

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Γ. ΠΟΥΛΑΚΟΣ

Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΦΟΙΤΗΤΗ ΣΠΥΡΟΥ ΤΣΙΜΠΟΥΚΑ



ΑΘΗΝΑ 2011

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	2
Κατάλογος πινάκων	5
Κατάλογος σχημάτων	7
Κατάλογος εικόνων	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
α. Αντικείμενο και στόχος της εργασίας.....	9
β. Μεθοδολογία προσέγγισης.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ-ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ-ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ	12
1.1 <u>Το τσιμέντο ως πρώτη ύλη</u>	12
1.2 <u>Είδη του τσιμέντου</u>	15
1.2.1 Ανάλογα με τις πρόσθετες ύλες.....	15
1.2.2 Ανάλογα με την αντοχή τους.....	16
1.3 <u>Οπλισμένο σκυρόδεμα</u>	17
1.3.1 Σκυρόδεμα.....	17
1.3.2 Χάλυβας.....	19
1.4 <u>Πρόσθετα του σκυροδέματος</u>	21
1.4.1 Επιταχυντικά πρόσθετα.....	21
1.4.2 Επιβραδυντικά πρόσθετα.....	22
1.4.3 Αερακτικά πρόσθετα.....	22
1.4.4 Ρευστοποιητικά πρόσθετα.....	22
1.4.5 Στεγανοποιητικά πρόσθετα.....	22
1.4.6 Πρόσθετα για το σκυρόδεμα υπό πίεση.....	23

1.4.7 Συγκολλητικά πρόσθετα.....	23
1.4.8 Πρόσθετα για την μείωση της ποσότητας νερού στο Τσιμέντο.....	23
1.5 <u>Μοναδιαία στοιχεία ως προϊόντα τσιμέντου</u>.....	23
1.5.1 Τσιμεντόλιθοι.....	23
1.5.2 Κράσπεδα ή κρασπεδόρειθρα.....	24
1.5.3 Πλάκες τσιμέντου.....	24
1.5.4 Τσιμεντοσωλήνες.....	25
1.5.5 Τσιμεντοκολώνες.....	25
1.5.6 Κυβόλιθοι για κράσπεδα.....	25
1.5.7 Κυβόλιθοι για θαλάσσια έργα.....	25
1.6 <u>Ελαφροσκυροδέματα</u>.....	26
1.6.1 Κισσηρόλιθοι.....	26
1.6.2 Πλίνθοι από περλομπτετόν.....	27
1.6.3 Πλίνθοι από κυψελωτό σκυρόδεμα ή αεριομπτετόν.....	27
1.7 <u>Κονιάματα</u>.....	28
1.7.1 Ασβεστοτσιμεντοκονιάματα.....	28
1.7.2 Τσιμεντοκονιάματα.....	29
1.7.3 Κονιάματα τοιχοποιίας.....	29
1.7.4 Κονιάματα επιχρισμάτων.....	29
1.7.5 Κονιάματα υπό πίεση.....	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ **31**

2.1 <u>Ποσοτικές παράμετροι περιβαλλοντικών επιπτώσεων του τσιμέντου και των προϊόντων του</u>.....	31
2.1.1 Κατανάλωση νερού.....	31
2.1.2 Εκπομπές αερίων ρύπων.....	34
2.1.3 Ενσωματωμένη ενέργεια.....	36

2.1.4	Αποθέματα ενέργειας.....	37
2.1.5	Μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στην κατασκευαστική βιομηχανία.....	42
2.2	<u>Ποιοτικές παράμετροι περιβαλλοντικών επιπτώσεων του τσιμέντου και των προϊόντων του.....</u>	45
2.2.1	Αποθέματα πρώτων υλών.....	45
2.2.2	Μείωση της χρήσης πρώτων υλών στην παραγωγική διαδικασία.....	45
2.2.3	Μείωση της χρήσης πρώτων υλών στην κατασκευαστική διαδικασία και κατά την χρήση στις κατασκευές.....	49
2.2.4	Αισθητική τοπίου-Αποκατάσταση Λατομείων.....	59
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΒΛΑΒΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ		63
3.1:	<u>Σχετικά με το τσιμέντο.....</u>	63
3.2:	<u>Σχετικά με τα προϊόντα του τσιμέντου.....</u>	65
 Βιβλιογραφία		67

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1.1: Ενδεικτική σύνθεση (χημική σύσταση %) τριών πρώτων υλών (1,2,3) για την παραγωγή τσιμέντου.....	16
Πίνακας 1.2: Κατηγορίες του τσιμέντου ανάλογα με την αντοχή τους σε θλίψη.....	17
Πίνακας 1.3: Τυπική κατά βάρος % σύνθεση σκυροδέματος	18
Πίνακας 1.4: Ράβδοι κυκλικής διατομής.....	21
Πίνακας 1.5: Κατηγορίες ράβδων από χάλυβα που χρησιμοποιούνται στο οπλισμένο σκυρόδεμα.....	21
Πίνακας 1.6: Βασικές ιδιότητες των ελαφροσκυροδεμάτων.....	28
Πίνακας 1.7: Κατηγορίες κονιαμάτων τοιχοποιίας.....	30
Πίνακας 2.1: Κατανάλωση νερού (1 ^ο μέρος).....	32
Πίνακας 2.2: Κατανάλωση νερού (2 ^ο μέρος).....	33
Πίνακας 2.3: Ενεργειακή ρύπανση από ορυκτά καύσιμα μετρημένα σε (g/MJ).....	34
Πίνακας 2.4: Εκπομπή αερίων ρύπων κατά την διαδικασία παραγωγής των υλικών.....	34
Πίνακας 2.5: Παραγωγή CO ₂ στις διεργασίες παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος (συμπεριλαμβανομένης και της ηλεκτρικής ενέργειας).....	35
Πίνακας 2.6: Ενεργειακή ρύπανση από διάφορα είδη μεταφορών μετρημένα σε (g/ton*km).....	35
Πίνακας 2.7: Ενσωματωμένη ενέργεια συνηθέστερων οικοδομικών υλικών.....	36
Πίνακας 2.8: Ενσωματωμένη ενέργεια για συνήθη υλικά.....	37

Πίνακας 2.9: Ποσοστιαία (%) κατανάλωση καυσίμων στη βιομηχανία σκυροδέματος.....	38
Πίνακας 2.10: Ενέργεια στη διαδικασία παραγωγής τσιμέντου και τσιμέντου στην Ε.Ε.....	39
Πίνακας 2.11: Η κατανάλωση ενέργειας ανάλογα με το μεταφορικό σύστημα.....	40
Πίνακας 2.12: Είδος καυσίμου και θερμική ενέργεια για την παραγωγή ενός τόνου τσιμέντου κατά την Portland Cement Association (PCA).....	43
Πίνακας 2.13: Ενσωματωμένη ενέργεια για την ανακύκλωση συνήθων υλικών.....	58

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1.1: Αναλυτικό διάγραμμα ροής διεργασιών παραγωγής τσιμέντου.....	14
Σχήμα 1.2: Ρυθμός απόκτησης της θλιπτικής αντοχής 28 ημερών ως συνάρτηση των διαφόρων τύπων χρησιμοποιούμενων τσιμέντων του Αμερικανικού προτύπου κατά PCA (Portland Cement Association).....	17
Σχήμα 2.1: Ο Κύκλος ζωής των υλικών.....	46
Σχήμα 2.2: Ο Κύκλος ζωής του τσιμέντου.....	47
Σχήμα 2.3: Διαγράμματα της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN για το έτος 2009, για την ανακύκλωση και το είδος των βιομηχανικών απορριμμάτων, και την κατανάλωση πρώτων υλών, εναλλακτικών και μη, για την παραγωγή κλίνκερ και τσιμέντου.....	56-57

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Πλύση οχημάτων με νερό που συλλέχτηκε μετά την παραγωγική διαδικασία του τσιμέντου.....	48
Εικόνα 2.2: Αποκατάσταση λατομείου ασβεστόλιθου Lafarge στη Χαλκίδα.....	60
Εικόνα 2.3: Λατομείο ασβεστόλιθου, Αλμυρός Μαγνησίας, TITAN.....	61
Εικόνα 2.4: Λατομείο Αργίλου, Σέσκλο, Lafarge.....	61
Εικόνα 2.5: Λατομείο Κίσηρης, Γυαλί, Lafarge.....	62
Εικόνα 2.6: Λατομείο Ποζολάνης, Πυριτικό Μήλου, Lafarge.....	62

Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ

➤ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

α. Αντικείμενο και στόχος της εργασίας

Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, είναι να υποδείξει τις επιπτώσεις που έχει το τσιμέντο και τα προϊόντα του στο περιβάλλον, καθώς και να αναδείξει λύσεις που η διαρκώς βελτιούμενη οικολογική συνείδηση επιβάλλει. Η τεχνολογική ανάπτυξη είναι επίσης σημαντικός αρωγός στην προσπάθεια για βιώσιμη ανάπτυξη και διαχείριση των υπαρχόντων υποδομών. Από την εξόρυξη των αδρανών, για την παρασκευή του κυρίως προϊόντος του τσιμέντου το σκυρόδεμα, έως την παραγωγή του καθατού υλικού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι βασισμένες σε οικολογικές αρχές ώστε, να έχουμε λιγότερο δυσμενείς συνέπειες για το περιβάλλον σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση. Θα αναφερθούμε και σε περιβαλλοντικές επιδράσεις προϊόντων του τσιμέντου, που πιθανόν να μην είναι αναγνωρίσιμες απευθείας, όπως εκπομπές αερίων ρύπων, κατανάλωση νερού και κόστος ενέργειας κατά την μεταφορά τους. Σημαντικό είναι να καθοριστούν και οι έννοιες στις οποίες θα αναφερόμαστε κατά κόρον όπως βιώσιμη ανάπτυξη και οικολογία των υλικών κατασκευής.

β. Μεθοδολογία προσέγγισης

Για να προσεγγίσουμε ένα θέμα τόσο σύνθετο και σύγχρονο όσο των επιπτώσεων των προϊόντων του τσιμέντου στο περιβάλλον, πρέπει να αναφερθούμε κυρίως σε βιβλιογραφία. Αυτό συμβαίνει διότι αφενός είναι θέμα με πολύ ευρύ πεδίο, αφετέρου διότι συνεχώς παρουσιάζονται καινούργιες παράμετροι βάση των οποίων διερευνάται η επίδραση των τεχνικών υλικών στο περιβάλλον. Επιπλέον για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα για υλικά όπως το τσιμέντο, πρέπει να έχουμε δεδομένα σε βάθος μεγάλων χρονικών διαστημάτων- και οι έρευνες συνεχίζονται.

γ. Επιστημονικό υπόβαθρο της βιώσιμης ανάπτυξης, της οικολογίας των υλικών κατασκευής και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων του τσιμέντου

Η οικολογία των υλικών κατασκευής και ειδικότερα του τσιμέντου συνίσταται στα εξής:

- ❖ Εργασιμότητα: οι μέθοδοι παραγωγής κάθε συστατικού του τσιμέντου, πως και που μπορεί να γίνει η παραγωγή των συστατικών.
- ❖ Πρώτες ύλες: η γεωγραφική θέση, η σύστασή, η διακίνηση και η πιθανή επαναχρησιμοποίησή τους.

- ❖ Ενέργεια: η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την παραγωγή και την μεταφορά των υλικών για την παραγωγή του τσιμέντου και η ανθεκτικότητά τους.
- ❖ Ρύπανση: κατά την παραγωγή, χρήση και κατεδάφιση, το χημικό αποτύπωμα κάθε προϊόντος του τσιμέντου.

Επιχειρώντας να καθορίσουμε την ‘αιφόρο ανάπτυξη’, και να αναφέρουμε κάποιους κανόνες βάσει των οποίων λειτουργεί η λογική της δημιουργίας ‘πράσινων’ κατασκευών, και όσον αφορά συγκεκριμένα στα προϊόντα του τσιμέντου, μπορούμε να αναφερθούμε στα παρακάτω:

- Καθορισμός μεθοδολογίας: για την εκτίμηση υλικών παρασκευής, προϊόντων και μεθόδων κατασκευής του τσιμέντου ώστε να υπάρχουν κοινά δεδομένα.
- Υποστηρίξιμη κατασκευή: η δημιουργία και υπεύθυνη διαχείριση ενός υγιούς κατασκευαστικού περιβάλλοντος, βασισμένο σε επαρκή αριθμό και μέγεθος πηγών για την παρασκευή τσιμέντου και των προϊόντων του, και ικανές οικολογικές αρχές όπως:
 - I. Ελαχιστοποίηση χρήσης μη-ανανεώσιμων πηγών κατανάλωσης για την παραγωγή προϊόντων του τσιμέντου.
 - II. Προαγωγή του φυσικού περιβάλλοντος σε κυρίαρχο παράγοντα σε οτιδήποτε έχει να κάνει με την κατασκευή που στηρίζεται κατά κύριο λόγο στο σκυρόδεμα, το κύριο προϊόν του τσιμέντου (τεχνικές, υλικά, τεχνική νομοθεσία).
 - III. Ελαχιστοποίηση ή εξαφάνιση της χρήσης τοξινών στα κατασκευαστικά προϊόντα του τσιμέντου, συνδυάζοντας έτσι υψηλή ενεργειακή ικανότητα και μείωση των επιπτώσεων στους χρήστες.
- Παροχή λύσεων στις παρακάτω περιπτώσεις:
 - I. Ενεργειακή διατήρηση (ελαχιστοποίηση της σπατάλης ενέργειας κατά την παραγωγή, την μεταφορά, αλλά και μετά την εφαρμογή των κατασκευαστικών λύσεων από τα προϊόντα του τσιμέντου).
 - II. Αποφυγή ρύπανσης τόσο κατά την παραγωγή, όσο και κατά την επεξεργασία του τσιμέντου, προκειμένου να παρασκευάσουμε τα προϊόντα του για τις κατασκευές.
 - III. Αποδοτικότητα πηγών πρώτων υλών για την παραγωγή τσιμέντου στο επίπεδο της οικονομίας ενέργειας και οικολογικών παραμέτρων (αλλοίωση γεωγραφικού ανάγλυφου περιοχής εξόρυξης, ρύπανση περιοχής επεξεργασίας και αερίων ρύπων λόγω των μεταφορών).
 - IV. Εκτίμηση κόστους κύκλου ζωής κατασκευών από προϊόντα του τσιμέντου, και κατά πόσο είναι συμφέρουσα η αναλογία χρόνου ζωής κατασκευής-κατανάλωσης πρώτων υλών (τσιμέντου), ενέργειας, και επανάχρησής τους.

➤ Λύση συγκρουόμενων θεμάτων και απαιτήσεων:

Επειδή ο σκοπός μας είναι να παράγουμε 'πράσινα' κτήρια, κάθε σχεδιαστική λύση, ακόμη και η απόφαση του τι θα κτιστεί ή που να κτίσουμε ή ακόμη αν θα κτίσουμε , έχει περιβαλλοντικές επιπλοκές.

➤ Όλος ο σχεδιασμός πρέπει να εκτιμάται με μέτρο την επίδρασή του στο περιβάλλον και στους χρήστες των κτηρίων:

Αποφάσεις για το σχέδιο (κάτοψη), σχέση με την περιοχή, την επιρροή του ανέμου και των καιρικών φαινομένων, την πιθανή χρήση της ηλιακής ενέργειας, τον προσανατολισμό, την σκίαση, τον εξαερισμό, τον καθορισμό των υλικών και των κατασκευαστικών συστημάτων αποτελούν βασικά συστατικά του σχεδιασμού

➤ Υπολογισμός της επίδρασης των κτηρίων και των υλικών, στους χρήστες την πανίδα και τη χλωρίδα του πλανήτη:

Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθούμε σε μια μορφή ενέργειας που οφείλουμε να συνυπολογίζουμε όταν καταγράφουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός κτηρίου, την ενσωματωμένη ενέργεια. Είναι ασφαλώς αναγκαίο να υπολογίζουμε την ενσωματωμένη ενέργεια κτηρίου ώστε να μπορούμε να εκτιμούμε τόσο την τοπική όσο και την παγκόσμια επίδραση των συγκεκριμένων υλικών και προϊόντων.

Κεφάλαιο 1: Το τσιμέντο-Προϊόντα του τσιμέντου-Είδη και Ιδιότητες τους

1.1 Το τσιμέντο ως πρώτη ύλη:

Το τσιμέντο ή επισήμως σκυροκονίαμα είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο υδραυλικό συνδετικό κονίαμα στις κατασκευές, και κατασκευάζεται με λεπτή άλεση του κλίνκερ.

Αρχικά βρίσκεται σε μορφή σκόνης όμως όταν αναμιχθεί με νερό, σχηματίζει μια πάστα η οποία πήζει και σκληραίνει μέσω αντιδράσεων και διεργασιών ενυδάτωσης, τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό. Μετά την σκλήρυνση επανακτά την αντοχή του και δεν διαλύεται στο νερό. Συνδυάζει μεγάλη υδραυλική ικανότητα και υψηλές αντοχές, γι'αυτό έχει ευρεία χρήση στις δομικές κατασκευές, όπως και στα υδραυλικά έργα.

Οι πρώτες ύλες για την παρασκευή του τσιμέντου αποτελούνται κατά 76% από ασβεστολιθικά και κατά 24% από αργιλοπυριτικά πετρώματα.

Για να έχει το τελικό προϊόν τις επιθυμητές ιδιότητες, ανεξάρτητα από τις πρώτες ύλες που θα χρησιμοποιηθούν, πρέπει να καθοριστούν προσεκτικά οι αναλογίες ανάμιξης των πρώτων υλών.

Αναλυτικά από την εξόρυξη έως την παρασκευή του τελικού προϊόντος η διαδικασία έχει ως εξής:

- **1^ο στάδιο-εξόρυξη πρώτων υλών:**
Οι πρώτες ύλες εξορύσσονται με τη χρήση ισχυρών εκσκαπτικών μηχανημάτων ή με τη χρήση εκρηκτικών υλών.
- **2^ο στάδιο-θραύσης πρώτων υλών:**
Τα υλικά θραύονται σε ικανούς θραυστήρες σε τεμάχια, συνήθως <30 mm.
- **3^ο στάδιο-αποθήκευση και προμοιογένεια πρώτων υλών:**
Οι θραυσμένες πρώτες ύλες αποθηκεύονται (με σύγχρονη ανάμιξη) χωριστά κατά κατηγορία και από εκεί οδεύουν στους μύλους συνάλεσης σε αυστηρά καθορισμένη και συνεχώς ελεγχόμενη δοσολογία.
- **4^ο στάδιο-ξήρανση και άλεση πρώτων υλών:**
Οι μύλοι είναι μεταλλικοί κύλινδροι, με ισχυρή εσωτερική μεταλλική θωράκιση και περιέχουν πολλούς τόνους από σθαιρικά χαλύβδινα αλεστικά σώματα. Κατά την περιστροφική κίνηση των μύλων οι σφαίρες κονιορτοποιούν τις προθραυσμένες πρώτες ύλες σε κόκκους μέσης διαμέτρου. Το προϊόν αυτό ονομάζεται φαρίνα.

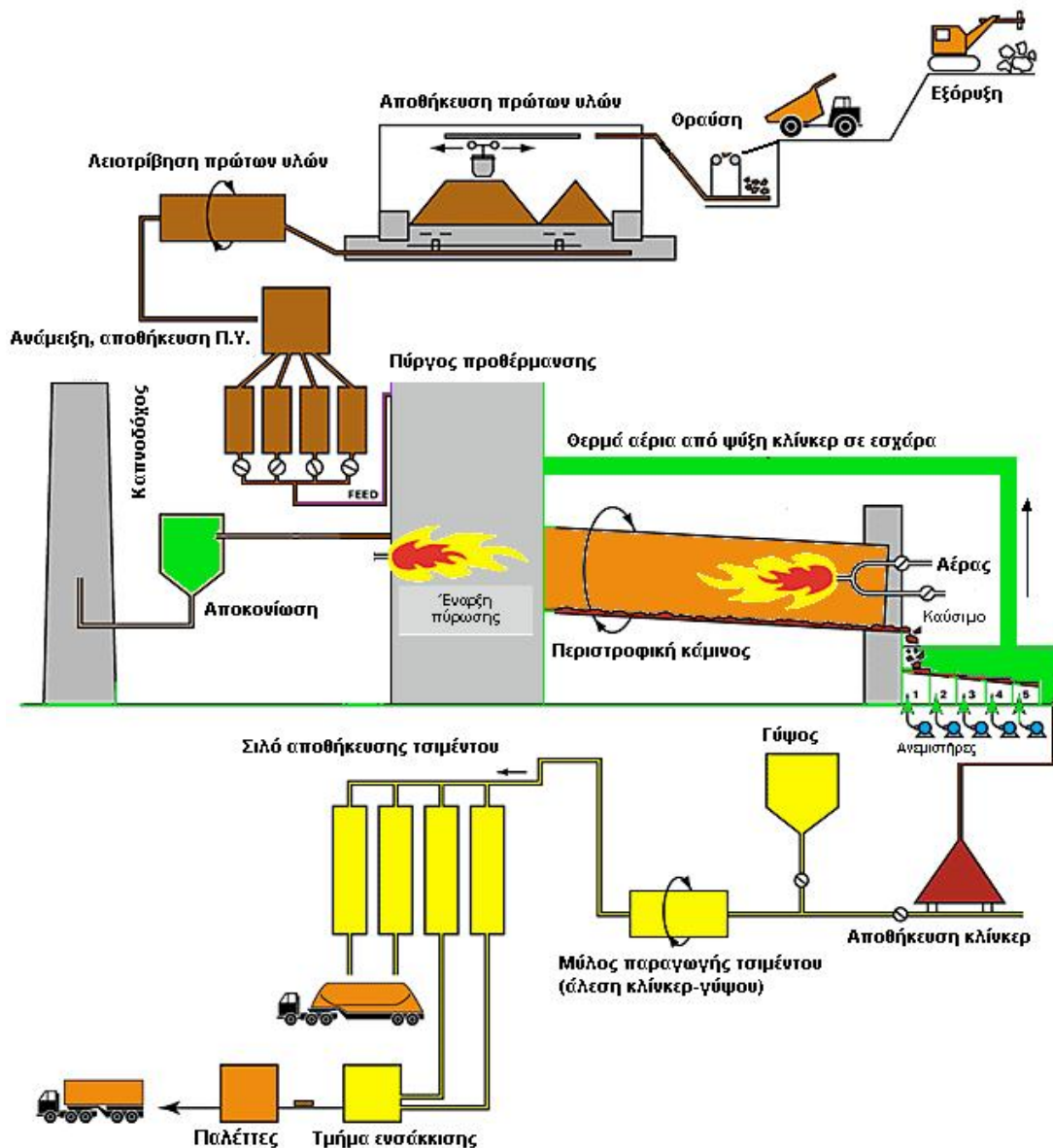
- **5° στάδιο-ομογενοποίηση και αποθήκευση φαρίνας:**
Η φαρίνα οδηγείται στα ειδικά σιλό όπου συντελείται η ομογενοποίηση.
- **6° στάδιο-έψηση:**
Μετά την ομογενοποίηση η φαρίνα περνάει από ένα σύστημα κυκλώνων που ονομάζεται προθερμαντής και υφίσταται μια προοδευτική θερμική κατεργασία σε θερμοκρασία μέχρι 900°C. Στη συνέχεια οι περιστροφικοί κύλινδροι κλίβανοι αναλαμβάνουν την έψηση. Οι περιστροφικοί κλίβανοι είναι μεταλλικοί κύλινδροι μήκους 50-150 μέτρων, και διαμέτρου 3-5 μέτρων με εσωτερική επένδυση από ειδικά πυρότουβλα. Η περιστροφική κίνηση του κλιβάνου και η κλίση του εξωθούν τη φαρίνα προς την έξοδο. Στην πορεία της συναντάει θερμοκρασίες που φτάνουν τους 1400°C. Μέσα στον κλίβανο χάρη στις φυσικοχημικές διεργασίες, η φαρίνα μετατρέπεται σε ένα κοκκώδες προϊόν που λέγεται κλίνκερ.
- **7° στάδιο-άλεση του τσιμέντου:**
Το κλίνκερ αποτελεί το βασικό συστατικό του τσιμέντου και από την ποιότητά του εξαρτάται στο μέγιστο βαθμό η ποιότητά του. Το τσιμέντο ως τελικό προϊόν είναι μία πολύ λεπτή σκόνη και για τη δημιουργία του απαιτείται συνάλεση κλίνκερ, γύψου και ορισμένων φυσικών ή τεχνητών υλικών, που προσδίδουν στο τσιμέντο ωφέλιμες ιδιότητες. Τέτοιες ύλες είναι οι ποζολάνες. Οι μύλοι τσιμέντου μοιάζουν με τους μύλους φαρίνας. Οι δοσολογίες των υλικών συνάλεσης είναι αυστηρά καθορισμένες και συνεχώς ελεγχόμενες. Οι διάφοροι τύποι τσιμέντων και το επίπεδο των αντοχών τους, που αποτελεί και το σημαντικότερο χαρακτηριστικό τους, διαμορφώνονται από τη χημική σύσταση του κλίνκερ, το βαθμό άλεσης του τσιμέντου και την παρουσία ή όχι των διαφόρων προσθέτων.
- **8° στάδιο-σιλό τσιμέντου:**
Το τσιμέντο αποθηκεύεται σε σιλό, που αποτελούν χώρους αποθήκευσης μέσης χρονικής διάρκειας.
- **9° στάδιο-κατανάλωση, διάθεση:**
Το τσιμέντο διατίθεται στην κατανάλωση χύμα ή σε σάκους. Οι μεγαλύτερες ποσότητες διατίθενται χύμα με ειδικά σιλοφόρα αυτοκίνητα ή πλοία.

