

ΣΥΝΔΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ή ΚΟΝΙΕΣ *(mortars)*

ΣΥΝΔΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ή ΚΟΝΙΕΣ *(mortars)*

Τα κονιοποιημένα υλικά που όταν αναμειχθούν με νερό σχηματίζουν πολτό ο οποίος παρουσιάζει συγκολλητικές ιδιότητες, πήζει και σκληραίνει.

Δύο κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο που στερεοποιούνται:

- Απλές (στερεοποιούνται σε ατμοσφαιρικό αέρα και διαλύονται σε υγρό περιβάλλον ακόμα και αν έχουν στερεοποιηθεί).
- Υδραυλικές (πήζουν και σκληραίνουν μέσα σε υγρό ή περιοδικώς υγρανόμενο περιβάλλον).

Οι κυριότερες κονίες: Τσιμέντο, άσβεστος, γύψος, υδράσβεστος, μαγνησιακή κονία, υδραυλική άσβεστος, Ρωμαϊκή κονία, πηλός, άσφαλτος, πίσσα.

1. ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Πρώτες ύλες κατά σειρά περιεκτικότητας:

- ✓ Ασβεστόλιθος → CaO («βασικό» συστατικό).
- ✓ Άργιλος (Άργιλοι ή μάργες. Καολίνης για λευκό τσιμέντο, ποζολάνη για λιμενικά έργα) → SiO_2 , Al_2O_3 («όξινο» συστατικό).
- ✓ Γύψος («επιβραδυντής» πήξεως).
- ✓ Προσθετικά: Σιδηρούχα υλικά (σκωρίες υψικαμίνων, κ.ο.κ.) ή υλικά με υδραυλικές ιδιότητες (ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα).
- ✓ Καύσιμα και ηλεκτρική ενέργεια

Σύσταση του τσιμέντου (κατά προσέγγιση)

Calcium oxide (CaO) = 50 - 60%
Silica (SiO_2) = 20 - 25%
Alumina (Al_2O_3) = 5 - 10%
Magnesium oxide (MgO) = 2 - 3%
Ferric oxide (Fe_2O_3) = 1 - 2%
Sulphur trioxide (SO_3) = 1 - 2%

- Τα οξείδια που συμμετέχουν στις φάσεις (ενώσεις) του τσιμέντου: **CaO (C)**, **SiO₂ (S)**, **Al₂O₃ (A)**, **Fe₂O₃ (F)**, **MgO (M)**, **Na₂O (N)**, **K₂O (K)**.
- Τα C, S, A κονιοποιούνται και φρύσσονται σε περιστροφικές κυλινδρικές καμίνους σε θερμοκρασίες μέχρι 1500° C.
- Το προϊόν της φρύξεως (clinker) κονιοποιείται, αλέθεται με προσθήκη γύψου και αποτελεί το τσιμέντο τύπου “**portland**”.

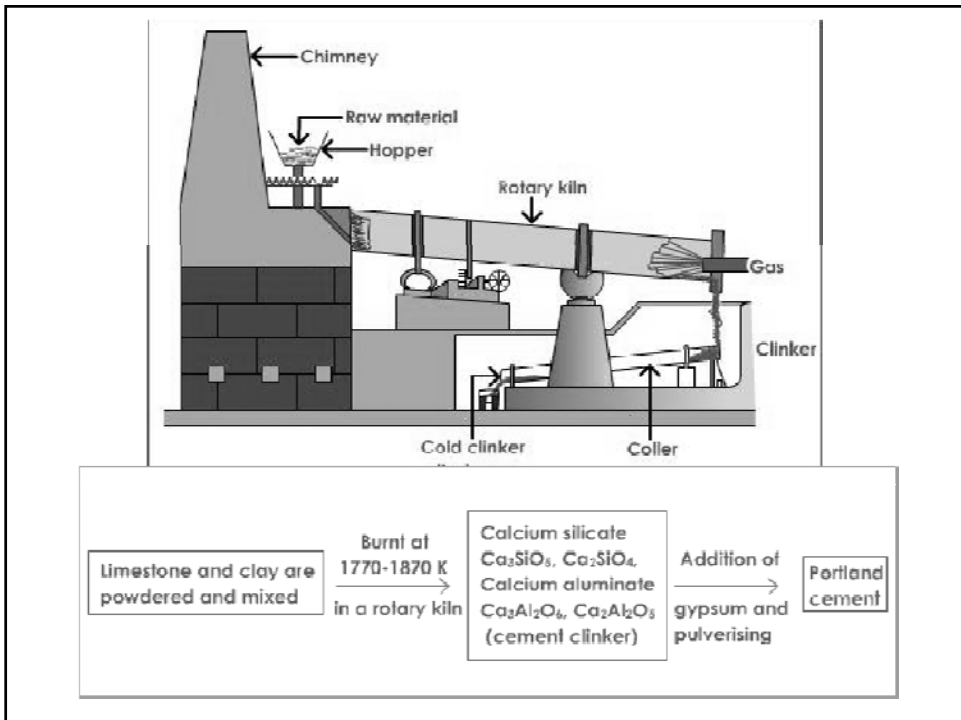


Το clinker τη στιγμή που αφήνει τον κεκλιμένο διάδρομο μεταφορά και ψύξης για να αποθεθεί στο χώρο αποθήκευσης (εικόνα: ©Dylan Moore 2011, http://www.cementkilns.co.uk/ck_clinker.html)

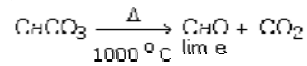
Isle of Portland,
English chanel



Joseph Aspdin
1824



Raw material $\xrightarrow[750^{\circ}\text{C}]{\Delta}$ Complete elimination of moisture
heated



