



ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

CONCRETE



Μπαδογιάννης Ε.

1

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ*		
ΕΒΔ	ΗΜ/ΝΙΑ	
1	04/10/2023	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΓΕΝΙΚΑ, ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ) – ΑΔΡΑΝΗ
2	11/10/2023	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ – ΤΣΙΜΕΝΤΟ
3	18/10/2023	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ – ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ & ΠΡΟΣΘΕΤΑ
4	25/10/2023	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ I - ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΘΟΡΑΣ
5	01/11/2023	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ II - ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΘΟΡΑΣ
6	08/11/2023	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ III- ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ
-	15/11/2023	ΕΟΡΤΑΣΜΟΣ ΕΠΕΤΕΙΟΥ ΕΞΕΓΕΡΣΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ
7	22/11/2023	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ, ΣΜΜΜ: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ I*
8	29/11/2023	ΕΙΣΑΓΩΓΗ, ΑΟΠΛΗ/ΟΠΛΙΣΜΕΝΗ, ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ
9	06/12/2023	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ
10	13/12/2023	ΔΡΑΣΕΙΣ, ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ
11	20/12/2023	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ, PROJECT ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ
12	10/01/2024	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ, PROJECT ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ
13	17/01/2024	ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΕΙΣ

*Το πρόγραμμα δύναται να τροποποιηθεί

2

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ*

Ημέρες, ώρες διδασκαλίας: Τετάρτη, 15. 15 - 18.15

Χώρος διδασκαλίας:

- Αιθ. 14 (ΣΠΜ)
- Εργαστήριο Τεχνολογίας Διάνοιξης Σηράγγων, (ΣΜΜΜ)
- Πιλοτική μονάδα (Pilot plant) έτοιμου σκυροδέματος ΕΜΠ (ΣΠΜ)
- Πεδίο – Έργο - Βιομηχανία

*Το πρόγραμμα δύναται να τροποποιηθεί

3

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΤΣΙΜΕΝΤΟ + ΑΔΡΑΝΗ + ΝΕΡΟ = ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Σκυρόδεμα (Concrete): “είναι το υλικό που σχηματίζεται από την ανάμιξη τσιμέντου, χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών και νερού (με ή χωρίς την ενσωμάτωση των υλικών που χαρακτηρίζονται πρόσθετα και βελτιωτικά), το οποίο αναπτύσει τις ιδιότητες του με τη σκλήρυνση της πάστας του τσιμέντου (τσιμέντο+νερό)” [EN 206].

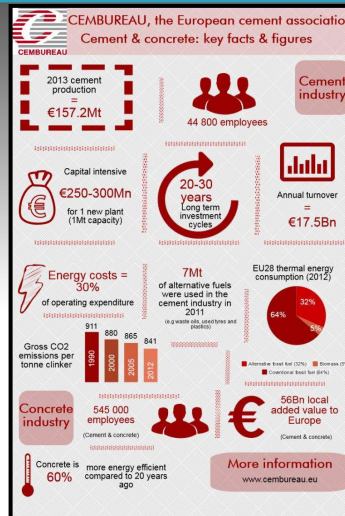
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ + **ΧΑΛΥΒΑΣ** = **ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ** ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

- ▶ Τσιμέντο
- ▶ Αδρανή
- ▶ Νερό
- **“Βελτιωτικά”**
- ▶ **Πρόσμικτα ή πρόσθετα**
- ▶ **Χάλυβας**

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

4

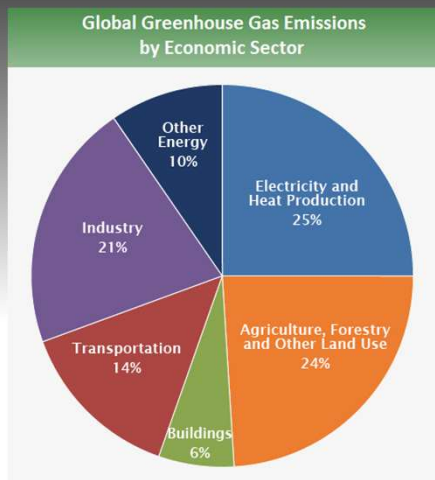
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Μπαδογιάννης Ε. - ΔΠΜΣ - 1^ο Τετράμηνο: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ 5

5

Εκπομπές ανά τομέα, παγκοσμίως



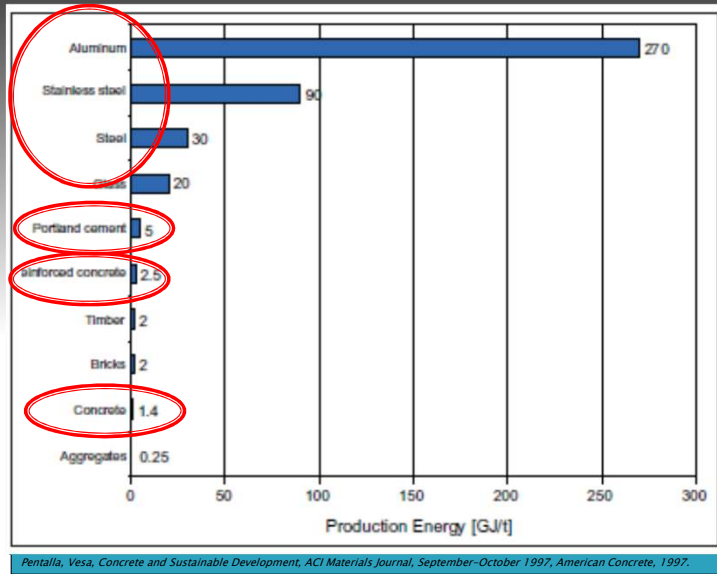
Η παραγωγήτσιμέντου είναι ιδιαίτερα ενεργειοβόρος.

