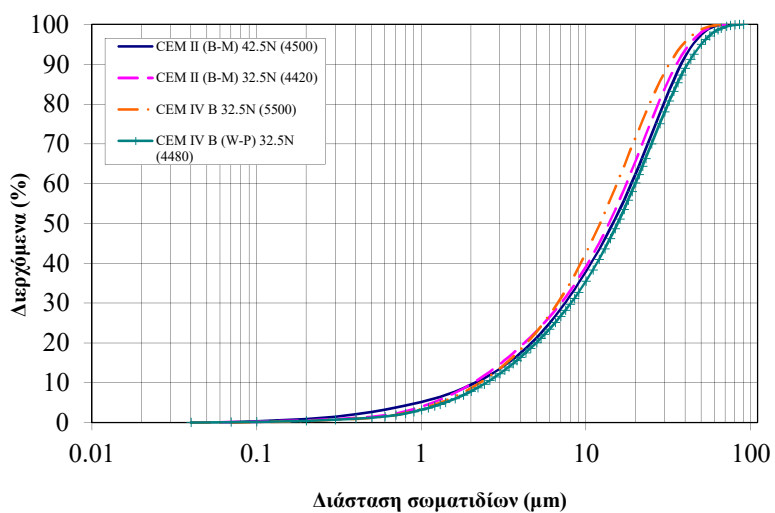


ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Μπαθωγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ - ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ



Μπαθωγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ - ΛΕΠΤΟΤΗΤΑ

Τι είναι

- Αναφέρεται στο μέγεθος και την κατανομή των κόκκων
- Εκφράζεται με την ειδική επιφάνεια των κόκκων (σε cm^2/g)
- Μετράται με τη βοήθεια της συσκευής Blaine
- Τυπικές τιμές της λεπτότητας 2600 cm^2/g (που είναι και το ελάχιστο όριο) έως 5000 cm^2/g
- Δεν προσμετρώνται (με τη Blaine) ρωγμές και πορώδες.
- Ρυθμίζεται κατά την παραγωγική διαδικασία (άλεση) του κλίνκερ (ή της συνάλεσης με τα πρόσθετα για τα τσιμέντα CEM II- CEM IV)

Σημασία

- Επιδρά στη ανάπτυξη υψηλών πρώιμων αντοχών
- Βελτιώνει την εργασιμότητα
- Αυξάνει τη θερμότητα ενυδάτωσης
- Μειώνει την απόμιξη



Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Χαρακτηριστικές Ιδιότητες Τσιμέντων Ι (Ελληνικοί Κανονισμοί ΠΔ 1980)

Φυσικές ιδιότητες

- ▶ Η λεπτότητα άλεσης πρέπει να είναι τέτοια ώστε το υπόλειμμα στο κόσκινο 4900 (90 μm) να μην είναι μεγαλύτερο του 10%, η δε ειδική επιφάνεια να είναι τουλάχιστον 2600 cm^2/g (Blaine)
- ▶ Παρατήρηση 1: Η λεπτότητα εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου
- ▶ Παρατήρηση 2: Το EN 197-1 δεν θέτει απαίτηση ως προς την λεπτότητα

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ - ΠΗΞΗ

Τι είναι

- Η στερεοποίηση του πλαστικού τσιμεντοπολτού
- **Αρχική πήξη** (ή **αρχή πήξης**): η αρχή της στερεοποίησης, συμπίπτει χρονικά με το σημείο που ο τσιμεντοπολτός παύει να είναι εργάσιμος.
- **Τελική πήξη** (ή **τέλος πήξης**): το τελευταίο στάδιο της στερεοποίησης

Πειραματική μέτρηση (ΕΛΟΤ EN 196.3)

- Προσδιορίζεται με τη συσκευή Vicat (μέτρηση της αντίστασης στη διείσδυση τυποποιημένης βελόνας που φέρει βάρος 300 g, τσιμεντοπολτού ορισμένης ρευστότητας - «κανονικής συνεκτικότητας»).
 - **Αρχή πήξης**: ο χρόνος για διείσδυση 35 mm, σε στρώση τσιμεντοπολτού πάχους 40 mm
 - **Τέλος πήξης**: ο χρόνος κατά τον οποίο η βελόνα σημαδεύει την πάνω επιφάνεια της στρώσης, χωρίς ικανότητα διείσδυσης.



Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ – ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΟΓΚΟΥ

Τι είναι

- εκφράζει τη ενδεχόμενη αύξηση του όγκου μετά την πήξη
- οφείλεται στην καθυστερημένη ενυδάτωση των MgO και fCaO και στην αντίδραση της γύψου με το C₃A
- συμβαίνουν αργά (μετά από μήνες ή χρόνια)

Πειραματική μέτρηση (ΕΛΟΤ EN 197.1) – Δοκιμή Le Chatellier

Ορειχάλκινος δακτύλιος ποιότητας ελατηρίων με συγκεκριμένη ελαστικότητα και ενδεικτικές ακίδες:

- πληρώνεται με τσιμέντο
- συντηρείται για 24 h - αρχική μέτρηση A
- 100 °C, 3 h (ή 2 MPa, 3 h)- τελική μέτρηση B

$$B-A < 10 \text{ mm } (< 0.8 \%)$$



Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

1	2	3	4	5
Ιδιότητα	Δοκιμή σύμφωνα με	Τύπος τσιμέντου	Κατηγορία αντοχής	Απαιτήσεις ^{α)}
Απώλεια πύρωσης	EN 196-2	CEM I CEM III	Όλες	≤ 5,0 %
Αδιάλυτο υπόλειμμα	EN 196-2 ^{β)}	CEM I CEM III	Όλες	≤ 5,0 %
Περιεκτικότητα σε Θειικά (ως SO ₃)	EN 196-2	CEM I CEM II ^{γ)}	32,5N 32,5R 42,5N	≤ 3,5 %
		CEM IV CEM V	42,5R 52,5N 52,5R	≤ 4,0 %
		CEM III ^{δ)}	Όλες	
Περιεκτικότητα σε Χλωριόντα	EN 196-21	Όλοι ^{ε)}	Όλες	≤ 0,10 % ^{στ)}
Ποζολανική ιδιότητα	EN 196-5	CEM IV	Όλες	Ικανοποιεί την δοκιμή

α) Οι απαιτήσεις δίνονται ως ποσοστό κατά μάζα του τελικού τσιμέντου και είναι χαρακτηριστικές τιμές
β) Προσδιορισμός του αδιάλυτου υπολείμματος σε υδροχλωρικό οξύ και ανθρακικό νάτριο
γ) Το τσιμέντο τύπου CEM II/B-T μπορεί να περιέχει έως 4,5 % θειικά σε όλες τις κατηγορίες αντοχής.
δ) Το τσιμέντο τύπου CEM III/C μπορεί να περιέχει έως 4,5 % θειικά
ε) Το τσιμέντο τύπου CEM III μπορεί να περιέχει περισσότερο από 0,10 % χλωριόντα αλλά στην περίπτωση αυτή η μέγιστη περιεκτικότητα σε χλωριόντα πρέπει να αναγράφεται στη συσκευασία ή/και στο δελτίο παράδοσης.
στ) Για προεντεταμένες εφαρμογές τα τσιμεντά μπορούν να παραχθούν σύμφωνα με μία χαμηλότερη απαίτηση. Στην περίπτωση αυτή η τιμή 0,10 % πρέπει να αντικατασταθεί από αυτή τη μικρότερη τιμή που πρέπει να αναγράφεται στο δελτίο παράδοσης.

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ (EN 196-1)

- Εκφράζουν την αντοχή του τσιμέντου σε θλίψη και κάμψη

Παράγοντες

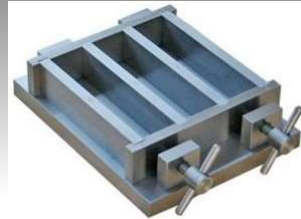
- Χημική και ορυκτολογική σύσταση
- Λεπτότητα

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ (EN 196-1)

Πειραματική μέτρηση (ΕΛΟΤ EN 196.1)

- σε κονίαμα 3:1 (S:C=3:1) και W/C=0.5 (πυριτική άμμος $d_{max} < 2 \text{ mm}$, 0-2% < 80 μm)
- πρισματικά δοκίμια 40x40x160 mm
- συντήρηση για 24 h
- μέτρηση 1, 2, 7, 28 ημ.



Πειραματική μέτρηση (ASTM C 109)

- σε κονίαμα 2.75:1 (S:C=2.75:1) και W/C=0.485
- κυβικά δοκίμια 50x50x50 mm

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Τυπική σύσταση τσιμέντου Portland εκφρασμένη σε οξείδια και συντομογραφία

Οξείδιο	Συντομογραφία	Όνομασία	Περιεκτικότητα κ.β. %	
			Συνήθης τιμή	Εύρος τιμών
CaO	C	οξείδιο του ασβεστίου	63	60 ~ 67
SiO ₂	S	οξείδιο του πυριτίου	22	17 ~ 25
Al ₂ O ₃	A	οξείδιο του αργιλίου	6	3 ~ 8
Fe ₂ O ₃	F	οξείδιο του σιδήρου	2.5	0.5 ~ 6
MgO	M	οξείδιο του μαγνησίου	2.6	0.1 ~ 4
K ₂ O	K (αλκάλια)	οξείδιο του καλίου	0.6	
Na ₂ O	N (αλκάλια)	οξείδιο του νατρίου	0.3	
SO ₃	S	τριοξείδιο του θείου	2.0	1 ~ 3
CO ₂	C	διοξείδιο του άνθρακα		-
H ₂ O	H	Νερό		-

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΛΙΝΚΕΡ

Τυπική σύσταση ΚΛΙΝΚΕΡ εκφρασμένη σε οξείδια και συντομογραφία

Χημικό όνομα	Χημικός τύπος	Συντομογραφία	Περιεκτικότητα κ.β. [%]
πυριτικό τριασβέστιο	3CaO·SiO ₂	C ₃ S	50
πυριτικό διασβέστιο	2CaO·SiO ₂	C ₂ S	25
αργιλικό τριασβέστιο	3CaO·Al ₂ O ₃	C ₃ A	12
σιδηροαργιλικό τετρασβέστιο	4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	8
Γύψος	CaSO ₄ ·2H ₂ O	CSH ₂	3.5

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΤΣΙΜΕΝΤΟ – ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ

Τι είναι

- ▶ Οι αντιδράση των συστατικών του τσιμέντου (κλίνκερ) με το νερό, που συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας (*θερμότητα ενυδάτωσης*)
- ▶ Ξεκινάει αμέσως μετά την ανάμιξη με το νερό από την επιφάνεια προς το εσωτερικό των κόκκων
- ▶ Ο ρυθμός των αντιδράσεων φθίνει με το χρόνο και διαφέρει για κάθε συστατικό του τσιμέντου

Παράγοντες

- ▶ Η σύσταση και η αναλογία των φάσεων του κλίνκερ
- ▶ Η λεπτότητα
- ▶ Ο λόγος N/T
- ▶ Η θερμοκρασία συντήρησης
- ▶ Πρόσθετα τσιμέντου και σύσταση τσιμέντου.