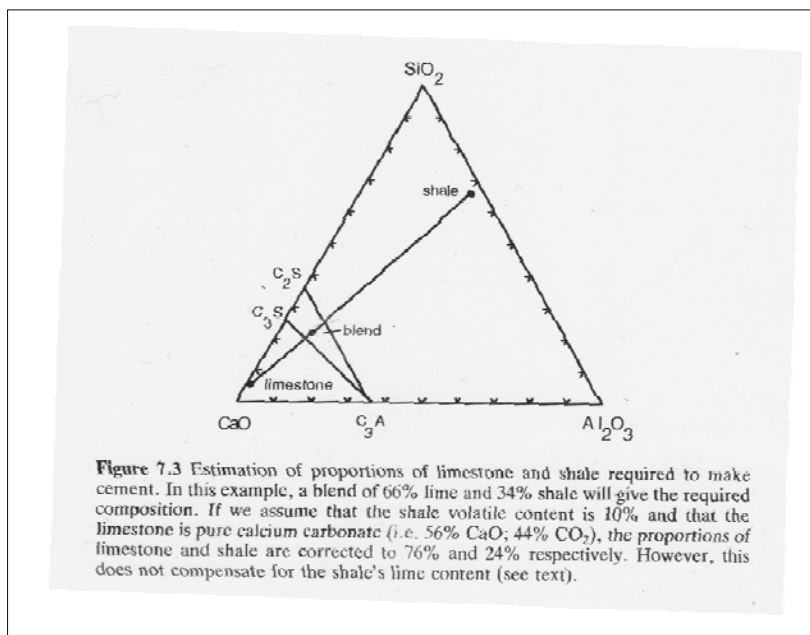
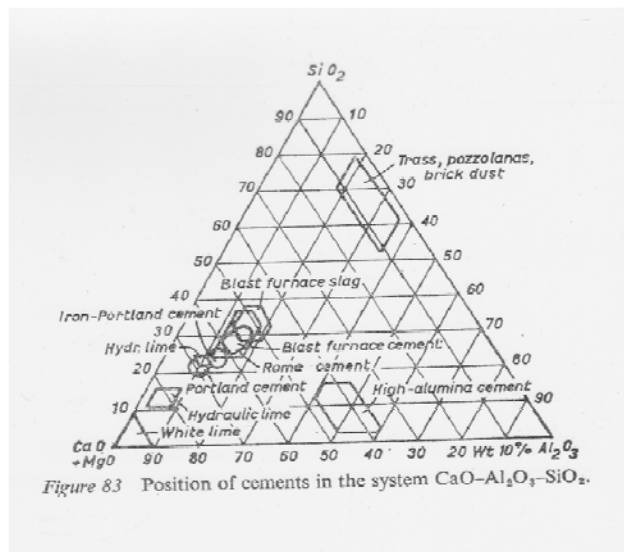
- $2\text{CaO} + 2\text{SiO}_2 \longrightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (dicalcium silicate)
lime silica
- $3\text{CaO} + 3\text{SiO}_2 \longrightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (tricalcium silicate)
- $3\text{CaO} + 3\text{Al}_2\text{O}_3 \longrightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (tricalcium aluminate)
- $4\text{CaO} + 4\text{Al}_2\text{O}_3 + 4\text{Fe}_2\text{O}_3 \longrightarrow 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
(tetracalcium aluminoferrite)
- $\text{MgO} + \text{SiO}_2 \longrightarrow \text{MgSiO}_3$ (magnesium silicate)

Στάδια παραγωγής του τσιμέντου

- Πλύσιμο αργίλου για την απομάκρυνση ξένων προσμίξεων
- Προστίθεται σκόνη ασβέστου και το μίγμα κονιοποιείται και ομογενοποιείται
- Το εναιώρημα (40% νερό) ή το ξηρό μίγμα εισάγεται στον κλίβανο
- Στοιχεία κλιβάνου: επενδυμένος με τούβλα, κεκλιμένος, ατσάλινος περιστρεφόμενος κύλινδρος, μήκους 45-60m, διαμέτρου 3m.
- Το νερό εξατμίζεται στην ανώτερη άκρη του κλιβάνου με τη βοήθεια των θερμών αερίων, στην περίπτωση υγρής διεργασίας.

- Το ξηραμένο υλικό κατέρχεται στο τέλος του κλιβάνου όπου έρχεται σε επαφή με τη φλόγα που παράγεται από την καύση κονιοποιημένου άνθρακα.
- Θερμοκρασία: 1600°C. Το ημιτετηγμένο και υαλοποιημένο μίγμα υποκύπτει σε σειρά χημικών αντιδράσεων που σχηματίζουν ασβεστο-αλουμινούχες και ασβεστοπυριτικές φάσεις.
- Όλες εξωθερμικές → απελευθερώνουν θερμότητα.
- Ο κατάλληλος έλεγχος της θερμοκρασίας είναι απαραίτητος ώστε να αποφευχθεί υπερβολική υαλοποίηση της μάζας.
- Το αποτελούμενο μίγμα όλων αυτών των ενώσεων καλείται κλίνκερ τσιμέντου.

- Μετά την ψύξη του, αναμιγνύεται με 2-3% γύψο και κονιοποιείται.
- Η γύψος επιβραδύνει την στερεοποίηση ώστε να επιτευχθεί η ιδανική σκληρότητα.
- Με την ανάμιξή του με νερό το τσιμέντο στερεοποιείται σε μια σκληρή μάζα.
- Δημιουργεί κατ' αρχήν μια πλαστική μάζα ή οποία σκληραίνει μετά από κάποιο χρόνο λόγω των τρισδιάστατων διασυνδέσεων μεταξύ των αλυσίδων --Si-O-Si-- και --Si-O-Al--.
- Η πρώτη στερεοποίηση συμβαίνει εντός 24 ωρών, ενώ η ακόλουθη στερεοποίηση λαμβάνει χώρα εντός δεκαπενθημέρου, ενόσω βρίσκεται καλυμμένο με λεπτό στρώμα νερού.



