



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ**

**Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΗΝ
ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΧΑΜΗΛΟΘΩΡΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Τσακαλάκης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος 2013

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ



Όνομα: Παναγιώτης
Επώνυμο: Χαμηλοθώρης

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Τσακαλάκης

Σχολή: Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών,
Τομέας: Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	10
Abstract	11
1. Ιστορία του τσιμέντου	12
1.1 Παραγωγή τσιμέντου στην Ελλάδα	14
1.2 Απαραίτητη η χρήση εναλλακτικών καυσίμων	17
2. Εισαγωγή	19
3. Πρώτες ύλες στην παραγωγή τσιμέντου	21
3.1 Συμβατικές πρώτες ύλες	22
- Φορείς ασβεστίου	22
- Φορείς αργιλίου και πυριτίου	23
- Διορθωτικά υλικά	25
- Δείκτες οξειδίων	26
4. Συμβατικές καύσιμες ύλες στην παραγωγή τσιμέντου	27
- Συμβατικά ορυκτά καύσιμα	27
- Αέρια καύσιμα	27
- Υγρά καύσιμα	28
- Στερεά καύσιμα	28
5. Εναλλακτικά καύσιμα στην παραγωγή τσιμέντου	30
5.1. Πλεονεκτήματα χρήσης εναλλακτικών καυσίμων σε καμίους τσιμέντου	35
- Περιβαλλοντικά οφέλη	35
- Οικονομικά-κοινωνικά οφέλη	37
5.2. Ταξινόμηση εναλλακτικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σε καμίους παραγωγής τσιμέντου	41
- Ταξινόμηση κατά Mokrzycki-Bochenczyk	41
- Ταξινόμηση κατά CEMBUREAU	41
- Ταξινόμηση στερεών εναλλακτικών καυσίμων	42
- Ταξινόμηση υγρών εναλλακτικών καυσίμων	42
5.3. Χαρακτηρισμός πριν τη χρήση οποιουδήποτε εναλλακτικού καυσίμου	43
- Ιδιότητες εναλλακτικών καυσίμων που εξετάζονται πριν τη χρήση τους	43
- Προϋποθέσεις παραγωγής των εναλλακτικών καυσίμων	44
6. Ανάλυση εναλλακτικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τσιμέντου	45
- Παρουσία χλωρίου στα εναλλακτικά καύσιμα	45
- Βαρέα Μέταλλα στα εναλλακτικά καύσιμα	45
- Διοξίνες και Φουράνια	46

6.1. Γεωργική Βιομάζα	47
-Ανάλυση υλικού	47
-Προεπεξεργασία, αποθήκευση και διακίνηση	48
-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας	48
-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών	49
-Τοπικά ζητήματα	50
6.2. Μη Γεωργική Βιομάζα	51
-Ενεργειακό δυναμικό	52
-Επιπτώσεις εκπομπών	53
-Βαρέα Μέταλλα	53
-Τοπικά ζητήματα	53
6.2.1. Χαρτί και ξύλο	53
-Ανάλυση υλικού	54
-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση	54
-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας	54
-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών	55
6.2.2. Οστεοκρεατάλευρα	55
-Κατηγορίες οστεοκρεατάλευρων	56
-Ανάλυση υλικού	59
-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση	60
-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας	62
-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών	62
6.2.3. Λάσπη λυμάτων	63
-Ανάλυση υλικού	63
-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση	65
-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας	66
-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών	66
6.3. Χημικά και επικίνδυνα απόβλητα	68
-Ανάλυση υλικού	69
-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση	70
-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας	70
-Ποιότητα υλικού και όγκος εκπομπών	71
6.4. Καύσιμα προερχόμενα από το πετρέλαιο	74
6.4.1. Καύσιμα που προέρχονται από ελαστικά	75
-Ανάλυση υλικού	76
-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση	76
-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας	79
-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών	80
6.4.2. Καύσιμα που προέρχονται από πλαστικά	81
-Ανάλυση υλικού	81
-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση	82
-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας	82
-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών	83

6.4.3. Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια	85
-Ανάλυση υλικού	85
-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση	85
-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας	86
-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών	86
6.5. Διάφορα απόβλητα	87
6.5.1. Αστικά στερεά απόβλητα και RDF	89
-Ανάλυση υλικού	89
-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση	89
-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας	90
-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών	90
6.5.2. Υπολείμματα τεμαχισμού αυτοκινήτων	93
6.5.3. Υπολείμματα ταπήτων	94
Συμπεράσματα	95
Βιβλιογραφία	97

Επισκόπηση σχημάτων και πινάκων

Σχήμα 1.1: Ετήσια παραγωγική ικανότητα ελληνικής τσιμεντοβιομηχανίας (Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος)	15
Σχήμα 1.2: Ετήσια ελληνική παραγωγή τσιμέντου (Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος)	16
Σχήμα 1.3: Παγκόσμια παραγωγή τσιμέντου (2011) (Ευρωπαϊκή Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών, Cembureau)	17
Σχήμα 3.1.1: Αναλογίες πρώτων υλών για την παραγωγή κοινού τύπου τσιμέντου (Τσακαλάκης Κώστας, 2010)	26
Σχήμα 5.1.1: Πλεονεκτήματα από την ταυτόχρονη καύση εναλλακτικών καυσίμων σε ένα εργοστάσιο τσιμέντου (CEMBUREAU, 1997)	36
Σχήμα 5.1.2: Εκπομπές CO ₂ για περιστροφική κάμινο που λειτουργεί με καύσιμο ορυκτούς άνθρακες (W.K. Hiromi Ariyaratne, 2010)	37
Σχήμα 5.3.1: Τόνοι εναλλακτικού καυσίμου που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα (Murray and Price, 2008)	44
Σχήμα 6.1.1: Τόνοι γεωργικής βιομάζας που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα (Murray and Price, 2008)	48
Σχήμα 6.2.1: Τόνοι μη γεωργικής βιομάζας που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα (Murray and Price, 2008)	52
Σχήμα 6.3.1: Τόνοι χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα (Murray and Price, 2008)	69
Σχήμα 6.4.2.1: Επίδραση της καύσης πλαστικών στην ποιότητα του κλίνκερ (Willitsch, Sturm, Wurst, Prey, 2009)	84
Σχήμα 6.5.1: Τόνοι διάφορων αποβλήτων που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα (Murray and Price, 2008)	88
Σχήμα 6.5.1.1: Εκπομπές βαρέων μετάλλων σε κάμινο τσιμέντου (Genon, Brizio, 2008)	92

Πίνακας 1.1: Ελληνικές μονάδες παραγωγής τσιμέντου και κατανάλωση καυσίμων (Κολοβός 2007)	16
Πίνακας 3.1.1: Θερμοχημικά χαρακτηριστικά ορυκτών ανθρακικού ασβεστίου (Τσίμας, Τσιβιλής, 2000)	22
Πίνακας 3.1.2: Χημική σύσταση διάφορων αργιλοπυριτικών υλικών (Τσίμας, Τσιβιλής, 2000)	24
Πίνακας 3.1.3: Ομάδες αργίλων και ιδιότητες (Τσίμας, Τσιβιλής, 2000)	24
Πίνακας 3.1.4: Χημική σύσταση διαφόρων διορθωτικών υλικών (Τσίμας, Τσιβιλής, 2000)	25
Πίνακας 4.1: Είδος και θερμογόνος δύναμη συμβατικών καυσίμων τσιμεντοβιομηχανίας (Τσακαλάκης, 2010)	29
Πίνακας 4.2: Είδη συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην τσιμεντοβιομηχανία (Τσακαλάκης, 2010)	29
Πίνακας 5.1: Παραδείγματα υλικών που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα (Κολοβός, 2007)	30
Πίνακας 5.2: Παραδείγματα χρήσης εναλλακτικών καυσίμων από βιομηχανίες τσιμέντου στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Κολοβός, 2007)	31
Πίνακας 5.3: Παραδείγματα τσιμεντοβιομηχανιών που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα (Κολοβός, 2007)	32
Πίνακας 5.4: Ποσοστό % υποκατάστασης συμβατικών από εναλλακτικά καύσιμα σε διαφορες χώρες (Anne Dekeukelaere, 2011)	34
Πίνακας 5.1.1: Οφέλη από τη χρήση εναλλακτικών πρώτων υλών στην παραγωγή τσιμέντου (Τσίμας, Τσιβιλής, 2000)	38
Πίνακας 5.1.2: Κατευθυντήριες αρχές για την συνεπεξεργασία εναλλακτικών καυσίμων σε καμίνους τσιμέντου (Murray and Price, 2008)	40

Πίνακας 6.1.1: Χαρακτηριστικά υπολειμμάτων γεωργικής βιομάζας ως εναλλακτικά καύσιμα (Murray and Price, 2008)	50
Πίνακας 6.2.1: Χαρακτηριστικά υλικών μη γεωργικής βιομάζας που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα (Murray and Price, 2008)	51
Πίνακας 6.2.2.1: Παραγωγή και διαχείριση των ποσοτήτων οστεοκρετάλευρου στον Ελληνικό χώρο κατά το έτος 2004 (Μπασινάς, 2011)	57
Πίνακας 6.2.2.2: Διαθέσιμες ποσότητες οστεοκρετάλευρου στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Μπασινάς, 2011)	58
Πίνακας 6.2.2.3: Τυπικές συστάσεις οστεοκρετάλευρου σε σύγκριση με λιγνίτη και άνθρακα (Μπασινάς, 2011)	60
Πίνακας 6.2.3.1: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά διαφόρων ειδών λυματολάσπης (Zabaniotou, Theofilou, 2005)	64
Πίνακας 6.2.3.2: Επιτρεπόμενα όρια στα οποία μπορούν να βρίσκονται τα βαρέα μέταλλα στη λάσπη (Zabaniotou, Theofilou, 2005)	67
Πίνακας 6.3.1: Χαρακτηριστικά χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα (Murray and Price, 2008)	68
Πίνακας 6.3.2: Κριτήρια καμίνου στις Η.Π.Α και στην Ευρώπη για συνεπεξεργασία επικίνδυνων αποβλήτων (Murray and Price, 2008)	71
Πίνακας 6.3.3: Κατάληξη μετάλλων σε υγρές διαδικασίες καμίνων τσιμέντου (Gossman, Black, Ward, 1990)	72
Πίνακας 6.3.4: Παραγωγή σκόνης τσιμεντοκαμίνου με επικίνδυνα και μη επικίνδυνα καύσιμα (Jacott, Reed, Taylor, Winfield, 2008)	72
Πίνακας 6.4.1: Χαρακτηριστικά καυσίμων που προέρχονται από το πετρέλαιο (Murray and Price, 2008)	74
Πίνακας 6.4.1.1: Ποσοστά επιμέρους συστατικών που περιέχουν τα ελαστικά οχημάτων (Norquay, 2004)	76

Πίνακας 6.4.1.2: Διάκριση ελαστικών ανάλογα με το μέγεθος των τεμαχίων τους	77
Πίνακας 6.4.1.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διάφορων μορφών ελαστικών (Constans, Gossman, 1997)	78
Πίνακας 6.5.1: Χαρακτηριστικά διάφορων αποβλήτων που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα (Murray and Price, 2008)	87

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αποτελεί μια βιβλιογραφική έρευνα, για τις χρήσεις εναλλακτικών καυσίμων πρώτων υλών στην παραγωγή τσιμέντου, οι οποίες μπορούν είτε να αντικαταστήσουν πλήρως τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα είτε να χρησιμοποιηθούν ως συμπληρωματικές. Παρουσιάζονται οι δυνατότητες και οι περιορισμοί που προκύπτουν από την αξιοποίηση των εναλλακτικών καυσίμων στις περιστροφικές καμίνους των βιομηχανιών. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική μελέτη των χαρακτηριστικών, των πλεονεκτημάτων της χρήσης τους, του τρόπου τροφοδοσίας τους στις καμίνους, των ιδιοτήτων τους, καθώς και ανάλυση του κάθε υλικού και του όγκου εκπομπών κατά την καύση τους. Αυτές οι εναλλακτικές πρώτες ύλες είναι γεωργική βιομάζα, μη γεωργική βιομάζα, οστεοκρεατάλευρα (meat and bone meal), λάσπη από την επεξεργασία αστικών λυμάτων, χημικά και επικίνδυνα απόβλητα, απόβλητα προερχόμενα από το πετρέλαιο, απόβλητα που προέρχονται από ελαστικά, πλαστικά, χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια, αστικά στερεά απόβλητα και καύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία τους. Επίσης, γίνεται αναφορά στις συμβατικές πρώτες καύσιμες ύλες στην παραγωγή τσιμέντου (ασβεστόλιθος, αργιλικά ορυκτά, προσθήκη διορθωτικών υλικών) ώστε να κατανοηθούν ευκολότερα οι διαφορές και τα πλεονεκτήματα των εναλλακτικών καυσίμων υλών έναντι των συμβατικών στη σύγχρονη τσιμεντοβιομηχανία.

ABSTRACT

This paper is a literature research on the use of alternative fuels in cement production, which can either completely replace conventional fossil fuels or used as complementary. It shows the possibilities and limitations resulting by the use of alternative fuels in the rotary kilns of cement plants. At the same time was carried out a literature study of the characteristics, the advantages of using them, their feed into the kilns, their properties and analysis of each material and the volume of emissions during their combustion. These alternative fuels are: agricultural biomass, non-agricultural biomass, meat and bone meal, sewage sludge, chemicals and hazardous waste, petroleum based waste, tyre derived fuels, plastic derived fuels, waste oil, municipal solid waste and fuels from their treatment {refused derived fuels (RDF)}. Also reference is made to conventional raw fuels in cement production (limestone, clay minerals, repair material) to be easily understandable the differences and benefits of alternative fuels over conventional, in modern cement industry.

1. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Όταν αναφερόμαστε στον όρο τσιμέντο, εννοούμε ένα υδραυλικό συνδετικό μείγμα. Δηλαδή είναι ένα λεπτά διαμερισμένο ανόργανο υλικό (σκόνη) που σε ανάμειξη με νερό σχηματίζει μια πάστα η οποία πήζει και σκληραίνει μέσω αντιδράσεων και διεργασιών ενυδάτωσης και που μπορεί να διατηρήσει την σκληρότητα και τη σταθερότητά της ακόμα και μέσα στο νερό. Είναι βασικό συστατικό των σκυροδεμάτων και των κονιαμάτων. Λειτουργεί σαν ένα είδος κόλλας για να συνδέει μεταξύ τους την άμμο και τα χαλίκια.

Ο άνθρωπος όταν αποφάσισε να αφήσει τα φυσικά σημεία διαβίωσης, είχε βασικό του στόχο να βρει και να αξιοποιήσει ανθεκτικά υλικά που θα τον βοηθούσαν στην κατασκευή κατοικιών ικανών να προστατεύσουν αυτόν και την οικογένειά του. Έψαχνε να ανακαλύψει τρόπους με τους οποίους θα μπορούσαν να συνδεθούν τα υλικά της φύσης για την κατασκευή της κατοικίας του. Το πρώτο φυσικό τσιμέντο δημιουργήθηκε από φυσικά φαινόμενα, κατά τη διάρκεια γεωλογικών μεταβολών, που πραγματοποιούντουσαν αντιδράσεις μεταξύ ασβεστόλιθου και αργίλου. Οι Αιγύπτιοι, περίπου το 3000 π.Χ χρησιμοποιούσαν μείγμα χώματος, νερού και άχυρων προκειμένου να ενώσουν τούβλα εκείνης της εποχής, ενώ αναφέρεται ότι ήταν οι πρώτοι που στις κατασκευές των πυραμίδων χρησιμοποίησαν κονιάματα με γύψο και ασβέστη. Επίσης, το 3000 π.Χ φαίνεται ότι οι Κινέζοι χρησιμοποιούν τσιμεντοειδή υλικά για την κατασκευή του Σινικού Τείχους. Στον ελληνικό χώρο το αρχαιότερο σκυρόδεμα (ηλικίας 3000 ετών) εντοπίζεται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού στη πόλη της Καμείρου στη Ρόδο. Γύρω στο 800 π.Χ οι Έλληνες χρησιμοποιούν ασβεστοκονιάματα πολύ πιο ισχυρά από αυτά που χρησιμοποίησαν μεταγενέστερα οι Ρωμαίοι. Το 300 π.Χ οι Βαβυλώνιοι και οι Ασύριοι χρησιμοποιούν άσφαλτο ως συνδεκτικό υλικό λίθων και πλίνθων.

Ο όρος τσιμέντο (cement) φαίνεται ότι πρωτοχρησιμοποιήθηκε κατά τους Ρωμαϊκούς χρόνους και στις αρχές του Μεσσαίωνα. Μερικές φορές χρησιμοποιούνταν οι όροι pozzolana cement ή Santorin cement σε ένδειξη της φύσης του μείγματος. Οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούν ποζολανικό τσιμέντο από την περιοχή Pozzuoli, κοντά στο όρος Βεζούβιος, για την κατασκευή περιφήμων έργων, όπως η Αππία Οδός, τα Ρωμαϊκά Λουτρά του Καρακάλλα και το Κολοσσαίο. Κατά το Μεσαίωνα, παρατηρήθηκε υποβάθμιση στην ποιότητα των τσιμεντοειδών και η χρήση του σκυροδέματος εκείνο τον καιρό εγκαταλείφθηκε, λόγω του ότι η τεχνογνωσία για την χρήση της ασβέστου με προσθήκη ποζολάνης εξέλειπε βαθμιαία. Η τεχνική επανεμφανίζεται περί το 1300 μ.Χ. Στο δεύτερο μισό του 18ου αιώνα αναφέρεται έντονη δραστηριότητα στην Ευρώπη για την ανακάλυψη ενός ανόργανου συνδετικού υλικού που θα μπορούσε να πήξει και να σκληρυνθεί με το νερό. Οι πρώτες ανακαλύψεις αφορούσαν κυρίως την άσβεστο. Παρατηρήθηκε ότι κατά το ψήσιμο (ασβεστοποίηση) του καθαρού ασβεστόλιθου προέκυπτε ένα υλικό που με την προσθήκη νερού μετασχηματιζόταν σε μια μάζα η οποία είχε συνδετικές ιδιότητες. Η άσβεστος αυτή ήταν γνωστή ως παχιά άσβεστος. Το 1758 ο Smeaton διαπίστωσε ότι οι άσβεστοι που περιείχαν μεγάλες ποσότητες (20%-25%) αργλικών υλικών είχαν την ιδιότητα να σκληραίνουν κάτω από το νερό. Παρατηρήθηκε μάλιστα, ότι το φαινόμενο ήταν πιο έντονο, όταν χρησιμοποιούταν μια ποζολάνη από την περιοχή Pozzuoli κοντά στη Ρώμη. Οι καθαρές άσβεστοι, παρατηρήθηκε ότι σκληραίνουν στον αέρα υπό την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα. Οι μη καθαρές άσβεστοι αντιδρούσαν μέσα στο νερό με τις αργλικές και πυριτικές ενώσεις, για να σχηματίσουν ένυδρες ασβεσταργλικές και ασβεστοπυριτικές ενώσεις που είχαν ισχυρές συνδετικές ικανότητες. Η καθαρή άσβεστος δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως τσιμέντο σε αντίθεση με τη μη καθαρή. Ο Smeaton για να τις διαφοροποιήσει χαρακτήρισε την καθαρή άσβεστο ως μη υδραυλική ενώ την μη καθαρή άσβεστο ως υδραυλική. Αποτέλεσμα των ερευνών του Smeaton ήταν να γίνει γνωστό ότι αν προστεθούν στον ασβεστόλιθο, πριν την έψηση, ποσότητες αργλικών υλικών οι υδραυλικές

ιδιότητες βελτιώνονται. Χρησιμοποίησε μάλιστα το υλικό αυτό για την ανακατασκευή του φάρου Eddystone στην Κορνούαλη της Αγγλίας.

Το 1800 ο Άγγλος James Parker αποκτά δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για φυσικό υδραυλικό τσιμέντο παραγόμενο με καμίνευση ακαθάρτου ασβεστολίθου περιέχοντος άργιλο, το οποίο φέρει την ονομασία Τσιμέντο του Parker ή Ρωμαϊκό Τσιμέντο (Roman cement). Το 1824 ένας Άγγλος κτίστης ο J. Aspdin ανακάλυψε πειραματιζόμενος στην κουζίνα του ότι ήταν δυνατό να παρασκευάσει τσιμέντο με πολύ καλύτερες ιδιότητες από τις υδραυλικές ασβέστους, αν το μείγμα ασβέστου και αργίλου θερμαινόταν μέχρι επίτηξης. Το προϊόν επίτηξης το κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας με την ονομασία Portland cement. Ο J. Aspdin του έδωσε αυτή την ονομασία λόγω της ομοιότητάς του με τους υψηλής ποιότητας λίθους που εξορύσσονταν στην περιοχή Portland της Αγγλίας. Το 1825 για την κατασκευή της Διώρυγας Erie χρησιμοποιήθηκε το πρώτο βιομηχανικώς παραχθέν τσιμέντο στις ΗΠΑ, από κοιτάσματα υδραυλικής ασβέστου στις κεντρικές περιοχές της Πολιτείας της Νέας Υόρκης. Το 1845 ο Isaac Johnson υπέδειξε ακριβέστερες αναλογίες για τις πρώτες ύλες και καταλληλότερες θερμοκρασίες για την έψηση. Το 1859 ιδρύεται το πρώτο εργοστάσιο τσιμέντου στη Γαλλία, το 1855 στη Γερμανία, το 1875 στην Αμερική και το 1902 στην Ελλάδα. Το 1859 μετρήθηκαν οι πρώτες αντοχές τσιμέντου από τον J. Grant. Την ίδια χρονιά χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο Πόρτλαντ για την κατασκευή του δικτύου αποχέτευσης του Λονδίνου. Το 1895 ο W. Michaelis εισήγαγε τη δοκιμή σταθερότητας του όγκου και αναφέρει σε εργασία του ότι τα ενυδατωμένα μεταπυριτικά άλατα σχηματίζουν ζελατινώδη μάζα (πολτό), η οποία αφυδατώνεται με την πάροδο του χρόνου και σκληρύνεται. Το 1904 έγιναν οι πρώτες προδιαγραφές για το τσιμέντο από την Αμερικανική Ένωση Πολιτικών Μηχανικών και την ίδια χρονιά το κτίριο Ingalls στο Cincinnati του Ohio, σηματοδοτεί την έναρξη κατασκευής υψηλών κτιρίων από σκυρόδεμα. Το 1924 ο R. Bogue, με τους ομόνυμους τύπους του, προσεγγίζει με ικανοποιητική ακρίβεια την ορυκτολογική σύσταση του τσιμέντου. Το 1930 τρεις Αμερικανοί κατασκευαστές παρουσιάζουν αυτοκίνητα – αναμικτήρες σκυροδέματος, οριζοντίου άξονα, παρεμφερή με τις σημερινές "βαρέλες".

Βασική τεχνολογική εξέλιξη για τη μαζική παραγωγή τσιμέντου ήταν η εισαγωγή του περιστροφικού φούρνου το 1877, ο οποίος εισήχθη στην Ελλάδα το 1912.

Τον τελευταίο αιώνα οι εξελίξεις τόσο στις μεθόδους παρασκευής του τσιμέντου όσο και στη χρησιμοποίησή του για πρωτοποριακά έργα ήταν ραγδαίες. Τα τελευταία χρόνια η έρευνα σε θέματα τσιμέντου και σκυροδέματος προχωρά με ασύλληπτους ρυθμούς. Πλέον δίνεται ιδιαίτερη έμφαση παγκοσμίως, στην προσθήκη βιομηχανικών παραπροϊόντων σε διάφορους τύπους τσιμέντου, στην ταυτοποίηση και αποκατάσταση των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε ιστορικά κτίσματα ενώ ιδιαίτερη πρόοδος έχει σημειωθεί την τελευταία δεκαετία στην υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων από εναλλακτικά για την παραγωγή τσιμέντου.

1.1. Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η Ελληνική Τσιμεντοβιομηχανία κάνει την εμφάνισή της στις αρχές του περασμένου αιώνα με την ίδρυση των 4 εταιριών σε διάστημα 32 ετών. Το 1902 ιδρύθηκε η Ανώνυμη Εταιρεία τσιμέντων "TITAN". Το 1911 ιδρύεται η Ανώνυμη Γενική Εταιρεία τσιμέντων "ΗΡΑΚΛΗΣ". Το 1926 ιδρύεται η εταιρεία "ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΧΑΛΚΙΔΟΣ Α.Ε.". Το 1934 πραγματοποιείται η πρώτη ίδρυση της Εταιρείας με την Επωνυμία "Σ. ΚΟΤΣΙΡΑΣ & ΣΙΑ Ε.Π.Ε.". Το 1943 επανιδρύεται η εταιρεία "Σ. ΚΟΤΣΙΡΑΣ & ΣΙΑ Ε.Π.Ε." με νέα επωνυμία "ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΧΑΛΥΨ Α.Ε.". Τέλος το 2001 πραγματοποιείται συγχώνευση της Ανωνύμου Γενικής Εταιρείας Τσιμέντων "ΗΡΑΚΛΗΣ" και της εταιρείας "ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΧΑΛΚΙΔΟΣ Α.Ε."

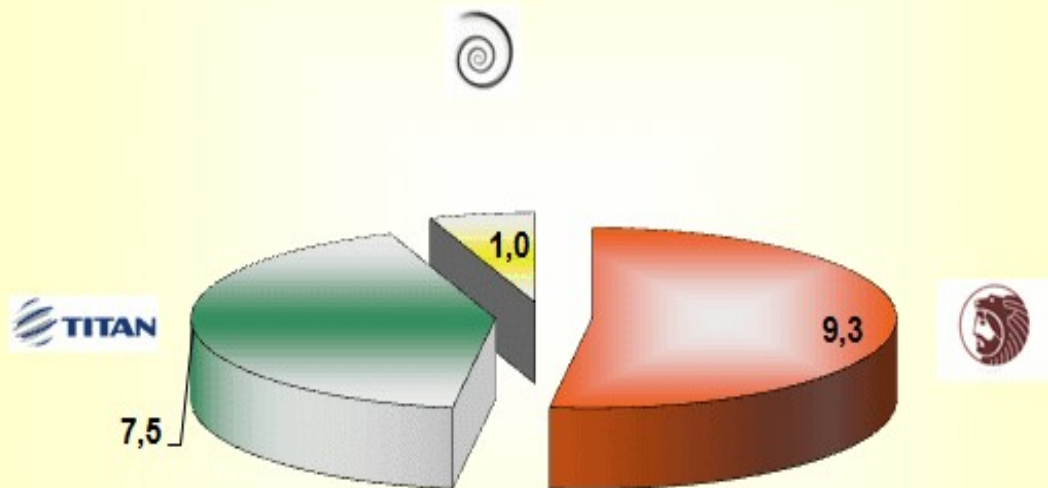
- TITAN: Έχει έδρα τα Άνω Πατήσια. Η εταιρία έχει ετήσια παραγωγική ικανότητα περίπου 7,5 εκατομμυρίων τόνων τσιμέντου και κατέχει το 40% της ελληνικής αγοράς, ενώ μπορεί να παράγει και άλλους 8 εκατομμύρια τόνους στα εργοστάσια της εκτός συνόρων. Διαθέτει 14 εργοστάσια παγκοσμίως.

