



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Πτυχιακή εργασία

ΓΗΡΑΝΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

ΣΤΑΥΡΙΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ

Πτυχιακή εργασία

ΓΗΡΑΝΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

ΣΤΑΥΡΙΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ

Λεμεσός, Μάης 2020

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ [ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ]
ΤΜΗΜΑ [ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ]

Πτυχιακή εργασία

ΓΗΡΑΝΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

της

ΣΤΑΥΡΙΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής

ΔΡ. ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ ΧΑΤΖΗΜΙΤΣΗΣ

Λεμεσός, Μάης 2020

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Σταύρια Παναγιώτου, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα [ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ] του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου και Αντιπρύτανη Ακαδημαϊκών Υποθέσεων Δρ. Διόφαντο Χατζημιτσή για τη δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία, όπως επίσης και τον καθηγητή μου κ. Χριστόδουλο Μέττα για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση για την επίλυση διάφορων θεμάτων. Οι σημαντικές υποδείξεις και συμβουλές του με κατεύθυναν σ' ένα σωστό τρόπο σκέψης και πάνω απ' όλα, μου προσέφεραν σημαντικά εφόδια για την μετέπειτα ζωή μου. Θερμές ευχαριστίες απευθύνω σε όλους τους καθηγητές μου, του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια της μέχρι στιγμής ακαδημαϊκής μου ζωής και με έκαναν καλύτερο άνθρωπο. Τέλος, θέλω να εκφράσω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, για την στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου. Πέραν όμως από την πολύτιμη αυτή στήριξη, μου έδωσαν όλα τα εφόδια ώστε να γίνω ένας σωστός άνθρωπος και αυτό είναι κάτι που δεν μαθαίνεται, αλλά μεταδίδεται.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη διεξήχθη μέσα στα πλαίσια πτυχιακής εργασίας του προγράμματος σπουδών του κλάδου Πολιτικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, με θέμα «Γήρανση Δειγμάτων Ασφάλτου».

Μέσα στη μελέτη συμπεριλαμβάνονται, κάποιες βασικές έννοιες, δηλαδή κάποιες μέθοδοι, εργαστηριακές μελέτες και έρευνες που έγιναν σχετικά με την επίδραση του χρόνου πάνω σε ασφαλτικά μείγματα. Συγκεκριμένα στη μελέτη αυτή γίνεται περιγραφή των μεθόδων: Χρήση Τηλεπισκόπησης για ανίχνευση γήρανσης, Βραχυπρόθεσμη και Μακροπρόθεσμη Γήρανση της Ασφάλτου (Short And Long Term Aging Asphalt), AASHTO R30, Γήρανση ασφάλτου με παροχή οξυγόνου στο φούρνο και Δοκιμή φούρνου λεπτής μεμβράνης (Thin Film Oven Test).

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικές έννοιες οδοστρωμάτων δηλαδή η κατασκευαστική δομή του οδοστρώματος. Στη συνέχεια στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή του AASHTO R30, όπου με αυτά τα πρωτόκολλα, προτείνονται κάποιες θερμοκρασίες που είναι κατάλληλες και εφαρμόζονται για τη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη γήρανση των δειγμάτων ασφάλτου (καρότα). Στη συνέχεια περιγράφονται διάφορες μελέτες που έγιναν με βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα πειράματα για τη γήρανση ασφαλτικών δειγμάτων. Ταυτόχρονα περιγράφεται μια άλλη μέθοδος «Δοκιμή φούρνου λεπτής μεμβράνης», μια διαφορετική μέθοδος, όπου μια λεπτή στρώση ασφάλτου γηρένεται σε φούρνο και αναλύονται τα χαρακτηριστικά της. Επίσης στο τέλος αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζονται έρευνες που σχετίζονται με τη χρήση Τηλεπισκόπησης, με την οποία μπορούμε να διακρίνουμε τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων, τυχόν προβλήματα της ασφάλτου και ανίχνευση της γήρανσης του οδοστρώματος. Στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την παρούσα μελέτη και γίνονται κάποιες εισηγήσεις για θέματα τα οποία αξίζει να διερευνηθούν στο μέλλον.

Σκοπός, λοιπόν αυτής της μελέτης, είναι να συμπεράνουμε πως αυτές οι μελέτες και έρευνες μπορούν να μας βοηθήσουν να εφαρμόσουμε τη γήρανση ασφαλτικών δειγμάτων (καρότα), έχοντας δείγματα από διάφορα οδοστρώματα της Κύπρου.

Λέξεις κλειδιά: γήρανση ασφάλτου, βραχυπρόθεσμη γήρανση, μακροπρόθεσμη γήρανση, τηλεπισκόπηση, ασφαλτικά δείγματα(καρότα).

ABSTRACT

The present study was conducted in the framework of a dissertation of the study program of the branch of Civil Engineering of the Cyprus University of Technology, on " Aging Asphalt ". The study includes some basic concepts, some methods, laboratory studies and research I did on the effect of time on asphalt mixtures. Specifically, this study describes the methods: Using Remote Sensing for Detection of Aging, Short - Term and Long - Term Aging Asphalt, AASHTO R30, Asphalt Aging with oxygen supply and Thin Film Oven Test.

The first chapter presents basic concepts of roads, the construction structure of the road. The second chapter then describes various studies performed with the Use of Remote Sensing, and how with this method we can distinguish the characteristics, any problems of the asphalt and detection of the aging of the road. Also describes the AASHTO R30, where with these protocols, some temperatures are proposed that are suitable and applied for the short-term and long-term aging of asphalt samples (cores). Furthermore presents research related to short-term and long-term experiments on the aging of asphalt samples. At the same time, another method is described, "A thin film oven test", a different method, where a thin layer of asphalt is aged in an oven and its characteristics are analysed. The final chapter presents the conclusions from the present study and makes some suggestions on issues that are worth exploring in the future. The purpose of this study, therefore, is to conclude that these studies and research can help us to apply the aging of asphalt samples (cores), having samples from various roads in Cyprus.

Keywords: Short - Term Aging Asphalt , Long Term Aging Asphalt, cores, Thin film oven test, protocols.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	x
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xi
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xii
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	xii
1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ:	xiii
1.2.1 ΥΠΕΔΑΦΟΣ	xiv
1.2.2 ΥΠΟΒΑΣΗ.....	xiv
1.2.3 ΒΑΣΗ	xv
1.2.4 ΑΣΦΑΛΤΙΚΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ	xv
2 ΚΥΡΙΩΣ ΘΕΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	1
ΓΗΡΑΝΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ:	1
2.1 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	1
HR-1024 (ΦΑΣΜΑΤΟΡΑΔΙΟΜΕΤΡΟ):	1
2.2 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	4
2.2.1 Πρωτόκολλά AASHTO R30 για την γήρανση των δειγμάτων	4
2.2.2 Βραχυπρόθεσμη και Μακροπρόθεσμη γήρανση ασφάλτου.....	8
2.2.3 Γήρανση ασφάλτου με χρήση πίεσης.....	9
2.2.4 Γήρανση ασφάλτου με παροχή οξυγόνου στο φούρνο	15
2.2.5 Δοκιμή φούρνου λεπτής μεμβράνης (TFOT).....	21

2.2.6	Χρήση τηλεπισκόπησης για ανίχνευση αστοχιών ασφάλτου.....	26
	Ραδιόμετρο:	28
	Φασματικές Κάμερες:.....	28
	Φασματόμετρο:.....	28
	Φασματοραδιόμετρο:	28
2.2.7	Έγχρωμη μελέτη ασφαλτοστρωμάτων με φασματοφωτόμετρο.....	29
3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	31
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	33

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Συντομογραφίες	xi
Πίνακας 2: Βραχυπρόθεσμη και Μακροπρόθεσμη γήρανση ασφάλτου	18
Πίνακας 3: Δοκιμή φούρνου λεπτής μεμβράνης (TFOT)	24

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Κατάταξη οδοστρώματος, (Ευάγγελος, 2018).....	xiv
Εικόνα 2 : Spectralon, (Bruegge et al., 2001)	1
Εικόνα 3: Φασματοραδιόμετρο HR-1024 (φωτογραφία που λήφθηκε από το εργαστήριο)	2
Εικόνα 4: Χαρτόνια που θα χρησιμοποιούνταν για τις μετρήσεις	3
Εικόνα 5: Βραχυχρόνια γήρανση μίγματος σε φούρνο (Castorena et al., 2015)	13
Εικόνα 6: Δείγματα που κατασκευάστηκαν (Castorena et al., 2015).....	13
Εικόνα 7: Περιστρεφόμενος κύλινδρος συμπίεσης μίξης (Phil Herrington, Sheryn Reilly and Shaun Cook Opus International Consultants Ltd, Central Laboratories, Lower Hutt, 2005)	15
Εικόνα 8: Δείγμα πριν και μετά την συμπίεση (Phil Herrington, Sheryn Reilly and Shaun Cook Opus International Consultants Ltd, Central Laboratories, Lower Hutt, 2005).....	15
Εικόνα 9: Φούρνος με παροχή οξυγόνου (Kambham et al., 2019).....	16
Εικόνα 10: Δείγματα που παρασκευάστηκαν από την πιο πάνω διαδικασία(Kambham et al., 2019).....	16
Εικόνα 11 : φούρνος που χρησιμοποιείται για την διαδικασία TFOT (Zeng et al., 2015)	21
Εικόνα 12: Rolling Thin-Film Oven Test (Naderi et al., 2019)	22
Εικόνα 13: Pressure Aging Vessel (PAV) (Naderi et al., 2019)	22
Εικόνα 14 : Η εικόνα φανερώνει πως μεταδίδεται η θερμότητα στο οδόστρωμα (Zheng et al., 2019).....	26

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Πίνακας 1: Συντομογραφίες

Συντομογραφίες	Μετάφραση	Συντομογραφίες	Μετάφραση
ΤΕΠΑΚ	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου	RTFOT	Rolling Thin-Film Oven Test
SGC	Superpave Gyrotory Compacter	UV	Ultra Violet
LCD	Liquid Crystal Display	PAV	Pressure Aging Vessel
DL	Παράμετρος χρωματικής υποβάθμισης	SAT	Δοκιμή απλής γήρανσης
GPS	Global Positioning System	WMA	Warm mix asphalt
STOA	Short-term oven aging asphalt test	VIS	Ορατό φάσμα
LTOA	Long-term oven aging asphalt test	IR	Υπέρυθρο φάσμα
SHRP	Strategic Highway Research Program	mm	χιλιοστά
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials	kPa	kilopascal

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σκοπός, αυτής της πτυχιακής μελέτης, είναι να ερευνηθούν διάφορες μέθοδοι και πειράματα που έγιναν με θέμα τη γήρανση των ασφαλικών δειγμάτων και να βρεθεί το συμπέρασμα πως αυτές οι μελέτες και έρευνες μπορούν να μας βοηθήσουν ώστε να εφαρμοστεί και να υλοποιηθεί η γήρανση ασφαλικών δειγμάτων (καρότα), έχοντας ασφαλικά δείγματα από διάφορα οδοστρώματα της Κύπρου.

Καταρχάς η ασφαλτος είναι γνωστή και χρησιμοποιείται από την αρχαιότητα. Είναι ένα από τα πιο παλιά δομικά υλικά και χρησιμοποιείται για την κατασκευή αυτοκινητοδρόμων, χώρων στάθμευσης, διαδρόμων αερολιμένων και άλλων εφαρμογών για μια ανθεκτική και ομαλή διακίνηση. Η ασφαλτος για να διατηρεί τις συνδετικές της ικανότητες πρέπει να παραμένει πλαστική. Μέρος της πλαστικότητας της χάνεται όταν η ασφαλτος με μορφή λεπτού υμένα εκτίθεται σε καιρικές επιδράσεις. Όταν συμβεί αυτό, τότε λέμε ότι η ασφαλτος “γέρασε”. Η γήρανση της ασφάλτου και η προοδευτική σκλήρυνση της μέσα στην επίστρωση του οδοστρώματος προκαλεί ρωγμές με τριχοειδή μορφή, που με την πάροδο του χρόνου ανοίγουν και επιτρέπουν την διόδο νερού στο οδόστρωμα, με αποτέλεσμα τη μείωση της φέρουσας ικανότητας της βάσεως του οδοστρώματος. Η κύρια αιτία της γήρανσης της ασφάλτου είναι η οξείδωση και η εξαφάνιση των πτητικών συστατικών της. Η επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, η σκλήρυνση λόγω ηλικίας και η έκλυση από το νερό συμβάλλουν επίσης στη γήρανση της ασφάλτου. (ΚΛΑΔΟΣ ΠΡΟΣΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑΙΩΝ, 2009).

Για να εκτελεστεί λοιπόν η εργαστηριακή μελέτη και τα πειράματα που αφορούν τη γήρανση της ασφάλτου, έγιναν κάποιες έρευνες όπως φαίνεται πιο κάτω στο κυρίως κείμενο της παρούσας πτυχιακής μελέτης που ώστε να παρθούν σημαντικές πληροφορίες.

Τα θέματα που ερευνήθηκε αφορά κάποια πρωτόκολλα του AASHTO R30 όπου δείχνουν κάποιες μετρήσεις και θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται και αφορούν την γήρανση ασφαλικών δειγμάτων. Επίσης αναφέρονται κάποιες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης γήρανσης και συγκρίνονται τα αποτελέσματα με την πραγματική γήρανση του πεδίου. Ταυτόχρονα

αναλύθηκαν κάποιες διαφορετικές μέθοδοι όπως είναι οι Δοκιμές φούρνου λεπτής μεμβράνης και η γήρανση δειγμάτων ασφάλτου με τη χρήση φούρνου με αντλία οξυγόνου, όπου μελετήθηκαν για να δούμε μήπως οι θερμοκρασίες που πάρθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν θα μπορούσαν να βοηθήσουν τη δική μας μελέτη.

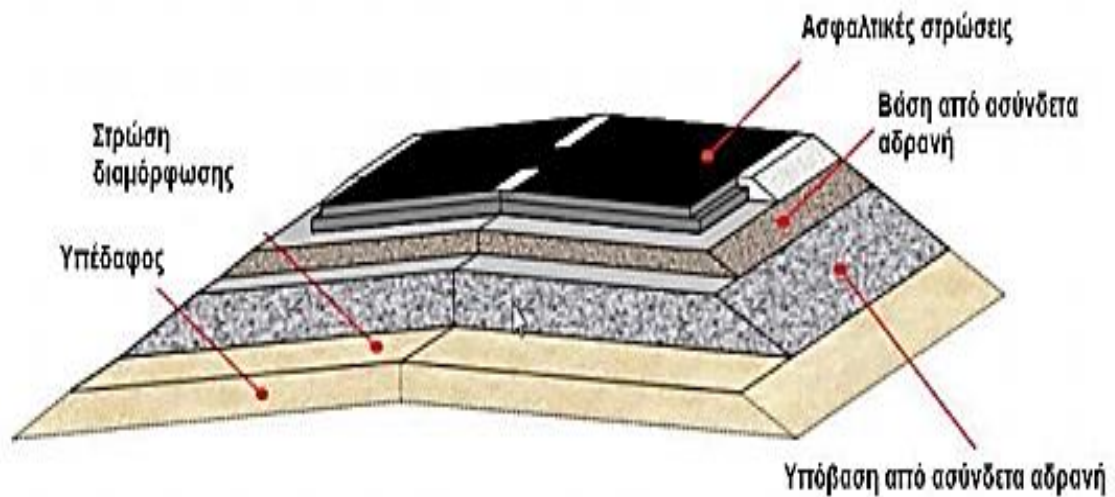
Επιπρόσθετα στο τέλος αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζονται έρευνες που σχετίζονται με τη χρήση Τηλεπισκόπησης, με την οποία μπορεί να εντοπιστούν τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων, τυχόν προβλήματα της ασφάλτου και να ανιχνευτεί η γήρανση του οδοστρώματος.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την παρούσα μελέτη και γίνονται κάποιες εισηγήσεις για θέματα τα οποία αξίζει να διερευνηθούν στο μέλλον.