Στην πραγματικότητα η τεχνολογία του σκυροδέματος στηρίζεται στη χημεία της αντίδρασης μεταξύ του τσιμέντου και του νερού.

Η λεπτή άλεση των πρώτων υλών και η μεταξύ τους ανάμιξη είναι απαραίτητα για να γίνει το υλικό της όπτησης ομοιογενές και να διευκολυνθεί ο μετασχηματισμός των πρώτων υλών στις χημικές ενώσεις που περιλαμβάνει το τσιμέντο.

Το τσιμέντο που λαμβάνεται από το κλίνκερ έχει την εξής σύνθεση:

CaO	66%
SiO ₂	22%
Al ₂ O ₃	8%
Fe ₂ O ₃	4%



Σχήμα 1.1: Αναλυτικό διάγραμμα ροής διεργασιών παραγωγής τσιμέντου.

(Τσακαλάκης, 2010, σελ.: 28)

1.2 Είδη του τσιμέντου:

Τα είδη του τσιμέντου διακρίνονται κυριότερα, ανάλογα με τις πρόσθετες ύλες τους και την αντοχή τους.

1.2.1 Ανάλογα με τις πρόσθετες ύλες

Το τσιμέντο, ανάλογα με τις πρώτες ύλες που προστίθενται κατά την παρασκευή του, κατατάσσεται στις παρακάτω κατηγορίες:

i. Τύπου I – Πόρτλαντ

Καθαρά τσιμέντα πόρτλαντ χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα τα οποία προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ και γύψου μέχρι ποσοστού 2-3%, και στα οποία επιτρέπεται η προσθήκη μέχρι 3% κ. β. προϊόντων που προέρχονται από θραύση ή κονιοποίηση φυσικών ή τεχνητών υλικών, όπως ασβεστόλιθων, βασάλτου, σκουριών, γης διατομών, μπετονιτών, ιπτάμενης τέφρας κ.α. τα οποία αναφέρονται γενικά ως filler.

ii. Τύπου II – Πόρτλαντ με ποζολάνη

Τσιμέντα πόρτλαντ με ποζολάνη χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ πόρτλαντ, ποζολάνης φυσικής ή τεχνητής και του απαραίτητου γύψου. Το ποσοστό της ποζολάνης καθορίζεται από το αδιάλυτο υπόλειμμα του τσιμέντου, το οποίο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 20% κ.β. Δεν είναι απαραίτητο να ικανοποιούν τη δοκιμή ποζολανικότητας. Ειδικά το τσιμέντο με 10% αδιάλυτο υπόλειμμα, ονομάζεται τσιμέντο πόρτλαντ ελληνικού τύπου.

iii. Τύπου III – Ποζολανικό

Ποζολανικά τσιμέντα πόρτλαντ χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ πόρτλαντ, ποζολάνης φυσικής ή τεχνητής και του απαραίτητου γύψου. Το ποσοστό της ποζολάνης καθορίζεται από το αδιάλυτο υπόλειμμα του τσιμέντου, το οποίο πρέπει να είναι μεταξύ 20% και 40%. Πρέπει να ικανοποιούν τη δοκιμή ποζολανικότητας. Τα τσιμέντα αυτά χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα για ογκώδη έργα, όπου απαιτείται χαμηλός βαθμός θερμότητας ενυδάτωσης ή βελτιωμένη αντοχή στα διαβρωτικά μέσα.

iv. Τύπου IV – Πόρτλαντ ανθεκτικό στα θειικά

Τσιμέντα πόρτλαντ ανθεκτικά στα θειικά άλατα και στο θαλάσσιο νερό χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ πόρτλαντ και γύψου. Το αργιλικό τριασβέστιο C_3A , το οποίο υπολογίζεται από τον τύπο, $C_3A = 2,65 \cdot Al_2O_3 - 1,69 \cdot 2Fe_2O_3$ πρέπει να είναι μικρότερο από 3,5% και η περιεκτικότητά του σε SO_3 να μην ξεπερνά το 2,5%.

Χημική ένωση	Στόχος, % κ.β. σύνθεση ξηρών πρώτων υλών παραγωγής κλίνκερ	Πρώτες ύλες (ξηρό υλικό), %			Κατά βάρος % περιεκτικότητα του παραγόμενου κλίνκερ (χωρίς ενσωμάτωση της τέφρας του καυσίμου)	
		1 ασβεστόλιθος	2 Αργιλοπυριτικό υλικό	3 Χαλαζιακή άμμος		
SiO ₂	14.35	4.83	65.00	91.58	21.80	Αναγωγή % στο υπόλοιπο 65.78% του υλικού μετά την κλινκεροποίηση (34.22% CO ₂ αντιστοιχεί σε 43.55% CaO)
Al ₂ O ₃	4.04	1.85	24.00	2.83	6.10	
Fe ₂ O ₃	0.92	0.64	2.50	2.53	1.40	
CaO	43.55	50.50	4.00	0.92	65.20	
Ελεύθερη άσβεστος (CaO)	-	-	-	-	1.00	
Ποσοστιαία κ.β. % συμμετοχή πρώτων υλών		85.02	13.61	1.37		

Πίνακας 1.1: Ενδεικτική σύνθεση (χημική σύσταση %) τριών πρώτων υλών (1,2,3) για την παραγωγή τσιμέντου.

(Τσακαλάκης, 2010, σελ.: 16)

1.2.2 Ανάλογα με την αντοχή τους

Η αντοχή σε θλίψη είναι σημαντική ιδιότητα του τσιμέντου και προσδιορίζεται σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C 109 σε κύβους πλευράς 2 inch (50.8 mm), που παρασκευάζονται από τσιμεντοκονία και άμμο συγκεκριμένου τύπου και συντηρούνται με προκαθορισμένο τρόπο.

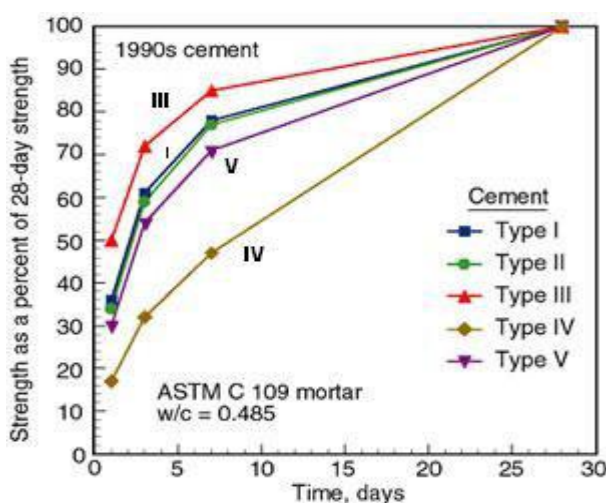
Η αντοχή σε θλίψη εξαρτάται από τον τύπο τσιμέντου ή ακριβέστερα από τη σύσταση του τσιμέντου στις φάσεις C3S, C2S, C3A και C4AF και από τη λεπτότητά του (Blaine fineness).

Γενικώς, οι αντοχές του τσιμέντου που υπολογίζονται σε κύβους τσιμεντοκονίας δεν αντιστοιχούν στις αντοχές του σκυροδέματος, εξαιτίας των διαφορών στα χαρακτηριστικά των αδρανών του σκυροδέματος, της σύνθεσης του σκυροδέματος και των διαδικασιών παρασκευής των δοκιμίων. Τα τσιμέντα ανάλογα με την αντοχή τους κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, όπως δείχνεται στον παρακάτω πίνακα:

Κατηγορία αντοχών (ονομαστική)	Αντοχή σε θλίψη σε MPa			
	2 ημερών	7 ημερών	28 ημερών	
	Ελάχιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
35	-	15	25	45
45	10	-	35	55
55	15	-	45	Χωρίς όριο

Πίνακας 1.2: Ενδεικτική σύνθεση (χημική σύσταση %) τριών πρώτων υλών (1,2,3) για την παραγωγή τσιμέντου

(Κορωναίος , Πουλάκος, 2005, σελ.: 41)



Σχήμα 1.2: Ρυθμός απόκτησης της θλιπτικής αντοχής 28 ημερών ως συνάρτηση των διαφόρων τύπων χρησιμοποιούμενων τσιμέντων του Αμερικανικού προτύπου κατά PCA (Portland Cement Association).

(Τσακαλάκης, 2010, σελ.: 221)

1.3 Οπλισμένο σκυρόδεμα:

Επειδή ο χάλυβας έχει τον ίδιο συντελεστή θερμικής διαστολής με το τσιμέντο, τοποθετείται σε σκυροδέματα με τη μορφή βέργας ή πλέγματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αντοχών του, γιατί το τσιμέντο και ο χάλυβας συμφύονται στερεά και διαστέλλονται ομοιόμορφα.

1.3.1 Σκυρόδεμα

Το οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελείται από σκυρόδεμα που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό σε θλίψη όχι όμως και σε εφελκυσμό, και τον οπλισμό (συνήθως από χάλυβα), ο οποίος σε συνεργασία με το σκυρόδεμα, προσφέρει αντοχή σε εφελκυσμό. Είναι γνωστό ότι τα βασικά συστατικά του σκυροδέματος είναι (α) το τσιμέντο Πόρτλαντ, (β) η άμμος (λεπτομερή αδρανή), (γ) τα χονδρομερή

αδρανή, (δ) το νερό και (ε) ο αέρας. Η κατά βάρος συμμετοχή των παραπάνω υλικών στην παρασκευή του σκυροδέματος δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Συστατικό	Κατά βάρος %
Τσιμέντο Πόρτλαντ	12
Άμμος (λεπτομερή αδρανή)	34
Χονδρομερή αδρανή	48
Νερό	6
Αέρας	-
Σύνολο	100

Πίνακας 1.3: Τυπική κατά βάρος % σύνθεση σκυροδέματος

(Τσακαλάκης, 2010, σελ.: 221)

Το τσιμέντο είναι το βασικό συστατικό στα προϊόντα σκυροδέματος και δρα σε ανάμειξη με το νερό ως συνδετική ουσία των παντός είδους αδρανών στο σκυρόδεμα.

Το σκυρόδεμα αποτελείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από αδρανή (σκύρα και άμμο), τσιμέντο και νερό. Μία ενδεικτική αναλογία είναι (53+26), 14, 7 %. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που συνδέονται με το σκυρόδεμα εντοπίζονται κυρίως στα προβλήματα που συνεπάγεται η εξόρυξη των πρώτων υλών και η παραγωγή του τσιμέντου.

Το τσιμέντο είναι η κύρια συνιστώσα για την παρασκευή σκυροδέματος. Τα αδρανή υλικά για να παραχθεί το τσιμέντο αναμειγνύονται σε κλιβάνους που θερμαίνονται μέχρι 1500°C.

Απαιτούνται 1200 με 1500 κιλά αδρανή για να παραχθεί ένας τόνος τσιμέντου και έξι εκατομμύρια Btu ενέργεια (5-6 MJ/Kg) ανάλογα με τη μέθοδο και το καύσιμο που χρησιμοποιείται.

Επειδή γενικά οι εγκαταστάσεις παραγωγής είναι μακριά από την κατασκευή, η μεταφορά του σκυροδέματος απαιτεί και αυτή μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Τα προκατασκευασμένα στοιχεία είναι μάλλον τα πλέον οικολογικά για τους εξής λόγους:

- Αξιοποιείται όλο το υλικό (μείωση του χαμένου υλικού) αφού το υλικό χυτεύεται με ακρίβεια σε καλούπια σε σχέση με τον ξυλότυπο της οικοδομής.
- Δεν είναι απαραίτητη η κοπή ξύλου για την κατασκευή ξυλοτύπων.
- Είναι ευκολότερη η παραγωγή του δομικού στοιχείου και το υλικό περιέχει λιγότερη ενσωματωμένη ενέργεια (περίπου 4 MJ/Kg)

Άλλο πρόβλημα στο σκυρόδεμα είναι η χρήση προσθέτων όπως π.χ. αμιάντου (αμιαντοτσιμέντο) για το οποίο σήμερα υπάρχουν σημαντικές

ενδείξεις ότι είναι καρκινογόνο. Αιτία είναι οι ίνες του αμιάντου που επικάθονται στους πνεύμονες ή και στο πεπτικό σύστημα.

Όσον αφορά στο οπλισμένο σκυρόδεμα υπάρχει επίσης και ο κίνδυνος από τον οπλισμό σε περίπτωση που έχει εκτεθεί σε ραδιενέργεια.

Σημαντικό πρόβλημα επίσης στο σκυρόδεμα είναι ότι υπάρχουν τεράστιες ποσότητες σκυροδέματος που δεν ανακυκλώνονται. Έχει υπολογιστεί ότι σχεδόν 50.000.000 τόνοι από σκυρόδεμα αποβάλλονται στις χωματερές κάθε χρόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ελάχιστο από το σκυρόδεμα αυτό επαναχρησιμοποιείται ή ανακυκλώνεται.

Το κόστος αυτών των αποβλήτων είναι τεράστιο και για το λόγο αυτό υπάρχουν σε εξέλιξη έρευνες για την προσπάθεια επανάχρησης του σκυροδέματος. Μέχρι σήμερα έχει αποδειχθεί εργαστηριακά (χωρίς να εφαρμοστεί στη βιομηχανία) ότι είναι δυνατός ο διαχωρισμός του οπλισμού από το σκυρόδεμα, αλλά είναι μία οικονομικά ασύμφορη διαδικασία. Για το λόγο αυτό τα ανακυκλούμενα σκυροδέματα χρησιμοποιούνται συνήθως σαν αδρανή για εξυγίανση οδοστρωμάτων, εδαφών κ.α.

Το τσιμέντο Πόρτλαντ αντιπροσωπεύει το 95% περίπου των παραγόμενων παγκοσμίως ειδών τσιμέντου. Για την παραγωγή του, απαιτούνται οι παρακάτω πρώτες ύλες:

1. ασβεστόλιθος (πηγή οξειδίου του ασβεστίου),
2. αργιλικά πετρώματα (π.χ σχιστόλιθος) και χαλαζιακή άμμος (πηγές τριοξειδίου του αργιλίου και διοξειδίου του πυριτίου),
3. σιδηρομέταλλευμα (πηγή οξειδίου του σιδήρου) ή
4. βωξίτης (πηγή τριοξειδίου του αργιλίου και διοξειδίου του πυριτίου) σε ειδικού τύπου τσιμέντα.

Το τσιμέντο και τα αδρανή, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του σκυροδέματος, πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των αντίστοιχων κανονισμών.

Το νερό πρέπει να είναι καθαρό, δηλαδή να μην περιέχει επιβλαβείς ουσίες, οι οποίες θα προκαλούσαν προβλήματα στη σκλήρυνση, στην αντοχή, στην προστασία του οπλισμού από τη διάβρωση ή θα επηρεάζουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες του σκυροδέματος.

Η αναλογία ανάμιξης των υλικών για την παρασκευή του σκυροδέματος, πρέπει να εξασφαλίζει σε κάθε περίπτωση την ομοιογένεια του μίγματος, το κατάλληλο εργάσιμο για ικανοποιητική διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος, καθώς και πρόσθετες ιδιότητες του, όπως είναι η αντλησιμότητα, η στεγανότητα, η ανθεκτικότητα κ.τ.λ.

Πολύ μεγάλη σημασία έχει η περιεκτικότητα σε τσιμέντο. Η απαιτούμενη ποσότητα του τσιμεντοπολτού πρέπει να γεμίσει τα κενά μεταξύ των κόκκων και να περιβάλλει τους κόκκους, ώστε να είναι δυνατόν να γίνει η επεξεργασία του σκυροδέματος.

1.3.2 Χάλυβας

Ο χάλυβας παράγεται από το χυτοσίδηρο με μείωση της περιεκτικότητάς του σε άνθρακα, αλλά και σε άλλα στοιχεία.

Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητά του σε άνθρακα τόσο αυξημένη σκληρότητα παρουσιάζει.

Τα κράματα σιδήρου με περιεκτικότητα σε άνθρακα από 1,7% κ.β. ονομάζονται χάλυβες. Καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα, αυξάνεται η μηχανική αντοχή του, ενώ αντίθετα μειώνεται η ολκιμότητά του. Η υψηλή όμως περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα τον καθιστά δύσκολα συγκολλησιμο.

Οι ανθρακούχοι χάλυβες παρουσιάζουν ανεπαρκή αντοχή στη διάβρωση και στην οξειδωση στον ατμοσφαιρικό αέρα, καθώς και χαμηλές μηχανικές αντοχές και πλαστικότητα. Τα μειονεκτήματα αυτά των ανθρακούχων χαλύβων καλύπτονται από τα χαλυβοκράματα, που είναι κράματα σιδήρου με άνθρακα με την προσθήκη ενός ή περισσοτέρων στοιχείων. Μερικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των ιδιοτήτων των χαλύβων είναι:

α) το νικέλιο το οποίο σε μικρή περιεκτικότητα βελτιώνει, τόσο την ικανότητα βαφής, όσο και τις μηχανικές ιδιότητες των χαλύβων, σε αυξημένη δε περιεκτικότητα λειτουργεί ως αυξητικός παράγοντας αντοχής σε διάβρωση.

β) το χρώμιο το οποίο σε μικρή περιεκτικότητα ενώ αυξάνει την αντοχή σε θραύση, αυξάνει λίγο την ψαθυροτητά τους.

γ) το μαγγάνιο επιτείνει την αντοχή των χαλύβων στη φθορά που προκαλείται από τριβές.

Ο χάλυβας υποβάλλεται συνήθως σε θερμική κατεργασία, η οποία είναι ο συνδυασμός θέρμανσης και απόψυξης, ώστε να αποκτήσει ορισμένη κρυσταλλική δομή και μέγεθος κόκκου και τελικά να παρουσιάσει τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες. Κατά τη διάρκεια της κατεργασίας ο χάλυβας θερμαίνεται σε καθορισμένη θερμοκρασία, παραμένει σ' αυτή τη θερμοκρασία για συγκεκριμένο, κάθε φορά, χρονικό διάστημα και ακολούθως αποψύχεται με ορισμένη ταχύτητα. Με τις κατάλληλες θερμικές κατεργασίες αυξάνεται η σκληρότητα του χάλυβα και βελτιώνεται η πλαστικότητα, η αντοχή του στη θραύση και οι μηχανικές αντοχές του. Οι θερμικές κατεργασίες περιλαμβάνουν την ανόπτηση, την εξομάλυνση, τη βαφή και την επαναφορά. Ο χάλυβας με τη μορφή κυλινδρικών ράβδων χρησιμοποιείται ως οπλισμός στις κατασκευές. Οι διάμετροι για ράβδους με λείες επιφάνειες δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

d mm	Fe cm ²	G Kg/m	d mm	Fe cm ²	G Kg/m
6	0.28	0.222	20	3.14	2.47
8	0.50	0.395	22	3.80	2.98
10	0.79	1.617	24	4.52	3.55
12	1.30	1.888	26	5.31	4.17
14	1.54	1.21	28	6.16	4.83
16	2.01	1.58	30	7.07	5.55
18	2.54	2.00			

Πίνακας 1.4: Ράβδοι κυκλικής διατομής

(Κορωναίος, Πουλάκος, 2005, σελ.: 89)

Υπάρχουν και ράβδοι με την ίδια διάμετρο που φέρουν ραβδώσεις στην επιφάνειά τους για καλύτερη πρόσφυση στο σκυρόδεμα, για να αποφευχθεί η κατασκευή αγκίστρων στα άκρα τους. Η ποιότητα των χαλύβδινων ράβδων οπλισμού σκυροδέματος, χαρακτηρίζεται από το όριο διαρροής και την αντοχή του σε εφελκυσμό. Σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τις μηχανικές τους ιδιότητες. Η κατάταξη αυτή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Κατηγορία	Ονομασία	Διάμετρος d σε mm	Ελάχιστο όριο διαρροής σε Kp/cm ²	Αντοχή σε εφελκυσμό σε Kp/cm ²	Ελάχιστη επιμήκυνση θραύσης %
I	Κοινός χάλυβας	≤ 50	2200	3400-5000	18
II	Χάλυβας IIα (φυσικά σκληρός) Ειδικός χάλυβας IIβ (κατεργασμένος «εν ψυχρώ»)	≤ 18	3600	5000-6200	20
		> 18	3400	5000-6400	18
		≤ 18	3600	≥ 5000	14
III	Χάλυβας IIIα (φυσικά σκληρός) Ειδικός χάλυβας IIIβ (κατεργασμένος «εν ψυχρώ»)	≤ 18	4200	≥ 5000	18
		> 18	4000		
		≤ 18	4200	≥ 5000	8
IV	Χάλυβας IVα (φυσικά σκληρός) Ειδικός χάλυβας IIβ (κατεργασμένος «εν ψυχρώ»)		5000		16
			5000		8

Πίνακας 1.5: Κατηγορίες ράβδων από χάλυβα που χρησιμοποιούνται στο οπλισμένο σκυρόδεμα

(Κορωναίος, Πουλάκος, 2005, σελ.: 90)

1.4 Πρόσθετα του σκυροδέματος

Τα πρόσθετα του σκυροδέματος είναι διάφορες ουσίες, οι οποίες προστίθενται σε μικρές ποσότητες στο παρασκευαζόμενο σκυρόδεμα και βελτιώνουν, κατά περίπτωση, κάποια ιδιότητά του.

Τα πρόσθετα μπορεί να είναι ανόργανης προέλευσης, όπως η θηραϊκή γη, η άσβεστος, οι τέφρες, τα χρώματα κ.α ή οργανικής προέλευσης, όπως τα πλαστικά, το καουτσούκ, η άσφαλτος, κ.α. Τα πρόσθετα, τα οποία μεταβάλλουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος με φυσικές ή χημικές δράσεις διακρίνονται σε:

1.4.1 Επιταχυντικά πρόσθετα

Τα επιταχυντικά πρόσθετα αυξάνουν την ταχύτητα ενυδάτωσης του τσιμέντου, επιταχύνουν την πήξη και τη σκλήρυνση του σκυροδέματος και αυξάνουν την αρχική αντοχή του. Μειονέκτημά τους είναι ότι προκαλούν μείωση της τελικής αντοχής του σκυροδέματος. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις, όπου απαιτείται να αναπτυχθούν αυξημένες αρχικές αντοχές στο δομικό έργο. Ως επιταχυντικό πρόσθετο μπορούν να χρησιμοποιηθούν: το χλωριούχο ασβέστιο σε περιεκτικότητα 1,5% κ.β., το νάτριο, το κάλιο, το λίθιο ή και αμμωνιακά άλατα.