Στην Ελλάδα: 1 στο Καμάρι Βοιωτίας
1 στην Ελευσίνα
1 στη Θεσσαλονίκη
1 στο Δρέπανο Αχαΐας

Στο εξωτερικό: 2 στην Αμερική (Βιρτζίνια και Φλόριντα)
2 στην Αίγυπτο
1 στα Σκόπια
1 στη Βουλγαρία
1 στη Σερβία
1 στην Αλβανία
1 στην Τουρκία
1 στο Κόσοβο

- ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ: μέλος του Ομίλου Lafarge, είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός τσιμέντου στον ελληνικό χώρο. Από το 2001 η πλειοψηφία των μετοχών της εταιρείας ανήκουν στη Lafarge Beton ABEE. Η ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ διαθέτει 3 εργοστάσια στον Ελληνικό χώρο.
 - 1 στο Βόλο
 - 1 στο Μηλάκι Αλιβερίου στην Εύβοια
 - 1 στη Χαλκίδα
- ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΧΑΛΥΨ (Italcementi Group): Μέλος της εταιρείας Χάλυψ Δομικά Υλικά Α.Ε. Η εταιρεία δραστηριοποιείται στην Αττική. Έχει επίσης ένα σταθμό αποθήκευσης και διανομής, στο Δυρράχιο Αλβανίας με την επωνυμία Eurotech Cement SH.P.K. Διαθέτει ένα εργοστάσιο το οποίο βρίσκεται στην Ελλάδα στον Ασπρόπυργο Αττικής.

ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΑΝΑ ΕΤΑΙΡΙΑ
YEARLY CEMENT CAPACITY / COMPANY



Πηγή: Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος
Source: Hellenic Cement Industry Association

Σχήμα 1.1: Ετήσια παραγωγική ικανότητα ελληνικής τσιμεντοβιομηχανίας (σε εκατομμύρια τόνους).^[4]

 ΤΙΤΑΝ

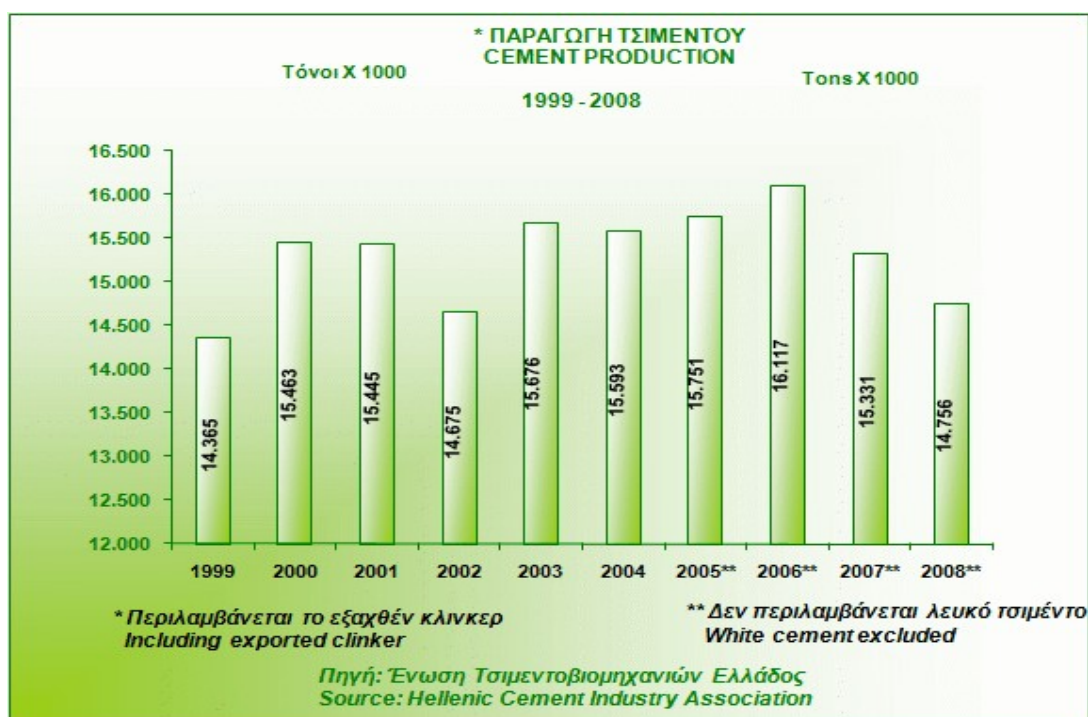
 ΗΡΑΚΛΗΣ

 ΚΑΛΥΨΟ

Η παραγωγική δυναμικότητα των εγκατεστημένων στην Ελλάδα βιομηχανιών τσιμέντου είναι περίπου 18 εκατομμύρια τόνοι τσιμέντου ετησίως και η συνολική κατανάλωση καυσίμου πλησιάζει, όπως φαίνεται και στον πίνακα 1.1, το 1.5 εκατομμύρια τόνους.

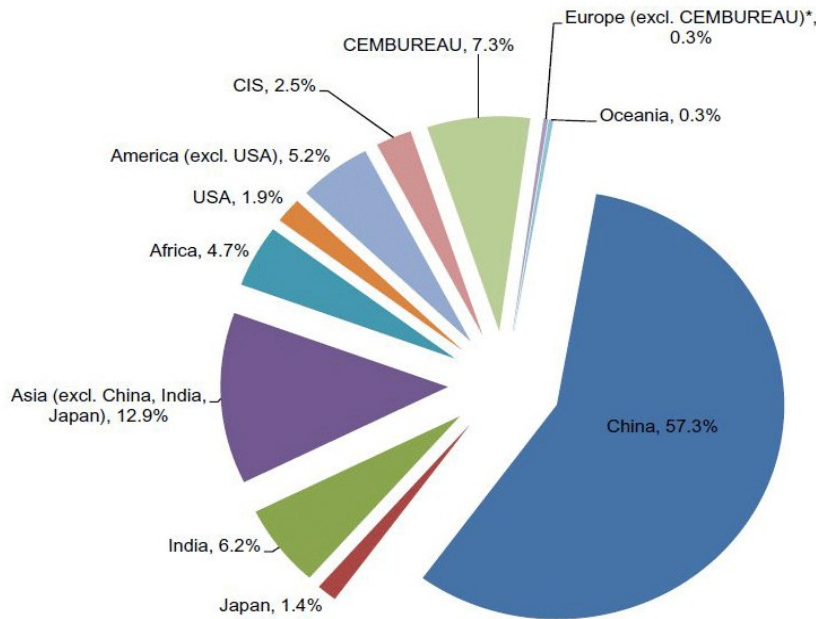
Πίνακας 1.1: Ελληνικές μονάδες παραγωγής τσιμέντου και κατανάλωση καυσίμων.^[6]

ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΚΑΜΙΝΟΙ	ΚΑΥΣΙΜΑ(τόνοι/έτος)
ΑΓΕΤ Ηρακλής	Βόλος	3	850000
	Μηλάκι	1	
	Χαλκίδα	2	
Τσιμέντα ΤΙΤΑΝ	Θεσσαλονίκη	2	550000
	Ελευσίνα	2	
	Πάτρα	2	
ΧΑΛΥΨ	Ασπρόπυργος	1	80000
ΣΥΝΟΛΟ		13	1480000



Σχήμα 1.2: Ετήσια ελληνική παραγωγή τσιμέντου.^[4]

World cement production 2011, by region and main countries 3.6 billion tonnes



* Including EU27 countries not members of CEMBUREAU

Σχήμα 1.3: Παγκόσμια παραγωγή τσιμέντου (2011).^[5]

1.2. ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΗ Η ΧΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Το τσιμέντο αποτελεί ένα σημαντικό συνδετικό μέσο για τη βιομηχανία κατασκευών και παράγεται παγκοσμίως σε πολύ μεγάλες ποσότητες. Η παραγωγή τσιμέντου, αποτελεί μια ενεργοβόρα διαδικασία εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που απαιτούνται στις καμίνους για την παραγωγή κλίνκερ. Συνήθως, η παραγωγή τσιμέντου απαιτεί περίπου 3.3 έως 4 MJ/kg κλίνκερ θερμικής ενέργειας, ανάλογα με τη διαδικασία. Γενικά το κόστος της ενέργειας που καταναλώνεται σε μια μονάδα παραγωγής τσιμέντου είναι περίπου το 30% έως 40% του ολικού κόστους παραγωγής.

Από την άλλη μεριά, η παραγωγή τσιμέντου δημιουργεί έναν παγκόσμιο μέσο όρο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της τάξης των 0.81 kg CO₂ ανά κιλό παραγόμενου τσιμέντου. Η ασβεστοποίηση των ανθρακικών αλάτων αντιπροσωπεύει περίπου το 60% του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα, καθώς τα αποτελέσματα του υπολειπόμενου CO₂ από την ενέργεια προκύπτουν κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Έχει εκτιμηθεί, ότι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την παραγωγή τσιμέντου, συνεισφέρουν το 5% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ και ως εκ τούτου, υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και στο φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Σήμερα, η βιομηχανία τσιμέντου θέλει να περιορίσει όσο το δυνατόν περισσότερο τις επιπτώσεις που προκαλούνται στο περιβάλλον, και προσπαθεί να το πετύχει μέσω τεχνικών βελτιώσεων. Για να το πετύχουν και να διατηρήσουν και την ανταγωνιστικότητά τους, οι τσιμεντοβιομηχανίες προσπαθούν να συνδυάσουν την ενεργειακή απόδοση και τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων και εναλλακτικών πρώτων υλών. Τα παλαιότερα χρόνια, οι τσιμεντοβιομηχανίες είχαν στραφεί μαζικά στη χρήση άνθρακα, ο οποίος αποτελούσε το κύριο καύσιμο εξαιτίας της χαμηλής τιμής του. Μολονότι ο άνθρακας, το κοκ πετρελαίου (petcoke) και

άλλα ορυκτά καύσιμα, παραδοσιακά καίγονται σε καμίνοους τσιμέντου, σήμερα λόγω της πολύ υψηλής κατανάλωσης ενέργειας και των υψηλών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, πολλές βιομηχανίες τσιμέντου έχουν στραφεί σε ενεργειακά πλούσια εναλλακτικά καύσιμα. Επιπλέον, οι κάμινοι τσιμέντου είναι κατάλληλες για την αποτελεσματική χρησιμοποίηση ενός ευρέως φάσματος αποβλήτων. Τα χαρακτηριστικά που καθιστούν τις καμίνοους τσιμέντου ικανές να αξιοποιήσουν τέτοιου είδους καύσιμα είναι, η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας, ο χρόνος παραμονής των υλικών στη θερμοκρασία καύσης, οι συνθήκες πύρωσης, η σταθερότητα και ο έλεγχος της λειτουργίας της καμίνοου, η συνεχής λειτουργία των καμίνων (οι στάσεις λόγω βλαβών ή συντήρησης πραγματοποιούνται ανά μεγάλα χρονικά διαστήματα) και το μειωμένο κόστος, σε σχέση με την καύση συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Άλλωστε, αυτή η ολοκληρωμένη δραστηριότητα προσφέρει πρόσθετα έσοδα στις τσιμεντοβιομηχανίες και ως εκ τούτου η χρήση αποβλήτων, ως καύσιμα, λαμβάνει οικονομικό κίνητρο.

Στη σημερινή εποχή, πολλά εργοστάσια καλύπτουν το 20% έως 70% των ενεργειακών αναγκών τους με εναλλακτικά καύσιμα. Αυτά μπορεί να είναι ζωικά άλευρα, διαλύτες, πλαστικά, χαρτί, ξύλο, καουτσούκ, χρησιμοποιημένα ελαστικά, χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια, λύματα και γενικά καύσιμα που προέρχονται από αστικά απορρίμματα (refuse derived fuel). Αυτός ο τρόπος ενεργειακής ανάκτησης εξοικονομεί όχι μόνο πολύτιμα ορυκτά καύσιμα για τις μελλοντικές γεννεές αλλά καταστρέφει και απόβλητα που διαφορετικά θα αποθέτονταν σε χωματερές, με μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Το φάσμα των εναλλακτικών καυσίμων πρώτων υλών είναι εξαιρετικά μεγάλο. Για να επιτευχθεί η θερμική καταστροφή ορισμένων αποβλήτων, είναι απαραίτητη η ανάλυση των φυσικών, των χημικών και των θερμικών χαρακτηριστικών καθενός από αυτά και η συμβατότητά του με την παραγωγή κλίνκερ.

Είναι πολύ σημαντικό, να γνωρίζουμε τη φυσική κατάσταση του καυσίμου, τη θερμογόνο δύναμη, την περιεκτικότητά του σε τέφρα, τα πτητικά συστατικά του, την υγρασία, το μόνιμο άνθρακα, την τοξικότητα του υλικού και ορισμένες άλλες φυσικές ιδιότητες όπως είναι για παράδειγμα το μέγεθος των σωματιδίων, η φαινόμενη πυκνότητα κτλ.

Η ασφάλεια της διαδικασίας σχετίζεται τόσο με τον αποτελεσματικό έλεγχο της θερμοκρασίας της φλόγας και της διαδικασίας μεταφοράς θερμότητας όσο και με το ακριβές μείγμα της καύσιμης πρώτης ύλης, επομένως με την ισορροπημένη λειτουργία της καμίνοου και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Όταν χρησιμοποιούνται απόβλητα υλικά ως καύσιμα για την παραγωγή τσιμέντου, στην περιστροφική κάμινο παραμένει τέφρα και άλλα υπολείμματα συστατικών, τα οποία ενσωματώνονται στο κλίνκερ και τα οποία είναι σημαντικό να παρατηρηθούν πριν από την καύση.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κάμινοι παραγωγής τσιμέντου αντιπροσωπεύουν μια πολύ ενεργοβόρο διεργασία, απαιτώντας εισροές ενέργειας που κυμαίνονται από 3.2 έως 5 MJ/kg του παραγόμενου κλίνκερ, ανάλογα με τις συνθήκες της διαδικασίας. Η πύρωση του ασβεστόλιθου και η αφυδάτωση του καολινίτη, οι οποίες είναι άκρως ενδόθερμες αντιδράσεις, απαιτούν ενέργεια περίπου ίση με 2.2 MJ/kg, ενώ οι εξώθερμες αντιδράσεις της φάσης σχηματισμού (C_3S , C_2S , C_3A και C_4AF) απελευθερώνουν ενέργεια στα 0.45 MJ/kg. Στην ξηρή διεργασία, το 50% περίπου της ενέργειας απαιτείται για χημικές αντιδράσεις, το 10% έως 12% για την απώλεια μέσω ακτινοβολίας, το 10% στον εξερχόμενο αέρα, ένα ποσοστό έως 20% στα καυσαέρια και ένα 2% στο κλίνκερ. Οι τσιμεντοβιομηχανίες χρησιμοποιούν μια μεγάλη ποικιλία καυσίμων για παραγωγή ενέργειας. Αυτές μπορεί να είναι για παράδειγμα, μαζούτ, διάφοροι τύποι ορυκτών ανθράκων, petcoke, φυσικό αέριο. Επισημαίνεται, ότι η ενέργεια αποτελεί περίπου το 30% έως 40% του ολικού κόστους παραγωγής τσιμέντου. Οι τσιμεντοβιομηχανίες σε όλο τον κόσμο, όχι μόνο για να μειώσουν το ενεργειακό κόστος αλλά και για την εξοικονόμηση των φυσικών πόρων, τη μείωση των εκπομπών, τη μείωση ανάγκης για χώρους υγειονομικής ταφής και τη μείωση του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα, υιοθετούν όλο και περισσότερο την πρακτική χρήσης προιόντων αποβλήτων και άλλων εναλλακτικών λύσεων για την αντικατάσταση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή τσιμέντου. Έρευνες που διεξάγονται σε εργοστάσια τσιμέντου σε όλο τον κόσμο, έχουν καταστήσει σαφή τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης εναλλακτικών καυσίμων στις διεργασίες παραγωγής τσιμέντου. Οι βιομηχανικές χώρες έχουν εμπειρία άνω των είκοσι χρόνων στην χρήση τέτοιων καυσίμων. Στην Αμερική είναι πολύ σύνηθες για τα εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου να αντλούν το 20-70% των ενεργειακών αναγκών τους από εναλλακτικά καύσιμα.

Οι συνθήκες καύσης που επικρατούν στις καμίνους τσιμέντου, είναι ιδανικές για τη χρησιμοποίηση εναλλακτικών καυσίμων που προέρχονται από αστικά απόβλητα (refuse derived fuels). Σημαντικοί παράγοντες που ενισχύουν τη χρήση καμίνων τσιμέντου για την αξιοποίηση των αποβλήτων είναι:

- Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν μέσα στις περιστροφικές καμίνους. Η θερμοκρασία του υλικού στη ζώνη κλινκερικοποίησης φτάνει τουλάχιστον τους 1700°C και η θερμοκρασία φλόγας τους 1900-2100°C, ξεπερνώντας σημαντικά το επίπεδο θερμοκρασιών που απαιτούνται για την πλήρη καύση υδρογονανθράκων υψηλού μοριακού βάρους καθώς και για την απογλωρίωση των διοξίνων και των φουρανίων.
- Ο μεγάλος χρόνος παραμονής σε υψηλή θερμοκρασία (δεδομένου του μεγάλου μήκους της καμίνου). Εγγυάται μεγάλη αποδοτικότητα της θερμικής καταστροφής. Ένα αέριο ρεύμα με θερμοκρασία που υπερβαίνει τους 1670°C, ρέει διαμέσου αυτής της ζώνης εντός περίπου 2,7 δευτερολέπτων, ενώ ο χρόνος για το αέριο που ρέει διαμέσου της ζώνης με μια θερμοκρασία μεταξύ 1470°C-1670°C ανέρχεται μεταξύ 4.1 και 5 δευτερολέπτων.
- Η περίσσεια οξυγόνου κατά τη διάρκεια αλλά και μετά το πέρας της καύσης.
- Η μέθοδος ενισχύεται από ένα αλκαλικό περιβάλλον, που τείνει να εξαλείφει τα αέρια της καύσης: εξουδετέρωση και δέσμευση του HCl ή άλλων ενώσεων.
- Ενσωμάτωση των βαρέων μετάλλων στη δομή του κλίνκερ και τελική δέσμευσή τους στο σκυρόδεμα. Επίσης δεν υπάρχει καμιά παραγωγή υποπροϊόντων όπως σκωρία, τέφρα ή υγρά υπολείμματα.
- Η υψηλή ανάδευση οδηγεί στο σχηματισμό ενός εξαιρετικά ομογενούς μείγματος. Εντός της περιοχής, επικρατούν πραγματικές ταχύτητες ροής αερίου διαμέσου των ζωνών υψηλής θερμοκρασίας (από 12.1 έως 13.5 m/sec).
- Ο μεγάλος όγκος της καμίνου και η συνεχής παροχή καυσίμου.

Εκτός από τους παραπάνω παράγοντες, η σκόνη της καμίνου και τα σωματίδια που περιέχονται στο απαέριο, συλλέγονται μέσω ηλεκτροστατικών φίλτρων και ανακυκλώνονται στο σύστημα.

Δεν είναι όμως μόνο οι συνθήκες και οι παράγοντες λειτουργίας των περιστροφικών καμίνων που ενισχύουν τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων υλών στην παραγωγή τσιμέντου. Υπάρχουν πολλά οικολογικά, οικονομικά αλλά και κοινωνικά οφέλη από τη χρήση τέτοιων καυσίμων τα οποία θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

3. ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Πρωταρχικό στοιχείο, γενικά για τη βιομηχανική παραγωγή οποιουδήποτε προϊόντος είναι η ύπαρξη των κατάλληλων πρώτων υλών. Η έννοια της πρώτης ύλης είναι αρκετά ευρεία και έχει πολλές ιδιαιτερότητες. Συγκεκριμένα, οι πρώτες ύλες που απαιτούνται για την παραγωγή τσιμέντου εξορύσσονται από λατομεία (ασβεστολίθου, αργίλου, σχιστόλιθου, κλπ). Η σημαντικότερη πρώτη ύλη για την παραγωγή τσιμέντου είναι τα ασβεστολιθικά πετρώματα, που εξορύσσονται επιφανειακά κοντά στη μονάδα παραγωγής του τσιμέντου. Τα κύρια συστατικά του τσιμέντου, είναι οι ασβεστοπυριτικές ενώσεις για αυτό οι πρώτες ύλες πρέπει να εξασφαλίζουν κυρίως CaO και SiO_2 στις κατάλληλες μορφές και αναλογίες. Τα συστατικά αυτά σπάνια βρίσκονται με την απαιτούμενη αναλογία σε μια πρώτη ύλη. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο πρώτες ύλες, μία με μεγάλη περιεκτικότητα σε CaO , όπως ο ασβεστόλιθος, η κιμωλία και διάφοροι μάργες και μία με μεγάλη περιεκτικότητα σε SiO_2 , όπως είναι διάφορες άργιλοι που προτιμώνται από το χαλαζία, αφού ο χαλαζίας αντιδρά πολύ δύσκολα με το CaO . Πολλές φορές, για να χαρακτηριστεί ένα υλικό κατάλληλο ως πρώτη ύλη στην παραγωγή τσιμέντου, θα πρέπει να εξετασθεί η ορυκτολογική του σύσταση, δηλαδή οι μορφές με τις οποίες τα τέσσερα σημαντικά οξείδια (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) βρίσκονται συνδεδεμένα μεταξύ τους.

Επιπροσθέτως, υπάρχουν κάποιες πρώτες ύλες οι οποίες καλούνται διορθωτικά υλικά. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται ως επιρόσθετες πρώτες ύλες, όταν το Al_2O_3 και το Fe_2O_3 δεν βρίσκονται σε ικανοποιητικά ποσοστά στις δύο πρώτες ύλες. Έχουν ως σκοπό, να διορθώσουν τις αναλογίες μεταξύ των κύριων οξειδίων που ελέγχονται μέσω των δεικτών. Τα υλικά αυτά είναι βωξίτες, αποφρύγματα σιδηροπυρίτη κ.α και παρουσιάζουν μεγάλη περιεκτικότητα σε κάποιο συγκεκριμένο οξείδιο.

Στα συστατικά που απαρτίζουν το μείγμα των πρώτων υλών προσμετρούνται και ουσίες οι οποίες όταν προστίθενται σε μικρό ποσοστό έχουν σκοπό να μειώσουν τη θερμοκρασία εμφάνισης της υγρής φάσης επιταχύνοντας με τον τρόπο αυτό τη διαδικασία της κλινκεροποίησης. Ως τέτοια ευτηκτικά συστατικά (fluxes, mineralizers) μπορούν να χρησιμοποιηθούν: CaF_2 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, Na_2SiF_6 κλπ.

Στο σύνολο των πρώτων υλών που συμμετέχουν στις φάσεις του κλίνκερ δεν θα πρέπει να αγνοηθεί η επίδραση της τέφρας του καυσίμου η οποία αναπόφευκτα ενσωματώνεται στο κλίνκερ, απορροφούμενη από αυτό.



Εικόνα 3.1: Πρώτες ύλες, ενδιάμεσα προϊόντα και τελικό προϊόν στη διεργασία παραγωγής τσιμέντου^[1].

3.1. ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

➤ Φορείς ασβεστίου:

Το ανθρακικό ασβέστιο είναι ευρύτατα διαδεδομένο στη φύση κάτω από διάφορες ορυκτολογικές μορφές, οι περισσότερες των οποίων είναι κατάλληλες για την παραγωγή του τσιμέντου Πόρτλαντ. Οι περισσότερο καθαρές μορφές του ανθρακικού ασβεστίου είναι ο ασβεστόλιθος και η κιμωλία.

Ασβεστόλιθος: Εκτιμάται ότι περισσότεροι από 4.5 δισεκατομμύρια τόνοι ασβεστόλιθου χρησιμοποιούνται ετησίως, σε παγκόσμια κλίμακα, για παραγωγή τσιμέντου. Οι καθαρότερες μορφές ασβεστόλιθου είναι ο ασβεστίτης και ο αραγωνίτης, ενώ μικρότερης σημασίας είναι ο δολομίτης και ο ανκερίτης. Στον Πίνακα 3.1.1 δίνονται μερικά θερμοχημικά χαρακτηριστικά των ορυκτών του ανθρακικού ασβεστίου.

Πίνακας 3.1.1: Θερμοχημικά χαρακτηριστικά ορυκτών ανθρακικού ασβεστίου.^[2]

Ορυκτό	Κρυσταλλικό σύστημα	Κοινή υποκατάσταση	Ειδικό βάρος	Θερμοκρασία διάσπασης (°C), (760mm Hg, 100% CO ₂)	
				Αρχική	Τελική
Ασβεστίτης CaCO ₃	Εξαγωγικό Ρομβοεδρικό	Mn, Fe, Mg	2.72	750	898
Αραγωνίτης CaCO ₃	Ορθορομβικό	Sr, Pb, Zn	2.94	425	898
Δολομίτης CaMg(CO ₃) ₂	Εξαγωγικό Ρομβοεδρικό	Fe, Mn, Co, Zn	2.86	725	890

Στον ασβεστόλιθο επικρατεί μία λεπτόκοκκη κρυσταλλική δομή. Η σκληρότητά του αυξάνει όσο ο γεωλογικός σχηματισμός είναι παλαιότερος. Αυτή κυμαίνεται από 1.8 έως 3.0 της κλίμακας Mohs, γεγονός που τους καθιστά σχετικά ευάλεστους. Ο ασβεστόλιθος περιέχει διάφορες προσμίξεις που επηρεάζουν τον χρωματισμό του ενώ όταν βρίσκεται σε πολύ καθαρή μορφή είναι λευκός. Το είδος του πετρώματος που θα χρησιμοποιηθεί καθορίζεται από τον τύπο του ορυκτού σε συνάρτηση με την κρυσταλλική του δομή, τυχόν ανωμαλίες στη μικροδομή του και την ύπαρξη προσμίξεων. Οι προσμίξεις των ασβεστόλιθων παρατηρούνται σε πολύ μικρές ποσότητες και οι πιο σημαντικές είναι: $MgCO_3$, SiO_2 , Fe_2O_3 , SO_3 , Na_2O , K_2O . Η σημαντικότερη από αυτές είναι το $MgCO_3$, αφού είναι συνηθισμένη συνηθισμένη στους ασβεστόλιθους η μερική υποκατάσταση του ασβεστίου από το μαγνήσιο (λόγω της δολομιτίωσης των ασβεστολιθών). Το ποσοστό συμμετοχής του $MgCO_3$ στο αρχικό πέτρωμα καθορίζει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης ή όχι ενός συγκεκριμένου ασβεστόλιθου. Η πρωταρχική επιδίωξη των υπευθύνων μιας τσιμεντοβιομηχανίας είναι η πλήρης αρχική διερεύνηση του ασβεστόλιθου που υπάρχει σε μια περιοχή, ως προς την έκταση των αποθεμάτων του και την καθαρότητά του, λόγω του ότι αποτελεί τη σημαντικότερη πρώτη ύλη για την παραγωγή τσιμέντου και είναι ο κυριότερος παράγοντας που επιδρά στην επιλογή του τόπου εγκατάστασης του εργοστασίου.

Ιδιαίτερη σημασία για την καταλληλότητα των ασβεστολιθικών, όσον αφορά την επιλογή τους ως πρώτης ύλης στη βιομηχανία τσιμέντου, έχει ο ρυθμός διάσπασής τους, ο οποίος επηρεάζει τόσο τη δραστηριότητά τους όσο και την ενεργειακή απαίτηση της διεργασίας έψησης. Η δραστηριότητα των ασβεστόλιθων εξαρτάται από το μέγεθος του κρυστάλλου του ασβεστίτη και από την συνύπαρξη άλλων ορυκτών και κυρίως χαλαζία.