1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ:

Η αποτύπωση της επιφανειακής κατάστασης του οδοστρώματος καθώς και η καταγραφή και χαρακτηρισμός των φθορών του, συγκροτούν τη μέθοδο της οπτικής επισκόπησης, η οποία αποτέλεσε την πρώτη μέθοδο αξιολόγησης της συμπεριφοράς του. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας και λόγω της ανάγκης για ταχύτερα αποτελέσματα αναπτύχθηκαν νέες, αυτοματοποιημένες μέθοδοι επισκόπησης. Η δυνατότητα χρησιμοποίησης ενός ασφαλτομίγματος προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλης ποιότητας και διαβάθμισης αδρανών, κατάλληλου τύπου ασφάλτου, κατάλληλου εξοπλισμού 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 Κύπρο χρησιμοποιείται ο τύπος θερμού ασφαλτομίγματος που είναι γνωστός ως ασφαλτικό σκυρόδεμα. (ΣΠΗΛΙΩΤΗΣ, 2014)

Οδόστρωμα ονομάζεται το τμήμα της υποδομής της οδού, το οποίο κατασκευάζεται για να χρησιμοποιηθεί από τα οχήματα κυκλοφορίας και να διανέμει τα φορτία κυκλοφορίας πριν φτάσουν στο έδαφος. Μια τυπική διατομή οδοστρώματος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1 που ακολουθεί, ξεκινώντας από τις κατώτερες στρώσεις, αποτελείται από το υπέδαφος και την διαμορφωμένη του στρώση, την στρώση υπόβασης, βάσης και τις ασφαλικές στρώσεις.



Εικόνα 1: Κατάταξη οδοστρώματος, (Ευάγγελος, 2018)

1.2.1 ΥΠΕΔΑΦΟΣ

Τα χαρακτηριστικά και η κατάσταση του υπεδάφους καθορίζουν την ποιότητα και την διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Γι' αυτό, πριν το σχεδιασμό ενός οδοστρώματος είναι απαραίτητη η γεωλογική έρευνα, ο εργαστηριακός έλεγχος και η μελέτη του εδάφους ώστε να αναγνωριστούν τα χαρακτηριστικά και η κατάστασή του. Από τα συμπεράσματα αυτά λαμβάνεται η απόφαση του βέλτιστου σχεδιασμού, δηλαδή του τρόπου δημιουργίας της στρώσης διαμόρφωσης του φυσικού εδάφους του οδοστρώματος.

1.2.2 ΥΠΟΒΑΣΗ

Οι στρώσεις που κατασκευάζονται πάνω από τη διαμορφωμένη στρώση του υπεδάφους ονομάζονται στρώσεις υπόβασης. Σε αυτές χρησιμοποιούνται θραυστά υλικά ικανοποιητικής αντοχής, τα χαρακτηριστικά των οποίων δεν είναι απαραίτητο να έχουν τόσο υψηλές απαιτήσεις όσο τα υλικά των βάσεων. Σκοπός των στρώσεων υπόβασης είναι η κατασκευή ενός οδοστρώματος διατομής μεγάλου πάχους με σχετικά χαμηλό κόστος, καθώς επίσης και η διανομή των φορτίων κυκλοφορίας που λαμβάνει από την υπερκείμενη στρώση βάσης πριν μεταβιβαστούν στο έδαφος.

1.2.3 ΒΑΣΗ

Οι στρώσεις βάσης κατασκευάζονται, μεταξύ των στρώσεων υπόβασης και των ασφαλικών στρώσεων. Στις στρώσεις υπόβασης, για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται θραυστά αμμοχάλικα, μικρότερης κοκκομετρικής διαβάθμισης και υψηλότερων απαιτήσεων ποιότητας, προκειμένου να αντέχουν στις μεγαλύτερες καταπονήσεις, να διανέμουν αποτελεσματικά και να μεταβιβάζουν τα κυκλοφοριακά και περιβαλλοντικά φορτία με τέτοιο τρόπο ώστε οι υποκείμενες ασυμπύκνωτες στρώσεις να μην εκτίθενται σε υπερβολικές καταπονήσεις και πιέσεις. Επίσης, οι στρώσεις βάσης θα πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή σε κόπωση.

1.2.4 ΑΣΦΑΛΤΙΚΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ

Στις ασφαλικές στρώσεις ενός οδοστρώματος περιλαμβάνονται, γενικά, η ασφαλική βάση, η ισοπεδωτική στρώση, η συνδετική στρώση και η επιφανειακή στρώση, η οποία απαιτείται να είναι αντιολισθηρή σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές των ασφαλικών έργων. Η ασφαλική στρώση αποτελεί το ανώτερο στρώμα του οδοστρώματος και πρέπει να αντέχει στον υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Επίσης δεν πρέπει να εμφανίζει ρηγματώσεις και αυλακώσεις, προκειμένου να παρέχει άνεση στον χρήστη και συγχρόνως να εξασφαλίζει επαρκή αντίσταση έναντι ολίσθησης. Τα βασικά συστατικά του μέρη, είναι η άσφαλτος και τα αδρανή υλικά, μεταξύ των οποίων δημιουργούνται και κενά αέρα. Προκειμένου να συνδεθούν τα αδρανή σε ένα συνεκτικό μίγμα χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό η άσφαλτος. (Ευάγγελος, 2018).

Πιο πάνω αναφέρθηκαν κάποια κύρια συστατικά που αφορούν τη δομή του ασφαλικού οδοστρώματος. Στη συνέχεια θα αναφερθούν κάποιες προεργασίες που έγιναν πριν την υλοποίηση της εργαστηριακής άσκησης και παρουσιάζονται διάφορες μέθοδοι και έρευνες που αφορούν τη γήρανση ασφαλικών δειγμάτων.

2 ΚΥΡΙΩΣ ΘΕΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΓΗΡΑΝΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ:

2.1 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Σε αυτή την μελέτη σκοπός ήταν να αναλυθούν και να μελετηθούν πριν και μετά την εργαστηριακή γήρανση, δείγματα ασφάλτου (καρότα) για οδοστρώματα της Κύπρου. Πριν και μετά τη γήρανση των δειγμάτων, με τη βοήθεια του φασματοραδιόμετρου χρησιμοποιείται το spectralon για να έχουμε μετρήσεις σε μια εντελώς λευκή επιφάνεια, όπως φαίνεται πιο κάτω. Το Spectralon είναι ένα φθοροπολυμερές, το οποίο έχει την υψηλότερη διάχυτη ανάκλαση οποιουδήποτε γνωστού υλικού πάνω από τις υπεριώδεις, ορατές και υπέρυθρες περιοχές του φάσματος. (Bruegge et al., 2001).



Εικόνα 2 : Spectralon, (Bruegge et al., 2001)

HR-1024 (ΦΑΣΜΑΤΟΡΑΔΙΟΜΕΤΡΟ):

Το φασματοραδιόμετρο HR-1024 είναι η συσκευή που έχουμε στο εργαστήριο και παρέχει υψηλό πεδίο φασματικής ανάλυσης και εργαστηριακές μετρήσεις που καλύπτουν τη φασματική περιοχή 350 nm έως 2500 nm. Με ενσωματωμένη LCD, GPS, camera, όπου θα το χρησιμοποιούσαμε στη μελέτη για να ελέγξουμε την επιφάνεια του δείγματος μας και να δούμε τις αλλαγές πριν και μετά την εργαστηριακή γήρανση πάνω στα καρότα. Οι φακοί οράσεως και το οπτικό πεδίο της συσκευής είναι 4 , 7 , 14 μοίρες. Το HR-1024, αποδείχθηκε τα τελευταία επτά χρόνια ως φορητό φασματοραδιόμετρο πλήρους φάσματος στην αγορά. Η εξαιρετική φασματική ανάλυση και ο χαμηλός θόρυβος διασφαλίζουν ότι τα δεδομένα που συλλέγονται είναι υψηλότερης ποιότητας.

Αυτά τα δεδομένα υψηλής ποιότητας μπορούν να αποθηκευτούν εσωτερικά μαζί με φωτογραφίες σκηνών και συντεταγμένες ενώ λειτουργούν σε αυτόνομη λειτουργία. Το HR-1024 περιλαμβάνει μια δεύτερη συσκευή Bluetooth, επιτρέποντας στο όργανο να λαμβάνει δεδομένα από μια εξωτερική σουίτα αισθητήρων που περιέχει έως και 16 ξεχωριστούς αισθητήρες. Η σουίτα αισθητήρων μπορεί να περιλαμβάνει αισθητήρες που παρέχουν στιγμιαία ηλιακή απόκριση ευρείας ή στενής ζώνης. Τα δεδομένα αισθητήρων αποθηκεύονται στο φάκελο φασματικών δεδομένων, επιτρέποντας στον ερευνητή να κατανοεί τις αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία και να τον βοηθά στις διορθώσεις. (Arfan, 2015).

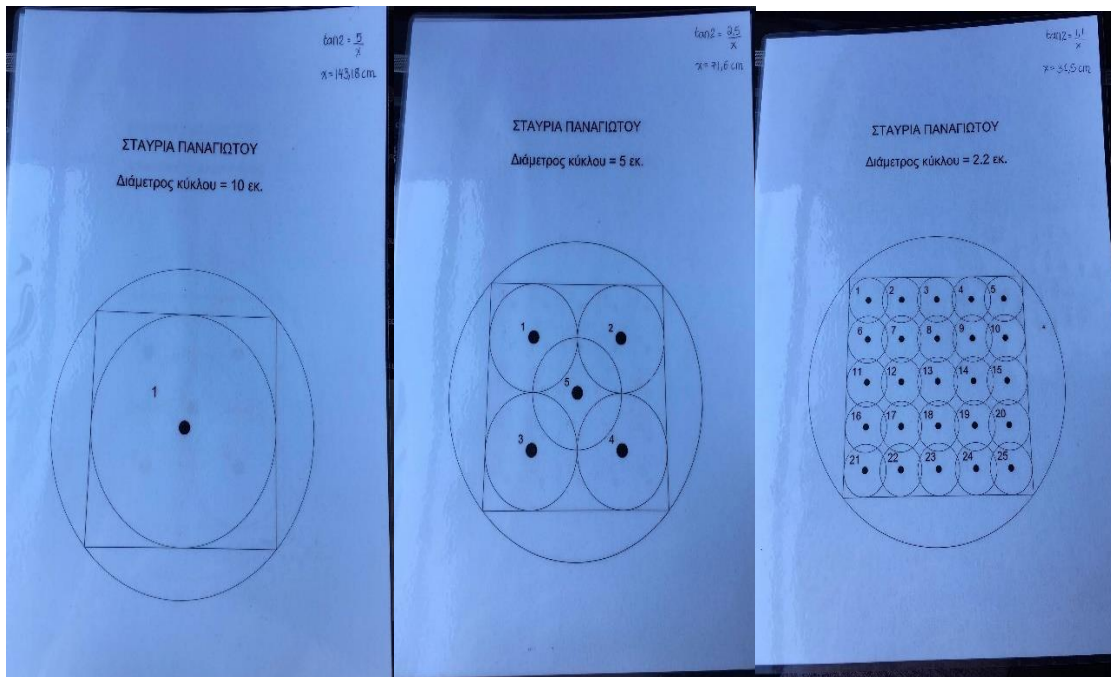


Εικόνα 3: Φασματοραδιόμετρο HR-1024 (φωτογραφία που λήφθηκε από το εργαστήριο)

Αυτή η πειραματική διαδικασία έγινε για να εκτιμηθεί η γήρανση της ασφάλτου σε ένα μικρό ασφαλικό δείγμα (καρότο) και να δούμε τη συμπεριφορά του δείγματος μετά την γήρανση, ώστε μελλοντικά να γίνονται παρόμοιοι έλεγχοι με τη χρήση τηλεπισκόπησης (drones) και να αναγνωριστούν τυχόν προβλήματα (ρωγμές) στα οδοστρώματα. Εφαρμόζοντας αυτούς τους ελέγχους στο ασφαλικό πεδίο, θα μειώνονταν οι καταπονήσεις του οδοστρώματος και θα υπήρχε σίγουρα ασφάλεια, διότι θα γινόταν σωστή πρόληψη και συντήρηση του πεδίου.

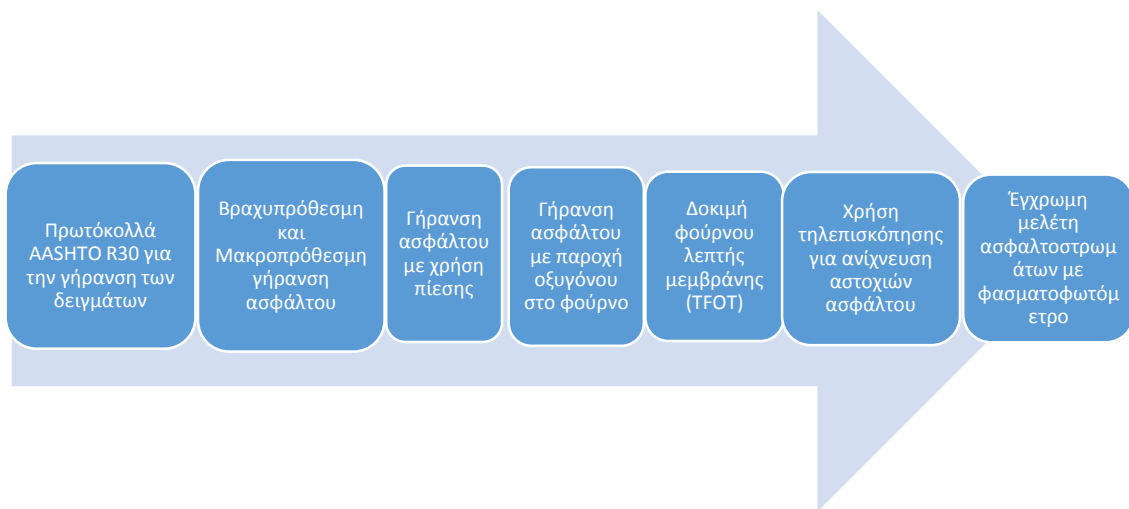
Δημιουργήθηκαν λοιπόν, τρία πλαστικοποιημένα χαρτόνια στο μέγεθος των δειγμάτων μας, με εξωτερική διάμετρο κύκλου 14,2 εκατοστόμετρα που θα εφαρμόζαν ακριβώς πάνω στα δείγματα μας, ώστε να γνωρίζουμε σε ποιο σημείο ακριβώς παίρνουμε μετρήσεις και τι συνέπειες θα υποστούν τα δείγματα μετά τη γήρανση. Η χρήση των τριών χαρτονιών όπως φαίνεται στην Εικόνα 4 είναι αντιπροσωπευτική της χρήσης τριών

διαφορετικών δορυφόρων στο πραγματικό ασφαλτικό πεδίο. Στο πρώτο χαρτόνι η διάμετρος του εσωτερικού κύκλου που μετρήθηκε είναι δέκα εκατοστόμετρα και το υπολογιζόμενο ύψος που θα τοποθετηθεί το φασματοραδιόμετρο είναι 143,18 εκατοστόμετρα. Στο δεύτερο, η διάμετρος των πέντε εσωτερικών κύκλων είναι πέντε εκατοστόμετρα και το ύψος της συσκευής είναι στα 71,6 εκατοστόμετρα. Τέλος, στο τρίτο χαρτόνι δημιουργήθηκαν εικοσιπέντε κύκλους με διάμετρο 2,2 εκατοστόμετρα και το υπολογισμένο ύψος της συσκευής είναι 31,5 εκατοστόμετρα όπως φαίνεται στις εικόνες πιο κάτω όπου αντιπροσωπεύει ένα δορυφόρο υψηλής ευκρίνειας με πιο μικρά pixels.



