



ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΙΙ. Ανθεκτικότητα & Σχεδιασμός

Concrete – II. Design for durability

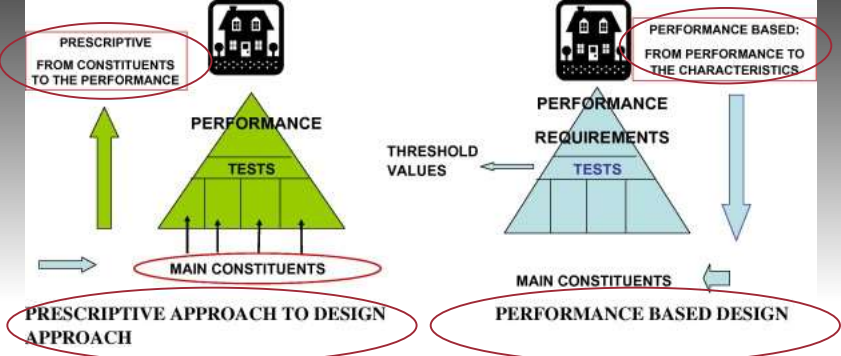


416

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

416

Ανθεκτικότητα & σχεδιασμός



PRESCRIPTIVE APPROACH TO DESIGN

PERFORMANCE BASED DESIGN

Comparison of prescriptive and performance based approaches to durability design. With regard to the durability. There are two basic different manners to specify a performance approach: (1) by methods indirectly related to durability which characterize a particular concrete property, as can be: porosity, permeability, resistivity or diffusivity, and (2) or by methods directly related to durability which characterize the response of the concrete to a particular aggressivity, as is the case of testing sulfate resistance by measuring the expansion or the loss in mechanical strength. In both cases the concrete property is ranked assuming a certain not specified service life.

417

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

417

Κατηγορίες έκθεσης & απαιτήσεις (EN 206-1)








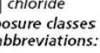
Exposure classes (environmental effects, "attacks")		Concrete technology measures ("resistances")		
class designation	effect and stress	max. w/c	min. c	f_{ck} cube f_{ck} cube
XO	 kein Angriff no attack	no requirement	no requirement	C8/10
XC	1  H ₂ O trocken dry	0,75	240	C16/20
	2  H ₂ O ständig nass constantly wet	0,75	240	C16/20
	3  CO ₂ mäßig feucht moderately moist	0,65	260	C20/25
	4  Carbonatisierung carbonation nass / trocken wet / dry	0,60	280	C25/30
XD/ XS	1  Cl ⁻ mäßig feucht moderately moist	0,55	300	C30/37
	2  H ₂ O ständig nass constantly wet	0,50	320	C35/45
	3  Chlorid chloride nass / trocken wet / dry	0,45	320	C35/45

Figure 2: Exposure classes (environmental effects, "attacks") and concrete technology measures ("resistances") (abbreviations: m. = with; o = without; T = de-icing salt)

418

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

418

Κατηγορίες έκθεσης & απαιτήσεις (EN 206-1)










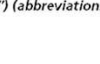
Exposure classes (environmental effects, "attacks")		Concrete technology measures ("resistances")		
class designation	effect and stress	max. w/c	min. c	f_{ck} cube f_{ck} cube
XF	1  mäßige Wassers. o. T. moderate water saturation (o.T.)	0,60	280	C25/30
	2  mäßige Wassers. m. T. moderate water saturation (m.T.)	0,55 + LP 0,50	300 320	C25/30 C35/45
	3  hohe Wassers. o. T. high water saturation (o.T.)	0,55 + LP 0,50	300 320	C25/30 C35/45
	4  hohe Wassers. m. T. high water saturation (m.T.)	0,50 + LP	320	C30/37
XA	1  schwach angreifend weakly corrosive	0,60	280	C25/30
	2  mäßig angreifend moderately corrosive	0,50	320	C35/45
	3  stark angreifend strongly corrosive	0,45	320	C35/45
XM	1  mäßiger Verschleiß moderate wear	0,55	300	C30/37
	2  starker Verschleiß severe wear	0,45	320	C35/45
	3  sehr starker Verschleiß very severe wear	0,45	320	C35/45