1.4.2 Επιβραδυντικά πρόσθετα

Τα επιβραδυντικά πρόσθετα επιβραδύνουν την ενυδάτωση του τσιμέντου και συνεπώς την πήξη και τη σκλήρυνση του σκυροδέματος. Επίσης, βοηθούν στη διατήρηση του εργάσιμου και χρησιμοποιούνται για να αυξηθεί ο χρόνος για τη μεταφορά και τη διάστρωση του σκυροδέματος. Η αρχική αντοχή του σκυροδέματος εμφανίζεται μειωμένη, αλλά η τελική αντοχή του δεν επηρεάζεται από τα επιβραδυντικά πρόσθετα. Χρησιμοποιούνται όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, γιατί επιβραδύνουν το ρυθμό ανάπτυξης της θερμοκρασίας, καθώς και για την παρασκευή μεγάλων έργων χωρίς αρμούς εργασίας. Τα επιβραδυντικά πρόσθετα συνήθως περιέχουν σάκχαρα, πετρέλαιο κ.α.

1.4.3 Αερακτικά πρόσθετα

Τα αερακτικά πρόσθετα δημιουργούν μέσα στη μάζα του νωπού σκυροδέματος μικρές φυσαλίδες με αποτέλεσμα να αυξηθεί το πορώδες του. Συνεπώς αυξάνεται η αντοχή του στον παγετό και βελτιώνεται σημαντικά το εργάσιμό του, ενώ μειώνεται και η ποσότητα νερού που χρειάζεται. Όταν, όμως, η περιεκτικότητα σε αέρα ξεπεράσει τα καθορισμένα όρια είναι δυνατόν να μειωθεί η τελική αντοχή του σκυροδέματος. Τέτοια πρόσθετα μπορεί να είναι συνθετικά της βενζίνης ή συμπυκνώματα φαινολαλδεϋδης.

1.4.4 Ρευστοποιητικά πρόσθετα

Τα ρευστοποιητικά πρόσθετα αυξάνουν τη ρευστότητα και την ομοιομορφία του σκυροδέματος, και επιτρέπουν τη μείωση του νερού ανάμιξης με αποτέλεσμα την αύξηση του εργασιμότητας και της αντοχής του σκυροδέματος. Επίσης, βελτιώνουν την υδατοπερατότητα και την αντοχή του στον παγετό. Είναι δυνατόν όμως, να εμφανιστεί αύξηση της συστολής ξήρανσης, καθώς και ανεπιθύμητη αύξηση των πόρων, με συνέπεια καθυστέρηση της πήξης και μείωση της αντοχής.

1.4.5 Στεγανοποιητικά πρόσθετα

Τα στεγανοποιητικά πρόσθετα μειώνουν την ποσότητα του νερού, το οποίο απορροφάται ή εισχωρεί στο σκυρόδεμα, αυξάνοντας τη στεγανότητά του. Αποφεύγεται η δημιουργία μικροκοιλοτήτων στη μάζα του σκυροδέματος, καθώς και οι μικρορηγματώσεις και μειώνεται σημαντικά το ποσοστό των πόρων και των τριχοειδών αγγείων. Είναι δυνατόν, όμως, να μεταβληθεί η χρονική εξέλιξη της πήξης και να μειωθεί η αντοχή του σκυροδέματος. Μεταλλικά άλατα από στεατικό οξύ όπως στεατικός ψευδάργυρος και σιλικόνη χρησιμοποιούνται συνήθως ως στεγανοποιητικά πρόσθετα του τσιμέντου.

1.4.6 Πρόσθετα για το σκυρόδεμα υπό πίεση

Τα πρόσθετα για το σκυρόδεμα υπό πίεση βελτιώνουν τη ρευστότητα και το εργασιμότητά του, και αυξάνουν την αντοχή του στον παγετό. Ο σωλήνας προέντασης πρέπει να γεμίζεται πλήρως χωρίς να σχηματίζονται κενά.

1.4.7 Συγκολλητικά πρόσθετα

Τα συγκολλητικά πρόσθετα, αυξάνουν την εφελκυστική αντοχή και βελτιώνουν την δυνατότητα του τσιμέντου να συγκολλάται με άλλα υλικά. Ως συγκολλητικά πρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν το οξικό πολυβινύλιο και το προπιονικό πολυβινύλιο.

1.4.8 Πρόσθετα για την μείωση της ποσότητας νερού στο τσιμέντο

Η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται στο τσιμέντο μπορεί να μειωθεί με την βοήθεια κάποιων προσθέτων όπως το πυριτικό νάτριο, το νάτριο και η σόδα. Τα πρόσθετα αυτά μέχρι αναλογίας 5%-10% κ.β. μειώνουν την επιφανειακή τάση του νερού λειτουργώντας μειωτικά ως προς την ανάγκη νερού στη σύνθεση του τσιμεντοπολτού.

1.5 Μοναδιαία στοιχεία ως προϊόντα τσιμέντου

Από τσιμέντο κατασκευάζονται τσιμεντόλιθοι, κράσπεδα τσιμεντόπλακες, τσιμεντοσωλήνες, τσιμεντοκολώνες, που χρησιμοποιούνται σε διάφορα έργα, καθώς και κυβόλιθοι για κράσπεδα και για έργα μέσα στη θάλασσα.

1.5.1 Τσιμεντόλιθοι

Είναι δομικά στοιχεία τοιχοποιίας και ανήκουν στους άνοπτους πλίνθους. Παρασκευάζονται από τσιμέντο, άμμο, γαρμπίλι κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης και νερό. Στο μίγμα προστίθενται και σκουριές, άργιλος κ.λ.π. Η αναλογία τσιμέντου άμμου είναι 1 : 4 : 6 κ.β. και τσιμέντου αδρανών 1 : 10 : 12. Το μίγμα παρασκευάζεται ύφυγρο και τοποθετείται σε ειδικά μεταλλικά καλούπια ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου, όπου συμπυκνώνεται και συμπιέζεται.

Οι περισσότεροι τύποι κατασκευάζονται με κενά, ώστε να μειώνεται το βάρος τους και να γίνεται πιο εύκολη η τοποθέτησή τους. Μετά την πήξη οι τσιμεντόλιθοι μεταφέρονται σε στεγασμένους χώρους, όπου αφαιρούνται τα καλούπια και υγραίνονται. Συνήθως είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν μετά από ένα μήνα.

Οι τσιμεντόλιθοι διακρίνονται σε συμπαγείς, όταν ο όγκος των κενών τους είναι μικρότερος του 25% του συνολικού όγκου και σε διάκενους.

Παράγονται σε διαστάσεις οι οποίες κυμαίνονται για το μήκος από 0,40 ÷ 0,60 m για το πλάτος, από 0,10 ÷ 0,30 m και για το ύψος από 0,20 ÷ 0,25 m.

Η φαινόμενη πυκνότητά τους κυμαίνεται από 1500 ÷ 2000 kg/m³ και η μέση αντοχή σε θλίψη από 5 ÷ 8 MPa. Σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι η συστολή ξήρανσης, η οποία τελικά είναι 0,01 ÷ 0,05%.

Οι συμπαγείς τσιμεντόλιθοι χρησιμοποιούνται συνήθως ως γωνιόλιθοι σε αργολιθοδομές. Οι διάκενοι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και στην κατασκευή οπλισμένης τσιμεντολιθοδομής, αρκεί να συνδυαστούν κατάλληλα οι οπές με τον οπλισμό και να γεμίσουν τα κενά με τσιμεντοκονίαμα.

Κατασκευάζονται και εμφανείς τσιμεντόλιθοι, οι οποίοι περιέχουν περισσότερη άμμο και λιγότερα χαλίκια, με λείες σχετικά επιφάνειες, όταν δεν χρειάζεται να επιχριστούν.

Οι τσιμεντόλιθοι πλεονεκτούν σε σχέση με τα κοινά τούβλα ως προς το μέγεθος των διαστάσεων, τον ευκολότερο τρόπο παραγωγής, το χαμηλό κόστος, την ευκολία δόμησης, τη μικρότερη υδατοπερατότητα, τη συστολή ξήρανσης και τη σχετικά υψηλότερη αντοχή τους. Αντίθετα, μειονεκτούν ως προς το μεγαλύτερο βάρος, τη δυσκολία κοπής και λάξευσης, την κατασκευή εσοχών, εξοχών και παραστάδων και τη μικρή θερμομονωτική και ηχομονωτική ικανότητά τους.

1.5.2 Κράσπεδα ή κρασπεδόρειθρα

Κατασκευάζονται από τσιμέντο, αδρανή και νερό. Το ύφυγρο δείγμα τοποθετείται σε ειδικά μεταλλικά καλούπια, όπου συμπυκνώνεται. Μετά την πήξη συντηρούνται σε νερό. Διαμορφώνονται σε κατάλληλα σχήματα, ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των εφαρμογών. Χρησιμοποιούνται ως περιθώρια σε πεζοδρόμια, πλατείες κ.λ.π. Έχουν υψηλή αντοχή σε κάμψη που κυμαίνεται από 5 ÷ 7 MPa.

Παράγονται σε δύο τύπους Α και Β με μήκος 1cm συνήθως. Το πλάτος και το ύψος τους δίνονται από τους κανονισμούς.

1.5.3 Πλάκες τσιμέντου

Οι πλάκες τσιμέντου παρασκευάζονται με την ανάμιξη τυποποιημένων τσιμέντων, λεπτόκοκκων αδρανών και νερού. Το ύφυγρο σκυρόδεμα τοποθετείται σε καλούπια, όπου και συμπυκνώνεται. Μετά την πήξη οι πλάκες τσιμέντου αποθηκεύονται σε υγρό μέρος για 28 ημέρες, ώστε να ολοκληρωθεί η σκλήρυνση.

Παράγονται σε δύο τύπους. Ο πρώτος τύπος είναι πλάκες ενός στρώματος από το ίδιο μπετόν και ο άλλος δύο στρωμάτων, όπου το κάτω παρασκευάζεται από τσιμέντο και χονδρόκοκκη άμμο και το επάνω, το στρώμα επικάλυψης, από τσιμέντο και μαρμαρόσκονη.

Χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ταρατσών, πλατειών και άλλων επιφανειών, αλλά κυρίως πεζοδρομίων, όπου το σκυρόδεμα πρέπει να παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε κάμψη και επιφανειακή τριβή.

Οι πλάκες πεζοδρομίου είναι συνήθως τετράγωνες με καθορισμένες διαστάσεις από τους κανονισμούς, που χαρακτηρίζουν και τον τύπο.

Παράλληλα παρασκευάζονται και πλάκες με ειδικά σχήματα για τα διαζώματα και τις γωνίες.

1.5.4 Τσιμεντοσωλήνες

Οι τσιμεντοσωλήνες μπορεί να είναι απλοί ή οπλισμένοι. Χρησιμοποιούνται για υπονόμους, οχετούς, υπόγειους οχετούς και αρδευτικούς σωλήνες. Αδρανή για την κατασκευή των τσιμεντοσωληνών χρησιμοποιούνται συνήθως χαλίκι και άμμος. Χρειάζεται προσεκτικός έλεγχος της κατάταξης των αδρανών που είναι απαραίτητοι, για να έχουμε ένα –σύμφωνα με τους κανονισμούς- πυκνό σκυρόδεμα.

Εκτός από τους πολύ μεγάλους σωλήνες που καλουπώνονται χειρονακτικά, χρησιμοποιούνται μηχανικές μέθοδοι καλουπώματος.

Επίσης πρέπει να ικανοποιούνται και απαιτήσεις σε αντοχή, απορρόφηση, και όλοι οι προδιαγραφόμενοι υδροστατικοί έλεγχοι (έλεγχοι διαρροών).

Οι τσιμεντοσωλήνες κατασκευάζονται με πορώδεις τοίχους ώστε να χρησιμοποιούνται ως αποστραγγιστικοί αγωγοί.

1.5.5 Τσιμεντοκολώνες

Οι έτοιμες τσιμεντοκολώνες προσφέρονται για την αποφυγή του καλουπώματος και ξεκαλουπώματος αλλά και την αισθητική της τοιχοποιίας. Είναι φτιαγμένες στα χρώματα των τσιμεντομπλόκς, έτσι ώστε να γίνεται ομοιόμορφη η τοιχοποιία χωρίς να ξεχωρίζουν τα μπλόκς από τις κολώνες στο χρώμα και στο υλικό κατασκευής τους.

Συνήθη μεγέθη τσιμεντοκολωνών είναι τα 25×25×20 εκ. και 34×34×20 εκ.

1.5.6 Κυβόλιθοι για κράσπεδα

Γενικά σαν κυβόλιθοι χρησιμοποιούνται πυριγενή πετρώματα, τα οποία λόγω της γεωλογικής τους σύστασης, παρουσιάζουν πολύ καλές φυσικο-μηχανικές αντοχές.

Οι κυβόλιθοι “σπάζονται” σε μεγάλες μηχανικές πρέσες, γι’ αυτό και οι διαστάσεις τους αποκλίνουν πάντα (κατά περίπου +/- 2 cm).

1.5.7 Κυβόλιθοι για θαλάσσια έργα

Το τσιμέντο πρέπει να συμφωνεί με τις απαιτήσεις, τις προδιαγραφές, και τα κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα.

Οι τυπικοί κυβόλιθοι θα έχουν σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου, ονομαστικών διαστάσεων 20×10×10 cm (μήκος×πλάτος×ύψος). Προβλέπεται η διαμόρφωση ίσων λοξότμητων αποτμήσεων κατά μήκος των ακμών της άνω έδρας κάθε κυβόλιθου, έτσι ώστε το εμβαδόν της τελικής άνω επιφάνειας του κυβόλιθου, να είναι μεταξύ 75% και 85% του εμβαδού της ονομαστικής επιφάνειας του κυβόλιθου (που περικλείεται από τις κατακόρυφες έδρες του κυβόλιθου).

1.6 Ελαφροσκυροδέματα

Τα προϊόντα ελαφροσκυροδέματος είναι τεχνητοί λίθοι, οι οποίοι αντιμετωπίζουν με επιτυχία τα βασικά μειονεκτήματα των προϊόντων τσιμέντου, το μεγάλο βάρος και τη μικρή θερμομονωτική και ηχομονωτική ικανότητά τους. Απαραίτητη προϋπόθεση για την παρασκευή τους είναι ο σχηματισμός κενών στο υλικό, τα οποία διακρίνονται σε τέσσερα είδη. Στα κενά σωρού, όπου υπάρχουν πόροι μόνο στους ενδιάμεσους χώρους μεταξύ των αδρανών, στα κενά αδρανών, όπου πόροι υπάρχουν μόνο στα αδρανή, τα οποία συγκολλούνται με συμπαγές κονίαμα, στα κενά σωρού και αδρανών, όπου υπάρχουν πόροι μέσα στα αδρανή, καθώς και στους ενδιάμεσους χώρους και στα κενά ομοιόμορφης δομής, όπου οι πόροι είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι σε όλο το υλικό. Με βάση αυτά τα είδη των κενών διακρίνονται τρεις κατηγορίες ελαφροσκυροδέματος:

- i. Ελαφροσκυρόδεμα με κανονικά αδρανή και κατάλληλη κοκκομετρική διαβάθμιση το οποίο χρησιμοποιείται σπάνια.
- ii. Ελαφροσκυρόδεμα με κενά αδρανών ή κενά αδρανών και σωρού. Τα σημαντικότερα είναι το κισσηρόδεμα και το περλιτόδεμα ή περλομπετόν.
- iii. Ελαφροσκυρόδεμα με κενά ομοιόμορφης δομής. Στη κατηγορία αυτή ανήκει το κυψελωτό σκυρόδεμα ή αερομπετόν ή αφρώδες μπετόν.

Τα προϊόντα των ελαφροσκυροδεμάτων επειδή είναι εύχρηστα, και έχουν ιδιότητες που τα καθιστούν μία πολύ ελκυστική λύση στον τομέα των κατασκευών, είναι ευρέως διαδεδομένα. Τα κυριότερα από αυτά από άποψη δημοφιλίας είναι:

1.6.1 Κισσηρόλιθοι

Οι κισσηρόλιθοι ανήκουν στην κατηγορία των προϊόντων ελαφροσκυροδέματος με πορώδη αδρανή. Παρασκευάζονται σε διάφορα σχήματα και πάχη, όπου σαν αδρανή χρησιμοποιούνται κίσηρη ή ελαφρόπετρα, η οποία είναι ηφαιστιογενές υλικό, πορώδες και με μικρή φαινόμενη πυκνότητα.

Οι κισσηρόλιθοι έχουν μικρή φαινόμενη πυκνότητα από $800 \div 1200 \text{ kg/m}^3$ και μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Μειονέκτημά τους είναι η μεγάλη υδροαπορρόφηση και η μικρή τους αντοχή σε τριβή και θλίψη. καταστρέφονται εύκολα κατά τη διάνοιξη οπών για την τοποθέτηση υδραυλικών ή ηλεκτρικών γραμμών. Χρησιμοποιούνται μόνο στις μη φέρουσες τοιχοποιίες και πρέπει να επιχρίονται με μονωτικά ασβεστοσιμεντοκονιάματα.

1.6.2 Πλίνθοι από περλομπετόν

Οι πλίνθοι από περλομπετόν ανήκουν στην κατηγορία των προϊόντων ελαφροσκυροδέματος με πορώδες σωρού και αδρανών. Για την παρασκευή τους αναμιγνύεται τσιμέντο με διογκωμένο περλίτη και νερό.

Έχουν πολύ μικρή φαινόμενη πυκνότητα, η οποία κυμαίνεται από $300 \div 600 \text{ kg/m}^3$ και σημαντικά μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας από $0,10 \div 0,19 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$. Οι αντοχές ποικίλουν σύμφωνα με την αναλογία περλίτη - τσιμέντου.

Ως δομικά στοιχεία παρουσιάζουν σημαντικά χαρακτηριστικά γιατί είναι ελαφρείς, δεν επηρεάζονται από την επίδραση του νερού, δεν καίγονται και παρουσιάζουν μεγάλη θερμομονωτική ικανότητα.

1.6.3 Πλίνθοι από κυψελωτό σκυρόδεμα ή αεριομπετόν

Οι πλίνθοι από κυψελωτό σκυρόδεμα είναι προϊόντα ελαφροσκυροδέματος με κενά ομοιόμορφης δομής. Παρασκευάζεται από τσιμέντο, λεπτή άμμο πλούσια σε πυριτικά αδρανή ή σκουριές υψικαμίνων, όπως το Υtong, νερό και πρόσμικτα παραγωγής αερίων, όπως σκόνη αλουμινίου. Τα αεροπαραγωγά πρόσμικτα παράγουν φυσαλίδες αερίων, οι οποίες εγκλωβίζονται στο μίγμα και δημιουργούν τους αυξημένους πόρους με ομοιόμορφη δομή. Μετά την ανάμιξη το μίγμα υποβάλλεται σε θερμική κατεργασία και σταθεροποιείται. Στη συνέχεια, κόβεται από ειδική μηχανή στο κατάλληλο μέγεθος, υποβάλλονται σε κατεργασία με ατμό υψηλής πίεσης και σκληρύνονται, όπως και τα ασβεστοπυριτικά τούβλα.

Τα τούβλα κυψελωτού σκυροδέματος, όπως τα τύπου «αλφαμπλόκ», παράγονται σε διαστάσεις $60 \times 7,5 \times 25 \text{ cm}$. Είναι ελαφρά, έχουν φαινόμενη πυκνότητα από $400 \div 800 \text{ kg/m}^3$ και καλή θερμομονωτική και ηχομονωτική συμπεριφορά. Χαρακτηρίζονται από μειωμένη μηχανική αντοχή σε σχέση με τους τσιμεντόλιθους. Επίσης, πριονίζονται και καρφώνονται εύκολα.

Τα ελαφροσκυροδέματα λόγω των εκτεταμένων τους εφαρμογών είναι πολύ διαδεδομένα, και η δημοφιλία τους αυτή οφείλεται κυρίως στις ιδιότητές τους. Οι κυριότερες από αυτές είναι, το είδος του αδρανούς από το οποίο αποτελούνται, η φαινόμενη πυκνότητά τους, που σε μερικά από αυτά εμφανίζεται αρκετά υψηλή ($1200 \div 1900 \text{ kg/m}^3$), η αντοχή τους σε θλίψη (η οποία κυμαίνεται από $2 \div 8 \text{ MPa}$), και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας με τιμές αρκετά καλές για την σύνθεση και το βάρος των υλικών. Συγκεντρωτικά, οι κυριότεροι τύποι ελαφροσκυροδεμάτων και οι βασικές τους ιδιότητες, παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα.

Τύπος ελαφροσκυροδέματος	Αδρανές	Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m^3)	Αντοχή σε θλίψη (MPa)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\text{W/m}^2\text{K}$
Κίσηρόδεμα (κενά αδρανούς)	Κίσηρις	800 ÷ 1200	2,5 ÷ 7,5	0,29 ÷ 0,5
Περλιτόδεμα (κενά αδρανούς και σωρού)	Διογκωμένος περλίτης	300 ÷ 600	-	0,10 ÷ 0,1
Σκυρόδεμα ηφαιστειακών σκωριών (κενά σωρού)	Ηφαιστειακή σκωρία	1400 ÷ 1600	2 ÷ 5	0,58 ÷ 0,7
Σκυρόδεμα σκωριών καμίνων ορισμένης κοκκομετρικής διαβάθμισης (κενά αδρανούς και σωρού)	Σκωρίες καμίνων	800 ÷ 1200	-	0,29 ÷ 0,4
Σκυρόδεμα με σκύρα οπτής αργίλου ίδιου μεγέθους (κενά σωρού)	Οπτή άργιλος	1200 ÷ 1600	2 ÷ 8	0,47 ÷ 0,7
Σκυρόδεμα με αδρανή πορώδη άργιλο (κενά αδρανών)	Πορώδης άργιλος	800 ÷ 1200	-	0,41 ÷ 0,47
Σκυρόδεμα με αδρανή ίδιου μεγέθους (κενά σωρού)	Σκύρα	1500 ÷ 1900	2 ÷ 5	0,64 ÷ 1,10
Σκυρόδεμα με φυτικά αδρανή (κενά αδρανών και σωρού)	Πριονίδι	800 ÷ 1200	-	0,41 ÷ 0,64
Σκυρόδεμα Ytong, αερομπετόν (κενά ομοιόμορφης δομής)	Άμμος	400 ÷ 800	2,5 ÷ 7,5	0,14 ÷ 0,29

Πίνακας 1.6: Βασικές ιδιότητες των ελαφροσκυροδεμάτων

(Κορωναίος, Πουλάκος, 2005, σελ.: 43)

1.7 Κονιάματα

Κονιάματα ονομάζονται τα μίγματα μιας ή περισσότερων κονιών με αδρανή υλικά μικρής κοκκομετρικής διαβάθμισης και με υγρο επεξεργασίας, το οποίο είναι συνήθως το νερό. Ο βασικός φορέας της αντοχής του κονιάματος είναι τα αδρανή, ενώ οι κονίες αποτελούν το συνδετικό υλικό. Εμείς θα ασχοληθούμε με τα κονιάματα που έχουν ως συνδετικό υλικό το τσιμέντο.

1.7.1 Ασβεστοτσιμεντοκονιάματα

Σαν ασβεστοτσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιούνται ως κόνιες άσβεστος και τσιμέντο. Παρουσιάζουν υδραυλικές ικανότητες και μειωμένη αντοχή στις καταπονήσεις από τα καθαρά ασβεστοκονιάματα.

Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα είναι κονιάματα μέτριας αντοχής.

1.7.2 Τσιμεντοκονιάματα

Τα τσιμεντοκονιάματα είναι κονιάματα στα οποία ως κόνια χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι και ποσότητες τσιμέντου. Παρουσιάζουν έντονες υδραυλικές ιδιότητες και αυξημένες αντοχές και χρησιμοποιούνται για τη δόμηση στοιχείων που υποβάλλονται σε ισχυρές καταπονήσεις καθώς και για επιχρίσματα.

