



Δομικά Υλικά Ι

Ενότητα 4: Τεχνολογία τσιμέντου

Ιωάννα Παπαγιάννη, Νικόλαος Οικονόμου, Μαρία Στεφανίδου
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

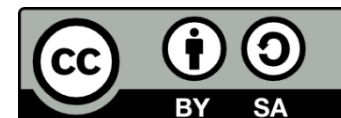


ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Περιεχόμενα ενότητας (1 από 2)

1. ΓΕΝΙΚΑ

- 1.1 Εισαγωγή.
- 1.2 Παραγωγή του τσιμέντου.

2. ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

- 2.1 Κύριες ενώσεις του τσιμέντου.
- 2.2 Υπολογισμός σύστασης του τσιμέντου.

3. ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΩΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ ΤΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΑΣΤΑΣ

- 3.1 Ενυδάτωση του τσιμέντου.
- 3.2 Λεπτότητα άλεσης του τσιμέντου.
- 3.3 Δομή της σκληρυμένης τσιμεντόπαστας.
- 3.4 Αντοχή της σκληρυμένης τσιμεντόπαστας.
- 3.5 Σχέση νερού προς τσιμέντου.
- 3.6 Παραμορφώσεις σκληρυμένη τσιμεντόπαστας.



Περιεχόμενα ενότητας(2 από 2)

4. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΑΣΤΑΣ

4.1 Διαπερατότητα.

4.2 Αποσάθρωση της τσιμεντόπαστας.

4.2.1 Προσβολή από θειικά άλατα και θαλασσινό νερό.

4.2.2 Αλκαλιο-πυριτική αντίδραση.

5. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

6. ΤΥΠΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

7. ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ

8. ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Τσιμέντο

Εισαγωγικά στοιχεία (1 από 2)

- Το τσιμέντο (απ' το Αγγλικό cement) είναι η συνδετική ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή σκυροδέματος, κονιαμάτων, υλικών αρμολόγησης κτλ. σε κάθε είδος κατασκευής.
- Οι ρίζες του τσιμέντου μπορεί να ανιχνευτούν στους αρχαίους Ελληνικούς και Ρωμαϊκούς χρόνους, αλλά το σύγχρονο τσιμέντο ουσιαστικά εφευρέθηκε το 1824 από τον Άγγλο J. Aspdin που συνέθεσε τεχνητά μια συνδετική κονία, που είχε τις ίδιες ιδιότητες με τη γνωστή τότε κονία των ορυχείων Portland στην Αγγλία. Έτσι επικράτησε ο όρος Portland τσιμέντο που είναι υδραυλική κονία, δηλαδή πήζει και σκληραίνει με την παρουσία νερού.

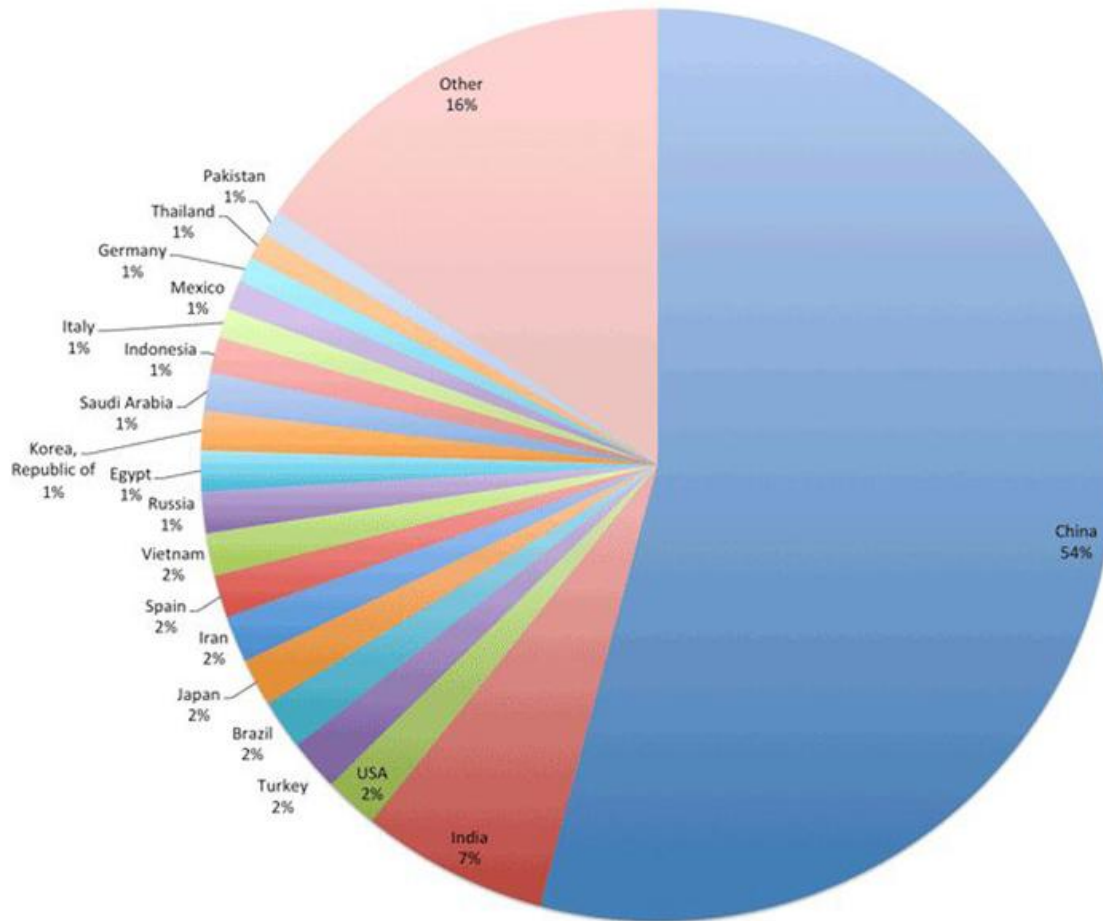


Εισαγωγικά στοιχεία (2 από 2)

- Σύμφωνα με τη Βρετανική προδιαγραφή BS 12:1991 -που ακολουθεί τις προτάσεις της CEN για τα Ευρωπαϊκά πρότυπα για τα τσιμέντα - το τσιμέντο είναι μια υδραυλική συνδετική κονία η οποία είναι λεπτά διαμερισμένο ανόργανο υλικό που σε ανάμιξη με νερό σχηματίζει μια «πάστα» η οποία πήζει και σκληραίνει μέσω αντιδράσεων και διεργασιών ενυδάτωσης και μετά τη σκλήρυνση επανακτά την αντοχή και τη σταθερότητα ακόμα και μέσα στο νερό.
- Η σπουδαιότητα του τσιμέντου ως δομικό υλικό είναι εμφανής στην καθημερινή ζωή αποτελώντας με τα προϊόντα του - σκυρόδεμα, επιχρίσματα κλπ. - το δείκτη της τεχνολογικής ανάπτυξης της εποχής μας παράλληλα με την κατανάλωση των προϊόντων του χάλυβα. Χαρακτηριστικό είναι το σχήμα 1.



Παγκόσμια παραγωγή τσιμέντου το 2010



<http://www.anelixi.org/oikologiki-arxitektoniki/kathara-ulika-kai-texnologies/oikodomika-proionta/proionta-ylikon-tis-gis/tsimento/>



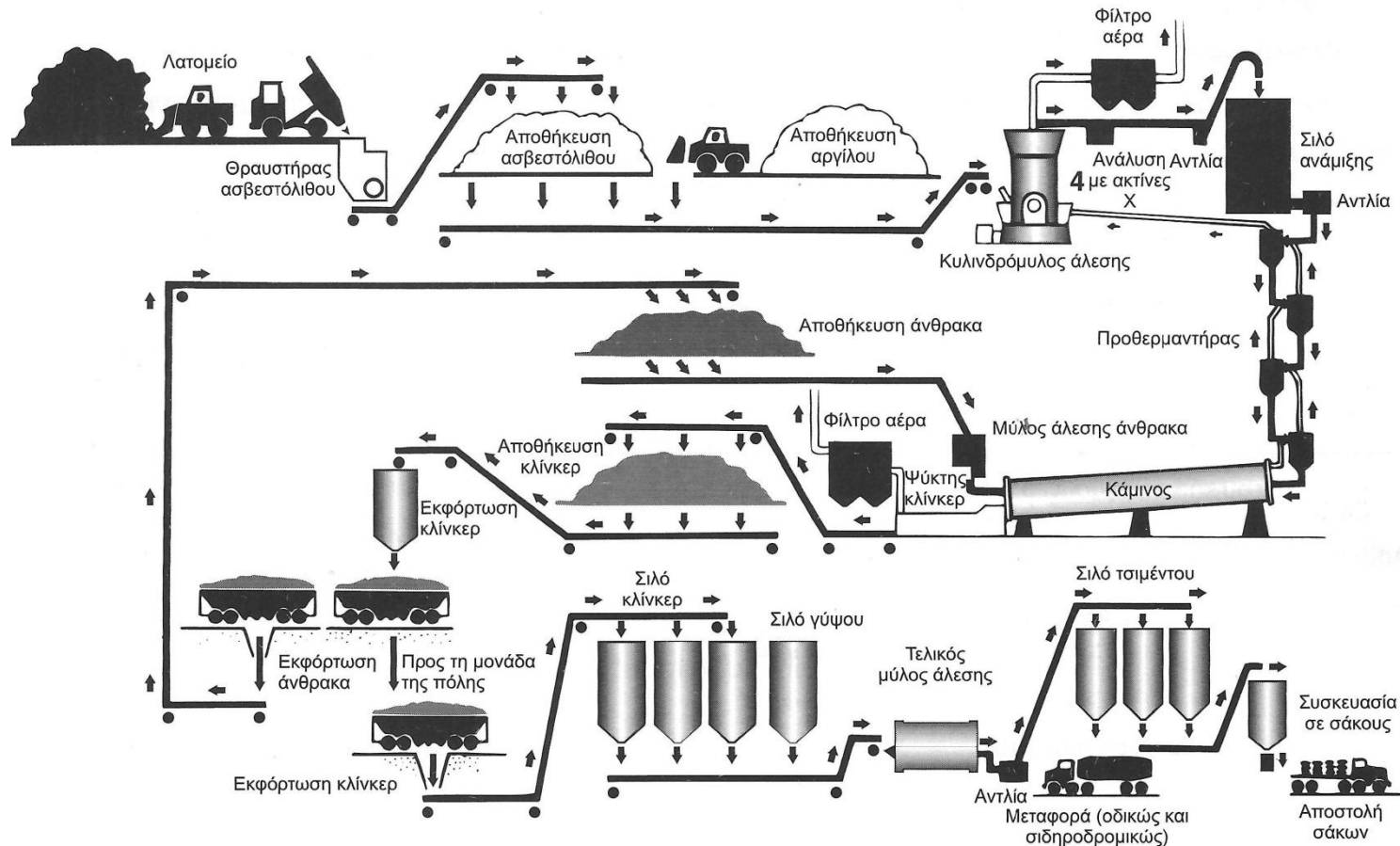
Παραγωγή του τσιμέντου (1 από 2)

Το τσιμέντο Portland παράγεται βασικά από ασβεστολιθικά και αργιλικά πετρώματα των οποίων τα κύρια συστατικά είναι οξείδια του ασβεστίου και πυριτίου που όταν θερμανθούν σε υψηλές θερμοκρασίες, σχηματίζουν τις υδραυλικές πυριτικές ενώσεις του ασβεστίου που είναι δραστικά στοιχεία του τσιμέντου.

Σήμερα έχει επικρατήσει η ξηρά μέθοδο παραγωγής του τσιμέντου όπου η φάση της άλεσης και της τροφοδοσίας γίνεται “εν ξηρώ” σε σύγκριση με την υγρή μέθοδο όπου η φάση αυτή γινόταν με τη μορφή υδάτινων αιωρημάτων (αυξημένη κατανάλωση ενέργειας).



Παραγωγή τσιμέντου (2 από 2)



Διάγραμμα ροής της ξηράς διαδικασίας για την κατασκευή τσιμέντου Πόρτλαντ

Πηγή: (P. Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, 2006- Μετάφραση: Ι. Παπαγιάννη, 2010)

Στάδια παραγωγής τσιμέντου (1 από 2)

1. Μεταφορά και θραύση πρώτων υλών (<math><30\text{mm}</math>).
2. Αναλογική τροφοδοσία και άλεση σε λεπτό διαμερισμό θραυστών πρώτων υλών προς παραγωγή της “φαρίνας” (~40 μm).



Στάδια παραγωγής τσιμέντου

(2 από 2)

3. Όπτιση σε περιστρεφόμενους μεταλλικούς κυλίνδρους της «φαρίνας» (που έχει ήδη προοδευτικά θερμανθεί στους προθερμαντήρες μέχρι τους 900°C) για δύο ώρες σε θερμοκρασίες που αυξανόμενες φτάνουν μέχρι τους 1500°C (παραγωγή του κλίνκερ).

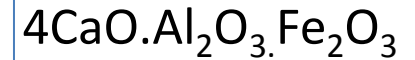
4. Ψύξη και συνάλεση του κλίνκερ με μικρό ποσοστό γύψου ή και άλλων προσθέτων προς παραγωγή του τσιμέντου (διαμέτρου κόκκων: 2-80 μm μέσης διαμέτρου 20 μm και με ειδική επιφάνεια περίπου 300 m^2/kg).



Σύσταση του τσιμέντου

κύριες ενώσεις του (1 από 3)

Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την παραγωγή του τσιμέντου μπορούν κατά προσέγγιση να παρασταθούν ως εξής:



Οι χημικές δράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την παραγωγή του τσιμέντου έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό διαφόρων ενώσεων αλλά ουσιαστικά τέσσερις μόνο – που αναφέρθηκαν προηγουμένως - θεωρούνται σημαντικές.



Σύσταση του τσιμέντου

κύριες ενώσεις του (2 από 3)

Ένωση	Χημική σύσταση	Συμβολισμός
Πυριτικό τριασβέστιο	3CaOSiO_2	C_3S
Πυριτικό_διασβέστιο	2CaO.SiO_2	C_2S
Αργιλικό τριασβέστιο	$3\text{CaO.Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Αργιλλοσιδηρικό τετρασβέστιο	$4\text{CaO.Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Παράλληλα με τα τέσσερα αυτά βασικά συστατικά στο τσιμέντο Portland υπάρχουν σε μικρά αλλά καθοριστικά ποσοστά:

- Μαγνησία (οξείδιο του μαγνησίου, MgO).
- Οξειδία αλκαλίων (K_2O και Na_2O).
- Γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, συμβολισμός: CSH_2 όπου C: CaO , S: SO_3 και H: H_2O) που συνυπάρχει σε ποσοστό 2-3% περίπου ,ως ρυθμιστής του χρόνου πήξης του τσιμέντου.



Σύσταση του τσιμέντου

κύριες ενώσεις του (3 από 3)

Τσιμέντα με διαφορετικά ποσοστά οξειδίων και συνεπώς διαφορετική σύσταση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Τα CaO και SiO_2 είναι τα κύρια οξείδια, με μία σχέση βάρους 3:1 ενώ το άθροισμα των κύριων συστατικών C_3S και C_2S ανέρχεται στα 75% του τσιμέντου. Τα τσιμέντα A, B, C, D είναι ξεχωριστά είδη και είναι προφανές ότι σχετικά μικρές διαφοροποιήσεις στη σύσταση οξειδίων επιφέρουν αξιοσημείωτες μεταβολές στην πορεία ενυδάτωσης και στις ιδιότητες της σκληρυμένης τσιμεντοπάστας και συνεπώς οι προσεχτικοί έλεγχοι στις πρώτες ύλες και κατά την επεξεργασία παραγωγής είναι καθοριστικοί για τη σταθερή ποιότητα του τσιμέντου.



Τσιμέντα με διαφορετική σύσταση

	Εύρος τιμών	Τσιμέντο A	Τσιμέντο B	Τσιμέντο Γ	Τσιμέντο Δ
Οξειδία (% κβ)					
CaO	60-67	66	67	64	64
SiO ₂	17-25	21	21	22	23
Al ₂ O ₃	3-8	7	5	7	4
Fe ₂ O ₃	0,5-6,0	3	3	4	5
Na ₂ O + K ₂ O	0,2-1,3				
MgO	0,1-4,0				
Free CaO	0-2	1	1	1	1
SO ₃	1-3	2	2	2	2
Πιθανή σύσταση (% κβ)					
C ₃ S		48	65	31	42
C ₂ S		24	11	40	34
C ₃ A		13	8	12	2
C ₄ AF		9	9	12	15



Υπολογισμός σύστασης του τσιμέντου

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των βασικών συστατικών του τσιμέντου είναι εξαιρετικά δύσκολος και πολύπλοκος και για το λόγο αυτό υπολογίζονται από την εύρεση του ποσοστού των οξειδίων του τσιμέντου με τη βοήθεια των εξισώσεων Bogue (θεωρητικός προσδιορισμός κατά προσέγγιση).

$$\text{Πχ } \% \text{ C}_2\text{S} = 2,87 \times \text{S} - 0,754 \times \text{C}_3\text{S}$$

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται ένα παράδειγμα σχετικού υπολογισμού.



Τυπική σύσταση τσιμέντου Portland

Σύσταση οξειδίων (%)

Υπολογισμός του ποσοστού των κύριων
συστατικών στο τσιμέντο

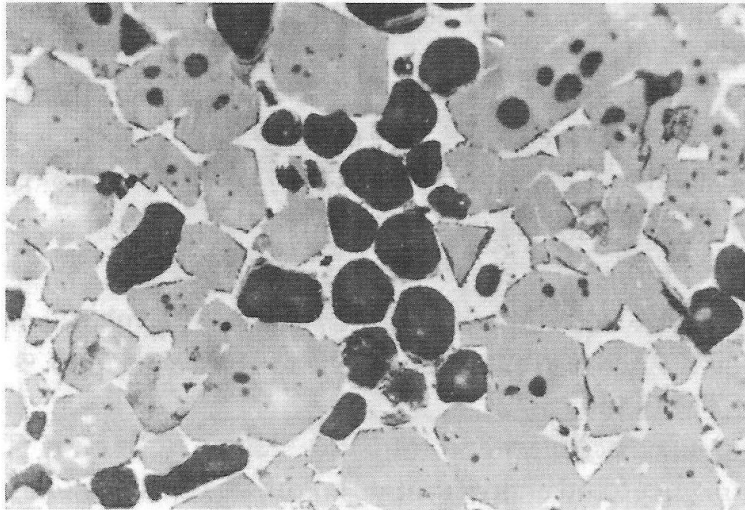
Lime, CaO	64.73	$C_3S = 4.07 (\text{CaO} - \text{free CaO}) - (7.60 \times \text{SiO}_2$
Silica, SiO ₂	21.20	$+ 6.72 \times \text{Al}_2\text{O}_3 + 1.38 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2.85 \times \text{SO}_3)$
Alumina, Al ₂ O ₃	5.22	$= 50.7$
Iron oxide, Fe ₂ O ₃	3.08	
Magnesia, MgO	1.04	$C_2S = 2.87 \times \text{SiO}_2 - 0.754 \times C_3S$
Sulphur trioxide, SO ₃	2.01	$= 22.5$
Soda, Na ₂ O	0.19	
Potash, K ₂ O	0.42	$C_3A = 2.65 \times \text{Al}_2\text{O}_3 - 1.69 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$
Loss on ignition, LOI	1.45	$= 8.6$
Insoluble residue, IR	0.66	$C_4AF = 3.04 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$
	<u>100.00</u>	$= 9.4$
Free lime, CaO	1.60	

Πηγή: Neil Jackson and Ravindra K. Dhir, Civil Engineering Materials, 4th Edition

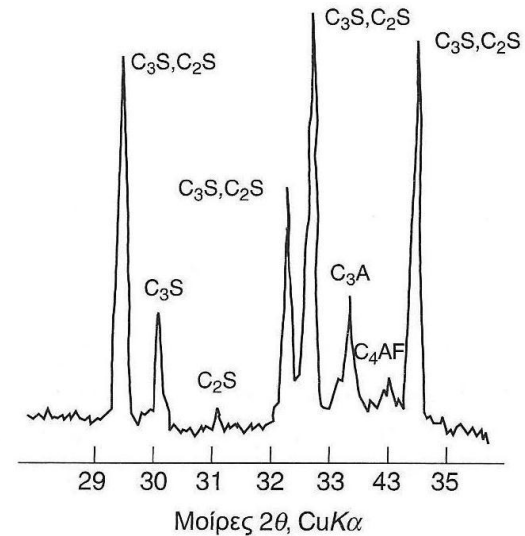
Παράλληλα σύγχρονοι μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την άμεση ποσοτική ανάλυση του τσιμέντου Portland όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Ποσοτική ανάλυση τσιμέντου



(α)



(β)

Σύγχρονοι μέθοδοι άμεσης ποσοτικής ανάλυσης του τσιμέντου:

- α) Φωτομικρογραφία δείγματος κλίνκερ με μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός.
- β) Φάσμα ακτίνων-Χ, ανάλυσης δείγματος κλίνκερ.

