνωσης 2ης δόνησης	Αντίσταση συμπίκνωσης 3ης δόνησης	Αντίσταση συμπίκνωσης 4ης δόνησης	Συντελεστής συσχέτισης
	Lm	α	R_s	R_{v1}	R_{v2}	R_{v3}	R_{v4}	R^2
1 ^η	45	0.74	5.92	13.7	66.57	19.50	26.27	0.72
2 ^{η*}	45	0.74	8.59	9.53	25.31	31.77	14.21	0.90

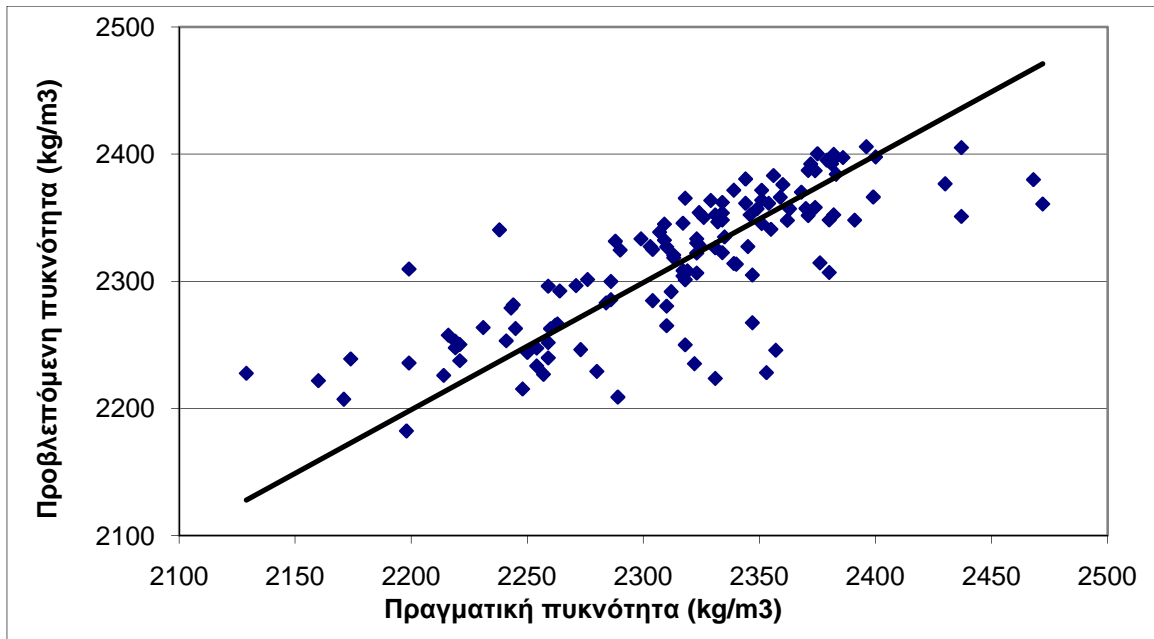
Στην συνέχεια η μέθοδος προσομοίωσης εφαρμόστηκε ενοποιώντας τις δύο ειδικές διατομές. Ακολουθήθηκαν διαδοχικά οι εξής προσεγγίσεις:

α) οι προηγούμενες συνθήκες προσομοίωσης, δηλαδή αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης-διαφορετική αντίσταση ανά φάση ($R_s \neq R_{v1} \neq R_{v2} \neq R_{v3} \neq R_{v4}$) για κάθε τύπο ασφαλτομίγματος (σχήματα 5.39 και 5.40 για ασφαλτόμιγμα τύπου A265B και σχήματα 5.41 και 5.42 για αντιολισθηρή στρώση).

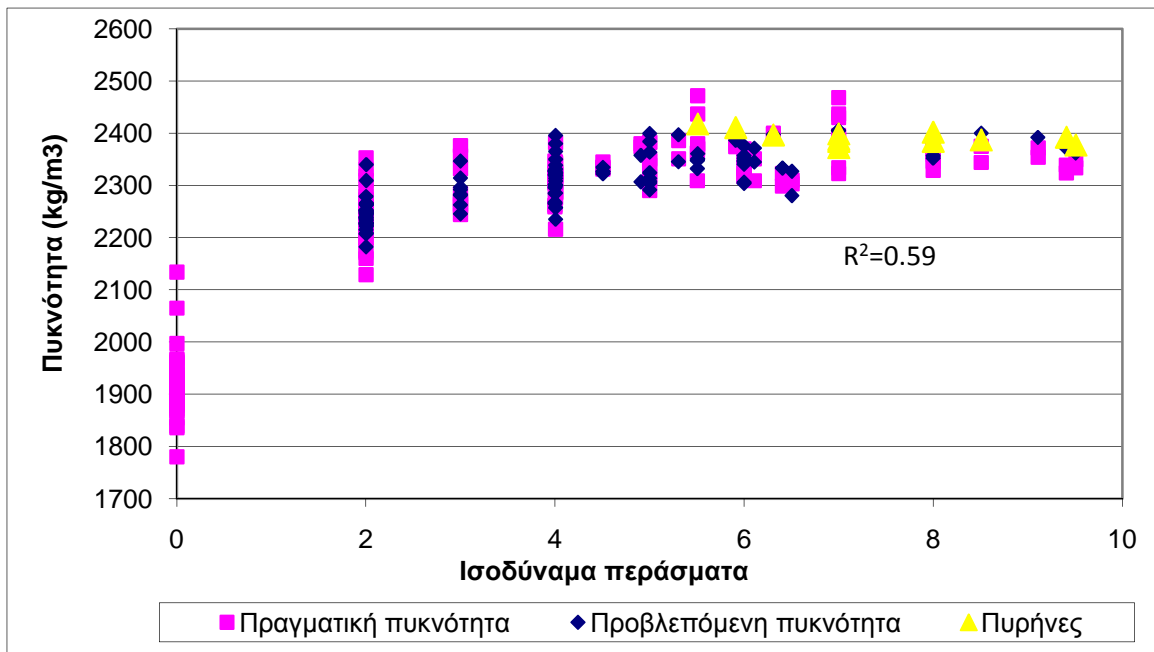
β) αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης και ενιαία αντίσταση για όλες τις φάσεις της συμπίκνωσης με δόνηση, διαφοροποιημένη της πρώτης φάσης χωρίς δόνηση ($R_s \neq R_{v1} = R_{v2} = R_{v3} = R_{v4}$) για κάθε τύπο ασφαλτομίγματος (σχήματα 5.43 και 5.44 για ασφαλτόμιγμα τύπου A265B και σχήματα 5.45 και 5.46 για αντιολισθηρή στρώση).

γ) για την φάση χωρίς δόνηση, αρχική πυκνότητα η πυκνότητα του finisher, ενιαία αρχική πυκνότητα για όλες τις φάσεις της συμπίκνωσης με δόνηση ίση με την πυκνότητα μετά την πρώτη φάση συμπίκνωσης (στατικό). Τα ισοδύναμα περάσματα εφαρμόζονται στην εξίσωση αθροιστικά για κάθε φάση και χρησιμοποιείται ενιαία αντίσταση για όλες τις φάσεις της δόνησης, διαφοροποιημένη της πρώτης φάσης χωρίς δόνηση ($R_s \neq R_{v1} = R_{v2} = R_{v3} = R_{v4}$) για κάθε τύπο ασφαλτομίγματος (σχήματα 5.47 και 5.48 για το ασφαλτόμιγμα τύπου A265B και σχήματα 5.49 και 5.50 για την αντιολισθηρή στρώση).

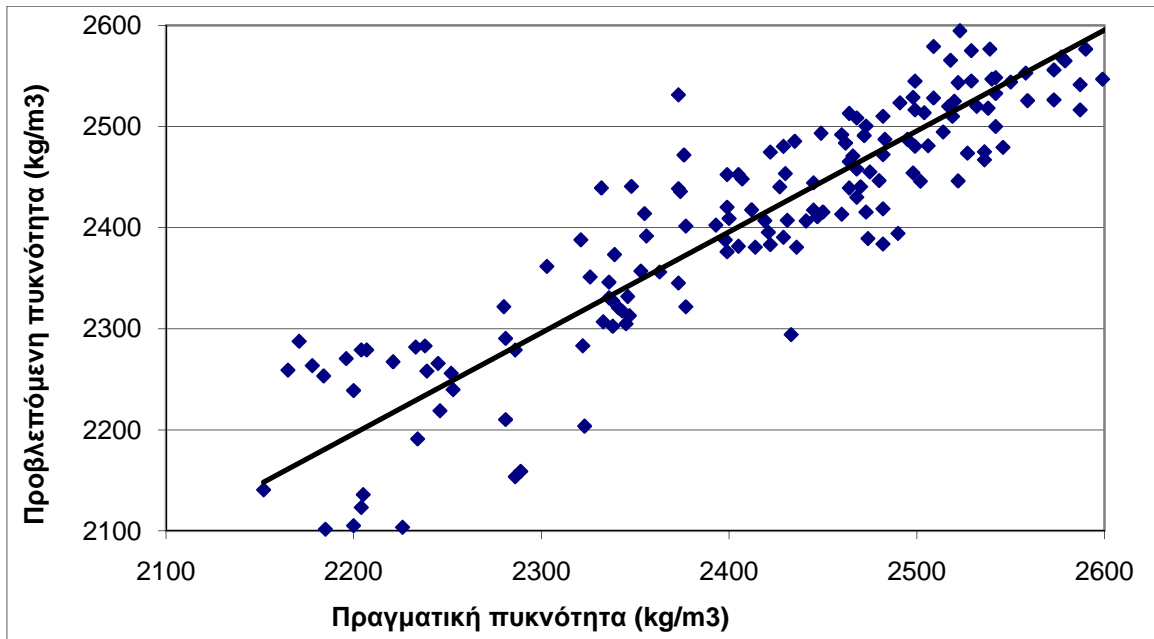
Τα αποτελέσματα φαίνονται διαδοχικά στα παρακάτω διαγράμματα :



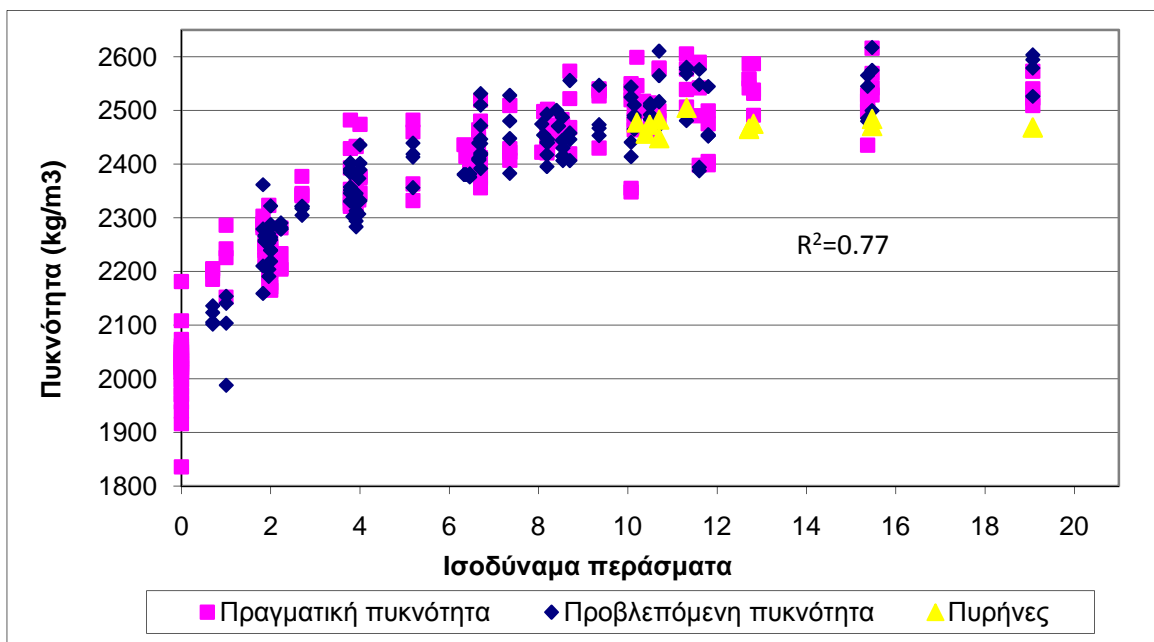
Σχήμα 5.39 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) 3^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B



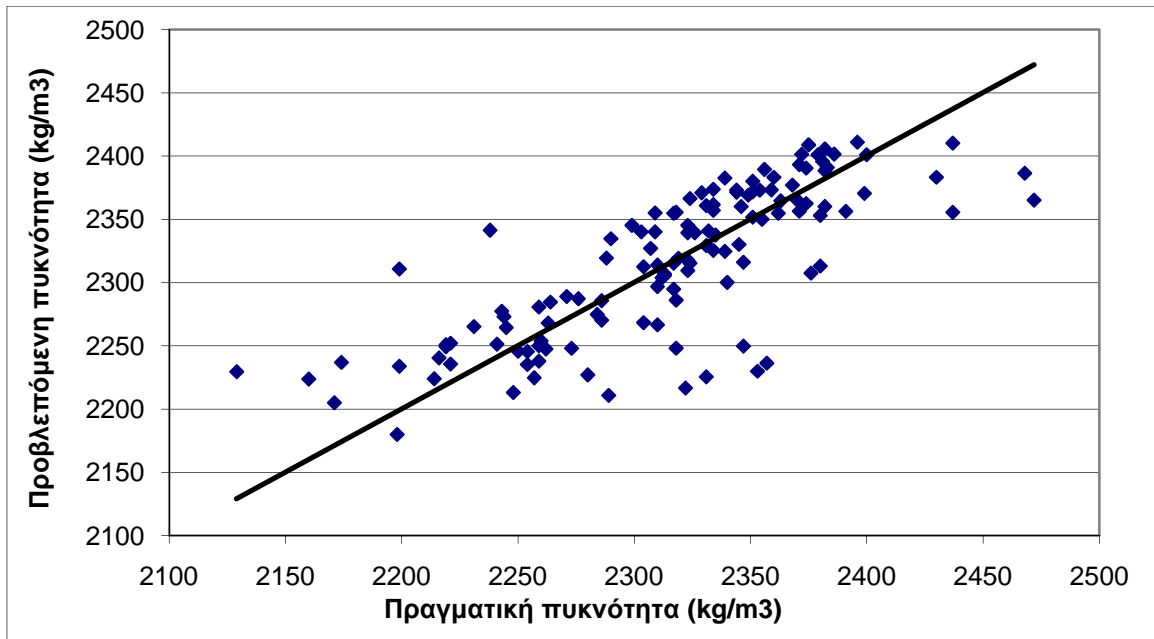
Σχήμα 5.40 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση) 3^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B



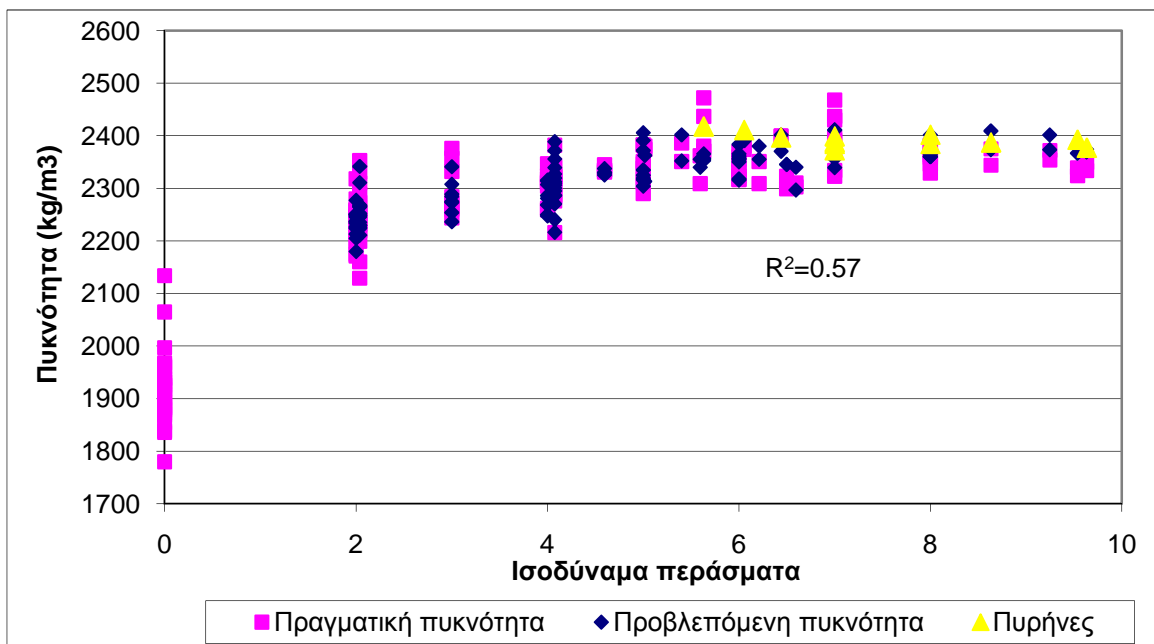
Σχήμα 5.41 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης –διαφορετική αντίσταση ανά φάση) αντιολισθηρής στρώσης



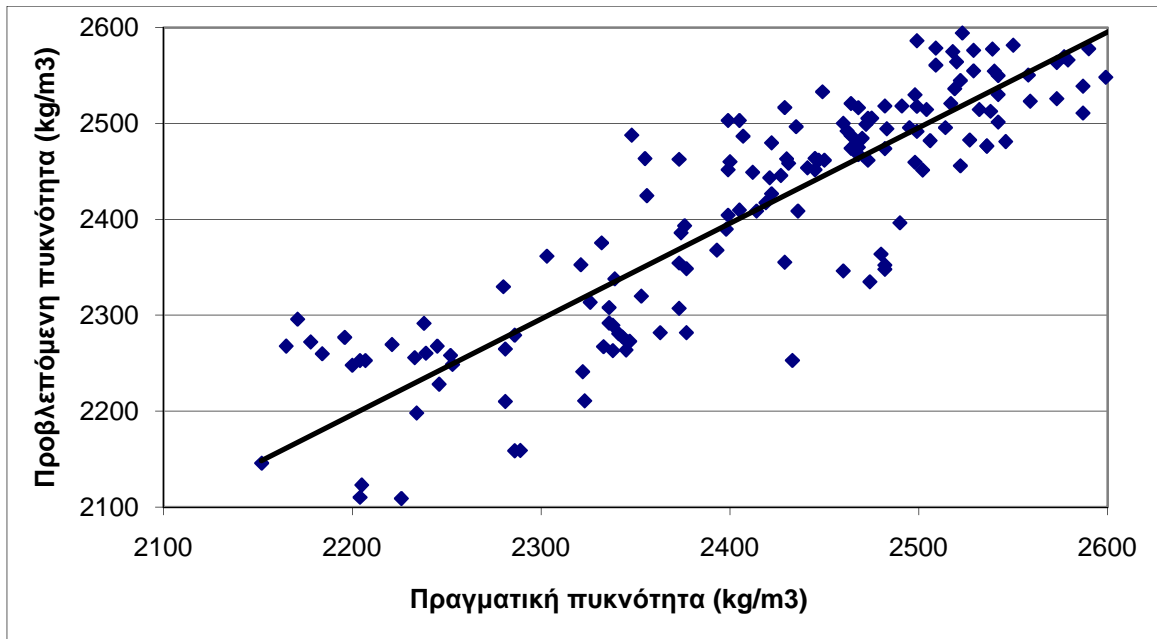
Σχήμα 5.42 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης –διαφορετική αντίσταση ανά φάση) αντιολισθηρής στρώσης



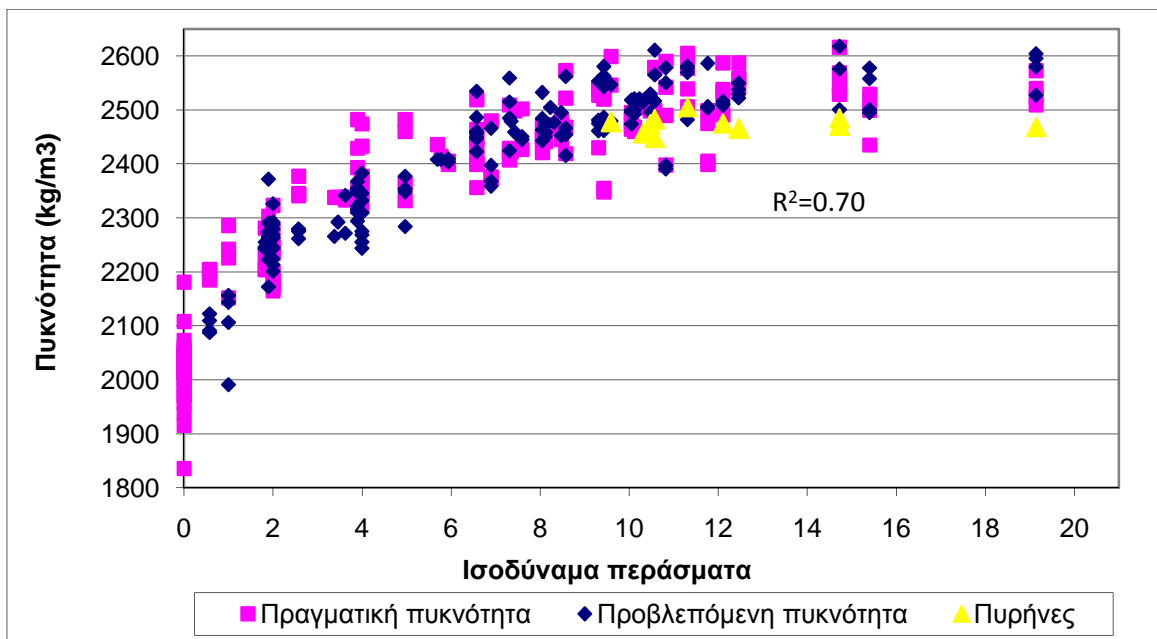
Σχήμα 5.43 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης-ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) 3^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B



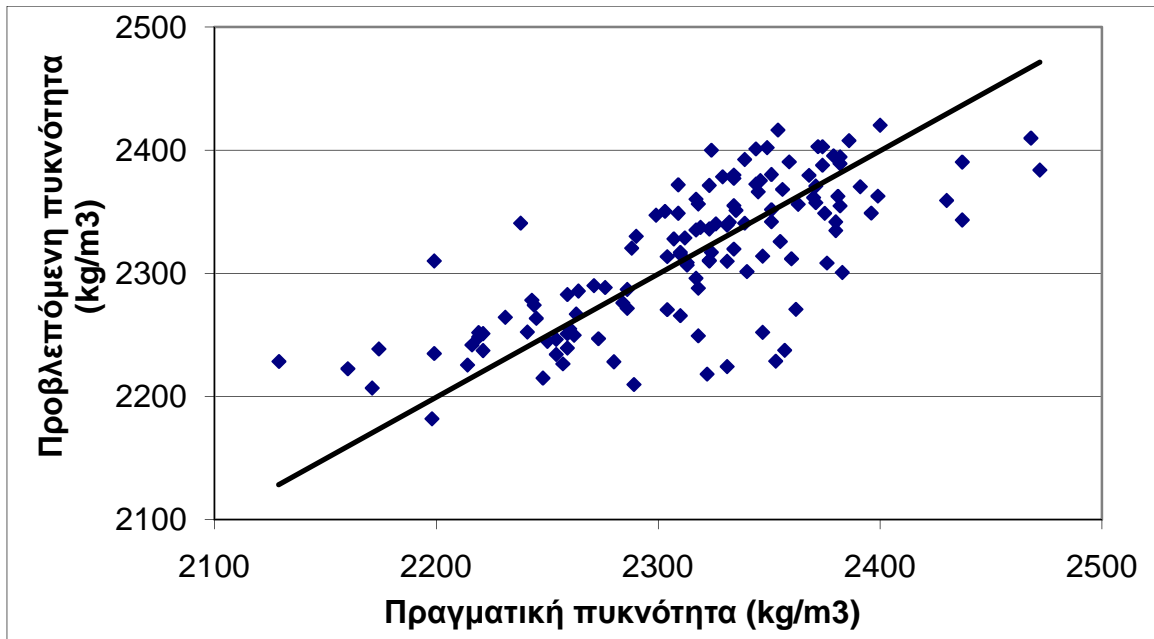
Σχήμα 5.44 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) 3^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B



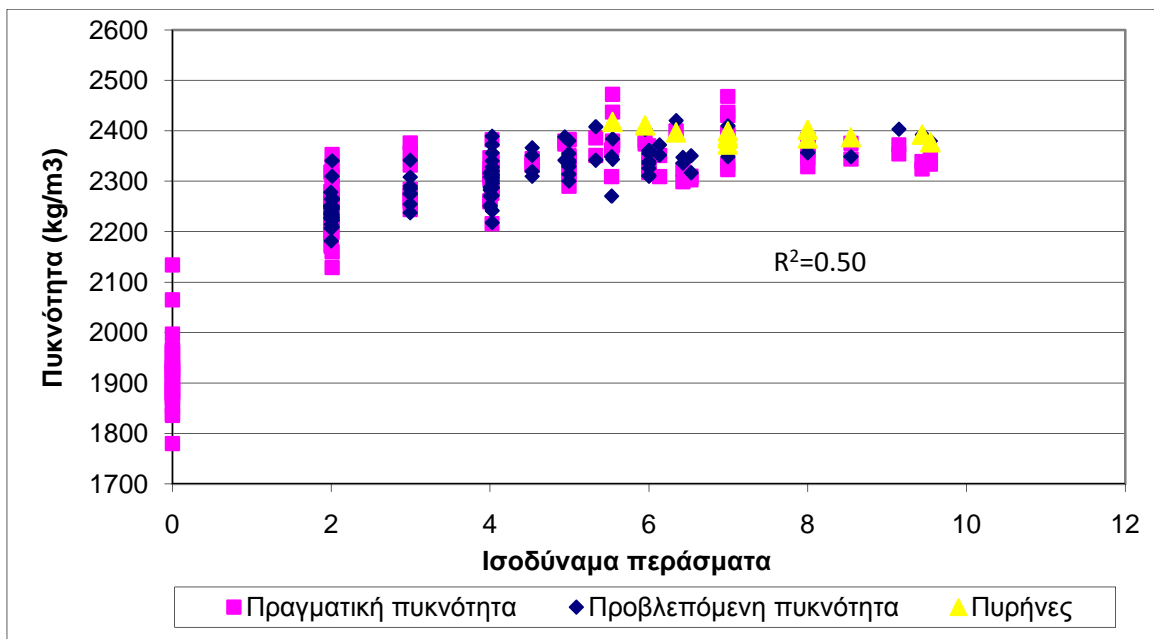
Σχήμα 5.45 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) αντιολισθηρής στρώσης



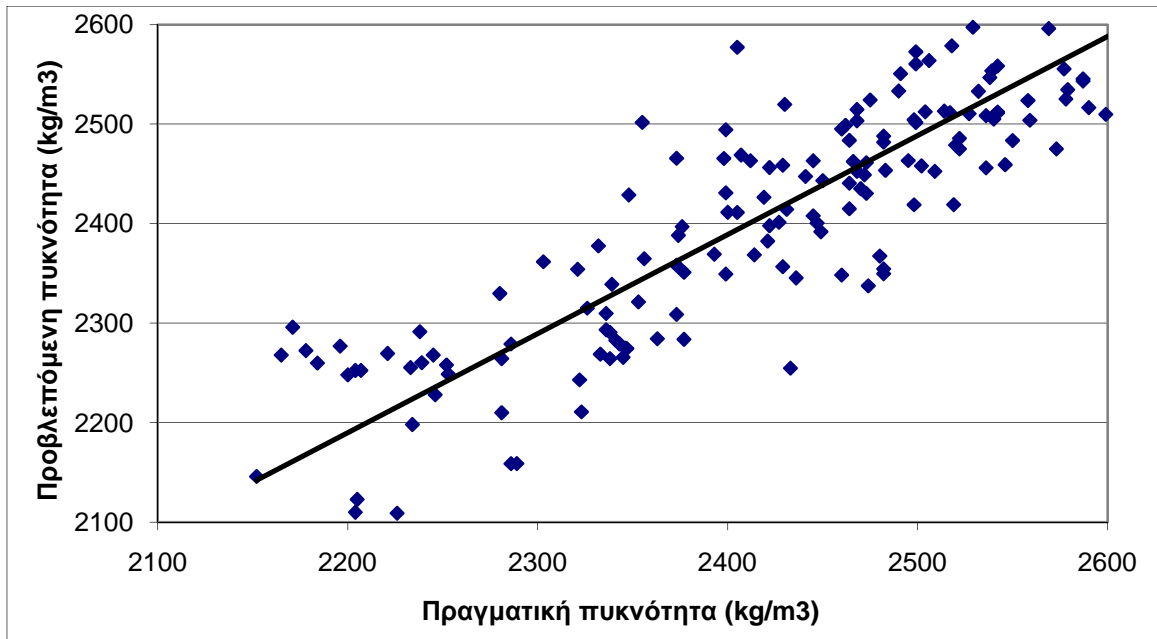
Σχήμα 5.46 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) αντιολισθηρής στρώσης



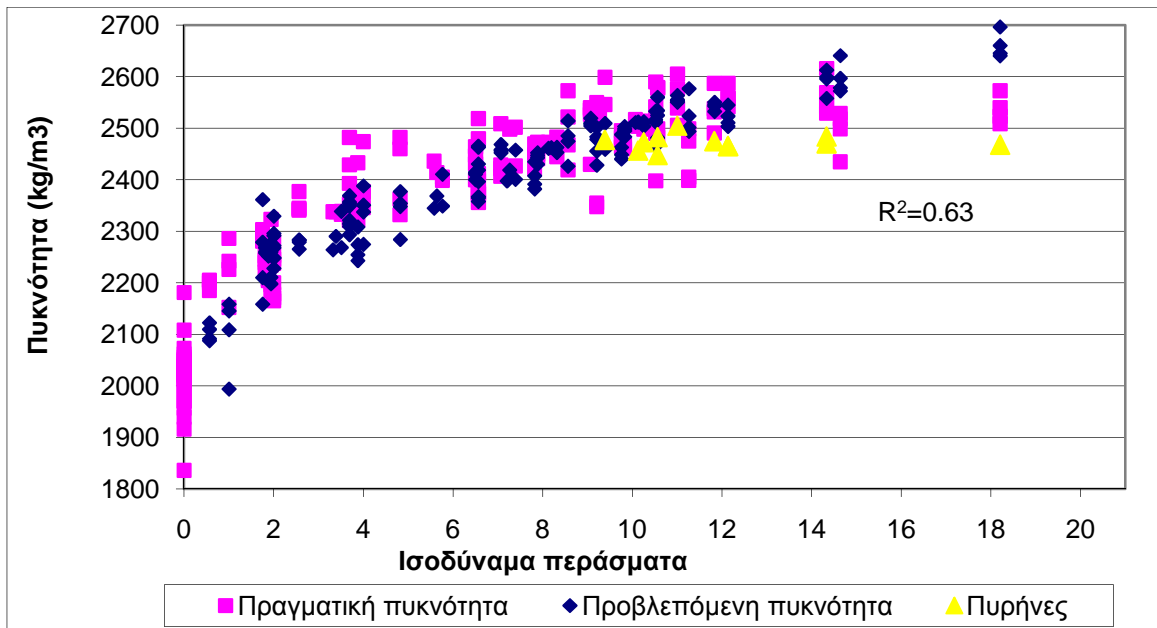
Σχήμα 5.47 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (ενιαία αρχική πυκνότητα για τις δονητικές φάσεις – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) 3^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B



Σχήμα 5.48 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (ενιαία αρχική πυκνότητα για τις δονητικές φάσεις – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) 3^{ης} ισοπεδωτικής στρώσης τύπου A265B



Σχήμα 5.49 Διάγραμμα συσχέτισης μετρημένων - προβλεπόμενων πυκνοτήτων (ενιαία αρχική πυκνότητα για τις δονητικές φάσεις – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) αντιολισθηρής στρώσης



Σχήμα 5.50 Διάγραμμα πρόβλεψης της πυκνότητας από τα ισοδύναμα περάσματα (ενιαία αρχική πυκνότητα για τις δονητικές φάσεις – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπίκνωσης) αντιολισθηρής στρώσης

Τα αποτελέσματα των διαφόρων προσομοιώσεων με συνδυασμό των στοιχείων των ειδικών διατομών φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 5.20 Συνοπτικός πίνακας χαρακτηριστικών προσομοίωσης (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – διαφορετική αντίσταση ανά φάση)

	$L_m(\text{cm})$	α	R_s	R_v				R^2
3 ^η στρώση	30	0.40	2.48	6.05	9.93	9.74	-	0.59
αντιολισθηρά	45	0.61	6.82	11.77	34.51	22.46	19.00	0.77

Πίνακας 5.21 Συνοπτικός πίνακας χαρακτηριστικών προσομοίωσης (αρχική πυκνότητα προηγούμενης φάσης – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπύκνωσης)

	$L_m(\text{cm})$	α	R_s	R_v	R^2
3 ^η στρώση	30	0.42	2.50	7.69	0.57
αντιολισθηρά	45	0.44	6.56	18.44	0.70

Πίνακας 5.22 Συνοπτικός πίνακας χαρακτηριστικών προσομοίωσης (ενιαία αρχική πυκνότητα για τις δονητικές φάσεις – ενιαία αντίσταση για τις δονητικές φάσεις συμπύκνωσης)

	$L_m(\text{cm})$	α	R_s	R_v	R^2
3 ^η στρώση	30	0.41	2.48	7.46	0.50
αντιολισθηρά	45	0.44	6.55	17.97	0.63

Από τους πίνακες Πίνακας 5.20 έως Πίνακας 5.22 φαίνεται ότι:

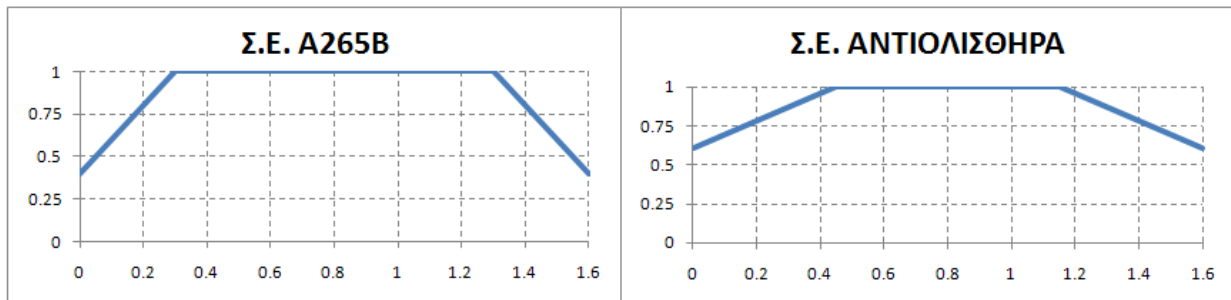
- για το ασφαλτόμιγμα τύπου A265B (3^η στρώση) το μέγιστο μήκος επιρροής τυμπάνου είναι 30 cm και η αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου 0.40.
- για το ασφαλτόμιγμα τύπου II αντιολισθηρά το μέγιστο μήκος επιρροής του τυμπάνου είναι 45 cm και η αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου 0.61.

Συγκρίνοντας αυτά τα αποτελέσματα με τα αποτελέσματα της προηγούμενης μεθοδολογίας (παράγραφος 5.3) συμπεραίνεται ότι:

- για το ασφαλτόμιγμα A265B, το διάγραμμα με μέγιστο μήκος επιρροής τυμπάνου 30 cm και αποτελεσματικότητα στο άκρο του τυμπάνου 0.40, δίνει καλύτερο συντελεστή συσχέτισης ($R^2=0.59$) σε σύγκριση με το Σ.Ε.1 της προηγούμενης μεθοδολογίας ($R^2=0.43$),
- για το ασφαλτόμιγμα τύπου II αντιολισθηράς στρώσης, το διάγραμμα με μέγιστο μήκος επιρροής του τυμπάνου 45 cm και αποτελεσματικότητα στο άκρο του

τυμπάνου 0.61, δίνει καλύτερο συντελεστή συσχέτισης ($R^2=0.77$) σε σύγκριση με το Σ.Ε. 0 της προηγούμενης μεθοδολογίας ($R^2=0.52$).

Από τα παραπάνω προκύπτουν τα εξής διαγράμματα Σ.Ε. (Σχήμα 5.51) για κάθε τύπο ασφαλτομίγματος:



Σχήμα 5.51 Συντελεστές επίδρασης ασφαλτομίγματος A265B και αντιολισθηράς

Η αντίσταση στην συμπίκνωση όπως προσδιορίστηκε σε κάθε φάση συμπίκνωσης, φαίνεται ότι αυξάνει διαδοχικά με την εκτέλεση των διαφόρων φάσεων συμπίκνωσης, όπως είχε αρχικά παρατηρηθεί με τη βοήθεια των σχημάτων 5.5 έως 5.8. Επίσης η τιμή R_s είναι παντού μικρότερη της R_v (πίνακες 5.20 έως 5.22), το οποίο επιβεβαιώνει το γεγονός ότι αυξανόμενων των περασμάτων του τυμπάνου, η αντίσταση του μίγματος στη συμπίκνωση αυξάνεται. Η αύξηση της αντίστασης του μίγματος στη συμπίκνωση, οφείλεται στο γεγονός ότι η αρχική συμπίκνωση πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες, όπου το ασφαλτομίγμα είναι πιο εργάσιμο και συμπυκνώνεται πιο εύκολα.

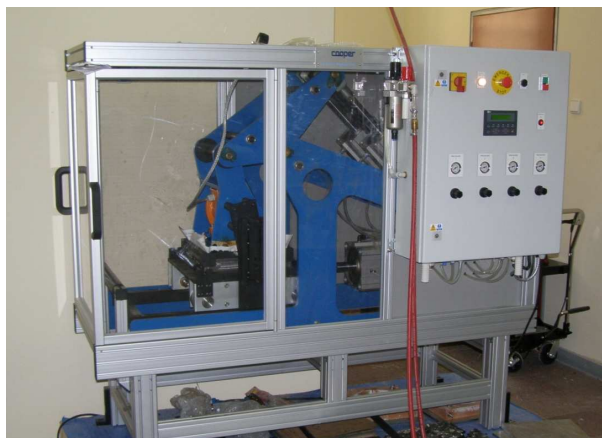
Με την προσομοίωση αυτή, είναι δυνατή η πρόβλεψη της πυκνότητας που θα επιτευχθεί από την επί τόπου συμπίκνωση, βάσει του αριθμού των διελεύσεων του οδοστρωτήρα και της απόστασης του σημείου μέτρησης από το άκρο του τυμπάνου. Κατά συνέπεια, δίνεται η δυνατότητα καθοδήγησης του τρόπου διέλευσης του τυμπάνου του οδοστρωτήρα κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης στο πεδίο για την επίτευξη ομοιόμορφης και της μέγιστης δυνατής συμπίκνωσης.

6 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Στην προσπάθεια προσομοίωσης της επί τόπου συμπίκνωσης, πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του ΕΜΠ, εργαστηριακές δοκιμές συμπίκνωσης των δύο τύπων ασφαλτομιγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στο έργο κατασκευής. Προς αυτή την κατεύθυνση πραγματοποιήθηκε προετοιμασία, παρασκευή και συμπίκνωση δοκιμών με την συσκευή συμπίκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor. Στη συνέχεια, έγινε πυρηνοληψία από τα εργαστηριακά δοκίμια που παράχθηκαν και υπολογισμός της επιτευχθείσας συμπίκνωσης (ή ποσοστού κενών αέρα).

6.1 Συσκευή συμπίκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor

Για να παραχθούν στο εργαστήριο δοκίμια με πυκνότητα όμοια με αυτή που επιτυγχάνεται στην επί τόπου συμπίκνωση, χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών συμπτυκνωτές. Ο πιο κοινός τύπος συμπτυκνωτή χρησιμοποιεί ένα μεταλλικό κύλινδρο για τη συμπίκνωση τετραγωνικών δοκιμών. Η απαιτούμενη πυκνότητα των δοκιμών αυτών επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας φορτία που προσομοιάζουν τα πραγματικά φορτία που ασκούνται στη συμπίκνωση ασφαλτομίγματος από οδοστρωτήρες. Το Εργαστήριο Οδοποιίας του ΕΜΠ διαθέτει συσκευή συμπίκνωσης τύπου Roller Compactor (Σχήμα 6.1), η οποία χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των εργαστηριακών πειραμάτων στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 6.1 Η συσκευή συμπίκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor του Εργαστηρίου Οδοποιίας του ΕΜΠ

Η συσκευή συμπίκνωσης Roller Compactor τροφοδοτείται από ένα υδραυλικό σύστημα και είναι εφοδιασμένη με έμβολα που ασκούν πίεση στο δοκίμιο συμπυκνώνοντάς το. Επίσης διαθέτει ένα κέντρο ελέγχου μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον αριθμό των περασμάτων του κυλίνδρου και τα φορτία που θα ασκούνται σε αυτό για να συμπυκνωθεί. Η προσθήκη δόνησης κατά την συμπίκνωση είναι μία επιλογή με την οποία αυξάνεται το έργο της και προσομοιάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τις συνθήκες του πεδίου. Η συσκευή Roller Compactor χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να παραχθούν δοκίμια σε συνθήκες ανάλογες με την εργοταξιακή διάστρωση και στη συνέχεια να γίνει σύγκριση των πυρήνων από την εργοταξιακή διάστρωση με τους αντίστοιχους της εργαστηριακής ως προς την επιτευχθείσα πυκνότητα.

6.2 Προετοιμασία και Παρασκευή δοκιμών

Για την παραγωγή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε ασφαλτόμιγμα, το οποίο λήφθηκε από το πίσω μέρος του finisher κατά τη διάρκεια της εργοταξιακής διάστρωσης, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίστηκε ότι το ασφαλτόμιγμα που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο δε διαφοροποιείται από το υλικό διάστρωσης, με αποτέλεσμα την αύξηση αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Αρχικά υπολογίστηκε η επιθυμητή ποσότητα που θα πρέπει να τοποθετηθεί στις μήτρες για να επιτευχθεί η επιθυμητή πυκνότητα και στο απαιτούμενο πάχος. Κατόπιν το υλικό ζυγίστηκε, χωρίστηκε στις επιθυμητές ποσότητες για κάθε μήτρα και τοποθετήθηκε σε ταψιά. Το δείγμα για να γίνει εργάσιμο και έτοιμο να συμπυκνωθεί στη συσκευή του εργαστηρίου, θερμάνθηκε στο φούρνο μέχρι τη θερμοκρασία συμπίκνωσης (Σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.2 Θέρμανση δείγματος στο φούρνο

Όταν το υλικό απέκτησε την απαιτούμενη θερμοκρασία, εξήχθη από το φούρνο και τοποθετήθηκε σε μήτρες ορθογωνικού σχήματος και διαστάσεων 305x305x50 mm (Σχήμα 6.3). Πριν τοποθετηθεί το υλικό στη μήτρα, η μήτρα αλειφόταν με γλυκερίνη για να διευκολυνθεί η εξαγωγή του δοκιμίου μετά τη φάση συμπίκνωσης.



Σχήμα 6.3 Μήτρες συμπίκνωσης ασφαλτομίγματος

Στο πάνω μέρος της μήτρας τοποθετείται μια προσθήκη για να συγκρατεί το ασυμπύκνωτο ασφαλτόμιγμα μέσα στη μήτρα και να μην υπάρχει απώλεια υλικού. Όταν προστεθεί το υλικό στη μήτρα, με γρήγορες κινήσεις επεξεργάζεται η επιφάνειά του, ώστε να είναι επίπεδη και ομαλή και προσυμπυκνώνεται ελαφρώς με χτυπήματα στην περιφέρεια και στο κέντρο του δείγματος. Σε ειδικό έντυπο καταγράφεται η ώρα εισαγωγής και εξαγωγής του δείγματος στο φούρνο, η θερμοκρασία συμπίκνωσης, ο χρόνος που διαρκεί η συμπίκνωση και η συνολική μάζα του δείγματος, της μήτρας και της προσθήκης πριν και μετά το τέλος της συμπίκνωσης. Στη συνέχεια, η μήτρα με το ασφαλτόμιγμα τοποθετείται στη συσκευή Roller Compactor για συμπίκνωση.

6.3 Παράμετροι εργαστηριακής συμπίκνωσης

Οι παράμετροι συμπίκνωσης που χρησιμοποιήθηκαν και μεταβλήθηκαν κατά την εργαστηριακή παραγωγή δοκιμίων ασφαλτομίγματος είναι η θερμοκρασία, ο αριθμός των περασμάτων και η μέθοδος συμπίκνωσης (στατική, με δόνηση και συνδυασμός τους). Οι ίδιες παράμετροι χρησιμοποιήθηκαν και για το ασφαλτόμιγμα A265B και για το τύπου II αντιολισθηρής στρώσης.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά στο ασφαλτόμιγμα τύπου A265B ισοπεδωτικής στρώσης, επιλέχθηκαν οι ακόλουθες θερμοκρασίες συμπίκνωσης: 110 °C, 125 °C, 135 °C, 145 °C και

αριθμός περασμάτων 35, 45, 55 περάσματα και ο τρόπος συμπίκνωσης είχε 4 διαφορετικές λειτουργίες. Η μία λειτουργία προσομοίαζε τον τρόπο συμπίκνωσης που εφαρμόστηκε στο εργοτάξιο, ενώ οι άλλες τρεις λειτουργίες ήταν παραλλαγές της επί τόπου συμπίκνωσης με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης της μεθόδου στην τελική συμπίκνωση και του μεγέθους της. Ο κάθε τρόπος συμπίκνωσης χωρίστηκε σε 4 φάσεις. Η πρώτη φάση αντιπροσώπευε την προσυμπύκνωση που επιτυγχάνεται από τον διαστρωτήρα (finisher), ενώ οι υπόλοιπες τρεις φάσεις αντιπροσώπευαν την συμπίκνωση που επιτυγχάνεται από τους οδοστρωτήρες (στατικούς ή δονητικούς). Επιλέχθηκαν λοιπόν οι εξής λειτουργίες :

α) Στατική λειτουργία : Σε όλες τις φάσεις η συμπίκνωση έγινε στατικά.

β) Δονητική λειτουργία : Σε όλες τις φάσεις η συμπίκνωση πραγματοποιήθηκε με δόνηση.

γ) Στατική – Δονητική λειτουργία (λειτουργία πεδίου) : Οι δύο πρώτες φάσεις συμπίκνωσης έγιναν στατικά, ενώ οι επόμενες δύο έγιναν δονητικά.

δ) Στατική – Δονητική – Στατική λειτουργία : Η πρώτη φάση έγινε στατικά, στη δεύτερη και τρίτη φάση χρησιμοποιήθηκε δόνηση, ενώ η τέταρτη φάση έγινε στατικά.

Αντίστοιχα για το ασφαλτόμιγμα τύπου II αντιολισθηρής στρώσης οι τιμές των παραμέτρων συμπίκνωσης διαμορφώθηκαν ως εξής: α) θερμοκρασία: 130 °C, 140 °C, 150 °C, 160 °C και β) ο αριθμός των περασμάτων 45, 55, 65 περάσματα. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε η ίδια μεθοδολογία συμπίκνωσης με 4 λειτουργίες, αντίστοιχα με του μίγματος τύπου A265B.

Με βάση τα παραπάνω παράχθηκαν στο Εργαστήριο Οδοποιίας του ΕΜΠ, 43 τετραγωνικά δοκίμια ασφαλτομίγματος τύπου A265B και 48 τετραγωνικά δοκίμια ασφαλτομίγματος τύπου II αντιολισθηρής στρώσης (Σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.4 Δοκίμια μετά την εξαγωγή τους από τις μήτρες

Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι η συσκευή Roller Compactor δίνει την δυνατότητα να μεταβληθεί η πίεση που ασκεί ο κύλινδρος (δηλαδή το φορτίο που εφαρμόζεται στο μίγμα κατά την συμπίκνωση) και η συχνότητα της δόνησης. Δεδομένου ότι στην εργοταξιακή συμπίκνωση τα στοιχεία αυτά παρέμειναν σταθερά (ο οδοστρωτήρας ήταν ο ίδιος σε όλες της φάσεις, οπότε δεν άλλαξε το φορτίο του και η συχνότητα δόνησης παρέμεινε σταθερή), κρίθηκε σκόπιμο να μην μεταβληθούν στην εργαστηριακή διερεύνηση. Έτσι χρησιμοποιήθηκε και για τους δύο τύπους ασφαλτομιγμάτων σε όλες τις λειτουργίες, 1 bar πίεσης για την πρώτη φάση συμπίκνωσης 1.5 bar πίεσης για τις υπόλοιπες τρεις φάσεις και συχνότητα δόνησης 40 Hz.

Μετά την ολοκλήρωση της λειτουργίας, εξήχθη η μήτρα με το συμπυκνωμένο ασφαλτόμιγμα από την συσκευή, καταγράφηκε η φορά συμπίκνωσης, ζυγίστηκε η μήτρα με το συμπυκνωμένο υλικό και την προσθήκη για έλεγχο απώλειας υλικού. Τέλος, εφαρμόστηκε μία ταινία στην επιφάνεια του δοκιμίου στην οποία καταγράφονταν η θερμοκρασία, ο τρόπος συμπίκνωσης και ο αριθμός των περασμάτων και το δοκίμιο αφέθηκε να κρυώσει. Στη συνέχεια η μήτρα λύθηκε και αφαιρέθηκε το δοκίμιο (Σχήμα 6.5).

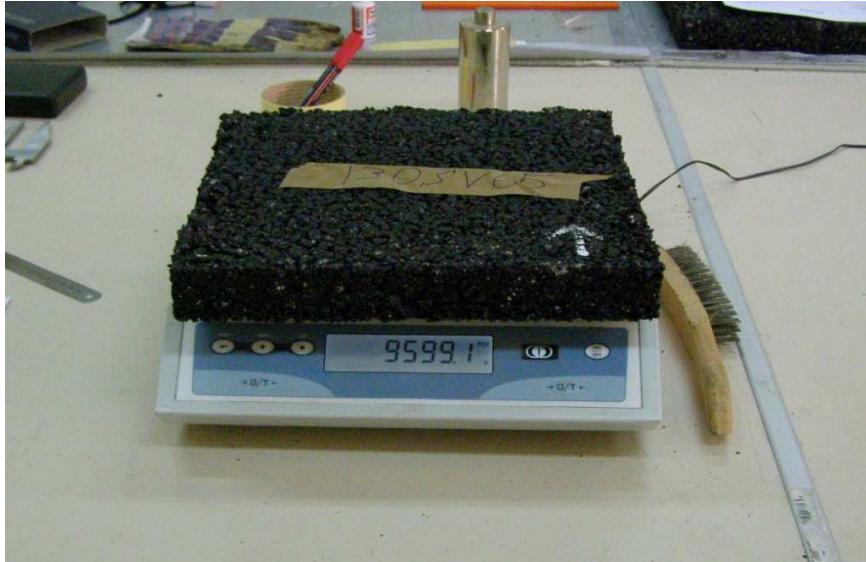


Σχήμα 6.5 Δοκίμιο μίγματος αντιολισθηράς στρώσης την στιγμή της εξαγωγής του από τη μήτρα

6.4 Υπολογισμός πυκνότητας των δοκιμίων με γεωμετρικά στοιχεία

Μετά την εξαγωγή του δοκιμίου από την μήτρα ακολούθησε ο γεωμετρικός προσδιορισμός της πυκνότητας του δοκιμίου και κατά συνέπεια των κενών που περιείχονταν σε αυτό. Το ορθογωνικό δοκίμιο ζυγίστηκε σε ζυγό ακριβείας 0,1 gr (Σχήμα 6.6). Στη

συνέχεια μετρήθηκαν το μήκος και το πλάτος με ένα μέτρο σε τέσσερα διαφορετικά σημεία και υπολογίστηκε ο μέσος όρος της κάθε διάστασης. Σε κάθε πλευρά του δοκιμίου λήφθηκαν τέσσερις μετρήσεις του ύψους με ένα παχύμετρο και υπολογίστηκε ο μέσος όρος του ύψους του δοκιμίου.



Σχήμα 6.6 Ζύγιση δοκιμίου

Υπολογίστηκε ο όγκος του δοκιμίου βάσει της ακόλουθης εξίσωσης,

$$V = a \times b \times h \quad (6.1)$$

όπου : V = όγκος του δοκιμίου σε m^3

a = μήκος του δοκιμίου σε m

b = πλάτος του δοκιμίου σε m

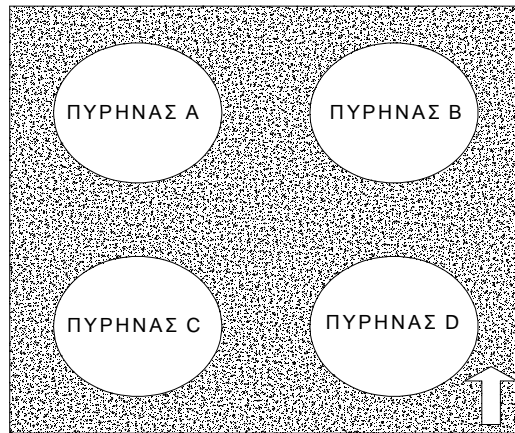
h = ύψος δοκιμίου σε m

Διαιρώντας την μάζα του δοκιμίου σε kg με τον όγκο του δοκιμίου προκύπτει η πυκνότητά του και διαιρώντας την πυκνότητα αυτή με την μέγιστη χαλαρή πυκνότητα του ασφαλτομίγματος και αφαιρώντας το αποτέλεσμα από την μονάδα προκύπτει το ποσοστό των κενών του ασφαλτομίγματος. Ο υπολογισμός της πυκνότητας και του ποσοστού των κενών στο μίγμα του δοκιμίου γίνεται και στους δύο τύπους ασφαλτομίγματος.

6.5 Υπολογισμός πυκνότητας με πυρήνες

Μετά την ολοκλήρωση του υπολογισμού της πυκνότητας των δοκιμίων με γεωμετρικά στοιχεία, έγινε εξαγωγή πυρήνων. Από κάθε δοκίμιο ελήφθησαν τέσσερις πυρήνες, όπως

φαίνεται στο Σχήμα 6.7. Η φορά συμπίκνωσης σημειώνεται με ένα βελάκι στο κάτω δεξιά τμήμα της πλάκας ενώ οι πυρήνες κωδικοποιούνται ανάλογα με τη θέση τους ως προς τη φορά συμπίκνωσης σε: Α, Β, C & D.



Σχήμα 6.7 Σκαρίφημα διάταξης του τρόπου πυρηνοληψίας

Η πυρηνοληψία έγινε με μια καροτέζα HILTI DD 160E με κορώνα διαμέτρου κοπής 95 mm σε συνεργασία με την αρμόδια ομάδα της Κ/Ξ ΜΟΡΕΑΣ έξω από το Εργαστήριο Οδοποιίας.



Σχήμα 6.8 Εξαγωγή πυρήνων

Στη συνέχεια οι πυρήνες τοποθετήθηκαν σε στεγνό μέρος για να αποβάλλουν την υγρασία που απορρόφησαν κατά τη διάρκεια της κοπής. Η απαίτηση αποβολής της υγρασίας προέρχεται από την διαδικασία υπολογισμού του φαινόμενου ειδικού βάρους για ζύγιση του πυρήνα σε ξηρή κατάσταση. Όταν λοιπόν οι πυρήνες απέβαλλαν την υγρασία τους καθαρίστηκαν με μία βούρτσα για να απομακρυνθούν κομμάτια που μπορεί να αποκοπούν από τον πυρήνα αλλά και για να καθαριστεί από σκόνες και άλλες προσμίξεις που έγιναν κατά τη διάρκεια της κοπής. Οι πυρήνες του ασφαλτομίγματος A265B ζυγίστηκαν σε ξηρή κατάσταση, μέσα σε νερό θερμοκρασίας 25 °C και σε κορεσμένη κατάσταση, ενώ οι πυρήνες του ασφαλτομίγματος τύπου II αντιολισθηρά ζυγίστηκαν σε ξηρή κατάσταση και μετρήθηκαν η διάμετρος και το ύψος τους. Τέλος, αφού ολοκληρώθηκαν οι ζυγίσεις και οι μετρήσεις υπολογίστηκε το φαινόμενο ειδικό βάρος (πυκνότητα) κάθε πυρήνα σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 4.3.3.2.

6.6 Υπολογισμός κενών

Επόμενο βήμα μετά τον υπολογισμό της πυκνότητας των πυρήνων, είναι ο υπολογισμός του ποσοστού των κενών στο συμπυκνωμένο ασφαλτόμιγμα (PAV). Ο υπολογισμός τους πραγματοποιείται σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 4.3.3.3.

7 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

7.1 Επεξεργασία στοιχείων εργαστηριακών δοκιμών

Για την αξιολόγηση και ανάλυση των εργαστηριακών αποτελεσμάτων που προέκυψαν στο Εργαστήριο Οδοποιίας του ΕΜΠ συντάχθηκαν πίνακες και διαγράμματα. Τα αποτελέσματα αυτά περιλαμβάνουν πίνακες με στοιχεία των παραμέτρων της εργαστηριακής συμπίκνωσης, όπως θερμοκρασία συμπίκνωσης, αριθμός περασμάτων και λειτουργία συμπίκνωσης (στατική λειτουργία, δονητική και συνδυασμός των δύο αυτών) και τις πυκνότητες που υπολογίστηκαν στα δοκίμια και στους πυρήνες που αποκόπηκαν από κάθε τετραγωνικό δοκίμιο. Ακόμη δημιουργήθηκαν διαγράμματα πυκνότητας συναρτήσεως της θερμοκρασίας και των περασμάτων για τους δύο τύπους ασφαλτομιγμάτων (τύπου Α265Β και αντιολισθηρής στρώσης) για την αξιολόγηση της μεταβολής της επιτευχθείσας πυκνότητας σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας και των περασμάτων. Οι πίνακες 7.1 και 7.2 αποτελούν συνοπτική περιγραφή των παραμέτρων συμπίκνωσης που χρησιμοποιήθηκαν στις εργαστηριακές δοκιμές και των αποτελεσμάτων της πυκνότητας για το δοκίμιο και τους πυρήνες του δοκιμίου.

Οι παρακάτω πίνακες περιέχουν τα εξής στοιχεία:

- Κωδικός δοκιμίου, με τον οποίο δίνεται μία σύντομη περιγραφή των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για τη συμπίκνωση (π.χ. ο κωδικός 110SV45 σημαίνει ότι το δοκίμιο συμπυκνώθηκε σε θερμοκρασία 110°C με 45 περάσματα του εργαστηριακού συμπυκνωτή, χρησιμοποιώντας τη στατική λειτουργία στις δύο πρώτες φάσεις συμπίκνωσης και τη δονητική στις επόμενες δύο φάσεις.
- Θερμοκρασία συμπίκνωσης του δοκιμίου. Η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 110°C έως 145°C για το μίγμα της Α265Β και από 130°C έως 160°C για το μίγμα της αντιολισθηράς.
- Αριθμός περασμάτων του τυμπάνου του εργαστηριακού συμπυκνωτή. Ο αριθμός αυτός κυμάνθηκε από 35 έως 55 περάσματα για το ασφαλτόμιγμα Α265Β και από 45 έως 65 περάσματα για το ασφαλτόμιγμα τύπου ΙΙ αντιολισθηρής στρώσης.
- Πυκνότητα ορθογωνικού δοκιμίου (kg/m^3), όπως αυτή μετρήθηκε σύμφωνα με την παράγραφο 6.4.

- Πυκνότητα πυρήνων A, B, C, D (kg/m^3), όπως αυτή μετρήθηκε σύμφωνα με την παράγραφο 6.5.

