



Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Συγκοινωνιακών Έργων και Μεταφορών

# Εργαστηριακά Θέματα Οδοποιίας - Οδοστρωμάτων

## Ασφαλτικά Υλικά [γ]

Παραμένουσα παραμόρφωση ασφαλτικών μιγμάτων – Δοκιμή Marshall



## Εισαγωγικά

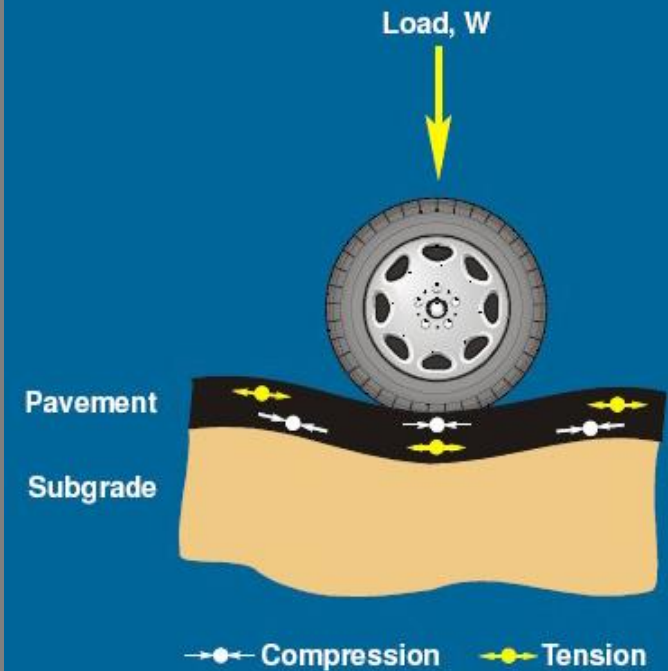
Τα ασφαλτομίγματα όταν φορτίζονται παραμορφώνονται, όπως όλα τα δομικά υλικά.

Η παραμόρφωση που επέρχεται δεν αποκαθίσταται πλήρως με την απομάκρυνση του φορτίου.

Το μέρος που δεν αποκαθίσταται ή δεν αναιρείται ονομάζεται παραμένουσα παραμόρφωση.

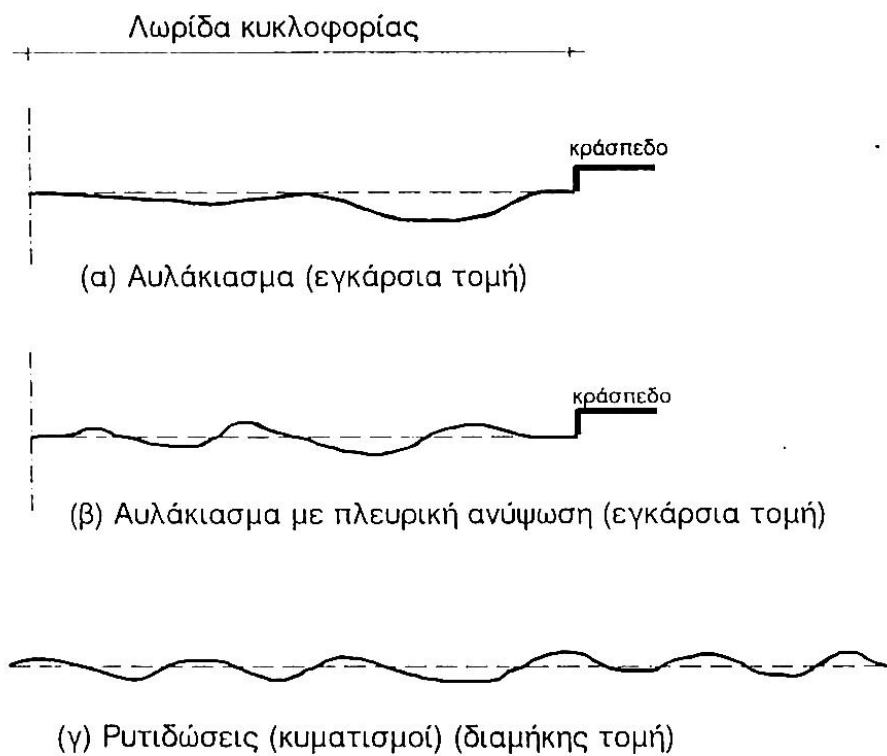
Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη μη ελαστική συμπεριφορά της ασφάλτου η οποία είναι γνωστή ως ιξωδοελαστική συμπεριφορά.

