

ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Ι

Διδάσκοντες:

Κοσμάς Σίδερης, Καθηγητής

Σουζάνα Ταστάνη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Συγγράμματα

Δομικά Υλικά	Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου
Σκυρόδεμα-Μικροδομή, Ιδιότητες, και Υλικά	P.K. Mehta, P.J.M. Monteiro

Εξέταση: γραπτή επί θεωρίας και ασκήσεων



ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

ΦΥΣΙΚΑ
(πέτρες, ξύλο)



ΤΕΧΝΗΤΑ

(σκυρόδεμα,
χάλυβας, γυαλί,
κεραμικά, πλαστικά,
σύνθετα)



- Κατασκευή
- Επισκευή
- Συντήρηση και προστασία
- Αισθητική

Απαιτήσεις

- Αντοχή (σε φορτίο)
- Ανθεκτικότητα (στο περιβάλλον και έναντι ακραίων δράσεων όπως π.χ. η πυρκαγιά)
- Συμβατότητα σε άλλα υλικά

ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Ι

Ύλη:

1. Αδρανή: Είδη, Ιδιότητες και μετρήσεις αυτών, Επιβλαβείς προσμίξεις. Οι κοκκομετρικές καμπύλες στην Τεχνολογία του Σκυροδέματος. **(Ταστάνη)**

2. Κονίες: Είδη, τρόποι παραγωγής, μηχανισμοί πήξεως και σκληρύνσεως. Αερικές και υδραυλικές κονίες. **(Σίδερης)**

Τσιμέντα Πόρτλαντ: Πρώτες ύλες, παραγωγή, χημική σύνθεση κλίνκερ. Ενυδάτωση. Ποζολανική αντίδραση. Είδη (EN 197-1). Ιδιότητες: λεπτότητα, πορώδες, θλιπτική αντοχή, εσωτερική/εξωτερική συρρίκνωση, πυκνότητα. Επιλογή συναρτήσει των απαιτήσεων σε αντοχή και των περιβαλλοντικών συνθηκών δόμησης. **(Σίδερης)**

3. Κονιάματα: Αναλογίες μείξης και πρόσθετα. Πρόσφυση, αντοχή, ανθεκτικότητα. Επίδραση της αντοχής του κονιάματος στην αντοχή οπτοπλινθοδομής. **Οπτόπλινθοι (Ταστάνη)**

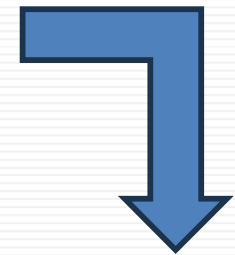
ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Ι

Ύλη:

1. Αδρανή:



2. Κονίες:



ΠΟΛΤΟΣ

Κονίαμα ή σκυρόδεμα

ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ (aggregate)

- Έμφαση ως συστατικό υλικό για την παρασκευή σκυροδέματος, ασφαλτικών οδοστρωμάτων

Καταλαμβάνουν ~ 60-70% του όγκου του σκυροδέματος, συνεπώς επηρεάζουν βασικές του ιδιότητες (αντοχή, ανθεκτικότητα)

- θεωρούνται “αδρανή” (inert) → δεν ισχύει ακριβώς, διότι οι φυσικές (πορώδες), θερμικές, χημικές τους ιδιότητες επηρεάζουν την συμπεριφορά του σκυροδέματος
- είναι το φθηνό συστατικό: ζητούμενο η μέγιστη δυνατή συμμετοχή του στο σκυρόδεμα ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος του τσιμέντου (ακριβό υλικό)

Το μεγαλύτερο μέγεθος αδρανούς που μπαίνει στο σκυρόδεμα είναι μεταξύ 10 - 50 mm, συνήθως είναι ~20 - 30mm.



Διαβάθμιση του μεγέθους των κόκκων αδρανών



Μία αποθήκη που τα περιέχει όλα (all-in) → χαμηλής ποιότητας σκυροδέματα

Δύο αποθέσεις ή περισσότερες → για καλή ποιότητα σκυροδέματος

Αν 2 αποθέσεις: τα λεπτόκοκκα – άμμος (<4mm) και τα χονδρόκοκκα (>4mm)

αποθέσεις
σε ομάδες



ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Μπορεί να είναι: φυσικά τεχνητά ανακυκλωμένα

- Τεχνητά → βιομηχανικά προϊόντα, χρήση για ειδικές κατασκευές με απαιτήσεις π.χ. θερμομόνωσης



LECA: lightweight
expanded clay
aggregates



foamed glass aggregates

- Ανακυκλωμένα → από τεχνητούς λίθους (π.χ. σκυρόδεμα από κατεδαφίσεις)



ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Μπορεί να είναι: **φυσικά** τεχνητά ανακυκλωμένα

- **Φυσικά** → έχουν υποστεί μόνο μηχανική κατεργασία
 - συλλεκτά: λείανση από φυσικές αιτίες (αέρας, νερό) → μειωμένη τριβή
 - Θραυστά: από λατομεία → γωνιώδη με αυξημένη τριβή



Τα συλλεκτά προέρχονται από φυσικές αποθέσεις ποταμών, θαλασσών, ορυχείων και χρησιμοποιούνται χωρίς θραύση (αλλά μετά από διαλογή ή/και κοσκίνισμα και πλύσιμο όπου απαιτείται – μπορεί να περιέχουν κελύφη/κοχύλια: όριο 10% κατά μάζα). Τα θραυστά προέρχονται από τη θραύση πετρωμάτων ή από τη θραύση συλλεκτών αδρανών.

ΦΥΣΙΚΑ ΑΔΡΑΝΗ από πετρώματα όπως:

Πυριγενή

Igneous

- Forms from magma or lava solidification
- Hard, no layers



Granite

Intrusive
slow magma cooling



Obsidian

Extrusive
rapid lava cooling

Ιζηματογενή

Sedimentary

- Forms from sediment compaction
- Crumbly, layered



Sandstone

Clastic
compacted broken rocks



Limestone

Chemical
compacted dissolved minerals



Coal

Organic
compacted biogenic matter

Μεταμορφωμένα

Metamorphic

- Forms by transformation of other rocks
- Relatively hard, may or may not have layers



Slate

Foliated
has layers



Marble

Non-Foliated
no layers

Ως προς την χημική σύσταση, χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:
Πυριτικά (SiO_2) και ασβεστολιθικά (CaCO_3)

Πριν την θραύση:

Μητρικό πέτρωμα: χημική και ορυκτολογική σύσταση, πετρογραφική κατάταξη, ειδική πυκνότητα, σκληρότητα, αντοχή, πορώδες → Επιστήμη της Γεωλογίας

Μετά την θραύση: ενδιαφέρουν επιπλέον ιδιότητες όπως το **σχήμα** και **μέγεθος αδρανούς, επιφανειακή υφή, απορροφητικότητα**

Σχήμα: στρογγυλευμένο, ακανόνιστο με στρογγυλεμένες άκρες, πλακοειδές, γωνιώδες

→ καθορίζει την συμπίκνωσή τους (Π.χ. εάν έχουν το ίδιο σχήμα και μικρές

διαφορές στις διαστάσεις τους, τότε το πόσο γωνιώδη είναι μπορεί να προσδιορισθεί εμμέσως από τον κενό χώρο μεταξύ τους. Έτσι:

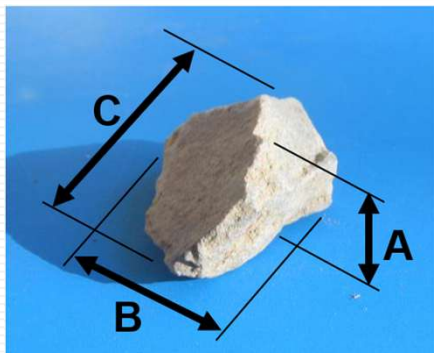
γωνιώδες (angularity) = 67 - % συμπαγούς όγκου, με 67 τον συμπαγή όγκο στρογγυλών αδρανών (όχι άμμου!)

Παράδειγμα: το δείγμα αδρανών (σε κορεσμένη κατάσταση) γεμίζει πλήρως ένα διάτρητο δοχείο γνωστού όγκου

$V=8\text{lt}=8\text{dm}^3$. Στην συνέχεια ζυγίζεται μέσα σε νερό → → →

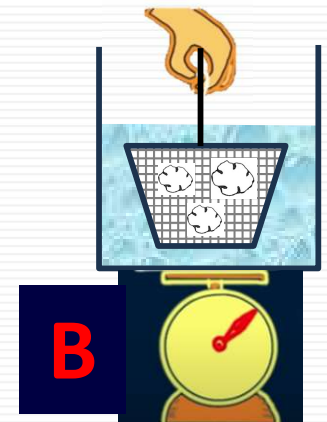
η ζυγαριά ζυγίζει την άνωση $B/g=\rho_{\text{νερού}}V_{\text{agg}}$, και άρα τον όγκο των αδρανών, έστω $V_{\text{agg}}=4.5\text{dm}^3$

Το γωνιώδες είναι: $67 - 4.5/8 \times 100 = \underline{10.8}$



C=μήκος
B=πλάτος
A=πάχος

Αν $B/A > 3$ πλακοειδές
Αν $C/B > 3$ επιμήκες



Πριν την θραύση:

Μητρικό πέτρωμα: χημική και ορυκτολογική σύσταση, πετρογραφική κατάταξη, ειδική πυκνότητα, σκληρότητα, αντοχή, πορώδες → Επιστήμη της Γεωλογίας

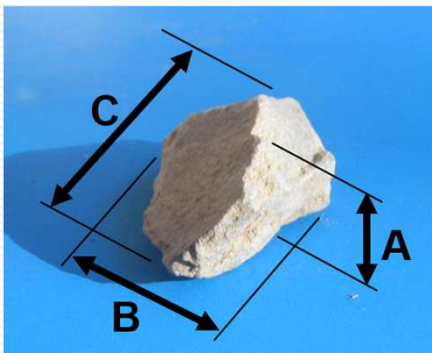
Μετά την θραύση: ενδιαφέρουν επιπλέον ιδιότητες όπως το **σχήμα** και **μέγεθος αδρανούς, επιφανειακή υφή, απορροφητικότητα**

Σχήμα: στρογγυλευμένο, ακανόνιστο με στρογγυλεμένες άκρες, πλακοειδές, γωνιώδες

→ καθορίζει την συμπίκνωσή τους (Π.χ. εάν έχουν το ίδιο σχήμα και μικρές διαφορές στις διαστάσεις τους, τότε το πόσο γωνιώδη είναι μπορεί να προσδιορισθεί εμμέσως από τον κενό χώρο μεταξύ τους. Έτσι:

γωνιώδες (angularity) = 67 - % συμπαγούς όγκου, με 67 τον συμπαγή όγκο στρογγυλών αδρανών (όχι άμμου!)

→ **Σφαιρικότητα αδρανούς:** λαμβάνεται υπόψη ο λόγος **εμβαδόν εξωτερικής επιφάνειας/όγκος = ειδική επιφάνεια** (π.χ. εάν έχουμε σφαιρικό αδρανές με επιφάνεια σφαίρας $4\pi r^2$ και όγκο $4/3 \times \pi r^3$ τότε ειδική επιφάνεια = $3/r$).

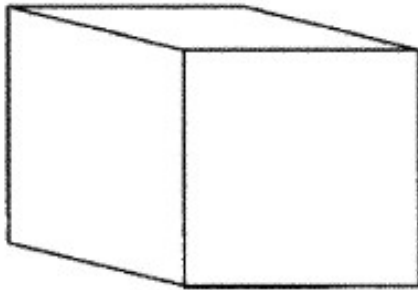


C=μήκος
B=πλάτος
A=πάχος

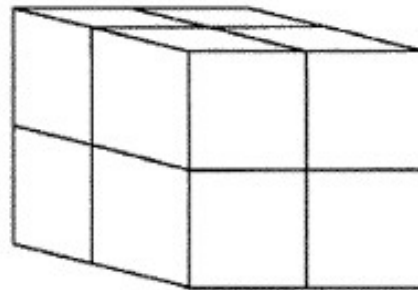
Αν $B/A > 3$ πλακοειδές
Αν $C/B > 3$ επιμήκες

ειδική επιφάνεια = εμβαδόν εξωτερικής επιφάνειας/όγκος

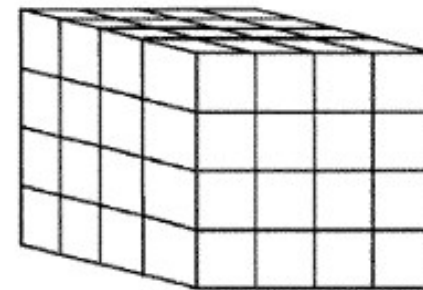
Όγκος (1), $V=\alpha^3$



Όγκος (1), $V=(\alpha/2)^3$



Όγκος (1), $V=(\alpha/4)^3$



Εξωτερική επιφάνεια:

$$E_1 = 6 \times \alpha^2$$

$$E_2 = 6 \times (\alpha/2)^2$$

$$E_3 = 6 \times (\alpha/4)^2$$

ειδική επιφάνεια:

$$EE_1 = 6 \times \alpha^2 / \alpha^3 = 6/\alpha$$

$$EE_2 = 12/\alpha = 2EE_1$$

$$EE_3 = 24/\alpha = 4EE_1$$

**Αύξηση ειδικής επιφάνειας με αύξηση της
λεπτότητας του υλικού**

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

ένα αδρανές τείνει να διατάσσει την μικρότερη διάστασή
του κατακόρυφα (είναι πιο σταθερό).

Φυσικά

Σφαιρικά, γωνιώδη, πλακοειδή (flakiness index, επιθυμητό FI<35)

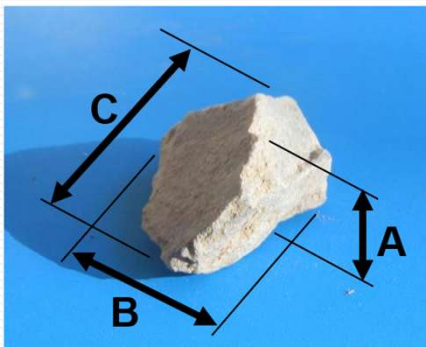
Τα πλακοειδή αδρανή τείνουν να συσσωρεύονται πιο σφιχτά από
τα ακανόνιστα αδρανή και άρα απαιτούν λιγότερο συνδετικό.



πλακοειδές αδρανές: έχει ελάχιστη διάσταση
μικρότερη από 0,6 του **μέσου όρου α)** του
μικρότερου μεγέθους κόσκινου από το οποίο
διέρχεται και **β)** του μεγαλύτερου μεγέθους
κόσκινου στο οποίο συγκρατείται.

A 265/1	4.9 x 30 mm slot
A 265/2	7.2 x 40 mm slot
A 265/3	10.2 x 50 mm slot
A 265/4	14.4 x 60 mm slot
A 265/5	19.7 x 80 mm slot
A 265/6	26.3 x 90 mm slot
A 265/7	33.9 x 100 mm slot

Αν $B/A > 3$ πλακοειδές
Αν $C/B > 3$ επιμήκες



Τοποθέτηση: από το μεγαλύτερης σχισμής (πάνω) στο
μικρότερης (κάτω)

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

ένα αδρανές τείνει να διατάσσει την μικρότερη διάστασή
του κατακόρυφα (είναι πιο σταθερό).

Φυσικά

Σφαιρικά, γωνιώδη, πλακοειδή (flakiness index, επιθυμητό FI<35)

Τα πλακοειδή αδρανή τείνουν να συσσωρεύονται πιο σφιχτά από
τα ακανόνιστα αδρανή και άρα απαιτούν λιγότερο συνδετικό.

4.9 x 30 mm slot

7.2 x 40 mm slot

10.2 x 50 mm slot

14.4 x 60 mm slot

19.7 x 80 mm slot

26.3 x 90 mm slot

33.9 x 100 mm slot

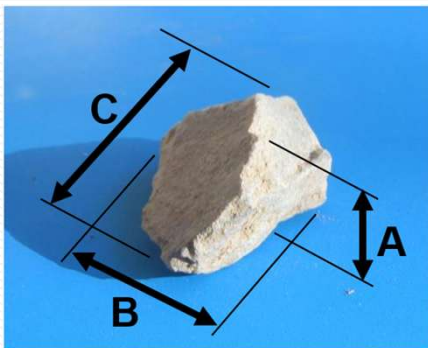
πλακοειδές αδρανές: έχει ελάχιστη διάσταση
μικρότερη από 0,6 του **μέσου όρου** α) του
μικρότερου μεγέθους κόσκινου από το οποίο
διέρχεται και β) του μεγαλύτερου μεγέθους
κόσκινου στο οποίο συγκρατείται.

Π.χ: αν ισχύει $B/A > 3$ και η μικρότερη διάσταση αδρανούς min
(A, B, C)=5mm και αυτό διέρχεται από κόσκινο σχισμής 14.4mm
και 10.2mm αλλά συγκρατείται στο κόσκινο με σχισμή 7.2mm
τότε $M.O = (10.2 + 7.2) / 2 = 8.7mm \rightarrow 0.6 \times 8.7 = 5.22mm$. Επειδή
 $5mm < 5.22mm \rightarrow$ είναι πλακοειδές

Εάν σε ένα δείγμα αδρανών βάρους π.χ. 1000γρ προκύψει ότι τα
450γρ ικανοποιούν την παραπάνω απαίτηση, τότε:

$$FI = 450/1000 \times 100 = 45$$

Αν $B/A > 3$ πλακοειδές
Αν $C/B > 3$ επιμήκες



Ο δείκτης FI ορίζεται ως το ποσοστό (κατά μάζα) των αδρανών
σε ένα σύνολο-δείγμα, με **ALD (average list dimension)**
μικρότερη από 0,6 φορές τη μέση διάστασή τους.

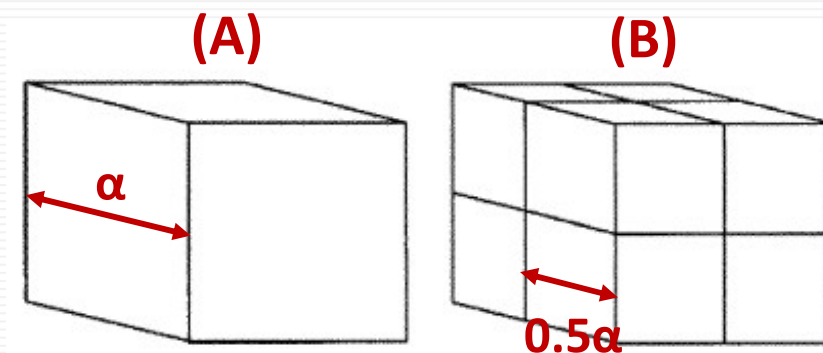
Άσκηση ειδικής επιφάνειας: Η αυξημένη ειδική επιφάνεια επιφέρει αύξηση της κατανάλωσης υλικού συγκόλλησης

Έχετε δύο κύβους (Α) και (Β) ίδιας γεωμετρίας.

Για τον κύβο (Α) υπολογίστε πόσο υλικό (σε μονάδα επιφάνειας) χρειάζεται για να συγκολληθεί περιμετρικά.

Για τον κύβο (Β) υπολογίστε πόσο υλικό (σε μονάδα επιφάνειας) χρειάζεται για συγκολληθούν τα μέρη του καθώς και περιμετρικά.

Ποια είναι η προσαύξηση;



Άσκηση για το εάν ένα δείγμα αδρανών ικανοποιεί την απαίτηση για $FI < 35$

Δείγμα αδρανών βάρους 3500 gr ελέγχεται ως προς το επιτρεπτό άνω όριο σε πλακοειδή αδρανή. Το δείγμα τοποθετείται στην τυπική κοσκινιέρα (τετράγωνες οπές).



Κοσκινιέρα
(οπή σε
mm x mm)

1° 25 x 25
2° 20 x 20
3° 16 x 16
4° 12 x 12
5° 10 x 10
6° 6 x 6

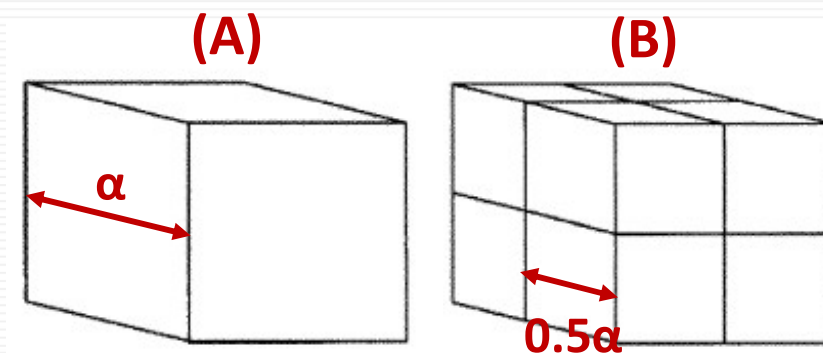
Άσκηση ειδικής επιφάνειας: Η αυξημένη ειδική επιφάνεια επιφέρει αύξηση της κατανάλωσης υλικού συγκόλλησης

Έχετε δύο κύβους (Α) και (Β) ίδιας γεωμετρίας.

