

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Υλικά και δοκιμές για ασφαλτικά οδοστρώματα

Υπεύθυνος διδασκαλίας: Αθανάσιος Χασιακός
Επιμέλεια παρουσίασης: Παναγιώτης Φαρμάκης



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ & ΣΤΟΧΟΙ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Παρουσίαση των βασικών δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ευκάμπτων οδοστρωμάτων (αδρανή οδοστρώσις, ασφαλτικές επαλείψεις ασφαλτικό σκυρόδεμα).

ΣΤΟΧΟΣ

Η κατανόηση των ιδιοτήτων τους, του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιούνται αποσκοπώντας στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων κατά το στάδιο εκτέλεσης εργασιών κατασκευής/συντήρησης στο πεδίο.

Αδρανή

Αδρανή: Διαβαθμισμένα κοκκώδη υλικά ορυκτής (άμμοι, χαλίκια, σκύρα) ή βιομηχανικής προέλευσης, που στην οδοποιία χρησιμοποιούνται είτε αυτούσια για την κατασκευή στρώσεων οδοστρωσίας (υπόβαση, βάση) είτε σε συνδυασμό με την άσφαλτο ως συγκολλητικό μέσο για την παραγωγή ασφαλτικών μιγμάτων.

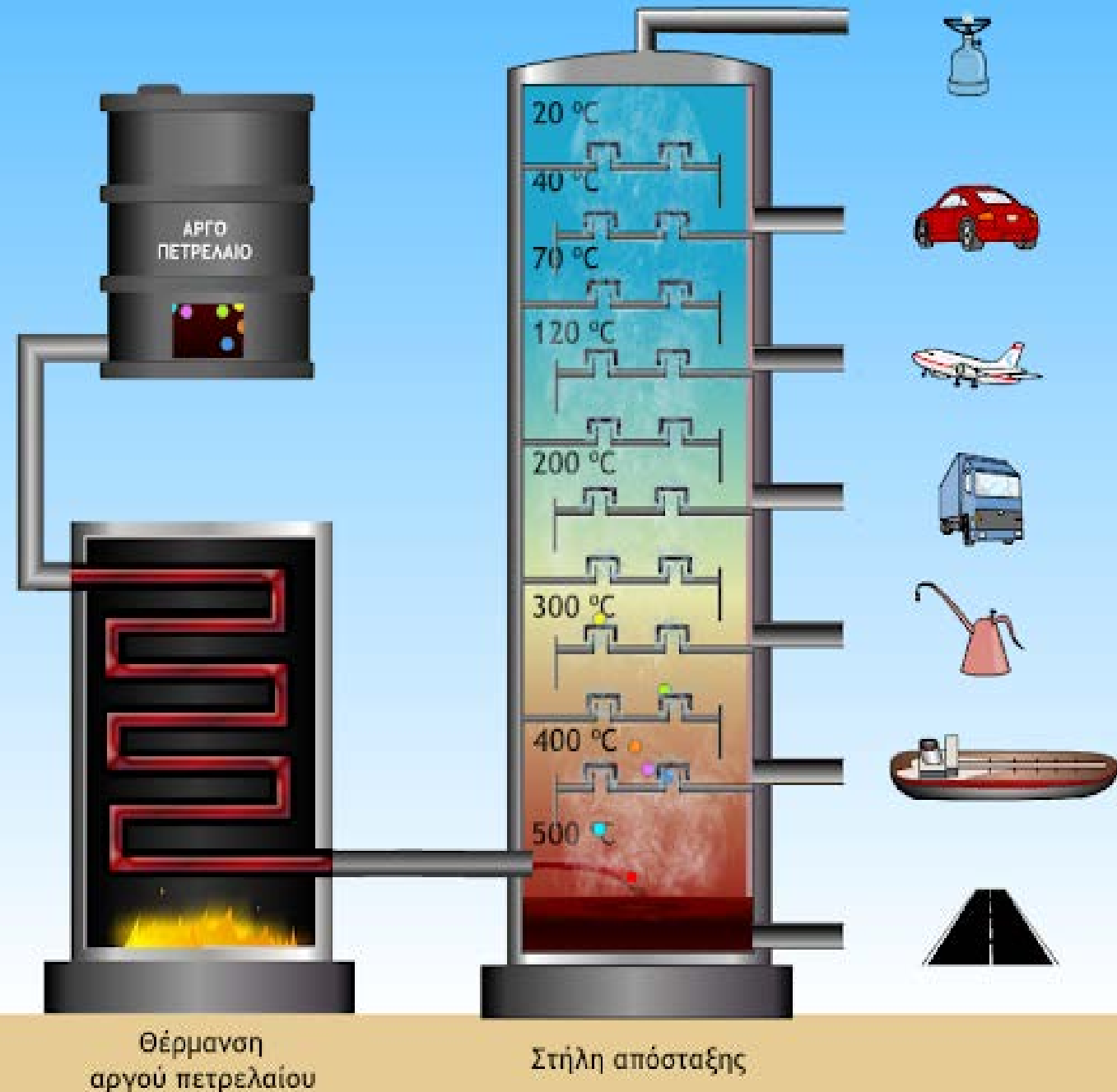
Οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι, στην πλειονότητα τους, δεν αντιδρούν χημικά με τις “συγκολλητικές” ύλες.



Άσφαλτος

Άσφαλτος: Η άσφαλτος προκύπτει ως το τελευταίο κλάσμα της διύλισης του αργού πετρελαίου και είναι ένα σύνθετο μείγμα διαφορετικών οργανικών ενώσεων καθώς περιέχει μερικώς υδρογονωμένους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (ναφθαλίνη), πολικές αρωματικές ενώσεις (π.χ. φαινόλες υψηλού μοριακού βάρους), κορεσμένους υδρογονάνθρακες (παραφίνη) και ασφαλτένια (ένα μείγμα φαινολών και ετεροκυκλικών ενώσεων).

Χρησιμοποιείται στην οδοποιία ως συγκολλητικό μέσο για την κατασκευή επιφανειών κύλισης.





Ασφαλτικό σκυρόδεμα

Ασφαλτικό σκυρόδεμα: Είναι το ευσταθές μίγμα αδρανών συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης και ασφαλτικού συνδετικού υλικού σε προκαθορισμένες αναλογίες που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ασφαλτικών στρώσεων.

Χαρακτηριστικά ασφάλτου

Η άσφαλτος ταξινομείται με βάση το βαθμό διεισδυτικότητας (penetration grade) ο οποίος προκύπτει από την εκτέλεση της δοκιμής διεισδυτικότητας (Needle Penetration test, EN 1426). Αναλόγως σε ποιο εύρος τιμών εμπίπτει, εμφανίζονται οι παρακάτω:



Τύποι Ασφάλτου: 20/30, 35/50, 50/70 80/100

↑ Βαθμός διεισδυτικότητας \Leftrightarrow ↓ σκληρότητα ασφάλτου

Η επιλογή του τύπου ασφάλτου εξαρτάται από:

- Τον τύπο του παραγόμενου ασφαλτομίγματος.
- Τις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος

Τροποποιημένες ασφαλτοι

Πέραν τις συμβατικής ασφάλτου, συχνά χρησιμοποιείται και τροποποιημένη (με πρόσθετα, κυρίως πολυμερή) ασφαλτος σε μια προσπάθεια βελτίωσης των ιδιοτήτων της.

Κυριότεροι τροποποιητές:

Ελαστομερή (SBS), Πλαστομερή (EVA), Θερμοπλαστικά, Θερμοσκληρυνόμενα

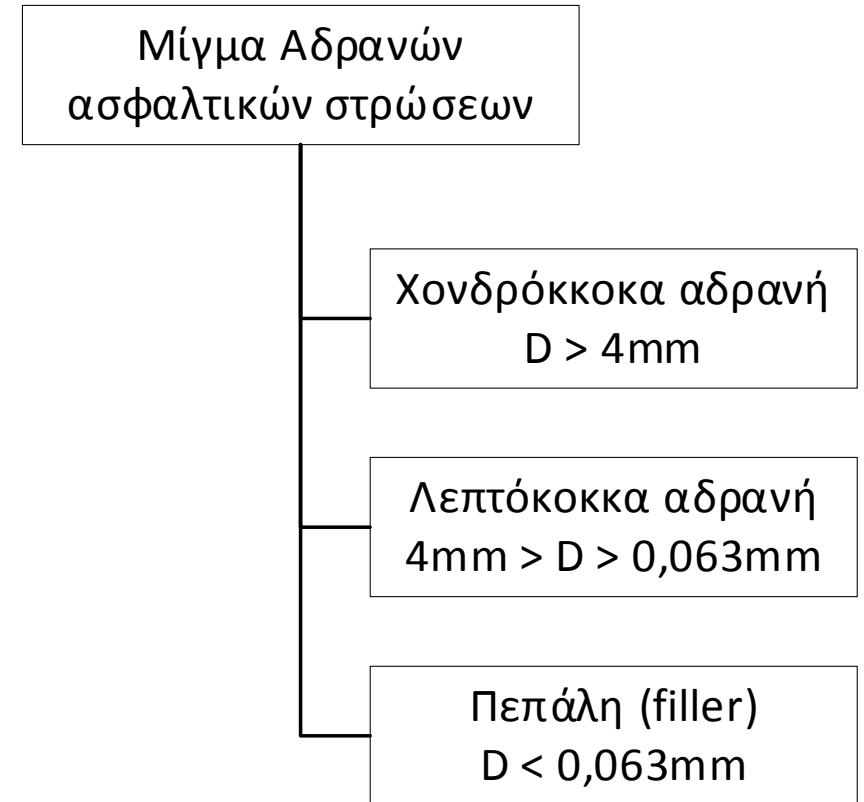
Η χρήση τροποποιητών μπορεί να οδηγήσει σε:

- ▶ Αύξηση της ελαστικότητας σε χαμηλές θερμοκρασίες (αποφυγή θερμικών ρηγματώσεων)
- ▶ Αύξηση της σκληρότητας σε υψηλές θερμοκρασίες (αποφυγή τροχοαυλακώσεων)
- ▶ Βελτίωση της συμπεριφοράς σε επαναλαμβανόμενες φορτίσεις (κόπωση)
- ▶ Επιβράδυνση της γήρανσης της ασφάλτου
- ▶ Ενίσχυση της συγκολλητικής ικανότητας της ασφάλτου

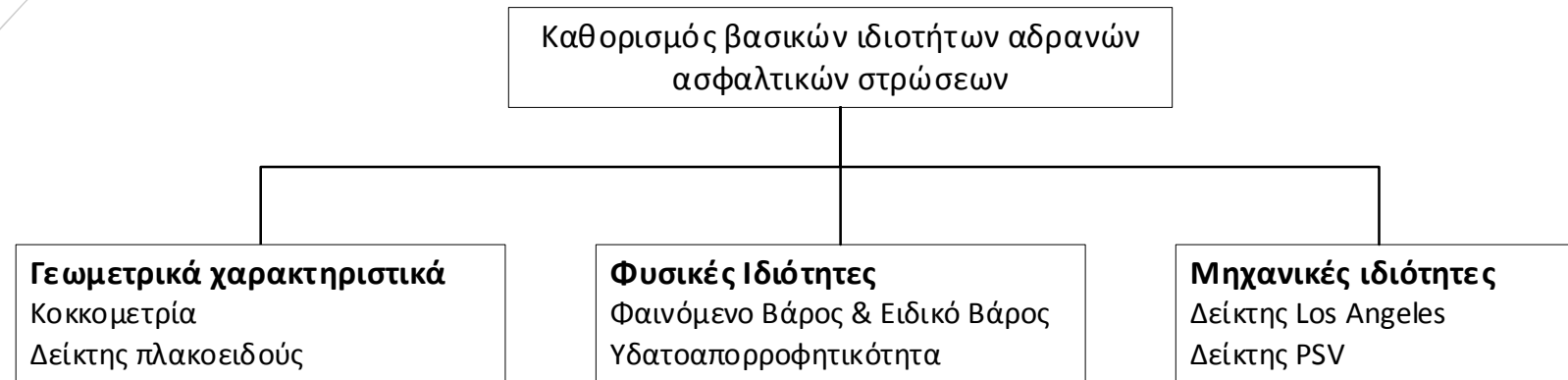
Αδρανή Ασφαλικών Μιγμάτων

Για την παρασκευή ασφαλτικών μιγμάτων αναμιγνύονται συνήθως δυο ή περισσότερα κλάσματα αδρανών (άμμος, ρυζάκι, γαρμπίλι, χαλίκι) σε κατάλληλες αναλογίες.

Τα αδρανή πρέπει να προέρχονται από υγιές πέτρωμα, να είναι καθαρά, συμπαγή, ομοιόμορφα και απαλλαγμένα από οποιασδήποτε μορφής πρόσμικτα (π.χ. χώμα).



ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ & ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ



Χονδρόκοκκα Αδρανή

ΔΟΚΙΜΗ	ΟΡΙΑ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ
Δοκιμή θρυμματισμού από κρούση & τριβή. Los Angeles	≤ 40 για υπεραστικούς ή αστικούς δρόμους ≤ 30 για τους υπόλοιπους δρόμους (αριθμός λωρίδων ≥ 2)
Προσδιορισμός της μορφής κόκκων. Δείκτης πλακοειδούς	> 25
Αποσάθρωση λόγω παγετού (δοκιμή υγείας)	Απώλεια βάρους $< 18\%$

Λεπτόκοκκα Αδρανή

ΔΟΚΙΜΗ	ΟΡΙΑ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ
Δοκιμή θρυμματισμού από κρούση & τριβή. Los Angeles	≤ 30
Ισοδύναμο Άμμου	> 50

Υδατοαπορρόφηση αδρανών $\leq 2\%$

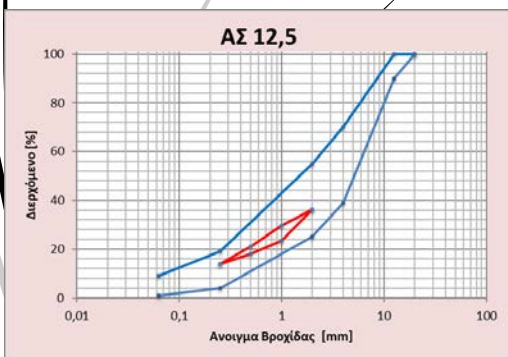
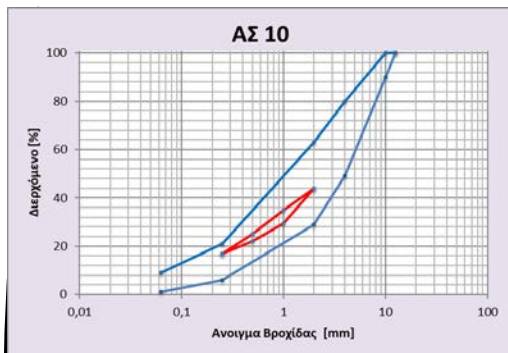
Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών ασφαλικών στρώσεων

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟΥ ΑΔΡΑΝΟΥΣ										
Ονομαστικό άνοιγμα οπής κόσκινου κατά το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 933-2 (mm)	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΠΟΣΟΣΤΟ % (κατά βάρος)									
	Χ-40		Χ-25		Χ-20		Χ-12,5		Χ-10	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
63	100	100								
40	90	99	100	100						
31,5	20	55	90	99	100	100				
20	0	15			90	99	100	100		
12,5			25	60			90	99	100	100
10	0	5			20	55	40	75	90	99
4			0	10	0	10	5	25	10	30
2			0	2	0	2	0	10	0	10
1							0	2	0	2

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥ ΑΔΡΑΝΟΥΣ				
Ονομαστικό άνοιγμα οπής κόσκινου κατά το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 933-2 (mm)	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΠΟΣΟΣΤΟ % (κατά βάρος)			
	Λ-4		Λ-2	
	min	max	min	max
6,3	100	100		
4	85	99	100	100
2	70	95	85	99
1	45	70	60	95
5	23	47	40	80
0,25	6	25	20	50
0,063	0	15	0	15

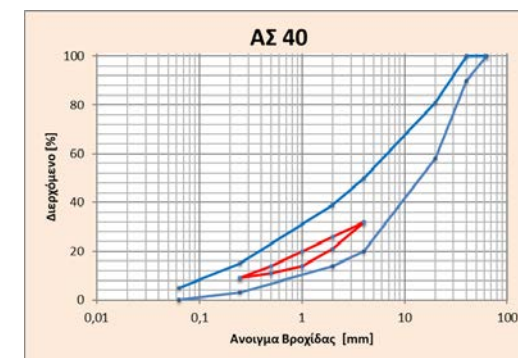
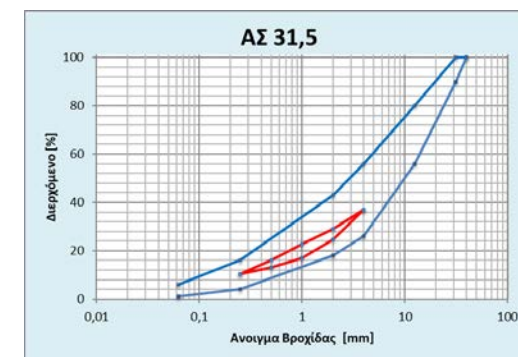
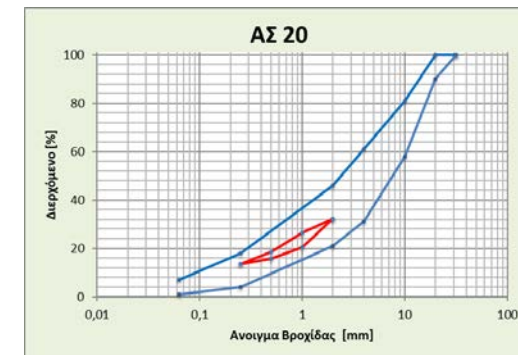
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΕΠΑΛΗΣ		
Ονομαστικό άνοιγμα οπής κόσκινου κατά το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 933-2 (mm)	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΠΟΣΟΣΤΟ % (κατά βάρος)	
	min	max
2	100	100
0,125	85	100
0,063	75	100