Η παραμένουσα παραμόρφωση των ασφαλτικών μιγμάτων είναι αιτία του φαινομένου του αυλακιάσματος των οδοστρωμάτων το οποίο είναι μια από τις κύριες μορφές αστοχιών του οδοστρώματος.





# Εισαγωγικά



## Επιφανειακές παραμορφώσεις



# Παραμορφωσιμότητα και παραμένουσα παραμόρφωση

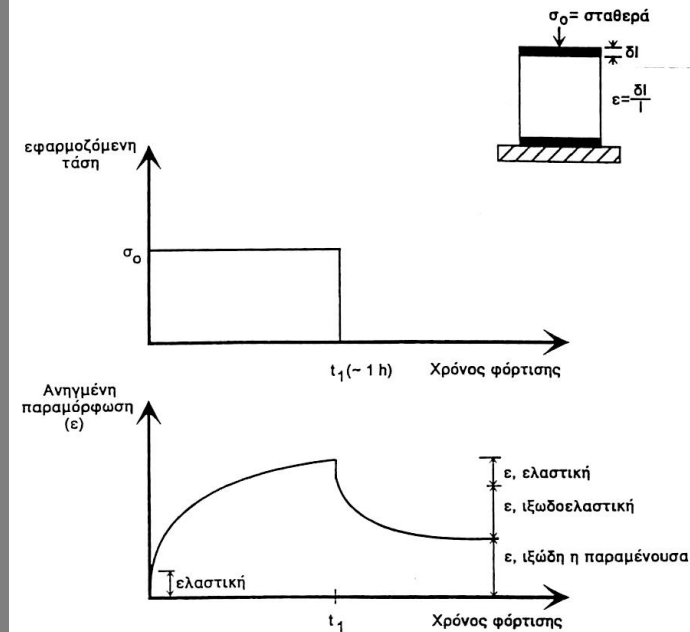
Παραμορφωσιμότητα ορίζεται ως η δυνατότητα του ασφαλτομίγματος να παραμορφωθεί υπό την επίδραση αξονικών φορτίων.

Η ευστάθεια του ασφαλτομίγματος αποτιμάται συναρτήσει της ευστάθειας κατά Marshall και η παραμορφωσιμότητα συναρτήσει της παραμόρφωσης κατά Marshall.

## Παραμένουσα παραμόρφωση:

Το αποτέλεσμα της παραμορφωσιμότητας του ασφαλτομίγματος λόγω της μη ελαστικής συμπεριφοράς του (ιξωδοελαστική συμπεριφορά).

1. Με την εφαρμογή τάσης για κάποιο χρονικό διάστημα επέρχεται παραμόρφωση.
2. Με την απομάκρυνση της τάσης ένα μέρος της παραμόρφωσης αναιρείται (ελαστική παραμόρφωση).
3. Με την πάροδο του χρόνου μέρος της παραμόρφωσης αναιρείται σταδιακά (ιξωδοελαστική παραμόρφωση).
4. Η εναπομένουσα παραμόρφωση ανεξαρτήτως χρόνου ονομάζεται ιξώδης ή παραμένουσα παραμόρφωση.



**Ιξωδοελαστική συμπεριφορά  
ασφαλτομίγματος**



# Παραμορφωσιμότητα και ιδιότητες Marshall

Στο στάδιο της μελέτης του ασφαλτομίγματος η μη ανεκτή παραμορφωσιμότητα αυτού μπορεί να προβλεφθεί εκτελώντας τη δοκιμή Marshall.

Οι ιδιότητες που καθορίζουν την συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος σε παραμόρφωση είναι:

- Η ευστάθεια Marshall
- Η παραμόρφωση Marshall
- Το ποσοστό των κενών
- Το ποσοστό των κενών στο σκελετό των αδρανών (κενά συμπίεσμένων αδρανών) - VMA
- Το ποσοστό των κενών που γέμισαν με άσφαλτο – VFA

Κριτήρια Marshall	Ελαφρύς κ/φ	Μέσος κ/φ	Βαρύς κ/φ	
	Τάπητες κυκλοφορίας και βάσεις			
Συμπύκνωση, κτύποι	2x35	2x50	2x75	
Ελαχίστη Ευστάθεια, kN (1b)	3.3 (750)	5.3 (1200)	8.0 (1800)	
Παραμόρφωση, mm	2.0-4.5	2.0-4.0	2.0-3.5	
Κενά αέρος, %	3-5	3-5	3-5	
% κενών που γέμισαν με άσφαλτο, VFA, %	70 - 80	65 - 78	65 - 75	
Κενά στον σκελετό των αδρανών (VMA), %	Για όλες τις περιπτώσεις			
	Μέγεθος κοσκίνου,mm	Ελάχιστο VMA %		
		για	3%	4%
	63	9.0	10.0	11.0
	50	9.5	10.5	11.5
	37.5	10.0	11.0	12.0
	25	11.0	12.0	13.0
	19	12.0	13.0	14.0
	12.5	13.0	14.0	15.0
	9.5	14.0	15.0	16.0
4.75	16.0	17.0	18.0	
2.36	19.0	20.0	21.0	
1.18	21.5	22.5	23.5	

Σχεδιαστικά κριτήρια χαρακτηριστικών ιδιοτήτων Marshall



## Δοκιμή Marshall

Ο προσδιορισμός της ευστάθειας και της παραμόρφωσης των δοκιμίων αποτελεί το πιο σημαντικό σημείο του ελέγχου Marshall.

Οι μετρήσεις αυτές δίνουν σημαντικές πληροφορίες για το ασφαλτικό σκυρόδεμα σχετικά με την αντοχή, την ελαστικότητα του και την ανθεκτικότητά του στο χρόνο.

### Δοκιμή Marshall:

Δοκιμή κατά την οποία ελέγχεται η συμπεριφορά ενός δοκιμίου ασφαλτικού σκυροδέματος (ευστάθεια) υπό θλίψη.

Η ευστάθεια είναι συνάρτηση (μεταξύ άλλων) και του ποσοστού ασφάλτου που το δείγμα περιέχει.



Συσκευή Marshall



## Δοκιμή Marshall

Η μηχανή αυτόματης δοκιμής σταθερότητας Marshall χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της μέγιστης τιμής φορτίου και ρευστότητας των ασφαλτικών μιγμάτων. Η μηχανή αποτελείται από ανθεκτικό και συμπαγές πλαίσιο δύο στηλών με ρυθμιζόμενη άνω εγκάρσια δοκό, ηλεκτροκινητήρα και έναν ατέρμονα που στεγάζονται μέσα στο κουτί της βάσης.

Η ταχύτητα κίνησης της πλάκας είναι 50,8 mm / min και διατηρείται σταθερή υπό φορτίο χάρη στον πολύ ισχυρό ηλεκτροκινητήρα. Για λόγους ασφαλείας, η κίνηση της κάτω πλάκας περιορίζεται προς τα άνω και κάτω μέσω τερματικών διακοπών. Η ρύθμιση πάνω-κάτω της πλάκας γίνεται γρήγορα μέσω των αντίστοιχων πλήκτρων στη μονάδα ψηφιακής ανάγνωσης.

Το σύστημα μέτρησης αποτελείται από μια δυναμοκυψέλη 50 kN προσαρμοσμένη στην άνω εγκάρσια δοκό και ένα αισθητήριο μέτρησης μετατόπισης της κεφαλής 25 x 0,01 mm. Η μηχανή είναι εφοδιασμένη με έναν ψηφιακό ελεγκτή με οθόνη LCD και πλήκτρα μεμβράνης.



Συσκευή Marshall



# Δοκιμή Marshall



Αυτόματος συμπυκνωτής Marshall





# Δοκιμή Marshall



Μήτρα συμπυκνωτής Marshall



## Δοκιμή Marshall

- Μηχανή εφαρμογής δύναμης
- Μήτρα σταθερότητας (stability mould)
- Σύστημα καταγραφής
- Λογισμικό καταγραφής & ανάλυσης



Δοκίμια στη συσκευή Marshall



## Δοκιμή Marshall

Η ευστάθεια και η παραμόρφωση προσδιορίζονται σε ειδικές μετρητικές διατάξεις.

- Ο έλεγχος γίνεται για κάθε δοκίμιο ξεχωριστά.
- Ένα - ένα τα δοκίμια τοποθετούνται στην ειδική υποδοχή - δακτύλιος Marshall ή κεφαλή Marshall - και υπόκεινται σε θλίψη.
- Δύο μετρητικές διατάξεις μετράνε η μία το επιβαλλόμενο φορτίο και η άλλη την εμφανιζόμενη παραμόρφωση.
- Όταν το δοκίμιο σπάσει καταγράφονται η μέγιστη δύναμη που επιβλήθηκε και η αντίστοιχη παραμόρφωση που είχε τότε το δοκίμιο.
- Αυτές οι τιμές αποτελούν αντίστοιχα και τις τιμές ευστάθειας και παραμόρφωσης του δοκιμίου.



Συσκευή Marshall



## Επίδραση παραμένουσας παραμόρφωσης ασφαλτομιγμάτων

Οι παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη της παραμένουσας παραμόρφωσης των ασφαλτομιγμάτων για δεδομένη θερμοκρασία περιβάλλοντος και με δεδομένο ότι το ασφαλτόμιγμα έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις των προδιαγραφών είναι:

- Ο τύπος της ασφάλτου
- Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών
- Ο μέγιστος κόκκος των αδρανών
- Η αναλογία χονδρόκοκκων – λεπτόκοκκων αδρανών στο μίγμα





# Επίδραση παραμένουσας παραμόρφωσης ασφαλτομιγμάτων

## Τύπος ασφάλτου

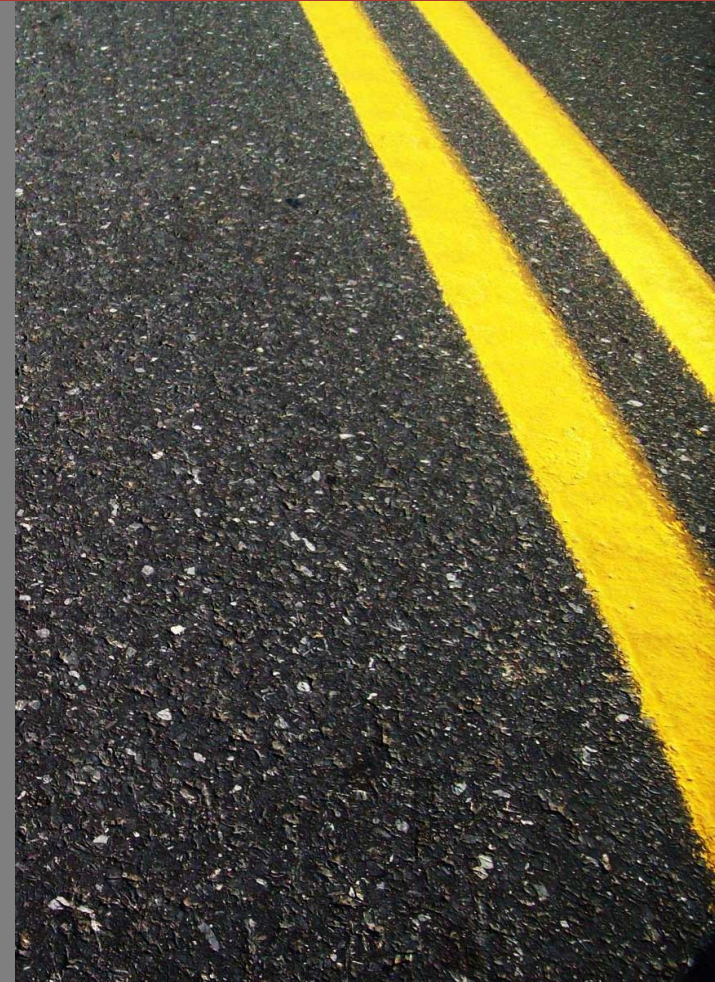
Η σκληρότητα της ασφάλτου καθορίζεται από τη εισδυτικότητα και το σημείο μάλθωσης αυτής.

Όσο πιο σκληρή είναι η ασφαλτος τόσο μικρότερη αναμένεται να είναι η παραμένουσα παραμόρφωση του ασφαλτομίγματος.

Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος.

Η θετική επίδραση της χρήσης σκληρής ασφάλτου στην παραμένουσα παραμόρφωση βρέθηκε ότι είναι περισσότερο αισθητή σε ασφαλτικά σκυροδέματα με σχετικά μικρό μέγιστο κόκκο αδρανών, καθώς και σε μίγματα πλούσια σε ασφαλτο.

Η χρήση τροποποιημένης ασφάλτου βελτιώνει την συμπεριφορά των ασφαλτομιγμάτων σε παραμένουσα παραμόρφωση.





# Επίδραση παραμένουσας παραμόρφωσης ασφαλτομιγμάτων

## Κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών

Τα ασφαλτομίγματα με μη συνεχή κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών, παραμορφώνονται περισσότερο από αυτά με συνεχή κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών (ασφαλτικό σκυρόδεμα).

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στα πρώτα σε αντίθεση με τα ασφαλτικά σκυροδέματα ή γενικότερα μίγματα με συνεχή κοκκομετρική διαβάθμιση, η ευστάθεια και το μέτρο δυσκαμψίας τους οφείλεται κατά κύριο λόγο στη δυσκαμψία του κονιάματος άμμου / παιπάλης / ασφάλτου και όχι στην μηχανική σύμπλεξη των αδρανών.

Ετσι στα μίγματα αυτά επιβάλλεται η χρήση σκληρής ασφάλτου ή τροποποιημένης ασφάλτου για τη διασφάλιση της καλής συμπεριφοράς αυτών σε παραμένουσα παραμόρφωση.





# Επίδραση παραμένουσας παραμόρφωσης ασφαλτομιγμάτων

## Μέγιστος κόκκος των αδρανών

Όσο μεγαλύτερος είναι ο μέγιστος κόκκος του μίγματος των αδρανών τόσο καλύτερη αναμένεται να είναι η συμπεριφορά του μίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση.

## Αναλογία χονδρόκοκκων / λεπτόκοκκων αδρανών στο μίγμα

Όσο η αναλογία χονδρόκοκκων / λεπτόκοκκων αδρανών στο μίγμα αυξάνει, δηλαδή αυξάνει το ποσοστό των χονδρόκοκκων, τόσο μικρότερη θα είναι η αναμενόμενη παραμένουσα παραμόρφωση του ασφαλτομίγματος.





## Επίλογος

Η παραμένουσα παραμόρφωση των ασφαλτομιγμάτων αποτελεί μια από τις κύριες μορφές αστοχίας των εύκαμπτων οδοστρωμάτων.

Το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι περισσότερο εμφανές σε χώρες όπως η Ελλάδα στις οποίες η θερμοκρασία κατά τους θερινούς μήνες διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.

Ο μελετητής διαθέτει εφόδια για να αποτρέψει την σύνθεση ασφαλτομιγμάτων με χαμηλή αντίσταση στην παραμένουσα παραμόρφωση:

- ❖ Σύνθεση ασφαλτομίγματος με τήρηση απαιτήσεων και προδιαγραφών
- ❖ Έλεγχος μίγματος σε παραμόρφωση

Βελτιώσεις στο ασφαλτόμιγμα μπορούν να επέλθουν με χρήση τροποποιημένων ασφάλτων ή αύξηση του ποσοστού χονδρόκοκκων αδρανών.







Τέλος ενότητας  
Ευχαριστώ για την προσοχή σας!