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΤΣΙΜΕΝΤΟ – ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ

Αντιδράσεις:

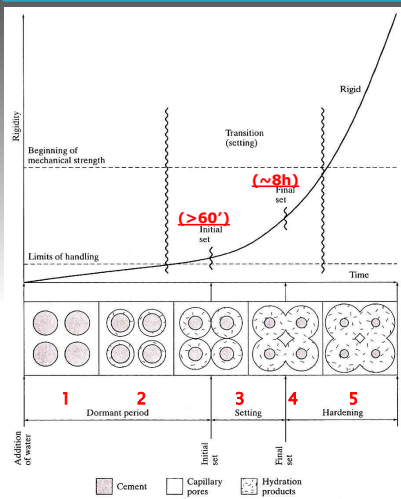
- ▶ **C₃S**: $2(3\text{CaO} \blacksquare \text{SiO}_2) + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \blacksquare 2\text{SiO}_2 \blacksquare 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$
- ▶ **C₂S**: $2(2\text{CaO} \blacksquare \text{SiO}_2) + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \blacksquare 2\text{SiO}_2 \blacksquare 3\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$
- ▶ **C₃A**: $3\text{CaO} \blacksquare \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \blacksquare \text{Al}_2\text{O}_3 \blacksquare 6\text{H}_2\text{O}$
 - $\text{C}_3\text{A} + 3\text{C}\bar{\text{S}}\text{H}_2 + 26\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{A}\bar{\text{S}}\text{H}_{32}$ (Ετρινγκίτης)
 - $2\text{C}_3\text{A} + 6\text{C}_6\text{A}\bar{\text{S}}\text{H}_{32} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{C}_4\text{A}\bar{\text{S}}\text{H}_{12}$ (Μονοθειϊκό άλας)
- ▶ **C₄AF**: $\text{C}_4\text{AF} + \text{C}\bar{\text{S}}\text{H}_2 + \text{CH} \rightarrow 3\text{CAF} \cdot \text{C}\bar{\text{S}}\text{H}_2$
- ▶ **C₄AF**: $4\text{CaO} \blacksquare \text{Al}_2\text{O}_3 \blacksquare \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Ca}(\text{OH})_2 + 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \blacksquare \text{Al}_2\text{O}_3 \blacksquare 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{CaO} \blacksquare \text{Fe}_2\text{O}_3 \blacksquare 6\text{H}_2\text{O}$

Τσιμεντόπαστα (τσιμέντο+νερό):

- ▶ Πήγμα, σχηματιζόμενο με τα προϊόντα της ενυδάτωσης
- ▶ Πλήρωση των κενών, ένωση σωματιδίων (κρυστάλλων) μέσω δεσμών Van der Waals (ασθενών) και ιοντικών δεσμών (ισχυρών) μόνο στα σημεία επαφής των κρυστάλλων
- ▶ Καθορίζει την αντοχή του τσιμεντοπολτού, η οποία αυξάνεται με την πρόοδο της ενυδάτωσης

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

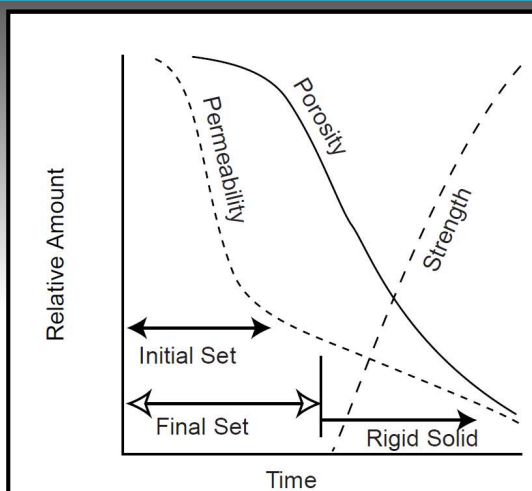


Σχηματική αναπαράσταση των σταδίων ενυδάτωσης της πάστας τσιμέντου

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

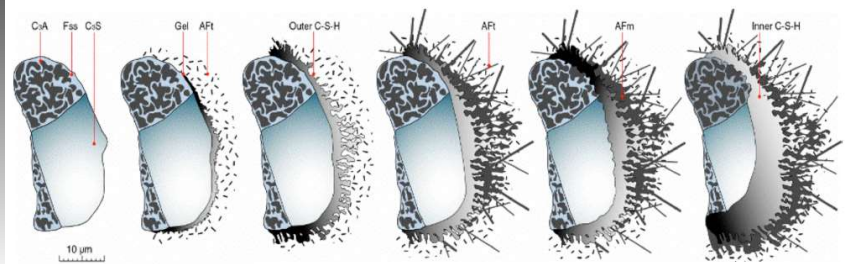
- 1: Το σκυρόδεμα είναι ρευστό, όσο τα συστατικά του βρίσκονται σε απόσταση.
- 2: Ξεκινάει η παραγωγή των προϊόντων ενυδάτωσης, τα οποία καταλαμβάνουν σταδιακά μεγαλύτερο χώρο από το ανυδάτωτο τσιμέντο, μειώνοντας ταυτόχρονα το πορώδες.
- 3: Ξεκινάει η πήξη (αρχή) και σταδιακά χάνεται η ρευστότητα του σκυροδέματος.
- 4: Η πήξη συνεχίζεται και αναπτύσσεται μικρή αντοχή ως αποτέλεσμα της δημιουργίας δεσμών μεταξύ των προϊόντων ενυδάτωσης μεταξύ τους και μεταξύ των υπολοίπων συστατικών του σκυροδέματος. Η ρευστότητα ουσιαστικά δεν υφίσταται και η φάση αυτή ορίζεται σαν λήξη (τέλος) της πήξης.
- 5: Έναρξη της σκλήρυνσης του σκυροδέματος και ανάπτυξη σημαντικής αντοχής.

ΤΣΙΜΕΝΤΟ – ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ

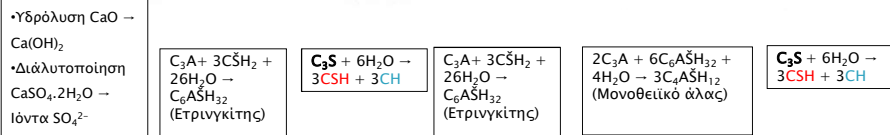


Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ: Πορεία αντιδράσεων ενυδάτωσης

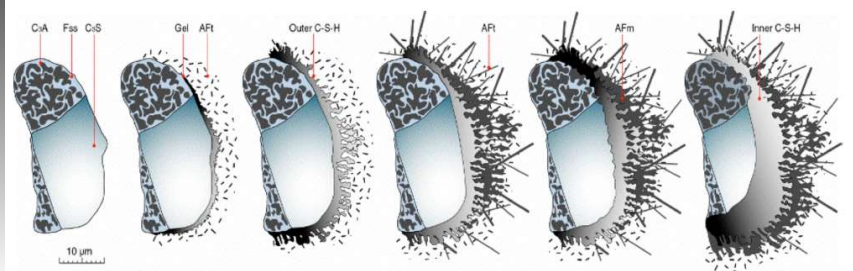


a) Unhydrated section of polyminerall grain (scale of interstitial phase exaggerated).

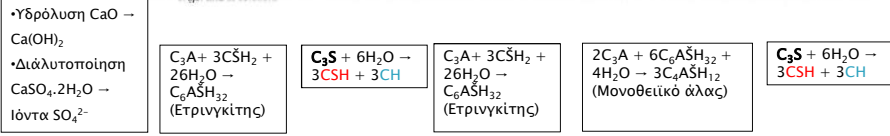


Μπαδαγιάνης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ: Πορεία αντιδράσεων ενυδάτωσης

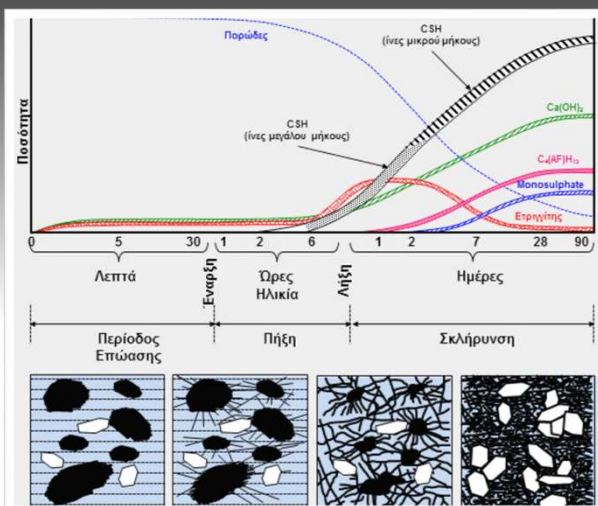


a) Unhydrated section of polyminerall grain (scale of interstitial phase exaggerated).
 b) ~10 min Some C₃A (or Fss) react with calcium sulphate in solution. Amorphous aluminatich gel forms on the surface and short AFt rods nucleate at edge of gel and in solution.
 c) ~10 h Reaction of C₃S to produce "outer" product C-S-H on AFt rod network leaving ~ 1 μm between grain surface and hydrated shell.
 d) ~18 h Secondary hydration of C₃A (or Fss) producing long rods of AFt. C-S-H "inner" product starts to form on inside of shell from continuing hydration of C₃S.
 e) 1-3 days C₃A reacts with any AFt inside shell forming hexagonal plates of AFm. Continuing formation of "inner" product reduces separation of anhydrous grain and hydrated shell.
 f) ~14 days Sufficient "inner" C-S-H has formed to fill in the space between grain and shell. The "outer" C-S-H has become more fibrous.



