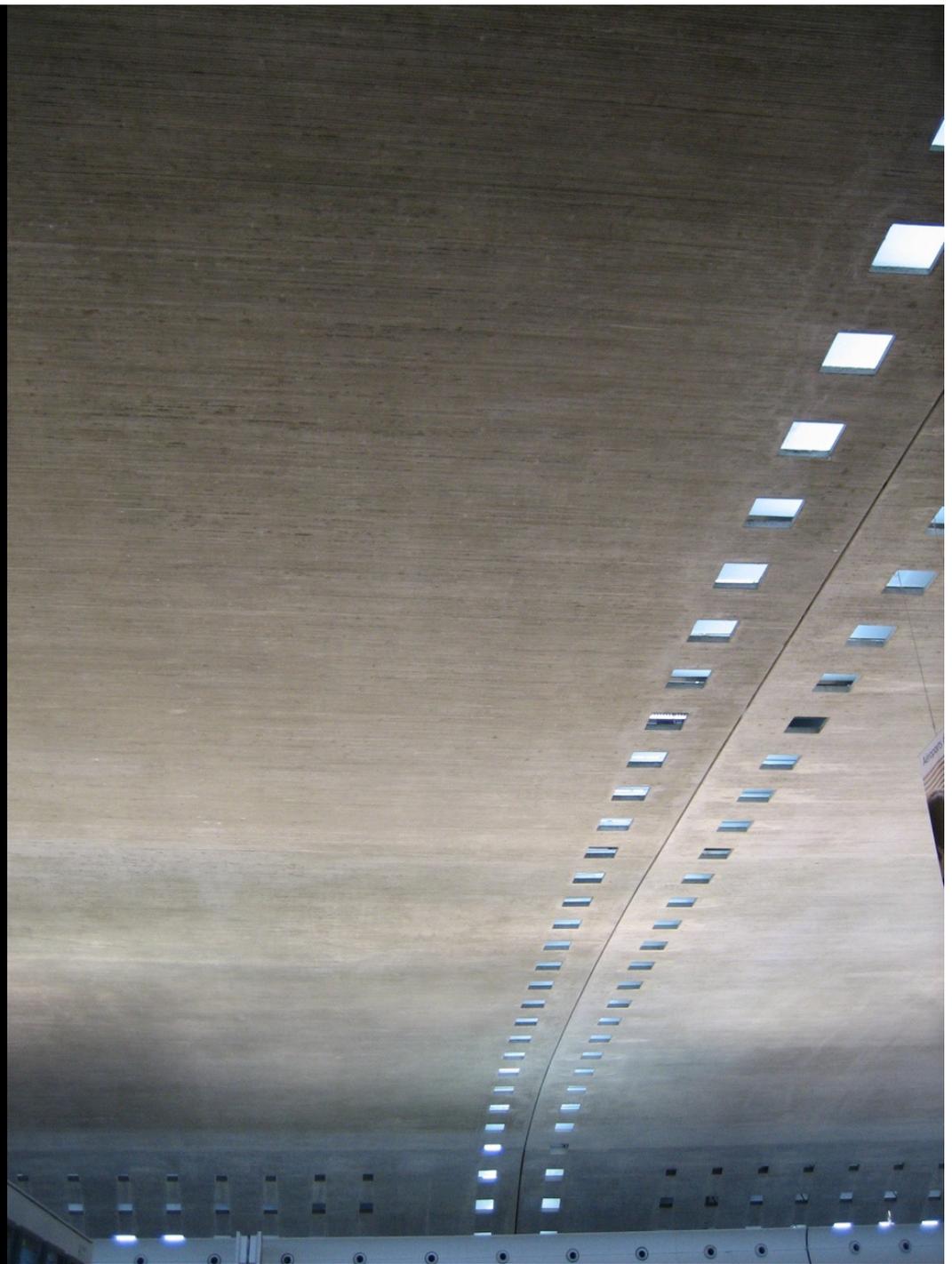


Σκυρόδεμα

Nicolas REMY

Αέρογαρε 2F CDG - Paris (Arch. Paul Andreu)



1- Ορισμοί – Εισαγωγή

Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97)

Το σκυρόδεμα παράγεται από την ανάμιξη

- χαλίκια και άμμου
- αδρανών υλικών
- τσιμέντου
- νερού

Τα αδρανή υλικά των σκυροδεμάτων είναι

- φυσικά ή θραυστά
- καθαρά
- προερχόμενα από ανθεκτικά και σκληρά πετρώματα
- που παρουσιάζουν επαρκή σταθερότητα έναντι αποσαθρώσεως από τον ατμοσφαιρικό αέρα, το νερό ή τον παγετό

Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι το σκυρόδεμα που έχει μέσα στην μάζα του σιδερένιες ράβδους ώστε να αντέχει στον εφελκυσμό

Η δοσολογία, είναι το βάρος του τσιμέντου για ένα κυβικό μέτρο σκυροδέματος που τοποθετείται

παράδειγμα :

. Ένα σκυρόδεμα 250kg είναι το σκυρόδεμα με το οποίο όταν κατασκευάζουμε ένα 1m^3 χρησιμοποιούμε 250kg τσιμέντου.



1- Ορισμοί – Εισαγωγή

Το τσιμέντο παράγεται κυρίως από ασβεστόλιθος και άργιλο και όταν αναμιχθεί με νερό στερεοποιείται και γίνεται σκληρό.

Σύνθεση ενός σκυροδέματος (παράδειγμα)

	Νερό	Αέρας	Τσιμέντο	Άμμος Χαλίκια	Adjuvants (Πρόσθετα)
όγκος (%)	14-22	1-6	7-14	60-78	-
βάρος (%)	5-9	-	9-18	63-85	<1
1m ³ σκυροδέματος	150-180 l		250 à 350 l	400 l άμμο + 800 l χαλίκια	



2- Άμμος και χαλίκια

2.1 Η άμμος αποτελείται από κόκκους που προέρχονται από την αποσύνθεση πετρωμάτων.

. η διάμετρος των κόκκων της άμμου $< 5\text{mm}$

. Αυτή είναι η φυσική άμμος (από την θάλασσα, τα ποτάμια) ή η τεχνητή (τρίψιμο σκληρών βράχων – γρανιτών -, **quartzite, porphyre**, ασβεστόλιθος, κ.λπ.)

. Κυβικό βάρος = 1600 kg/m^3

. Πυκνότητα = 1,6

. Η άμμος που χρησιμοποιείται θα πρέπει να είναι καθαρή: δεν θα πρέπει να περιέχει ούτε χώμα, ούτε οργανικές ύλες, ούτε άργιλο

λέμε ότι « η άμμος δεν πρέπει να λερώνει τα χέρια μας »

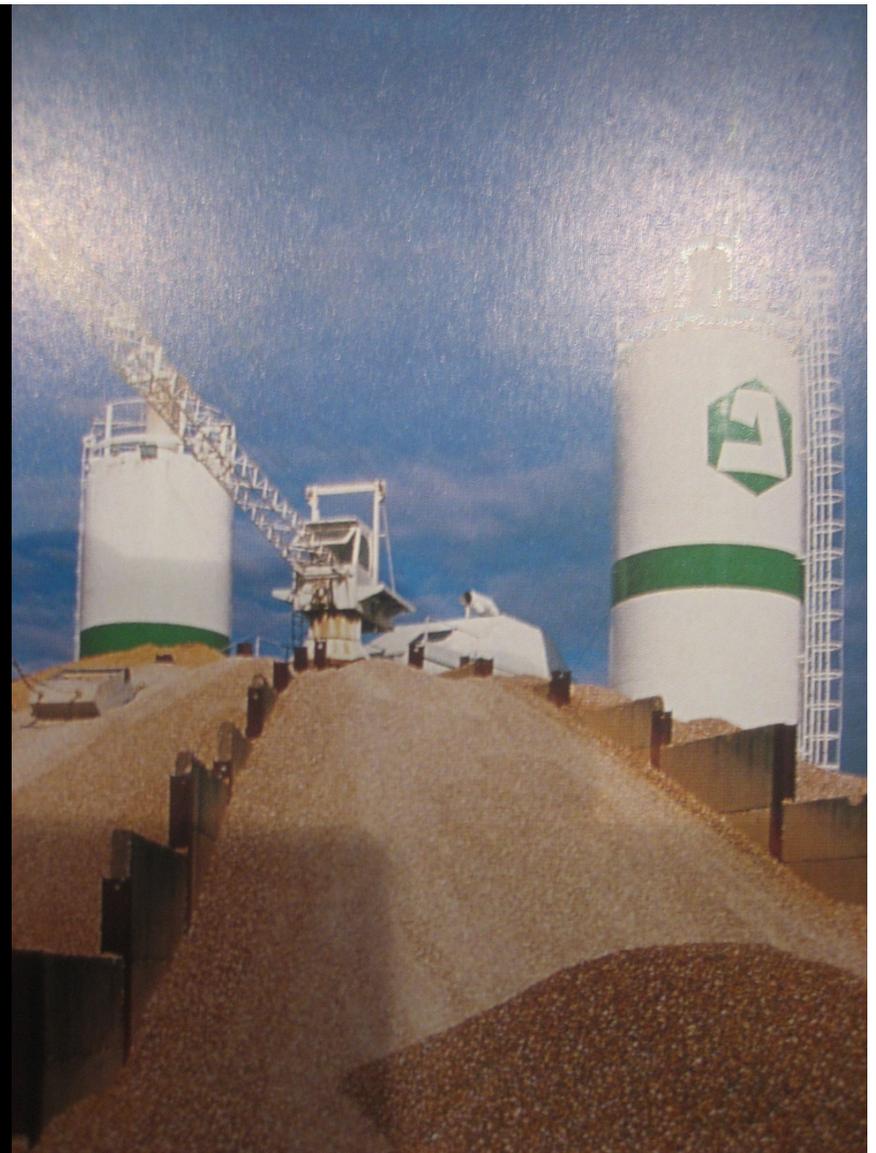
. Η σύνθεση της άμμου όσο αφορά το πάχος των κόκκων έχει καθοριστική σημασία στην ποιότητα του σκυροδέματος που δημιουργούμε



2- Άμμος και χαλίκια

2.2 Τα χαλίκια αποτελούνται από κόκκους πετρωμάτων που προέρχονται από την **θραύση** των πετρωμάτων.