Figure 2: Exposure classes (environmental effects, "attacks") and concrete technology measures ("resistances") (abbreviations: m. = with; o = without; T = de-icing salt)

419

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

419

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ - Κατηγορίες έκθεσης (EN 206-1)

Πίνακας 1 – Κατηγορίες έκθεσης σχετιζόμενες με τις περιβαλλοντικές συνθήκες σύμφωνα με το EN 206-1

Συμβολισμός κλάσης	Περιγραφή περιβάλλοντος έκθεσης	Ενδεικτικά παραδείγματα συνθηκών στις οποίες μπορεί να συμβεί αντίστοιχη έκθεση
1 Καμία πιθανότητα διάβρωσης ή προσβολής		
X0	Για άοπλο σκυρόδεμα ή για σκυρόδεμα χωρίς ενσωματωμένο μέταλλο: όλες οι περιπτώσεις έκθεσης, εκτός από τις περιπτώσεις στις οποίες συμβαίνει παγετός, επιφανειακή τριβή ή χημική προσβολή. Για οπλισμένο σκυρόδεμα : Εξαιρετικά ξηρές συνθήκες	Σκυρόδεμα που βρίσκεται στο εσωτερικό κτιρίων ή που εκτίθεται σε πολύ χαμηλή ατμοσφαιρική υγρασία

420

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

420

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ - Κατηγορίες έκθεσης (EN 206-1)

Πίνακας 1 (συνεχ.) – Κατηγορίες έκθεσης

Συμβολισμός κλάσης	Περιγραφή περιβάλλοντος έκθεσης	Ενδεικτικά παραδείγματα συνθηκών στις οποίες μπορεί να συμβεί αντίστοιχη έκθεση
2 Διάβρωση εξαιτίας εναθράκωσης		
XC1	Ξηρό ή μονίμως υγρό	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με χαμηλή ατμοσφαιρική υγρασία Σκυρόδεμα μονίμως διαβρεχόμενο
XC2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Σκυρόδεμα υποκείμενο σε επαφή με το νερό για μακρύ χρονικό διάστημα. Θεμελιώσεις.
XC3	Μέτριας υγρασίας	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με μέτρια ή υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία Σκυρόδεμα υποκείμενο σε βροχή
XC4	Περιοδικά υγρό και ξηρό (εναλλαγή κύκλων)	Σκυρόδεμα υποκείμενο σε επαφή με το νερό, το οποίο δεν εντάσσεται στην κατηγορία XC2

421

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

421

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ - Κατηγορίες έκθεσης (EN 206-1)

Πίνακας 1 (συνεχ.) - Κατηγορίες έκθεσης

Συμβολισμός κλάσης	Περιγραφή περιβάλλοντος έκθεσης	Ενδεικτικά παραδείγματα συνθηκών στις οποίες μπορεί να συμβεί αντίστοιχη έκθεση
3 Διάβρωση εξαιτίας χλωριόντων που δεν προέρχονται από το θαλάσσιο περιβάλλον		
XD1	Μέτριας υγρασίας	Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε χλωριόντα μεταφερόμενα με το αέρα
XD2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Πισίνες Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε διαλύματα χλωριόντων βιομηχανικής χρήσης και προέλευσης
XD3	Περιοδικά υγρό και ξηρό (εναλλαγή κύκλων)	Τμήματα γεφυρών που εκτίθενται σε χλωριόντα μεταφερόμενα με ψεκασμό Πεζοδρόμια, δάπεδα χώρων στάθμευσης οχημάτων

422

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

422

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ - Κατηγορίες έκθεσης (EN 206-1)