Πηγή: P. Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, 2006- Μετάφραση: Ι. Παπαγιάννη, 2010



Το τσιμέντο ως συστατικό της τσιμεντόπαστας (1 από 2)

Ενυδάτωση του τσιμέντου

Το άνυδρο τσιμέντο δεν μπορεί να συνδεθεί με την άμμο και τα αδρανή. αποκτά την συνδετική του ικανότητα μόνο όταν αναμιχθεί με νερό. Αυτό συμβαίνει γιατί η χημική αντίδραση του τσιμέντου με το νερό (ενυδάτωση τσιμέντου) παράγει προϊόντα που έχουν χαρακτηριστικά πήξης και σκλήρυνσης. Ουσιαστικά η χημεία / τεχνολογία του σκυροδέματος είναι η χημεία της αντίδρασης μεταξύ του τσιμέντου και του νερού.



Το τσιμέντο ως συστατικό της τσιμεντόπαστας (2 από 2)

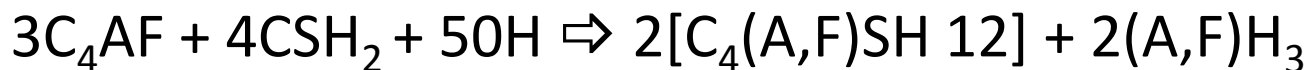
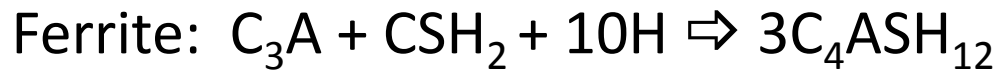
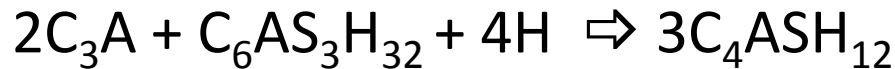
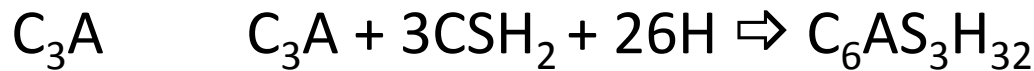
Τα προϊόντα που παράγονται, οι ενεργειακές μεταβολές και η ταχύτητα της αντίδρασης καθορίζουν την ποιότητα του σκυροδέματος. Η θερμότητα που εκλύεται, άλλοτε αποτελεί βοήθεια και άλλοτε εμπόδιο, η ταχύτητα αντιδράσεως προσδιορίζει το χρόνο πήξης και σκλήρυνσης και τέλος η αρχική αντίδραση πρέπει να είναι αργή ώστε το σκυρόδεμα να έχει τον απαιτούμενο χρόνο σκυροδέτησης, αλλά στη συνέχεια η σκλήρυνση να επέρχεται ταχύτατα.

Όπως αναφέρθηκε τα κύρια συστατικά του τσιμέντου ενυδατώνονται διαφορετικά.



Ενυδάτωση τσιμέντου

Κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου σχηματίζονται ποικίλες ένυδρες κρυσταλλικές ενώσεις. Σχηματικές παραστάσεις των διαφόρων αντιδράσεων φαίνονται παρακάτω:



Πήξη/ ψευδοπήξη τσιμέντου

- Όταν το τσιμέντο αναμιχθεί με νερό σχηματίζεται ένας πολτός (τσιμεντόπαστα) που τελικά γίνεται συμπαγής και σκληρός. Αυτή η διεργασία καλείται πήξη. Το τσιμέντο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή σκυροδέματος δεν πρέπει να πήζει πολύ γρήγορα (μη εργάσιμο) με αποτέλεσμα να σκληρύνει πριν από τη σκυροδέτηση. Όταν αυτό πήζει πολύ αργά εκτός από τα ποιοτικά αρνητικά αποτελέσματα. Θα χαθεί και πολύτιμος χρόνος κατασκευής.
- Η ψευδόπηξη του τσιμέντου Portland είναι μια κατάσταση πρόωρης πήξης χωρίς παράλληλα την έκλυση ποσού θερμότητας ενυδατώσεως. Για την ανάκτηση της πλαστικότητας απαιτείται μόνο περαιτέρω ανάμιξη χωρίς προσθήκη νερού.
- Οι ενώσεις του τσιμέντου Portland κατά την ένωσή τους με το νερό παράγουν θερμότητα (εξώθερμες αντιδράσεις) που καλείται θερμότητα ενυδατώσεως. Αυτή εξαρτάται όπως είναι φυσικό από τη σύσταση του τσιμέντου (ποσοστά συμμετοχής των βασικών συστατικών του).



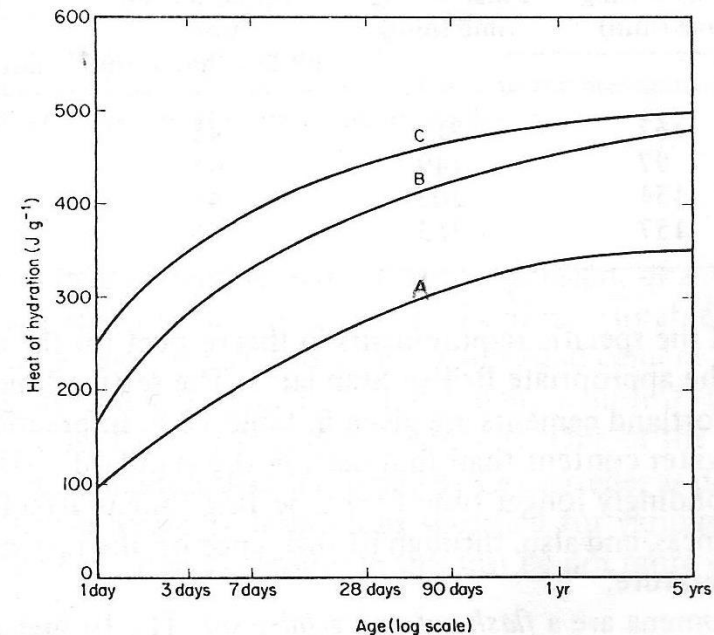
Θερμότητες ενυδατώσεως (cal.g⁻¹) σε διάφορες ηλικίες

Συστατικό	3 ημέρες	90 ημέρες	13 ημέρες
C ₃ S	58	104	122
C ₂ S	12	42	59
C ₃ A	212	311	324
C ₄ AF	69	98	102

Πηγή: Lea F.M, The Chemistry of Cement and Concrete (Arnold, London 1970).

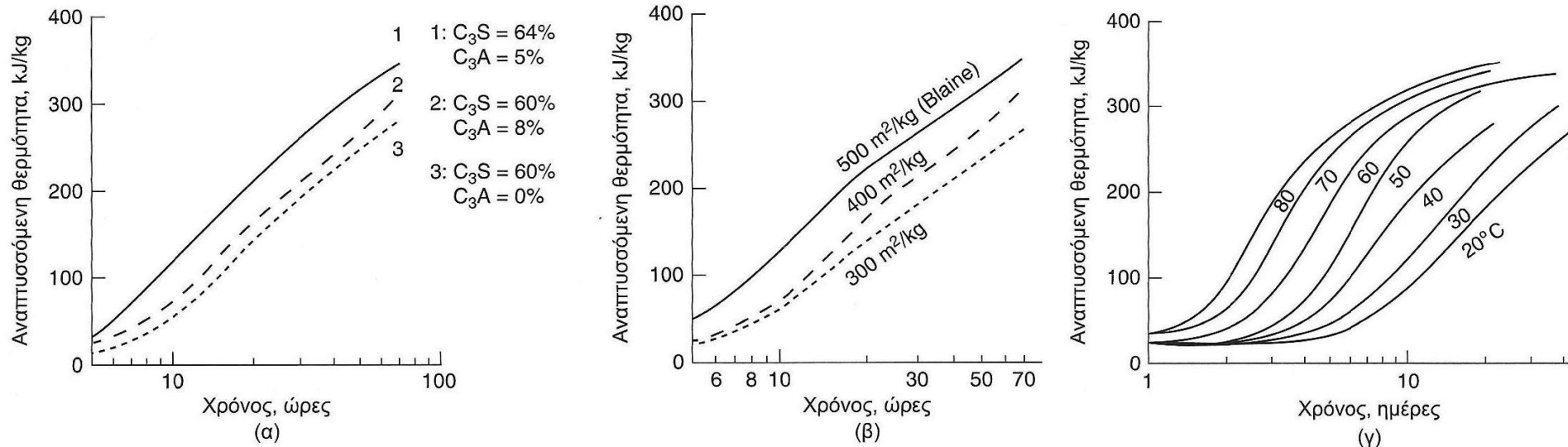
Τυπικά αποτελέσματα για την έκλυση θερμότητας στους 20°C διαφορετικών τσιμέντων Portland.

- A. Χαμηλής θερμότητας.
- B. Κανονικά.
- C. Ταχείας πήξεως.



Ενυδάτωση του τσιμέντου (1 από 2)

Και ο ρυθμός αλλά και το συνολικό ποσό της θερμότητας που αναπτύσσονται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου επηρεάζονται από τη σύσταση (α) και τη λεπτότητα του (β), καθώς και από τη θερμοκρασία ενυδατώσεως (γ).



Πηγή: P. Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, 2006- Μετάφραση: Ι. Παπαγιάννη, 2010

Ενυδάτωση του τσιμέντου (2 από 2)

Το σκυρόδεμα είναι κακός αγωγός της θερμότητας και η εκλυόμενη θερμότητα κατά την ενυδάτωση μπορεί να έχει ανεπιθύμητα αποτελέσματα στις ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος (μικρορωγμές κτλ) παρά τα πιθανά πλεονεκτήματα από την ταχεία ανάπτυξη των αντοχών.



Λεπτότητα άλεσης του τσιμέντου

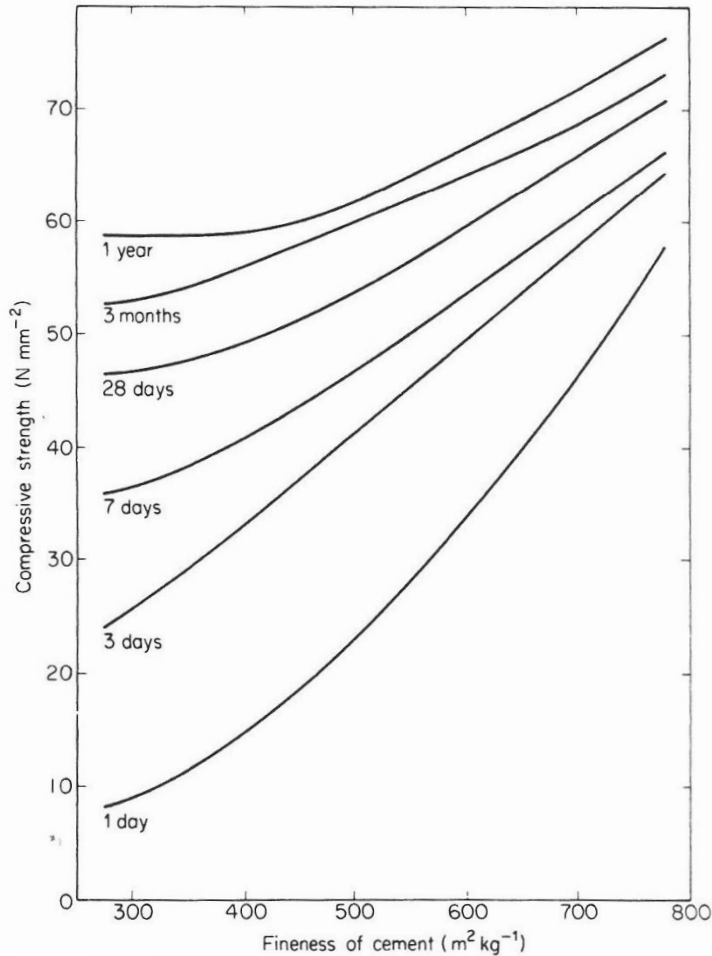
(1 από 3)

Ένας παράγοντας που επιδρά στην ενυδάτωση του τσιμέντου άσχετα με τη χημική σύσταση, είναι η λεπτότητά του. Όσο λεπτότερο είναι το τσιμέντο τόσο υψηλότερη είναι η θερμότητα ενυδατώσεως και η επακόλουθη ανάπτυξη της αντοχής. Η αντοχή που αποκτάται και οφείλεται στην λεπτότητα είναι σημαντική κατά τη διάρκεια των πρώτων 7 ημερών. Λεπτά αλεσμένα τσιμέντα βελτιώνουν γενικά τη συνάφεια του νωπού σκυροδέματος και δρουν αποτελεσματικά στη μείωση του κινδύνου της εξίδρωσης, αλλά αυτά αυξάνουν την τάση δημιουργίας ρωγμών λόγω συστολής.

Η λεπτότητα του τσιμέντου εκφράζεται ως ειδική επιφάνεια (επιφάνεια κόκκων του τσιμέντου σε cm^2 ανά g τσιμέντου). Υψηλές τιμές ειδικής επιφάνειας φανερώνουν λεπτά αλεσμένα τσιμέντα και συνήθως περισσότερο δραστικά.

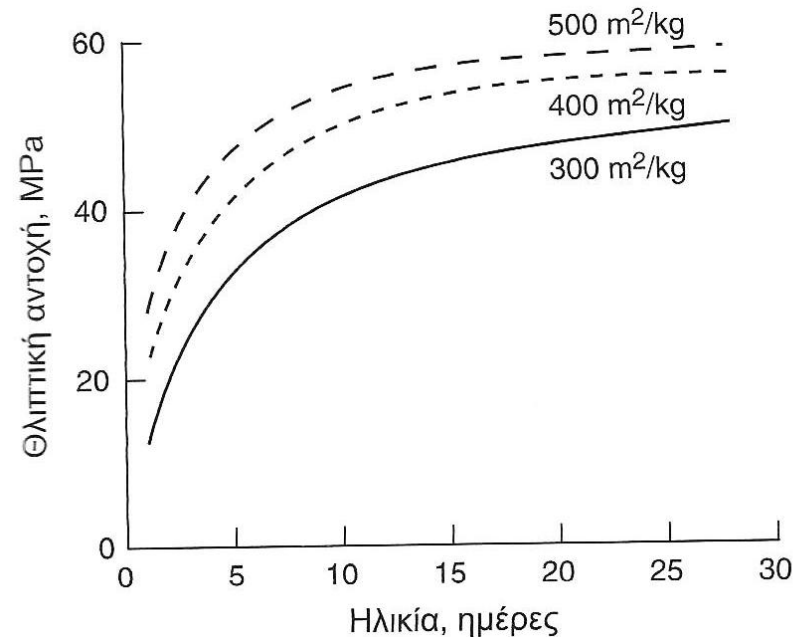


Λεπτότητα άλεσης του τσιμέντου (2 από 3)



Επίδραση της λεπτότητας του τσιμέντου στην ανάπτυξη της αντοχής του σκυροδέματος.

Πηγή: P. Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, 2006-
Μετάφραση: Ι. Παπαγιάννη, 2010.



Λεπτότητα άλεσης του τσιμέντου

(3 από 3)

Η υγεία του τσιμέντου είναι η ικανότητά του να διατηρεί ένα σταθερό όγκο μετά την πήξη. Ένα μη υγιές τσιμέντο θα παρουσιάσει μικρορωγμές και σχισίματα στη μάζα του που προξενούνται από την περίσσεια ποσότητα ελεύθερων οξειδίων Ca ή Mg. Το ελεύθερο CaO παραμένει στο εσωτερικό των σωματιδίων του τσιμέντου και τελικά η υγρασία αντιδρά με τα ελεύθερα οξείδια μετά την πήξη του τσιμέντου με αποτέλεσμα τη διόγκωση που προκαλεί τη ρηγμάτωση.

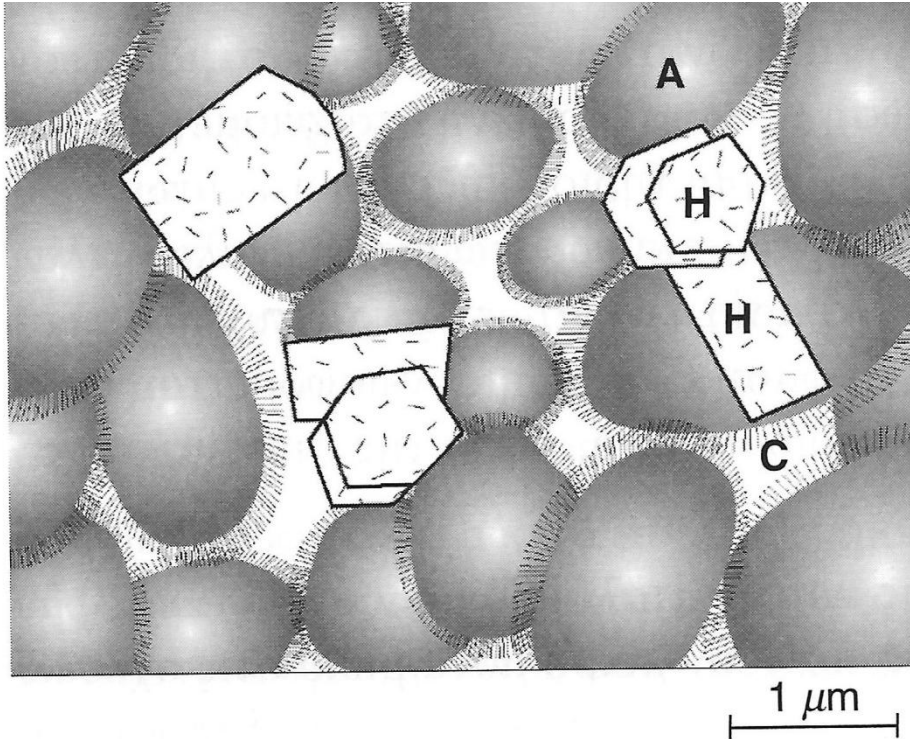


Δομή της σκληρυμένης τσιμεντόπαστας (1 από 2)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η βασική πηγή της αντοχής του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού είναι η ύπαρξη δυνάμεων van der Waals. Τα προϊόντα ενυδάτωσης του τσιμέντου Portland έχουν την τάση να συνδέονται ισχυρά όχι μόνο μεταξύ τους, αλλά επίσης και με στερεές ύλες διαφόρων επιφανειών όπως το $\text{Ca}(\text{OH})_2$, παιπάλη αλλά και αδρανή μεγάλου μεγέθους.