Κιμωλία: Αποτελεί μια άλλη πηγή ανθρακικού ασβεστίου. Η κιμωλία είναι ιζηματογενές πέτρωμα που σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια της κρητιδικής περιόδου. Είναι σχετικά νέα σε αντίθεση με τον ασβεστόλιθο και χαρακτηρίζεται από μαλακή γαιώδη μορφή. Αυτή η ιδιότητα κάνει το υλικό να είναι κατάλληλο ως πρώτη ύλη ειδικά στην παραγωγή του τσιμέντου με την υγρή μέθοδο. Επειδή τόσο η λατόμευση όσο και η διαδικασία θραύσης και λειοτρίβησης είναι σχετικά εύκολες, η κιμωλία όταν χρησιμοποιείται μειώνει πολύ το κόστος παραγωγής του τσιμέντου. Σε μερικά κοιτάσματα η περιεκτικότητα της κιμωλίας σε $CaCO_3$ είναι 98-99% με μικρές προσθήκες $MgCO_3$, SiO_2 και Al_2O_3 .

➤ **Φορείς Αργιλίου και Πυριτίου:**

Η έκφραση αργιλικά ορυκτά (argillaceous materials) αναφέρεται σε λεπτοκοκκώδη γαιώδη υλικά, τα οποία εναλλακτικά ονομάζονται άργιλοι. Από χημική άποψη τα υλικά αυτά είναι ένυδρες αργιλοπυριτικές ενώσεις με μερική ή ολική υποκατάσταση του αργιλίου με μαγνήσιο ή/και σίδηρο σε ορισμένα και με τα αλκάλια ή τις αλκαλικές γαίες να έχουν σημαντική παρουσία σε αρκετές άλλες ενώσεις. Πολλά από τα αργιλικά υλικά αποτελούνται από ένα ορυκτό, αλλά τα περισσότερα γνωστά υλικά συνιστούν μίγμα από αυτά. Επιπροσθέτως των ορυκτών αργίλων πολλά υλικά που έχουν και άργιλο, περιέχουν μη αργιλικά ορυκτά όπως οι άστριοι, ο χαλαζίας ο ασβεστίτης και άλλα. Πολλά άλλα ενδεχομένως περιέχουν οργανικό μέρος ή ευδιάλυτα άλατα. Θεωρούνται ότι σχηματίζονται από γήρανση αλκαλίων και αλκαλικών γαιών που περιέχουν αργιλοπυριτικές ενώσεις και τη μετατροπή τους στη συνέχεια σε προϊόντα όπως η μίκα και οι άστριοι. Τέλος, ορισμένες άργιλοι είναι δυνατό να περιέχουν και άμορφες φάσεις.

Πίνακας 3.1.2: Χημική σύσταση (%) διάφορων αργιλοπυριτικών υλικών.^[2]

Συστατικό	Άργιλος 1	Άργιλος 2	Άργιλος 3	Άργιλος 4
SiO ₂	67.29	62.56	52.3	60.1
Al ₂ O ₃	8.97	15.77	24.7	18
CaO	7.27	4.8	4.4	0.8
Fe ₂ O ₃	4.28	4.47	6.1	8.2
MgO	1.97	1.38	0.1	0.2
K ₂ O	1.2	-	-	-
SO ₃	0.32	-	1.1	3.8
Na ₂ O	1.15	2.35	0.8	2.5

Οι άργιλοι διακρίνονται στην ομάδα του καολινίτη, του μοντμοριλονίτη και του ιλλίτη. Στον Πίνακα 3.1.3 φαίνονται οι σπουδαιότερες ομάδες και ορισμένες ιδιότητές τους.

Πίνακας 3.1.3: Ομάδες αργίλων και ιδιότητες.^[2]

Ονομασία	Συνήθης σύσταση	Θερμοκρασία ολοκλήρωσης αφυδάτωσης (°C)	Θερμοκρασία ολοκλήρωσης απομάκρυνσης OH ⁻ (°C)
Αλλοφανής	mAl ₂ O ₃ nSiO ₂ pH ₂ O	550	-
Καολινίτης	(OH) ₈ Si ₄ Al ₄ O ₁₀ SiO ₂ = 46.54% Al ₂ O ₃ = 39.50% H ₂ O= 13.96%	550	700
Μοντμοριλονίτης	(OH ₂) ₄ Si ₈ Al ₄ O ₂₀ nH ₂ O SiO ₂ = 66.7% Al ₂ O ₃ = 28.3% H ₂ O= 5% Συχνή υποκατάσταση του πυριτίου στα τετράεδρα με Mg, Fe, Zn, Ni, Li		
Ιλλίτης	Διοκταεδρικές δομές όπως ο μοσχοβίτης (OH) ₄ K ₂ (Si ₆ Al ₂)Al ₄ O ₂₀ Τριοκτάεδρα όπως ο βιοτίτης με ενσωμάτωση Mg και Fe	300	950
Χλωρίτης	Εναλλαγή δομών τύπου μπρουσίτη (MgAl) ₆ (OH) ₁₂ KAl μίας (OH) ₂ (SiAl) ₈ (MgFe) ₆ O ₂₀	300	950
Αλλοϋσίτης	(OH) ₈ Si ₄ Al ₄ O ₁₀ ή (OH) ₈ Si ₄ Al ₄ O ₁₀ 4H ₂ O Τα ορυκτά δομούνται σε διαδοχικές στιβάδες της ίδιας δομής με τον καολινίτη	450	800

Η δραστικότητα των αργίλων με το CaCO₃ αυξάνει σύμφωνα με την σειρά: Μοσχοβίτης-Μοντμοριλονίτης-Χλωρίτης-Ιλλίτης-Καολινίτης. Η δραστικότητα επηρεάζεται ισχυρά από την παρουσία ή όχι διαφόρων προσμίξεων.

Το σημείο τήξης των αργίλων κυμαίνεται μεταξύ 1150°C και 1785°C. Η χημική συστασή τους ποικίλλει από την καθαρή άργιλο μέχρι εκείνη που περιέχει σημαντικά ποσά χημικών προσμίξεων(π.χ Fe(OH)₂, άμμο, CaCO₃ κ.α). Το υδροξείδιο του σιδήρου είναι το κύριο πρόσθετο που δίνει χρώμα στις αργίλους, ενώ οι καθαρές άργιλοι είναι χρώματος λευκού.

Για την επιλογή των πρώτων υλών και ιδίως των αργίλων θα πρέπει να συνεκτιμάται το γεγονός ότι κατά κανόνα οι αργιλούχες ασβεστόμαργες είναι καταλληλότερες από τους καθαρούς ασβεστόλιθους καθόσον είναι ευκολότερη η επεξεργασία τους, ενώ παράλληλα η κατάλληλη μέση περιεκτικότητα της φαρίνας (μείγμα Π.Υ) ρυθμίζεται ευκολότερα. Οι άργιλοι περιέχουν σημαντικά ποσά υγρασίας αλλά και κρυσταλλικών νερών τα οποία, εφόσον χρησιμοποιηθούν τα κατάλληλα μηχανήματα μειώνουν την ενεργειακή απαίτηση για θραύση και άλεση. Παράλληλα όμως αυξάνουν το κόστος ξήρανσης ιδίως στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται η ξηρή μέθοδος.

Κατά την υγρή μέθοδο οι άργιλοι που περιέχουν μοντμοριλονίτη αυξάνουν κατά πολύ την απαίτηση σε νερό, προκειμένου να εξασφαλισθεί σταθερή αντλησιμότητα στον πολτό. Επίσης πρέπει να συνεκτιμάται ότι τα προϊόντα από μεταμορφώσεις της άργιλου (όπως είναι οι σχίστες), είναι πιο δυσάλεστα. Στη σωστή επιλογή των αργίλων, έχει επίσης σημασία η περιεκτικότητα τους σε αλκάλια λόγω των αρνητικών επιπτώσεων που αυτά επιφέρουν κατά την έψηση. Όταν διάφορες μορφές άμμου (χαλαζιακή) προστίθενται, η πιο σημαντική απαίτηση, σε συνάρτηση με τη σύσταση τους είναι να μη δημιουργούνται προβλήματα κατά την άλεση.

Ακόμη μερικές φυσικές ιδιότητες των αργίλων όπως είναι η πλαστικότητα, η ειδική επιφάνεια, η απαίτηση σε νερό, η τάση συσσωμάτωσης των σωματιδίων και άλλες, συνεκτιμώνται πολύ σοβαρά κατά την προετοιμασία του μίγματος των πρώτων υλών, ιδιαίτερα όταν ακολουθείται η υγρή και η ημιυγρή μέθοδος παραγωγής του τσιμέντου. Έτσι προτιμώνται άργιλοι που έχουν δείκτη πλαστικότητας τουλάχιστον 7-15 και παράλληλα έχουν 10% υπόλειμμα στο κόσκινο των 200μm ή 20% υπόλειμμα στο κόσκινο των 80μm.

➤ **Διορθωτικά υλικά**

Όταν τα συστατικά του μίγματος των δύο πρώτων υλών (ασβεστόλιθου και άργιλου) δεν επαρκούν για την ικανοποίηση των στόχων που έχουν τεθεί μέσω των δεικτών (βλ. επόμενη παράγραφο), τότε απαιτείται η προσθήκη ενός τρίτου και ενδεχομένως και ενός τέταρτου υλικού που είναι γνωστά ως διορθωτικά υλικά.

Στον επόμενο Πίνακα, φαίνεται η χημική σύσταση διαφόρων διορθωτικών υλικών.

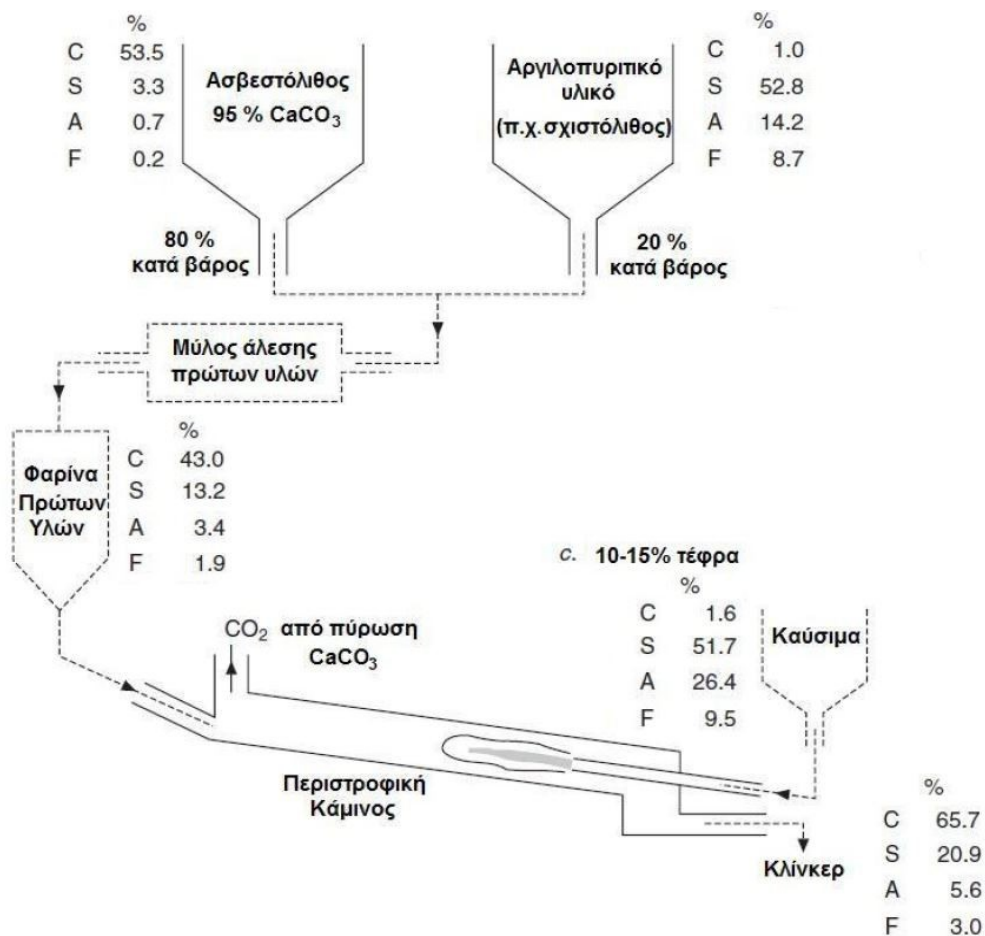
Πίνακας 3.1.4: Χημική σύσταση διαφόρων διορθωτικών υλικών.^[2]

Συστατικό	Διατομίτης	Βωξίτης	Πυρίτης	Σιδηρ. Ορυκτά	Σκωρίες	Ιπτάμενη Τέφρα	Άμμος
SiO ₂	77	16-22	6-25	20-25	11-22	26-50	99.2
Al ₂ O ₃	9.6	44-58	2-16	3-9	5-14	6.5-19	-
Fe ₂ O ₃	9.6	10-16	62-87	45-60	59-69	5-8	0.5
CaO	0.3	2-4	0.7-99	0.5-25	1-9	15-50	-
MgO	0.9	0.2-1	0.2-2	1.5-7	0.5-2.5	2.5-4	-
K ₂ O ₃	1.5	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O ₃	1.5	-	-	-	-	-	-
SO ₃	-	-	0.8-8	0.3-0.6	0.2-2.5	2.5-6.5	-
A.Π.	6.2	15-20	-	5-12	5-15	0.2-4	0.2

Πολλά βιομηχανικά παραπροϊόντα στο πλαίσιο της προσθήκης τους ως εναλλακτικές πρώτες ύλες, δρουν ταυτόχρονα και ως διορθωτικά υλικά. Είναι ευνόητο επομένως ότι ένα διορθωτικό υλικό θα πρέπει να έχει ένα από τα κύρια οξείδια, που είναι απαραίτητα για τον σχηματισμό του κλίνκερ, σε μεγάλο ποσοστό. Κατά κανόνα υλικά με περισσότερο από 70% SiO₂, 40% Fe₂O₃ ή 30% Al₂O₃ μπορούν να θεωρηθούν ως πηγές πυριτίου, σιδήρου ή αργιλίου αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, οι άμμοι, οι ψαμμίτες και άλλα χαλαζιακά υλικά δρουν ως φορείς πυριτίου. Ιδιαίτερη σημασία για την επιλογή του σωστού φορέα πυριτίου παίζουν το μέγεθος του κόκκου και η ειδική επιφάνεια του πυριτίου σε ελεύθερη μορφή.

➤ Δείκτες οξειδίων

Το μείγμα πρώτων υλών συνίσταται από τα οξείδια CaO, Al₂O₃, SiO₂ και Fe₂O₃. Αυτά συνιστούν το 90% του μείγματος. Κάθε συστατικό του μείγματος των πρώτων υλών έχει τη δική του ανεξάρτητη επίδραση στην παραγωγική διαδικασία και στην ποιότητα του κλίνκερ και κατ' επέκταση του τσιμέντου. Η αναλογία όμως στην οποία υπάρχουν τα τέσσερα κύρια οξείδια, κινείται μέσα σε συγκεκριμένες τιμές που οριοθετούν τους κύριους δείκτες (Πυριτικός, Αργιλικός, Βαθμός κορεσμού σε άσβεστο, Υδραυλικός), οι οποίοι έχουν ιδιαίτερη σημασία για την παραγωγή του τσιμέντου, καθόσον επηρεάζουν άμεσα τόσο την ποιότητα του κλίνκερ όσο και τη λειτουργική κατάσταση της περιστροφικής καμίνου. Μέσω των τιμών των δεικτών, γίνεται επίσης η αυτόματη διόρθωση της σύστασης του μείγματος και με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται όλο το κύκλωμα της παραγωγής μιας τσιμεντοβιομηχανίας.



Σχήμα 3.1.1: Αναλογίες δύο πρώτων υλών για την παραγωγή κοινού τύπου τσιμέντου.^[1]

4. ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΥΣΙΜΕΣ ΥΛΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Η πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 1970 είχε ως αποτέλεσμα τη μεγάλη διάδοση στερεών καυσίμων, τα οποία υιοθετήθηκαν από τη βιομηχανία τσιμέντου που είναι κατεξοχήν ενεργειοβόρος. Η χρησιμοποίηση άνθρακα στις περιστροφικές καμίνους, όσο καλής ποιότητας και αν είναι αυτός, έχει ως συνέπεια την περίπου 100% απορρόφηση της τέφρας του (που προέρχεται από την καύση του ανόργανου μέρους του άνθρακα) και την μικρή τροποποίηση της σύστασης των πρώτων υλών. Η παραγωγή τσιμέντου καταναλώνει μεγάλες ποσότητες μη ανανεώσιμων πρώτων υλών, ορυκτών καυσίμων και επιπλέον αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπών CO₂.

Γενικά, με τον όρο ορυκτά καύσιμα εννοούμε τα καύσιμα εκείνα που προέρχονται από φυσικές πηγές όπως αναερόβια αποσύνθεση νεκρών θαμμένων οργανισμών. Η ηλικία των νεκρών οργανισμών που με την εναπόθεσή τους σχηματίζουν τα ορυκτά καύσιμα κυμαίνεται από μερικά εκατομμύρια μέχρι 650 εκατομμύρια χρόνια. Στα ορυκτά καύσιμα ανήκουν διάφοροι τύποι ορυκτών ανθράκων, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις διαταξεις των περιστροφικών καμίνων των τσιμεντοβιομηχανιών διακρίνονται σε:

- ➔ Αέρια καύσιμα, κυρίως φυσικό αέριο (κύριο συστατικό το μεθάνιο). Είναι το φθηνότερο από τα άλλα αέρια (π.χ αέριοι υδρογονάνθρακες βαρύτεροι του αιθανίου C₂H₆ , που παράγονται από την απόσταξη πετρελαίου) και έχει μεγάλη θερμογόνο δύναμη λόγω και του περιεχομένου υδρογόνου. Για τη χρήση τους ενδιαφέρει η χημική τους σύσταση, η θερμογόνος δύναμή τους , η ποσοστιαία (%) περιεκτικότητά τους σε S και η περιεκτικότητά τους σε N₂, CO₂, H₂O. Χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή τσιμέντου εξαιτίας του ότι παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερα πλεονεκτήματα έναντι των άλλων ορυκτών καυσίμων:
- (1) Δεν χρειάζεται καμιά προετοιμασία, ξήρανση, λειοτριβήση ή προθέρμανση, κάτι που ισχύει για τα στερεά και τα υγρά.
 - (2) Η καύση πραγματοποιείται μόλις αναμειχθεί με την κατάλληλη ποσότητα αέρα και η θερμοκρασία έναυσης φτάσει στην επιθυμητή τιμή της.
 - (3) Η ατμόσφαιρα στη ζώνη καύσης είναι διαυγής συγκρινόμενη με αυτή που εμφανίζεται στις περιπτώσεις καύσης πετρελαίου ή άνθρακα.
 - (4) Χρησιμοποιούνται απλά συστήματα καύσης, τα οποία δεν χρειάζονται ιδιαίτερη συντήρηση.
 - (5) Παρουσιάζουν περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Οι εκπομπές αερίων και ιδίως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι μικρότερες σε σχέση με τα άλλα καύσιμα, επομένως έχουμε μικρότερη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας.
 - (6) Άλλο ένα πλεονέκτημα της έναυσης του φυσικού αερίου, είναι η μη αναγκαιότητα σημαντικής ποσότητας αρχικού αέρα, ώστε η δευτερογενής παροχή θερμού αέρα χρησιμοποιείται αποκλειστικά στην καύση μέσα στην κάμινο.

➔ **Υγρά καύσιμα:** Χρησιμοποιούνται στην τσιμεντοβιομηχανία κυρίως λόγω χαμηλού κόστους. Χαρακτηρίζονται αποκλειστικά τα βαρέα κλάσματα της απόσταξης αργού πετρελαίου (ντήζελ, κηροζίνη, μαζούτ, ορυκτέλαια κλπ), τα οποία εμφανίζουν μεγάλο ιξώδες, επειδή είναι παχύρευστα, απαιτούν ιδιαίτερη προετοιμασία (προθέρμανση για να μειωθεί το ιξώδες τους) και προσοχή για την ικανοποιητική τους "εκνέφωση" ώστε να προκληθεί η έναυσή τους. Σημαντικός παράγοντας για την καλή λειτουργία της καμίνου, αποτελεί η πρόκληση καλής εκνέφωσης (μικρό μέγεθος σταγονιδίων) των υγρών καυσίμων. Για να προκληθεί εκνέφωση, απαιτείται επαρκής συμπίεση και κατάλληλο ακροφύσιο. Η ατελής εκνέφωση (μεγάλο μέγεθος σταγονιδίων καυσίμου) έχει ως αποτέλεσμα ατελή καύση και δημιουργία επικάθισης μέρους του "μη καμμένου" πετρελαίου στα τοιχώματα της περιστροφικής καμίνου και ανεπιθύμητη ανάμειξη με την κατεργαζόμενη τροφοδοσία. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους που εξετάζονται για τη χρήση τους ως καυσίμων είναι:

1. Η θερμογόνος δύναμη
2. Το ιξώδες
3. Η πτητικότητά τους
4. Το στερεό υπόλειμμα της καύσης και η περιεκτικότητά τους σε τέφρα
5. Η περιεκτικότητά τους σε H_2O
6. Οι επί τοις εκατό περιεκτικότητές του σε S (θείο) και σε μεταλλικά συστατικά (Pb, V, Ni, Cu).

➔ **Στερεά καύσιμα:** Χαρακτηρίζονται οι παντός είδους ορυκτοί άνθρακες, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τσιμεντοβιομηχανία για την παραγωγή ενέργειας (θερμότητα). Οι ορυκτοί άνθρακες κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- ανθρακίτες, είναι οι γεωλογικά παλαιότεροι άνθρακες με σημαντικό ποσοστό άνθρακα, μικρό ποσοστό πτητικών συστατικών και πρακτικά χωρίς υγρασία.
- βιτουμενιούχους άνθρακες, είναι άνθρακες ενδιάμεσης θερμογόνου δύναμης.
- λιγνίτες, είναι οι γεωλογικά νεώτεροι άνθρακες, με χαμηλό ποσοστό μόνιμου άνθρακα, σημαντικό ποσοστό πτητικών, υγρασίας και τέφρας μετά την καύση.

Η χημική σύσταση των ανθράκων έχει σημαντική επίδραση στην καύση τους και οι ιδιότητές τους διακρίνονται σε φυσικές και χημικές.

Φυσικές: - Η θερμογόνος δύναμη ή το θερμικό τους δυναμικό

- Το ποσοστό υγρασίας του καυσίμου
- Η περιεκτικότητά τους σε πτητικά (volatiles %)
- Η περιεκτικότητά τους σε τέφρα (ανόργανες ύλες)

Χημικές: - Η περιεκτικότητά τους σε άνθρακα

- Η περιεκτικότητά τους σε οξυγόνο
- Η περιεκτικότητά τους σε θείο
- Η περιεκτικότητά τους σε υδρογόνο

Το ποσοστό υγρασίας των ανθράκων κυμαίνεται από 0,5-10% και θεωρείται ως μειονέκτημα των ανθράκων, επειδή αντικαθιστά μέρος της καύσιμης ύλης και μειώνει τη θερμογόνου δύναμή τους.

Τα πτητικά συστατικά των ανθράκων μπορεί να είναι εύφλεκτα αέρια, μεθάνιο, υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, αλλά και μη εύφλεκτα αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα και οξείδια του αζώτου. Μεγάλη περιεκτικότητα σε πτητικά συμβάλλει στην ευκολότερη ανάφλεξη των ανθράκων.

Πίνακας 4.1: Είδος και θερμογόνος δύναμη συμβατικών καυσίμων τσιμεντοβιομηχανίας.^[1]

Συμβατικά καύσιμα τσιμεντοβιομηχανίας	Θερμογόνος δύναμη GJ/tonne
Άνθρακας (6000kcal/kg)	25.3
Petcoke	33.7
Μείγμα άνθρακα-Petcoke	29

Πίνακας 4.2: Είδη συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην τσιμεντοβιομηχανία.^[1]

Είδος καυσίμου	Ποσοστό%
Petcoke	50.5
Άνθρακες	24
Πετρέλαιο και βαρέα κλάσματα (μαζούτ)	5
Λιγνίτης και άλλα είδη στερεών καυσίμων	5.5
Φυσικό αέριο	1

5. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Η εξάντληση των φυσικών πρώτων υλών και η επείγουσα ανάγκη για διατήρησή τους, έκανε επιτακτική την αναζήτηση τρόπων και μέσων για τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων στη βιομηχανία τσιμέντου. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί αξιόλογη πρόοδος στο σχεδιασμό και την κατασκευή εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν τέτοια καύσιμα. Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στη βιομηχανία τσιμέντου έχει καθιερωθεί στις περισσότερες από τις ανεπτυγμένες χώρες τα τελευταία 15 χρόνια, με πρωταγωνιστές κυρίως τις Ιαπωνία, Ελβετία, Η.Π.Α, Βέλγιο, Γερμανία και Γαλλία. Για την ώρα άνω του 10% των καυσίμων που καταναλώνει η βιομηχανία τσιμέντου στην Ευρώπη είναι μη συμβατικά. Περίπου το ένα τρίτο των περιστροφικών καμίνων σε λειτουργία (περί τις 150 από τις 450 συνολικά εν ενεργεία) χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα σε ποσότητες που αντιστοιχούν σχεδόν σε 3×10^6 t ισοδύναμου άνθρακα. Η δυναμική της αλλαγής από παραδοσιακά σε μη συμβατικά καύσιμα μπορεί να συμπεριλάβει πρακτικά όλη την ενέργεια που καταναλώνεται σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, η οποία ανέρχεται περί τα 30×10^6 t καυσίμων ετησίως. Ανάλογα με την τιμή του καυσίμου, η συμμετοχή του στην διαμόρφωση του εργοστασιακού κόστους είναι σήμερα της τάξης του 25%. Αν και η σημερινή κατάσταση δεν αναμένεται να αλλάξει ριζικά τα επόμενα χρόνια, εν τούτοις προσδοκάται μια μέση τιμή αντικατάστασης στερεών από εναλλακτικά καύσιμα της τάξεως του 20%, που ισοδυναμεί με κατανάλωση 6×10^7 t οργανικών παραπροϊόντων ετησίως.

Στον Πίνακα 5.1 δίνεται ένας κατάλογος εναλλακτικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία τσιμέντου.