- . $5\text{mm} < \varnothing \text{ των κόκκων} < 25\text{mm}$
- . Είναι είτε φυσικά (ποτάμια, θάλασσα) είτε τεχνητά (από θραύση σκληρών πετρωμάτων)
- . Κυβικό βάρος = 1400 kg/m^3
- . Πυκνότητα = 1,4
- . Τα πετρώματα από τα οποία αποτελούνται τα χαλίκια πρέπει να είναι καθαρά, σκληρά και **non gélives***



**Pierre gélive, pierre qui se délite après une gelée*



3- δοσολογία νέρου

3.1 Ποιότητα νερού

(ΕΛΟΤ-345, &4.4 ΚΤΣ-97)

Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί, τόσο για την παρασκευή όσο και για τη συντήρηση του σκυροδέματος:

- πρέπει να μην περιέχει ελεύθερα οργανικά ή ανόργανα οξέα
- οργανικές ουσίες και άργιλο, διαλυτά σάκχαρα σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη του 0,25%
- θειικά και χλωριούχα άλατα κ.λπ.

Η χρήση πάντως θαλασσινού νερού απαγορεύεται.



3- Δοσολογία σε νερό

3.2 Ποσότητα νερού

Η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται στην σύνθεση του τσιμέντου ή του σκυροδέματος επηρεάζει :

- . Στην ευκολία της εφαρμογής (ρευστότητα)
- . Στην αντοχή του σκυροδέματος

-Αν δεν υπάρχει αρκετό νερό

- . Το σκυρόδεμα είναι πολύ ξηρό : δύσκολο στην εφαρμογή
- . Κίνδυνος να δημιουργηθούν «φωλιές» από πετραδάκια - ανομοιομορφία
- . Η ποσότητα του νερού μπορεί να μην αρκεί ώστε να επιτρέψει την σκλήρυνση του τσιμέντου.

-Αν υπάρχει πολύ νερό

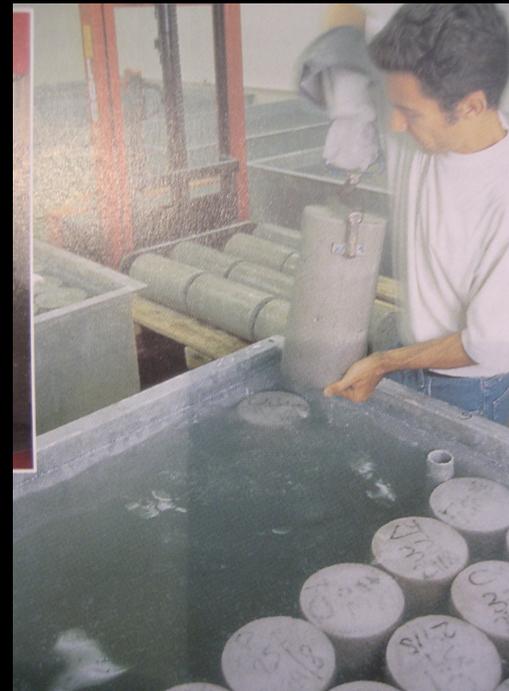
- . Η υπερβολική εξάτμιση του νερού θα αφήσει κενά : πορώδες σκυρόδεμα
- . Αυτό το σκυρόδεμα δεν κολλάει σωστά με τις σιδερένιες ράβδους



4 - Η αντοχή

Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου $f_{ck,cyl}$ ή κυβικού δοκιμίου $f_{ck,cube}$, ή γενικώς f_{ck} , θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου»

Ο προσδιορισμός της αντοχής γίνεται με **συμβατικά δοκίμια** που παρασκευάζονται, συντηρούνται και ελέγχονται σε θλίψη σε ηλικία 28 ημερών
(Μεθόδος Ελέγχου ΣΚ-350, ΣΚ-303 και ΣΚ-304)



4 - Η αντοχή

Στο άρθρο 3 του ΚΤΣ-97 αναφέρονται οι απαραίτητοι ορισμοί για την κατανόηση και εφαρμογή του. Ήδη έχει γίνει αναφορά στον ορισμό της **χαρακτηριστικής αντοχής σκυροδέματος σε θλίψη f_{ck}** (§ 3.2), ενώ πρέπει να αναφερθούν επίσης η **μέση αντοχή σκυροδέματος f_m** , και η **απαιτούμενη αντοχή f_a** .

Μια τυπική συσχέτιση αυτών των αντοχών π.χ. για το εργοταξιακό σκυρόδεμα Μεγάλων Έργων δίδεται από την σχέση :

$$f_a = f_{ck} + 2,01s$$

Όπου

. s = η τυπική απόκλιση του σκυροδέματος (σε MPa) υπό τις προϋποθέσεις των διατάξεων της § 5.2.2 του ΚΤΣ-97.

Το «περιθώριο αυτό αντοχής» $2,01s$ μεταξύ της απαιτούμενης και της χαρακτηριστικής αντοχής υπάρχει για να τηρηθεί η προϋπόθεση του ΚΤΣ-97 για max πιθανότητα υποαντοχής από την f_{ck} , 5%.



4 –Κατηγορίες αντοχής (*strength classes*)

Το σκυρόδεμα διακρίνεται σε διάφορες κατηγορίες αναλόγως της αντοχής του σε θλίψη, σε ηλικία 28 ημερών, της εργασιμότητάς του, της ανθεκτικότητάς (διάρκεια στο χρόνο) και της κατηγορίας έκθεσης σε διάφορα περιβάλλοντα, κ.λ.π., σύμφωνα με τα επόμενα (ειδικές απαιτήσεις που μπορεί να υπάρχουν ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες του έργου).

Κατηγορίες αντοχής

(ΚΤΣ-97, πίνακα 2.2)

Ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή εκφραζόμενη σε MPa που διαπιστώνεται όταν ο έλεγχος γίνεται με κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 15 και ύψους 30 cm και ο δεύτερος την χαρακτηριστική αντοχή όταν ο έλεγχος γίνεται με κυβικά δοκίμια ακμής 15 cm.

C16/20

κυλινδρικά δοκίμια 15cm
και ύψους 30cm

16 MPa

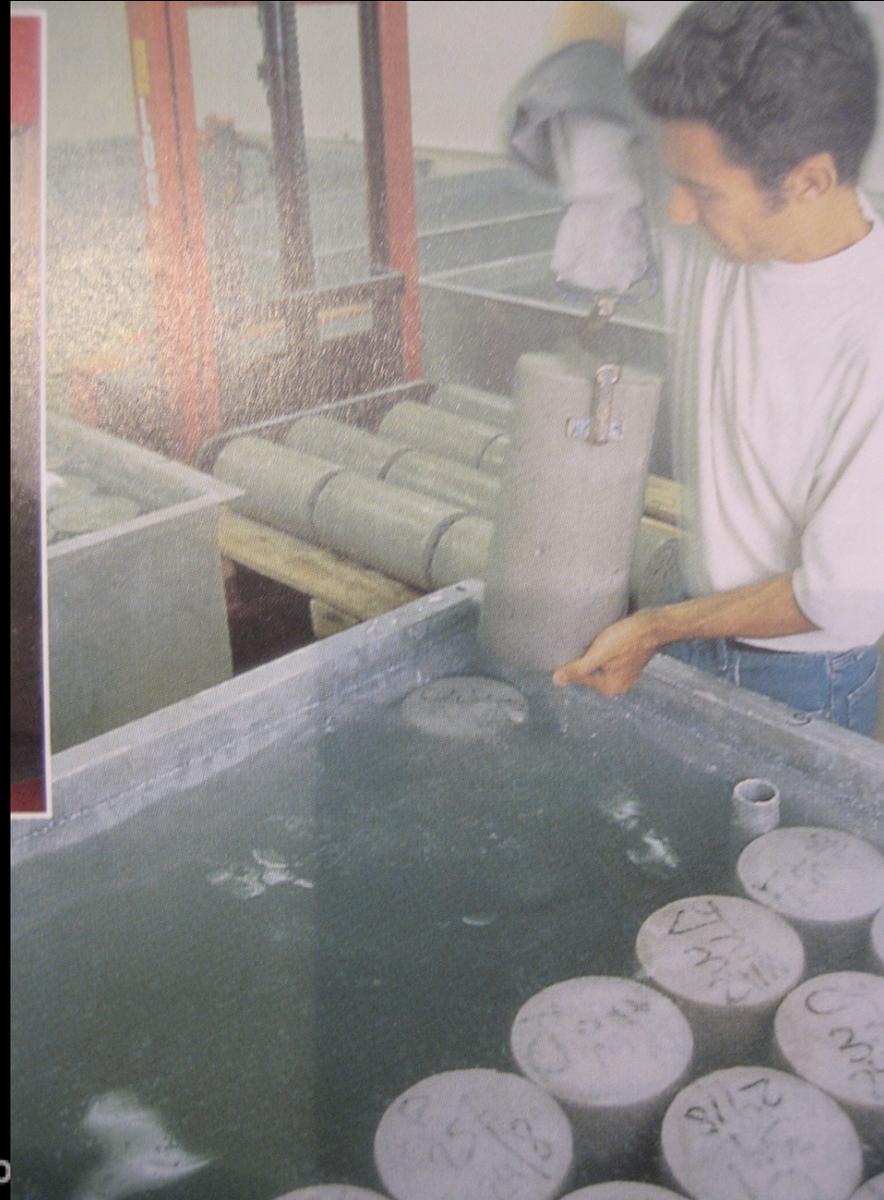
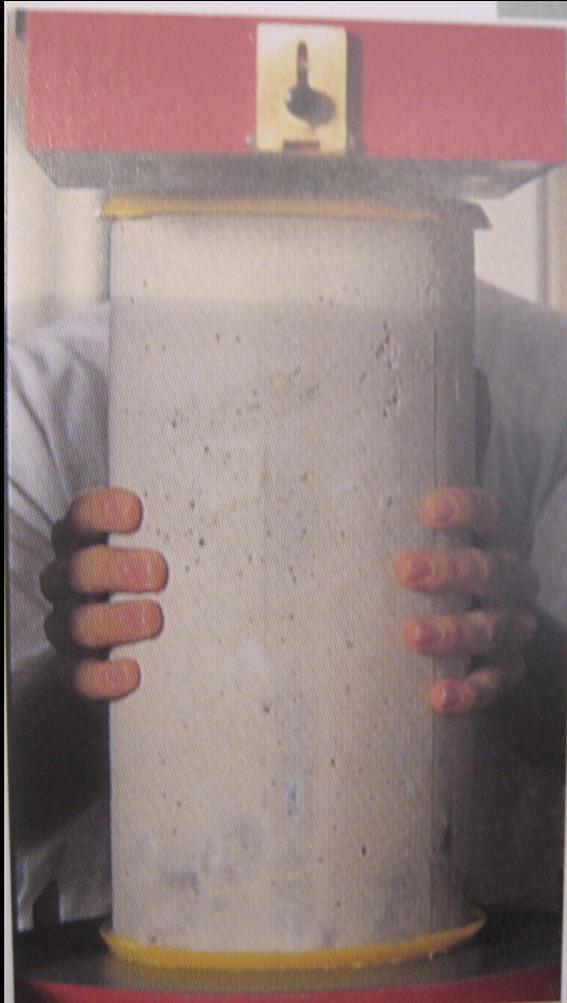
Κυβικά δοκίμια ακμής 15cm