Μπαδαγιάνης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ



Περίοδος επώασης (30' - 60')

- Υδρόλυση $\text{CaO} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$
- Διάλυση $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ιόντα } \text{SO}_4^{2-}$
- $\text{C}_3\text{A} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$
- C-S-H (inner), γύρω από κόκκους τσιμέντου

Έναρξη πήξης (>60')

- μειωμένη παραμορφωσιμότητα-εργασιμότητα

Τέλος πήξης (~8 h)

- αυξημένος σχηματισμός ετρινγκίτη και C-S-H (inner)

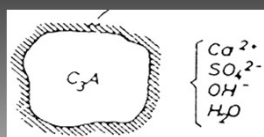
Σκλήρυνση

- σχηματισμός C-S-H (outer)

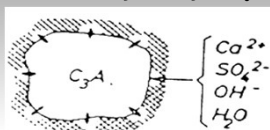
Διαγραμματική και σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας και των φάσεων ενυδάτωσης της τσιμεντόμασας

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

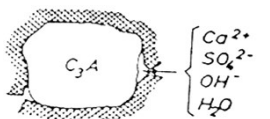
Μηχανισμός Δράσης Γύψου



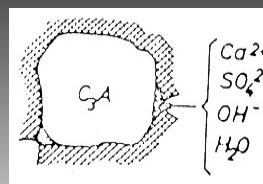
1ο στάδιο: Ανάπτυξη στρώματος ετρινγκίτη γύρω από τους κόκκους του C_3A



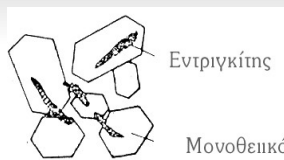
2ο στάδιο: Περαιτέρω ανάπτυξη στρώματος ετρινγκίτη \rightarrow πίεση κρυστάλλωσης



3ο στάδιο: Διάρρηξη στρώματος ετρινγκίτη λόγω πίεσης κρυστάλλωσης



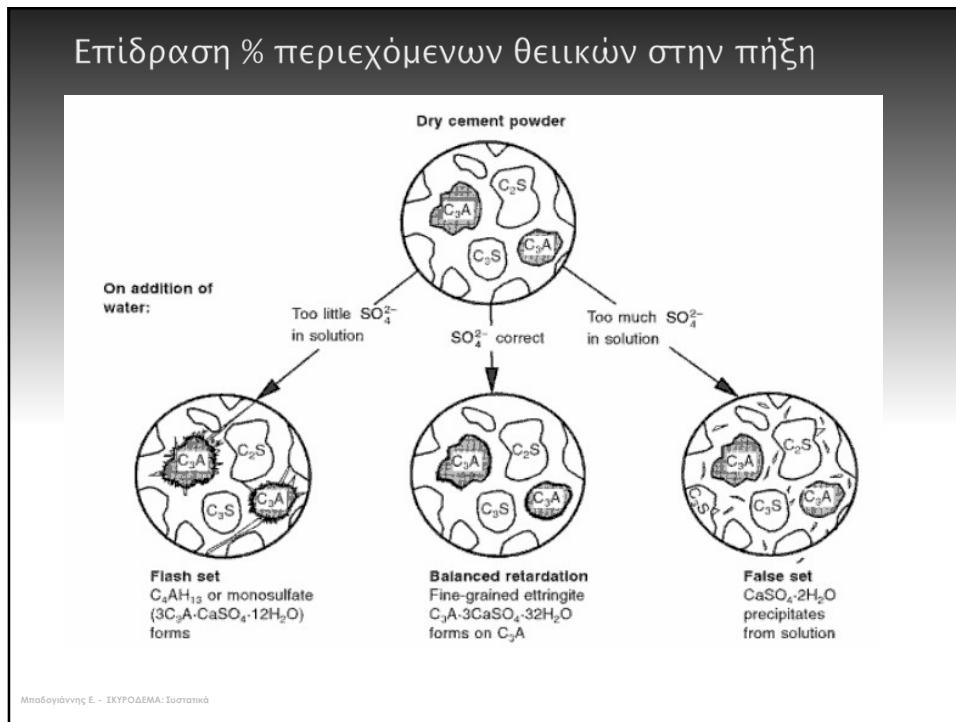
4ο στάδιο: κάλυψη διάρρηξης στρώματος ετρινγκίτη με σχηματισμό νέου ετρινγκίτη



5ο στάδιο: Εξάντληση θειικών ιόντων για σχηματισμό ετρινγκίτη. Πλήρης ενυδάτωση C_3A με κατανάλωση ετρινγκίτη προς τελικά προϊόντα

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

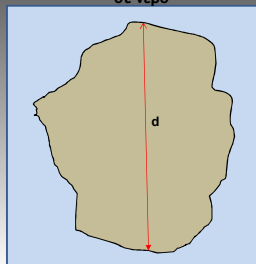
Επίδραση % περιεχομένων θειικών στην πήξη



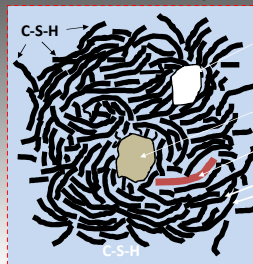
ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Σχηματική παράσταση προϊόντων ενυδάτωσης (χωρίς κλίμακα)

Ανυδατωτός κόκκος τσιμέντου μέσα σε νερό



Προϊόντα ενυδάτωσης



Κρύσταλλος $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Ανυδατωτό τμήμα κόκκου τσιμέντου

Μονοθειικό Φυλλάριο C-S-H

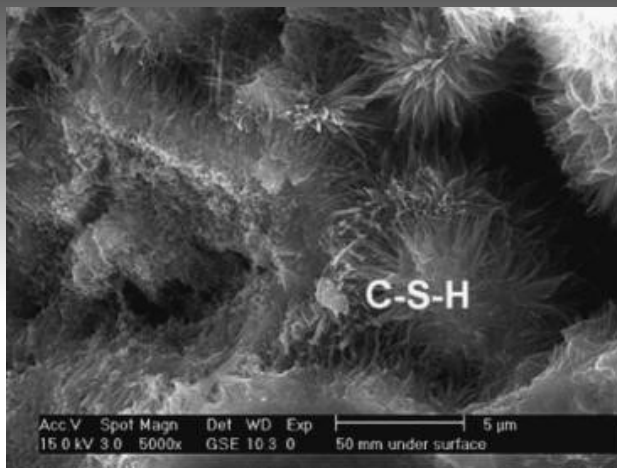
d Διάσταση μέσου κόκκου τσιμέντου 10 μm με 20 μm



Διαστάσεις C-S-H $a \leq 1 \mu\text{m}$ $b = 0.01 \mu\text{m}$

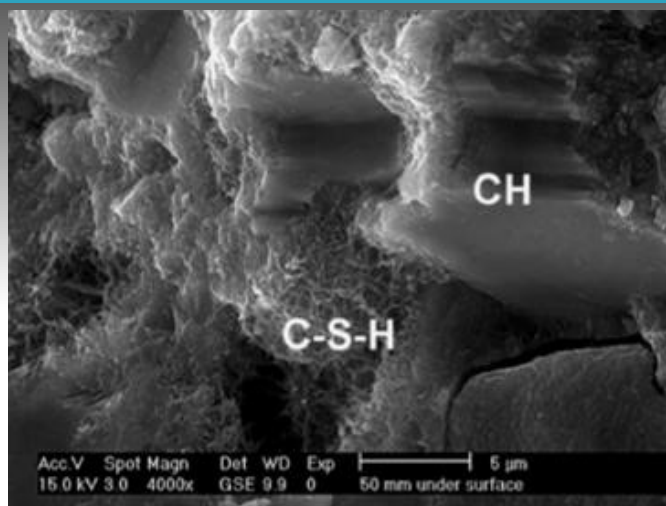
Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΤΣΙΜΕΝΤΟ – ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ: Προϊόντα



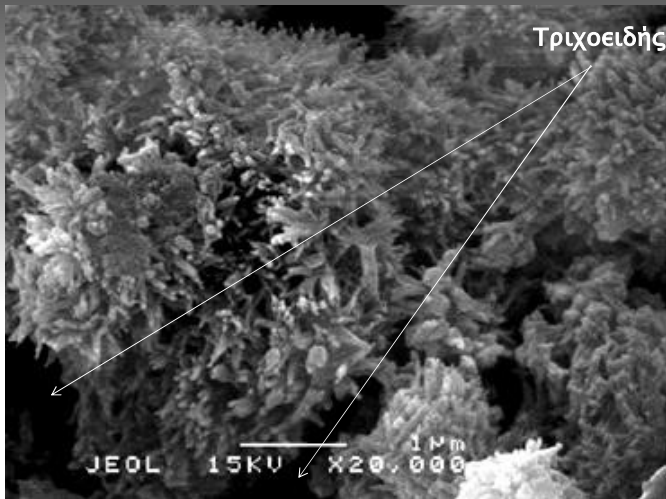
Μπαδουγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΤΣΙΜΕΝΤΟ – ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ: Προϊόντα



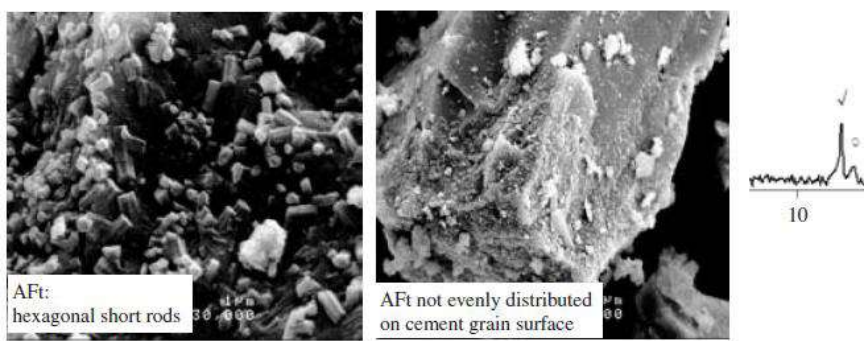
Μπαδουγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΤΣΙΜΕΝΤΟ – ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ: Προϊόντα



Μπαδαγιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΤΣΙΜΕΝΤΟ – ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ: Προϊόντα (Ετρινγκίτης)



Μπαδαγιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

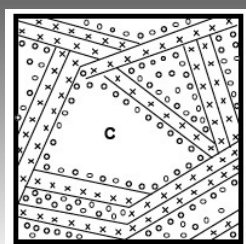
ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ

ΥΛΙΚΟ	Περιεκτικότητα κατ'όγκο	Πικνότητα (kg/m ³)	Διαστάσεις κόκκου (μm)	Ειδική επιφάνεια (m ² /g)	Μορφολογία κρυσταλλικότητα	Αντοχή	Παραμορφώσεις	Ανθεκτικότητα
C-S-H Φωτ. 1, Φωτ. 2, Φωτ. 3	65	2000	1 x 0,01 - 1 κολλοειδές μέγεθος	400 750	Ακανόνιστα φύλλα άμορφα μικροπαρόδη	Ο κύριος παράγων αντοχής $f_{spc} > f_{spc}$	Απίδεια νερού → συρρίκνωση (υπό φορτίο) ↓ → ερπυσμός	Σχεδόν αδιάλυτο Το νερό στους μικροπόρους δεν μετακινείται εύκολα (μικρή διαπερατότητα)
CH Φωτ. 2	20	2250	100 x 10	0,5	Παχείες εξαγωνικές πλάκες που σχίζονται εύκολα κρυσταλλική	Μικρές αντοχής συμβάλλει στη συνολική αντοχή με τη μείωση του πορώδους	Δεν παραμορφώνεται με τις μεταβολές του νερού	Διαλύεται από το νερό. Δεσμεύεται από το CO ₂ ενανδράκωση συστολή
C ₂ ASH ₂ Μονοειδικό	10	1950	2 x 0,1	~ 2	Πολύ λεπτές πλάκες συσσωματωμένες υπό μορφή ροζέτας σχεδόν κρυσταλλική	Δεν συμβάλλει σημαντικά	Δεν επηρεάζει	Παρουσία θειικών αλάτων μετατρέπεται σε εφραγγίτη και προκαλεί διαστολή
Ανυδάτωτοι κόκκοι τσιμέντου	5	3150	~ 1	0,3		Συμβάλλει στα μίγματα με μικρό πορώδες	Εμποδίζει την παραμόρφωση του C-S-H	Παρουσία νερού ενυδατώνεται