Τύποι Ασφαλτομίγματος



Όνομαστικό άνοιγμα οπής κόσκιου κατά το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 933-2 (mm)	ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ									
	ΑΣ 40		ΑΣ 31,5		ΑΣ 20		ΑΣ 12,5		ΑΣ 10	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
63	100	100								
40	90	100	100	100						
31,5			90	100	100	100				
20	58	81			90	100	100	100		
12,5			56	80			90	100	100	100
10					58	81			90	100
4	20	50	26	56	31	61	39	70	49	80
2	14	39	18	43	21	46	25	55	29	63
0,25	3	15	4	16	4	18	4	19	6	21
0,063	0	5	1	6	1	7	1	9	1	9
Προτεινόμενα μεγέθη χονδρόκοκκων αδρανών	X40 & X25		X25		X20		X12,5		X10	
Προτεινόμενα πάχη μεμονωμένων στρώσης (mm)	70 - 100		50 - 80		40 - 60		25 - 40		< 30	
Προτεινόμενη χρήση	Ασφαλτική βάση				Ισοπεδωτική στρώση					
					Επιφανειακή στρώση		Συνδετική στρώση			

Όνομαστικό άνοιγμα οπής κόσκιου κατά το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 933-2 (mm)	ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΖΩΝΕΣ (τελικής κοκκομετρικής καμπύλης μίγματος αδρανών)									
	ΑΣ 40		ΑΣ 31,5		ΑΣ 20		ΑΣ 12,5		ΑΣ 10	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
4	32	32	37	37						
2	21	26	24,5	29	32,3	32,3	36,3	36,3	44	44
1	14	20	17	22,7	20,5	26,5	23,5	29,7	29,5	35
0,5	11	14	13	16	15,7	18,5	18	21	22	25
0,25	9	9	10,4	10,4	13,7	13,7	14	14	17	17



Η τελική κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος των αδρανών υλικών θα πρέπει να είναι ομαλή και κατά το δυνατόν παράλληλη με τις οριακές καμπύλες (κατά προτίμηση έξω και κάτω από τις κρίσιμες περιοχές).

Μελέτη σύνθεσης ασφαλτικού σκυροδέματος

Σκοπός της μελέτης σύνθεσης του ασφαλτικού σκυροδέματος είναι ο καθορισμός της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών και ο προσδιορισμός του βέλτιστου ποσοστού ασφάλτου στοχεύοντας σε:

- ▶ Ικανοποιητική αντοχή σε μόνιμη παραμόρφωση
- ▶ Επαρκή ποσότητα συνδετικού υλικού για την κάλυψη της επιφάνειας των αδρανών
- ▶ Επιθυμητό ποσοστό κενών
- ▶ Ικανοποιητική εργασιμότητα κατά τη διάστρωση και τη συμπίκνωση

Η πιο διαδεδομένη μεθοδολογία είναι η σύνθεση κατά MARSHALL η οποία περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. Προσδιορισμός ιδιοτήτων χρησιμοποιούμενων αδρανών και ασφάλτου
2. Καθορισμός κοκκομετρικής καμπύλης αδρανών
3. Κατασκευή δοκιμίων Marshall για διάφορες περιεκτικότητες ασφάλτου (συνήθως 3,8 - 5%)
4. Προσδιορισμός ευστάθειας & παραμόρφωσης
5. Προσδιορισμός χαρακτηριστικών κενών
6. Ανάλυση & αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Εργαστηριακές δοκιμές ασφάλτου και αδρανών

Πριν την κατασκευή δοκιμίων ασφαλτικού σκυροδέματος, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια σειρά εργαστηριακών δοκιμών στην άσφαλο προκειμένου να καθορισθούν οι βασικές ιδιότητες (και ο τύπος) της ασφάλτου, ήτοι :

- ❖ Δοκιμή διεισδυτικότητας (En 1426)
- ❖ Δοκιμή μάλθωσης (En 1427)
- ❖ Δοκιμή ολκιμότητας (En 13589)
- ❖ Δοκιμή ελαστικής επαναφοράς (En 13398)

Παράλληλα εκτελούνται εργαστηριακές δοκιμές και στα αδρανή για τη διασφάλιση της καταλληλότητάς τους :

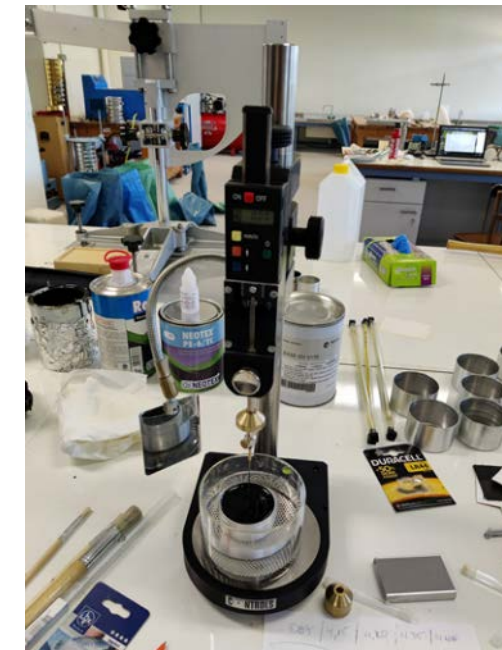
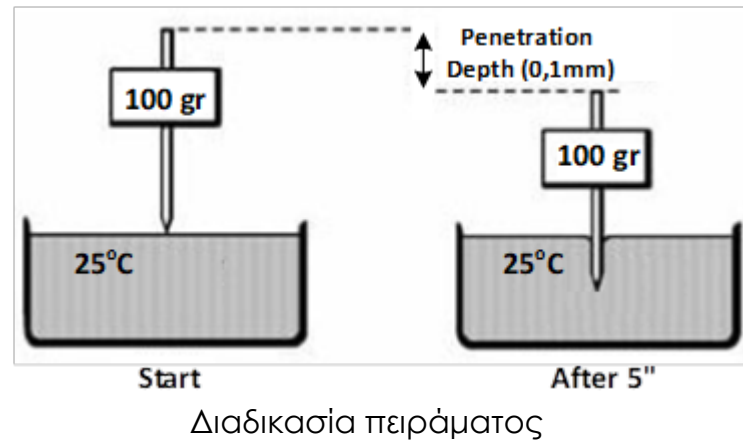
- ❖ Κοκκομετρική ανάλυση (EN 933-1)
- ❖ Δείκτης πλακοειδούς (EN 933-3)
- ❖ Υδατοαπορροφητικότητα (1097-6)
- ❖ Αντίσταση σε κρούση και τριβή κατά Los Angeles (EN 1097-2)
- ❖ Αντίστασή σε επιταχυνόμενη στίλβωση PSV (EN 1097-8)
- ❖ Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση με χρήση MgSO₄ (EN 1367-2)

Δοκιμή διεισδυτικότητας

Η δοκιμή διεισδυτικότητας (Needle penetration test) καθορίζει τη σκληρότητα της ασφάλτου μετρώντας σε pen (0,1mm) το βάθος κατακόρυφης διείσδυσης πρότυπης βελόνας βάρους 100 gr για χρονικό διάστημα 5 sec σε σταθερή θερμοκρασία 25° C.