20 MPa



4 -Κατηγορίες αντοχής (*strength classes*)

Έλεγχος των κυλινδρικών δοκιμιών



4 –Κατηγορίες αντοχής (*strength classes*)

Κατηγορίες αντοχής

(ΚΤΣ-97, πίνακα 2.2)

Παράδειγμα της μέτρησης της αντοχής του σκυροδέματος στην συμπίεση ανάλογα με την ηλικία του.

ηλικία του σκυροδέματος ημέρα	% της αντοχής
2	30
3	40
7	65
28	100



4 –Κατηγορίες αντοχής (*strength classes*)

Κατηγορία σκυροδέματος

Κατηγορία σκυροδέματος	f_{ck} , κυλ. (MPa)	f_{ck} , κόβου (MPa)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

- . η χρήση της κατηγορίας C12/15 σε οπλισμένο σκυρόδεμα επιτρέπεται μόνο για κτίρια με τρεις το πολύ ορόφους και χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας
- . η χρήση της κατηγορίας C16/20 για κτίρια με τρεις το πολύ ορόφους και αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας.
- . Τέλος για προεντεταμένο σκυρόδεμα δεν επιτρέπονται οι κατηγορίες C12/15, C16/20 και C20/25, αλλά μόνον μεγαλύτερες.

Με την εφαρμογή του **Ευρωκώδικα 2**, η σημερινή τάση είναι:
C20/25 ως ελάχιστη κατηγορία σκυροδέματος για φέρον οπλισμένο σκυρόδεμα.
C25/30 ή **C30/37** σε σεισμικές περιοχές (όπως η Ελλάδα).



5 - Κατηγορίες κάθισης (workability classes)

Οι ορισμοί για το Εργοταξιακό και το Εργοστασιακό σκυρόδεμα θα αναφερθούν στα επόμενα, ενώ παρατίθεται εδώ και ο ορισμός της «**εργασιμότητας**» (§ 3.15).

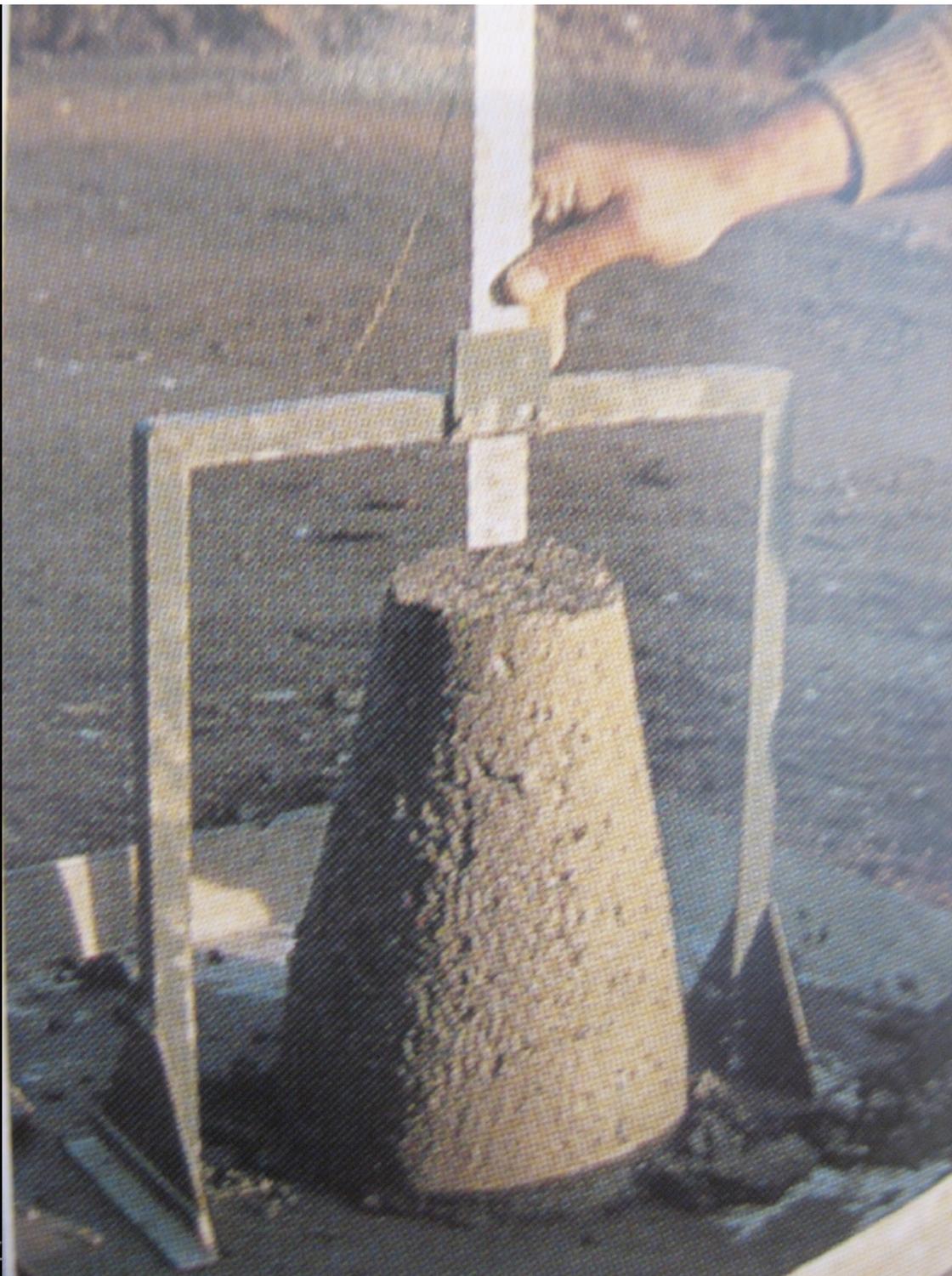
«Εργασιμότητα, είναι η ιδιότητα του νωπού σκυροδέματος, που χαρακτηρίζει την ευκολία με την οποία αυτό μεταφέρεται, διαστρώνεται και συμπυκνώνεται».

Η εργασιμότητα του σκυροδέματος θα εκφράζεται σε εκατοστά κάθισης (slump test) σύμφωνα με την Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-309.