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

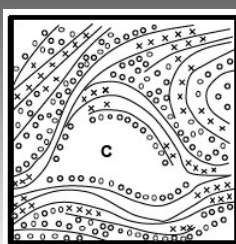
Μοντέλα προσομοίωσης C-S-H

Powers-Brunauer



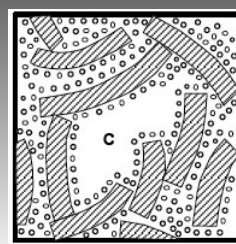
(a)

Feldman-Sereda



(b)

Wittman



(c)

- Νερό στις διαστρωματικές επιφάνειες
- × Νερό επιφανειακά απορροφώμενο
- C Τριχοειδείς πόροι
- C-S-H Φύλλα
- ▨ C-S-H Κόκκοι

• Ακανόνιστο πλακοειδές σχήμα:

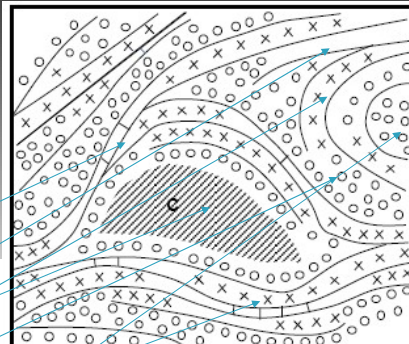


Διαστάσεις C-S-H $a \leq 1 \mu\text{m}$ $b \approx 0.01 \mu\text{m}$

- $S = 250 - 450 \text{ m}^2/\text{g} \Rightarrow$ πολύ μεγάλες επιφανειακές τάσεις
- Τριχοειδείς πόροι
- Πόροι πήγματος

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Μοντέλα προσομοίωσης C-S-H



- Στερεά φύλλα C-H.
- ▤ Παρακείμενα στερεά με ομοιοπολικούς δεσμούς.
- ▬ Παρακείμενα στερεά με δεσμούς Van der Waals.
- XXXX Παρακείμενα στερεά με δεσμούς από προσανατολισμένα μόρια μεταξύ τους.
- Παρακείμενα στερεά συγκρατούμενα μεταξύ τους από λεπτή στοιβάδα νερού.
- ▨ Νερό τριχοειδών C (κοινό).
- XXXX Μόρια νερού στους μικροπόρους ή προσροφημένα στις εξωτερικές επιφάνειες, υπό επιφανειακές τάσεις, αλλά με δυνατότητα κίνησης.
- Νερό στους πολύ μικρούς μικροπόρους, στα διάκενα των στερεών (νερό διάκενων). Το νερό βρίσκεται υπό υψηλές επιφανειακές τάσεις και δεν έχει μεγάλες δυνατότητες κίνησης

Μποδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Πόροι Πήγματος

Το νερό διακρίνεται σε :

- α/ νερό των τριχοειδών πόρων που υπακούει στους νόμους των τριχοειδών, ελευθ. νερό
- β/ νερό φυσικά προσροφημένο στις επιφάνειες των στερεών ή στις επιφάνειες των μικροπόρων. Λόγω των ισχυρών επιφανειακών τάσεων το νερό αυτό δεν συμπεριφέρεται ως το ελεύθερο νερό, δεν μπορεί να δημιουργήσει μηνίσκους (δεν ακολουθεί τους νόμους των τριχοειδών).
- γ/ νερό στα ενδιάμεσα διαστήματα μεταξύ των στερεών του C-S-H. Το νερό αυτό όπως και στην περίπτωση β δεν ακολουθεί τους νόμους των τριχοειδών και επιπλέον οι ισχυροί δεσμοί του με τις επιφάνειες δεν του επιτρέπουν μεγάλη κινητικότητα. ΕΔΝ
- δ/ νερό χημικά δεσμευμένο. ΧΔΝ

$$\text{ΧΔΝ} + \text{ΕΔΝ} = 42\% \text{ τσιμ (κ.β)}$$


«Ελαχίστως απαιτούμενο νερό για την πάστα του τσιμέντου»


Μποδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

N/T και πόροι πήγματος

N/T=0.3

→







Ανυδάτωτο τσιμέντο

N/T=0.4

→







Όλο το τσιμέντο ενυδατώνεται

N/T=0.6

→

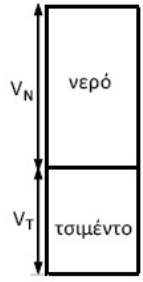




Όλο το τσιμέντο ενυδατώνεται
Τριχοειδείς πόροι

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Συστολή Ενυδάτωσης – Χημική Συστολή



$V_{\chi\sigma}$	χημική συστολή	Τριχοειδή
$V_{\nu\pi}$	νερό τριχοειδών πλην χημικής συστολής	
$V_{\nu\pi}$	νερό πήγματος Ε.δ.ν	
$V_{\sigma\pi}$	στερεά πήγματος	Πήγμα
$V_{\tau\alpha\upsilon\delta}$	ανυδάτωτο τσιμέντο	

$\chi\delta N = 23 - 25\% \text{ (κ.β) τσιμ}$
 $\epsilon\delta N = 19\% \text{ (κ.β) τσιμ}$
 $\chi\delta N + \epsilon\delta N = 42\% \text{ (κ.β) τσιμ}$

Το 1/4 του νερού που συνδέεται χημικά με το τσιμέντο, χάνεται, δηλ:
 $\chi\eta\mu \text{ συστολή} = 1/4 \chi\delta N = 1/4 * 23\% \text{ (κ.β) τσιμ} = 5.75\% \text{ (κ.β) τσιμ}$

Παράδειγμα υπολογισμού τελικού όγκου πάστας τσιμέντου

100 g CEM I = $100/3.15 \text{ cm}^3 = 31.75 \text{ cm}^3$ χρειάζονται 23 cm^3 νερό

$31.75 \text{ cm}^3 + 23 \text{ cm}^3 = 54.75 \text{ cm}^3$

Μείωση βάρους κατά 1/4 δηλαδή $23 * 1/4 = 5.75 \text{ gr} = 5.75 \text{ cm}^3$ ή $5.75/31.75 = 18.11\% \text{ (κ.ο.) τσιμ.}$

Τελικός όγκος πάστας $54.75 - 5.75 = 49 \text{ cm}^3$

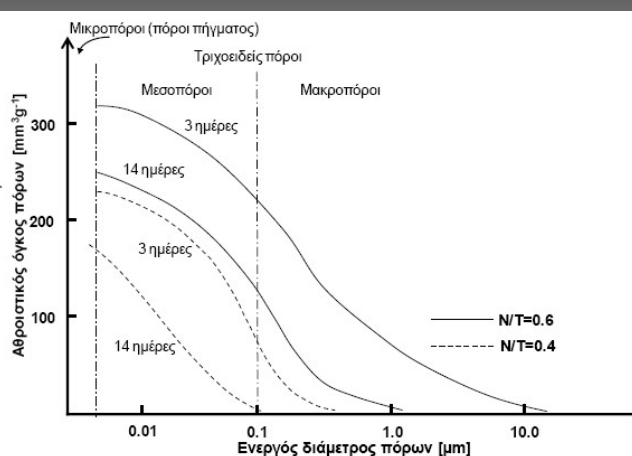
Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Πόροι Πήγματος

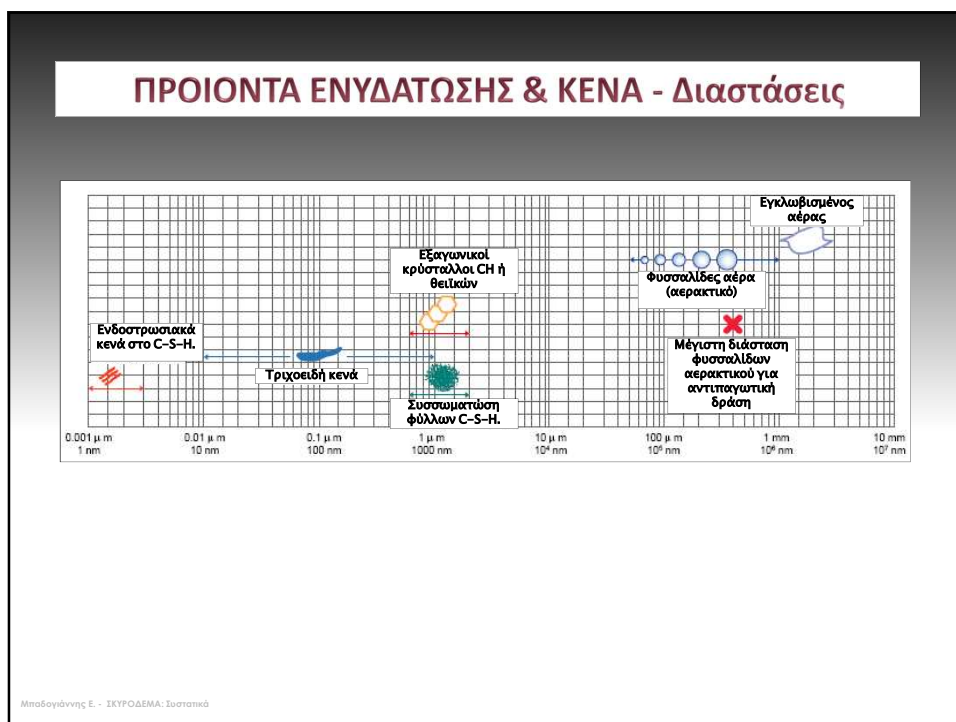
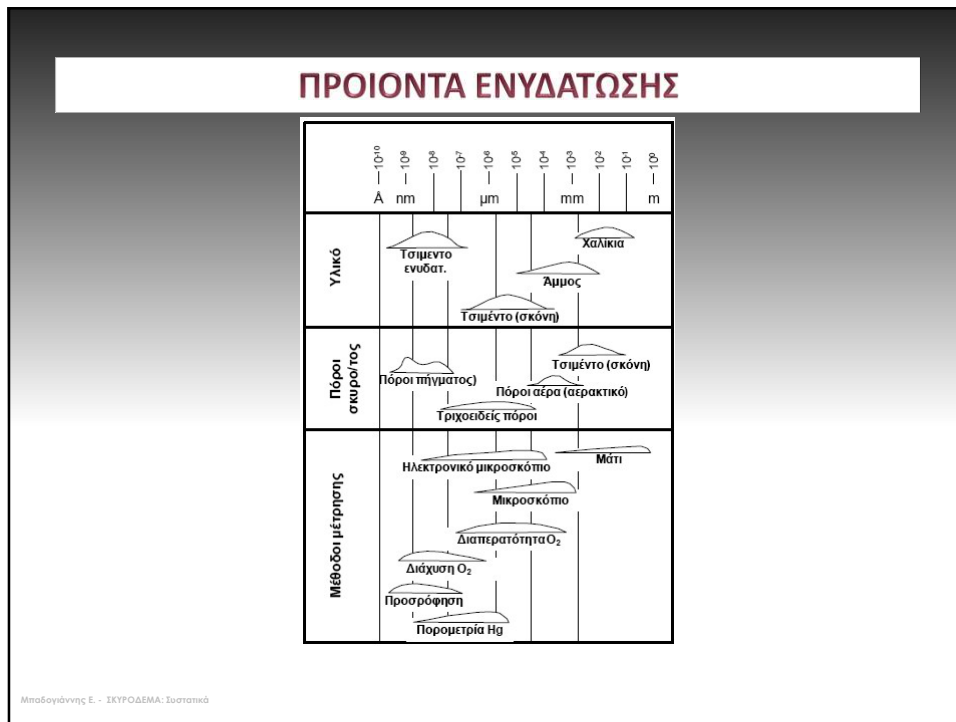
Όνομασία	Διάμετρος	Περιγραφή	Συμπεριφορά νερού	Επηρεαζόμενες ιδιότητες
τριχοειδείς	10 ~ 0.5 μm	μεγάλα τριχοειδή	ως κοινό νερό	αντοχή διαπερατότητα
	50 ~ 10 nm	μέσα τριχοειδή	αναπτύσσονται μέτριες επιφανειακές τάσεις	αντοχή διαπερατότητα συστολή ξήρανσης σε υψηλές σχετ. Υγρασίες
πόροι πήγματος	10 ~ 2.5 nm	μικρά τριχοειδή πήγματος	υψηλές επιφανειακές τάσεις	συστολή ξήρανσης μέχρι 50% RH
	2.5 ~ 0.5 nm	μικροπόροι	ισχυρά προσροφημένο δεν αναπτύσσονται μηνίσκοι	συστολή ξήρανσης ερπυσμός
	< 0.5nm	πόροι διακένων	ισχυρότατοι επιφανειακοί δεσμοί	συστολή ξήρανσης ερπυσμός

