



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9
15780 ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΑΘΗΝΑ

Τεχνική Γεωλογία II

Διδάσκοντας:

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ
Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

Αδρανή Υλικά

Αντικείμενο της Διάλεξης

Αντικείμενο της διάλεξης είναι η παρουσίαση των ιδιοτήτων και των χρήσεων των αδρανών υλικών.

Ορισμός Αδρανών

Ως αδρανή χαρακτηρίζονται τα διαβαθμισμένα υλικά, ορυκτής ή βιομηχανικής προέλευσης, αλλά και υλικά ανακύκλωσης τα οποία χρησιμοποιούνται χωρίς ή με κάποιο συγκολλητικό υλικό μέσο στα τεχνικά έργα.

Σύμφωνα με τις Βρετανικές προδιαγραφές σχετικά με τους τεχνικούς όρους για τους αυτοκινητόδρομους (B.S. 892: 1940), σαν αδρανή υλικά θεωρούνται “τα ανενεργά τεμάχια ή και θραύσματα ορυκτών ή πετρωμάτων που αποτελούν τα κύρια συστατικά της δομής ενός μίγματος υλικών, όπως το σκυρόδεμα, η άσφαλτος ή και το πισσαρισμένο χαλικόστρωμα”.

Σύμφωνα με την Αμερικανική εταιρία δομικών υλικών ως αδρανές υλικό χαρακτηρίζεται όποιο υλικό είναι δυνατόν να αναδεχθεί με μία θεμελιώδη μάζα σχηματίζοντας σκυροδέματα, ασφάλτους, κονιάματα κ.α.

Χαρακτηρίζονται ως αδρανή καθώς θεωρείται ότι δεν αντιδρούν χημικά με το συγκολλητικό μέσο παρά μόνο συγκολλούνται από αυτό. Στην πραγματικότητα όμως είναι χημικώς ενεργά υλικά τα οποία ελέγχουν τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά της μάζας στην οποία συμμετέχουν.

Χρήσεις αδρανών

- Αδρανή Σκυροδέματος
- Αδρανή ασφαλτομειγμάτων
- Αδρανή επιχωμάτων
- Έρμα σιδηροδρομικών γραμμών
- Αδρανή κονιαμάτων
- Υλικά πλήρωσης (fillers)
- Αδρανή φίλτρων (στράγγισης ή επεξεργασίας νερού)
- κ.α. (συνεχώς αυξανόμενες εφαρμογές)



Διάκριση σύμφωνα με την προέλευσή τους

- **Φυσικά αδρανή:** Αδρανή προερχόμενα από πετρώματα τα οποία έχουν υποστεί μόνο μηχανική επεξεργασία - θραύση, πλύσιμο, διαλογή (αμμοχάλικα, θραυστά υλικά).
- **Βιομηχανικά ή τεχνητά αδρανή:** Αδρανή προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής κατεργασίας τα οποία έχουν προκύψει από την επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης (σκωρίες ψυκαμίνων, λιγνιτική τέφρα, μπετονίτης κ.α.).
- **Ανακυκλωμένο αδρανές:** Αδρανή που προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές (υλικά κατεδάφισης, αποξεσμένα ασφαλτικά υλικά κ.α.).

Διάκριση φυσικών αδρανών σύμφωνα με το ειδικό τους βάρος

- **Αδρανή κανονικού ειδικού βάρους:** με ειδικό βάρος μεταξύ 2 και 3 ton/m³. στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα συνήθη αδρανή.
- **Ελαφροβαρή αδρανή:** με ειδικό βάρος < 2 ton/m³. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για ελαφροβαρή θερμομονωτικά σκυροδέματα κ.α. εφαρμογές μειωμένων απαιτήσεων βάρους.
- **Βαρέα αδρανή:** με ειδικό βάρος > 3 ton/m³. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται υλικά που περιέχουν ορυκτά μεγάλου βάρους π.χ. βαρύτης, αιματίτης κ.α. χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που απαιτείται το μεγάλο βάρος π.χ. βαρύ σκυρόδεμα για θωρακίσεις και προστασία από ακτινοβολίες.

Διάκριση φυσικών αδρανών σύμφωνα με την πηγή λήψης

- **Χαλαρές αμμοχαλικώδεις αποθέσεις (sand and gravel aggregates):** η λήψη τους πραγματοποιείται από φυσικές αποθέσεις. Μπορούν να αξιοποιηθούν ως έχει ή κατόπιν επεξεργασίας (**Αδρανή χαμηλής ποιότητας**).
- **Θραυστά υλικά ή αδρανή λατομείων (Crashed stone aggregates):** η λήψη τους γίνεται από λατομεία (ανοιχτά ή υπόγεια) και μετά από την εξόρυξή τους υπόκεινται σε περεταίρω επεξεργασία (**Αδρανή υψηλής ποιότητας**).

Διάκριση φυσικών αδρανών σύμφωνα με την κοκκομετρική τους διαβάθμιση

- **Χονδρόκοκκα αδρανή:** Αποτελείται από κόκκους $> 4 \text{ mm}$ (ογκόλιθοι, κροκάλες, χαλίκια, γαρμπίλι, ρυζάκι).
- **Λεπτόκοκκα αδρανή:** Αποτελείται από κόκκους διαμέτρου από $4 - 0,063 \text{ mm}$ (διαφόρων μεγεθών κόκκους άμμου).
- **Παιπάλη:** Κόκκοι $< 0,063 \text{ mm}$.
- **Μη διαχωρισμένα αδρανή (all -in):** Αδρανή τα οποία αποτελούνται από μίγμα χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών.
- **Αδρανή filler:** Αδρανή των οποίων η μεγαλύτερη ποσότητα ($>70\%$) διέρχεται από κόσκινο $0,063 \text{ mm}$ και των οποίων η μέγιστη διάμετρος περιεχόμενων κόκκων είναι 2 mm .