Δοκίμιο διείσδυσης



Συσκευή διεισδυτικότητας

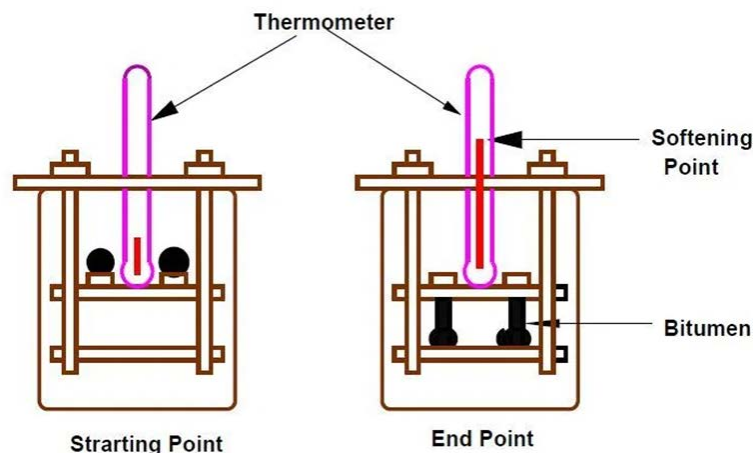
↑ Βαθμός διεισδυτικότητας ⇒ ↓ σκληρότητα ασφάλτου

Δοκιμή Μάλθωσης (Ring and Ball softening point test)

Η δοκιμή μάλθωσης παρέχει εικόνα για τη θερμοκρασία στην οποία μπορεί να θερμανθεί ένα ασφαλτικό συνδετικό υλικό μέχρι να αρχίσει να μαλακώνει. Δύο επίπεδοι δίσκοι με άσφαλτο που στηρίζουν χαλύβδινες σφαίρες μάζας 3,50 gr τοποθετούνται στη διάταξη εντός λουτρού. Η θερμοκρασία αυξάνει με ελεγχόμενο ρυθμό και ως σημείο μάλθωσης καταγράφεται η μέση τιμή των θερμοκρασιών στις οποίες το υλικό μαλακώνει αρκετά ώστε οι σφαίρες να διαπεράσουν μέσα από την άσφαλτο και να πέσουν από ύψος 25 mm.



Δοκίμια μάλθωσης



Διαδικασία πειράματος



Συσκευή μάλθωσης

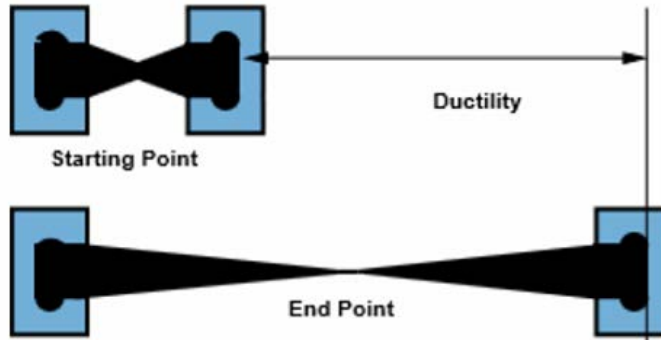
↑ Σημείο Μάλθωσης ⇒ ↑ σκληρότητα ασφάλτου

Δοκιμή Ολκιμότητας (Force ductility test)

Η δοκιμή ολκιμότητας εξετάζει την αντοχή της ασφάλτου σε εφελκυσμό μετρώντας την μήκυνση ασφαλτικού δοκιμίου μέχρι τη θραύση του το οποίο επιμηκύνεται με σταθερή ταχύτητα έλξης 5 cm/min + 5% ασφαλτικό σε σταθερή θερμοκρασία $25 \pm 0,5^{\circ} \text{C}$.



Δοκίμια



Διαδικασία πειράματος



Συσκευή ολκιμότητας

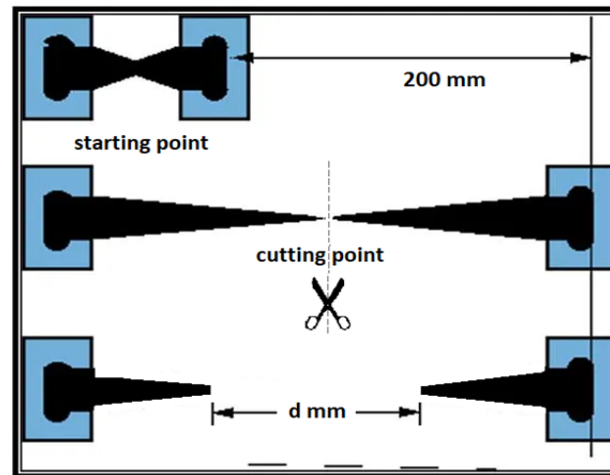
Δοκιμή Ελαστικής Επαναφοράς (Elastic recovery test)

Η δοκιμή ελαστικής επαναφοράς είναι μια παραλλαγή της δοκιμής ολκιμότητας που προσδιορίζει την ελαστικότητα των τροποποιημένων με πολυμερή ασφάλτων μετρώντας την ανακτήσιμη καταπόνηση μετά το κόψιμο δείγματος που έχει επιμηκυνθεί 200 mm με ταχύτητα 50,0 mm/min σε θερμοκρασία 25° C.

$$Re = \frac{d}{L} 100$$



Δοκίμιο

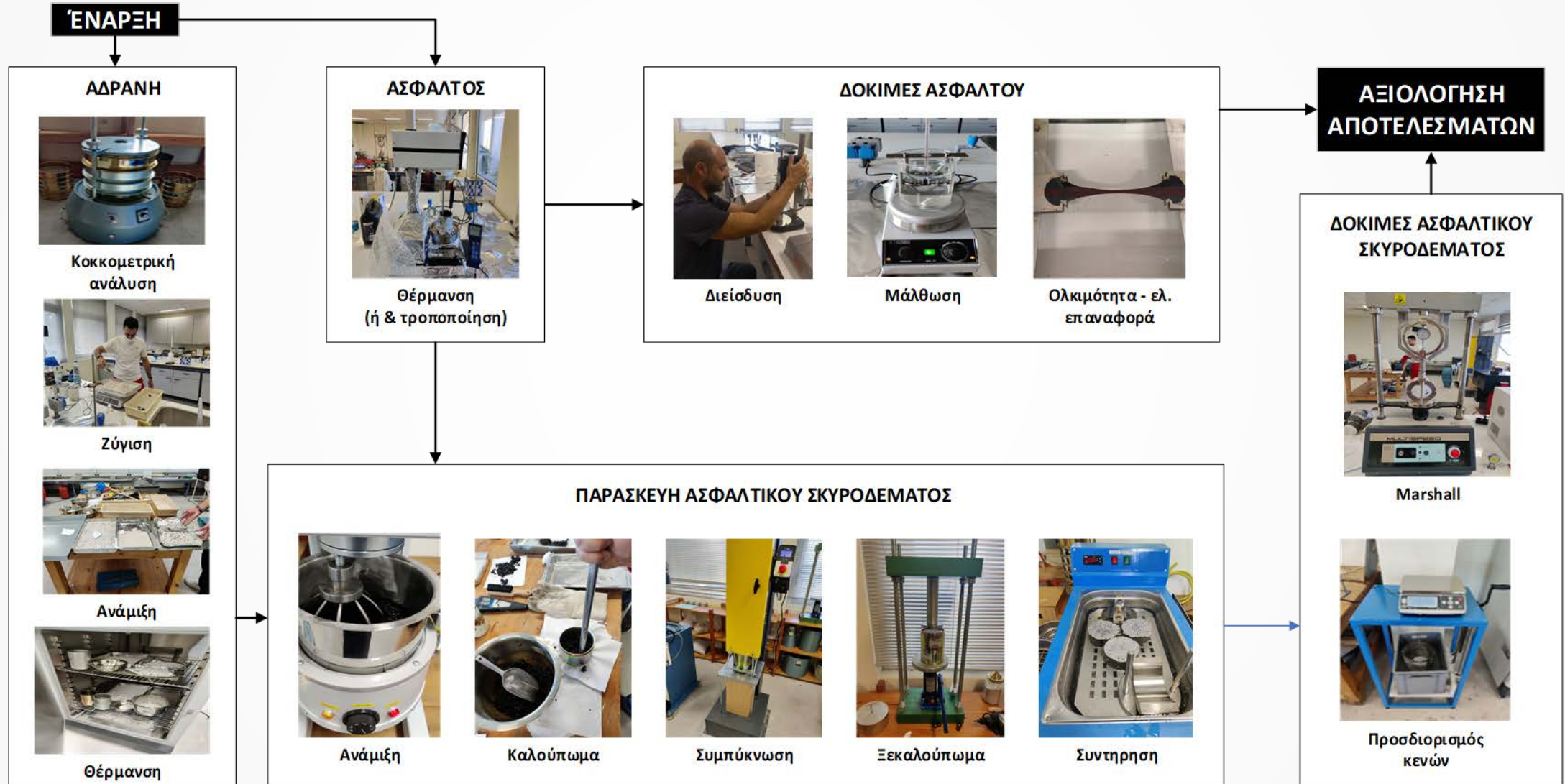


Διαδικασία πειράματος



Συσκευή ελαστικής επαναφοράς

Μελέτη σύνθεσης ασφαλτοσκυροδέματος



Παρασκευή δοκιμίων ασφαλτοσκυροδέματος

- Επαρκές ασφαλτόμιγμα για την κατασκευή τουλάχιστον 3 δοκιμίων βάρους 1.200 gr
- Εξέταση τουλάχιστον 4 με 5 μιγμάτων διαφορετικής περιεκτικότητας σε άσφαλτο (3,8 – 5,3%) για τον καθορισμό του βέλτιστου ποσοστού ασφάλτου.
- Επαρκής χρόνος ανάδευσης για την ομοιόμορφη επικάλυψη των αδρανών με άσφαλτο (≈ 5 min).
- Θερμοκρασία ανάμιξης από 150° C έως 170° C.
- Προ-συμπύκνωση του μίγματος (25 χτύποι με ράβδο συμπύκνωσης) αφού τοποθετηθεί στη προθερμασμένη μήτρα Marshall
- Συμπύκνωση των κυλινδρικών δοκιμίων με χρήση κόπανου Marshall (75 χτύποι από κάθε επίπεδη πλευρά) για προσομοίωση οδοστρώματος οδού βαριάς κυκλοφορίας.
- Πριν την εκτέλεση της δοκιμής Marshall, τοποθέτηση δοκιμίων σε υδατόλουτρο για 45 min ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία 60° C.