Μπαδαγιάννης Ε. - ΙΚΥΠΟΔΕΜΑ: Συστατικά

N/T και πόροι πήγματος



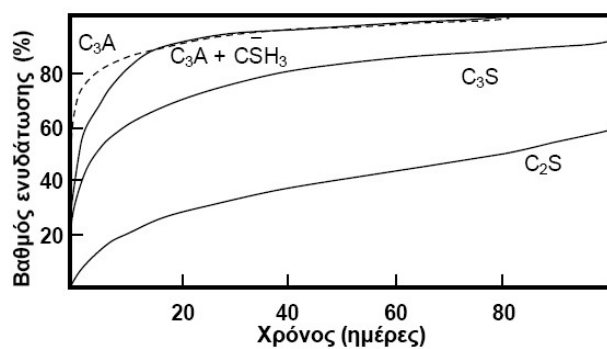
Μπαδαγιάννης Ε. - ΙΚΥΠΟΔΕΜΑ: Συστατικά



Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

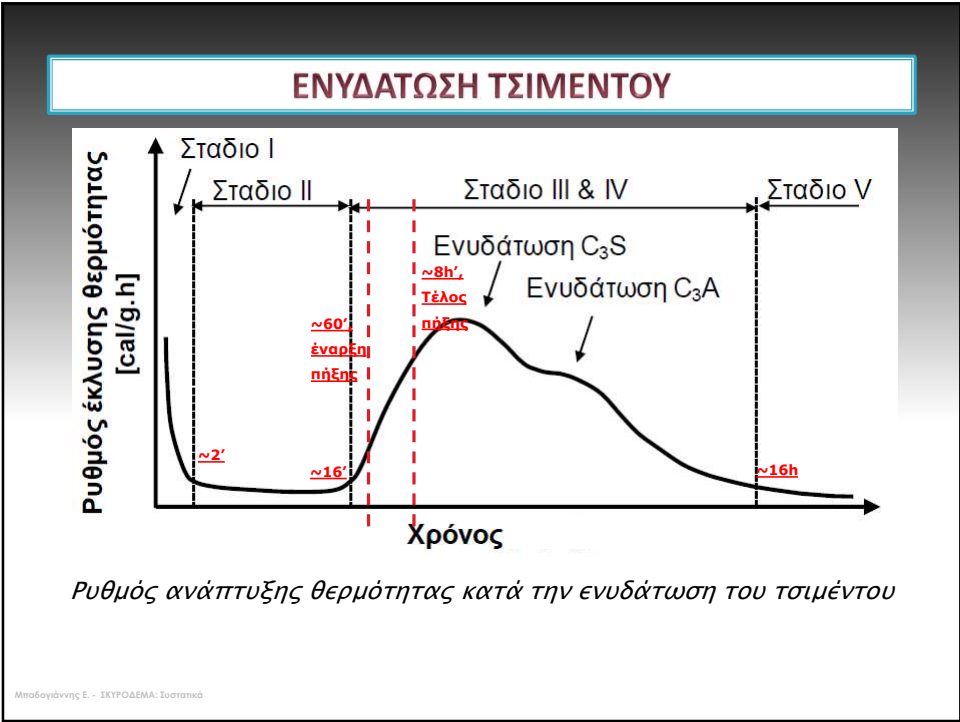
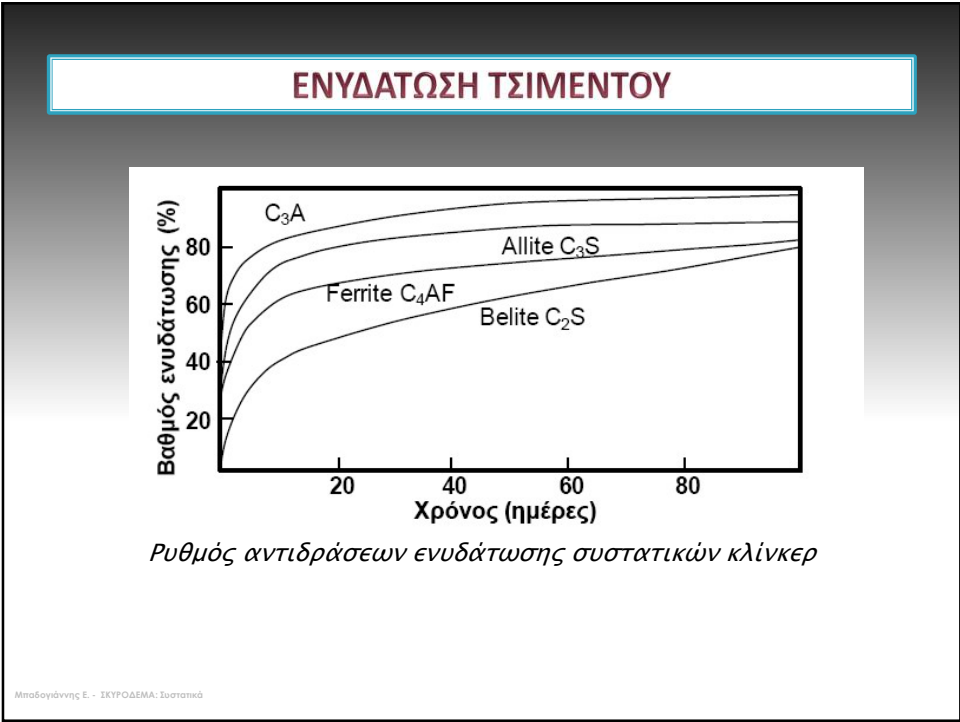
Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ



Ρυθμός αντιδράσεων ενυδάτωσης «καθαρών» συστατικών κλίνκερ

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά



ΤΣΙΜΕΝΤΟ – ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ

Ο ρόλος των συστατικών

- ▶ τα αργιλικά συστατικά (C_3A , C_4AF), ρυθμίζουν την πήξη του τσιμεντοπολτού,
- ▶ τα πυριτικά (C_3S), (C_2S), κυρίως τη σκλήρυνση, δηλαδή το ρυθμό ανάπτυξης της αντοχής.

Ο ρόλος του νερού

- ▶ Συνδέεται χημικά με το τσιμέντο, κατά 25–30% κ.β. (*ενωμένο ή συνδεδεμένο νερό*)
- ▶ Συγκρατείται στους πόρους του τσιμεντοπολτού (*ελεύθερο νερό*)
- ▶ Πλήρης ενυδάτωση, για λόγο N/T περίπου 0.42 (ελάχιστη τιμή λόγου N/T, για τις χημικές δράσεις)

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

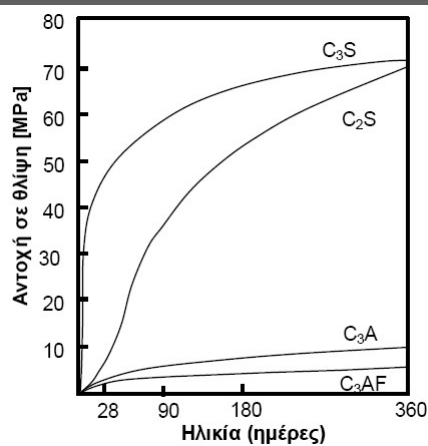
ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Χαρακτηριστικά ενυδάτωσης των συστατικών του κλίνκερ

Συστατικό	Ταχύτητα αντίδρασης του μεμονωμένου συστατικού	Έκλυση θερμότητας	Συμβολή στην αντοχή του τσιμέντου	Συμβολή στην έκλυση θερμότητας του τσιμέντου
C_3S	Μέτρια	Μέτρια 502 J/g	Μεγάλη	Μεγάλη
C_2S	Χαμηλή	Μικρή 260 J/g	Αρχικά μικρή αργότερα μεγάλη	Μικρή
$C_3A + CSH_2$	Ταχεία	Πολύ μεγάλη 867 J/g	Μικρή	Πολύ μεγάλη
$C_4AF + CSH_2$	Μέτρια	Μέτρια 419 J/g	Μικρή	Μέτρια

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ



Ο ρόλος των συστατικών του τσιμέντου στην ανάπτυξη της αντοχής του τσιμέντου

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΤΣΙΜΕΝΤΟ – ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ – ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