Για τον κύβο (Α) υπολογίστε πόσο υλικό (σε μονάδα επιφάνειας) χρειάζεται για να συγκολληθεί περιμετρικά.

Για τον κύβο (Β) υπολογίστε πόσο υλικό (σε μονάδα επιφάνειας) χρειάζεται για συγκολληθούν τα μέρη του καθώς και περιμετρικά.

Ποια είναι η προσαύξηση;



Άσκηση για το εάν ένα δείγμα αδρανών ικανοποιεί την απαίτηση για FI<35

Δείγμα αδρανών βάρους 3500 gr ελέγχεται ως προς το επιτρεπτό άνω όριο σε πλακοειδή αδρανή. Το δείγμα τοποθετείται στην τυπική κοσκινιέρα (τετράγωνες οπές).

συγκρατούμενα



Κοσκινιέρα
(οπή σε
mm x mm)

1° 25 x 25	1050 gr	<u>Ελάχιστη διάσταση</u> (σχισμής)= $0.6 \times \text{average}$ (προηγούμενο+επόμενο)	Πόσα από τα συγκρατούμενα περνάνε την σχισμή
2° 20 x 20	600 gr	$0.6 \cdot (25+20)/2=13.5$	100 gr
3° 16 x 16	450 gr	10.8	150 gr
4° 12 x 12	300 gr	8.4	60 gr
5° 10 x 10	700 gr	6.6	150 gr
6° 6 x 6	400 gr	4.8	100 gr

FI (%)

$100/600 \times$
 $100=16.6$

$150/450=33$

$60/300=20$

21

25

Έκαστη συγκρατούμενη μάζα
τοποθετείται σε **κόσκινο**
σχισμής με πλάτος όσο η
αντίστοιχη Ελάχιστη Διάσταση



Πριν την θραύση:

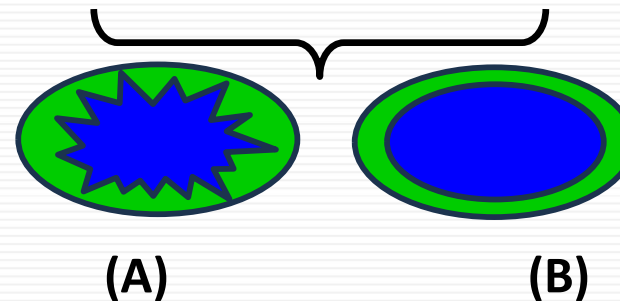
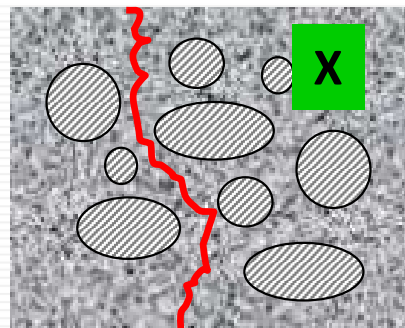
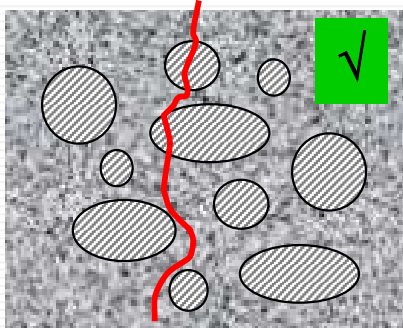
Μητρικό πέτρωμα: χημική και ορυκτολογική σύσταση, πετρογραφική κατάταξη, ειδική πυκνότητα, σκληρότητα, αντοχή, πορώδες (γεωλογία)

Μετά την θραύση: επιπλέον ιδιότητες όπως το **σχήμα** και **μέγεθος αδρανούς**, **επιφανειακή υφή**, **απορροφητικότητα**

επιφανειακή υφή (λείο ή τραχύ): αυτή καθορίζεται από την σκληρότητα, το μέγεθος του κόκκου και το πορώδες του πετρώματος. Έχει μεγάλη επιρροή στην απαίτηση για νερό ειδικώς για τα πολύ λεπτά αδρανή όπως είναι η άμμος!

σχήμα και επιφανειακή υφή → **ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΠΑΣΤΑΣ – ΑΔΡΑΝΟΥΣ** → επιδρούν στην αντοχή του σκυροδέματος

όσο ↑↑ η **ΣΥΝΑΦΕΙΑ** τότε:

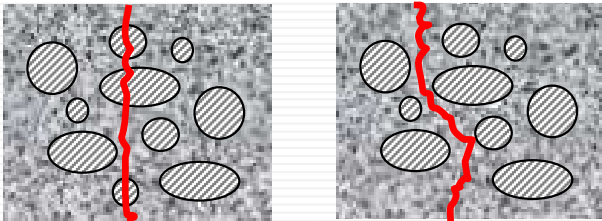


(A) Μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια έχει το (A) και άρα ↑ συνάφεια

Συνάφεια: Μηχανική ιδιότητα

Αντοχή σε θλίψη (crushing)

$$f_{agg} = 35 - 350 \text{ MPa}$$



Παραπλήσια αντοχή
πάστας - αδρανούς
αντοχή πάστας <<
αντοχή αδρανούς

Αποτίμηση αντοχής

⇒ δοκίμια από το μητρικό πέτρωμα → f_{agg}

⇒ ή χρήση ξηρού αδρανούς μάζας m_{init} & μεγέθους 10 - 14mm, που πιέζεται για 10min με πίεση $p \approx 20 \text{ MPa}$, έπειτα το δείγμα κοσκινίζεται σε κόσκινο οπής ~ 2.5 mm. Αυτό που διέρχεται, ζυγίζεται m_{pass} και ο $m_{pass}/m_{init} = \text{ACV}$ (aggregate crushing value. Μεγάλη τιμή?)

Μέτρο ελαστικότητας E_{agg} : πόσο συμπιεστό ή όχι είναι το αδρανές

Ένα «μαλακό» αδρανές μικρών E και f_{agg} σημαίνει ότι είναι πορώδες και σε θερμική διαστολή της μάζα του ο επιπλέον όγκος θα «στεγαστεί» εντός του πορώδους οπότε δεν θα ασκήσει πιέσεις στην τσιμεντόπαστα

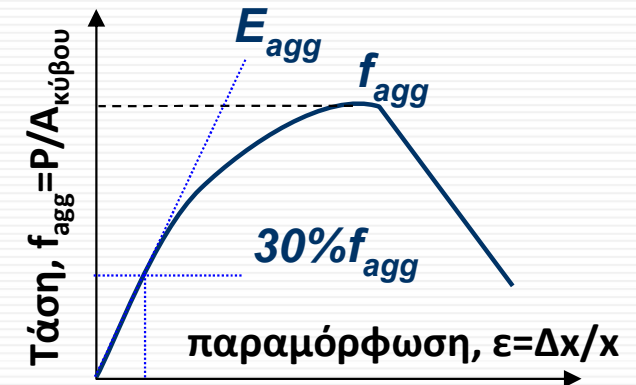
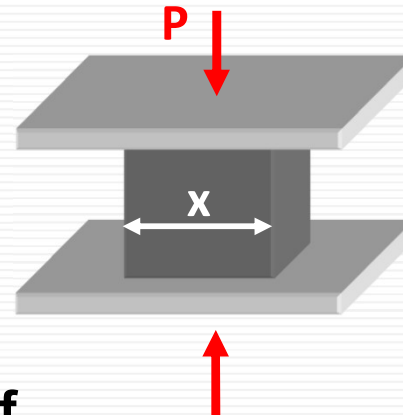
Σκληρότητα/δυσθραυστότητα (toughness):

πώς αστοχεί σε κρούση (impact) → AIV

Τα αδρανή (ξηρά και κορεσμένα SSD):

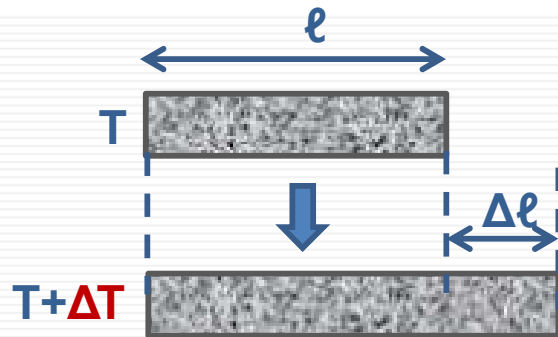
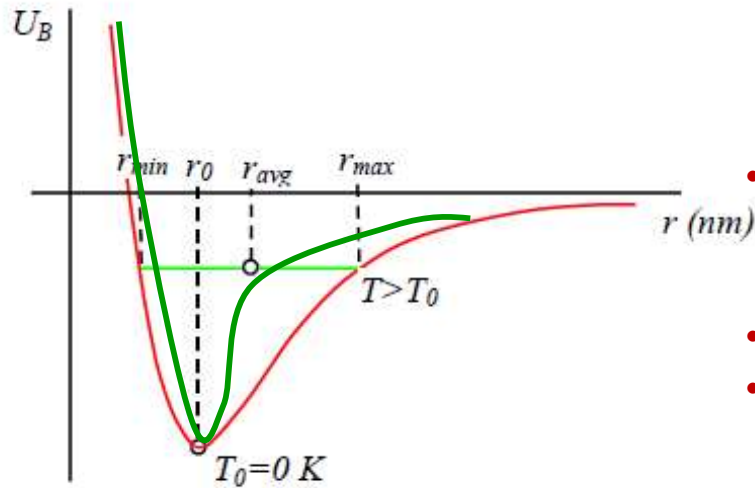
κρούονται με σφυρί και πάλι μετριέται ότι περνάει από κόσκινο οπής 2.5mm κλπ.

Μηχανικές ιδιότητες



AIV=25% για ισχυρά πατώματα
= 45% για σκυρόδεμα

Θερμικές ιδιότητες



Τσιμεντόπαστα: $11-16 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Σε θερμοκρασίες $< 60^\circ\text{C}$ οι διαφορές α_{paste} α_{agg} δεν επιφέρουν βλάβη
Επιτρεπτές διαφορές έως $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Διάγραμμα Δυναμικής Ενέργειας U , – απόστασης μεταξύ ατόμων, r :

Σε $T_0 = 0 \text{ K}$ ($\text{K} = 273 + ^\circ\text{C}$) η απόσταση μεταξύ ατόμων είναι r_0 (ισορροπία) και αυξάνει με $T > T_0$ (θερμική ενέργεια = Κιν. + Δυν. Ενέργεια) λόγω ταλάντωσης

- Δύναμη $= dU/dr$: όσο πιο απότομη η αλλαγή της δυναμικής ενέργειας τόσο μεγαλύτερες οι ασκούμενες δυνάμεις μεταξύ ατόμων ή μορίων
- Κάθε υλικό έχει το δικό του διάγραμμα.
- Στα ισοτροπικά υλικά, όπου το διάγραμμα της δυναμικής ενέργειας είναι το ίδιο σε όλες τις διευθύνσεις, η θερμική διαστολή λαμβάνει χώρα ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις του σώματος.

Συντελεστής **θερμικής διαστολής α** (γραμμικός):

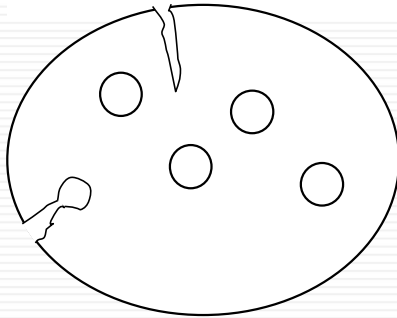
πέτρωμα

	$10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$
Granite	1.8 to 11.9
Diorite, andesite	4.1 to 10.3
Gabbro, basalt, diabase	3.6 to 9.7
Sandstone	4.3 to 13.9
Dolomite	6.7 to 8.6
Limestone	0.9 to 12.2
Chert	7.4 to 13.1
Marble	1.1 to 16.0

ξηρά και κορεσμένα αδρανή

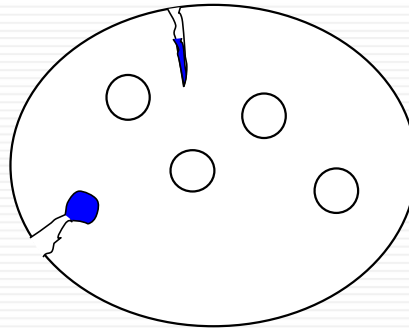
i)

Ξηρή κατάσταση
(100°C, 24hrs)



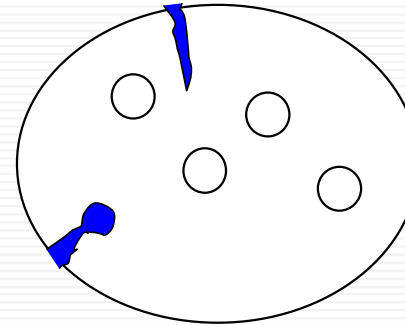
ii)

επιφανειακά στεγνό –
μη κορεσμένο



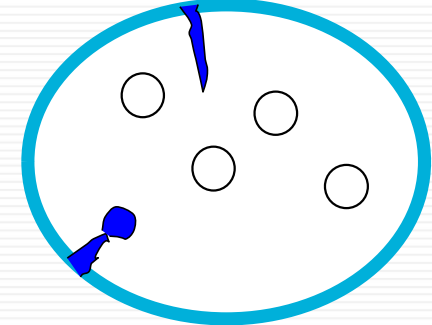
iii)

κορεσμένο –
επιφανειακά στεγνό, SSD

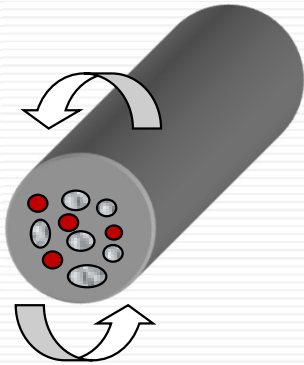


iv)

υγρό



Αντοχή σε τριβή (λείανση και εκδορά): Απαραίτητη ιδιότητα σε έργα που καταπονούνται σε δυνάμεις τριβής: π.χ. βιομηχανικά δάπεδα, οδοστρώματα



Δοκιμές: σε εκδορά (αδρανές – **άμμος**)
σε λείανση (αδρανές – **καουτσούκ ελαστικών**)

Los Angeles test: συνδυαστική δοκιμή για εκδορά και φθορά αλλά και για την αντοχή των αδρανών: Αδρανή + μεταλλικές σφαίρες: Ζυγίζεται το υλικό πριν ($m_{initial}$) και μετά την δοκιμή (m_{final}) που συγκρατείται από το ίδιο κόσκινο

→ υπολογίζεται ο δείκτης απόρριψης $LA = \Delta m / m_{initial} (\%)$



Los Angeles test

Φυσικές ιδιότητες: ΥΓΡΑΣΙΑ



Μετρητής
ελεύθερης
υγρασίας

Επιφανειακή (iv)

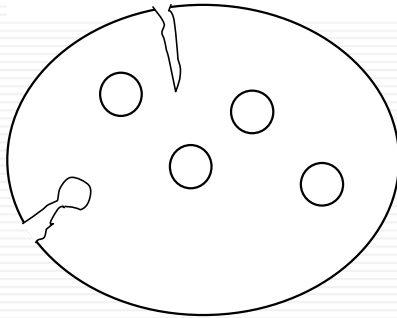
✓ Συμβάλλει σε ενυδάτωση τσιμέντου

Ανοικτών πόρων

✓ Συμβάλλει στην σκλήρυνση σκυροδέματος

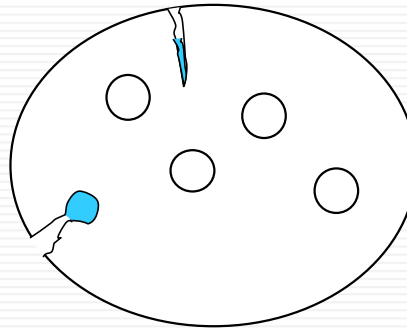
i)

Ξηρή κατάσταση
(100°C, 24hrs)



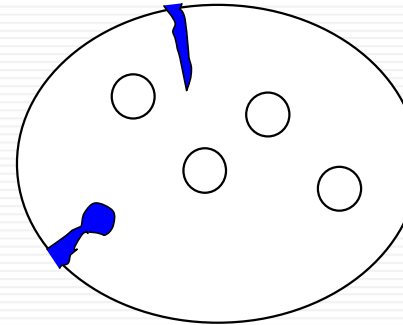
ii)

επιφανειακά στεγνό –
μη κορεσμένο



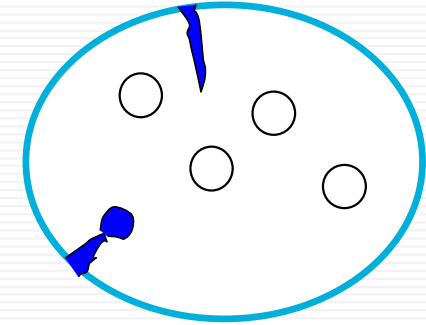
iii)

κορεσμένο –
επιφανειακά στεγνό, SSD



iv)

υγρό



← Απορρόφηση υγρασίας →
Μείωση του W μίξης →
προσθήκη επιπλέον νερού

→ αμετάβλητο το
νερό μίξης W

← ελεύθερη
υγρασία →
Αυξάνει νερό →
απαιτείται μείωση
του W μίξης

$$\text{Βάρη: } W_{\text{dry}}^{(i)} < W_{\text{moist}}^{(ii)} < W_{\text{SSD}}^{(iii)} < W_{\text{wet}}^{(iv)}$$

$$\text{Υγρασία: } Y = (W_j - W_{\text{dry}}) / W_{\text{dry}} \times 100$$

Συνολική υγρασία (water content): της SSD + ελεύθερη

Στην περίπτωση της άμμου: η υγρασία που περιβάλλει κάθε κόκκο επιφέρει «διόγκωση», και επηρεάζει την σύνθεση στο σκυρόδεμα όταν οι αναλογίες είναι κ.ο. → μπαίνει λιγότερη άμμος → καλύτερα να είναι ΞΗΡΗ (η διαφορά dry – SSD για την άμμο είναι πολύ μικρή)

Φυσικές ιδιότητες: ΥΓΡΑΣΙΑ

Συνολική υγρασία = απορροφητικότητα (SSD) + ελεύθερη υγρασία

$$\text{Υγρασία: } Y = (W_j - W_{dry}) / W_{dry} \times 100$$

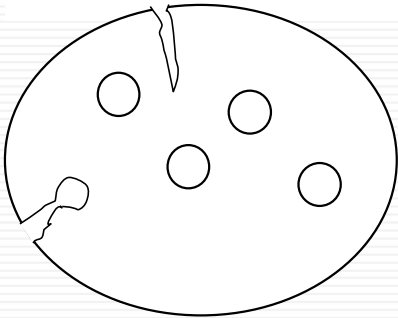
Η υδατοαπορροφητικότητα στον κανονισμό ΚΤΣ2016 δηλώνεται ως WA_{24}

Πόσο νερό χάνεται από το SSD όταν ξηρανθεί σε φούρνο για 24ώρες!

$$\text{υδατοαπορροφητικότητα : } WA_{24} = (W_{SSD} - W_{dry}) / W_{dry} \times 100$$

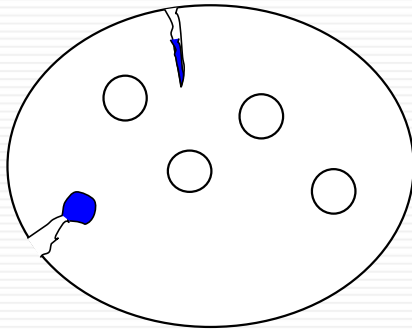
i)

Ξηρή κατάσταση
(100°C, 24hrs)