- Υπολογίζεται ότι το 6-8% του CO₂ παγκοσμίως, προέρχονται από την παραγωγήτσιμέντου

Source: IPCC (2014) based on global emissions from 2010

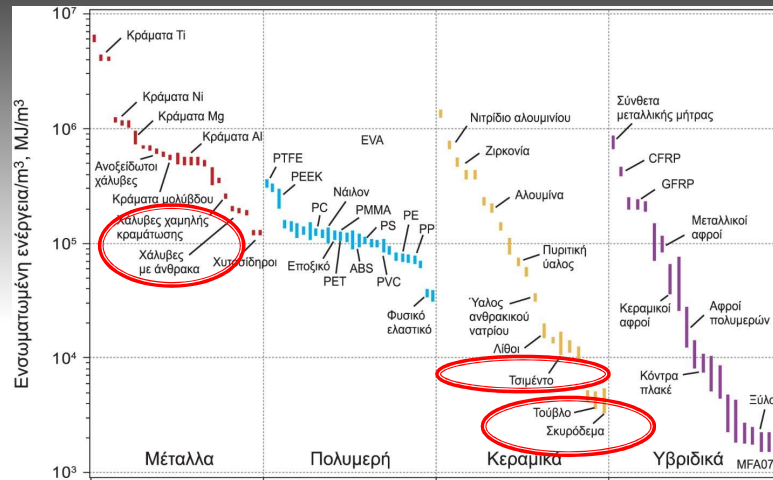
6

Ενσωματωμένη ενέργεια ανά υλικό



7

Ενσωματωμένη ενέργεια κατ' όγκο



8

Περιβαλλοντικές επιδράσεις του κλάδου κατασκευών

- 1/6 της παγκόσμιας κατανάλωσης νερού
- ¼ της παγκόσμιας κατανάλωσης ξυλείας
- 2/5 παγκόσμιας ροής υλικών και ενέργειας

Αποψίλωση δασών, ρύπανση αέρα και υδάτων, καταστροφή του όζοντος της στρατόσφαιρας

9

Οικονομικές επιπτώσεις

- Η καθυστέρηση είναι επικίνδυνη και δαπανηρή
 - 1% του ΑΕΠ το κόστος για τη διατήρηση των εκπομπών στα 550 ppm μέχρι το 2050
 - 5% του ΑΕΠ οι απώλειες στις εμπορικές δραστηριότητες και 20% του ΑΕΠ στις μη εμπορικές δραστηριότητες
- Τα μέτρα αντιμετώπισης είναι ζωτικής σημασίας για την αποφυγή της κλιματικής αλλαγής

Πηγή: The Stern Report, Economics of Climate Change, 2006

10



11

Αειφορία στην κατασκευή

Η αειφορία στον σχεδιασμό των κατασκευών μπορεί να κάνει τη διαφορά.

Η μεγαλύτερη θετική επίδραση έγκειται στη μείωση της χρήσης ενέργειας για τη συντήρηση των κατασκευών

Ωστόσο...

Επιλογές που γίνονται κατά το σχεδιασμό έχουν επιπτώσεις στο λειτουργικό χρόνο της κατασκευής

↓

Αειφόρος τεχνολογία

12

Αειφόρος τεχνολογία

1. Εναλλακτικά καύσιμα στην παραγωγή τσιμέντου
2. Νέοι τύποι τσιμέντου που παράγονται με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας
3. Πρόσθετα υλικά ως κύρια συστατικά τσιμέντου
4. Χρήση ανακυκλωμένων αδρανών στο σκυρόδεμα
5. Κατασκευές υψηλής ενεργειακής απόδοσης
6. Ελαχιστοποίηση της ποσότητας του τσιμέντου στο σκυρόδεμα
7. Μείωση της κατανάλωσης νερού