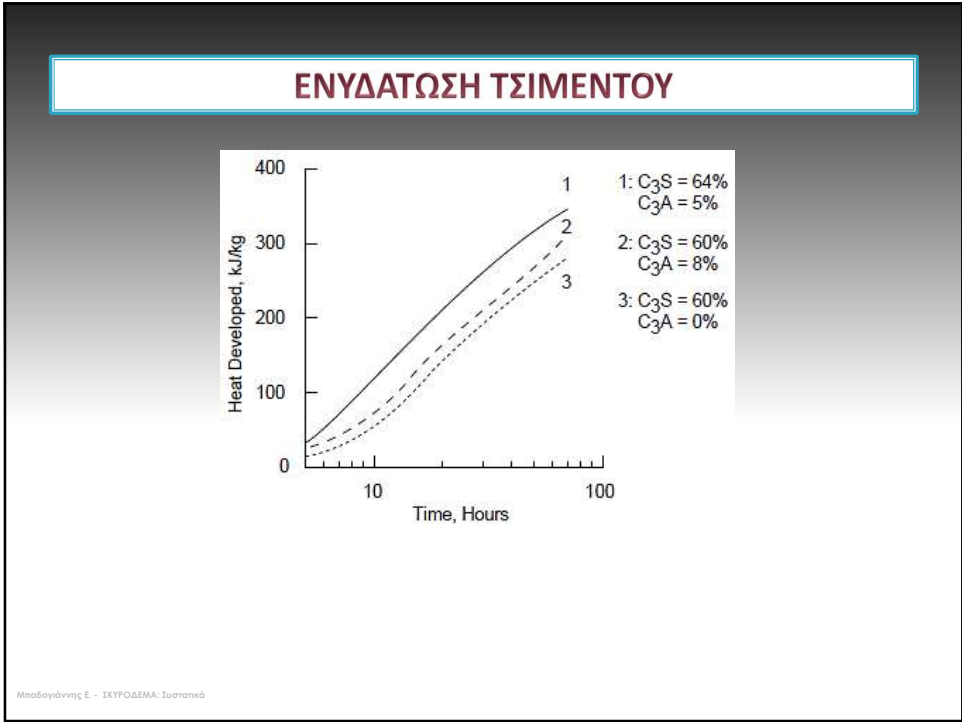
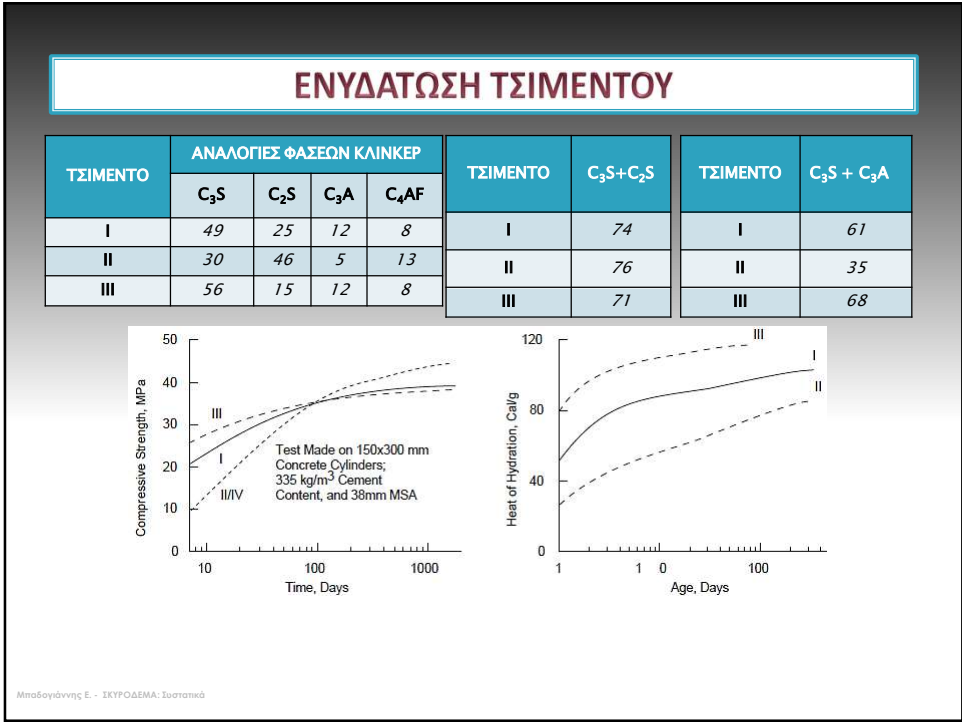
Σύσταση

- Η συνολική ποσότητα θερμότητας εξαρτάται από τη *σύσταση του τσιμέντου*, οπότε και ο έλεγχος της είναι δυνατός με την επιλογή κατάλληλης σύνθεσης τσιμέντου (ελέγχοντας το άθροισμα C₃S + C₃A)

Άθροιστική θερμότητα ενυδάτωσης (cal/g) των διαφόρων συστατικών του τσιμέντου.

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

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά



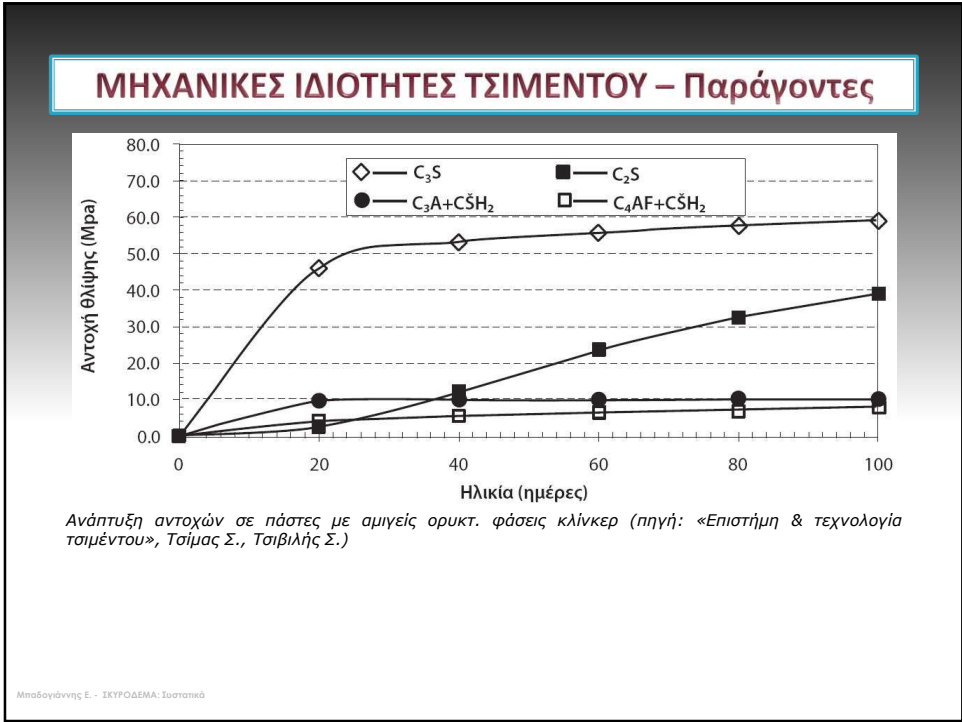
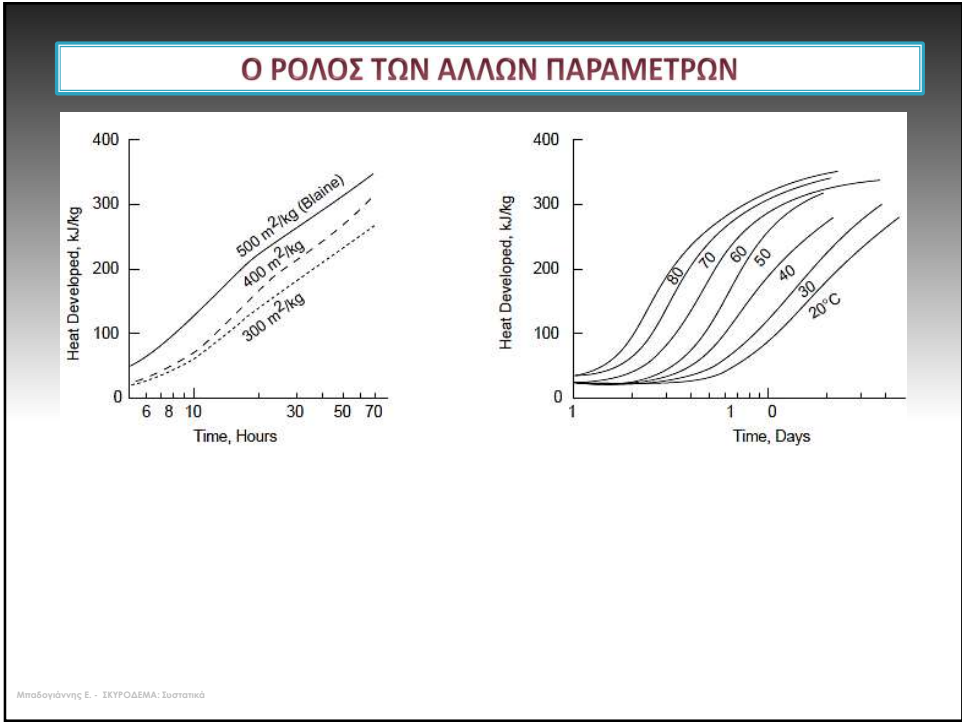
Χαρακτηριστικές τιμές θερμότητας ενυδάτωσης

Κατηγορία	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ (J/G)	
	Κατώτατο όριο	Ανώτατο όριο
Ενδιάμεση (MH)	Δεν Υπάρχει	<320
Χαμηλή (LH)		<270
Πολύ χαμηλή (VLH)		<220

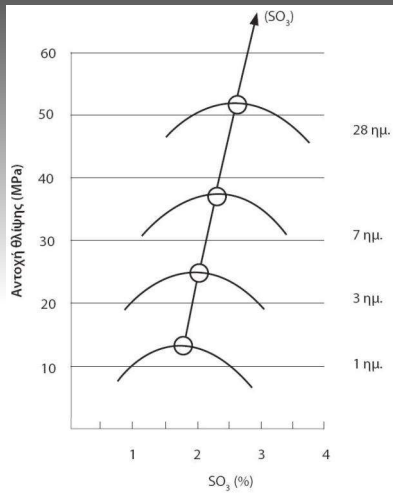
Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Ο ΡΟΛΟΣ ΑΛΛΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά



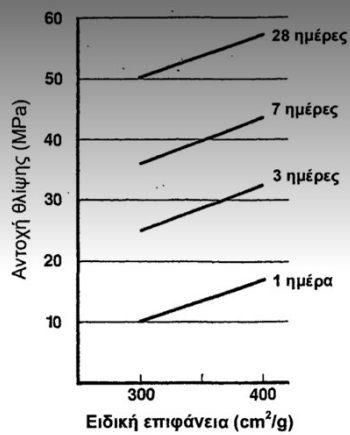
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ – Παράγοντες



Επίδραση θειικών στην ανάπτυξη αντοχών τσιμέντου (πηγή: «Επιστήμη & τεχνολογία τσιμέντου», Τσίμας Σ., Τσιβιλής Σ.)

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

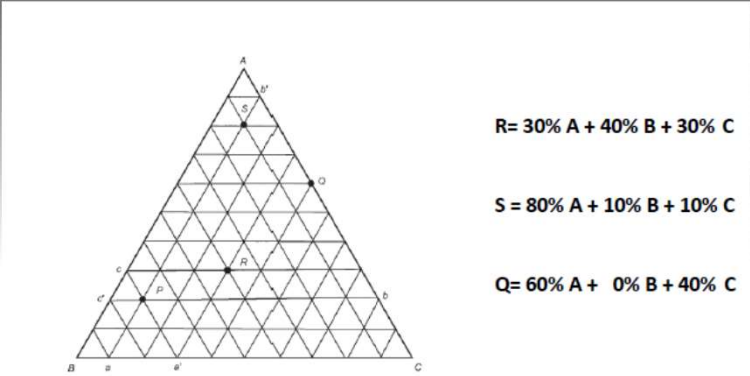
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ – Παράγοντες



Επίδραση της λεπτότητας στην ανάπτυξη αντοχών τσιμέντου (πηγή: «Επιστήμη & τεχνολογία τσιμέντου», Τσίμας Σ., Τσιβιλής Σ.)