Διάκριση αδρανών σύμφωνα με την ποιότητά τους

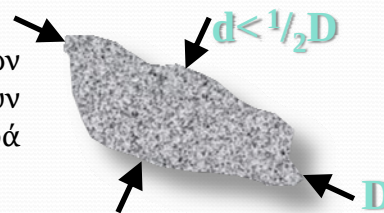
- **Αδρανή υψηλής ποιότητας:** Πληρούν αυστηρές προδιαγραφές ορυκτολογικών, φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών. Τα αδρανή αυτά μπορούν να ενσωματωθούν σε κατασκευές ή/και υλικά με απαιτήσεις συγκεκριμένων προδιαγραφών. Τα υλικά αυτά είναι συνήθως φυσικά αδρανή και χρησιμοποιούνται κυρίως ως αδρανή σκυροδέματος, αδρανή ασφαλτομειγμάτων, αδρανή οδοποιίας και έρμα σιδηροδρόμων.
- **Αδρανή χαμηλής ποιότητας:** στα υλικά αυτά ένα ή περισσότερα από τα χαρακτηριστικά τους αποκλίνουν λίγο ή αρκετά από τα επιτρεπτά όρια. Απαιτούν περεταίρω επεξεργασία προκειμένου να καταστεί δυνατή η χρησιμοποίησή τους.

Γεωμετρικές ιδιότητες αδρανών

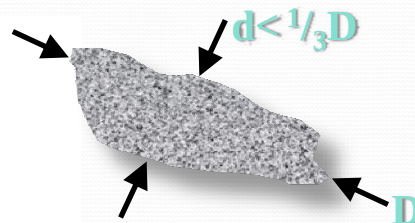
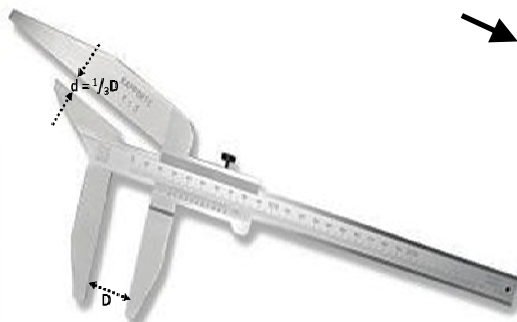
➤ **Δείκτης Πλακοειδούς (Flakiness index, I_f):** ο δείκτης αυτός αποτυπώνει το ποσοστό των πεπλατυσμένων και των επιμήκων κόκκων στη μάζα του υλικού.

Προσδιορίζεται με τη χρήση ειδικών πλακοειδών κοσκίνων. Τα κόσκινα αυτά έχουν για κάθε διάμετρο, D , πλάτος σχισμής ίσο με $d=D/2$.

Κατά την επιλογή των αδρανών επιθυμητά είναι αυτά που έχουν χαμηλό δείκτη πλακοειδούς (μικρά ποσοστά πλακοειδών κόκκων).



Δείκτης Μορφής (Shape index): αποτυπώνει το ποσοστό των επιμήκων κόκκων επί του συνόλου του δείγματος. Κατά τον προσδιορισμό του εξετάζεται η αναλογία των κόκκων με σχέση μήκους/πάχους μεγαλύτερη του 3 επί το συνόλου του δείγματος. Η μέτρηση πραγματοποιείται με ειδικό παχύμετρο.



Δείκτης Επιμήκυνσης (Enlongation index, I_E): Σε αναλογία με το δείκτη μορφής ο δείκτης επιμήκυνσης αποτυπώνει το ποσοστό των επιμήκων κόκκων επί του συνόλου του δείγματος. Κατά τον προσδιορισμό του εξετάζεται η αναλογία των κόκκων με μήκος μεγαλύτερο του 1,8 της ονομαστικής διαμέτρου των κόκκων. Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στις ευρωπαϊκές προδιαγραφές αλλά στα βρετανικά πρότυπα.

Κοκκομετρική σύσταση αδρανών: σε αναλογία με όσα ισχύουν κατά τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών, η κοκκομετρική σύσταση των αδρανών αποτυπώνει τη διαβάθμιση των κόκκων στις επιμέρους διαμέτρους.



ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	I_p (%)	I_z (%)	Βιβλιογραφία
Γρανίτης	10–25		BRAND et al (1984)
Δολερίτης	45	30	DEARMAN et al (1984)
Βασάλτης			
Αποσαθρ. Βασάλτης	1,25–1,40		HARALDSSON (1984)
Ρυόλιθος			
Ανδεσίτης	6,6–16,3	10,2–27,1	
Δολομίτης	12,6	20,9	
Γρανодиόριτης	17,6–22,8	31,7–40,4	ΣΑΧΠΑΖΗΣ (1988)
Ψαμμίτης	11,9–15	17,3–23,2	
Γάββρος	11,4–11,9	18,1–19,3	
Σερπεντίνης	13,4	23,9	
Αμφιβολίτης	20,6	36,4	
Υλικά ποταμού (γρανίτης, βασάλτης γάββρος, χαλαζίτης)	14–18	27–31	AL-HARTHI and AMIN (1999)
Ασβεστόλιθος	15–23	21–34	ZARIF and TUGRUL (2003)
Βασάλτης	13–48	23–53	KORNAC and TUGRUL (2004)
Υλικά ποταμού (ασβεστόλιθος, κερατόλιθος, ψαμμίτης)	15–22	8–15	
Αδρομερή υλικά κορημάτων (Ασβεστόλιθος)	10–20	11–15	
Αδρομερείς Πλειο-Πλειστοκαινικές και Πλειστοκαινικές αποθέσεις (Ασβεστόλιθος, κερατόλιθος, Ψαμμίτης)	13–22	7–15	ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ (2005)
Ασβεστόλιθος	18–26	19–30	

Χαρακτηριστικές τιμές του Δείκτη Πλακοειδούς I_F και του δείκτη Επιμήκυνσης I_E διαφόρων πετρωμάτων με βάση βιβλιογραφικές αναφορές (από Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

Δείκτης Ισοδύναμου Άμμου (Sand Equivalent Value- SE): η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται για τον προσδιορισμό των ποσοστών της παιπάλης. Η παιπάλη επικάθεται στους κόκκους των αδρανών και διαμορφώνει μια κρούστα μειωμένης διατμητικής αντοχής.