13

Carbon Neutrality Roadmap



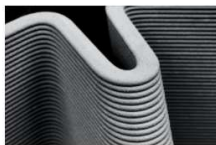
Carbon Capture



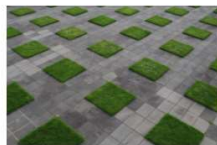
Biomass, Hydrogen & Plasma



Lower clinker cements



Concrete Innovation



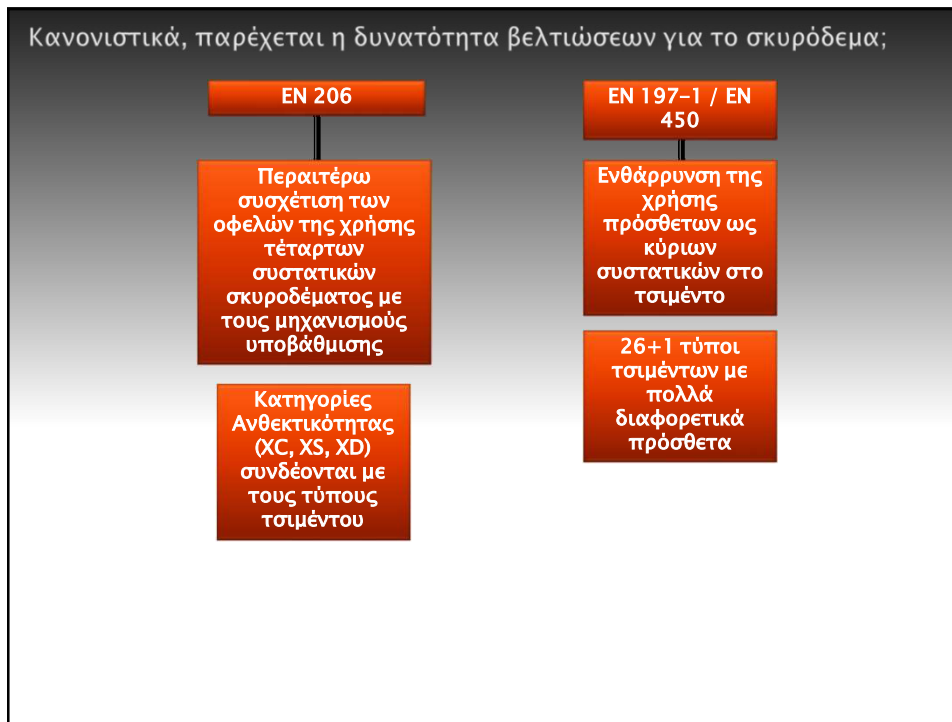
Recarbonation



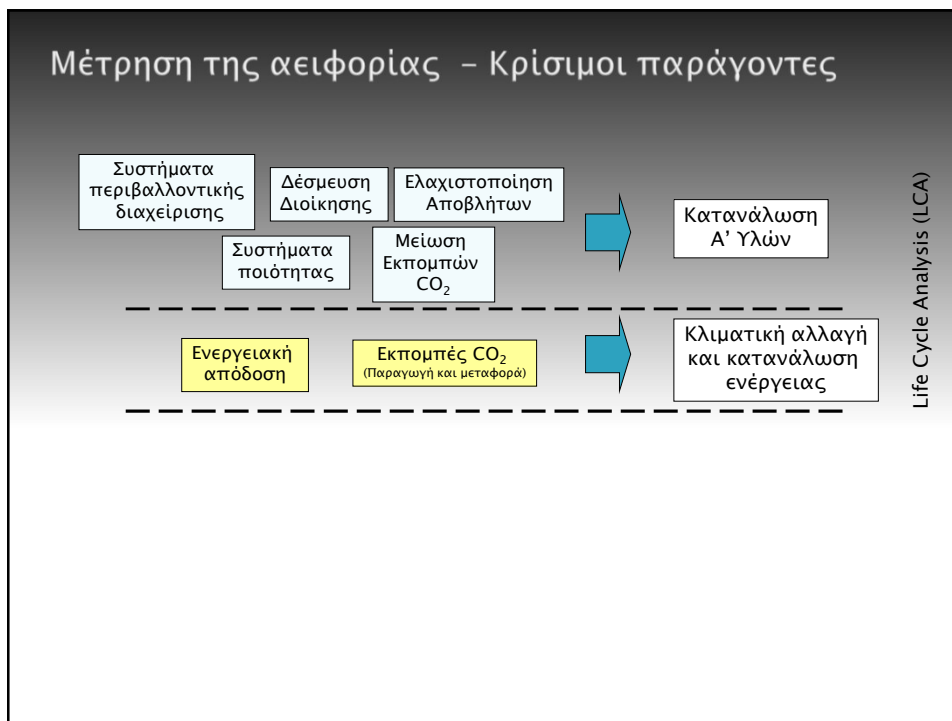
Innovation Networks

14

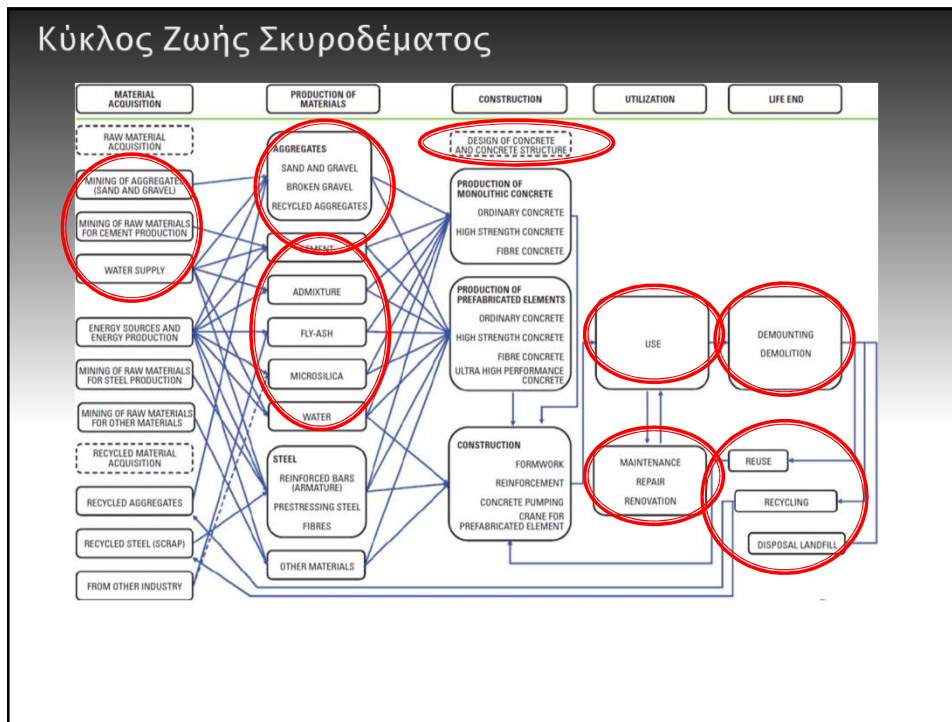
14



15



16



17

ΔΕΙΚΤΕΣ ΔΕΙΦΟΡΙΑΣ

- Ενσωματωμένη ενέργεια - embodied energy, EE (MJ/kg ή kwatt/kg) ενός υλικού είναι η ενέργεια που δαπανάται για τη δημιουργία 1 kg υλικού
- Το αποτύπωμα CO₂ - CO₂ footprint, είναι η σχετική έκλυση στην ατμόσφαιρα CO₂, σε kg/kg
- Η κατανάλωση ενέργειας και η έκλυση CO₂ είναι ισοδύναμα, όταν αξιολογείται η περιβαλλοντική επίπτωση της παραγωγής ενός προϊόντος
- Ισοδύναμο CO₂ (CO₂-eq) είναι η ποσότητα που περιγράφει, για ένα δεδομένο μείγμα και μια δεδομένη ποσότητα εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, την ποσότητα του CO₂ που θα είχε την ίδια επίδραση στην άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη (GWP), για την ίδια χρονική περίοδο (100 years).

18

18

ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

AGGREGATES



19

ΑΔΡΑΝΗ - Ορισμοί

Άθραυστες ή θραυσμένες φυσικές ή τεχνητές ορυκτές ή ανακυκλωμένες ύλες. Επτά (7) κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση:

- ▶ **Αδρανή σκυροδέματος (ΕΛΟΤ EN 12620)**
- ▶ Αδρανή ασφαλτομιγμάτων (ΕΛΟΤ EN 13043)
- ▶ Αδρανή Κονιαμάτων (ΕΛΟΤ EN 13139)
- ▶ Αδρανή για Ογκόλιθους για λιμενικά και υδραυλικά έργα (ΕΛΟΤ EN 13383-1)
- ▶ Αδρανή για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής (ΕΛΟΤ EN 13450)
- ▶ Αδρανή για βάσεις και υποβάσεις σταθεροποιημένες ή μη (ΕΛΟΤ EN 13242)
- ▶ Ελαφροβαρή Αδρανή (ΕΛΟΤ EN 13055)