5 - Κατηγορίες κάθισης (workability classes) *Εκατοστά κάθισης (slump test)*



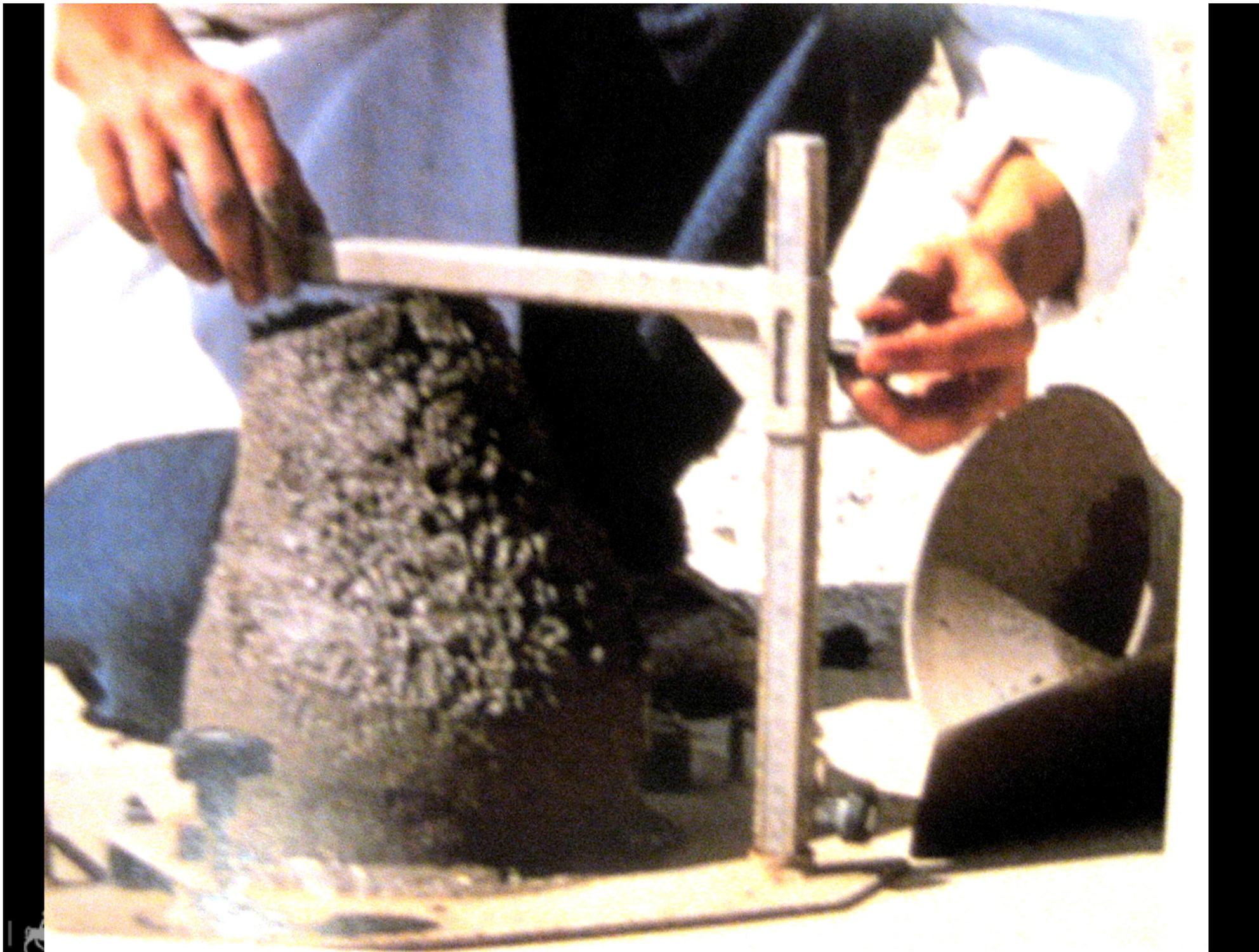


5 - Κατηγορίες κάθισης (workability classes)

Εκατοστά κάθισης (slump test ή κώνος του Abrams)

Κάθιση σε mm	Κατηγορία	
10 – 40	S1	πολύ σκληρό
50 – 90	S2	σκληρό
100 – 150	S3	« πλαστικό »
160 – 210	S4	« πολύ πλαστικό »
> 220	S5	





5 - Κατηγορίες ανθεκτικότητας (durability classes)

(ΚΤΣ-97, ΕΛΟΤ EN 206-1)

Οι κατηγορίες ανθεκτικότητας, δηλαδή εκείνες οι κατηγορίες που εκφράζουν την αντοχή του σκυροδέματος στην διάρκεια του χρόνου και την ικανότητά του να ανταπεξέρχεται ικανοποιητικά στην έκθεσή του σε εξωτερικό περιβάλλον (exposure classes), περισσότερο ή λιγώτερο βλαπτικό ή διαβρωτικό, απαιτούν συνήθως προσοχή σε (5) παράγοντες, τα λεγόμενα “ **5C** ”, δηλαδή :

- α) **Cement content** (ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου)
- β) **Water / Cement ratio** (λόγος Νερού προς Τσιμέντο)
- γ) **Compaction** (συμπύκνωση / δόνηση σκυροδέματος)
- δ) **Curing** (συντήρηση σκυροδέματος)
- ε) **Cover** (πάχος της στρώσεως της επικάλυψης οπλισμού)



5 - Κατηγορίες ανθεκτικότητας (durability classes)

(ΚΤΣ-97, ΕΛΟΤ EN 206-1)

Το σκυρόδεμα διακρίνεται αν είναι σε :

- Εσωτερικό / εξωτερικό χώρο
- Περιβάλλον διαβρωτικό με χλωριόντα, σε θαλάσσιο περιβάλλον
- Περιβάλλον με κίνδυνο παγοπληξίας
- Περιβάλλον με κίνδυνο από ενανθράκωση (carbonation)
- Περιβάλλον με κίνδυνο από δράση θειικών (π.χ. τσιμέντο με αντίσταση στα θειικά, κ.λπ.)
- Επιχρισμένο ή ανεπίχριστο



6 - Οι ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΤΣ-97, ΕΛΟΤ EN 206-1

	Σκυρόδεμα χωρίς απαιτήσεις								Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά	Σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας		Σκυρόδεμα μέσα σε νερό (όχι διαβρωτικό)	Σκυρόδεμα στη θάλασσα	Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε αέρα κορεσμένο με θαλάσσια άλατα (παραθαλάσσιο περιβάλλον)	Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικές προσβολές
	Επιχρισμένο				Ανεπίχριστο					Μέγιστος κόκκος 1" ή 31,5 mm	Μέγιστος κόκκος 1/2" ή 16 mm				
	Μέγιστος κόκκος 3/8" ή 8 mm	Μέγιστος κόκκος 1/2" ή 16 mm	Μέγιστος κόκκος 1" ή 31,5 mm	Μέγιστος κόκκος 1 1/2" ή 63 mm	Μέγιστος κόκκος 3/8" ή 8 mm	Μέγιστος κόκκος 1/2" ή 16 mm	Μέγιστος κόκκος 1" ή 31,5 mm	Μέγιστος κόκκος 1 1/2" ή 63 mm							
Τύπος τσιμέντου											I ή II			Ισχύει ο Πίνακας 12,4 του Κ.Τ.Σ.	
Μέγιστος λόγος νερό/τσιμέντο (N/T)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,67	0,67	0,67	0,67		0,58	0,50	0,60	0,48		0,60
Ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου (Kg/m ³)	320	300	270	270	350	330	300	300	350	350	400	350	400		330
Ελάχιστη κατηγορία αντοχής									C 25/30						
Κοκκομετρική καμπύλη μίγματος αδρανών									Κάτω μισό υποζώνης Δ	Κοντά στη μέση γραμμή της υποζώνης Δ	Κοντά στη μέση γραμμή της υποζώνης Δ	Κοντά στη μέση γραμμή της υποζώνης Δ	Κοντά στη μέση γραμμή της υποζώνης Δ	Κοντά στη μέση γραμμή της υποζώνης Δ	Κοντά στη μέση γραμμή της υποζώνης Δ



6 - Οι ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΤΣ-97, ΕΛΟΤ EN 206-1

	Exposure classes																	
	No risk of corrosion or attack	Carbonation-induced corrosion				Chloride-induced corrosion						Freeze/thaw attack				Aggressive chemical environments		
						Sea water			Chloride other than from the sea									
X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2	XA 3	
Maximum w/c	-	0.65	0.60	0.55	0.50	0.50	0.45	0.45	0.55	0.55	0.45	0.55	0.55	0.50	0.45	0.55	0.50	0.45
Minimum strength class	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Minimum cement content (Kg/m ³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Minimum air content (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	-	-	-
Other requirements												Aggregate in accordance with prEN 12620:2000 with sufficient freeze/thaw resistance				Sulfate-resisting cement ^b		



7 – Μεταφορά σκυροδέματος

(άρθρο 7.2 ΚΤΣ-97)

Όταν η μεταφορά του σκυροδέματος γίνεται με αυτοκίνητα αναδευτήρες, ισχύει η παρ.2 του σχεδίου προτύπου ΕΛΟΤ 346, που ορίζει ως μέγιστο χρόνο ανάμιξης – μεταφοράς – εκφόρτωσης την **1 ½ ώρα**, παρατεινόμενο κατά **20 λεπτά** σε περίπτωση χρήσεως επιβραδυντή.

Πριν από την έναρξη εργασιών σκυροδέτησης, ο Ανάδοχος θα υποβάλλει για έγκριση στη Διευθύνουσα Υπηρεσία, λεπτομερή στοιχεία για τη μέθοδο και τα μέσα μεταφοράς του σκυροδέματος στους τόπους και τις θέσεις διάστρωσης.

Κατά την παραλαβή του σκυροδέματος στο έργο πρέπει να γίνονται οι δειγματοληψίες και οι έλεγχοι του σκυροδέματος, όπως καθορίζονται από τον ΚΤΣ-97.

Η απαίτηση αντοχής του σκυροδέματος θα ελέγχεται με κυβικά δοκίμια ακμής 15cm, που θα λαμβάνονται στην έξοδο του αυτοκινήτου μεταφοράς αν πρόκειται για εργοστασιακό σκυρόδεμα ή στην έξοδο του αναμικτήρα, αν πρόκειται για εργοταξιακό σκυρόδεμα, σε χυτοσιδηρές μήτρες.



7 – Μεταφορά σκυροδέματος

(άρθρο 7.2 ΚΤΣ-97)

Το σκυρόδεμα που θα παραδίδεται για διάστρωση θα έχει κατά κανόνα **κάθιση S3 (10-15cm)**. Είναι δυνατόν με την έγκριση της Διευθύνουσας Υπηρεσίας το σκυρόδεμα να παρασκευάζεται και να μεταφέρεται από το εργοστάσιο κατασκευής με μικρότερη κάθιση, η οποία θα αποκαθίσταται στην απαιτούμενη δαπάνες του αναδόχου, με την προσθήκη υπερρευστοποιητικού στο έργο.