Δομή της σκληρυμένης τσιμεντόπαστας (2 από 3)



Σχηματική παράσταση σωστά ενυδατωμένης τσιμεντόπαστας: Α. σωματίδια C-S-H, Η. Εξαγωγικά κρυσταλλικά προϊόντα όπως CH, C₄ASH₁₂..., C. Κενά ή πόροι.

Πηγή: P. Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, 2006- Μετάφραση: Ι.

Παπαγιάννη, 2010.



Δομή της σκληρυμένης τσιμεντόπαστας (3 από 3)

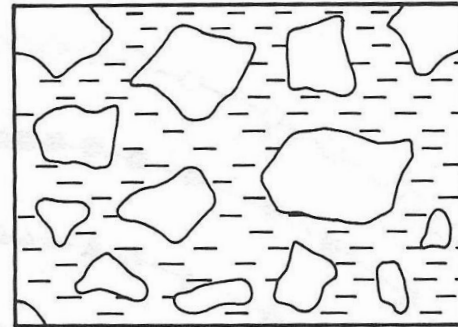
Η σκληρυμένη τσιμεντόπαστα περιέχει διαφόρων ειδών κενά που επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες του τσιμέντου. Αυτά τα είδη είναι:

- 1) κενά μεταξύ των κρυστάλλων C - S - H.
- 2) τριχοειδή κενά που αντιπροσωπεύουν πληρούνται απ' τα στερεά συστατικά τσιμεντοπολτού (πορώδες).
- 3) κενά αέρα.

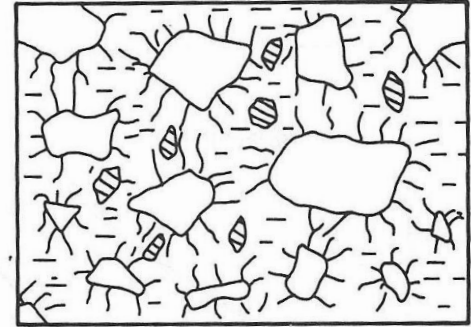


Σχηματική παρουσίαση της μικροδομής της ενυδατωμένης τσιμεντόπαστας

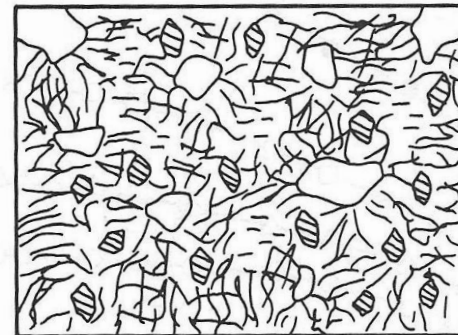
- α. τσιμέντο και νερό.
- β. αρχική πήξη, σχηματισμός C - S - H και CH.
- γ. μετά 2-3 ημέρες.
- δ. σκληρυμένη τσιμεντόπαστα.



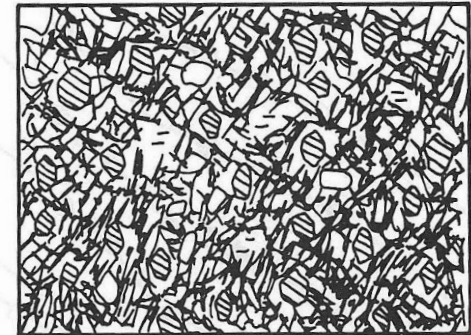
(a)



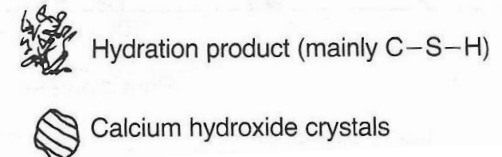
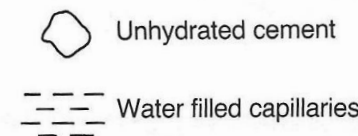
(b)



(c)

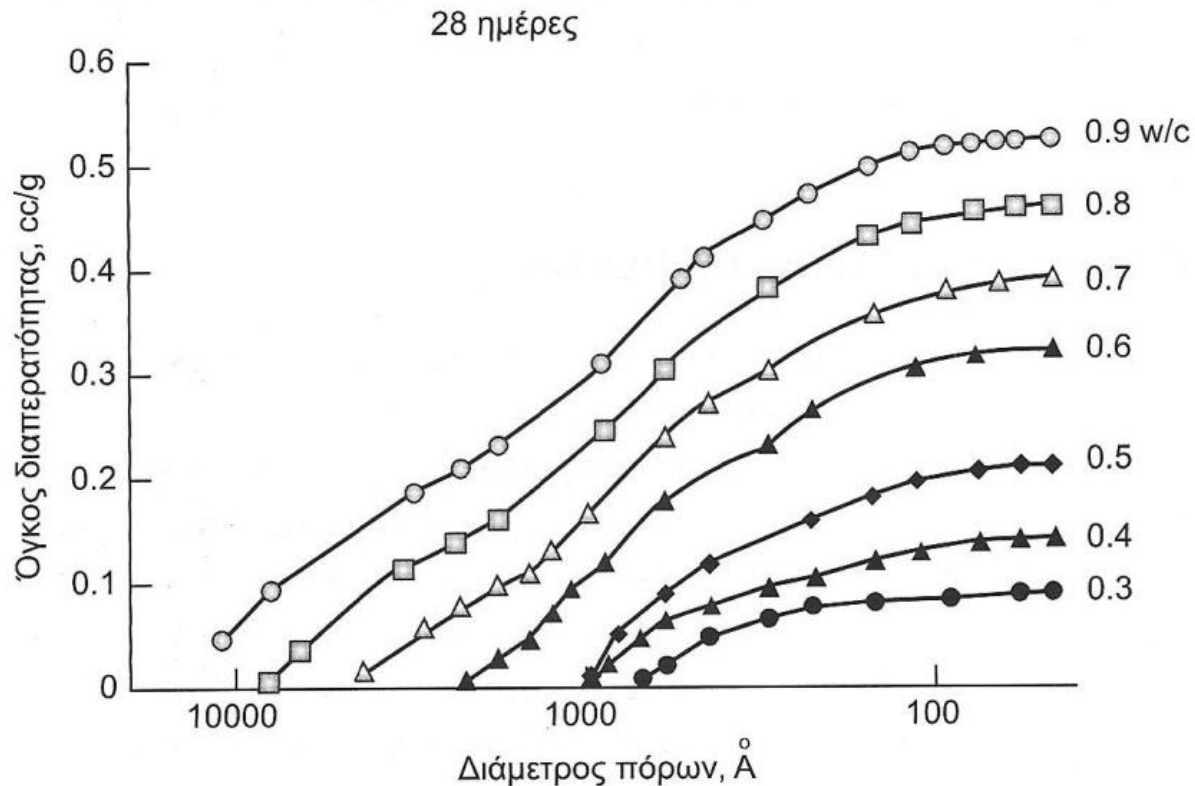


(d)



Πηγή: Construction Materials, Their nature and behavior, Edited by: J.M. Illston, Second Edition, E& FN Spon.

Κατανομή πόρων τσιμεντόπαστας (1 από 2)



Κατανομή μεγέθους πόρων τσιμεντόπαστας 28 ημερών

Πηγή: P. Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, 2006- Μετάφραση: Ι. Παπαγιάννη, 2010)



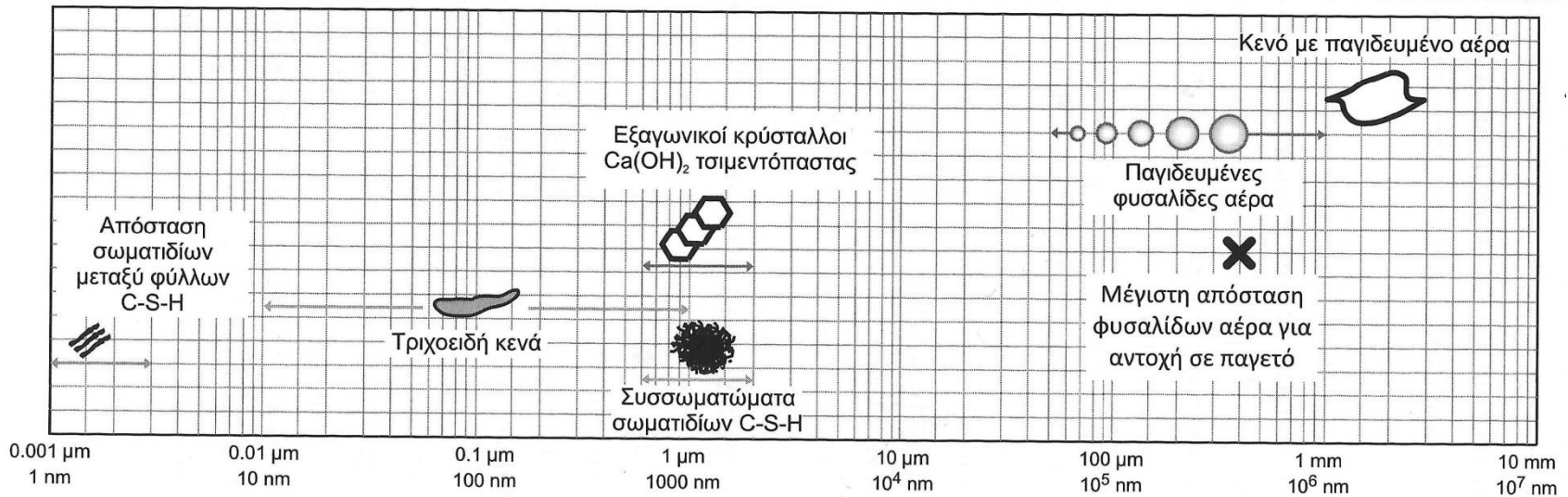
Κατανομή πόρων τσιμεντόπαστας (2 από 2)

Η κατανομή του μεγέθους των πόρων και όχι το ολικό πορώδες είναι ο παράγοντας που ουσιαστικά επιδρά στην αντοχή, διαπερατότητα και αλλαγές του όγκου στη σκληρυμένη τσιμεντόπαστα.

Αυτή η κατανομή επηρεάζεται από τη σχέση νερού προς τσιμέντο και το βαθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου. Μεγάλοι πόροι (>50nm) επιδρούν κύρια στη θλιπτική αντοχή και διαπερατότητα, ενώ οι μικρότεροι στη συστολή ξηράνσεως και τον ερπυσμό.



Τάξη μεγεθών των στερεών και των πόρων σε ενυδατωμένη τσιμεντόπαστα



Τα προϊόντα ενυδατώσεως καταλαμβάνουν με την πάροδο του χρόνου τον χώρο των πόρων.

Πηγή: Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, 2006- Μετάφραση: Ι. Παπαγιάννη, 2010.



Ενυδάτωση τσιμέντου (1 από 4)

Είναι γνωστό ότι στα στερεά υπάρχει μια σχέση μεταξύ πορώδους και αντοχής. Ο όγκος των κενών στο σκληρυμένο τσιμεντοπολτό εξαρτάται απ' το ποσό του νερού που αναμιγνύεται με το τσιμέντο κατά την ενυδάτωση και το βαθμό της ενυδάτωσης. Για κανονικά ενυδατωμένα κονιάματα με τσιμέντο Portland (σχήμα 13) ο Powers απέδειξε ότι υπάρχει αναλογία του τύπου $S=kx^3$ μεταξύ της αντοχής σε θλίψη (S) και σχέσης των στερεών προς το χώρο (x) όπου k είναι μια σταθερά ίση προς 34.000psi.

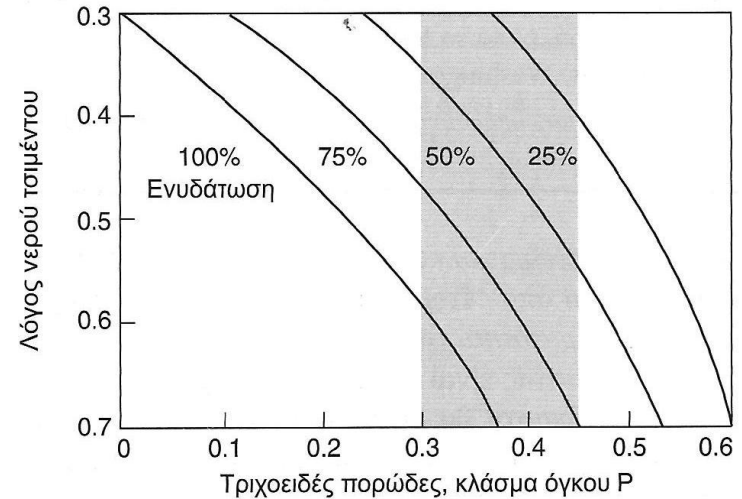
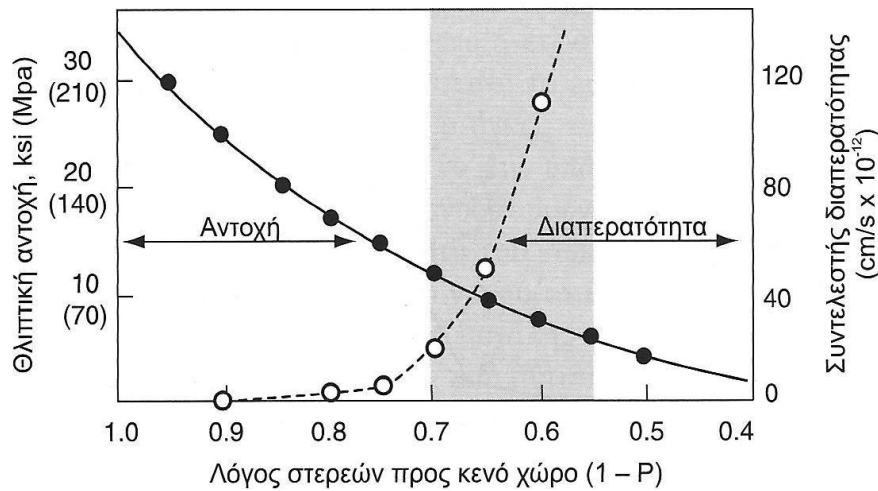


Ενυδάτωση τσιμέντου (2 από 4)

Με δεδομένο τους βαθμούς ενυδατώσεως (π.χ. 25.50.75.100% που αντιστοιχούν σε συνθήκες προδιαγραφών σε 3, 7, 28, 365 μέρες) είναι δυνατό να υπολογιστεί το αποτέλεσμα της αύξησης του λόγου νερό / τσιμέντο, πρώτα στο πορώδες και κατά συνέπεια στην αντοχή με την εφαρμογή του τύπου του Powers. Παραδείγματα εμφανίζονται στα σχήματα όπου το πορώδες και το αντίθετό του (σχέση στερεού/χώρου) σχετίζονται με την αντοχή και τη διαπερατότητα (οι σκιασμένες επιφάνειες δείχνουν την τυπική περιοχή πορώδους σε ενυδατωμένες τσιμεντόπαστες).



Ενυδάτωση τσιμέντου (3 από 4)



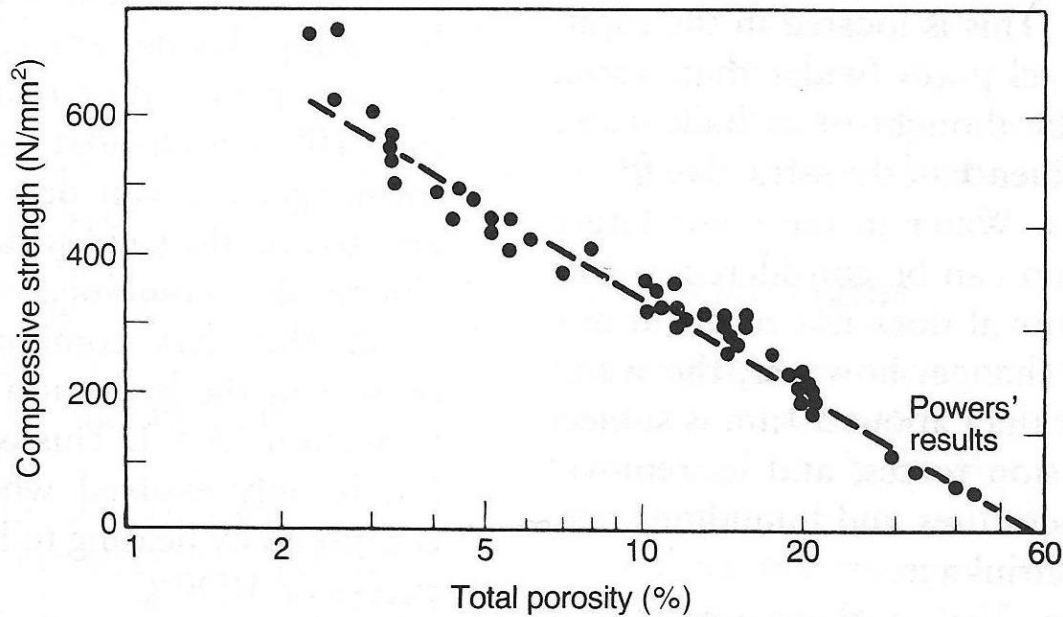
Επίδραση του λόγου νερού προς τσιμέντο και του βαθμού ενυδατώσεως στην αντοχή και τη διαπερατότητα της τσιμεντόπαστας.