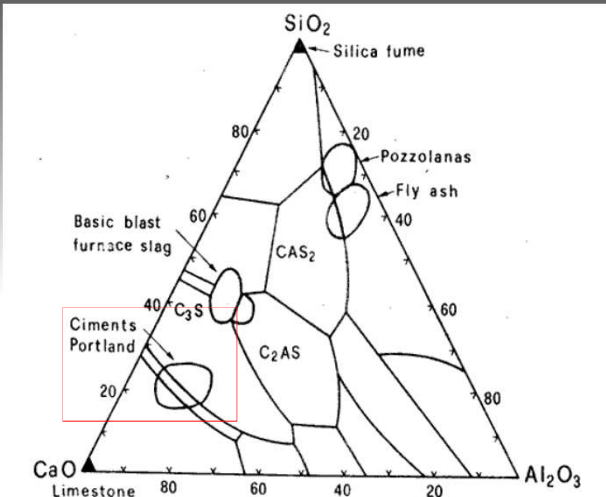
Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

τριμερή διαγράμματα φάσεων



Μπαδουγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

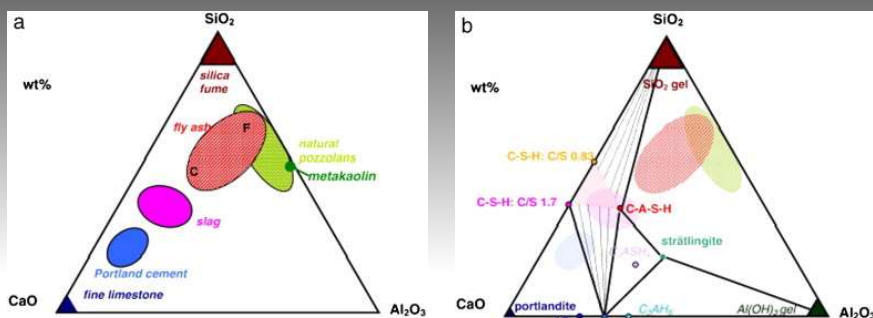
Blended cements



Θέσεις του τσιμέντου πόρτλαντ και των συστατικών του στο σύστημα CaO-Al₂O₃-SiO₂

Μπαδουγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Blended cements



- a. Θέσεις του τσιμέντου πόρτλαντ και των συστατικών του στο σύστημα $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$
 b. Προϊόντα ενυδάτωσης και ποζολανικής αντίδρασης στο σύστημα $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Blended cements

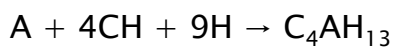
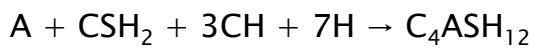
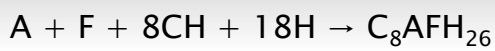
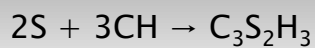
Χαρακτηριστικά συστατικών σύνθετων τσιμέντων Πόρτλαντ

	Σκωρία	Κανονική Ι.Τ.	Ι.Τ.- ΥΑ	Πυρ. παιπάλη
SiO_2 (%)	27-40	34-60	25-40	>80
Al_2O_3 (%)	5-33	17-31	8-17	0.1-0.5
Fe_2O_3 (%)	1	2-25	5-10	0.1-5
CaO (%)	30-50	0.5-10	10-38	<1
C (%)	-	<10	<10	-
Βασικότητα	1.2-1.8	0.2-0.7	1.0-1.8	0.1
Κρυσταλλική φάση (%)	<30	10-50	10-50	<5
Αμορφή φάση	Si-Al-Ca-O	Si-Al-Ca-O	Si-Al-Ca-O	Si-O
Διαλυτό CaO (ppm)	150-300		30-70	Ίχνη
Διαλυτό SO_3 (ppm)	20-150	0.5-1400	0.5-1400	10-15
Σχήμα σωματιδίων	Με αιχμές	σφαιρικό	σφαιρικό	σφαιρικό
Λεπτότητα (Blaine) (cm^2/g)	3000-6000	2500-4000	2500-4000	n.a.*
Λεπτότητα (BET) (m^2/g)	0.5-2	0.5-2	0.5-2	20
Πυκνότητα (g/cm^3)	2.9	2.0-2.7	2.0-2.7	2.3

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Blended cements

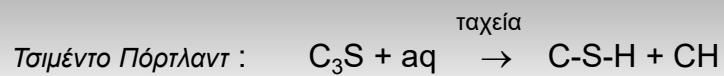
Τυπικές αντιδράσεις ενυδάτωσης που συνδέονται με την ποζολανική δραστηριότητα



Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Blended cements

Ενυδάτωση τσιμέντου Πόρτλαντ vs. Ποζολανικού τσιμέντου
(απλουστευμένη μορφή)



Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Blended cements – Η δράση των προσθέτων στο τσιμέντο και στο σκυρόδεμα

- ▶ Η ποζολανική αντίδραση είναι αργή:
 - η εκλυόμενη θερμότητα μειώνεται με αντίστοιχη μείωση του κινδύνου ρηγμάτωσης του υλικού.
 - επιβραδύνεται και η ανάπτυξη των αντοχών στις πρώιμες ηλικίες
- ▶ Η ποζολανική αντίδραση καταναλώνει υδράσβεστο:
 - το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ συντελεί αρνητικά στο πορώδες
 - είναι υδατοδιαλυτό και πολύ δραστικό χημικά.
 - Το πορώδες και η διαπερατότητα του σκυροδέματος μειώνεται σημαντικά
 - Βελτίωση ανθεκτικότητας

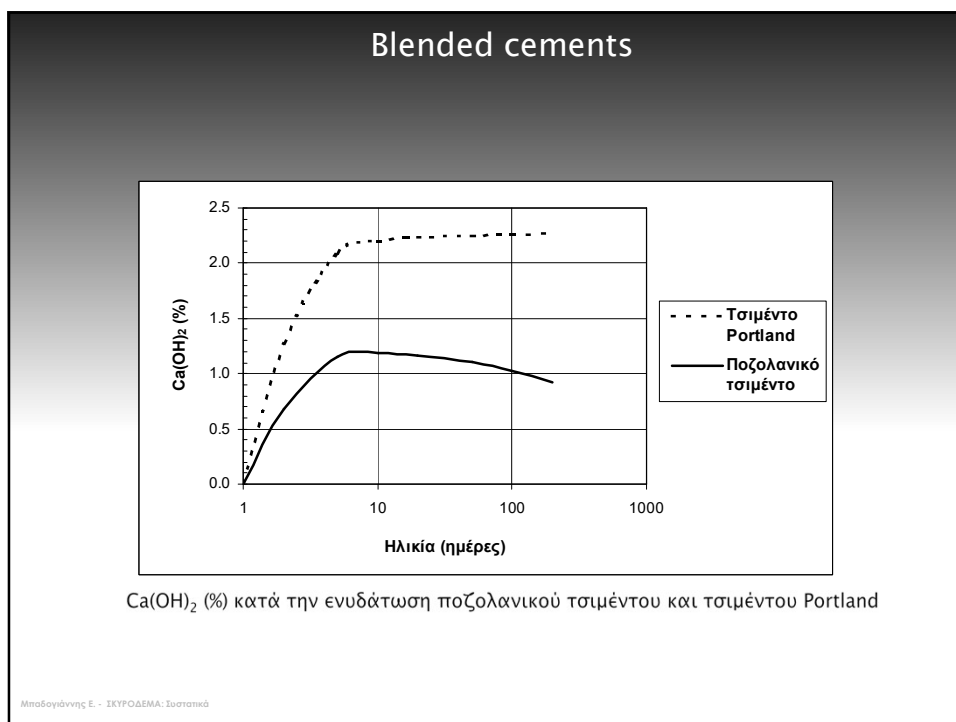
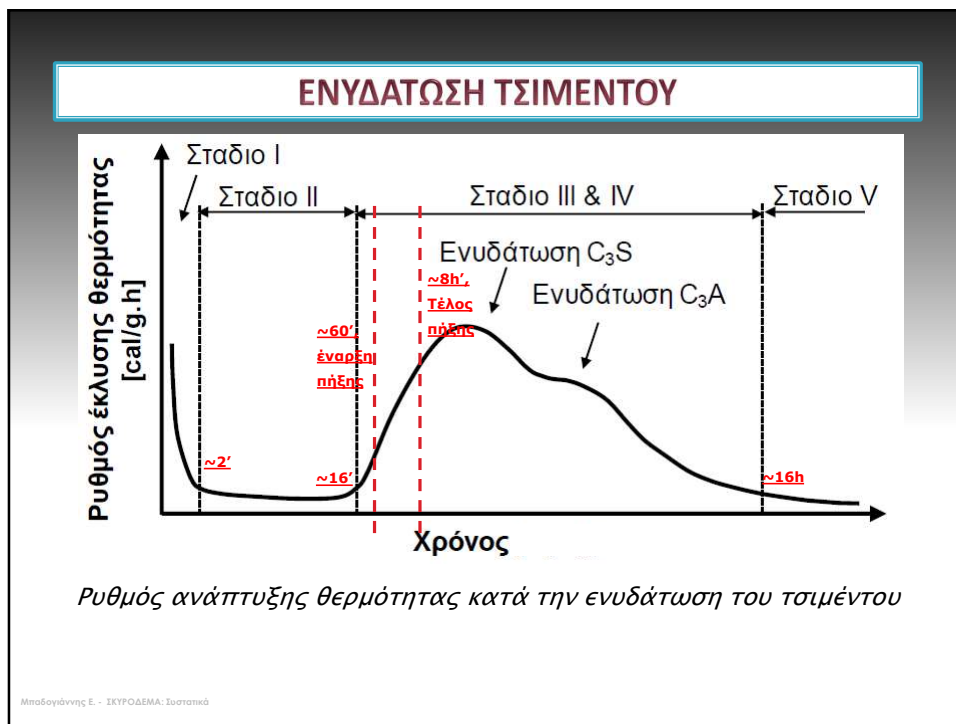
Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Blended cements

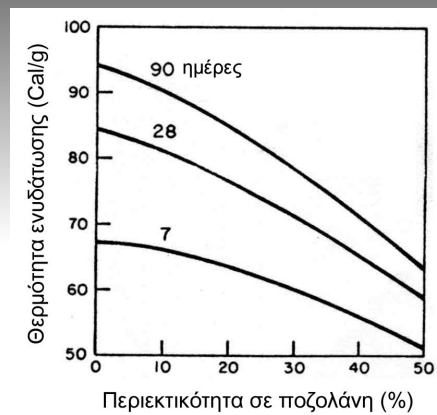
Επίδραση των ποζολανικών βιομηχανικών παραπροϊόντων στο ρυθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου (Κ: Καθυστέρηση, Ε: επιτάχυνση, Χ: καμία επίδραση)