Οι ιδιότητές τους εξαρτώνται κυρίως από το είδος και την ποσότητα του τσιμέντου και από το συντελεστή νερού – τσιμέντου, w .

Το τσιμεντοκονίαμα πρέπει να έχει αυξημένη πλαστικότητα και ελαστικότητα, ώστε η πρόσφυσή του να είναι ισχυρή, να μην παρουσιάζει ρηγματώσεις και να εξασφαλίζει πλήρη στεγανότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη στο τσιμεντοκονίαμα μικρής ποσότητας υδράσβεστου με τη μορφή πολτού ή σκόνης, χωρίς να μειώνεται η περιεκτικότητα του τσιμέντου.

Τα τσιμεντοκονιάματα είναι κονιάματα υψηλής αντοχής.

Τα κονιάματα ανάλογα με τη χρήση τους διακρίνονται σε:

1.7.3 Κονιάματα τοιχοποιίας

Τα κονιάματα τοιχοποιίας χρησιμοποιούνται στη δόμηση τοιχοποιιών, ως συνδετικό υλικό των δομικών στοιχείων, τα οποία είναι φυσικοί ή τεχνητοί λίθοι. Παρεμβάλλονται μεταξύ των δομικών στοιχείων και γεμίζουν τους δημιουργούμενους αρμούς.

Επίσης, διαστρώνονται σε οριζόντιες επιφάνειες και υποβοηθούν στην τοποθέτηση άλλων δομικών στοιχείων.

Τα πιο συνηθισμένα κονιάματα τοιχοποιίας, οι φαινόμενες πυκνότητές τους, καθώς και οι αντοχές του σε θλίψη στις 28 ημέρες αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

1.7.4 Κονιάματα επιχρισμάτων

Τα κονιάματα επιχρισμάτων χρησιμοποιούνται για την κάλυψη, εξομάλυνση και καλύτερη εμφάνιση εξωτερικών και εσωτερικών επιφανειών. Επίσης, αρκετές φορές συμβάλλουν στην αύξηση της θερμικής και ηχητικής προστασίας ενός χώρου, στη στεγανοποίησή του κ.τ.λ.

1.7.5 Κονιάματα υπό πίεση

Τα κονιάματα υπό πίεση είναι τσιμεντοπολτός ή τσιμεντοκονίαμα και χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία του προεντεταμένου σκυροδέματος για την πλήρωση των σωλήνων περιβολής των τενόντων προέντασης, επίσης,

χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σηράγγων και φραγμάτων, όπου αυξάνεται η αντοχή του εδάφους με τσιμεντοενέσεις κ.λ.π.

Κατηγορίες	Είδος κονιάς	Αναλογία ανάμιξης σε μέρη όγκου Άσβεστος:Τσιμέντο:Άμμος	Μέση ρ_R σκληρυνθέντος κονιάματος σε kg/dm^3	Μέση αντοχή σε θλίψη σε MPa
I	Πολτός αερικής ασβέστου	1 : 0 : 3,5	1,70 ÷ 1,85	0,4 ÷ 0,6
	Σκόνη αερικής ασβέστου	1 : 0 : 3	1,75 ÷ 1,90	0,5 ÷ 0,8
	Υδραυλική άσβεστος	1 : 0 : 3	1,85 ÷ 2,00	0,5 ÷ 1,5
	Πολύ υδραυλική άσβεστος	1 : 0 : 3	1,90 ÷ 2,05	1 ÷ 2,0
II	Υπερυδραυλική άσβεστος	1 : 0 : 3	1,90 ÷ 2,10	2,5 ÷ 5
	Ασβεστοπολτός + τσιμέντο	1,5 : 1 : 8	1,80 ÷ 2,00	2,5 ÷ 4
	Σκόνη ασβέστου + τσιμέντο	2 : 1 : 8	1,95 ÷ 2,10	3,5 ÷ 8
	Σκόνη ασβέστου + τσιμέντο	1 : 1 : 6	2,00 ÷ 2,15	5 ÷ 10
III	Τσιμέντο	0 : 1 : 4	2,00 ÷ 2,15	10 ÷ 15
	Τσιμέντο + σκόνη ασβέστου	0,2 : 1 : 4	1,95 ÷ 2,10	12 ÷ 18

Πίνακας 1.7: Κατηγορίες κονιαμάτων τοιχοποιίας

(Κορωναίος, Πουλάκος, 2005, σελ.: 85)

Κεφάλαιο 2: Παράμετροι της περιβαλλοντικής επίδρασης του τσιμέντου και των προϊόντων του

2.1 Ποσοτικές παράμετροι περιβαλλοντικών επιπτώσεων του τσιμέντου και των προϊόντων του

2.1.1 Κατανάλωση νερού

Η κατανάλωση νερού είναι πολύ σημαντικός παράγοντας, όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση στις κατασκευές. Σ' αυτήν πρέπει να συμπεριλάβουμε τόσο το νερό που καταναλώνεται για την παραγωγή των υλικών που χρησιμοποιούνται (σκυρόδεμα, τσιμεντοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα, κ.α.), όσο και αυτό που καταναλώνεται για την όλη λειτουργία του εκάστοτε εργοταξίου. Τέλος πρέπει να συνυπολογιστεί και το νερό που καταναλώνεται για την επεξεργασία, είτε με βιομηχανικό είτε με άλλο τρόπο, των πρώτων υλών και μετατροπή τους στο τελικό προϊόν που χρησιμοποιείται στις κατασκευές. Είναι ενδεικτικό από τους παρακάτω πίνακες, που παρουσιάζουν την ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται (με τον έναν ή τον άλλο τρόπο), σε διάφορα υλικά που συνδέονται με την κατασκευαστική δραστηριότητα, το πόσο μεγάλη είναι η σημασία του νερού στις κατασκευές.

Πρέπει να συνυπολογίσουμε στην καταναλωμένη ποσότητα νερού, αυτήν που χρειάζεται για την εξεύρεση, αυτήν που χρειάζεται για την συγκομιδή (εξόρυξη, γεώτρηση, παραγωγή), και αυτήν που χρειάζεται για την επεξεργασία του υλικού ώστε, να έχουμε το τελικό προϊόν.

Οι ποσότητες είναι υπολογισμένες σε λίτρα νερού που καταναλώνεται, ανά χιλιόγραμμο προϊόντος που παράγεται από πρώτες ύλες (lt/kg).

Με μία γρήγορη ανάγνωση των πινάκων παρατηρούμε ότι για να παράξουμε ένα κιλό σκυροδέματος από τσιμέντο Portland, χρειάζονται 170 λίτρα νερού, ενώ για την παραγωγή ενός κιλού πλακών και προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος από τσιμέντο με αερακτικά πρόσθετα απαιτούνται 300 λίτρα νερού. Αντιστοίχως καταναλώνονται 190 λίτρα νερού για την παραγωγή 1 κιλού πλακών και προκατασκευασμένων στοιχείων ελαφροσκυροδέματος.

Τέλος παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη κατανάλωση νερού παρατηρείται κατά την παραγωγή μετάλλων όπως αλουμινίου, χαλκού, χάλυβα γαλβανισμένου και ανοξείδωτου από πρώτη ύλη τον ορυκτό σίδηρο, με τιμές που φθάνουν αντιστοίχως τα 29000, 15900, 3400 και 3400 λίτρα νερού ανά χιλιόγραμμο προϊόντος.

Επίσης μεγάλη κατανάλωση νερού εμφανίζεται κατά την παραγωγή διογκωμένης πολυουρεθάνης ενός πλαστικού παραγωγού με τιμή 18900 λίτρα νερού ανά χιλιόγραμμο πολυουρεθάνης.

Table 1.3: Effects on resources

Material	Technical properties			Material resources		Energy resources			Water
	Weight (kg/m ²)	Durability	Loss factor ¹ (%)	Statistical number of years left as reserves	Raw material (see Table 1.1) R = renewable	Primary energy consumption		Combustion value ²⁾ (MJ/kg)	Use of water (litres/kg)
						North Europe (MJ/kg)	Central Europe (MJ/kg)		
Aluminium, 50% recycled	2700	high	21	220	3	58	184	-	29 000
Cast iron, from iron ore	7200	high	-	119	12	-	13	-	-
Steel:									
100% recycled	8000	high	-	-	-	6	10	-	-
galvanized from ore	7500	-	21	21	12-24	12	25	-	3400
stainless steel from ore	7800	-	21	21	12-24	12	25	-	3400
Lead from ore	11 300	high	21	20	-	-	22	-	1900
Copper from ore	8950	very high	16	35	5	-	70	-	15 900
Concrete with Portland cement:									
structure	2400	high	16	-	14	0.6	1	-	170
roof tiles	2200	medium	4	-	14	-	2	-	-
fibre reinforced slabs	1200	medium	20	-	14	-	7	-	450
mortar	1900	high	10	-	14	1	1	-	170
Aerated concrete blocks and prefab units	500	medium	5	220	3-14-18	-	4	-	300
Light aggregate concrete blocks and prefab units	750	medium	6	-	14-7	2	4	-	190
Lime sandstone	1600	medium	11	-	14-18	-	1	-	50
Lime mortar	1700	medium	10	-	14	-	1	-	-
Calcium silicate sheeting	875	medium	20	-	14-18	-	2	-	-
Plasterboard	900	medium	25	-	11	5	5	-	240
Perlite, expanded:									
without bitumen	80	high	1	-	17	-	8	-	-
with bitumen	85	-	1	40	27-17	-	8	-	-
with silicone	80	-	1	40	27-17	-	8	-	-
Class:	2400	high	5	-	18-15-14	7	8	-	680
with a tin oxide layer	2400	-	3	-	22-18-15-14	-	-	-	-
Foam glass:									
slabs	115	high	-	-	18-15-14	-	11	-	-
granulated, 100% recycled	-	high	-	-	-	-	-	-	-
Mineral wool:									
rockwool	30	medium	6	350	25-14-15	11	16	-	1360
glasswool	20	medium	6	350	25-18-15	20	18	-	1360
Stone:									
structural	2700	very high	-	-	20	-	0.1	-	10
slate	2700	very high	6	-	20	-	0.1	-	10
Earth, stamped structure	2000	high	1	-	9	-	0.1	-	10
Bentonite clay	1800	high	-	-	-	-	-	-	10
Fired clay:									
bricks	1800	very high	10	-	7	2	3	-	520
roof tiles	1800	medium	5	-	7	-	3	-	640
Ceramic tiles	2000	very high	18	-	7	8	8	-	400
Fired clay pellets	450	very high	1	-	7	2	-	-	-
Bitumen	1000	low/medium	-	40	27	-	5	-	-
Polyethylene (PE)	940	low/medium	11	40	27	-	67	(44)	-
Polypropylene (PP)	-	low/medium	11	40	27	-	71	(44)	-
Expanded polystyrene:									
EPS	23	low/medium	11	40	27	75	75	(20)	-
XPS	23	Medium	11	40	27	72	75	(20)	-
Expanded polyurethane (PUR)	35	low/medium	11	40	27	95	110	(76)	18 900
Polyvinyl chloride (PVC)	1380	medium/high	11	40	15-27	56	84	(23)	-
Expanded urea- formaldehyde (UF)	12	low/medium	-	390	25	-	40	-	-
Polyisobutylene (PIB)	-	Low/medium	-	40	27	-	95	-	-
Polyester (UP)	1220	medium	-	40	27	-	78	-	-

contin. ed

Πίνακας 2.1: Κατανάλωση νερού (1^ο μέρος)

(Berge, 2001, σελ.: 20÷21)

Table 1.3: Effects on resources – *continued*

Material	Technical properties			Material resources		Energy resources		Water	
	Weight (kg/m ³)	Durability	Loss factor ⁽¹⁾ (%)	Statistical number of years left as reserves	Raw material (see Table 1.1) R = renewable	Primary energy consumption North Europe (MJ/kg)	Central Europe (MJ/kg)	Combustion value ⁽²⁾ (MJ/kg)	Use of water (litres/kg)
Styrene butadiene rubber (SBR)	1000	low/medium		40	27		70		
Timber:									
untreated	550	medium/high	20		R	3	3	16 (16)	330
pressure impregnated laminated timber	550	medium/high		21	R-6-2				
laminated timber	550	medium/high		390	R-25	4		16	
Wood fibre insulation	100	medium		-	R				
Cork	70	medium	11		R		4		26
Wood fibre board: porous									
without bitumen	300	medium		-	R		15	10 (10)	350
porous with bitumen	350	medium		40	R-27	15			
hard without bitumen	900	medium/high	20		R	4	15	7 (7)	2,500
hard with bitumen	900	medium/high	20	40	R-27				
Woodwool slabs	230	High	21		R-14		20	7 (7)	
Chipboard	750	medium/high	20	390	R-25	2	4	14 (14)	1000
Cellulose fibre insulation, 100% recycled and boric salts	60	medium	1	295	R-4	19	21	17 (17)	10
Cellulose fibre matting (fresh) and boric salts	80	medium	5	-	R-4			17 (17)	
Cellulose building paper (unbleached): 95% recycled	1200	medium	12	-	R		16	11	
Cardboard sheeting, laminated with polyethylene	750	low/medium	20	40	R-27				
laminated with latex	750	low/medium	20	-	R				
Linenfibre strips	150	medium/high	1	-	R			12	
Linen matting	16	medium/high	5	-	R				
Linoleum	1200	medium	11	-	R	7	1	10	140
Straw									
thatch	100	low		-	R				
bound with clay	600	medium		-	R-9				
Coconut fibre, strips	100	medium		-	R				
Jute fibre, strips	100	medium		-	R			12	
Peat slabs	225	medium	5	-	R				
Wool paper	500	medium	12	-	R				
Woollen matting	18	medium	5	-	R				

Notes:

(1) Loss factor is the percentage of material that is usually lost during storing, transporting and mounting of the product.

(2) The figures in brackets under combustion value show the value that is no longer available due to its poisonous character or the structure of the material.

Πίνακας 2.2: Κατανάλωση νερού (2^ο μέρος)

(Berge, 2001, σελ.: 22÷23)

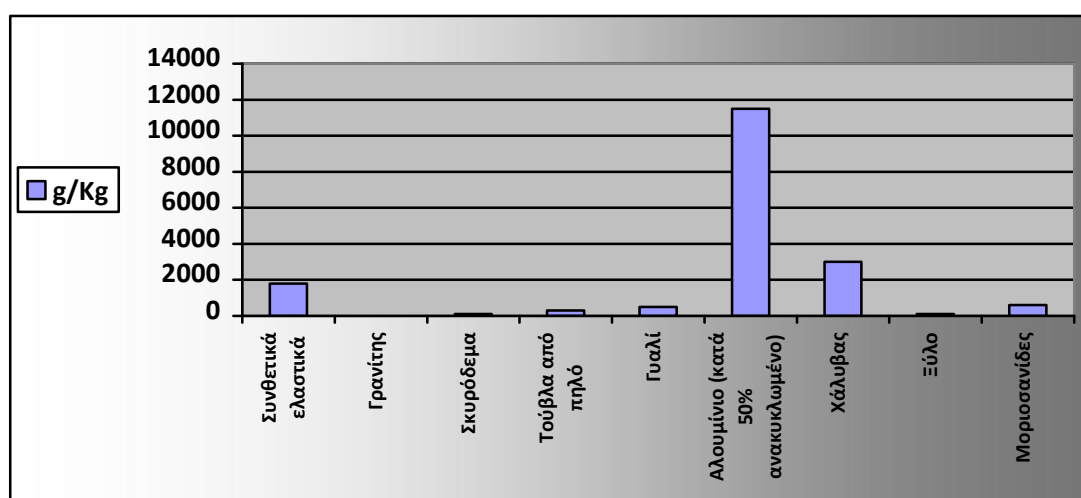
2.1.2 Εκπομπές αερίων ρύπων

Η ενεργειακή ρύπανση σχετίζεται με την πηγή ενέργειας που επιλέγεται για την παραγωγή των υλικών, που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές. Στη βάση αυτή, έγιναν στατιστικές έρευνες σχετικά με την ενεργειακή ρύπανση λόγω της καύσης ορυκτών οι οποίες έδειξαν τα παρακάτω:

Ορυκτά καύσιμα	CO ₂	SO ₂	NO _x
Πετρέλαιο	75	0.5	0.15
Φυσικό αέριο	57	0.01	0.16
Λιγνίτης (χαμηλή περιεκτικότητα σε	110	0.03	0.16
Λιγνίτης (υψηλή περιεκτικότητα σε	93	0.01	0.16

Πίνακας 2.3: Ενεργειακή ρύπανση από ορυκτά καύσιμα μετρημένα σε (g/MJ)

(Berge, 2001, σελ.: 26)



Πίνακας 2.4: Εκπομπή αερίων ρύπων κατά την διαδικασία παραγωγής των υλικών

(Κορωναίος, Σαργέντης, 2005, σελ.: 27)

Πιο συγκεκριμένα κατά την παραγωγή τσιμέντου και σκυροδέματος που είναι το κύριο προϊόν του, εκλύονται ικανές ποσότητες CO₂ για να προκληθούν περιβαλλοντικά προβλήματα. Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει ενδεικτικά τις συγκεντρώσεις CO₂ που σχηματίζονται στη βιομηχανία τσιμέντου, τόσο κατά την παραγωγή τσιμέντου, όσο και κατά την παραγωγή σκυροδέματος.

Πηγές εκπομπών CO ₂ στη βιομηχανία τσιμέντου	kg CO ₂ / t τσιμέντου	kg CO ₂ / m ³ σκυροδέματος	Ποσοστό % συνολικού CO ₂
CO ₂ από την πύρωση του ασβεστολίθου	532	158.2	45.9
CO ₂ από την παραγωγή ενέργειας από καύσιμα	528	157.2	45.6
CO ₂ από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	99	29.3	8.5
Συνολική παραγωγή CO ₂	1159	344.7	100

Πίνακας 2.5: Παραγωγή CO₂ στις διεργασίες παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος (συμπεριλαμβανομένης και της ηλεκτρικής ενέργειας).

(Τσακαλάκης, 2010, σελ.: 238)

Σημαντική συνεισφορά στην επιτυχή μείωση των εκπομπών CO₂ έχει προσφέρει η χρήση βιομάζας ως καύσιμο, αντικαθιστώντας συμβατικά καύσιμα. Η βιομάζα, κυρίως υπολείμματα καλλιεργειών βαμβακιού και καλαμποκιού, παραδίδεται στο εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου σε μορφή δεματιών που αποθηκεύονται σε στεγασμένο χώρο, ώστε στη συνέχεια να υποστούν κατεργασία και να τροφοδοτηθούν στην κάμινο. Η χρήση τοπικά παραγόμενης βιομάζας ενισχύει την οικονομική ευημερία της περιοχής. Ενεργειακή ρύπανση προκαλείται επίσης και από τη μεταφορά των υλικών. Καθοριστικοί παράγοντες είναι, το είδος του υλικού, το βάρος, η μέθοδος μεταφοράς και η απόσταση που διανύεται. Ειδικότερα στην παραγωγή τσιμέντου και σκυροδέματος, το μεγαλύτερο ποσοστό εξυπηρέτησης το παρέχουν οι οδικές μεταφορές, όμως είναι σημαντικό να υπολογίσουμε τις συγκεντρώσεις καυσαερίων και στις υπόλοιπες μεθόδους μεταφορών. Σύμφωνα με μετρήσεις που διενεργήθηκαν προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

Είδη μεταφορών	CO ₂	SO ₂	NO _x
Diesel:οδικές	120	0.1	1.9
Diesel:θαλάσσιες/ποτάμιες	50	0.3	0.7
Diesel:με μέσα σταθερής τροχιάς	50	0.05	0.75

Πίνακας 2.6: Ενεργειακή ρύπανση από διάφορα είδη μεταφορών μετρημένα σε (g/ton*km)

(Berge, 2001, σελ.: 26)

2.1.3 Ενσωματωμένη ενέργεια

Η ενσωματωμένη ενέργεια είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το συνολικό ποσό ενέργειας που καταναλώνεται, για την εύρεση των πρώτων υλών και την επεξεργασία τους, ώστε να παραχθεί μια συγκεκριμένη ποσότητα τελικού προϊόντος. Περιγράφοντας τον παρακάτω πίνακα, στη δεύτερη στήλη ποσοτικοποιείται ενδεικτικά η ενσωματωμένη ενέργεια που περιέχει το κάθε υλικό. Στις επόμενες στήλες δίνεται (πάντα ενδεικτικά), τα ποσά της ενεργειακής ανταπόδοσης των υλικών. Όταν αναφερόμαστε στην ενεργειακή ανταπόδοση εννοούμε ότι, για ένα προϊόν που μονώνει ή με οποιοδήποτε τρόπο εξοικονομεί ενέργεια που χρησιμοποιείται σε κάποιο κτήριο, η περίοδος ενεργειακής ανταπόδοσης (ενεργειακό ισοζύγιο), είναι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται το προϊόν να εξοικονομήσει ποσό ενέργειας ίσο με αυτό που καταναλώθηκε για την παραγωγή του. Η τρίτη στήλη υπολογίστηκε με δεδομένα ότι ο εν λόγω τοίχος που αποτελείται από αυτά τα υλικά, ανήκει σε ένα τυπικό πανταχόθεν ελεύθερο σπίτι, ενώ έχουν ληφθεί υπόψη τόσο η στρώση με τσιμεντοκονίαμα εξωτερικά όσο και η ενδιάμεση μόνωση εσωτερικά. Η διαφοροποίηση μεταξύ τρίτης και τέταρτης στήλης είναι ότι, στη μεν τρίτη η μόνωση θεωρείται σύμφωνη με τον ισχύοντα οικοδομικό κανονισμό (μονή στρώση υλικού) με συντελεστή $U=0.45$, στη δε τέταρτη η μόνωση θεωρείται υπερβολική μέχρι του συντελεστή $U=0.10$. Ο συντελεστής U αναφέρεται στη μόνωση, ενώ η όλη διαδικασία έγινε χρησιμοποιώντας φύλλα εργασίας BREDEM.

Υλικό εσωτερικής στρώσης	Ενσωματωμένη ενέργεια 100 μ² τοίχου (GJ)	Ενεργειακή ανταπόδοση: αρχικό $U=0.45$ (σε έτη)	Ενεργειακή ανταπόδοση: αρχικό $U=0.10$ (σε έτη)
Αργιλικός οπτόπλινθος	32	51.6	1,067
Πυκνός τσιμεντόλιθος	20	76.9	2,000
Ελαφροσκυρόδεμα	21	11.7	230
Σκυρόδεμα με αερακτικά πρόσθετα	38	11.1	180

Πίνακας 2.7: Ενσωματωμένη ενέργεια συνηθέστερων οικοδομικών υλικών

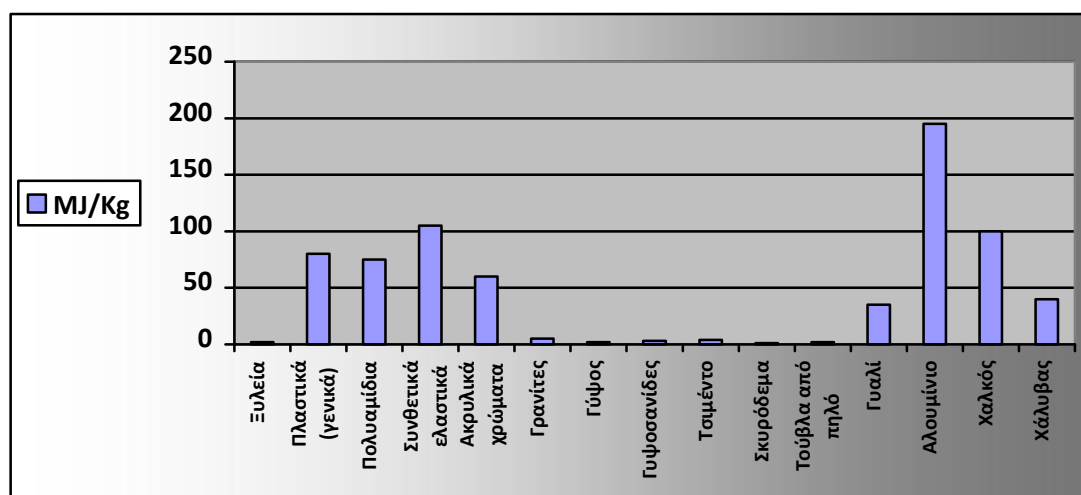
(Woolley, Kimmins, Harrisson, Harrisson, 2007, σελ.: 53)

Ο επόμενος πίνακας προκύπτει από αποτελέσματα διαφόρων ερευνών της διεθνούς βιβλιογραφίας.