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

20

ΑΔΡΑΝΗ - Προέλευση

- **Φυσικά αδρανή** τα οποία είναι ορυκτής προέλευσης και δεν έχουν υποστεί καμία επεξεργασία πλην μηχανικής (διαλογή και θραύση). Είναι τα φυσικά-συλλεκτά αδρανή χωρίς θραύση και τα θραυστά αδρανή που προέρχονται από λατομεία ή από θραύση συλλεκτών αδρανών.
- **Τεχνητά αδρανή** τα οποία έχουν ορυκτή προέλευση αλλά έχουν υποστεί κάποια βιομηχανική επεξεργασία θερμική ή άλλου είδους. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται διάφορα τεχνητά ελαφρά αδρανή, σκωρίες κ.α.
- **Ανακυκλωμένα αδρανή** τα οποία προέρχονται από επεξεργασία άλλων ανόργανων υλικών που είχαν αρχικά χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

21

ΑΔΡΑΝΗ - Πυκνότητα

- ▶ **Αδρανή συνήθους/κανονικού βάρους:** μεταξύ 2000 kg/m^3 και 3000 kg/m^3
- ▶ **Ελαφρά αδρανή:** μικρότερη ή ίση με 2000 kg/m^3 ή φαινόμενη πυκνότητα "χύδην" προσδιοριζόμενη σύμφωνα με EN 1097-3 μικρότερη ή ίση με 1200 kg/m^3 .
- ▶ **Βαριά αδρανή:** μεγαλύτερη ή ίση προς 3000 kg/m^3 .

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

22

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

- ▶ Την εργασιμότητα
- ▶ Την ανθεκτικότητα
- ▶ Τον ερπυσμό
- ▶ Την συστολή ξήρανσης και τη θερμική συστολοδιαστολή
- ▶ Τη σταθερότητα του νωπού σκυροδέματος (πχ απόμιξη, εξίδρωση)
- ▶ Την κατανομή των τάσεων μέσα στη μάζα του σκυροδέματος και την συμπεριφορά του σε φόρτιση (μικρο-ρηγμάτωση, ψαθυρή ή μη ψαθυρή αστοχία)
- ▶ Το κόστος

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

23

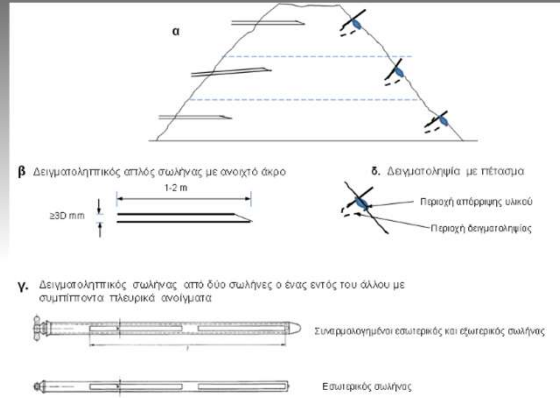
Γίνεται σκυρόδεμα χωρίς αδρανή;

- ▶ αντιοικονομικό
- ▶ υψηλές τιμές συστολής ξήρανσης και ερπυσμού
- ▶ ασύμβατος γραμμικός συντελεστής διαστολής
- ▶ πολύ ψαθυρό αφού τα αδρανή συμβάλλουν στη μικρο-ρηγμάτωση του σκυροδέματος
- ▶ ανθεκτικότητα

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

24

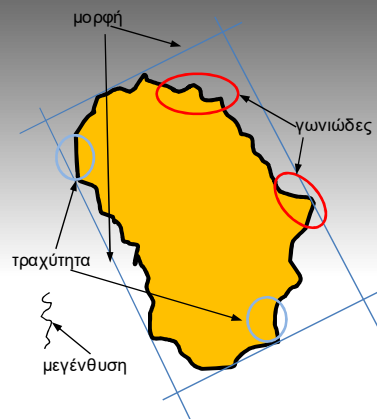
Δειγματοληψία



Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

25

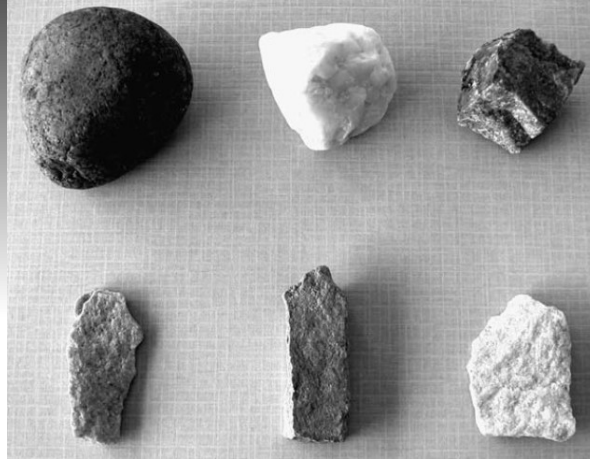
ΑΔΡΑΝΗ – γενικά χαρακτηριστικά



Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

26

ΑΔΡΑΝΗ – Σχήμα/μορφή



Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

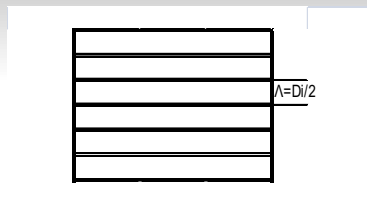
27

ΑΔΡΑΝΗ – Δείκτες σχήματος-μορφής

Δείκτης πλακοειδούς (FI): είναι η συνολική ξηρή μάζα που διήλθε από τα ειδικά κόσκινα ανηγμένη ως ποσοστό % της συνολικής ξηρής μάζας του δείγματος

δύο ειδών κοσκινίσματα:

- Με κόσκινα με παραπλήσιο μέγιστο και ελάχιστο άνοιγμα (π.χ. 31.5/40) για την παρασκευή ισόκοκκων κλασμάτων
- ειδικά κόσκινα με επιμήκη ανοίγματα



Δείκτης μορφής (SI) το % κόκκων κ.β. με λόγο $= \frac{\max \text{ διασταση (μηκος)}}{\min \text{ διασταση (παχος)}} > 3$

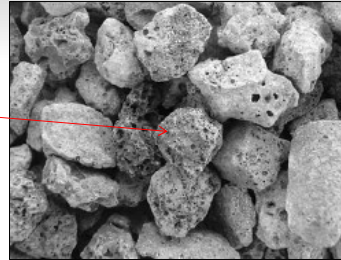
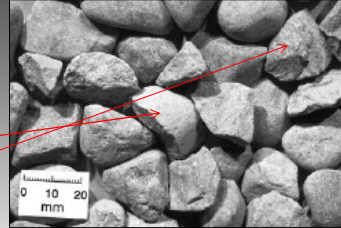
Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