Πίνακας 5.1: Παραδείγματα υλικών που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα.^{16]}

Βιομηχανικά απόβλητα	<ul style="list-style-type: none"> -Πετρελαιοειδή, λιπαντικά -Ιλύς από την παραγωγή ασφάλτου -Απόβλητα χημικής βιομηχανίας -Απόβλητα άνθρακα από μονάδες παραγωγής λιπασμάτων -Διαλύτες
Συνθετικά Υλικά	<ul style="list-style-type: none"> -Επαναχρησιμοποιημένα ελαστικά -Πλαστικά -Πολυμερή -Σκόνη από την παραγωγή γραφίτη -Χρησιμοποιημένες μπαταρίες
Γεωργικά Απόβλητα	<ul style="list-style-type: none"> -Παραπροϊόντα από την αποφλοίωση ρυζιού, σιτηρών, καρύδας, κακάο -Παραπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου και χάρτου -Παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων
Ασβεστολιθικά υλικά	<ul style="list-style-type: none"> -Ασβεστόλιθος χαμηλής ποιότητας -Τέφρα καυσίμου τσιμεντοβιομηχανιών -Λάσπη ανθρακικών -Λάσπη καρβιδίων -Σκωρία υψικαμίνου -Κατάλοιπα ασφαλτούχων σχιστόλιθων -Οικοδομικά απόβλητα

Πίνακας 5.2: Παραδείγματα χρήσης εναλλακτικών καυσίμων από βιομηχανίες τσιμέντου στην Ευρωπαϊκή Ένωση.^{16]}

Παραπροϊόν	Χώρα	Συνολική κατανάλωση(t)
Υγρά καύσιμα (λιπαντικά, διαλύτες, χρώματα)	-Αυστρία -Βέλγιο -Γαλλία -Γερμανία -Ιταλία -Μεγάλη Βρετανία	600000
Χρησιμοποιημένα ελαστικά	-Αυστρία -Γαλλία -Γερμανία -Ιταλία, -Σουηδία -Μεγάλη Βρετανία	450000
Κατάλοιπα βιομηχανίας χαρτιού	-Αυστρία -Βέλγιο -Γαλλία	200000
Κατάλοιπα βιομηχανίας πολυμερών	-Αυστρία -Βέλγιο -Γαλλία -Γερμανία -Ιταλία -Σουηδία	250000

Πίνακας 5.3: Παραδείγματα τσιμεντοβιομηχανιών που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα.^[6]

Μονάδα	Είδος εναλλακτικού καυσίμου	Ποσοστό αντικατάστασης συμβατικού καυσίμου (%)	Κόστος επενδύσεων (x10 ⁶) (ευρώ)	Εξοικονόμηση ενέργειας (%)
Hisalba-Lorca, Ισπανία	Χρησιμοποιημένα ελαστικά, υγροί διαλύτες και έλαια	30	2	30
Marker Zementwerke GmbH, Γερμανία	Χρησιμοποιημένα ελαστικά, υγροί διαλύτες και έλαια	50	3.3	22
Italcementi Group, Βέλγιο	Χρησιμοποιημένα ελαστικά, υγροί διαλύτες και έλαια, πολυμερή, ορυκτό diatomite earth, ιλύς βιομηχανίας χάρτου	50	2	20
Gmundner Zementwerke, Αυστρία	Τεμαχισμένα ελαστικά, πολυμερή	30	1,8	20
Lemona, Ισπανία	Τεμαχισμένα ελαστικά	10	1,3	10
CCB Italcementi group, Βέλγιο	Τεμαχισμένα ελαστικά	15	1,7	9
Origny Rochefort, Γαλλία	Υγροί διαλύτες και έλαια, χρώματα, πολυμερή, ελαστικά, ιλύς βιομηχανίας χάρτου, υλικά συσκευασιών	43	20	30
MBM GmbH, Ahlen, Γερμανία	Αστικά απορρίμματα (RDF)	Έως και 70	-	30

Calaveras Cement California, Η.Π.Α	Ελαστικά	25	-	10
Blue Circle Cement, Atlanta, Η.Π.Α.	Ελαστικά	30	1.1	25
Arizona Portland Cement, Arizona, Η.Π.Α.	Ελαστικά	10	-	-
Blue Circle Cement, Staffordshire, Ηνωμένο Βασίλειο	Τεμαχισμένα ελαστικά	28	3.3	10

Πίνακας 5.4: Ποσοστό % υποκατάστασης συμβατικών από εναλλακτικά καύσιμα στην τσιμεντοβιομηχανία σε διαφορες χώρες.¹²⁷¹

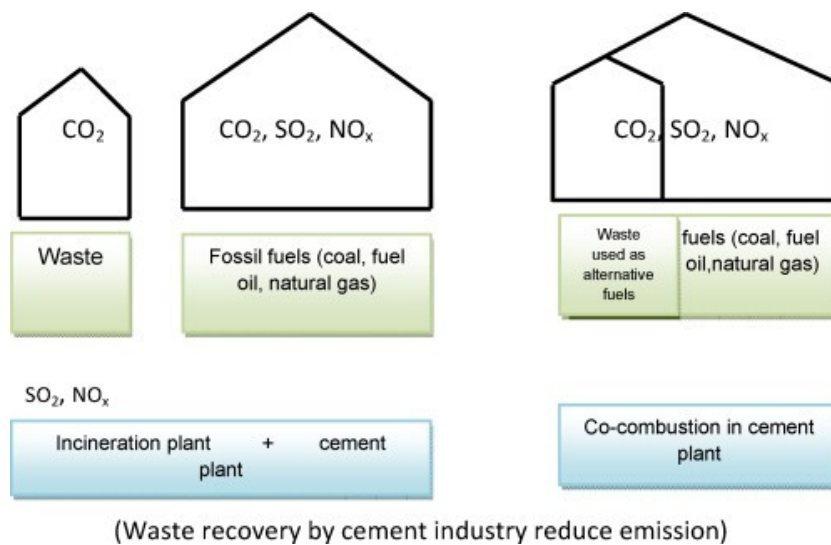
Ολλανδία	83
Ελβετία	47.8
Αυστρία	46
Νορβηγία	35
Γαλλία	34.1
Βέλγιο	30
Γερμανία	42
Σουηδία	29
Λουξεμβούργο	25
Τσεχία	24
Ε.Ε (πριν την ενσωμάτωση των υπόλοιπων χωρών το έτος 2004)	12
Ιαπωνία	10
Η.Π.Α	8
Αυστραλία	6
Ηνωμένο Βασίλειο	6
Δανία	4
Ουγγαρία	3
Φινλανδία	3
Ιταλία	2.1
Ισπανία	1.3
Πολωνία	1
Ιρλανδία	0
Πορτογαλία	0
Ελλάδα	< 1%

5.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΕ ΚΑΜΙΝΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Όπως αναλύεται λεπτομερώς παρακάτω, τα οφέλη από την καύση εναλλακτικών καυσίμων στα εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου είναι πολλά. Ωστόσο μπορούν να επιτευχθούν μόνο με σωστό προγραμματισμό.

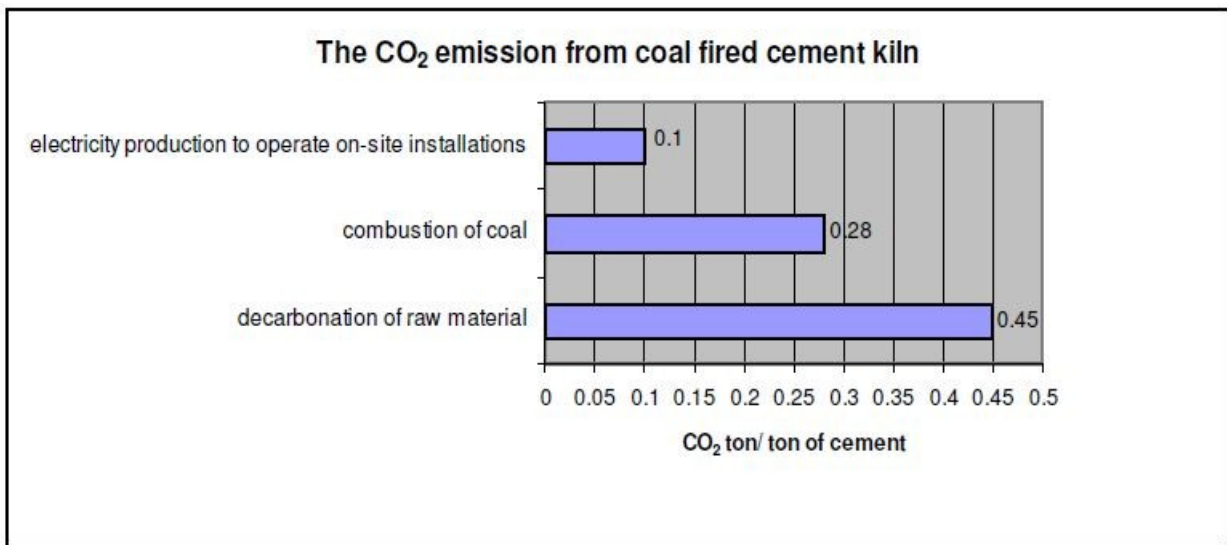
Περιβαλλοντικά οφέλη:

- i) Η χρήση ορυκτών πρώτων υλών, ως καυσίμων, στην τσιμεντοβιομηχανία έχει αρνητική επίδραση στο περιβάλλον. Αντίθετα η χρήση αποβλήτων ως καύσιμα μειώνει τη χρήση των μη ανανεώσιμων ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας, με αποτέλεσμα να αποτρέπεται η εξάντληση των πόρων των μη ανανεώσιμων ορυκτών καυσίμων που χρειάζονται πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα για να δημιουργηθούν.
- ii) Η χρήση των εναλλακτικών καυσίμων, έχει τη δυνατότητα να μειώσει τον όγκο των αερίων στο περιβάλλον, με την αντικατάσταση της χρήσης των συμβατικών ορυκτών καυσίμων με υλικά που σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καίγονται σε ειδικό ξεχωριστό καυστήρα, με τις αντίστοιχες εκπομπές και τα αντίστοιχα τελικά υπολείμματα. Έχει αποδειχθεί, ότι η αντικατάσταση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων με εναλλακτικά που προέρχονται από απόβλητα, μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη βιώσιμη ανάπτυξη μέσω της μείωσης της παγκόσμιας επιβάρυνσης των αερίων του θερμοκηπίου, όπως το CO₂.
Ως εκ τούτου, επιβραδύνεται η κλιματική αλλαγή, κάτι που είναι στόχος του Κιότο (πρωτόκολλο το οποίο έχει υπογραφεί από σχεδόν 200 κράτη και έχει ως στόχο τη μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την άμεση μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου). Οι βιομηχανίες τσιμέντου, ευθύνονται για το 5% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, το 50% περίπου, των οποίων οφείλονται στην καύση ορυκτών καυσίμων. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1.2, σε ένα εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου καύσης άνθρακα, εκπέμπονται 0.83 τόνοι CO₂, όταν παράγεται ένας τόνος τσιμέντου, το 54% από αυτό οφείλεται στην πύρωση του ασβεστόλιθου, το 34% στην καύση του άνθρακα και το υπόλοιπο 12% οφείλεται σε άλλες διεργασίες χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας που βοηθούν στην παραγωγή τσιμέντου.
- iii) Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων σε περιστροφικές καμίνους, μεγιστοποιεί την ανάκτηση ενέργειας από τα απόβλητα. Όλη η ενέργεια χρησιμοποιείται απ' ευθείας στην κάμινο για την παραγωγή κλίνκερ. Επίσης, όταν τα καύσιμα αυτά καίγονται στις καμίνους, το ανόργανο μέρος τους δεσμεύεται στην κρυσταλλική δομή του κλίνκερ υποδεικνύοντας όλη την ανάκτηση των αποβλήτων. Σε αντίθεση με τις ειδικές εγκαταστάσεις καύσης αποβλήτων, δεν παράγεται κανένα υγρό απόβλητο και όλα τα στερεά ανακυκλώνονται εντός της καμίνου. Ως εκ τούτου, δεν υπάρχει ανάγκη για ξεχωριστή διάθεση της τέφρας και της σκωρίας.



Σχήμα 5.1.1: Πλεονεκτήματα από την ταυτόχρονη καύση εναλλακτικών καυσίμων σε ένα εργοστάσιο τσιμέντου.^[13]

- iv) Τα εναλλακτικά καύσιμα είναι ουσιαστικά τα απόβλητα από διάφορες βιομηχανικές ή γεωργικές διεργασίες. Λόγω του μεγάλου τους όγκου και ενδεχομένως της τοξικότητάς τους, αποτελούν για πολλές χώρες μια σημαντική πρόκληση διαχείρισης στερεών αποβλήτων. Σε όλες τις περιπτώσεις, τα υλικά αυτά των αποβλήτων θα κατέληγαν είτε σε χωματερές είτε θα καίγονταν σε ειδικούς αποτεφρωτήρες. Με τη χρησιμοποίηση της προϋπάρχουσας υποδομής των καμίνων και της ζήτησης ενέργειας, οι κάμινοι προσφέρουν μια ασφαλή εναλλακτική λύση από τη συμβατική διάθεση των αποβλήτων σε ειδικές εγκαταστάσεις αποτέφρωσης ή σε χώρους υγειονομικής ταφής. Αυτό οδηγεί σε μείωση του αριθμού των νέων χώρων διάθεσης, τον περιορισμό της επέκτασης των υφιστάμενων χώρων και αποφυγή της ανάγκης για τη δημιουργία εξειδικευμένης εγκατάστασης καύσης των υλικών που ενδέχεται να έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Επιπλέον, οι ειδικοί αποτεφρωτήρες αποβλήτων δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί μετατροπείς του θερμικού περιεχομένου των αποβλήτων, σε αντίθεση με τις καμίνους τσιμέντου που προσεγγίζουν το 100% σε απόδοση.



Σχήμα 5.1.2: Εκπομπές CO₂ για περιστροφικές καμίνους που λειτουργούν με καύσιμο ορυκτούς άνθρακες .^[16]

Επιπρόσθετα στα προαναφερθέντα περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων για την παραγωγή τσιμέντου, υπάρχουν πολλά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη που μπορούν να παρατηρηθούν.

Οικονομικά και κοινωνικά οφέλη:

- i) Μείωση του κόστους παραγωγής τσιμέντου, που έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας της βιομηχανίας. Τα εργοστάσια τσιμέντου συχνά μισθώνονται για να δεχθούν να χρησιμοποιήσουν εναλλακτικά καύσιμα. Άλλες φορές τα καύσιμα μπορεί να αποκτηθούν δωρεάν ή σε πολύ χαμηλότερο κόστος από ότι το αντίστοιχο για τον άνθρακα.
- ii) Μείωση του κόστους χρήσης του αποτεφρωτήρα ή του κόστους διάθεσης των αποβλήτων.
- iii) Μείωση των εκπομπών των αερίων που συμβάλλουν στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έτσι το εργοστάσιο έχει την ευκαιρία να κερδίζει πιστώσεις άνθρακα, μέσω του Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης (ανήκει στο πρωτόκολλο του Κιότο, με σκοπό η μείωση ή η διακοπή εκπομπών CO₂ από τα εργοστάσια να ανταμοίβεται).
- iv) Η συλογή, η διαχείριση και η μεταφορά των εναλλακτικών καυσίμων στα εργοστάσια τσιμέντου, δίνει τη δυνατότητα της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας και ευκαιρίες απασχόλησης στις τοπικές κοινωνίες.

Στον Πίνακα 5.1.1 αναφέρονται συγκεντρωτικά μερικά οφέλη από τη χρήση διάφορων εναλλακτικών πρώτων υλών, στην παραγωγή τσιμέντου.

Πίνακας 5.1.1: Οφέλη από τη χρήση εναλλακτικών πρώτων υλών για την παραγωγή τσιμέντου.^[2]

Εναλλακτική πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται	Υλικό προς αντικατάσταση	Οφέλη
Ασβεστούχος λάσπη	Ασβεστόλιθος	-Διατήρηση αποθεμάτων ασβεστόλιθου -Βελτίωση απόδοσης άλεσης -Εξισσορόπηση θεικών -Μείωση εκπομπών CO ₂
Λάσπη από επεξεργασία ζάχαρης	Ασβεστόλιθος	-Διατήρηση αποθεμάτων ασβεστολίθου -Μείωση εκπομπών CO ₂
Οικοδομικά απόβλητα	Ασβεστόλιθος	-Διατήρηση αποθεμάτων ασβεστολίθου -Βελτίωση εψησιμότητας -Μείωση εκπομπών CO ₂
Σκωρίες	Ασβεστόλιθος και σιδηρούχα υλικά	-Διατήρηση αποθεμάτων σιδηρομεταλλευμάτων -Βελτίωση εψησιμότητας
Ερυθρά ιλύς	Σχιστόλιθος και σιδηρούχα υλικά	-Διατήρηση αποθεμάτων σιδηρομεταλλευμάτων -Βελτίωση εψησιμότητας
Βωξίτης	Σχιστόλιθος και σιδηρούχα υλικά	-Διατήρηση αποθεμάτων σιδηρομεταλλευμάτων -Βελτίωση εψησιμότητας

Πίνακας 5.1.1(συνέχεια)

Ιπτάμενη τέφρα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα	Σχιστόλιθος, πυριτική άμμος, σιδηρούχα υλικά	-Διατήρηση αποθεμάτων σχιστόλιθου -Μείωση αλκαλίων -Βελτίωση παραγωγής -Βελτίωση εησησιμότητας
Απόβλητα βιομηχανιών παραγωγής λιπασμάτων	Διορθωτικό υλικό	-Βελτίωση δραστικότητας -Εξοικονόμηση ενέργειας
Απόβλητα επεξεργασίας που περιέχουν Mo	Διορθωτικό υλικό	-Βελτίωση δραστικότητας -Εξοικονόμηση ενέργειας
Απόβλητα επεξεργασίας Zn	Διορθωτικό υλικό	-Βελτίωση δραστικότητας -Εξοικονόμηση ενέργειας
Τέφρα φλοιών ρυζιού	Πυριτική άμμος, σχιστόλιθος	-Βελτίωση παραγωγής -Βελτίωση εησησιμότητας -Εξοικονόμηση καυσίμου
Κατάλοιπα κατεργασίας ασφαλτούχων σχιστόλιθων	Σχιστόλιθος	-Διατήρηση αποθεμάτων σχιστόλιθου -Εξοικονόμηση καυσίμων ενέργειας
Άμμος χυτηρίου	Πυριτική άμμος	-Διατήρηση αποθεμάτων πυριτικής άμμου -Βελτίωση του σχηματισμού αλίτη
Τέφρα πυθμένα (πυθμένας λεβήτων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν άνθρακα ως καύσιμο)	Σχιστόλιθος, πυριτική άμμος, σιδηρούχα υλικά	-Διατήρηση αποθεμάτων σχιστόλιθου -Μείωση αλκαλίων -Βελτίωση εησησιμότητας

Βέβαια για να είναι αποδοτικά αυτά τα οφέλη από τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων στην παραγωγή τσιμέντου, πρέπει οι τσιμεντοβιομηχανίες να “βαδίζουν” σε κάποιες κατευθυντήριες αρχές. Στον παρακάτω Πίνακα φαίνονται ορισμένες από αυτές.

Πίνακας 5.1.2: Κατευθυντήριες αρχές για την συνεπεξεργασία εναλλακτικών καυσίμων σε καμίνους τσιμέντου.^[12]

<p>Η συνεπεξεργασία συμβατικών και εναλλακτικών καυσίμων, πρέπει να βασίζεται στην ιεράρχηση των αποβλήτων</p>	<p>-Τα απόβλητα πρέπει να χρησιμοποιούνται στις καμίνους αν και μόνο αν δεν υπάρχουν άλλοι πιο οικονομικοί και οικολογικοί τρόποι ανάκτησης -Η συνεπεξεργασία θα πρέπει να θεωρείται αναπόσπαστο μέρος της διαχείρισης των αποβλήτων -Η συνεπεξεργασία είναι σύμφωνη με τις διεθνείς περιβαλλοντικές συμφωνίες, της Βασιλείας και της Στοκχόλμης</p>
<p>Θα πρέπει να αποφεύγονται οι πρόσθετες εκπομπές και οι αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου</p>	<p>-Οι αρνητικές επιπτώσεις της ρύπανσης στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία πρέπει να προληφθούν ή να περιοριστούν στο ελάχιστο -Οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα από την καύση εναλλακτικών καυσίμων δεν μπορεί να είναι στατιστικά υψηλότερες από εκείνες στην καύση των παραδοσιακών καυσίμων</p>
<p>Η ποιότητα του τσιμέντου πρέπει να παραμένει αμετάβλητη</p>	<p>-Το προϊόν (κλίνκερ, τσιμέντο, σκυρόδεμα) δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ως μέρος όπου θα καταλήγουν τα βαρέα μέταλλα -Το προϊόν δεν πρέπει να έχει αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον</p>
<p>Οι εταιρείες που συνεπεξεργάζονται πρέπει να είναι εξειδικευμένες</p>	<p>-Να έχουν καλή περιβαλλοντική ασφάλεια και την διατήρηση αρχείων -Να έχουν προσωπικό, τις διαδικασίες και τα συστήματα ώστε να είναι σε θέση να δεσμευτούν για την προστασία του περιβάλλοντος, της υγείας και την ασφάλεια -Την εξασφάλιση συμμόρφωσης με όλους τους νόμους και τους κανονισμούς -Να μπορεί να ελέγχει όλες τις εισροές στην παραγωγική διαδικασία -Να διατηρεί καλές σχέσεις με τους δημόσιους και άλλους φορείς σε τοπικό, εθνικό και διεθνές σύστημα διαχείρισης αποβλήτων</p>
<p>Η εφαρμογή της συνεπεξεργασίας πρέπει να γίνεται με βάση τις εθνικές συνθήκες</p>	<p>-Οι ειδικές απαιτήσεις κάθε χώρας πρέπει να ανταποκρίνονται στους κανονισμούς -Η συνεπεξεργασία θα πρέπει να συνοδεύεται με άλλες αλλαγές στη διαδικασία διαχείρισης των αποβλήτων στη χώρα</p>

5.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΚΑΜΙΝΟΥΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Τα εναλλακτικά καύσιμα χρησιμοποιούνται εδώ και πάρα πολλά χρόνια και κερδίζουν όλο και μεγαλύτερο μερίδιο στην παγκόσμια αγορά ενέργειας. Χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες και σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ως υποκατάστατο για τα συμβατικά καύσιμα. Υπάρχουν πολλές κατηγοριοποιήσεις, βασισμένες σε διάφορες αρχές, για την ταξινόμηση των εναλλακτικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην τσιμεντοβιομηχανία.

Οι Eugeniusz Mokrzycki και Alicja Uliasz-Bochenczyk το 2003 κατέγραψαν ότι τα εναλλακτικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην τσιμεντοβιομηχανία ταξινομούνται, σύμφωνα με το κριτήριο συγκέντρωσης σε:

- Αέρια (π.χ φυσικό αέριο υγειονομικής ταφής, αέριο από πυρόλυση).
- Υγρά (π.χ απόβλητα, διαλύτες, χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια, λιπαντικά, απόβλητα από φαρμακευτικές και χημικές βιομηχανίες, υπολείμματα απόσταξης, πετροχημικά απόβλητα, τσιμεντολάσπη ασφάλτου, απόβλητα από διεργασίες βαφής).
- Στερεά {π.χ οστεοκρεατάλευρα, ελαστικά, χαρτί, καουτσούκ, πλαστικό, ηλεκτρονικά απορρίμματα, υπολείμματα γεωργικών διεργασιών (φλοιός καρύδας, υπολείμματα ζαχαροκάλαμου), ξύλο, οικιακά απορρίμματα, μέρη αυτοκινήτου}.

Υπάρχει όμως και η ταξινόμηση των εναλλακτικών καυσίμων σύμφωνα με τη Cembureau (Ευρωπαϊκή ένωση τσιμεντοβιομηχανιών) κατά την οποία διαχωρίζονται στις παρακάτω πέντε κατηγορίες:

- Κατηγορία 1: αέρια εναλλακτικά καύσιμα (π.χ αέρια δυλιστηρίων, αέρια χώρων υγειονομικής ταφής).
- Κατηγορία 2: υγρά εναλλακτικά καύσιμα (π.χ χρησιμοποιημένοι διαλύτες χαμηλής περιεκτικότητας σε χλώριο, υδραυλικά λάδια).
- Κατηγορία 3: λεπτόκοκκα ή λεπτά θρυμματισμένα στερεά εναλλακτικά καύσιμα (π.χ πριονίδι, ξηρά απόβλητα λάσπης, ζωικά άλευρα, καλά τεμαχισμένα ελαστικά).
- Κατηγορία 4: χονδροθρυμματισμένα στερεά εναλλακτικά καύσιμα (π.χ τεμαχισμένα ελαστικά, καουτσούκ, πλαστικά απόβλητα, ξύλα, επανασυσσωματωμένη οργανική ύλη).
- Κατηγορία 5: ογκώδη εναλλακτικά καύσιμα (π.χ ολόκληρα ελαστικά, πλαστικά δέματα).

Τα στερεά εναλλακτικά καύσιμα μπορούν να χωριστούν σε 4 ομάδες:

- ◆ Ομάδα 1: Στερεά, ξηρά καύσιμα από σχετικά μικρό μέγεθος τα οποία δεν είναι δυνατό να συσσωματώνονται με συμπίεση, (διαστάσεις: <2mm, υγρασία: < 10%-15%), π.χ σκόνη ξύλων, σκόνη φλοιών, φλοιοί ρυζιού.
- ◆ Ομάδα 2: Στερεά ξηρά καύσιμα, χονδροειδών μεγεθών τα οποία επίσης δεν είναι δυνατό να συσσωματώνονται με συμπίεση, (διαστάσεις: <20mm, υγρασία: < 10%-15%), π.χ πλαστικά απορρίματα, ροκανίδια, απόβλητα ξύλου.
- ◆ Ομάδα 3: Στερεά ξηρά καύσιμα, τα οποία μπορούν να συσσωματώνονται με συμπίεση, (διαστάσεις: <20mm, υγρασία: < 10%-15%), π.χ σκόνη οστεοκρεατάλευρου, εμποτισμένη σκόνη ξύλου).
- ◆ Ομάδα 4: Μείγματα διαφόρων καυσίμων, (διαστάσεις: <200mm, υγρασία: < 10%-15%), π.χ χαρτιά, χαρτόνια.

Υπάρχει επίσης ακόμα μια κατηγοριοποίηση των στερεών και υγρών εναλλακτικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τσιμέντου.

Τα στερεά καύσιμα χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

- (1) Φυτικές ή ενώσεις φυτικών προϊόντων (π.χ τύρφη, φλοιοί, πριονίδι κ.τ.λ).
- (2) Συνθετικά προϊόντα (π.χ χρησιμοποιημένα ελαστικά, απόβλητα καουτσούκ, πλαστικά κ.τ.λ).
- (3) Διάφορα άλλα (π.χ τεμαχισμένα τμήματα αυτοκινήτων, οικιακά σκουπίδια κ.τ.λ).

Τα υγρά καύσιμα χωρίζονται σε:

- (1) Υγρά καύσιμα υποκατάστασης: Αποσυντίθενται εύκολα και είναι ελαφρώς τοξικά (π.χ κατάλοιπα πετρελαίου).
- (2) Υγρά καύσιμα υποκατάστασης: Σταθερά τοξικά (π.χ πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, πολυχλωριωμένα διφαινύλια κ.τ.λ).

5.3. Γιατί είναι απαραίτητος ο χαρακτηρισμός πριν τη χρήση οποιουδήποτε εναλλακτικού καυσίμου.

Προτού οποιοδήποτε εναλλακτικό καύσιμο θεωρηθεί κατάλληλο για χρήση σε καμίνους τσιμέντου, θα πρέπει πρώτα να έχουν καθοριστεί τα χαρακτηριστικά του, οι επιπτώσεις του στην ποιότητα του κλίνκερ, ο όγκος των εκπομπών, προκειμένου να ληφθούν τα ανάλογα μέτρα για τη βέλτιστη θερμική καταστροφή του.