Οι τιμές αυτές διαφοροποιούνται σύμφωνα με τις παρακάτω παρατηρήσεις:

- Η ενσωματωμένη ενέργεια ενός υλικού που παράγεται σε μία χώρα με συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία είναι πολύ πιθανόν να είναι πολύ διαφορετική από την ενσωματωμένη ενέργεια του ίδιου υλικού που παράγεται σε άλλη χώρα με διαφορετική παραγωγική διαδικασία. Συνεπώς το τσιμέντο εμφανίζει ως υλικό χαμηλότερο ποσό ενσωματωμένης ενέργειας στην Ελλάδα, όπου υπάρχουν περισσότερα ασβεστολιθικά πετρώματα από π.χ. την Μ. Βρετανία.

- Εξάλλου στην ενσωματωμένη ενέργεια περιλαμβάνουμε και την ενέργεια μεταφοράς του υλικού στην τελική του θέση. Άρα το ξύλο που είναι ανανεώσιμη πρώτη ύλη με μικρή ενσωματωμένη ενέργεια, όταν έρχεται από τον Αμαζόνιο η ενσωματωμένη ενέργειά του αυξάνεται κατά πολύ. Αν θέλουμε να συμπεριλάβουμε και το τσιμέντο στα παραδείγματά μας, μπορούμε να σκεφτούμε πόσο αυξάνεται η ενσωματωμένη ενέργεια του, όταν δεν υπάρχουν αρκετές πρώτες ύλες και πρέπει να μεταφερθεί λ.χ. στις Η.Π.Α.



Πίνακας 2.8: Ενσωματωμένη ενέργεια για συνήθη υλικά

(Κορωναίος, Σαργέντης, 2005, σελ.: 21)

Όπως και να έχει επειδή η παραγωγή τσιμέντου είναι μία ενεργειοβόρος βιομηχανική δραστηριότητα, κατά συνέπεια και στο σκυρόδεμα ως δευτερογενές προϊόν ενσωματώνονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας.

2.1.4 Αποθέματα ενέργειας

Σύμφωνα με τις έως τώρα προβλέψεις, υπάρχουν επαρκή αποθέματα φυσικού αερίου και πετρελαίου, για ακόμα 40-60 έτη. Τα αποθέματα λιγνιτάνθρακα επαρκούν για τα επόμενα 1000 έτη, αλλά υπάρχει το μειονέκτημα της συσχέτισης του υλικού, με το πρόβλημα της όξινης βροχής, και της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση του. Συνεπώς λόγω

των περιβαλλοντικών προβλημάτων δεν μπορούμε να στηριχτούμε στον λιγνίτη ως εναλλακτική πηγή ενέργειας. Απομένουν μόνο η πυρηνική ενέργεια από πυρηνικούς αντιδραστήρες που χρησιμοποιούν ουράνιο και θόριο, ή οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή, η αιολική, η θερμοδυναμική, και η υδροδυναμική. Τα συμπεράσματα είναι ξεκάθαρα: η πυρηνική ενέργεια ενέχει πολλούς κινδύνους και προβλήματα αποβλήτων, ενώ οι ανανεώσιμες φυσικές πηγές είναι ασφαλείς, αλλά δύσκολο να χρησιμοποιηθούν. Κατά τα τελευταία χρόνια πολύς λόγος έχει γίνει για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό το πρόβλημα έχει άμεση σχέση με την ενέργεια, η οποία με τη σειρά της κυρίως παράγεται από ορυκτά καύσιμα. Η κατασκευαστική βιομηχανία είναι από τις πιο ενεργοβόρες. Η χρήση της ενέργειας μοιράζεται μεταξύ της παραγωγής, διακίνησης και χρήσης των οικοδομικών υλικών. Όλες αυτές οι πηγές ενέργειας έχουν εφαρμογή και στη βιομηχανία του τσιμέντου, η οποία αντιπροσωπεύει το 2% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Το κόστος της ενέργειας αντιπροσωπεύει το 20%-30% του κόστους παραγωγής του τσιμέντου. Ο παρακάτω πίνακας υποδεικνύει τα είδη καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία του τσιμέντου.

Είδος καυσίμου	Ποσοστό % κ.β.
Άνθρακας	36
Petcoke	39
Λιγνίτης	6
Πετρέλαιο	7
Φυσικό αέριο	2
Εναλλακτικά καύσιμα	10
Σύνολο	100

Πίνακας 2.9:Ποσοστιαία (%) κατανάλωση καυσίμων στη βιομηχανία τσιμέντου στην ΕΕ

(Τσακαλάκης, 2010, σελ.: 225)

Καταναλώνεται επίσης και ηλεκτρική ενέργεια περίπου 100 kWh/t τσιμέντου (ποσοστό 5%-8% της συνολικής), που κατανέμεται ως εξής:

- 27.5% στην προετοιμασία των πρώτων υλών,
 - 27.7% στις διεργασίες παραγωγής του κλίνκερ (κύκλωμα περιστροφικής καμίνου),
 - 39.8% στις διεργασίες παραγωγής τελικού προϊόντος (άλεση του κλίνκερ κ.λπ.), και 5% σε άλλες διεργασίες του κυκλώματος παραγωγής.
- Τα στάδια της ενεργειακής κατανάλωσης στην παραγωγή τσιμέντου.

Η επεξεργασία, συντήρηση, και ανανέωση των υλικών σε μία τυπική ξύλινη κατοικία για τρεις χρήστες, για μία διάρκεια 50 ετών, απαιτεί ένα συνολικό ποσό ενέργειας περίπου 2000 MJ/m². Ένα σπίτι κατασκευασμένο από στοιχεία ελαφροσκυροδέματος, απαιτεί 3000 MJ/m². Για μεγαλύτερες κατασκευές από χάλυβα ή σκυρόδεμα το ποσό ενέργειας που απαιτείται είναι περίπου 2500 MJ/m². Το ποσό της ενέργειας που πραγματικά καταμερίζεται στην παραγωγή των οικοδομικών υλικών είναι μεταξύ 6% και 20%, της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας για 50 έτη χρήσης, ανάλογα με τον τρόπο οικοδόμησης, των κλιματολογικών συνθηκών, κ.τ.λ.

- ❖ Η ενεργειακή κατανάλωση κατά την παραγωγή τσιμέντου.

Η πρωταρχική κατανάλωση ενέργειας (ΠΚΕ) είναι η ενέργεια που χρειάζεται για την παραγωγή των οικοδομικών προϊόντων. Ένας σημαντικός παράγοντας για να υπολογιστεί η ΠΚΕ, είναι η αξία καύσης. Αυτή ορίζεται ως η ποσότητα ενέργειας που θα παραγόταν, εάν η πρώτη ύλη είχε καεί ως καύσιμο. Η αξία καύσης συνήθως περιλαμβάνεται στην ΠΚΕ, όταν η πρώτη ύλη θα είχε υψηλή αξία ως απόθεμα ενέργειας.

Υλικό	Βάρος (%)	kWh/t πρώτης ύλης		kWh/m ³ σκυροδέματος	Μάζα πρώτων υλών (t/m ³ σκυροδέματος)	Ενέργεια (%)
		Παραγωγή	Μεταφορά			
Τσιμέντο	12	1651	162.8	539.4	0.297	91.6
Άμμος	34	1.6	12.0	11.4	0.843	1.9
Χονδρομερή αδρανή	48	15.1	17.1	38.3	1.190	6.5
Νερό	6	-	-	-	0.149	-
Αέρας	-	-	-	-	-	-
Σκυρόδεμα	100	1859.6		589.1	2.479	100.0

Πίνακας 2.10: Ενέργεια στη διαδικασία παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος.

(Τσακαλάκης, 2010, σελ.: 227)

Στον Πίνακα 2.10 γίνεται αναγωγή της ενέργειας ανά m³ σκυροδέματος, σύμφωνα με τις κατά βάρος αναλογίες πρώτων υλών στο σκυρόδεμα. Διαπιστώνεται λοιπόν ότι η ενσωματωμένη ενέργεια ανά m³ σκυροδέματος, οφείλεται κατά 91.5% περίπου στην ενέργεια που χρειάστηκε στην παραγωγή του περιεχόμενου τσιμέντου (εξόρυξη πρώτων υλών, μεταφορά, θραύση, λειοτρίβηση, περιστροφική κάμιнос, άλεση του κλίνκερ κ.λπ.) και μόνο το 8.5% στα αδρανή υλικά του σκυροδέματος.

Η ΠΚΕ αποτελεί συνήθως το 80% της συνολικής ενέργειας που διατέθηκε στο τσιμέντο, και διαχωρίζεται κατά τον ακόλουθο τρόπο:

α) Στην άμεση ενεργειακή κατανάλωση κατά την εξόρυξη πρώτων υλών, και τις παραγωγικές διεργασίες του τσιμέντου.

Αυτή μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το είδος των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται στις κατασκευαστικές διεργασίες τσιμέντου. Συνεπώς όσο μικρότερη είναι η ενέργεια που καταναλώθηκε λόγω μηχανημάτων προηγμένης τεχνολογίας, τόσο μικρότερη είναι η Πρωταρχική Κατανάλωση Ενέργειας (Π.Κ.Ε.).

β) Στην δευτερογενή κατανάλωση της κατασκευαστικής διεργασίας.

Αυτή αναφέρεται στην κατανάλωση ενέργειας από τον μηχανολογικό εξοπλισμό, τις εγκαταστάσεις θέρμανσης και φωτισμού του εργοστασίου, και της συντήρησης του εργασιακού περιβάλλοντος.

γ) Στην ενέργεια που καταναλώνεται για την μεταφορά των απαραίτητων πρώτων υλών και κατεργασμένων υλικών.

Το είδος του μεταφορικού συστήματος παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας. Ο ακόλουθος πίνακας περιγράφει την κατανάλωση ενέργειας ανά τόνο μεταφερόμενου υλικού στη Νορβηγία το 2000. Είναι προφανές ότι προσφέρει απλώς μια εποπτική εικόνα και πρέπει να γίνει μια αναγωγή στην επόμενη δεκαετία. Μπορούμε όμως να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα για την τάξη μεγέθους των διαφορών ανάμεσα στα διαφορετικά μεταφορικά συστήματα.

Είδος μεταφορικού συστήματος	MJ/ton/km
Diesel: οδική μεταφορά	1.6
Diesel: θαλάσσια μεταφορά	0.6
Diesel: σιδηροδρομική μεταφορά	0.6
Electric: σιδηροδρομική μεταφορά	0.2

Πίνακας 2.11: Η κατανάλωση ενέργειας ανάλογα με το μεταφορικό σύστημα

(Berge, 2001, σελ.: 17)

❖ Η ενεργειακή κατανάλωση κατά την κατασκευή, χρήση και κατεδάφιση

Οι μεταφορές και η χρήση των ολοκληρωμένων προϊόντων, είναι συνήθως περίπου το 20% της συνολικής ενέργειας που διατέθηκε.

α) *Η ενεργειακή κατανάλωση για τις μεταφορές των παρασκευασμένων προϊόντων.*

Αυτή μπορεί να έχει πολύ αποφασιστικό ρόλο στη συνολική εικόνα της ενέργειας στις κατασκευές. Για παράδειγμα κατά την εξαγωγή στοιχείων ελαφροσκυροδέματος από τη Νορβηγία στην Κορέα, καταναλώνεται ενέργεια ίση με 10000 MJ/m^3 , ενώ η καθεαυτού παραγωγή των στοιχείων απαιτεί ενεργειακό διαθέσιμο μόνο 3500 MJ/m^3 . Αυτό επιβεβαιώνει την αρχή σύμφωνα με την οποία τα βαρέα υλικά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κοντά στο τόπο παραγωγής τους.

β) *Η ενεργειακή κατανάλωση στο χώρο του εργοταξίου.*

Εννοούμε την κατανάλωση που ήδη περιλαμβάνει τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν, την θέρμανση και τον φωτισμό, την τοποθέτηση του εργοταξίου, και ο μηχανολογικός εξοπλισμός. Επίσης περιλαμβάνει την ενέργεια που χρειάζεται να επέλθει η σκλήρυνση της κατασκευής όπως με το επιτόπου σκυρόδεμα. Η χρήση της ενέργειας που παράγει ο άνθρωπος ποικίλει από υλικό σε υλικό, όπως ποικίλει μεταξύ της παρασκευής και της χρήσης του προϊόντος. Αν υποθέσουμε ότι ένα άτομο χρησιμοποιεί 0.36 MJ ενέργειας ανά ώρα, ένα μόνο σπίτι θα κατανάλωνε $270\text{-}540 \text{ MJ}$.

Το ποσό ενέργειας που απαιτείται στο εργοτάξιο έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια σαν αποτέλεσμα της αυξημένης μηχανοποίησης. Για παράδειγμα το στέγνωμα (αφύγρανση) του κτηρίου με βιομηχανικούς ανεμιστήρες είναι αρκετά καινούρια τεχνική. Παραδοσιακά η κυρίως κατασκευή του κτηρίου, με την στέγη, αποπερατώνεται κατά την διάρκεια της άνοιξης, έτσι ώστε να στεγνώσει κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Η περιεκτικότητα σε υγρασία των διαφόρων οικοδομικών υλικών επηρεάζει το χρονοδιάγραμμα της κατασκευής. Για παράδειγμα απαιτείται ο διπλάσιος χρόνος να αφυγρανθεί ένας τοίχος από σκυρόδεμα, από ότι για να αφυγρανθεί ένας ξύλινος.

γ) *Η ενεργειακή κατανάλωση κατά την συντήρηση.*

Ο ήλιος, ο παγετός, η υγρασία, η χρήση από τον άνθρωπο, κ.α. φθείρουν τα υλικά, έτσι ώστε να χρειάζεται να συντηρηθεί και πιθανώς να ανακαινιστεί. Αρχικά επεξεργαζόμαστε τις εξωτερικές επιφάνειες βάφοντάς τες ή εμποτίζοντάς τες, με υλικά που έχουν και τα ίδια ενεργειακό περιεχόμενο. Το επόμενο στάδιο είναι η αντικατάσταση των σαθρών ή ελαττωματικών συνθετικών της κατασκευής.

δ) *Η ενεργειακή κατανάλωση κατά την αποσυναρμολόγηση ή την απομάκρυνση των υλικών κατά την κατεδάφιση.*

Αυτή είναι περίπου το 10% της διάθεσης ενέργειας η οποία είναι ακέραιη εντός κάθε υλικού. Είναι σαφές ότι μόνο τα προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα, από τα προϊόντα του τσιμέντου, έχουν τη δυνατότητα να

αποσυναρμολογηθούν. Κατά τα άλλα ότι είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα μπορεί μόνο να κατεδαφιστεί.

2.1.5 Μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στην κατασκευαστική βιομηχανία

Σήμερα, η απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή τσιμέντου έχει μειωθεί απ'ότι 25 χρόνια πριν, κατά 25% περίπου από 7.2 σε 5.5 GJ/t τσιμέντου. Τα 5.5 GJ/t τσιμέντου αντιστοιχούν σε 1528 kWh/t τσιμέντου. Η αντιστοιχία αυτή σε kWh/t είναι τελείως ενδεικτική της ενεργειακής «έντασης» της διεργασίας. Είναι αρκετά δυνατό να μειωθεί δραστικά το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται στην βιομηχανία του τσιμέντου, αν ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

- ❖ Εξοικονόμηση ενέργειας κατά την παρασκευαστική διαδικασία του τσιμέντου

A) Αποκέντρωση της παραγωγής του τσιμέντου.

Απαιτεί πολύ λιγότερες μεταφορές και είναι κατάλληλο μέτρο ιδιαίτερα όταν επεξεργάζονται τοπικές πρώτες ύλες για την παραγωγή τσιμέντου.

B) Χρήση πολύ αποδοτικών πηγών ενέργειας.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από πετρέλαιο, λιγνίτη, και πυρηνική ενέργεια, φθάνει μόνο το 25%-30% της ενέργειας που θα μπορούσε να παραχθεί. Συνεπώς ο συντελεστής απόδοσης ανέρχεται σε 0.25-0.30 και το υπόλοιπο ποσοστό χάνεται. Η υδροηλεκτρική μέθοδος έχει συντελεστή απόδοσης 0.60, ο οποίος δεν είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακός. Σε πολλές περιπτώσεις θα ήταν καλύτερο να αποφύγουμε την ηλεκτρική ενέργεια, και να χρησιμοποιήσουμε πηγές ενέργειας εντός της παραγωγικής διαδικασίας του τσιμέντου, που να παρέχουν άμεση μηχανική ή εντατική θερμική ενέργεια- π.χ. η ενέργεια εκ περιστροφής κατά την λειοτρίβηση της πρώτης ύλης, ή στους περιστροφικούς καμίους, ή στους μύλους άλεσης του υλικού. Η αποδοτικότερη μέθοδος παραγωγής ενέργειας είναι, η πηγή ενέργειας πρέπει να έχει άμεση σχέση με την διαδικασία παρασκευής που χρησιμοποιείται. Αυτή η αρχή μπορεί να καθοριστεί ανάλογα με το επίπεδο ποιότητας της ενέργειας. Στον πίνακα 2.12 δίνεται η απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας ανά t τσιμέντου.

Γ) Χρήση των τοπικών πηγών ενέργειας.

Όσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ του εργοστασίου παραγωγής ενέργειας και του εργοστασίου παραγωγής τσιμέντου, τόσο μικρότερο είναι το ποσό ενέργειας που χάνεται στο δίκτυο (γραμμή μετάδοσης).

Δ) Άλλες αλλαγές εξοικονόμησης ενέργειας.

Είναι πιθανόν να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση σε κάποιες βιομηχανικές διεργασίες, χρησιμοποιώντας αποδοτικούς τρόπους επανάκτησης θερμότητας, και βελτιωμένες παραγωγικές τεχνικές. Η καύση τσιμέντου σε υψικαμίλους απαιτεί 10%-40% λιγότερη ενέργεια, από τους παραδοσιακούς περιστροφικούς κλίβανους. Στην χαλυβοβιομηχανία θα μπορούσε να μειωθεί η χρήση ενέργειας κατά 50% από ανοικτούς καμίλους σε αψιδωτούς.

<i>Είδος καύσιμου</i>	<i>Ενέργεια/τ τσιμέντου</i>		<i>Ποσοστό ενέργειας (%)</i>
	BTU × 10³	kWh	
Προϊόντα πετρελαίου (diesel, βενζίνη κ.λπ.)	69.5	20.4	1.2
Φυσικό αέριο	524.8	153.8	9.0
Άνθρακας και κωκ	3885.3	1138.4	66.5
Καύσιμο από απόβλητα	315.3	92.4	5.4
Ηλεκτρική ενέργεια	1050.3	307.8	17.9
Σύνολο	<i>5215 + 420.1</i>	<i>1527.9 + 123.1</i>	<i>100.0</i>

Πίνακας 2.12: Είδος καυσίμου και θερμική ενέργεια για την παραγωγή ενός τόνου τσιμέντου κατά την Portland Cement Association (PCA).

(Τσακαλάκης, 2010, σελ.: 226)

- ❖ Εξοικονόμηση ενέργειας κατά την κατασκευαστική διαδικασία με τη χρήση προϊόντων του τσιμέντου

Επειδή το κύριο προϊόν του τσιμέντου και το κυρίαρχο στην κατασκευαστική – ας πούμε- βιομηχανία στην Ελλάδα είναι το σκυρόδεμα, ότι έχει να κάνει με την εξοικονόμηση ενέργειας θα έχει κατά κύριο λόγο με την παραγωγή σκυροδέματος.

A) Η χρήση τοπικών πρώτων υλών.

Η χρήση τοπικών πρώτων υλών σημαίνει λιγότερες ανάγκες για μετακινήσεις. Αυτός είναι ο σπουδαιότερος λόγος για τον οποίο οι μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος βρίσκονται όσο γίνεται πλησιέστερα στα λατομεία όπου εξορύσσεται η πρώτη ύλη του τσιμέντου ή και των αδρανών.

B) Πρώτες ύλες χαμηλής ενέργειας.

Δίνουμε προτεραιότητα σε πρώτες ύλες που έχουν χαμηλή πρωταρχική κατανάλωση ενέργειας.

Γ) Εντατικές εργασιακές διεργασίες.

Η ενέργεια που χρειάζεται έναν εργάτη και την οικογένειά του είναι τόσο μικρή που έχει μικρή επίπτωση στον συνολικό υπολογισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας. Οι διεργασίες που με εντατικό τρόπο λόγω της επάρκειας ανθρώπινου δυναμικού γίνονται, είναι σχεδόν πάντα προς όφελος της οικονομίας ενέργειας. Δεν είναι τυχαίο λοιπόν το γεγονός ότι, τόσο σε μια μονάδα παραγωγής τσιμέντου, όσο και σε μια έτοιμου σκυροδέματος, η γραμμή παραγωγής του τελικού προϊόντος είναι διατεταγμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει μια φυσική συνέχεια των διαφόρων διεργασιών, και να είναι αποδοτικότερη η όλη λειτουργία.

Δ) Κατασκευαστικές τεχνικές που ευνοούν την επανάχρηση και την ανακύκλωση των προϊόντων του τσιμέντου.

Τα περισσότερα οικοδομικά υλικά καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας κατά την παραγωγή. Επαναχρησιμοποιώντας επτά οπτόπλινθους, διασώζεται ένα λίτρο πετρελαίου. Ανακυκλώνοντας μέταλλα, μπορεί να διασωθεί ενέργεια μεταξύ 40%-90% σε σύγκριση με αυτή που θα καταναλώνονταν για την επεξεργασία ορυκτού σιδήρου. Ανακυκλώνοντας απορρίμματα (π.χ σκυρόδεμα από κατεδαφίσεις) που περιέχουν ικανές ποσότητες τσιμέντου, μπορούμε να συμβάλουμε στην παραγωγή του τσιμέντου ως πρώτη ύλη. Η δυνατότητα να ανακυκλώνουμε τοπικά είναι ένας αποφασιστικός παράγοντας, άλλως το κόστος της ενέργειας από τις μεταφορές, μετατρέπεται οφέλη σε απώλειες.