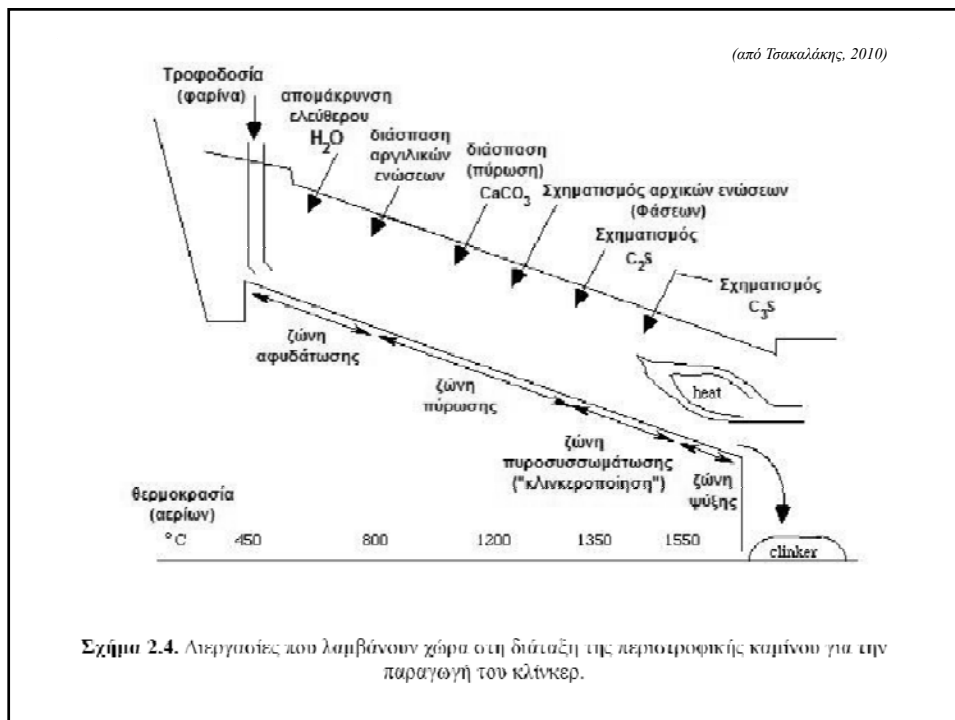
Κατά τη φρύξη των πρώτων υλών λαμβάνουν χώρα:

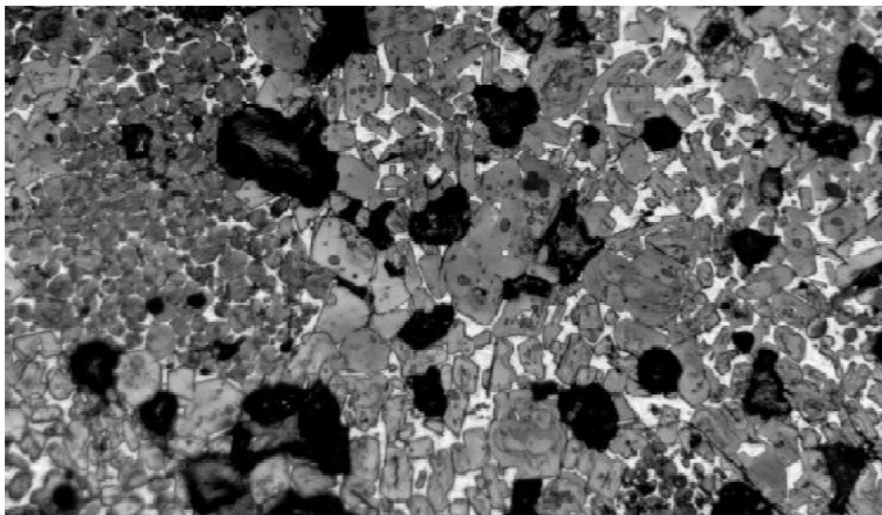
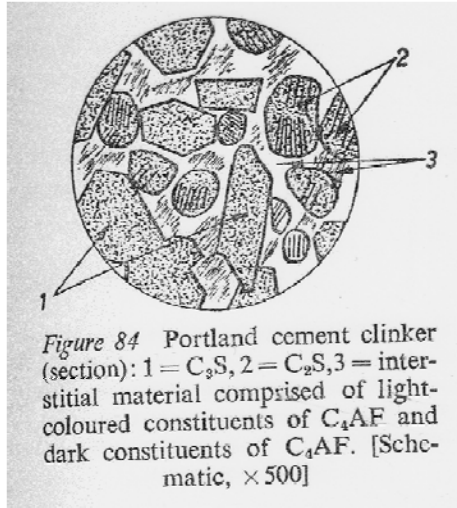
- Εξάτμιση του προσροφημένου H_2O (100-200° C)
- Απώλεια του (OH) των αργιλικών ορυκτών (400-900°C)
- Διάσπαση ανθρακικών ορυκτών (700-900 °C)
- Αντιδράσεις σε στερεά κατάσταση (> 700 °C)
Σχηματίζονται κατά σειρά οι φάσεις (σε παρένθεση οι ασταθείς σε υψηλές T, που διασπώνται κατά την πρόοδο της φρύξης):
(CA), (CF), (CS), (C_5A_3), C_2S , C_3A , C_4AF .
- Σύντηξη και αντιδράσεις στερεού-υγρού (>1350 ° C) → C_2S , C_3S
- Τήξη (> 1400°C).

Μετά την ψύξη το κρυσταλλικό υλικό έχει μία μέση σύσταση:

45% alite (C_3S), 25% belite (C_2S), 9% celite (C_4AF), 12% C_3A .

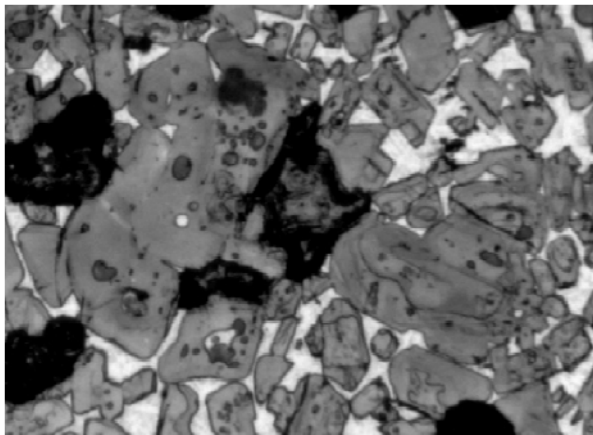
Υπάρχει επίσης γυαλί διαφόρων συστάσεων, κυρίως C_3A .