Η θερμογόνος δύναμη πρέπει να είναι σταθερή ώστε να επιτρέπει τον έλεγχο του ενεργειακού εφοδιασμού στην κάμινο. Ο Willitsch (2003) ανέφερε ότι για να επιτευχθεί συνεχής λειτουργία της τσιμεντοκαμίνου, η θερμογόνος δύναμη δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το όριο των 18MJ/kg καυσίμου. Ωστόσο, σε δευτερεύουσα καύση η θερμογόνος δύναμη θα μπορούσε να είναι κάτω από τα 10MJ/kg.

Όλα τα είδη, από υγρά έως στερεά, από σκόνη έως μεγάλα ογκώδη κομμάτια, μπορούν να αντιμετωπισθούν ως εναλλακτικά καύσιμα. Ως εκ τούτου, προκειμένου να επιτευχθούν σταθερά χαρακτηριστικά (αρκετά ομοιογενές) του υλικού μέσα στην κάμινο, κάποια καύσιμα απαιτούν προεπεξεργασία πριν από την χρήση. Ορισμένα πρέπει να ξηραθούν και να κονιοποιηθούν. Άλλα απαιτούν τεμαχισμό ή συμπίεση. Απλά η φυσική μορφή πρέπει να επιτρέπει την εύκολη διαχείριση του υλικού για τη μεταφορά και μια σταθερή, ρυθμιζόμενη ροή του υλικού στο εργοστάσιο τσιμέντου. Μερικοί τύποι καυσίμου, μπορούν να τροφοδοτηθούν μόνο σε συγκεκριμένα τμήματα του συστήματος και μπορεί να χρειαστούν εξειδικευμένα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου. Μπορούν να τροφοδοτούνται απ' ευθείας εντός της ζώνης καύσης της καμίνου στην ίδια ή στο στάδιο προθέρμανσης του συστήματος, για το διαχωρισμό μέρους των ανθρακικών αλάτων πριν εισέλθει το υλικό στην κάμινο για σχηματισμό κλίνκερ. Επίσης για ορισμένα καύσιμα είναι πιθανό να απαιτηθούν και τροποποιήσεις του καυστήρα.

Επιπλέον, η χημική ποιότητα του καυσίμου πρέπει να ικανοποιεί ορισμένα πρότυπα ώστε να εξασφαλίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο η προστασία του περιβάλλοντος. Ειδικά, όταν πρόκειται για καύσιμα που προέρχονται από απόβλητα, τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά διαφέρουν σημαντικά δεδομένου ότι συχνά είναι ετερογενή.

Η καύση των διαφόρων τύπων αποβλήτων απαιτεί τον λεπτομερή έλεγχο και την προσαρμογή των τεχνολογικών διεργασιών για κάθε τύπο απορριμμάτων. Για αυτό το λόγο, τα εναλλακτικά καύσιμα που προέρχονται από απόβλητα πρέπει να έχουν όμοια σύνθεση και ιδιότητες.

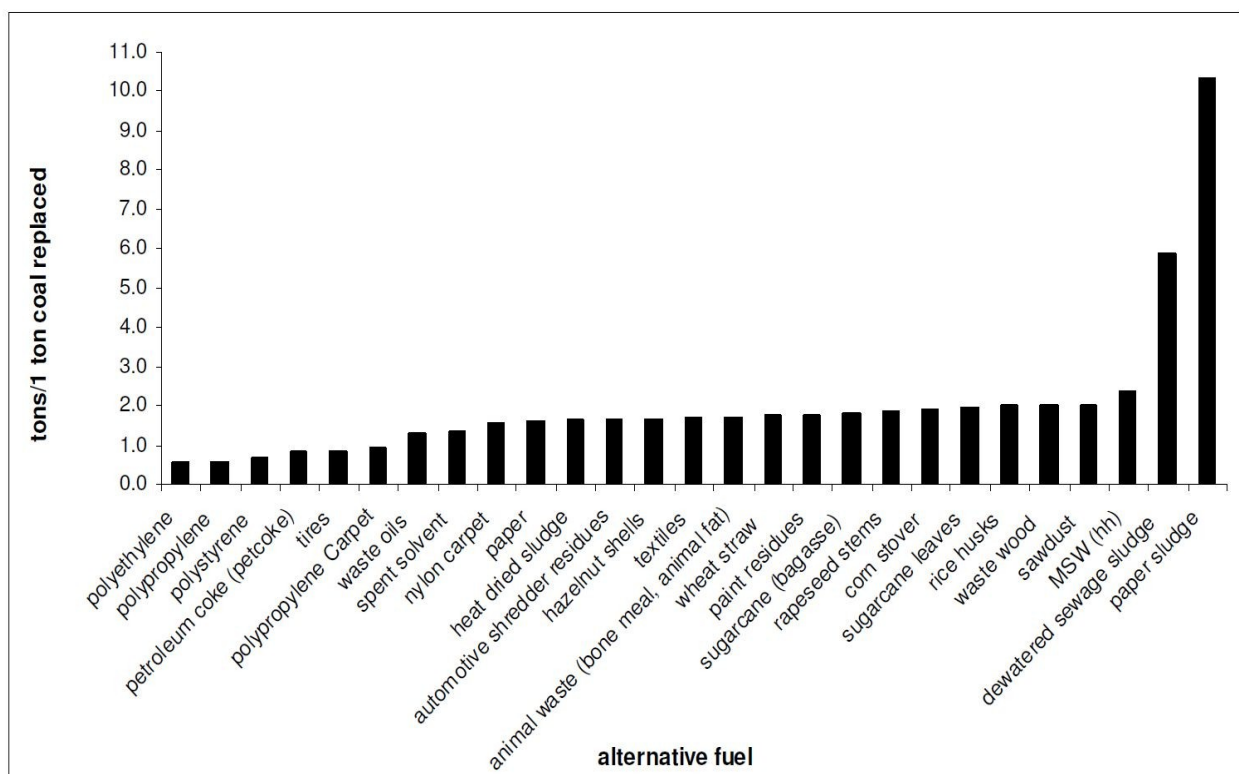
Οι ακόλουθες ιδιότητες είναι αυτές που πρέπει να εξετάζονται πριν από την καύση των εναλλακτικών καυσίμων:

- Η φυσική κατάσταση του καυσίμου (υγρό, στερεό, αέριο)
- Η περιεκτικότητα σε στοιχεία Na, K, Cl, S
- Η τοξικότητα (οργανικές ενώσεις, βαρέα μέταλλα)
- Η σύνθεση και η περιεκτικότητα σε τέφρα
- Η περιεκτικότητα σε πτητικά (chlorine < 0.2%, sulfur < 2.5%)
- Η θερμογόνος δύναμη (>14 MJ/kg)
- Οι φυσικές ιδιότητες (μέγεθος θραυσμάτων, πυκνότητα, ομοιογένεια)
- Η συμπεριφορά κατά την άλεση
- Η περιεκτικότητα σε υγρασία

Ως μείγμα διαφόρων αποβλήτων, τα εναλλακτικά καύσιμα πρέπει να παράγονται με βάση κάποιες προϋποθέσεις:

- ◆ Η χημική ποιότητα των καυσίμων πρέπει να πληροί τα πρότυπα διασφάλισης προστασίας του περιβάλλοντος
- ◆ Η θερμογόνο δύναμη πρέπει να είναι αρκετά σταθερή για να επιτρέπει τον έλεγχο της ενέργειας που παρέχεται στην κάμινο, ο στόχος είναι να καταλήξουμε σε μια αρκετά ομοιογενή σύνθεση
- ◆ Η φυσική μορφή πρέπει να επιτρέπει τον εύκολο χειρισμό του υλικού για τη μεταφορά και τη σταθερή και ρυθμιζόμενη ροή του υλικού στο εργοστάσιο τσιμέντου

Γενικά η ποσότητα ορυκτού άνθρακα ή η απαίτηση άλλων ορυκτών καυσίμων που αντικαθίστανται, εξαρτάται από την θερμογόνο δύναμη και την περιεκτικότητα σε υγρασία του εναλλακτικού καυσίμου σε σύγκριση με τον ορυκτό άνθρακα. Μια γενική εικόνα της ποσότητας (t) που απαιτείται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα φαίνεται στο Σχήμα 5.3.1 (Οι τιμές εξαρτώνται από την περιεκτικότητα του υλικού σε υγρασία. Η υποκατάσταση προϋποθέτει ο άνθρακας να έχει Κ.Θ.Δ 26.3 MJ/kg). Παρότι η χαμηλή πυκνότητα πολυαιθυλενίου δείχνει την ελάχιστη απαίτηση μάζας υλικού για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα, η λάσπη χρειάζεται μεγαλύτερες ποσότητες, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία.



Σχήμα 5.3.1: Τόνοι εναλλακτικού καυσίμου που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα.^[12]

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Οι παρακάτω ενότητες περιλαμβάνουν μια επισκόπηση των τύπων των εναλλακτικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις καμίνους παραγωγής τσιμέντου. Αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους, εστιάζοντας σε ενεργειακές και περιβαλλοντικές παραμέτρους. Για κάθε εναλλακτικό καύσιμο παρέχονται πληροφορίες με έμφαση στα φυσικά, χημικά χαρακτηριστικά, την προεπεξεργασία και αποθήκευση των υλικών, τη διακίνησή τους, τις απαιτούμενες συνθήκες κατά τη διαδικασία, τις επιπτώσεις των εκπομπών στο περιβάλλον και της ποιότητας των προϊόντων.

Με την αποδοχή και χρήση εναλλακτικών καυσίμων, οι τσιμεντοβιομηχανίες μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αειφόρο ανάπτυξη και στις στρατηγικές διαχείρισης των στερεών αποβλήτων σε πολλές κοινωνίες. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για χώρες με μεγάλη δυναμικότητα στην παρασκευή τσιμέντου, όπου ο αριθμός των εργοστασίων και η χωρική κατανομή τους μπορεί να διευκολύνει την αξιοποίηση των εναλλακτικών καυσίμων. Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η καύση εναλλακτικών καυσίμων σε ειδικές εγκαταστάσεις ή κλιβάνους τσιμέντου δεν πραγματοποιείται χωρίς πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως επιβλαβείς εκπομπές, γεγονός που πρέπει να αντιμετωπισθεί κατάλληλα από το εκάστοτε εργοστάσιο.

(a) Χλωρίο:

Η παρουσία του χλωρίου σε εναλλακτικά καύσιμα (π.χ. λάσπη καθαρισμού λυμάτων, αστικά στερεά απόβλητα ή τέφρα, χλωριωμένη βιομάζα) έχει τόσο άμεσες όσο και έμμεσες επιπτώσεις στις εκπομπές και την απόδοση της τσιμεντοκαμίνου. Έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι για τη σωστή διαχείριση των χλωριούχων ενώσεων και των επιπτώσεών τους, αλλά είναι σημαντικό οι επιπτώσεις αυτές να αναγνωρίζονται και να διαχειρίζονται κατάλληλα. Ο εντοπισμός επιπέδων χλωρίου σε υλικά τροφοδοσίας, μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό διαβρωτικών αερίων, όπως το υδροχλώριο (HCl) και το υδροφθόριο (HF). Ενώσεις χλωρίου, μπορούν να συγκεντρωθούν στις επιφάνειες της καμίνου και να οδηγήσουν σε διάβρωση. Εάν η περιεκτικότητα του καυσίμου σε χλώριο προσεγγίζει το 0.3%-0.5%, είναι απαραίτητο, για τις καμίνους, να λειτουργήσει μια παράκαμψη για την απομάκρυνση μέρους των καπναερίων, περιορίζοντας έτσι τις συγκεντρώσεις χλωρίου στο κλίνκερ. Η παράκαμψη των αερίων έχει ως αποτέλεσμα την πρόσθετη απαίτηση ενέργειας της τάξης των 20-25 kJ/ kg κλίνκερ.

(b) Βαρέα Μέταλλα:

Έχει αποδειχθεί ότι τα περισσότερα βαρέα μέταλλα που βρίσκονται στα καύσιμα ή τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται σε κλιβάνους τσιμέντου ενσωματώνονται αποτελεσματικά στο κλίνκερ, ή ελέγχονται με τυποποιημένες συσκευές ελέγχου των εκπομπών. Μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε για να δοκιμαστεί η κινητικότητα των βαρέων μετάλλων στο κλίνκερ, όταν εκτίθενται σε όξινες συνθήκες, διαπίστωσε ότι μόνο το κάδμιο (Cd) θα μπορούσε να ανιχνευθεί στο περιβάλλον, και σε επίπεδα κάτω των κανονικών προτύπων (5 ppm). Όσο οι κάμινοι τσιμέντου είναι σχεδιασμένες να ανταποκρίνονται σε πολύ αυστηρές προδιαγραφές λειτουργίας, έχει αποδειχθεί ότι η διαφορά εκπομπών βαρέων μετάλλων στα εργοστάσια που καίνε μόνο άνθρακα σε σύγκριση με αυτά που καίνε και εναλλακτικά καύσιμα είναι μικρή. Συνεπώς για τον έλεγχο των εκπομπών είναι απαραίτητη η αξιοποίηση των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνολογιών.

Ο υδράργυρος (Hg) και το κάδμιο (Cd) αποτελούν εξαίρεση στην ικανότητα ελέγχου των εκπομπών βαρέων μετάλλων. Είναι πτητικά, ειδικά υπό την παρουσία χλωρίου, και κατατιμίζονται πιο εύκολα στο καυσαέριο. Στις παραδοσιακές διαδικασίες αποτέφρωσης, οι εκπομπές Hg (και άλλων βαρέων μετάλλων) ελέγχονται ουσιαστικά με τον συνδυασμό ενός υγρού καθαριστήρα, έγχυση άνθρακα και ένα φίλτρο υφάσματος. Παρόμοιες επιλογές ελέγχου είναι υπό ανάπτυξη για τσιμεντοκαμίνους που προβλέπουν τη χρήση απορροφητικών υλικών για τη δέσμευση Hg. Προς το

παρόν, η χρήση διατάξεων ηλεκτροστατικών φίλτρων και σακκόφιλτρων αποτελούν την συνηθέστερη μεθοδολογία δέσμευσης, αλλά μπορούν να δεσμεύσουν μόνο περίπου το 25% με 50% των πιθανών εκπομπών Hg. Ο μόνος τρόπος για να ελεγχθεί αποτελεσματικά η απελευθέρωση αυτών των πτητικών μετάλλων από κλιβάνους τσιμέντου είναι να περιοριστούν οι συγκεντρώσεις τους στις πρώτες ύλες και στα καύσιμα. Η Giant Cement, μια από τις πρωτοπόρους εταιρείες χρησιμοποίησης επικίνδυνων αποβλήτων στις καμίνους τσιμέντου, στις Η.Π.Α, περιορίζει το περιεχόμενο Hg και Cd σε εναλλακτικά καύσιμα σε λιγότερο από 10ppm και 440ppm, αντίστοιχα. Αυτά τα όρια είναι σημαντικά χαμηλότερα από εκείνα για άλλα μέταλλα, όπως είναι ο μόλυβδος (Pb), το χρώμιο (Cr) και ο ψευδάργυρος (Zn), τα οποία μπορεί να είναι τόσο υψηλά όσο 2900, 7500, και 90.000 ppm, αντίστοιχα.

(c) Διοξίνες και φουράνια:

Ο σχηματισμός ανθεκτικών οργανικών ρύπων, όπως είναι οι πολυχλωριωμένες διβενζοδιοξίνες και τα πολυχλωριωμένα διβενζοφουράνια, γνωστά συλλογικά ως διοξίνες, αποτελεί μια από τις κύριες ανησυχίες για την παραγωγή τσιμέντου. Οι διοξίνες έχουν τη δυνατότητα να σχηματιστούν, αν υπάρχει χλώριο στο καύσιμο εισόδου ή στις πρώτες ύλες. Ωστόσο ο σχηματισμός μπορεί να κατασταλεί από τις υψηλές θερμοκρασίες και το μεγάλο χρόνο παραμονής του καυσίμου στην κάμινο. Περαιτέρω ελαχιστοποίηση του σχηματισμού διοξινών, επιτυγχάνεται με περιορισμό της συγκέντρωσης οργανικών ενώσεων στο μείγμα πρώτης ύλης, καθώς και με ταχεία ψύξη και συμπίκνωση των καυσαερίων σε υγρές και ξηρές καμίνους μακράς διάρκειας.

Η πραγματική συμβολή του τομέα παραγωγής τσιμέντου στις εκπομπές διοξινών παραμένει αμφιλεγόμενη, καθώς η επιστήμη της μέτρησης των εκπομπών αυτών είναι μάλλον εν τη γενέσει. Για παράδειγμα, οι καταγραφές διοξινών στην Ευρωπαϊκή Ένωση και η καταγραφή εκπομπών στην Αυστραλία, μέτρησαν ότι τα επίπεδα εκπομπών διοξινών κυμαίνονταν σε διάφορες τάξεις μεγέθους. Γενικά οι Η.Π.Α αποδίδουν ένα μεγαλύτερο μερίδιο των συνολικών εκπομπών διοξινών στον τομέα του τσιμέντου από ό,τι άλλες χώρες, όπως η Αυστραλία και αυτές της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Όσον αφορά τις εκπομπές διοξινών από την εκμετάλλευση εναλλακτικών καυσίμων, πολυάριθμες μελέτες που συγκρίνουν το σχηματισμό πολυχλωριωμένων διβενζοδιοξινών και πολυχλωριωμένων διβενζοφουρανίων σε καμίνους που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα και σε καμίνους που χρησιμοποιούν εναλλακτικά, δεν έχουν διαπιστώσει κάποια σημαντική διαφορά στον όγκο των εκπομπών. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι οι περιστροφικές κάμινοι που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα ανταποκρίνονται εύκολα στα πρότυπα εκπομπών. Για παράδειγμα, στη Γερμανία τροφοδότησαν σε ξηρούς κλιβάνους προθέρμανσης, που είναι εξοπλισμένοι με ηλεκτροστατικά φίλτρα, μη επικίνδυνα εναλλακτικά καύσιμα (π.χ χρησιμοποιημένα λάδια, ελαστικά) και δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική διαφορά στις εκπομπές πολυχλωριωμένων διβενζοδιοξινών και πολυχλωριωμένων διβενζοφουρανίων σε σύγκριση με τις εκπομπές από παραδοσιακά καύσιμα. Μέχρι πρόσφατα, οι συντελεστές εκπομπών πολυχλωριωμένων διβενζοδιοξινών και πολυχλωριωμένων διβενζοφουρανίων διαφοροποιούνταν μεταξύ των εργοστασίων που έκαιγαν ή δεν έκαιγαν επικίνδυνα απόβλητα. Η διάκριση αυτή πλέον έχει αντικατασταθεί με διαχωρισμό μεταξύ των τύπων των καμίνων και της θερμοκρασίας καύσης ώστε να καθορίζονται οι κατάλληλοι συντελεστές εκπομπών διοξινών.

ΒΙΟΜΑΖΑ

Η βιομάζα αποτελεί μια από τις ελπιδοφόρες εναλλακτικές λύσεις για την υποκατάσταση ποσοστού των συμβατικών καυσίμων η οποία θα συμβάλλει στη μείωση των αερίων ρύπων σε επιθυμητά επίπεδα. Ως βιομάζα θεωρούνται τα παραπροϊόντα της επεξεργασίας δασικού πλούτου, γεωργικών εκμεταλλεύσεων, καλλιεργειών ενεργειακών καυσίμων, βιομηχανιών επεξεργασίας τροφίμων, κτηνοτροφικών μονάδων κτλ. Η βιομάζα είναι διαθέσιμη σε μεγάλες ποσότητες, αλλά το ενεργειακό δυναμικό της είναι σχετικά χαμηλό σε σχέση με αυτό των ορυκτών καυσίμων. Τα τελευταία χρόνια η βιομάζα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο και στην παραγωγή τσιμέντου ως εναλλακτικό καύσιμο, όπως θα δούμε παρακάτω.

6.1. ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

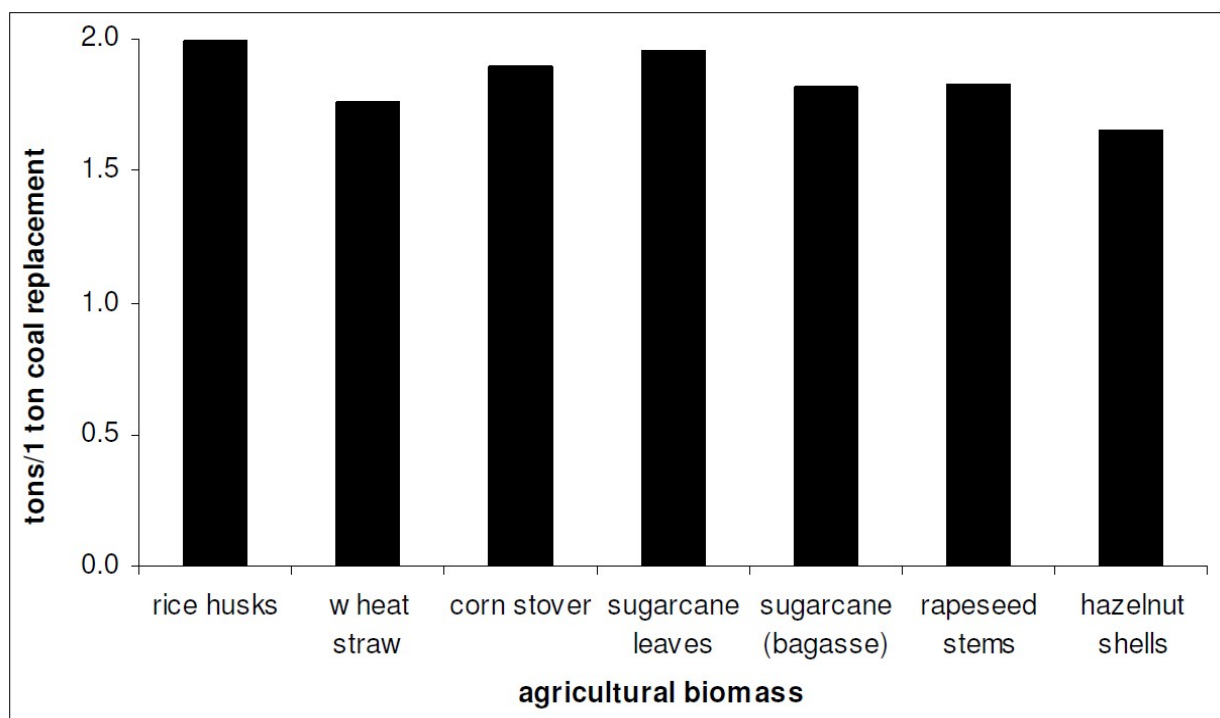
Σε παγκόσμιο επίπεδο τα υπολείμματα γεωργικής βιομάζας αντιπροσωπεύουν περίπου το 0.25% των υποκατάστατων καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τσιμέντου. Η χρήση υπολειμμάτων γεωργικής βιομάζας στη παραγωγή τσιμέντου, δεν απαντάται συχνά στις βιομηχανικές χώρες, αλλά φαίνεται να συγκεντρώνεται περισσότερο σε αναπτυσσόμενες χώρες με εκτεταμένες αγροτικές περιοχές, όπως η Ινδία, η Μαλαισία και η Ταϊλάνδη. Ακόμα και στις αναπτυσσόμενες χώρες, το μερίδιο της γεωργικής βιομάζας ως καύσιμο είναι κάτω από το 5%. Το είδος της βιομάζας που χρησιμοποιείται από τα εργοστάσια τσιμέντου βασίζεται κυρίως στις καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε τοπικό επίπεδο. Για παράδειγμα, φλοιοί ρυζιού, άχυρα σίτου και κοτσάνια καλαμποκιού είναι ευρέως διαθέσιμα και χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα. Επίσης, φλοιοί καρύδας, φύλλα και υπολείμματα ζαχαροκάλαμου, κελύφη φουντουκιού και ξηρών καρπών είναι μεταξύ των πολλών ποικιλιών της βιομάζας που καίγονται σήμερα σε καμίνους τσιμέντου.

-Ανάλυση υλικού

Ως γενικός κανόνας, ένα ποσοστό του 20% υποκατάστασης υπολειμμάτων γεωργικής βιομάζας για ορυκτά καύσιμα(σε θερμική βάση ενέργειας) είναι εφικτό σε καμίνους τσιμέντου. Η βιομάζα είναι εξαιρετικά μεταβλητή ως προς το θερμικό της δυναμικό, κάτι που καθιστά δύσκολη την επίτευξη σταθερότητας φλόγας και του ελέγχου της θερμοκρασίας στην κάμινο, ειδικά όταν χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερες αναλογίες. Ωστόσο έχουν επιτευχθεί και ποσοστά υποκατάστασης μεγαλύτερα από 50%, αλλά απαιτούνται καυστήρες που είναι ειδικά σχεδιασμένοι για καύση και διαχείριση βιομάζας.

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα τιμών όσον αφορά τη θερμογόνο δύναμη της γεωργικής βιομάζας. Η κατάταξη κατώτερης θερμογόνου δύναμης γεωργικής βιομάζας είναι 9.2-19.4 MJ/kg. Το κοτσάνι καλαμποκιού αντιπροσωπεύει τη χαμηλότερη ενώ τα υπολείμματα ζαχαροκάλαμου την υψηλότερη. Για τις ποικιλίες βιομάζας, όπως κοτσάνια καλαμποκιού, φλοιός ρυζιού, και άχυρο σίτου, που είναι τα πιο ευρέως διαθέσιμα και χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα, στη βιβλιογραφία καταγράφεται ένα τεράστιο εύρος τιμών θερμογόνο δύναμης.

Η ποσότητα υπολειμμάτων γεωργικής βιομάζας που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα εξαρτάται από τη θερμογόνο δύναμη του υπολείμματος και την περιεκτικότητά του σε υγρασία. Στο Σχήμα 6.1.1 φαίνονται οι τόνοι υπολειμμάτων γεωργικής βιομάζας που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα.



Σχήμα 6.1.1: Τόνοι γεωργικής βιομάζας που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα.^[12]

-Προεπεξεργασία, αποθήκευση και διακίνηση

Φλοιοί ρυζιού, υπολείμματα ζαχαροκάλαμου, καρύδας κτλ, μπορούν να αποθηκευτούν σε χώρους υπαίθριας απόθεσης. Η βιομάζα είναι επιρρεπής σε φυσικοχημικές μεταβολές με το χρόνο, για αυτό πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την προετοιμασία του υλικού πριν την τροφοδοσία. Σημαντικό είναι η βιομάζα να διατηρείται στον πυθμένα των εγκαταστάσεων αποθήκευσης, έτσι ώστε να τροφοδοτείται μέσα στην κάμινο πρώτα το παλαιότερο υλικό. Ακόμη, μπορεί τα τεμάχια των εναλλακτικών καυσίμων να χρειαστούν αποκονίωση. Στη συνέχεια τροφοδοτούνται στην είσοδο της καμίνου, του ασβεστοποιητή ή στον κύριο καυστήρα μέσω ενός μηχανικού μεταφορέα ή με εμφύσηση πεπιεσμένου αέρα.