Ο Ανάδοχος υποχρεούται με δικά του και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό να εκτελεί τις δειγματοληψίες και όλους τους επί τόπου ελέγχους και να συμπληρώνει για κάθε παρτίδα παραλαβής σκυροδέματος (για κάθε αυτοκίνητο αναδευτήρα) το “**ΕΝΤΥΠΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**”, σύμφωνα με το υπόδειγμα που επισυνάπτεται στην παρούσα Τεχνική Προδιαγραφή και να το υποβάλλει μηνιαίως στη Διευθύνουσα Υπηρεσία.

Οι έλεγχοι ποιότητας του σκυροδέματος θα γίνονται από τα εργαστήρια του ΥΠΕΧΩΔΕ, τα εργαστήρια των Ανωτάτων Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων και από αναγνωρισμένα από το ΚΕΔΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ εργαστήρια, με φροντίδα και δαπάνη του Αναδόχου, υπό τον έλεγχο και την έγκριση της Διευθύνουσας Υπηρεσίας.



CaCO - Μπετόν ΑΕ

Βιομηχανία Παραγωγής Ετοιμού Σκυροδέματος

CaCO₁ : Κεντρικό
Λυκοφιλίας 666
Κατσικοχώρι
000 568 2445

CaCO₂
Χρυσόκοτας 99
Πουρνάρι
000 568 1046

CaCO₃
Αλεποφωλιάς 1
Αρκουδόρεμα
000 568 1362

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΕΤΟΙΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Αριθμός
Δελτίου

ΠΕΛΑΤΗΣ	ΠΟΝΗΡΟΥΛΗΣ ΑΕ Εφιάλη 13 Φιδόκαμπος ΑΦΜ : 0001453 ΔΟΥ : ΧΕ' Κωδικός : 01313	ΕΡΛΟ	Πολυκατοικία Αρ. Αδ. 999/1999 Κερκόπορτας 99 Κακοσάλεσι	ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑ	Παρήγγειλε : Πονηρούλης Ιούδας , 29.2.99 - 18.30	Χημικά : όχι
					Σκυρόδεμα : C20/25 120 m ³	
					Κάθιση : S3 10 - 12 cm	Περιβ. θαλ. : όχι
					Μεγ. κόκκος : 31.5 mm	Στο νερό : όχι
					Δοκίμια : κυβ. 15X15X15	Μικρή θερμ. : όχι
					Επίχρισμα : ναι	Δονητές μάζας
					Αντλήσιμο : ναι
					Κριτήριο Ε : όχι	

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΡΤΙΟΥ

ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΛΑΤΗ

Μονομερής Προαιρετική Συμπλήρωση

Ποσότητα : m ³ 10 δέκα τον. 24	Τύπος τσιμέντου : II / 35	Άφιξη : 13.10
Κατηγορία : C 20/25	Νερό : πόσιμο	Έναρξη σκυροδέτησης : 13.25
Κάθιση : S3 , 10 - 12 cm	Επιβραδυντικό : ναι *	Αναχώρηση : 14.10
Θερμ. ατμοσφ : 26 ° C	Πρόσθ. υπερρευσ. : 4 kg	Δοκίμιο/α : Ν° 4 13.50
Ειδ. βάρος : 2.4 t/m ³	Σύνθεση	Θέση σκυροδέτησης : πέδιλα Π ₁₂ , Π ₁₃ , Π ₁₄ , Π ₁₅
Ημερομηνία : 31-2-1999	τσιμέντο : 330 kg	
Φόρτωση : 12.40 *	άμμος : 1000 kg	
Αυτοκίνητο : ΦΕΥ 6969	σκύρα : 700 kg	
Οδηγός : Ν. Πατούχας	γαρμπόλι : 170 kg	
	N / T : 0.62	

ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΕΝΤΟΛΕΣ ΠΕΛΑΤΗ

Ο Παραδίδων

Ο Παραλαμβάνων

Υπογραφή

Εντολέας: Δημ. Μαλακός
Επιβλέπων Μηχανικός

ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ η προσθήκη νερού στο σκυρόδεμα - ΚΤΣ άρθρο 6.9
Η επιθυμητή εργασιμότητα θα επιτευχθεί μόνο με υπερρευστοποιητικό- τιμή 500 δρχ/kg

• ΠΡΟΣΟΧΗ : Η ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΓΙΝΕΙ ΜΕΧΡΙΣ ΩΡΑΣ 14.30



8- Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος

8.1 Κυβική Μαζά

Σκυρόδεμα : 2,2 - 2,4t /m³

οπλισμένο σκυρόδεμα : 2,5 t / m³

8.2 Θερμική διαστολή

Μέση τιμή: $\alpha = 10 \times 10^{-6}$ (proche de l'acier)



8- Caractéristiques physiques et mécaniques du béton

8.4 Αντοχή σε θλίψη

C16/20 ... C35/45

8.5 Αντοχή σε εφελκυσμό

- . Πολύ πιο μικρή από την αντοχή στην συμπίεση ($\approx 1/10e$)
- . $R_{\text{εφελκυσμό}} = 15 \text{ à } 20 \text{ daN/cm}^2$

8.6 E, Young Modulus, . E, η σταθερά της ελαστικότητας

E= 20 GPa

Το μέτρο του Young (E), που ονομάζεται επίσης μέτρο ελαστικότητας, είναι μια μηχανική σταθερά που μετρά τη **δυσκαμψία ενός υλικού**. Εκφράζει τη σχέση μεταξύ της **εφαρμοζόμενης τάσης** (δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας) και της **ελαστικής παραμόρφωσης** που υφίσταται το υλικό.



Exemple

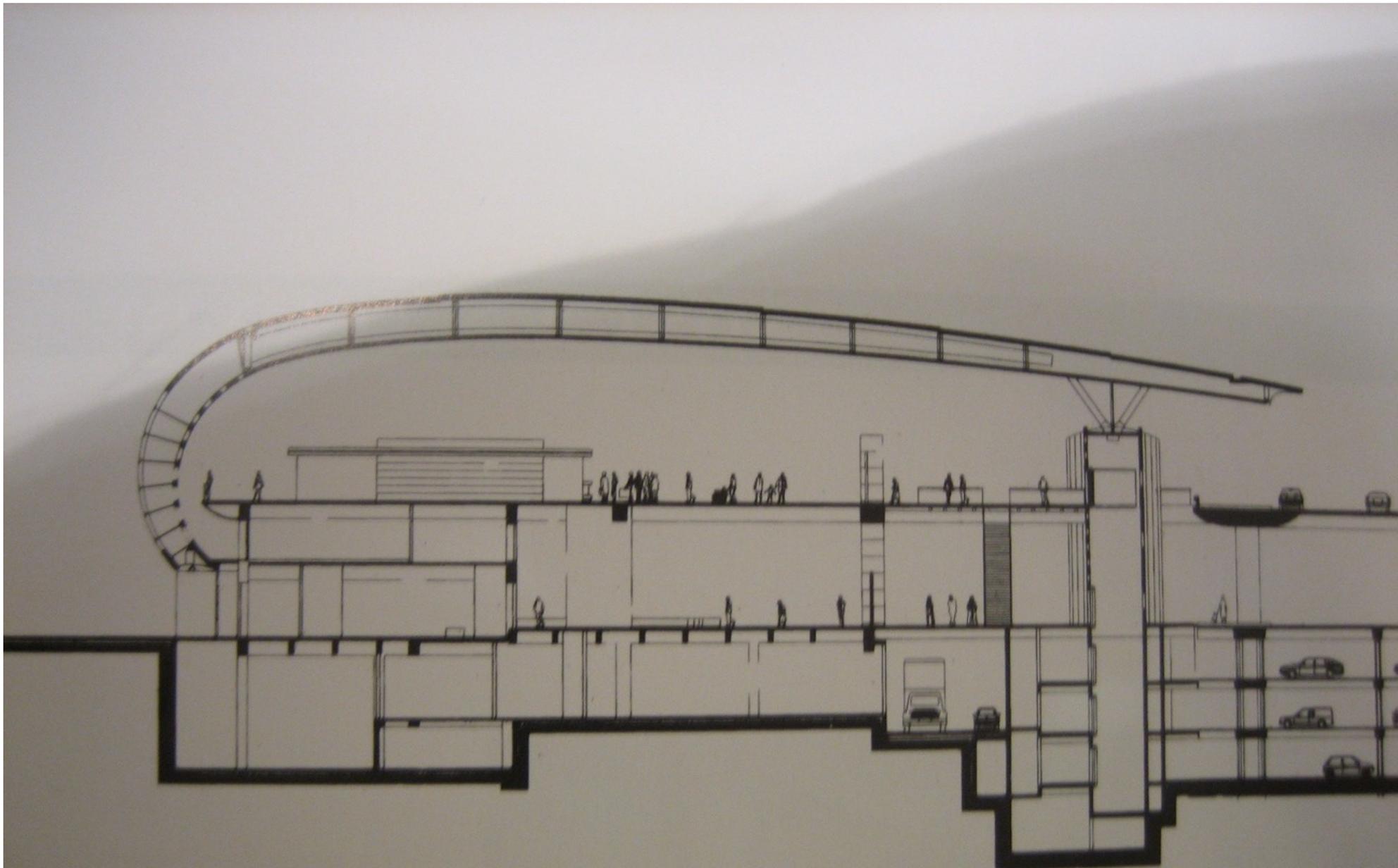
Paul Andreu et Jean-Michel Fourcade, Aéroport 2F CDG