28

ΑΔΡΑΝΗ – επιφ. υφή/τραχύτητα

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΥΦΗ

- Γαλώδης
- Ομαλή
- Κοκκώδης
- Τραχεία
- Κρυσταλλική
- Πορώδης



Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

29

ΑΔΡΑΝΗ – Μέγεθος /Κλάσματα

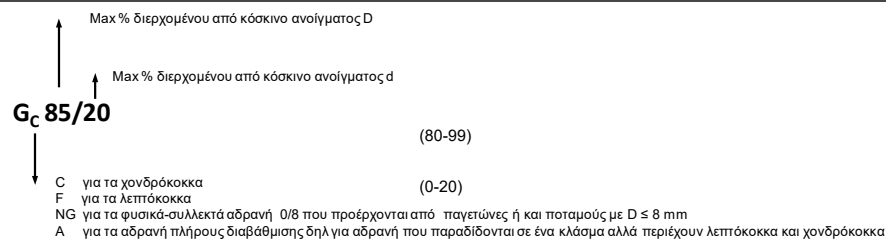
Μέγεθος /Κλάσματα

- ▶ Το μέγεθος ορίζεται με ένα κατώτερο (d) και ένα ανώτερο (D) μέγεθος κοσκίνου και εκφράζεται ως d/D (mm)
- ▶ Διάφορα **κλάσματα** αδρανών ανάλογα με τη χρήση, π.χ. στο σκυρόδεμα :
 - ▶ Χαλίκι (Coarse) $D > 11.2$ και $D/d > 2$ ή $D \leq 11.2$ και $D/d \leq 2$
 - ▶ Γαρμπίλι (Coarse) $D \leq 11.2$ και $D/d \leq 2$ ή $D \leq 11.2$ και $D/d > 4$
 - ▶ Άμμος (Fine) θραυστή ή φυσική 0/4 ή 0/2

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

31

Κατάταξη αδρανών σε Κατηγορίες (συμβολισμός – EN 12620)



Παράδειγμα **G_c 80/20** για το κλάσμα **8/11.2**:

- % κόκκων με μέγεθος < 8 mm ($P_{i,8}(\%)$), σε ποσοστό μέχρι 20%, δηλ. θα συγκρατηθεί >80% στο κόσκινο 8 mm
- % κόκκων με μέγεθος < 11.2 mm (είναι $P_{i,11,2}(\%)$), σε ποσοστό μέχρι 80%, δηλ. θα συγκρατηθεί > 20% στο κόσκινο 11.2 mm

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

32

ΑΔΡΑΝΗ – Μέγεθος /Κλάσματα

Μέγεθος αδρανούς	Χονδρόκοκκο		Λεπτόκοκκο
	$D/d \leq 2$ ή $D \leq 11.2$ mm	$D/d > 2$ και $D > 11.2$ mm	$D \leq 4$ mm και $d=0$
Ανοιγμα κοσκίνου	διερχόμενο ποσοστό κατά μάζα		
2D*	100	100	100
1.4D*	98 έως 100	98 έως 100	95 έως 100
D	85 έως 99** ή 80 έως 99**	90 έως 99**	85 'εως 99
d	0 έως 20	0 έως 15	
d/2*	0 έως 5	0 έως 5	
Κατηγορία (συμβολισμός)	G _c 85/20 ή G _c 80/20	G _c 90/15	G _f 85

* Αν με τον υπολογισμό προκύπτει άνοιγμα κοσκίνου που δεν αντιστοιχεί με τη σειρά ISO 565.1990 R 20 τότε χρησιμοποιείται το αμέσως εγγύτερο μέγεθος κοσκίνου ISO

**Το διερχόμενο ποσοστό μπορεί να είναι μεγαλύτερο από 99% υπό ορισμένες προϋποθέσεις, βλ EN 12620.

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

33

ΑΔΡΑΝΗ – Μέγεθος /Κλάσματα					
Ουσιαστικά Χαρακτηριστικά / Essential characteristics	Επίδοση / Performance				Τεχνική προδιαγραφή / Technical specification
Μέγεθος κόκκων / (d/D) Particle size	4/8				EN 12620
Κοκκομετρική διαβάθμιση / Grading	mm	Απαιτήση	Ανοχές	% διεργασμένο	EN 933-1
	22,4	100		100	
	16	100		100	
	11,2	98-100		98.3	
	8	80-99		82.2	
	5,6			24.6	
	4	0-20		8.4	
	2	0-5		2.0	
	1			1.5	
	0,5			0.9	
	0,25			0.7	
	0,125			0.7	
0,063	0-1,5		0.7		
Κατηγορία Κοκκομετρικής διαβάθμισης / Grading	G _c 80/20				EN 12620
Δείκτης πλακοειδούς / Particle shape	F ₁₅				EN 933-3

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

34

ΑΔΡΑΝΗ – Κοκκομετρική Ανάλυση

Πρότυπα & Κανονισμοί: EN 933-1, ΚΤΣ

- ▶ Ποσοτική κατάταξη των κόκκων με βάση το μέγεθος των κόκκων
- ▶ Πραγματοποιείται με κόσκινα



4.75 mm (No. 4) Sieve

Shaker Loaded With Sieves (Door Open)

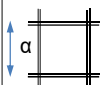
Sample on Scale

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

35

ΑΔΡΑΝΗ – Κοκκομετρική Ανάλυση

ΚΟΣΚΙΝΑ



Στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12620 «Αδρανή για Σκυρόδεμα» υιοθετούνται τα κόσκινα **ISO 565**. Είναι κόσκινα τετραγωνικής οπής με συρμάτινο μεταλλικό πλέγμα για άνοιγμα $\alpha < 4$ mm και διάτρητη μεταλλική πλάκα για $\alpha \geq 4$ mm σύμφωνα με ISO 1330-1 και 2

Για τον προσδιορισμό της κοκκοδιαβάθμισης των αδρανών χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα κόσκινα καθώς και όποιο πρόσθετο άλλο κόσκινο κρίνεται αναγκαίο:

Άνοιγμα τετραγωνικής οπής σε mm											
0.063	0.125	0.250	0.500	1	2	4	8	16	31.5	63	

Αμερικανικά πρότυπα κόσκινα **ASTM E-1 & E-11**

Άνοιγμα τετραγωνικής οπής σε ίντσες					No = αριθμός οπών ανά ίντσα						
1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	No4	No8	No16	No30	No50	no100	No200
Άνοιγμα τετραγωνικής οπής σε mm											
37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