Εικόνα 5: Χαρτόνια που θα χρησιμοποιούνταν για τις μετρήσεις

2.2 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ



2.2.1 Πρωτόκολλά AASHTO R30 για την γήρανση των δειγμάτων

Οι Sirin *et al.* (2019) διαπίστωσαν ότι για να προσομοιωθεί η βραχυχρόνια γήρανση ενός μείγματος ασφάλτου, το AASHTO R30 συνιστά ένα μίγμα ασφάλτου για 4 ώρες στους 135 ° C για δοκιμές απόδοσης. Ωστόσο, ο ρυθμός γήρανσης μπορεί να ποικίλει ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως τύπος και πηγή συνδετικού υλικού, θερμοκρασία εγκατάστασης, θερμοκρασία ανάμιξης, και έτσι έκαναν μια περιεκτική μελέτη για την αξιολόγηση της γήρανσης των μιγμάτων ασφάλτου και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το πρωτόκολλο βραχυχρόνιας γήρανσης του προσομοιώνει τη γήρανση του ασφαλικού μίγματος επαρκώς καλά εκτός από λίγες συντηρητικές προβλέψεις. Αυτό το πρωτόκολλο αναφέρθηκε επίσης ότι είναι επαρκές και από άλλους ερευνητές στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τα μείγματα ασφάλτου υποβάλλονται σε βραχυχρόνια γήρανση κατά τη διάρκεια των διαδικασιών παραγωγής, τοποθέτησης και συμπίεσης. Η σωστή αξιολόγηση της απόδοσης των ασφαλικών οδοστρωμάτων βασίζεται στον ακριβή χαρακτηρισμό των ασφαλικών μιγμάτων κατά το στάδιο του σχεδιασμού.

Εργαστηριακά συμπιεσμένα δείγματα παρασκευάστηκαν από χαλαρά μίγματα. Πριν από τη συμπίκνωση, το μίγμα τοποθετήθηκε σε φούρνο σε θερμοκρασία συμπίκνωσης 144

° C για 1,5 ώρα για ευκολία χειρισμού και συμπίεση. Τα συμπιεσμένα δείγματα είχαν διάμετρο 150 mm και ύψος 178 mm. Στη συνέχεια, τα δείγματα στρώθηκαν και κόπηκαν σε διάμετρο 100 mm με ύψος 150 mm και δοκιμάστηκαν στο AMPT για να ληφθούν οι μηχανικές ιδιότητες των μιγμάτων. Εργαστηριακά παραγόμενα μίγματα κλιμακώθηκαν στους 135 ° C χρησιμοποιώντας διάφορες χρονικές διάρκειες. Για βραχυπρόθεσμη γήρανση στους 135° C τα μείγματα τοποθετούνται στο φούρνο για 3-4 ώρες. (Sirin et al., 2019).

Η συγκεκριμένη έρευνα που έγινε από τους Paul et al., (2017) αναφέρει ότι το συγκεκριμένο πείραμα είναι προτεινόμενο από την AASHTO για τη θεραπεία του ασφαλτικού μείγματος χρησιμοποιώντας βραχυπρόθεσμη γήρανση με θερμοκρασία τον 135 ° C για 4 ώρες όπου ακολουθείται από μακροπρόθεσμη γήρανση με θερμοκρασία 85 Βαθμούς Κελσίου και διάρκειας 5 ημερών. Μετά την βραχυπρόθεσμη γήρανση γίνεται η συμπίεση του ασφαλτικού μείγματος σε έναν επιθυμητό air void level 7% +/-0.5% με θερμοκρασία συμπύκνωσης 135° C, έπειτα με τη χρήση ηλεκτρικού τρυπανιού το συμπυκνωμένο δείγμα το μετατρέπουμε σε δοκίμιο τον 100mm διαμέτρου και 150mm ύψους. Το στρωμένο δείγμα τελικά ξανά μετατρέπεται ώστε να παραχθεί το τελικό δοκίμιο με διάμετρο 100 mm και ύψος 150 mm. Το τελικό δείγμα, με τη χρήση του φούρνου forced draft, κλιματίζεται σε διάφορες θερμοκρασίες και διάρκειες για την προσομοίωση της γήρανσης του πεδίου.

Υπάρχουν 3 διαφορετικές θερμοκρασίες όσον αφορά τη γήρανση του δείγματος, οι οποίες είναι 75, 85 και 95°C. Όσον αφορά τις διάρκειες υπάρχουν 4 διαφορετικές χρονικές διάρκειες 0, 2, 6 και 10 μέρες.

Αποτελέσματα:

Το AASHTO είναι πρότυπο το οποίο καθορίζει προδιαγραφές, πρωτόκολλα ελέγχου για την ποιότητα τα οποία χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό και την κατασκευή αυτοκινητοδρόμων. Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την ένδειξη της απαιτούμενης συνδυασμένης δομικής ικανότητας όλων των στρωμάτων οδοστρώματος που επικαλύπτουν το υπόβαθρο. Σύμφωνα με το AASHTO η διάρκεια και η θερμοκρασία του βραχυπρόθεσμου και μακροπρόθεσμου κλιματισμού έχουν μεγάλη επίδραση στη δυναμική μέτρηση και τη γωνία φάσης των ασφαλτικών μιγμάτων. (Paul et al., 2017)

Μια μελέτη που έγινε από τον (Kanabar, 2010) αξιολόγησε τα φαινόμενα των τριών καταστάσεων πρωτοκόλλων σε WMA μείγματα τα οποία προετοιμάζονται με Evotherm για 2 ώρες σε 104°C, 2 ώρες σε 135°C, και 4 ώρες σε 135°C. Σε μια ξεχωριστή μελέτη από το Πανεπιστήμιο τις California Pavement Research Center χρησιμοποιούνται για τις καταστάσεις των πρωτοκόλλων για 4 ώρες σε 135°C για προετοιμασία δειγμάτων LMLC ως μέρος ενός ολοκληρωμένου προγράμματος ταχείας επιθεώρησης οδοστρώματος (APT). Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι δεν υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στις μεθόδους WMA και HMA. Για το δείγμα, το πρωτόκολλο κατάστασης για 2 ώρες στους 135° C ήταν το πιο ιδανικό και το προτεινόμενο από την τελευταία ολοκληρωμένη έρευνα NCHRP Project 9-43. Σχετικά με το πρωτόκολλο που έχει να κάνει με την αναθέρμανση του δείγματος στους 135° C προτάθηκε ως η ελάχιστη ποσότητα χρόνου / θερμοκρασίας ρύθμισης που είναι δυνατή πριν από τη συμπίκνωση. (Yin et al., 2013)

Ακόμα ένα πρωτόκολλο δίνεται από τον Fhwa, (1999), όπου πληροφορούμαστε για τις κατάλληλες θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται για βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη γήρανση των ασφαλτικών δειγμάτων. Αρχικά η βραχυπρόθεσμη προετοιμασία μείγματος είναι μια εργαστηριακή διαδικασία που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση των επιπτώσεων του HMA γήρανση και απορρόφηση συνδετικών που συμβαίνει κατά τη φάση της συμπίκνωσης του μείγματος. Η βραχυπρόθεσμη διαδικασία προετοιμασίας μείγματος χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της γήρανσης που συμβαίνει κατά την κατασκευή και χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία σχεδιασμού μίξης. Επίσης η μακροχρόνια προετοιμασία μείγματος είναι μια εργαστηριακή διαδικασία γήρανσης που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση των επιπτώσεων του δείγματος HMA που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια ζωής ενός οδοστρώματος. Η μακροχρόνια γήρανση χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της γήρανσης που συμβαίνει στα πολλά χρόνια λειτουργίας του οδοστρώματος.

Τα δείγματα HMA που παρασκευάζονται στο εργαστήριο έχουν διαφορετικές ιδιότητες από μείγματα που παράγονται σε ένα εργοστάσιο HMA για διάφορους λόγους. Ένας από αυτούς τους λόγους είναι ότι το HMA ωριμάζει διότι το μείγμα περνά από διάφορα στάδια δηλαδή, μέσα από το εργοστάσιο, κατά την αποθήκευση και μεταφορά του, με αποτέλεσμα το μείγμα να κρυνώνει. Το συνδετικό αντιδρά με οξυγόνο στον αέρα και γίνεται σκληρότερο και πιο εύθραυστο. Η γήρανση της ασφάλτου εμφανίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό όταν κυριαρχούν ζεστά κλίματα ή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες

όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες. Ο φούρνος που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη ήταν Forced-Draft Oven, ικανός να διατηρεί θερμοκρασίες από θερμοκρασία δωματίου έως 176 ± 3 ° C. Η συσκευή φόρτωσης, είναι ικανή να εφαρμόζει στατικό φορτίο 56 kN με ρυθμό $72,00 \pm 0,05$ kN / λεπτό. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα ήταν ένα μεταλλικό ταψί για γήρανση χαλαρού μείγματος, μεταλλική σπάτουλα για ανάδευση και γάντια φούρνου.

Διαδικασία Πειράματος

Γίνεται τοποθέτηση του χαλαρού μείγματος σε μια κατσαρόλα και απλώνεται το μείγμα σε ομοιόμορφο πάχος μεταξύ 25 και 50 mm. Στη συνέχεια τοποθετείται το μείγμα σε φούρνο εξαναγκασμού για 2 ώρες \pm 5 λεπτά σε θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία συμπίκνωσης του μείγματος \pm 3 ° C. Το μείγμα ανακατεύεται για 60 ± 5 λεπτά για να διατηρήσει ομοιόμορφη την κατανομή του. Ακολούθως το εργαστηριακό μείγμα πρέπει να ρυθμιστεί σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται για βραχυπρόθεσμα γήρανση. Το συμπιεσμένο δείγμα ρυθμίζεται σε ψύξη στο καλούπι στους 60 ± 3 ° C. Αυτό συνήθως διαρκεί περίπου 2 ώρες. Αφήνεται το φορτίο με τον ίδιο ρυθμό όταν τα άκρα του δείγματος είναι επίπεδα ή όταν το φορτίο φτάσει το μέγιστο 56 kN. Το δείγμα αφαιρείται από το μηχάνημα δοκιμής και αφήστε το να κρυώσει 16 ± 1 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου. Το δείγμα πρέπει να βγει από το καλούπι συμπίκνωσης μετά από ψύξη για 2-3 ώρες.

Η διαδικασία τελειώνει όταν τα συμπιεσμένα δείγματα οδοστρώματος ψύχονται στο δοκίμιο σε θερμοκρασία δωματίου για 16 ± 1 ώρα, τοποθετούνται ξανά στο φούρνο στους 85 ± 3 ° C για $120 \pm 0,5$ ώρες και μετά από $120 \pm 0,5$ ώρα, ανοίγονται οι πόρτες του φούρνου και αφήνεται το δείγμα για ψύξη σε θερμοκρασία δωματίου. Αυτό διαρκεί συνήθως περίπου 16 ώρες. (Fhwa, 1999)

Πιο πάνω αναφέρθηκαν κάποια πειράματα που εκτελέστηκαν με βάση τα πρωτόκολλα. Ακολούθως θα αναλυθούν κάποια πειράματα δειγμάτων ασφάλτου που αφορούν τη βραχυχρόνια και μακροχρόνια γήρανση.

2.2.2 Βραχυπρόθεσμη και Μακροπρόθεσμη γήρανση ασφάλτου

Μέχρι στιγμής, η γήρανση του ασφαλτικού μίγματος δεν εξετάστηκε με ακρίβεια στο σημερινό σχεδιασμό ασφαλτικών οδοστρώσεων σε όλο τον κόσμο, η επίδραση της γήρανσης του ασφαλτικού μίγματος στη διάρκεια ζωής της ασφάλτου χρειάζεται περισσότερη προσοχή στο σχεδιασμό του ασφαλτικού οδοστρώματος. Όπως ανέφεραν οι Lv *et al.*, (2020), οι σημερινές βασικές μέθοδοι γήρανσης είναι η βραχυπρόθεσμη γήρανση και η μακροπρόθεσμη γήρανση του μείγματος ασφάλτου. Η αποτυχία κόπωσης γενικά συμβαίνει κατά τη διάρκεια της περιόδου εξυπηρέτησης του οδοστρώματος, όταν στην ασφαλτο παρουσιάστηκε βραχυχρόνια γήρανση και ορισμένη μακροχρόνια γήρανση, πράγμα που σημαίνει ότι η δοκιμή κόπωσης πρέπει να διεξάγεται με διαφορετικές μακροχρόνιες καταστάσεις γήρανσης. Πρότυπες μέθοδοι δοκιμών ασφάλτου και ασφαλτικών μιγμάτων για την κατασκευή αυτοκινητοδρόμων βασίζεται στις μεθόδους STOA (short-term oven aging asphalt test) και LTOA (long-term oven aging asphalt test) για τα μείγματα ασφάλτου που προτείνει η μέθοδος SHRP. Η διαδικασία STOA είναι το χαλαρό ασφαλτικό μίγμα που θερμαίνεται σε φούρνο υπό εξαναγκασμένο αέρα για 4 ώρες και η θερμοκρασία του φούρνου καθορίζεται σε 135 ° C. Το βραχυπρόθεσμα χαλαρό ασφαλτικό μίγμα συμπιέζεται σε ένα δοκιμαστικό δείγμα πλάκας, μετά το οποίο τα δείγματα απομακρύνονται και ψύχονται σε θερμοκρασία δωματίου. Στη συνέχεια, η πλάκα εκσκαφής κόβεται σε δοκίμια δοκού 50 mm * 50 mm * 250 mm κατά μήκος της κατεύθυνσης.