2.2 Ποιοτικές παράμετροι περιβαλλοντικών επιπτώσεων του τσιμέντου και των προϊόντων του

2.2.1 Αποθέματα πρώτων υλών

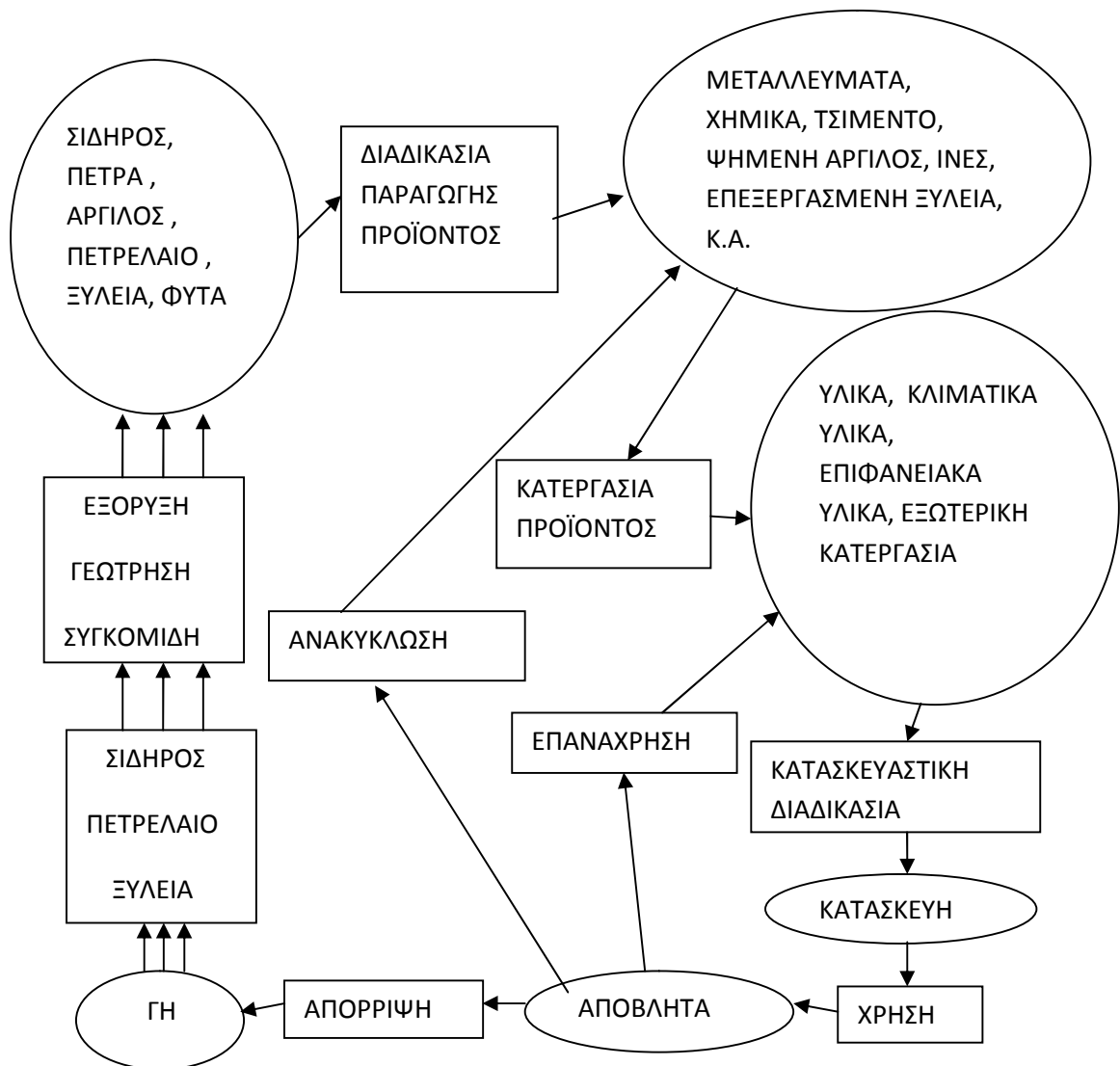
Τα αποθέματα των πρώτων υλών είναι πλέον σημαντικά μειωμένα από αυτά 50 χρόνια πριν. Πρέπει όμως να συνυπολογίζουμε και τα ενεργειακά αποθέματα στο σύνολο των υλικών αποθεμάτων διότι, κρίσιμο είναι να γνωρίζουμε το είδος και το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Ο κύκλος ζωής των υλικών ξεκινάει από την εξόρυξη των πρώτων υλών από τη φύση με διάφορους τρόπους (εξόρυξη, γεώτρηση, καλλιέργεια, κ.α.), συνεχίζεται με την επεξεργασία και παραγωγή των τελικών προϊόντων, την χρήση αυτών στις εκάστοτε κατασκευαστικές δραστηριότητες, την αφαίρεση αυτών και την ανακύκλωση ή επανάχρησή τους (όταν είναι δυνατόν), και τέλος στην απόρριψή τους-συνήθως εκεί από όπου προήλθαν, τη γή.

Συγκεκριμένα για το τσιμέντο, ο κύκλος ζωής του ξεκινάει από την εξόρυξη των πρώτων υλών, στη συμμετοχή του στις κατασκευές μέσω του σκυροδέματος, μέχρι την απόρριψή του μετά την κατεδάφιση των κατασκευών. Το ιδανικό θα είναι βέβαια να συνεχιστεί και δεύτερος κύκλος ζωής κάποιου μέρους του, μέσω της ανακύκλωσης ή και της επανάχρησης αν δεν έχει φτάσει το όριο του χρόνου ζωής του σαν προϊόν (π.χ. προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος).

2.2.2 Μείωση της χρήσης πρώτων υλών στην παραγωγική διαδικασία

Διεύρυνση της εκμετάλλευσης μικρότερων πηγών πρώτων υλών: Αυτό είναι κυρίως θέμα τεχνολογίας. Δηλαδή με την ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογικών μεθόδων, ολοένα θα μειώνονται οι ανάγκες για συγκεκριμένες μόνο πρώτες ύλες που για την εκμετάλλευσή τους δεν χρειάζονται τεχνολογικές καινοτομίες όπως π.χ. η εξόρυξη μεταλλευμάτων. Όσον αφορά την πρόοδο στην βιομηχανία του τσιμέντου, όπως φαίνεται υπάρχει και για το εγγύς μέλλον θα υπάρχει ανάγκη εξόρυξης πρώτων υλών. Στον τομέα που μπορεί να προσφέρει η τεχνολογία είναι, τόσο στην ανακύκλωση και επανάχρηση όλο και μεγαλύτερων ποσοτήτων σκυροδέματος, όσο και σε νέες τεχνολογίες εξόρυξης.

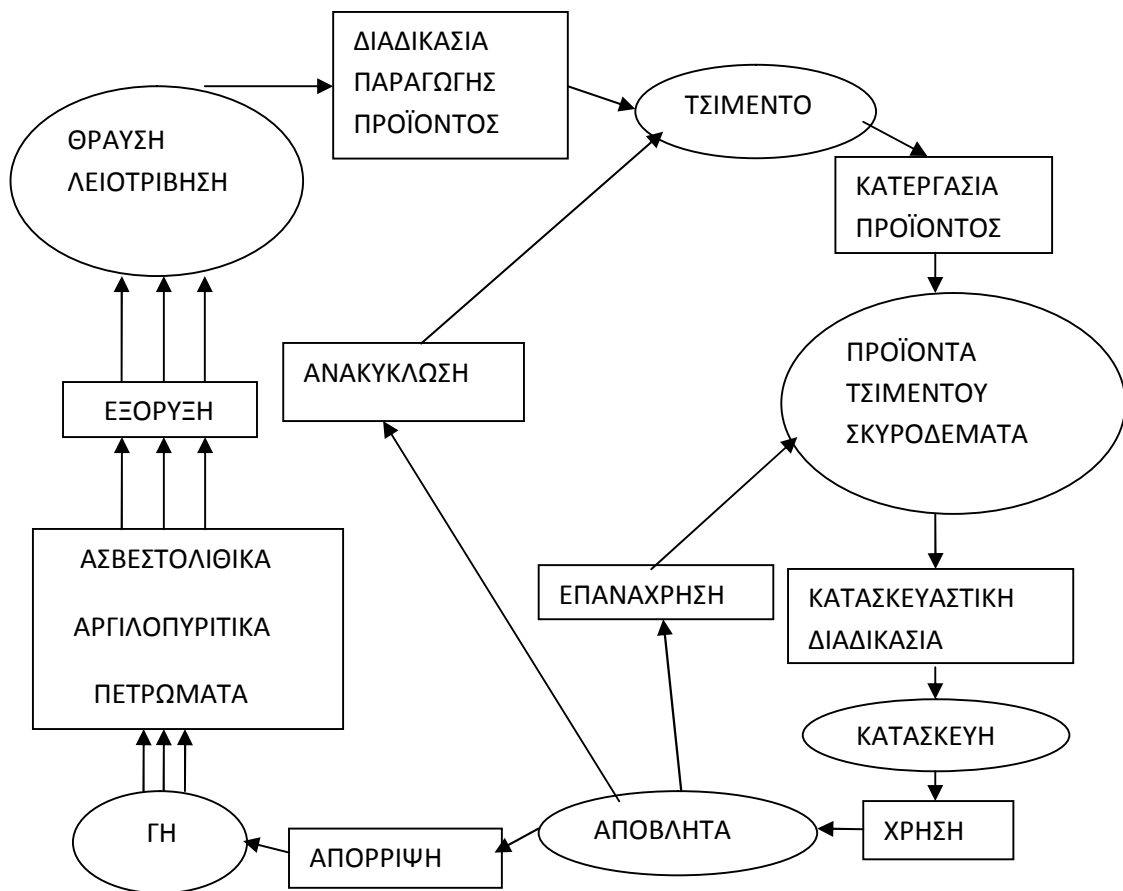
Για να δείξουμε σχηματικά τον κύκλο ζωής των υλικών, ξεκινώντας από την πρόσληψη των πρώτων υλών από τη Γή, συνεχίζοντας στην επεξεργασία των πρώτων υλών για την παραγωγή των κατασκευαστικών προϊόντων, την χρήση τους στις κατασκευές, και τελικά την απόρριψή τους και αν υπάρχει δυνατότητα την ανακύκλωσή τους ή και την επανάχρησή τους παραθέτουμε το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.1: Ο Κύκλος ζωής των υλικών

(The Ecology of Building Materials, Bjorn Berge, 2001, σελ:6)

Αναλόγως με το Σχήμα 2.1 και τον κύκλο ζωής των υλικών, παρατίθεται το Σχήμα 2.2 με τον κύκλο ζωής του τσιμέντου. Ξεκινώντας από την εξόρυξη των πρώτων υλών, συνεχίζοντας στην παραγωγή του τσιμέντου και των προϊόντων του, την συμμετοχή τους στην κατασκευαστική διαδικασία, την απόρριψη των προϊόντων του τσιμέντου που δεν χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή και καταλήγοντας στην ανακύκλωση και την επανάχρησή του.



Σχήμα 2.2: Ο Κύκλος ζωής του τσιμέντου

1. Μεγαλύτερη προσοχή των αχρησιμοποίητων αποθεμάτων και αποβλήτων: Συνεπώς πρώτες ύλες του τσιμέντου που σε παρελθόντα χρόνο έχουν εκτιμηθεί ως ‘αντιοικονομικές’ είτε λόγω μεγάλου κόστους εξόρυξης είτε άλλου σταδίου της παραγωγικής διαδικασίας, ή δεν έχουν ποτέ χρησιμοποιηθεί, τώρα θα πρέπει να επανεκτιμηθούν. Σ’αυτήν την κατεύθυνση μπορεί να βοηθήσει η τεχνολογία με νέες μεθόδους παραγωγής οικονομικότερες τόσο σε ενέργεια, όσο και σε πρώτες ύλες.

Επανάχρηση και ανακύκλωση υλικού από κατεδαφίσεις κατασκευών που περιέχουν προϊόντα του τσιμέντου (κυρίως σκυρόδεμα).

Προτίμηση στην εκμετάλλευση πρώτων υλών με μεγαλύτερα αποθέματα:

Με την πρόοδο της τεχνολογίας είναι πιθανό να βρεθούν φόρμουλες παρασκευής τσιμέντου με καλύτερες μηχανικές ιδιότητες και με διαφορετική από την συνήθη μέχρι σήμερα σύσταση. Μια σύσταση που να περιέχει πρώτες ύλες που να βρίσκονται σε μεγαλύτερη αφθονία στη φύση από τα ασβεστολιθικά και αργιλοπυριτικά πετρώματα.

Η εξόρυξη των πρώτων υλών του τσιμέντου όμως, έχει παρενέργειες στο άμεσο περιβάλλον της περιοχής όπως π.χ. χαμηλώνει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και προκαλεί ζημίες στα τοπικά οικοσυστήματα.

2. Αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πρώτων υλών:

Πολλά οικοδομικά υλικά που είναι κατασκευασμένα από ορυκτές πρώτες ύλες, μπορούν να αντικατασταθούν από οργανικά υποκατάστατα, π.χ. το ξύλο μπορεί να αντικαταστήσει τον χάλυβα. Αυτό έχει συνήθως μία συνολικά θετική περιβαλλοντική επίπτωση. Για το τσιμέντο και τα προϊόντα του, η αντικατάστασή τους είναι περισσότερο ανελαστική.

3. Αύξηση της ανακύκλωσης των απορριμμάτων κατά την παραγωγή:

Σε πολλές περιπτώσεις κατά την παραγωγή οικοδομικών προϊόντων, όπως οι ασβεστόπλακες, η ανακύκλωση των απορριμμάτων είναι σημαντική στην οικονομία των πρώτων υλών. Η επανάχρηση του νερού στην παραγωγική διαδικασία ορισμένων βιομηχανιών είναι επίσης πολύ επωφελής, όπως π.χ. στην παραγωγή προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος. Γενικότερα κατά την παραγωγή προϊόντων τσιμέντου υπάρχει δυνατότητα επανάχρησης τόσο νερού, όσο και παραπροϊόντων της παραγωγικής διαδικασίας, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και ως καύσιμη ύλη.



Εικόνα 2.1: Πλύση οχημάτων με νερό που συλλέχτηκε μετά την παραγωγική διαδικασία του τσιμέντου.

(<http://www.titan.gr>] available, 20 Φεβρουαρίου 2011)

2.2.3 Μείωση της χρήσης πρώτων υλών στην κατασκευαστική διαδικασία και κατά την χρήση στις κατασκευές

Κατά αυτές τις δύο φάσεις υπάρχουν οι ακόλουθες δυνατότητες για να μειωθεί η χρήση των πρώτων υλών:

1. Να κατασκευάζουμε με μία οικονομική χρήση υλικών.
2. Να ελαχιστοποιούμε τις απώλειες και τη φύρα του τσιμέντου στο εργοτάξιο, όπου έχουμε μονάδες παραγωγής σκυροδέματος in situ.
3. Να χρησιμοποιούμε τόσο το τσιμέντο όσο και τα προϊόντα του με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζουμε την βέλτιστη χρήση τους. Όταν μιλάμε για το τσιμέντο να εξασφαλίζουμε την εργασιμότητά του σε συνδυασμό με τη διατήρηση των μηχανικών ιδιοτήτων του, ενώ για τα προϊόντα του την διατήρηση στην καλύτερη κατάσταση μέχρι τη τελική χρήση τους.
4. Να μεγιστοποιούμε την επανάχρηση και ανακύκλωση των υλικών που προέρχονται από κατεδάφιση. Ειδικότερα για τα μέρη των κατασκευών που αποτελούνται από στοιχεία κατασκευασμένα από σκυρόδεμα, μπορούν να εξοικονομηθούν αρκετά μεγάλες ποσότητες υλικού, ώστε να χρησιμοποιηθεί εκ νέου για την παραγωγή τσιμέντου.

Αναλυτικότερα:

➤ Οικονομική κατασκευή:

Κάθε οικοδομικό σύστημα έχει συγκεκριμένη χρήση των υλικών, ενώ η διαφορά μεταξύ των συστημάτων μπορεί να είναι σημαντική. Επίσης υπάρχει η τάση να οικοδομούμε μεγάλες κατασκευές. Είναι φανερό ότι όσο μικρότερη είναι η κατασκευή τόσο λιγότερες πρώτες ύλες χρειάζονται. Το ίδιο ισχύει και από ενεργειακής άποψης. Ο συντελεστής αποδοτικότητας ενός μικρότερου κτηρίου με τη χρήση καυστήρων, ηλιακών πινάκων, και μεγάλου πάχους μονωμένους τοίχους είναι εμφανώς μεγαλύτερος από ενός κτηρίου όχι τόσο βελτιστοποιημένου όσο αυτού που αναφέρουμε. Τα προϊόντα του τσιμέντου με τα διάφορα βελτιωτικά τους πρόσθετα συντείνουν σημαντικά για μια οικονομικότερη από άποψη πρώτων υλών, αποδοτικότερη από άποψη π.χ. αντοχής, μόνωσης κ.α., και λειτουργικότερη από άποψη σχεδιασμού κατασκευή.

➤ Μειωμένες απώλειες οικοδομικών υλικών:

Κάθε υλικό έχει έναν συντελεστή απωλειών που περιγράφει την ποσότητα ενός συγκεκριμένου υλικού που χάνεται, κατά την αποθήκευση, μεταφορά και τοποθέτηση του τελικού προϊόντος. Ο συντελεστής απωλειών μας δίνει μία τάξη μεγέθους των απωλειών και των πρώτων υλών. Για πολλά υλικά η αυξημένη προεργασία μειώνει τον συντελεστή απωλειών, ενώ μπορεί να

επιτευχθεί περαιτέρω αντοχή μέσω αυξημένης τυποποίησης των προϊόντων. Οι απώλειες των υλικών στο εργοτάξιο είναι κατά προσέγγιση 10% της συνολικής φύρας στις κατασκευές. Γνωρίζοντας αυτό, στη Σκανδιναβία τα τελευταία χρόνια οι απώλειες υλικών σε μεγάλα έργα μειώθηκε παραπάνω από 50%, κυρίως λόγω του αποτελεσματικότερου σχεδιασμού διαχείρισης των εργοταξίων. Σημαντικό ρόλο στις κατασκευές παίζει η συσκευασία των υλικών, τόσο για μεταφορικούς όσο και για αποθηκευτικούς λόγους. Σκόπιμο είναι λοιπόν, η συσκευασία των υλικών να είναι ανακυκλώσιμες και μάλιστα εύκολα. Απώλειες υλικών έχουμε και λόγω φθορών και αποκολλήσεων. Για το τσιμέντο ειδικότερα, όταν έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή σκυροδέματος και μεταφέρεται σε ύφυγρη κατάσταση, έχουμε απώλειες από το υλικό που παραμένει στα τοιχώματα του κάδου μεταφοράς. Όταν μεταφέρεται με τη μορφή κονίας, τότε έχουμε θέματα αποθήκευσης, στοιβασίας και ανακύκλωσης της συσκευασίας του. Με την μορφή προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος, οι απώλειες κατά την μεταφορά είναι υπό κανονικές συνθήκες μηδενικές, ενώ με τις σωστές τεχνικές σε ανάγκη αντικατάστασης, μπορεί να γίνει αποσυναρμολόγηση και επανάχρησή τους. Εκτός λοιπόν από τον κίνδυνο της ρύπανσης, υπάρχει και η απώλεια των υλικών που θα μπορούσαν να έχουν ανακυκλωθεί. Συνεπώς υλικά που παράγονται από σπάνια, μη-ανανεώσιμες πρώτες ύλες, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε εκτεθειμένα τμήματα των κατασκευών.

➤ Υψηλή ανθεκτικότητα:

Παράγοντας πιο ανθεκτικά προϊόντα, η χρήση πρώτων υλών μειώνεται εξασφαλίζοντας ότι υλικά με την ίδια ανθεκτικότητα, χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευαστική διαδικασία. Έτσι δεν 'θυσιάζουμε' υλικά καλύτερης ποιότητας σε ένα κτήριο, όταν εμφανίζεται φθορά κάπου ενώ η υπόλοιπη κατασκευή δεν παρουσιάζει καμία αστοχία. Εάν παρόλα αυτά υπάρχουν τμήματα της κατασκευής που αποτελούνται από υλικά χαμηλότερης ποιότητας, είναι σημαντικό να αντικαθιστώνται εύκολα, ενώ τα ανθεκτικότερα μπορούν να αποσυναρμολογούνται και να επαναχρησιμοποιούνται ή να ανακυκλώνονται σε περίπτωση κατεδάφισης. Πάντως όσον αφορά τις πρώτες ύλες είναι πιο συμφέρον να χρησιμοποιούμε ανθεκτικότερα υλικά έτσι ώστε οι κατασκευές να έχουν διάρκεια ζωής όσο μεγαλύτερη γίνεται. Για να το πούμε απλά, τα προϊόντα που έχουν χρόνο ζωής 60 έτη προκαλούν την μισή ζημία στο περιβάλλον από αυτήν που προκαλούν τα προϊόντα με χρόνο ζωής 30 έτη. Ακριβώς για αυτόν τον λόγο πέραν της στατικής συμπεριφοράς του είναι τόσο διαδεδομένο το οπλισμένο σκυρόδεμα στις κατασκευές. Έχει μεγάλη αντοχή και ανθεκτικότητα ενώ έχει και αρκετά μεγάλη δυνατότητα ανακύκλωσης και επανάχρησης. Η διάρκεια ζωής ενός υλικού εξαρτάται κυρίως από τέσσερις παράγοντες:

- α. Το ίδιο το υλικό, η φυσική του σύσταση χημική του σύνθεση.
- β. Η παρασκευή και η εκτέλεσή της, που και πώς το υλικό τοποθετείται μέσα στην κατασκευή.
- γ. Το τοπικό περιβάλλον, οι κλιματικές και άλλες χημικές ή φυσικές συνθήκες.
- δ. Η συντήρηση και η διαχείριση του υλικού.

Ο καλύτερος τρόπος να βρούμε την αναμενόμενη διάρκεια ζωής ενός υλικού είναι, μέσω εμπειρίας πινακοποιημένων αποτελεσμάτων από πραγματικές καταστάσεις. Η πραγματική κατάσταση πρέπει να έχει συγκριτικά όμοιες κλιματικές συνθήκες. Είναι δύσκολο να προβλέψουμε τη διάρκεια ζωής των περισσότερων νέων υλικών όπως π.χ. των πλαστικών. Καταφεύγουμε λοιπόν σε εργαστηριακά πειράματα τεχνητά επιταχυνόμενης γήρανσης, τα οποία δίνουν μία απλουστευμένη εικόνα της διαδικασίας γήρανσης σε αντίθεση με την αρκετά πολυπλοκότερη πραγματική διαδικασία. Τα αποτελέσματα από τέτοια πειράματα μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν ως πρόγνωση. Είναι σημαντικό να εκτιμήσουμε τον ρόλο του κάθε υλικού στην κατασκευή για μία τέτοια πρόγνωση. Για τις κατασκευές από σκυρόδεμα έχουμε πλέον ένα επαρκές δείγμα, ώστε να μπορούμε να εκτιμήσουμε ικανοποιητικά τη διάρκεια ζωής τους. Έτσι, θεωρούνται τα 50 χρόνια μια αληθοφανής προσέγγιση του χρόνου ζωής μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Πρέπει επίσης να θυμόμαστε ότι η ανθεκτικότητα δεν είναι μόνο μία μετρήσιμη τεχνική ιδιότητα. Η ανθεκτικότητα έχει να κάνει με την αισθητική και την σχεδιαστική πρωτοτυπία της κατασκευής. Ειδικά για τα τεχνικά υλικά είναι ίσως σημαντικότερη η βέλτιστη παρά η μέγιστη ανθεκτικότητα. Οι αλλαγές σε καινούρια προϊόντα μπορούν να έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στο ενεργειακό ισοζύγιο της κατασκευής.