36

ΑΔΡΑΝΗ – Κοκκομετρική Διαβάθμιση

ΕΜΠ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ: ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Όνοματεπώνυμο: _____

Είδος δείγματος: _____

Ημερ/νία: _____

Βάρος δείγματος: _____

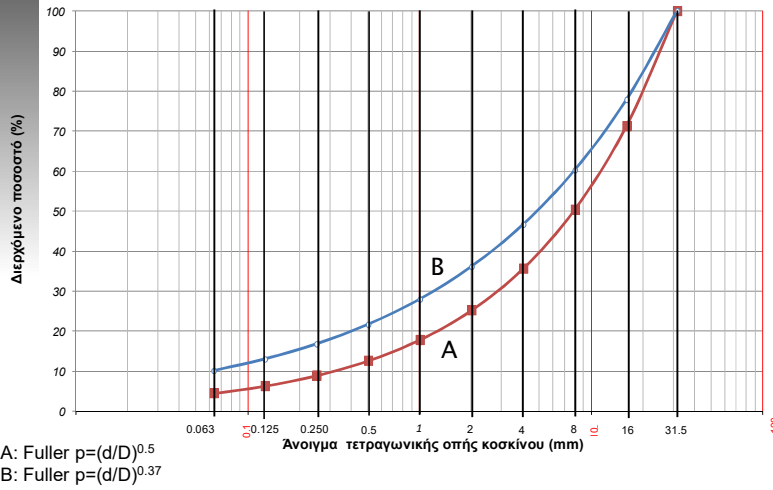
Κόσκινο (mm)	Συγκρατούμενο - r_i (g)	Αθροιστικό συγκρατούμενο - R_i (g)	% Συγκρατούμενο - R_i (%)	% Διερχόμενο - P_i (%)
31.50				
16.00				
8.00				
4.00				
2.00				
1.00				
0.25				

Παρατηρήσεις:

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

37

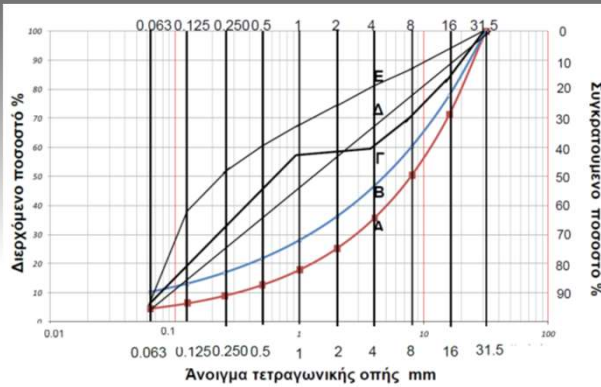
ΑΔΡΑΝΗ – Κοκκομετρική Διαβάθμιση



Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

38

ΑΔΡΑΝΗ – Κοκκομετρική Διαβάθμιση



Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

39

ΑΔΡΑΝΗ – Κοκκομετρικοί δείκτες: μέτρο λεπτότητας - FM

$$FM = \frac{\Sigma R\%(31.5 - 16 - 8 - 4 - 2 - 1 - 0.5 - 0.25 - 0.125)}{100}$$

Εκφράζει σε ένα βαθμό την απαίτηση σε νερό (για λεπτόκοκκα υλικά) ή την απαίτηση σε λεπτά υλικά (για χονδρόκοκκα υλικά)

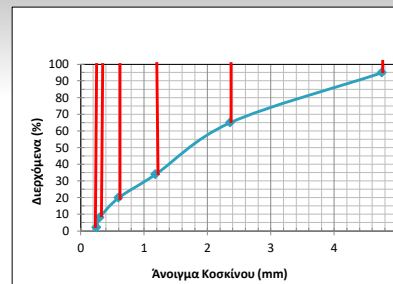
Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

40

ΑΔΡΑΝΗ – Κοκκομετρικοί δείκτες: μέτρο λεπτότητας - FM

- Χονδρόκοκκη άμμος: $4 > FM > 2.4$
- Μεσαίας διαβάθμισης: $2.8 > FM > 1.5$
- Λεπτόκοκκη άμμος: $2.1 > FM > 0.6$

Πρότυπο κόσκινο Αμερικάν. σειράς	mm	Συγκρ R _i	Διερχόμενο, P _i (%)	Αθρ. συγκρατούμενο (Χονδρότερο) R _i (%)
No4	4.75	5	95	5
No8	2.36	30	65	35
No16	1.18	31	34	66
No30	0.60	14	20	80
No50	0.30	12	8	92
No100	0.15	6	2	98
Άθροισμα				376
FM				3.76



Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

41

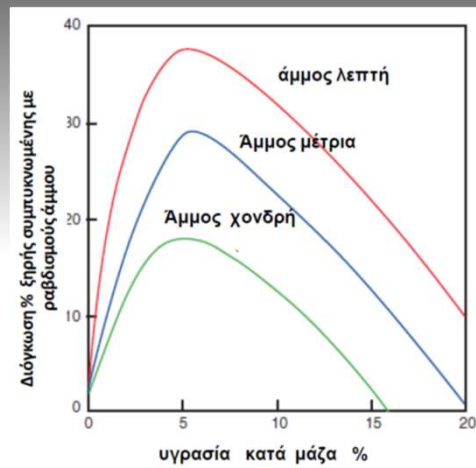
ΑΔΡΑΝΗ – παιπάλη

Αδρανή	Κατηγορίες (με βάση το % της κ.β)	Όρια ΚΤΣ
Χονδρά (coarse)	$\leq 1.5\%$, $\leq 4\%$ και $> 4\%$.	$< 5\%$
Λεπτά (fine)	≤ 3 , ≤ 10 , ≤ 16 , ≤ 22 , > 22	$< 16\%$ θραυστή $< 5\%$ φυσική άμμος)