Πίνακας 1 (συνεχ.) - Κατηγορίες έκθεσης

Συμβολισμός κλάσης	Περιγραφή περιβάλλοντος έκθεσης	Ενδεικτικά παραδείγματα συνθηκών στις οποίες μπορεί να συμβεί αντίστοιχη έκθεση
4 Διάβρωση εξαιτίας χλωριόντων που προέρχονται από το θαλάσσιο περιβάλλον		
XS1	Έκθεση σε χλωριόντα μεταφερόμενα με το αέρα και όχι σε απευθείας επαφή με το θαλασσινό νερό	Παραθαλάσσιες κατασκευές ή κοντά στη θάλασσα
XS2	Μονίμως διαβρεχούμενο από θαλασσινό νερό	Τμήματα λιμενικών κατασκευών
XS3	Ζώνες παλίρροιας, διαβροχής (απο κυματισμό) και ψεκασμού	Τμήματα λιμενικών κατασκευών

423

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

423

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ - Κατηγορίες έκθεσης (EN 206-1)

Πίνακας 1 (συνεχ.) – Κατηγορίες έκθεσης

Συμβολισμός κλάσης	Περιγραφή περιβάλλοντος έκθεσης	Ενδεικτικά παραδείγματα συνθηκών στις οποίες μπορεί να συμβεί αντίστοιχη έκθεση
5 Έκθεση σε ψύξη/απόψυξη με ή χωρίς χρήση αντιπαγωτικών		
XF1	Μέτριος υδροκορεσμός, χωρίς τη χρήση αντιπαγωτικών	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος, εκτεθειμένες σε βροχή και παγετό
XF2	Μέτριος υδροκορεσμός, με τη χρήση αντιπαγωτικών	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος, εκτεθειμένες σε παγετό και αντιπαγωτικά που μεταφέρονται με τον αέρα.
XF3	Υψηλός υδροκορεσμός, χωρίς τη χρήση αντιπαγωτικών	Οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος, εκτεθειμένες σε βροχή και παγετό
XF4	Υψηλός υδροκορεσμός, με τη χρήση αντιπαγωτικών	Οδόστρωμα και τμήματα γεφυρών που εκτίθενται σε αντιπαγωτικά Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε παγετό και σε ζώνες ψεκασμού που περιέχουν αντιπαγωτικά. Ζώνες διαβροχής από κυματισμό λιμενικών κατασκευών που εκτίθενται σε παγετό

424

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

424

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ - Κατηγορίες έκθεσης (EN 206-1)

Πίνακας 1 (συνεχ.) – Κατηγορίες έκθεσης

Συμβολισμός κλάσης	Περιγραφή περιβάλλοντος έκθεσης	Ενδεικτικά παραδείγματα συνθηκών στις οποίες μπορεί να συμβεί αντίστοιχη έκθεση
6 Χημική προσβολή		
XA1	Ασθενώς διαβρωτικό, σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA2	Μετρίως διαβρωτικό, σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA3	Ισχυρώς διαβρωτικό, σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα

425

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

425

Ανθεκτικότητα & σχεδιασμός σκυροδέματος

(βάσει EN 206-1)

Ο σχεδιασμός για την επίτευξη της μέγιστης διάρκειας ζωής εντοπίζεται στις εξής παραμέτρους:

Από άποψη σύνθεσης:

- Λόγος N/T (W/C)
- Κατηγορία σκυροδέματος (αντοχή, MPa)
- Μάζα (Kg/m³) και είδος τσιμέντου
- Χρήση ειδικών χημικών πρόσθετα
- Ειδικές απαιτήσεις (αδρανή, κτλ.)

Από άποψη σχεδιασμού:

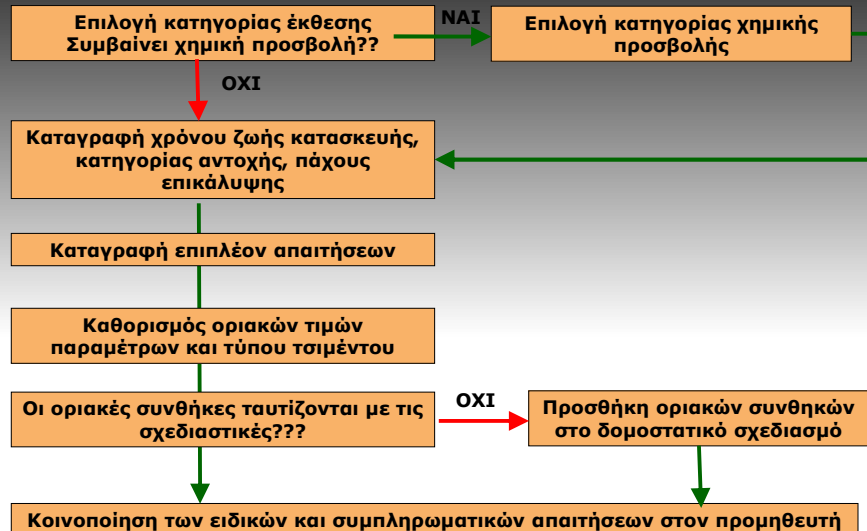
- Κατηγορία σκυροδέματος (αντοχή, MPa)
- Πάχος επικάλυψης οπλισμού (στρώμα σκυροδέματος, mm)

428

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

428

Ανθεκτικότητα & σχεδιασμός σκυροδέματος



429

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

429



ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



430
Μπαδογιάννης Ε. - Σκυρόδεμα - Μελέτη Σύνθεσης

430

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Μελέτη Σύνθεσης

- ▶ **Δεδομένα:**
 - Κατηγορία κάθισης: S5
 - Μέγιστος κόκκος αδρανών: 16 mm
- ▶ **Απαιτήσεις:**
 - ▶ Τσιμέντο CEM II/A-M (W-L) 42.5R
 - ▶ $f_a = f_{ck} + 2.01 * s$, $s = 5$ MPa
 - ▶ Σκυρόδεμα υποκείμενο σε δράση χημικών παραγόντων
 - ▶ Σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας
- ▶ **Ζητούμενα:** οι ποσότητες σε kg
 - I. τσιμέντου (C)
 - II. νερού (W)
 - III. αδρανών (A) και οι μεταξύ τους αναλογίες

431
Μπαδογιάννης Ε. - Σκυρόδεμα - Μελέτη Σύνθεσης

431

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης I. Προσδιορισμός μάζας τσιμέντου

Δεδομένα:

$$V_{\text{total}} = 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$$



Επιλέγεται: $w/c = 0.48$, και $M_c = 400 \text{ kg}$

Μπαδογιάννης Ε. - Σκυρόδεμα - Μίαλη Σύνθεση

432

432

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Σύνθεση & Παραγωγή Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης

Επιλογή τσιμέντου

Κριτήρια:

- ▶ Από άποψη αντοχής, π.χ.: $f_a = f_{ck} + 2,01s$
- ▶ Από άποψη φυσικών και χημικών απαιτήσεων:
 σκυρόδεμα χαμηλής διαπερατότητας, π.χ. σύνθετο
 τσιμέντο με Portland CEM II/A-M (P-W-L) 42.5N
 (πυκνότητα C = 3.05 kg/l)

Μπαδογιάννης Ε. - Σκυρόδεμα - Μίαλη Σύνθεση

433

433

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης
Προσδιορισμός μάζας νερού

$$m_{\text{νερού}} = 400 \text{ kg/m}^3 \times 0.48 = 192 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{νερού}} = 192 \text{ l}$$

Μπαδογιάννης Ε. - Σκυρόδεμα - Μιάλη Σύνθεσης

434

434

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης –
Προσδιορισμός μάζας αδρανών

Πραγματοποιείται μέσω της σχέσης

$$V_{\text{total}} = 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l} = V_c + V_{\text{νερού}} + V_{\text{αέρα}} + V_{\text{αδρ.}}$$

$$m_c (\text{min}) = 400 \text{ kg}$$

$$\text{Πυκνότητα } C = 3.05 \text{ kg/l}$$

$$\Rightarrow V_c = 131 \text{ l}$$

Υποθέτουμε:

$$V_{\text{αέρα}} = 15 \text{ l (1.5\%)}$$

Μπαδογιάννης Ε. - Σκυρόδεμα - Μιάλη Σύνθεσης

435

435

**ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης –
Προσδιορισμός μάζας αδρανών (συν.)**

Άρα

$$V_{\text{αδρ}} = 1000 \text{ l} - 131 - 192 \text{ l} - 15 \text{ l} = 662 \text{ l}$$