(από: <http://www.arthurharrison.com/clinker%20microscopy.html>)

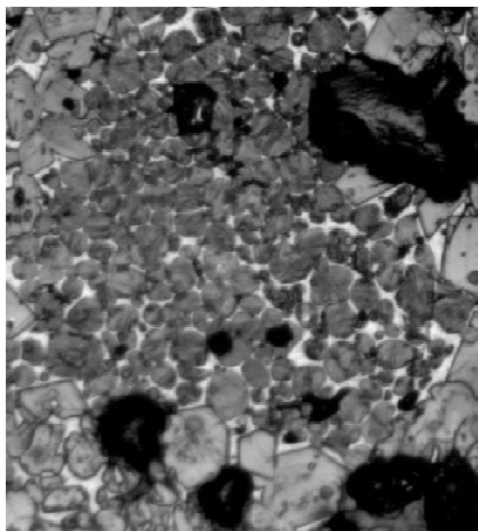
Στιλβομένη λεπτή τομή κλίνκερ στο οποίο έχει επιδράσει (etched) διάλυμα αλκοόλης και νιτρικού οξέως (nital).



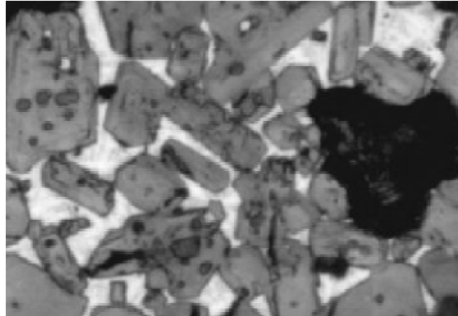
(από: <http://www.arthurharrison.com/clinker%20microscopy.html>)

- ❖ Κρύσταλοι αλίτη (alite, tricalcium silicate). Γωνιώδεις, εξαγωνικοί με μέγεθος 30-35μ.
- ❖ Αποτελούν συνήθως το 50-70% του κλίνκερ.
- ❖ Η αντίδρασή τους με το νερό είναι ιδιαίτερης σημασίας για την ανάπτυξη της τσιμεντοποίησης κατά την ανάμιξη και τοποθέτηση του κονιάματος ή του σκυροδέματος.
- ❖ Το μέγεθος, το σχήμα του και η σύστασή τους εξαρτάται από την χημική σύσταση του αρχικού μίγματος (raw mix), τη σωστή τροφοδοσία του κλιβάνου, τη μέγιστη θερμοκρασία στην οποία υποβάλλεται το κλίνκερ κατά το σχηματισμό του στον κλίβανο και η διάρκεια παραμονής του σε αυτή τη θερμοκρασία.

- ❖ Κρύσταλοι μπελίτη (belite, bicalcium silicate).
- ❖ Στρογγυλεμένοι με τάση να γίνουν πιο επιμήκεις λόγω μετασχηματισμού της φάσης α-belite σε α-prime belite κατά την ψύξη.
- ❖ Ο μηχανισμός προέλευσης και ανάπτυξης αυτών των λαμελών δεν είναι ακόμη γνωστός με ακρίβεια.
- ❖ Ωστόσο σίγουρα η ανάπτυξη τους οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες
- ❖ και το σχετικά μικρό μέγεθός τους (15-20μ) υποδεικνύει μικρή διάρκεια παραμονή σε αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες.



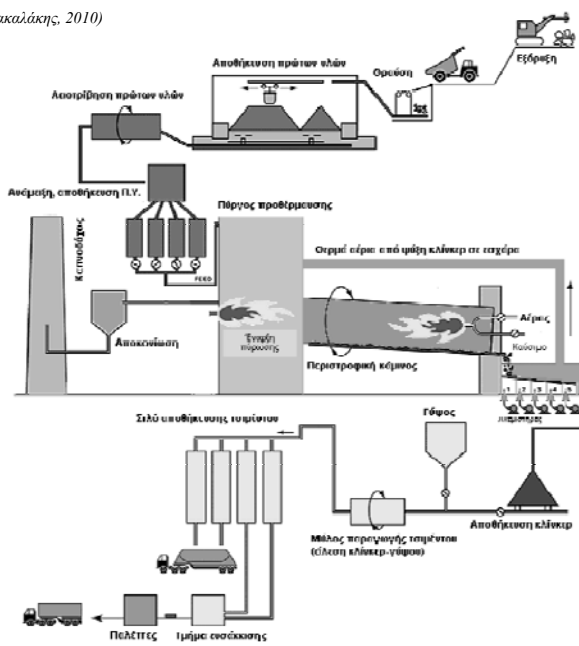
(από: <http://www.arthurharrison.com/clinker%20microscopy.html>)



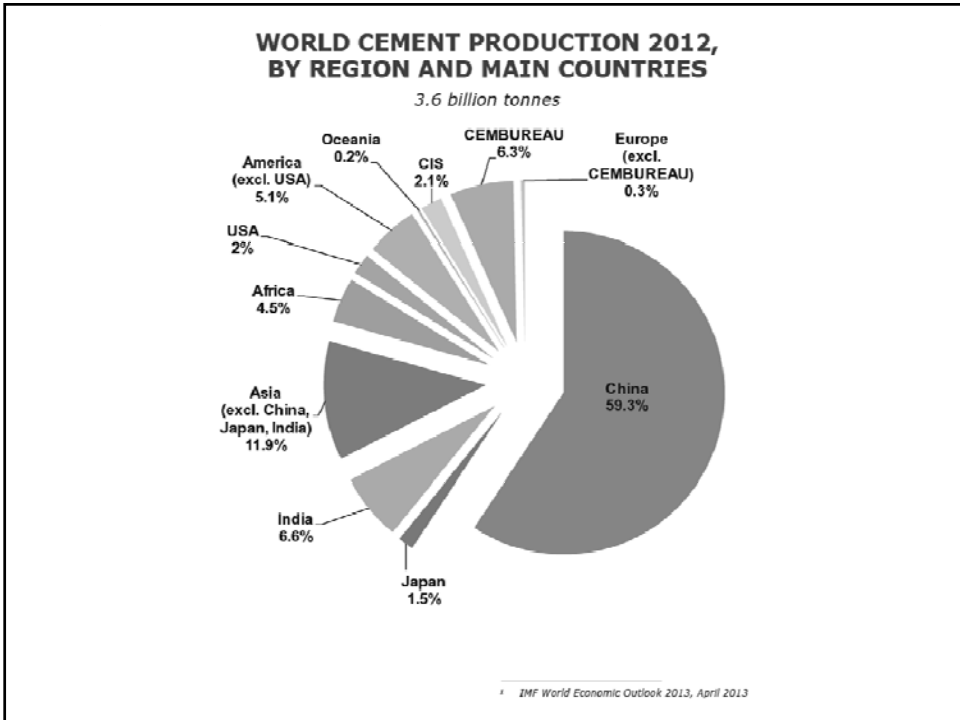
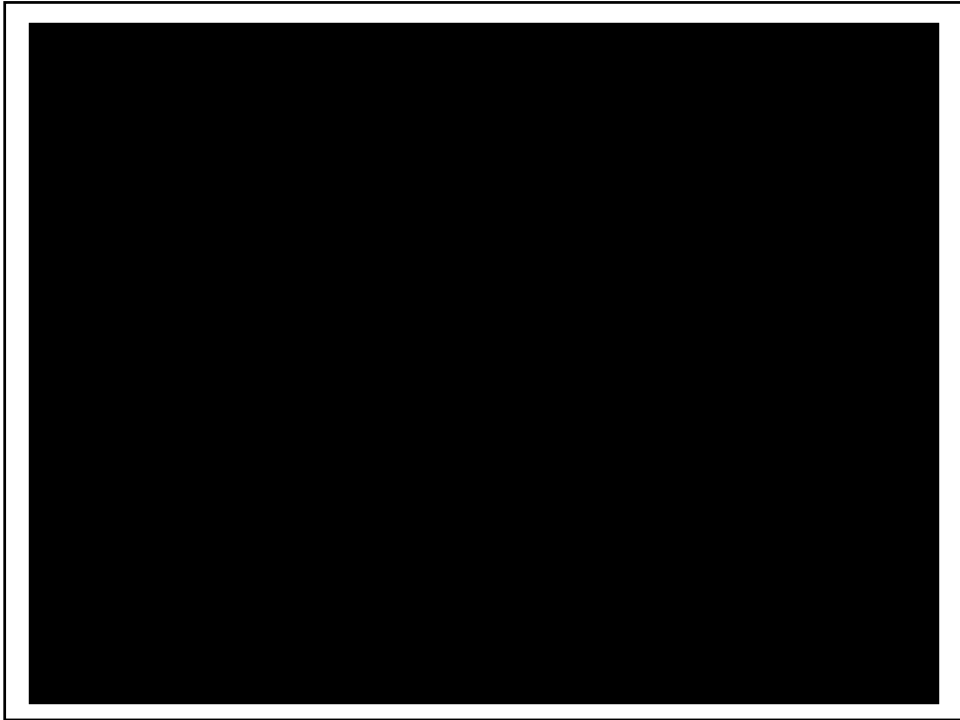
(από: <http://www.arthurharrison.com/clinker%20microscopy.html>)

- ❖ Κρύσταλοι tricalcium aluminate και tetracalcium aluminoferrite (λευκού-γκρί και λευκού χρώματος).
- ❖ Το μέγεθός τους υποδεικνύει ένα σχετικά ταχύ ρυθμό ψύξης, ανάμεσα στα θερμότερα τμήματα της περιοχής καύσης και στην έξοδο του κλιβάνου.
- ❖ Τα σχετικά ποσοστά των διαφόρων τύπων κρυστάλλου υποδεικνύουν μια τυπική αναλογία Al/Fe όπως εκείνη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του συνηθισμένου τύπου τσιμέντου Portland (δηλαδή όχι για ειδικής ποιότητας τσιμέντο όπως λευκό τσιμέντο ή ανθεκτικό σε σουλφίδια τσιμέντου).

(από Τσακαλάκης, 2010)

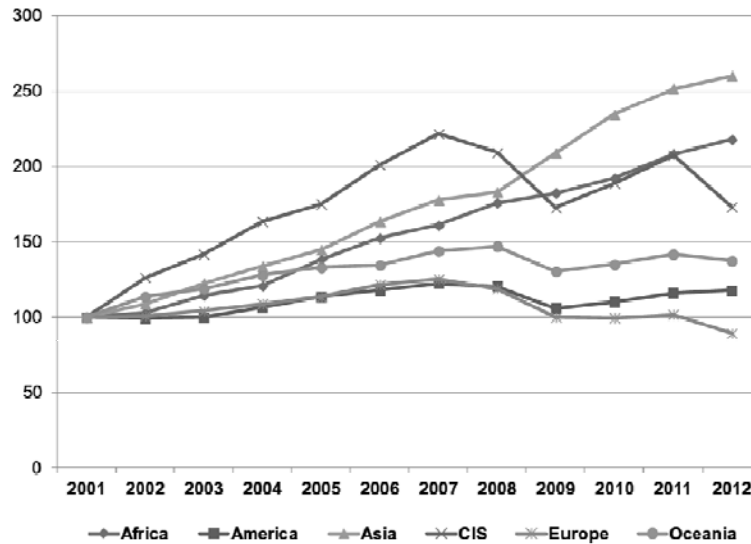


Σχήμα 2.7. Αναλυτικό διάγραμμα ροής διεργασιών παραγωγής τσιμέντου.



WORLD CEMENT PRODUCTION BY REGION EVOLUTION 2001-2012

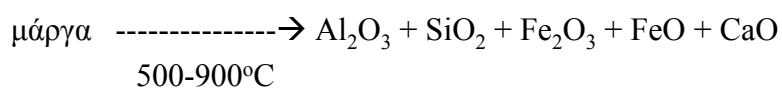
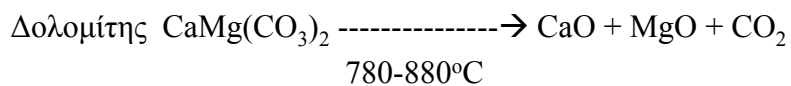
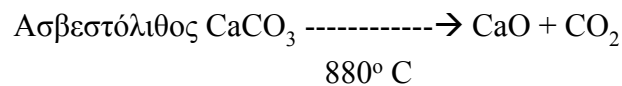
Index 2001 = 100



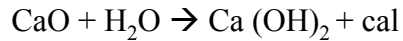
2. ΑΣΒΕΣΤΟΣ

Ασβεστος ή καυστική άσβεστος = το οξείδιο CaO που παρασκευάζεται με φρύξη ανθρακικών πετρωμάτων (συνήθως περιεκτικότητας 98% σε CaCO₃).

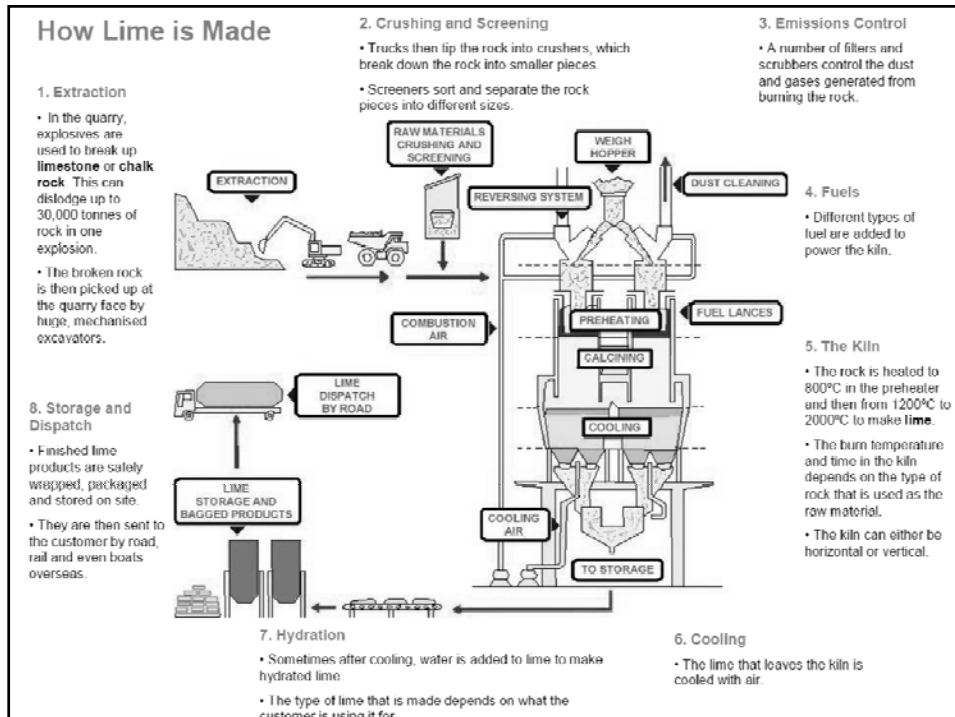
Η φρύξη: σε ασβεστοκάμινα όπου τα διερχόμενα αέρια καύσεως παρασύρουν το εκλυόμενο CO₂:



Η άσβεστος σε επαφή με το νερό μετατρέπεται σε υδράσβεστο:



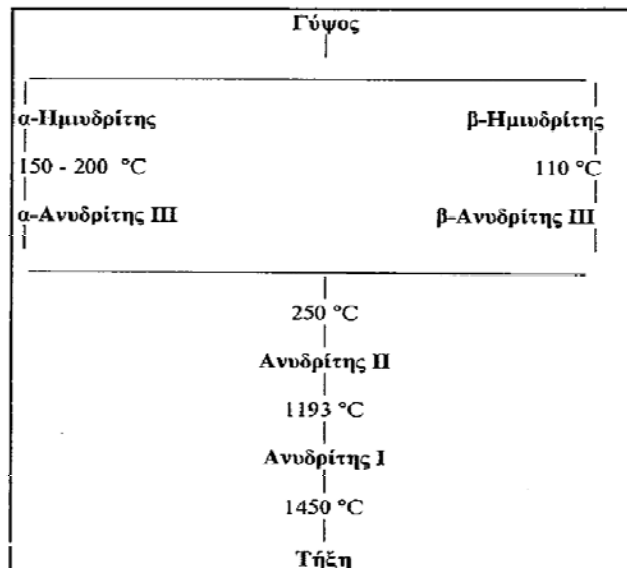
Πρέπει να αποθηκεύεται σε ξηρό χώρο επειδή, όταν εκτεθεί στον αέρα απορροφά υγρασία, διογκώνεται, θρυμματίζεται, κονιοποιείται και με την επίδραση του ατμοσφαιρικού CO_2 μετατρέπεται σε CaCO_3 (αδρανές υλικό).



3. ΓΥΨΟΣ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

- ❖ Η κονία που παρασκευάζεται με φρύξη της φυσικής γύψου.
- ❖ Περιεκτικότητα σε ξένα συστατικά → υποβιβασμός ποιότητας.
(CaCO_3 , MgCO_3 , SiO_2 , Al_2O_3)
- ❖ Με ρύθμιση τη θερμοκρασίας φρύξης της φυσικής γύψου και ανάλογα με το βαθμό αφυδάτωσης παράγονται:

γύψος (plaster)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
α-ημι-υδρίτης (α-hemi-hydrate)	$\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$
β-ημι-υδρίτης (β-hemi-hydrate)	$\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$
α-ανυδρίτης III	CaSO_4
β-ανυδρίτης III	CaSO_4
ανυδρίτης II	CaSO_4
ανυδρίτης I	CaSO_4



Η σειρά διαλυτότητας είναι:

γύψος < α-ημι-υδρίτης < β-ημι-υδρίτης = ανυδρίτης III
Οι ανυδρίτες I και II είναι μη διαλυτοί.

4. ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ (Ca(OH)₂)

Παράγεται με ενυδάτωση της ασβέστου.

Πολτός ή σκόνη: ανάλογα με την ποσότητα νερού και τον τρόπο σβέσης

Πολτός: πλαστικότητα → κατάλληλος ως δομικό υλικό

1^ο στάδιο: σβέση με χρήση νερού (μικρή περιεκτικότητα σε άλατα, πλήρης κάλυψη της ασβέστου)

2^ο στάδιο: ωρίμανση με σκοπό την ολοκλήρωση της σβέσης, την απομάκρυνση αλάτων, την αύξηση της πλαστικότητας, τον σχ/σμό πολτού.

Δύο είδη πολτού:

Συνδετικός: για παραγωγή συνδετικών κονιαμάτων (δόμηση τοίχων).

Επικαλυπτικός: για παρασκευή επικαλυπτικών κονιαμάτων (επιχρίσματα). Αποτελεί την **άριστη** ποιότητα

4. ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ (Ca(OH)₂) (συνεχ.)

Μορφή κόνεως:

- σβέση με μικρή σχετικά ποσότητα νερού (60% του βάρους της ασβέστου)
- λειοτρίβηση και δημιουργία σκόνης υδρασβέστου.

Σκόνη πλεονεκτεί από απόψεως μεταφοράς, αποθήκευσης και χρησιμοποίησης αλλά μειονεκτεί από απόψεως πλαστικότητας για παραγωγή συνδετικών κονιαμάτων (δόμηση τοίχων).

Η υδράσβεστος χρησιμοποιείται ως συγκολλητική ύλη για την παρασκευή ασβεστο-κονιαμάτων, γυψασβεστο-κονιαμάτων και ασβεστοτσιμεντο-κονιαμάτων. Επίσης χρησιμοποιείται στα υδροχρώματα (συνδέει τα μόρια του χρώματος με τις επιφάνειες που θα καλυφθούν).

Ο κύκλος της ασβέστου

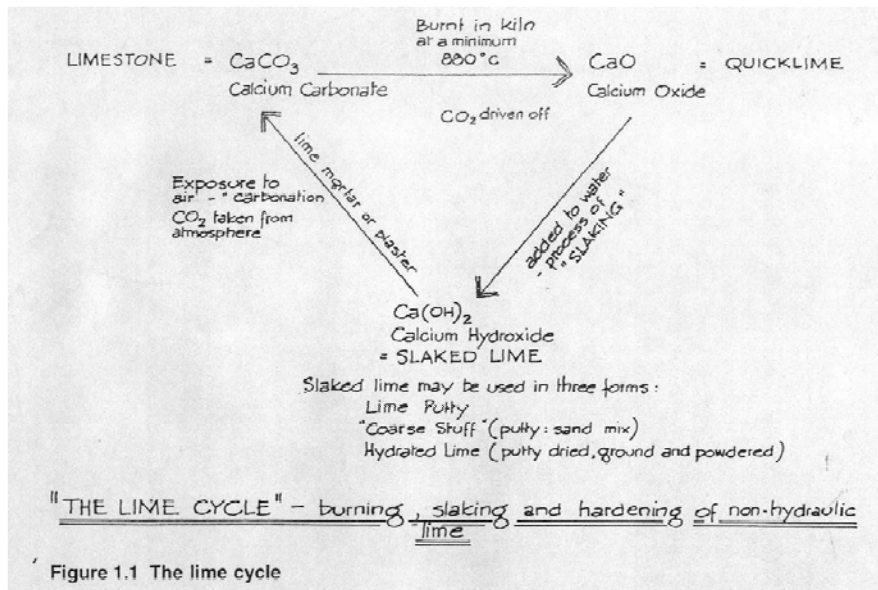
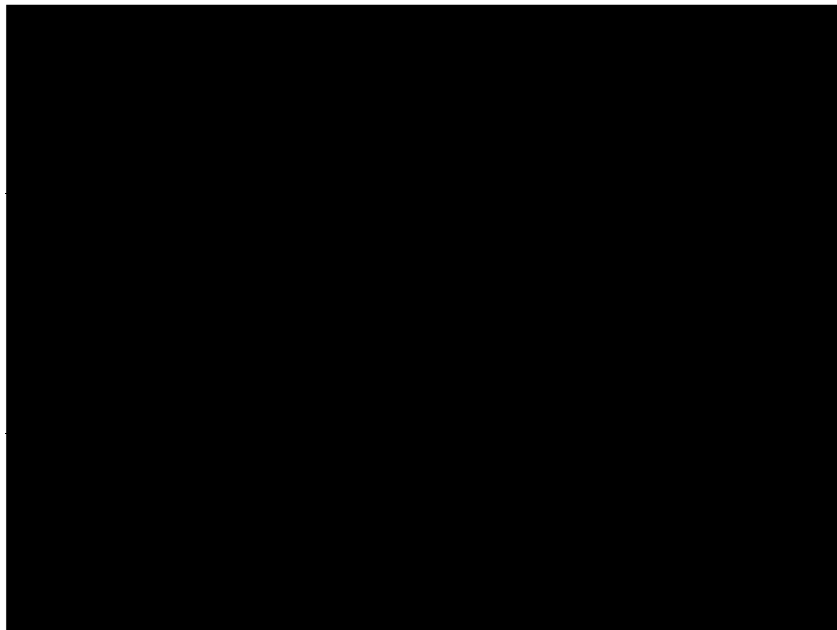


Figure 1.1 The lime cycle



5. Μαγνησιακή Κονία ή κονία sorel (MgO)

Προέρχεται από την άλεση της καυστικής μαγνησίας (MgO), η οποία λαμβάνεται από τη φρύξη του μαγνησίτη (700-800° C)

Χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή δομικών υλικών όπως κονίαμα που παρασκευάζεται με πριονίδια ξύλου, ρινίσματα φελλού ή κίσηρη ως αδρανή και κονία Sorel ως συνδετική ύλη (επενδύσεις και επιστρώσεις).

Πλεονεκτήματα: Προϊόντα άκαυστα, με σημαντική αντοχή και σκληρότητα και επιδεκτικά λείανσης και στίλβωσης.

Μειονέκτημα: προσβάλλονται από το νερό (χρήση σε εσωτερικούς μόνο χώρους)

Κατασκευή σκληρών τεχνητών δομικών λίθων από άμμο, χαλαζιακό πληρωτικό, μαρμαρόσκονη και μαγνησιακή κονία (επιδέχονται λείανση και στίλβση)

6. Υδραυλική άσβεστος

- Η άσβεστος που παράγεται με φρύξη αργιλούχων ασβεστόλιθων (10-15% άργιλο), σε θερμοκρασία 1000-1300 °C.
- Μετά από ειδική σβέση φέρεται στο εμπόριο σε μορφή σκόνης.
- Έχει υδραυλικές ικανότητες που οφείλονται σε ενώσεις των οξειδίων Al, Si, και Fe με το CaO που σχηματίζεται κατά τη φρύξη.
- Στην Ελλάδα δεν παράγεται, εφ' όσον έχει αντικατασταθεί πλήρως από το τσιμέντο.

7. Ρωμαϊκή κονία

- Παράγεται με τη φρύξη αργιλούχων ασβεστόλιθων (15-20% άργιλο), σε θερμοκρασία 1100-1250 °C.
- Το προϊόν της φρύξης λειοτριβείται και συσκευάζεται σε σάκους, χωρίς να υποστεί σβέση.
- Έχει γκριζοκίτρινο έως κοκκινωπό χρώμα.
- Είναι εξαιρετικά ταχύπηκτος κονία και αποτελεί ενδιάμεση υδραυλική κονία ανάμεσα στην άσβεστο και στο τσιμέντο Portland.
- Η ρωμαϊκή κονία έχει εφαρμογή σε όσα έργα απαιτείται ταχύτατη πήξη. Σήμερα έχει αντικατασταθεί πλήρως από το τσιμέντο Portland.

8. Πηλός

- Ασύνδετο ίζημα που εκτός των αργιλικών ορυκτών περιέχει μικρό ποσοστό κόκκων χαλαζία.
- Οι ιδιότητες του εξαρτώνται από το είδος και το ποσοστό των αργιλικών ορυκτών.
- Η στερεοποίηση του πηλού κατά την ξήρανση Οφείλεται στην συνοχή των τεμαχιδίων των αργιλικών ορυκτών και την κολλοειδή συρρίκνωση.
- Αυτή η διαδικασία στερεοποίησεως είναι αντιστρεπτή.
- Για την αύξηση του όγκου του πηλού χρησιμοποιούνται προσθετικά όπως άμμος, θρυμματισμένα τούβλα, πριονίδι κ.α.

9. Ασφάλτοι

- Κατηγορία συνδετικών υλικών που αποτελούνται από μίγμα υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ή ανόργανων ενώσεων όπως ασβεστολιθικά ή ψαμμιτικά πετρώματα.
- Κοιτάσματα ασφάλτου υπάρχουν μαζί με κοιτάσματα πετρελαίου. Συχνά αναβλύζουν στην επιφάνεια και σχηματίζουν λίμνες (όπως στο Trinidad), ή διαποτίζουν διάφορα πετρώματα.
- Η ποιότητα της ασφάλτου εξαρτάται από την περιεκτικότητα της σε βιτουμένια.

9. Ασφάλτοι (συνέχ.)

- Διακρίνονται σε φυσικές και τεχνητές:
 - ❖ Οι φυσικές ασφάλτοι είναι προϊόντα φυσικής οξειδωσης του πετρελαίου. Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε βιτουμένιο και του είδους της αδρανούς μάζας οι φυσικές ασφάλτοι διακρίνονται σε: ασφαλτόλιθους (5-20% σε βιτουμένια), ασφαλτόπισσες (70% σε βιτουμένια) και ασφαλτίτες (5% σε αδρανείς προσμείξεις).
 - ❖ Οι τεχνητές ασφάλτοι αποτελούν το κατάλοιπο της απόσταξης του αργού πετρελαίου. Είναι σώματα στερεά, μαλακά, καστανόμαυρα και λιπαρά στην αφή.

9. Ασφαλτοι (συνέχ.)

- Οι σημαντικότερες ιδιότητες των ασφαλτικών υλικών που καθορίζουν και τις χρήσεις τους είναι:
 - ✓ η ανθεκτικότητα στην επίδραση του νερού,
 - ✓ η ανθεκτικότητα στις ατμοσφαιρικές συνθήκες
 - ✓ η ανθεκτικότητα στην επίδραση των ανόργανων διαλυτών (διαβρώνονται εύκολα από τους οργανικούς),
 - ✓ είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού και
 - ✓ παρουσιάζουν μεγάλη ελαστικότητα και συνοχή όταν υποστούν εξωτερικές πιέσεις.

10. Πίσσα

- Παρασκευάζεται με διάφορες μεθόδους, κυριότερη από τις οποίες είναι η ξηρή απόσταξη λιθάνθρακα, λιγνίτη, ξύλων, ασφάλτου κ.λ.π.
- Κατά την απόσταξη παίρνουμε κατά σειρά:
 - λιθανθρακόπισσα,
 - εξευγενισμένες πίσσες (για οδοστρώματα),
 - επεξεργασμένες πίσσες,
 - ξηρή πίσσα,
 - μαλακές πίσσες από πισσέλαια για ειδικές χρήσεις.

Άσφαλτοι και Πίσσες

- Παρά την κοινή ονομασία τους σαν "ασφαλτικά υλικά" οι άσφαλτοι και οι πίσσες δε συνεργάζονται μεταξύ τους.
- Πολύ περισσότερο είναι ενδεχόμενο κατά την ανάμειξη των δύο τύπων είτε υπό μορφή ρευστού τήγματος υψηλής θερμοκρασίας, είτε υπό μορφή διαλυμάτων, είτε ακόμη και κατά την απλή επαφή τους, να προκληθούν αλλοιώσεις.
- Πρέπει λοιπόν **να αποφεύγεται** η ανάμειξη και ο συνδυασμός πολλών ασφαλτικών υλικών.
- Οι κυριότερες χρήσεις των ασφαλτικών υλικών (άσφαλτοι, πίσσες) είναι: στεγανοποιήσεις, επιστρώσεις στεγών, οδοποιία, υδραυλικά έργα, κατασκευή αεροδιαδρόμων, χρώματα και βερνίκια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κατερινόπουλος, Α. & Σταματάκης, Μ. 1995. Εφαρμοσμένη Ορυκτολογία – Πετρολογία. Τα Βιομηχανικά Ορυκτά και Πετρώματα και οι Χρήσεις τους. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, 311 σ.
- Τσακαλάκης, Κ., 2010. Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Carpio et al., 2008. Alternative Fuels Mixture in Cement Industry Kilns Employing Particle Swarm Optimization Algorithm. J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.
- <http://www.tutorvista.com/content/chemistry/chemistry-ii/chemical-compounds/cement.php>
- <http://www.arthurharrisson.com/clinker%20microscopy.html>
- <http://www.cembureau.eu>