Πηγή: Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, 2006- Μετάφραση: Ι. Παπαγιάννη, 2010



Ενυδάτωση τσιμέντου (4 από 4)

Συμπλήρωση των αποτελεσμάτων του Powers (με χαμηλό πορώδες) φαίνονται στο σχήμα:



Σχέση θλιπτικής αντοχής τσιμεντόπαστας (compressive strength) και πορώδους (total porosity) (Roy and Gouda, 1975)



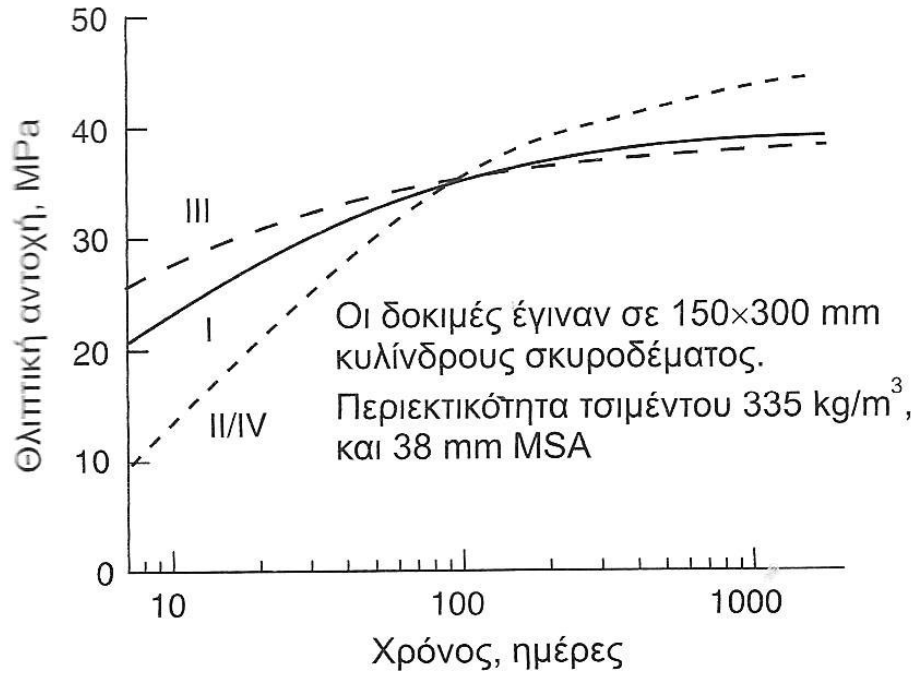
Αντοχή της σκληρυμένης τσιμεντόπαστας

Η αντοχή του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού θεωρείται η πιο σημαντική του ιδιότητα.

Βέβαια οι διάφορες δοκιμές γίνονται σε μίγματα τσιμέντου - νερού - αδρανών (καθορισμένων προδιαγραφών) και τον έλεγχο των αντίστοιχων κονιαμάτων και σκυροδεμάτων. Είναι φυσικό η αντοχή του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού να εξαρτάται από τη σύστασή του.



Επίδραση της σύστασης του τσιμέντου στην αντοχή του σκυροδέματος



Τσιμέντο No.	Σύνθεση			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
I	49	25	12	8
II*	30	46	5	13
III	56	15	12	8

*Το Τσιμέντο II αντιστοιχεί σε τσιμέντο Portland ASTM Τύπου IV

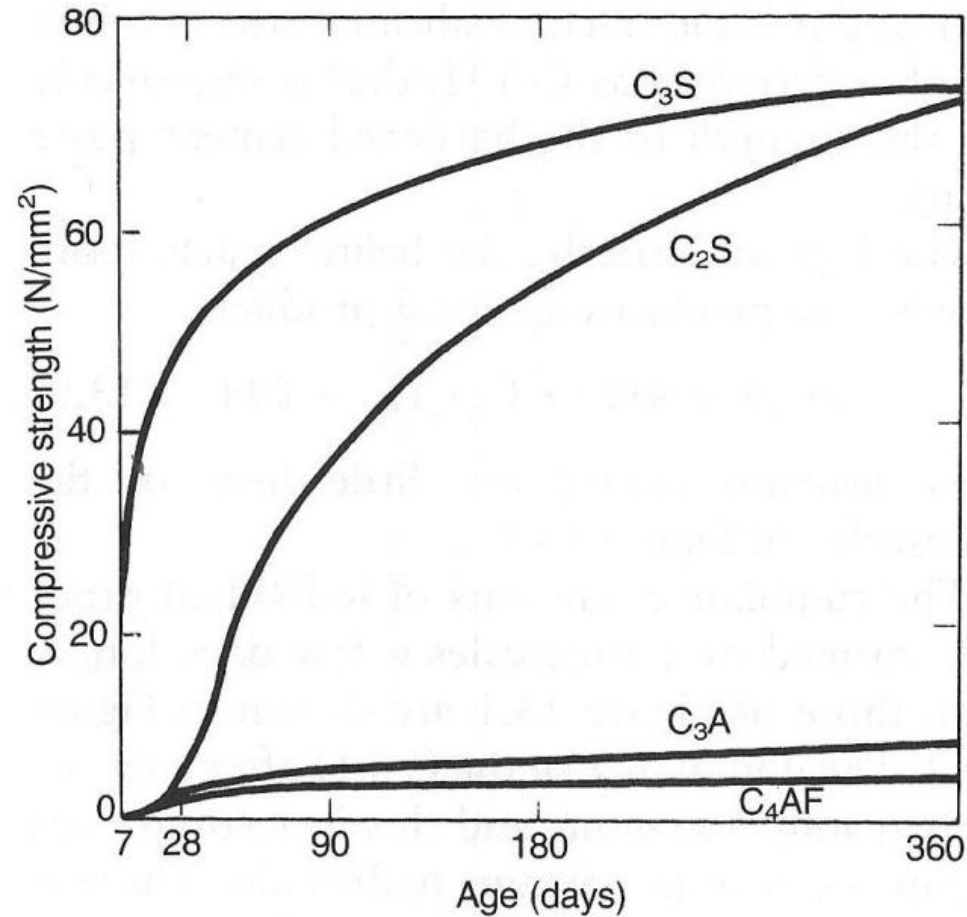
Πηγή: Concrete Manual, US Bureau of Reclamation, 1975, σελ.45-46.



Ανάπτυξη της αντοχής των καθαρών συστατικών του τσιμέντου (1 από 4)

Κάθε ένα από τα βασικά συστατικά του τσιμέντου παρουσιάζει μια συγκεκριμένη συμπεριφορά και είναι δυνατόν να αποδειχθεί ότι με διαφοροποίηση των σχετικών ποσοστών τους οι ιδιότητες του τσιμέντου μπορούν να τροποποιηθούν.

Πηγή: Bogue, 1955



Ανάπτυξη της αντοχής των καθαρών συστατικών του τσιμέντου (2 από 4)

Το $\underline{\underline{C_3S}}$ σκληραίνει ταχύτατα και αποτελεί τον κύριο παράγοντα για την αρχική πήξη και την γρήγορη ανάπτυξη της αντοχής. Γενικά η ανάπτυξη της αντοχής σκυροδεμάτων με τσιμέντο Portland θα επιταχύνεται με αυξανόμενα ποσοστά του C_3S . Όμως εάν παρατείνεται η υγρή συντήρηση, η τελική αντοχή μετά από 6 μήνες θα είναι μεγαλύτερη για τσιμέντα με υψηλότερα ποσοστά C_2S .



Ανάπτυξη της αντοχής των καθαρών συστατικών του τσιμέντου (3 από 4)

Το $\underline{C}_2\underline{S}$ σκληραίνει αργά και η επίδρασή του στην ανάπτυξη της αντοχής λαμβάνει χώρα σε χρόνο μετά από μια εβδομάδα.

Το $\underline{C}_3\underline{A}$ συμμετέχει στην ανάπτυξη της αντοχής στις πρώτες μέρες γιατί είναι η πρώτη ένωση που ενυδατώνεται. Αποτελεί όμως το πιο ανεπιθύμητο συστατικό εξαιτίας της υψηλής θερμότητας ενυδατώσεως και της δραστικότητάς του με εδάφη και νερά που περιέχουν μέσες και υψηλές συγκεντρώσεις θειϊκών. Η προσθήκη της γύψου έχει επιβραδυντικό αποτέλεσμα στην ταχεία πήξη του C_3A .

Το $\underline{C}_4\underline{AF}$ - το λιγότερο σημαντικό συστατικό- συμμετέχει ελάχιστα στην ανάπτυξη της αντοχής.



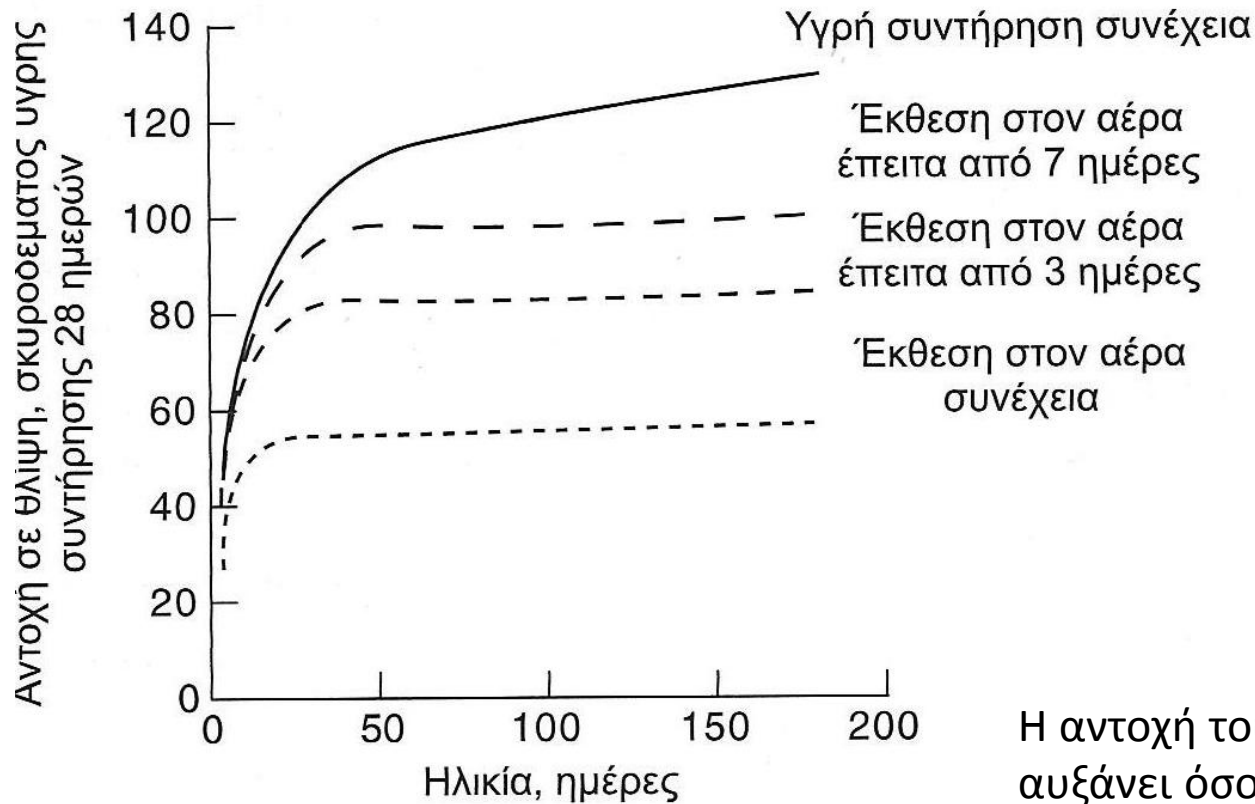
Ανάπτυξη της αντοχής των καθαρών συστατικών του τσιμέντου (4 από 4)

Η αντίδραση ενυδατώσεως σχεδόν ολοκληρώνεται στις 28 ημέρες (ουσιαστικά ποτέ) και εξαρτάται από την υγρασία περιβάλλοντος. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η επίδραση των συνθηκών περιβάλλοντος κατά την πήξη, στην ανάπτυξη της αντοχής του σκυροδέματος (η οποία αυξάνει με την παρουσία της υγρασίας για την ενυδάτωση του τσιμέντου).



Επιρροή συνθηκών συντήρησης στην αντοχή

Πηγή: Concrete Manual, 8^η έκδοση, U.S. Bureau of Reclamation, 1981

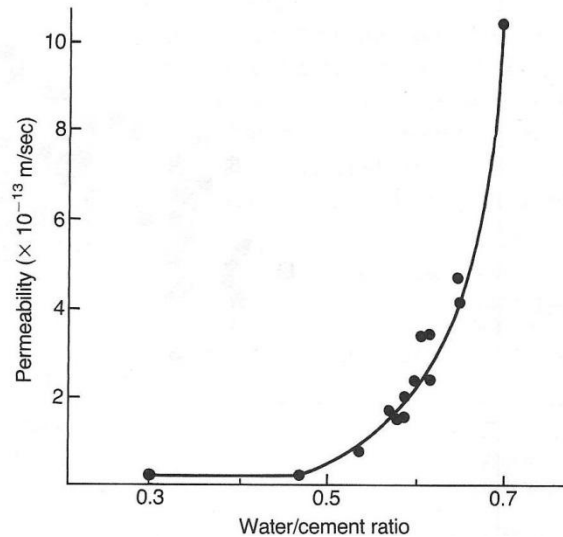


Η αντοχή του σκυροδέματος συνεχίζει να αυξάνει όσο συνυπάρχει υγρασία για την ενυδάτωση του τσιμέντου



Σχέση νερού προς τσιμέντο (1 από 2)

Υπάρχει προφανώς μια μοναδική σχέση νερού προς τσιμέντο στην οποία τα προϊόντα της 100% ενυδάτωσης πληρούν το συνολικό χώρο της τσιμεντόπαστας. Αυτή η σχέση από διάφορους ερευνητές υπολογίζεται σε 0.38-0.42. Συνήθως με μια σχέση >0.7 η τσιμεντόπαστα παρουσιάζει διαπερατότητα.



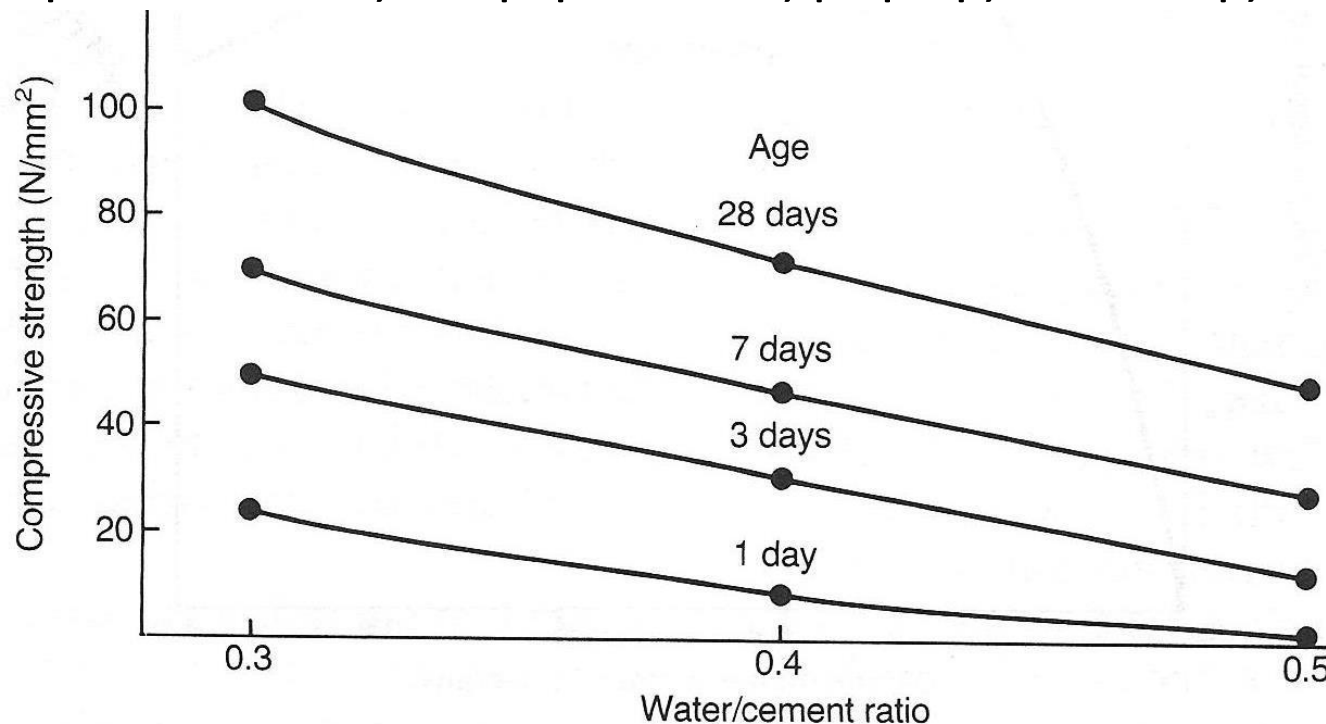
Επίδραση του λόγου νερού προς τσιμέντο στη διαπερατότητα της σκληρυμένης τσιμεντόπαστας.

Πηγή: Powers et al, 1954



Σχέση νερού προς τσιμέντου (2 από 2)

Ελάττωση του λόγου νερού προς τσιμέντο και αύξηση της ηλικίας της τσιμεντόπαστας επιφέρουν αύξηση της θλιπτικής αντοχής.

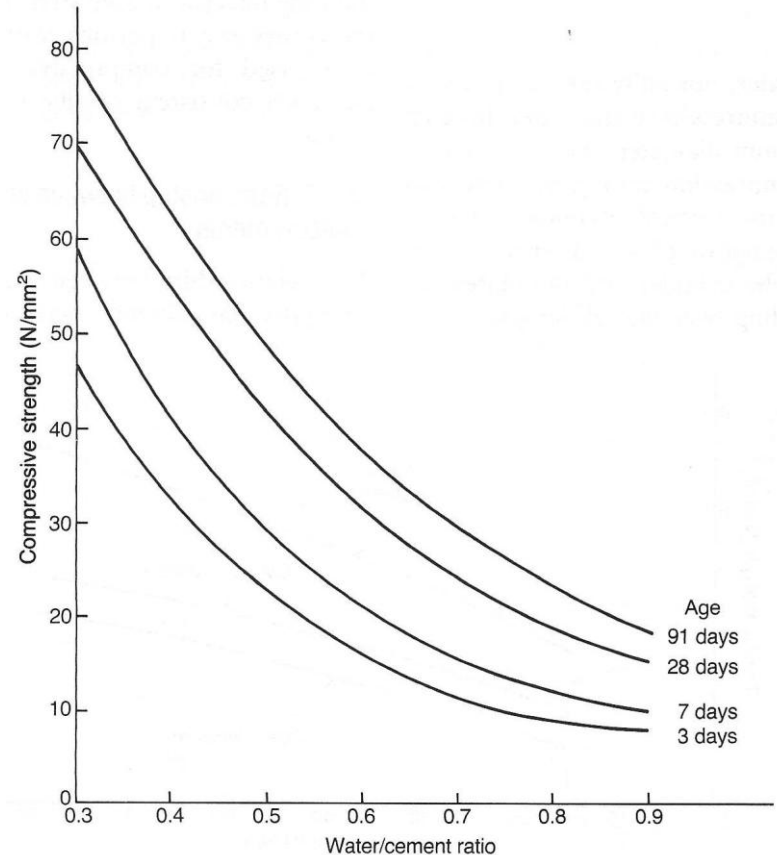


Αντοχή τσιμεντόπαστας / συντήρηση σε νερό σε σχέση με το λόγο νερού προς τσιμέντο και ηλικία (Domone and Thuraiatnam, 1986)



Επίδραση του λόγου νερό προς τσιμέντο / της ηλικίας στις αντοχές σκυροδέματος

Όπως είναι φυσικό ανάλογο διάγραμμα θα έχουμε όταν μελετούμε την επίδραση του λόγου νερό προς τσιμέντο και ηλικίας στις αντοχές του κύριου προϊόντος του τσιμέντου, του σκυροδέματος, του οποίου αποτελεί τη συνδετική κονία.