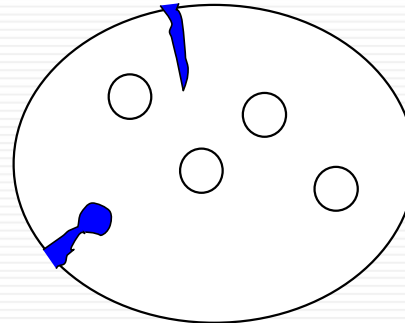
ii)

επιφανειακά στεγνό –
μη κορεσμένο



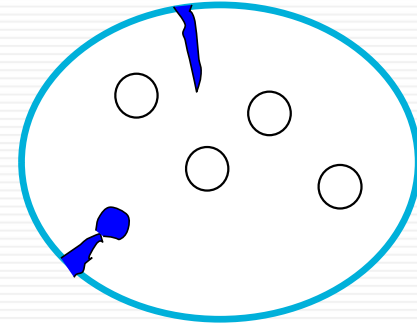
iii)

κορεσμένο –
επιφανειακά στεγνό, SSD



iv)

υγρό



Γενικά τόσο η Y όσο και η WA_{24} αναφέρονται ως προς το ξηρό βάρος:

$$W_j = W_{dry} \left(1 + \frac{Y}{100} \right), Y (\%)$$

Π.χ. αν $Y=5\%$:

$$W_j = W_{dry} \left(1 + \frac{5}{100} \right) = 1,05W_{dry}$$

$$W_{SSD} = W_{dry} \left(1 + \frac{WA_{24}}{100} \right), WA_{24} (\%)$$

$$WA_{24} = 3,5\%: W_{SSD} = W_{dry} \left(1 + \frac{3,5}{100} \right) = 1,035W_{dry}$$

$$\Delta W = W_j - W_{SSD} = W_{dry} \left(\frac{Y}{100} - \frac{WA_{24}}{100} \right)$$

$\Delta W > 0 \rightarrow$ πρέπει να αφαιρείται νερό για να περιέλθει σε SSD

$\Delta W < 0 \rightarrow$ πρέπει να προστίθεται νερό για να περιέλθει σε SSD

Φυσικές ιδιότητες: ΥΓΡΑΣΙΑ

Συνολική υγρασία = απορροφητικότητα (SSD) + ελεύθερη υγρασία

$$\text{Υγρασία: } Y = (W_j - W_{dry}) / W_{dry} \times 100$$

$$\text{υδατοαπορροφητικότητα : } WA_{24} = (W_{SSD} - W_{dry}) / W_{dry} \times 100$$

$$W_j = W_{dry} \left(1 + \frac{Y}{100} \right), Y (\%)$$

$$\Delta W = W_j - W_{SSD} = W_{dry} \left(\frac{Y}{100} - \frac{WA_{24}}{100} \right)$$

$$W_{SSD} = W_{dry} \left(1 + \frac{WA_{24}}{100} \right), WA_{24} (\%)$$

$\Delta W > 0 \rightarrow$ πρέπει να αφαιρείται νερό για να περιέλθει σε SSD
 $\Delta W < 0 \rightarrow$ πρέπει να προστίθεται νερό για να περιέλθει σε SSD

Παράδειγμα 1: Αδρανή με: $W_j = 625 \text{ gr}$, $W_{dry} = 590 \text{ gr}$, απορρόφηση $WA_{24} = 1.6\%$

Μάζα νερού $W_{water} = W_j - W_{dry} = 625 - 590 = 35 \text{ gr}$

Υγρασία: $Y = (625 - 590) / 590 \times 100 = 6\% > WA_{24} \rightarrow$ Συνολική υγρασία (εμπεριέχει SSD + ελεύθερη)

$\rightarrow$ **Ελεύθερη υγρασία:** $= 6 - 1.6 = 4.4\%$. Το νερό που πρέπει να αφαιρεθεί για να περιέλθει το δείγμα σε SSD είναι: $4.4 / 100 \times W_{dry} = 0.044 \times 590 = 26 \text{ gr}$

Σημείωση: επειδή η υγρασία είναι μεγαλύτερη της WA_{24} σημαίνει ότι το δείγμα βρίσκεται στην κατάσταση iv)

Εάν τα αδρανή είναι ΑΜΜΟΣ (το WA_{24} είναι μικρό): βέλτιστο είναι να αφαιρεθούν με ξήρανση 35 gr.

Φυσικές ιδιότητες: ΥΓΡΑΣΙΑ

Συνολική υγρασία = απορροφητικότητα (SSD) + ελεύθερη υγρασία

$$\text{Υγρασία: } Y = (W_j - W_{\text{dry}}) / W_{\text{dry}} \times 100$$

$$\text{υδατοαπορροφητικότητα : } WA_{24} = (W_{\text{SSD}} - W_{\text{dry}}) / W_{\text{dry}} \times 100$$

$$W_j = W_{\text{dry}} \left(1 + \frac{Y}{100} \right), Y (\%)$$

$$\Delta W = W_j - W_{\text{SSD}} = W_{\text{dry}} \left(\frac{Y}{100} - \frac{WA_{24}}{100} \right)$$

$$W_{\text{SSD}} = W_{\text{dry}} \left(1 + \frac{WA_{24}}{100} \right), WA_{24} (\%)$$

$\Delta W > 0 \rightarrow$ πρέπει να αφαιρείται νερό για να περιέλθει σε SSD
 $\Delta W < 0 \rightarrow$ πρέπει να προστίθεται νερό για να περιέλθει σε SSD

Παράδειγμα 2: ανάμιξη δύο τύπων αδρανών

	Χονδρόκοκκα αδρανή (Α)	+	άμμος (Β)
Βάρος, W_j :	50 Kg		30 Kg
Υγρασία Y :	3,9%		3,5%
Απορρόφηση (WA_{24}):	4,7%		1,0%
1 ^ο ΒΗΜΑ: Ποιο το ξηρό βάρος; $\rightarrow W_{\text{dry}} = W_j / (1 + Y/100)$			
Ξηρά βάρη:	50/1,039=48,123 kg		30/1,035=28,986 kg
2 ^ο ΒΗΜΑ: πόσο νερό χρειάζεται W_{water} για μετάβαση στην Κατάσταση SSD;			
	(0.039-0.047)×48,123=-0,385Kg		(0,035-0,01) × 28,986 =0,725Kg

Σημείωση:

Α: επειδή η $WA_{24} > Y$ βρίσκεται στην κατάσταση ii)

Β: επειδή η $WA_{24} < Y$ βρίσκεται στην κατάσταση iv)

Τελικό βάρος για Α: 50 kg + 0,385 kg νερού = 50,385 kg (διαβρέχω τα αδρανή)

Τελικό βάρος για Β: 30 kg - 0,725 kg νερού = 29,275 kg (ξήρανση μέχρι το επιθυμητό)

πυκνότητα, $\rho = m/V$

m: μάζα συμπαγούς υλικού

V: όγκος υλικού

Ειδικό βάρος (σχετική πυκνότητα):

$$= \rho / \rho_{\text{water}} = m / m_{\text{water}}$$

η μάζα υλικού διαιρεμένη με την μάζα νερού ίσου όγκου με το υλικό

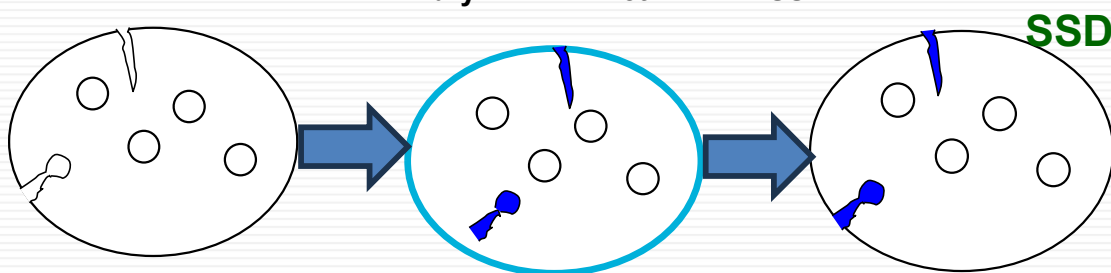
Φυσικές ιδιότητες

Φαινόμενο ειδικό βάρος αδρανών

V: όγκος στερεού + αδιαπέρατων πόρων = όγκος αδρανούς

Μέθοδος Μέτρησης:

ξηρανση στους 100-110°C για 24 ώρες, μετά εμβάπτιση για 24hrs, μετά σκούπισμα ($W_{\text{dry}} \rightarrow W_{\text{wet}} \rightarrow W_{\text{SSD}}$)



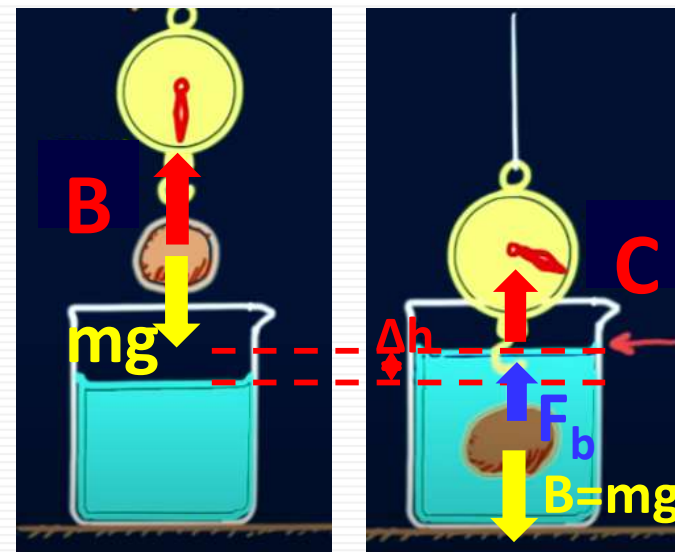
Μάζα A

Μάζα B

Το SSD δείγμα τοποθετείται σε συρμάτινο καλάθι που επικρέμεται μέσα σε δοχείο με νερό. Η ζυγαριά ζυγίζει το φαινόμενο βάρος μέσα στο νερό (μάζα C), το οποίο είναι μικρότερο από του αέρα (B) και η διαφορά ισούται με την μάζα του εκτοπισμένου νερού (ΑΝΩΣΗ) → αυτή η μάζα νερού ισούται με τον όγκο των αδρανών!

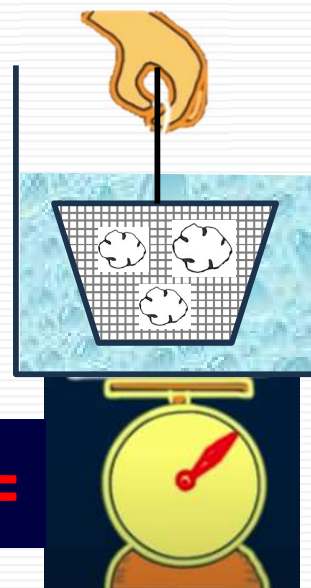
Φαινόμενο ειδικό βάρος (ξηρό) = $A/(B-C)$

Φαινόμενο ειδικό βάρος (SSD) = $B/(B-C)$



Εναλλακτικά: ζυγίζει την άνωση

B-C =



Example 6: Specific gravity calculation for coarse aggregate

Oven-dry mass in air	A	=	3168.5 g
Saturated surface-dry mass in air	B	=	3190.0 g
Saturated mass in water	C	=	1972.0 g

Φυσικές ιδιότητες

$$\text{Bulk specific gravity} = \frac{3168.5 \text{ g}}{3190.0 \text{ g} - 1972.0 \text{ g}} = 2.60$$

Φαινόμενο ειδικό βάρος (ξηρό) = $A/(B-C)$

$$\text{Bulk specific gravity SSD} = \frac{3190.0 \text{ g}}{3190.0 \text{ g} - 1972.0 \text{ g}} = 2.62$$

Φαινόμενο ειδικό βάρος (SSD) = $B/(B-C)$

☞ Το φαινόμενο ειδικό βάρος χρησιμοποιείται στην αναλογία μίξης υλικών στο σκυρόδεμα ώστε να προκύψει ο όγκος **V** που καταλαμβάνει δεδομένη μάζα αδρανών **m** μέσα στο σκυρόδεμα

V: όγκος στερεού υλικού + αδιαπέρατων πόρων του αδρανούς (δεν αφορά τα κενά μεταξύ αδρανών!!!)

$$V = m / (\Phi.E.B. \times \rho_{\text{νερού}})$$

Π.χ. εάν η μάζα ξηρών αδρανών είναι 47.7 kg και το ξηρό φαινόμενο βάρος είναι 2.6 τότε ο όγκος τους είναι $V = 47.7 \text{ kg} / (2.6 \times 1000 \text{ kg/m}^3) = 0.018 \text{ m}^3$

πυκνότητα, $\rho = m/V$

m : μάζα συμπαγούς υλικού

V : όγκος υλικού

Ειδικό βάρος (σχετική πυκνότητα):

$$= \rho / \rho_{\text{water}} = m / m_{\text{water}}$$

η μάζα υλικού διαιρεμένη με την μάζα νερού ίσου όγκου με το υλικό

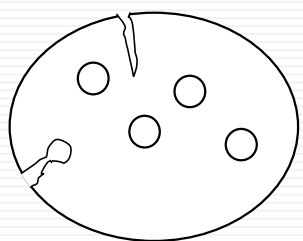
Φυσικές ιδιότητες

Φαινόμενο ειδικό βάρος αδρανών

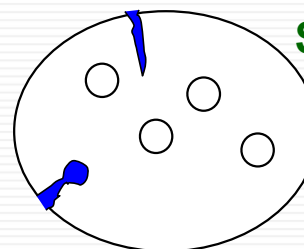
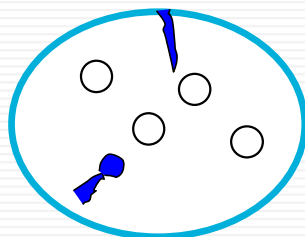
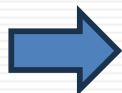
V : όγκος στερεού + αδιαπέρατων πόρων = όγκος αδρανούς

Μέθοδος Μέτρησης:

ξηρανση στους 100-110°C για 24 ώρες, μετά εμβάπτιση για 24hrs, μετά σκούπισμα



Μάζα Α

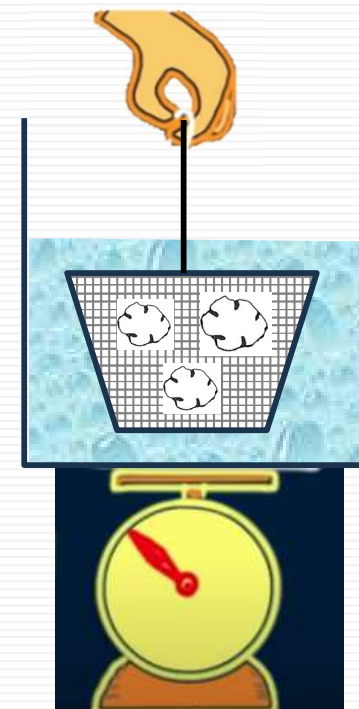


Μάζα Β

SSD

Φαινόμενο ειδικό βάρος (ξηρό) = $A/(B-C)$

Φαινόμενο ειδικό βάρος (SSD) = $B/(B-C)$



Φαινόμενη πυκνότητα (χύδην)

ρ = μάζα αδρανών / (όγκο αδρανών + κενών μεταξύ τους)



Φαινόμενη πυκνότητα (χύδην)

$\rho = \text{μάζα αδρανών} / (\text{όγκο αδρανών} + \text{κενών μεταξύ τους})$

Ξηρό ή SSD δείγμα

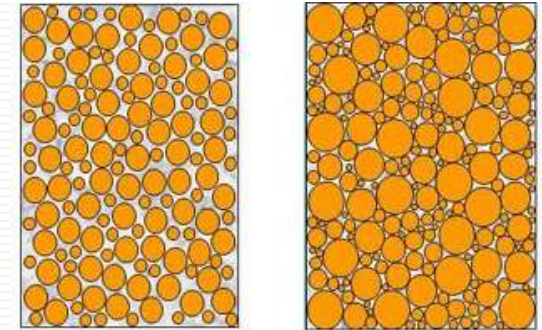
m: η μάζα που χωράει σε δοχείο γνωστού όγκου **V**

Χαλαρό: απλώς τοποθετούνται στο δοχείο

Συμπυκνωμένο: σε τρεις στρώσεις με χτυπήματα

Ανάλογα το σχήμα, διάταξη και
κοκκομετρία των αδρανών:

$\rho_{\text{χαλαρό}} = (0.87 - 0.96) \rho_{\text{συμπυκνωμένο}}$



χαλαρό συμπυκνωμένο

Το ποσοστό κενών χονδρόκοκκων
αδρανών υποδεικνύει τον όγκο
κονιάματος (τσιμεντόπαστας και άμμου)
που χρειάζεται για να γεμίσει τα κενά.

Παράγοντες που επηρεάζουν την φαινόμενη πυκνότητα αδρανών:

➤ Η συνολική υγρασία

Στα χονδρόκοκκα αδρανή ➔ αύξηση Φ.Π.

Η Άμμος όταν βρίσκεται πέρα από το SSD (έχει ελεύθερη υγρασία) ➔ μείωση Φ.Π.

επειδή η υγρασία που περιβάλλει κάθε κόκκο επιφέρει «διόγκωση» ➔ στην δοκιμή λιγότερη μάζα άμμου καταλαμβάνει τον όγκο του δοχείου.

➤ Η διαβάθμιση, το σχήμα κόκκου, η επιφανειακή τραχύτητα

Φαινόμενο ειδικό βάρος συνήθων αδρανών 2.6 – 2.7
(φαινόμενη –χύδην- πυκνότητα συνήθων αδρανών 1200-1750Kg/m³)

Βαρέα αδρανή (2.8-6): βαρύτης, μαγνησίτης
μεταλλεύματα σιδήρου, πυριτοσιδήρου

Ελαφρά αδρανή (<2):

- **διογκωμένη άργιλος (LECA) 0.3-0.6**
- **Κίσσηρη** Ηφαιστειογενές πέτρωμα με πολλούς πόρους **0.8-1.2**
- **Περλίτης** Υφαιστειακό γυαλί, όταν θερμανθεί διογκώνεται **0.3-0.6**

διογκωμένη άργιλος



κίσσηρη



περλίτης



- Τρίβονται εύκολα
- Μεγάλη υδατοαπορροφητικότητα

επιβλαβείς προσμίξεις

- Παρεμποδίζουν την ενυδάτωση του τσιμέντου
- Περιβάλλουν τα αδρανή παρεμποδίζοντας την συνάφεια αδρανούς – τσιμεντόπαστας
- είναι σαθρά (π.χ. κελύφη), και άρα αδύναμα σημεία της δομής του σκυροδέματος

**Οργανικές προσμίξεις – φυτικό υλικό σε αποσύνθεση
(υπάρχει κυρίως στην άμμο)**

- **πηλός:** περιβάλλει τα αδρανή και παρεμποδίζει την συνάφεια
- **Παιπάλη (πούδρα):** είτε περιβάλλει τα αδρανή είτε είναι συστατικό υλικό (χαλαρό) → μεγάλη ειδική επιφάνεια ($1/r$) → αυξάνει το νερό μίξης που χρειάζεται ώστε να διαβραχούν όλα τα λεπτόκοκκα (παιπάλη και τσιμέντο)

Ο Κανονισμός EN12620 : **fines**, έχουν μέγεθος κόκκου $<0.063\text{mm}$, βάζει επιτρεπτά όρια

Άλατα (χλωριόντα): έως 6% σε άμμο από παραθαλάσσιες αποθέσεις → κίνδυνος σκουριάς του οπλισμού εντός του σκυροδέματος από άμμο βυθού: λιγότερο επικίνδυνη, αρκεί το πλύσιμο

Εάν το άλας επί της άμμου προσλάβει υγρασία → efflorescence



Αλκαλοπυριτική αντίδραση (alkali-silica reactivity AAR)

Αντίδραση μεταξύ των ενεργών οξειδίων πυριτίου (SiO_2) των αδρανών και των αλκαλίων του τσιμέντου

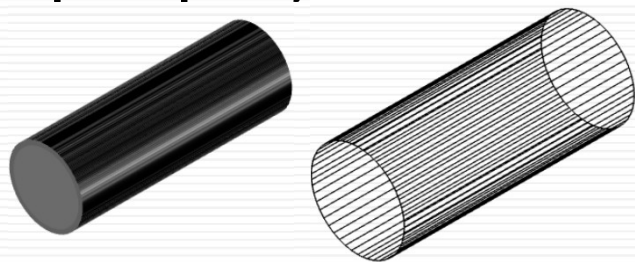
Ενεργοί τύποι SiO_2 μπορούν να εμπεριέχονται σε πετρώματα όπως το οπάλιο, **πυριτικός ασβεστόλιθος (συνήθως ελαφρά αδρανή)**

Η αντίδραση ξεκινά μεταξύ οξειδίων πυριτίου (SiO_2) και των αλκαλίων Na_2O & K_2O του τσιμέντου. Δημιουργείται γέλη (gel) η οποία απορροφά νερό και αυξάνει τον όγκο της → σαν «πρήξιμο-φούσκωμα» αδρανών. Επειδή η γέλη βρίσκεται μεταξύ αδρανούς και τσιμεντοπάστας πιέζει την πάστα και την ρηγματώνει → **πολυρηγμάτωση σκυροδέματος**
Πόσο γρήγορα θα γίνει η AAR εξαρτάται από το πόσο λεπτόκοκκο (ενεργό) είναι το SiO_2 : 4-8 εβδομάδες (ταχεία επιδείνωση του έργου) ή μετά από 4-5 χρόνια...

ΛΥΣΗ: Προσεχτική επιλογή αδρανών και τσιμέντου χαμηλής περιεκτικότητας σε αλκάλια!

Πώς ελέγχω γρήγορα εάν τα αδρανή είναι κατάλληλα:

Θραύονται σε άμμο και αναμιγνύονται με τσιμέντο (με αλκάλια $<0.6\%$) και νερό (κονίαμα). Τα δοκίμια τοποθετούνται πάνω από νερό θερμοκρασίας 40°C για 3 μήνες και μετρίεται η διόγκωσή τους.



V_{init}

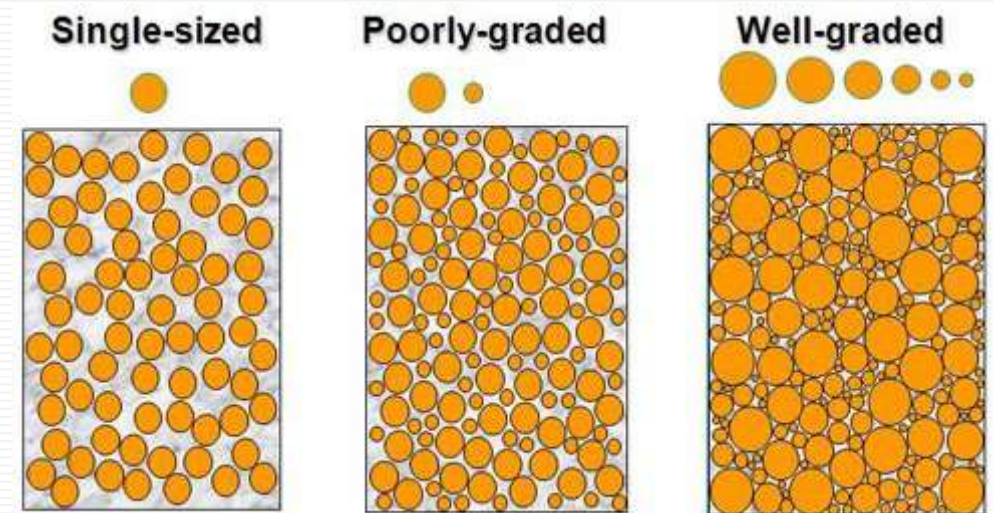
$V_{\text{final}} < 1.05 V_{\text{init}}$

→ **δεν υπάρχει κίνδυνος AAR**



ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ – ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΔΡΑΝΩΝ

- Η διαβάθμισή τους εντός του σκυροδέματος καθορίζει τον όγκο κενών και συνεπώς την απαιτούμενη τσιμεντόπαστα ώστε να γεμίσει τα κενά.



- Η βέλτιστη διαβάθμιση αδρανών προάγει την ελαχιστοποίηση των κενών – εγκλωβισμένου αέρα (αδύναμων σημείων) και συνεπώς τον όγκο της τσιμεντόπαστας ώστε το σκυρόδεμα να χαρακτηρίζεται από:

Ο όγκος κενών καλά διαβαθμισμένης άμμου: ~ 30%
Ο όγκος κενών καλά διαβαθμισμένων αδρανών ~ 30 - 45%
Αυτά αντιπροσωπεύουν τον όγκο της τσιμεντόπαστας που θα γεμίσει τα διάκενα της άμμου, και τον όγκο της άμμου που θα γεμίσει τα διάκενα των αδρανών.

↑↑ εργασιμότητα (↓↓ η απαίτηση για συμπίκνωση - κόστος)

↑↑ οικονομία (ακριβό το τσιμέντο) → ↓↓ του CO₂

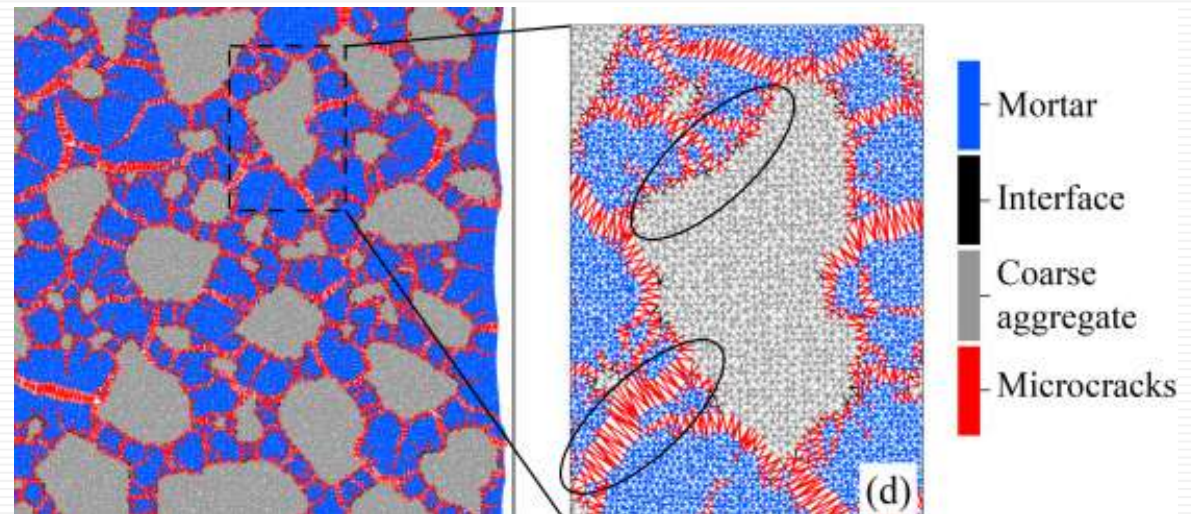
↑↑ ρεολογικών & μηχανικών χαρακτηριστικών και ανθεκτικότητας

↓↓ προβλημάτων στο σκυρόδεμα: διαχωρισμού, εξίδρωσης και συστολής ξήρανσης

ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ – ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΔΡΑΝΩΝ



συστολή ξήρανσης: η τσιμεντόπαστα τείνει να συρρικνώνεται όταν χάνεται η υγρασία (εξάτμιση ή χημικές διεργασίες). Τα αδρανή έχοντας μεγαλύτερη σκληρότητα από την σκληρυμμένη πάστα αντιστέκονται στην συρρίκνωση → ρηγματώσεις

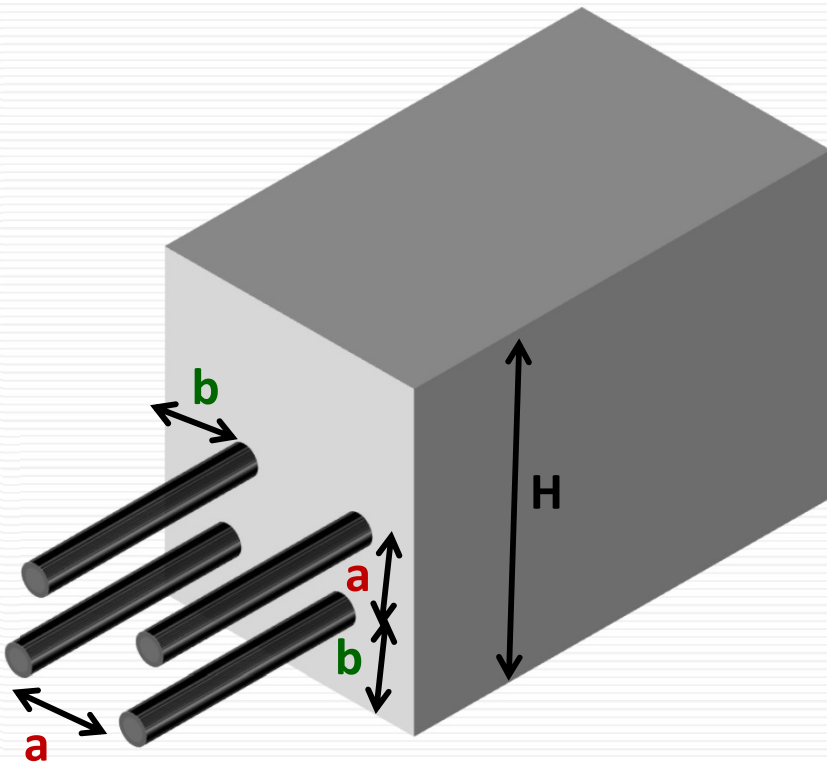


↓↓ προβλημάτων στο σκυρόδεμα: διαχωρισμού, εξίδρωσης και συστολής ξήρανσης

ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ – ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΔΡΑΝΩΝ

Το μέγιστο μέγεθος αδρανούς D_{max} επηρεάζει την δομική συμπεριφορά:

- Θα πρέπει να χωράει ανάμεσα σε ράβδους οπλισμού: $D_{max} < a$
- Θα πρέπει να χωράει μέσα στην επικάλυψη: $D_{max} < b$
- Να συμμετέχουν στο πάχος του στοιχείου τουλάχιστον τρεις κόκκοι: $3D_{max} < H$



Δεν ελήφθη υπόψη
εάν τα αδρανή
χωράνε μεταξύ των
ράβδων οπλισμού και
της επικάλυψης αυτών

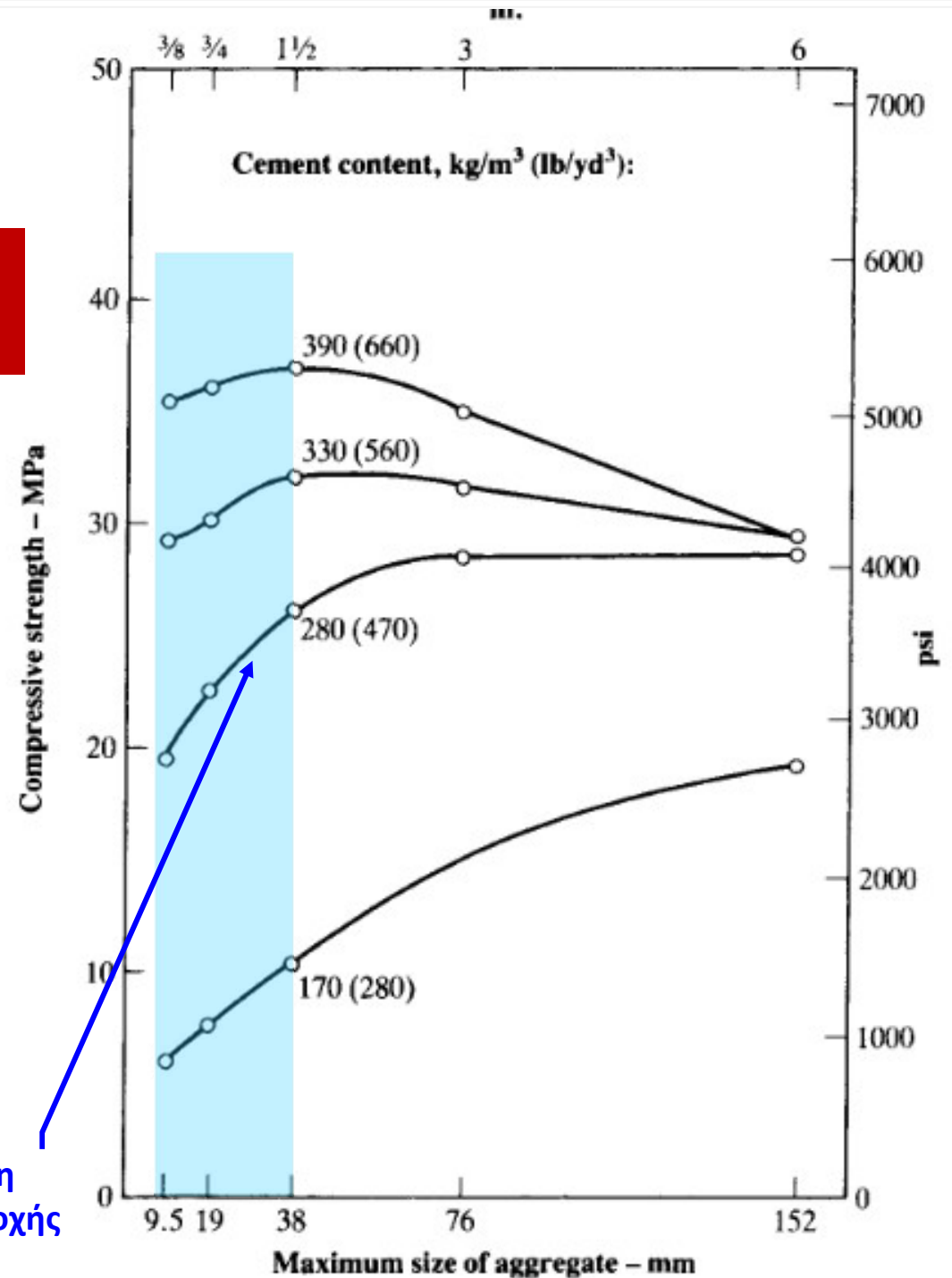
ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ – ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΔΡΑΝΩΝ

Το μέγιστο μέγεθος αδρανούς $D_{\max}$ επηρεάζει και την αντοχή του σκυροδέματος

ειδική επιφάνεια = εμβαδόν εξωτερικής επιφάνειας/όγκος (π.χ. σε σφαίρα $EE=3/r$)!!!

- ➔ Ε.Ε. είναι μικρή στα χονδρόκοκκα (πολύ μεγάλη στα λεπτά) και άρα η επιφάνεια διαβροχής είναι μικρή!!!
- ➔ Θεωρητικά το απαιτούμενο νερό γίνεται λιγότερο σε ένα σκυρόδεμα, όσο αυξάνει το μέγεθος του αδρανούς, με ευνοϊκή συνέπεια την αύξηση της αντοχής.
- ➔ Όμως μειώνεται η επιφάνεια συνάφειας μεταξύ αδρανούς και τσιμεντόπαστας

Για μια καμπύλη: για δεδομένη ποσότητα τσιμέντου και σταθερή αναλογία τσιμέντου : αδρανών : νερού, η αύξηση του μέγιστου κόκκου οδηγεί σε αύξηση της θλιπτικής αντοχής



Ευρωπαϊκό πρότυπο: EN 12620 (aggregates in concrete) - ΜΕΓΕΘΟΣ

Σχεδιασμός διάστασης κοκκομετρικής ομάδας κατά d/D , δηλ. από την μικρότερη d στην μεγαλύτερη διάσταση D κόκκου της συγκεκριμένης ομάδας

Ο χαρακτηρισμός του μεγέθους ενός αδρανούς ως d/D σημαίνει ότι ένα μικρό ποσοστό κόκκων του αδρανούς μπορεί να συγκρατείται στο κόσκινο D (υπερδιάστατο ποσοστό) και ένα μικρό ποσοστό κόκκων μπορεί να διέρχεται από το κόσκινο d (υποδιάστατο ποσοστό).

Λεπτόκοκκα
(fine $D \leq 4 \text{ mm}$)



Άμμος 0/4



Filler/παιπάλη
($<0.063 \text{ mm}$)

**Μια κοκκομετρική ομάδα
πρέπει να έχει: $D/d > 1.4$**

Χονδρόκοκκα
(coarse aggregate $D \geq 4 \text{ mm}$ $d \geq 2 \text{ mm}$)



Γαρμπίλι 4/16



Ρυζάκι 4/8



Χονδρό γαρμπίλι 8/16



Σκύρα ($\geq 16\text{mm}$)



Διαβάθμιση αδρανών: Πώς την μετράμε;

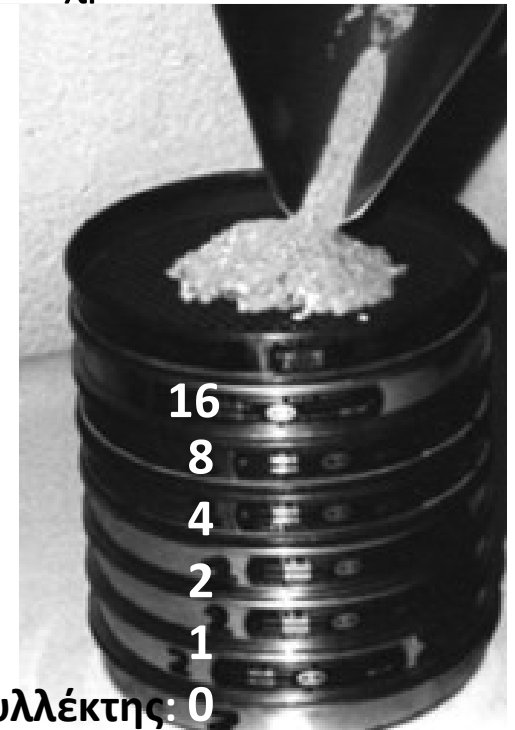
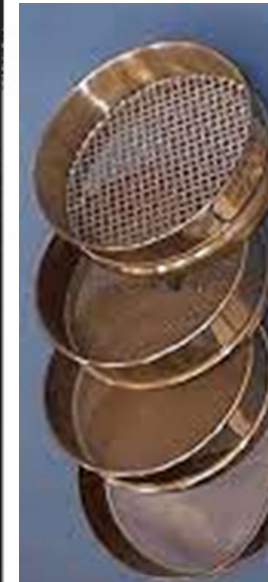
Κόσκινα με τετραγωνικές οπές (βρόγχους) συγκεκριμένων διαστάσεων

Ευρωπαϊκό πρότυπο: EN 12620 (aggregates in concrete)

Table 1 — Sieve sizes for specifying aggregate sizes

Basic set mm	Basic set plus set 1 mm	Basic set plus set 2 mm
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
—	5,6 (5)	—
—	—	6,3 (6)
8	8	8
—	—	10
—	11,2 (11)	—
—	—	12,5 (12)
—	—	14
16	16	16
—	—	20
—	22,4 (22)	—
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
—	—	40
—	45	—
63	63	63

Τα κόσκινα τοποθετούνται από το μεγαλύτερης οπής έως το μικρότερης οπής (τέλος ο συλλέκτης) σε κοσκιγιέρα η οποία κοσκινίζει το δείγμα για συγκεκριμένο χρόνο.



Αν το δείγμα (>99%) διέρχεται από το D: χρήση και των D, d, d/2

π.χ. 6/22, πρέπει στην σειρά να υπάρχουν 22, 6 και 3 → 4, δηλ. basic + set 1
6/20, πρέπει στην σειρά να υπάρχουν 20, 6 και 3 → 4, δηλ. basic + set 2

Table 3.6: BS, ASTM and BS EN sieve sizes normally used for grading of aggregate

Coarse aggregate					
BS		ASTM		BS EN	
Aperture	Previous	Aperture	Previous	Aperture	
—	—	125 mm (5 in.)	5 in.	125 mm (5 in.)	
—	—	100 mm (4 in.)	4 in.	—	
75 mm (3 in.)	3 in.	75 mm (3 in.)	3 in.	—	
63 mm (2.5 in.)	2½ in.	63 mm (2.5 in.)	2½ in.	63 mm (2.5 in.)	
50 mm (2 in.)	2 in.	50 mm (2 in.)	2 in.	—	
37.5 mm (1.5 in.)	1½ in.	37.5 mm (1.5 in.)	1½ in.	31.5 mm (1.24 in.)	
28 mm (1.1 in.)	1 in.	25 mm (1 in.)	1 in.	—	
20 mm (0.786 in.)	¾ in.	19 mm (0.75 in.)	¾ in.	—	
14 mm (0.51 in.)	½ in.	12.5 mm (0.5 in.)	½ in.	16 mm (0.63 in.)	
10 mm (0.393 in.)	⅜ in.	9.5 mm (0.374 in.)	⅜ in.	—	
6.3 mm (0.248 in.)	¼ in.	6.3 mm (0.248 in.)	¼ in.	8 mm (0.315 in.)	
Fine aggregate					
BS		ASTM		BS EN	
Aperture	Previous	Aperture	Previous	Aperture	
5 mm (0.197 in.)	⅜ in.	4.75 mm (0.187 in.)	No. 4	4 mm (0.157 in.)	
2.36 mm (0.0937 in.)	No. 7	2.36 mm (0.0937 in.)	No. 8	2 mm (0.0787 in.)	
1.18 mm (0.0469 in.)	No. 14	1.18 mm (0.0469 in.)	No. 16	1 mm (0.0394 in.)	
600 μm (0.0234 in.)	No. 26	600 μm (0.0234 in.)	No. 30	0.5 mm (0.0197 in.)	
300 μm (0.0117 in.)	No. 52	300 μm (0.0117 in.)	No. 50	0.25 mm (0.0098 in.)	
150 μm (0.0059 in.)	No. 100	50 μm (0.0059 in.)	No. 100	0.125 mm (0.0049 in.)	
—	—	—	—	0.063 mm (0.0025 in.)	

Ευρώπη: Τα EN κόσκινα
Αμερική: Τα ASTM κόσκινα

Τα χονδρόκοκκα αδρανή
(coarse aggregate)
διαβαθμίζονται με
διαφορετική σειρά κοσκίνων
από αυτά της άμμου!!!

Βήματα:

A stainless steel bowl is placed on a scale, used for weighing the sample.

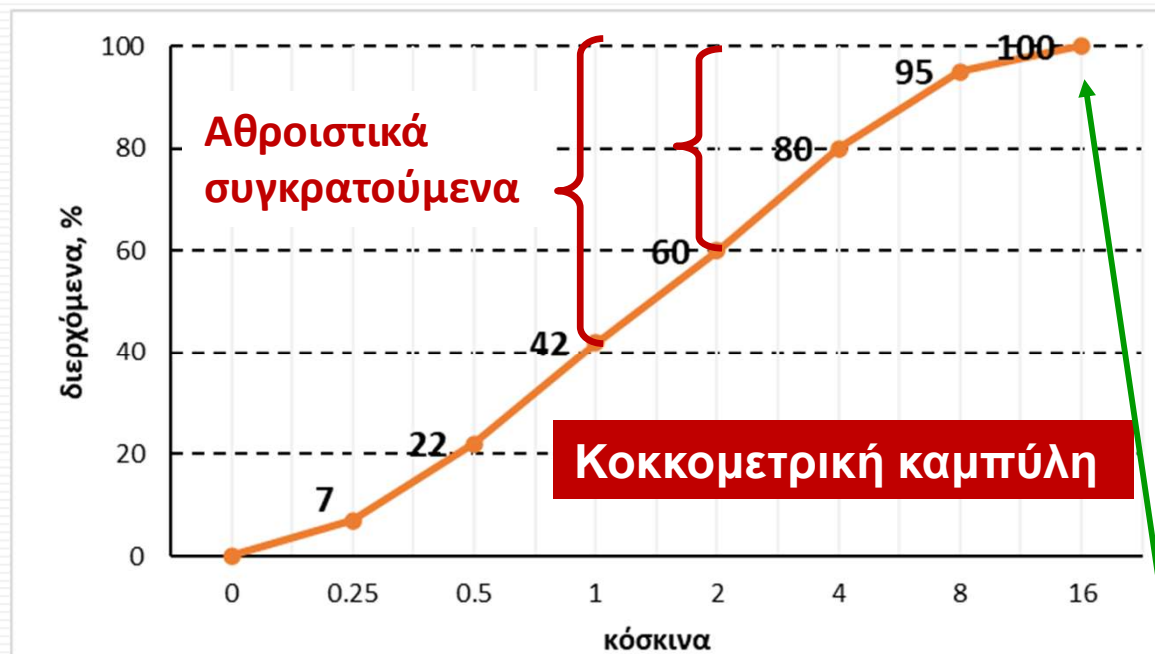
Διαβάθμιση αδρανών: Πώς την μετράμε;

Για δείγμα 1000γρ αδρανών → η ζυγαριά ακρίβειας 0.1% του βάρους, π.χ. 1 g
(αν δείγμα 10000γρ αδρανών τότε η ζυγαριά ακρίβειας 0.1% του βάρους, π.χ. 10 g):

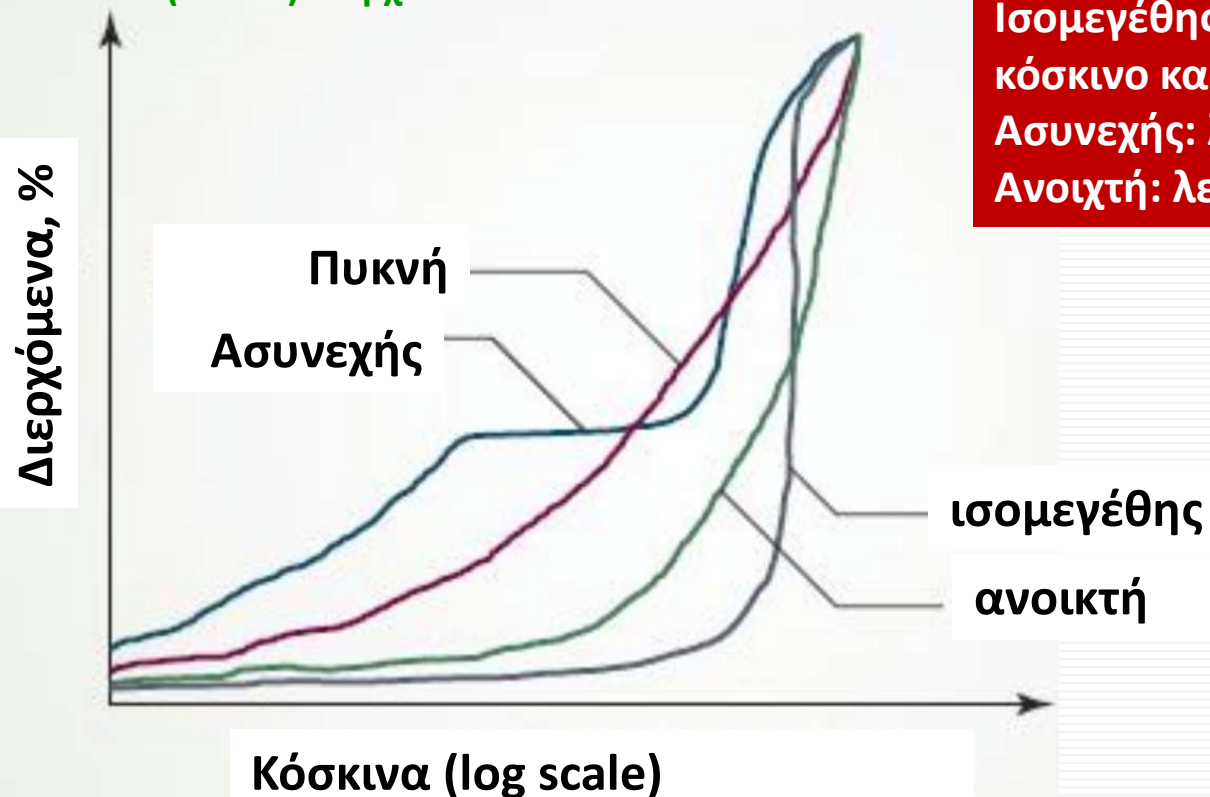
Κόσκινα	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΑ	ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΑ σε κάθε κόσκινο ΔMi	<u>Διερχόμενα</u> = βάρος δείγματος – Αθρ. Συγκρατούμενα
8mm	50	50-0=50	1000-50=950γρ <u>(95%)</u>
4mm	200	200-50=150	1000-200=800γρ <u>(80%)</u>
2mm	400	400-200=200	1000-400=600γρ <u>(60%)</u>
1mm	580	580-400=180	1000-580=420γρ <u>(42%)</u>
0.5mm	780	780-580=200	1000-780=220γρ <u>(22%)</u>
0.25mm	930	930-780=150	1000-930=70γρ <u>(7%)</u>
συλλέκτης (0 mm)	1000 (δεκτό έως 1% απόκλιση, π.χ. 990γρ)	1000-930=70	1000-1000=0 <u>(0%)</u>
	Σύνολο=	1000gr	

(Βάρος δείγματος – Αθρ. Συγκρατούμενα)/βάρος δείγματος x100

Κόσκινα	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΑ	ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΑ σε κάθε κόσκινο ΔΜί	Διερχόμενα = βάρος δείγματος – Αθρ. Συγκρατούμενα
8mm	50	50-0=50	1000-50=950γρ (95%)
4mm	200	200-50=150	1000-200=800γρ (80%)
2mm	400	400-200=200	1000-400=600γρ (60%)
1mm	580	580-400=180	1000-580=420γρ (42%)
0.5mm	780	780-580=200	1000-780=220γρ (22%)
0.25mm	930	930-780=150	1000-930=70γρ (7%)
συλλέκτης	1000 (δεκτό έως 1% απόκλιση, π.χ. 990γρ)	1000-930=70	1000-1000=0 (0%)
	Σύνολο=	1000gr	



του δείγματος, υπονοείται ότι από το μεγαλύτερο κόσκινο (16mm) διέρχεται το 100%



Ισομεγέθης: η πλειονότητα διέρχεται από ένα κόσκινο και συγκρατείται από το επόμενο.
Ασυνεχής: λείπουν ένα ή περισσότερα μεγέθη.
Ανοιχτή: λείπουν τα μικρά μεγέθη

Όταν η κατανομή είναι πυκνή τότε υπάρχουν όλα τα μεγέθη και συνεπώς υπάρχουν λιγότερα κενά μεταξύ των κόκκων. Όταν η προστιθέμενη άμμος είναι λίγη (αυτή που θα γέμιζε τα κενά) τότε απαιτείται περισσότερη τσιμεντόπαστα. Εάν έμπαινε περισσότερη άμμος, λόγω μεγάλης ειδικής επιφάνειας θα απαιτούσε πάλι μεγάλη ποσότητα τσιμεντόπαστας.

Κόσκινα	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΑ	ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΑ σε κάθε κόσκινο ΔMi	Διερχόμενα = βάρος δείγματος – Αθρ. Συγκρατούμενα	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΑ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΑ, %
8mm	50	50-0=50	1000-50=950γρ (95%)	95	50/1000=5%
4mm	200	200-50=150	1000-200=800γρ (80%)	80	200/1000=20%
2mm	400	400-200=200	1000-400=600γρ (60%)	60	400/1000=40%
1mm	580	580-400=180	1000-580=420γρ (42%)	42	580/1000=58%
0.5mm	780	780-580=200	1000-780=220γρ (22%)	22	780/1000=78%
0.25mm	930	930-780=150	1000-930=70γρ (7%)	7	930/1000=93%
συλλέκτης	1000 (δεκτό έως 1% απόκλιση, π.χ. 990γρ)	1000-930=70	1000-1000=0 (0%)	0	Άθροισμα:
	Σύνολο=	1000gr			3.89

Παρατήρηση:
Στον υπολογισμό του δείκτη λεπτότητας δεν περιλαμβάνονται το κόσκινο με 100% διερχόμενα (άρα αθρ. Συγκρατούμενο 0, εδώ το 16mm) ούτε ο συλλέκτης (που θα είχε αθροιστικό συγκρατούμενο 100).
Όμως θα έπρεπε να ληφθεί υπόψη και το 0.125 (έστω ότι είναι 100%)

Κατά ASTM (mm): 75, 37.5, 19, 9.5,
4.75, 2.36, 1.18, 600μm, 300 μm,
150 μm (min)

$$FM=3.94= (5+20+40+58+78+93+100)/100$$

Δείκτης λεπτότητας = το άθροισμα των
αθροιστικών συγκρατούμενων σε κάθε κόσκινο/100

Δείκτης λεπτότητας (fineness modulus, FM)

Σειρά κοσκίνων, όπου το κάθε ένα έχει διπλάσιο μέγεθος από το επόμενο. Υπολογίζεται κυρίως για τα λεπτά αδρανή (τυπικές τιμές 2.3 – 3, υψηλότερες τιμές δηλώνουν χονδρόκοκκα). Η χρησιμότητα του FM έγκειται στο να ανιχνευθούν τυχόν διαφορές από την ίδια πηγή παραγωγής τους (επιρροή της εργασιμότητας του σκυροδέματος)

Παράδειγμα 2

Παράδειγμα 1

Example 1: Calculations for sieve analysis of fine aggregate

A sample of fine aggregate with a mass of 510.5 g is passed through the sieves shown in the following and the masses retained on each sieve are as shown.

$$FM = (2 + 15 + 35 + 55 + 79 + 97) / 100 = 2.83$$

Sieve size	Mass retained, g, individual on each sieve	Individual % retained	Total % retained cumulative	Total % passing
3/8	0.0	0.0	0	100
4.75 mm (No. 4)	9.2	2	2	98
2.36 mm (No. 8)	67.6	13	15	85
1.18 mm (No. 16)	101.2	20	35	65
600 μm (No. 30)	102.2	20	55	45
300 μm (No. 50)	120.5	24	79	21
150 μm (No. 100)	93.1	18	97	3
75 μm (No. 200)	10.2	2	99	1
Pan	4.5	1	100	0
Total	508.5	100	—	—

Συγκρατούμενο: με ζύγισμα του κάθε κόσκινου ξεχωριστά

$$Π.χ. 9,2 / 508,5 \times 100 \approx 2\%$$

Το συνολικό βάρος 508,5 g διαφέρει από το αρχικό 510,5 g κατά $(510,5 - 508,5) / 510,5 = 0,004 = 0,4\% < \text{όριο } 1\%$.

Κατά ASTM (mm): 75, 37.5, 19, 9.5, 4.75, 2.36, 1.18, 600μm, 300 μm, 150 μm (min)

Αθροιστικό συγκρατούμενο: Π.χ. No. 16: αυτό και όλα τα μεγαλύτερα αυτού κόσκινα

Αθροιστικό διερχόμενα: Π.χ. 100- αθροιστικό συγκρατούμενο κάθε γραμμής

$$FM = (5 + 70 + 95 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100) / 100 = 670 / 100 = 6.7$$

Sieve size	Total % retained
25.0 mm (1 in.)	0
19.0 mm (3/4 in.)	5
✗ 12.5 mm (1/2 in.)	40
9.5 mm (3/8 in.)	70
4.75 mm (No. 4)	95
2.36 mm (No. 8)	100

Προστίθενται και τα μικρότερα κόσκινα που θα είχαν αθρ. Συγκρατούμενο επίσης το 100%

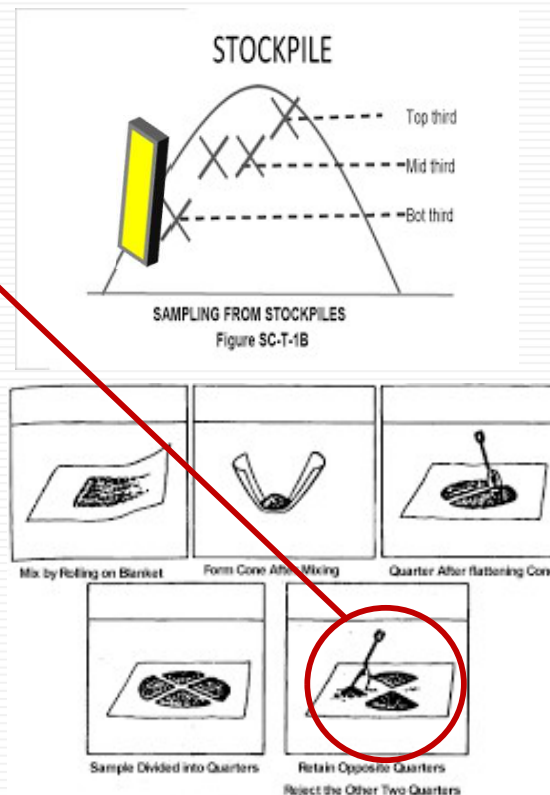
Sieve size	Total % retained
19.0 mm (3/4 in.)	5
9.5 mm (3/8 in.)	70
4.75 mm (No. 4)	95
2.36 mm (No. 8)	100
1.18 mm (No. 16)	100
600 μm (No. 30)	100
300 μm (No. 50)	100
150 μm (No. 100)	100
Sum	670
Fineness modulus = $670 / 100 = 6.70$	

Εγκυρότητα δειγματοληψίας



Στις σωρούς των αδρανών: τα χονδρόκοκκα βρίσκονται στην βάση και τα λεπτόκοκκα στην κορυφή → **διαχωρισμός!**
Όταν κατά την μεταφορά δονούνται: τα λεπτότερα στην βάση, τα χονδρότερα στην κορυφή → **διαχωρισμός!**

Δειγματοληψία: το δείγμα πρέπει να είναι αντίστοιχο της σωρού
Τρεις λήψεις από κορυφή, μέση και βάση → λήψη με τοποθέτηση κατακόρυφα σανίδας
Ανάμιξή τους, διάστρωση, τεταρτομερισμός και τέλος απόρριψη των δύο απέναντι τετάρτων



Παράδειγμα: Έστω δύο σωροί άμμου A και B. Από κάθε σωρό λαμβάνω πέντε δείγματα για τα οποία φτιάχνω τις κοκκομετρικές καμπύλες και υπολογίζω τον δείκτη Λεπτότητας FM.
Ενώ η μέση τιμή είναι ίδια (2.7) η B έχει σημαντική διακύμανση!

Lot A	Lot B
2.70	2.70
2.75	2.95
2.63	2.47
2.68	2.88
2.74	2.50
Average = 2.70	Average = 2.70

Τεταρτομερισμός δείγματος:

Βάρη δειγματοληψίας ανά μέγιστο κόκκο αδρανούς D_{max}



Size of samples	
Nominal maximum size of aggregates	Approximate minimum mass of field samples, kg (lb)
Fine aggregate	
2.36 mm (No. 8)	10 (25)
4.75 mm (No. 4)	10 (25)
Coarse aggregate	
9.5 mm (3/8 in.)	10 (25)
12.5 mm (1/2 in.)	15 (35)
19.0 mm (3/4 in.)	25 (55)
25.0 mm (1 in.)	50 (110)
37.5 mm (1-1/2 in.)	75 (165)
50 mm (2 in.)	100 (220)
63 mm (2-1/2 in.)	125 (275)
75 mm (3 in.)	150 (330)
90 mm (3-1/2 in.)	175 (385)

Διαβαθμιση αδρανών:

για επίτευξη μέγιστης πυκνότητας → «ιδανικά» διερχόμενα

κατά Fuller 1907:

$$P_i = 100 \times \left(\frac{d_i}{D} \right)^{0.5}$$

P_i= το ποσοστό που διέρχεται από κόσκινο μεγέθους d_i

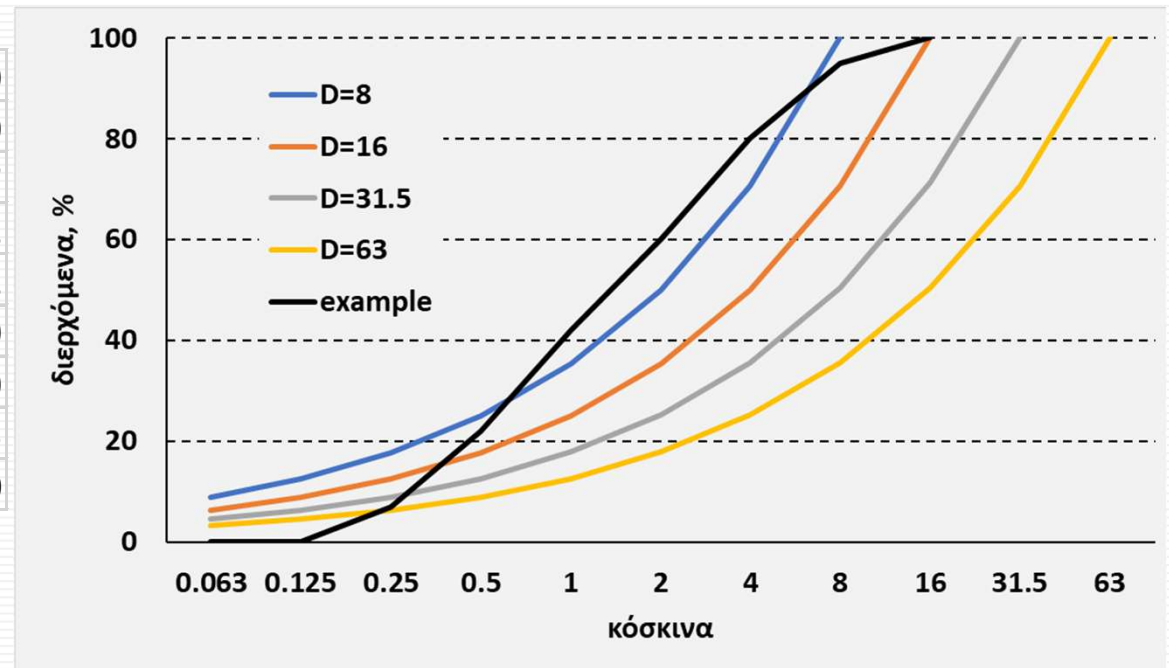
d_i= το συγκεκριμένο μέγεθος του κόσκινου

D=μέγιστο μέγεθος αδρανών

D	8	16	31.5	63	
d _i	P _i				
0.063	9	6	4	3	0
0.125	13	9	6	4	0
0.25	18	13	9	6	7
0.5	25	18	13	9	22
1	35	25	18	13	42
2	50	35	25	18	60
4	71	50	36	25	80
8	100	71	50	36	95
16		100	71	50	100
31.5			100	71	
63				100	

Διερχόμενα από
παράδειγμα

Συγκρίνεται το παράδειγμα με τη D=16



Π.χ. Για D=16, το $P_2 = 100 \times \left(\frac{2}{16} \right)^{0.5} = 35$

Για όλα τα αδρανή (EN 12620):

Aggregate αδρανές	Size μέγεθος	Percentage passing by mass Διερχόμενο ποσοστό (μάζα)					Category G^d
		$2 D$	$1,4 D^{a \& b}$	D^c	d^b	$d/2^{a \& b}$	
Coarse 8 - 125	$D/d \leq 2$ or $D \leq 11,2$ mm	100 100	98 to 100 98 to 100	85 to 99 80 to 99	0 to 20 0 to 20	0 to 5 0 to 5	$G_{C85/20}$ $G_{C80/20}$
	<u>$D/d > 2$ and $D > 11,2$ mm</u>	100	98 to 100	90 to 99	0 to 15	0 to 5	<u>$G_{C90/15}$</u>
Fine ≤ 4	$D \leq 4$ mm and $d = 0$	100	95 to 100	85 to 99	–	–	G_F85
Natural graded 0/8	$D = 8$ mm and $d = 0$	100	98 to 100	90 to 99	–	–	G_{NG90}
All-in	$D \leq 45$ mm and $d = 0$	100 100	98 to 100 98 to 100	90 to 99 85 to 99	–	–	G_A90 G_A85

Εξήγηση: για κοκκομετρική ομάδα 8/31.5 (d/D) πρέπει να ισχύουν:

$D/d=31.5/8=3.9 > 2$ και $D > 11.2$ mm → 2^η γραμμή

από κόσκινο $2D=63$ mm να διέρχεται το 100% του δείγματος

Από κόσκινο $1.4D=1.4 \times 31.5=44$ mm (χρήση πλησιέστερου, 45 mm) πρέπει να διέρχεται το 98-100% (να συγκρατεί το πολύ το 2%)

Από κόσκινο $D=31.5$ mm να διέρχεται το 90-99% (να συγκρατεί το πολύ το 10%)

Από κόσκινο $d=8$ mm να διέρχεται το 0-15%

Από κόσκινο $d/2=4$ mm να διέρχεται το 0-5% → ΤΟΤΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΕΤΑΙ Ως $G_{C90/15}$

Για όλα τα αδρανή (EN 12620):

Aggregate αδρανές	Size μέγεθος	Percentage passing by mass Διερχόμενο ποσοστό (μάζα)					Category G^d
		$2 D$	$1,4 D^{a \& b}$	D^c	d^b	$d/2^{a \& b}$	
Coarse	$D/d \leq 2$ or $D \leq 11,2$ mm	100 100	98 to 100 98 to 100	85 to 99 80 to 99	0 to 20 0 to 20	0 to 5 0 to 5	$G_C85/20$ $G_C80/20$
	$D/d > 2$ and $D > 11,2$ mm	100	98 to 100	90 to 99	0 to 15	0 to 5	$G_C90/15$
Fine	$D \leq 4$ mm and $d = 0$	100	95 to 100	85 to 99	–	–	G_F85
Natural graded 0/8	$D = 8$ mm and $d = 0$	100	98 to 100	90 to 99	–	–	$G_{NG}90$
All-in	$D \leq 45$ mm and $d = 0$	100 100	98 to 100 98 to 100	90 to 99 85 to 99	–	–	G_A90 G_A85

κόσκινα	Διερχ. (%)
45 mm	100
40 mm	98
31.5 mm	89
20 mm	70
16 mm	50
10 mm	22
8 mm	5
4 mm	3

1ο Παράδειγμα για χονδρόκοκκα αδρανή (coarse, από 8 mm – 125 mm)

Από το 45 διέρχεται το 100%:

$45=2D=100\% \rightarrow D=22.5\text{mm} > 11.2$ mm

Για το $1.4D=31.5\text{mm}$, διερχόμενο 89% ✗

Από το 63 θα διερχόταν το 100%:

$63=2D=100\% \rightarrow D=31.5\text{mm} > 11.2$ mm

Για το $1.4D=44\text{mm}$ (45), διερχόμενο 100% ✓

Από $D=31.5\text{mm}$, διερχόμενο 89% ✓

- Αν $d=8\text{mm}$, διερχόμενο 5% ✓ και για $d/2=4\text{mm}$, διερχόμενο 3% ✓ και $D/d=31.5/8=4 \rightarrow G_C90/20$ και 8/32

Για όλα τα αδρανή (EN 12620):

Aggregate αδρανές	Size μέγεθος	Percentage passing by mass Διερχόμενο ποσοστό (μάζα)					Category G^d
		$2 D$	$1,4 D^{a \& b}$	D^c	d^b	$d/2^{a \& b}$	
Coarse	$D/d \leq 2$ or $D \leq 11,2$ mm	100	98 to 100	85 to 99	0 to 20	0 to 5	$G_C85/20$
		100	98 to 100	80 to 99	0 to 20	0 to 5	$G_C80/20$
	$D/d > 2$ and $D > 11,2$ mm	100	98 to 100	90 to 99	0 to 15	0 to 5	$G_C90/15$
Fine	$D \leq 4$ mm and $d = 0$	100	95 to 100	85 to 99	–	–	G_F85
Natural graded 0/8	$D = 8$ mm and $d = 0$	100	98 to 100	90 to 99	–	–	$G_{NG}90$
All-in	$D \leq 45$ mm and $d = 0$	100	98 to 100	90 to 99	–	–	G_A90
		100	98 to 100	85 to 99			G_A85

κόσκινα	Διερχ. (%)
11.2 mm	98
8 mm	95
4 mm	65
2 mm	50
1 mm	35
0.5 mm	22
0.25 mm	5
0.125 mm	3

Αν από το 16 διέρχεται το 100%:

$16=2D=100\% \rightarrow D=8\text{mm} \leq 11.2$ mm

Για το $1.4D=11.2\text{mm}$, διερχόμενο 98% ✓

Από $D=8\text{mm}$, διερχόμενο 95% ✓

• Αν $d=0.5\text{mm}$, διερχόμενο 22% ✗ $\rightarrow$ δεν είναι $d/D=0.5/8$ (ή $G_C85/20$)

• Αν $d=0.25\text{mm}$, διερχόμενο 5% ✓

• Για $d/2=0.125\text{mm}$, διερχόμενο 3% ✓ $\rightarrow d/D=0.125/8$ ($G_C85/20$) και $D/d=64$

Όμως: αν $D=4$ mm, δεν ισχύει ότι $2D=8$ mm διερχόμενα 100%, συνεπώς δεν είναι άμμος!

2ο Παράδειγμα

(coarse, από 8 mm – 125 mm)

Αν η προέλευση είναι: φυσικά – Natural graded, ή όλα σε μία σωρό – All-in, τότε ο χαρακτηρισμός είναι $d/D=0/8$ και: $G_{NG}90$ ή G_A90

Για όλα τα αδρανή (EN 12620):

Aggregate αδρανές	Size μέγεθος	Percentage passing by mass Διερχόμενο ποσοστό (μάζα)					Category G^d
		$2 D$	$1,4 D^{a \& b}$	D^c	d^b	$d/2^{a \& b}$	
Coarse	$D/d \leq 2$ or $D \leq 11,2$ mm	100	98 to 100	85 to 99	0 to 20	0 to 5	$G_C85/20$
		100	98 to 100	80 to 99	0 to 20	0 to 5	$G_C80/20$
	$D/d > 2$ and $D > 11,2$ mm	100	98 to 100	90 to 99	0 to 15	0 to 5	$G_C90/15$
Fine	$D \leq 4$ mm and $d = 0$	100	95 to 100	85 to 99	–	–	G_F85
Natural graded 0/8	$D = 8$ mm and $d = 0$	100	98 to 100	90 to 99	–	–	$G_{NG}90$
All-in	$D \leq 45$ mm and $d = 0$	100	98 to 100	90 to 99	–	–	G_A90
		100	98 to 100	85 to 99	–	–	G_A85

Επιπλέον στις περιπτώσεις α) $D > 11.2$ mm και $D/d > 2$ ή β) $D \leq 11.2$ mm και $D/d > 4$

D/d	Mid-size sieve mm	Overall limits and tolerances at mid-size sieves (percentage passing by mass)		Category G_T
		Overall limits	Tolerances on producer's declared typical grading	
< 4	$D/1,4$	25 to 70	± 15	G_T15
≥ 4	$D/2$	25 to 70	$\pm 17,5$	$G_T17,5$

Where the mid-size sieve calculated as above is not an exact sieve size in the ISO 565:1990/R20 series then the nearest sieve in the series shall be used.

NOTE Overall limits and tolerances for the most common product sizes are illustrated in annex A.

Στο 2ο παράδειγμα: ισχύει $d/D = 0.125/8 \rightarrow D < 11.2$ mm & $D/d = 64 > 4 \rightarrow$ β) περίπτωση. Για το $D/2 = 4$ mm το διερχόμενο είναι 65% ✓ και η ανοχή στην απόκλιση του παραγωγού δεν πρέπει να υπερβαίνει $\pm 17.5\%$ ώστε $G_T17.5$

Για όλα τα αδρανή (EN 12620):

Εξήγηση: για κοκκομετρική ομάδα 8/31.5 (d/D) πρέπει να ισχύουν:

$D/d=31.5/8=3.9 > 2$ και $D > 11.2 \text{ mm} \rightarrow$ 2^η γραμμή

από κόσκινο $2D=63 \text{ mm}$ να διέρχεται το 100% του δείγματος

Από κόσκινο $1.4D=1.4 \times 31.5=44 \text{ mm}$ (χρήση πλησιέστερου, 45 mm) πρέπει να διέρχεται το 98-100% (να συγκρατεί το πολύ το 2%)

Από κόσκινο $D=31.5 \text{ mm}$ να διέρχεται το 90-99% (να συγκρατεί το πολύ το 10%)

Από κόσκινο $d=8 \text{ mm}$ να διέρχεται το 0-15%

Από κόσκινο $d/2=4 \text{ mm}$ να διέρχεται το 0-5% $\rightarrow$ ΤΟΤΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΕΤΑΙ Ως $G_c90/15$

Συνέχεια εξήγησης:

Ελέγχω $D/d = 3.9 \rightarrow$ 1^η γραμμή οπότε το κόσκινο $D/1.4 = 22.5 \text{ mm}$ (χρήση του πλησιέστερου, 22.4mm) να διέρχεται το 25-70%

Επιπλέον στις περιπτώσεις α) $D > 11.2 \text{ mm}$ και $D/d > 2$ ή β) $D \leq 11.2 \text{ mm}$ και $D/d > 4$

D/d	Mid-size sieve mm	Overall limits and tolerances at mid-size sieves (percentage passing by mass)		Category G_T
		Overall limits	Tolerances on producer's declared typical grading	
< 4	$D/1,4$	25 to 70	± 15	G_T15
≥ 4	$D/2$	25 to 70	$\pm 17,5$	$G_T17,5$
Where the mid-size sieve calculated as above is not an exact sieve size in the ISO 565:1990/R20 series then the nearest sieve in the series shall be used.				
NOTE Overall limits and tolerances for the most common product sizes are illustrated in annex A.				

Λεπτόκοκκα, άμμος (fine ≤ 4 mm)

Aggregate	Size	Percentage passing by mass					Category G^d
		$2D$	$1,4D^{a \& b}$	D^c	d^b	$d/2^{a \& b}$	
Coarse	$D/d \leq 2$ or $D \leq 11,2$ mm	100 100	98 to 100 98 to 100	85 to 99 80 to 99	0 to 20 0 to 20	0 to 5 0 to 5	$G_C85/20$ $G_C80/20$
	$D/d > 2$ and $D > 11,2$ mm	100	98 to 100	90 to 99	0 to 15	0 to 5	$G_C90/15$
Fine	$D \leq 4$ mm and $d = 0$	100	95 to 100	85 to 99	–	–	G_F85
Natural graded 0/8	$D = 8$ mm and $d = 0$	100	98 to 100	90 to 99	–	–	G_{NG90}
All-in	$D \leq 45$ mm and $d = 0$	100 100	98 to 100 98 to 100	90 to 99 85 to 99	–	–	G_A90 G_A85

κόσκινα	Διερχ. (%)
8 mm	100
5.6 mm	95
4 mm	65
2 mm	50
1 mm	35
0.5 mm	22
0.25 mm	5
0.125 mm	3

Παράδειγμα:

από κόσκινο $2D=8$ mm να διέρχεται το 100% του δείγματος άρα $D=4$ mm

Από κόσκινο $1.4D=1.4 \times 4=5.6$ mm πρέπει να διέρχεται το 95-100% (να συγκρατεί το πολύ το 5%) ✓

Από κόσκινο $D=4$ mm να διέρχεται το 85-99% (να συγκρατεί το πολύ το 15%) ✗ ➔
δεν είναι G_F85

διαβάθμιση αδρανών (grading of aggregates) & όρια παιπάλης

Λεπτόκοκκα
(fine ≤ 4 mm)



Άμμος (0-4mm)



Εμπεριέχει Παιπάλη
- Filler (<0.063 mm)

Χονδρόκοκκα
(coarse > 4 mm)



Γαρμπίλι (4-16mm)



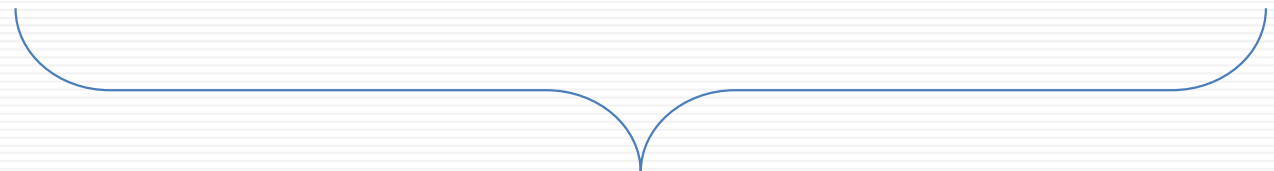
ρυζάκι



Χονδρό γαρμπίλι (8-16)



Χαλίκι, σκύρα
(≥ 16 mm)



Για θραυστή άμμο:
Παιπ. <16% του ξηρού βάρους

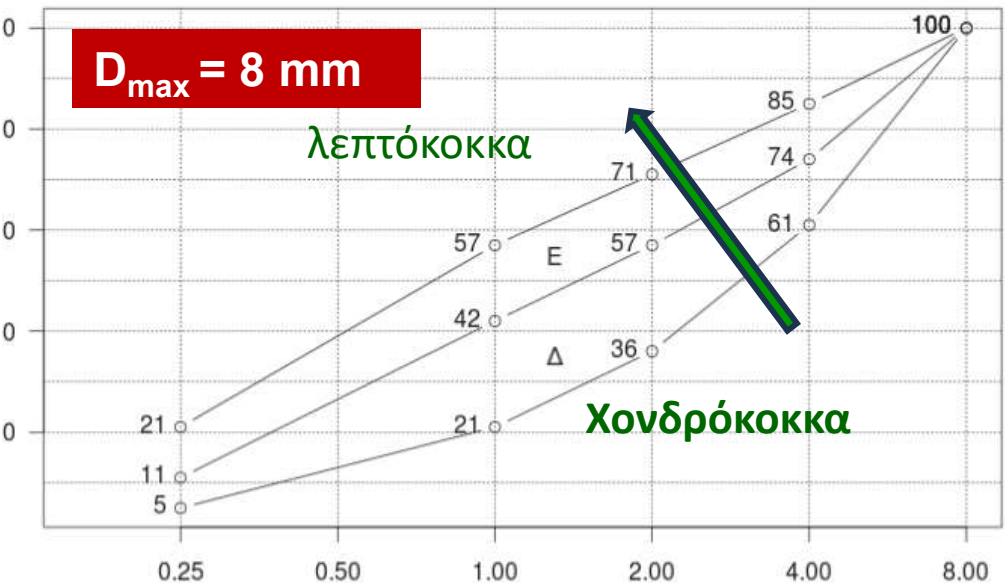
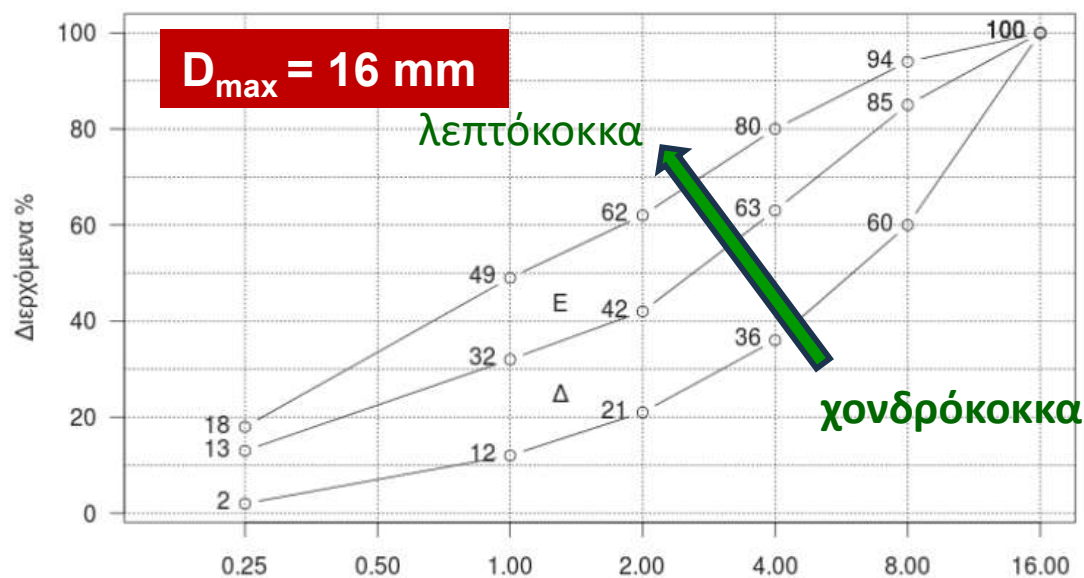
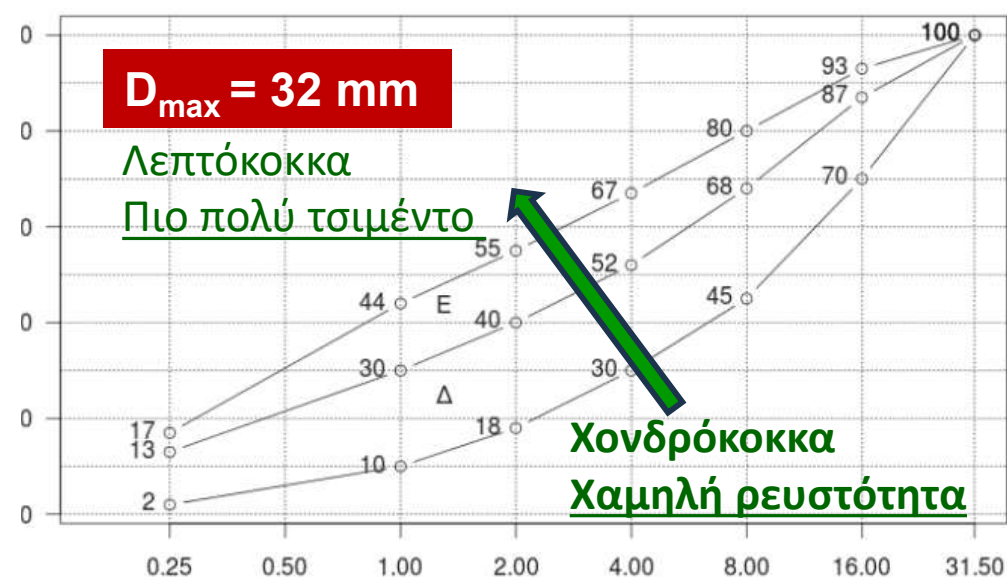
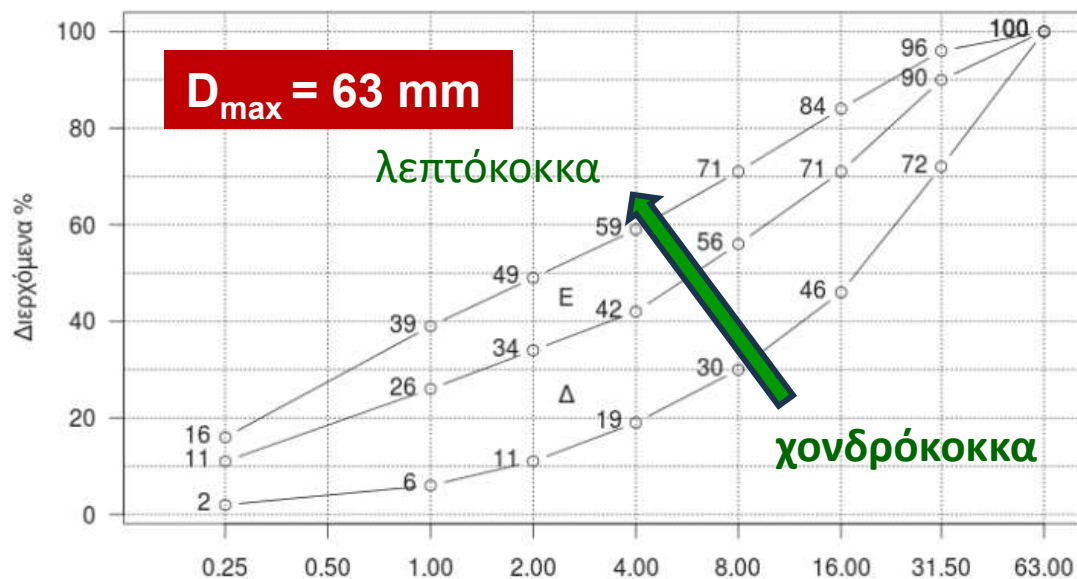
Για συλλεκτή άμμο:
Παιπ. <3% του ξηρού βάρους

Η επιτρεπόμενη παιπάλη που έχουν ΚΑΙ τα χονδρόκοκκα <1.5% του ξηρού βάρους τους

Η διαφορά στις τιμές έγκειται στο ότι η συλλεκτή άμμος (π.χ. ποταμίσια) είναι πλυμένη

**Η παιπάλη έχει υψηλή ειδική επιφάνεια
(=εμβαδόν εξωτερικής επιφάνειας/όγκος
=3/r)!!!**

Κανονιστικά όρια κοκκομετρικών καμπυλών βάσει D_{max} (χονδρόκοκκα αδρανή και όχι άμμος) ζητούμενο το «καλής» ποιότητας σκυρόδεμα!



Αναγνωρίζονται περιοχές «υποζώνες» E και Δ: επηρεάζεται η εργασιμότητα (όχι η αντοχή του τελικού προϊόντος = σκυροδέματος). Όμως η υψηλή αντοχή απαιτεί μέγιστη συμπύκνωση
 Όσο πιο λεπτόκοκκη τόσο περισσότερο τσιμέντο + νερό
 Όσο πιο χονδρόκοκκη, χαμηλή ρευστότητα

Κόσκινα		Διερχόμενα (%)	
Ονομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	250 μm	2-11	11-16
1	1 mm	6-26	26-39
2	2 mm	11-34	34-49
4	4 mm	19-42	42-59
8	8 mm	30-56	56-71
16	16 mm	46-71	71-84
31,5	31.5 mm	72-90	90-96
63	63 mm	100	100

Κόσκινα		Διερχόμενα (%)	
Ονομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	250 μm	2-13	13-17
1	1 mm	10-30	30-44
2	2 mm	18-40	40-55
4	4 mm	30-52	52-67
8	8 mm	45-68	68-80
16	16 mm	70-87	87-93
31,5	31.5 mm	100	100

Κόσκινα		Διερχόμενα (%)	
Ονομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	250 μm	2-13	13-18
1	1 mm	12-32	32-49
2	2 mm	21-42	42-62
4	4 mm	36-63	63-80
8	8 mm	60-85	85-94
16	16 mm	100	100

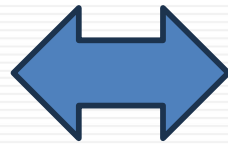
Κόσκινα		Διερχόμενα (%)	
Ονομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	250 μm	5-11	11-21
1	1 mm	21-42	42-57
2	2 mm	36-57	57-71
4	4 mm	61-74	74-85
8	8 mm	100	100

Αντί διαγραμμάτων, πίνακες τιμών για τις 4 βασικές διαβαθμίσεις με μέγιστους κόκκους 63, 31.5, 16 και 8 (κάτω όριο της υποζώνης Δ και άνω όριο της υποζώνης Ε)

Διαβαθμιση αδρανών:

για επίτευξη μέγιστης πυκνότητας → «ιδανικά» διερχόμενα

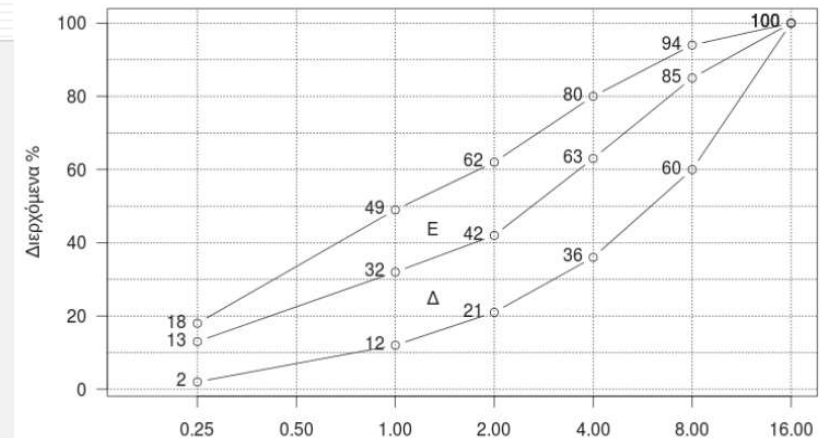
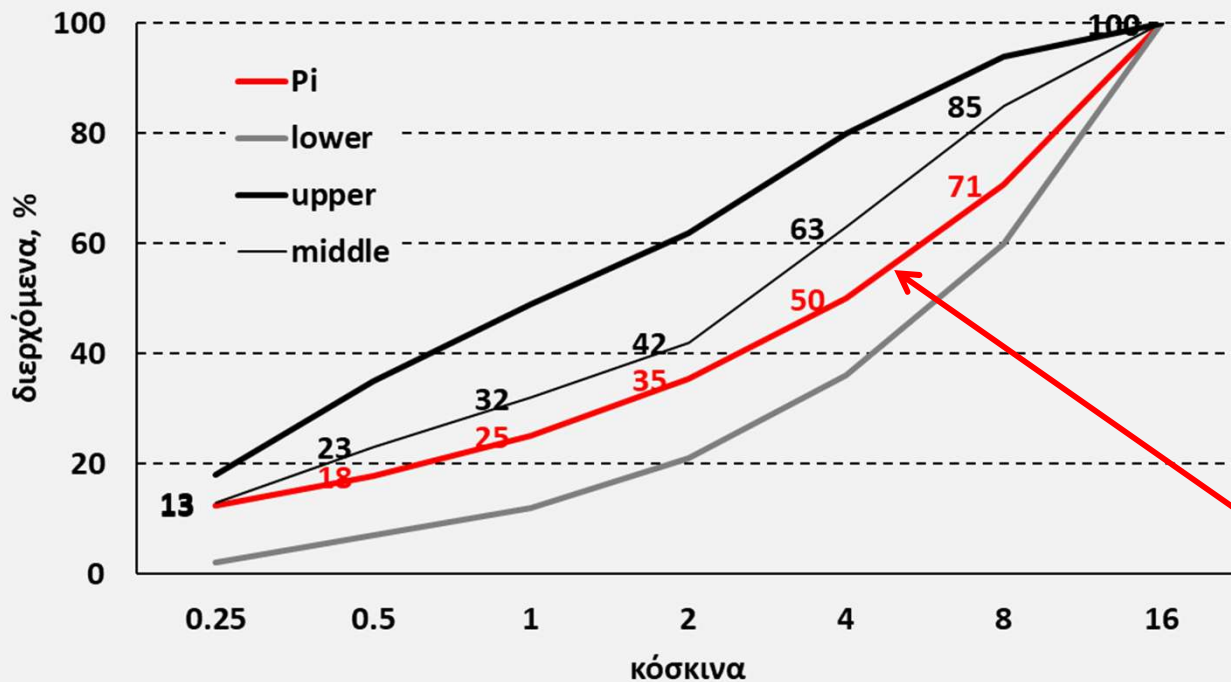
κατά Fuller 1907:



Κανονιστικές καμπύλες

$$P_i = 100 \times \left(\frac{d_i}{D} \right)^{0.5}$$

P_i= το ποσοστό που διέρχεται από κόσκινο μεγέθους d_i
d_i= το συγκεκριμένο μέγεθος του κόσκινου
D=μέγιστο μέγεθος αδρανών



Π.χ.

$$100 \times (8/16)^{0.5} = 71\%$$

$$100 \times (4/16)^{0.5} = 50\%$$

Κ.λπ.

Συμπέρασμα: Η Fuller προσεγγίζει καλύτερα την υποζώνη Δ

Παράδειγμα: έστω ότι αθροίζω τρεις κοκκομετρίες σε μία με ΓΝΩΣΤΑ τα ποσοστά συμμετοχής κατά μάζα: A1=35%, A2=25% και A3=40%

Αθροιστικά διερχόμενα → ποσοστό συμμετοχής της κάθε ομάδας

Sieve size	Percent passing		
	Aggregate 1	Aggregate 2	Aggregate 3
50 mm (2 in.)	100	100	100
37.5 mm (1-1/2 in.)	100	100	95
25.0 mm (1 in.)	100	100	51
19.0 mm (3/4 in.)	100	100	25
12.5 mm (1/2 in.)	100	99	8
9.5 mm (3/8 in.)	100	89	2
4.75 mm (No. 4)	99	24	0
2.36 mm (No. 8)	85	3	—
1.18 mm (No. 16)	65	0	—
600 μm (No. 30)	38	—	—
300 μm (No. 50)	15	—	—
150 μm (No. 100)	4	—	—
Sieve size	Percent passing		
	Aggregate 1	Aggregate 2	Aggregate 3
75 μm (No. 200)	1	—	—
Percentage by mass	35	25	40

× 0,35 × 0,25 × 0,40

Δείκτης λεπτότητας της προκύπτουσας:

$$FM = (2+30+42+59+69+77+87+95+99)/100 = 560/100 = 5.6$$

Κατά ASTM (mm): 75, 37.5, 19, 9.5, 4.75, 2.36, 1.18, 600μm, 300 μm, 150 μm (min)

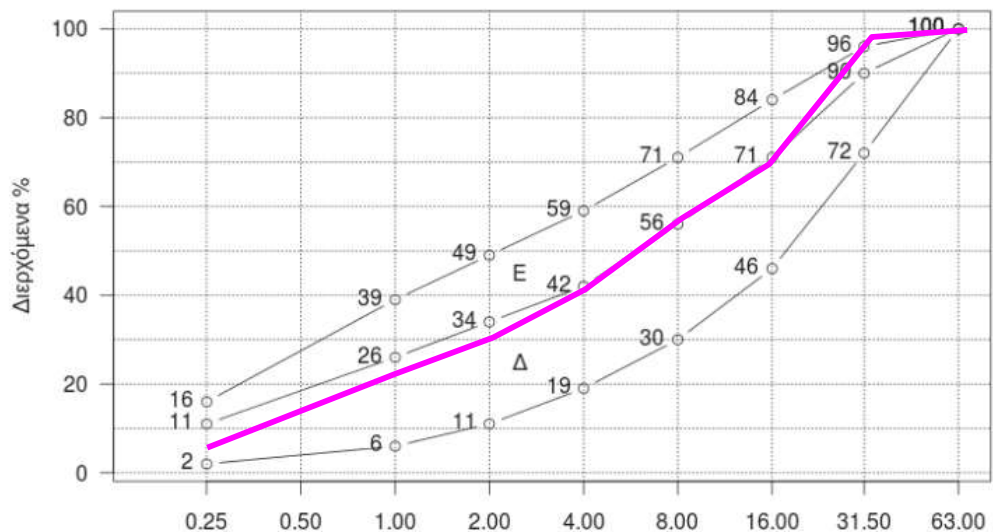
Sieve size	Aggre- gate 1, %	Aggre- gate 2, %	Aggre- gate 3, %	% passing combined	% retained = 100% – % passing	Individual % retained combined aggregate
50 mm (2 in.)	35	25	40	100	0 ✖	0
37.5 mm (1-1/2 in.)	35	25	38	98	2	2
25.0 mm (1 in.)	35	25	20	80	20 ✖	18
19.0 mm (3/4 in.)	35	25	10	70	30	10
12.5 mm (1/2 in.)	35	25	3	63	27 ✖	7
9.5 mm (3/8 in.)	35	22	1	58	42	12
4.75 mm (No. 4)	35	6	0	41	59	17
2.36 mm (No. 8)	30	1	—	31	69	10
1.18 mm (No. 16)	23	0	—	23	77	8
600 μm (No. 30)	13	—	—	13	87	9
300 μm (No. 50)	5	—	—	5	95	8
150 μm (No. 100)	1	—	—	1	99	4
75 μm (No. 200)	0	—	—	0	100 ✖	1
Sum:					560	

άθροισμα των τριών

**Αθροιστικά
συγκρατούμενα**

Παράδειγμα: έστω ότι αθροίζω τρεις κοκκομετρίες σε μία με ΓΝΩΣΤΑ τα ποσοστά συμμετοχής κατά μάζα: A1=35%, A2=25% και A3=40%

Αν τα κόσκινα ήταν EN:



Η προκύπτουσα συνολική κοκκομετρία αδρανών άμμου βρίσκεται εντός υποζώνης Δ, αλλά υστερεί στα πολύ χονδρά (31.5)

Δείκτης λεπτότητας της προκύπτουσας: Σειρά κοσκίνων, όπου το κάθε ένα έχει διπλάσιο μέγεθος από το επόμενο.

$$FM = (2 + 30 + 42 + 59 + 69 + 77 + 87 + 95 + 99) / 100 = 560 / 100 = 5.6$$

EN

	Sieve size	Aggre- gate 1, %	Aggre- gate 2, %	Aggre- gate 3, %	% passing combined	% retained = 100% – % passing	Individual % retained combined aggregate
63 mm	50 mm (2 in.)	35	25	40	100	0	0
32 mm	37.5 mm (1-1/2 in.)	35	25	38	98	2	2
25 mm	25.0 mm (1 in.)	35	25	20	80	20 ✖	18
16 mm	19.0 mm (3/4 in.)	35	25	10	70	30	10
12.5 mm	12.5 mm (1/2 in.)	35	25	3	63	27 ✖	7
8 mm	9.5 mm (3/8 in.)	35	22	1	58	42	12
4 mm	4.75 mm (No. 4)	35	6	0	41	59	17
2 mm	2.36 mm (No. 8)	30	1	—	31	69	10
1 mm	1.18 mm (No. 16)	23	0	—	23	77	8
0.5 mm	600 μm (No. 30)	13	—	—	13	87	9
0.25 mm	300 μm (No. 50)	5	—	—	5	95	8
0.125 mm	150 μm (No. 100)	1	—	—	1	99	4
0.063	75 μm (No. 200)	0	—	—	0	100 ✖	1
	Sum:					560	

0 mm

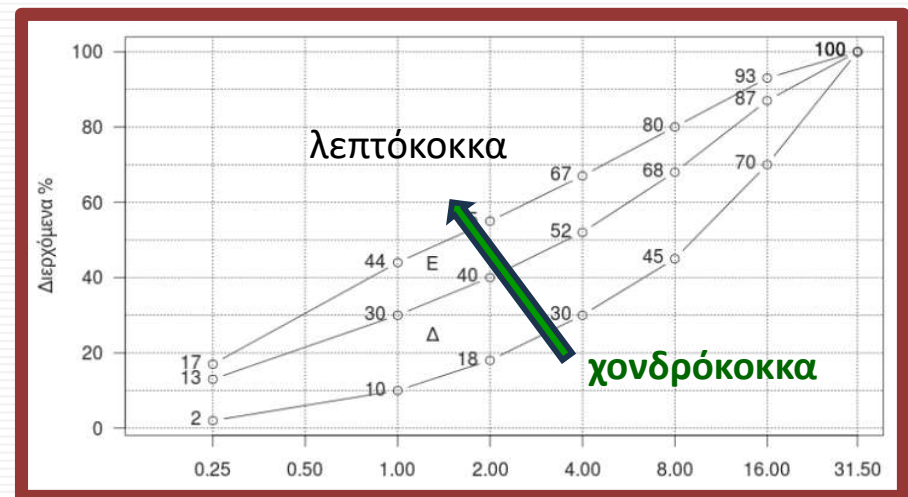
άθροισμα των τριών

Αθροιστικά
συγκρατούμενα

Αδρανή από περισσότερες αποθέσεις $n \geq 2 \rightarrow$
 Από κάθε απόθεση $\rightarrow$ Μία Κοκκομετρική καμπύλη
 Σύνθεση των n κοκκομετριών: π.χ. πόση άμμο,
 πόσο γαρμπίλι, πόσα σκύρα θα μπουν ως
 ανάμιγμα μαζί με τσιμέντο και νερό για την
 παραγωγή σκυροδέματος

Σύνθεση: Αριθμητική μέθοδος (excel)

$$P = aA_i + bB_i + cC_i + \dots$$



Παράδειγμα:

		Κόσκινο:	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Προδιαγραφή: εντός Δ	min (χονδρόκοκκα)		100	70	45	30	18	10	7	2
	max (λεπτόκοκκα)		100	93	80	67	55	44	30	21
	ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ - Στόχος (π.χ. στην μέση)		100	81.5	62.5	48.5	36.5	27	18.5	11.5

Παράδειγμα: Η Επιθυμητή ορίζεται π.χ. ως η μέση τιμή των δύο ορίων min & max, η οποία βρίσκεται εντός της Δ!