-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας

Όλα τα είδη των καυσίμων έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά καύσης, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τα εργοστάσια τσιμέντου, ώστε να έχουν μια επιτυχημένη διαδικασία καύσης στην κάμινο. Η βιομάζα συχνά χρησιμοποιείται ως δευτερεύον καύσιμο, συνεπώς εγχύεται στον προθερμαντήρα κατά την δευτερεύουσα καύση. Η χαμηλή θερμογόνο δύναμη της βιομάζας μπορεί να προκαλέσει αστάθεια της φλόγας, κάτι που μπορεί να αντιμετωπισθεί με χαμηλότερα ποσοστά υποκατάστασης, έως 20%, την προσαρμογή ροής του αέρα και την προσαρμογή του σχήματος της φλόγας. Σχετικά με τη μεταφορά της βιομάζας, η συμπεριφορά ροής των διάφορων υλικών, είναι άκρως μεταβλητή, συνεπώς οι φορείς των καμίνων τσιμέντου πρέπει να επιλέγουν την καταλληλότερη μέθοδο εισαγωγής του καυσίμου μέσα σε αυτήν, που θα διευκολύνει μια σταθερή και κατάλληλη θερμογόνο δύναμη.

Μελέτες έχουν δείξει ότι η παρουσία αλογόνων (π.χ. χλώριο) που βρέθηκαν σε βιομάζα όπως σε άχυρα σίτου και φλοιούς ρυζιού μπορεί να προκαλέσουν επικαθίσεις και διαβρώσεις στην κάμινο. Ωστόσο, η βιομάζα που περιέχει αλογόνα είναι καλύτερη για ταυτόχρονη καύση με καύσιμα που περιέχουν θείο (όπως οι ορυκτοί άνθρακες), ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός

αλκαλικών και χλωριούχων ενώσεων επί των κλιβάνων και συνεπώς να προλαμβάνεται η διάβρωσή τους. Ωστόσο, η απόθεση υπερβολικής ποσότητας τέφρας μπορεί να μειώσει την ταχύτητα μεταφοράς θερμότητας στην κάμινο.

-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών

Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή τα καύσιμα βιομάζας θεωρούνται ουδέτερα σε άνθρακα, διότι ο άνθρακας που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης, απορροφάται από την ατμόσφαιρα και από τα φυτικά είδη κατά τη φάση ανάπτυξης τους (φωτοσύνθεση). Επειδή η ανάπτυξη της βιομάζας και η χρήση της ως καύσιμο γίνεται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, ολόκληρος ο κύκλος καύσης έχει μηδενική επίπτωση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Όταν η βιομάζα αναπτύσσεται αποκλειστικά για τη χρήση της ως καύσιμο, τα αέρια που ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι αυτά που οφείλονται στα λιπάσματα, τη συλλογή και τη μεταφορά της στις εγκαταστάσεις. Όταν χρησιμοποιούνται υπολείμματα βιομάζας, ως πηγές διοξειδίου του άνθρακα θεωρούνται μόνο τα λιπάσματα.

Βάσει παραδοχών, η βιομάζα αντισταθμίζει 2.5 τόνους διοξειδίου του άνθρακα για κάθε τόνο άνθρακα που αντικαθιστά. Η μάζα της βιομάζας που απαιτείται για να αντικαταστήσει ένα τόνο άνθρακα (ή άλλο καύσιμο) εξαρτάται από την κατώτερη θερμογόνο δύναμη της και την περιεκτικότητά της σε υγρασία, σε σύγκριση με εκείνα του άνθρακα. Η γεωργική βιομάζα έχει μια εξαιρετικά μεταβλητή θερμογόνο δύναμη και περιεκτικότητα σε υγρασία.

Εκτός βέβαια από το να χρησιμεύει ως αντισταθμισμα για τις μη ανανεώσιμες πηγές ορυκτών καυσίμων, η χρήση υπολειμμάτων της γεωργικής βιομάζας έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα της μείωσης των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου (NO_x). Εμπειρικά στοιχεία δείχνουν ότι οι μειώσεις στις εκπομπές NO_x οφείλονται στο γεγονός ότι μεγαλύτερο μέρος του αζώτου (N) στη βιομάζα απελευθερώνεται ως αμμωνία (NH_3) κάτι το οποίο δρα ως αναγωγικός παράγοντας με NO_x για το σχηματισμό αζώτου (N_2). Έχει ενδιαφέρον, ότι δεν φαίνεται να υπάρχει σχέση ανάμεσα στην περιεκτικότητα της βιομάζας σε άζωτο και τις μειώσεις εκπομπών NO_x . Όσον αφορά τις εκπομπές καύσης, αν και αυξάνονται οι εκπομπές σωματιδίων, η βιομάζα δεν περιέχει κανένα συστατικό το οποίο να μπορεί να σταθεροποιήσει τις εκπομπές της τσιμεντοκαμίνου. Προς το παρόν δεν υπάρχει τρόπος να εκτιμηθούν θεωρητικά οι μειώσεις των εκπομπών, καθώς δεν έχει κατανοηθεί ακόμη πλήρως ο μηχανισμός.

Στον Πίνακα 6.1.1 φαίνονται ορισμένα χαρακτηριστικά υπολειμμάτων βιομάζας που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα.

Να σημειωθεί ότι η μεταβολή εκπομπών CO_2 προϋποθέτει ότι η βιομάζα θεωρείται ουδέτερη σε άνθρακα (ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα) και οι αρνητικές τιμές μεταβολής CO_2 αντιπροσωπεύουν καθαρή μείωση των εκπομπών.

Πίνακας 6.1.1: Χαρακτηριστικά υπολειμμάτων γεωργικής βιομάζας ως εναλλακτικά καύσιμα.^[12]

Καύσιμο	Ποσοστό αντικατάστασης %	Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (GJ/ξηρό τόνο)	Περιεκτικότητα σε υγρασία %	Εκπομπές άνθρακα(τόνος C/τόνο)	ΔCO₂ (τόνος/τόνο άνθρακα αντικ/σης)
Φλοιός ρυζιού	35	13.2-16.2	10	0.35	-2.5
Άχυρα σίτου	20	15.8-18.2	7.3-14.2	0.42	-2.5
Κοτσάνια καλαμποκιού	20	9.2-15.4	9.4-35	0.28	-2.5
Φύλλα ζαχαρ/μου	20	15.8	<15	0.34	-2.5
Υπολείμμ. ζαχαρ/μου	20	14.4-19.4	10-15	0.39	-2.5
Ελαιοκράμβη	20	16.4	12.6	0.39	-2.5
Κελύφη φουντουκιού	20	17.5	9.2	0.48	-2.5
Κελύφη καρπών	20	11.9		0.36	-2.5

-Τοπικά ζητήματα

Η χωρική και χρονική κατανομή της βιομάζας αποτελεί σημαντικό παράγοντα όσον αφορά την αξιολόγηση της σκοπιμότητας και τα πιθανά οφέλη από τη χρήση του υλικού για την παραγωγή τσιμέντου. Σε περιπτώσεις όπου η βιομάζα είναι χωρικά διασκορπισμένη, όπως στην περίπτωση των χωρών όπου οι ιδιοκτήτες κατέχουν πολύ μικρές εκτάσεις γης, πρέπει οπωσδήποτε να ληφθούν υπόψη το κόστος μεταφοράς και οι εκπομπές του καυσίμου που σχετίζονται με τη μεταφορά του. Σε πολλές από αυτές τις περιπτώσεις, τα οφέλη μπορεί να είναι μεγαλύτερα, αν η βιομάζα κομποστοποιηθεί και χρησιμοποιηθεί για τον εμπλουτισμό του εδάφους ή πελλετοποιηθεί για την αγροτική θέρμανση από το να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικό καύσιμο για την παραγωγή τσιμέντου.

6.2. ΜΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η μη γεωργική βιομάζα υπολογίζεται περίπου στο 30% του συνόλου των εναλλακτικών καυσίμων υποκατάστασης σε καμίνους τσιμέντου με τα ζωικά υποπροϊόντα, συμπεριλαμβανωμένων των λιπών και των οστεοκρεαταλεύρων να αποτελούν το 20% του συνόλου. Άλλα είδη μη γεωργικής βιομάζας είναι η ιλύς κατεργασίας λυμάτων (λυματολάσπη), απόβλητα χαρτιού, το πριονίδι κτλ. Η χρήση της λυματολάσπης στη βιομηχανία τσιμέντου έχει υιοθετηθεί τα τελευταία χρόνια. Αντιπροσωπεύει σήμερα λιγότερο από το 2% της υποκατάστασης καυσίμων, αλλά είναι πιθανό να αυξηθεί κατά τα επόμενα χρόνια όσο αυξάνονται οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, αυξάνονται οι εναποθέσεις βιοστερεών στο έδαφος και οι χώροι υγειονομικής ταφής γίνονται όλο και πιο περιορισμένοι.

Στον Πίνακα 6.2.1 φαίνονται ορισμένα χαρακτηριστικά υλικών μη γεωργικής βιομάζας που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα.

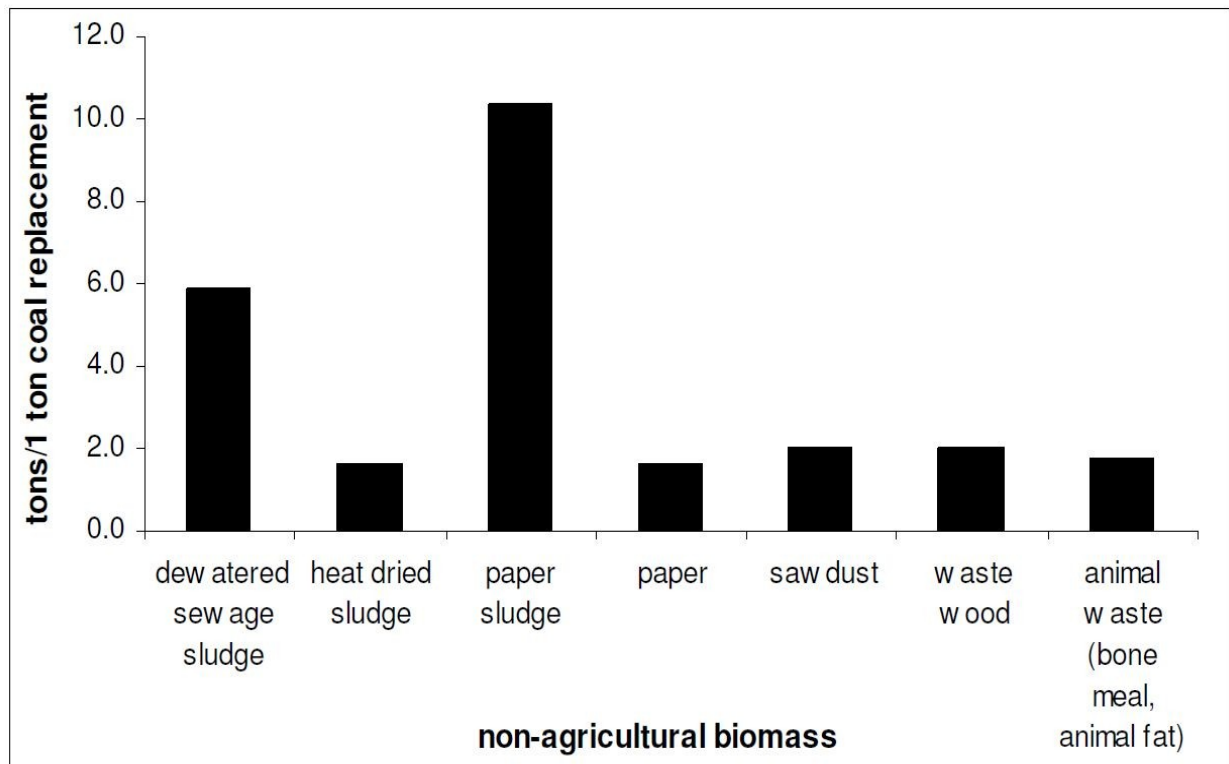
Πίνακας 6.2.1: Χαρακτηριστικά υλικών μη γεωργικής βιομάζας που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα.^[12]

Καύσιμο	Ποσοστό αντικατάστασης %	Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (GJ/ξηρό τόνο)	Περιεκτικότητα σε υγρασία %	Εκπομπές άνθρακα(τόνος C/τόνο)	ΔCO_2 (τόνος/τόνο άνθρακα αντι/σης)
Αφυδατωμένη λάσπη λυμάτων	20	10.5-29	75	0.08	-2.5
Ξηρή λάσπη λυμάτων	20	10.5-29	20	0.24	-2.5
Ιλύς χαρτιού	20	8.5	70	0.2	-2.5
Χαρτί	20	12.5-22		0.42	-2.5
Πριονίδι	20	16,5	20	0.38	-2.5
Απόβλητα ξύλου	20	15.5-17.4	33.3	0.34	-2.5
Λίπη, Οστεοκρεατάλευρα	20	16-19	15	0.29	-2.5

-Ενεργειακό δυναμικό

Όπως ισχύει και για τη γεωργική βιομάζα, υπάρχει ένα ευρύ φάσμα τιμών θερμογόνου δύναμης για τα υλικά μη γεωργικής βιομάζας. Η ιλύς χαρτιού, ένα παραπροϊόν του χαρτιού, αντιπροσωπεύει το κατώτερο όριο με κατώτερη θερμογόνο δύναμη 8.5 MJ/kg και η ξηρή λυματολάσπη αντιπροσωπεύει το ανώτερο με 29 MJ/kg. Το εύρος τιμών της θερμογόνου δύναμης της λυματολάσπης είναι πολύ μεγάλο και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των λυμάτων από τα οποία προέρχεται και από την επεξεργασία την οποία υφίσταται η λάσπη. Η επεξεργασμένη λάσπη έχει χαμηλότερη ενεργειακά περιεκτικότητα από ότι η ακατέργαστη. Το χαρτί είναι ένα υλικό με μεγάλο εύρος τιμών θερμογόνου δύναμης που κυμαίνεται από 12.5-22 MJ/kg. Απόβλητα χαρτιού και ζωικά υποπροϊόντα έχουν και αυτά υψηλή κατώτερη θερμογόνο δύναμη σε σχέση με άλλα υλικά μη γεωργικής βιομάζας (17 MJ/kg). Σε σύγκριση όμως με άλλα εναλλακτικά καύσιμα, όπως απόβλητα που προέρχονται από πετρέλαιο, χημικά απόβλητα κ.α, η μη γεωργική βιομάζα έχει μικρή θερμογόνο δύναμη. Η μη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα επιπλέον κίνητρο για τη χρήση της βιομάζας, ωστόσο απαιτούνται τεράστιες ποσότητες για την σημαντική αντιστάθμιση των συμβατικών καυσίμων.

Στο Σχήμα 6.2.1 φαίνονται οι τόνοι μη γεωργικής βιομάζας που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα σε μια κάμινο τσιμέντου.



Σχήμα 6.2.1: Τόνοι μη γεωργικής βιομάζας που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα.^[12]

-Επιπτώσεις εκπομπών

Η μη γεωργική βιομάζα, όπως και η γεωργική, θεωρείται ότι έχει μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα, δεν επιβαρύνει δηλαδή με διοξείδιο του άνθρακα την ατμόσφαιρα. Επομένως, η μείωση των εκπομπών του CO₂ ανά τόνο άνθρακα που αντικαθίσταται θεωρείται ίση για όλα τα μη γεωργικά υλικά βιομάζας. Φυσικά, για τα υλικά, όπως το ξύλο και τα απόβλητα χαρτιού, κάτι τέτοιο ισχύει μόνο αν τα δέντρα δεν προέρχονται από την εκκαθάριση των υπεραιωνόβιων δασών.

-Παρουσία Βαρέων Μετάλλων

Η παρουσία χλωρίου που υπάρχει σε μερικά υλικά μη γεωργικής βιομάζας, όπως το επεξεργασμένο ξύλο ή η λυματολάσπη από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων μπορεί να προκαλέσει εξάχνωση και διασπορά των βαρέων μετάλλων [όπως ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd) και ο μόλυβδος (Pb)]. Ο σχηματισμός πολυχλωριωμένων διβενζοδιοξίνων και πολυχλωριωμένων διβενζοφουρανίων είναι πιθανό να αυξηθεί εάν η βιομάζα περιέχει χρώματα, φυτοφάρμακα ή αντιρρυπαντικά μέσα. Τα επίπεδά τους ελέγχονται αποτελεσματικά με τη χρήση διαθέσιμων τεχνολογιών αποτέφρωσης και με κατάλληλες συσκευές ελέγχου εκπομπών.

-Τοπικά Ζητήματα

Τα προϊόντα μη γεωργικής βιομάζας, δεν υπόκεινται στις χρονικές ροές εφοδιασμού των υλικών γεωργικής βιομάζας. Επιπλέον, η χωρική κατανομή είναι πιο ομοιόμορφη από τη γεωργική βιομάζα διότι τα προϊόντα συχνά υποβάλλονται σε επεξεργασία (όπως ιλύς χαρτιού, ζωικά υποπροϊόντα κτλ). Οι αποφάσεις σχετικά με τη χρήση της μη γεωργικής βιομάζας ως υποκατάστατο καυσίμου θα πρέπει να βασίζονται και να συσχετίζονται με το πλαίσιο των άλλων δυνητικών χρήσεων για το υλικό. Δηλαδή, θα πρέπει να τηρείται η ιεράρχηση των αποβλήτων που περιγράφονται στις κατευθυντήριες αρχές για τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων στην παραγωγή τσιμέντου.

Για τα περισσότερα υλικά μη γεωργικής βιομάζας, οι πιο συνήθεις τρόποι διάθεσης είναι σε χώρους υγειονομικής ταφής ή άλλες μορφές θερμικής καταστροφής. Σε σύγκριση με άλλες διαδικασίες αποτέφρωσης για ανάκτηση ενέργειας, η τελική χρήση στην παραγωγή τσιμέντου, έχει το πλεονέκτημα της αξιοποίησης της προυπάρχουσας δομής και επιτρέπει στην τέφρα από την καύση να ενσωματωθεί στο κλίνκερ.

6.2.1.Χαρτί και ξύλο

Αν και η καλύτερη επιλογή για την αξιοποίηση του χρησιμοποιημένου χαρτιού είναι αναμφισβήτητα η ανακύκλωση, το χαρτί δεν μπορεί να ανακυκλώνεται απεριόριστα εξαιτίας της αντοχής των ινών η οποία μειώνεται. Τα απορρίμματα χαρτιού που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία τσιμέντου είναι κυρίως, δημοσιογραφικό χαρτί, γραφικό χαρτί, κουτιά και θήκες, χαρτόνια, χαρτί εκτυπωμένων περιοδικών, υπολείμματα από την παραγωγή ή την ανακύκλωση χαρτιού κτλ. Καύσιμα που έχουν ως κύριο συστατικό το ξύλο μπορεί να προέρχονται από ξύλα κατεδαφίσεων, απόβλητα κατασκευών, παλιά έπιπλα κ.τ.λ.

-Ανάλυση υλικού

Σε σύγκριση με άλλα καύσιμα υποκατάστασης, το χαρτί και το ξύλο έχουν χαμηλή θερμογόνο δύναμη, όμως ο παράγοντας του ότι δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον με εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δίνει ένα επιπλέον κίνητρο για τη χρησιμοποίησή τους στις καμίνους τσιμέντου. Το χαρτί έχει θερμογόνο δύναμη περίπου 12.5-22 MJ/kg, ενώ του ξύλου είναι περίπου 17 MJ/kg (βλ. Πίνακα 6.2.1).

Το υλικό πλήρωσης (filler), που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία χαρτιού, περιέχει ασβεστόλιθο και καολίνη, που λόγω ευνοϊκής σύστασης, είναι πραγματικά πολύ επωφελείς πρώτες ύλες για την παραγωγή τσιμέντου. Ωστόσο, το εμποτισμένο ξύλο ενδέχεται να είναι προβληματικό, δεδομένου ότι συνήθως περιλαμβάνει άλατα βαρέων μετάλλων, χρωμίου και αρσενικού, τα οποία επικάθηνται επί των τοιχωμάτων των κυττάρων της μήτρας του ξύλου. Επίσης, πρόβλημα μπορεί να προκληθεί στην παραγωγή τσιμέντου, όταν το χαρτί, η ιλύς χαρτιού ή τα ξύλινα υλικά είναι ρυπασμένα με χλώριο.

-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση

Σήμερα δεν έχουν εντοπιστεί εργοστάσια που ο μόνος τύπος εναλλακτικού καυσίμου που χρησιμοποιούν για την παραγωγή τσιμέντου να είναι απορρίμματα χαρτιού. Γενικά αν τα καύσιμα προέρχονται από αστικά στερεά απόβλητα, το χαρτί ανακατεύεται με μείγμα πλαστικών και μερικών άλλων υλικών και στη συνέχεια θραύονται σε μεγέθη της τάξεως των 10-20mm. Τα υπολείμματα ινών χαρτιού μπορεί να είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν επειδή απαιτούν ξήρανση. Στην περίπτωση που υπάρχει εμποτισμένο ξύλο, τότε αυτό διαχωρίζεται. Παρόλα αυτά, ενδεχομένως να είναι δύσκολο να διαχωριστεί το εμποτισμένο ξύλο, οπτικά ή μηχανικά, από το ακατέργαστο ιδίως αν τα ξύλα είναι πολύ παλιά. Στη συνέχεια τα ξύλινα υλικά συνθλίβονται σε μικρά τεμαχίδια, ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Ογκώδη τεμάχια που απαιτούν ελάττωση μεγέθους πρέπει να αποθηκεύονται σε καλυμμένες εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Συνήθως, οι αποθηκευτικές εγκαταστάσεις είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να προφυλάσσονται τα υλικά από την πρόσληψη υγρασίας, κάτι που μπορεί να προκαλέσει διαφοροποιήσεις στο ρυθμό τροφοδοσίας. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης πολλές φορές χρειάζονται συστήματα υγιεινής, όπως για παράδειγμα για τη μείωση των οσμών. Στην περίπτωση που υπάρχει στεγνό χαρτί στον χώρο αποθήκευσης, είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων καταστολής της σκόνης και συστημάτων πυρανίχνευσης και κατάσβεσης. Ο πιο συνήθης τρόπος αποθήκευσης των απορριμμάτων χαρτιού είναι η αποθηκυσή τους σε βαρέλια για να είναι κατάλληλα για ανάμειξη στην υγρή διαδικασία πολτών αλλά και για εύκολη διαχείριση. Η μεταφορά των ξύλινων ή χάρτινων καυσίμων επιτυγχάνεται τις περισσότερες φορές με την τυπική μέθοδο των στερεών καυσίμων.

-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας

Το καύσιμο μπορεί να καεί στον ασβεστοποιητή ή στον κύριο καυστήρα. Το κατάλληλο μέγεθος του μείγματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον ασβεστοποιητή είναι περίπου 10-20mm. Ωστόσο, μπορεί να απαιτηθούν λεπτότερα τεμαχίδια εάν το καύσιμο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στο μπροστινό μέρος της καμίνου. Για τη χρησιμοποίηση ξύλινων υλικών στη αρχική μεταφορά, το βέλτιστο μέγεθος των σωματιδίων για καύση πρέπει να είναι περίπου της τάξης των 6mm.

-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών

Η μηδενική επίπτωση καύσης του χαρτιού και του ξύλου σε εκπομπές άνθρακα στο περιβάλλον αποτελεί σίγουρα ένα πολύ σημαντικό κίνητρο χρήσης τους στις καμίνους. Ωστόσο εξαρτάται από την αιεφόρο εκμετάλλευση των δέντρων και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που σχετίζονται με τη μεταφορά και την προετοιμασία της ύλης. Παίρνοντας ως δεδομένο ότι η βιομάζα είναι ουδέτερο καύσιμο, η μείωση 2.5 τόνων CO₂ επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η παρουσία χλωρίου στο επεξεργασμένο ξύλο είναι πιθανό να ενισχύσει την αποβολή των βαρέων μετάλλων, ενώ οι διοξίνες είναι πιθανό να αυξηθούν αν η βιομάζα είναι μολυσμένη με ουσίες όπως χρώματα κτλ. Οι δοκιμές όμως που διεξήχθησαν και οι παρακολουθήσεις και μετρήσεις των εκπομπών από καύση ξυλείας κατεδάφισης, έδειξαν ότι δεν υπήρξε καμία αύξηση στις εκπομπές των βαρέων μετάλλων ή των οργανικών ουσιών, στις οποίες περιλαμβάνονται και οι διοξίνες. Εν τούτοις, αποδείχθηκε μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του αζώτου.

6.2.2.Οστεοκρεατάλευρα (meat and bone meal)

Στην ευρύτερη κατηγορία της μη γεωργικής βιομάζας ανήκουν τα ζωικά κατάλοιπα. Με τον όρο ζωικά κατάλοιπα, εννοούνται τα πάσης φύσεως απορρίμματα που προκύπτουν από τα σφαγεία και γενικά από την επεξεργασία του κρέατος και δεν μπορούν να συμπεριληφθούν στη διατροφή του ανθρώπου για λόγους υγιεινής. Τα ζωικά κατάλοιπα αποτελούνται από στερεά και από υγρά λύματα. Τυπικά από την επεξεργασία των βοειδών προκύπτουν περίπου 55% προϊόντος εκμεταλλεύσιμου εμπορικά (κρέας κτλ.), 39% προϊόντα προς επεξεργασία και ένα μικρό ποσοστό της τάξεως του 3%-5% προϊόντα που υφίστανται κομποστοποίηση, όπως εντόσθια κτλ. Στις μονάδες επεξεργασίας τα ζωικά κατάλοιπα αναμιγνύονται με τα οστά, θρυμματίζονται και εισάγονται στις δεξαμενές που περιέχουν έλαια, όπου και υφίστανται βρασμό σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Ακολούθως τα λίπη και τα έλαια απομακρύνονται με φίλτρα και υπό υψηλές πιέσεις ώστε να ξαναχρησιμοποιηθούν για τη θέρμανση του ελαίου ανάμιξης. Το εναπομείναν υλικό το οποίο υφίσταται ξήρανση και περαιτέρω θρυμματισμό είναι γνωστό με την ονομασία οστεοκρεατάλευρο (meat and bone meal, MBM).

Τα ζωικά κατάλοιπα κατά το παρελθόν αποτελούσαν μέρος της εκτροφής των βοειδών, όπου χρησιμοποιούνταν ως πρόσθετα της τροφής για τον εμπλουτισμό της με θρεπτικά συστατικά. Η ασθένεια όμως της σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας που προσέβαλε τη βιομηχανία των βοειδών στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατέστησε επιτακτική την ανάγκη για εύρεση νέων μεθόδων χρησιμοποίησης των υλικών αυτών. Ταυτόχρονα η πρότερη χρήση του οστεοκρεατάλευρου για την εκτροφή ζώων έχει απαγορευθεί από την 1η Ιουλίου του 1994 σύμφωνα με οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επίσης, από το 2000 έχει απαγορευθεί η μεταφορά των απορριμμάτων των σφαγείων μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας καθώς και οι εισαγωγές ή εξαγωγές από αυτή.

Η εναλλακτική μέθοδος της υγειονομικής ταφής δεν θεωρείται σαν μια από τις αποδεκτές λύσεις για τη διαχείριση των ζωικών καταλοίπων. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο δεν εξασφαλίζεται η καταστροφή των παθογόνων συστατικών, πράγμα που θα αποτρέψει την εμφάνιση και την εξάπλωση της ασθένειας Creutzfeldt-Jakob. Η νόσος των “τρελών αγελάδων”, όπως αλλιώς ονομάστηκε, προέρχεται από τις πρωτεΐνες που περιέχονται στο οστεοκρεατάλευρο. Έτσι τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί μεγάλη σημασία στην εύρεση και ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων για τη διαχείριση, την ασφαλή απόθεση και την εκμετάλλευση των απορριμμάτων των σφαγείων, που θα εξασφαλίζουν την υγιεινή και θα αποτρέπουν την εμφάνιση και την εξάπλωση μεταδιδόμενων ασθενειών.