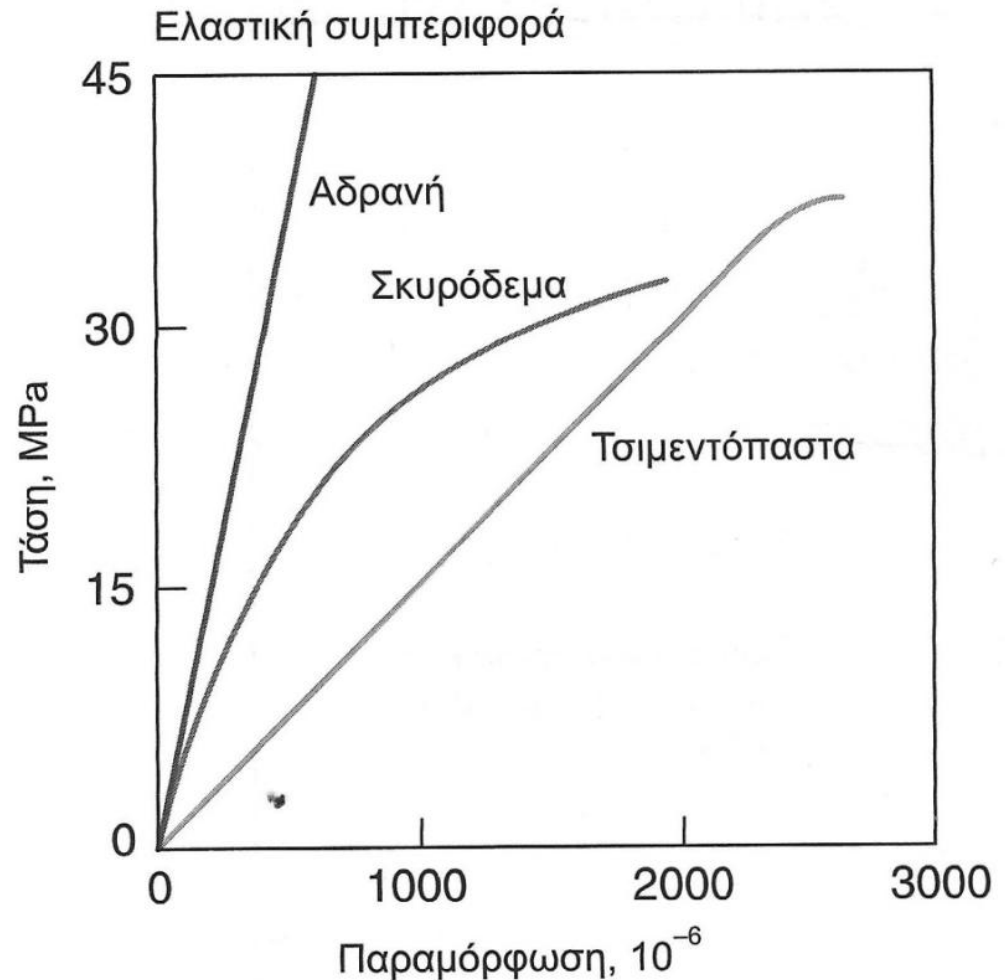
(Building Research Establishment, 1988)



Παραμορφώσεις σκληρυμένης τσιμεντόπαστας

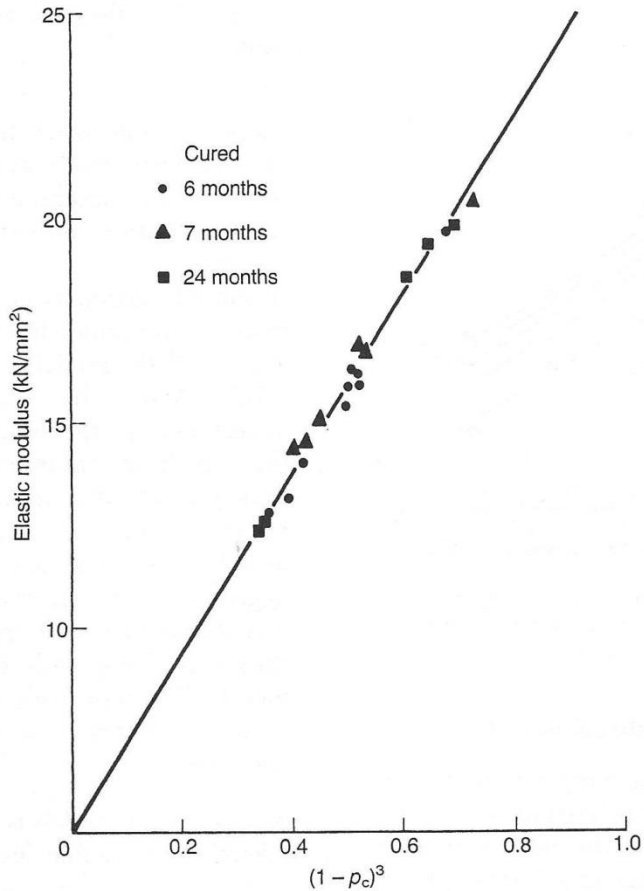
Η σκληρυμένη τσιμεντόπαστα έχει σχεδόν μια γραμμική σχέση τάσεων-παραμορφώσεων και συνεπώς το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να προσδιοριστεί από το σχετικό διάγραμμα.

Πηγή: Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, 2006- Μετάφραση: Ι. Παπαγιάννη, 2010



Τριχοειδές, πορώδες και μέτρο ελαστικότητας

Όπως αναμένεται το μέτρο ελαστικότητας E_p εξαρτάται άμεσα από το τριχοειδές πορώδες (ρ_c).

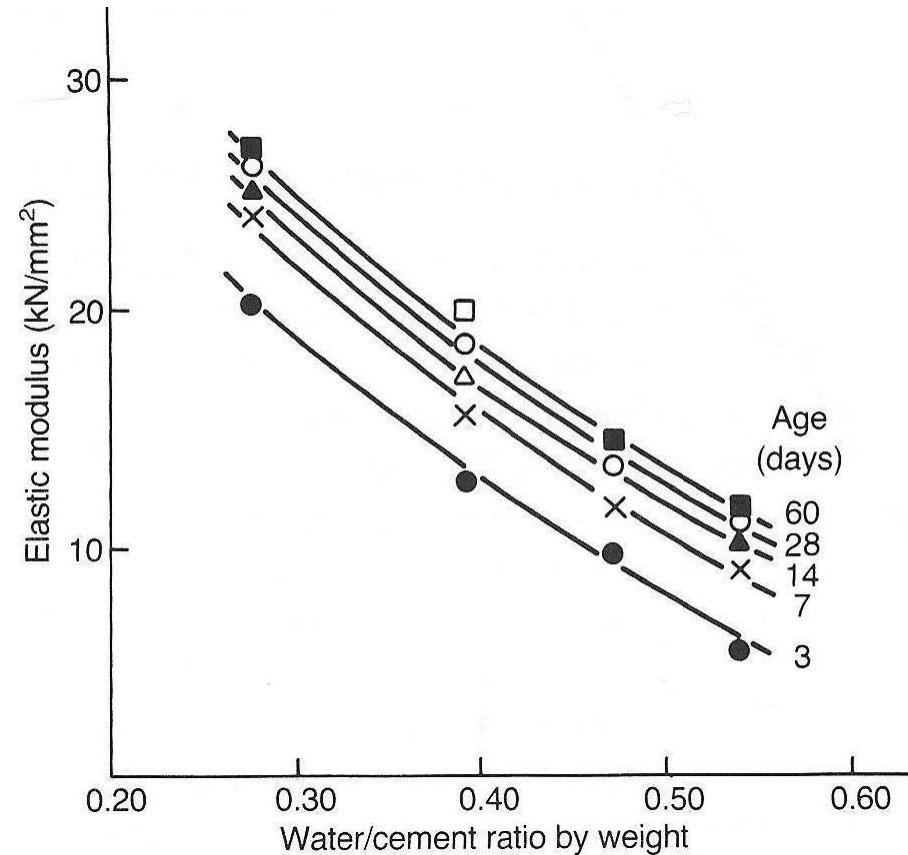


Σχέση μεταξύ τριχοειδούς πορώδους και μέτρου ελαστικότητας της σκληρυμένης τσιμεντόπαστας (Helmuth and Turk, 1966).



Σχέση λόγου νερό/τσιμέντο- μέτρο ελαστικότητας

Αυτή η σχέση (πορώδους-μέτρου ελαστικότητας) μας παραπέμπει στη σχέση πορώδους-αντοχής και συνεπώς όπως αναμένεται οι ίδιοι παράγοντες θα επηρεάζουν και την αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας. Έτσι για παράδειγμα, μειούμενου του λόγου νερό προς τσιμέντο και αυξανόμενου του χρόνου, έχουμε αύξηση του μέτρου ελαστικότητας.



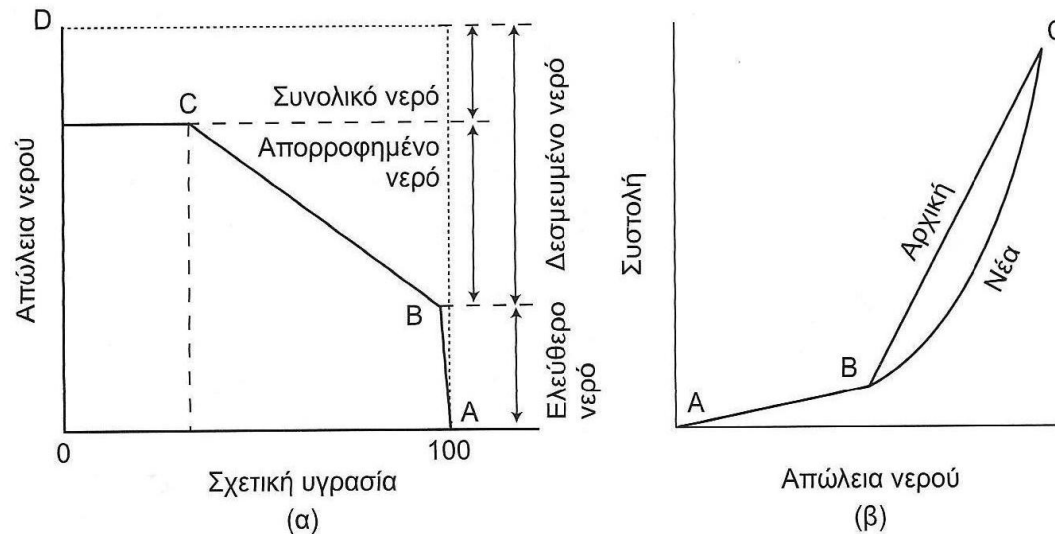
Σχέση του λόγου νερού προς τσιμέντο και του χρόνου με το μέτρο ελαστικότητας της σκληρυμένης τσιμεντόπαστας (Hirsh, 1962)



Σχέση απώλειας νερού προς τη σχετική υγρασία και σχέση της συστολής ξηράνσεως προς την απώλεια νερού

Η σκληρυμένη τσιμεντόπαστα (hcr) δεν παραμένει σταθερή στις διαστάσεις της. Αν εκτεθεί σε περιβάλλον 100% υγρασίας, δεν παρατηρούνται πρακτικές διαφορές αλλά όταν εκτεθεί σε συνθήκες περιβάλλοντος το υλικό τείνει να χάσει νερό ή να συσταλεί. Ο C. Hermite έχει περιγράψει τις σχέσεις απώλειας νερού, προς τη σχετική υγρασία και προς την συστολή ξηράνσεως.

Πηγή: Kumar Mehta and Paulo J.M. Monteiro, 2006-
Μετάφραση: Ι. Παπαγιάννη, 2010.

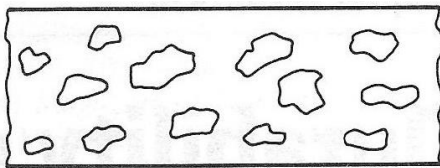


Ανθεκτικότητα της τσιμεντόπαστας

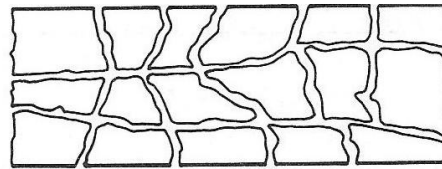
(1 από 4)

Διαπερατότητα της τσιμεντόπαστας

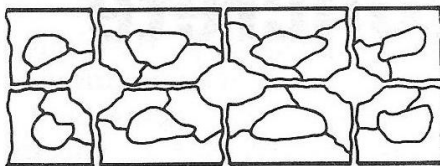
Η βασική έρευνα για τη διαπερατότητα της τσιμεντόπαστας έγινε τη δεκαετία του 1950 από τον Powers. Έχει αναφερθεί ήδη σε προηγούμενο κεφάλαιο η σχέση πορώδους και αντοχής της τσιμεντόπαστας. Η διαπερατότητα και το πορώδες δεν ταυτίζονται απαραίτητα όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



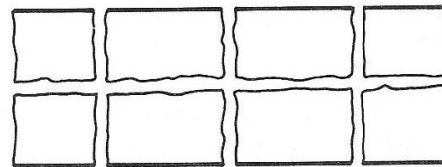
Porous, impermeable material



Porous, permeable material



High porosity, low permeability



Low porosity, high permeability

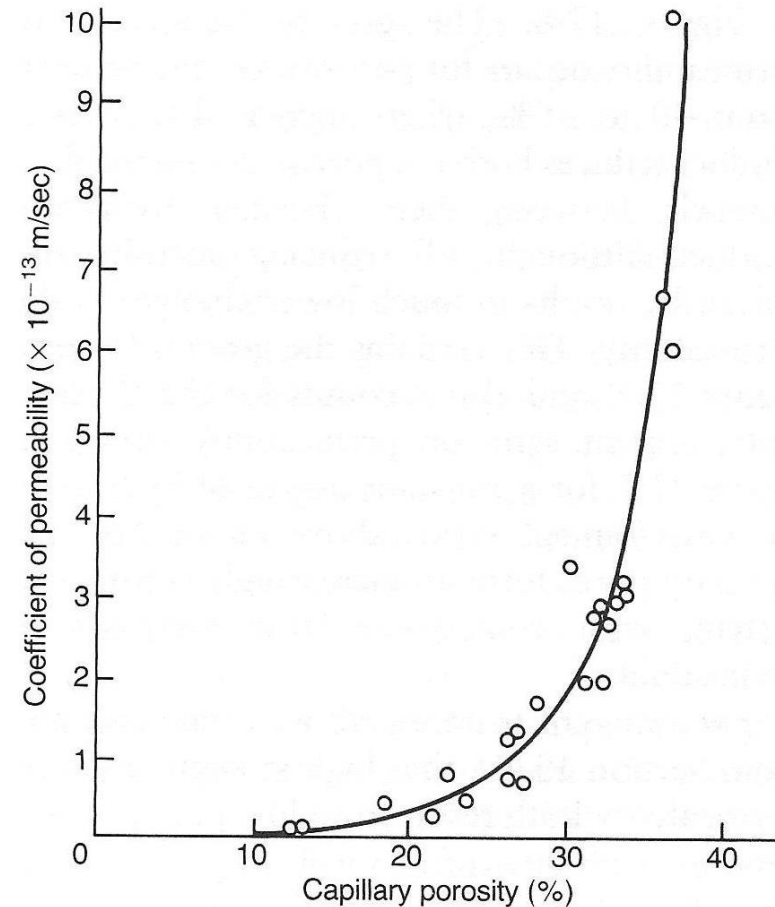
Πηγή: Concrete Society, 1988



Ανθεκτικότητα της τσιμεντόπαστας (2 από 4)

Υπάρχει όμως μια μη γραμμική σχέση μεταξύ των δύο χαρακτηριστικών.

Σχέση μεταξύ διαπερατότητας και
τριχοειδούς πορώδους της σκληρυμένης
τσιμεντόπαστας (Powers, 1958)

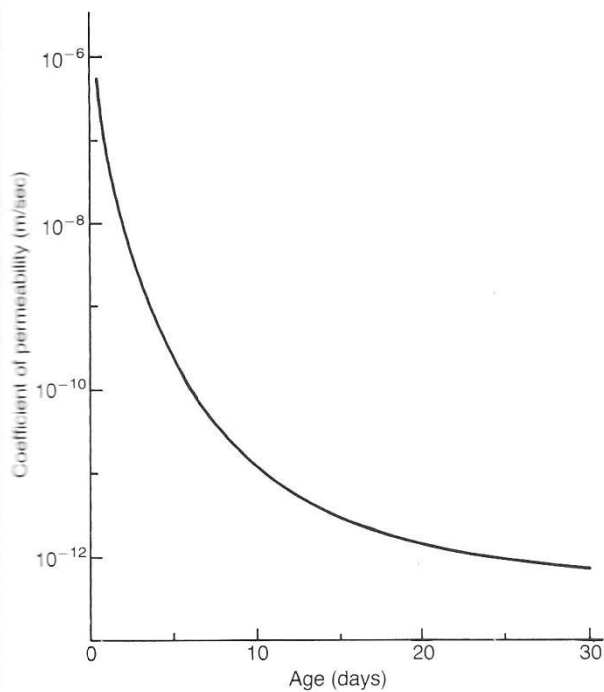


Ανθεκτικότητα της τσιμεντόπαστας (3 από 4)

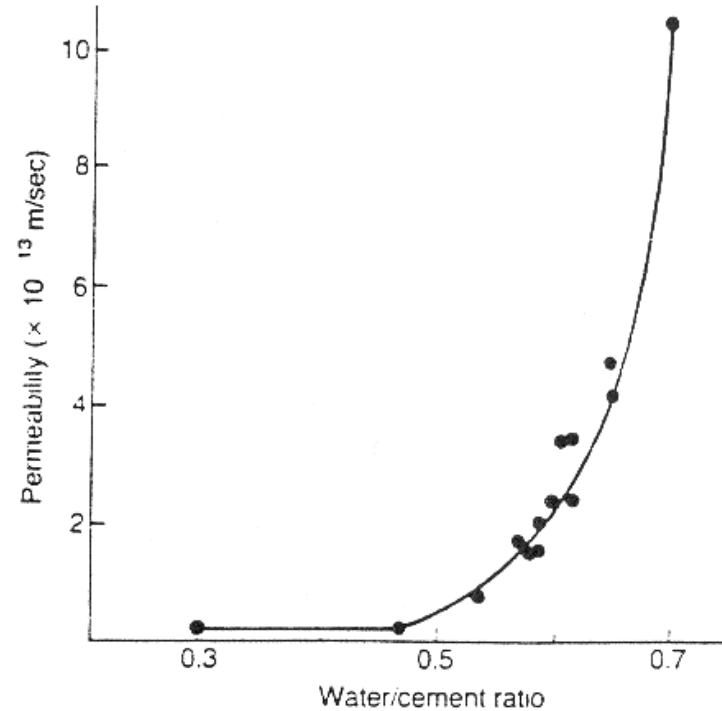
Όσο το τσιμέντο ενυδατώνεται τα προϊόντα ενυδατώσεως πληρούν τα κενά και μειώνουν τη διαπερατότητα. Πρακτικά η διαπερατότητα μειώνεται δραστικά στις πρώτες 2-3 εβδομάδες. Χαμηλοί λόγοι νερού προς τσιμέντο επιφέρουν μείωση της διαπερατότητας.



Ανθεκτικότητα της τσιμεντόπαστας (4 από 4)



Σχήμα α. Το αποτέλεσμα της ενυδάτωσης στη διαπερατότητα της τσιμεντόπαστας (νερό /τσιμέντο: 0,7).



Σχήμα β. Σχέση λόγου νερού/τσιμέντο και διαπερατότητας της τσιμεντόπαστας.