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

42

ΑΔΡΑΝΗ – διόγκωση άμμου

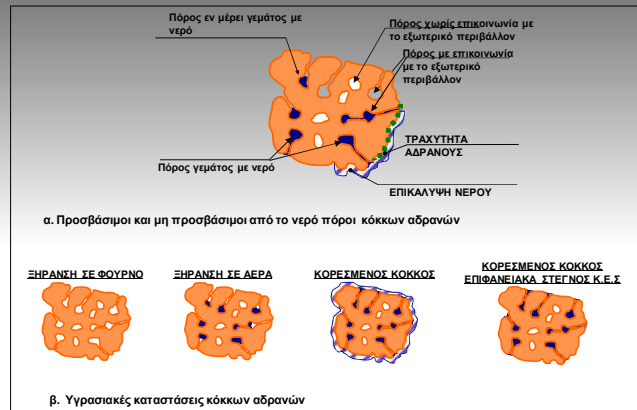


Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

43

ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ: πορώδες & υγρασία

Πορώδες : ανοικτό – κλειστό



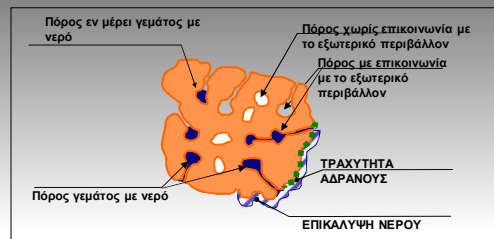
Πορώδες και υγρασιακή κατάσταση αδρανών

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

44

ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ: πυκνότητα

Πυκνότητα: ο λόγος της μάζας ενός σώματος προς τον όγκο του



Πυκνότητα κόκκων : Ο λόγος της μάζας δείγματος κόκκων προς τον όγκο που καταλαμβάνουν οι κόκκοι αυτοί, στον οποίο συμπεριλαμβάνονται ο όγκος των προσβάσιμων και μη προσβάσιμων από το νερό πόρων των κόκκων

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

45

ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ: πυκνότητα

- ▶ $\rho_{\xi\eta\rho}$, πυκνότητα κόκκων, σε ξηρή κατάσταση – **particle density on oven dry basis**: Ο λόγος της ξηραμένης σε φούρνο (θερμοκρασία 110 ± 5 °C) μάζας του δείγματος των κόκκων, προς τον όγκο του δείγματος στον οποίο περιλαμβάνονται οι πόροι οι προσβάσιμοι και οι μη προσβάσιμοι από το νερό.
- ▶ $\rho_{\text{ΚΕΣ}}$, πυκνότητα κόκκων σε κορεσμένη επιφανειακά στεγνή κατάσταση (ΚΕΣ) – **particle density on a saturated and surface-dried basis (SSD)**: Ο λόγος της μάζας του δείγματος των κόκκων σε κατάσταση κορεσμένη επιφανειακά στεγνή (ΚΕΣ) προς τον όγκο του δείγματος στον οποίο περιλαμβάνονται οι προσβάσιμοι και οι μη προσβάσιμοι από το νερό πόροι

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

46

ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ: πυκνότητα



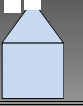










- ▶ $\rho_{\text{φαιν}}$, φαινόμενη πυκνότητα κόκκων: Ο λόγος της μάζας δείγματος κόκκων προς τον όγκο που καταλαμβάνουν οι κόκκοι αυτοί, από τον οποίο αφαιρείται ο όγκος των πόρων που είναι προσβάσιμοι από το νερό (συμπεριλαμβάνεται ο όγκος μόνο των μη προσβάσιμων από το νερό πόρων των κόκκων). Η φαινόμενη πυκνότητα είναι μεγαλύτερη των $\rho_{\xi\eta\rho}, \rho_{\text{ΚΕΣ}}$
- ▶ **Σχετική πυκνότητα κόκκων– Relative particle density – Specific gravity**: είναι μέγεθος αδιάστατο και είναι ο λόγος της εκάστοτε πυκνότητας προς την πυκνότητα ίσου όγκου νερού και επομένως διακρίνεται σε σχετική πυκνότητα κόκκων και σε σχετική φαινόμενη πυκνότητα κόκκων. Ανάλογα με την υγρασιακή κατάσταση των κόκκων διακρίνεται σε σχετική πυκνότητα κόκκων σε α) κατάσταση ΚΕΣ ή β) σε ξηρή κατάσταση.

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

47

ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΜΕΤΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ





ΠΝΑΚΑΣ 1 Προσδιορισμός πυκνότητας κατά EN 1097

	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Εξήρανση 110 ± 5 °C	ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ
	ΚΕΣ (SSD) Κορεσμένη επιφανειακά στεγνή 	 	
Μετρήσεις μάζας	$M_1 = M_2 + \text{Νερό Υδατορ}$ Μάζα κόκκου (ων) μέσα στο νερό = $M_2 - M_3$	M_2 M_3 M_4	$V = M_2 - (M_2 - M_3)$ $V + \text{Νερό υδατορ} = M_1 - (M_2 - M_3)$
Προκαταπίετες Όγκοι	Όγκος κόκκου(ων) στον οποίο περιλαμβάνονται οι μη προσβάσιμοι και οι προσβάσιμοι από το νερό πόροι = $M_1 - (M_2 - M_3)$		 Όγκος εξωτερικής περιμέτρου = $V + \text{Νερό υδατορρρόφησης}$
	Όγκος κόκκου(ων) στον οποίο περιλαμβάνονται μόνον οι μη προσβάσιμοι από το νερό πόροι = $M_4 - (M_2 - M_3)$ (οι προσβάσιμοι πόροι έχουν αφαιρεθεί)		 Όγκος χωρίς τον όγκο των προσβάσιμων από νερό πόρων
Υπολογίσιμες Πυκνότητες & Υδαταπορρόφηση	Πυκνότητα κόκκου(ων) σε κατάσταση κορεσμένη επιφανειακά στεγνή $\rho_{KEC} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$		 Μάζα σε κατάσταση ΚΕΣ  Όγκος εξωτερικής περιμέτρου
	Πυκνότητα κόκκου(ων) μετά ξήρανση στους 110 ± 5 °C $\rho_{ΞHP} = \frac{M_2}{M_1 - (M_2 - M_3)}$		 Μάζα ξερή  Όγκος εξωτερικής περιμέτρου
	Φαινόμενη Πυκνότητα κόκκου(ων) $\rho_{Φαιν} = \frac{M_2}{M_4 - (M_2 - M_3)}$		 Μάζα ξερή  Όγκος χωρίς τον όγκο των προσβάσιμων από νερό πόρων
	$\text{Υδαταπορ}_{24h} = \frac{M_1 - M_4}{M_4} \cdot 100 \text{ [%]}$ $\rho_{KEC} = 1 + \rho_{ΞHP} \cdot \frac{\rho_{Φαιν}}{\rho_{Φαν}}$		 Νερό που εισχώρησε στους πόρους, υδαταπορρόφηση Για έλεγχο των μετρήσεων και των υπολογισμών