Αδρανή από περισσότερες αποθέσεις $n \geq 2 \rightarrow$
 Από κάθε απόθεση $\rightarrow$ Μία Κοκκομετρική καμπύλη
 Σύνθεση των n κοκκομετριών: π.χ. πόση άμμο,
 πόσο γαρμπίλι, πόσα σκύρα θα μπουν ως
 ανάμιγμα μαζί με τσιμέντο και νερό για την
 παραγωγή σκυροδέματος

A:



B:

Σύνθεση: Αριθμητική μέθοδος (excel)

$$P = aA_i + bB_i + cC_i + \dots$$

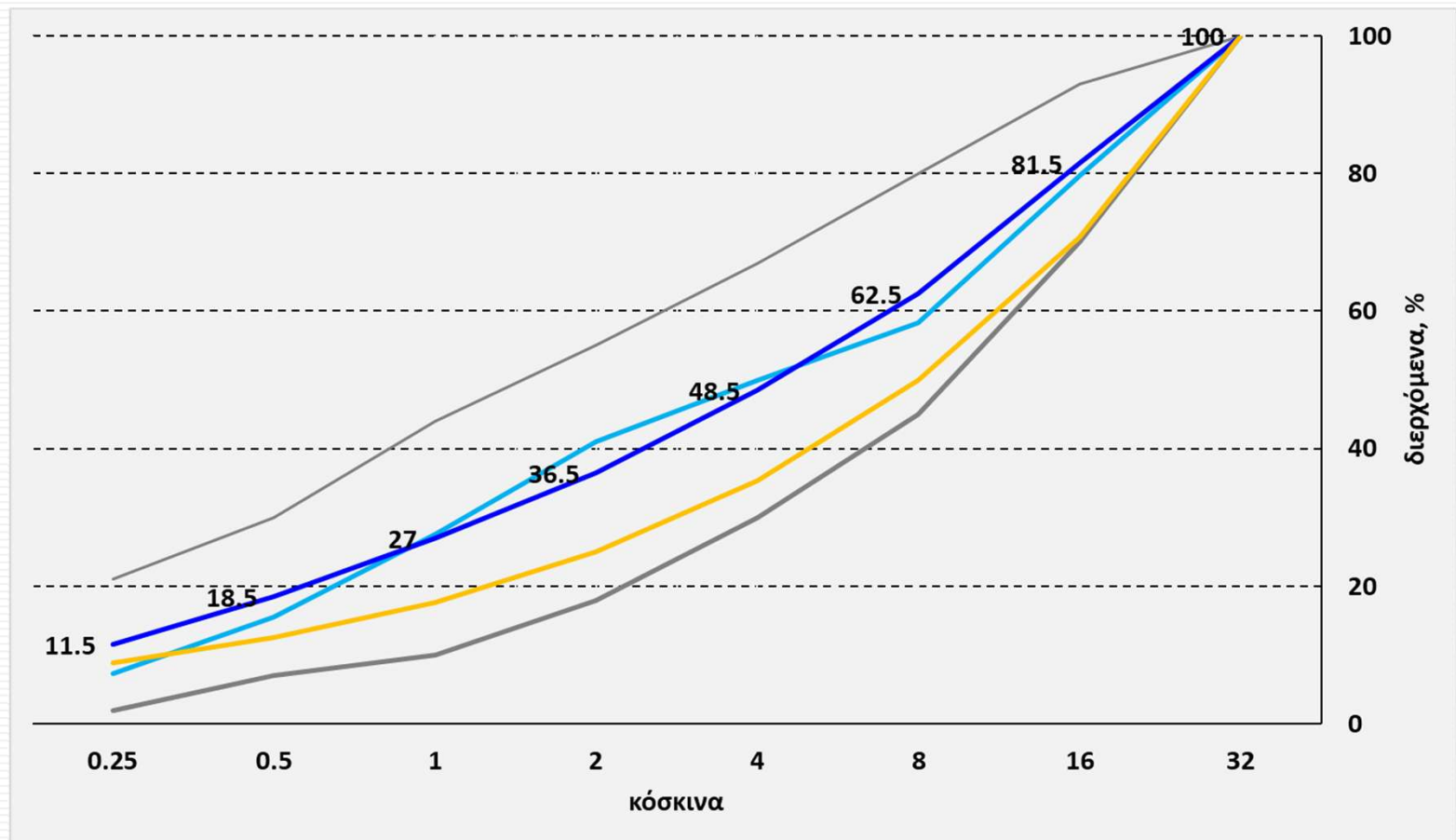
Παράδειγμα:

Κόσκινο:		32	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Προδιαγραφή: εντός Δ	min (χονδρόκοκκα)	100	70	45	30	18	10	7	2
	max (λεπτόκοκκα)	100	93	80	67	55	44	30	21
ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ - Στόχος (π.χ. στην μέση)		100	81.5	62.5	48.5	36.5	27	18.5	11.5
Διερχόμενα Α ομάδας, A_i		100	100	98	80	65	50	35	17
Διερχόμενα Β ομάδας, B_i		100	73	45	40	33	20	9	4
Αν α της A_i (aA_i)	0.25	25	25	24.5	20	16.25	12.5	8.75	4.25
Αν b της B_i (bB_i)	0.75	75	54.75	33.75	30	24.75	15	6.75	3
Μίγμα: $P = aA_i + bB_i$		100	79.75	58.25	50	41	27.5	15.5	7.25
έλεγχος $\min < P < \max$?		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
έλεγχος $P \approx \text{ΣΤΟΧΟ}$?		ok	ok	ok	ok	ok	ok	FALSE	FALSE
fuller		100	70.71	50	35.36	25	17.68	12.5	8.8388

Προφανώς $a+b=1$

1^{ος} έλεγχος: βρίσκεται το μίγμα P εντός των ορίων min & max

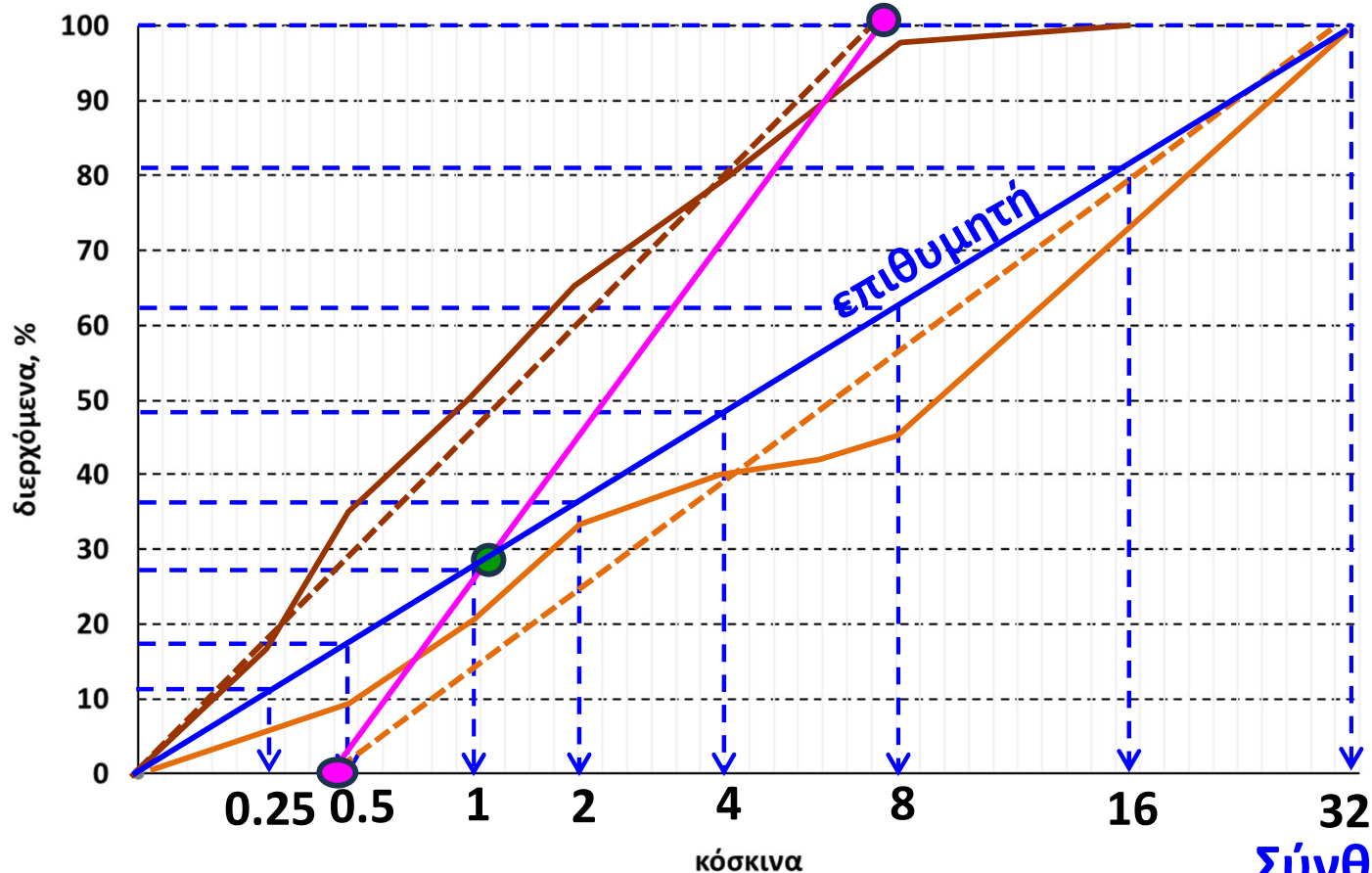
2^{ος} έλεγχος: βρίσκεται το μίγμα P εντός στόχου - ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ



Κόσκινο:		32	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Προδιαγραφή: εντός Δ	min (χονδρόκοκκα)	100	70	45	30	18	10	7	2
	max (λεπτόκοκκα)	100	93	80	67	55	44	30	21
ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ - Στόχος (π.χ. στην μέση)		100	81.5	62.5	48.5	36.5	27	18.5	11.5
Διερχόμενα Α ομάδας, A _i		100	100	98	80	65	50	35	17
Διερχόμενα Β ομάδας, B _i		100	73	45	40	33	20	9	4
Αν α της A _i (aA _i)	0.25	25	25	24.5	20	16.25	12.5	8.75	4.25
Αν b της B _i (bB _i)	0.75	75	54.75	33.75	30	24.75	15	6.75	3
Μίγμα: P=aA _i +bB _i		100	79.75	58.25	50	41	27.5	15.5	7.25
έλεγχος min<P<max ?		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
έλεγχος P ≈ ΣΤΟΧΟ?		ok	ok	ok	ok	ok	ok	FALSE	FALSE
fuller		100	70.71	50	35.36	25	17.68	12.5	8.8388

Κόσκινο:		32	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Προδιαγραφή: εντός Δ	min (χονδρόκοκκα)	100	70	45	30	18	10	7	2
	max (λεπτόκοκκα)	100	93	80	67	55	44	30	21
ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ - Στόχος (π.χ. στην μέση)		100	81.5	62.5	48.5	36.5	27	18.5	11.5
Διερχόμενα Α ομάδας, Ai		100	100	98	80	65	50	35	17
Διερχόμενα Β ομάδας, Bi		100	73	45	40	33	20	9	4
Αν α της Ai (aAi)	0.25	25	25	24.5	20	16.25	12.5	8.75	4.25
Αν b της Bi (bBi)	0.75	75	54.75	33.75	30	24.75	15	6.75	3
Μίγμα: P=aAi+bBi		100	79.75	58.25	50	41	27.5	15.5	7.25
έλεγχος min<P<max ?		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
έλεγχος P ≈ ΣΤΟΧΟ?		ok	ok	ok	ok	ok	ok	FALSE	FALSE
fuller		100	70.71	50	35.36	25	17.68	12.5	8.8388

Σύνθεση: Γραφική μέθοδος



Σύνθεση: από αριθμητική μέθοδο
A = 25% & B = 75%

1^{ον}: σχεδιάζεται η επιθυμητή: τα % της επιθυμητής (με κατακ. Άξονα ισοβαθμισμένο) ορίζουν την θέση των κοσκίων (στον οριζ. Άξονα) με τομή της διαγωνίου – επιθυμητής καμπύλης.

2^{ον}: Σχεδιάζω τις δύο κοκκομετρίες

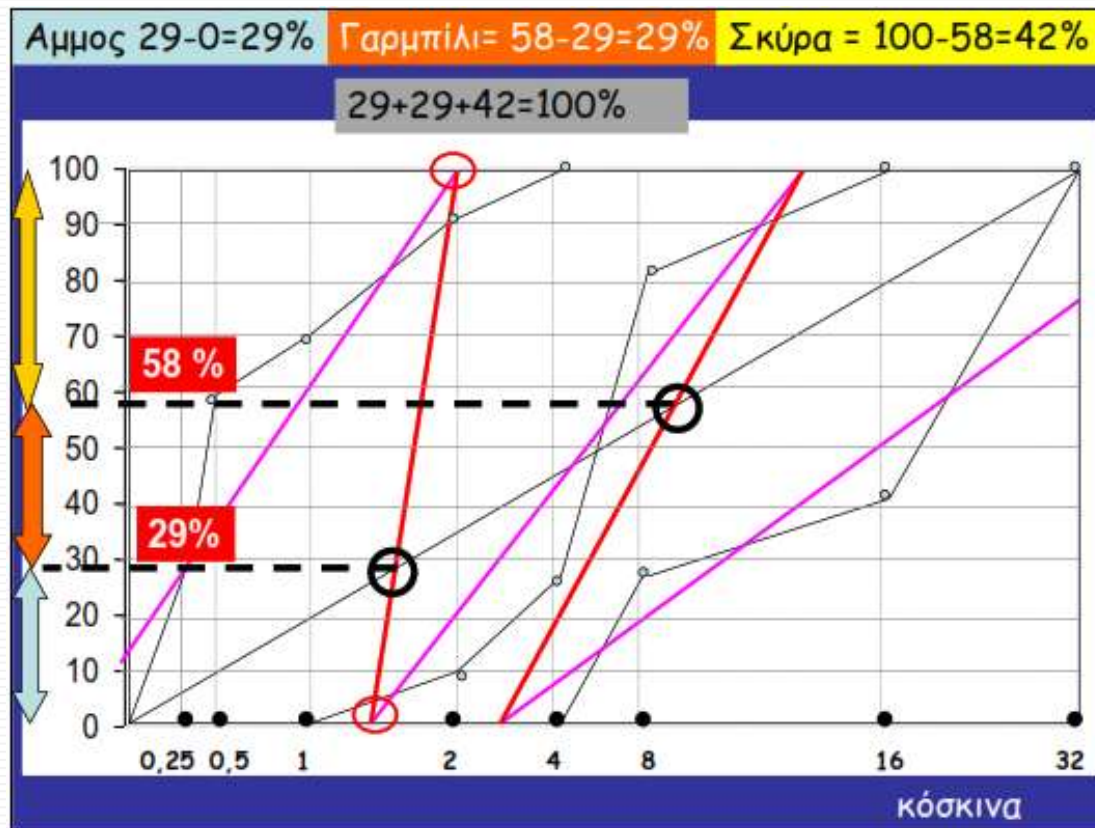
3^{ον}: τις προσεγγίζω με ευθείες που αφήνουν εκατέρωθεν ίδιο εμβαδό (διακεκομμένες - - -).

4^{ον}: ενώνω, από αριστερά προς δεξιά, το άνω σημείο της μιας διακεκομμένης με το κάτω σημείο της άλλης.

5^{ον}: η τομή με την διαγώνιο δίνει το % συμμετοχής της λεπτόκοκκης ομάδας (π.χ. 28%) οπότε το λοιπό 100-28=72% είναι της χονδρόκοκκης ομάδας

Σύνθεση: από γραφική μέθοδο
A = 28% & B = 72%

Σύνθεση: Γραφική μέθοδος



1^{ον}: σχεδιάζεται η επιθυμητή: τα % της επιθυμητής (κατακ. Άξονας ισοβαθμισμένος) ορίζουν την θέση των κοσκίνων (οριζ. Άξονας) με τομή της διαγωνίου.

2^{ον}: Σχεδιάζω τις δύο κοκκομετρίες

3^{ον}: τις προσεγγίζω με ευθείες που αφήνουν εκατέρωθεν ίδιο εμβαδό (διακεκομμένες - - -).

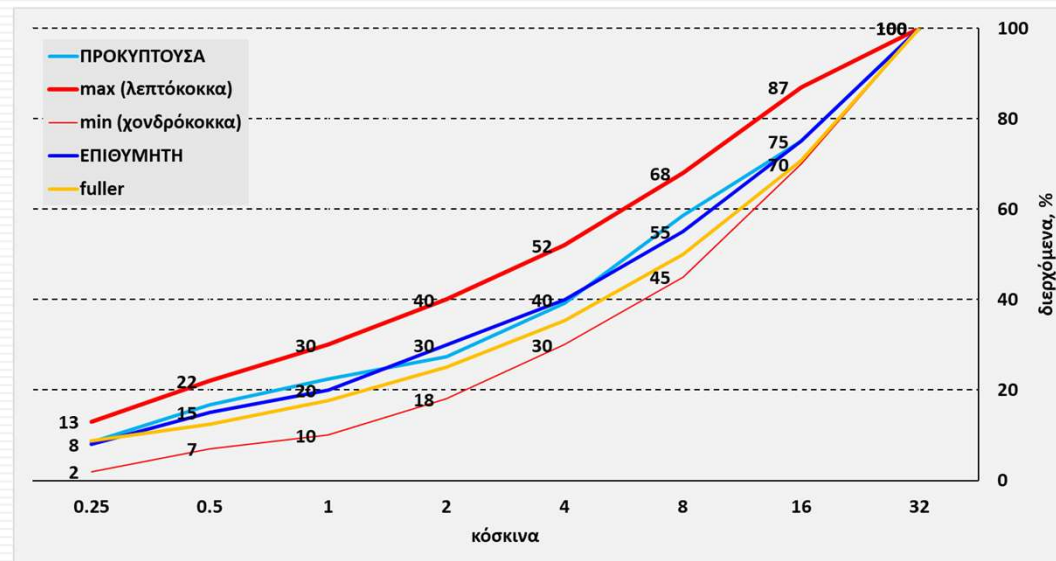
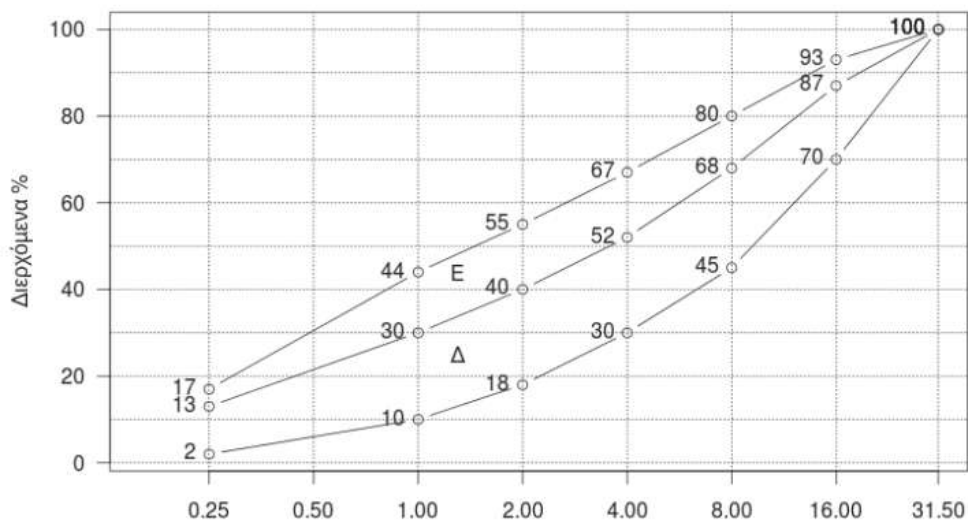
4^{ον}: ενώνω, από αριστερά προς δεξιά, το άνω σημείο της μιας διακεκομμένης με το κάτω σημείο της άλλης.

5^{ον}: η τομή με την διαγώνιο δίνει το % συμμετοχής των ομάδων

← Αν συνθέτω τρεις ομάδες τότε τα ποσοστά της κάθε μίας όπως δείχνει το σχήμα

Παράδειγμα για το σπίτι:

Για την επιθυμητή (εντός υποζώνης Δ), να βρείτε τα ποσοστά συμμετοχής κάθε κοκκομετρικής ομάδας με γραφικό και υπολογιστικό τρόπο



		Κόσκινο:	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Προδιαγραφή: εντός Δ	min (χονδρόκοκκα)		100	70	45	30	18	10	7	2
	max (λεπτόκοκκα)		100	87	68	52	40	30	22	13
	ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ		100	75	55	40	30	20	15	8
	ΑΜΜΟΣ, A _i		100	100	100	100	90	80	60	30
	ΓΑΡΜΠΙΛΙ, B _i		100	100	82	28	10	0	0	0
	ΣΚΥΡΑ, C _i		100	50	25	10	0	0	0	0
Αν α Αμμου (aA _i)	0.28		28	28	28	28	25.2	22.4	16.8	8.4
Αν b Γαρμπίλι B _i (bB _i)	0.22		22	22	18	6.16	2.2	0	0	0
Αν c ΣΚΥΡΑ C _i (cC _i)	0.5		50	25	12.5	5	0	0	0	0
Μίγμα: P=aA _i +bB _i +cC _i	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΑ		100	75	58.5	39.2	27.4	22.4	16.8	8.4
έλεγχος Προκύπτουσα ≈ επιθυμητή?			ok	ok	ok	ok	ok	FALSE	FALSE	ok
fuller			100	70.7	50	35.4	25	17.68	12.5	8.839

Να αναπαραχθεί η αναλυτική λύση στο excel. Εάν αυτή δίνει:

Ποσοστό της A = 28%, B=22% και C=50% (με απόκλιση από την επιθυμητή ±15%)

Διερευνήστε το ίδιο πρόβλημα με την γραφική λύση.

Βιβλιογραφία

- Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ2016)
- Concrete Technology A.M. Neville, J.J. Brooks (1987)
- Aggregates for Concrete, ACI Bulletin E1-7, 2007
- EN12620