Πηγή: Powers et al, 1954



Αποσάθρωση της τσιμεντόπαστας- Προσβολή από θειικά άλατα θαλασσινών νερών (1 από 3)

Η παρουσία θειϊκού ασβεστίου με τη μορφή της γύψου σ' ένα ελεγμένο ποσοστό προστίθεται στο τσιμέντο Portland για τη ρύθμιση της πήξης. Η παρουσία όμως επί πλέον θειϊκών αλάτων που μπορεί να προέρχονται από την άμμο, τα αδρανή, το νερό ή το περιβάλλον δομικό σύστημα επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις (σχηματισμό γύψου, λευκές εναποθέσεις $Mg(OH)_2$).

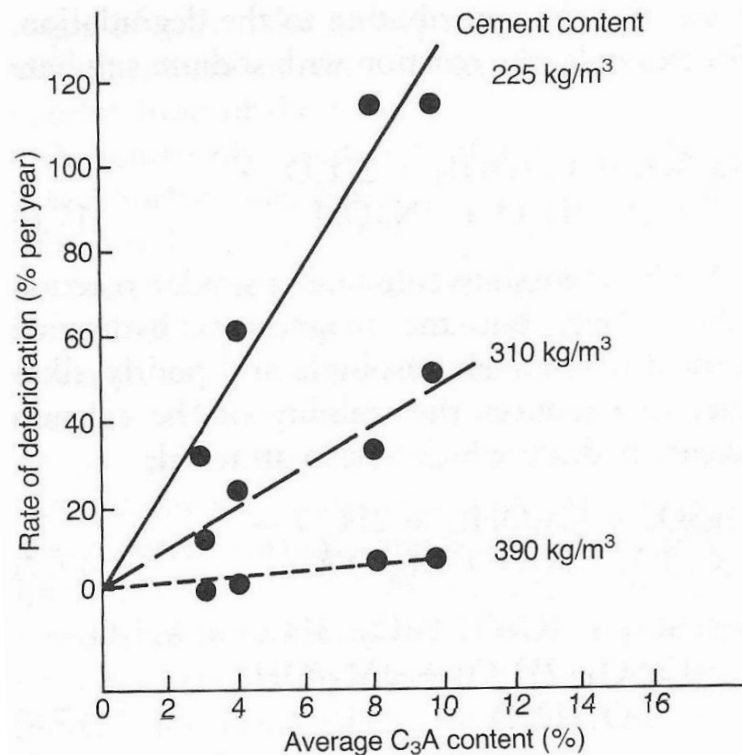
Για μια δεδομένη συγκέντρωση και τύπο των θειϊκών αλάτων, η προσβολή αυξάνει με:

- α. το ποσοστό του C_3A στο τσιμέντο,
- β. το χαμηλό ποσοστό τσιμέντου και τον υψηλό λόγο νερού προς τσιμέντου.



Αποσάθρωση της τσιμεντόπαστας- Προσβολή από θειικά άλατα θαλασσινών νερών (2 από 3)

Επίδραση του ποσοστού του C_3A του τσιμέντου και του ποσοστού του τσιμέντου του σκυροδέματος στην αποσάθρωση μέσα σε έδαφος που περιέχει 10% Na_2SO_4 (Verbeck, 1968).



Αποσάθρωση της τσιμεντόπαστας- Προσβολή από θειικά άλατα θαλασσινών νερών (3 από 3)

Το θαλασσινά νερό περιέχει διάφορα άλατα (3.5% περίπου κατά βάρος) και τα κύρια ιόντα είναι 2,0% Cl^- , 1,1% Na^+ , 0,27% SO_4^{--} , 0,12% Mg^{++} και 0,05% Ca^{++} .

Υπάρχουν πολλοί τρόποι προσβολής της τσιμεντόπαστας από θειικά άλατα ή θαλασσινό νερό και το κλειδί για περιορισμό των προβλημάτων που δημιουργούν είναι η χαμηλή διαπερατότητα της τσιμεντόπαστας.

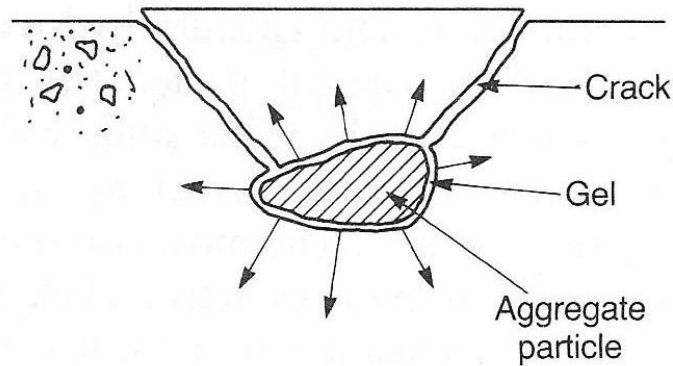


Αλκαλιο-πυριτική αντίδραση (1 από 5)

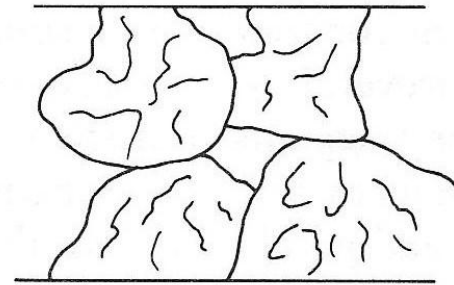
Ανάμεσα στα συστατικά της άμμου και των χονδρόκοκκων αδρανών είναι δυνατόν να συνυπάρχουν πυριτικές ενώσεις που μπορούν να αντιδράσουν με τα αλκάλια (NaOH , KOH , Ca(OH)_2) και να δώσουν προϊόντα που απορροφούν νερό με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών και φθορών στα προϊόντα του τσιμέντου. Η φύση και η χημική σύσταση αυτών των προϊόντων είναι πολύπλοκη. Η όλη πορεία του φαινομένου είναι αργή και μπορεί να απαιτηθούν χρόνια για την εμφάνιση ρωγμών στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου.



Αλκαλιο-πυριτική αντίδραση (2 από 5)



Pop-outs



Surface map cracking

Typical cracking patterns resulting from alkali-silica reaction.

Τυπικά μοντέλα ρωγμών (αποτέλεσμα της αλκαλιοπυριτικής αντίδρασης)

Πηγή: Construction Materials, Their nature and behavior, Edited by: J.M. Illston, Second Edition, E& FN Spon.



Αλκαλιο-πυριτική αντίδραση (3 από 5)

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επιδρούν στην αντίδραση είναι:

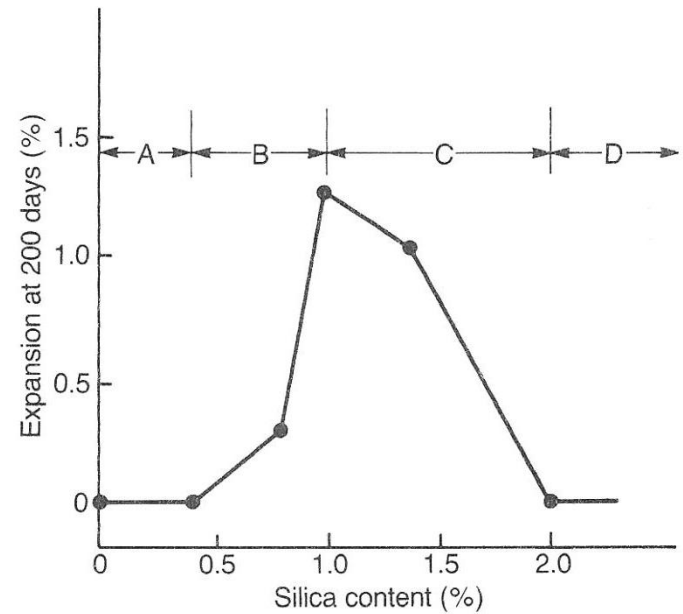
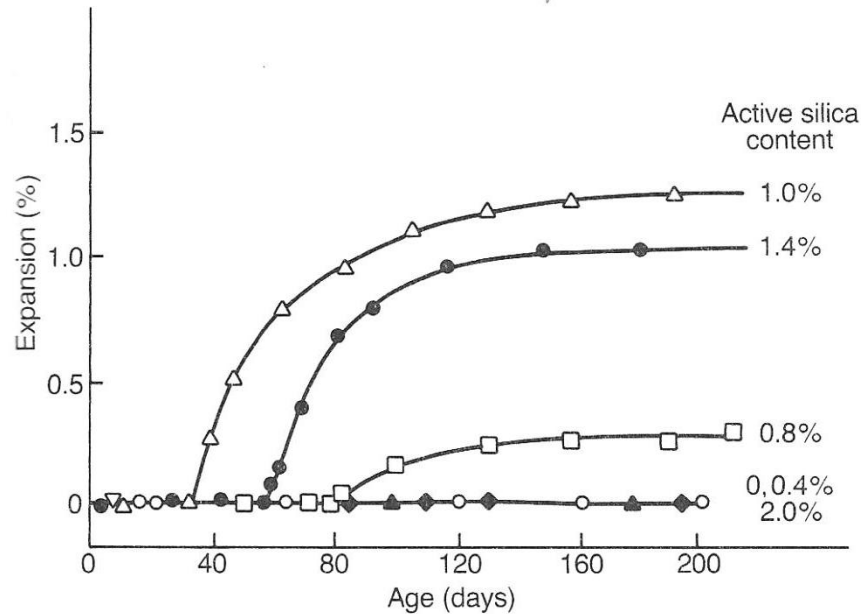
- α. το ποσοστό των υπαρχόντων αλκαλίων. Τσιμέντα με ποσοστό ισοδυνάμου Na_2O μικρότερο του 0.6% καλούνται τσιμέντα με χαμηλή περιεκτικότητα σε αλκάλια.
- β. το ποσοστό των ενεργών πυριτικών.

Υπάρχουν τέσσερις περιοχές που είναι δυνατό να καταγράψουν το φαινόμενο σχετικά με το ποσοστό των πυριτικών:

- A: χαμηλό ποσοστό \Rightarrow δεν προκαλούνται ρωγμές.
- B: επάρκεια ποσοστού \Rightarrow η αντίδραση συνεχίζεται έως ότου αντιδράσουν όλα τα πυριτικά (περίσσεια αλκαλίων).
- C: περίσσεια ποσοστού \Rightarrow η αντίδραση συνεχίζεται έως ότου αντιδράσουν όλα τα αλκάλια.
- D: πολύ υψηλό ποσοστό \Rightarrow τόσο ταχεία η αντίδραση ώστε η ανάπτυξη του gel είναι χαμηλή για να δημιουργήσει ρωγμές στο σκληρυμένο κονίαμα.



Αλκαλιο-πυριτική αντίδραση (4 από 5)



(W/C=0,53, A/C=3,75, Na₂O=0,44 kg/m³)

Επίδραση της ηλικίας και του ενεργού ποσοστού των πυριτικών στη διόγκωση των κονιαμάτων από την αλκαλιοπυριτική αντίδραση (Hobbs, 1988)



Αλκαλιο-πυριτική αντίδραση (5 από 5)

- γ. το μέγεθος των αδρανών (τα λεπτόκοκκα προξενούν και μεγαλύτερη διόγκωση).
- δ. η παρουσία υγρασίας και η θερμοκρασία περιβάλλοντος που ευνοούν την αντίδραση.

Για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου δημιουργίας της αλκαλιοπυριτικής αντίδρασης πρέπει να λαμβάνονται ορισμένα μέτρα:

1. Αποφυγή χρήσης αδρανών με ενεργά πυριτικά που έχει αποδειχθεί ότι δημιουργούν σχετικό πρόβλημα.
2. Περιορισμός του ποσοστού των αλκαλίων στο τσιμέντο π.χ. $< 0.6\%$ ή αντικατάσταση μέρους του τσιμέντου με εναλλακτικά ποζολανικά υλικά π.χ. ιπτάμενη τέφρα.



Εναλλακτικά υλικά τσιμέντου (1 από 2)

Η μείωση του κόστους του τσιμέντου και παράλληλα η βελτίωση των ιδιοτήτων του, ήταν οι λόγοι που οδήγησαν στην παραγωγή μιγμάτων τσιμέντου και άλλων πρόσθετων. Ουσιαστικά τα πρόσθετα τσιμέντου είναι τσιμέντου είναι τριών ειδών:

1) Ποζολάνες που είναι φυσικές (π.χ. ηφαιστιογενή υλικά, όπως η θηραϊκή γη ή τεχνητές όπως η ιπτάμενη τέφρα που είναι λεπτά διαμερισμένη κονία, που προέρχεται από τα κατάλοιπα της καύσης λιγνιτών ή γαιανθράκων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Πτολεμαΐδα, Μεγαλόπολη). Ως ποζολάνη ορίζεται ένα πυριτικό ή ένα αργιλοπυριτικό υλικό που μόνο του έχει μικρή ή μηδενική τσιμεντοειδή συμπεριφορά, αλλά σε λεπτό διαμερισμό και με την παρουσία υγρασίας αντιδρά χημικά με το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ που ελευθερώνεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενώσεων σε κανονικές θερμοκρασίες, που έχουν τσιμεντοειδείς ιδιότητες (υδραυλικές-συνδετικές).



Εναλλακτικά υλικά τσιμέντου (2 από 2)

- 2) Σκωρίες υψικαμίνων που σε λεπτό διαμερισμό έχουν τσιμεντοειδή συμπεριφορά αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσια στην κατασκευή. Σε συνδυασμό με τσιμέντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλά η ενυδάτωση των σκωριών επιταχύνεται με την παρουσία του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και της γύψου.
- 3) Πυριτική παιπάλη (silica fume, microsilica) παραπροϊόν της παραγωγής πυριτίου.
- 4) Φίλλερ όπως παιπάλη λατομείου που δεν παρουσιάζει τσιμεντοειδείς ιδιότητες αλλά βελτιώνει το εργάσιμο.



Τυπική σύσταση οξειδίων ποζολανικών υλικών

Η τυπική σύσταση τέτοιων ποζολανικών υλικών δίνεται στον επόμενο πίνακα (pfa: ιπτάμενη τέφρα ggb: σκουρία. csf: πυριτική παιπάλη)

Oxide	pfa		ggb	scsf	Portland cement
	Low lime	High lime			
	(% by weight)				
SiO ₂	48	48	36	97	28
Al ₂ O ₃	27	18	9	2	5
Fe ₂ O ₃	9	8	1	8.1	4
MgO	2	4	11	8.1	1
GaO	3	28	48	—	64
Na ₂ O	1	—	—	—	0.2
K ₂ O	4	—	—	—	0.5



Σύσταση ελληνικών ιπτάμενων τεφρών διαφόρων ΑΗΣ

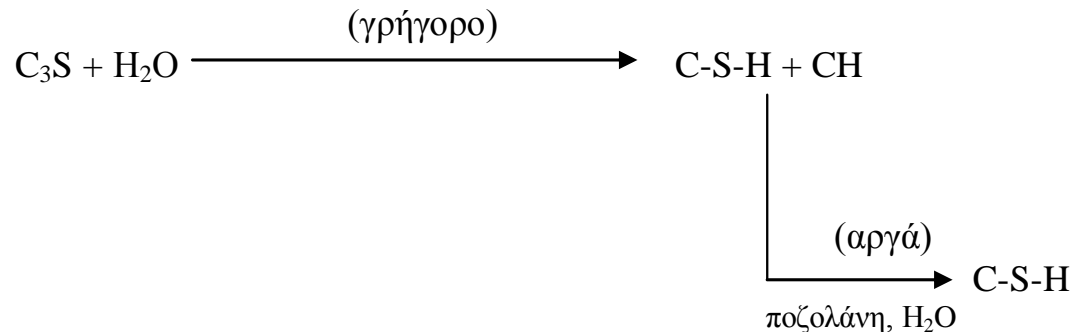
Αντίστοιχα, στον παρακάτω πίνακα δίνεται η σύσταση ελληνικών ιπτάμενων τεφρών ενώ γίνεται σοβαρή προσπάθεια θέσπισης προδιαγραφών τους λόγω της δράσεως αλλά και του «περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος» που περικλείουν.

	Agios Dimitrios %	Kardia %	Ptolemaida %	Amyntaio %	Megalopolis %
SiO ₂	33-42	26-34	28-41	31-38	47-52
Al ₂ O ₃	9-12	12-17	13-19	17-21	12-22
CaO	29-38	33-41	23-39	27-35	5-15
Fe ₂ O ₃	5-6	4.5-5.5	4-7	2.5-4	5-10
TiO ₂	0.7-0.9	0.2-0.5	0.2-0.5	0.7-1.2	-
MgO	4-6	2-6	2-4	3-5	1.5-3
K ₂ O	0.8-1	0.5-1	1.2-1.5	0.6-1.2	1.5-3
Na ₂ O	0.5-1.5	0.3-0.6	0.3-0.8	0.5-0.7	0.3-0.7
SO ₃	4-9	6-8	6-8	4-9	3-5



Ποζολανική αντίδραση (1 από 4)

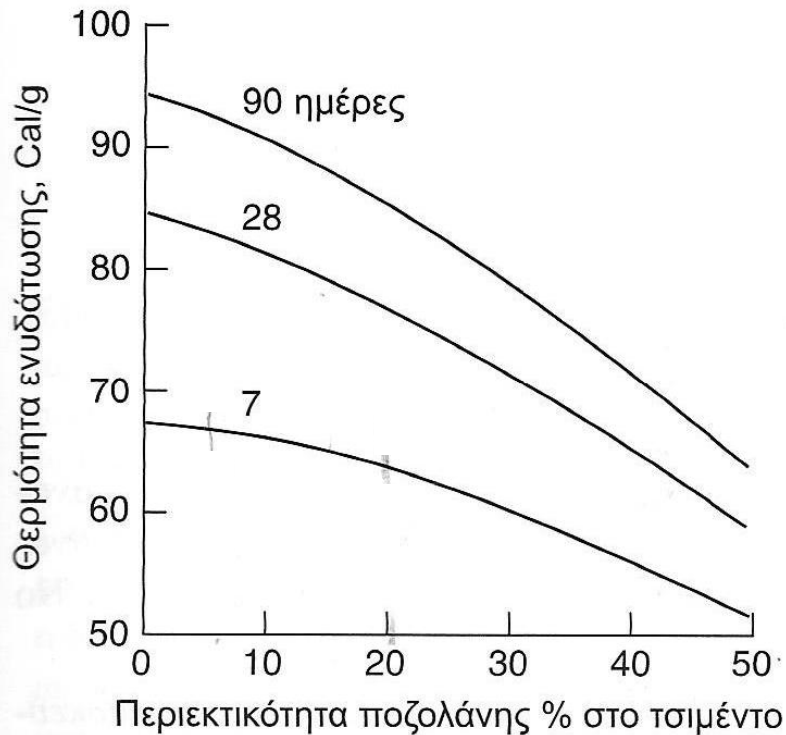
Η ποζολανική αντίδραση είναι η αντίδραση μεταξύ μιας ποζολάνης και του $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Έτσι σε σύγκριση με το τσιμέντο:



Με την αύξηση του ποσοστού της ποζολάνης στο τσιμέντο μειώνεται η θερμότητα της ενυδατώσεως (τσιμέντα χαμηλής θερμότητας ενυδατώσεως, κατάλληλα για ογκώδη έργα).