Δοκιμή ευστάθειας & ροής κατά Marshall

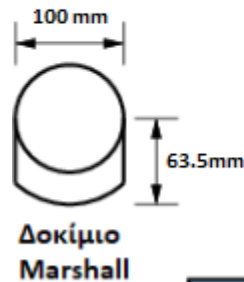
Η δοκιμή καταγράφει τη μέγιστη δύναμη (ευστάθεια) σε kN που καταγράφεται κατά τη θραύση του δοκιμίου καθώς και την παραμόρφωση (ροή) σε mm που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία δοκιμίου 60° C και με ρυθμό φόρτισης (συμπίεσης) 50 mm/min.

Αν και εμπειρική δοκιμή, η δοκιμή Marshall παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος που σχετίζονται με την αντίσταση σε μετατοπίσεις, αυλακώσεις, παραμορφώσεις κλπ κυρίως από εσωτερική τριβή και συνοχή.

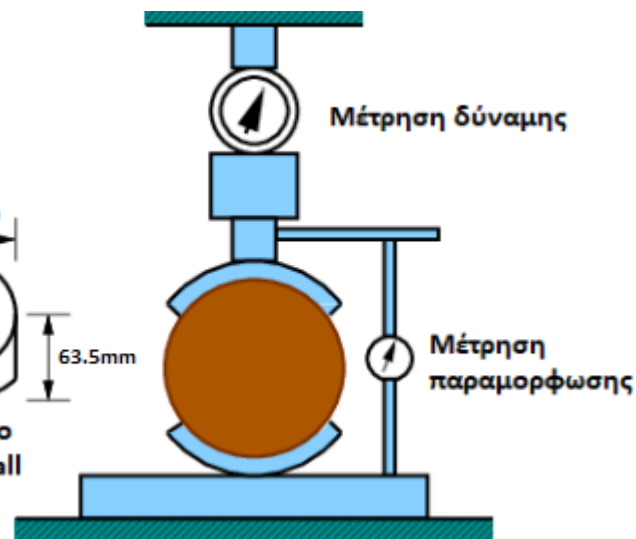
Σημ. Εφαρμόζεται διορθωτικός συντελεστής στην ευστάθεια για ύψος δοκιμίου διαφορετικό από το τυπικό των 63,5 mm



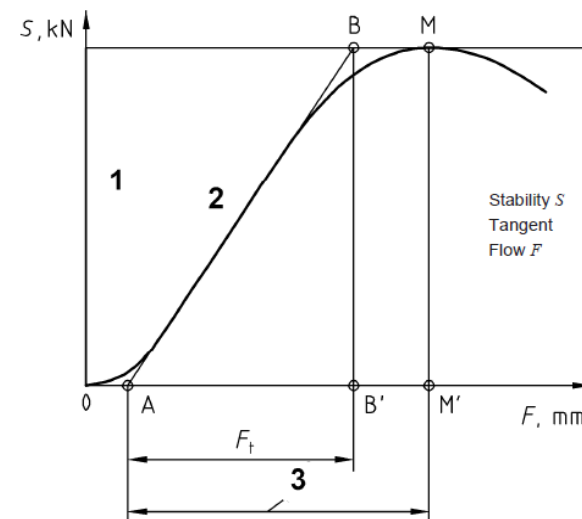
Δοκίμιο



Δοκίμιο
Marshall



Διαδικασία πειράματος



Καμπύλη Marshall



Συσκευή Marshall

Υπολογισμός κενών ασφατικού σκυροδέματος

Φαινόμενη πυκνότητα (ρ_b): Η πυκνότητα του μίγματος συμπεριλαμβανομένων των κενών υπολογίζεται από το βάρος και τον όγκο του είτε με ζύγιση του δοκιμίου μέσα & έξω από το νερό είτε από τις διαστάσεις του.

$$\rho_{bdry} = \frac{m_1}{(m_1 - m_2)} \times \rho_w \times 0,001$$

ή

$$\rho_{bdim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \times h \times d^2} \times 10^3$$

Όπου:

m_1 : μάζα ξηρού δοκιμίου

m_2 : μάζα δοκιμίου στο νερό

d : διάμετρος δοκιμίου

h : ύψος δοκιμίου



Πλαίσιο φαινόμενης πυκνότητας

Μέγιστη Θεωρητική πυκνότητα (ρ_m): Η πυκνότητα του ασφατικού σκυροδέματος χωρίς τα κενά υπολογίζεται είτε με χρήση συσκευής rice είτε αναλυτικά από τις πυκνότητες & τις περιεκτικότητες των συστατικών του.

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w}$$

ή

$$\rho_{mc} = \frac{100}{(p_{a1} / \rho_{a1}) + (p_{a2} / \rho_{a2}) + (p_b / \rho_b)}$$

Όπου:

m_1 : μάζα πυκνόμετρου

m_2 : μάζα πυκνόμετρου & δείγματος

m_3 : μάζα πυκνόμετρου & δείγματος & νερού

p_a : % αδρανών στο μίγμα

ρ_a : πυκνότητα αδρανών

p_b : % ασφάλτου στο μίγμα

ρ_b : πυκνότητα ασφάλτου



Συσκευή Rice

Υπολογισμός κενών ασφαλτικού σκυροδέματος

Κενά αέρος (V_m): Το ποσοστό κενών στο συμπυκνωμένο ασφαλτόμιγμα υπολογιζόμενα από την φαινόμενη και τη μέγιστη πυκνότητα του δοκιμίου.

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100 \%$$

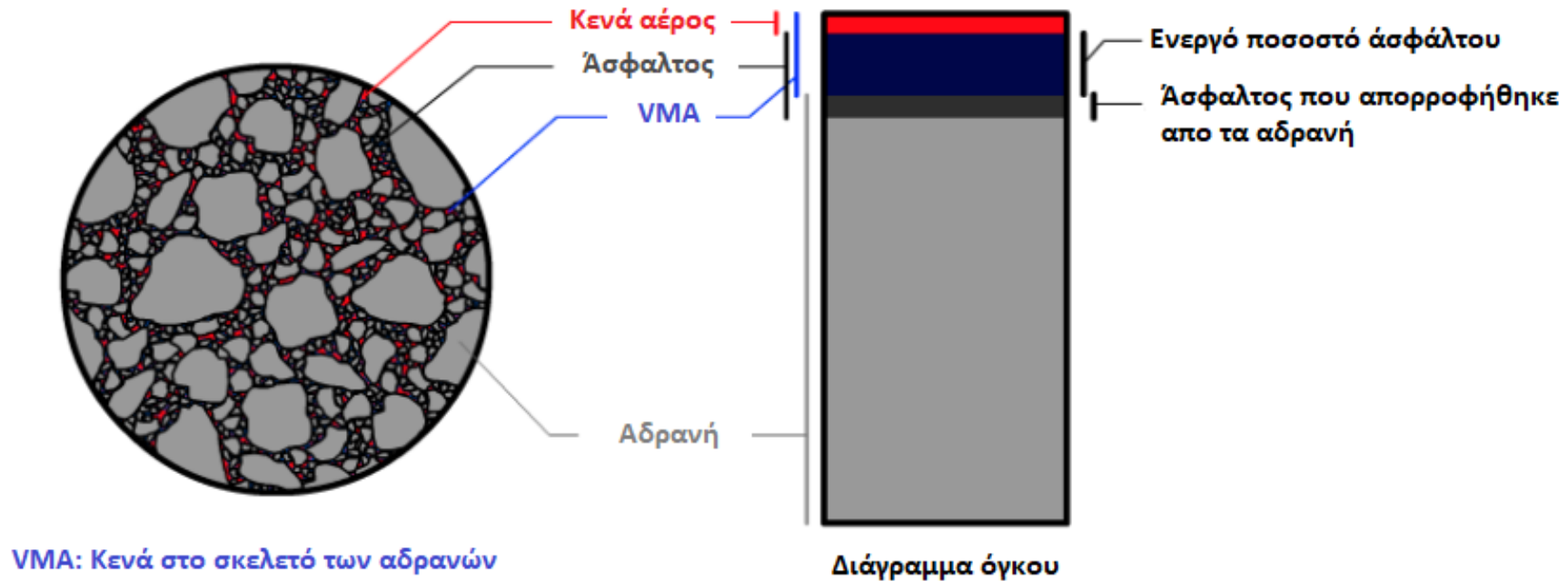
Κενά στον σκελετό των αδρανών (VMA): Τα κενά ανάμεσα στους κόκκους των αδρανών σε ένα συμπυκνωμένο μίγμα (ο όγκος που καταλαμβάνουν τα κενά και η άσφαλτος).

$$VMA = V_m + B \times \frac{\rho_b}{\rho_B} \times 100\% \quad \text{Όπου: } B \text{ ποσοστό ασφάλτου}$$

Κενά πληρωμένα με άσφαλτο (VFB): Το ποσοστό κενών στο σκελετό των αδρανών που έχουν πληρωθεί με άσφαλτο.

$$VFB = ((B \times \rho_b / \rho_B) / VMA) \times 100\%$$

Υπολογισμός κενών ασφαλτικού σκυροδέματος



- Το VMA διασφαλίζει την επάρκεια χώρου στο σκελετό των αδρανών ώστε να τοποθετηθεί η άσφαλτος.
- Το VFB διασφαλίζει ότι επαρκές ποσοστό κενών πληρώθηκε από άσφαλτο των αδρανών (καθώς μέρος της άσφαλτου απορροφάται από τους πόρους των αδρανών και δεν συνεισφέρει στη συγκόλληση των κόκκων).

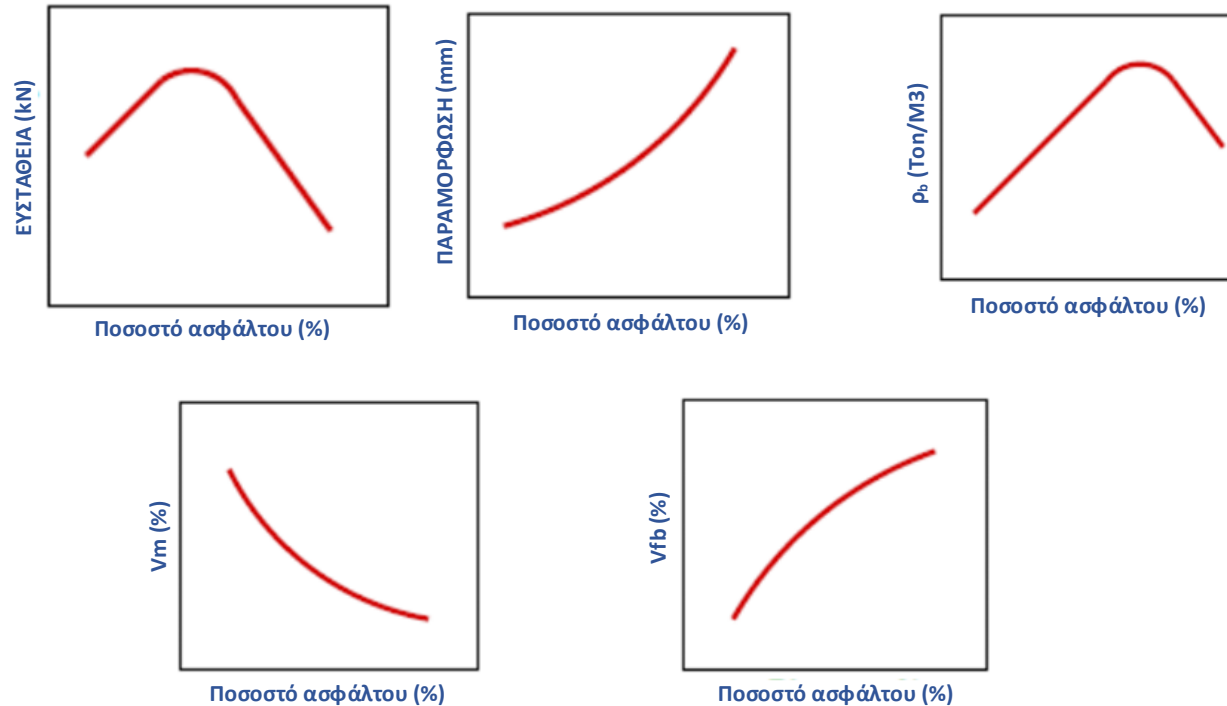
Όρια κανονισμών για το ασφαλικό σκυρόδεμα

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΔΩΝ
Βαθμός συμπύκνωσης (κτύποι)	2x75
Ευστάθεια (kN)	> 8
Παραμόρφωση (mm)	2,0 - 3,5
Κενά αέρος (%)	3,0 - 5,0
Κενά που γέμισαν με άσφαλτο (%)	65 - 74

	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ (mm)	για κενά αέρος		
		3%	4%	5%
Κενά συμπυκνωμένων αδρανών VMA (κενά στο σκελετό των αδρανών) %	ΑΣ40	10	11	12
	ΑΣ31,5	11	12	13
	ΑΣ20	12	13	14
	ΑΣ21,5	13	14	15
	ΑΣ10	14	15	16

- Τα κενά αέρος Vm (3-5%) είναι υψηλής σπουδαιότητας για το ασφαλικό σκυρόδεμα :
 - ↑ κενά αέρος ⇒ (↓ αντοχή σε οξείδωση, ↓ αντίσταση σε παγετό, ↑ τάση για αποσάθρωση,
 - ↓ κενά αέρος ⇒ (↑ αυξημένη τάση για εξίδρωση & τροχοαυλάκωση)
- Βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου 4 -5%

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δοκιμής Marshall - τυπικές καμπύλες ως προς το ποσοστό ασφάλτου



- Από τα διαγράμματα των μετρημένων παραμέτρων μπορεί να καθοριστεί το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου.
- Συνήθως αρκετά ποσοστά που βρίσκονται εντός του εύρους των ορίων των κανονισμών και στις περιπτώσεις αυτές ποσοστό των κενών (4-5%) καθορίζει το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου.

Έρευνα και
ανάπτυξη
ασφαλικών
συνδετικών
υλικών

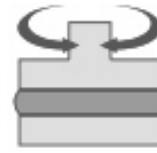


Παράμετροι αξιολόγησης ασφαλτικών συνδετικών υλικών

Δοκιμή



RV

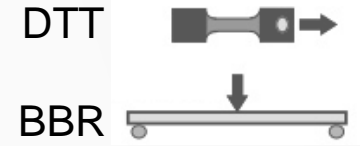


25 mm

DSR



8 mm



DTT

BBR

Συμπεριφορά
κατά την
κατασκευή

Αντίσταση σε
τροχοαυλάκωση

Αντίσταση
σε κόπωση

Αντίσταση σε θερμική
ρηγμάτωση ($\theta < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Χωρίς
προσομοίωση

βραχυχρόνια γήρανση (RTFOT) —————>
μακροχρόνια γήρανση (PAV) —————>

135 °C

80 °C

20 °C

-20 °C

Παράμετρος
αξιολόγησης

Προσομοίωση
γήρανσης

Θερμοκρασία
δοκιμής

Προηγμένες δοκιμές ασφαλικών συνδετικών υλικών

Δοκιμή

Rotational
Viscometer



Dynamic Shear
Rheometer



Bending Beam
Rheometer



Direct Tension
Tester



Αξιολογούμενη ιδιότητα

Εργασιμότητα

Ροή

Παραμένουσα
παραμόρφωση

Τροχοαυλάκωση

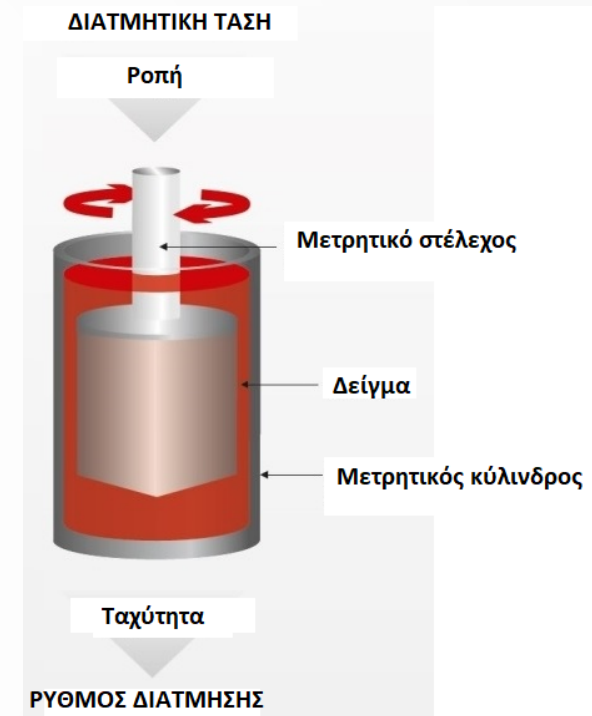
Κόπωση

Δομική ρηγμάτωση

Θερμική ρηγμάτωση

Σε χαμηλές
θερμοκρασίες

Περιστροφικό ιξωδόμετρο (Rotational Viscometer)



Ιδανικά θα μας ενδιέφερε επίτευξη ικανοποιητικού ιξώδους (από άποψη εργασιμότητας) στη χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία καθώς αυτό θα μείωνε τις ενεργειακές απαιτήσεις παραγωγής ασφαλτικού σκυροδέματος.

Dynamic Shear Rheometer , DSR (EN:14770)

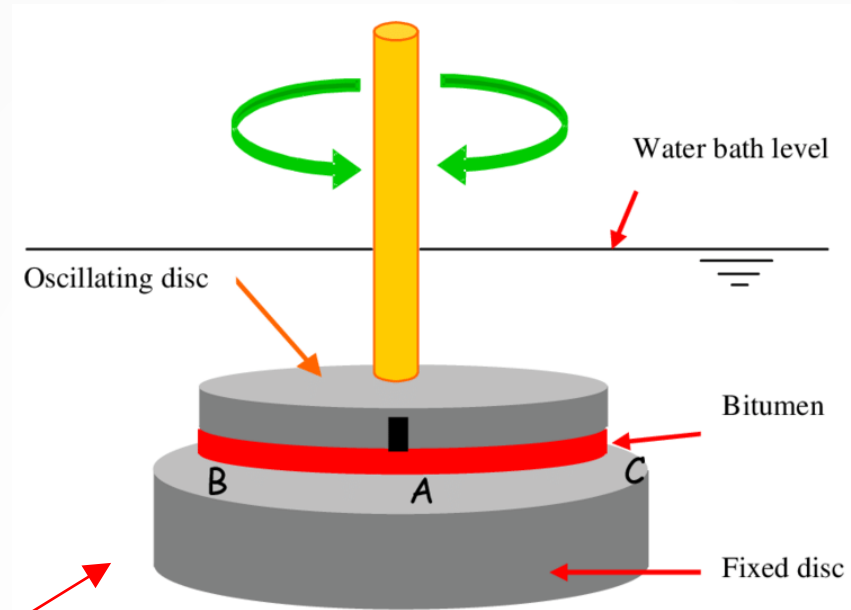


Η άσφαλτος, ως ιξωδοελαστικό υλικό, έχει τη δυνατότητα να:

- παραμορφωθεί ως ελαστικό στερεό (ταχεία φόρτιση, χαμηλή θερμοκρασία) και να ανακτήσει την αρχική της κατάσταση,
- ρεύσει ως ιξώδες υγρό (αργή φόρτιση, υψηλή θερμοκρασία) μη ανακτώντας την αρχική της κατάσταση.

Η δοκιμή DSR χαρακτηρίζει τόσο την ελαστική όσο και την ιξώδη συμπεριφορά του ασφαλτικού συνδετικού υλικού σε όλο το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας του ασφαλτοσκυροδέματος.

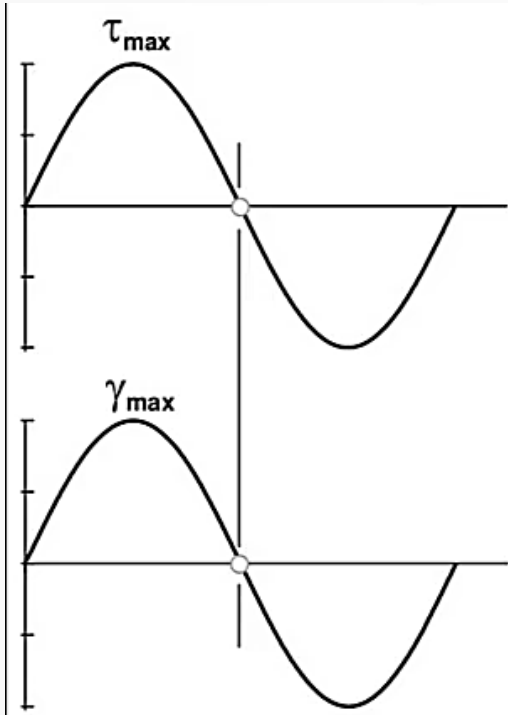
Αντικαθιστά τις παραδοσιακές, αλλά λιγότερο αποτελεσματικές, δοκιμές διείσδυσης & μάλθωσης.



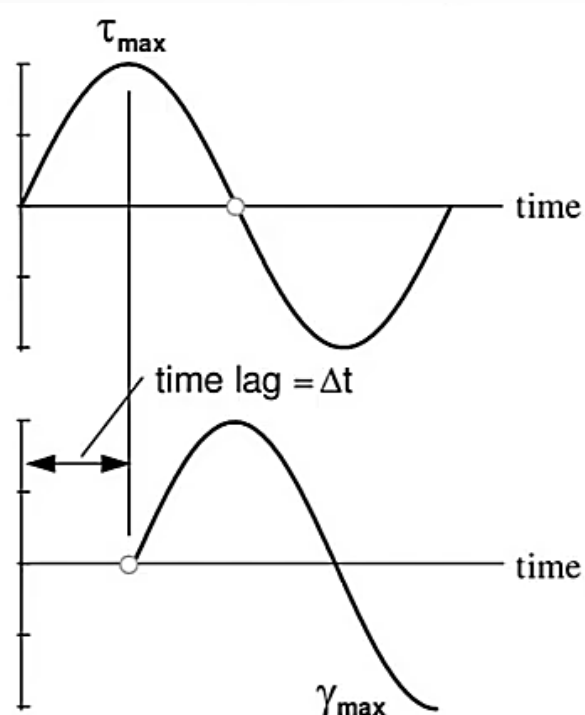
Δοκίμιο διαμέτρου 25 mm

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής η μια από τις δυο παράλληλες πλάκες υπόκειται σε αρμονική ημιτονοειδή ταλάντωση ως προς την άλλη σε προκαθορισμένες συχνότητες και πλάτη. Η συσκευή υπολογίζει για κάθε περίπτωση το σύνθετο μέτρο διάτμησης (Complex Shear Modulus) και τη γωνία φάσης (phase angle).

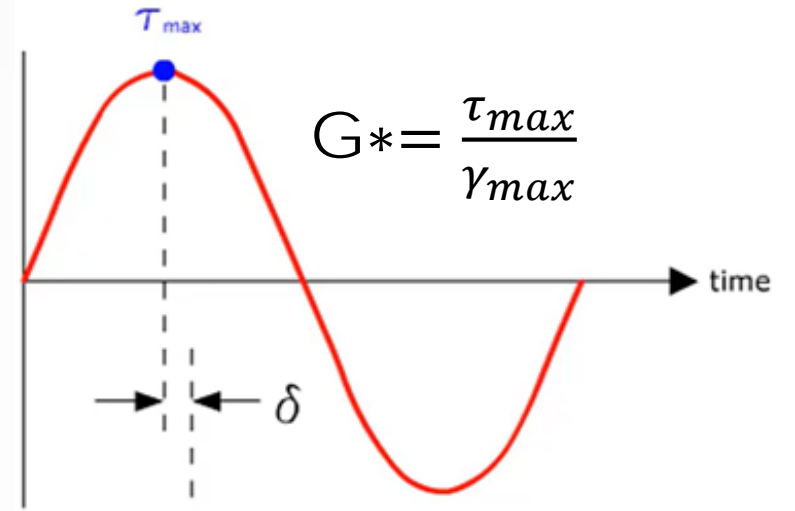
Ελαστική συμπεριφορά:
 $\delta = 0^\circ$



Ιξώδης συμπεριφορά:
 $\delta = 90^\circ$

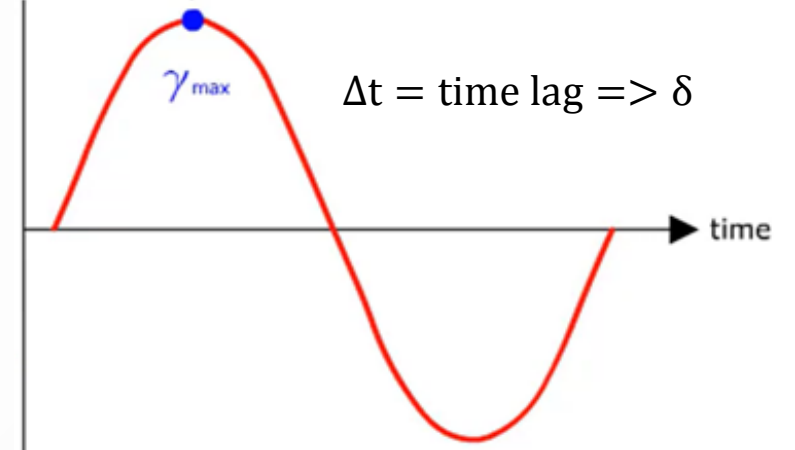


Εφαρμοζόμενη
 διατμητική τάση



$$G^* = \frac{\tau_{max}}{\gamma_{max}}$$

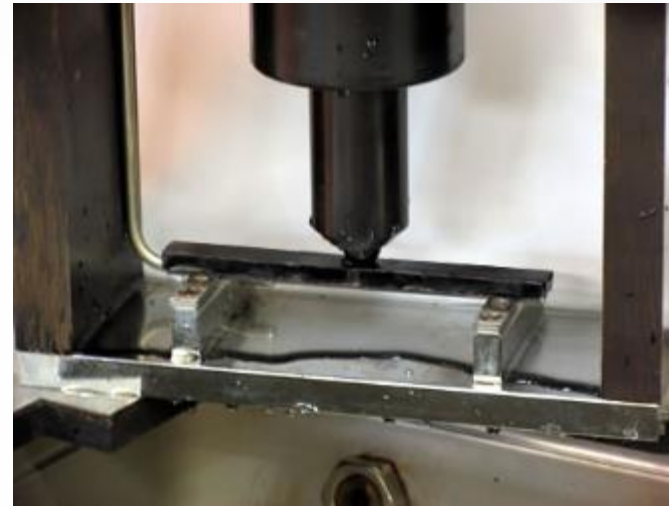
Προκύπτουσα
 διατμητική
 παραμόρφωση



Ιξωδοελαστική συμπεριφορά $0^\circ < \delta < 90^\circ$

$$\tau_{max} = \frac{2T}{\pi f^3}, \quad \gamma_{max} = \frac{\theta r}{h}$$

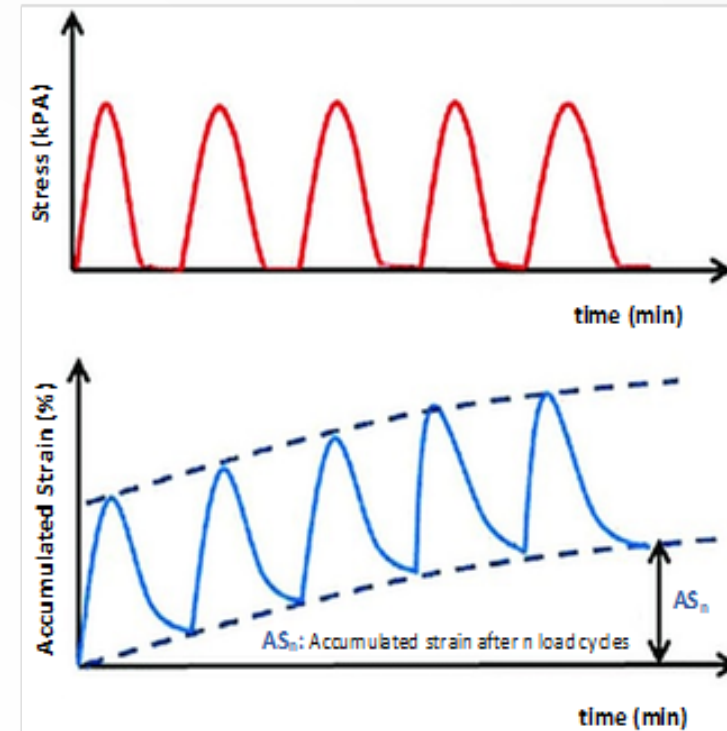
Bending Beam Rheometer , BBR (EN: 14771)



Η δοκιμή BBR παρέχει πληροφορίες για την συμπεριφορά του ασφαλτικού συνδετικού υλικού σε χαμηλές θερμοκρασίες (0 έως -36 οC).

Ιδανικά ενδιαφέρει η άσφαλτος να αστοχεί ψαθυρά σε όσο το δυνατόν χαμηλότερες θερμοκρασίες.

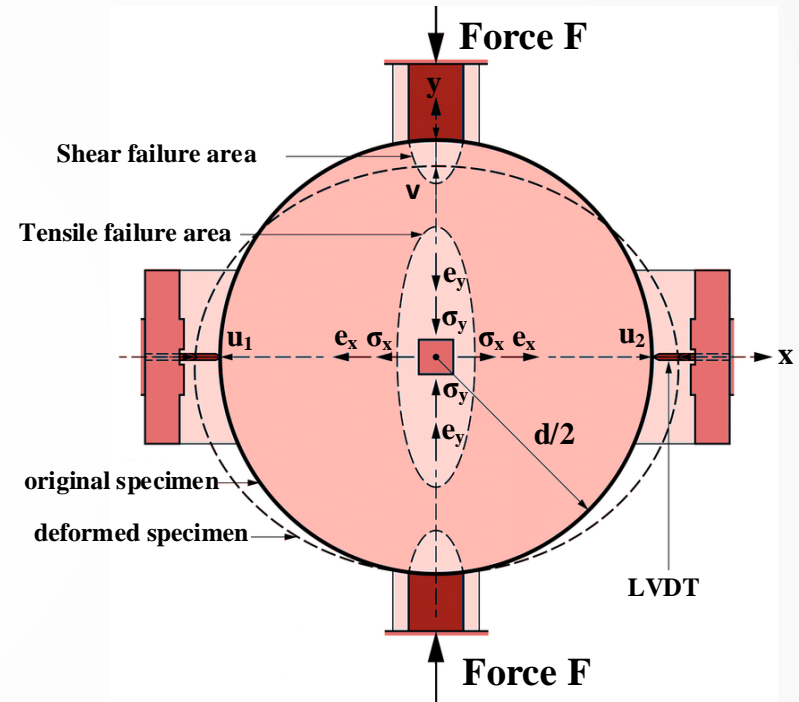
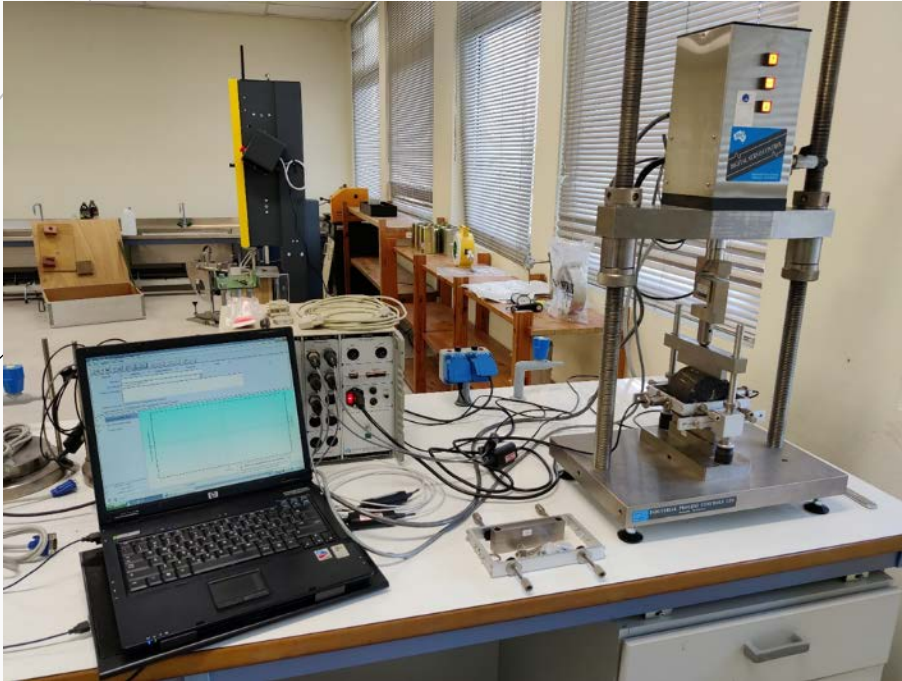
Cyclic compression test (EN:126970-25)



Υπολογισμός της αντίστασης σε παραμένουσα παραμόρφωση κυλινδρικού δοκιμίου ασφαλτικού σκυροδέματος υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση

↑ Παραμένουσα παραμόρφωση ⇒ ↑ πιθανότητα εμφάνισης τροχοαυλακώσεων

Stiffness test (EN:12697-26)



Υπολογισμός του δυναμικού μέτρου δυσκαμψίας κυλινδρικού δοκιμίου ασφαλτικού σκυροδέματος

↑ Δυναμικό μέτρο δυσκαμψίας \Rightarrow ↑ αντοχή έναντι επαναλαμβανομένων φορτίων κυκλοφορίας



Τέλος παρουσίασης