Η μέθοδος δοκιμής για τη γήρανση του φούρνου μακράς διάρκειας LTOA αναφέρει ότι τα δείγματα κλιματίζονται στους 85 ° C για 5 ημέρες, γεγονός που προσομοιώνει το βαθμό γήρανσης του πραγματικού οδοστρώματος για 5-7 χρόνια. Οι συνθήκες δοκιμής δεν είναι κατάλληλες για ανάλυση επιδόσεων κόπωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ζημιά λόγω κόπωσης του ασφαλτικού οδοστρώματος σχετίζεται με το ύψος της κυκλοφορίας και κυκλοφοριακής επιβάρυνσης δηλαδή του φόρτου και ο χρόνος κόπωσης δεν είναι σταθερός. Δεν μπορεί να συμβεί μόνο σε μεταγενέστερο στάδιο εντός 6 έως 9 ετών μετά το άνοιγμα της κυκλοφορίας αλλά μπορεί να συμβεί στο αρχικό στάδιο αλλά και στο μεταγενέστερο στάδιο. Επομένως, σε αυτή τη μελέτη, η μέθοδος δοκιμής LTOA έχει τροποποιηθεί επιλέγοντας πέντε διαφορετικές διάρκειες θέρμανσης, δηλαδή 0, 1, 3, 5, 7 ημέρες, για να αντικαταστήσει τις σταθερές 5 ημέρες. Μπορεί να φανεί ότι οι παραπάνω πέντε παραμέτροι κόπωσης είχαν μια καλή συσχέτιση με τη διάρκεια της

κόπωσης. Η διάρκεια ζωής της κόπωσης καθορίζει την περίοδο λειτουργίας του ασφαλικού οδοστρώματος, έτσι η διάρκεια ζωής της κόπωσης έχει μεγάλη σημασία για τη βελτίωση της αντοχής του οδοστρώματος. Η έρευνα σχεδιάστηκε για να αποκαλύψει τις επιδράσεις της γήρανσης η απόδοση κόπωσης του μείγματος ασφάλτου έλαβε υπόψη το βαθμό γήρανσης.

Ακολούθως, οι παράμετροι κόπωσης, συμπεριλαμβανομένου του συντελεστή αρχικής ακαμψίας, της ζωής κόπωσης, της γωνίας φάσης και της αθροιστικής ενέργειας απόδοσης των δειγμάτων με διαφορετικούς βαθμούς γήρανσης υπό διαφορετικές αναλογίες καταπόνησης ελήφθησαν με τη δοκιμή εφελκυστικής εφίδρωσης. Οι παράμετροι κόπωσης του μείγματος ασφάλτου είχαν μια προφανή συσχέτιση με τη γήρανση, ειδικά το αρχικό μέτρο ακαμψίας. Η γήρανση είχε σημαντικό αντίκτυπο στις ιδιότητες κόπωσης των ασφαλικών μιγμάτων. (Lv et al., 2020).

2.2.3 Γήρανση ασφάλτου με χρήση πίεσης

Όπως τονίζουν οι Bell *et al.* (1994) σε μια μελέτη, η αξιολόγηση ενός μείγματος αντιπροσωπευτικού της αρχικής συντήρησης πρέπει να γίνεται σε δείγματα ηλικίας βραχείας διάρκειας. Η συνισταμένη διαδικασία για βραχυχρόνια γήρανση είναι η ηλικία χαλαρού μίγματος σε φούρνο με αναγκαστική βύθιση για 4 ώρες στους 135 ° C . Αυτό αντιπροσωπεύει ένα μέσο επίπεδο. Στην πραγματικότητα τα μείγματα ενδέχεται να υποστούν πολύ μικρή γήρανση ή πολύ μεγαλύτερη γήρανση. Η βραχυχρόνια γήρανση του φούρνου χρησιμοποίησε φούρνο με αναγκαστική βύθιση για διάρκειες 0, 6 ή 15 ωρών σε θερμοκρασίες 135 ° ή 163 ° C. Επίσης το ηλικιωμένο μίγμα συμπιέστηκε έπειτα σε συμπίεστική προσπάθεια είτε από 1725 είτε από 3450 kPa από συμπίεστη ζύμωσης προκειμένου να μειωθούν τα κενά αέρος από τα δείγματα ασφάλτου. Από τα δεδομένα και από τις δοκιμές βραχυχρόνιας γήρανσης του φούρνου φαίνεται ότι υπάρχει σημαντική γήρανση. Όταν χρησιμοποιείται θερμοκρασία 163 ° C η αναλογία συντελεστή για τα δείγματα που παλαιώνονται για 15 ώρες είναι μικρότερη από την αναλογία για δείγματα ηλικίας 6 ωρών. Επίσης η συμπύκνωση όλων των δειγμάτων έγινε στους 120 ° C. Η συνιστάμενη διαδικασία για μακροχρόνια γήρανση είναι τα δείγματα συμπυκνωμένου μείγματος ηλικίας σε φούρνο με εξαναγκασμένο ρεύμα για 5 ημέρες στους 85 ° C. Η διαδικασία θα μπορούσε ενδεχομένως να επιταχυνθεί σε 2 ημέρες χρησιμοποιώντας τους 100 ° C αν και οι δοκιμές που ολοκληρώθηκαν στο εκτεταμένο

πρόγραμμα δοκιμών και στη μελέτη επικύρωσης πεδίου μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα δείγματα.

Ο ρόλος της μακροχρόνιας γήρανσης είναι να δοθεί η δυνατότητα στα αντιπροσωπευτικά δείγματα να υποβληθούν σε δοκιμές κόπωσης. Λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμα ηλικιωμένων δειγμάτων, θα είναι δυνατό να διαπιστωθεί εάν το υλικό θα λειτουργήσει σε ένα οδόστρωμα για μια λογική διάρκεια ζωής. Μπορεί να είναι αρκετό να λαμβάνονται υπόψη μόνο μακροπρόθεσμα ηλικιωμένα δείγματα όμως, για την κόπωση και τη μόνιμη παραμόρφωση, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται βραχυχρόνια και μακροχρόνια δείγματα για να καθοριστούν πιθανά όρια απόδοσης. Χρησιμοποιήθηκαν συμπυκνωμένα δείγματα που προετοιμάστηκαν για δύο ημέρες είτε σε 40 ° είτε σε 60 ° C για να εξασφαλιστεί η σταθερότητα των δειγμάτων. Τα δείγματα στη συνέχεια παλαιώθηκαν για 0, 2 ή 7 ημέρες στους 107 ° C. Τα δείγματα εκτέθηκαν σε 690 ή 2070 kPa πίεση για 0, 2 ή 7 στους 25 ° ή 60 ° C. (Bell, Abwahab, et al., 1994).

Οι Bell, Wieder and Fellin, (1994) σε μια μελέτη που πραγματοποίησαν με παρόμοια δεδομένα όπως πιο πάνω ισχυρίζονται, ότι η σκλήρυνση ή η ακαμψία που συνδέεται με τη θέρμανση της ασφάλτου έχει ερευνηθεί από την πρώτη χρήση ασφάλτου στις Ηνωμένες Πολιτείες γύρω στο 1900. Αυτή η σκλήρυνση αναφέρεται ως γήρανση και συμβαίνει σε δύο στάδια, «βραχυπρόθεσμη» γήρανση που συμβαίνει κατά την ανάμιξη και τοποθέτηση του μίγματος και «μακροχρόνια» γήρανση που συμβαίνει καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Δύο διαδικασίες δοκιμών που αναπτύχθηκαν στο Πανεπιστήμιο του Όρεγκον χρησιμοποιούν φούρνο στους 135 ° C και στους 85 ° C ή στους 100 ° για την προσομοίωση της βραχυπρόθεσμης και μακροχρόνιας γήρανσης του πεδίου. Αυτή η αναφορά παρουσιάζει τα αποτελέσματα της επικύρωσης πεδίου αυτών των δύο διαδικασιών.

Η βραχυχρόνια διαδικασία γήρανσης έγινε σε διάστημα 4 ωρών στους 135 ° C. Η μακροχρόνια γήρανση του φούρνου για 2 ημέρες στους 85 ° C ή 1 ημέρα στους 100 ° C μετά τη συμπύκνωση και επιπλέον της βραχυπρόθεσμης επεξεργασίας και είναι αντιπροσωπευτική των μειγμάτων (0 έως 3 ετών) στο πεδίο. Η μακροχρόνια γήρανση του φούρνου για 4 έως 8 ημέρες στους 85 ° C ή 2 έως 4 ημέρες στους 100 ° C φαίνεται αντιπροσωπευτική των παλαιότερων, δηλαδή πάνω από 3 ετών μειγμάτων στον τομέα και συντηρητικό για μερικά μείγματα. Το ηλικιωμένο μίγμα συμπιέστηκε είτε από 1725

είτε από 3450 kPa από συμπιεστή ζύμωσης προκειμένου να μειωθούν τα κενά αέρος από τα δείγματ4 έως 8 ημέρες στους 85 ° C ή 2 έως 4 ημέρες στους 100 ° C α ασφάλτου.

Εργαστηριακά δείγματα προετοιμάστηκαν για τις διαβαθμίσεις, τα περιεχόμενα ασφάλτου και την περιεκτικότητα σε κενά αέρα όπως προσδιορίζεται από δείγματα πεδίου (καρότα). Τα εργαστηριακά δείγματα υποβλήθηκαν σε ποικίλες θεραπείες γήρανσης και δοκιμάστηκαν τόσο τα πεδία όσο και τα εργαστηριακά μίγματα για ελαστικό μέτρο. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών συγκρίθηκαν για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα των επεξεργασιών γήρανσης, για την προσομοίωση της ακαμψίας των μιγμάτων στο πεδίο.

Τα αποτελέσματα του LTOA στους 100 ° C είναι παρόμοια με το LTOA στους 85 ° C αλλά η υψηλότερη θερμοκρασία επιτυγχάνει παρόμοια σκλήρυνση σε λιγότερο χρόνο. Ωστόσο, υπήρχαν περισσότερες μεταβλητές στα δεδομένα και επομένως προτιμάται η χαμηλότερη θερμοκρασία. Πέντε από τις συμπληρωματικές θέσεις ήταν μεγαλύτερες των 9 ετών και απαιτούσαν τουλάχιστον τη μέγιστη ποσότητα LTOA να ταιριάζει στατιστικά με τη γήρανση του πεδίου, δηλαδή 8 ημέρες LTOA στους 85 ° C ή 4 ημέρες LTOA στους 100 ° C. Από αυτές τις θέσεις, οι αριθμοί 1006 (τοποθετήθηκε το 1983, είναι δείγμα 9 ετών, βρίσκεται στη ζώνη ξηρών συνθηκών των Ηνωμένων Πολιτειών και είχε την υψηλότερη μέση ετήσια απόκλιση θερμοκρασίας όλων των περιοχών της Ουάσιγκτον, 30 ° C και τον χαμηλότερο μέσο όρο ετήσιας βροχόπτωσης 0,4 μέτρων) και 1008 (δείγματα ηλικίας 13 ετών, τοποθετήθηκε μέσα του 1979 ως νέα κατασκευή, αυτός ο δρόμος ήταν σε πολύ κακή κατάσταση είχε διαμήκη ρωγμές, στροβιλισμούς και βρίσκεται σε στεγνό πάγωμα.), είχαν τιμές μέτρησης πεδίου σημαντικά υψηλότερες από οποιεσδήποτε από τις θεραπείες γήρανσης. Ένα άλλο δείγμα 1801 (ηλικίας 18 ετών, από Ουάσιγκτον, τοποθετήθηκε το 1973, οι βροχοπτώσεις ετησίως είναι 2,4 κατά μέσο όρο. Η ασφαλτος παράγεται από την Shell Oil.) ήταν παρόμοιο με το πεδίο στις 8 ημέρες στους 85 ° C (LTOA), αλλά ήταν σημαντικά χαμηλότερο από το πεδίο στις 4 ημέρες στους 100 ° C. Το δείγμα 6049, (ηλικίας 19 ετών, έγινε το 1966, η ασφαλτος που χρησιμοποιήθηκε στο Tacoma Washington, ήταν σε καλή κατάσταση) είχε τιμές πεδίου που αντιστοιχούσαν σε 4 ημέρες LTOA στους 100 ° C , ενώ το δείγμα 6048, (ηλικίας 14 ετών, βρίσκεται στην Ουάσιγκτον σε ζώνη κατάψυξης χωρίς υγρασία και έχει μόνο μέση ετήσια απόκλιση θερμοκρασίας 15,5 ° C, τοποθετήθηκε το 1965), κάλυπτε όλη τη γήρανση λόγω της μεγάλης εξάπλωσης των τιμών πυκνότητας πυρήνα πεδίου (καρότο).

Αυτά τα δεδομένα υποδηλώνουν ότι το LTOA των 4 ημερών στους 100 °C ή 8 ημέρες στους 85 °C είναι αντιπροσωπευτικό και των πέντε αυτών των παλαιότερων θέσεων. (Bell, Wieder, et al., 1994).

Η εφαρμογή πίεσης στα συμπιεσμένα δείγματα κατά τη διάρκεια της γήρανσης επιτάχυνε τη διαδικασία οξείδωσης, όπως συζητήθηκε από τους Castorena et al., (2015), αλλά οδήγησε σε προβλήματα ακεραιότητας όσον αφορά τόσο τη γήρανση όσο και τα επιβλαβή αποτελέσματα που επηρεάζουν τα αποτελέσματα των δοκιμών απόδοσης. Η μακροχρόνια γήρανση του χαλαρού μίγματος σε φούρνο για οκτώ ημέρες στους 85 °C οδήγησε σε ένα επίπεδο οξείδωσης βασισμένο σε χημικές και ρεολογικές AIP που ξεπέρασε εκείνο της γήρανσης του φούρνου των συμπιεσμένων δειγμάτων για την ίδια διάρκεια και επίσης υπερέβη το επίπεδο της γήρανσης συνδετικού υλικού RTFO και PAV. Επομένως, το παλιό χαλαρό μίγμα φαίνεται να επιταχύνει σημαντικά την οξείδωση σε σύγκριση με τα συμπαγή δείγματα γήρανσης. Η μακροχρόνια γήρανση του χαλαρού μίγματος στον PAV για δύο ημέρες στους 85 °C και 2,1 MPa οδήγησε σε ένα επίπεδο οξείδωσης παρόμοιο με εκείνο της γήρανσης του φούρνου σε χαλαρό μίγμα για οκτώ ημέρες στην ίδια θερμοκρασία. Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η προσθήκη πίεσης μπορεί να επιταχύνει σημαντικά τη γήρανση σχεδόν τέσσερις φορές ταχύτερα από συμβατικό φούρνο γήρανσης. (Castorena et al., 2015).

Σύμφωνα με μια άλλη μελέτη από τους A Castorena *et al.* (2015), για να εκτιμηθεί η γήρανση των συμπαγών δειγμάτων όσο το δυνατόν καλύτερα, δοκιμάστηκαν διάφορες διαδικασίες, συμπεριλαμβανομένης της υπό πίεση και της γήρανσης του φούρνου τόσο των μεγάλων όσο και των μικρών δειγμάτων. Για την παρασκευή των δειγμάτων, τα μίγματα αρχικά δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας υλικά συστατικών και υποβλήθηκαν σε βραχυχρόνια γήρανση του φούρνου.

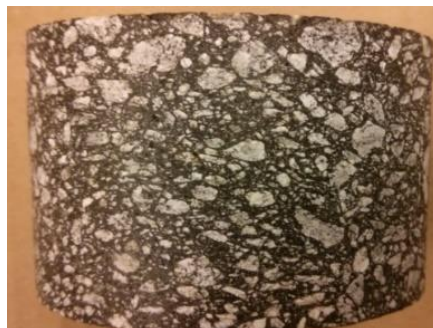
Στη συγκεκριμένη μελέτη οι φούρνοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της επίδρασης της θερμότητας και του αέρα σε μια κινούμενη μεμβράνη ημι-στερεών ασφαλικών υλικών, είχαν εσωτερικό θάλαμο που είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα, μονωμένος με υαλοβάμβακα, με εξωτερικό σκελετό από ανοξείδωτο ατσάλι με κινητήρα και πόρτα με κεντρικό παράθυρο.



Εικόνα 6: Βραχυχρόνια γήρανση μίγματος σε φούρνο (Castorena et al., 2015)

Στη συνέχεια, τα μίγματα συμπίεστηκαν σε ένα Superpave Gyrotory Compacter (SGC) για να κατασκευαστούν δείγματα $150 \text{ mm} \times 178 \text{ mm}$. Τα μεγάλα δείγματα για τη γήρανση ελήφθησαν μέσω της κόψης για να ληφθούν δείγματα $100 \text{ mm} \times 178 \text{ mm}$. Τα άκρα των μεγάλων δειγμάτων δεν ήταν πριονισμένα πριν από τη γήρανση λόγω της μεγάλης πιθανότητας μιας παλινδρομικής κλίσης που θα μπορούσε να επηρεάσει τα αποτελέσματα των δοκιμών απόδοσης.

Για την κατασκευή των μικρών δειγμάτων, κυλινδρικά δείγματα κόπηκαν από αρχικά πιο μεγάλα δείγματα με διαστάσεις $150 \text{ mm} \times 178 \text{ mm}$ οριζόντια.



Εικόνα 7: Δείγματα που κατασκευάστηκαν (Castorena et al., 2015)

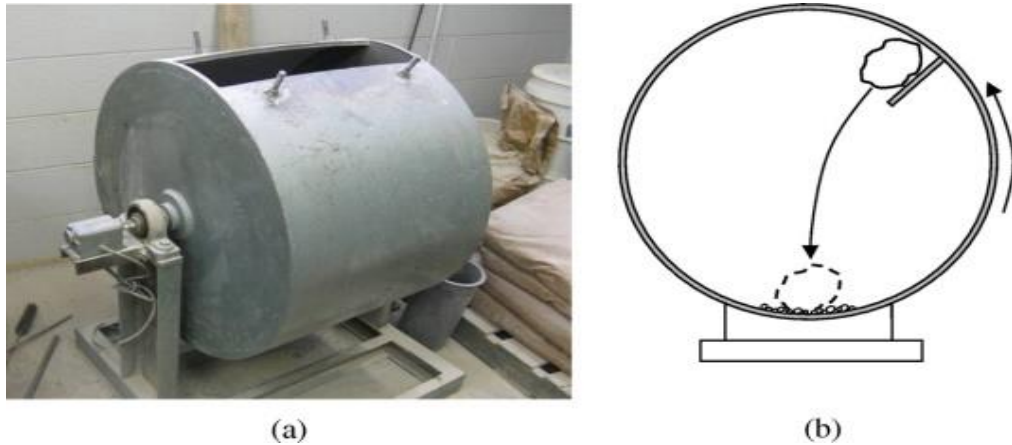
Για τις δοκιμές γήρανσης του φούρνου των μεγάλων δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν υποστηρίγματα συρμάτινων ματιών για την ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης. Κατάλληλη και μοναδική θερμοκρασία γήρανσης για το συγκεκριμένο πείραμα

θεωρήθηκε 85 ° C, όπου χρησιμοποιήθηκε για δοκιμές γήρανσης. Ένα επίπεδο πίεσης των 300 kPa επιλέχθηκε για τις δοκιμές γήρανσης του PAV, επειδή τα υψηλότερα επίπεδα πίεσης είχαν βρεθεί ότι βλάπτουν τα δείγματα κατά την απελευθέρωση πίεσης στο έργο SHRP (Bell, Abwahab, et al., 1994).

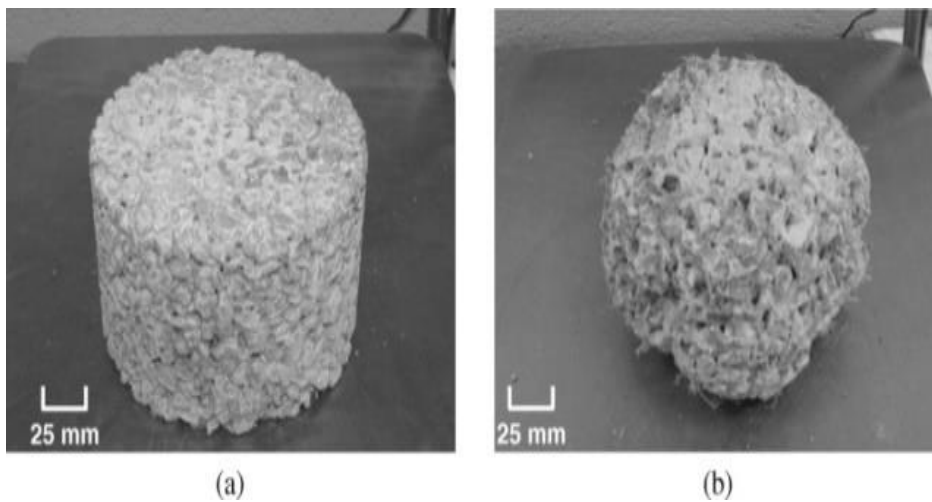
Επιπρόσθετα σε μια μελέτη που αφορά την γήρανση της ασφάλτου με την χρήση πίεσης, οι Herrington, P.R., Reilly, S., (2005) υποστηρίζουν ότι έχει αναπτυχθεί μια απλή διαδικασία εργαστηριακής δοκιμής για την επιτάχυνση της οξείδωσης των συμπιεσμένων δειγμάτων ασφάλτου. Αυτή η μελέτη συμπεριλαμβάνει τη θέρμανση των κυλινδρικών δειγμάτων ασφάλτου με διαμέτρου 65 mm και με ύψος 65 mm στους 80 ° C για 3 ημέρες σε φούρνο υπό πίεση αέρα 2070 kPa . Η σύγκριση του ιξώδους του ανακτημένου συνδετικού υλικού με εκείνη των δειγμάτων πεδίου των ηλικιωμένων, δείχνει ότι η διαδικασία αντιστοιχεί σε οξείδωση ισοδύναμη με εκείνη από περίπου 4,5 χρόνια του πραγματικού πεδίου. Οι περισσότεροι ερευνητές χρησιμοποίησαν χαμηλές θερμοκρασίες για να αποτρέψουν την αποστράγγιση του συνδετικού υλικού και τη διάσπαση του μίγματος και μέτρησαν την αντοχή στην τριβή με τη δοκιμή cantabro. Αυτή η μέθοδος δοκιμής μετρά την ανάλυση των συμπυκνωμένων δειγμάτων που χρησιμοποιούν στο Λος Άντζελες. (Arrieta & Maquilón, 2014). Οι συνθήκες που χρησιμοποιούνται στην δοκιμή cantabro ποικίλλουν, αλλά συνήθως περιλαμβάνουν περιστρεφόμενο συμπιεσμένο κύλινδρο μίξης μεγέθους δοκιμής Marshall σε χαλύβδινο τύμπανο, για 300 στροφές και σε θερμοκρασίες έως 25 ° C. Η δοκιμή Marshall είναι μια δημοφιλής και αποδεδειγμένη μέθοδος για τη μέτρηση του φορτίου και του ρυθμού ροής των δειγμάτων ασφάλτου.

Το βάρος που χάθηκε από το δείγμα οφείλεται στο ότι λόγω τις συμπίεσης των δειγμάτων, μειώνονται τα κενά αέρος μέσα στο καρτό και καταγράφεται ως ποσοστό του αρχικού βάρους. Μια σημαντική θεώρηση για την εξέλιξη της δοκιμής ήταν η σχέση μεταξύ της επίδρασης της διαδικασίας οξείδωσης που χρησιμοποιήθηκε και της γήρανσης του πεδίου. Οι περισσότερες μελέτες έχουν διερευνήσει αποτελέσματα που δείχνουν ότι ο τύπος συνδετικού υλικού επηρεάζει την αντοχή και την οξείδωση στη γήρανση του πεδίου. Για πυκνά μείγματα, δηλαδή εκείνα που έχουν μικρότερο από 10% κενά αέρος, το ερευνητικό πρόγραμμα στρατηγικών οδών της Αμερικής ανέπτυξε πρότυπες βραχυπρόθεσμες και μακροχρόνιες διαδικασίες γήρανσης. Σε βραχυπρόθεσμο έλεγχο, το χαλαρό μίγμα τοποθετείται σε φούρνο στους 135 ° C για 4 ώρες και στη συνέχεια συμπληρώνεται σε δείγματα μεγέθους Marshall για τη μακροπρόθεσμη δοκιμή, η οποία

περιλαμβάνει περαιτέρω θέρμανση 5 ημερών στους 85 ° C. Αυτές οι δοκιμές βρέθηκαν να αντιπροσωπεύουν 5-15 χρόνια γήρανσης του πραγματικού ασφαλτικού πεδίου στις ΗΠΑ, ανάλογα με το κλίμα. (Phil Herrington, Sheryn Reilly and Shaun Cook Opus International Consultants Ltd, Central Laboratories, Lower Hutt, 2005).



Εικόνα 8: Περιστρεφόμενος κύλινδρος συμπίεσης μίξης (Phil Herrington, Sheryn Reilly and Shaun Cook Opus International Consultants Ltd, Central Laboratories, Lower Hutt, 2005)

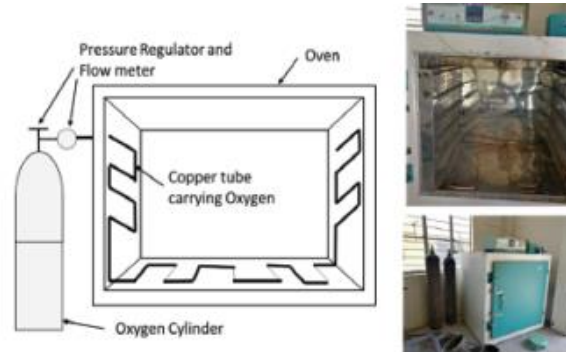


Εικόνα 9: Δείγμα πριν και μετά την συμπίεση (Phil Herrington, Sheryn Reilly and Shaun Cook Opus International Consultants Ltd, Central Laboratories, Lower Hutt, 2005)

2.2.4 Γήρανση ασφάλτου με παροχή οξυγόνου στο φούρνο

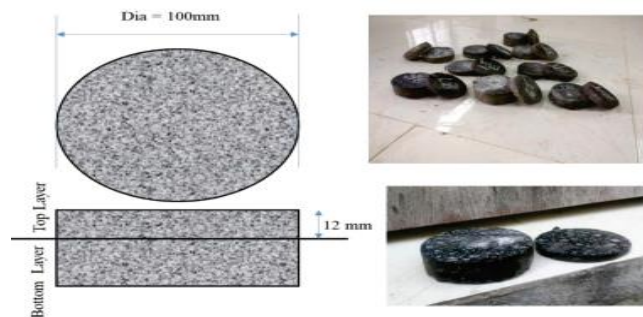
Ένας εργαστηριακός φούρνος ζεστού αέρα τροποποιήθηκε με πρόσθετη δυνατότητα παροχής οξυγόνου. Το οξυγόνο παρέχεται μέσα στο φούρνο μέσω ενός κυλίνδρου με ελεγχόμενο ρυθμό 1 λίτρο ανά ώρα, διατηρώντας την κανονική θερμοκρασία των 85°C. Το μη συμπιεσμένο ασφαλτικό μείγμα σκυροδέματος υποβλήθηκε σε 135°C για 240

λεπτά σύμφωνα με το AASHTO R30 έως προσομοίωση της διαδικασίας βραχυπρόθεσμης γήρανσης. Το μείγμα συμπυκνώθηκε χρησιμοποιώντας τον συμπιεστή Marshall με 75 χτυπήματα σε κάθε πλευρά για να δημιουργηθούν τα κυλινδρικά δείγματα δοκιμής. Τα δείγματα Marshall στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε επιταχυνόμενη οξείδωση στον τροποποιημένο φούρνο, με σταθερή θερμοκρασία 85°C.



Εικόνα 10: Φούρνος με παροχή οξυγόνου (Kambham et al., 2019)

Παρασκευάστηκαν δείγματα ασφαλτούχου σκυροδέματος. Το Μέγεθος του κυλινδρικού δείγματος (καρότου) είχε διάμετρο 102 mm, ύψος του τυποποιημένου συμπιεσμένου δείγματος 63,5 mm και είδος ασφάλτου: VG30.



Εικόνα 11: Δείγματα που παρασκευάστηκαν από την πιο πάνω διαδικασία(Kambham et al., 2019)

Αυτά τα δείγματα υποβλήθηκαν σε γήρανση από 1 έως 15 ημέρες στον τροποποιημένο φούρνο μετά την αρχική βραχυπρόθεσμη γήρανση του μη συμπιεσμένου ασφαλτούχου μείγμα σκυροδέματος. Τα παλαιότερα δείγματα ασφαλτούχου σκυροδέματος δοκιμάστηκαν στη συνέχεια για να βρεθεί η σταθερότητα, η τιμή ροής και ο λόγος αντοχής εφελκυσμού του Marshall. Τα δείγματα συλλέχθηκαν από επιλεγμένες τοποθεσίες στους εθνικούς αυτοκινητόδρομους 16 και 65. Παρατηρήθηκε ότι το εργαστήριο γήρανσης ασφαλτικών μιγμάτων σκυροδέματος, σύμφωνα με το

τροποποιημένο AASHTO R30 και τα δείγματα που πάρθηκαν από το πεδίο είχαν σημαντική διαφορά στις ιδιότητες του συνδετικού.

Αποτελέσματα

Τα ασφαλτικά δείγματα (καρότα) έχουν παλαιωθεί περισσότερο από το ασφαλτικό μείγμα που εξάγεται από το αντίστοιχες φέτες κάτω από ισοδύναμο φούρνο 1 ημέρας και αλλάζει η διείδυση και οι τιμές που λαμβάνονται ως κριτήρια για τον προσδιορισμό του επιπέδου γήρανσης. Επίσης Οι τιμές στο κάτω μέρος του καρότου ήταν συγκρίσιμα με 8 ημέρες εργαστηριακής γήρανσης ενώ η κορυφαία φέτα δεν ήταν συγκρίσιμη ακόμη και μετά από 15 ημέρες γήρανσης. Ωστόσο, ο μέσος όρος (και για τις δύο πάνω και κάτω φέτες μαζί) το σημείο μαλακώματος των δειγμάτων ισοδυναμεί με 14 και 15 ημέρες εργαστηριακής γήρανσης.

Τέλος στη συγκεκριμένη μελέτη μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η επιταχυνόμενη μακροχρόνια γήρανση για ασφαλτικό μείγμα σκυροδέματος μπορεί να αυξηθεί από 5 ημέρες σε 15 ημέρες έως προσομοίωση της μέσης γήρανσης των ασφαλτικών δειγμάτων σκυροδέματος. Αυτή η διαδικασία θα είναι απαραίτητη για την περιοχή όπου η θερμοκρασία του οδοστρώματος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού κυμαίνεται από 50 έως 65 ° C. (Kambham et al., 2019).

Συνοψίζοντας τις πιο σημαντικές πληροφορίες από τις πιο πάνω μελέτες, καταλήγουμε στη δημιουργία του πιο κάτω πίνακα όπου αναφέρονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, οι διαστάσεις των δειγμάτων και τα χρονικά πλαίσια που τοποθετούνται τα δείγματα μέσα στους φούρνους για κλιματισμό, καθώς και κάποια σχόλια.

Πίνακας 2: Βραχυπρόθεσμη και Μακροπρόθεσμη γήρανση ασφάλτου

Μέθοδος	Δείγμα	Βραχυπρόθεσμη γήρανση	Μακροπρόθεσμη γήρανση	Συγγραφέας	Σχόλια
Πρωτόκολλο AASHTO R30	150x178mm	144 ° C για 1,5 ώρα	/	(Sirin et al., 2019)	Στη συνέχεια, τα δείγματα κόπηκαν σε διάμετρο 100 mm με ύψος 150 mm και δοκιμάστηκαν στο AMPT για να ληφθούν οι μηχανικές ιδιότητες των μιγμάτων. Μετά την κοπή των δειγμάτων, δοκιμάστηκαν στο AMPT για να ληφθούν οι μηχανικές ιδιότητες των μιγμάτων
	100X150 mm	135° C για 3-4 ώρες	/	(Sirin et al., 2019)	
Πρωτόκολλο AASHTO	100X150 mm	135° C για 3-4 ώρες	85 ° C για 5 ημέρες	(Paul et al., 2017)	Μετά την βραχυπρόθεσμη γήρανση γίνεται η συμπίεση του ασφαλτικού μείγματος σε έναν επιθυμητό air void level 7% +-0.5% με θερμοκρασία συμπίκνωσης 135° C, έπειτα με τη χρήση ηλεκτρικού τρυπανιού το συμπυκνωμένο δείγμα το μετατρέπουμε σε δοκίμιο τον 100mm διαμέτρου και 150mm ύψους.
	100X150 mm	135° C για 3-4 ώρες	75, 85 και 95°C για 0, 2, 6 και 10 μέρες	(Paul et al., 2017)	

πρωτόκολλα σε WMA	WMA μείγματα	2 ώρες σε 135°C	/	(Yin et al., 2013)	Σχετικά με το πρωτόκολλο που έχει να κάνει με την αναθέρμανση του δείγματος στους 135° C προτάθηκε ως η ελάχιστη ποσότητα χρόνου / θερμοκρασίας ρύθμισης που είναι δυνατή πριν από τη συμπίκνωση
Πρωτόκολλο AASHTO	Χαλαρό μείγμα απλώνεται σε ομοιόμορφο πάχος μεταξύ 25-50 mm	60 ° C περίπου 2 ώρες	85 ° C για 120 ώρες	(Fhwa, 1999)	Η συσκευή φόρτωσης που χρησιμοποιήθηκε , είναι ικανή να εφαρμόζει στατικό φορτίο 56 kN με ρυθμό 72,00 kN / λεπτό
STOA AND LTOA	50 x 50 x 250 mm	135 ° C για 4 ώρες	85 ° C για 5 ημέρες	(Lv et al., 2020)	Αυτή η δοκιμή αντιστοιχεί στην πραγματική γήρανση της ασφάλτου για 5-7 χρόνια.
STOA AND LTOA	/	6 ή 15 ωρών σε θερμοκρασίες 135 ° ή 163 ° C	0, 2 ή 7 ημέρες στους 107 ° C	(Bell, Abwahab, et al., 1994)	Το ηλικιωμένο μίγμα συμπίεστηκε έπειτα σε συμπιεστική προσπάθεια είτε από 1725 είτε από 3450 kPa για βραχυπρόθεσμη γήρανση. Επίσης τα δείγματα εκτέθηκαν σε 690 ή 2070 kPa πίεση για 0, 2 ή 7 στους 25 ° ή 60 ° C

STOA AND LTOA	/	4 ωρών στους 135 ° C	4 έως 8 ημέρες στους 85 ° C ή 2 έως 4 ημέρες στους 100 ° C	(Bell, Wieder, et al., 1994)	Το ηλικιωμένο μίγμα συμπίεστηκε είτε από 1725 είτε από 3450 kPa.
STOA AND LTOA	150 mm × 178 mm	/	2 μέρες στους 85 ° C	(Bell, Abwahab, et al., 1994)	Αρχικά τα συστατικά της ασφάλτου γηρένονται και στη συνέχεια γίνονται δείγματα ασφάλτου(καρότα), με την χρήση πίεσης στο επίπεδο 300 kPa
STOA AND LTOA	διαμέτρου 65 mm και με ύψος 65 mm	135 ° C για 4 ώρες	80 ° C για 3 ημέρες	(Phil Herrington, Sheryn Reilly and Shaun Cook Opus International Consultants Ltd, Central Laboratories, Lower Hutt, 2005)	Η διαδικασία γίνεται σε φούρνο υπό πίεση αέρα 2070 kPa, αυτό το πείραμα αντιστοιχεί σε περίπου 4,5 χρόνια του πραγματικού πεδίου
STOA AND LTOA με χρήση φούρνου με παροχή οξυγόνου	είχε διάμετρο 102 mm και ύψος 63,5 mm	135°C για 240 λεπτά	Από 1 έως 15 ημέρες στον τροποποιημένο φούρνο μετά την αρχική βραχυπρόθεσμη γήρανση	(Kambham et al., 2019)	Αυτή η διαδικασία θα είναι απαραίτητη για την περιοχή όπου η θερμοκρασία του οδοστρώματος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού κυμαίνεται από 50 έως 65 ° C

Εφόσον αναλύθηκε η μέθοδος με τα δείγματα ασφάλτου, στο κεφάλαιο που ακολουθεί αναφέρεται μια διαφορετική μέθοδος με τη χρήση λεπτής μεμβράνης δειγμάτων.

2.2.5 Δοκιμή φούρνου λεπτής μεμβράνης (TFOT)

Όπως αναφέρουν οι Zeng *et al.* (2015) για την μέθοδο γήρανσης ασφάλτου χρησιμοποιήθηκαν ακτίνες UV (Ultra Violet). Η διαδικασία γήρανσης γίνεται για να διαπιστωθεί εάν οι επιπτώσεις στη θερμοκρασία μπορούν να αγνοηθούν. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι στους 30° C - 80° C εμφανίζεται η γήρανση της ασφάλτου με δείγμα ασφάλτου 20g (λεπτό φιλμ), πάχους μεμβράνης ασφάλτου 1,2 mm όπου τοποθετείτε σε σιδερένιο σκεύος 150mm, στους 50° C σε φούρνο TFOT (Thin film oven test). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στις 20 μέρες το δείγμα επηρεάζεται ελαφρός. Η θερμοκρασία επηρεάζει τη διαδικασία γήρανσης με δύο τρόπους. Το ένα είναι με την αύξηση του ποσοστού πτητικότητας των ελαφρών συστατικών και το άλλο με την επιτάχυνση της ταχύτητας οξείδωσης της ασφάλτου. (Zeng *et al.*, 2015)



Εικόνα 12 : φούρνος που χρησιμοποιείται για την διαδικασία TFOT (Zeng *et al.*, 2015)

Μια δεύτερη έρευνα που έγινε από τους Naderi, Nejad and Khodaii, (2019) και σχετίζεται με τη δοκιμή φούρνου λεπτής μεμβράνης, υποστηρίζει ότι η διάρκεια ζωής των ασφαλτικών οδοστρωμάτων είναι συνήθως μεταξύ 10 και 15 ετών. Η γήρανση της ασφάλτου περιλαμβάνει βραχυπρόθεσμη και μακροχρόνια διαδικασία γήρανσης. Η δοκιμή περιστρεφόμενου φούρνου RTFOT (Rolling Thin-Film Oven Test) χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της βραχυπρόθεσμης γήρανσης που εμφανίζεται κατά την παραγωγή, την αποθήκευση, τη μεταφορά και την οδόστρωση. Η δοκιμή γήρανσης υπό πίεση PAV (Pressure Aging Vessel) χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση

της μακροχρόνιας γήρανσης που εμφανίζεται επί τόπου και αποδεικνύει τη γήρανση που εμφανίζεται φυσικά μεταξύ 7 και 10 ετών . Στη δοκιμή, η ασφαλτος κατανέμεται ομοιόμορφα σε τρία ορθογώνια κουτιά για να σχηματίσει ένα φιλμ πάχους 300 μm . Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ηλικιωμένη ασφαλτος σε δοκιμή απλής γήρανσης (SAT) για 50 λεπτά στους 150 ° C είχε παρόμοιες ιδιότητες με αυτή από την RTFOT. Επίσης, έγινε δοκιμή, για 40 ώρες στους 100 ° C, και είχε τα ίδια αποτελέσματα με την ασφαλτο από τον PAV. Ωστόσο, η ποσότητα του δείγματος ασφάλτου, που είναι μόλις 3 g, είναι πολύ μικρή για άλλες δοκιμές. Για παράδειγμα, στη δοκιμή διείδυσης, η απαιτούμενη ποσότητα του δείγματος ασφάλτου είναι περίπου 60 g, που είναι 20 φορές η ποσότητα του δείγματος ασφάλτου από το SAT. Αυτό σημαίνει ότι τα πειράματα SAT πρέπει να διεξάγονται τουλάχιστον 20 φορές, εάν απαιτείται η διείδυση της ασφάλτου. (Naderi, Nejad and Khodaii, 2019)



Εικόνα 13: Rolling Thin-Film Oven Test (Naderi et al., 2019)



Εικόνα 14: Pressure Aging Vessel (PAV) (Naderi et al., 2019)

Σε μια άλλη έρευνα, τα δείγματα δοκιμαστικού μίγματος ασφάλτου παλαιώνονται στον φούρνο για 5 ημέρες και η θερμοκρασία του φούρνου είναι στους 85 ° C. Αυτή η κατάσταση χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της μακροχρόνιας γήρανσης του

πραγματικού ασφαλτικού οδοστρώματος για 6-9 χρόνια. Τόσο η δοκιμή φούρνου λεπτού φιλμ (RTFOT) όσο και οι μέθοδοι βραχυχρόνιας γήρανσης του φούρνου (STOA) χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο για να αντιπροσωπεύουν τη γήρανση ενός ασφαλτικού συνδετικού υλικού κατά τη διάρκεια της ανάμειξης και της μεταφοράς του οδοστρώματος. Το RTFOT διεξάγεται στους 163 ° C για 85 λεπτά και οι μέθοδοι που συνιστώνται είναι η STOA για θέρμανση του χαλαρού μίγματος σε φούρνο με ανάγλυφη βύθιση είτε στους 135 ° C για 4 ώρες είτε στους 154 ° C για 2 ώρες ανάλογα με τη δυσκαμψία του συνδετικού άσφαλτου. Ο πραγματικός χρόνος βραχυχρόνιας γήρανσης στον τομέα ποικίλλει ανάλογα με τις αποστάσεις έλξης ή σχετίζεται με τους χρόνους χρήσης των οδοστρωμάτων. (Lee et al., 2008)

Οι Sirin, Paul and Kassem, (2018) υποστηρίζουν ότι οι πειραματικές συνθήκες οδήγησαν στην συμπύκνωση των συμπιεσμένων δειγμάτων για 2 ημέρες σε 85 ° και 1 ημέρα στους 100 ° C για την προσομοίωση της μακροχρόνιας γήρανσης νέων ασφαλτικών μιγμάτων (ηλικίας 1 έως 3 ετών). Το μείγμα χρειάζεται να συντηρείται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (4 έως 8 ημέρες για 85 ° και 2 ως 4 μέρες στους 100 ° C) για ηλικίας 9-10 ετών. Ωστόσο, οι συγγραφείς πρότειναν την αποφυγή της υψηλότερης θερμοκρασίας των 100 ° C, δεδομένου ότι η προετοιμασία των μιγμάτων σε αυτή τη θερμοκρασία θα μπορούσε να προκαλέσει ζημιά. Σε μια πρόσφατη μελέτη, πρότειναν μακροπρόθεσμα πρωτόκολλα γήρανσης για 2 εβδομάδες στους 60 ° C και 5 ημέρες στους 85 ° C που παρήγαγαν μίγματα με ισοδύναμη υπηρεσία σε 7-12 μήνες και 12-23 μήνες αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπόψη τεχνολογία WMA (Warm Mix Asphalt είναι μια άσφαλτος που παράγεται και εφαρμόζεται σε θερμοκρασία περίπου 20 - 40 ° C χαμηλότερη από μια ισοδύναμη "Asphalt Hot Mix"). Αυτή η δοκιμή έδειξε σοβαρή γήρανση των ασφαλτικών οδοστρώσεων στην περιοχή της Μέσης Ανατολής λόγω των σκληρών περιβαλλοντικών συνθηκών. Για τέτοιες συνθήκες, θα χρειαζόνταν 45 και 75 ημέρες στους 85 ° C στο συμπαγές δείγμα για να προσομοιωθεί η ηλικία γήρανσης 5 χρόνων για τη φθορά και τη βάση, αντίστοιχα. Για να αποφευχθεί μια τέτοια μακρά περίοδος ψύξης, ο ερευνητής υποστήριξε ότι η κλινική μελέτη των εναλλακτικών και εναλλακτικών θεραπειών θα απαιτούσε 2-3 και 1-2 ημέρες στους 135 ° C για την προσομοίωση του ίδιου επιπέδου γήρανσης για τη φόρτιση και την πορεία βάσης, αντίστοιχα.

Η επανειλημμένη χρήση πολλαπλών κύκλων του ασφαλτικού οδοστρώματος είναι μια πολύ πρόσφατη εξέλιξη της τεχνολογίας βιώσιμων υλικών οδοστρώματος. Για να

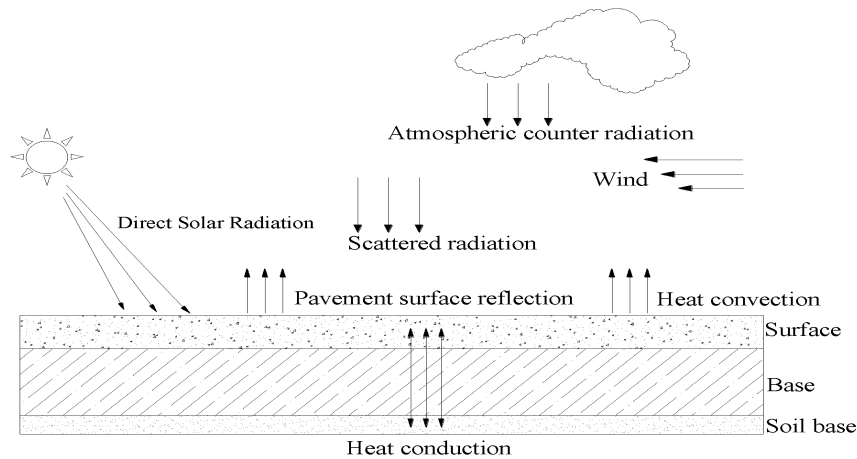
διερευνηθούν οι κανόνες γήρανσης και η δυνατότητα ανακύκλωσης συνδετικών για ασφάλτο σε επαναλαμβανόμενο μίγμα ασφάλτου, τα δείγματα AH-70 ασφάλτου θερμάνθηκαν με τη δοκιμή φούρνου λεπτού φιλμ (RTFOT) στους 163 ° C αντίστοιχα για τα 40, 85, 180, 240, και 300 λεπτά για να προσομοιώσουν διαφορετικούς βαθμούς γήρανσης, και στη συνέχεια οι ηλικιωμένοι ανανεώθηκαν προσθέτοντας ένα αυτο-κατασκευασμένο αναζωογονητικό. Αυτή η διαδικασία γήρανσης και ανακύκλωσης επαναλήφθηκε εντελώς για 5 κύκλους για να προσομοιωθεί η επαναλαμβανόμενη χρήση συνδετικών μέσω RAP. (Nie et al., 2018).

Πίνακας 3: Δοκιμή φούρνου λεπτής μεμβράνης (TFOT)

Μέθοδος	Δείγμα	Βραχυπρόθεσμη γήρανση	Μακροπρόθεσμη γήρανση	Συγγραφέας	Σχόλια
Πρωτόκολλο AASHTO T 240	25 g και πάχος 10-20 μm	85 λεπτά τους 163°C	(πίεση 300 psi) 90°C, 100°C ή 110°C για 20 ώρες (PAV TEST)	(Kanabar, 2010)	Η δοκιμή Rolling Thin-Film Oven ενσωματώνεται στο AASHTO T 240
TFOT	20g λεπτό φιλμ, πάχους μεμβράνης ασφάλτου 1,2 mm	60 °C για 3 ^ο λεπτά	50° C για 20 μέρες (PAV TEST)	(Zeng et al., 2015)	Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στις 20 μέρες το δείγμα επηρεάζεται ελαφρώς
TFOT	φιλμ πάχους 300 μm	50 λεπτά στους 150 °C	40 ώρες στους 100 °C	(Naderi et al., 2019)	Η μέθοδος υποστηρίζει ότι η διάρκεια ζωής των ασφαλτικών οδοστρωμάτων είναι συνήθως μεταξύ 10 και 15 ετών

TFOT	φίλμ πάχους 3.2mm	163°C για 85 λεπτά	(PAV TEST) για 5 ημέρες στους 85°C	(Sirin et al., 2018)	Τα αποτελέσματα από την μακροχρόνια γήρανση έδειξαν όταν για 8 μέρες στους 85 ° C αντιπροσωπεύουν 9 χρόνια πραγματικής γήρανσης της ασφάλτου.
TFOT	Πάχος φίλμ 3.2mm	4 ώρες στους 135°C	4 έως 8 ημέρες για 85 ° C και 2 ως 4 μέρες στους 100 ° C	(Sirin et al., 2018)	Αυτή η διαδικασία γίνεται για να προσομοιώσουν διαφορετικούς βαθμούς γήρανσης
TFOT	/	163 ° C αντίστοιχα για τα 40, 85, 180, 240, και 300 λεπτά		(Nie et al., 2018)	

Σε μελέτη που έγινε από τους Zheng et al. το 2019, αναφέρεται ότι ασφαλτικό οδόστρωμα επηρεάζεται από διάφορους φυσικούς παράγοντες, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, οι θερμοκρασίες στην ατμόσφαιρα και το έδαφος, οι βροχοπτώσεις και η ταχύτητα του ανέμου στο φυσικό περιβάλλον. Αυτοί οι παράγοντες εναλλαγής θερμότητας μιας οδικής επιφάνειας φανερώουν τις συνέπειες λόγω θερμότητας του ασφαλτικού οδοστρώματος. Η επιφάνεια του οδοστρώματος λαμβάνει συνήθως άμεση ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή διάχυτη ακτινοβολία από τον ήλιο και ανακλά μια μικρή ακτινοβολία προς τα έξω. Γενικά, η θερμότητα μεταδίδεται μεταξύ του οδοστρώματος και του περιβάλλοντος μέσω αγωγιμότητας, ακτινοβολίας και μεταφοράς, όπως φαίνεται πιο κάτω στην Εικόνα 15 : Η εικόνα φανερώνει πως μεταδίδεται η θερμότητα στο οδόστρωμα . Η επίστρωση ασφάλτου για το ασφαλτόστρωμα είναι μια λειτουργική στρώση που εφαρμόζεται στις επιφάνειες του οδοστρώματος για να μειώσει την αποθήκευση θερμότητας στο οδόστρωμα μέσω του ανακλώμενου ηλιακού φωτός. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η θερμότητα ακτινοβολίας όλων των θερμικών επιστρώσεων μειώθηκε γύρω στα δύο τρίτα. (Zheng et al. το 2019)



Εικόνα 15 : Η εικόνα φανερώνει πως μεταδίδεται η θερμότητα στο οδόστρωμα (Zheng et al., 2019)

2.2.6 Χρήση τηλεπισκόπησης για ανίχνευση αστοχιών ασφάλτου.

Ένα συχνό φαινόμενο των οδικών δικτύων είναι η παρουσία ελαττωματικών ασφαλτικών επιφανειών. Η συνεχής παρακολούθηση τους μπορεί να οδηγήσει στη μείωση των ελαττωμάτων τους και συγκεκριμένα στη μείωση εμφάνισης αστοχιών. Οι τεχνικές της τηλεπισκόπησης δίνουν τη δυνατότητα μιας αποτελεσματικής και μη επεμβατικής μεθόδου για την έγκαιρη ανίχνευση των κατεστραμμένων οδοστρωμάτων. Επιπλέον η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συνεχή παρακολούθηση των οδοστρωμάτων και εκτενέστερα στη διαχείριση τους. Ωστόσο, έχει χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υλικών και για την ανίχνευση του υλικού σύνθεσης και γήρανσης του οδοστρώματος.

Πρόσθετες τεχνικές τηλεπισκόπησης έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των οδοστρωμάτων, όπου περιλαμβάνουν χαρτογράφηση των αστικών αδιαπέραστων επιφανειών που είναι πολύ χρήσιμες για τη διαχείριση των πλημμυρών και χαρτογράφηση της κατάστασης και ηλικίας των ασφαλτικών επιφανειών που βοηθά στη διαχείριση της οδικής κυκλοφορίας, την ασφάλεια και το κόστος συντήρησης.

Αρχικά, στην τηλεπισκόπηση χρησιμοποιήθηκαν διεξοδικά τα κανάλια του ορατού (VIS) και του εγγύς υπέρυθρου (IR) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ως οι κύριες φασματικές ζώνες ανίχνευσης. Συγκεκριμένα, με φασματοραδιόμετρο IR/VIS απεικόνισης μπορούν να αποκτηθούν εικόνες με μέγεθος εικονοστοιχείου 20 μέτρα, από ένα αεροσκάφος της NASA ER-2, που βρίσκεται σε υψόμετρο 20 χιλιόμετρα, ή αντίστοιχα μπορούν να αποκτηθούν εικόνες από ένα αεροσκάφος με χαμηλότερο

υψόμετρο σε χωρικές αναλύσεις της τάξης του 1-4 μέτρα, βέβαια με μειωμένο πλάτος λωρίδας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα κανάλια αυτά παρουσιάζουν τον μέγιστο ηλιακό φωτισμό, καθώς και στο ότι υπάρχουν διαθέσιμοι ανιχνευτές αυτής της ακτινοβολίας, όπως οι ηλεκτροπτικοί και οι φωτογραφικοί. Με τους ανιχνευτές της Τηλεπισκόπησης παρέχεται η δυνατότητα ανίχνευσης της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από κάποια επιφάνεια και καταγράφεται η ένταση της σε διαφορετικά κανάλια του φάσματος.

Μια άλλη εφαρμογή τηλεπισκόπησης, είναι τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) (Unmanned Aerial Vehicle), που είναι συσκευές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή πληροφοριών σε εκτεταμένες περιοχές με πολύ υψηλή χωρική ανάλυση εικονοστοιχείου σε σχέση με τα δορυφορικά δεδομένα. Σκοπός της εφαρμογής αυτής είναι να προσδιοριστεί κατά πόσον «δεν χρειάζεται συντήρηση».

Ακόμα, μια εφαρμογή τηλεπισκόπησης, είναι η φασματοσκοπία πεδίου η οποία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διάφορες άλλες μελέτες και διαφορετικές εφαρμογές, με σκοπό να υποστηρίξει την παρακολούθηση φαινομένων. Τα φασματοραδιόμετρα πεδίου αξιολογήθηκαν ως κατάλληλα εργαλεία για τον προσδιορισμό των φασματικών περιοχών, κατά τα οποία η παράμετρος μπορεί να ανακτηθεί καλύτερα, βέβαια αυτό δεν χρησιμοποιείται εκτενώς για την ανίχνευση ελαττωμάτων σε ασφαλτοστρωμένο οδικό δίκτυο. Ως εκ τούτου, η ολοκλήρωση των συστημάτων θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό και την χαρτογράφηση των ελαττωμάτων των ασφαλτικών επιφανειών. Φαίνεται καθαρά ότι η γήρανση των ασφαλτικών επιφανειών και τα ελαττώματα τους μπορούν να επηρεάζουν την ανακλαστικότητα, ενώ η χρήση των τεχνικών τηλεπισκόπησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό ορισμένων ασφαλτικών αστοχιών. (Κυπριανού, 2016)

Σε μια άλλη έρευνα που έγινε από τον E.Bauer (1975), το ραδιόμετρο είναι ένα όργανο που μετράει την πυκνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το ραδιόμετρο αποτελείται από μία γυάλα από το εσωτερικό της οποίας έχει αφαιρεθεί μέρος του αέρα. Μέσα στη γυάλα βρίσκεται τοποθετημένος ένας άξονας με 4 ελαφρά πτερύγια. Η μία πλευρά των πτερυγίων είναι μαύρη ενώ η άλλη είναι μέταλλο συνήθως σε ασημί χρώμα. Όταν πέσει ακτινοβολία στη συσκευή, η μαύρη πλευρά των πτερυγίων απορροφά περισσότερη ακτινοβολία από ότι η μεταλλική πλευρά. Η μαύρη πλευρά των πτερυγίων θερμαίνεται και μεταδίδει θερμότητα και στον αέρα που βρίσκεται κοντά της. Αυτό έχει

ως αποτέλεσμα η πίεση του αέρα κοντά στη μαύρη πλευρά των πτερυγίων να είναι μεγαλύτερη. Αυτή η διαφορά στην πίεση δημιουργεί την κίνηση του ραδιόμετρου. Η ταχύτητα περιστροφής εξαρτάται από την ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται η συσκευή.

Ακολούθως κάποιοι ορισμοί που παρουσιάζονται από τον E.Bauer (1975) φαίνονται πιο κάτω:

Ραδιόμετρο: Ένα όργανο που μετρά ποσοτικά την ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε κάποια ζώνη μηκών κύματος στο φάσμα. Συνήθως, ένα ραδιόμετρο περαιτέρω πιστοποιείται από το τμήμα του φάσματος που καλύπτει, όπως στην ορατή, στην υπέρυθρη, ή στην ακτινοβολία των μικροκυμάτων. Το ραδιόμετρο TERRA MKS-05 της ECOTEST βρίσκεται στην κορυφή του είδους του με εξαγωγές σε πάνω από 70 χώρες. Είναι μια επαγγελματική συσκευή για επίσημες μετρήσεις επιπέδου ακτινοβολίας, συσσώρευσης και χρόνου συσσώρευσης σωματιδίων ακτινοβολίας β, μέσα σε δευτερόλεπτα. Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι τα 5 ανεξάρτητα κανάλια μέτρησης για εναλλακτική ένδειξη των δεδομένων σε μία οθόνη. Επίσης υπάρχει προειδοποιητικός ήχος κάθε φορά που ανιχνεύει ακτινοβολία και οι μετρήσεις ακτινοβολίας υποβάθρου γίνονται σε 10 δευτερόλεπτα, υπάρχει ψηφιακή οθόνη και η λειτουργία επιτυγχάνεται με 2 μπαταρίες. Τέλος ο σκελετός σε χτυπήματα είναι ανθεκτικός.

Φασματικές Κάμερες: Πρόκειται για κάμερες που έχουν τη δυνατότητα λήψης εικόνων σε διαφορετικά μήκη κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Μπορούν να διακριθούν σε πολυφασματικές ή υπερφασματικές ή ultra-φασματικές ανάλογα με την διακριτική ικανότητα των μηκών κύματος που διαθέτουν.

Φασματόμετρο: Μία διάταξη που έχει σχεδιαστεί για την ανίχνευση, τη μέτρηση και την ανάλυση σε φασματικό περιεχόμενο της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Συμβατικά, φασματόμετρα απεικόνισης χρησιμοποιούν πρίσματα για να διακρίνουν τη φασματική ακτινοβολία.

Φασματοραδιόμετρο: Ένα ραδιόμετρο που μπορεί να μετρήσει την ένταση της ακτινοβολίας σε πολλαπλές ζώνες μήκους κύματος. Οι ζώνες είναι υψηλής φασματικής ανάλυσης. Ο αισθητήρας είναι σχεδιασμένος για την ανίχνευση συγκεκριμένων παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας, τα χαρακτηριστικά σύννεφων, το χρώμα των ωκεανών, η βλάστηση, το ίχνος χημικών στην ατμόσφαιρα, κλπ. (E.Bauer, 1975)

2.2.7 Έγχρωμη μελέτη ασφαλτοστρωμάτων με φασματοφωτόμετρο

Τα τελευταία χρόνια, οι μηχανικοί δείχνουν αυξημένο ενδιαφέρον των θερμικών φορτίων στη μηχανική συμπεριφορά των οδοστρωμάτων. Ωστόσο, έγινε μια μελέτη για την επίδραση του χρώματος. Στα οδοστρώματα η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζει την συμπεριφορά του ασφαλτοστρωμένου οδοστρώματος και υπάρχει απώλεια χρώματος που συμβαίνει καθώς περνά ο καιρός. Επομένως, η θερμική συμπεριφορά δύο διαφορετικών μιγμάτων ασφάλτου μελετήθηκε πριν και μετά την υποβολή τους σε διαδικασία υποβάθμισης χρώματος. Μελετήθηκαν πέντε διαφορετικά μίγματα ασφάλτου και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με εκείνα που αποκτήθηκαν στους δρόμους πρόσβασης σε επτά χώρους στάθμευσης.

Μια μελέτη χρώματος επιτρέπει την ποσοτικοποίηση του χρώματος οποιουδήποτε υλικού. Αυτό σημαίνει ότι μια αριθμητική τιμή που σχετίζεται με ένα χρώμα μπορεί να ληφθεί για οποιοδήποτε υλικό. Ο χρωματικός χώρος, που ορίζεται από τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού, είναι ίσως το πιο χρησιμοποιούμενο και περιγράφει όλα τα χρώματα που είναι ορατά στο ανθρώπινο μάτι. Σε αυτόν τον χώρο, η συντεταγμένη L αντιπροσωπεύει την ελαφρότητα του χρώματος και κυμαίνεται από $L=0$ που είναι το μαύρο χρώμα, έως $L=100$ που δείχνει το λευκό χρώμα. Συντεταγμένες a και b κυμαίνονται από αρνητικές έως θετικές τιμές και υποδεικνύουν χρώματα από πράσινο έως ματζέντα (ροζ- λιλιά) και από μπλε σε κίτρινο, αντίστοιχα. Έτσι, κάθε χρώμα μπορεί αντικειμενικά να μετριέται με φασματοφωτόμετρο. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για αυτήν τη μελέτη ήταν το Konica Minolta CM-600d, ευγενική προσφορά του Εργαστηρίου Γεωσυνθετικής του Πανεπιστημίου της Κανταβρίας. Η αποδόμηση πραγματοποιήθηκε με τροχιακό τριβείο 200W. Κατά τη διάρκεια της έρευνας, αυτή η διαδικασία προσομοιώνει πόση απώλεια χρώματος υπέστη ένα οδόστρωμα κατά τα πρώτα χρόνια, που θεωρείται ότι είναι η περίοδος στην οποία η απώλεια είναι πιο έντονη.

Διαδικασία:

Η διεργασία αποδόμησης μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια. Κατά την πρώτη, ο στόχος ήταν να προσδιοριστεί ο αριθμός των διακινήσεων N που θα γίνουν με την τροχιακή τριβή πάνω από την επιφάνεια των πλακών HMA. Για το σκοπό αυτό, έξι δείγματα Marshall (κυλινδρικά δείγματα με ονομαστική διάμετρο 101,6 mm) πυκνού βαθμού. Στο εργαστήριο ασφάλτου έγιναν τέσσερις μετρήσεις με το φασματοφωτόμετρο για κάθε δείγμα. Στη συνέχεια, τα δείγματα υποβλήθηκαν σε 75 περάσματα του τροχιακού

τριβείου, λαμβάνοντας μετρήσεις L κάθε 15 περάσματα. Πριν από κάθε μέτρηση, το πληρωτικό εξαπλώθηκε και αφαιρέθηκε. Παρά τα λίγα ήπια ακραία σημεία, μπορεί να φανεί από το διάγραμμα ότι λαμβάνεται ένα ομοιόμορφο εύρος τιμών L για τιμές N υψηλότερες από 45. Επομένως, για το δεύτερο στάδιο της διαδικασίας αποδόμησης, ένας αριθμός 50 περασμάτων θα θεωρηθούν αρκετά για να παρέχουν τη μέγιστη υποβάθμιση χρώματος των δειγμάτων HMA για την τρέχουσα μεθοδολογία δοκιμών.

Μόλις προσδιοριστεί ο αριθμός των διακινήσεων N, στο επόμενο στάδιο συνιστάται η έγχρωμη μελέτη τεσσάρων διαφορετικών μιγμάτων ασφάλτου που έχουν ήδη υποστεί την προηγούμενη διαδικασία υποβάθμισης. Χρησιμοποιήθηκαν οκτώ δείγματα Marshall για κάθε τύπο μίγματος και τέσσερις μετρήσεις σε κάθε δείγμα πριν και μετά την αποικοδόμηση χρώματος. Η παράμετρος χρωματικής υποβάθμισης DL ορίστηκε ως η απώλεια του χρώματος που υπέστη ένα οδόστρωμα λόγω της κίνησης και της συσσωρευμένης σκόνης κατά τη διάρκεια των πρώτων χρόνων λειτουργίας του. Μετρήθηκε ως η διαφορά μεταξύ των τιμών του, και λαμβάνεται L με το φασματοφωτόμετρο στην επιφάνεια των πρόσφατα φτιαγμένων δειγμάτων και οι τιμές που λαμβάνονται μετά τη διαδικασία αποδόμησης. Τέλος, για τη σύνδεση της παραμέτρου DL που μετριέται στο εργαστήριο, δείγματα ενός οδοστρώματος ηλικίας χαμηλού όγκου, λήφθηκε η τιμή του L με το φασματοφωτόμετρο στην επιφάνεια των δρόμων πρόσβασης σε επτά διαφορετικούς μικρούς χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων με διαφορετικές ηλικίες και επίπεδα της υποβάθμισης χρώματος. Δεκαέξι μετρήσεις του L πραγματοποιήθηκαν σε χώρους στάθμευσης που χρησιμοποιήθηκαν για να πραγματοποιηθεί μια στατιστική ανάλυση σχετικά με το χρώμα διαδικασία υποβάθμισης στο εργαστήριο και η πραγματική χρωματική υποβάθμιση υποβλήθηκε από αυτόν τον τύπο δρόμων χαμηλού όγκου.

Τα τελικά αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των δύο μιγμάτων ασφάλτου με διαφορετικά διαβαθμίσεις και πυκνότητες. Επιπλέον, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ήταν δυνατή η προσομοίωση της πρώιμης υποβάθμισης του χρώματος που υπέστη δρόμος χαμηλού όγκου. Τέλος, μια μικρή μείωση της θερμοκρασίας και της ικανότητας συλλογής ενέργειας οφείλεται στο ότι μετριέται μετά τη διαδικασία αποικοδόμησης χρώματος. (Pascual-Muñoz et al., 2014)

3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία προτάθηκε να μελετηθεί η γήρανση της ασφάλτου χρησιμοποιώντας δείγματα ασφάλτου (καρότα). Το συγκεκριμένο θέμα στηρίζεται σε διάφορες μεθόδους που μελετήθηκαν όπως είναι η βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη γήρανση, η γήρανση της ασφάλτου με μια άλλη μέθοδο λεπτής στρώσης που κλιματίζεται σε φούρνο και γήρανση ασφαλικών δειγμάτων με χρήση φούρνου παροχής οξυγόνου. Επίσης αναλύθηκαν κάποια πρωτόκολλα που θα μας βοηθούσαν να συλλέξουμε δεδομένα και να τα παρομοιάζουμε με τα δικά μας ώστε να υλοποιήσουμε το εργαστήριο. Στόχος ήταν σύμφωνα με τα άρθρα και τις έρευνες που μελετήθηκαν να συγκριθούν τα δεδομένα από τις εργαστηριακές μελέτες με τα δικά μας δεδομένα και να βρούμε τις κατάλληλες θερμοκρασίες που θα χρησιμοποιούσαμε για την υλοποίησή τους, στο εργαστήριο. Μελετώντας και αναλύοντας τις μεθόδους που αναφέρθηκαν στο κυρίως κείμενο της Πτυχιακής Μελέτης, οι κατάλληλες μετρήσεις και θερμοκρασίες που θα χρησιμοποιούσαμε στο εργαστήριο είναι για βραχυχρόνια γήρανση των ασφαλικών δειγμάτων μας, 135° C για 3-4 ώρες και ακολούθως για μακροχρόνια γήρανση από 4-5 μέρες στους 85 ° C. Κατά την γνώμη μου αυτές οι θερμοκρασίες είναι κατάλληλες, και μπορούν να αντιπροσωπεύουν 5-7 χρόνια γήρανσης του πραγματικού πεδίου. Επίσης για μακροχρόνια γήρανση των δειγμάτων μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε το δείγμα στο φούρνο για 2 ημέρες στους 85° C ή 1 ημέρα τους 100° C, και μπορούν να αντιπροσωπεύουν 1-3 χρόνια γήρανσης του πραγματικού πεδίου.

Αρχικά έγινε υλοποίηση κάποιου μέρους της εργαστηριακής μελέτης, δηλαδή κάποιες προετοιμασίες όπως ανάφερα πιο πάνω στο κεφάλαιο «Εργαστηριακή Μελέτη». Δυστυχώς όμως λόγω της Πανδημίας και των συνθηκών που επικρατούσαν αυτό το χρονικό διάστημα δεν καταφέραμε να εκτελέσουμε τη δοκιμή γήρανσης με τη χρήση φούρνων στο εργαστήριο.

Καλό θα ήταν στο άμεσο μέλλον, έχοντας ελευθερία κίνησης και χρόνου να υλοποιηθεί το εργαστηριακό πείραμα. Έχοντας πλέον αξιόπιστα δεδομένα και αποτελέσματα από το εργαστήριο, θα μπορεί να εφαρμοστεί η ίδια διαδικασία με τη χρήση Τηλεπισκόπησης και έξω στο πραγματικό ασφαλικό πεδίο, χρησιμοποιώντας δορυφόρους και drones για ανίχνευση της γήρανσης. Εφαρμόζοντας αυτή τη μέθοδο, η διακίνηση στα οδοστρώματα

θα είναι πιο ασφαλής εφόσον θα αναγνωρίζονται από τα συστήματα τυχόν προβλήματα και θα αντιμετωπίζονται άμεσα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arfan, A. (2015). Discrimination of Mangrove Ecosystem Objects on the Visible Spectrum Using Spectroradiometer HR-1024. *Forum Geografi*, 29(1), 83–88.
<https://doi.org/10.23917/forgeo.v29i1.794>
- Arrieta, V. S., & Maquilón, J. E. C. (2014). Resistance to Degradation or Cohesion Loss in Cantabro Test on Specimens of Porous Asphalt Friction Courses. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 162(Panam), 290–299.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.210>
- Bell, C. A., Abwahab, Y., Cristi, M. E., & Sosnovske, D. (1994). *Selection of Laboratory Aging Procedures for Asphalt-Aggregate Mixtures*.
- Bell, C. A., Wieder, A. J., & Fellin, M. J. (1994). *Laboratory aging of asphalt-aggregate mixtures*. 254–262.
- Bruegge, C., Chrien, N., & Haner, D. (2001). A spectralon BRF data base for MISR calibration applications. *Remote Sensing of Environment*, 77(3), 354–366.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00214-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00214-0)
- Castorena, C., Ph, D., Rad, F. Y., Elwardany, M., Farrar, M. J., & Glaser, R. R. (2015). *Long-Term Aging of Asphalt Mixtures for Performance Testing and Prediction*. June 2015.
- Cooperative, N., Houston, W. N., Mirza, M. W., & Zapata, C. E. (2006). *Project No . 9-23 Copy No . 1 ENVIRONMENTAL EFFECTS IN PAVEMENT MIX AND STRUCTURAL DESIGN SYSTEMS*. 9.
- E.Bauer, M. (1975). *Τηλεπισκόπηση*. 130–146.
- Fhwa. (1999). *Standard practice for mixture conditioning of hot mix asphalt (HMA)*. 1–6.
- Kambham, B. S., Ram, V. V., & Raju, S. (2019). Simulation of field aging of bituminous concrete with and without warm mix additive using modified oven. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 12(5), 448–455.
<https://doi.org/10.1007/s42947-019-0054-8>
- Kanabar, A. (2010). Physical and Chemical Aging Behavior of Asphalt Cements From Two Northern Ontario Pavement. *Thesis, Queen's University*.

- Lee, S. J., Amirkhanian, S. N., Shatanawi, K., & Kim, K. W. (2008). Short-term aging characterization of asphalt binders using gel permeation chromatography and selected Superpave binder tests. *Construction and Building Materials*.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.08.005>
- Lv, S., Peng, X., Liu, C., Ge, D., Tang, M., & Zheng, J. (2020). Laboratory investigation of fatigue parameters characteristics of aging asphalt mixtures : A dissipated energy approach. *Construction and Building Materials*, 230, 116972.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116972>
- Naderi, K., Nejad, F. M., & Khodaii, A. (2019). Characterizing the aging of asphaltic materials through the evolution of continuous relaxation spectrum. *Petroleum Science and Technology*, 0(0), 1–8.
<https://doi.org/10.1080/10916466.2019.1581815>
- Nie, Y., Sun, S., Ou, Y., Zhou, C., & Mao, K. (2018). Experimental Investigation on Asphalt Binders Ageing Behavior and Rejuvenating Feasibility in Multicycle Repeated Ageing and Recycling. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5129260>
- Pascual-Muñoz, P., Castro-Fresno, D., Carpio, J., & Zamora-Barraza, D. (2014). Influence of early colour degradation of asphalt pavements on their thermal behaviour. *Construction and Building Materials*, 65, 432–439.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.028>
- Paul, D. K., Sirin, O., & Kassem, E. (2017). *Laboratory investigation of asphalt mixture aging*. June. <https://doi.org/10.14311/ee.2016.251>
- Phil Herrington, Sheryn Reilly and Shaun Cook Opus International Consultants Ltd, Central Laboratories, Lower Hutt, N. Z. (2005). *Porous Asphalt Durability Test* (Issue 265).
- Sirin, O., Paul, D. K., Kassem, E., & Ohiduzzaman, M. (2019). Evaluation of short-term aging protocol for asphalt mixtures. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(14).
<https://doi.org/10.3390/app9142783>
- Yin, F., Cucalon, L. G., Martin, A. E., Arambula, E., Chowdhury, A., & Park, E. S. (2013). Laboratory conditioning protocols for Warm-Mix Asphalt. *Asphalt Paving*

Technology: Association of Asphalt Paving Technologists-Proceedings of the Technical Sessions, 82, 177–211.

Zeng, W., Wu, S., Wen, J., & Chen, Z. (2015). The temperature effects in aging index of asphalt during UV aging process. *Construction and Building Materials*, 93, 1125–1131. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.022>

Zheng, M., Tian, Y., & He, L. (2019). Analysis on environmental thermal effect of functionally graded nanocomposite heat reflective coatings for asphalt pavement. *Coatings*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/coatings9030178>

Ευάγγελος, Γ. Ι. and Κ. (2018). *Πτυχιακή εργασία «Οδική Ασφάλεια – Κατασκευή και Συντήρηση Οδοστρωμάτων»*.

Κυπριανού, Τ. (2016). ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ. In *Πτυχιακή εργασία*.

ΣΠΗΛΙΩΤΗΣ, Ξ. (2014). *Εργαστήριο οδοποιΐα υ ασφαλτικά εργα.*

ΣΥΜΒΟΛΑΙΩΝ, Κ. Π. Κ. (2009). *ΤΟΜΟΣ Ε ΑΡΙΘΜΗΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ ΕΙΔΙΚΟΙ ΟΡΟΙ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΡΟΝΟΙΕΣ ΚΛΑΔΟΣ*.