Ποζολανική αντίδραση (2 από 4)



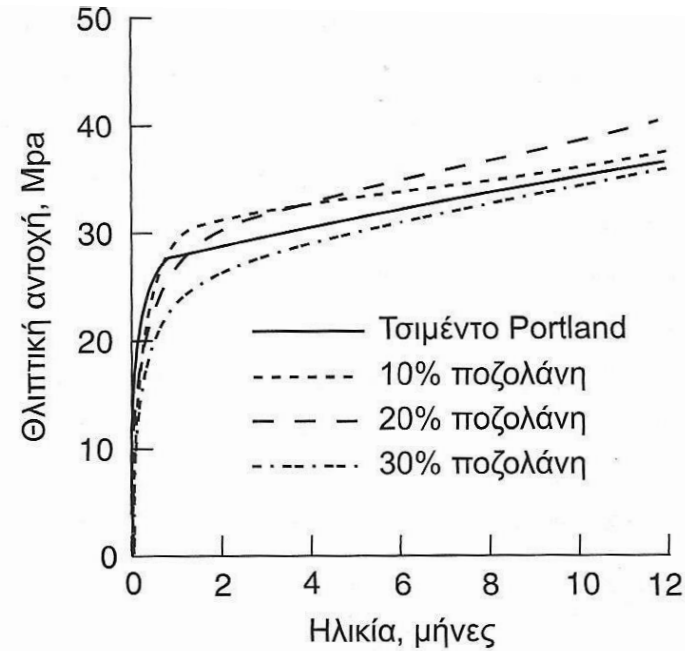
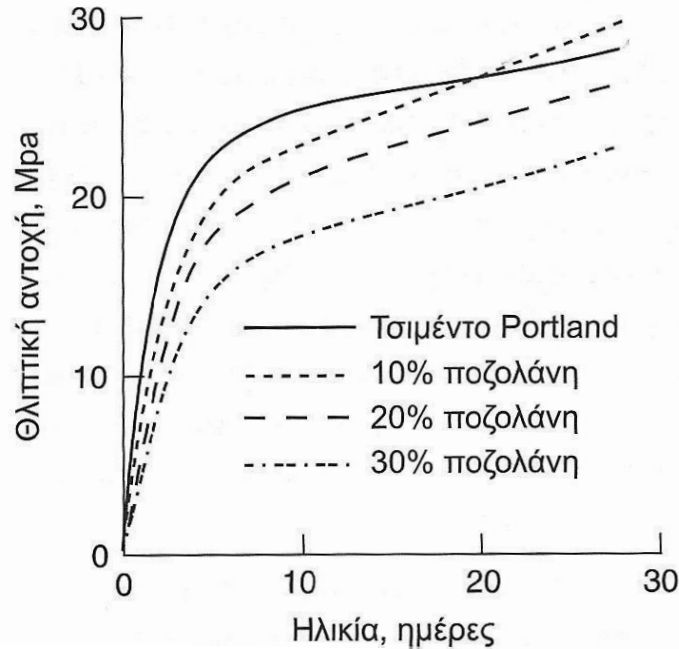
Επίδραση της αντικατάστασης του τσιμέντου με φυσική ποζολάνη στη θερμότητα ενυδατώσεως.

Σχετικά με την επίδραση των ποζολανών στην αντοχή παρατηρείται μια πιο αργή ανάπτυξη της σε πρώιμους σε σύγκριση με το καθαρό τσιμέντο Portland.

(Πηγή: Massazza F. and U. Costa, Il Cementa, Τόμος 76, σελ.13, 1979)



Ποζολανική αντίδραση (3 από 4)



Αντοχές μιγμάτων τσιμέντου με ελληνική φυσική ποζολάνη (τσιμέντο με λεπτότητα $<400\text{m}^2/\text{kg}$, Blaine)

Πηγή: ανατύπωση με την έγκριση του Mehta P.K., Cem. Concr. Res., Τόμος 11, Νο4, Pergamon Press

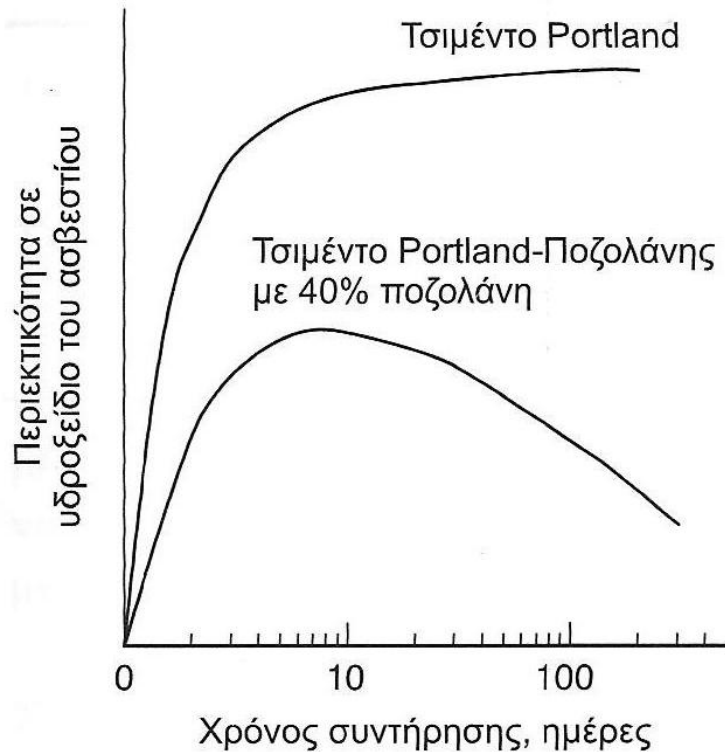


Ποζολανική αντίδραση (4 από 4)

Αναφορικά με την επίδραση στην ανθεκτικότητα : Τα τσιμέντα που περιέχουν ποζολάνες παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση σε θειϊκές ή όξινες προσβολές. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στη δέσμευση του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ με την ποζολανική αντίδραση.



Επίδραση του χρόνου στερεοποίησης και της ποζολάνης στο υδροξείδιο του ασβεστίου του τσιμέντου.

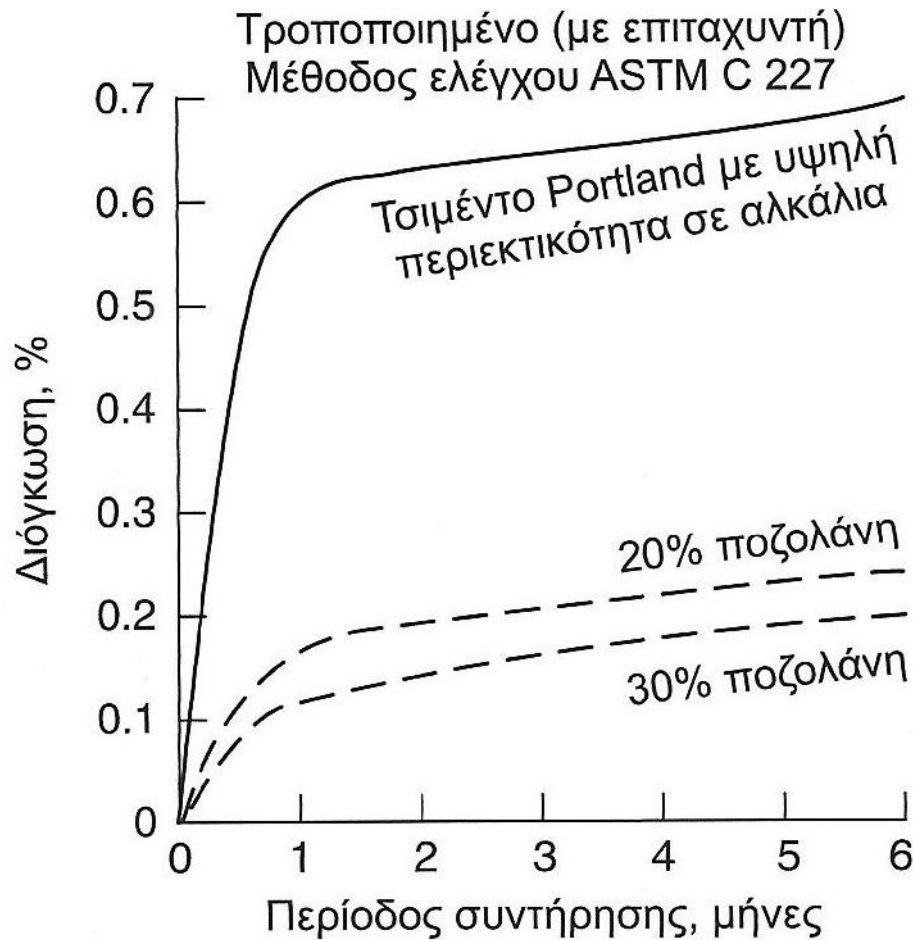


Επίσης οι ποζολάνες είναι γενικά πολύ αποτελεσματικές στη μείωση της διόγκωσης που συνοδεύει την αλκαλική αντίδραση των αδρανών.

Πηγή: Lea F.M, The Chemistry and Concrete, Chemical Publishing Company, New York, σελ. 442, 481, 1971 με την άδεια του εκδότη Edward Arnold (εκδότες).



Επίδραση της προσθήκης ποζολάνης στη διόγκωση (από την αλκαλιοπυριτική αντίδραση)

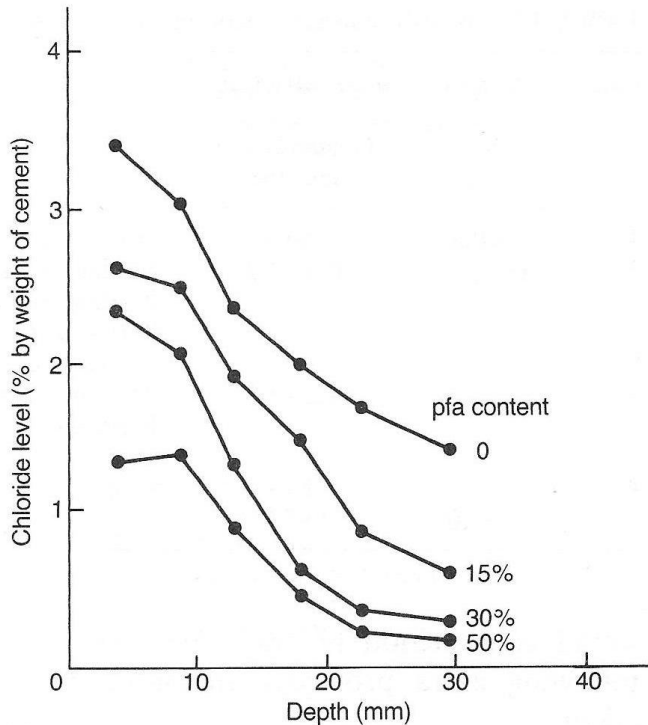


Πηγή: ανατύπωση με την έγκριση του Mehta P.K., Cem. Concr. Res., Τόμος 11, Νο4, Pergamon Press.



Ιπτάμενη τέφρα και Cl-

Εξάλλου η παρουσία ιπτάμενης τέφρας περιορίζει τη συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου τα οποία συνεργούν στη διάβρωση του οπλισμού του σκυροδέματος.

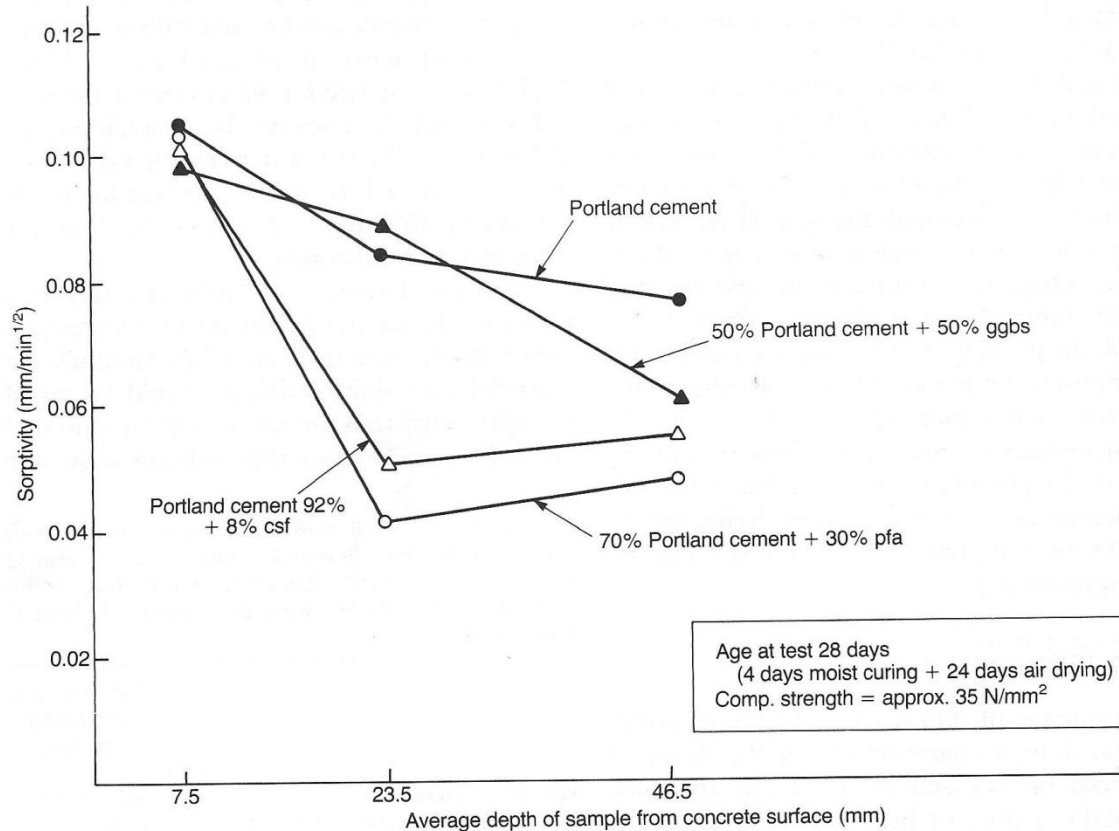


Τέλος, η προσθήκη ποζολανικών υλικών προκαλεί μείωση υγροσκοπικότητας στο εσωτερικό.

Συγκέντρωση ιόντων χλωρίου σε διάφορα βάθη σκυροδέματος μετά την έκθεση σε ρεύμα θάλασσας σε σχέση με την προσθήκη ιπτάμενης τέφρας στο τσιμέντο (Thomas et al., 1990).



Διαφοροποίηση της υγροσκοπικότητας με την απόσταση από την επιφάνεια σκυροδέματος



(Barnforth and Pocock, 1990).



Τύποι τσιμέντου (1 από 3)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διαφορετική σύσταση (ποιοτική και ποσοτική) των τσιμέντων οδηγεί σε τύπους τσιμέντων με διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία καθορίζουν και τις ιδιότητες των προϊόντων τους.

Για παράδειγμα εάν ένας τύπος τσιμέντου παράγεται με υψηλότερο ποσοστό C_3S και χαμηλότερο ποσοστό C_2S (όπως ο τύπος Β στον πίνακα της διαφάνειας 17), αυτός ο τύπος θα έχει μεγαλύτερο βαθμό ανάπτυξης της αντοχής από το τσιμέντο Α -αλλά αυτό δεν σημαίνει και γρήγορη πήξη. γρήγορη σκλήρυνση μπορεί να επιτευχθεί με λεπτότερη άλεση του τσιμέντου με αποτέλεσμα να τη μεγαλύτερη επιφάνεια που εκτίθεται στο νερό ανάμιξης. Συνέπεια της γρήγορης σκλήρυνσης είναι ο υψηλότερος βαθμός της εκλυόμενης θερμότητας στα πρώτα στάδια της ενυδάτωσης.



Τύποι τσιμέντου (2 από 3)

- Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο τύπος C του πίνακα 1. Αυτό: έχει ένα χαμηλότερο ποσοστό C_3S και υψηλότερο ποσοστό C_2S με αποτέλεσμα το χαμηλότερο βαθμό της εκλυόμενης θερμότητας στις πρώτες μέρες και είναι συνεπώς σημαντικό στοιχείο η μείωση του κινδύνου των ρηγματώσεων από θερμοκρασιακές μεταβολές σε περιπτώσεις παραγωγής μεγάλων όγκων σκυροδέματος. Αυτά τα τσιμέντα καλούνται τσιμέντα χαμηλής θερμότητας ενυδατώσεως αλλά έχουν το μειονέκτημα του χαμηλού βαθμού ανάπτυξης των αντοχών.



Τύποι τσιμέντου (3 από 3)

- Το τσιμέντο τύπου D (διαφάνεια 17) έχει χαμηλό ποσοστό C_3A και είναι παράδειγμα τσιμέντου ανθεκτικού στα θειϊκά. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο της ανθεκτικότητας τα προϊόντα της αντιδράσεως των θειϊκών αλάτων με τα παράγωγα της ενυδάτωσης του τσιμέντου διογκώνονται και οδηγούν σε ρηγματώσεις και απώλεια αντοχής.



- Συνεπώς τα τσιμέντα με χαμηλή περιεκτικότητα σε C_3A ενισχύουν την αντίσταση στην προσβολή με θειϊκά. Το γκριζο χρώμα των περισσότερων τσιμέντων Portland οφείλεται στο C_4AF που προέρχεται από τις πρώτες ύλες παραγωγής τους. Η χρήση πρώτων υλών ελεύθερων από C_4AF π.χ. china clay, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή άσπρου τσιμέντου.



Εξελίξεις στον τομέα του τσιμέντου (1 από 3)

- Η παραγωγή του τσιμέντου είναι μια ενεργοβόρα διαδικασία (η ενέργεια παραγωγής είναι πάνω από το 50% του κόστους παραγωγής) και παράλληλα είναι υπεύθυνη για τα CO₂ και NO_x που παράγονται ταυτόχρονα. Όλες οι προσπάθειες στις σύγχρονες μεθόδους παραγωγής του τσιμέντου τείνουν -χωρίς προβλήματα ποιότητας του παραγόμενου τσιμέντου- να ελαττώσουν την κατανάλωση καυσίμων και να περιορίσουν το ποσοστό των ανεπιθύμητων αερίων.



Εξελίξεις στον τομέα του τσιμέντου (2 από 3)

- Πράγματι, δεν υπάρχει οικονομικά εναλλακτική λύση στο τσιμέντο ως συνδετική ύλη για το σκυρόδεμα και τα ισχυρά κονιάματα στις σύγχρονες κατασκευές που έχουν σχεδιαστεί για μακροπρόθεσμη, ικανοποιητική λειτουργικότητα κάτω από μια ευρεία περιοχή κλιματολογικών συνθηκών σ' όλα τα μέρη του κόσμου. Η παραγωγή του όμως συνοδεύεται από την ετήσια συμπαράγωγή ενός εκατομμυρίου τόνων CO₂ (περίπου 5% της συνολικής παγκόσμιας εκπομπής), οι οποίοι συμβάλλουν σημαντικά στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος.



Εξελίξεις στον τομέα του τσιμέντου (3 από 3)

- Προς την κατεύθυνση αυτή προτείνονται από τον Mehta τσιμέντα Portland τροποποιημένης σύστασης τα οποία συνοδεύονται από παραγωγή μικρότερου ποσοστού CO₂ κατά την παραγωγή τους. Οι έρευνες στον τομέα αυτό είναι πολύπλευρες με εντυπωσιακά αποτελέσματα και έτσι είναι βάσιμη η ελπίδα ότι σύντομα θα χρησιμοποιείται ένα «οικολογικό τσιμέντο» στη θέση του τσιμέντου Portland.



I. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (1 από 10) κατά ΚΣ-1980

Τύποι, πρόσθετα και κατηγορίες τσιμέντων ,σύμφωνα με τον κανονισμό τσιμέντου για έργα από σκυρόδεμα.

1. Επιτρέπεται κατά κανόνα η χρήση τσιμέντου μόνο:

-Τύπου I – Portland.

-Τύπου II - Portland με ποζολάνη (Portland Pozzolan).

-Τύπου III - Ποζολανικού (Pozzolanic).

-Τύπου IV -Portland ανθεκτικού στα θειικά (Portland sulfate resisting).



Ι. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (2 από 10)

2. Τσιμέντα Portland αμιγή χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα τα περιεχόμενα από συνάλεση Κλίνκερ και γύψου. Στα τσιμέντα αυτά επιτρέπεται η προσθήκη φίλλερ μέχρι 3% κατά βάρος (οπότε το κλίνκερ μαζί με το γύψο πρέπει να είναι τουλάχιστο το 97% κατά βάρος).

3. Τσιμέντα Portland με ποζολάνη χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα τα προερχόμενα από συνάλεση Κλίνκερ Portland ποζολάνης φυσικής ή τεχνητής και του απαραίτητου γύψου. Το ποσοστό της ποζολάνης ορίζεται από το αδιάλυτο υπόλειμμα του τσιμέντου, το οποίο πρέπει να είναι 20% κατά μέγιστο. Τα τσιμέντα αυτά δεν είναι απαραίτητο να ικανοποιούν την δοκιμή ποζολανικότητας του άρθρου 7 παραγρ. 6.11. Ειδικά το τσιμέντο με 10% αδιάλυτο υπόλειμμα ονομάζεται, ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΟΡΤΛΑΝΤ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ>>(I Ια).



Ι. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (3 από 10)

4. Ποζολανικά Τσιμέντα Portland χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα τα προερχόμενα από συνάλεση Κλίνκερ Portland ,ποζολάνης τεχνητής ή φυσικής και του απαραίτητου γύψου. Το ποσοστό της ποζολάνης καθορίζεται από το αδιάλυτο υπόλειμμα του τσιμέντου το οποίο πρέπει να είναι από 20-40%.Τα τσιμέντα αυτά συνιστώνται ιδιαίτερα για έργα ογκώδη ,όπου απαιτείται χαμηλός βαθμός θερμότητας ενυδατώσεως ή βελτιωμένη αντοχή έναντι διαβρωτικών μέσων. Τα ποζολανικά τσιμέντα Πρέπει να ικανοποιούν τη δοκιμή ποζολανικότητας (Pozzollanicity test) του άρθρου 7 ,παραγρ.6.11.



Ι. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (4 από 10)

5. Τα τσιμέντα Portland ανθεκτικά στα θειϊκά άλατα και στο θαλάσσιο νερό, χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα τα προερχόμενα από συνάλεση Κλίνκερ Portland και γύψου.

Για τα τσιμέντα αυτά το αργιλικό τριασβέστιο (C_3A) υπολογιζόμενο με τον τύπο $C_3A = 2,65 \cdot A_1_2O_3 - 1,692 \cdot Fe_2O_3$ πρέπει να είναι μικρότερο του 3,5% ,ή δε περιεκτικότητα σε SO_3 να μην υπερβαίνει το 2,5%.



I. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (5 από 10)

6. Ποζολάνες είναι φυσικά ή τεχνητά πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, η χαρακτηριστική ιδιότητα των οποίων είναι σε λεπτότατο καταμερισμό και με την παρουσία υγρασίας, να ενώνονται χημικά με την υδραύσβεστο, στη συνήθη θερμοκρασία και να σχηματίζουν ενώσεις υδραυλικές. Στις ποζολάνες περιλαμβάνονται διάφορες ηφαίστειες γαίες. Στις τεχνητές ποζολάνες υπάγονται και οι ιπτάμενες τέφρες, εφ' όσον έχουν ποζολανικές ή και υδραυλικές ιδιότητες.

- Υδραυλική ιδιότητα είναι η ικανότητα που έχει ένα υλικό όταν σε λεπτόκοκκο διαμερισμό μετά από ανάμειξη με νερό πήζει και σκληρύνεται στον αέρα ή υπό το νερό.



I. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (6 από 10)

7. Φίλλερ είναι προϊόντα που λαμβάνονται από θραύση ή κονιοποίηση ορισμένων φυσικών ή τεχνητών υλικών (ασβεστολίθων, βασάλτου, σκωριών, γης διατόμων, μπεντονίτου, ιπταμένων τεφρών, κ.λ.π) και τα οποία σε κατάλληλη λεπτότητα επιδρούν ευνοϊκά σε ορισμένες ιδιότητες των από τσιμέντο σκυροδεμάτων (αύξηση εργασίμου , ελάττωση της διαπερατότητας και των τριχοειδών , μείωση της τάσεως ρηγματώσεως κ.λ.π)

Τα φίλλερ είναι αδρανή αν δεν ασκούν καμμία χημική δράση στα τσιμέντα, παρουσία νερού. Αντίθετα θεωρούνται ενεργά αν παρουσιάζουν υδραυλικές ή ποζολανικές ιδιότητες, παρουσία τσιμέντου και νερού.



Ι. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (7 από 10)

8. Σε όλες τις κατηγορίες τσιμέντου επιτρέπεται η προσθήκη μικρών ποσοστών ουσιών ως βοηθητικών της αλέσεως (βελτιωτικά αλέσεως) εφ' όσον δεν επηρεάζουν δυσμενώς τις απαιτήσεις ποιότητας του τσιμέντου.

9. Κατηγορίες τσιμέντων : Από απόψεως αντοχών όλα τα τσιμέντα κατατάσσονται στις κατωτέρω τρεις κατηγορίες:

- Κατηγορία 35
- Κατηγορία 45
- Κατηγορία 55



I. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (8 από 10)

Οι κατηγορίες αυτές καθορίζονται από τις αντοχές του τσιμέντου (των 28 ημερών), σύμφωνα με τον Πίνακα 1 του άρθρου 5 του κανονισμού.

- Χαρακτηριστικές ιδιότητες των τσιμέντων.(άρθρο 5)

1. Η περιεκτικότητα του τσιμέντου σε Μαγνησία (MgO) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 6%, η δε σε τριοξείδιο του θείου (SO_3) το 3,5%, εφ' όσον δε η ειδική επιφάνεια είναι μεγαλύτερη των $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$, το SO_3 επιτρέπεται να φθάνει μέχρι 4,0 %. Η απώλεια πυρώσεως του τσιμέντου κατά την παράδοση στο εργοστάσιο επιτρέπεται να ανέρχεται κατ' ανώτατο όριο μέχρι 5%. Το αδιάλυτο υπόλειμμα του αμιγούς τσιμέντου Portland δεν πρέπει να υπερβαίνει το 3 %, του ανθεκτικού στα θειϊκά το 1,5 % του δε τσιμέντου Portland με ποζολάνη το 20 % και του ποζολανικού το 40 %.



Ι. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (9 από 10)

2. Η λεπτότητα αλέσεως του τσιμέντου πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το υπόλειμμα στο κόσκινο των 4900 βροχίδων να μην είναι μεγαλύτερο του 10% ,η δε ειδική επιφάνεια αυτού (συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας των κόκκων ενός γραμμαρίου τσιμέντου), που προσδιορίζεται με τη συσκευή Blaine πρέπει να είναι τουλάχιστον $2600\text{cm}^2/\text{g}$.

3. Η πήξη του τσιμέντου, όταν ελέγχεται με τη συσκευή VICAT, πρέπει να αρχίζει όχι νωρίτερα από 1 ώρα και να λήγει όχι αργότερα από 8 ώρες, από την προσθήκη του νερού στο τσιμέντο της παρασκευής του κανονικού πολτού.



Ι. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (10 από 10)

4. Το τσιμέντο πρέπει να παρουσιάζει σταθερότητα όγκου. Η διόγκωση του όταν μετριέται με την μέθοδο προσδιορισμού σταθερότητας όγκου, πρέπει να είναι μικρότερη των 10mm.

5. Δοκίμια από κονιάματα τσιμέντου με πρότυπη άμμο, που παρασκευάζονται και ελέγχονται σύμφωνα με τα καθοριζόμενα πρέπει να παρουσιάζονται ανάλογα με την κατηγορία του τσιμέντου, τις αντοχές του Πίνακα που ακολουθεί.



Αντοχή σε θλίψη τσιμέντου

Κατηγορία αντοχών (ονομαστική)	Αντοχή σε θλίψη σε N/mm^2			
	2 ημερών ελάχιστη τιμή	7 ημερών ελάχιστη τιμή	28 ημερών	
			Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
35	-	15	25	45
45	10	-	35	55
55	15	-	45	(χωρίς όριο)

* $1 \text{ N/mm}^2 = 10,2 \text{ Kgf / cm}^2 = 1 \text{ MPa}$



II. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ κατά EN197-1

European standards EN 197-1 Cement Composition

Cement Type	Designation	Notation	Clinker K	G.G.B.S. S	Silica fume D	Pozzolana		Fly ashes		Burnt Shale T	Limestone		Minor Additional constit.	
						Natural P	Industrial Q	Silic. V	Calcar W		L	LL		
I	Portland Cement	I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
II	Portland Slag Cement	II / A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		II / B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland Silica Fume Cement	II / A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland Pozzolana Cement	II / A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		II / B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		II / A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		II / B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland Fly Ash Cement	II / A-V	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		II / B-V	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		II / A-W	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
II / B-W		65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5	
Portland Burnt Shale Cement	II / A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
	II / B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
Portland Limestone Cement	II / A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
	II / B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
	II / A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
	II / B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
Portland Composite Cement	II / A-M	80-94	<-----6-20----->											
	II / B-M	65-79	<-----21-35----->											
III	Blastfurnace Cement	III / A	35-64	35-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		III / B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		III / C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
IV	Pozzolanic Cement	IV / A	65-89	-	<-----11-35----->				-	-	-	-	0-5	
		IV / B	45-64	-	<-----36-55----->				-	-	-	-	0-5	
V	Composite Cement	V / A	40-64	18-30	<-----18-30----->				-	-	-	-	0-5	
		V / B	20-39	31-50	<-----31-50----->				-	-	-	-	0-5	



Συσκευές εργαστηρίου (1 από 3)



Τράπεζα εξάπλωσης για
προσδιορισμό εργασιμότητας
κονιαμάτων

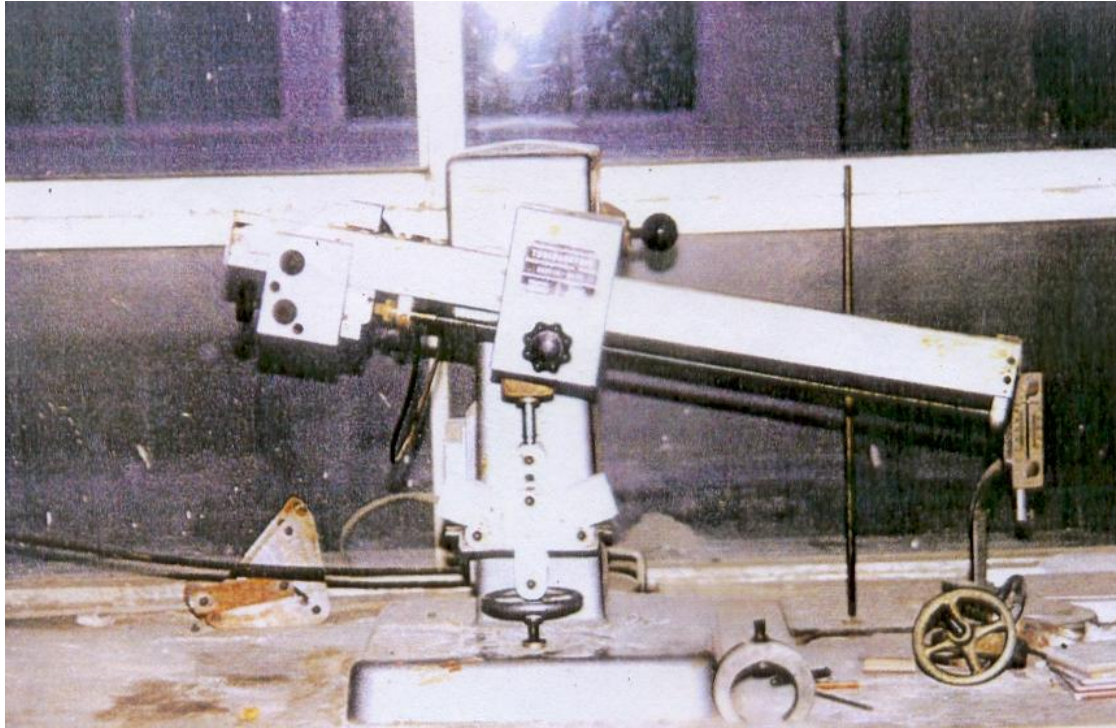


Σονόμετρο για τον προσδιορισμό
δυναμικού μέτρου ελαστικότητας

Πηγή φωτογραφιών: Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ



Συσκευές εργαστηρίου (2 από 3)



Προσδιορισμός της αντοχής κονιάματος σε κάμψη

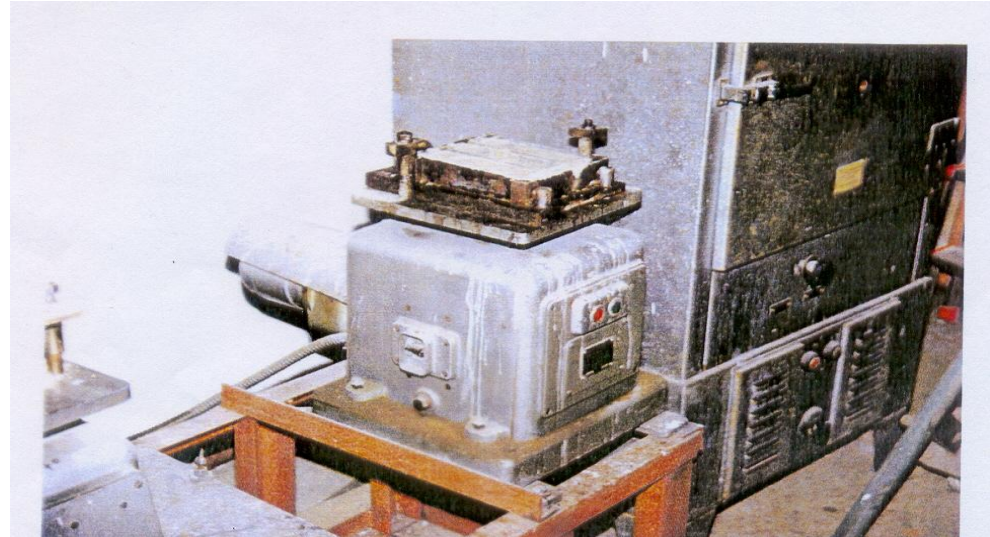
Πηγή φωτογραφιών: Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ



Συσκευές εργαστηρίου (3 από 3)



Φούρνος



Τρίδυμη μήτρα πάνω
στη συσκευή συμπύκνωσης

Πηγή φωτογραφιών: Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ



Βιβλιογραφία/πηγές (1 από 5)

- BS 12:1991 Specification for Portland cement.
- TITAN A.E. Ενημερωτικά φυλλάδια.
- P. H. Mehta 'Concrete Structure, Properties and Materials Prentice Hall, New Jersey, 1986.
- Ι. Παπαγιάννη κ.α. 'Χρησιμοποίηση τεφρών στο σκυρόδεμα' 120 Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Λεμεσός, 1996.



Βιβλιογραφία/πηγές (2 από 5)

- Ι. Παπαγιάννη 'Πρόσθετα Σκυροδέματος' Δελτίο ΣΠΜΕ 199, 1990.
- Π.Δ. 244/29-2-80 'Περί Κανονισμού Τσιμέντων για τα έργα από σκυρόδεμα' ΦΕΚ Α' 69/28-3-80.
- ΕΛΟΤ 1111 'Σχέδιο Κανονισμού για τα Τσιμέντα'.
- EN 196 : Methods of testing cement.



Βιβλιογραφία/πηγές (3 από 5)

- Ε. Σταθάκη - Χ. Λαγγιώτη «Τα δομικά υλικά και οι εφαρμογές τους» Αθήνα 1967.
- Ομάδα εργασίας ΤΕΕ «Οδηγίες για τη σύνταξη προδιαγραφών για κονιάματα», Αθήνα 1985.
- Ομάδα εργασίας ΤΕΕ “Διατύπωση προτάσεων για τη σύνταξη προδιαγραφών για τα επιχρίσματα” Αθήνα 1987.
- Ομάδα εργασίας ΤΕΕ: “Συγκέντρωση και μελέτη στοιχείων από ξένες δημοσιεύσεις και από τα ελληνικά δεδομένα για την άσβεστο, υδράσβεστο, κονιάματα για τοιχοδομές και επιχρίσματα” Αθήνα 1978.
- Εργαστήριο δομικών υλικών, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ. Σειρά διπλωματικών εργασιών, Θεσσαλονίκη.



Βιβλιογραφία/πηγές (4 από 5)

- Roy D.M and Gouda G.R, (1975) Cement and Concrete Research, 5, No2, March, 153-62.
- Neil Jackson and Ravindra K. Dhir, Civil Engineering Materials, 4th Edition.
- Lea F.M, The Chemistry of Cement and Concrete (Arnold, London 1970).
- Lea F.M, The Chemistry and Concrete, Chemical Publishing Company, New York, σελ.442, 481, 1971 με την άδεια του εκδότη Edward Arnold(εκδότες).
- Construction Materials, Their nature and behavior, Edited by: J.M. Illston, Second Edition, E& FN Spon.
- Bogue R.H, 1955, Chemistry of Portland Cement, Van Nostrand, Reinhold, New York.
- Powers T.C, Copeland L.E., Hayes J.C and Mann, H.M, (1954), J. Amer. Conc. Inst, 5, 285-98.
- Domone, P.L. and Thurairatnam, (1986) Magazine of Concrete Research, 38, No136, Sept.129-38.
- Building Research Establishment, 1988 Design of normal concrete mixes, Report BR106, Dept. of Environment/Dept. of Transport, London.



Βιβλιογραφία/πηγές (5 από 5)

- Helmuth R.A and Turk D.M, 1966, Symposium on Structure of Portland Cement Paste, Highway Research Board, Special Report 90, National Academy of Sciences, Washington.
- Hirsh T.J, (1962), Proc. Amer. Conc. Isnt, 59, March, 427.
- Powers T.C, (1958), J. Amer. Cerasmic Soc., 41, 1-6.
- Verbeck G.J, (1968), in Performance of Concrete (ed. E.G. Swenson), University of Toronto Press.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ι. Παπαγιάννη, Ν. Οικονόμου, Μ. Στεφανίδου. «Δομικά Υλικά Ι. Ενότητα 4. Τεχνολογία τσιμέντου» Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS178/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: <Μαυρίδου Σοφία>
Θεσσαλονίκη, <Χειμερινό εξάμηνο 2013-2014>



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