Source Construire avec les bétons + photos personnelles









Une varié





Άπλες Καταπονήσεις : η ροπή της κάμψης

<http://www.youtube.com/watch?v=PQIipMokq4>



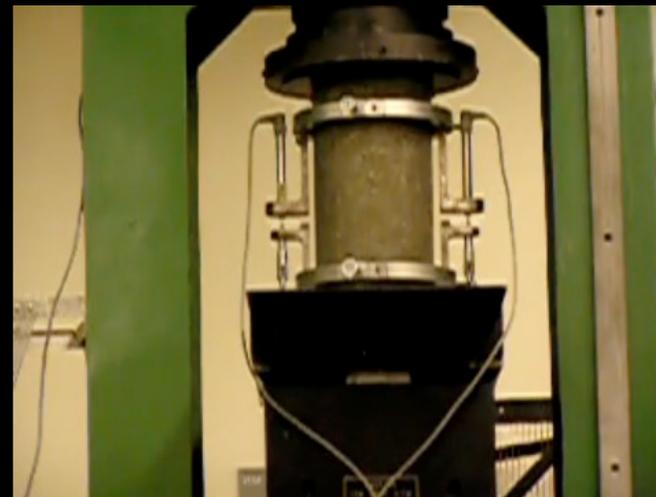
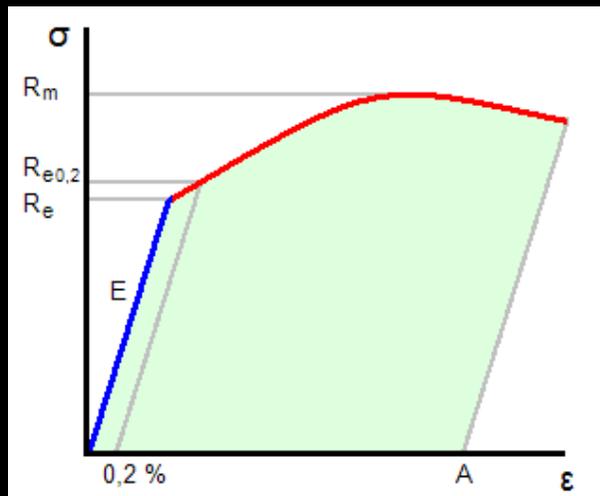
Άπλες Καταπονήσεις : συμπίεση / θλιψή

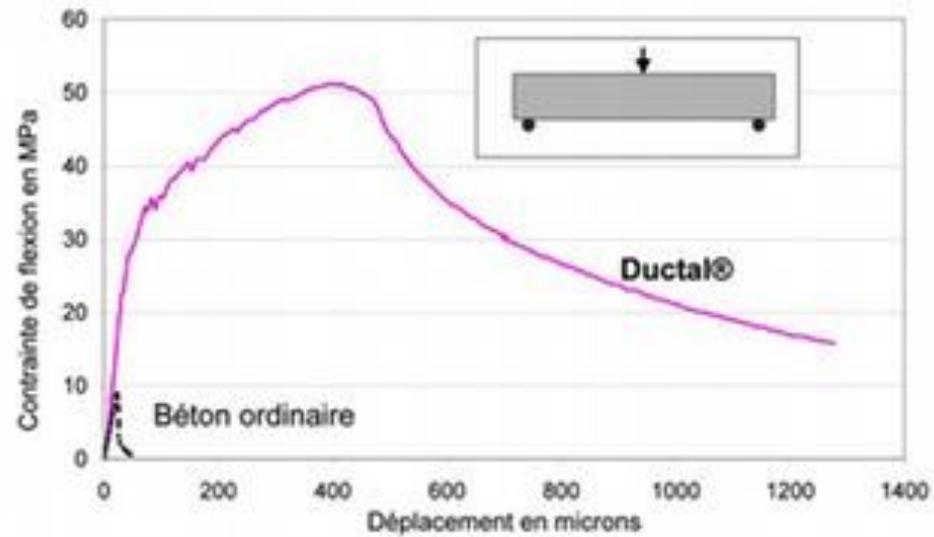
“Ductility is a mechanical property that describes the extent in which solid materials can be plastically deformed without fracture.”



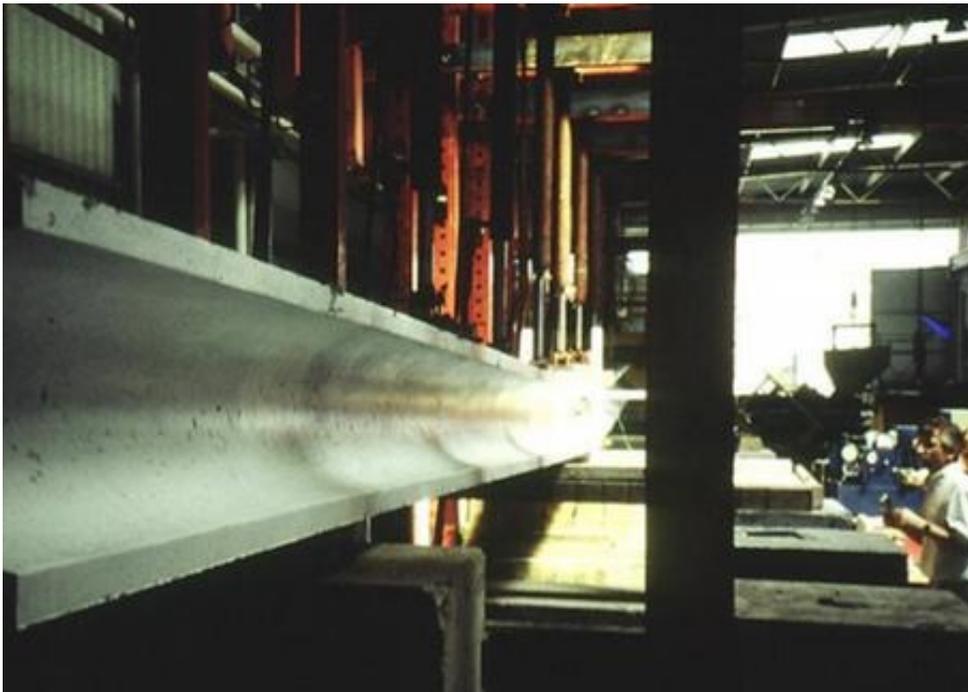
<http://www.youtube.com/watch?v=VDbN6lp-OcE>

<http://www.youtube.com/watch?v=mMDWCWDVVdU>





Le Ductal®-FM contient 2% en volume de fibres métalliques, soit plus de 50 millions de fibres métalliques par mètres cubes. Ces fibres confèrent au matériau un comportement ductile en flexion : ceci signifie qu'une fois dépassées les premières micro-fissurations et la valeur maximale, la contrainte supportée par le matériau ne chute pas brutalement mais progressivement tandis que la déformation augmente, comme le montre le graphe ci-après.



Ductal is a proprietary pre-mixed ultra-high performance concrete whose physical characteristics exceed those of common concrete used in the construction of buildings. It is manufactured by Lafarge and Bouygues. Ductal has high compressive strength and flexural resistance compared to other concretes. It also has high durability, abrasion resistance, and chemical/environmental resistances (e.g. freeze and thaw, salt water, etc.). Due to these properties.

Ductal can be used in thinner cross-sections and in more varied applications than common concrete. Ductal is almost self placing and is best suited for precast elements or in-situ repair or upgrade works.

The constituents of Ductal are cement, fine sand, silica fume and silica flour as a filler, additive and water, using a low water cement ratio and may include high-strength steel fibres or non-metallic fibres.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Ductal>