Πειραματικά Δεδομένα για αδρανή:

- Κοκκομετρικές καμπύλες ΚΤΣ, για $D_{\text{max}} = 16 \text{ mm}$
- Κοκκομετρική ανάλυση (πίνακας 2)
- Φαινόμενα ειδικά βάρη άμμου, γαρμπιλιού και (%) απορροφητικότητα (πίνακας 3)

436

436

**ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης –
Προσδιορισμός μάζας αδρανών (συν.)**

Πίνακας 2. Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών

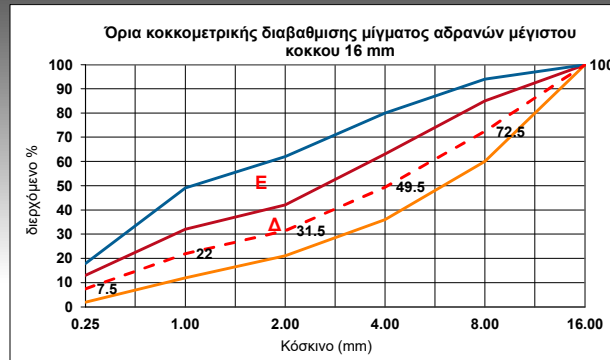
Κόσκινο (mm)	ΑΜΜΟΣ (% διερχόμενο)	ΓΑΡΜΠΙΛΙ (% διερχόμενο)
16	100.00	99.57
12.7	100.00	90.85
9.51	100.00	59.06
8	100.00	36.31
6.3	100.00	9.34
4.76	99.84	4.68
2	70.11	2.01
1	49.98	1.36
0.5	36.37	1.09
0.25	25.99	0.90
0.075	4.78	0.52

Μπαδογιάννης Ε. - Σκυρόδεμα - Μικτή Σύνθεση

437

437

ΑΔΡΑΝΗ – Κοκκομετρικές Ζώνες



Κόσκινο	ΥΠΟΖΩΝΗ Δ			Μ.Τ.
	2	13	18	
0.25	2	13	18	7.5
1	12	32	49	22
2	21	42	62	31.5
4	36	63	80	49.5
8	60	85	94	72.5
16	100	100	100	100

Μπαδογιάννης Ε. - Σκουρόδεμα - Μείκτη Σύνθεσης

438

438

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης – Προσδιορισμός μάζας αδρανών (συν.)

Πίνακας 2. Κοκκομετρική διαβάθμιση ζώνης

Κόσκινο (mm)	Διερχόμενα ζώνης (στόχος)	Μίγμα (% διερχόμενο)
16	100	$(\alpha\% \cdot \Gamma\text{ΑΡΜΠΙΛΙ} + \beta\% \cdot \text{ΑΜΜΟΣ}) = 100$
8	72.5	$(\alpha\% \cdot \Gamma\text{ΑΡΜΠΙΛΙ} + \beta\% \cdot \text{ΑΜΜΟΣ}) = 72.5$
4	49.5	$(\alpha\% \cdot \Gamma\text{ΑΡΜΠΙΛΙ} + \beta\% \cdot \text{ΑΜΜΟΣ}) = 49.5$
2	31.5	$(\alpha\% \cdot \Gamma\text{ΑΡΜΠΙΛΙ} + \beta\% \cdot \text{ΑΜΜΟΣ}) = 31.5$
1	22	$(\alpha\% \cdot \Gamma\text{ΑΡΜΠΙΛΙ} + \beta\% \cdot \text{ΑΜΜΟΣ}) = 22$
0.25	7.5	$(\alpha\% \cdot \Gamma\text{ΑΡΜΠΙΛΙ} + \beta\% \cdot \text{ΑΜΜΟΣ}) = 7.5$