Η εναλλακτική μέθοδος διαχείρισης που φαίνεται ίσως η ιδανική μέθοδος απαλλαγής από τα ζωικά απόβλητα αλλά και ταυτόχρονα και μέθοδος αξιοποίησής τους είναι η θερμική τους κατεργασία. Οι μέθοδοι θερμικής κατεργασίας οι οποίες περιλαμβάνουν την καύση την πυρόλυση και την αεριοποίηση λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που απαιτούν εξασφαλίζουν την πλήρη καταστροφή των παθογόνων συστατικών και θεωρούνται σαν η άμεση λύση στο πρόβλημα. Παράλληλα η ανάγκη για την εξεύρεση νέων καύσιμων υλών πέρα από τις συμβατικές καθιστά την εφαρμογή των μεθόδων αυτών στη διαχείριση του οστεοκρεατάλευρου ιδιαίτερα ανταγωνιστική.

Ως εναλλακτική μέθοδος διαχείρισης η καύση του οστεοκρεατάλευρου παρέχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα. Πρώτον την άμεση καύση του οστεοκρεατάλευρου σε ειδικά σχεδιασμένες μονάδες σύμφωνα με τις ιδιότητες του υλικού και δεύτερον τη μικτή καύση αυτού με άνθρακα στις ήδη υπάρχουσες μονάδες. Στην περίπτωση αυτή το οστεοκρεατάλευρο χρησιμοποιείται για να αντικαταστήσει ένα μέρος του συμβατικού καυσίμου.

Από το 2000 και με την εμφάνιση της ασθένειας της σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας των βοειδών, η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε τη χρήση του οστεοκρεατάλευρου στην εκτροφή των βοειδών υπό απαγόρευση. Το Ελληνικό Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης εναρμονιζόμενο με την απόφαση του συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2001 εξέδωσε εγκύκλιο, σύμφωνα με την οποία δεσμεύτηκαν όλες οι ποσότητες των βιομηχανικά παραγόμενων ζωικών αποβλήτων. Τα οστεοκρεατάλευρα μέχρι εκείνη την περίοδο, ταξινομούνταν ανεξέλεγκτα ως χαμηλού ή υψηλού κινδύνου, αφού η μη ύπαρξη κάποιου συγκεκριμένου μέτρου ταξινόμησης καθιστούσε τη διαδικασία εξαιρετικά δύσκολη. Από το 2003 με βάση κανονισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα οστεοκρεατάλευρα διαχωρίζονται στις 3 παρακάτω κατηγορίες:

Κατηγορία 1: Περιλαμβάνονται τα οστεοκρεατάλευρα τα οποία θεωρούνται μολυσμένα από την ασθένεια της σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας.

Κατηγορία 2: Περιλαμβάνονται τα οστεοκρεατάλευρα για τα οποία υπάρχει η πιθανότητα να είναι μολυσμένα από την ασθένεια. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και τα υποπροϊόντα των ζώων, των οποίων ο θάνατος δεν προήλθε από τη σφαγή τους καθώς και αυτών που θανατώθηκαν γιατί έπασχαν από κάποια ασθένεια.

Κατηγορία 3: Περιλαμβάνονται τα οστεοκρεατάλευρα που προέρχονται από την παραγωγή προϊόντων που προορίζονται για την ανθρώπινη κατανάλωση, χωρίς να παρουσιάζουν καμία ένδειξη μόλυνσης από κάποια ασθένεια μεταδιδόμενη στον άνθρωπο ή στα ζώα.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται σήμερα η απόθεση της κάθε ποσότητας οστεοκρεατάλευρου εξαρτάται από την κατηγορία στην οποία ανήκει. Έτσι τα υλικά που ανήκουν στην πρώτη και στην δεύτερη κατηγορία οδηγούνται κατά κύριο λόγο σε αποτέφρωση ή σε καύση (παραγωγή τσιμέντου). Ενώ από αυτά που ανήκουν στην τρίτη κατηγορία μόνο ορισμένες ποσότητες αποτρεφώνονται ή καίγονται. Για τις υπόλοιπες ποσότητες επιτρέπεται η χρήση τους τόσο στην εκτροφή ζώων όσο και στη βιομηχανία τσιμέντου.

Οι ποσότητες οστεοκρεατάλευρου που ανήκουν στις δύο πρώτες κατηγορίες και οι οποίες είναι απαραίτητο να οδηγηθούν στην αποτέφρωση ή στην καύση είναι αρκετά μεγάλες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ποσότητα οστεοκρεατάλευρου που παράχθηκε στη Γαλλία το έτος 2004. Από τη συνολική ποσότητα αυτού σχεδόν το ένα τρίτο αυτού εντάσσεται στις κατηγορίες 1 και 2, ποσοστό που είναι αρκετά χαμηλό. Το μεγαλύτερο μέρος που αποτελεί τα δύο τρίτα δεν εγκυμονεί κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, το ποσοστό αυτό εμφανίζεται αρκετά μικρότερο όσον αφορά την Ελλάδα κατά το ίδιο έτος, σύμφωνα με τα στοιχεία που παραθέτει η Ελεγκτική Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά το 47.8% της συνολικής ποσότητας του οστεοκρεατάλευρου ανήκει στην κατηγορία 1. Το 39.5% στην κατηγορία

Ένα ποσοστό μόλις της τάξεως του 12.7% ανήκει στην κατηγορία 3 και μπορεί να θεωρηθεί ασφαλές για άλλες εφαρμογές πέραν της αποτρέφρωσης ή καύσης. Η κατηγοριοποίηση δεν έγινε με βάση τα ακριβή κριτήρια όπως αυτά καθορίζονται από τον κανονισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης, λόγω καθυστέρησης εφαρμογής στην Ελλάδα. Όπως φαίνεται και σε παρακάτω πίνακα, το 99.8% των ποσοτήτων του οστεοκρεατάλευρου που ανήκει στην κατηγορία 1, οδηγείται σε αποτέφρωση. Παράλληλα, σύμφωνα με τα ευρήματα της Ελεγκτικής Επιτροπής, σημαντικές είναι οι ποσότητες που ανήκουν στις κατηγορίες 2 και 3 και οδηγούνται στην ταφή χωρίς κάποια προεπεξεργασία.

Η παραγωγή οστεοκρεατάλευρου στον ελληνικό χώρο προέρχεται κατά κύριο λόγο από την βιομηχανία κρέατος. Τα κυριότερα απόβλητα της βιομηχανίας προέρχονται από την επεξεργασία χοίρων, πτηνών, βοοειδών και προβάτων. Λόγω της εκτεταμένης ενασχόλησης της ελληνικής περιφέρειας με την εκτροφή ζώων, οι ποσότητες των αποβλήτων που παράγονται είναι αρκετά αυξημένες. Οι ποσότητες αυτές προέρχονται κυρίως από μέσης ή μεγάλης κλίμακας σφαγεία. Λόγω της παράδοσης που επικρατεί σε πολλές περιοχές της ελληνικής περιφέρειας για την εκτροφή ζώων οι ποσότητες των υποπροϊόντων που προέρχονται από τις μικρότερης κλίμακας μονάδες αποτελούν σημαντικό τμήμα της συνολικής παραγωγής οστεοκρεατάλευρου.

Στον Πίνακα 6.2.2.1 παρουσιάζεται η παραγωγή και διαχείριση των ποσοτήτων οστεοκρεατάλευρου κατά το έτος 2004.

Πίνακας 6.2.2.1: Παραγωγή και διαχείριση των ποσοτήτων οστεοκρεατάλευρου στον Ελληνικό χώρο κατά το έτος 2004.^[14]

	Κατηγορία 1 (t)	Κατηγορία 2 (t)	Κατηγορία 3 (t)
Παραγωγή	128234	105818	33899
Αποθήκευση	14	292	2647
Αποτέφρωση	127982	19390	3816
Ταφή	208	72694	15391
Εκτροφή ζώων, λιπάσματα		1520	4038
Εξαγωγές			1445

Στον Πίνακα 6.2.2.2 παρουσιάζονται οι ποσότητες οστεοκρεατάλευρου που παράγονται σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αν συγκρίνουμε τους δύο πίνακες, μπορούμε να διαπιστώσουμε την αυξημένη ποσότητα οστεοκρεατάλευρου που παράγεται στον Ελληνικό χώρο σε σχέση με τον πληθυσμό. Βλέπουμε ότι σε πολυπληθέστερες χώρες όπως για παράδειγμα η Γαλλία ή η Ολλανδία, οι ποσότητες οστεοκρεατάλευρου που παράγονται ετησίως είναι ίσες ή ακόμα και μικρότερες σε σχέση με αυτές που παράγονται στην Ελλάδα.

Πίνακας 6.2.2.2: Διαθέσιμες ποσότητες οστεοκρεατάλευρου στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.^[14]

Χώρα	Ποσότητα (t)
Αυστρία	90000
Γαλλία	280000-450000
Γερμανία	730000
Δανία	20000
Ελβετία	85000
Ηνωμένο Βασίλειο	440000
Ιρλανδία	140000
Ισπανία	450000
Νορβηγία	40000
Ολλανδία	200000
Πολωνία	30000-50000
Τσεχία	20000
Φινλανδία	20000

-Ανάλυση υλικού

Το οστεοκρεατάλευρο αποτελείται από δύο τμήματα: Το οργανικό που προέρχεται από τα υπολείμματα του κρέατος και το τμήμα το οποίο προέρχεται από τα οστά. Επομένως, από τη φύση του το υλικό αυτό είναι ανομοιογενές και σε πολλές περιπτώσεις ο χαρακτηρισμός του μπορεί να έχει υψηλή απόκλιση από τις μέσες τιμές που είναι θεωρητικά αναμενόμενες.

Το οστεοκρεατάλευρο είναι ένα εύφλεκτο υλικό που χαρακτηρίζεται συνήθως από μια θερμογόνο δύναμη της τάξης των 16-19 MJ/kg. Πολύ σημαντικός παράγοντας, που επηρεάζει την αξιοποίηση των ζωικών αλεύρων στις περιστροφικές καμίνους, είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε φώσφορο (P_2O_5 έως 15%). Παράλληλα, η ποσότητα των πτητικών συστατικών που περιλαμβάνονται σε αυτό είναι ιδιαίτερα υψηλή φτάνοντας το 90% κ.β επί ξηρού χωρίς τέφρα. Η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι αρκετά χαμηλή, περίπου 7.5% κ.β, ενώ αντίστοιχα η περιεκτικότητα σε τέφρα είναι αυξημένη, περίπου 20% κ.β, σε σύγκριση με την τέφρα που περιέχεται στους λιγνίτες. Η περιεκτικότητα σε Χλώριο ανέρχεται περίπου στο 0.4%, σε Θείο 0.6% και βαρέα μέταλλα, Κάδμιο < 0,5%, Υδράργυρο 0,008%.

Αντίθετα με την περιεκτικότητα του Θείου που είναι αρκετά μικρή, η περιεκτικότητα του οστεοκρεατάλευρου σε στοιχειακό άζωτο είναι υψηλή. Η περιεκτικότητα είναι περίπου 10% κ.β και είναι αρκετά μεγαλύτερη από το αντίστοιχο ποσοστό που εμφανίζεται στους ορυκτούς άνθρακες. Η υψηλή αυτή ποσότητα αζώτου αυξάνει την πιθανότητα σχηματισμού και έκλυσης υψηλών ποσοτήτων NO_x κατά την καύση του υλικού. Διάφορες όμως, έρευνες έχουν δείξει ότι στην περίπτωση μεικτής καύσης οστεοκρεατάλευρου με ορυκτούς άνθρακες, ένα μόνο μέρος του αζώτου του οστεοκρεατάλευρου σχηματίζει NO_x κι επομένως οι συνολικές εκπομπές δεν αυξάνονται. Στον Πίνακα 6.2.2.3 φαίνονται οι τυπικές συστάσεις του οστεοκρεατάλευρου σε σύγκριση με το λιγνίτη (Μεγαλόπολης) και με τον τυπικό άνθρακα.

Πίνακας 6.2.2.3: Τυπικές συστάσεις οστεοκρετάλευρου σε σύγκριση με λιγνίτη και άνθρακα.¹⁴¹

Ανάλυση	Οστεοκρετάλευρο (Ratcliffe)	Οστεοκρετάλευρο (Didcot)	Λιγνίτης	Τυπικός άνθρακας
Άμεση ανάλυση%				
Υγρασία	7.5	7	61.2	3.4
Πτητικά (όπως ελήφθη)	65.1	74.7	13.4	29.9
Τέφρα (όπως ελήφθη)	20.3	17.1	15.5	16.3
Λίπος (όπως ελήφθη)	9	11	-	-

Στοιχειακή ανάλυση % (όπως ελήφθη)				
Άνθρακας	40.72	42.58	22.02	68.9
Υδρογόνο	5.91	6.94	2.97	4.4
Άζωτο	9.58	10.51	1.03	1.5
Θείο	0.48	0.59		
Χλώριο	0.33	0.37	-	0.4

Θερμογόνος δύναμη MJ/kg (όπως ελήφθη)	17.6	19.2	11.3	27
---------------------------------------	------	------	------	----

-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση

Τα ζωικά απόβλητα θα πρέπει να προέρχονται από έναν αξιόπιστο και σταθερό προμηθευτή. Συνήθως τα υλικά για να εισέλθουν στην κάμινο κοκκοποιούνται σε μέγεθος κάτω των 10 mm. Όσον αφορά την αποθήκευση, τα οστεοκρεατάλευρα πρέπει να αποθηκεύονται μόνο σε ειδικές περιοχές, οι οποίες να είναι επαρκούς μεγέθους για τις ποσότητες που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και ταυτόχρονα να βρίσκονται κοντά στο σημείο όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Παράλληλα, οι χώροι αποθήκευσης πρέπει να είναι πολύ καλά προφυλαγμένοι. Πρέπει να υπάρχει αυστηρός έλεγχος εισόδου στους χώρους, δυνατότητα κλειδώματος, αυτόματου κλεισίματος της πόρτας, ώστε να απογεύγεται η πρόσβαση ζώων, πουλιών, τρωκτικών, εντόμων γεγονός που θα μπορούσε να οδηγήσει στη μεταφορά ποσότητας οστεοκρεατάλευρου σε εξωτερικούς χώρους ή ακόμα και στη μόλυνση ορισμένων ζώων. Οι χώροι αποθήκευσης είναι απαραίτητο να ψύχονται και να έχουν ενσωματωμένα συστήματα για την πρόληψη των προβλημάτων οσμής πέρα από τα όρια του χώρου. Αν χρησιμοποιείται λίπος σε συνδυασμό με οστεοκρετάλευρο είναι πιθανό να απαιτείται θερμαινόμενος χώρος αποθήκευσης. Επίσης, όταν το οστεοκρεατάλευρο βρίσκεται σε συνθήκες αποθήκευσης, σημαντικό είναι η αποφυγή επαφής με το νερό. Η αποθήκευση στερεών οργανικών υλικών, όπως το οστεοκρεατάλευρο, όταν γίνεται ταυτόχρονα με αυξημένη ποσότητα υγρασίας αποτελεί πηγή βακτηρίων, μυκήτων και παρασίτων.

Σε υψηλές ποσότητες υγρασίας ελλοχεύει επίσης ο κίνδυνος του σχηματισμού μικροβίων,

όπως για παράδειγμα η σαλμονέλα. Επομένως, οι εσωτερικοί χώροι μέσα στους οποίους βρίσκονται οι ποσότητες του οστεοκρεατάλευρου πρέπει να αποτρέπουν την εισροή νερού. Ταυτόχρονα, θεωρείται απαραίτητη η αποφυγή της εκροής νερού από τους χώρους αποθήκευσης. Το νερό αυτό πιθανόν να έχει έρθει σε επαφή με την αποθηκευμένη ποσότητα του οστεοκρεατάλευρου. Ως εκ τούτου, η ποσότητα του νερού μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία, αφού η έξοδός του από τους συγκεκριμένους χώρους πιθανώς να οδηγήσει σε ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα ή και των θαλάσσιων υδάτων. Για τους ίδιους λόγους, σημαντική είναι η εξασφάλιση απόλυτης στεγανότητας των αποθηκευτικών χώρων, ώστε να μην υπάρχει καμία είσοδος ή έξοδος νερού λόγω των καιρικών φαινομένων (βροχές, χιόνι κτλ).

Η μεταφορά των οστεοκρεατάλευρων χαρακτηρίζεται ως υψηλού κινδύνου. Είναι αναγκαίο να πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η δημόσια υγεία ακόμα και στην περίπτωση που το υλικό είναι μολυσμένο από τον ιό της ασθένειας της σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας. Επιπλέον, σημαντική είναι κατά τη μεταφορά η αποφυγή οποιασδήποτε πιθανότητας για την απώλεια ποσοτήτων οστεοκρεατάλευρου και της προσβολής από αυτό, του ανθρώπου και του οικοσυστήματος. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μεταφορά του υλικού είναι τα οχήματα μεταφοράς να είναι ισχυρά ασφαλισμένα με καλύμματα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η οποιαδήποτε απώλεια του προϊόντος. Τα καλύμματα πρέπει να βρίσκονται καθόλη τη διάρκεια μεταφοράς συμπεριλαμβανομένων και της φόρτωσης-εκφόρτωσης και να αφαιρούνται μόνο στο σημείο αποθήκευσης, αφού τα οστεοκρεατάλευρα είναι σε μορφή σκόνης και μπορεί να επηρεαστούν από δυνατό άνεμο. Μετρήσεις στις απώλειες του υλικού ιδιαίτερα κατά τη φόρτωση στη μονάδα παραγωγής και στην εκφόρτωση στη μονάδα αποθήκευσης είναι απαραίτητο να γίνονται συνεχώς. Τα οχήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά οποιουδήποτε άλλου υλικού. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, θα πρέπει να προηγηθεί μια διαδικασία καθαρισμού του οχήματος η οποία περιλαμβάνει, βιομηχανικό καθαρισμό υπό πίεση, αποστείρωση, απολύμανση και ξήρανση.

Η φόρτωση του οχήματος με κάποιο άλλο υλικό πραγματοποιείται αφού γίνει λεπτομερής εξέταση αυτού. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στους αγωγούς εισόδου-εξόδου του οχήματος από όπου γίνεται η φόρτωση και η εκφόρτωση, καθώς και στους τροχούς.

Επιπροσθέτως, ένα τακτικό πρόγραμμα καθαρισμού και απολύμανσης είναι απαραίτητο να εφαρμόζεται σε όλες τις περιοχές στις οποίες αποθηκεύεται ή διακινείται ζωικό υλικό. Οποιαδήποτε διαρροή του υλικού των ζώων θα πρέπει αμέσως να καθαρίζεται με στερεά καθαριστικά, με κενό ή με υγρές μεθόδους και ποτέ με μεθόδους στεγνού καθαρίσματος. Ο καθαρισμός των αποθηκευτικών χώρων γίνεται αφού εκκενωθούν πλήρως και συνήθως για την απομάκρυνση όλων των υπολειμάτων χρησιμοποιείται η μέθοδος βιομηχανικού καθαρισμού υπό κενό. Η μέθοδος καθαρισμού αυτή προτιμάται έναντι των συμβατικών μεθόδων, γιατί αποσοβείται η πιθανότητα σχηματισμού νέφους (λόγω του ότι το υλικό βρίσκεται σε μορφή σκόνης). Ο κίνδυνος σχηματισμού ενός τέτοιου νέφους καθιστά και τη μετέπειτα διαχείριση του υλικού που συλλέγεται αρκετά επικίνδυνη και για το λόγο αυτό απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλη προσοχή. Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται υγρές μέθοδοι καθαρισμού των αποθηκευτικών χώρων, τα δάπεδα θα πρέπει να είναι ανθεκτικά και να έχουν μια κλίση προς ένα λάκκο. Τα νερά που χρησιμοποιούνται για την πλύση των δαπέδων πρέπει να αντιμετωπίζονται με ιδιαίτερη μέριμνα, ειδικά αν το νερό αυτό περιέχει επιπλέον γλώριο από απολυμαντικό ή θα πρέπει να αντιμετωπίζεται σε κατάλληλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας, αν αυτές υπάρχουν. Μετά την απομάκρυνση των στερεών υπολειμάτων οι αποθηκευτικοί χώροι καθαρίζονται από τα λίπη. Οι πορώδεις επιφάνειες των αποθηκευτικών χώρων εξετάζονται λεπτομερώς για οποιεσδήποτε μορφές λιωμένων λιπών που μπορεί να έχουν εισχωρήσει σε αυτές. Για να επιτευχθεί πλήρης καθαρισμός είναι απαραίτητοι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι εργασιών. Γενικά όλος ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται (π.χ οχήματα, κοντέινερ κτλ) θα πρέπει να είναι αδιαπέραστος και σχεδιασμένος με τέτοιο τρόπο ώστε ο καθαρισμός, που πρέπει να πραγματοποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα, να επιτυγχάνεται όσο το δυνατόν ευκολότερα.

Εν κατακλείδι, για την ασφαλή αποθήκευση-διαχείριση του οστεοκρεατάλευρου και την αποφυγή οποιασδήποτε εξάπλωσης ασθενειών, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται κάποιες ιδιαίτερα σημαντικές και αναγκαίες προφυλάξεις. Αυτές συνοψίζονται στις εξής τέσσερις:

- 1) Ασφαλείς και μελετημένες συνθήκες αποθήκευσης
- 2) Υψηλό επίπεδο καθαριότητας
- 3) Υψηλή προστασία προσωπικού
- 4) Ασφαλείς μέθοδοι μεταφοράς κατά την απόθεση στις μονάδες αποθήκευσης

-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας

Τα περισσότερα εργοστάσια τσιμέντου καίνε ζωικά άλευρα σε έναν κεντρικό καυστήρα, ενώ υπάρχουν και μερικά που περιστασιακά μπορεί να καίνε και σε έναν προασβεστοποιητή. Σε περιπτώσεις που υπάρχουν μόνο πολύ μεγάλες ποσότητες οστεοκρεατάλευρων, αυτά τροφοδοτούνται ως εναλλακτικό καύσιμο. Διαπιστώθηκε, ότι σε αυτές τις περιπτώσεις, απαιτείται ελαφρώς υψηλότερη ποσότητα αέρα (3%-4%) σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου. Επίσης, έρευνες έδειξαν ότι αν τα οστεοκρεατάλευρα τροφοδοτούνται στη ζώνη καύσης και αντικαθιστούν μέρος του πρωτογενούς καυσίμου, τότε απαιτείται περίπου 5%-10% περισσότερος αέρας για την καύση τους. Όταν τα οστεοκρεατάλευρα χρησιμοποιούνται ως καύσιμο, οι ποσότητες τέφρας που θα σχηματίζονται θα είναι αυξημένες και επομένως η γνώση των ιδιοτήτων της είναι απαραίτητη. Η εύρεση των ιδιοτήτων της και ο χαρακτηρισμός της είναι ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες, που βοηθούν στην σωστότερη απόθεση ή και στην ενσωμάτωση της στο τσιμέντο.

-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών

Η χρήση οστεοκρεατάλευρου είτε μόνο του, είτε ως δευτερεύον καύσιμο που προστίθεται στον ορυκτό άνθρακα, μπορεί να προκαλέσει κάποιες ανεπιθύμητες επιπτώσεις τόσο στη λειτουργία όσο και στην απόδοση του καυστήρα. Η υψηλή περιεκτικότητα των ζωικών αλεύρων σε φώσφορο, δημιουργεί σημαντικά αρνητικά προβλήματα στους καταλύτες που χρησιμοποιούνται στις μονάδες καύσης του άνθρακα και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του κλίνκερ. Παρόλα αυτά, δεν έχει υπάρξει αναφορά για ανεπιθύμητες εκπομπές από την καύση ζωικών αλεύρων.

Η εταιρεία τσιμέντου CBR (HEIDELBERG CEMENT Group) στο Βέλγιο αναφέρει ότι η αυξημένη παρουσία P_2O_5 σε κλίνκερ τσιμέντου, δηλαδή η αξιοποίηση των ζωικών αλεύρων στις καμίνους τσιμέντου, σε επίπεδα που ξεπερνούν το 1% έχει αρνητική επίδραση στην λειτουργία - απόδοση του καυστήρα και κατ' επέκταση και στην ποιότητα του τσιμέντου.

6.2.3 Λυματολάσπη (sewage sludge)

Όταν αναφερόμαστε στον όρο λυματολάσπη, εννοούμε ένα προϊόν το αποτελεί ένα συνδυασμό του νερού και των αποβλήτων που προέρχονται από τα εργοστάσια επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων. Το προϊόν αυτό μπορεί να διαχειριστεί με απόθεση είτε στο νερό είτε στο έδαφος. Ο κάθε τρόπος διαχείρισης έχει τις δικές του επιπτώσεις στο περιβάλλον. Υπάρχουν τρεις μέθοδοι αξιοποίησης της λάσπης.

1. Χρησιμοποίηση στη γεωργία
2. Απόθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής
3. Χρησιμοποίηση ως εναλλακτικό καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας (π.χ στην τσιμεντοβιομηχανία)

Η διάθεση της λυματολάσπης θα γίνεται όλο και μεγαλύτερο πρόβλημα παγκοσμίως όσο η μόνη μέθοδος διάθεσης που χρησιμοποιείται, η απόθεση σε τεχνητές λιμνοδεξαμενές απόθεσης (lagoon drying), γίνεται όλο και λιγότερη διαθέσιμη. Η χρήση της ως εναλλακτικό καύσιμο στην παραγωγή τσιμέντου αποτελεί μία καλή και όλο αναπτυσσόμενη μέθοδο απόθεσης της λάσπης λυμάτων. Το καθαρά περιβαλλοντικό όφελος, από αυτόν τον τρόπο αξιοποίησής της λυματολάσπης, είναι ότι τα μη χρησιμοποιημένα απόβλητα, που θεωρούνται παραδοσιακά περιβαλλοντικό πρόβλημα, μπορούν να υποστούν επεξεργασία και να μετατραπούν σε ανανεώσιμα καύσιμα, που όχι μόνο παράγουν ενέργεια αλλά και μειώνουν τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Η σωστή αξιοποίηση της λάσπης μπορεί να επιφέρει μηδενικές επιπτώσεις στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Αποτελεί ένα προϊόν το οποίο είναι ανανεώσιμο και δεν θα τελειώσει ποτέ και όπου η ετήσια παραγωγή του στο μέλλον θα αυξηθεί κατακόρυφα. Προς το παρόν, οι χώρες όπου έχουν εργοστάσια που χρησιμοποιούν αυτή τη λάσπη, σε συνδυασμό με άλλους τύπους στερεών καυσίμων από απόβλητα, είναι εξαιρετικά λίγες. Τέτοια εργοστάσια συναντάμε κυρίως στη Δανία, την Ολλανδία και την Ελβετία.