Συγκεκριμένη ποσότητα υλικού ορισμένου κλάσματος εισάγεται σε ογκομετρικό κύλινδρο, ο οποίος περιέχει διάλυμα για την αιώρηση των σωματιδίων παιπάλης. Μια ακολουθία ισχυρών αναδεύσεων προκαλεί τον διαχωρισμό κόκκων. Στο τέλος της δοκιμής μετράται το ύψος αργίλου, το οποίο αντιστοιχεί στο ύψος του αιωρήματος εντός του υγρού και το ύψος της άμμου, που αντιστοιχεί στο ύψος του ιζήματος που έχουν δημιουργήσει οι μεγαλύτεροι κόκκοι του υλικού. Το ισοδύναμο άμμου προκύπτει από το λόγο του ύψους της άμμου προς το ύψος της αργίλου.



Δείκτης Μπλε του Μεθυλενίου (Methylene Blue Value): Η δοκιμή προσδιορίζει τον τύπο και το ποσοστό των περιεχόμενων αργιλικών ορυκτών στην παιπάλη καθώς η παρουσία αργιλικών ορυκτών οδηγεί στην απορρόφηση του μπλε του μεθυλενίου.

Προκαθορισμένη ποσότητα ξηρής άμμου τοποθετείται σε δοχείο με απιονισμένο νερό, αναδεύεται και στη συνέχεια γίνεται σταδιακή προσθήκη ίσων ποσοτήτων μπλε του μεθυλενίου. Μετά από ανάδευση διενεργείται ο έλεγχος της στεφάνης ο οποίος πραγματοποιείται με τη ρήψη μίας σταγόνας του διαλύματος σε ειδικό διηθητικό χαρτί.

Αν το δείγμα άμμου δεν έχει απορροφήσει όλη την ποσότητα του μπλε του μεθυλενίου τότε η μπλε κηλίδα που σχηματίζεται στο χαρτί περιβάλλεται από μία κυανή στεφάνη. Αν όμως όλη η ποσότητα του μπλε έχει απορροφηθεί, τότε η μπλε κηλίδα περιβάλλεται από μία διάφανη στεφάνη. Προσθήκη καολινίτη στο μίγμα βοηθά στη διάκριση της τελικής διάφανης στεφάνης.

Η τιμή μπλε του Μεθυλενίου υπολογίζεται από το λόγο του όγκου του διαλύματος που απορροφήθηκε προς τη μάζα του δείγματος άμμου.



Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες αδρανών

- **Ειδικό βάρος (G_s):** είναι ο λόγος του βάρους μίας μονάδας όγκου του υλικού προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου νερού σε ορισμένη θερμοκρασία. Είναι μέγεθος αδιάστατο.
- **Υγρασία απορρόφησης (Water absorption, W_a):** αναφέρεται στην ποσότητα του νερού που απορροφάται στους πόρους του υλικού ως ποσοστό επί τοις εκατό του ξηρού βάρους του δείγματος. Στην ποσότητα του νερού δεν περιλαμβάνεται πιθανή ποσότητα νερού που προσκολλάται στην εξωτερική επιφάνεια των κόκκων του αδρανούς. Μικρές τιμές στην απορροφητικότητα συνεπάγονται αυξημένη ανθεκτικότητα των υλικών στις καιρικές συνθήκες, καθώς εμφανίζουν μεγάλη αντοχή στις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας.

Χαρακτηριστικές τιμές του ειδικού βάρους, G_s , και της υγρασίας απορρόφησης, W_a , διαφόρων πετρωμάτων με βάση βιβλιογραφικές αναφορές (από Κούκης & Σαμπτατάκης, 2007)

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	G_s	$W_a(\%)$	Βιβλιογραφία
Δολερίτης	2,92		DEARMAN et al (1984)
Μαγματικά (γρανίτες, γρανοδιორίτες)		0,6–1,12	GOSWAMI (1984)
Ψαμμίτης	2,1–2,61	0,62–5,85	KASIM and SHAKOOR (1996)
Ασβεστόλιθος-Δολομίτης	2,43–2,83	0,2–4,33	
Μαγματικά (γρανίτης, σηνίτης)	2,68–3	0,02–0,25	AL-HARTHI and AMIN (1999)
Υλικά ποταμού (γρανίτης, βασάλτης γάββρος, χαλαζίτης)	2,68–2,76	0,87–1,02	
Ασβεστόλιθος	2,65–2,73	0,16–1,25	ZARIF and TUGRUL (2003)
Βασάλτης	2,51–2,86	0,92–1,93	KORNAC and TUGRUL (2004)
Υλικά ποταμού (ασβεστόλιθος, κερατόλιθος, ψαμμίτης)	2,60–2,64	0,47–1,11	ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ (2005)
Αδρομερή υλικά κορημάτων (ασβεστόλιθος)	2,60–2,64	0,58–1,03	
Αδρομερείς Πλειο-Πλειστοκαινικές και Πλειστοκαινικές αποθέσεις (ασβεστόλιθος, κερατόλιθος, ψαμμίτης)	2,58–2,61	0,73–1,28	
Ασβεστόλιθος	2,63–2,65	0,45–0,76	

➤ **Αντοχή σε σύνθλιψη (Aggregate Crushing Value, ACV):** Προσδιορίζεται η αντοχή στρώσης αδρανών σε θλιπτικά φορτία. Κατά τη δοκιμή αυτή στρώση αδρανών πάχους 100mm, με διάμετρο κόκκου 12.5mm, υποβάλλεται σε μονοαξονική θλίψη κάτω από φορτίο 40 τόνων. Το δείγμα μετά κοσκινίζεται σε κόσκινο 2.4mm και το βάρος των διερχομένων σαν ποσοστό% του αρχικού βάρους αποτελεί την τιμή ACV.