- **Επιπτώσεις των κλιματικών συνθηκών στην ανθεκτικότητα των υλικών:**

Ακόμα κι αν δεν γνωρίζουμε όλους τους παράγοντες που επιδρούν στην ανθεκτικότητα, είναι σίγουρο ότι οι κλιματικές συνθήκες ρυθμίζουν την διάρκεια ζωής ενός υλικού:

- ❖ **Ηλιακή ακτινοβολία.** Η υπεριώδης ακτινοβολία του ηλίου επιδεινώνει την κατάσταση των οργανικών υλικών, ενεργοποιώντας χημικές αντιδράσεις μέσα στο υλικό δημιουργώντας οξειδωση. Αυτή η επίπτωση είναι εντονότερη στις ορεινές περιοχές, όπου η ένταση της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι ισχυρότερη, ενώ αυξάνεται όσο πηγαίνουμε νότια. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν θεωρείται σημαντικός παράγοντας επιρροής του χρόνου ζωής, στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- ❖ **Θερμοκρασία.** Ένας παλιός κανόνας αναφέρει ότι η ταχύτητα μίας χημικής αντίδρασης διπλασιάζεται για κάθε 10 °C αύξηση της

θερμοκρασίας. Συνεπώς υψηλότερες θερμοκρασίες θα αυξάνουν την επιδείνωση της κατάστασης των οργανικών υλικών. Η θερμότητα σε συνδυασμό με την ηλιακή ακτινοβολία, το οξυγόνο και την υγρασία διεγείρει τις διεργασίες που οδηγούν στη φθορά των οργανικών υλικών. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, υλικά όπως το πλαστικό και το ελαστικό κόμμι παγώνουν και θρυμματίζονται. Ο κύκλος του παγώματος και της τήξης, είναι αποφασιστικός παράγοντας για κάποιο υλικό όπως ο οπτόπλινθος. Το συγκεκριμένο υλικό ενώ είναι ιδανικό για κατασκευές της νότιας Ευρώπης, π.χ. Ρώμη, αντενδείκνυται για περιοχές όπως τη βόρεια Ευρώπη, π.χ. Ελσίνκι. Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στα παράλια του Βορρά είναι επίσης αρκετά επιβλαβείς. Μεγάλες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας καταπονούν τα υλικά, και προκαλούν την αστοχία τους. Για το σκυρόδεμα η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας για την τελική αντοχή του. Κατά τη διάρκεια των 28 ημερών που χρειάζεται για αποκτήσει το μεγαλύτερο ποσοστό των συνολικών του αντοχών, η θερμοκρασία δεν πρέπει ούτε να είναι πολύ μεγάλη, ($>25^{\circ}\text{C}$) διότι αυτό θα προκαλέσει χωρίς τακτική ενυδάτωση από μέρους του κατασκευαστή, ρηγματώσεις που πολλές φορές είναι κρίσιμες για την αντοχή της κατασκευής, ούτε πολύ μικρή ($<0^{\circ}\text{C}$) διότι αυτό προκαλεί πάγωμα των μορίων του νερού

- ❖ Ατμοσφαιρική πίεση. Το σκυρόδεμα υποφέρει από συστολές και διαστολές όντας ένα «ζωντανό» δομικό υλικό, όμως οι διαφορές της ατμοσφαιρικής πίεσης δεν το επηρεάζουν τόσο ώστε να γίνεται επικίνδυνο. Επηρεάζει τον όγκο και τις τάσεις που δημιουργούνται μέσα στα υλικά, που έχουν κλειστούς πόρους στη δομή τους, π.χ. ο υαλοβάμβακας ή άλλα υλικά με βάση το πλαστικό που χρησιμοποιούνται για μόνωση. Εμφανίζονται συστολές και διαστολές όπως κατά τις θερμοκρασιακές μεταβολές.
- ❖ Υγρασία. Η υγρασία για το τσιμέντο και τα προϊόντα του είναι απαραίτητη, ειδικά κατά τις πρώτες εβδομάδες σκλήρυνσης του σκυροδέματος. Όταν όμως η υγρασία είναι αυξημένη, καθυστερεί η πήξη του σκυροδέματος, και γενικότερα η ανάληψη αντοχών, με αποτέλεσμα χειρότερες μηχανικές ιδιότητες από αυτές που είχαν αρχικά προδιαγραφεί. Γενικότερα οι αλλαγές της υγρασίας επιδρούν επιζήμια στα υλικά προκαλώντας αλλαγές στον όγκο, καθώς και ένταση στο εσωτερικό τους. Όσο αυξάνεται η υγρασία τόσο επιδεινώνεται η κατάσταση του υλικού. Καλό είναι για προϊόντα που έχουν κάποιου είδους επένδυση, όπως και για προϊόντα από τη συνένωση παραπροϊόντων ξυλείας (λόγω των προσθέτων που χρησιμοποιούνται με βάση την ουρία), να βρίσκονται σε περιβάλλον χαμηλής σχετικής υγρασίας, ώστε να μην αυξάνεται σε επικίνδυνο βαθμό η εκπομπή φορμαλδεΐδης.

- ❖ Άνεμος και βροχόπτωση. Οι χειρότερες προϋποθέσεις δημιουργούνται όταν συμβαίνουν ταυτόχρονα. Σ'αυτή την περίπτωση η υγρασία εισβάλλει στο εσωτερικό του υλικού και αρχίζει να το φθείρει. Οι δυνατοί άνεμοι μπορούν να προκαλέσουν σπάσιμο κάποιου υλικού, και να οδηγήσει στην κατάρρευση του στοιχείου της κατασκευής του οποίου αποτελεί συνθετικό. Σε συνδυασμό με άμμο ο άνεμος μπορεί να προκαλέσει καταστροφικά αποτελέσματα σε διάφορα υλικά, όπως και το χιόνι με το βάρος του όταν επικάθεται σε στέγες και άλλα στοιχεία της κατασκευής. Συγκεκριμένα για το σκυρόδεμα ως κύριο συνθετικό κατασκευών, ακόμα και όταν είναι εμφανές, έχει παρουσιάσει μεγάλη ανθεκτικότητα στη βροχόπτωση, ενώ είναι ουσιαστικά απρόσβλητο στον άνεμο.
- ❖ Χημικά. Σε παραθαλάσσιες περιοχές η αυξημένη περιεκτικότητα του αέρα σε αλάτι, διαβρώνει πλαστικά, μεταλλικά και διάφορα άλλα υλικά. Σε βιομηχανικές και νεοαναγειρόμενες περιοχές και κατά μήκος οδών, επικίνδυνα αέρια όπως το διοξείδιο του θείου, μπορούν να προκαλέσουν την αποσύνθεση διαφόρων υλικών. Το σκυρόδεμα υποφέρει από την 'ασθένεια του σκυροδέματος', επειδή το ασβέστιο που περιέχεται αποσυντίθεται σε τέτοιο περιβάλλον. Αυτό συμβαίνει ακόμα και σε μερικά είδη φυσικής πέτρας.

➤ Ανακύκλωση:

Κάθε υλικό αποτελεί για το κατασκευαστικό περιβάλλον, τόσο μία πηγή αποθέματος πρώτης ύλης, όσο και μία πηγή μόλυνσης, ειδικά κατά την παραγωγή του. Ανακυκλώνοντας τα προϊόντα- που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές ειδικότερα- αντί να τα παράξουμε από νέες πρώτες ύλες, αποφεύγεται αρκετή περιβαλλοντική ζημία. Πολλά από τα οικοδομικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές, έχουν τόσο μικρή ανθεκτικότητα όσο και μικρή δυνατότητα ανακύκλωσης. Υπάρχουν επίσης υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν περισσότερες της μίας φορές, αλλά σπάνια εκμεταλλευόμαστε αυτή τους την δυνατότητα. Το σκυρόδεμα έχει σοβαρή πιθανότητα ανακύκλωσης, ενώ σύμφωνα με νέες μεθόδους κατασκευών, υπάρχει πια η δυνατότητα της αποσυναρμολόγησης και ανακύκλωσης ολόκληρων στοιχείων κατασκευής πολύ πιο εύκολα και οικονομικά. Το επίπεδο των ανακυκλούμενων προϊόντων στη Σουηδία το 1992 ήταν 5%, ενώ στη Γερμανία το 1990 ήταν 29%. Και οι δύο χώρες έφτασαν το 60% το 2000. Στην Ελλάδα τα ποσοστά αυτά την τελευταία δεκαετία του προηγούμενου αιώνα ήταν πρακτικά μηδενικά. Σήμερα το ποσοστό αυτό στην Ελλάδα, κυρίως λόγω των κουφωμάτων αλουμινίου που εύκολα ανακυκλώνονται, έχει αγγίξει το 10%. Πολλά υλικά μπορούμε να ανακυκλωθούν από τις κατεδαφίσεις παλαιών κτηρίων. Σε χώρες όπως την Ολλανδία όπου γίνονται κατεδαφίσεις με συγκεκριμένες προδιαγραφές, έχει επιτευχθεί ποσοστό ανακύκλωσης σε παλαιά κτήρια, έως και 90%! Πάντως στα καινούρια κτήρια το ποσοστό αυτό

δεν αναμένεται να ξεπεράσει το 70%. Στον Ελλαδικό χώρο σημαντικό μέρος των αποβλήτων εκσκαφών και κατεδαφίσεων κατασκευών, οδηγείται στις αναπλάσεις ανενεργών λατομείων και στους χώρους διάθεσης απορριμμάτων (ΧΥΤΑ και ΧΑΔΑ). Μεγάλο μέρος οδηγείται ανεξέλεγκτα σε ρέματα και δασικές εκτάσεις, ενώ μόνο ένα ελάχιστο ποσοστό 0,5% περίπου ανακυκλώνεται.

Πάντως οφείλουμε να εντάξουμε την ανακύκλωση κυρίως των προϊόντων του τσιμέντου στην γενικότερη πρακτική και στρατηγική μας γύρω από τις κατασκευές, επειδή ειδικά στην Ελλάδα το σκυρόδεμα είναι μακράν το κυρίαρχο κατασκευαστικό υλικό.

➤ Επίπεδα ανακύκλωσης

Υπάρχει ένα ιεραρχικό μοντέλο των επιπέδων ανακύκλωσης. Ο σκοπός είναι να πετύχουμε τον μέγιστο δυνατό βαθμό ανακύκλωσης:

i. Επανάχρηση

Βασίζεται στη διάρκεια ζωής του συνθετικού της κατασκευής και αναφέρεται στη χρήση ολόκληρου του συνθετικού, π.χ. ένα τυποποιημένο στοιχείο από σκυρόδεμα ή ένα παράθυρο με το κάσωμά του, εκ νέου και με τον ίδιο τρόπο χρήσης. Για να είναι δυνατή και αποδοτική η λύση της επανάχρησης των συνθετικών μίας κατασκευής, θα πρέπει αυτά να είναι απλά στην κατασκευή τους ή ακόμα καλύτερα με τυποποιημένες προδιαγραφές. Τέτοια προϊόντα είναι πολύ λίγα στην αγορά, με την πρόοδο της τεχνολογίας όμως, το σκυρόδεμα απέκτησε ενδιαφέρον και υπό αυτήν την έννοια. Αν προσθέσουμε στην εξίσωση και ευρύτητα των κατασκευών από σκυρόδεμα, είναι φανερό ότι τυποποιώντας στοιχεία από σκυρόδεμα, (διαστάσεις, υλικό, περιεκτικότητες, προδιαγραφές), μπορούμε να τα επαναχρησιμοποιούμε σε παρόμοιες κατασκευές από αυτές που τα αφαιρούμε. Ένας ακόμα λόγος που η επανάχρηση του σκυροδέματος θα είναι πολύ αποδοτική είναι και η μεγάλη διάρκεια ζωής του. Έτσι ενώ μία κατασκευή μπορεί να είναι καταρρέουσα λόγω των υπόλοιπων συνθετικών, τα στοιχεία σκυροδέματος μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν αλλού. Η επανάχρηση των υλικών ήταν πάντα μέρος της οικοδομικής πρακτικής. Σε πολλές παράκτιες περιοχές παλαιά κτίσματα ήταν κατασκευασμένα από ξυλεία που ξεβραζόταν από τη θάλασσα, ή ακόμα και από ναυάγια. Κατασκευές από κορμούς π.χ. είναι είδος δόμησης με πολύ μεγάλες δυνατότητες επανάχρησης. Η βασική αρχή της τοποθέτησης κορμών του ενός πάνω από τον άλλο, κάνει το εγχείρημα της αποσυναρμολόγησης και επανάχρησης ολόκληρου του υλικού ή μέρους του, εύκολη υπόθεση. Αυτή η οικοδομική μέθοδος απαιτεί μεγάλη ποσότητα υλικού, αλλά το γεγονός ότι το υλικό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί εξισορροπεί το μειονέκτημα αυτό.

ii. Ανακύκλωση

Η ανακύκλωση εξαρτάται βασικά από την καθαρότητα του υλικού. Συνθετικά κατασκευών που αποτελούνται από διάφορα υλικά δεν είναι κατάλληλη πρώτη ύλη για ανακύκλωση. Η ανακύκλωση γίνεται είτε με τήξη είτε με αποσύνθεση των συνθετικών της κατασκευής, τα οποία στη συνέχεια μπαίνουν σε μία νέα διαδικασία επεξεργασίας. Αυτή η πρακτική είναι πολύ αποτελεσματικά για τα μεταλλικά μέρη των κατασκευών. Υπάρχουν και υλικά που με διαφορετικούς τρόπους μετατρέπονται σε προϊόντα μικρότερης κατασκευαστικής αξίας, π.χ. μετατροπή στοιχείων υψηλής ποιότητας από PVC σε γλάστρες ή θρυμματισμό πλακών ελαφροσκυροδέματος σε απλά αδρανή. Ακόμα κι αν ένα προϊόν έχει τη δυνατότητα να ανακυκλωθεί, στην πράξη συχνά παρουσιάζονται επιπλοκές. Οι πολύ λεπτές ίνες αλουμινίου αναφλέγονται ολοκληρωτικά ή εξατμίζονται όταν τήκονται, ενώ μικρές περιεκτικότητες άλλων ενώσεων στο εσωτερικό του υλικού, στη χειρότερη περίπτωση οδηγούν σε περεταίρω διεργασίες διύλισης οπότε και σε υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

Ένα από τα πιο σημαντικά στην ανακύκλωση υλικών είναι η αναλογία κατανάλωσης ενέργειας και ποσότητας τελικού ανακυκλωμένου υλικού.

Έτσι επειδή το σκυρόδεμα ως κυριότερο προϊόν του τσιμέντου είναι μίγμα τσιμέντου αδρανών και νερού, με την σημερινή τεχνολογία δεν είναι ωφέλιμο ενεργειακά να γίνεται πλήρης ανακύκλωση του σκυροδέματος.

Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί η ανακύκλωση στην παραγωγική διαδικασία του τσιμέντου. Έτσι όπου γίνεται, οι πρώτες ύλες και τα ενδιάμεσα προϊόντα που τυχόν διαρρέουν κατά τη διαδικασία παραγωγής ανακτώνται με ειδικό εξοπλισμό και μετά από κατάλληλη επεξεργασία για την απομάκρυνση ξένων υλών, επανεισάγονται στη γραμμή παραγωγής για επαναχρησιμοποίηση. Στις ΗΠΑ οι επιστροφές σκυροδέματος χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τσιμεντόλιθων, αλέθονται για λιθοστρώσεις ή για αντικατάσταση άλλων δομικών υλικών.

Στις περιπτώσεις που τα υλικά δεν μπορούν να ανακυκλωθούν εσωτερικά, η ανακύκλωσή τους γίνεται μέσω συστημάτων συλλογικής διαχείρισης ή εξουσιοδοτημένων εργολάβων. Τα υλικά που συλλέγονται με αυτό τον τρόπο περιλαμβάνουν σκραπ μετάλλων (π.χ. σιδήρου και χάλυβα), μπαταρίες και ελαστικά οχημάτων, χρησιμοποιημένα λιπαντικά, ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, χαρτί, χαρτόνι, οικιακές μπαταρίες και τόνερ από εκτυπωτές και φωτοτυπικά μηχανήματα.

Δηλαδή η ανακύκλωση διευρύνεται από το άμεσο προϊόν, το τσιμέντο, και περιλαμβάνει και τις πηγές ενέργειας για την επιτέλεση της παραγωγικής διαδικασίας. Μάλιστα η ανακύκλωση απορριμμάτων άλλων ειδών βιομηχανίας, και η χρησιμοποίησή τους για την παραγωγή ενέργειας στην βιομηχανία του τσιμέντου είναι πιο αποδοτική, σύμφωνα με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα, και πιο διαδεδομένη.

Ακολουθούν πίνακες που δείχνουν ενδεικτικά για την τσιμεντοβιομηχανία TITAN: την σύνθεση των ανακυκλωμένων απορριμμάτων, τα υλικά που

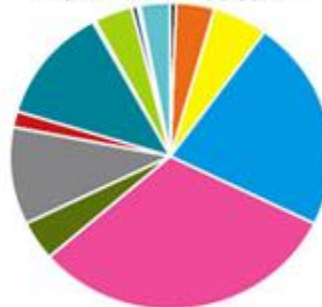
χρησιμοποιήθηκαν και απορρίφθηκαν ως βιομηχανικά απορρίμματα, η κατανάλωση συνήθων και εναλλακτικών πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή κλίνκερ και τσιμέντου.

Ανακύκλωση απορριμμάτων



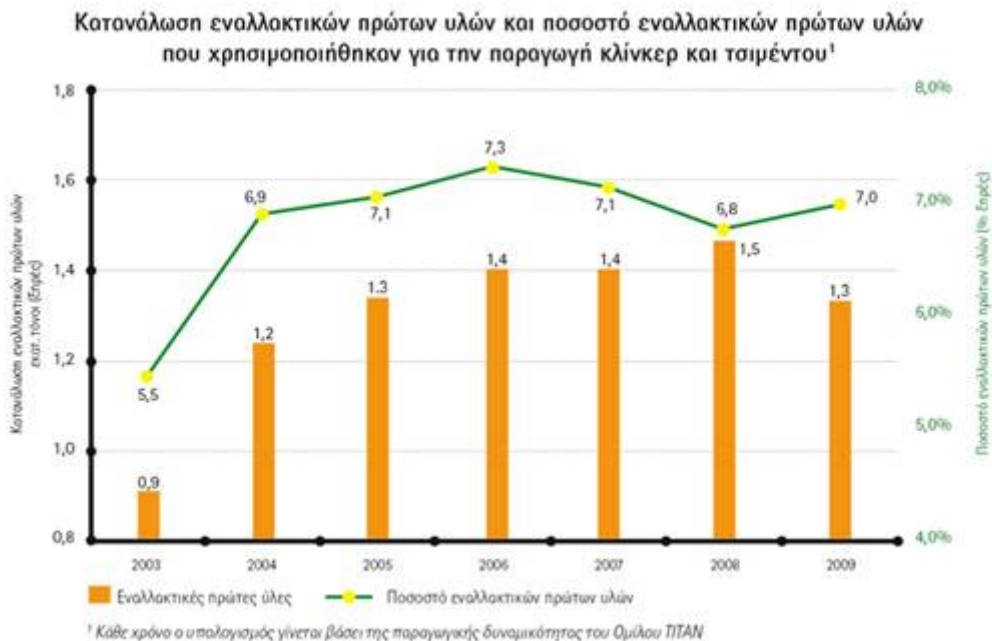
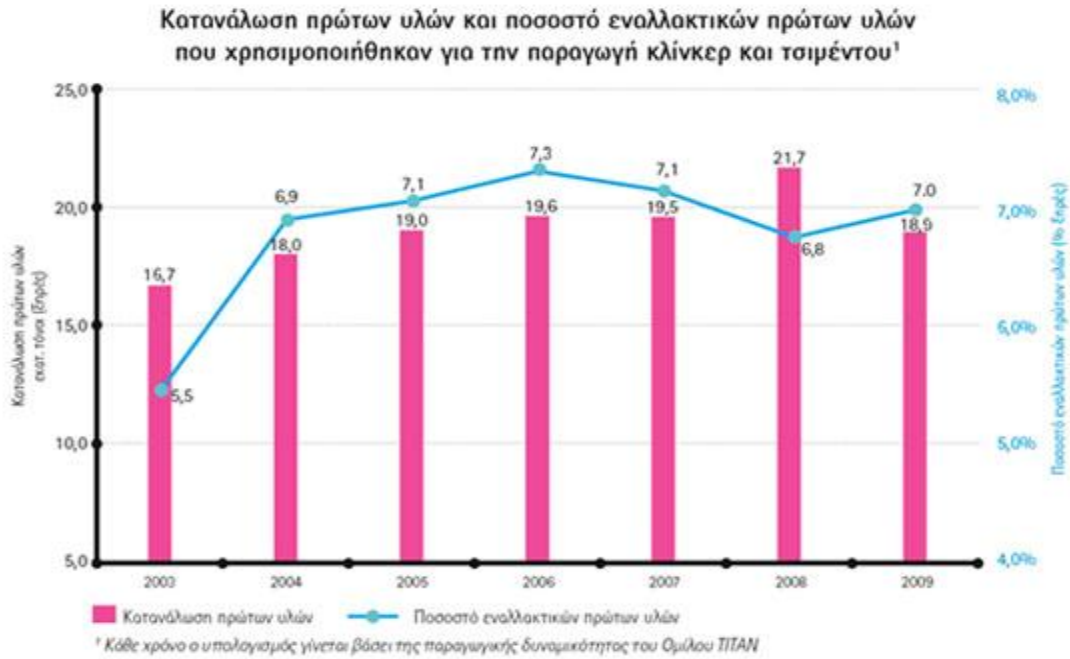
- Επιστροφές σκυροδέματος 47,7%
- Υλικά κατασκευών και κατεδοφίσεων 40,4%
- Άλλα 7,7%
- Σίδηρος και χάλυβας 2%
- Άλλα απορρίμματα (εκτός από σίδηρο, χάλυβα, αλουμίνιο κ.λ.) 1,2%
- Πυρίμαχα 0,8%
- Χρησιμοποιημένο λιπαντικό 0,3%
- Παλαιά ελαστικά 0,1%

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν – Βιομηχανικά απορρίμματα¹



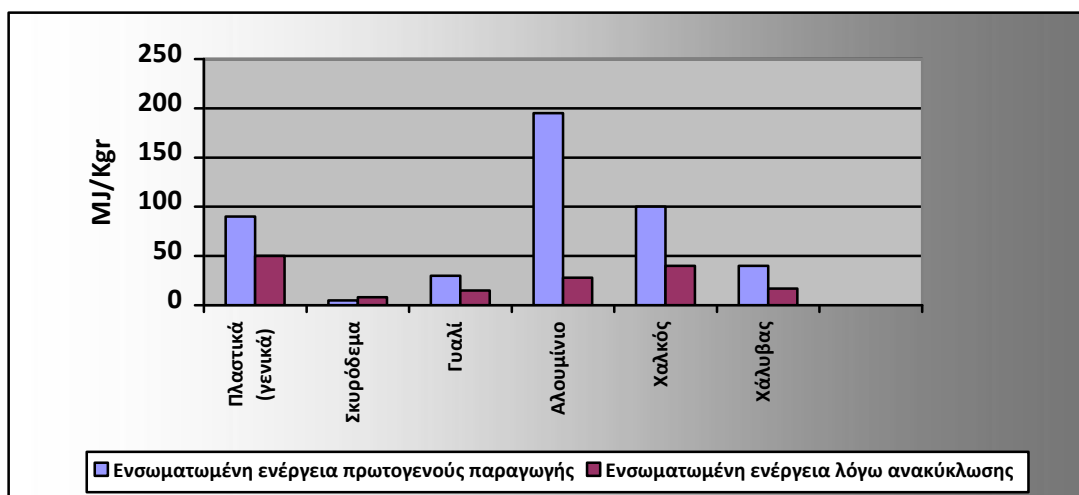
- Ιπτάμενη τέφρα (Ξηρό) 31,2%
- Ιπτάμενη τέφρα (υγρή) 22,4%
- Απολείψματα σιδήρου 5,4%
- Πυριτική τέφρα 3,9%
- FeSO₄ · 7H₂O 0,7%
- Υλικά κατεδοφίσεων και απορρίψεις 2,9%
- Σκόνη «by-pass» κλιβάνου 0,2%
- Σκόνη φίλτρων κλιβάνου 0,7%
- Βιομηχανική γύψος 3,8%
- Σκωρία 12,3%
- Σκωρία μολύβδου 1,7%
- Σκωρία υψικαρίνου 10,3%
- Τέφρα πυθμένα 4,2%
- Φαγιολίτης 0,2%

¹ Κάθε χρόνο ο υπολογισμός γίνεται βάσει της παραγωγικής δυναμικότητας του Ομίλου ΠΠΑΝ



Σχήμα 2.3: Διαγράμματα της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN για το έτος 2009, για την ανακύκλωση και το είδος των βιομηχανικών απορριμμάτων, και την κατανάλωση πρώτων υλών, εναλλακτικών και μη, για την παραγωγή κλίνκερ και τσιμεντού

(<http://www.titan.gr>) available, 20 Φεβρουαρίου 2011)



Πίνακας 2.13: Ενσωματωμένη ενέργεια για την ανακύκλωση συνήθων υλικών
(Κορωναίος, Σαργένης, 2005, σελ.: 30)

iii. Εξοικονόμηση ενέργειας

Με αυτόν τον όρο εννοούμε την διαδικασία μέσω της οποίας γίνεται καύση του προϊόντος με αποτέλεσμα την παραγωγή ενέργειας. Είναι ευεργετικό για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας, εάν το υλικό μπορεί να καεί σε μια τοπική μονάδα καύσης, ενώ εάν τα αέρια της καύσης δεν χρειάζονται ειδική κατεργασία, αρκούν απλοί κλίβανοι. Αυτός είναι ο κύριος τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας στη βιομηχανία παραγωγής του τσιμέντου, στον οποίο αναφερθήκαμε και πριν, στην ανακύκλωση μέσω της καύσης απορριμμάτων. Το γεγονός δε, ότι στη παραγωγική διαδικασία του τσιμέντου η κυρίαρχη ενεργειακή ανάγκη είναι η θερμική, καθιστά την καύση, της οποίας κατεξοχήν ενεργειακό προϊόν είναι η θερμότητα, ιδανική μέθοδο εξοικονόμησης ενέργειας και υλικού.