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

48

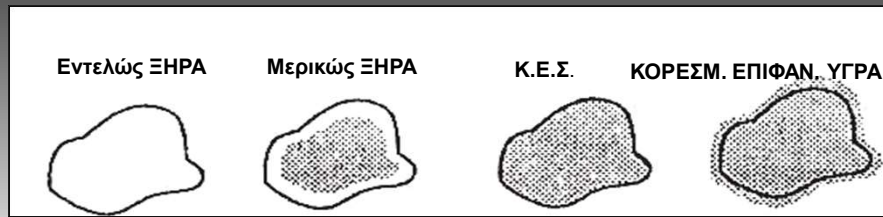
ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ: ΥΓΡΑΣΙΑ & ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

State	Oven dry	Air dry	Saturated, surface dry	Damp or wet
				
Total moisture	None	Less than potential absorption	Equal to potential absorption	Greater than absorption

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

49

ΑΔΡΑΝΗ: Υγρασία απορρόφησης - επιφανειακή

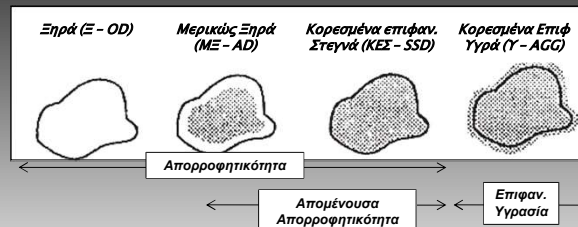


Αδρανή σε διάφορες φάσεις υγρασίας

- ☞ Υγρασία απορρόφησης:
 - ☞ νερό που παραλαμβάνεται από διαπερατούς πόρους
 - ☞ Εκφράζεται (%) κ.β. ξηρής μάζας
- ☞ Ελεύθερη ή επιφανειακή υγρασία: νερό που υπάρχει στην επιφάνεια και στα μεσοδιαστήματα των τεμαχίων

50

ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ: ΥΓΡΑΣΙΑ-ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ



$$\text{Απορ}_{24\text{h}} (\%) = \frac{M_{\text{ΚΕΣ}} - M_{\text{Ξ}}}{M_{\text{Ξ}}} \times 100$$

$$\text{Απομ. Απορ} (\%) = \frac{M_{\text{ΚΕΣ}} - M_{\text{Μ.Ξ.}}}{M_{\text{ΚΕΣ}}} \times 100$$

$$\text{Επιφ. Υγρασ.} (\%) = \frac{M_{\text{ΥΓΡ}} - M_{\text{ΚΕΣ}}}{M_{\text{ΚΕΣ}}} \times 100$$

$$\text{Υγρασία} (\%) = \frac{M_{\text{ΥΓΡ}} - M_{\text{ΞΗΡ}}}{M_{\text{ΞΗΡ}}} \times 100$$

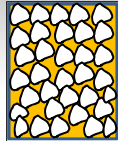
51

ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ: Φαινόμενη πυκνότητα στοιβής

Φαινόμενη πυκνότητα στοιβάγματος (στοιβής) ή Φαινόμενο βάρος

- **bulk density** (*unit-weight*): ο λόγος της μάζας πολλών κόκκων προς τον συνολικό όγκο που καταλαμβάνουν στον οποίο συμπεριλαμβάνονται τα κενά μεταξύ των κόκκων και οι πόροι των κόκκων (προσβάσιμοι και μη προσβάσιμοι από το νερό).

$$\rho_{\text{στ}} = \frac{M}{V}$$



V συνολικός όγκος δοχείου

V_s όγκος στερεών (λευκή περιοχή)

V_κ όγκος κενών εγχρωμη (πορτοκαλί) περιοχή

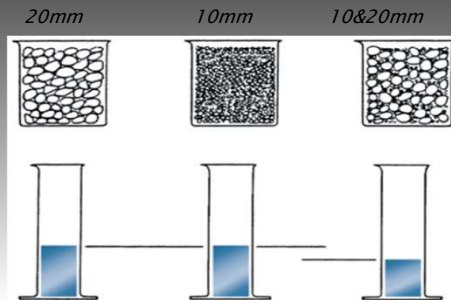
M μάζα των στερεών

- ▶ Φαινόμενη πυκνότητα στοιβάγματος, κατόπιν συμπίκνωσης – *Consolidated Bulk Density*
- ▶ Χαλαρή Φαινόμενη πυκνότητα στοιβάγματος – *Loose Bulk Density*

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

52

ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ: Φαινόμενη πυκνότητα στοιβής

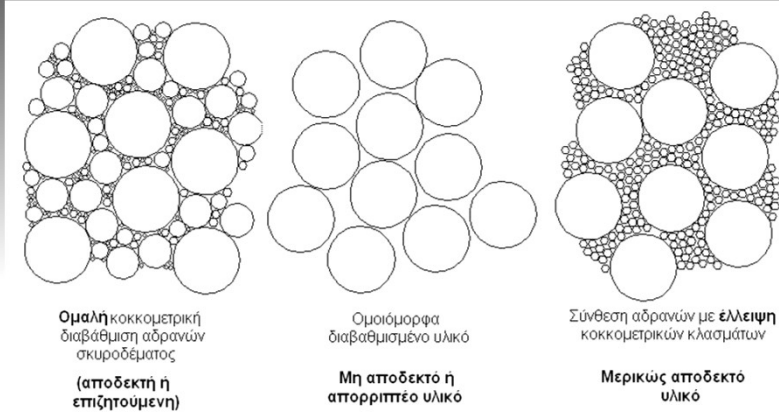


- ▶ Λόγος κενών σωρού ή Πορώδες σωρού (Void ratio): $p = \frac{V_{\kappa}}{V_s} = \frac{\rho}{\rho_{\text{στ}}} - 1$
- ▶ Περιεκτικότητα σε αέρα (Air content): $\alpha = \frac{V_{\kappa}}{V_{\text{ολ}}} = 1 - \frac{\rho_{\text{στ}}}{\rho}$
- ▶ Ισχύει: $\alpha = \frac{p}{1+p}$ $p = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

53

ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ: Φαινόμενη πυκνότητα στοιβής



Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά