

# Διερεύνηση της επίδρασης ορισμένων παραμέτρων στην παρασκευή δοκιμίων από ανακυκλωμένο με ασφαλτικό γαλάκτωμα και τσιμέντο μίγμα φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος και θραυστού αμμοχαλίκου

Σ. Κόλιας

*Αναπληρωτής καθηγητής ΕΜΠ*

R. Jouni

*Πολιτικός Μηχανικός Πανεπιστήμιο Δαμασκού*

*Υποψήφια Διδάκτορας ΕΜΠ*

*Λέξεις κλειδιά:* ψυχρή ανακύκλωση, γαλάκτωμα, τσιμέντο, μέτρο δυσκαμψίας, αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό, συντήρηση δοκιμίων .

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση στο εργαστήριο της επίδρασης στο μέτρο δυσκαμψίας και στην αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό από διάρρηξη, των ακόλουθων παραγόντων:

- Μεθόδου ανάμιξης και σειράς ανάμιξης γαλακτώματος, νερού και τσιμέντου
- Χρόνου αναμονής από την έναρξη της ανάμιξης έως την έναρξη της συμπίκνωσης του δοκιμίου
- Μεθόδου συντήρησης των δοκιμίων (χρόνος και περιβάλλον συντήρησης (συμπεριλαμβανόμενης της θερμοκρασίας και της υγρασίας)

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κύριος σκοπός της ανακύκλωσης είναι η επαναχρησιμοποίηση των υλικών του οδοστρώματος στις εργασίες συντήρησής ή αναβάθμισής του. Τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης είναι η εξοικονόμηση πηγών ενέργειας, υλικών και κεφαλαίων καθώς και φιλική σχέση της με το περιβάλλον.

Η ψυχρή επιτόπου ανακύκλωση μπορεί να δώσει ικανοποιητικά οδοστρώματα με συνολικό κόστος 40% έως 50% μικρότερο από τις συμβατικές μεθόδους συντήρησης και αναβάθμισης (Annapolis, 991). Εντούτοις, τα ασφαλτομίγματα της ψυχρής ανακύκλωσης πρέπει να μελετηθούν σωστά για να επιτευχθεί αξιόπιστη και ικανοποιητική συμπεριφορά των οδοστρωμάτων.

Τα ιδιαίτερα προβλήματα που αφορούν την ψυχρή ανακύκλωση είναι θέματα σχετικά με το χρονικό διάστημα συντήρησης, που εξαρτάται από την επικρατούσα θερμοκρασία, την εξάτμιση του περιεχόμενου νερού στο μίγμα και την συνεπακόλουθη μικρή ταχύτητα ανάπτυξης δυσκαμψίας του μίγματος. Για τον λόγο αυτό είναι αρκετά σύνηθες να συνδυάζεται η ανάμιξη του προς ανακύκλωση υλικού (φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος και πιθανόν ασύνδετων αδρανών από τις υποκειμένες στρώσεις) όχι μόνο με γαλάκτωμα αλλά επιπρόσθετα με μικρές ποσότητες τσιμέντου.

Ο συνδυασμός αυτός των δύο συνδετικών υλικών εισάγει νέους παράγοντες, η επιρροή των οποίων πρέπει να μελετηθεί για να βρεθεί η ορθότερη μεθοδολογία εκτέλεσης της μελέτης σύνθεσης των ανακυκλωμένων μιγμάτων .

## 2 ΥΛΙΚΑ

Για την εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα υλικά:

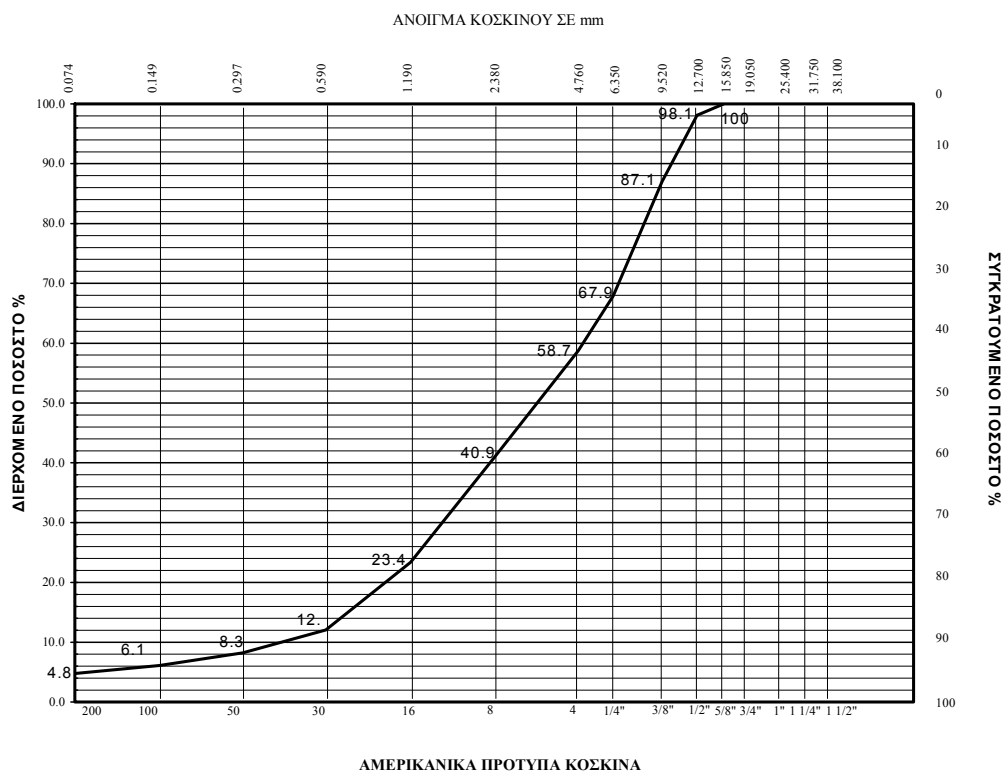
### 2.1. Συνδετικά υλικά

- Ασφαλικό γαλάκτωμα: Ανιονικό γαλάκτωμα τύπου ΑΕ-5 βραδείας διάσπασης με ποσοστό ασφάλτου 60% διεισδυτικότητας pen 80/100
- Τσιμέντο: CEM II/B-M 32.5 N

### 2.2. Αδρανή : Ως αδρανή χρησιμοποιήθηκαν σε αναλογία 50/50 % κ.β.

- φρεζαρισμένο ασφαλτόμιγμα (ΦΑ) ( κλειστής σύνθεσης ΠΤΠ Α265, από εργασίες συντήρησης στην περιοχή Αττικής )
- θραυστό ασβεστολιθικό αμμογάλλιο (ΘΑ).

Ο μέγιστος κόκκος αδρανούς στην εργασία αυτή ήταν 12.5mm και η διαβάθμιση του μίγματος 50%ΦΑ και 50% ΘΑ φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Κοκκομετρική Διαβάθμιση Αδρανών του μίγματος (50%ΦΑ/50%ΘΑ) κ.β.

### 3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ - ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΩΝ

Για την παρασκευή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε μίγμα αδρανών υλικών 50%ΦΑ και 50% ΘΑ το οποίο αναμίχθηκε α) με 3% κ.β. γαλάκτωμα και β) με 3% γαλάκτωμα και 3% τσιμέντο. Δοκιμές συμπίκνωσης (Κόλιας & Jouni, 2005) έδειξαν ότι το βέλτιστο ποσοστό υγρών στα παραπάνω μίγματα ήταν 6% κ.β.

Με τα ως άνω μίγματα (με 3% γαλάκτωμα και με συνδυασμό 3% γαλάκτωμα και 3% τσιμέντο ) παρασκευάστηκαν δοκίμια Marshall (διάμετρος 102 mm ύψος 64mm ) στην ομώνυμη μηχανή συμπίκνωσης με 75 χτυπήματα σε κάθε βάση (Wirtgen.1998). Στις βάσεις (άνω και κάτω) τοποθετήθηκαν μεταλλικές πλάκες με εγκοπές οι οποίες παρείχαν τη δυνατότητα διαφυγής του νερού κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης. Την διαφυγή αυτή διευκόλυνε επίσης και πρόσθετο φύλλο απορροφητικού χαρτιού που παρεμβάλλετο μεταξύ υλικού και μεταλλικής πλάκας.

Τα δοκίμια μετά την παρασκευή τους και την εξόλκευσή τους, υπέστησαν την προδιαγεγραμμένη από την εργασία αυτή συντήρηση και μετά 24 ώρες παραμονή στο περιβάλλον του εργαστηρίου (θερμοκρασία  $23 \pm 2$  °C) δοκιμάστηκαν στη συσκευή NAT για τον προσδιορισμό του μέτρου δυσκαμψίας τους σύμφωνα με το Βρετανικό σχέδιο Προτύπου BS DD 213.1993 σε θερμοκρασία  $23 \pm 2$  °C (χρόνος φόρτισης 120 m sec, επιδιωκόμενη οριζόντια ανηγμένη παραμόρφωση 5mm , 5 προφορτίσεις και 5 φορτίσεις μέτρησης).

Η αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό από διάρρηξη (αντιδιαμετρική θλίψη) προσδιορίστηκε σε συσκευή Marshall μέγιστου φορτίου 15 kN με ταχύτητα επιβολής παραμόρφωσης  $50 \pm 2$  mm/min σύμφωνα με το Πρότυπο EN12697 - 23.