➤ Συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση

Μπορούμε να σχεδιάσουμε την άμεση επαναχρησιμοποίηση των οικοδομικών υλικών έτσι ώστε, να μην έχουμε μεγάλες ποσότητες υλικών χαμένες με την απλή απόρριψή τους. Προς αυτή την κατεύθυνση έχουν καθοριστεί κάποιες θεμελιώδεις αρχές για την βελτιστοποίηση της επαναχρησιμοποίησης μοναδιαίων στοιχείων όπως π.χ. τυποποιημένα στοιχεία σκυροδέματος. Κατασκευές που ακολουθούν αυτές τις αρχές, κατά τη διαδικασία της κατεδάφισης, τα συνθετικά τους εύκολα διαχωρίζονται σε σωρούς με ίδια υλικά.

2.2.4 Αισθητική τοπίου-Αποκατάσταση Λατομείων

Οι δραστηριότητες για την παραγωγή τσιμέντου και αδρανών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση φυσικών πόρων. Η εξορυκτική δραστηριότητα μπορεί να έχει επίδραση στη βιοποικιλότητα της πανίδας και της χλωρίδας. Για τον περιορισμό αυτής της επίδρασης εκπονούνται και εφαρμόζονται μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων και σχέδια αποκατάστασης των λατομείων. Συγκεκριμένες περιπτώσεις περιοχών, που συνδέονται με προστατευόμενα είδη και οικοσυστήματα, αξιολογούνται περαιτέρω, όπως π.χ. η αρχική μελέτη οικολογίας στο λατομείο Zlatna Panega στη Βουλγαρία και η μελέτη βιοποικιλότητας στο λατομείο στις Άρτιμες (Πάτρα) για λογαριασμό της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN, που αποσκοπούν στην ανάπτυξη εξειδικευμένων σχεδίων διαχείρισης για τη προστασία και την ανάδειξη της βιοποικιλότητας. Το 2009 η συνολική έκταση των ενεργών λατομείων ήταν 97,1 εκατ. μ², εκ των οποίων 17,7 εκατ. μ² τελούν υπό εξόρυξη, 13,2 εκατ. μ² έχουν αποκατασταθεί έως σήμερα (συνολικά), ενώ 66,2 εκατ. μ² είναι ακόμη ανέπαφα.

Όσον αφορά το λατομείο ασβεστόλιθου στις Άρτιμες που λειτουργεί από τα τέλη της δεκαετίας του 1960 τροφοδοτώντας το εργοστάσιο τσιμέντου του TITANA στο Δρέπανο Αχαΐας, αποτελεί μία πολύ καλή προσπάθεια ολοκληρωμένης αποκατάστασης λατομείου. Η συστηματική αποκατάσταση των λατομείων, αφορά μεταξύ άλλων την εφαρμογή πρακτικών, όπως η λειτουργία φυτωρίων στις εγκαταστάσεις τους και η ανάπτυξη νεαρών φυτών. Η πρόοδος που έχει συντελεσθεί στα 30 χρόνια που μεσολάβησαν στις μεθόδους αναδάσωσης και αποκατάστασης είναι ορατή στο λατομείο στις Άρτιμες, μολοντί δύο δασικές πυρκαγιές κατέστρεψαν εν μέρει την αποκατασταθείσα ζώνη του λατομείου. Το 2009 έγινε ένα ακόμη βήμα περαιτέρω βελτίωσης με την εκπόνηση ειδικής μελέτης σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Πατρών για την αξιολόγηση της βιοποικιλότητας εντός των ορίων του λατομείου και στη γύρω περιοχή. Δίνοντας έμφαση στην πρόοδο που έχει ήδη σημειωθεί για την ανάπτυξη της χλωρίδας στις αποκατασταθείσες περιοχές του λατομείου όπου το κοίτασμα έχει εξαντληθεί, η μελέτη περιλαμβάνει και προτάσεις για εναλλακτικές πρακτικές αποκατάστασης και για επιλογή ειδών, προκειμένου να βελτιωθεί το τελικό αποτέλεσμα και να διατηρηθεί η αξία της βιοποικιλότητας στην περιοχή.

Μία ακόμη περίπτωση αποκατάστασης είναι το λατομείο ασβεστόλιθου της Lafarge στη Χαλκίδα.

Το 2005 ξεκίνησε μια προσπάθεια δημιουργίας και αποκατάστασης των βαθμίδων στο ανατολικό τμήμα του λατομείου. Την επόμενη χρονιά, εξασφαλίστηκαν κονδύλια από την Lafarge και το Σεπτέμβριο του 2007 ξεκίνησε η αποκατάσταση στη βόρεια πλευρά του λατομείου όπου υπήρχαν σχεδόν κατακόρυφα πρανή, ύψους 80 μέτρων. Το έργο είναι ιδιαίτερα δύσκολο καθώς το πέτρωμα είναι διαταραγμένο και παρουσιάζει ασυνέχειες.

Μέχρι σήμερα, έχουν δημιουργηθεί τρεις βαθμίδες ύψους 10 μέτρων σε όλο σχεδόν το μήκος της βόρειας πλευράς. Οι δύο υψηλότερες έχουν στρωθεί με φυτική γη που αποκτήθηκε από τα έργα του νέου δρόμου Χαλκίδας – Σχηματαρίου. Οι φυτεύσεις θα ξεκινήσουν την προσεχή φυτευτική περίοδο. Το βέλτιστο θα ήταν το σύνολο των λατομείων, να εξεταστούν σύμφωνα με τα κριτήρια της WWF International και να αναπτυχθεί ένα πρόγραμμα βιοποικιλότητας σε όσα από αυτά υπάρχει η δυνατότητα. Τα λατομεία πρέπει να επιλέγονται, σχεδιάζονται και αποκαθίστανται βάσει κάποιων κοινώς αποδεκτών προτύπων. Κάποιες μέθοδοι αποκατάστασης προβλέπουν, τα λατομεία να μετατρέπονται σε οικολογικά πάρκα, αγροκτήματα ή δάση. Το πλάνο αποκατάστασης των λατομείων σε κάθε μονάδα θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις εξής παραμέτρους: περιβαλλοντικές ιδιομορφίες όπως βιοποικιλότητα, νερό, έδαφος, τοπογραφία, υπάρχουσα νομοθεσία όπως εφαρμόζεται σε κάθε χώρα, απόψεις των κοινωνικών εταίρων (ιδιοκτητών ακινήτου, γειτόνων, τοπικών αρχών και περιβαλλοντικών οργανώσεων). Είναι λοιπόν προφανές ότι δεν είναι απλή υπόθεση η αποκατάσταση ενός λατομείου και εξαρτάται από τοπικούς παράγοντες, οι οποίοι πρέπει να συνυπολογιστούν κατά την μελέτη και τον σχεδιασμό της αποκατάστασης. Πάντως η συνηθέστερη και πιο διαδεδομένη μέθοδος αποκατάστασης είναι, η δενδροφύτευση στο χώρο του λατομείου, η οποία όμως πρέπει να γίνεται με κάποιο πλάνο, τόσο για το είδος της χλωρίδας που επιλέγεται, όσο και στη χωροταξία των δέντρων.



Εικόνα 2.2: Αποκατάσταση λατομείου ασβεστόλιθου Lafarge στη Χαλκίδα.



Εικόνα 2.3: Λατομείο ασβεστόλιθου, Αλμυρός Μαγνησίας, TITAN



Εικόνα 2.4: Λατομείο Αργίλου, Σέσκλο, Lafarge



Εικόνα 2.5: Λατομείο Κίσσηρης, Γυαλί, Lafarge



Εικόνα 2.6: Λατομείο Ποζολάνης, Πυριτικό Μήλου, Lafarge

[<http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/2-Cement>], available 21 Φεβρουαρίου

2011

Κεφάλαιο 3: Συμπεράσματα, διαπιστώσεις και προτάσεις για την βελτίωση των επιβλαβών περιβαλλοντικών επιπτώσεων του τσιμέντου και των προϊόντων του

3.1. Σχετικά με το τσιμέντο

Το τσιμέντο όντας ένα από τα πιο διαδεδομένα και πιο εύχρηστα συνδετικά υλικά στις κατασκευές, ειδικά στην Ελλάδα, έχει μεγάλη σημασία να παράγεται με τρόπο όσο το δυνατόν οικολογικότερο και οικονομικότερο. Στην έννοια της οικονομίας περιλαμβάνεται τόσο το χρηματικό κόστος, όσο και το ενεργειακό ιδιαίτερα σε μία εποχή που, οι παλαιότερες σε βάρος της οικολογίας πρακτικές, μας έχουν οδηγήσει.

Επειδή δε το τσιμέντο παρασκευάζεται κυρίως από ασβεστολιθικά και αργυλοπυριτικά πετρώματα, που εξορύσσονται από λατομεία, είναι πολύ επωφελές να χρησιμοποιούμε πρόσθετα ώστε να μπορέσουμε αφενός να βελτιώσουμε τις μηχανικές του ιδιότητες, αφετέρου να μειώσουμε τις περιεκτικότητες σε φυσικές πρώτες ύλες. Από περιβαλλοντική και αισθητική άποψη είναι απαραίτητη μία διαχείριση των λατομείων και η σταδιακή αποκατάστασή τους, έτσι ώστε να μετριαστεί ο αντίκτυπος και οι συνέπειες από την επέμβαση στο φυσικό περιβάλλον.

Σημαντικό είναι ότι υπάρχει η δυνατότητα ανακύκλωσης τόσο κάποιων παραπροϊόντων που παράγονται κατά την παραγωγική διαδικασία του τσιμέντου, και της επαναχρησιμοποίησής τους, όσο και απορριμμάτων προκειμένου συνήθως μέσω της καύσης να παραχθεί θερμική ενέργεια που είναι απαραίτητη στην παραγωγή τσιμέντου. Επιπλέον η ανακύκλωση απορριμμάτων λειτουργεί ευεργετικά και σε άλλες δραστηριότητες που δεν έχουν σχέση με την παραγωγή τσιμέντου.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας ρυπαντικής επίδρασης της παραγωγής τσιμέντου είναι, η παραγωγή καυσαερίων και κυρίως, **CO₂**, **SO₂**, **NO_x**. Είναι πολύ επιβλαβή σύμφωνα με τις επιδράσεις που έχουν για το περιβάλλον, ενώ ειδικά το **CO₂** συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, που έχει λάβει πια ανησυχητικές διαστάσεις.

Στις μεταφορές των πρώτων υλών για την παραγωγή του τσιμέντου παράγεται επίσης **CO₂**, και αυτό είναι πολύ σημαντική παράμετρος όσον αφορά τις συνολικές ποσότητες αερίων ρύπων που παράγονται.

Επίσης σχετικά με την ενέργεια που καταναλώνεται για την παραγωγή τσιμέντου και είναι αρκετά μεγάλη, είναι σκόπιμο να περιορίσουμε την κατασπατάλησή της, είτε με προσφορότερες στην περιοχή παραγωγής του τσιμέντου ενεργειακές πηγές, είτε με οικολογικότερες με όρους και περιβαλλοντικούς και οικονομικούς ώστε να είναι εφαρμόσιμη η χρήση τους άμεσα ή έστω μεσοπρόθεσμα.

Μετά την προηγούμενη αναφορά, μπορούμε να αναφερθούμε στην έννοια της ενσωματωμένης ενέργειας, η οποία είναι η ενέργεια που ενέχει ένα προϊόν και

σ'αυτή συμπεριλαμβάνεται από την ενέργεια που καταναλώνεται για την συλλογή των πρώτων υλών, έως αυτήν που χρειάζεται για την τελική επεξεργασία του προϊόντος. Προφανώς υπάρχει η ανάγκη για μείωση της ποσότητας ενέργειας, είτε με την επιλογή του προσφορότερου μέσου μεταφοράς ανάλογα με την τοποθεσία συλλογής πρώτων υλών, είτε με χωροθέτηση της μονάδας παραγωγής τσιμέντου όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο λατομείο εξόρυξης πρώτων υλών.

Η πρώτη ύλη του τσιμέντου εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την εξόρυξη τους σε λατομεία. Σε αυτό το σημείο, γεννώνται δύο ανάγκες περιορισμού των επιβλαβών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που έχει η παραγωγή του τσιμέντου. Η πρώτη έχει να κάνει με την αποκατάσταση του τοπίου, που πρωτογενώς καταστρέφεται κατά την εξόρυξη των πρώτων υλών. Έτσι είναι αναγκαίο σταδιακά να αποκαθίσταται το λατομείο, είτε με δένδροφυτεύσεις και αναμόρφωση των δημιουργημένων πρανών έτσι ώστε να εντάσσονται ομαλά στο υπόλοιπο τοπίο, είτε με την δημιουργία βιοτόπων ή εδαφικών διαμορφώσεων που να ευνοούν τη βιοποικιλότητα της περιοχής. Από άλλη πλευρά, είναι περιβαλλοντικά ωφέλιμο να μην εξαντλούνται εντελώς τα αποθέματα μιας περιοχής, και να υπάρχει ταυτόχρονη συλλογή πρώτων υλών από περισσότερες της μίας περιοχές.

Η δεύτερη αφορά την ανάγκη για περιορισμό της ανάγκης σε φυσικές πρώτες ύλες, και την αντικατάσταση μέρους τους με τεχνητές έτσι ώστε επιπλέον να βελτιώνονται και οι μηχανικές ιδιότητες του τσιμέντου. Προς την κατεύθυνση αυτή χρησιμοποιούνται βελτιωτικά πρόσθετα ώστε να μπορούμε να έχουμε, και ποιοτικότερες κατασκευές που αποτελούνται από προϊόντα τσιμέντου, αλλά σημαντική οικονομία στη χρήση φυσικών πρώτων υλών για την παραγωγή τσιμέντου.

Μία ακόμη παράμετρος περιβαλλοντικής επίδρασης του τσιμέντου, είναι σαφώς και η κατανάλωση νερού που προϋποθέτει η παραγωγή του η οποία είναι αρκετά σημαντική. Με την τεχνολογική πρόοδο και τις νεότερες μεθόδους επεξεργασίας, οφείλουμε να περιορίσουμε την ποσότητα νερού που καταναλώνεται κατά την παραγωγή του τσιμέντου, ενώ περιορισμός χρειάζεται να επιτευχθεί και στην ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή του τσιμεντοπολτού, που είναι και η σπουδαιότερη εφαρμογή του τσιμέντου.

Η βιομηχανία του τσιμέντου στην Ελλαδική επικράτεια αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες του κατασκευαστικού κλάδου και έχει πάρα πολλά προϊόντα.

3.2. Σχετικά με τα προϊόντα του τσιμέντου

Το κυριότερο προϊόν του τσιμέντου, είναι το σκυρόδεμα με αναρίθμητες εφαρμογές, με τη σημαντικότερη να είναι η εφαρμογή που έχει το σκυρόδεμα στις κατασκευές. Στην Ελλάδα το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι μακράν το πιο διαδεδομένο σύστημα κατασκευής. Αυτό συμβαίνει επειδή το σκυρόδεμα έχει αρκετά μεγάλη εργασιμότητα, αναπτύσσει μεγάλες (ειδικά θλιπτικές) αντοχές, συνεργάζεται ιδανικά με τον χάλυβα (ο οποίος αναπτύσσει εφελκυστικές αντοχές), και οι πρώτες ύλες για την παρασκευή του (αδρανή, τσιμέντο, νερό, χάλυβας), βρίσκονται σε σχετική επάρκεια στην Ελλάδα. Αν στα προηγούμενα προσθέσουμε και το γεγονός ότι η χώρα είναι αρκετά σεισμογενής, και ότι το οπλισμένο σκυρόδεμα έχει πολύ καλή αντισεισμική συμπεριφορά, καταλαβαίνουμε γιατί η διάδοση του σκυροδέματος είναι τόσο ευρεία. Έτσι, εκτός από την εξόρυξη πρώτων υλών προκειμένου να παρασκευαστεί τσιμέντο, υπάρχουν λατομεία τα οποία παράγουν αδρανή με την κατάλληλη επεξεργασία.

Προϊόντα του τσιμέντου είναι και οι διάφορες τσιμεντοκονίες οι οποίες λόγω των αυξημένων αντοχών τους χρησιμοποιούνται ευρύτατα με διάφορες μορφές όπως, κονιάματα επιχρισμάτων, τοιχοποιίας, και υπό πίεση σε περιπτώσεις τσιμεντενέσεων και πλήρωσης οπών προενταμένων καλωδίων. Είναι δε αρκετά ευεργετική οικολογικά η επίδρασή τους στις κατασκευές επειδή υπάρχει δυνατότητα μετέπειτα ανακύκλωσής τους.

Πάντως αρκετά διαδεδομένη είναι και η χρήση μοναδιαίων στοιχείων από τσιμέντο όπως, τσιμεντόλιθοι, τσιμεντοσανίδες, τσιμεντόπλακες για κράσπεδα, τσιμεντοσωλήνες, τσιμεντοκολώνες, ακόμα και κυβόλιθοι, τόσο για κράσπεδα, όσο και για θαλάσσια έργα. Το γεγονός ότι είναι εύχρηστα καθώς παράγονται σε διάφορα μεγέθη, και οικονομικά καθώς έχουν μικρότερο κόστος παραγωγής από άλλα υλικά με τις ίδιες εφαρμογές, ενώ έχουν και ικανοποιητικές αντοχές, ενισχύει ακόμη περισσότερο την διάδοσή τους στον κατασκευαστικό χώρο.

Όπως είναι φυσικό, οι επιβλαβείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις που ισχύουν για την εξόρυξη των πρώτων υλών του τσιμέντου, ισχύουν και για το σκυρόδεμα αφού είναι προϊόν του τσιμέντου.

Το σημείο που έχει ενδιαφέρον για το σκυρόδεμα είναι, η ανακύκλωση και η επανάχρησή του. Ενώ το τσιμέντο σαν προϊόν δεν έχει μεγάλα περιθώρια ανακύκλωσης και επανάχρησης, το αντίθετο συμβαίνει με το σκυρόδεμα. Με την μέχρι σήμερα διαθέσιμη τεχνολογία τα ελαφροσκυροδέματα είναι δυνατόν να ανακυκλωθούν αποδοτικά σε ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό. Είναι αλήθεια ότι μέχρι σήμερα η ίδια διαδικασία δεν είναι δυνατόν να είναι τόσο αποδοτική για το κατεξοχήν σκυρόδεμα, (σχεδόν 50.000.000 τόνοι από σκυρόδεμα αποβάλλονται στις χωματερές κάθε χρόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση).

Για το λόγο αυτό τα ανακυκλούμενα σκυροδέματα χρησιμοποιούνται συνήθως σαν αδρανή για εξυγίανση οδοστρωμάτων, εδαφών κ.α. Το σκυρόδεμα όμως είναι δυνατόν να επαναχρησιμοποιηθεί ειδικά όταν βρίσκεται με τη μορφή

τυποποιημένων προκατασκευασμένων στοιχείων. Τα προκατασκευασμένα στοιχεία είναι μάλλον τα πλέον οικολογικά για τους εξής λόγους:

- Αξιοποιείται όλο το υλικό (μείωση του χαμένου υλικού) αφού το υλικό χυτεύεται με ακρίβεια σε καλούπια σε σχέση με τον ξυλότυπο της οικοδομής
- Δεν είναι απαραίτητη η κοπή ξύλου για την κατασκευή ξυλοτύπων.
- Είναι ευκολότερη η παραγωγή του δομικού στοιχείου και το υλικό περιέχει λιγότερη ενσωματωμένη ενέργεια (περίπου 4 MJ/Kg).

Έτσι, επειδή το σκυρόδεμα έχει διάρκεια ζωής πολύ μεγαλύτερη από πολλά δομικά υλικά, κατασκευάζοντας με τέτοιο τρόπο ώστε η αποσυναρμολόγηση να είναι εύκολη, όταν αστοχήσει κάποιο υλικό και η κατασκευή έχει φτάσει σε οριακό σημείο ενώ τα στοιχεία σκυροδέματος όχι, αποσυναρμολογούμε τα στοιχεία σκυροδέματος και αφού έχουν τυποποιημένες προδιαγραφές, τα επαναχρησιμοποιούμε σε παρόμοιες κατασκευές. Η δυνατότητα της επανάχρησής κάνει το σκυρόδεμα περισσότερο ελκυστικό από οικολογικής πλευράς.

Είναι βέβαιο πως με αρτιότερες και αποδοτικότερες μεθόδους παραγωγής, τόσο του τσιμέντου όσο και του σκυροδέματος, οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους θα περιοριστούν και οι κατασκευές που θα τα χρησιμοποιούν ως δομικό συστατικό τους, θα είναι ασφαλείς αλλά και οικολογικές. Είναι χρήσιμο να επισημανθεί εδώ, ότι η οικολογική λογική ακολουθεί όλο τον κύκλο ζωής των προϊόντων του τσιμέντου, από την εξόρυξη των πρώτων υλών στα λατομεία, την επεξεργασία τους έως την παραγωγή των τελικών προϊόντων, την χρήση τους στην κατασκευαστική διαδικασία, μέχρι την ανακύκλωση ή και επανάχρησή τους όσες φορές είναι δυνατόν μετά την πρώτη τους απόρριψη.

Βιβλιογραφία

Bjorn Berge, The Ecology of Building Materials, εκδ. Elsevier, 2009

Tom Woolley, Sam Kimmins, Rob Harrison, Green Building Handbook: Volume 1 (Vol 1), εκδ. E & FN Spon, 2007

Adelbert P. Mills, Harrison W. Hayward, Lloyd F. Rader, Materials of Construction, John Wiley & Sons INC, 1955

Κώστας Τσακαλάκης, Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος, Ε.Μ.Π Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών και Τεχνολογίας Υλικών, Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων, 2010

Αιμ. Γ. Κορωναίος, Γ. Ι. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά Τόμος 1, Ε.Μ.Π., 2005

Αιμ. Γ. Κορωναίος, Γ. Ι. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά Τόμος 2, Ε.Μ.Π., 2005

Αιμ. Γ. Κορωναίος, Γ. Ι. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά Τόμος 4, Ε.Μ.Π., 2005

Αιμ. Γ. Κορωναίος, Γ. Φοίβος Σαργέντης, Δομικά Υλικά και Οικολογία, Ε.Μ.Π., 2005

<http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/2-Cement>, available, 25 Φεβρουαρίου 2011

<http://www.titan.gr>, available, 20 Φεβρουαρίου 2011

<http://mplevrakis.blogspot.com/2008/11/blog-post-14>[online], available, 21 Ιανουαρίου 2011

ΔΠΘ:ΤΜΗΜΑ ΠΟΛ. ΜΗΧ.,
[http:// diocles.civil.duth.gr/links/home/museum/mater/cement/cement1.html](http://diocles.civil.duth.gr/links/home/museum/mater/cement/cement1.html),
available, 3 Φεβρουαρίου 2011

ΔΑΛΙΚΟ, [http:// www.daliko.com/index.php?id=307](http://www.daliko.com/index.php?id=307), available, 5 Αυγούστου 2010

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές, Δάπεδα Λιμενικών Έργων από Κυβόλιθους Σκυροδέματος, 28 Δεκεμβρίου 2005