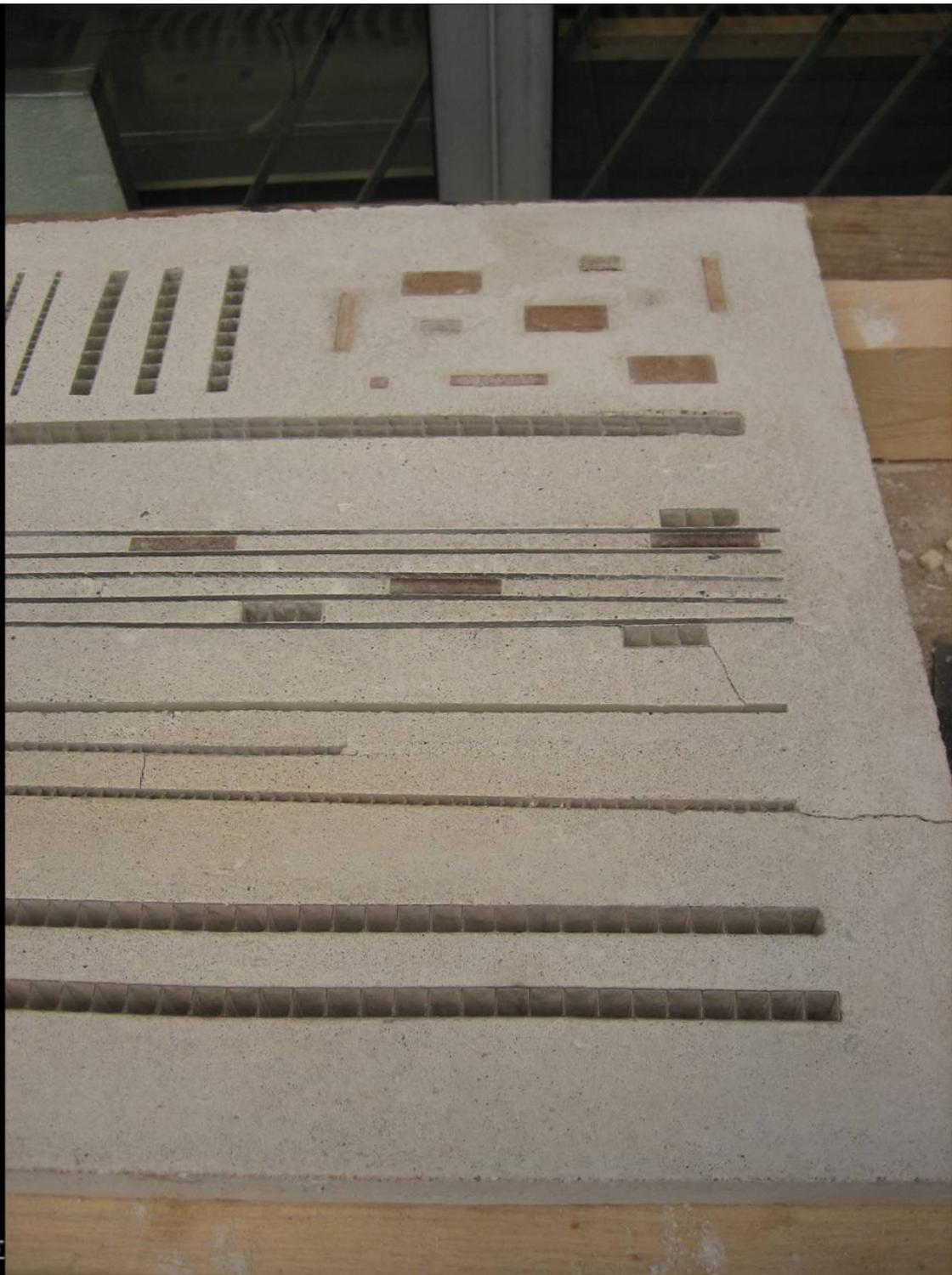
Exemple

*Panneau en béton BFUP, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble
Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau - Juin 2006*

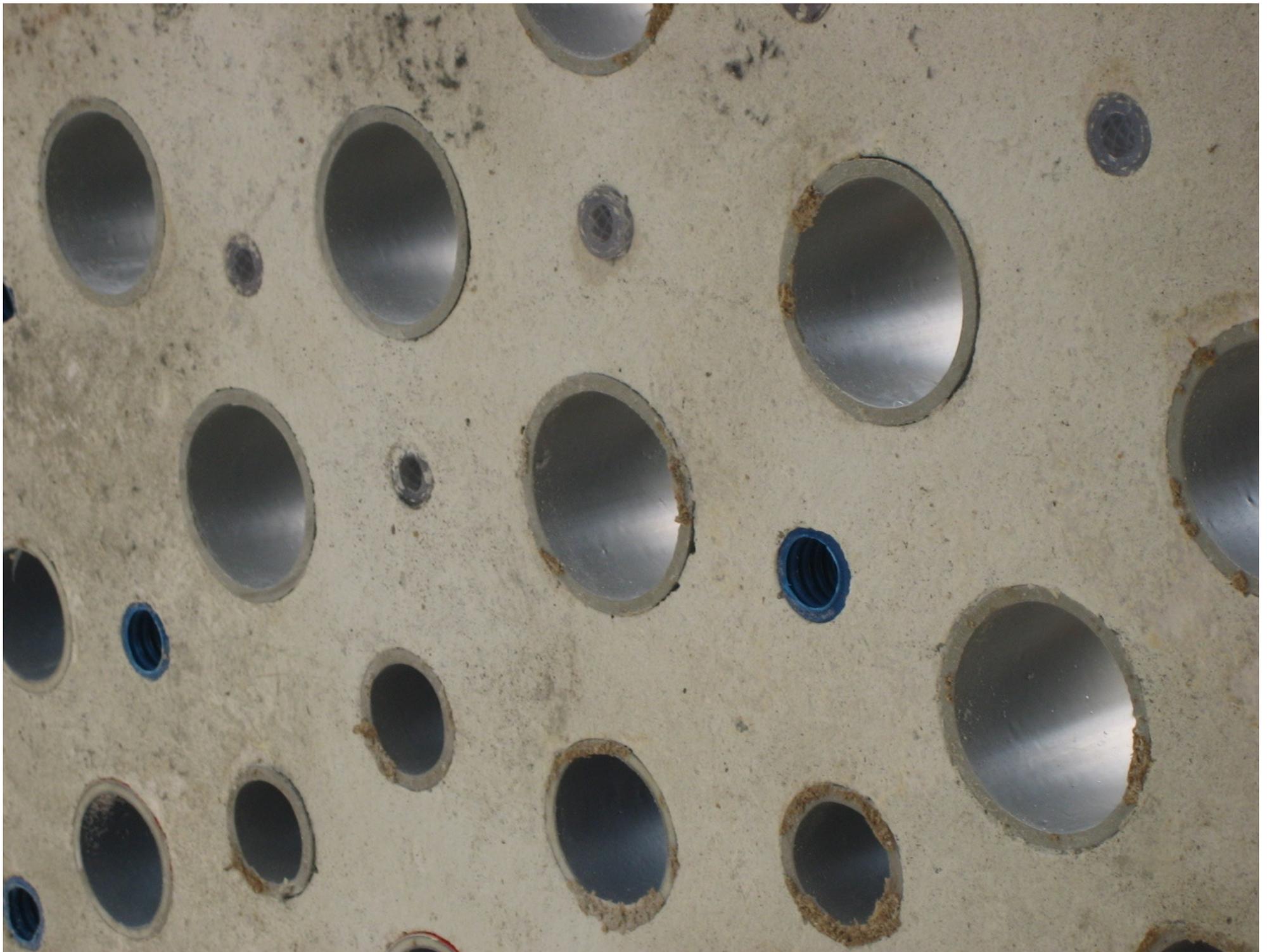
Photos personnelles















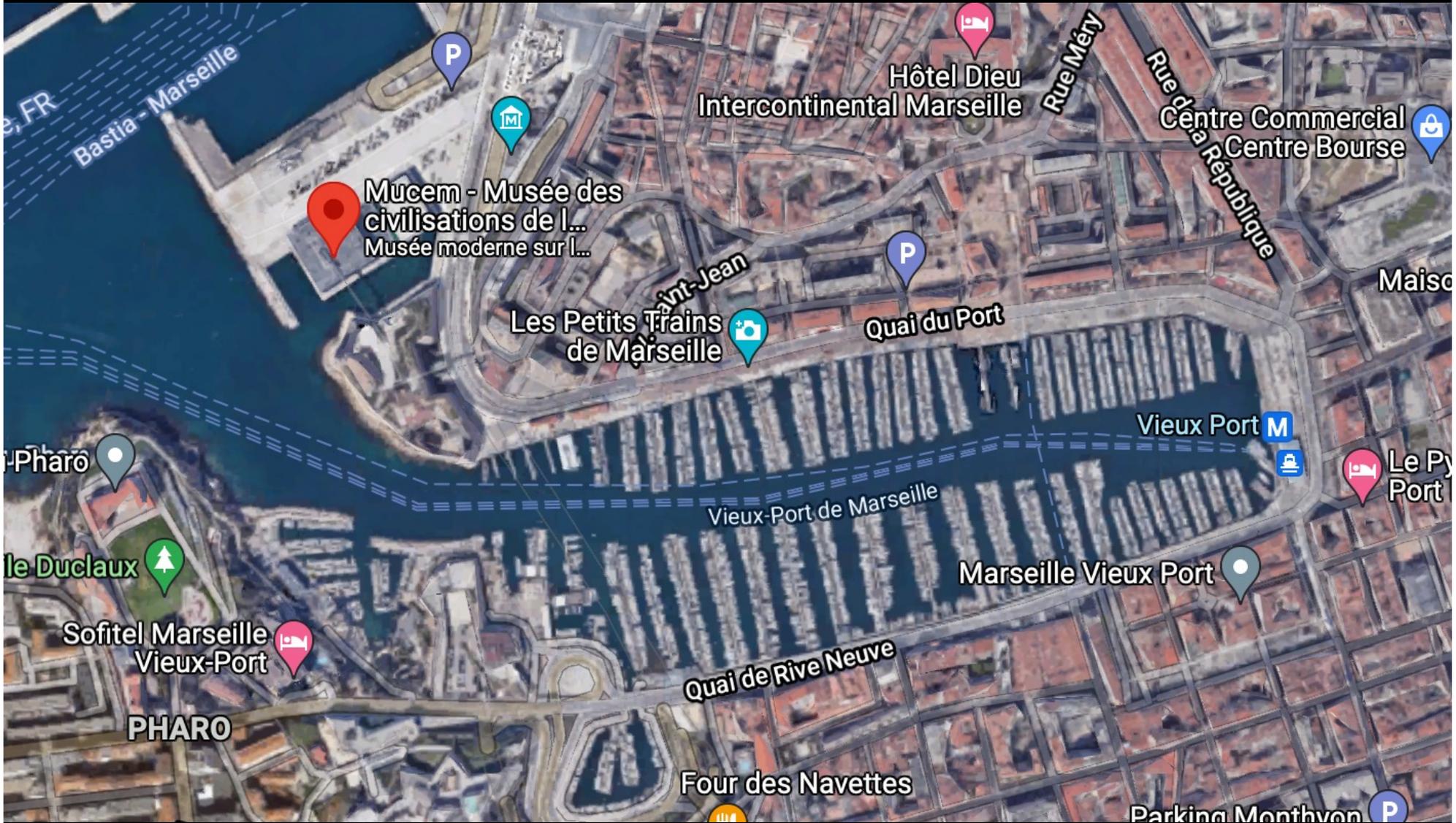
MUCEM Rudy Ricciotti (in association with Roland Carta), 2013, Marseille, France



Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée



<https://www.google.com/maps/place/Mucem+-+Musée+des+civilisations+de+l'Europe+et+de+la+Méditerranée/@43.2948762,5.3692459,1418m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x12c9c09a8f9df3ed:0xa5f38246ce5239fe!8m2!3d43.2966941!4d5.3610825?authuser=1&hl=fr>





Fauteuil et table basse ou repose-pied "Spline", en Ductal de 2,5 cm d'épaisseur, coloris au choix, création David Rouyer, L 102 x l 60 x H 74 cm et L 63 x l 60 x H 33 cm (2 115 € les 2, La Bétonnerie Francesco Passatini)

Ductal street furniture by Olivier Chabaud and Leveque



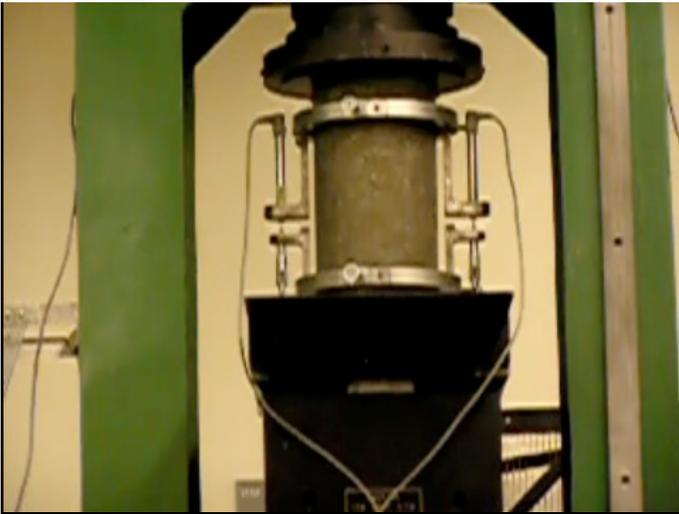


1. Riviera Tower – Ellinikon (Athènes)
Architecte : **Foster + Partners**



Musée Jean-Bouin
Rudy Ricciotti 2013





1- έλξη / εφελκυσμό

Τιμές :

- . Ξύλο : $\sigma_{max} = 10-30 \text{ MPa}$
- . Χάλυβας : $\sigma_{max} = 240 - 360 \text{ MPa}$
- . Σκυρόδεμα : $\sigma_{max} = 2,1 \text{ à } 2,7 \text{ Mpa}$
- . Ductal : $\sigma_{max} = 8 \text{ Mpa}$

(x5)

2- συμπίεση / θλιψή

Τιμές :

- . Ξύλο : $\sigma_{max} = 10-30 \text{ MPa}$
- . Χάλυβας : $\sigma_{max} = 85 - 125 \text{ MPa}$
- . Σκυρόδεμα : $\sigma_{max} = 10 - 60 \text{ MPa}$
C12/15C50/60
- . Ductal : $\sigma_{max} = 160 - 230 \text{ Mpa}$

10)

(x8 -

<http://www.youtube.com/watch?v=VDbN6lp-OcE>

<http://www.youtube.com/watch?v=mMDWCWDVdU>

3. E, η σταθερά της ελαστικότητας

Τιμές : E « young modulus »

- . Ξύλο : $E = 7-13 \text{ GPa}$
- . Χάλυβας : $E = 210 \text{ GPa}$
- . Σκυρόδεμα : $E = 20 \text{ GPa}$
- . Ductal : $E = 55-60 \text{ GPa}$

1 Pa = 1N/m²

10⁶ Pa = 1 GPa = 1N/mm²



Νέα σκυροδέματα: προς υλικά υψηλότερων επιδόσεων

Εξέλιξη του σκυροδέματος

Από τη δεκαετία του 1990, η τεχνολογία του σκυροδέματος έχει εξελιχθεί σημαντικά χάρη:

- στη βελτιστοποίηση της **κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών**
- στη χρήση **υπερρευστοποιητών**
- στην ενσωμάτωση **μεταλλικών ή συνθετικών ινών**
- στον ακριβή έλεγχο της **μικροδομής του υλικού**

Οι εξελίξεις αυτές οδήγησαν στην ανάπτυξη **σκυροδεμάτων υψηλών επιδόσεων**, τα οποία προσφέρουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή, υψηλή ανθεκτικότητα και τη δυνατότητα κατασκευής λεπτότερων και πιο σύνθετων αρχιτεκτονικών στοιχείων.

• **Κύριες κατηγορίες σύγχρονων σκυροδεμάτων**

• **HPC – Σκυρόδεμα Υψηλής Αντοχής (BHP)**

- αντοχή: 60–100 MPa
- αυξημένη ανθεκτικότητα
- χρήση σε απαιτητικές κατασκευές

• **UHPC / BFUP – Σκυρόδεμα Υπερυψηλής Αντοχής**

- αντοχή: 120–200 MPa
- περιέχει μεταλλικές ίνες
- πολύ υψηλή αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό
- επιτρέπει την κατασκευή πολύ λεπτών δομικών στοιχείων

• **SCC – Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα**

- το σκυρόδεμα **ρέει και συμπυκνώνεται μόνο του**
- δεν απαιτεί δόνηση
- εξασφαλίζει υψηλή ποιότητα και ακρίβεια σε σύνθετους ξυλότυπους

• **FRC – Ινοπλισμένο σκυρόδεμα**

- σκυρόδεμα ενισχυμένο με ίνες
- βελτιωμένη αντοχή στη ρηγμάτωση.



Επεξήγηση των μονάδων μέτρησης (CO₂)

Στην **Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA)** των υλικών χρησιμοποιείται συνήθως η μονάδα:

Kg CO₂ eq (kilograms CO₂ equivalent)

Αυτή η μονάδα εκφράζει την **ποσότητα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου** που συνδέονται με την παραγωγή ενός υλικού, μεταφρασμένη σε ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα.

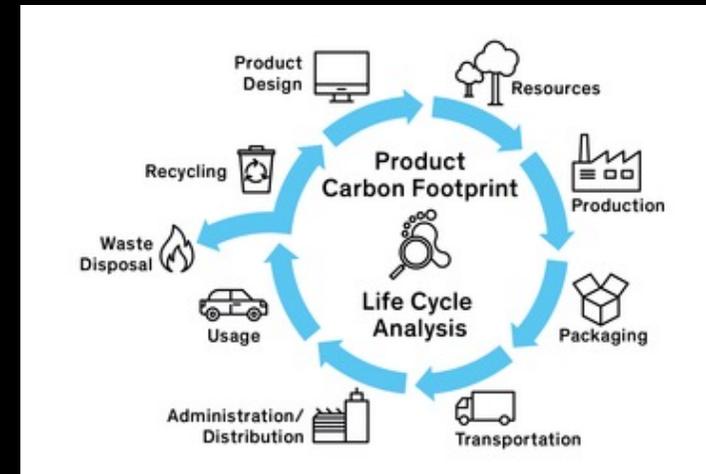
Οι τιμές εκφράζονται συχνά με δύο τρόπους:

kg CO₂ / τόνο υλικού → για πρώτες ύλες (π.χ. τσιμέντο, χάλυβας)

kg CO₂ / m³ υλικού → για υλικά που χρησιμοποιούνται σε όγκο στην κατασκευή (π.χ. σκυρόδεμα)

Παράδειγμα:

- **800–900 kg CO₂ / τόνο τσιμέντου** σημαίνει ότι για την παραγωγή **1 τόνου τσιμέντου** εκπέμπονται περίπου **0,8–0,9 τόνοι CO₂**.
- **250–400 kg CO₂ / m³ σκυροδέματος** σημαίνει ότι **1 κυβικό μέτρο σκυροδέματος** προκαλεί περίπου **0,25–0,40 τόνους CO₂**.



Συγκριτικός πίνακας περιβαλλοντικού αποτυπώματος δομικών υλικών

Υλικό κατασκευής	Μονάδα	Εκπομπές CO ₂ (περίπου)
Τσιμέντο Portland	kg CO ₂ / τόνο	800–900
Σκυρόδεμα	kg CO ₂ / m ³	250–400
Χάλυβας κατασκευών	kg CO ₂ / τόνο	1 700–2 000
Αλουμίνιο	kg CO ₂ / τόνο	8 000–12 000
Τούβλα	kg CO ₂ / τόνο	200–400
Ξυλεία κατασκευών	kg CO ₂ / m ³	20–60*

* Το ξύλο συχνά θεωρείται ότι έχει χαμηλό ή ακόμη και αρνητικό ισοζύγιο άνθρακα, επειδή αποθηκεύει CO₂ κατά την ανάπτυξη του δέντρου.





Un mètre cube de béton (représentant la production mondiale annuelle de béton par habitant).

Ένα κυβικό μέτρο σκυροδέματος

(που αντιστοιχεί στην ετήσια παγκόσμια παραγωγή σκυροδέματος ανά κάτοικο)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Béton_de_ciment



Carbon-negative concrete Carbon-sequestering concrete

WORLD
ECONOMIC
FORUM

Join



<https://www.weforum.org/videos/this-concrete-absorbs-more-co2-than-it-emits/>



Το αυτο-επουλούμενο σκυρόδεμα (**self-healing concrete**) είναι ένας τύπος "έξυπνου" υλικού που έχει την ικανότητα να επιδιορθώνει αυτόματα τις ρωγμές που δημιουργούνται στο εσωτερικό του χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Η τεχνολογία αυτή στοχεύει στην παράταση της διάρκειας ζωής των υποδομών, τη μείωση του κόστους συντήρησης και τον περιορισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της κατασκευαστικής βιομηχανίας



<https://youtu.be/pnrXYmOBeMk?si=PXVMkNAPio1xdPgD>