➤ **Αντοχή σε κρούση (Aggregate Impact Value, AIV):** Προσδιορίζεται η αντοχή στρώσης αδρανών σε κρούση. Κατά τη δοκιμή αυτή στρώση αδρανών πάχους 28.6mm, με μέγεθος κόκκων 12.5mm, υποβάλλεται σε 15 κρούσεις σφύρας βάρους 13 Kgr, η οποία πέφτει από ύψος 330mm. Το δείγμα μετά κοσκινίζεται σε κόσκινο 2.4mm και το βάρος των διερχομένων σαν ποσοστό% του αρχικού βάρους αποτελεί την τιμή AIV.





➤ **Αντοχή των αδρανών σε τριβή και κρούση με τη μηχανή Los Angeles (Los Angeles Abrasion Value, LAAV):** προσδιορίζει την αντίσταση στη φθορά από τριβή και κρούση κατά την ανάμιξη, μεταφορά και διάσπρωση των αδρανών, είναι πολύ χρήσιμη για τα αδρανή οδοποιίας (βάση - υπόβαση), αλλά και στα αδρανή που χρησιμοποιούνται για έρμα στις σιδηροδρομικές γραμμές.

Κατά τη δοκιμή Los Angeles (BS EN 1097-2) δείγμα αδρανών υλικών βάρους 5Kgr, που προκύπτουν από ανάμιξη κλασμάτων διαμέτρου 10mm - 14mm τοποθετούνται, μαζί με 11 σιδερένιες σφαίρες διαμέτρου 45-49mm και συνολικού βάρους μεταξύ 4690gr και 4860gr, στον κύλινδρο της συσκευής.

Ο κύλινδρος έχει διάμετρο 71mm και μήκος 508mm, άξονα περιστροφής οριζόντιο, ενώ εσωτερικά φέρει διάφραγμα ύψους 90mm, από σίδηρο πάχους 25mm.

Το δείγμα μαζί με τις σιδερένιες σφαίρες περιστρέφεται μέσα στον κύλινδρο αυτό για 500 στροφές με ταχύτητα 31-33 στροφές ανά λεπτό.

Μετά από τη διαδικασία αυτή το δείγμα συγκεντρώνεται, πλένεται και κοσκινίζεται σε κόσκινο διαμέτρου 1.6mm. Το κλάσμα που παραμένει στο κόσκινο, ξηραίνεται και ζυγίζεται. Ο συντελεστής Los Angeles προσδιορίζεται από τον τύπο (%):

$$LAAV = \frac{5000gr - \text{συγκρατούμενο δείγμα με } d > 1.6mm}{50}$$

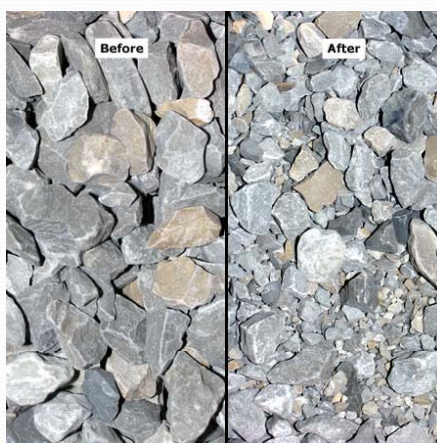
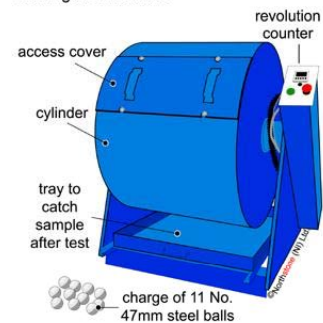


Αδρανή με τιμές συντελεστή LA μικρότερες του 30% θεωρούνται πολύ καλά για χρήση στην οδοποιία σαν οδόστρωμα.

Για τα σκύρα σιδηροδρομικών γραμμών η δοκιμή τροποποιείται καθώς χρησιμοποιείται δείγμα 10kgr (5kgr διαμέτρων 32mm - 40mm & 5kgr διαμέτρων 40mm - 50mm), με 12 σφαίρες και διάρκεια δοκιμής 1000 στροφές. Έτσι ο συντελεστής Los Angeles προσδιορίζεται από τον τύπο (%):

$$LAAV = \frac{10.000gr - \text{συγκρατούμενο δείγμα με } d > 1.6mm}{100}$$

Los Angeles machine



ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	LAHV (%)	AIV (%)	Βιβλιογραφία
Γρανίτης	33		BRAND et al (1984)
Δολομίτης		12	DEARMAN et al (1984)
Μαγματικά (γρανίτες, γρονθοδορίτες)	30 - 35		GOSWAMI (1984)
Βασάλτης	11,4 - 28,3		HARALDSSON (1984)
Αποσβεστική Βασάλτης	30,9		
Ρυόλιθος	21,9 - 23,4	15 - 21,5	
Ανδεσίτης	21,6 - 23,2	22,6	ΣΑΥΤΑΖΗΣ (1988)
Δολομίτης	32,8	20,9 - 27,7	
Γρονθοδορίτης	26,6 - 40,8	24,07 - 31,1	
Ψαμμίτης	31,53 - 53,4	14,1 - 16,1	
Γάββρος	20,3 - 23,2	26,3	
Σερπεντίνη	26,8	14	
Λαμπελίτης	19		
Αμφιβολίτης	21 - 26		
Περιδότιτης	19 - 23		ΑΓΓΟΠΟΛΙΤΗΣ - ΠΟΥΣΟΥ (1989)
Γρανίτης	21 - 22		
Γαλιόσος	30		
Βασάλτης	21 - 23		
Ανδεσίτης	18 - 34		
Πορφύρεως	19		
Ψαμμίτης	19 - 27		
Σχιστόλιθος	18		
Χαλσίτης	16 - 24		
Αμφιβολίτης	21		CHARITOS and SOTIROPOULOS (1994)
Κρυσταλλίτης	16 - 25		
Γρανίτης	21 - 22		
Περιδότιτης	22		
Ανδεσίτης	19		
Πορφύρεως	12		
Βασάλτης	31,45		EDENAN et al (1994)
Σχιστόλιθος	33,71		
Γάββρος	42,17		
Γρανίτης	43,02		
Ψαμμίτης	23,5 - 39,5		KASIM and SHAKOOR (1996)
Ασβεστόλιθος-Δολομίτης	16,4 - 37,5		
Μαγματικά (γρανίτης, σφαιρίτης)	13,3 - 48,3		
Υαλώ ποταμού (γρανίτης, βασάλτης, γάββρος, χαλσίτης)	19 - 26	16 - 17	AL-HARTHI and AMIN (1999)
Ρυόλιθος	14 - 18		
Δολίτης	16 - 20		
Ανδεσίτης	18 - 22		
Βελούτης	15 - 20		
Γρανίτης	18 - 22		PHIAS (2002)
Γρονθοδορίτης	18 - 23		
Δολίτης	20 - 24		
Γάββρος (Ασβέστης)	20 - 26		
Ασβεστόλιθος		11,8 - 15	ZARIF and TUGRUL (2003)
Βασάλτης	12,87 - 21,30	4,89 - 7,69	KORNAC and TUGRUL (2004)
Υαλώ ποταμού (Ασβεστόλιθος, καρστικόλιθος, ψαμμίτης)	22,76 - 26,31	18 - 22	
Αδραμερή υαλώ κορμημάτων (ασβεστόλιθος)	26,39 - 28,35	22 - 25	ΣΠΥΡΙΔΩΝΙΔΗΣ (2005)
Αδραμερές Πέλεκας, Πυροκλαστικές και Πυροκλαστικές αποθέσεις (ασβεστόλιθος, καρστικόλιθος, ψαμμίτης)	21,06 - 38,54	19 - 27	
Ασβεστόλιθος	26,26 - 29,99	22 - 26	

➤ **Αντοχή των αδρανών σε τριβή και κρούση με τη μηχανή Micro Deval, (Micro Deval Abrasion Value, MDAV):** Στη δοκιμή Micro Deval προσδιορίζεται η αντοχή των αδρανών σε τριβή και κρούση με τρόπο παρόμοιο με αυτό της δοκιμής Los Angeles. Η διαφορά είναι ότι η δοκιμή λαμβάνει χώρα παρουσία νερού, για αυτό και θεωρείται ότι προσομοιώνει καλύτερα τις φυσικές δράσεις τριβής και κρούσης.

Κατά την εκτέλεση της δοκιμής 500 gr διαβαθμισμένου δείγματος, που έχει εμποτιστεί στο νερό για 24 ώρες, τοποθετείται μαζί με σιδερένιες σφαίρες και 2,5 lt νερό μέσα σε κύλινδρο διαμέτρου 194±2mm. Ο συγκεκριμένος κύλινδρος, πέρα από τις μικρότερες διαστάσεις από αυτόν της δοκιμής Los Angeles, δεν περιέχει σιδερένια διαφράγματα. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής ο κύλινδρος περιστρέφεται με 100±5 στροφές ανά λεπτό για δύο ώρες. Η απώλεια βάρους προς το αρχικό βάρος εκπεφρασμένη σε ποσοστό % δίνει την απώλεια κατά micro Deval. Το βάρος των μεταλλικών σφαιρών εξαρτάται από τη διάμετρο των κόκκων: 2000 g για διάμετρο 4 - 6.3 mm, 4000 g για 6.3 - 10 mm και 5000 g για 10 - 14 mm.



➤ **Δείκτης αντίστασης σε στίλβωση (polished Stone Value, PSV):** ο δείκτης αυτός εκφράζει την αντίσταση σε λείανση των αδρανών υπό τη δράση των ελαστικών των οχημάτων.

Η δοκιμή αποτελείται από δύο στάδια:

Πρώτο στάδιο: Κόκκοι από το αδρανές ορισμένης διαβάθμισης, τοποθετούνται πάνω σε ειδική κυρτή μεταλλική μήτρα. Τα κενά μεταξύ των κόκκων πληρώνονται με άμμο σε ύψος περίπου 1/4 του ύψους των κόκκων ενώ το υπόλοιπο πληρώνεται με εποξειδική ρητίνη. Μετά την πήξη της ρητίνης, το δοκίμιο απομακρύνεται από τη μήτρα, αφαιρείται η άμμος και τοποθετείται στη συσκευή λείανσης από τη μεριά της άμμου. Η συσκευή φέρει μεταλλικό τροχό, στην περιφέρεια του οποίου τοποθετούνται τα δοκίμια. Καθώς ο τροχός περιστρέφεται, μεταξύ αυτού και των δοκιμίων τροφοδοτείται για τις τρεις πρώτες ώρες χονδρή σμύριδα με παροχή 27gr/min μαζί με περίπου ίση ποσότητα νερού. Στη συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται για άλλες τρεις ώρες με λεπτή σμύριδα και με παροχή 3gr/min.

Δεύτερο στάδιο: Μετά το πέρας των 6 ωρών τα δοκίμια τοποθετούνται στη βάση βρετανικού εκκρεμούς, και μετράται η τιμή αντίστασης σε ολίσθηση.



- **Δείκτης απότριψης αδρανών (Aggregate Abrasion Value – AAV):** η δείκτης αυτός αποτυπώνει το μέτρο της αντίστασης των χονδρόκοκκων αδρανών στην απώλεια μάζας κατά την απότριψή τους.

Παρασκευάζεται δοκίμιο με τρόπο αντίστοιχο της δοκιμής προσδιορισμού του PSV. Στη δοκιμή αυτή η συσκευή απότριψης αποτελείται από ένα δίσκο στον οποίο τοποθετούνται αντιδιαμετρικά δύο δοκίμια. Σε αυτά εφαρμόζεται η κεφαλή απότριψης και ένα πρότυπο βάρος. Ο δίσκος περιστρέφεται σε οριζόντιο επίπεδο για 500 στροφές με συχνότητα 28-30rpm. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας της συσκευής μεταξύ των αδρανών και της κεφαλής τροφοδοτείται ειδική λειαντική άμμος με παροχή 700-900 gr/min.

Ο δείκτης απότριψης προσδιορίζεται από την απώλεια βάρους του δείγματος.



Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση

Η ανθεκτικότητα σε διαδικασίες ψύξης - θέρμανσης, διαβροχής - ξήρανσης και ψύξης - απόψυξης καθορίζουν την ανθεκτικότητα των αδρανών σε αποσθρωτικούς παράγοντες.

Δοκιμές που διενεργούνται για τον προσδιορισμό της ανθεκτικότητας είναι η δοκιμή ψύξης - απόψυξης (freezing and thawing test) και η δοκιμή υγείας με τη χρήση θεικών αλάτων (Na_2SO_4 soundness).



Χαρακτηριστικές τιμές
 του δείκτη αντοχής σε
 αποσάθρωση με τη χρήση
 θεικών αλάτων (Na_2SO_4
 soundness) διαφόρων
 πετρωμάτων με βάση
 βιβλιογραφικές αναφορές
 (από Κούκης &
 Σαμπατακάκης, 2007)

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	S (%)	ΠΗΓΗ
Δολερίτης	0,6	DEARMAN et al (1984)
Μαγματικά (γρανίτες, γρανодиορίτες)	8 – 12	GOSWAMI (1984)
Βασάλτης Αποσάθρwm. Βασάλτης Ρυόλιθος	5,2 – 5,7 92,5 77,6 – 98,1	HARALDSSON (1984)
Υλικά ποταμού (γρανίτης, βασάλτης γάββρος, χαλαζίτης)	1,8 – 6,48 (MgSO_4)	AL- HARTHI and AMIN (1999)
Βασάλτης	0,95 – 4,66	KORNAC and TUGRUL (2004)
Υλικά ποταμού (ασβεστόλιθος, κερατόλιθος ψαμμίτης)	3,64 – 9,88	ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ (2005)
Αδρομερή υλικά κορημάτων (ασβεστόλιθος)	1,43 – 7,36	
Αδρομερείς Πίλειο - Πλειστοκαινικές και Πλειστοκαινικές αποθέσεις (ασβεστόλιθος, κερατόλιθος, ψαμμίτης)	6,17 – 27,33	
Ασβεστόλιθος	1,63 – 10,84	

Καταλληλότητα πετρωμάτων για λήψη αδρανών υλικών

Πυριγενή πετρώματα.

- Από τις τρεις κατηγορίες πετρωμάτων τα πυριγενή (π.χ. βασάλτες, ρυόλιθοι, δακίτες, ανδεσίτες) και οι λεπτοκρυσταλλικοί γρανίτες πλεονεκτούν έναντι των πετρωμάτων από τις άλλες κατηγορίες.
- Τα βασικά πυριγενή παρουσιάζουν καλύτερες τιμές στίλβωσης (PSV) και χειρότερες τιμές απότριψης (AAV) από τα όξινα.
- Τα λεπτόκοκκα πυριγενή έχουν χαμηλότερες τιμές στίλβωσης (PSV) και πολύ καλύτερες τιμές απότριψης (AAV), από τα αδρόκοκκα ίδιας σύστασης.
- Οι γρανίτες υφίστανται επιλεκτική αποσάθρωση της βραχομάζας τους μέσω των ασυνεχειών. Έτσι υπάρχει μια μείωση των τιμών της αντοχής σε θλίψη και αντοχής σε κρούση (AIV).
- Καλύτερες τιμές συρρίκνωσης μπετόν παρουσιάζουν τα λεπτόκοκκα πετρώματα που δεν έχουν κενά στη μάζα τους.

Ιζηματογενή πετρώματα

Η ποιότητά τους παρουσιάζει πολύ μεγάλη διακύμανση με αποτέλεσμα τα περισσότερα να είναι ακατάλληλα για αδρανή ή να είναι κατάλληλα για αδρανή χαμηλής ποιότητας. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά τους διαμορφώνονται ως εξής:

Παράγων	Τιμές απότριψης αδρανών (AAV)	Τιμές στίλβωσης αδρανών (PSV)	Τιμές αντοχής σε κρούση (AIV)
Υψηλό πορώδες	Πτωχότερες	Καλύτερες	Πτωχότερες
Μειωμένα ποσοστά λεπτόκοκκου χαλαζία	Καλύτερες	Καλύτερες	Πτωχότερες
Μειωμένα χαλαζιακά θραύσματα	Καλύτερες	Καλύτερες	Καλύτερες
Μειωμένο ποσοστό αστρίων	Παρόμοιες	Καλύτερες	Καλύτερες
Υψηλό ποσοστό αργίλων	Πτωχότερες	Καλύτερες	Πτωχότερες

- Οι ψαμμιτικοί ή κροκαλοπαγείς ορίζοντες του φλύσχη μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν αδρανή, π.χ. ογκολίθων, υλικά βάσης – υπόβασης οδοστρωμάτων, αλλά μετά από ενδελεχή εξέταση.
- Οι πολύ συμπαγείς, παχυστρωματώδεις και λεπτόκοκκοι ψαμμίτες είναι καλά υλικά για αδρανή.
- Οι γραουβάκες έχουν καλές τιμές στίλβωσης (PSV) αλλά συνήθως χαμηλές τιμές απότριψης (AAV).
- Οι πλέον σκληροί με χαμηλό πορώδες ασβεστόλιθοι συμπεριφέρονται πολύ καλά και αποτελούν πολύ καλό υλικό για αδρανή μπετόν. Όμως, λόγω αυξημένης φθοράς σε απότριψη στις υψηλές ταχύτητες, η χρήση τους έχει μειωθεί σημαντικά στην κατασκευή οδοστρωμάτων.
- Τα μάρμαρα παρουσιάζουν καλύτερα χαρακτηριστικά από αρκετούς ασβεστολίθους αλλά η τιμή στίλβωσής τους είναι μικρή.

Μεταμορφωμένα πετρώματα

- Τα λεπτόκοκκα και χωρίς έντονη σχιστότητα και με υψηλές αντοχές, όπως οι χαλαζίτες, οι κερατίτες, είναι πολύ καλά υλικά για έρμα γραμμών .
- Οι αμφιβολίτες χωρίς αυξημένη παρουσία μαρμαρυγία, και οι υγείς πρασινίτες, έχουν καλές τιμές αντοχής σε θλίψη, χαμηλές τιμές συρρίκνωσης και καλές τιμές αντοχής σε κρούση (AIV) και απότριψη (AAV). Σε αυτά τα πετρώματα οι τιμές σε στίλβωση (PSV) είναι μέσες ή και πτωχές (<57).
- Οι σχιστόλιθοι (μαρμαρυγιακοί, αργιλικοί, ιλυολιθικοί κλπ), αλλά και οι φάσεις του δυναμομεταμορφωμένου φλύσχη (εναλλαγές ιλυολίθων, αργιλικών σχιστολίθων και ψαμμιτών), δε χρησιμοποιούνται για αδρανή στην οδοποιία ή στο μπετόν, παρά μόνο για υλικά επιχωμάτων.

Διαθεσιμότητα πετρωμάτων για αδρανή υψηλής ποιότητας στην Ελλάδα

- Ασβεστολιθικά πετρώματα για την παραγωγή αδρανών για σκυρόδεμα αφθονούν στην Ελλάδα.
- Πετρώματα για την παραγωγή αδρανών για ασφαλοτάπητες επίσης υπάρχουν άφθονα. Αυτά είναι ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, πυριτικά πετρώματα, κλπ.
- Πετρώματα για την παραγωγή έρματος σιδηροτροχιών και αντισιδηρών αδρανών είναι λιγότερα και περιορίζονται κυρίως στην Κεντρική και Βόρειο Ελλάδα και νησιά του Β.Α. Αιγαίου. Για τις εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως:
 - (α) Βασικά και υπερβασικά, ανδεσίτες, ρυόλιθοι και χαλαζιακοί πορφύρες.
 - (β) Βασικά μαγματικά πετρώματα (διαβάσες και βασάλτες) χωρίς εξαλλοιώσεις.
 - (γ) Ανδεσίτες, ρυόλιθοι και χαλαζιακοί πορφύρες, που εντοπίζονται σε διάφορα μέρη της Ελλάδος.

Καταλληλότητα αδρανών για επιμέρους χρήσεις

Χρήση αδρανών	Είδος υλικού	Gs	LAAP (%)	SE (%)	S (%)	Όρια Atterberg	Λοιπές Δοκιμές	Παρατηρήσεις
Παρασκευή σκυροδέματος	Φυσικά – θραυστά	> 2,6	<40	65–75	<12% (Άμμος <10)		Χημική Ανάλυση	- Αντοχή >65 MPa (θραυστά) - Κεραιόλθος (Gs <2,35) < 5% - Συγκεκριμένη κοκομετρία - Εξαρρούνται: Σχητόλθος, Φυλλίτες, Κίμωλοι, Μάργα
Βάσεις οδοστρωμάτων	Θραυστά		<40	>50	<18%	LL <25 PI <3		Η τιμή S αναφέρεται στη δοκιμή υγείας με χρήση αλάτων $MgSO_4$
Υποβάσεις οδοστρωμάτων	Φυσικά – θραυστά		<50	>40	<18%	LL <25 PI <4		Η τιμή S αναφέρεται στη δοκιμή υγείας με χρήση αλάτων $MgSO_4$
Ασφαλτικές βάσεις	Θραυστά		<30	>50	<18%		- Περιεκτικότητα σε οργανικά, σβώλους αργίλου & ευθρ. κόκκους - Συγκεκριμένη κοκομετρία - Η τιμή S αναφέρεται στη δοκιμή υγείας με χρήση αλάτων $MgSO_4$	- Αμελητέο ποσοστό πεπτασμένων και επιμήκων κόκκων
Ασφαλτικό σκυρόδεμα	Θραυστά		≤40	>55	<18%		- Περιεκτικότητα σε οργανικά, σβώλους αργίλου & ευθρ. κόκκους - Συγκεκριμένη κοκομετρία - Η τιμή S αναφέρεται στη δοκιμή υγείας με χρήση αλάτων $MgSO_4$	- Αμελητέο ποσοστό πεπτασμένων και επιμήκων κόκκων
Επιχώματα	Φυσικά					LL <30 PI <10	- Περιεκτικότητα σε οργανικά - Proctor και CBR	- Συγκεκριμένη κοκομετρία - Συντελεστής μοριομορφίας ≥2
Παρασκευή κονιαμάτων	Φυσικά – θραυστά				<9%			- Συγκεκριμένη κοκομετρία - Υγρασία <3% - Η τιμή S αναφέρεται στη δοκιμή υγείας με χρήση αλάτων Na_2SO_4
Έρμα σιδηρής γραμμής	Θραυστά		≤24				- Δείκτης τλάκωσης - Μιστάθηναι	Μαγνητικά και γυψώσι, χαλαζίτες, αμφιβολίτες, Αποκλείονται τα λήσταγενή.
Φίλτρα - Στραγγιστήρια		≥2,5	<40		<12%		- W_0 <3% - AIV <30%	Η τιμή S αναφέρεται στη δοκιμή υγείας με χρήση αλάτων $MgSO_4$
Συρματοκιβώτια	Φυσικά – θραυστά						W_0 <3%	- Συγκεκριμένη κοκομετρία - Ο δείκτης υγείας (με τη δοκιμή υγείας – απόφυξης) < 0,80

Ο ρόλος των αδρανών στο Σκυρόδεμα

- Αποτελούν τον σκελετό του σκυροδέματος.
- Αποτελούν το 60 – 75 % κατ' όγκο και 70 – 85 % κατά βάρος συστατικό.
- Αντιστέκονται στη διάδοση και ανάπτυξη των μικρο-ρωγματώσεων που προκαλούνται από τη συστολή ξήρανσης.
- Η φύση των δεσμών που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια αδρανών και τσιμεντόπαστας, οδηγούν στις μηχανικές αντοχές του σκυροδέματος.



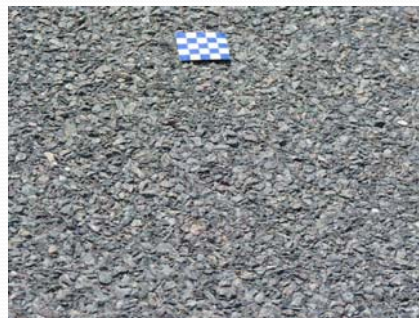
Ο ρόλος των μη σταθεροποιημένων αδρανών στην Οδοποιία

- Αποτελούν δομική στρώση που κατανέμει τα φορτία κυκλοφορίας.
- Ανθίσταται στην υποβάθμιση λόγω διαπίδυσης λεπτομερών από το έδαφος θεμελίωσης ή το επίχωμα.
- Δρουν ως αποστράγγιση.
- Αντικαθιστούν ευαίσθητη στον παγετό υπόβαση.



Ο ρόλος των αδρανών στα Ασφαλτομίγματα

- Μεταφέρουν τα φορτία κάθετα στα υποκείμενα στρώματα.
- Αποτελούν το 90-95% κατά βάρος του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος.
- Μπορούν να δώσουν ειδικές αντιολισθηρές ιδιότητες.
- Ανθίστανται σε χημικά (π.χ. αντιπαγετικά άλατα).
- Επηρεάζουν τις υδραυλικές ιδιότητες του ασφαλτοτάπητα.



Ο ρόλος των αδρανών στο Σιδ/κό Έρμα

- Μεταφέρουν τα δυναμικά φορτία κυκλοφορίας των συρμών στην υπόβαση.
- Παρέχουν ελαστικότητα στη γραμμή απορροφώντας την ενέργεια από την κίνηση των συρμών και τα κρουστικά φορτία από τους στρωτήρες.
- Παρέχουν ελεύθερη αποστράγγιση της γραμμής.
- Συγκρατούν τις τροχιές στην επιθυμητή τους θέση.



Η σημασία των αδρανών στην κατασκευαστική βιομηχανία στην Ευρώπη

- Η κατασκευή ενός μέσου σχολείου χρησιμοποιεί έως 3000 τόννους αδρανών.
- Για ένα στάδιο απαιτούνται έως 300.000 τόννοι.
- Η κατασκευή 1 km αυτοκινητόδρομου χρειάζεται έως 30.000 τόννους αδρανών.
- 1 μέτρο κλίνης έρματος σιδηροδρομικής γραμμής του τραίνου υψηλών ταχυτήτων (TGV) χρειάζεται έως 9 τόννους σκύρων.

Βιβλιογραφία

- Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., (2007) Γεωλογία Τεχνικών Έργων, Εκδ. Παπασωτηρίου, σελ.575.
- Ρόζος Δ., (2007) Τεχνική Γεωλογία II, Διδακτικές σημειώσεις ΕΜΠ, Αθήνα.
- Ρόζος Δ., (2013) Διαφάνειες παρουσιάσεων του μαθήματος Τεχνική Γεωλογία II, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Γκενάκος Ι., Τσιφουτίδης Γ., (2006) Διαφάνειες παρουσίασης ``ΑΔΡΑΝΗ ΥΨΗΛΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΟΣ`` ΗΜΕΡΙΔΑ ΕΕΤΓ: Η συμβολή της Τεχνικής Γεωλογίας στις σύγχρονες απαιτήσεις των αναπτυξιακών έργων.
- www.pavetest.gr