Πίνακας 7.1 Στοιχεία εργαστηριακής συμπίκνωσης ασφαλτομίγματος A265B

A/A	Κωδικός	Θερμοκρασία °C	Περάσματα	Πυκνότητα δοκιμίου (kg/m^3)	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m^3)			
					A	B	C	D
1	110S45	110	45	2339	2374	2366	2385	2380
2	110V45	110	45	2285	2372	2388	2373	2386
3	110SV45	110	45	2356	2377	2367	2375	2395
4	110VS45	110	45	2323	2340	2374	2347	2387
5	110V55	110	55	2312	2329	2305	2298	2337
6	110SV55	110	55	2302	2332	2317	2312	2340
7	110VS55	110	55	2291	2312	2314	2314	2363
8	125S35	125	35	2273	2287	2289	2317	2260
9	125V35	125	35	2303	2343	2328	2341	2293
10	125SV35	125	35	2248	2237	2273	2275	2313
11	125VS35	125	35	2269	2225	2282	2258	2321
12	125S45	125	45	2323	2303	2353	2347	2382
13	125V45	125	45	2315	2357	2321	2362	2329
14	125SV45	125	45	2324	2303	2336	2337	2360
15	125VS45	125	45	2340	2334	2324	2354	2341
16	125S55	125	55	2357	2325	2372	2335	2352
17	125V55	125	55	2329	2283	2350	2340	2385
18	125SV55	125	55	2350	2340	2391	2329	2391
19	125VS55	125	55	2337	2309	2357	2362	2385
20	135S35	135	35	2318	2342	2324	2360	2333
21	135V35	135	35	2320	2327	2345	2343	2354
22	135SV35	135	35	2278	2316	2291	2351	2295
23	135VS35	135	35	2321	2334	2359	2340	2368
24	135S45	135	45	2320	2316	2326	2301	2362
25	135V45	135	45	2402	2392	2399	2411	2382
26	135SV45	135	45	2284	2260	2312	2297	2300
27	135VS45	135	45	2260	2317	2299	2303	2271
28	135S55	135	55	2362	2392	2385	2405	2395
29	135V55	135	55	2284	2319	2316	2296	2315
30	135SV55	135	55	2349	2377	2381	2416	2396
31	135VS55	135	55	2355	2384	2347	2402	2386
32	145S35	145	35	2299	2343	2356	2353	2365
33	145V35	145	35	2321	2350	2343	2372	2363
34	145SV35	145	35	2272	2264	2267	2249	2256

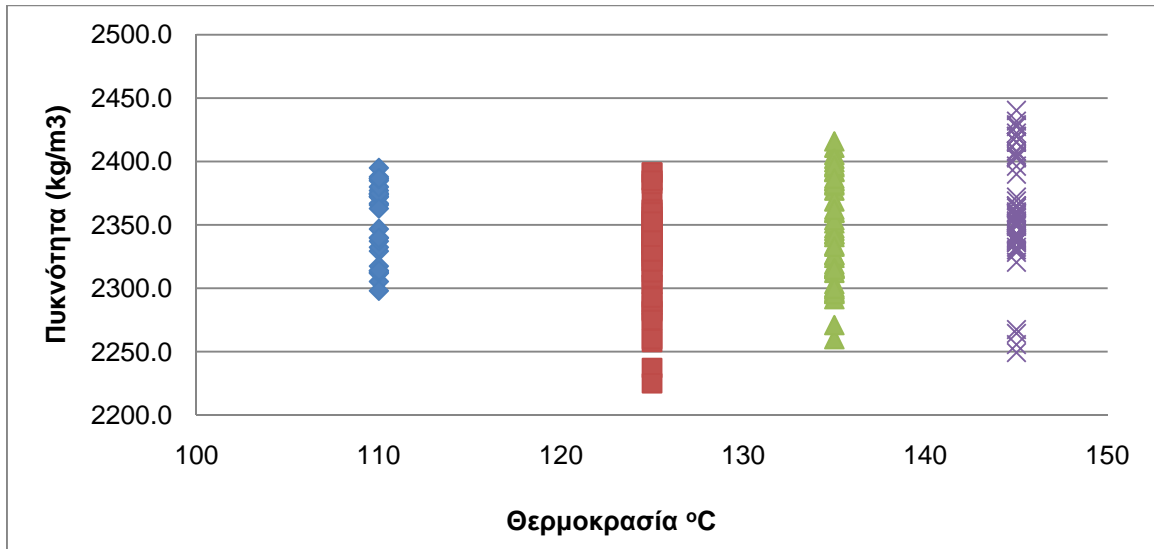
A/A	Κωδικός	Θερμοκρασία °C	Περάσματα	Πυκνότητα δοκιμίου (kg/m ³)	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)			
					A	B	C	D
35	145VS35	145	35	2340	2359	2349	2320	2328
36	145S45	145	45	2382	2420	2405	2427	2408
37	145V45	145	45	2404	2420	2422	2440	2429
38	145SV45	145	45	2414	2390	2415	2408	2432
39	145VS45	145	45	2305	2339	2369	2340	2357
40	145S55	145	55	2386	2396	2404	2415	2403
41	145V55	145	55	2327	2360	2351	2336	2336
42	145SV55	145	55	2317	2330	2332	2359	2353
43	145VS55	145	55	2341	2341	2365	2338	2338

Πίνακας 7.2 Στοιχεία εργαστηριακής συμπίκνωσης ασφαλτομίγματος τύπου II αντιολισθηρής στρώσης

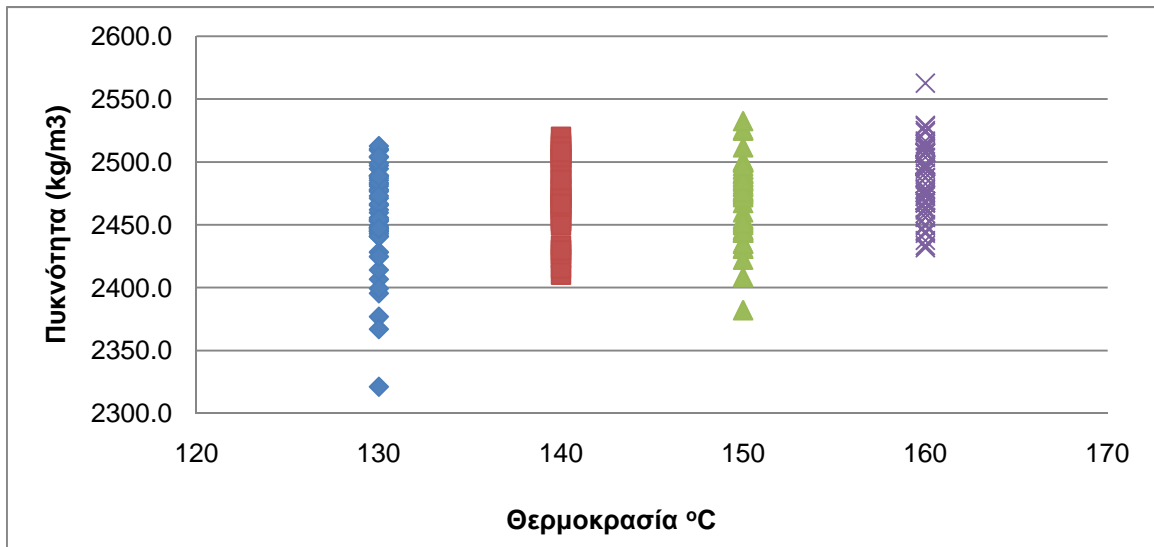
A/A	Κωδικός	Θερμοκρασία °C	Περάσματα	Πυκνότητα δοκιμίου (kg/m ³)	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)			
					A	B	C	D
1	130S45	130	45	2439	2448	2407	2441	2395
2	130V45	130	45	2438	2482	2449	2486	2455
3	130SV45	130	45	2407	2377	2441	2367	2321
4	130VS45	130	45	2457	2453	2509	2466	2497
5	130S55	130	55	2470	2456	2443	2448	2425
6	130V55	130	55	2505	2446	2428	2477	2483
7	130SV55	130	55	2519	2460	2504	2510	2499
8	130VS55	130	55	2494	2481	2487	2471	2489
9	130S65	130	65	2507	2462	2445	2467	2504
10	130V65	130	65	2471	2445	2414	2513	2447
11	130SV65	130	65	2489	2495	2478	2477	2473
12	130VS65	130	65	2490	2489	2489	2453	2399
13	140S45	140	45	2462	2453	2473	2452	2472
14	140V45	140	45	2499	2410	2423	2475	2471
15	140SV45	140	45	2463	2489	2491	2471	2463
16	140VS45	140	45	2431	2467	2430	2415	2427
17	140S55	140	55	2484	2515	2490	2466	2467
18	140V55	140	55	2503	2471	2520	2467	2499
19	140SV55	140	55	2506	2487	2457	2465	2506
20	140VS55	140	55	2488	2455	2462	2512	2504
21	140S65	140	65	2469	2505	2433	2486	2486
22	140V65	140	65	2486	2502	2502	2503	2430
23	140SV65	140	65	2507	2513	2506	2479	2508

Α/Α	Κωδικός	Θερμοκρασία °C	Περάσματα	Πυκνότητα δοκιμίου (kg/m ³)	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)			
					A	B	C	D
24	140VS65	140	65	2489	2473	2510	2479	2450
25	150S45	150	45	2497	2488	2525	2491	2472
26	150V45	150	45	2442	2482	2431	2408	2382
27	150SV45	150	45	2456	2444	2431	2444	2435
28	150VS45	150	45	2456	2475	2446	2455	2500
29	150S55	150	55	2485	2467	2460	2435	2480
30	150V55	150	55	2461	2453	2450	2454	2445
31	150SV55	150	55	2502	2486	2478	2494	2476
32	150VS55	150	55	2465	2494	2490	2446	2485
33	150S65	150	65	2508	2484	2499	2491	2532
34	150V65	150	65	2499	2473	2422	2501	2451
35	150SV65	150	65	2520	2480	2500	2488	2497
36	150VS65	150	65	2527	2474	2525	2477	2511
37	160S45	160	45	2428	2443	2432	2456	2434
38	160V45	160	45	2474	2469	2496	2462	2488
39	160SV45	160	45	2460	2476	2469	2449	2474
40	160VS45	160	45	2461	2507	2437	2464	2497
41	160S55	160	55	2508	2496	2498	2467	2479
42	160V55	160	55	2480	2507	2514	2511	2497
43	160SV55	160	55	2480	2494	2498	2459	2498
44	160VS55	160	55	2493	2482	2529	2508	2487
45	160S65	160	65	2479	2456	2478	2445	2472
46	160V65	160	65	2520	2517	2528	2504	2513
47	160SV65	160	65	2526	2507	2467	2491	2524
48	160VS65	160	65	2526	2563	2525	2508	2450

Ακόμη, παρατίθενται διαγράμματα που απεικονίζουν την επιτευχθείσα πυκνότητα πυρήνων ως προς τη θερμοκρασία συμπίκνωσης για κάθε τύπο ασφαλτομίγματος (σχήματα 7.1 και 7.2), καθώς και σε σχέση με τον αριθμό των διελεύσεων (σχήματα 7.3 και 7.4) προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδρασή τους στην τελική συμπίκνωση του ασφαλτομίγματος.

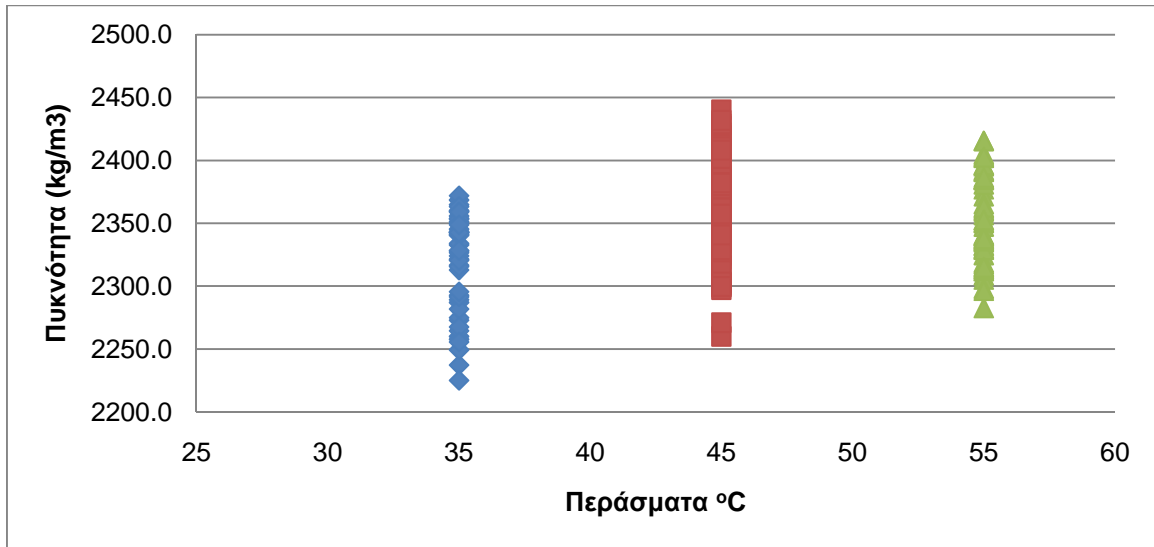


Σχήμα 7.1 Αποτελέσματα πυκνότητας πυρήνων ασφαλτομίγματος A265B για διάφορες θερμοκρασίες συμπύκνωσης

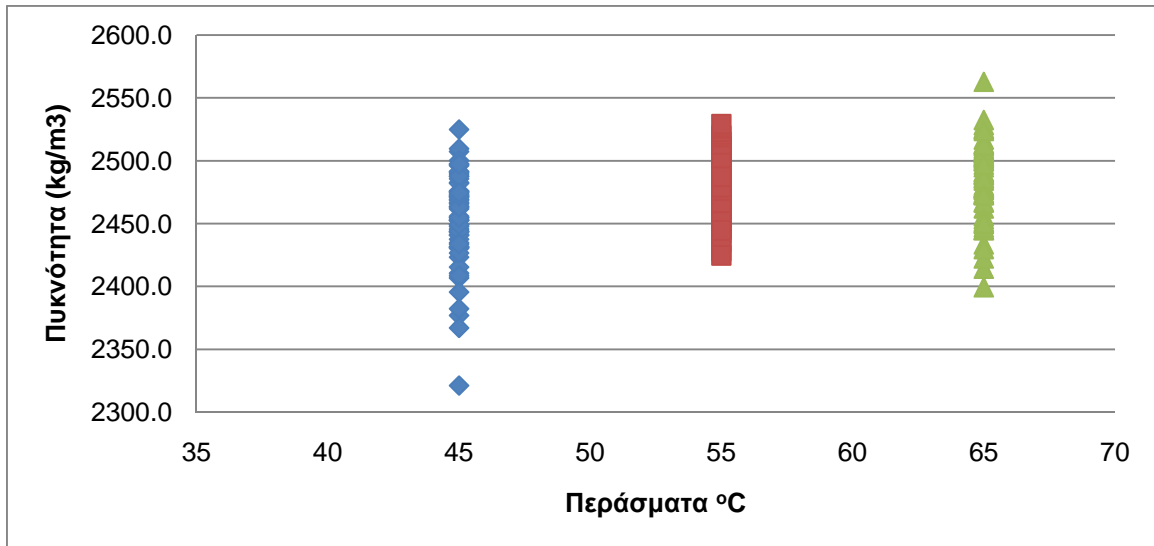


Σχήμα 7.2 Αποτελέσματα πυκνότητας πυρήνων αντιολισθηρού ασφαλτομίγματος για διάφορες θερμοκρασίες συμπύκνωσης

Από τα παραπάνω σχήματα είναι εμφανές ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας αυξάνεται η πυκνότητα των πυρήνων και για τους δύο τύπους μιγμάτων.



Σχήμα 7.3 Αποτελέσματα πυκνότητας πυρήνων ασφαλτομίγματος A265B για διαφορετικό αριθμό περασμάτων



Σχήμα 7.4 Αποτελέσματα πυκνότητας πυρήνων αντιολισθηρού ασφαλτομίγματος για διαφορετικό αριθμό περασμάτων

Από τα παραπάνω σχήματα παρατηρείται αύξηση της πυκνότητας όσο αυξάνεται ο αριθμός των περασμάτων και για τους δύο τύπους ασφαλτομιγμάτων.

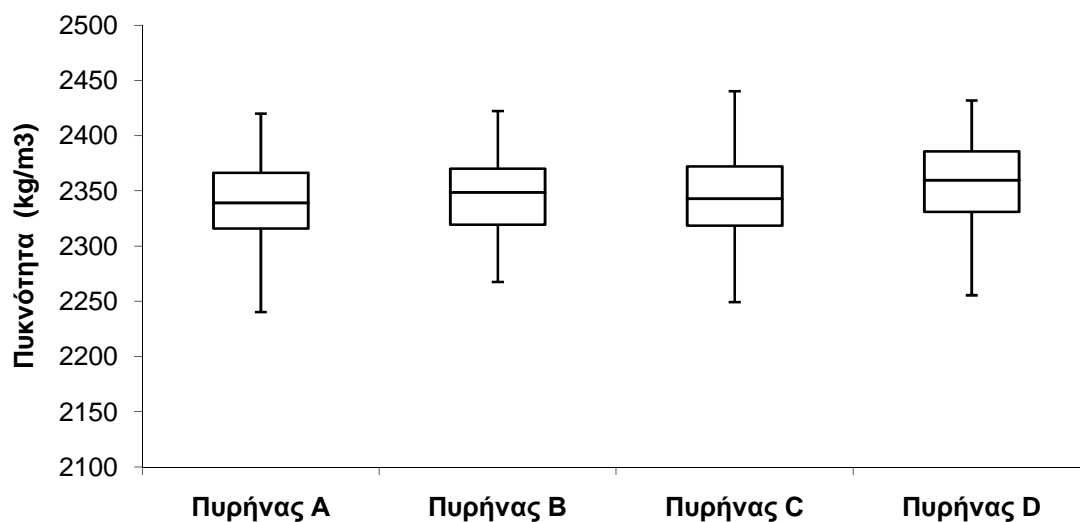
7.2 Ανάλυση διακύμανσης πυκνότητας πυρήνων

Για τον έλεγχο των διαφορών που υπάρχουν στην πυκνότητα μεταξύ των πυρήνων ενός δοκιμίου χρησιμοποιήθηκαν περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των πυρήνων A, B, C, D για το ασφαλτόμιγμα τύπου A265B (Πίνακας 7.3) και για το ασφαλτόμιγμα αντιολισθηρής στρώσης (Πίνακας 7.5), το θηκόγραμμα για τους πυρήνες κάθε τύπου ασφαλτομίγματος (σχήματα 7.5 και 7.6) και η ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (θέση πυρήνα) (πίνακες 7.4 και 7.6).

Πίνακας 7.3 Έλεγχος ομοιομορφίας συμπύκνωσης εντός των δοκιμίων ασφαλτομίγματος A265B

	ΠΥΡΗΝΑΣ A	ΠΥΡΗΝΑΣ B	ΠΥΡΗΝΑΣ C	ΠΥΡΗΝΑΣ D
Μέσος	2336.5	2345.8	2347.5	2354.1
Τυπικό σφάλμα	6.7	5.9	6.7	6.4
Διάμεσος	2339.2	2348.7	2342.8	2359.8
Μέση απόκλιση τετραγώνου	43.9	38.7	44.2	42.1
Διακύμανση	1925.0	1494.7	1957.7	1771.4
Εύρος	195.0	154.8	191.0	176.3
Ελάχιστο	2225.0	2267.5	2249.3	2255.5
Μέγιστο	2420.0	2422.3	2440.3	2431.9
Άθροισμα	100469.9	100870.1	100944.1	101225.7
Πλήθος	43.0	43.0	43.0	43.0
Βαθμός εμπιστοσύνης(95.0%)	13.5	11.9	13.6	13.0

Από τα παραπάνω περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των πυρήνων του ασφαλτομίγματος A265B, παρατηρείται ότι οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις ανά θέση είναι περίπου όμοιες και εξ' αυτού συμπεραίνεται ότι δεν υπήρξε διαφοροποίηση της συμπύκνωσης που επιτεύχθηκε εργαστηριακά στα διάφορα σημεία του δοκιμίου.



Σχήμα 7.5 Θηκόγραμμα πυρήνων A,B,C,D ασφαλτομίγματος A265B

Από το παραπάνω θηκόγραμμα, είναι φανερό ότι η τιμή της διαμέσου δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές και βρίσκεται περίπου στο κέντρο του θηκογράμματος, το οποίο επιβεβαιώνει το συμπέρασμα της μη διαφοροποίησης της συμπύκνωσης μεταξύ των πυρήνων για το ασφαλτόμιγμα A265B. Για την ασφαλέστερη εκτίμηση του συμπεράσματος αυτού πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (θέση πυρήνα), χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του πίνακα 7.1 για το ασφαλτόμιγμα A265B. Στην ανάλυση διακύμανσης ελέγχεται η μηδενική υπόθεση ότι οι μέσοι όροι των πυκνοτήτων των πυρήνων είναι ίσοι, δηλαδή $\mu_\alpha = \mu_\beta = \mu_\gamma = \mu_\delta$. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 7.4 Ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (θέση πυρήνα) ασφαλτομίγματος A265B

Ομάδες	Πλήθος	Άθροισμα	Μέσος όρος	Διακύμανση
ΠΥΡΗΝΑΣ Α	43	100469.9	2336.5	1925.0
ΠΥΡΗΝΑΣ Β	43	100870.1	2345.8	1494.7
ΠΥΡΗΝΑΣ C	43	100944.1	2347.5	1957.7
ΠΥΡΗΝΑΣ D	43	101225.7	2354.1	1771.4

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

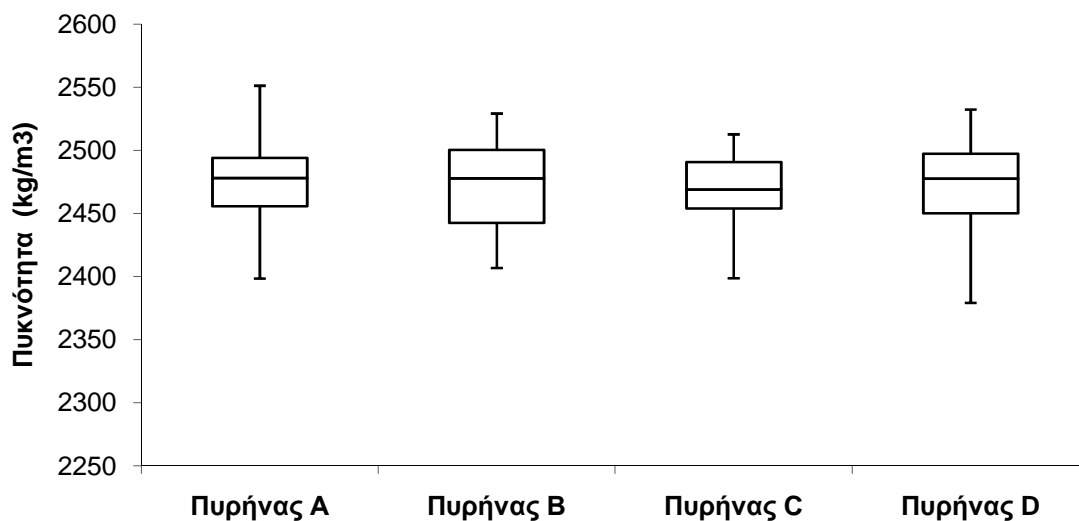
Προέλευση διακύμανσης	SS	Βαθμοί ελευθερίας	MS	F	τιμή-P	κριτήριο F
Μεταξύ ομάδων	6787.7	3	2262.574	1.265979	0.287775	2.658399
Μέσα στις ομάδες	300251.8	168	1787.213			
Σύνολο	307039.5	171				

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει, ότι η υπολογισθείσα τιμή του F είναι μικρότερη από το κριτήριο F για τρεις βαθμούς ελευθερίας και επίπεδο εμπιστοσύνης $\alpha = 0.05$, πράγμα το οποίο αποδεικνύει ότι δεν υπάρχει στατιστική διαφοροποίηση των πυκνοτήτων των πυρήνων στις τέσσερις θέσεις του δοκιμίου, στις οποίες ελήφθησαν οι πυρήνες για το ασφαλτόμιγμα A265B.

Πίνακας 7.5 Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία πυρήνων αντιολισθηρού ασφαλτομίγματος

	ΠΥΡΗΝΑΣ Α	ΠΥΡΗΝΑΣ Β	ΠΥΡΗΝΑΣ C	ΠΥΡΗΝΑΣ D
Μέσος	2476.0	2473.3	2469.8	2469.8
Τυπικό σφάλμα	4.3	5.1	4.2	5.8
Διάμεσος	2478.0	2477.9	2469.0	2477.5
Μέση απόκλιση τετραγώνου	29.7	35.2	29.1	39.9
Διακύμανση	881.1	1241.4	848.1	1590.7
Εύρος	185.8	122.4	145.7	211.2
Ελάχιστο	2376.8	2406.8	2367.0	2321.1
Μέγιστο	2562.6	2529.2	2512.7	2532.3
Άθροισμα	118850.2	118720.5	118551.3	118549.3
Πλήθος	48.0	48.0	48.0	48.0
Βαθμός εμπιστοσύνης(95.0%)	8.6	10.2	8.5	11.6

Από τα παραπάνω περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των πυρήνων του ασφαλτομίγματος τύπου II αντιολισθηρά, παρατηρείται ότι οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις ανά θέση είναι περίπου όμοιες και εξ' αυτού συμπεραίνεται ότι δεν υπήρξε διαφοροποίηση της συμπύκνωσης που επιτεύχθηκε εργαστηριακά στα διάφορα σημεία του δοκιμίου.



Σχήμα 7.6 Θηκόγραμμα πυρήνων Α,Β,C,D αντιολισθηρού ασφαλτομίγματος

Από το παραπάνω θηκόγραμμα, είναι φανερό ότι η τιμή της διαμέσου δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές και βρίσκεται περίπου στο κέντρο του θηκογράμματος, το οποίο επιβεβαιώνει το συμπέρασμα της μη διαφοροποίησης της συμπύκνωσης μεταξύ των πυρήνων για το ασφαλτόμιγμα τύπου II (αντιολισθηρά). Για την ασφαλέστερη εκτίμηση του συμπεράσματος αυτού πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (θέση πυρήνα), χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του πίνακα Πίνακας 7.2 για το ασφαλτόμιγμα τύπου II

(αντιολισθηράς). Στην ανάλυση διακύμανσης ελέγχεται η μηδενική υπόθεση ότι οι μέσοι όροι των πυκνοτήτων των πυρήνων είναι ίσοι, δηλαδή $\mu_\alpha = \mu_\beta = \mu_\gamma = \mu_\delta$. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 7.6 Ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (θέση πυρήνα) ασφαλτομίγματος αντιολισθηρής στρώσης

Ομάδες	Πλήθος	Άθροισμα	Μέσος όρος	Διακύμανση
ΠΥΡΗΝΑΣ Α	48	118850.2	2476.0	881.1
ΠΥΡΗΝΑΣ Β	48	118720.5	2473.3	1241.4
ΠΥΡΗΝΑΣ C	48	118551.3	2469.8	848.1
ΠΥΡΗΝΑΣ D	48	118549.3	2469.8	1590.7

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

Προέλευση διακύμανσης	SS	Βαθμοί ελευθερίας	MS	F	τιμή-P	κριτήριο F
Μεταξύ ομάδων	1326.0	3	442.012	0.387625	0.762044	2.6526
Μέσα στις ομάδες	214378.1	188	1140.309			
Σύνολο	215704.2	191				

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ότι η υπολογισθείσα τιμή του F είναι μικρότερη από το κριτήριο F για τρεις βαθμούς ελευθερίας και επίπεδο εμπιστοσύνης $\alpha = 0.05$, πράγμα το οποίο αποδεικνύει ότι δεν υπάρχει στατιστική διαφοροποίηση των πυκνοτήτων των πυρήνων στις τέσσερις θέσεις του δοκιμίου, στις οποίες ελήφθησαν οι πυρήνες για το ασφαλτόμιγμα τύπου II αντιολισθηρά.

7.3 Συσχετισμός των παραμέτρων συμπίκνωσης στο εργαστήριο

Επιπλέον πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των εργαστηριακών στοιχείων για το συσχετισμό της πυκνότητας των πυρήνων με τις μεταβλητές: θερμοκρασία, αριθμός των περασμάτων και επιβαλλόμενη πίεση ανά φάση συμπίκνωσης.

Αρχικά, θεωρήθηκε ότι, η επιβαλλόμενη προσπάθεια (ενέργεια) συμπίκνωσης είναι το άθροισμα των γινομένων της ασκούμενης πίεσης επί τον αριθμό των περασμάτων ανά φάση συμπίκνωσης και έγινε διαχωρισμός των στατικών φάσεων από τις δονητικές. Ως αρχική πυκνότητα λήφθηκε ο μέσος όρος των τεσσάρων πυρήνων κάθε δοκιμίου (Πίνακας 7.7).

Για τον συσχετισμό των τριών παραμέτρων, θερμοκρασίας, στατικής ενέργειας και δονητικής ενέργειας, με την επιτυγχανόμενη πυκνότητα εφαρμόστηκε πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, η οποία έδωσε σχετικά χαμηλό συντελεστή συσχέτισης R^2 της τάξεως του

0.18, τα αποτελέσματα της οποίας δίνονται στους παρακάτω πίνακες μαζί με τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 7.7 Πίνακας θερμοκρασίας, προτύπων συμπίκνωσης και πυκνότητας πυρήνων A265B

Κωδικός	Θερμοκρασία °C	Στατικό	Δόνηση	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)
110S45	110	65.5	0	2376
110V45	110	0	65.5	2380
110SV45	110	20.5	45	2378
110VS45	110	20.5	45	2362
110V55	110	0	80.5	2317
110SV55	110	22	58.5	2325
110VS55	110	22	58.5	2325
125S35	125	50.5	0	2288
125V35	125	0	50.5	2326
125SV35	125	16	34.5	2274
125VS35	125	16	34.5	2271
125S45	125	65.5	0	2346
125V45	125	0	65.5	2342
125SV45	125	20.5	45	2334
125VS45	125	20.5	45	2338
125S55	125	80.5	0	2346
125V55	125	0	80.5	2339
125SV55	125	22	58.5	2363
125VS55	125	22	58.5	2353
135S35	135	50.5	0	2340
135V35	135	0	50.5	2342
135SV35	135	16	34.5	2313
135VS35	135	16	34.5	2351
135S45	135	65.5	0	2326
135V45	135	0	65.5	2396
135SV45	135	20.5	45	2292
135VS45	135	20.5	45	2298
135S55	135	80.5	0	2394
135V55	135	0	80.5	2311
135SV55	135	22	58.5	2393
135VS55	135	22	58.5	2380
145S35	145	50.5	0	2354
145V35	145	0	50.5	2357
145SV35	145	16	34.5	2259
145VS35	145	16	34.5	2339
145S45	145	65.5	0	2415
145V45	145	0	65.5	2428
145SV45	145	20.5	45	2411
145VS45	145	20.5	45	2351
145S55	145	80.5	0	2405

Κωδικός	Θερμοκρασία °C	Στατικό	Δόνηση	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)
145V55	145	0	80.5	2346
145SV55	145	22	58.5	2344
145VS55	145	22	58.5	2345

Πίνακας 7.8 Παλινδρόμηση πυκνότητας πυρήνων για τη στατική και δονητική ενέργεια μαζί

	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%
Τεταγμένη επί την αρχή	2174.632	74.037	29.372	3.27E-28	2024.879	2324.385
Θερμοκρασία	0.687	0.474	1.449	0.155415	-0.272	1.647
Στατική ενέργεια	1.368	0.504	2.712	0.009891	0.348	2.389
Δονητική ενέργεια	1.133	0.478	2.370	0.022841	0.166	2.100

Σύμφωνα με την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, η πυκνότητα των πυρήνων εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$y = 0.687x_1 + 1.368x_2 + 1.133x_3 + 2174.6$$

όπου y η πυκνότητα (kg/m³)

x_1 η θερμοκρασία συμπύκνωσης °C

x_2 η στατική λειτουργία

x_3 η δονητική λειτουργία

Πίνακας 7.9 Στατιστικά παλινδρόμησης για τη στατική και δονητική ενέργεια μαζί

Στατιστικά παλινδρόμησης	
Πολλαπλό R	0.4269
R Τετράγωνο	0.1822
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο	0.1193
Τυπικό σφάλμα	36.3880
Μέγεθος δείγματος	43

Παρά τον χαμηλό συντελεστή συσχέτισμού ($R^2=0.18$) παρατηρείται ότι οι συντελεστές είναι στατιστικά σημαντικοί σύμφωνα με τον έλεγχο της κατανομής t. Επίσης, η στατική ενέργεια φαίνεται να έχει την μεγαλύτερη επίδραση, δεδομένου ότι έχει τον μεγαλύτερο συντελεστή από τις υπόλοιπες παραμέτρους.

Λόγω της χαμηλής τιμής του συντελεστή συσχέτισμού R^2 , πραγματοποιήθηκε μία διαφορετική προσέγγιση στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Τα δοκίμια του ασφαλτομίγματος A265B και της αντιολισθηράς ενοποιήθηκαν σε ένα πίνακα προσθέτοντας μία παράμετρο στην ανάλυση (1 αν το μίγμα είναι τύπου A265B και 2 αν το μίγμα είναι αντιολισθηρού τύπου). Η θερμοκρασία παρέμεινε ως είχε και τα δοκίμια διαχωρίστηκαν σε

τρία πρότυπα συμπίκνωσης ανάλογα με τη λειτουργία συμπίκνωσης (στατική, δονητική και συνδυασμός των υπόλοιπων δύο λειτουργιών). Τελευταία παράμετρος στην ανάλυση παλινδρόμησης είναι το έργο συμπίκνωσης που είναι ανάλογο της πίεσης που ασκεί ο εργαστηριακός συμπυκνωτής επί τον αριθμό των περασμάτων ανά φάση συμπίκνωσης (εργαστηριακός δείκτης έργου). Για το διαχωρισμό των στατικών φάσεων συμπίκνωσης από τις δονητικές έγινε κανονικοποίηση του επιβαλλόμενου έργου συμπίκνωσης πολλαπλασιάζοντας τις δονητικές φάσεις με την τιμή 0.0001. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο συνδυασμό της Στατικής – Δονητικής λειτουργίας με τη Στατική – Δονητική – Στατική λειτουργία έγινε διαχωρισμός των δύο λειτουργιών προσθέτοντας μία ακόμη παράμετρο στην ανάλυση τοποθετώντας 1 και 2 αντίστοιχα.

Όταν η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση εφαρμόστηκε ξεχωριστά για κάθε είδος συμπίκνωσης (στατική-δονητική-συνδυασμός των δύο), έδωσε συντελεστές συσχέτισης αρκετά υψηλούς της τάξεως του 0.80 (0.79, 0.75 και 0.83 αντίστοιχα). Παρακάτω δίνονται τα πρότυπα πρόβλεψης της πυκνότητας με τα οποία μπορούν να προβλεφθούν οι συνθήκες συμπίκνωσης στον εργαστηριακό συμπυκνωτή και να παραχθούν δοκίμια αντίστοιχα των εργοταξιακών απαιτήσεων.

Πίνακας 7.10 Πίνακας θερμοκρασίας, τύπου μίγματος, στατικής λειτουργίας και πυκνότητας πυρήνων

A/A	Κωδικός	Πυρήνες	Θερμοκρασία °C	Τύπος μίγματος	Στατικό* Πίεση	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)
1	110S45	A	110	1	65.5	2374.2
		B	110	1	65.5	2365.8
		C	110	1	65.5	2384.9
		D	110	1	65.5	2379.9
2	125S35	A	125	1	50.5	2286.9
		B	125	1	50.5	2289.2
		C	125	1	50.5	2316.7
		D	125	1	50.5	2260.0
3	125S45	A	125	1	65.5	2302.8
		B	125	1	65.5	2353.1
		C	125	1	65.5	2346.9
		D	125	1	65.5	2382.3
4	125S55	A	125	1	80.5	2324.8
		B	125	1	80.5	2371.6
		C	125	1	80.5	2335.0
		D	125	1	80.5	2352.4
5	135S35	A	135	1	50.5	2342.3
		B	135	1	50.5	2324.0
		C	135	1	50.5	2360.1
		D	135	1	50.5	2332.8
6	135S45	A	135	1	65.5	2316.2
		B	135	1	65.5	2325.9

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

A/A	Κωδικός	Πυρήνες	Θερμοκρασία °C	Τύπος μίγματος	Στατικό* Πίεση	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)
		C	135	1	65.5	2300.9
		D	135	1	65.5	2362.1
7	135S55	A	135	1	80.5	2392.3
		B	135	1	80.5	2384.9
		C	135	1	80.5	2405.1
		D	135	1	80.5	2395.4
8	145S35	A	145	1	50.5	2343.3
		B	145	1	50.5	2355.8
		C	145	1	50.5	2353.3
		D	145	1	50.5	2364.7
9	145S45	A	145	1	65.5	2420.0
		B	145	1	65.5	2405.3
		C	145	1	65.5	2427.4
		D	145	1	65.5	2408.2
10	145S55	A	145	1	80.5	2396.3
		B	145	1	80.5	2403.9
		C	145	1	80.5	2415.4
		D	145	1	80.5	2402.7
11	130S45	A	130	2	65.5	2447.6
		B	130	2	65.5	2406.8
		C	130	2	65.5	2440.7
		D	130	2	65.5	2395.5
12	130S55	A	130	2	80.5	2455.7
		B	130	2	80.5	2443.0
		C	130	2	80.5	2448.0
		D	130	2	80.5	2424.7
13	130S65	A	130	2	95.5	2462.0
		B	130	2	95.5	2444.8
		C	130	2	95.5	2466.6
		D	130	2	95.5	2504.2
14	140S45	A	140	2	65.5	2452.6
		B	140	2	65.5	2473.3
		C	140	2	65.5	2452.5
		D	140	2	65.5	2472.3
15	140S55	A	140	2	80.5	2515.1
		B	140	2	80.5	2489.9
		C	140	2	80.5	2465.8
		D	140	2	80.5	2466.6
16	140S65	A	140	2	95.5	2505.5
		B	140	2	95.5	2433.4
		C	140	2	95.5	2486.3
		D	140	2	95.5	2485.7
17	150S45	A	150	2	65.5	2487.6
		B	150	2	65.5	2524.7
		C	150	2	65.5	2491.3
		D	150	2	65.5	2471.9
18	150S55	A	150	2	80.5	2467.3

A/A	Κωδικός	Πυρήνες	Θερμοκρασία °C	Τύπος μίγματος	Στατικό* Πίεση	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)
		B	150	2	80.5	2459.9
		C	150	2	80.5	2435.5
		D	150	2	80.5	2480.3
19	150S65	A	150	2	95.5	2484.1
		B	150	2	95.5	2499.3
		C	150	2	95.5	2490.6
		D	150	2	95.5	2532.3
20	160S45	A	160	2	65.5	2443.1
		B	160	2	65.5	2431.7
		C	160	2	65.5	2455.8
		D	160	2	65.5	2433.6
21	160S55	A	160	2	80.5	2495.8
		B	160	2	80.5	2498.1
		C	160	2	80.5	2467.4
		D	160	2	80.5	2478.8
22	160S65	A	160	2	95.5	2455.8
		B	160	2	95.5	2478.1
		C	160	2	95.5	2444.6
		D	160	2	95.5	2472.4

Πίνακας 7.11 Παλινδρόμηση πυκνότητας πυρήνων για τη στατική λειτουργία συμπίκνωσης

	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%
Τεταγμένη επί την αρχή	2078.564	38.816	53.549	1.1E-66	2001.374	2155.753
Θερμοκρασία	0.930	0.291	3.200	0.00194	0.352	1.508
Τύπος μίγματος	78.185	8.395	9.314	1.4E-14	61.491	94.879
Στατικό* Πίεση	1.209	0.267	4.524	2E-05	0.677	1.740

Σύμφωνα με την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, η πυκνότητα των πυρήνων εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$y = 0.93x_1 + 78.185x_2 + 1.209x_3 + 2078.6$$

- όπου y η πυκνότητα (kg/m³)
- x_1 η θερμοκρασία συμπίκνωσης °C
- x_2 ο τύπος ασφαλτομίγματος
- x_3 το έργο της στατικής λειτουργίας

Πίνακας 7.12 Στατιστικά παλινδρόμησης για τη στατική λειτουργία συμπύκνωσης

Στατιστικά παλινδρόμησης	
Πολλαπλό R	0.8880
R Τετράγωνο	0.7886
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο	0.7811
Τυπικό σφάλμα	29.9886
Μέγεθος δείγματος	88

Η γραμμική παλινδρόμηση για τη στατική λειτουργία και των δύο τύπων ασφαλτομιγμάτων, δίνει ένα πολύ καλό συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0.789$ και οι συντελεστές του γραμμικού πρότυπου είναι στατιστικά σημαντικοί σύμφωνα με τον έλεγχο της κατανομής t. Επιπλέον, από την παραπάνω εξίσωση ο τύπος μίγματος έχει την μεγαλύτερη επίδραση στην μεταβολή πυκνότητας, καθώς έχει τον μεγαλύτερο συντελεστή από τις υπόλοιπες παραμέτρους.

Πίνακας 7.13 Πίνακας θερμοκρασίας, τύπου μίγματος, δονητικής λειτουργίας και πυκνότητας πυρήνων

A/A	Κωδικός δοκιμίου	Πυρήνας	Θερμοκρασία °C	Τύπος μίγματος	Δόνηση *Πίεση	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)
1	110V45	A	110	1	0.00655	2372
		B	110	1	0.00655	2388
		C	110	1	0.00655	2372
		D	110	1	0.00655	2386
2	110V55	A	110	1	0.00805	2329
		B	110	1	0.00805	2305
		C	110	1	0.00805	2298
		D	110	1	0.00805	2337
3	125V35	A	125	1	0.00505	2343
		B	125	1	0.00505	2328
		C	125	1	0.00505	2341
		D	125	1	0.00505	2293
4	125V45	A	125	1	0.00655	2357
		B	125	1	0.00655	2321
		C	125	1	0.00655	2362
		D	125	1	0.00655	2329
5	125V55	A	125	1	0.00805	2283
		B	125	1	0.00805	2350
		C	125	1	0.00805	2340
		D	125	1	0.00805	2385
6	135V35	A	135	1	0.00505	2326
		B	135	1	0.00505	2345
		C	135	1	0.00505	2343
		D	135	1	0.00505	2354
7	135V45	A	135	1	0.00655	2392
		B	135	1	0.00655	2399
		C	135	1	0.00655	2411
		D	135	1	0.00655	2382

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

A/A	Κωδικός δοκιμίου	Πυρήνας	Θερμοκρασία °C	Τύπος μίγματος	Δόνηση *Πίεση	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)
8	135V55	A	135	1	0.00805	2319
		B	135	1	0.00805	2316
		C	135	1	0.00805	2296
		D	135	1	0.00805	2315
9	145V35	A	145	1	0.00505	2350
		B	145	1	0.00505	2343
		C	145	1	0.00505	2372
		D	145	1	0.00505	2363
10	145V45	A	145	1	0.00655	2420
		B	145	1	0.00655	2422
		C	145	1	0.00655	2440
		D	145	1	0.00655	2429
11	145V55	A	145	1	0.00805	2360
		B	145	1	0.00805	2351
		C	145	1	0.00805	2336
		D	145	1	0.00805	2336
12	130V45	A	130	2	0.00655	2482
		B	130	2	0.00655	2449
		C	130	2	0.00655	2485
		D	130	2	0.00655	2454
13	130V55	A	130	2	0.00805	2446
		B	130	2	0.00805	2428
		C	130	2	0.00805	2476
		D	130	2	0.00805	2483
14	130V65	A	130	2	0.00955	2445
		B	130	2	0.00955	2414
		C	130	2	0.00955	2513
		D	130	2	0.00955	2447
15	140V45	A	140	2	0.00655	2410
		B	140	2	0.00655	2423
		C	140	2	0.00655	2475
		D	140	2	0.00655	2471
16	140V55	A	140	2	0.00805	2471
		B	140	2	0.00805	2520
		C	140	2	0.00805	2467
		D	140	2	0.00805	2499
17	140V65	A	140	2	0.00955	2502
		B	140	2	0.00955	2502
		C	140	2	0.00955	2503
		D	140	2	0.00955	2430
18	150V45	A	150	2	0.00655	2482
		B	150	2	0.00655	2431
		C	150	2	0.00655	2408
		D	150	2	0.00655	2382
19	150V55	A	150	2	0.00805	2452
		B	150	2	0.00805	2450
		C	150	2	0.00805	2454.0

A/A	Κωδικός δοκιμίου	Πυρήνας	Θερμοκρασία °C	Τύπος μίγματος	Δόνηση *Πίεση	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)
		D	150	2	0.00805	2444
20	150V65	A	150	2	0.00955	2473
		B	150	2	0.00955	2422
		C	150	2	0.00955	2501
		D	150	2	0.00955	2451
21	160V45	A	160	2	0.00655	2469
		B	160	2	0.00655	2496
		C	160	2	0.00655	2462
		D	160	2	0.00655	2487
22	160V55	A	160	2	0.00805	2507
		B	160	2	0.00805	2514
		C	160	2	0.00805	2511
		D	160	2	0.00805	2497
23	160V65	A	160	2	0.00955	2517
		B	160	2	0.00955	2528
		C	160	2	0.00955	2503
		D	160	2	0.00955	2512

Πίνακας 7.14 Παλινδρόμηση πυκνότητας πυρήνων για τη δονητική λειτουργία

	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%
Τεταγμένη επί την αρχή	2115.066	42.815	49.400	5.86E-66	2029.980	2200.152
Θερμοκρασία	0.937	0.314	2.984	0.003686	0.313	1.561
Τύπος μίγματος	99.782	9.732	10.253	1.09E-16	80.442	119.122
Δόνηση* Πίεση	2408.449	3030.23	0.795	0.428864	-3613.496	8430.394

Σύμφωνα με την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, η πυκνότητα των πυρήνων εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$y = 0.937x_1 + 99.782x_2 + 2408.4x_3 + 2115.1$$

- όπου y η πυκνότητα (kg/m³)
- x_1 η θερμοκρασία συμπίκνωσης °C
- x_2 ο τύπος ασφαλτομίγματος
- x_3 το έργο της δονητικής λειτουργίας

Πίνακας 7.15 Στατιστικά παλινδρόμησης για τη δονητική λειτουργία

Στατιστικά παλινδρόμησης	
Πολλαπλό R	0.8665
R Τετράγωνο	0.7508
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο	0.7424
Τυπικό σφάλμα	34.9432
Μέγεθος δείγματος	92

Η γραμμική παλινδρόμηση για τη δονητική λειτουργία και των δύο τύπων ασφαλτομιγμάτων, δίνει ένα πολύ καλό συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0.751$ και οι συντελεστές του γραμμικού πρότυπου είναι στατιστικά σημαντικοί σύμφωνα με τον έλεγχο της κατανομής t. Επιπλέον, η παράμετρος Τύπος μίγματος έχει την μεγαλύτερη επιρροή στη μεταβολή της πυκνότητας, καθώς έχει το μεγαλύτερο συντελεστή από τις υπόλοιπες παραμέτρους.

Πίνακας 7.16 Πίνακας θερμοκρασίας, τύπου μίγματος, συνδυαστικής λειτουργίας και πυκνότητας πυρήνων

A/A	Κωδικός	Πυρήνας	Θερμοκρασία °C	Τύπος μίγματος	Πίεση* Λειτουργία	Λειτουργία	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)
1	110SV45	A	110	1	20.5045	1	2377
		B	110	1	20.5045	1	2367
		C	110	1	20.5045	1	2375
		D	110	1	20.5045	1	2395
2	110VS45	A	110	1	20.5045	2	2340
		B	110	1	20.5045	2	2374
		C	110	1	20.5045	2	2347
		D	110	1	20.5045	2	2387
3	110SV55	A	110	1	22.00585	1	2332
		B	110	1	22.00585	1	2317
		C	110	1	22.00585	1	2312
		D	110	1	22.00585	1	2340
4	110VS55	A	110	1	22.00585	2	2312
		B	110	1	22.00585	2	2314
		C	110	1	22.00585	2	2314
		D	110	1	22.00585	2	2363
5	125SV35	A	125	1	16.00345	1	2237
		B	125	1	16.00345	1	2273
		C	125	1	16.00345	1	2275
		D	125	1	16.00345	1	2313
6	125VS35	A	125	1	16.00345	2	2225
		B	125	1	16.00345	2	2282
		C	125	1	16.00345	2	2258
		D	125	1	16.00345	2	2321
7	125SV45	A	125	1	20.5045	1	2303
		B	125	1	20.5045	1	2336
		C	125	1	20.5045	1	2337
		D	125	1	20.5045	1	2360

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

A/A	Κωδικός	Πυρήνας	Θερμοκρασία °C	Τύπος μίγματος	Πίεση* Λειτουργία	Λειτουργία	Πικνότητα πυρήνων (kg/m ³)
8	125VS45	A	125	1	20.5045	2	2334
		B	125	1	20.5045	2	2324
		C	125	1	20.5045	2	2354
		D	125	1	20.5045	2	2341
9	125SV55	A	125	1	22.00585	1	2340
		B	125	1	22.00585	1	2391
		C	125	1	22.00585	1	2329
		D	125	1	22.00585	1	2391
10	125VS55	A	125	1	22.00585	2	2309
		B	125	1	22.00585	2	2356
		C	125	1	22.00585	2	2362
		D	125	1	22.00585	2	2385
11	135SV35	A	135	1	16.00345	1	2316
		B	135	1	16.00345	1	2291
		C	135	1	16.00345	1	2351
		D	135	1	16.00345	1	2295
12	135VS35	A	135	1	16.00345	2	2334
		B	135	1	16.00345	2	2359
		C	135	1	16.00345	2	2340
		D	135	1	16.00345	2	2368
13	135SV45	A	135	1	20.5045	1	2260
		B	135	1	20.5045	1	2312
		C	135	1	20.5045	1	2297
		D	135	1	20.5045	1	2300
14	135VS45	A	135	1	20.5045	2	2317
		B	135	1	20.5045	2	2299
		C	135	1	20.5045	2	2303
		D	135	1	20.5045	2	2271
15	135SV55	A	135	1	22.00585	1	2377
		B	135	1	22.00585	1	2381
		C	135	1	22.00585	1	2416
		D	135	1	22.00585	1	2396
16	135VS55	A	135	1	22.00585	2	2384
		B	135	1	22.00585	2	2347
		C	135	1	22.00585	2	2402
		D	135	1	22.00585	2	2386
17	145SV35	A	145	1	16.00345	1	2264
		B	145	1	16.00345	1	2267
		C	145	1	16.00345	1	2249
		D	145	1	16.00345	1	2255
18	145VS35	A	145	1	16.00345	2	2359
		B	145	1	16.00345	2	2349
		C	145	1	16.00345	2	2320
		D	145	1	16.00345	2	2328
19	145SV45	A	145	1	20.5045	1	2390
		B	145	1	20.5045	1	2415
		C	145	1	20.5045	1	2408

A/A	Κωδικός	Πυρήνας	Θερμοκρασία °C	Τύπος μίγματος	Πίεση* Λειτουργία	Λειτουργία	Πικνότητα πυρήνων (kg/m ³)
		D	145	1	20.5045	1	2432
20	145VS45	A	145	1	20.5045	2	2339
		B	145	1	20.5045	2	2369
		C	145	1	20.5045	2	2340
		D	145	1	20.5045	2	2357
21	145SV55	A	145	1	22.00585	1	2330
		B	145	1	22.00585	1	2332
		C	145	1	22.00585	1	2359
		D	145	1	22.00585	1	2353
22	145VS55	A	145	1	22.00585	2	2341
		B	145	1	22.00585	2	2365
		C	145	1	22.00585	2	2338
		D	145	1	22.00585	2	2338
23	130SV45	A	130	2	13.00525	1	2377
		B	130	2	13.00525	1	2441
		C	130	2	13.00525	1	2367
		D	130	2	13.00525	1	2321
24	130VS45	A	130	2	13.00525	2	2453
		B	130	2	13.00525	2	2509
		C	130	2	13.00525	2	2466
		D	130	2	13.00525	2	2497
25	130SV55	A	130	2	16.00645	1	2460
		B	130	2	16.00645	1	2504
		C	130	2	16.00645	1	2510
		D	130	2	16.00645	1	2499
26	130VS55	A	130	2	16.00645	2	2481
		B	130	2	16.00645	2	2487
		C	130	2	16.00645	2	2471
		D	130	2	16.00645	2	2489
27	130SV65	A	130	2	17.5078	1	2495
		B	130	2	17.5078	1	2478
		C	130	2	17.5078	1	2477
		D	130	2	17.5078	1	2473
28	130VS65	A	130	2	17.5078	2	2489
		B	130	2	17.5078	2	2489
		C	130	2	17.5078	2	2453
		D	130	2	17.5078	2	2399
29	140SV45	A	140	2	13.00525	1	2489
		B	140	2	13.00525	1	2491
		C	140	2	13.00525	1	2471
		D	140	2	13.00525	1	2463
30	140VS45	A	140	2	13.00525	2	2467
		B	140	2	13.00525	2	2430
		C	140	2	13.00525	2	2415
		D	140	2	13.00525	2	2427
31	140SV55	A	140	2	16.00645	1	2495
		B	140	2	16.00645	1	2495

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

A/A	Κωδικός	Πυρήνας	Θερμοκρασία °C	Τύπος μίγματος	Πίεση* Λειτουργία	Λειτουργία	Πικνότητα πυρήνων (kg/m ³)
		C	140	2	16.00645	1	2495
		D	140	2	16.00645	1	2506
32	140VS55	A	140	2	16.00645	2	2478
		B	140	2	16.00645	2	2478
		C	140	2	16.00645	2	2478
		D	140	2	16.00645	2	2504
33	140SV65	A	140	2	17.5078	1	2477
		B	140	2	17.5078	1	2477
		C	140	2	17.5078	1	2477
		D	140	2	17.5078	1	2508
34	140VS65	A	140	2	17.5078	2	2473
		B	140	2	17.5078	2	2473
		C	140	2	17.5078	2	2473
		D	140	2	17.5078	2	2450
35	150SV45	A	150	2	13.00525	1	2444
		B	150	2	13.00525	1	2431
		C	150	2	13.00525	1	2444
		D	150	2	13.00525	1	2435
36	150VS45	A	150	2	13.00525	2	2475
		B	150	2	13.00525	2	2446
		C	150	2	13.00525	2	2455
		D	150	2	13.00525	2	2500
37	150SV55	A	150	2	16.00645	1	2486
		B	150	2	16.00645	1	2478
		C	150	2	16.00645	1	2494
		D	150	2	16.00645	1	2476
38	150VS55	A	150	2	16.00645	2	2494
		B	150	2	16.00645	2	2490
		C	150	2	16.00645	2	2446
		D	150	2	16.00645	2	2485
39	150SV65	A	150	2	17.5078	1	2480
		B	150	2	17.5078	1	2500
		C	150	2	17.5078	1	2488
		D	150	2	17.5078	1	2497
40	150VS65	A	150	2	17.5078	2	2474
		B	150	2	17.5078	2	2525
		C	150	2	17.5078	2	2477
		D	150	2	17.5078	2	2511
41	160SV45	A	160	2	13.00525	1	2476
		B	160	2	13.00525	1	2469
		C	160	2	13.00525	1	2449
		D	160	2	13.00525	1	2474
42	160VS45	A	160	2	13.00525	2	2507
		B	160	2	13.00525	2	2437
		C	160	2	13.00525	2	2464
		D	160	2	13.00525	2	2497
43	160SV55	A	160	2	16.00645	1	2494

A/A	Κωδικός	Πυρήνας	Θερμοκρασία °C	Τύπος μίγματος	Πίεση* Λειτουργία	Λειτουργία	Πυκνότητα πυρήνων (kg/m ³)
		B	160	2	16.00645	1	2498
		C	160	2	16.00645	1	2459
		D	160	2	16.00645	1	2498
44	160VS55	A	160	2	16.00645	2	2482
		B	160	2	16.00645	2	2529
		C	160	2	16.00645	2	2508
		D	160	2	16.00645	2	2487
45	160SV65	A	160	2	17.5078	1	2507
		B	160	2	17.5078	1	2467
		C	160	2	17.5078	1	2491
		D	160	2	17.5078	1	2524
46	160VS65	A	160	2	17.5078	2	2563
		B	160	2	17.5078	2	2525
		C	160	2	17.5078	2	2508
		D	160	2	17.5078	2	2450

Πίνακας 7.17 Παλινδρόμηση πυκνότητας πυρήνων για τη συνδυαστική λειτουργία

	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%
Τεταγμένη επί την αρχή	1901.659	41.180	46.180	2E-101	1820.399	1982.919
Θερμοκρασία	0.625	0.215	2.912	0.00405	0.201	1.048
Τύπος μίγματος	169.030	7.460	22.659	1.8E-54	154.310	183.751
Πίεση*Λειτουργία	8.989	1.161	7.743	6.9E-13	6.698	11.280
Λειτουργία	4.014	4.963	0.809	0.41965	-5.779	13.808

Σύμφωνα με την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, η πυκνότητα των πυρήνων εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$y = 0.625x_1 + 169.03x_2 + 8.989x_3 + 4.014x_4 + 1901.6$$

όπου y η πυκνότητα (kg/m³)

x_1 η θερμοκρασία συμπύκνωσης °C

x_2 ο τύπος ασφαλτομίγματος

x_3 το έργο της δονητικής λειτουργίας

x_4 το είδος της λειτουργίας (Στατική-Δονητική λειτουργία ή Στατική – Δονητική – Στατική λειτουργία)

Πίνακας 7.18 Στατιστικά παλινδρόμησης για τη συνδυαστική λειτουργία

Στατιστικά παλινδρόμησης	
Πολλαπλό R	0.9090
R Τετράγωνο	0.8262
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο	0.8223
Τυπικό σφάλμα	33.6596
Μέγεθος δείγματος	184

Η γραμμική παλινδρόμηση για το συνδυασμό των δύο λειτουργιών και των δύο τύπων ασφαλτομιγμάτων, δίνει ένα πολύ καλό συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0.826$ και οι συντελεστές του γραμμικού προτύπου είναι στατιστικά σημαντικοί σύμφωνα με τον έλεγχο της κατανομής t. Επιπλέον, η παράμετρος “Τύπος ασφαλτομίγματος” έχει την μεγαλύτερη επιρροή στη μεταβολή της πυκνότητας, καθώς έχει το μεγαλύτερο συντελεστή από τις υπόλοιπες παραμέτρους.

Από τα παραπάνω, προκύπτει η δυνατότητα πρόβλεψης της πυκνότητας των εργαστηριακών δοκιμίων που συμπυκνώνονται από τη συσκευή Roller Compactor, συναρτήσει των παραμέτρων συμπύκνωσης και το αντίστροφο. Δίνεται, δηλαδή, η δυνατότητα υπολογισμού μιας εκ των παραμέτρων συμπύκνωσης δεδομένων των υπολοίπων για μία επιθυμητή πυκνότητα.

7.4 Αναγωγή των εργαστηριακών αποτελεσμάτων σε επί τόπου εφαρμογές

Το εργαστηριακό πρότυπο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης έχει την δυνατότητα να προβλέψει την πυκνότητα του εργαστηριακού δοκιμίου συναρτήσει της θερμοκρασίας δοκιμής, του είδους του ασφαλτομίγματος και της επιβαλλόμενης ενέργειας συμπίκνωσης.

Με το πρότυπο που αναπτύχθηκε με τα στοιχεία της εργοταξιακής συμπίκνωσης επίσης μπορεί να προβλεφθεί η πυκνότητα στο εργοτάξιο.

Ο συνδυασμός των δύο προτύπων για ίσες πυκνότητες μπορεί να δώσει διαγράμματα συσχέτισμού εργαστηριακών λειτουργιών συμπίκνωσης με τα εργοταξιακά ισοδύναμα περάσματα, από τα οποία κάποιος μπορεί κατ' ευθείαν να υπολογίσει τον απαιτούμενο συνδυασμό λειτουργιών συμπίκνωσης και την απαιτούμενη προσπάθεια (ενέργεια) συμπίκνωσης όπως είναι τα ισοδύναμα περάσματα.

Ειδικότερα σχηματίσθηκαν δύο πίνακες περιοχών των εργαστηριακών παραμέτρων συμπίκνωσης (θερμοκρασία, τύπος ασφαλτομίγματος, εργαστηριακός δείκτης έργου, λειτουργία συμπίκνωσης) και της προβλεπόμενης εργαστηριακής πυκνότητας (πίνακες 7.19 και 7.20). Ο εργαστηριακός δείκτης έργου είναι ανάλογος της πίεσης που ασκεί η συσκευή συμπίκνωσης επί τον αριθμό των περασμάτων ανά φάση συμπίκνωσης. Για τις αντίστοιχες εργαστηριακές πυκνότητες υπολογίσθηκαν τα ισοδύναμα περάσματα τα οποία απαιτούνται για την εργοταξιακή συμπίκνωση. Οι επιλεγείσες θερμοκρασίες είναι οι αντίστοιχες των εργοταξιακών διαστρώσεων (145⁰C για το ασφαλτόμιγμα A265B και 155⁰C για το ασφαλτόμιγμα τύπου II).

Πίνακας 7.19 Εύρος εργαστηριακών λειτουργιών συμπίκνωσης - επιτευχθείσας εργαστηριακής πυκνότητας για το ασφαλτόμιγμα A265B

Ισοδύναμα Περάσματα	Θερμοκρασία °C	Τύπος ασφαλτομίγματος	Εργαστηριακός Δείκτης Έργου	Λειτουργία συμπίκνωσης	Εργαστηριακή Πυκνότητα (kg/m ³)
3.3	145	1	14	1	2291
3.8	145	1	15.5	1	2305
4.0	145	1	16	1	2309
4.2	145	1	16.5	1	2314
4.4	145	1	17	1	2318
4.6	145	1	17.5	1	2323
4.8	145	1	18	1	2327
5.0	145	1	18.5	1	2332
5.2	145	1	19	1	2336
5.4	145	1	19.5	1	2341
5.7	145	1	20	1	2345
5.9	145	1	20.5	1	2350

6.1	145	1	21	1	2354
6.4	145	1	21.5	1	2359
6.6	145	1	22	1	2363
7.4	145	1	23.5	1	2377

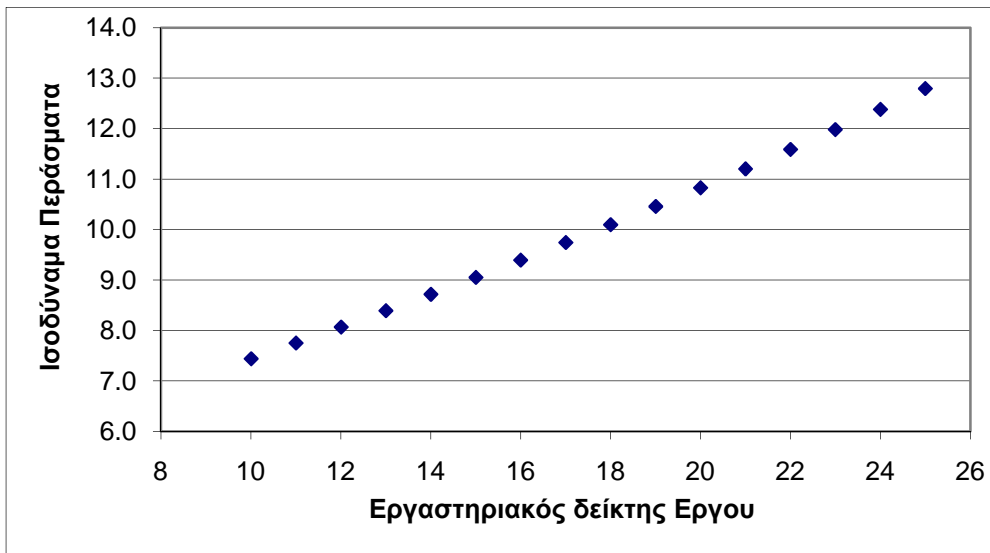
Πίνακας 7.20 Εύρος εργαστηριακών λειτουργιών συμπύκνωσης - επιτευχθείσας εργαστηριακής πυκνότητας για το ασφαλτόμιγμα τύπου II (αντιολισθηρά)

Ισοδύναμα Περάσματα	Θερμοκρασία °C	Τύπος ασφαλτομίγματος	Εργαστηριακός Δείκτης Έργου	Λειτουργία συμπύκνωσης	Εργαστηριακή Πυκνότητα (kg/m ³)
7.4	155	2	10	1	2430
7.7	155	2	11	1	2439
8.1	155	2	12	1	2448
8.4	155	2	13	1	2457
8.7	155	2	14	1	2466
9.1	155	2	15	1	2475
9.4	155	2	16	1	2484
9.7	155	2	17	1	2493
10.1	155	2	18	1	2502
10.5	155	2	19	1	2511
10.8	155	2	20	1	2520
11.2	155	2	21	1	2529
11.6	155	2	22	1	2538
12.0	155	2	23	1	2547
12.4	155	2	24	1	2556
12.8	155	2	25	1	2565

Συνδυάζοντας τον εργαστηριακό δείκτη έργου από το εργαστήριο με τα ισοδύναμα περάσματα στο εργοτάξιο προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



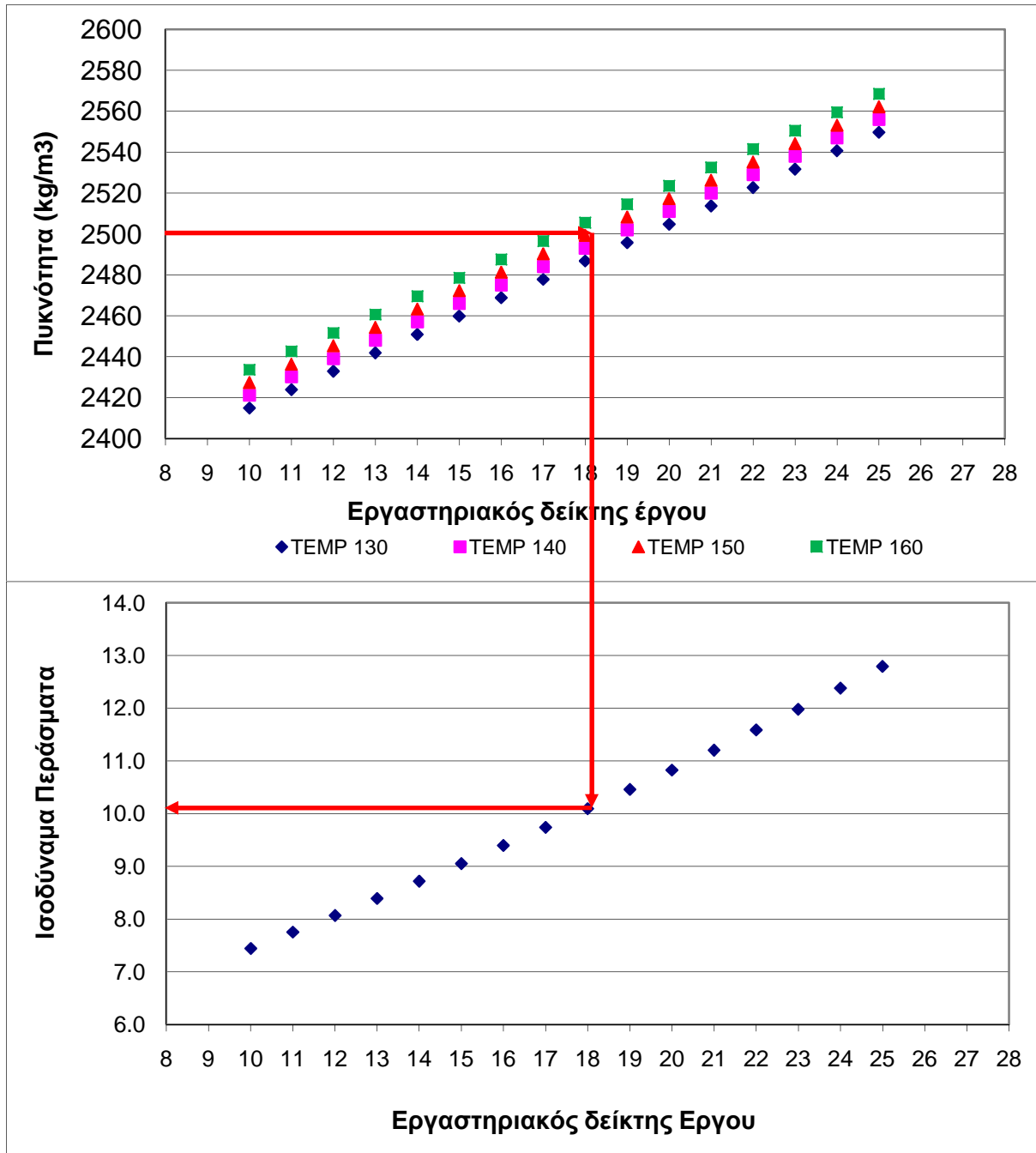
Σχήμα 7.7 Ισοδύναμα περάσματα συναρτήσεως του εργαστηριακού δείκτη έργου για το ασφαλτόμιγμα A265B, για θερμοκρασία 145°C



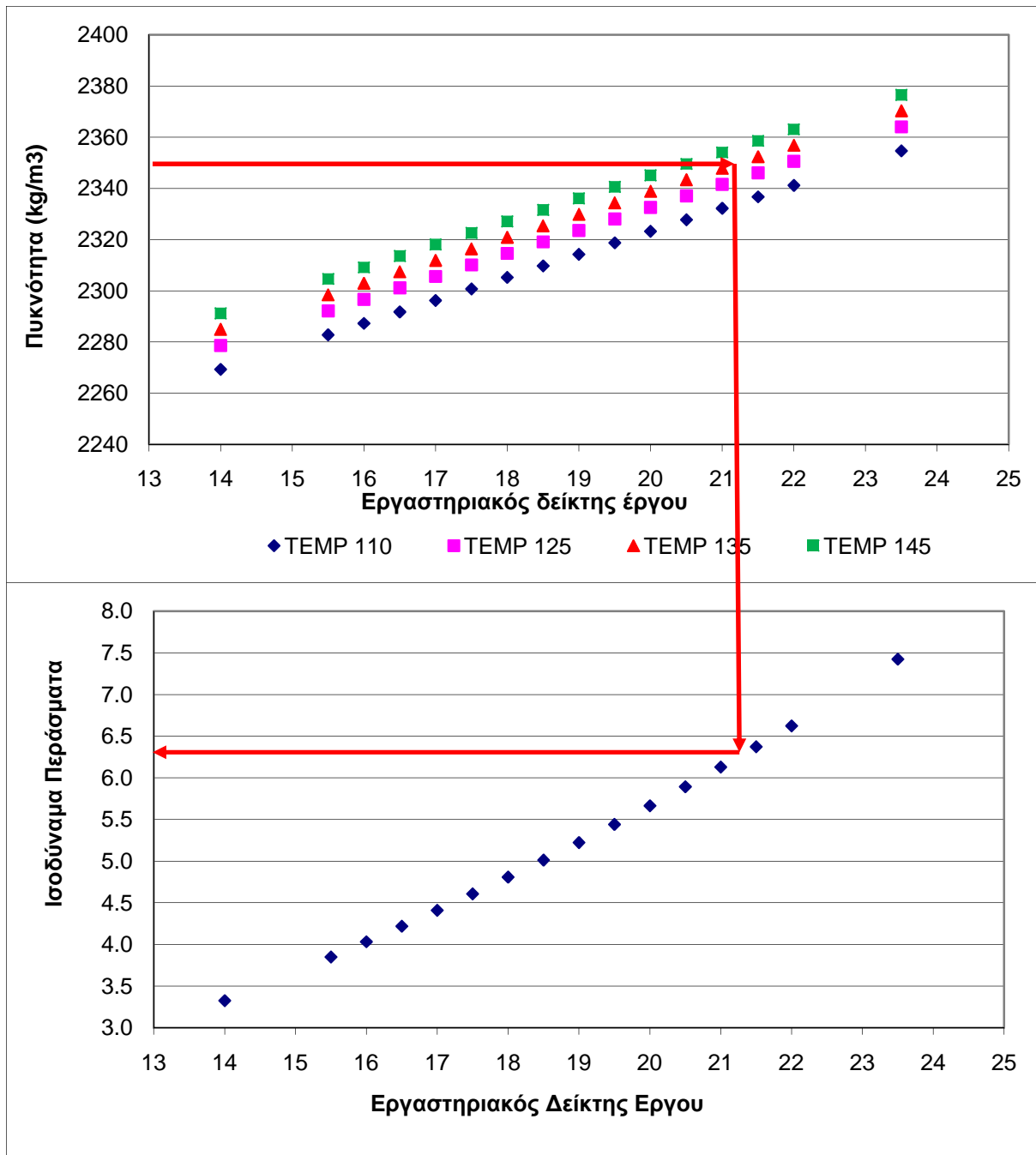
Σχήμα 7.8 Ισοδύναμα περάσματα συναρτήσεως του εργαστηριακού δείκτη έργου για το ασφαλτόμιγμα τύπου II, για θερμοκρασία 155⁰C

Επίσης από το εργαστηριακό πρότυπο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για τα δύο ασφαλτόμιγματα σχηματίσθηκαν διαγράμματα εργαστηριακού δείκτη έργου πυκνότητας ασφαλτόμιγματος για τις θερμοκρασίες που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο, τα οποία συνδυάσθηκαν με τα προηγούμενα (σχήματα 7.9 και 7.10).

Για παράδειγμα αν η επιθυμητή πυκνότητα για το ασφαλτόμιγμα αντιολισθηρά είναι 2500 kg/m³ και για θερμοκρασία συμπίκνωσης 150⁰C, χαράσσεται οριζόντια ευθεία στο διάγραμμα πυκνότητας – εργαστηριακού δείκτη έργου, από το 2500 προς την ευθεία που αντιπροσωπεύει τους 150⁰C και από το σημείο τομής φέρεται κάθετη ευθεία στον οριζόντιο άξονα. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται ο εργαστηριακός δείκτης έργου (δηλαδή η ενέργεια συμπίκνωσης) που απαιτείται για την επίτευξη πυκνότητας ίση με 2500 kg/m³. Στη συνέχεια, στο διάγραμμα ισοδυνάμων περασμάτων – εργαστηριακού δείκτη έργου φέρεται κάθετη ευθεία στον οριζόντιο άξονα από το 18, που είναι η τιμή του εργαστηριακού δείκτη έργου, η οποία τέμνει την ευθεία ισοδύναμα περάσματα – εργαστηριακός δείκτης έργου. Από το σημείο τομής χαράσσεται οριζόντια ευθεία, η οποία τέμνει τον άξονα των ισοδυνάμων περασμάτων στην τιμή 10.1. Επομένως για την επίτευξη πυκνότητας 2500 kg/m³ απαιτούνται στο πεδίο 10.1 ισοδύναμα περάσματα.



Σχήμα 7.9 Υπολογισμός ισοδυνάμων περασμάτων στο εργοτάξιο για πυκνότητα που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο για το ασφαλτόμιγμα τύπου II (αντιολισθηρά)



Σχήμα 7.10 Υπολογισμός ισοδυνάμων περασμάτων στο εργοτάξιο για πυκνότητα που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο για το ασφαλτόμιγμα A265B

Ακολουθώντας τη διαδικασία όπως περιγράφηκε παραπάνω, δίνεται η δυνατότητα προσδιορισμού του αριθμού των ισοδυνάμων περασμάτων στο πεδίο για την επίτευξη της επιθυμητής πυκνότητας.

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας προσομοίωσης των συνθηκών και της πυκνότητας που επιτυγχάνεται στην επί τόπου διαδικασία συμπίκνωσης, με την πυκνότητα που επιτυγχάνεται από την εργαστηριακή συσκευή συμπίκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor. Για τη διερεύνηση αυτή, πραγματοποιήθηκαν ξεχωριστά οδικό και εργαστηριακό πείραμα. Το οδικό πείραμα περιελάμβανε διάστρωση και συμπίκνωση δύο τύπων ασφαλτομιγμάτων σε τμήμα αυτοκινητοδρόμου και παράλληλα καταγραφή του αριθμού των διελεύσεων του οδοστρωτήρα και μέτρηση της επιτευχθείσας πυκνότητας με χρήση συσκευής τύπου troxler. Στο εργαστηριακό πείραμα, συμπτυκνώθηκαν δοκίμια των δύο τύπων ασφαλτομιγμάτων, χρησιμοποιώντας υλικό που λήφθηκε κατά τη φάση της διάστρωσης, για διάφορες παραμέτρους συμπίκνωσης (θερμοκρασία, αριθμός διελεύσεων και λειτουργία συμπίκνωσης), και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε πυρηνοληψία από τα συμπτυκνωμένα τετραγωνικά δοκίμια για τον προσδιορισμό της επιτευχθείσας πυκνότητας.

Η μέτρηση και καταγραφή, τόσο στο εργοτάξιο όσο και στο εργαστήριο, των ιδιοτήτων των υλικών, των συνθηκών θερμοκρασίας και συμπίκνωσης, των αποτελεσμάτων συμπίκνωσης με έμμεσες και άμεσες μεθόδους και η παρασκευή των κατάλληλων δοκιμίων απαίτησε ιδιαίτερη προσοχή, κριτική ερμηνεία και αποδοχή αυτών. Σε πολλές περιπτώσεις απαιτήθηκαν αρκετές επαναλήψεις στις εργαστηριακές μετρήσεις πράγμα το οποίο δεν είναι δυνατόν στην εργοταξιακή δοκιμή.

Για την ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων συμπίκνωσης που προσδιορίστηκαν κατά την εργοταξιακή εφαρμογή, με βάση τη διεθνή εμπειρία και πρακτική έγινε προσπάθεια προσομοίωσης της πυκνότητας συναρτήσει της προστιδόμενης ενέργειας συμπίκνωσης και της αντίστασης του ασφαλτομίγματος σε συμπίκνωση. Σημειώνεται, ότι η αντίσταση του ασφαλτομίγματος σε συμπίκνωση είναι διαφορετική ανά τύπο ασφαλτομίγματος και μεταβάλλεται (αυξάνεται) ανά φάση συμπίκνωσης, πράγμα το οποίο, πιθανόν οφείλεται στη μεταβολή της θερμοκρασίας με το χρόνο και τη μέθοδο της συμπίκνωσης. Επιπλέον, η υπόψη προσπάθεια συνδυάστηκε με την πρακτική θεώρησης μειωμένης αποτελεσματικότητας συμπίκνωσης στην περιοχή του άκρου του τυμπάνου και προσδιορίστηκε με κατάλληλη στατιστική επεξεργασία, το μέγιστο μήκος επιρροής και η αποτελεσματικότητα στο άκρο του. Εξ αυτών, προσδιορίστηκαν τα ισοδύναμα περάσματα, τα οποία ως έκφραση της ενέργειας συμπίκνωσης συσχετίστηκαν με την επιτευχθείσα πυκνότητα συμπίκνωσης με σχετικά καλά αποτελέσματα. Από τα αποτελέσματα προσδιορισμού της αποτελεσματικότητας συμπίκνωσης του τυμπάνου στο άκρο αυτού με

τις δύο μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν για την επεξεργασία αποτελεσμάτων και για τους δύο τύπους ασφαλτομιγμάτων, προέκυψε ότι υπάρχει μείωση της αποτελεσματικότητας στη περιοχή του άκρου του τυμπάνου.

Με την προσομοίωση αυτή, είναι δυνατή η πρόβλεψη της πυκνότητας που θα επιτευχθεί από την επί τόπου συμπίκνωση, βάσει του αριθμού των διελεύσεων του οδοστρωτήρα και της απόστασης του σημείου μέτρησης από το άκρο του τυμπάνου. Κατά συνέπεια, δίνεται η δυνατότητα καθοδήγησης του τρόπου διέλευσης του τυμπάνου του οδοστρωτήρα κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης στο πεδίο για την επίτευξη ομοιόμορφης και της μέγιστης δυνατής συμπίκνωσης.

Η δοκιμή συμπίκνωσης με την εργαστηριακή συσκευή συμπίκνωσης με κύλινδρο τύπου Roller Compactor έδωσε σχετικά καλή συσχέτιση της πυκνότητας, με τις παραμέτρους θερμοκρασίας συμπίκνωσης ασφαλτομίγματος, εφαρμοζόμενης πίεσης, περασμάτων και μέθοδο συμπίκνωσης (με ή χωρίς δόνηση ή με συνδυασμό αυτών). Οι επιτευχθέντες συντελεστές συσχέτισμού R^2 είναι της τάξεως του 0.80. Έτσι είναι δυνατόν να μπορούν να προσδιορισθούν εύκολα, χρησιμοποιώντας απλές εξισώσεις, οι παράμετροι εργαστηριακής συμπίκνωσης για την παρασκευή δοκιμών με συμπίκνωση (πυκνότητα) αντίστοιχης της απαίτησης του έργου.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε έλεγχος ως προς την ομοιομορφία της επιτευχθείσας εργαστηριακής συμπίκνωσης κάθε δοκιμίου. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιήθηκε με ανάλυση διακύμανσης της πυκνότητας των ληφθέντων πυρήνων κατά ένα παράγοντα (θέση του πυρήνα στο δοκίμιο). Βάσει του ελέγχου, δεν υπήρξε σημαντική διαφοροποίηση της συμπίκνωσης που επιτεύχθηκε εργαστηριακά στα διάφορα σημεία του δοκιμίου.

Συνδυάζοντας τα δύο πρότυπα (εργαστηριακό και εργοταξιακό) πρόβλεψης της πυκνότητας, αναπτύχθηκαν διαγράμματα συσχέτισμού πυκνότητας – εργαστηριακού δείκτη έργου – θερμοκρασίας και ισοδυνάμων περασμάτων στο έργο. Με τον τρόπο αυτό, δίνεται η δυνατότητα πρόβλεψης του απαιτούμενου συνδυασμού λειτουργιών συμπίκνωσης και της απαιτούμενης προσπάθειας (ενέργεια – ισοδύναμα περάσματα) συμπίκνωσης στο έργο.

Η περαιτέρω διερεύνηση με επιπρόσθετη στοχευμένη συλλογή στοιχείων από το εργοτάξιο και από το εργαστήριο και με χρήση της αναπτυχθείσας μεθόδου ανάλυσης, θα βοηθήσει στην καλύτερη σύνδεση των εργαστηριακών δοκιμών συμπίκνωσης με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του εργοταξίου και στην ασφαλέστερη δυνατότητα προσδιορισμού του εργοταξιακού πλάνου συμπίκνωσης.

9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ASTM (2003). Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures. ASTM D2041, *Annual Book of ASTM Standards V. 04.03* (Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems).

ASTM (2005). Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures. ASTM D3203, *Annual Book of ASTM Standards V. 04.03* (Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems).

ASTM (2005). Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures. ASTM D2172, *Annual Book of ASTM Standards V. 04.03* (Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems).

ASTM (2006). Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures. ASTM D6927, *Annual Book of ASTM Standards V. 04.03* (Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems).

ASTM (2006). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. ASTM C136, *Annual Book of ASTM Standards V. 04. 02* (Concrete and Aggregates).

ASTM (2009). Standard Test Method For Density of Bituminous Concrete in Place by Nuclear Methods. ASTM D2950, *Annual Book of ASTM Standards V. 04.03* (Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems).

ASTM (2009). Standard Viscosity – Temperature Chart for Asphalts. ASTM D2493/D2493M, *Annual Book of ASTM Standards V. 04.03* (Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems).

ASTM (2010). Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures. ASTM D2726, *Annual Book of ASTM Standards V. 04.03* (Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems).

Hanna, A.S., Bahia, H.U., Russell, J.S., Schoenfelder, S. & Loh, S (2002). *Determining a temperature-density relationship after completed rolling of HMA*, WHRP-02-001, Wisconsin Department of Transportation.

Salifu, A. (2010). *Evaluation of compaction sensitivity of Saskatchewan asphalt mixes*, Department of Civil and Geological Engineering University of Saskatchewan, Saskatoon.

Brown, E.R. (1990). Density of asphalt concrete-How much is needed?, *National Center of Asphalt Technology*, Report No. 90-3, Auburn University.

Dubois, V., Roche, C. & Burban, O. (2010), Influence of the compaction process on the air void homogeneity of asphalt mixtures samples, *Construction and Building Materials (article in press)*, France.

European Standard EN 12591 (1999) Bitumen and bituminous binders-Specifications for paving grade bitumen.

Masad, E., Kassem, E., & Chowdhury, A. (2009). Application of imaging technology to improve the laboratory and field compaction of HMA, *Texas Transportation Institute*, FHWA/TX-09/0-5261-1, Texas Department of Transportation.

Huerne, H.L. (2004). Compaction of Asphalt Road Pavements, *Civil Engineering and Management (CT&M) Department*, University of Twente.

Kezdi, A. (1969). *Handbuch der Bodenmechanik (Handbook for soil mechanics)*. Verlag für Bauwesen, Berlin.

Leiva F. & West R.C. (2008). Analysis of HMA field compactability using the Accumulated Compaction Pressure (ACP) concept, *TRB 2008 Annual Meeting*, National Center for Asphalt Technology, Auburn.

Lister N.W. (1974). Levels of compaction of dense coated macadam achieved during pavement construction, *Transport and Road Research Laboratory*, Laboratory Report LR 619, Crowthorne.

Muniandy, R., Jakarni, F.M., Hassim, S. & Mahmud, A.R. (2007). Development of Criteria for Slab Compaction of Laboratory Roller Compactor (Turamesin), *American Journal of Applied Sciences* 4 (11): 908-911.

Muniandy, R., Jakarni, F.M., Hassim, S. and Mahmud, A.R. (2007). Thickness Analysis of Stone Mastic Asphalt (SMA) Slab Compacted Using a Newly Developed Roller Compactor, *American Journal of Applied Sciences* 4 (4): 233-236.

Peterson, R.L., Mahboub, K.C., Anderson, R.M., Masad, E. & Tashman L. (2004). Comparing Superpave Gyratory Compactor Data to Field Cores, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16, No 1, p 78 – 83.

Delgadillo, R. & Bahia, H.U. (2008). Effects of Temperature and Pressure on Hot Mixed Asphalt Compaction: Field and Laboratory Study, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20, No 6, p 440 – 448.

Sarsam, S.I. & Abdulmawjod, A.A. (2008). A Comparative Study Of Roller And Hammer Compacted Asphalt Concrete, *Eng.&Tech.*, 26, No5.

Transportation Research Board (2006). Factors Affecting Compaction of Asphalt Pavements, *Transportation Research Circular E-C105*, Washington.

KhanU, Z.A., Wahab, H.I.A., Asi, I. & Ramadhan R. (1998). Comparative study of asphalt concrete laboratory compaction methods to simulate field compaction, *Construction and Building Materials* 12, 373 – 384.

Νικολαΐδης Α. (2002). Οδοποιία, Οδοστρώματα – Υλικά, Έλεγχος ποιότητας, Θεσσαλονίκη

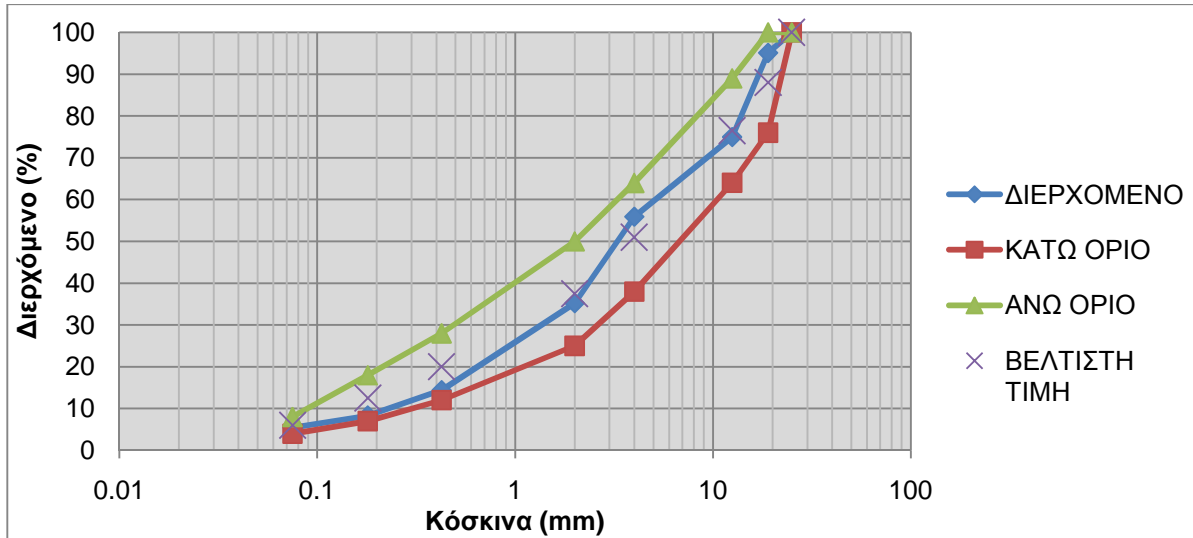
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Πίνακας Α-1 Δοκιμή εκχύλισης ασφαλτομίγματος 1^{ης} στρώσης

ΔΟΚΙΜΗ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ-ΜΕΘΟΔΟΣ ASTM D 2172		
Βάρος δείγματος	g.	1753.8
Βάρος φίλτρου πριν τη δοκιμή	g.	19.1
Βάρος φίλτρου μετά τη δοκιμή	g.	22.4
Βάρος αδρανών μετά τη δοκιμή	g.	1676.9
Ολικό βάρος αδρανών	g.	1680.2
Απώλεια βάρους	g.	73.6
Άσφαλτος κατά βάρος αδρανών	%	4.38
Άσφαλτος κατά βάρος ασφαλτομίγματος	%	4.20

Πίνακας Α-2 Κοκκομετρική ανάλυση ασφαλτομίγματος 1^{ης} στρώσης

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΜΕΘΟΔΟΣ ASTM C136				Όρια προδιαγραφής
Κόσκινα (mm)	Συγκρατούμενο βάρος (g)	Διερχόμενο		
		Βάρος (g)	%	
37.5				
25		1680.2	100	100
19	82.5	1597.7	95	76-100
16				
12.5	338.1	1259.6	75	64-89
9.5				
6.3				
4.75	320.5	939.1	56	38-64
2.36	314.9	624.2	37	
2.0	32.8	591.4	35	25-50
1.18				
0.600	315.6	275.8	16	
0.425	34.1	241.7	14	12-28
0.300				
0.180	102.3	139.4	8	7-18
0.150				
0.075	48.2	91.2	5.4	4-8
ΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1680.2			



Σχήμα A-1 Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών ασφαλτομίγματος 1^{ης} στρώσης

Πίνακας A-3 Προσδιορισμός θεωρητικού μέγιστου ειδικού βάρους χαλαρού ασφαλτομίγματος 1^{ης} στρώσης

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΑΧ. ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΧΑΛΑΡΟΥ ΑΣΦ/ΤΟΣ ΜΕΘΟΔΟΣ: ASTM D2041						
Βάρος	Δείγματος	g.	A	1027.0	$G_{mm} = \frac{A}{(A + D - E)}$	2.503
	Πυκνόμετρου + Νερού	g.	D	7610.9		
	Πυκνόμετρου + Νερού + υλικού στον αέρα t=25°C	g.	E	8227,6		

Πίνακας Α-4 Δελτίο ελέγχου χαρακτηριστικών δοκιμών Marshall 1^{ης} στρώσης

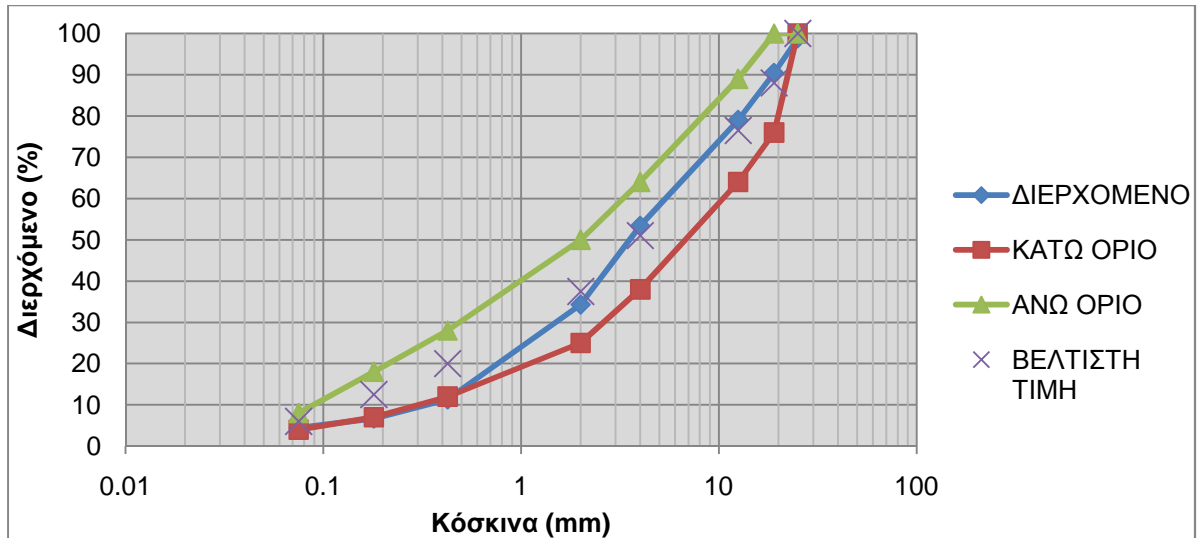
ΔΕΛΤΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL							
ASTM D6927- D3203							
ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ							
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ:	50-70	ΕΙΔ.ΒΑΡ.ΑΣΦ. (G _{Asph})	1.00	ΘΕΡΜ.ΣΥΜΠ.150°C: ΚΤΥΠΟΙ: 75	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ					G _{ssd}		
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ %	ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ AC _{by Weight} =		4.38	ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΜΙΞΕΩΣ AC _{mix} =		4.20	
ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ASTM D 1559			ΑΡ.ΔΟΚΙΜΙΟΥ	1	2	3	4
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ (g)			W	1217,8	1219,9	1222,1	
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ (g) ASTM D 2726			W ₁	714,2	709,2	709,9	
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ (g) Κ.Ε.Ξ.			W _{SSD}	1218,3	1220,6	1222,7	
ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³) ASTM D 2726			V = W _{SSD} - W ₁	504,1	511,4	512,8	
ΦΑΙΝ.ΕΙΔ.ΒΑΡΟΣ ΔΟΚ. MARSHALL	ΔΟΚΙΜΙΩΝ		G = W/V	2.416	2.385	2,383	
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		G	2.395			
ΘΕΩΡ.ΜΑΧ ΕΙΔ.ΒΑΡΟΣ ΑΣΦ/ΤΟΣ	G _{max}			g/cm ³	2.503		
ΟΓΚΟΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΣΤΟ ΔΟΚΙΜΙΟ				c	10.1		
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ							ΟΡΙΑ
ΚΕΝΑ %	ΑΕΡΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ ASTM D 3203	100x	G _{max} -G G _{max}	PAV	4.3		3-8
	ΑΔΡΑΝΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ	PAV+C		VM A	14.4		>14
	ΠΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΜΕ ΑΣΦΑΛΤΟ	100x	C VMA	VFA	69,9		
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ MARSHALL				1.070	1,050	1.080	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΣ		ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ MARSHALL		1.293	1.293	1.293	
		ΟΓΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ		1.04	1.00	1.00	
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ (Kg) ASTM D 1559		ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΝΔΕΙΞΗ MARSHALL		3172	2993	3079	
		ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		3081			>1500
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (mm) ASTM D 1559		ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL		2.93	2.89	2,95	
		ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		2.92			2,5-4

Πίνακας Α-5 Δοκιμή εκχύλισης ασφαλτομίγματος 2^{ης} στρώσης

ΔΟΚΙΜΗ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ-ΜΕΘΟΔΟΣ ASTM D 2172		
Βάρος δείγματος	g.	1743,3
Βάρος φίλτρου πριν τη δοκιμή	g.	20,6
Βάρος φίλτρου μετά τη δοκιμή	g.	22,3
Βάρος αδρανών μετά τη δοκιμή	g.	1664,5
Ολικό βάρος αδρανών	g.	1666,2
Απώλεια βάρους	g.	77,1
Άσφαλτος κατά βάρος αδρανών	%	4.63
Άσφαλτος κατά βάρος ασφαλτομίγματος	%	4.42

Πίνακας Α-6 Κοκκομετρική ανάλυση ασφαλτομίγματος 2^{ης} στρώσης

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΜΕΘΟΔΟΣ ASTM C136				
Κόσκινα (mm)	Συγκρατούμενο βάρος (g)	Διερχόμενο		Όρια προδιαγραφής
		Βάρος (g)	%	
37.5		1666,2	100	
25	20,1	1646,1	99	100
19	139,3	1506,8	90	76-100
16				
12.5	190,4	1316,4	79	64-89
9.5				
6.3				
4.75	427,3	889,1	53	38-64
2.36	268,2	620,9	37	
2.0	49,7	571,2	34	25-50
1.18				
0.600	333	238,2	14	
0.425	49,2	189,0	11	12-28
0.300				
0.180	77,6	111,4	7	7-18
0.150				
0.075	37,1	74,3	4,5	4-8
ΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1666,2			

Σχήμα A-2 Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών ασφαλτομίγματος 2^{ης} στρώσηςΠίνακας A-7 Προσδιορισμός θεωρητικού μέγιστου ειδικού βάρους χαλαρού ασφαλτομίγματος 2^{ης} στρώσης

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΑΧ. ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΧΑΛΑΡΟΥ ΑΣΦ/ΤΟΣ						
ΜΕΘΟΔΟΣ: ASTM D2041						
Βάρος	Δείγματος	g.	A	1245,2	$G_{mm} = \frac{A}{(A + D - E)}$	2.506
	Πυκνόμετρου + Νερού	g.	D	7602,4		
	Πυκνόμετρου + Νερού + υλικού στον αέρα t=25°C	g.	E	8350,8		

Πίνακας Α-8 Δελτίο ελέγχου χαρακτηριστικών δοκιμών Marshall 2^{ης} στρώσης

ΔΕΛΤΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL						
ASTM D6927- D3203						
ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ						
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ:	50-70	ΕΙΔ.ΒΑΡ.ΑΣΦ. (G _{Asph})	1,00	ΘΕΡΜ.ΣΥΜΠ.150°C: ΚΤΥΠΟΙ: 75	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ	
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ					G _{ssd}	
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ %	ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ $AC_{by\ Weight} =$		4,63	ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΜΙΞΕΩΣ $AC_{mix} =$		4,42
ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ASTM D 1559			ΑΡ.ΔΟΚΙΜΙΟΥ	1	2	3
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ (g)			W	1222,9	1204,9	1217,5
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ (g) ASTM D 2726			W ₁	718,7	703,6	707,5
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ (g) Κ.Ε.Ξ.			W _{SSD}	1224,1	1205,3	1217,6
ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (cm ³) ASTM D 2726			V = W _{SSD} - W ₁	505,4	501,7	510,1
ΦΑΙΝ.ΕΙΔ.ΒΑΡΟΣ ΔΟΚ.ΜΑΡSHALL	ΔΟΚΙΜΙΩΝ		G = W/V	2,420	2,402	2,387
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		G	2,403		
ΘΕΩΡ.ΜΑΧ ΕΙΔ.ΒΑΡΟΣ ΑΣΦ/ΤΟΣ	G _{max}		g/cm ³	2,506		
ΟΓΚΟΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΣΤΟ ΔΟΚΙΜΙΟ			c	10,6		
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ						ΟΡΙΑ
ΚΕΝΑ %	ΑΕΡΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ ASTM D 3203	100x	G_{max-G} G_{max}	PAV	4,1	3-8
	ΑΔΡΑΝΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ	PAV+C		VM A	14,8	>14
	ΠΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΜΕ ΑΣΦΑΛΤΟ	100x	C VMA	VFA	72,0	
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ MARSHALL				0,990	0,920	1,020
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΣ		ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ MARSHALL		1.293	1.293	1.293
		ΟΓΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ		1.04	1.04	1.00
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ (Kg) ASTM D 1559		ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΝΔΕΙΞΗ MARSHALL		2935	2727	2908
		ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		2857		>1500
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (mm) ASTM D 1559		ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL		2,80	3,20	2,90
		ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		2.97		2,5-4

Πίνακας Α-9 Μετρήσεις συμπακνώσεων 1^{ης} στρώσης Α265Β με συσκευή τύπου troxler κατά μήκος του δοκιμαστικού τμήματος

A/A	Χ.Θ/ Διατομή	Πυκνότητα οργάνου (gr/cm ³)	Πυκνότητα Marshall (gr/cm ³)	Συμπύκνωση (%)
1	413	2405	2395	100.42
2	414	2375	2395	99.16
3	415	2318	2395	96.78
4	416	2357	2395	98.41
5	417	2357	2395	98.41
6	418	2356	2395	98.37
7	419	2375	2395	99.16
8	420	2360	2395	98.54
9	421	2359	2395	98.50
10	422	2310	2395	96.45
11	423	2425	2395	101.25
12	424	2364	2395	98.71
13	425	2361	2395	98.58
14	426	2330	2395	97.29
15	427	2328	2395	97.20
16	428	2386	2395	99.62
17	429	2334	2395	97.45
18	430	2363	2395	98.66
19	431	2341	2395	97.75
20	432	2377	2395	99.25
21	433	2374	2395	99.12
22	434	2341	2395	97.75
23	435	2351	2395	98.16
24	436	2323	2395	96.99
25	437	2391	2395	99.83

Πίνακας Α-10 Μετρήσεις συμπτυκνώσεων 2^{ης} στρώσης Α265Β με συσκευή τύπου troxler κατά μήκος του δοκιμαστικού τμήματος

A/A	Χ.Θ/ Διατομή	Πυκνότητα οργάνου (gr/cm ³)	Πυκνότητα Marshall (gr/cm ³)	Συμπύκνωση (%)
1	413	2342	2403	97.46
2	414	2414	2403	100.46
3	415	2318	2403	96.46
4	416	2375	2403	98.83
5	417	2349	2403	97.75
6	418	2342	2403	97.46
7	419	2355	2403	98.00
8	420	2393	2403	99.58
9	421	2356	2403	98.04
10	422	2384	2403	99.21
11	423	2364	2403	98.38
12	424	2406	2403	100.12
13	425	2342	2403	97.46
14	426	2344	2403	97.54
15	427	2352	2403	97.88
16	428	2330	2403	96.96
17	429	2416	2403	100.54
18	430	2361	2403	98.25
19	431	2359	2403	98.17
20	432	2350	2403	97.79
21	433	2336	2403	97.21
22	434	2351	2403	97.84
23	435	2344	2403	97.54
24	436	2358	2403	98.13
25	437	2429	2403	101.08

Πίνακας Α-11 Μετρήσεις συμπακνώσεων 3ης στρώσης Α265Β με συσκευή τύπου troxler κατά μήκος του δοκιμαστικού τμήματος

A/A	Χ.Θ/ Διατομή	Πυκνότητα οργάνου (kg/m ³)	Πυκνότητα Marshall (kg/m ³)	Συμπύκνωση (%)
1	413	2337	2401	97.33
2	414	2332	2401	97.13
3	415	2343	2401	97.58
4	416	2374	2401	98.88
5	417	2334	2401	97.21
6	418	2465	2401	102.67
7	419	2401	2401	100.00
8	420	2314	2401	96.38
9	421	2382	2401	99.21
10	422	2383	2401	99.25
11	423	2343	2401	97.58
12	424	2372	2401	98.79
13	425	2338	2401	97.38
14	426	2397	2401	99.83
15	427	2428	2401	101.12
16	428	2429	2401	101.17
17	429	2343	2401	97.58
18	430	2393	2401	99.67
19	431	2354	2401	98.04
20	432	2370	2401	98.71
21	433	2392	2401	99.63
22	434	2384	2401	99.29
23	435	2323	2401	96.75
24	436	2344	2401	97.63
25	437	2348	2401	97.79

Πίνακας Α-12 Μετρήσεις συμπακνώσεων αντιολισθηρής στρώσης με συσκευή τύπου troxler κατά μήκος του δοκιμαστικού τμήματος

A/A	Χ.Θ/ Διατομή	Πυκνότητα οργάνου (gr/cm ³)	Πυκνότητα Marshall (gr/cm ³)	Συμπύκνωση (%)
1	413		2584	0.00
2	414	2567	2584	99.34
3	415	2631	2584	101.82
4	416	2545	2584	98.49
5	417	2576	2584	99.69
6	418	2629	2584	101.74
7	419	2562	2584	99.15
8	420	2586	2584	100.08
9	421	2556	2584	98.92
10	422	2586	2584	100.08
11	423	2552	2584	98.76
12	424	2570	2584	99.46
13	425	2542	2584	98.37
14	426	2588	2584	100.15
15	427	2561	2584	99.11
16	428	2550	2584	98.68
17	429	2592	2584	100.31
18	430	2571	2584	99.50
19	431	2591	2584	100.27
20	432	2574	2584	99.61
21	433	2603	2584	100.74
22	434	2558	2584	98.99
23	435	2571	2584	99.50
24	436	2583	2584	99.96
25	437		2584	0.00

Πίνακας Α-13 Μετρήσεις συμπτυκνώσεων 1^{ης} ειδικής διατομής 1^{ης} στρώσης με συσκευή τύπου troxler

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (gr/cm ³)	Πυκνότητα Marshall (gr/cm ³)	Συμπύκνωση (%)
Α1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1953	2395	81.54
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2128	2395	88.85
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2205	2395	92.07
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2300	2395	96.03
	ΤΕΛΙΚΗ	2325	2395	97.08
Α2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1998	2395	83.42
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2208	2395	92.19
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2294	2395	95.78
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2330	2395	97.29
	ΤΕΛΙΚΗ	2337	2395	97.58
Α3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1889	2395	78.87
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2222	2395	92.78
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2325	2395	97.08
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2364	2395	98.71
	ΤΕΛΙΚΗ	2438	2395	101.80
Α4	ΦΙΝΙΣΕΡ	2021	2395	84.38
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2098	2395	87.60
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2282	2395	95.28
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2304	2395	96.20
	ΤΕΛΙΚΗ	2311	2395	96.49
Β1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1904	2395	79.50
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2145	2395	89.56
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2248	2395	93.86
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2319	2395	96.83
	ΤΕΛΙΚΗ	2331	2395	97.33
Β2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1872	2395	78.16
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2246	2395	93.78
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2294	2395	95.78
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2299	2395	95.99
	ΤΕΛΙΚΗ	2329	2395	97.24
Β3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1885	2395	78.71
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2167	2395	90.48
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2303	2395	96.16
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2331	2395	97.33
	ΤΕΛΙΚΗ	2335	2395	97.49
Β4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1833	2395	76.53
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2195	2395	91.65
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2271	2395	94.82
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2334	2395	97.45
	ΤΕΛΙΚΗ	2340	2395	97.70

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (gr/cm ³)	Πυκνότητα Marshall (gr/cm ³)	Συμπύκνωση (%)
Γ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1980	2395	82.67
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2231	2395	93.15
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2243	2395	93.65
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2269	2395	94.74
	ΤΕΛΙΚΗ	2324	2395	97.04
Γ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1934	2395	80.75
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2167	2395	90.48
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2215	2395	92.48
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2276	2395	95.03
	ΤΕΛΙΚΗ	2330	2395	97.29
Γ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1916	2395	80.00
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2312	2395	96.53
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2324	2395	97.04
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2347	2395	98.00
	ΤΕΛΙΚΗ	2353	2395	98.25
Γ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1876	2395	78.33
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2299	2395	95.99
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2315	2395	96.66
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2338	2395	97.62
	ΤΕΛΙΚΗ	2343	2395	97.83
Δ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1952	2395	81.50
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2143	2395	89.48
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2197	2395	91.73
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2259	2395	94.32
	ΤΕΛΙΚΗ	2327	2395	97.16
Δ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	2008	2395	83.84
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2178	2395	90.94
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2232	2395	93.19
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2241	2395	93.57
	ΤΕΛΙΚΗ	2343	2395	97.83
Δ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1951	2395	81.46
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2265	2395	94.57
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2334	2395	97.45
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2368	2395	98.87
	ΤΕΛΙΚΗ	2402	2395	100.29
Δ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1912	2395	79.83
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2196	2395	91.69
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2361	2395	98.58
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2347	2395	98.00
	ΤΕΛΙΚΗ	2394	2395	99.96

Πίνακας Α-14 Μετρήσεις συμπτυκνώσεων 2^{ης} ειδικής διατομής 1^{ης} στρώσης με συσκευή τύπου troxler

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (gr/cm ³)	Πυκνότητα Marshall (gr/cm ³)	Συμπύκνωση (%)
Α1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1937	2395	80.88
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2213	2395	92.40
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2263	2395	94.49
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2279	2395	95.16
	ΤΕΛΙΚΗ	2331	2395	97.33
Α2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1949	2395	81.38
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2271	2395	94.82
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2305	2395	96.24
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2320	2395	96.87
	ΤΕΛΙΚΗ	2337	2395	97.58
Α3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1940	2395	81.00
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2279	2395	95.16
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2356	2395	98.37
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2370	2395	98.96
	ΤΕΛΙΚΗ	2402	2395	100.29
Α4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1896	2395	79.16
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2245	2395	93.74
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2286	2395	95.45
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2309	2395	96.41
	ΤΕΛΙΚΗ	2344	2395	97.87
Β1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1898	2395	79.25
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2220	2395	92.69
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2284	2395	95.37
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2342	2395	97.79
	ΤΕΛΙΚΗ	2357	2395	98.41
Β2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1914	2395	79.92
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2232	2395	93.19
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2300	2395	96.03
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2349	2395	98.08
	ΤΕΛΙΚΗ	2393	2395	99.92
Β3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1888	2395	78.83
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2248	2395	93.86
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2307	2395	96.33
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2331	2395	97.33
	ΤΕΛΙΚΗ	2336	2395	97.54
Β4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1902	2395	79.42
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2224	2395	92.86
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2327	2395	97.16
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2348	2395	98.04
	ΤΕΛΙΚΗ	2351	2395	98.16

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (gr/cm ³)	Πυκνότητα Marshall (gr/cm ³)	Συμπύκνωση (%)
Γ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1873	2395	78.20
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2250	2395	93.95
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2289	2395	95.57
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2314	2395	96.62
	ΤΕΛΙΚΗ	2324	2395	97.04
Γ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1925	2395	80.38
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2216	2395	92.53
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2278	2395	95.11
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2287	2395	95.49
	ΤΕΛΙΚΗ	2335	2395	97.49
Γ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1951	2395	81.46
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2249	2395	93.90
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2295	2395	95.82
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2328	2395	97.20
	ΤΕΛΙΚΗ	2333	2395	97.41
Γ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1906	2395	79.58
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2213	2395	92.40
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2288	2395	95.53
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2297	2395	95.91
	ΤΕΛΙΚΗ	2342	2395	97.79
Δ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1984	2395	82.84
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2250	2395	93.95
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2291	2395	95.66
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2306	2395	96.28
	ΤΕΛΙΚΗ	2340	2395	97.70
Δ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1961	2395	81.88
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2249	2395	93.90
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2254	2395	94.11
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2325	2395	97.08
	ΤΕΛΙΚΗ	2367	2395	98.83
Δ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1931	2395	80.63
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2247	2395	93.82
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2259	2395	94.32
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2286	2395	95.45
	ΤΕΛΙΚΗ	2316	2395	96.70
Δ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1947	2395	81.29
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2266	2395	94.61
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2278	2395	95.11
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2335	2395	97.49
	ΤΕΛΙΚΗ	2360	2395	98.54

Πίνακας Α-15 Μετρήσεις συμπίκνωσης 1^{ης} ειδικής διατομής 2^{ης} στρώσης με συσκευή τύπου troxler

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (gr/cm ³)	Πυκνότητα Marshall (gr/cm ³)	Συμπύκνωση (%)
Α1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1872	2403	77.90
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2156	2403	89.72
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2220	2403	92.38
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2314	2403	96.30
	ΤΕΛΙΚΗ	2333	2403	97.09
Α2	ΦΙΝΙΣΕΡ	2075	2403	86.35
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2208	2403	91.89
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2297	2403	95.59
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2364	2403	98.38
	ΤΕΛΙΚΗ	2380	2403	99.04
Α3	ΦΙΝΙΣΕΡ	2104	2403	87.56
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2247	2403	93.51
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2360	2403	98.21
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2405	2403	100.08
	ΤΕΛΙΚΗ	2430	2403	101.12
Α4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1906	2403	79.32
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2154	2403	89.64
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2313	2403	96.25
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2402	2403	99.96
	ΤΕΛΙΚΗ	2420	2403	100.71
Β1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1875	2403	78.03
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2180	2403	90.72
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2305	2403	95.92
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2390	2403	99.46
	ΤΕΛΙΚΗ	2430	2403	101.12
Β2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1910	2403	79.48
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2250	2403	93.63
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2328	2403	96.88
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2335	2403	97.17
	ΤΕΛΙΚΗ	2400	2403	99.88
Β3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1915	2403	79.69
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2180	2403	90.72
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2320	2403	96.55
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2339	2403	97.34
	ΤΕΛΙΚΗ	2351	2403	97.84
Β4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1813	2403	75.45
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2201	2403	91.59
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2311	2403	96.17
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2367	2403	98.50
	ΤΕΛΙΚΗ	2371	2403	98.67

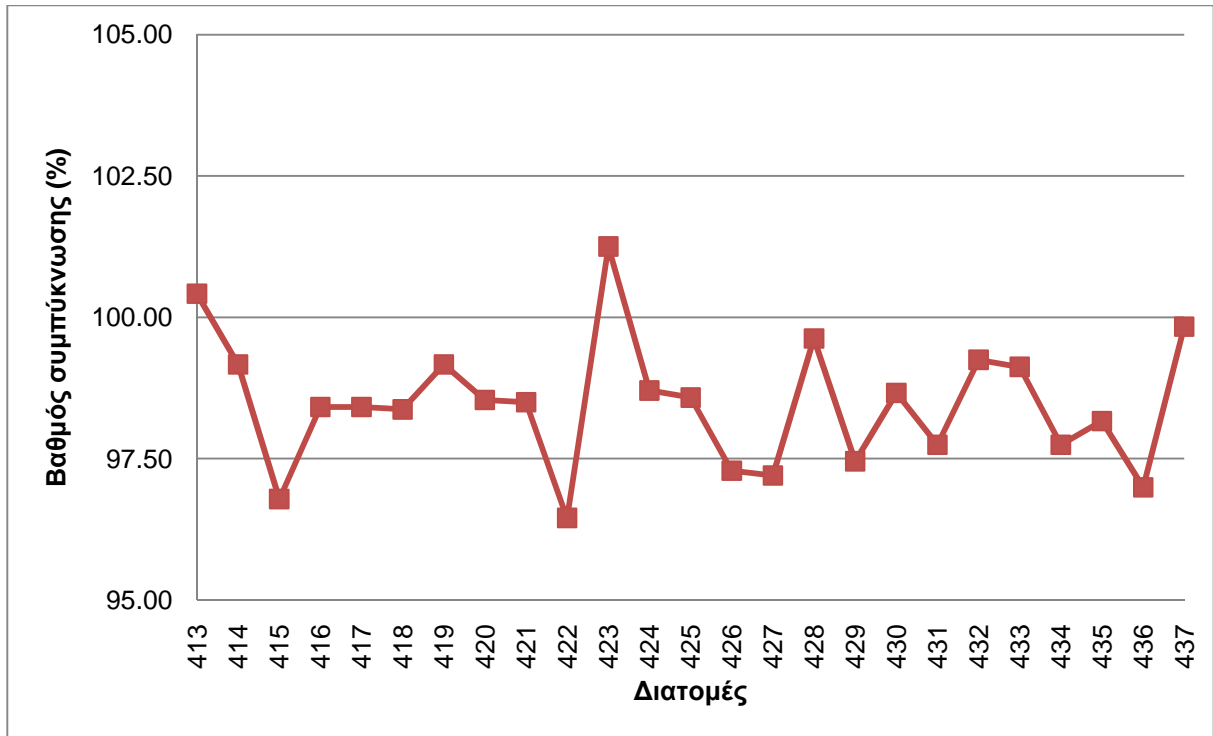
Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (gr/cm ³)	Πυκνότητα Marshall (gr/cm ³)	Συμπύκνωση (%)
Γ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1948	2403	81.07
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2216	2403	92.22
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2221	2403	92.43
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2247	2403	93.51
	ΤΕΛΙΚΗ	2374	2403	98.79
Γ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1942	2403	80.82
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2173	2403	90.43
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2238	2403	93.13
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2259	2403	94.01
	ΤΕΛΙΚΗ	2344	2403	97.54
Γ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1896	2403	78.90
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2326	2403	96.80
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2367	2403	98.50
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2400	2403	99.88
	ΤΕΛΙΚΗ	2438	2403	101.46
Γ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1897	2403	78.94
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2275	2403	94.67
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2318	2403	96.46
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2326	2403	96.80
	ΤΕΛΙΚΗ	2334	2403	97.13
Δ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1931	2403	80.36
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2142	2403	89.14
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2189	2403	91.09
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2275	2403	94.67
	ΤΕΛΙΚΗ	2355	2403	98.00
Δ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1943	2403	80.86
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2321	2403	96.59
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2336	2403	97.21
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2349	2403	97.75
	ΤΕΛΙΚΗ	2440	2403	101.54
Δ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1911	2403	79.53
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2274	2403	94.63
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2369	2403	98.59
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2380	2403	99.04
	ΤΕΛΙΚΗ	2410	2403	100.29
Δ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1924	2403	80.07
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2187	2403	91.01
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2348	2403	97.71
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2414	2403	100.46
	ΤΕΛΙΚΗ	2430	2403	101.12

Πίνακας Α-16 Μετρήσεις συμπτυκνώσεων 2^{ης} ειδικής διατομής 2^{ης} στρώσης με συσκευή τύπου troxler

Πυρήνας	Φάση συμπίκνωσης	Πυκνότητα οργάνου (gr/cm ³)	Πυκνότητα Marshall (gr/cm ³)	Συμπύκνωση (%)
Α1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1954	2403	81.32
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2228	2403	92.72
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2304	2403	95.88
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2339	2403	97.34
	ΤΕΛΙΚΗ	2386	2403	99.29
Α2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1930	2403	80.32
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2225	2403	92.59
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2293	2403	95.42
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2306	2403	95.96
	ΤΕΛΙΚΗ	2331	2403	97.00
Α3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1920	2403	79.90
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2297	2403	95.59
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2398	2403	99.79
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2404	2403	100.04
	ΤΕΛΙΚΗ	2461	2403	102.41
Α4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1999	2403	83.19
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2267	2403	94.34
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2390	2403	99.46
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2398	2403	99.79
	ΤΕΛΙΚΗ	2458	2403	102.29
Β1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1901	2403	79.11
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2224	2403	92.55
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2268	2403	94.38
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2315	2403	96.34
	ΤΕΛΙΚΗ	2400	2403	99.88
Β2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1934	2403	80.48
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2272	2403	94.55
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2326	2403	96.80
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2388	2403	99.38
	ΤΕΛΙΚΗ	2410	2403	100.29
Β3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1931	2403	80.36
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2241	2403	93.26
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2327	2403	96.84
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2402	2403	99.96
	ΤΕΛΙΚΗ	2454	2403	102.12
Β4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1928	2403	80.23
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2249	2403	93.59
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2374	2403	98.79
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2425	2403	100.92
	ΤΕΛΙΚΗ	2448	2403	101.87

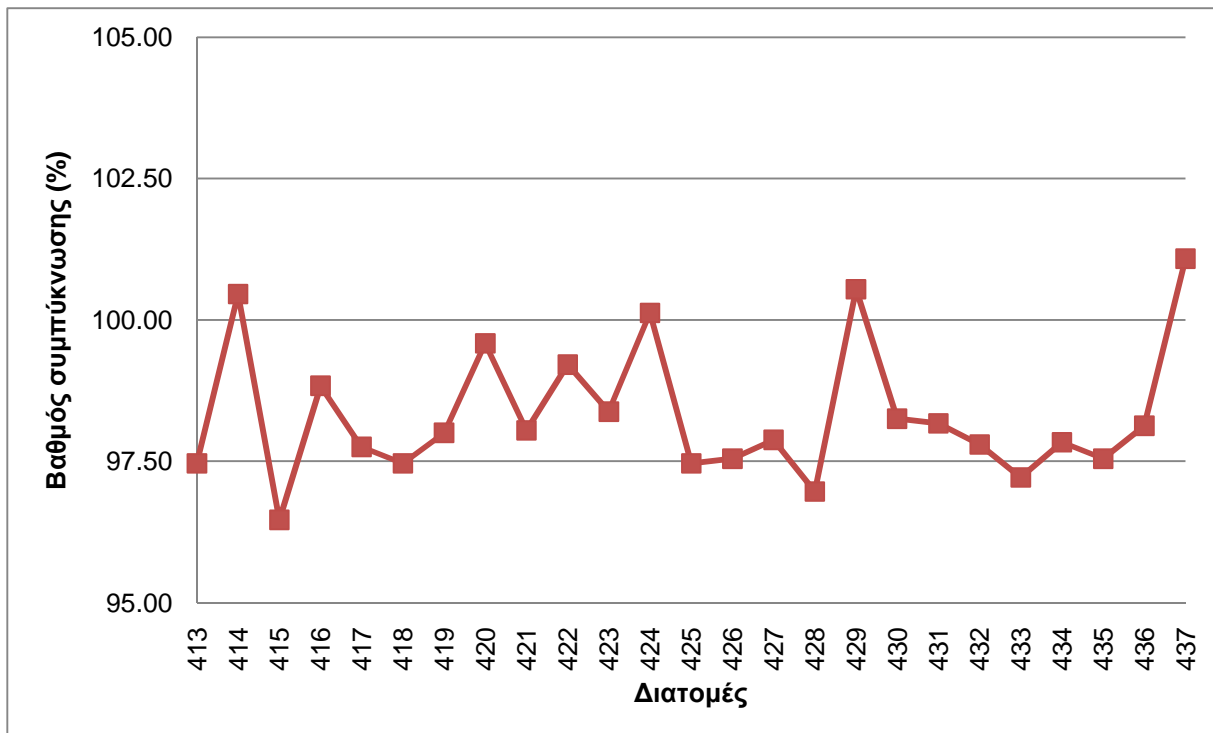
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Γ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1864	2403	77.57
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2300	2403	95.71
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2337	2403	97.25
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2351	2403	97.84
	ΤΕΛΙΚΗ	2383	2403	99.17
Γ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1986	2403	82.65
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2248	2403	93.55
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2311	2403	96.17
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2374	2403	98.79
	ΤΕΛΙΚΗ	2423	2403	100.83
Γ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1961	2403	81.61
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2237	2403	93.09
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2268	2403	94.38
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2347	2403	97.67
	ΤΕΛΙΚΗ	2351	2403	97.84
Γ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1916	2403	79.73
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2247	2403	93.51
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2331	2403	97.00
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2351	2403	97.84
	ΤΕΛΙΚΗ	2371	2403	98.67
Δ1	ΦΙΝΙΣΕΡ	1987	2403	82.69
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2234	2403	92.97
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2279	2403	94.84
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2315	2403	96.34
	ΤΕΛΙΚΗ	2345	2403	97.59
Δ2	ΦΙΝΙΣΕΡ	1941	2403	80.77
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2227	2403	92.68
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2234	2403	92.97
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2286	2403	95.13
	ΤΕΛΙΚΗ	2354	2403	97.96
Δ3	ΦΙΝΙΣΕΡ	1996	2403	83.06
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2269	2403	94.42
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2324	2403	96.71
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2403	2403	100.00
	ΤΕΛΙΚΗ	2440	2403	101.54
Δ4	ΦΙΝΙΣΕΡ	1942	2403	80.82
	ΣΤΑΤΙΚΟ	2268	2403	94.38
	1 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2284	2403	95.05
	2 ^η ΔΟΝΗΣΗ	2341	2403	97.42
	ΤΕΛΙΚΗ	2385	2403	99.25



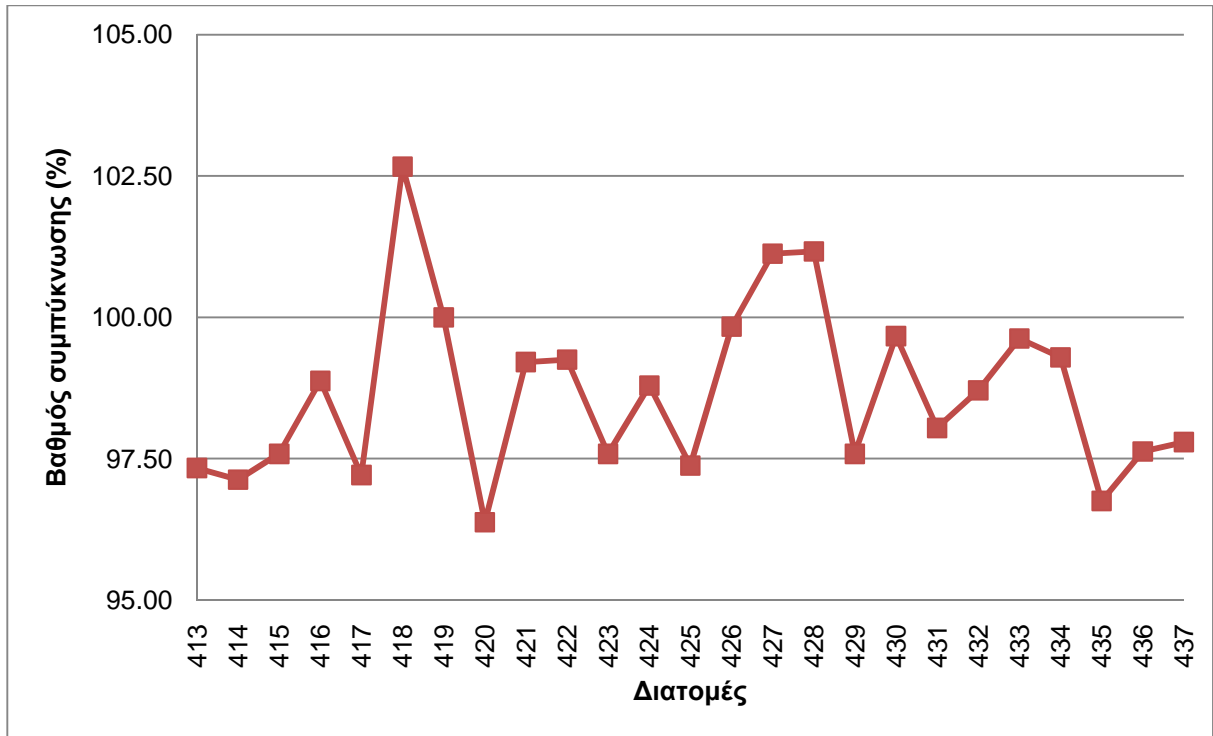
Σχήμα A-3 Συμπυκνώσεις 1^{ης} στρώσης A265B κατά μήκος της αρτηρίας

Μέσος όρος: 98.47 Ελάχιστη τιμή: 96.45



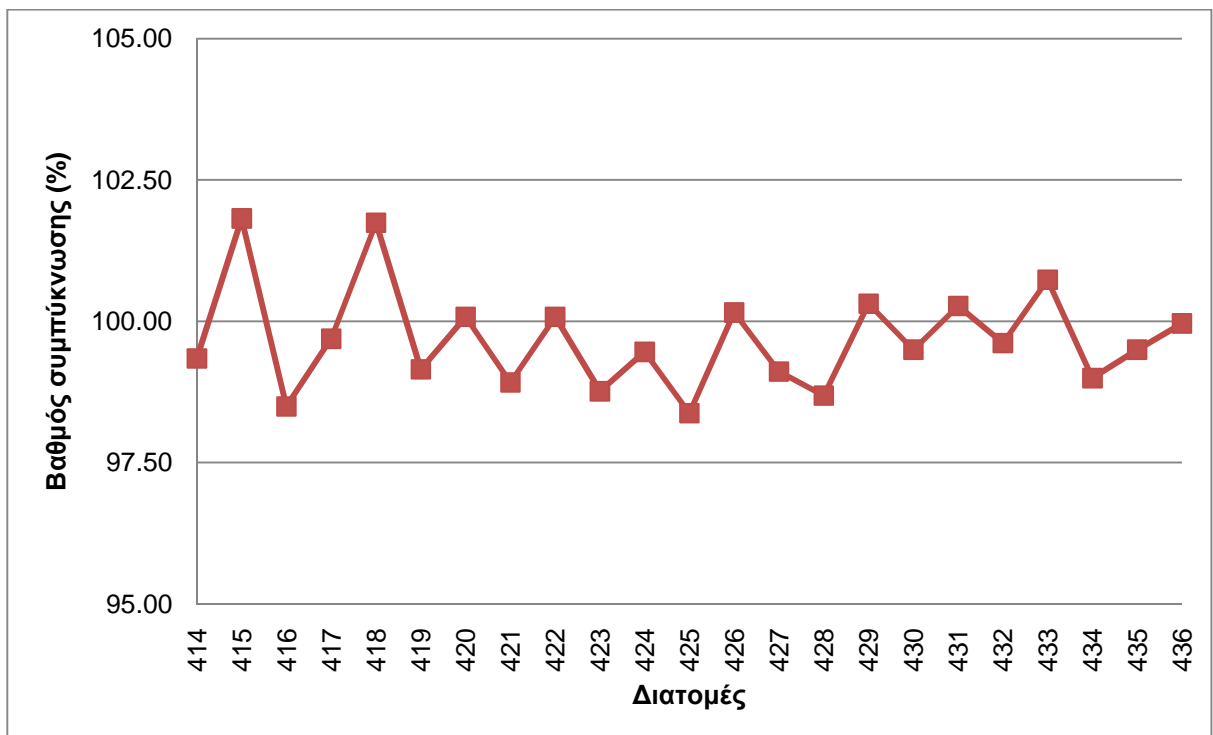
Σχήμα A-4 Συμπυκνώσεις 2^{ης} στρώσης A265B κατά μήκος της αρτηρίας

Μέσος όρος: 98.33 Ελάχιστη τιμή: 96.46



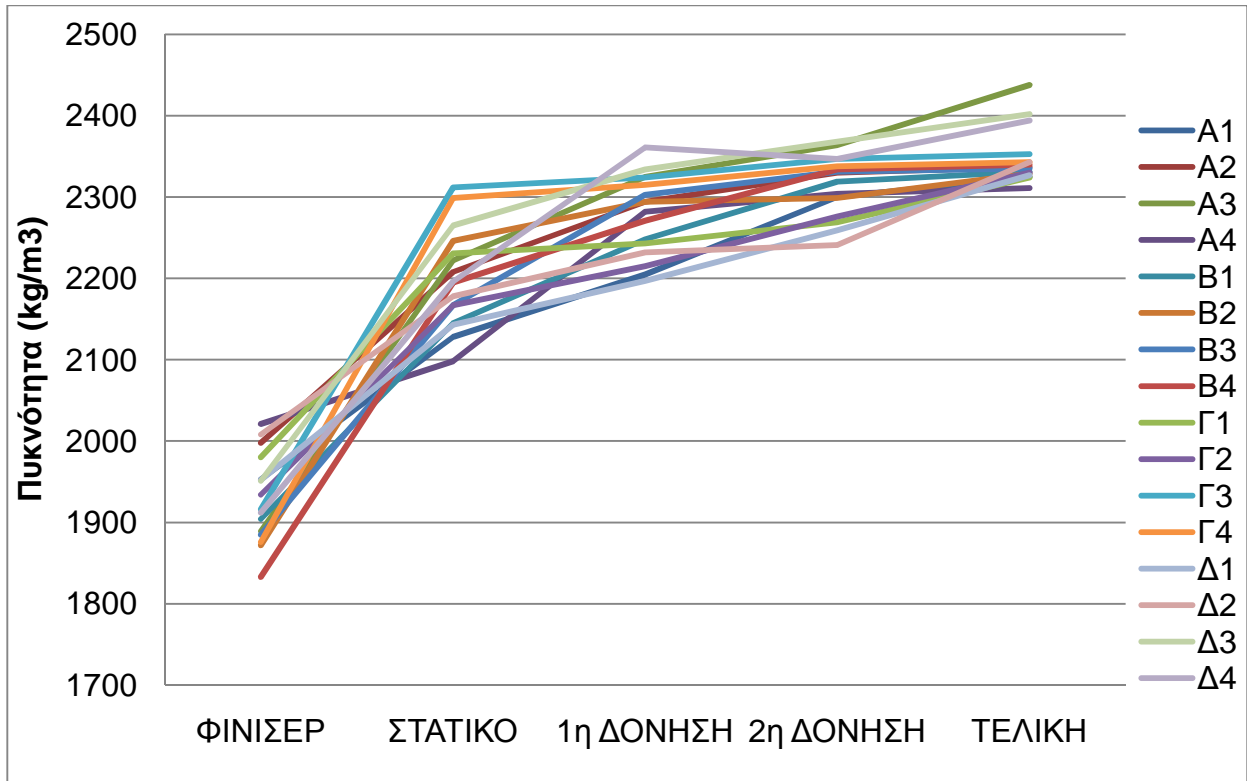
Σχήμα Α-5 Συμπυκνώσεις 3ης στρώσης Α265Β κατά μήκος της αρτηρίας

Μέσος όρος: 98.66 Ελάχιστη τιμή: 96.38

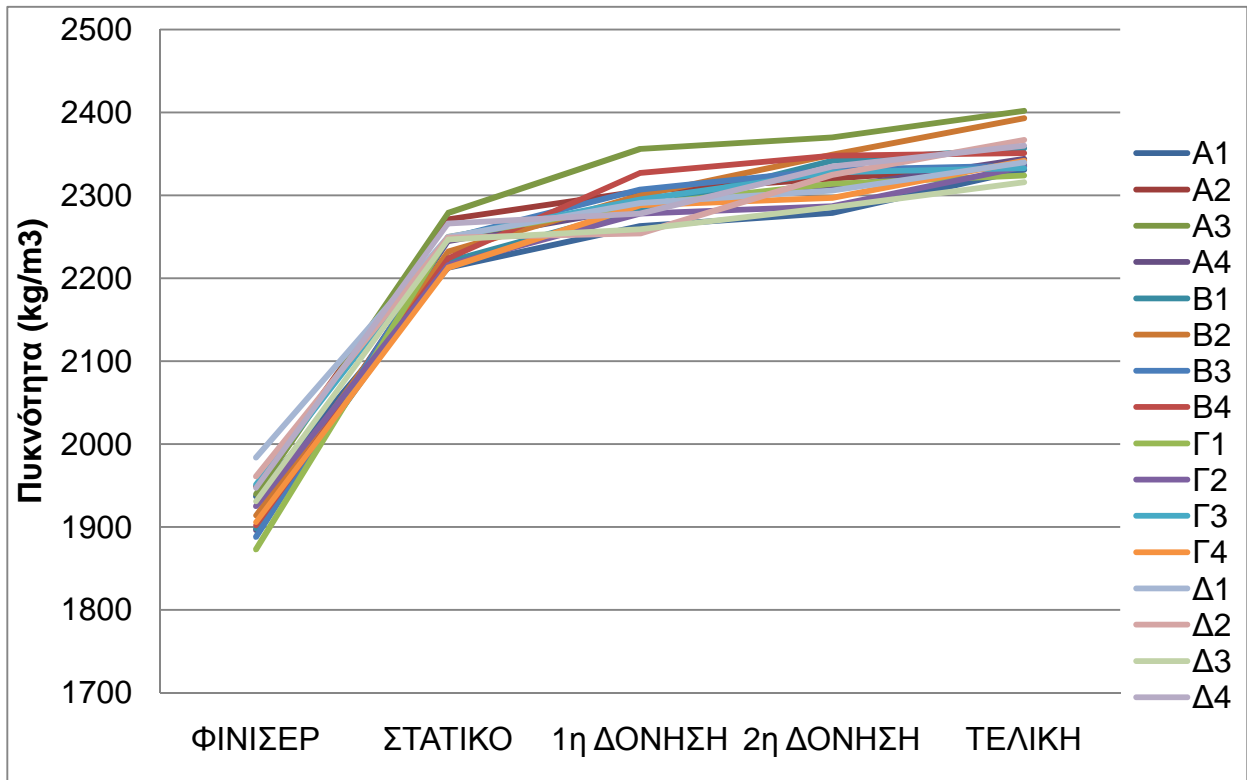


Σχήμα Α-6 Συμπυκνώσεις αντιολισθηρής στρώσης κατά μήκος της αρτηρίας

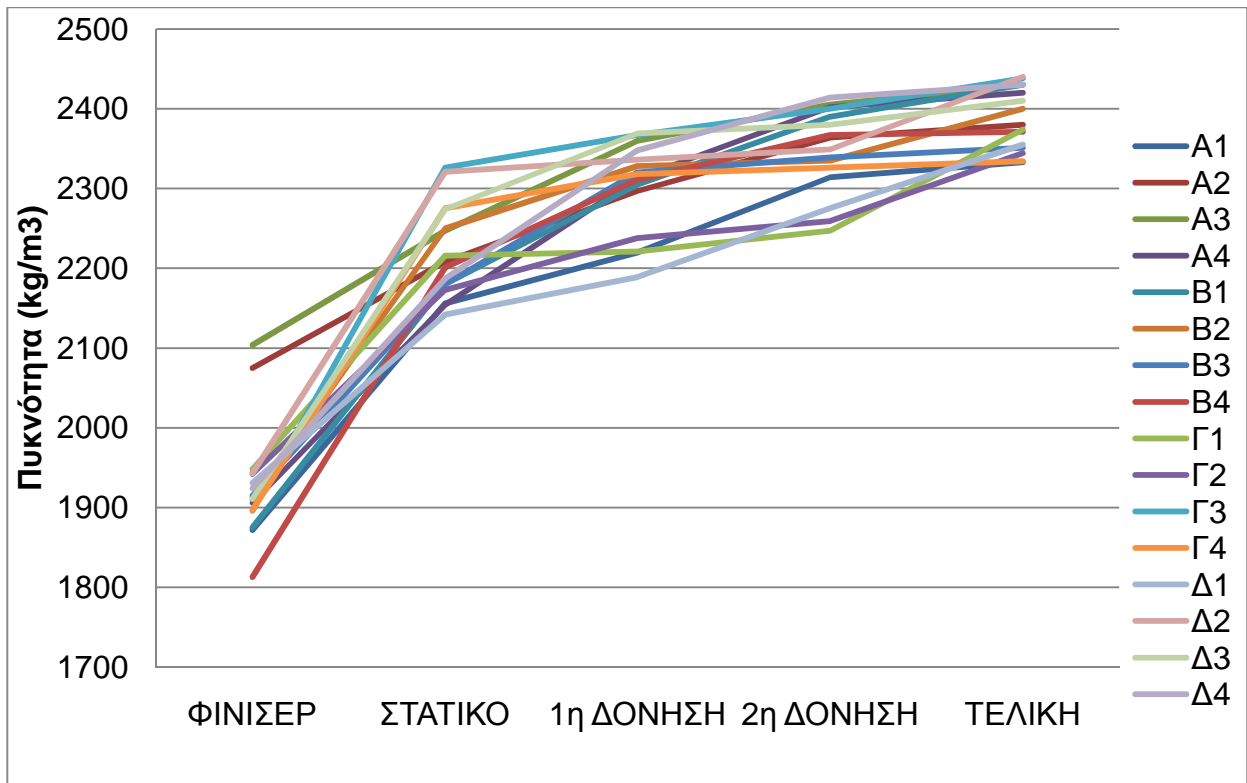
Μέσος όρος: 99.68 Ελάχιστη τιμή: 98.37



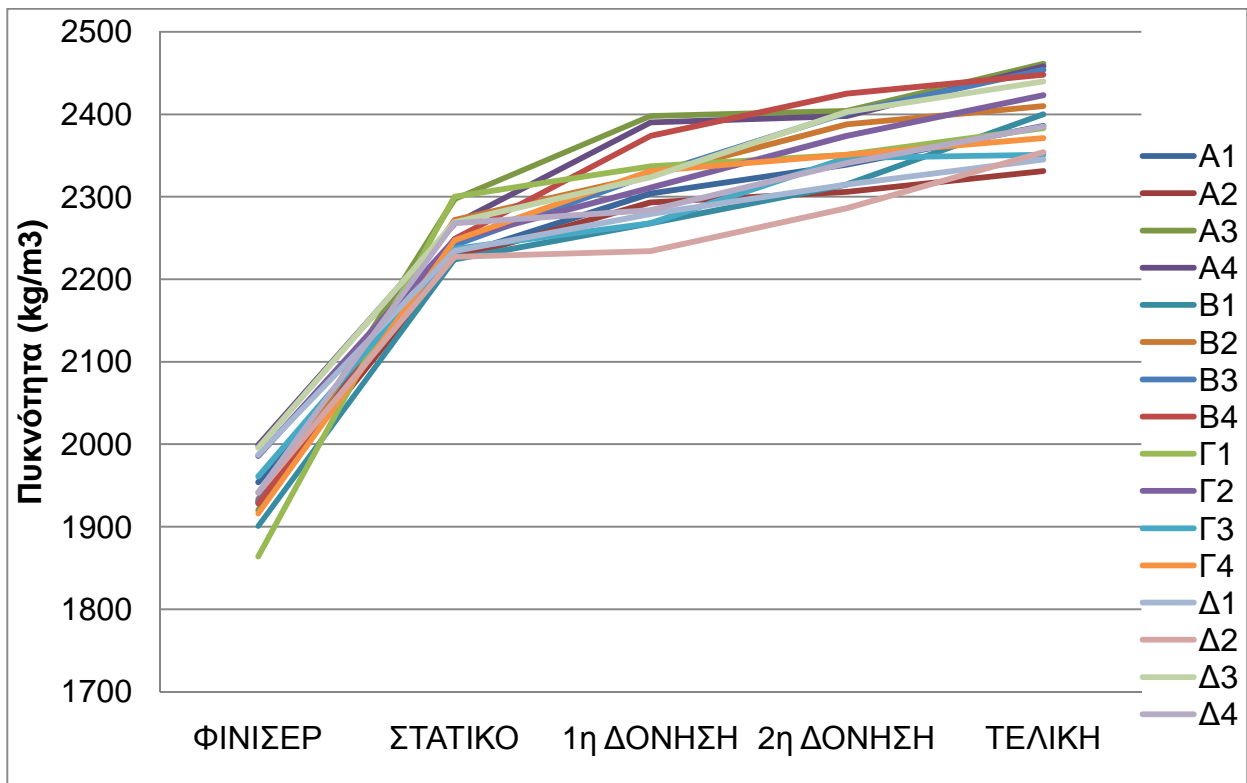
Σχήμα A-7 Εξέλιξη της συμπίκνωσης ανά φάση 1^{ης} στρώσης A265B 1^{ης} ειδικής διατομής



Σχήμα A-8 Εξέλιξη της συμπίκνωσης ανά φάση 1^{ης} στρώσης A265B 2^{ης} ειδικής διατομής



Σχήμα Α-9 Εξέλιξη της συμπίκνωσης ανά φάση 2^{ης} στρώσης Α265Β 1^{ης} ειδικής διατομής



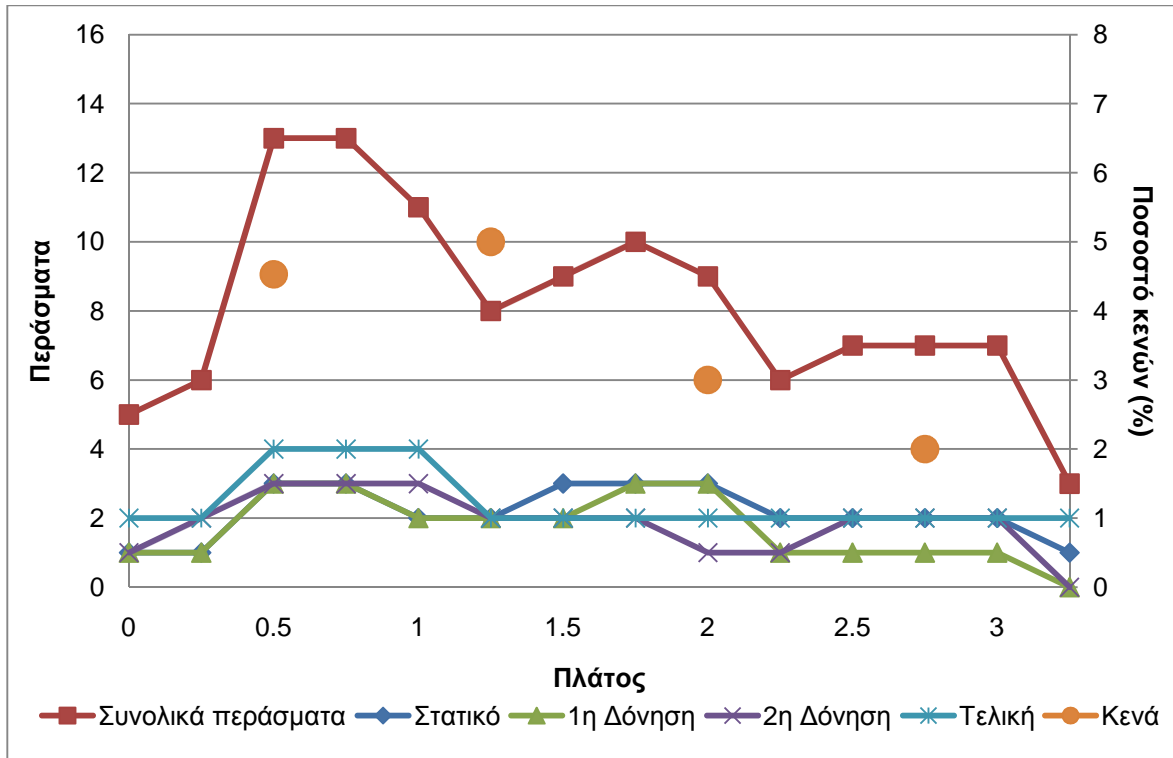
Σχήμα Α-10 Εξέλιξη της συμπίκνωσης ανά φάση 2^{ης} στρώσης Α265Β 2^{ης} ειδικής διατομής

Πίνακας Α-17 Πυρήνες και υπολογισμός κενών αυτών 1^{ης} στρώσης Α265Β

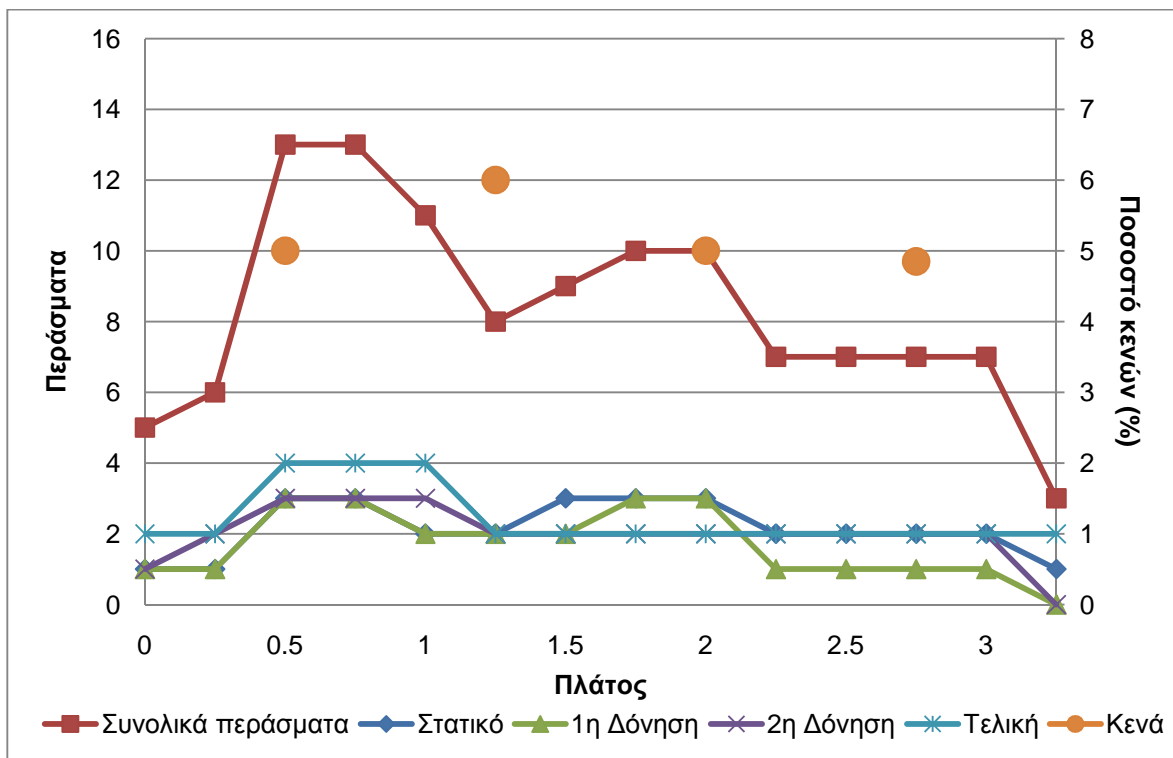
Θέση πυρήνα	W Στον αέρα (g)	W ₁ (g) ASTM D 2726	W _{ssd} Στον αέρα (g) Κ.Ε.Ξ.	V (cm ³) ASTM D 2726	Πυκνότητα (kg/m ³)	G _{mm}	Κενά % ASTM D 3203
A1 1η Ειδική	648.7	380.5	649.7	269.2	2409.7	2506	3.84
A2 1η Ειδική	531.2	314.2	532.6	218.4	2432.2	2506	2.94
Δ1 1η Ειδική	712.4	418.0	713.6	295.6	2410.0	2506	3.83
Δ3 1η Ειδική	265.4	155.6	266.4	110.8	2395.3	2506	4.42
B4 1η Ειδική	893.0	529.0	893.9	364.9	2447.2	2506	2.34
Γ4 1η Ειδική	697.8	412.6	698.6	286.0	2439.9	2506	2.64
Γ1 2η Ειδική	299.9	178.0	300.8	122.8	2442.2	2506	2.55
B2 2η Ειδική	373.8	220.4	374.6	154.2	2424.1	2506	3.27
Δ2 2η Ειδική	297.4	177.4	298.3	120.9	2459.9	2506	1.84
Γ3 2η Ειδική	368.7	217.8	369.3	151.5	2433.7	2506	2.89
Δ4 2η Ειδική	322.2	190.8	323.1	132.3	2435.4	2506	2.82
A4 2η Ειδική	445.3	263.3	446.1	182.8	2436.0	2506	2.79