Υλικό	Ορυκτολογικό συστατικό ή σύστημα του τσιμέντου	Αρχική ενυδάτωση			Τελική ενυδάτωση (V)
		I	II	III&IV	
Σκωρία	C_3S	K	K	E	E
	C_3A	K	K	E	E
	$\text{C}_3\text{A}+\text{CaSO}_4$	K	K	E	E
	$\text{C}_3\text{A}+\text{CaSO}_4+\text{Ca}(\text{OH})_2$	E	E	E	E
Ιπτάμενη Τέφρα	C_3S	K	K	E	E
	C_3A	K	K	E	E
	$\text{C}_3\text{A}+\text{CaSO}_4$	K	K	E	E
	$\text{C}_3\text{A}+\text{CaSO}_4+\text{Ca}(\text{OH})_2$	K**	K**	E	E
Πυριπική παιπάλη	C_3S	E	E	E	E
	C_3A	E	K***	E/X	E/X
	$\text{C}_3\text{A}+\text{CaSO}_4$	E	K***	E	E
	$\text{C}_3\text{A}+\text{CaSO}_4+\text{Ca}(\text{OH})_2$	E	E	E	E

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά



Blended cements



Επίδραση της προσθήκης διαφόρων ποσοστών ποζολάνης στη θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Ειδικά τσιμέντα

- ▶ **1η Κατηγορία** τσιμέντα που μπορούν να ενταχθούν και να καλυφθούν από ορισμένους από τους πέντε τύπους του EN 197-1, αλλά έχουν προβεβλημένη μία χαρακτηριστική ιδιότητα
- ▶ **2η Κατηγορία** τσιμέντα χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων
- ▶ **3η Κατηγορία** ειδικά τσιμέντα (special cements) ή τσιμέντα για εντελώς εξειδικευμένες εφαρμογές και αγορές

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Ειδικά τσιμέντα

1η Κατηγορία

- i) τσιμέντα που είναι ανθεκτικά στην επίδραση των θεικών αλάτων
- ii) τσιμέντα χαμηλής θερμότητας ενυδάτωσης
- iii) τσιμέντα υψηλών αρχικών αντοχών
- iv) λευκά τσιμέντα
- v) τσιμέντα τοιχοποιίας

2η Κατηγορία

- i) αλινιτικά
- ii) αλουμινοθειικά
- iii) βελιτικά τσιμέντα

Μπαθωγάνης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Ειδικά τσιμέντα

3η Κατηγορία

- i) τσιμέντα ταχείας πήξης και σκλήρυνσης
- ii) διογκούμενα τσιμέντα (expansive cements)
- iii) τσιμέντα τροποποιημένα με διάφορες πολυμερείς ίνες
- iv) τα τσιμέντα που ενδείκνυνται για σταθεροποιήσεις των πετρελαιοπηγών (Oil well cements)
- v) τσιμέντα που είναι ανθεκτικά στην επίδραση του παγετού
- vi) συνδετικές κονίες για υποστρώματα δρόμων

Μπαθωγάνης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΕΙΔΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ: ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΑ ΣΕ ΘΕΙΙΚΑ - ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ

Main types	Notation of the seven products (types of sulfate resisting common cement)		Composition (percentage by mass ^a)				
			Main constituents				Minor additional constituents
			Clinker K	Blast furnace slag S	Pozzolana natural P	Siliceous fly ash V	
CEM I	Sulfate resisting Portland cement	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5	95 – 100				0 – 5
CEM III	Sulfate resisting blast furnace cement	CEM III/B-SR	20 – 34	66 – 80	-	-	0 – 5
		CEM III/C-SR	5 – 19	81 – 95	-	-	0 – 5
CEM IV	Sulfate ^b resisting pozzolanic cement	CEM IV/A-SR	65 – 79		← --- 21 – 35 --- →		0 – 5
		CEM IV/B-SR	45 – 64		← --- 36 – 55 --- →		0 – 5

^a The values in the table refer to the sum of the main and minor additional constituents.

^b In sulfate resisting pozzolanic cements, types CEM IV/A-SR and CEM IV/B-SR, the main constituents other than clinker shall be declared by designation of the cement (for examples, see Clause 8).

Μπαδαγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Ειδικά τσιμέντα

Χαρακτηριστικές τιμές των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των SRC

Κατηγορία αντοχών	Θλιπτικές αντοχές (Μpa)			Αρχή χρόνου Πήξης (min)	Διόγκωση (mm)
	Πρώιμες αντοχές		Κανονικές αντοχές		
	2 Ημέρες	7 Ημέρες	28 Ημέρες		
32.5N		>16.0	>32.5 <52.5	>75	<10
32.5R	>10.0				
42.5N	>10.0		>42.5 <62.5	>60	
42.5R	>20.0				
52.5N	>20.0		>52.5	>45	
52.5R	>30.0				

Μπαδαγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Ειδικά τσιμέντα

Συμπληρωματικές χημικές απαιτήσεις των SRC

Ιδιότητα	Μέθοδος αναφοράς	Τύπος τσιμέντου	Κατηγορία αντοχών	Απαιτηση
SO ₃	EN 196-2	CEM I ...-SR 0 CEM I ...-SR 3 CEM I ...-SR 5 CEM IV/A...- SR P CEM IV/B...- SR P	32,5N 32,5R 42,5N	<3.0%
			42,5R 52,5N 52,5R	<3.5%
C ₃ A*	EN 196-2	CEM I ...-SR 0	ΟΛΕΣ	0
		CEM I ...-SR 3	ΟΛΕΣ	≤3%
		CEM I ...-SR 5	ΟΛΕΣ	≤5%
		CEM IV/A...- SR P CEM IV/B...- SR P	ΟΛΕΣ	≤9%
Ποζολανικότητα	EN 196-5	CEM IV/A...- SR P CEM IV/B...- SR P	ΟΛΕΣ	Ικανοποίηση τέστ

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Ειδικά τσιμέντα

Σύσταση Τσιμέντων Ειδικού Τύπου

Τύπος Τσιμέντου	Κύρια Χαρακτηριστικά
Πόρτλαντ Κοινό (OPC)	C ₃ A: 8-15% C ₂ S:~25% C ₄ AF:8-15% C ₃ S:~50%
Μέσης Θερμότητας Ενυδατώσεως (Μ.Θ.Ε.)	C ₃ A: ~5%
Υψηλών Αρχικών Αντοχών (Υ.Α.Α.)	C ₃ S:55-60% Μεγάλη λεπτότητα
Χαμηλής Θερμότητας Ενυδατώσεως (Χ.Θ.Ε.)	C ₃ A: ~5% C ₂ S:υψηλό (35-40%)
Αντοχής σε Θεϊκά Άλατα	C ₃ A: ≤5% Συνήθως C ₄ AF + 2C ₃ A < 20%
Λευκά	Κυρίως C ₃ S, C ₂ S, C ₃ A

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Ειδικά τσιμέντα

Άλλοι τύποι τσιμέντων και χρήσεις τους

Τύπος Τσιμέντου	Χρήσεις
1. Λευκά	Κυρίως σε περιπτώσεις διακόσμησης.
2. Oil-well	Για περιπτώσεις στεγανοποίησής τους που ανάγονται κατά τις γεωτρήσεις για πετρέλαια, όπου επικρατούν συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης
3. Με σκωρία υφικαμίνων	Όταν απαιτείται έκλυση μικρών ποσοτήτων θερμότητας ενυδάτωσης με παράλληλη αυξημένη αντοχή στα θειικά
4. Τοιχοποιίας	Σε ειδικές κατασκευές, κυρίως για διακοσμητικούς λόγους
5. Αργιλικά	Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ταχεία πήξη η οποία να συνοδεύεται με ανάπτυξη υψηλών αντοχών στις πρώτες ηλικίες
6. Sorel	Ως υλικά επίστρωσης δαπέδων
7. Sr-Aluminate	Για πυρίμαχες κατασκευές
8. Ba-Aluminate	Για πυρίμαχες κατασκευές
9. Διογκούμενα	

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Σύγκριση χημικής σύστασης φαιού και λευκού τσιμέντου

Τύπος	Χημική σύσταση					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Λευκό	22,5	4,5	0,4	66,3	1,0	2,8
Φαίο	20,5	5,4	2,6	63,9	2,1	3,0

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Σύγκριση ορυκτολογικής σύστασης φαιού και λευκού τσιμέντου

Τύπος	Ορυκτολογική σύσταση				Λεπτότητα Blaine(m ² /Kg)
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
Λευκό	60	19	11	1	469
Φαλιό	54	18	10	8	369

Μπαθωγάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Τσιμέντα χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων

Τύπος τσιμέντου	Συστατικά κλίνκερ	Ιδιότητες, εφαρμογές
Βελιτικά τσιμέντα	α' C ₂ S, C ₃ S, C ₃ A	Μικρότερες πρώιμες αντοχές και μεγαλύτερες τελικές αντοχές
Βελιτικά, αλουμινοθειικά (Θειοασβεσταργιλικά)	C ₂ S, C ₄ A ₃ S ^ξ ή CA, C ₁₂ A ₇ C ₂ S ^ξ	Υψηλές πρώιμες αντοχές, τάση διόγκωσης, μικροί χρόνοι πήξης και καλή χημική ανθεκτικότητα
Βελιτικά, σιδηροθειικά	C ₂ S, C ₄ A, C ₄ A ₃ S ^ξ , CS	Μικροί χρόνοι πήξης, Υψηλές πρώιμες αντοχές
Αλινιτικά	C ₁₁ A ₇ CaCl ₂	Περιεκτικότητα σε Cl ⁻ έως 2,5%, υψηλή υδραυλικότητα, διάβρωση οπλισμού

Μπαθωγάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

Ιδιότητες τσιμέντων με διαφορετικούς βαθμούς κορεσμού σε άσβεστο, LSF

LSF	Θερμοκρασία Έψησης (°C)	Φαινόμενη πυκνότητα (kg/l)	C ₃ S (%)	C ₂ S (%)	Θλιπτική Αντοχή (MPa)	
					7ημ	180ημ
0.75	1280	1.8	0	80	-	15
0.80	1280	2.2	12	68	5	25
0.85	1290	2.2	32	48	18	47
0.90	1300	2.2	46	34	25	55
0.95	1330	2.3	56	24	30	59
1.00	1380	2.7	80	0	42	64

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ – ΕΡΓΑΣΙΑ 1

Η τσιμεντοβιομηχανία ΝΤΥΑ, είναι σε θέση να παράγει όλα τα τσιμέντα του EN197-1. Η ορυκτολογική σύσταση του κlinker της, δίνεται στον πίνακα 1. Ο μηχανικός σημαντικού έργου ενδιαφέρεται να προμηθευτεί μεγάλη ποσότητα τσιμέντου. Η προδιαγραφές της κατασκευή απαιτούν χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης.

1. Προτείνετε και συγκρίνετε τρία (3) από τα τσιμέντα που παράγονται με το αμιγές τσιμέντο CEM I, ίδιας κατηγορίας αντοχής.
2. Ποιοι άλλοι παράγοντες, εκτός της χημικής σύστασης, επηρεάζουν το ρυθμό ανάπτυξης θερμότητας και πρέπει να θεωρηθούν σταθεροί;
3. Για τα τσιμέντα αυτά, εξηγήστε αν θα επηρεαστεί η αντοχή (τιμή/ρυθμός ανάπτυξης) σε κάθε περίπτωση.

Πίν. 1. Ορυκτολογική σύσταση κlinker

Συστατικό	% κ.β.
C ₃ S	49
C ₂ S	25
C ₃ A	12
C ₄ AF	8

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Συστατικά