Μπαδογιάννης Ε. - Σκουρόδεμα - Μείκτη Σύνθεσης

439

439

**ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης –
Προσδιορισμός μάζας αδρανών (συν.)**

Πίνακας 2. Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών & μείγματος

Κόσκινο (mm)	ΑΜΜΟΣ (% διερχόμενο)	ΓΑΡΜΠΙΛΙ (% διερχόμενο)	Μίγμα (% διερχόμενο) (0.30xΓΑΡΜΠΙΛΙ+0.70xΑΜΜΟΣ)
16	100.00	99.57	99.87
12.7	100.00	90.85	97.25
9.51	100.00	59.06	87.72
8	100.00	36.31	80.89
6.3	100.00	9.34	72.80
4.76	99.84	4.68	71.29
2	70.11	2.01	49.68
1	49.98	1.36	35.39
0.5	36.37	1.09	25.79
0.25	25.99	0.90	18.46
0.075	4.78	0.52	3.50

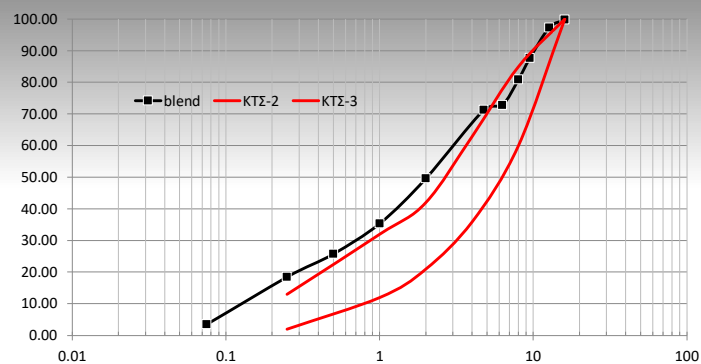
Μπαδογιάννης Ε. - Σκυρόδεμα - Μείκτη Σύνθεσης

440

440

**ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης –
Προσδιορισμός μάζας αδρανών (συν.)**

Πίνακας 2. Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών & μείγματος



Μπαδογιάννης Ε. - Σκυρόδεμα - Μείκτη Σύνθεσης

441

441

**ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης –
Προσδιορισμός μάζας αδρανών (συν.)**

Πίνακας 3. Πυκνότητα εν ξηρώ OD και (%) απορροφητικότητα αδρανών

	OD (kg/l)	Απορροφητικότητα (%)
ΓΑΡΜΠΙΛΙ	2.55	0.90
ΑΜΜΟΣ	2.65	2.14

Μπαδογιάννης Ε. - Σκυρόδεμα - Μίατη Σύνθεση

442

442

**ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης –
Προσδιορισμός μάζας αδρανών (συν.)**

Η επιμέρους μάζα των κλασμάτων θα είναι σύμφωνα με τη μεταξύ τους αναλογία:

$$m_{\gamma} = 0.30 \times 662 \text{ l} \times 2.55 \text{ kg/l} = 506 \text{ kg}$$

$$m_{\alpha} = 0.70 \times 662 \text{ l} \times 2.65 \text{ kg/l} = 1228 \text{ kg}$$

Μπαδογιάννης Ε. - Σκυρόδεμα - Μίατη Σύνθεση

443

443

**ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης –
Προσδιορισμός μάζας αδρανών (συν.)**

Τα ξηρά αδρανή θα απορροφήσουν νερό σύμφωνα με τον πίνακα 3:

ΓΑΡΜΠΙΛΙ: $m_{\text{νερού}} = 506 \cdot 0.009 \text{ kg} = 4.6 \text{ kg}$

ΑΜΜΟΣ: $m_{\text{νερού}} = 1228 \cdot 0.021 \text{ kg} = 26.3 \text{ kg}$

Άρα το σύνολο του νερού απορρόφησης των ξηρών αδρανών είναι $\approx 31 \text{ kg}$

444

**ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Παράδειγμα Μελέτης Σύνθεσης -
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

$m_c = 400 \text{ kg}$

$m_{\text{ξηρ. αδρανών}} = 1734 \text{ kg}$

$m_{\text{νερού}} = 192 \text{ kg} + 31 \text{ kg} = 223 \text{ kg}$

445