### 4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

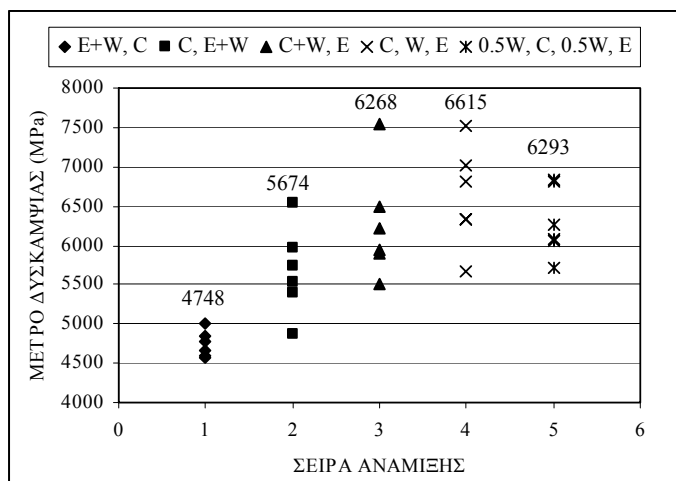
Στις εργασίες ανακύκλωσης συχνά προστίθεται νερό στην αρχή, για να βοηθήσει το φρεζάρισμα, μετά προστίθενται τα συνδετικά υλικά και το υπόλοιπο νερό για να επιτευχθεί το βέλτιστο ποσοστό υγρών. Σε άλλες περιπτώσεις το τσιμέντο διασκορπίζεται στην επιφάνεια του προς ανακύκλωση οδοστρώματος πριν από την έναρξη του φρεζαρίσματος και της ανακύκλωσης αλλά με την μέθοδο αυτή είναι δυνατόν να χαθεί ένα ποσοστό τσιμέντου. Για τον λόγο αυτό θεωρείται σκόπιμο να προστεθεί νερό πριν διασκορπιστεί τσιμέντο ή το τσιμέντο να διασκορπιστεί μαζί με το νερό υπό μορφή αιωρήματος.

Στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια διερεύνησης του θέματος της επίδρασης της σειράς ανάμιξης στο εργαστήριο. Για τον σκοπό αυτό παρασκευάστηκαν δοκίμια από 5 μίγματα τα οποία είχαν παραχθεί με την σειρά ανάμιξης που φαίνεται στον Πίνακα 1 .

Πίνακας 1: Σειρά ανάμιξης

Μίγμα	Σειρά ανάμιξης
I	Αρχικά Γαλάκτωμα με Νερό μαζί, μετά Τσιμέντο,
II	Αρχικά Τσιμέντο, μετά Γαλάκτωμα με Νερό μαζί
III	Αρχικά Τσιμέντο με Νερό μαζί, μετά Γαλάκτωμα
IV	Αρχικά Τσιμέντο, μετά Νερό, μετά Γαλάκτωμα
V	Αρχικά 50% Νερό, αναμινή 15 λεπτών, μετά Τσιμέντο, μετά 50% Νερό, μετά Γαλάκτωμα

Από κάθε μίγμα παρασκευάστηκαν 6 δοκίμια τα οποία συντηρήθηκαν 7 ημέρες σε υγρό θάλαμο (θερμοκρασία 18-20 °C, σχετική υγρασία >95%) και μετά τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ξήρανσης (αεριζόμενο κλίβανο) θερμοκρασίας 60 °C για δύο ημέρες. Μετά το πέρας των δύο ημερών τα δοκίμια παρέμειναν για 24 ώρες στο περιβάλλον του εργαστηρίου (θερμοκρασία  $23 \pm 2$  °C) και προσδιορίστηκε το μέτρο δυσκαμψίας, (βλ. Σχήμα 2, και τον Πίνακα 2).



Σχήμα 2: Επίδραση της σειράς ανάμιξης στο μέτρο δυσκαμψίας

Πίνακας 2: Στατιστική σύγκριση του μέτρου δυσκαμψίας των μιγμάτων

	t-test				
	Γ+N, T I	T, Γ+N II	T+N, Γ III	T, N, Γ IV	0.5N, T, 0.5N, Γ V
I		Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
II	Ναι		Όχι	Ναι	Όχι
III	Ναι	Όχι		Όχι	Όχι
IV	Ναι	Ναι	Όχι		Όχι
V	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι	
x	4748	5674	6268	6615	6293
sd.	160.36	561.21	702.98	64.58	447.31
cv.%	3.38	9.89	11.21	9.77	7.11

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 2 και στον Πίνακα 2 γίνεται έλεγχος αν οι τιμές του μέτρου δυσκαμψίας διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους με την δοκιμή t (Student test) σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% .

Η πρώτη σειρά ανάμιξης δίνει μικρότερες τιμές του μέτρου δυσκαμψίας, που διαφέρουν σημαντικά από όλες τις άλλες τιμές και έχει την μικρότερη μεταβλητότητα. Αυτό αποδίδεται στο ότι η ανάμιξη του γαλακτώματος με το νερό έχει δύο αντίθετα αποτελέσματα: το μίγμα νερό+γαλάκτωμα έχει μικρότερο ιξώδες, αναμιγνύεται ευκολότερα και επομένως παράγει πιο ομοιογενή μίγματα εντούτοις, το πάχος της επικάλυψης γύρω από τα αδρανή είναι λεπτότερο και επομένως η συνδετική του ικανότητα είναι πολύ μικρότερη. Επιπλέον επειδή το γαλάκτωμα αναμίχθηκε πρώτα, περιέβαλλε τα αδρανή με άσφαλο γεγονός που παρεμποδίζει το τσιμέντο να αναπτύξει πλήρη συνάφεια με τα αδρανή. Αποτέλεσμα των δύο παραπάνω δράσεων είναι η μικρή τιμή του μέτρου δυσκαμψίας

Η σειρά ανάμιξης II (T, Γ+N) δίνει αποτελέσματα που δεν διαφέρουν σημαντικά από τις σειρές III και V, αλλά διαφέρουν από τις I και IV, και παρουσιάζουν σχετικά υψηλό συντελεστή μεταβλητότητας. Ομοίως η σειρά III δίνει αποτελέσματα που δεν διαφέρουν από εκείνα των σειρών II, IV, και V αλλά έχει τον μεγαλύτερο συντελεστή μεταβλητότητας.

Η σειρά ανάμιξης IV δίνει αποτελέσματα με τη μεγαλύτερη μέση τιμή με σχετικά μεγάλο όμως συντελεστή μεταβλητότητας. Η σειρά ανάμιξης V δίνει υψηλές τιμές που δεν διαφέρουν

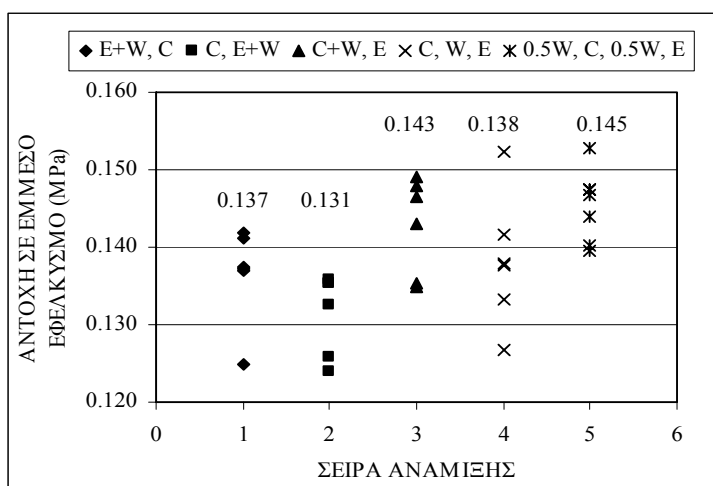
σημαντικά από τις τιμές των σειρών II, III και IV και παρουσιάζει σχετικά μικρότερο συντελεστή μεταβλητότητας .

Σχετικά με την τελικώς επιλέξιμη σειρά ανάμιξης παρατηρούνται τα ακόλουθα:

Η σειρά I δεν είναι επιλέξιμη, καίτοι έχει την μικρότερη μεταβλητότητα, γιατί υπάρχει η επιφύλαξη ότι μπορεί να δίνει μικρότερες τιμές στο μέτρο δυσκαμψίας.

Η σειρά V έχει την δεύτερη κατά σειρά μεταβλητότητα 7.1% αλλά έχει το μειονέκτημα της χρονοβόρου και πολύπλοκης διαδικασίας και γι' αυτό θεωρείται πρακτικά μειονεκτική. Οι άλλες σειρές δεν διαφέρουν ουσιαστικά πολύ μεταξύ τους και από αυτές επιλέγεται τελικά η IV επειδή έχει την μικρότερη από τις τρεις μεταβλητότητα και πρακτικά είναι πολύ απλή στην εφαρμογή της.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών σε έμμεσο εφελκυσμό παρουσιάζονται στο Σχ3 και συγκρίνονται ως προς την μεταβλητότητά τους και ως προς την στατιστική σημαντικότητα των διαφορών των αποτελεσμάτων τους στον Πίνακα3.



Σχήμα 3 : Επίδραση της σειράς ανάμιξης στην αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό

Πίνακας 3: Στατιστική σύγκριση της εφελκυστικής αντοχής των μιγμάτων

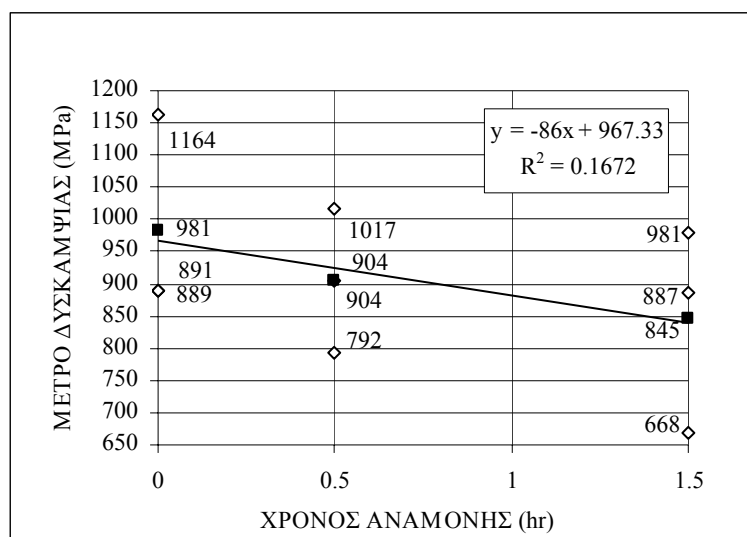
	t-test				
	I	II	III	IV	V
	Γ+N, Τ	Τ, Γ+N	Τ+N, Γ	Τ, Ν, Γ	0.5N, Τ, 0.5N, Γ
I		Όχι	Όχι	Όχι	Ναι
II	Όχι		Όχι	Όχι	Ναι
III	Όχι	Όχι		Όχι	Όχι
IV	Όχι	Όχι	Όχι		Όχι
V	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	
x	0.137	0.131	0.143	0.138	0.145
sd	0.006090	0.005290	0.006281	0.008549	0.004404
cv%	4.46	4.02	4.40	6.18	3.01

Είναι φανερό ότι οι τιμές των αντοχών έχουν μικρή μεταβλητότητα και δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά μεταξύ τους πλην τις σειρές V όταν συγκρίνεται με την I και II

## 5 ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΜΙΞΗ ΜΕΧΡΙ ΤΗΝ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

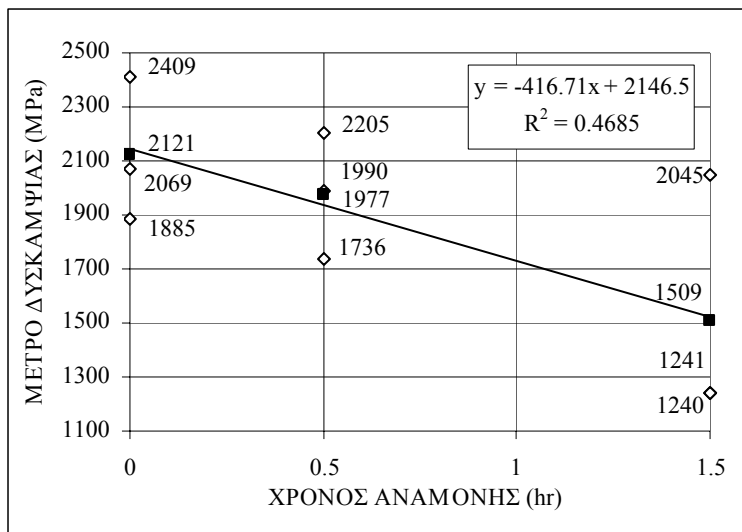
Ο χρόνος αναμονής από την έναρξη της ανάμιξης των υλικών μέχρι την έναρξη της συμπύκνωσης θεωρείται σημαντικός παράγων για την ορθή παρασκευή των δοκιμίων αλλά και για τον ορθό καθορισμό της διαδικασίας ανακύκλωσης στην πράξη. Στο θέμα αυτό υπάρχει σχετική ασάφεια στις οδηγίες που δίδονται από τη διεθνή βιβλιογραφία, όπως πχ από τους (Α. Νικολαΐδη 1996) και (P. Favretti) αναφέρεται για τα ψυχρά ασφαλτομίγματα ότι η διάσπαση πρέπει να προηγείται της ανάμιξης, ενώ στο Εγχειρίδιο για Ανακύκλωση της (Wirtgen) αναφέρεται ότι η συμπύκνωση πρέπει να γίνεται πριν από τη διάσπαση. Αυτό θεωρείται ότι πρακτικά είναι πιά εύκολα και οικονομικά εφαρμόσιμο για τις περιπτώσεις επιτόπου ανακυκλώσεων με τα σύγχρονα μεγάλα μηχανήματα ανακυκλώσεως. Για να εξετασθεί το θέμα αυτό αποφασίστηκε να παρασκευαστούν δοκίμια από μίγματα που είχαν παραμείνει χωρίς συμπύκνωση επί 0, 30 και 90 min. Οι χρόνοι των 30 και 90 min επιλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι κοντά (ο πρώτος) και αρκετά μετά (ο δεύτερος) από τον αναμενόμενο χρόνο διάσπασης .

Παρασκευάστηκαν 3 ομάδες δοκιμίων από μίγμα με 0% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα τα οποία συντηρήθηκαν επί 3 ημέρες μετά την παρασκευή τους σε αεριζόμενο φούρνο στους 40 °C και μετά προσαρμογή μιάς ημέρας στους 24°C δοκιμάστηκαν για τον προσδιορισμό του μέτρου δυσκαμψίας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Επίδραση του «χρόνου αναμονής» στο μέτρο δυσκαμψίας (T=0%, Γ=3% συντήρηση 3 ημερών σε φούρνο 40 °C

Μετά από παρέλευση τριών ημερών τα δοκίμια τοποθετήθηκαν εκ νέου σε φούρνο στους 60 °C επί 3 ημέρες και δοκιμάστηκαν για τον προσδιορισμό του μέτρου δυσκαμψίας τους μετά από 24ωρη προσαρμογή στους 24 °C. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.

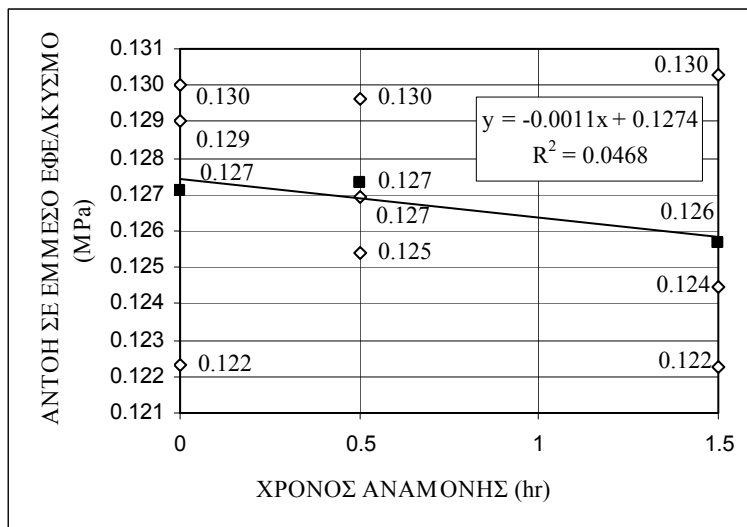


Σχήμα 5: Επίδραση του «χρόνου αναμονής» στο μέτρο δυσκαμψίας (T=0%, Γ=3% συντήρηση 3 ημερών σε φούρνο 60 °C)

Και τα δύο σχήματα δείχνουν ότι το μέτρο δυσκαμψίας ελαττώνεται όσο το χρονικό διάστημα από την έναρξη της ανάμιξης έως την έναρξη της συμπίκνωσης είναι μεγαλύτερο. Αυτό αποδίδεται στους ακόλουθους λόγους:

- Μεγαλύτερος χρόνος αναμονής επιφέρει μεγαλύτερη εξάτμιση της υγρασίας του υλικού και επομένως απομάκρυνση από την βέλτιστη τιμή με αποτέλεσμα ελαττωμένη συμπίκνωση του δοκιμίου
- Η διάσπαση του γαλακτώματος αυξάνει το ιξώδες του μίγματος και προκαλεί ανάπτυξη συνάφειας μεταξύ των κόκκων με αποτέλεσμα την παρεμβολή δυσκολιών στην μετακίνηση των κόκκων και επομένως επίτευξη μικρότερης πυκνότητας που συνεπάγεται μικρότερο μέτρο δυσκαμψίας.
- Η μη διάσπαση του γαλακτώματος δεν φαίνεται να έχει αρνητικές συνέπειες διότι με τους δίσκους με εγκοπές και το απορροφητικό χαρτί που χρησιμοποιήθηκε δεν παρεμβλήθηκε καμία δυσκολία στην εκροή νερού από το μίγμα.

Στο Σχ6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής προσδιορισμού της αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό των δοκιμίων της έρευνας αυτής. Παρατηρείται μιά μικρή και στατιστικώς όχι σημαντική μείωση της αντοχής με την αύξηση του χρόνου αναμονής.



Σχήμα 6: Επίδραση του «χρόνου αναμονής» στην αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό (T=0%, Γ=3%)

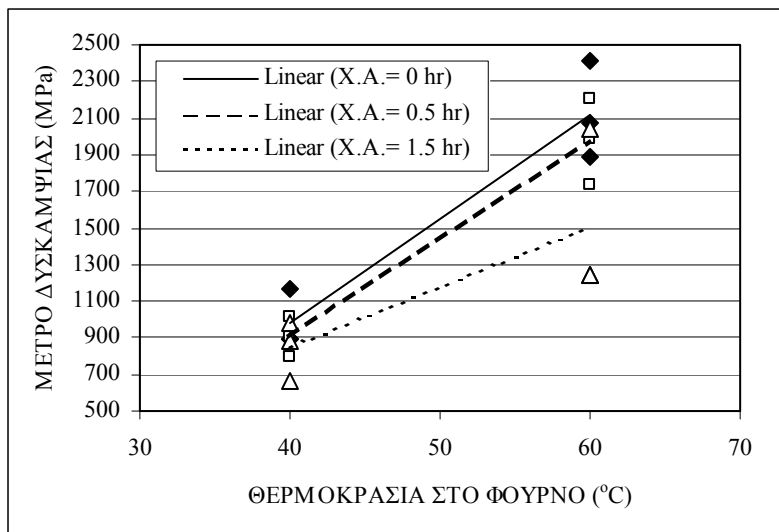
Συμπεραίνεται από τα παραπάνω ότι τα δοκίμια μπορούν να συμπτκνωθούν αμέσως μετά την ανάμιξη των υλικών χωρίς περίοδο αναμονής.

## 6 Συντήρηση των δοκιμίων

Σε πολλές χώρες (Ισπανία, Νότιος Αφρική, Αυστραλία) η συντήρηση γίνεται σε αεριζόμενο φούρνο στους 60°C. Εντούτοις, στα μίγματα που περιέχουν τσιμέντο θα πρέπει να παρασχεθεί η δυνατότητα στο τσιμέντο να αναπτύξει σε κάποιο βαθμό την ενυδάτωσή του πριν τα δοκίμια τοποθετηθούν στον φούρνο στον οποίο λόγω εξάτμισης η ενυδάτωση διακόπτεται (Rossberg, 2000). Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε α) τα δοκίμια από μίγματα που περιέχουν τσιμέντο να τοποθετούνται σε θάλαμο συντήρησης σκυροδέματος (υγρός θάλαμος, 22±2 °C, RH>98%) για ορισμένο χρονικό διάστημα πριν τοποθετηθούν σε αεριζόμενο φούρνο και β) τα δοκίμια από μίγματα χωρίς τσιμέντο να τοποθετούνται απευθείας σε φούρνο.

Τα δοκίμια που συντηρήθηκαν στους 40 °C και στους 60 °C της προηγούμενης παραγράφου παρέχουν την δυνατότητα εκτίμησης της επίδρασης της θερμοκρασίας συντήρησης στο μέτρο δυσκαμψίας, βλ Σχ7.





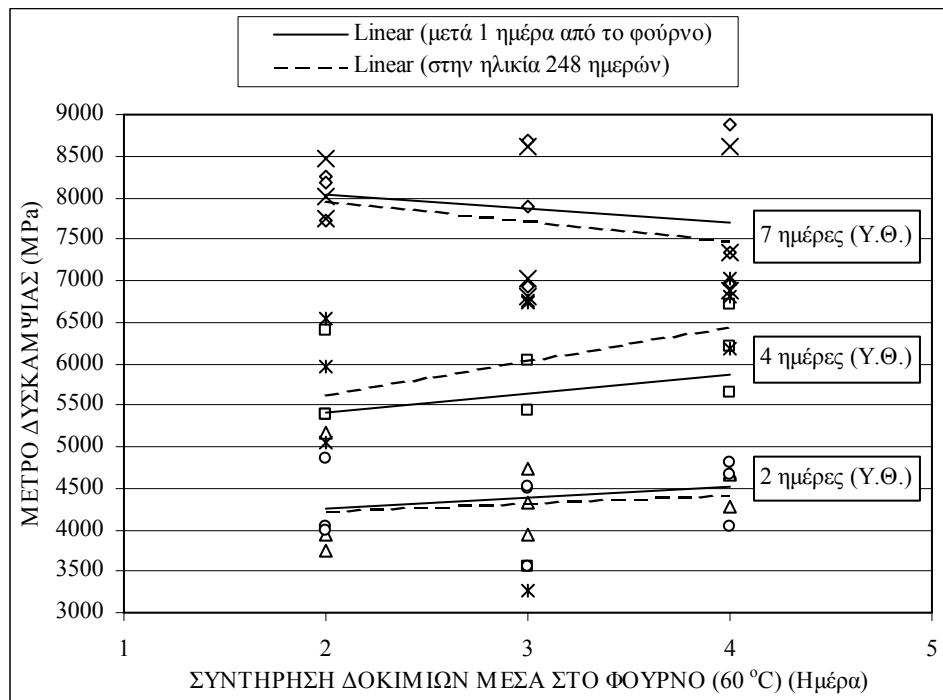
Σχήμα 7 : Επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης στο μέτρο δυσκαμψίας.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά και το γεγονός ότι η θερμοκρασία 60 °C είναι αποδεκτή στις περισσότερες χώρες υιοθετήθηκε ως θερμοκρασία συντήρησης η θερμοκρασία των 60 °C. Αποφασίστηκε να διερευνηθούν περαιτέρω: ο χρόνος παραμονής στον υγρό θάλαμο συντήρησης (2, 4 και 7 ημέρες) και ο χρόνος παραμονής στον αεριζόμενο φούρνο (2, 3 και 4 ημέρες) σε διάφορους συνδυασμούς, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Συνδυασμοί συντήρησης (ημέρα)

Υγρός Θάλαμος	Αερομένος Φούρνος (60 °C)
2	2
2	3
2	4
4	2
4	3
4	4
7	2
7	3
7	4

Η διερεύνηση αυτή έγινε σε μίγμα 50%ΦΑ50%ΘΑ με 3%τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα. Τα δοκίμια μετά το πέρας της καθορισμένης συντήρησης παρέμεναν 1 ημέρα σε χώρο σταθερής θερμοκρασίας 24°C για να προσαρμοστούν και μετά υποβάλλονταν σε μέτρηση του μέτρου δυσκαμψίας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχ8.



Σχήμα 8: Επίδραση του χρόνου συντήρησης σε υγρό θάλαμο και του χρόνου ξήρανσης σε φούρνο 60°C, στο μέτρο δυσκαμψίας.

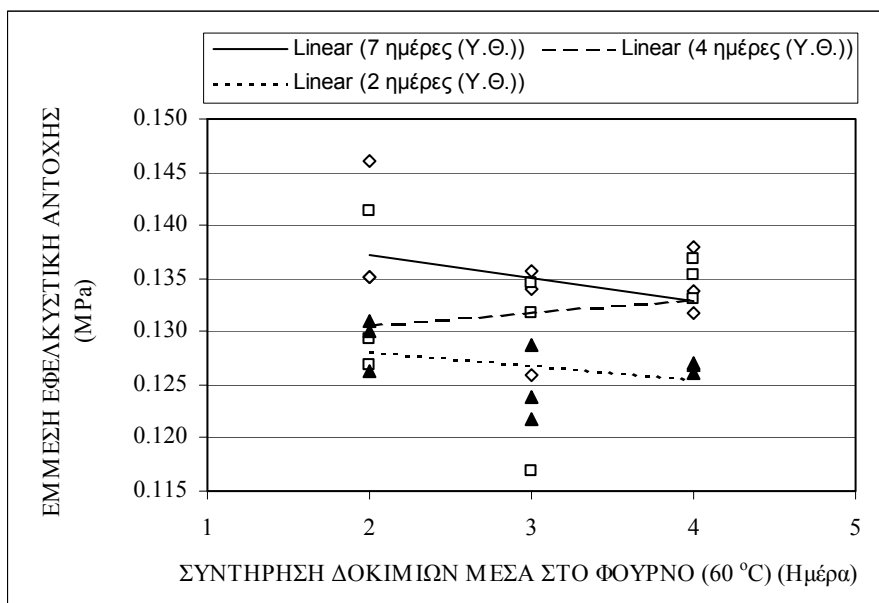
Από το σχήμα αυτό συμπεραίνεται ότι:

- Η συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 7 ημέρες δίνει τις μεγαλύτερες τιμές του μέτρου δυσκαμψίας
- Η ξήρανση των δοκιμίων στους 60 °C για περισσότερες από δύο ημέρες δεν έχει σημαντική επίδραση στο μέτρο δυσκαμψίας (τα αποτελέσματα είναι μέσα στο εύρος της αποδεκτής επαναληψιμότητας του ±10% (BSI. DD 213-1993)

Η μέτρηση του μέτρου δυσκαμψίας επαναλήφθηκε μετά από 248 ημέρες παραμονής στο περιβάλλον του εργαστηρίου (22±2°C) και τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχ8 με διακεκομμένη γραμμή.

Είναι φανερό ότι δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά στα μέτρα δυσκαμψίας μετά από τη μακρόχρονη αυτή συντήρηση, επιβεβαιώνοντας κατ'αυτόν τον τρόπο το συμπέρασμα ότι η συντήρηση επί 2 ημέρες στους 60 °C είναι επαρκής.

Τα δοκίμια τελικά υποβλήθηκαν σε δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης στους 24°C και οι τιμές της αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό παρουσιάζονται στο Σχ 9.



Σχήμα 9: Επίδραση του χρόνου ξήρανσης στο φούρνο και του χρόνου συντήρησης στον υγρό θάλαμο στην αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό.

Από το Σχ9 φαίνεται ότι ο χρόνος παραμονής στον υγρό θάλαμο επηρεάζει σημαντικά την αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό ενώ αντίθετα η επίδραση του χρόνου ξήρανσης σε φούρνο 60°C δεν είναι σημαντική και μάλιστα υπάρχει ή ένδειξη ότι αυξημένη διάρκεια ξήρανσης μπορεί να μειώνει την αντοχή σε εφελκυσμό.

Τόσο από τις μετρήσεις του μέτρου δυσκαμψίας όσο και από τις μετρήσεις της αντοχής σε εφελκυσμό προκύπτει ότι η ξήρανση για 2 ημέρες στους 60 °C μετά από παραμονή 7 ημερών σε υγρό θάλαμο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στα μεγέθη αυτά.

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1 Προανάμιξη του γαλακτώματος με το νερό ελαττώνει το μέτρο δυσκαμψίας των ανακυκλωμένων μιγμάτων που περιέχουν τσιμέντο. Για τις δοκιμές στο εργαστήριο φαίνεται ότι η σειρά ανάμιξης αδρανή-τσιμέντο-νερό-γαλάκτωμα είναι προτιμητέα.

2 Η σειρά ανάμιξης επηρεάζει το μέτρο δυσκαμψίας αλλά όχι την αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό

3 Η συμπίκνωση των μιγμάτων μπορεί να γίνεται αμέσως μετά το πέρας της ανάμιξης για να επιτυγχάνονται μεγαλύτερες τιμές του μέτρου δυσκαμψίας. Η αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό δεν φαίνεται να επηρεάζεται από τον χρόνο αναμονής του μίγματος μέχρι την έναρξη της συμπίκνωσης

4 Η συντήρηση των δοκιμών μετά την παρασκευή τους μπορεί να είναι:

- Για τα μίγματα χωρίς τσιμέντο: 3 ημέρες σε αεριζόμενο φούρνο σε θερμοκρασία 60°C.
- Για τα μίγματα με τσιμέντο: 7 ημέρες σε υγρό θάλαμο (RH>98%) και 2 ημέρες σε αεριζόμενο φούρνο 60°C

5 Η μακροχρόνια συντήρηση στο περιβάλλον του εργαστηρίου (22±2, RH 50%-60%) φαίνεται ότι δεν επηρεάζει τη δυσκαμψία των δοκιμών

## 8 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Annapolis, 1991. MD. *Guideline for Cold in-Place Recycling*, Asphalt Recycling and Reclaiming Association,.
- BSI DD 213. 1993. *Method for Determination of the Indirect Tensile Stiffness Modulus of Bituminous Materials*.
- ΕΛΟΤ EN 12697- 23. Ασφαλτικά μίγματα – Μέθοδοι δοκιμής θερμού Ασφαλτομίγματος – Μέρος 23: Προσδιορισμός της έμμεσης εφελκυστικής αντοχής δοκιμίων ασφάλτου.
- Favretti Paul, *Deep Cold In-Place Recycling With Emulsion/Cement*. Lonueuil, Quebec, Canada.
- NAT, 1993, Nottingham Asphalt mix Tester, Manual.
- Νικολαΐδη, Α.Φ. 1996. *Οδοποιΐα – Οδοστρώματα – Υλικά. Έλεγχος Ποιότητας*», του Αναπλ. Καθηγητή ΑΠΘ.
- Rossberg K. 2000. *In-Situ Pavement Recycling Using Cement and Bitumen Combined as Binder-Strength Parameters and Long-Term Preformance*, 1<sup>st</sup> International Symposium, Ισπανία.
- Wirtgen, 1998. *Cold recycling manual*, Γερμανία.
- Σ. Κόλιας & R. Jouni. 2005. *Διερεύνηση της επίδρασης των αναλογιών ανάμιξης φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος και θραστού αμμοχαλίκου στα χαρακτηριστικά ανακυκλωμένων μιγμάτων με ασφαλτικό γαλάκτωμα ή και τσιμέντο*