Πίνακας Α-18 Πυρήνες και υπολογισμός των κενών αυτών 2^{ης} στρώσης Α265Β

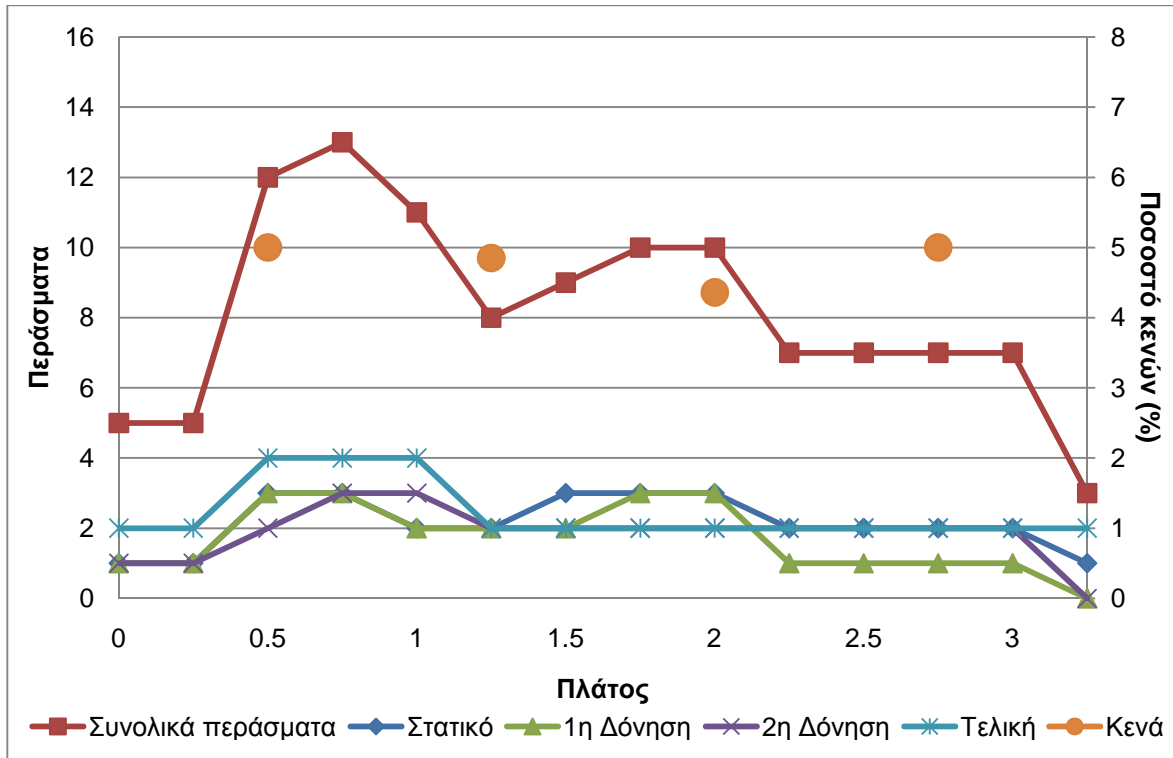
Θέση πυρήνα	W Στον αέρα (g)	W ₁ (g) ASTM D 2726	W _{ssd} Στον αέρα (g) Κ.Ε.Ξ.	V (cm ³) ASTM D 2726	Πυκνότητα (kg/m ³)	G _{mm}	Κενά % ASTM D 3203
A1 1η Ειδική	762.8	443.6	764.1	320.5	2380.0	2506	5.03
A2 1η Ειδική	818.6	479.0	819.8	340.8	2402.0	2506	4.15
Δ1 1η Ειδική	518.1	300.4	519.6	219.2	2363.6	2506	5.68
Δ3 1η Ειδική	935.3	544.1	936.6	392.5	2382.9	2506	4.91
B4 1η Ειδική	639.4	376.7	640.3	263.6	2425.6	2506	3.21
Γ4 1η Ειδική	577.9	339.4	578.5	239.1	2417.0	2506	3.55
Γ1 2η Ειδική	522.7	304.4	523.2	218.8	2388.9	2506	4.67
B2 2η Ειδική	577.4	336.3	578.4	242.1	2385.0	2506	4.83
Δ2 2η Ειδική	525.4	306.4	526.4	220.0	2388.2	2506	4.70
Γ3 2η Ειδική	508.9	296.2	509.6	213.4	2384.7	2506	4.84
Δ4 2η Ειδική	499.6	292.4	500.5	208.1	2400.8	2506	4.20
A4 2η Ειδική	560.4	326.0	561.3	235.3	2381.6	2506	4.96



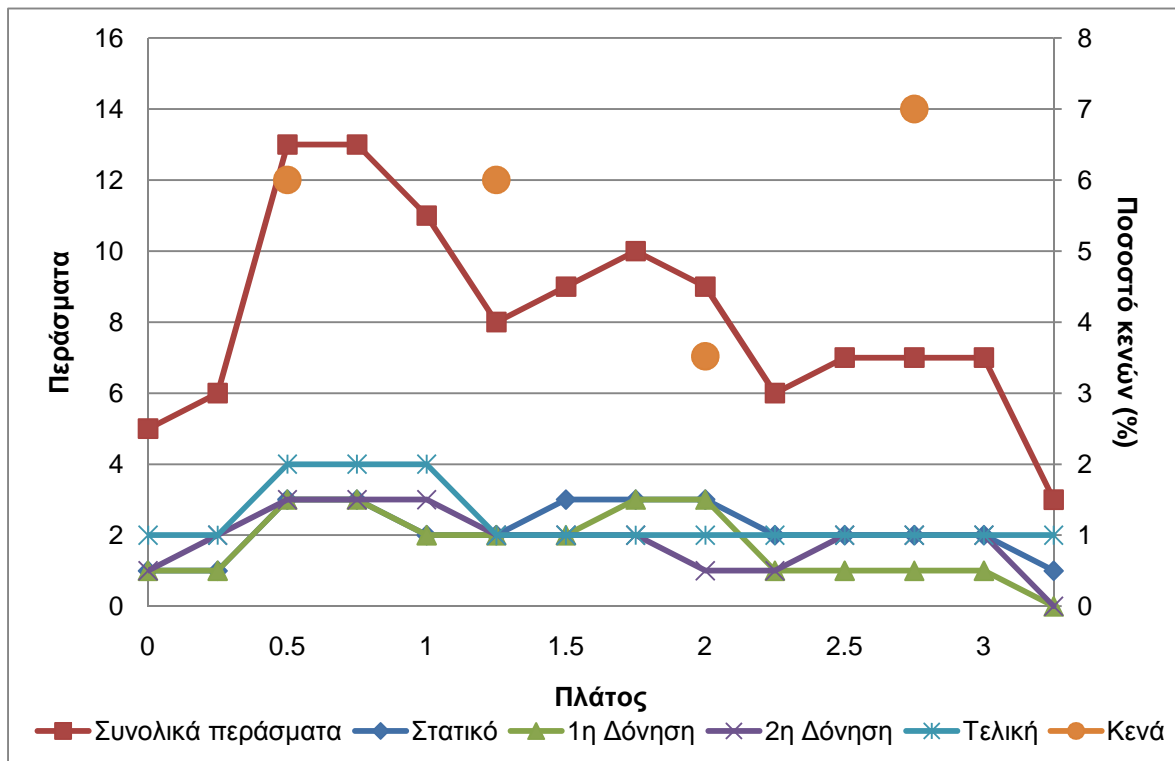
Σχήμα A-11 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεϊ του πλάτους, 3^{ης} στρώσεϊ, 1^{ης} ειδικής διατομής 2^{ης} σειρά



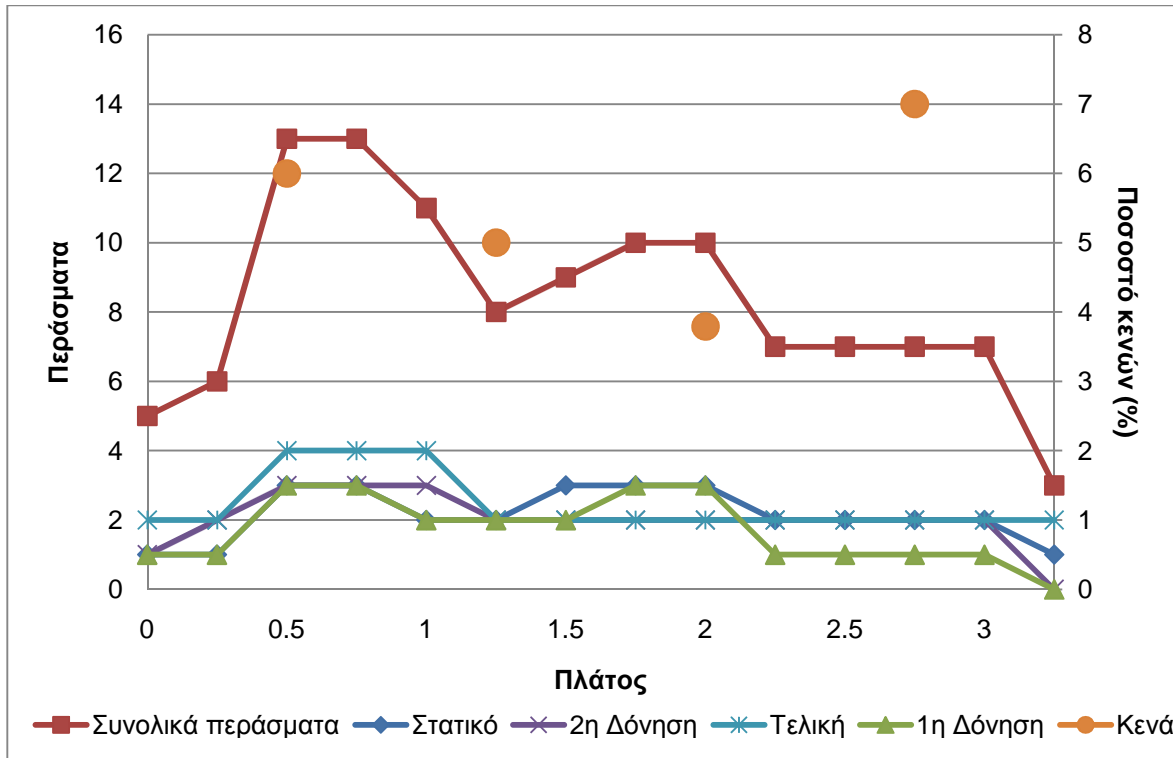
Σχήμα A-12 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεϊ του πλάτους, 3^{ης} στρώσεϊ, 1^{ης} ειδικής διατομής 3^{ης} σειρά



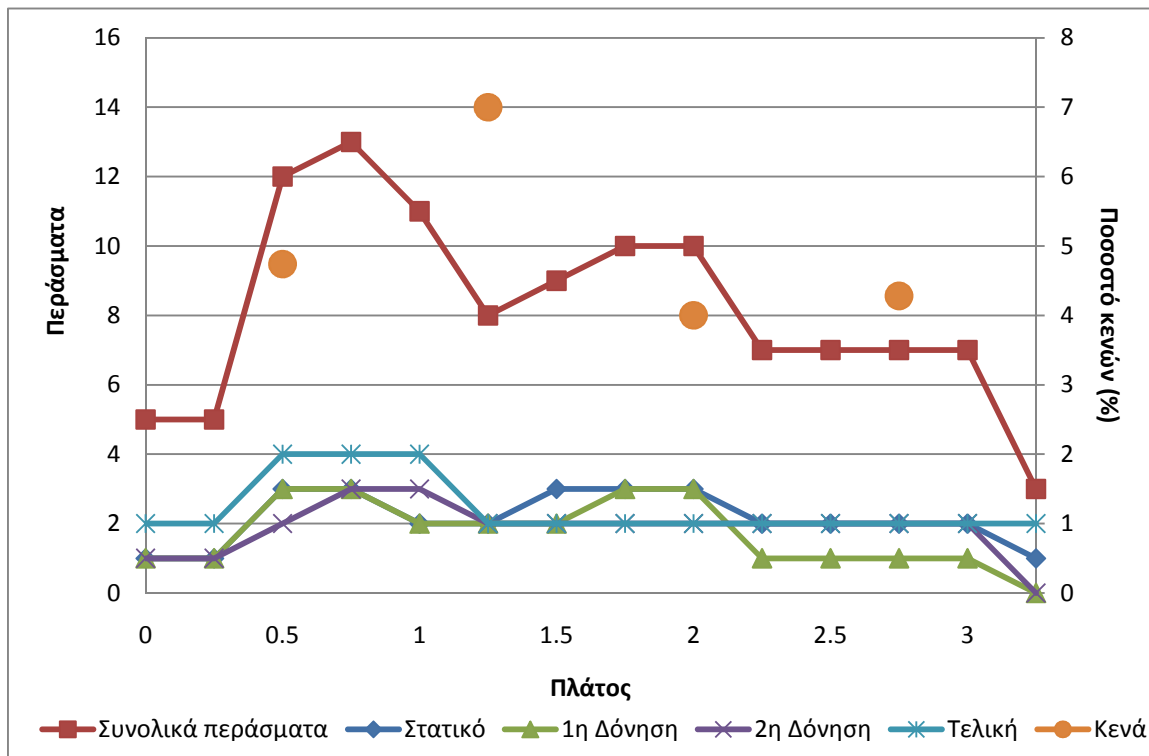
Σχήμα A-13 Διάγραμμα περασματών και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, 3^{ης} στρώσεσι, 1^{ης} ειδικής διατομής 4^η σειρά



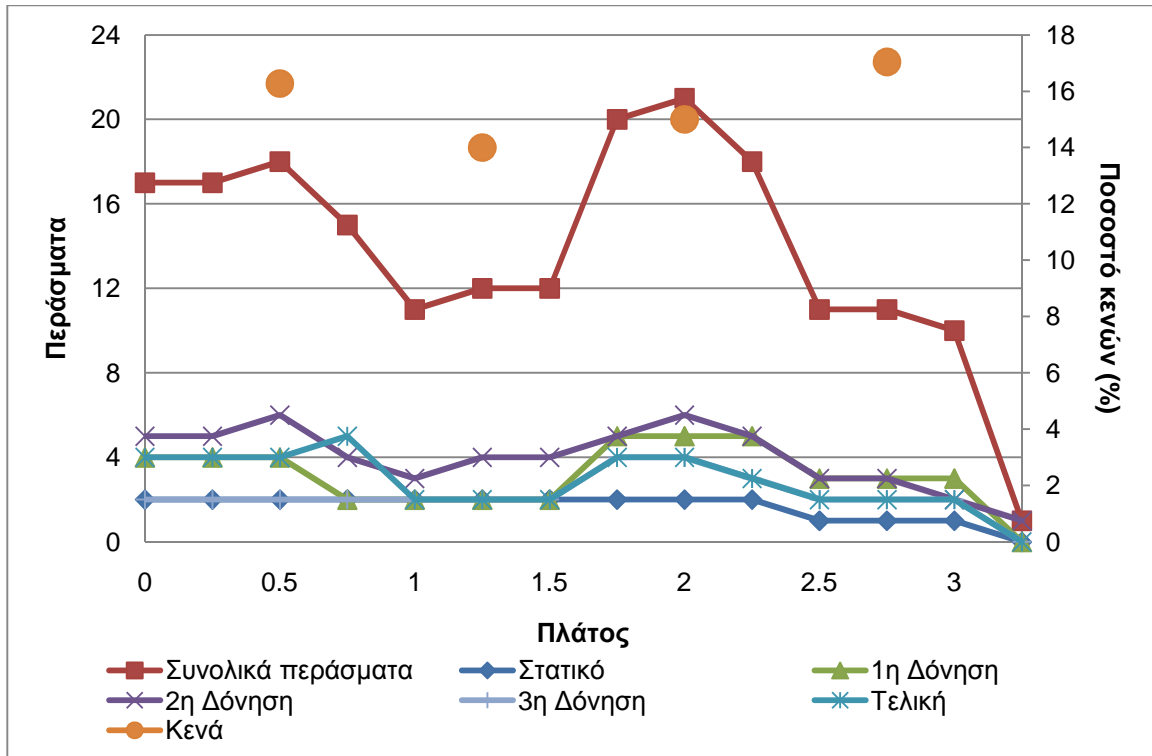
Σχήμα A-14 Διάγραμμα περασματών και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, 3^{ης} στρώσεσι, 2^{ης} ειδικής διατομής 1^η σειρά



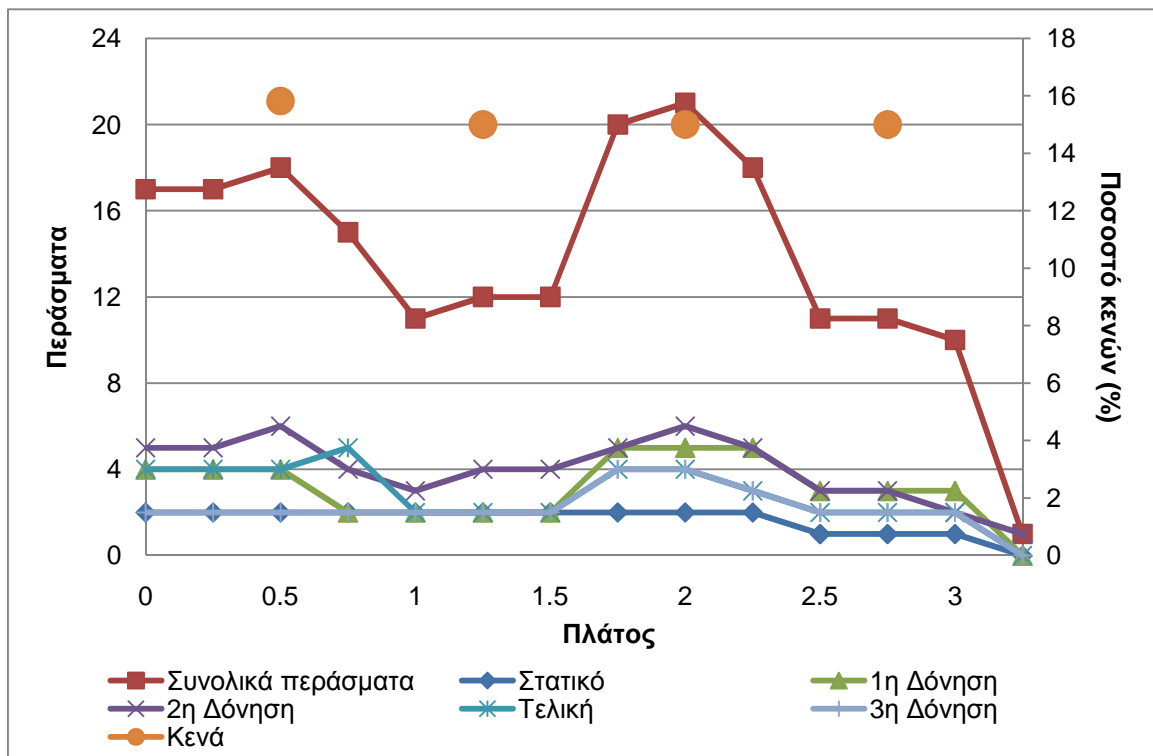
Σχήμα A-15 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, 3^{ης} στρώσεσι, 2^{ης} ειδικής διατομής 3^η σειρά



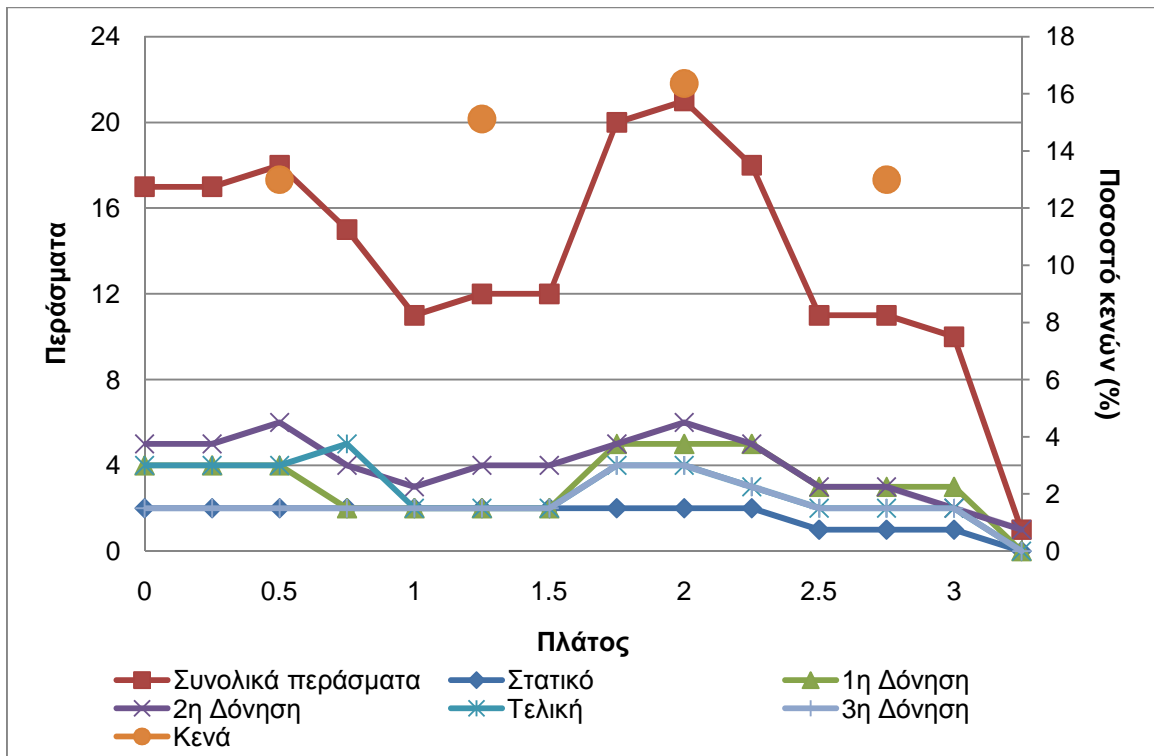
Σχήμα A-16 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, 3^{ης} στρώσεσι, 2^{ης} ειδικής διατομής 4^η σειρά



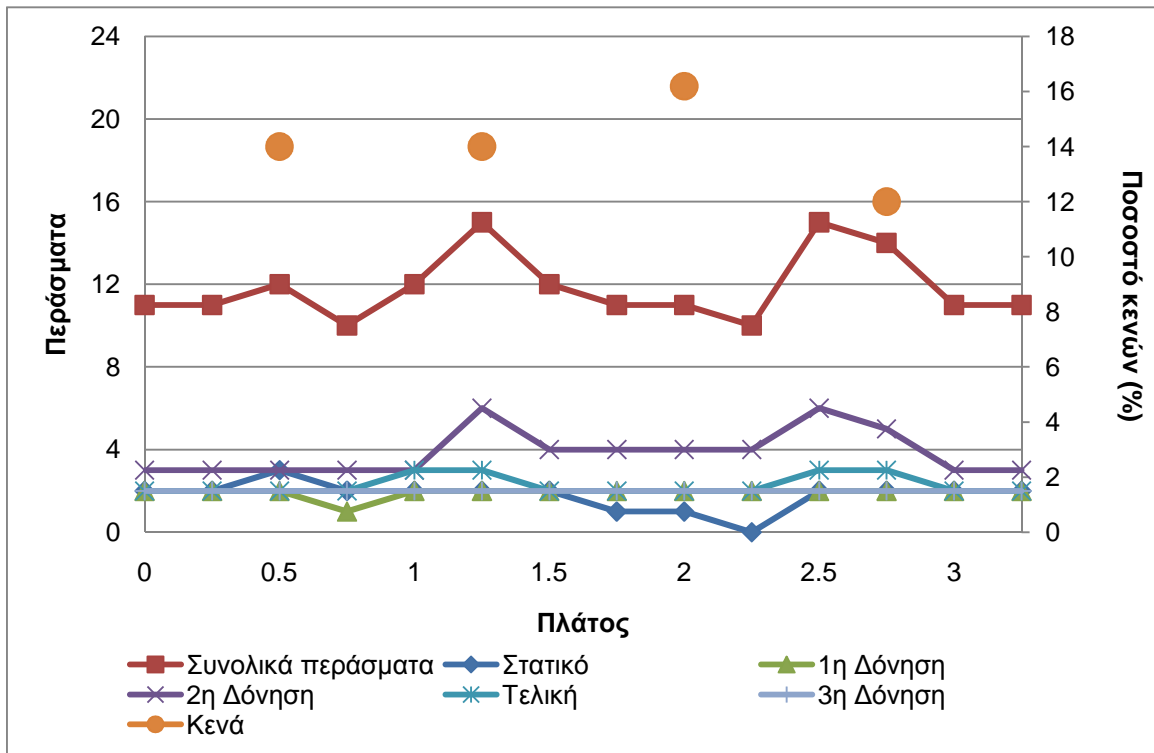
Σχήμα A-17 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, αντιολισθηρής στρώσεως, 1^{ης} ειδικής διατομής 1^{ης} σειρά



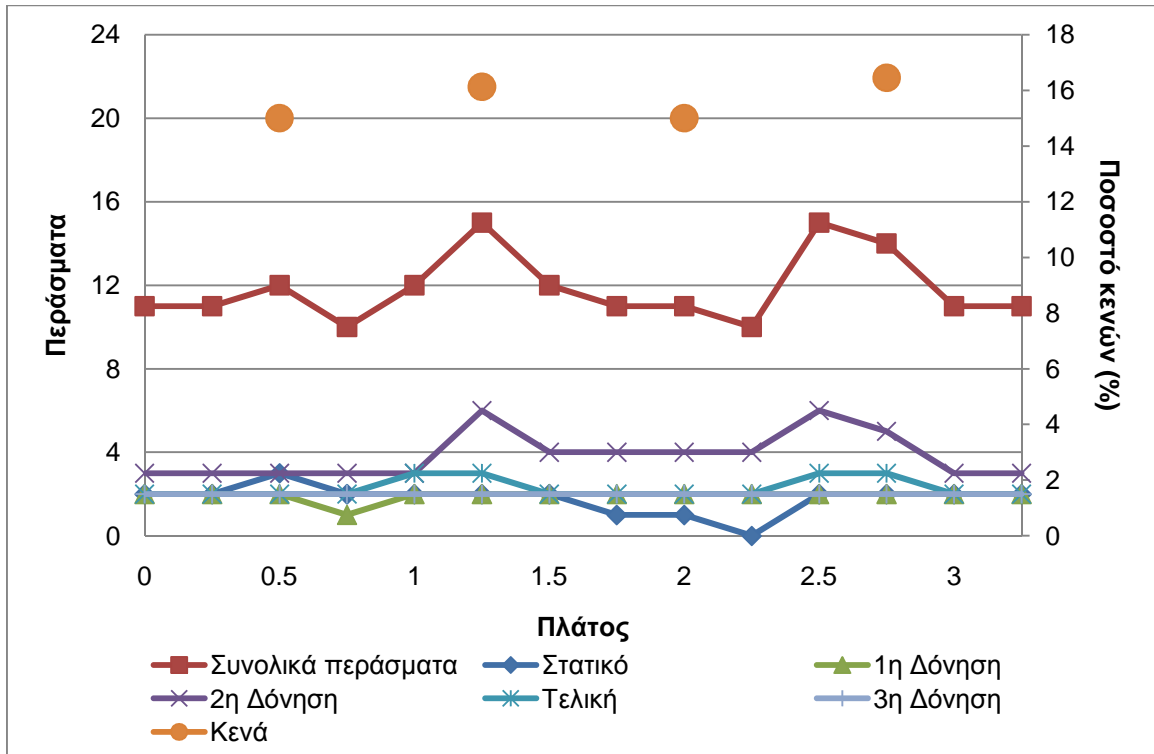
Σχήμα A-18 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, αντιολισθηρής στρώσεως, 1^{ης} ειδικής διατομής 2^{ης} σειρά



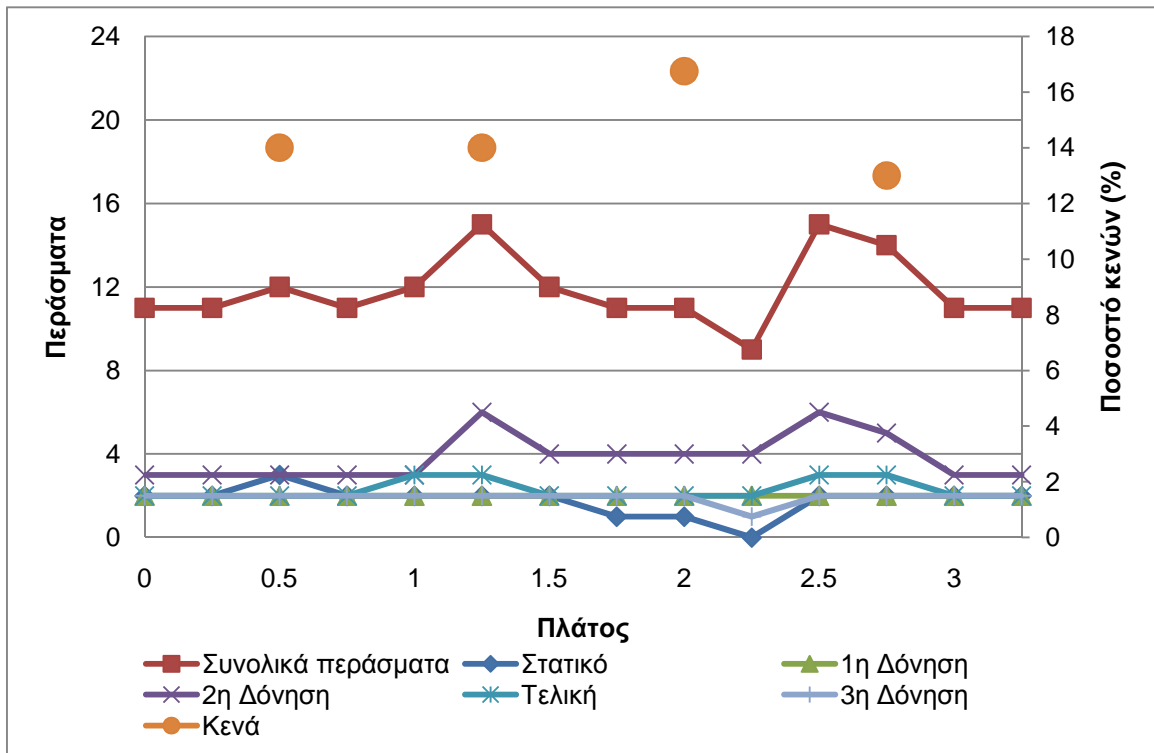
Σχήμα A-19 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, αντιολισθηρής στρώσεσι, 1^{ης} ειδικής διατομής 4^{ης} σειρά



Σχήμα A-20 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, αντιολισθηρής στρώσεσι, 2^{ης} ειδικής διατομής 1^{ης} σειρά



Σχήμα A-21 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, αντιολισθηρής στρώσεσι, 2^{ης} ειδικής διατομής 2^η σειρά



Σχήμα A-22 Διάγραμμα περασμάτων και κενών συναρτήσεσι του πλάτους, αντιολισθηρής στρώσεσι, 2^{ης} ειδικής διατομής 3^η σειρά