-Ανάλυση υλικού

Η ξηρή λυματολάσπη χαρακτηρίζεται συνήθως από θερμογόνο δύναμη της τάξης των 16-17MJ/kg. Βέβαια, το εύρος της θερμογόνου δύναμης της, είναι τεράστιο και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων του νερού και της επεξεργασίας την οποία υφίσταται η λάσπη. Τα επίπεδα υδραργύρου (Hg) και θάλλιου (Tl) στη λάσπη είναι υψηλά. Κανονικά, ο υδράργυρος στη λάσπη προέρχεται είτε από τη διαδικασία καθαρισμού λυμάτων στο εργοστάσιο είτε από το δίκτυο αποχέτευσης, όπου αυτό υπάρχει. Μολονότι το επίπεδο του υδραργύρου στο καύσιμο λάσπης μπορεί να φτάσει τα 16mg/kg, οι τσιμεντοβιομηχανίες στοχεύουν στη καύση της λάσπης με μέγιστη περιεκτικότητα σε υδράργυρο που δεν θα ξεπερνά τα 0,5mg/kg. Παράλληλα, η συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στη λάσπη, είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τη διάθεση της σε χώρους υγειονομικής ταφής ή την αξιοποίηση της στον τομέα της γεωργίας. Επίσης, η λάσπη έχει υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, που σε συνδυασμό με τα βαρέα μέταλλα καθιστούν την αξιοποίηση της λάσπης λυμάτων ακόμα πιο δύσκολη.

Στον Πίνακα 6.2.3.1 δίνονται φυσικοχημικά χαρακτηριστικά διαφόρων ειδών λυματολάσπης.

Πίνακας 6.2.3.1: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά διαφόρων ειδών λυματολάσπης.¹⁷¹

Κατηγορία λάσπης	A	B ₁	B ₂	C	D
Ξηρά στερεά (kg/m ³)	12	9	7	10	30
Πτητικά στερεά (% ξηρών στερεών)	65	67	77	72	50
pH	6	7	7	6.5	7
C	51.5	52.5	53	51	49
N	4.5	7.5	6.3	7.1	6.2
C/N	11.4	7	8,7	7.2	7.9
P	2	2	2	2	2
Cl	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
K	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Al	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Ca	10	10	10	10	10
Fe	2	2	2	2	2
Λίπη	18	8	10	14	10
Πρωτεΐνες	24	36	34	30	18
Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	17.5	17.1	20	19.2	12.5

-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση

Οποιαδήποτε επεξεργασία της λάσπης, θα πρέπει να βασίζεται σε κάποιες κατευθυντήριες γραμμές οι οποίες περιλαμβάνουν:

- 1) Μείωση της οσμής του υλικού
- 2) Μείωση των οργανικών στερεών
- 3) Ελαχιστοποίηση των παθογόνων οργανισμών
- 4) Βελτίωση των χαρακτηριστικών αφυδάτωσης
- 5) Μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία

Όλα αυτά βέβαια, ρυθμίζονται από τη νομοθεσία, δεδομένου ότι η λάσπη αποβλήτων θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζονται:

- (α) Ορθή δημιουργία
- (β) Προστασία του περιβάλλοντος (αέρας, έδαφος, νερό)

Η υγρή λάσπη από την επεξεργασία λυμάτων, είναι καταλληλότερη για την χρησιμοποίηση σε καμίνους υγρής διαδικασίας παραγωγής τσιμέντου. Στη ξηρή διαδικασία παραγωγής τσιμέντου, η λάσπη θα πρέπει να ξηραίνεται ώστε η περιεκτικότητα σε υγρασία να φτάσει το 1% πριν από την τροφοδοσία. Έχει παρατηρηθεί, ότι η θερμογόνο δύναμη για ξηρή λάσπη με υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά (SO_3 , Na_2O , O , K_2O , Cl) είναι πολύ υψηλή, ενώ για λάσπη με μικρή περιεκτικότητα σε πτητικά αυτή μειώνεται δραστικά. Για αυτό το λόγο, αμφισβητούνται τα επίπεδα των πτητικών επεξεργασίας που θα πρέπει να επιτευχθούν. Ξήρανση της λάσπης με θερμά αέρια θα πρέπει να εκτελείται σε αδρανή ατμόσφαιρα, γιατί παρουσία θερμού αέρα με $\text{O}_2 > 16\%$ μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη.

Για καλή εξουδετέρωση της λάσπης συνιστώνται τα ακόλουθα στάδια:

- α) Πέψη (αερόβια ή αναερόβια)
- β) Προσθήκη άσβεστου στην ακατέργαστη λάσπη
- γ) Θερμική επεξεργασία στους $30-75^\circ\text{C}$ και στους $75-90^\circ\text{C}$
- δ) Κομποστοποίηση
- ε) Αφυδάτωση (φυγοκέντριση, φίλτρα πίεσης, φίλτρα κενού, κτλ)
- στ) Ξήρανση, αν απαιτείται. (ηλιακή ή ανοιχτή είναι μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται ώστε να μειωθεί περαιτέρω το ποσοστό υγρασίας της λάσπης)

Αν η ξηρή λυματολάσπη αναμιχθεί, ξηρανθεί και αλεσθεί με ένα άλλο στερεό καύσιμο,

όπως ο πετρελαϊκός οπτάνθρακας (pet coke) για να αποφευχθεί η ενοχλητική μυρωδιά, η προσοχή πρέπει να εστιαστεί στην πρόληψη για τον κίνδυνο ανάφλεξης. Η ανάμειξη πρέπει να γίνεται σε κατάλληλα σχεδιασμένα και αποτελεσματικά τύμπανα ανάμειξης. Η ξηρή λάσπη μπορεί να παρουσιάζει ιδιότητες αυτανάφλεξης κάτω από ορισμένα κριτήρια σύνθεσης και μεγέθους. Συνεπώς, όσον αφορά την αποθήκευση, αποξηραμένοι κόκκοι ή σφαιρίδια της λάσπης μπορούν να αποθηκεύονται σε σιλό, τα οποία είναι εφοδιασμένα με συσκευές μέτρησης της θερμοκρασίας και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) για την ένδειξη πιθανής υπερθέρμανσης. Αν η περιεκτικότητα σε CO αυξάνεται πάνω από ένα προκαθορισμένο μέγιστο, η αδρανοποίηση των σιλό μπορεί να ξεκινήσει με την έγχυση αζώτου ή διοξειδίου του άνθρακα εντός του σιλό. Αν υπάρξει αυτανάφλεξη τα σιλό έχουν τη δυνατότητα να γεμίσουν νερό χειροκίνητα, ώστε να αποφευχθεί η επέκταση της φωτιάς. Για την αποφυγή της αυτανάφλεξης πρέπει να περιορίζονται κυρίως, το πάχος στρώματος, ο χρόνος αποθήκευσης και η περιεκτικότητα σε υγρασία. Το ζήτημα αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί με την εγκατάσταση μια συσκευής αφύγρανσης. Ο αέρας μετατοπίζεται ως αποτέλεσμα της ξηρής λάσπης που τροφοδοτείται από τον κοχλία διανομής και μπορεί να καθαριστεί διερχόμενος από ένα σακκόφιλτρο.

Η ξηρή λάσπη μπορεί είτε μηχανικά είτε με πνευματική μεταφορά να μεταφερθεί κοντά στο σημείο τροφοδοσίας. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι όπου έχουν εφαρμοσθεί πνευματική μεταφορά ή οποιαδήποτε άλλα ανοιχτά συστήματα για κοκκοποίηση, ο αέρας είχε μειωμένη οσμή, συνεπώς καταλαβαίνουμε ότι ο μεταφερόμενος αέρας έχει υποστεί επεξεργασία σε συστήματα εξοπλισμού μείωσης οσμής, όπως είναι τα βιολογικά φίλτρα.

-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας

Αν μεγαλύτερες ποσότητες λάσπης από καθαρισμό λυμάτων τροφοδοτούνται στην κάμινο ως εναλλακτικό καύσιμο, έχει διαπιστωθεί ότι απαιτείται ελαφρώς υψηλότερη ποσότητα αέρα (3%-4%) σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου. Αν η λάσπη τροφοδοτείται στη ζώνη καύσης και αντικαθιστά μέρος του πρωτογενούς καυσίμου, τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι για την καύση απαιτείται περίπου 5%-10% περισσότερος αέρας. Γενικά, προτείνεται ως γενικός κανόνας, ότι ο μέγιστος ρυθμός τροφοδοσίας της λάσπης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το περίπου 5% της παραγωγικής ικανότητας κλίνκερ του εργοστασίου.

-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών

Έχει αναφερθεί ότι η υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά στη λάσπη επιβάλλει καλύτερη πρωτογενή ανάφλεξη και τα συστατικά της τέφρας στην πραγματικότητα είναι παρόμοια με αυτά του παραγόμενου κλίνκερ. Εκτός από τα αντισταθμιστικά οφέλη που αφορούν τη μείωση εκπομπών CO₂, τα εργοστάσια τσιμέντου που χρησιμοποιούν τέτοιο υλικό ως καύσιμο στις καμίνους τσιμέντου, τεκμηριώνουν ότι θα επέλθει μεταγενέστερα μείωση στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου. Ωστόσο, ορισμένα πειράματα έχουν δείξει ότι η αύξηση της αναλογίας λάσπης στο καύσιμο, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των οξειδίων του αζώτου και του θείου, οπότε ο έλεγχος της αναλογίας λάσπη/άνθρακα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη από τα εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου. Όσον αφορά τις εκπομπές κατά την καύση της λάσπης, τα αιωρούμενα σωματίδια ασβεστόλιθου ενισχύουν την απομάκρυνση των όξινων αερίων ρύπων όπως είναι το υδροχλώριο (HCl) και το υδροφθώριο (HF). Ωστόσο, υπάρχει κίνδυνος φραξίματος του κυκλώνα του προθερμαντή σε περίπτωση που η λάσπη έχει παραπάνω από 0.2% έως 0.5% HCl. Παράλληλα, η υψηλή θερμοκρασία της τσιμεντοκαμίνου και η γρήγορη ψύξη των αερίων εμποδίζουν το

σχηματισμό διοξίνων/φουρανίων, κάτι που συμβάλλει θετικά την αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Στη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από Zabaniotou και Theofilou (2008) για την καύση μείγματος λάσπης λυμάτων με περιεκτικότητα σε υγρασία 65%-70% και οπτάνθρακα στον κεντρικό καυστήρα, αποδείχθηκε ότι το άθροισμα των εκπομπών διάφορων διοξίνων και φουρανίων είναι μόνο περίπου 0.006ng/Nm³. Οποιαδήποτε βαρέα μέταλλα υπάρχουν στη λάσπη, δεσμεύονται στο υγρό κλάσμα των πρώτων υλών στη ζώνη πυροσυσσωμάτωσης της καμίνου. Παρά το γεγονός ότι η παρουσία χλωρίου μπορεί να ενισχύσει την εξάχνωση των βαρέων μετάλλων, όπως υδράργυρος (Hg), κάδμιο (Cd), μόλυβδος (Pb), αναφέρουν ότι το άθροισμα των εκπομπών των βασικών βαρέων μετάλλων ήταν συνολικά μόλις 0,7960mg/Nm³, έναντι των επιτρεπόμενων που είναι 5mg/Nm³. Στην περίπτωση του υδραργύρου το καύσιμο της λάσπης συναντά υπερβολικά υψηλά επίπεδα CaO και έτσι αποφεύγεται η ταχεία εξάτμιση του Hg. Για την αντιμετώπιση των εκπομπών του υδραργύρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί φίλτρο ενεργού άνθρακα.

Στον Πίνακα 6.2.3.2 δίνονται τα επιτρεπόμενα όρια στα οποία μπορούν να βρίσκονται τα βαρέα μέταλλα στη ξηρή λυματολάσπη.

Πίνακας 6.2.3.2: Επιτρεπόμενα όρια στα οποία μπορούν να βρίσκονται τα βαρέα μέταλλα στη ξηρή λυματολάσπη.¹⁷¹

Βαρέα Μέταλλα	Όρια mg/kg
Cu	1000-1750
Fe	Χωρίς περιορισμό
Cr	-
Cd	20-40
Ni	300-400
Pb	750-1200
Zn	2500-4000
Hg	16-25

6.3. ΧΗΜΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει ποικιλία υλικών, όπως χρησιμοποιημένοι διαλύτες, κατάλοιπα από εργασίες βαφής, αχρηστευμένα φυτοφάρμακα, υπολείμματα από την ηλεκτρονική βιομηχανία (έλαια και ρητίνες), υγρά καθαρισμού μετάλλων (λιπαντικά μεταλλοτεχνίας, ψυκτικά μέσα, υγρά κοπής κτλ) κ.α. Επειδή υπάρχει η πιθανότητα, αυτά τα απόβλητα με την καύση τους να συμβάλλουν σε ανεπιθύμητες εκπομπές, η συμμόρφωση με τα πρωτόκολλα για την κατάλληλη αποθήκευση και διαχείρισή τους, είναι πολύ σημαντική. Υπάρχουν ορισμένα επικίνδυνα απόβλητα που προς το παρόν κρίνονται ακατάλληλα για συνεπεξεργασία στις καμίνους τσιμέντου, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρονικών αποβλήτων, ολόκληρες μπαταρίες, εκρηκτικά, ραδιενεργά απόβλητα, ανόργανα οξέα και διαβρωτικά. Τα υλικά αυτά θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αυξημένα επίπεδα εκπομπών στον αέρα αλλά και ρύπων στο κλίνκερ, που είναι επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον.

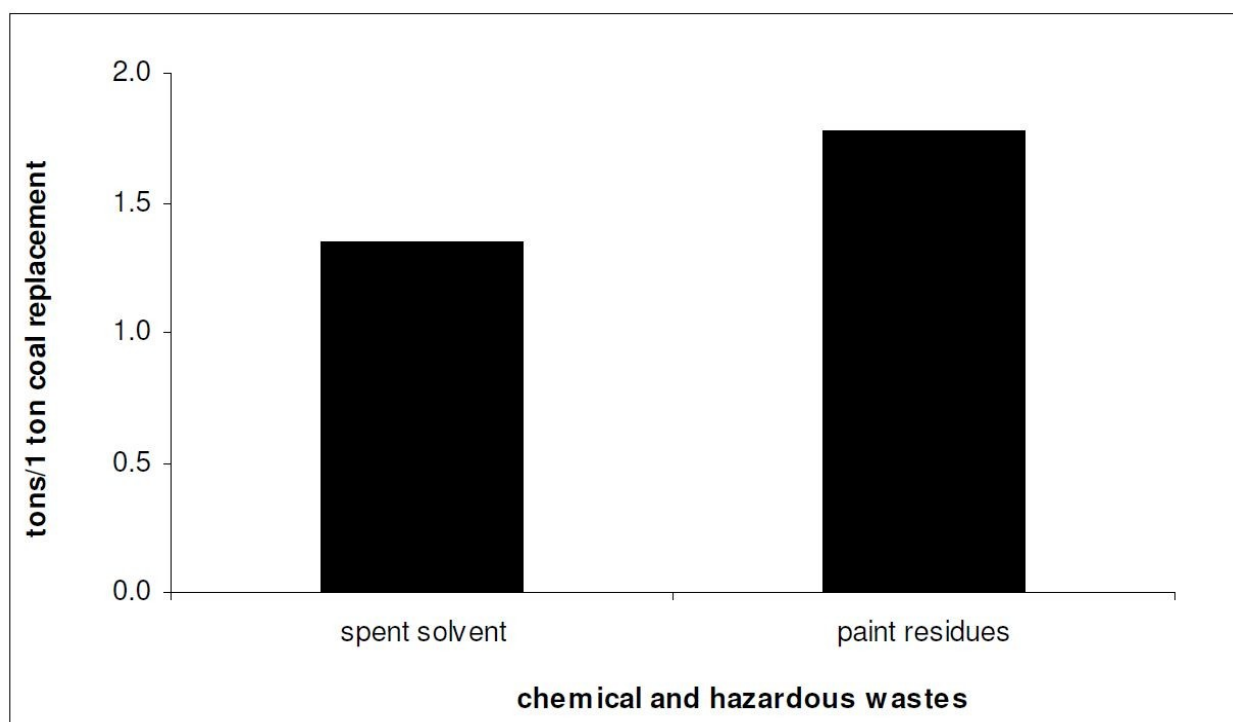
Στον Πίνακα 6.3.1 φαίνονται κάποια χαρακτηριστικά ορισμένων χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τσιμέντου.

Πίνακας 6.3.1: Χαρακτηριστικά χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα.^[12]

Καύσιμο	Ποσοστό υποκατάστασης %	Θερμογόνος δύναμη (GJ/ξηρό τόνο)	Περιεκτικότητα σε υγρασία %	Εκπομπές άνθρακα (τόνοι C/τόνο)	ΔCO ₂ (τόνος/τόνο άνθρακα υποκατάστασης)
Χρησιμοποιημένοι διαλύτες		Εύρος: 0 - 40 Μέσος όρος: 25	16.5	0.4	-0.95
Υπολείμματα υλικών βαφής		16.3	9	0.42	0.06
Αχρηστευμένα φυτοφάρμακα	57	37			

Επειδή τα χαρακτηριστικά και τα είδη των χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό, είναι δύσκολο να γενικεύσει κανείς μια τυπική ανάλυση για αυτού του είδους τα απόβλητα. Οι χρησιμοποιημένοι διαλύτες, όπως αναφέρεται σε όλες τις βιβλιογραφικές πηγές, έχουν κατώτερη θερμογόνο δύναμη περίπου 25 MJ/kg. Ένα αχρηστευμένο εντομοκτόνο με βάση διαλύτη έχει κατώτερη θερμογόνο δύναμη περίπου 37MJ/kg. Τα υπολείμματα υλικών βαφής έχουν περίπου 16 MJ/kg, θερμογόνο δύναμη περίπου ίδιας τάξης με τη βιομάζα. Στην περίπτωση των επικίνδυνων αποβλήτων, πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα για την περιεκτικότητα σε χλώριο (0,5-2%), κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο βαθμό θείωσης των μετάλλων (Pb, Cr, Zn, Fe και Ti) και να επηρεάσει την ποιότητα του τελικού προϊόντος (τσιμέντο). Οι περισσότερες πηγές χλωρίου είναι ομάδες χλωριωμένων διαλυτών. Οι πιο κοινές από αυτές είναι: το τετραχλωροαιθυλένιο (από μεταλλικά μέρη καθαρισμού), το 1-1-1 τριχλωροαιθυλένιο και τριχλωροαιθυλένιο (επιχρίσματα και κόλλες), το χλωρομεθυλένιο (εμπορικά διαβρωτικά χρωμάτων και συγκολλητικά ως διαλύτες υψηλής απόδοσης) και μια ποικιλία από χλωροφθοράνθρακες (μη τοξικά καθαριστικά και ψυκτικά μέσα).

Η ποσότητα των χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων που είναι απαραίτητα για να αντικατασταθεί ένας τόνος άνθρακα εξαρτάται από τη θερμογόνο δύναμη του υλικού και την περιεκτικότητα του σε υγρασία. Στο Σχήμα 6.3.1 φαίνονται οι τόνοι χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων που είναι απαραίτητοι για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα. Οι υπολογισμοί βασίζονται στις τιμές που αναφέρονται στον Πίνακα 6.3.1.



Σχήμα 6.3.1: Τόνοι υγρών χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα σε μια κάμινο τσιμέντου.^[12]

-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση

Ένα εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου, μπορεί να έχει τρία διαφορετικά συστήματα για τη λήψη και την τροφοδοσία των χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων: ένα για απόβλητα τα οποία είναι αντλήσιμα (υγρά), ένα για απόβλητα σε εμπορευματοκιβώτια και ένα τροφοδοτή με χρήση πεπιεσμένου αέρα για τα στερεά απόβλητα. Όσον αφορά τα αντλήσιμα απόβλητα, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ιξώδες του υλικού, δεδομένου ότι ορισμένα απόβλητα υπάρχουν πιθανότητα να απαιτούν θέρμανση για να μπορέσουν να αντληθούν και μετά να εκνεφωθούν. Επίσης, μερικά καύσιμα μπορεί να χρειαστούν ανάμειξη, ώστε να αποφευχθεί η καθίζηση στερεών σωματιδίων μέσα στις δεξαμενές. Ακόμα και αν το στάδιο της άλεσης και του τεμαχισμού εξαλείφεται για τα περισσότερα από τα υγρά και επικίνδυνα καύσιμα, για την αποτροπή βουλώματος από αιωρούμενα στερεά στις γραμμές σωλήνων, ακροφυσίων καυστήρα και βαλβίδων ελέγχου ροής, ενδέχεται να χρειαστούν θραυστήρες (grinders) σε ταυτόχρονη χρήση με τους αναμεικτήρες. Πολλά εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου χρησιμοποιούν ένα μύλο άλεσης για τη μείωση του μεγέθους των στερεών σωματιδίων.

Το pH και το σημείο πήξης των καυσίμων (για τα υγρά), είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη, κατά τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων. Τόσο τα υγρά όσο και τα στερεά καύσιμα, έχουν τη δυνατότητα να αναμιχθούν με κάποια άλλα καύσιμα σε αντιστοιχία με τη θερμογόνο δύναμη των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στο εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου, για την πιο εύκολη και ασφαλή διαχείρισή τους (π.χ ανάμειξη με πριονίδι). Αυτός ο τρόπος καύσης των επικίνδυνων αποβλήτων, βοηθά στην αποφυγή υπερθέρμανσης στην κάμινο και ελαχιστοποιεί την ανάγκη για περαιτέρω διορθώσεις στη λειτουργία.

Ο χώρος στον οποίο αποθηκεύονται αυτού του είδους τα υλικά, πρέπει να είναι σχεδιασμένος και να διατηρείται σε κατάσταση τέτοια, ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα. Επίσης, ο χώρος πρέπει να είναι σχεδιασμένος να ελαχιστοποιεί τους κινδύνους που αφορούν τόσο την ανθρώπινη υγεία όσο και το περιβάλλον, από φωτιές, εκρήξεις ή οποιοδήποτε τυχαία, ξαφνική ή μη ξαφνική απελευθέρωση επικίνδυνων αποβλήτων στον αέρα, το υπόγειο ή το επιφανειακό νερό. Λόγω της δυνατότητας των χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων να συμβάλλουν στις ανεπιθύμητες εκπομπές και να επιβαρύνουν το περιβάλλον, η τήρηση των κανονισμών για σωστή αποθήκευση και η τήρηση των πρωτοκόλλων διαχείρισης, είναι ζωτικής σημασίας για τις τσιμεντοβιομηχανίες.

-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας

Τα πρωτόκολλα τροφοδοσίας στις καμίνους έχουν αναπτυχθεί για την αποφυγή επιβλαβών εκπομπών: χημικά και επικίνδυνα καύσιμα από απόβλητα τα οποία είναι απαλλαγμένα από οργανικές ενώσεις μπορούν να προστεθούν στον ακατέργαστο πολφό ή στο μείγμα, ενώ τα υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικές, πρέπει να εισαχθούν απ' ευθείας στον κύριο καυστήρα ή στη ζώνη ασβεστοποίησης της περιστροφικής καμίνου. Έπειτα από την τροφοδοσία, τα συστήματα αποτρέπουν το σχηματισμό επιβλαβών εκπομπών, όπως πολυχλωριωμένων διβενζο-διοξίνων. Η περιεκτικότητα θείου σε άνθρακα έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τις εκπομπές τόσο των πολυχλωριωμένων διβενζο-διοξίνων όσο και των πολυχλωριωμένων διβενζο-φουρανίων. Για αυτό η μεικτή καύση επικίνδυνων αποβλήτων και άνθρακα είναι επιθυμητή. Είναι επίσης πολύ σημαντικό, για τα υλικά που καίγονται πλήρως, συνεπώς έχουν ικανό χρόνο παραμονής στη ζώνη καύσης, να παρακολουθούνται προσεκτικά οι σύνθήκες ανάμειξης, η θερμοκρασία και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο και να ρυθμίζονται όπως επιβάλλεται παίρνοντας υπόψη τη θερμογόνο δύναμη των καυσίμων αποβλήτων.

Μια περιστροφική κάμιнос τσιμέντου, για την καύση μη χλωριωμένων επικίνδυνων αποβλήτων, μπορεί να συμμορφώνεται είτε με τα κριτήρια αποτέφρωσης σύμφωνα με το νόμο περί τον έλεγχο ουσιών πολυχλωριωμένων διφαινυλίων που θεσπίστηκε στις Η.Π.Α (US TSCA PCB) και απαιτεί θερμοκρασία 1200°C με χρόνο παραμονής τουλάχιστον 2 δευτερόλεπτων στη θερμοκρασία καύσης περίσσειας οξυγόνου 2%, είτε με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2000/76/EU που απαιτεί θερμοκρασία 850°C για τουλάχιστον 2 δευτερόλεπτα. Ενώ, για οργανικές ενώσεις που περιέχουν περισσότερο από 1% αλογόνο απαιτείται θερμοκρασία 1100°C και χρόνος παραμονής 2 δευτερολέπτων, υπό παρουσία οξυγόνου 2%. Στον Πίνακα 6.3.2 φαίνονται τα κριτήρια των καμίνων, τόσο στις Η.Π.Α όσο και στην Ευρώπη, για συνεπεξεργασία επικίνδυνων αποβλήτων.

Πίνακας 6.3.2: Κριτήρια καμίνου στις Η.Π.Α και στην Ευρώπη για συνεπεξεργασία επικίνδυνων αποβλήτων.^[12]

	Θερμοκρασία(°C)	Χρόνος καύσης (sec)	Οξυγόνο (%)
US (TSCA PCB)	1200	2	3
EU (Directive 2000/76/EU) μη χλωριωμένα επικίνδυνα απόβλητα	850	2	-
EU (Directive 2000/76/EU) χλωριωμένα επικίνδυνα απόβλητα (>1%)	1100	2	2

-Ποιότητα υλικού και όγκος εκπομπών

Μελέτη με επικίνδυνα απόβλητα αναμειγμένα με (περίπου 30%) ξύλινα πριονίδια, εκπονήθηκε στην εγκατάσταση Tokheim (Γαλλική κατασκευάστρια αντλιών καυσίμου) και ανέφερε ότι δεν ανιχνεύθηκε καμία αρνητική επίπτωση από αυτή τη μεικτή καύση, ούτε στην ποιότητα του κλίνκερ ούτε στο περιβάλλον. Η χρήση αποβλήτων που προέρχονται από διαλύτες, μελάνια, από διαδικασίες βαφής, από υγρά βιομηχανικά απόβλητα, σε καμίνους καύσης με άνθρακα, έχει δείξει μια πολύ σημαντική (έως 40%) μείωση των εκπομπών NO_x . Ωστόσο, έχουν αναφερθεί αυξήσεις άκαυστων υδρογονανθράκων ή/και των επιπέδων των σωματιδίων. Οι Murray και Price (2008) ανέφεραν ότι ακόμα και αν ο διαλύτης που καταναλώνεται προκαλεί αποφυγή των εκπομπών CO_2 , 0.95 t CO_2 / τόνο άνθρακα αντικατάστασης, η χρησιμοποίηση υπολειμμάτων βαφής για να αντικαταστήσουν τον άνθρακα οδηγεί σε μια θετική αλλά μικρή προσθήκη CO_2 . Μόνο μια φορά παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση των επιπέδων εκπομπής CO σε πειραματικές διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν στην εγκατάσταση Tokheim το 2000 αλλά θεωρήθηκε τυχαίο γεγονός.

Η μελέτη που εκπονήθηκε από τους Gossman, Black και Ward (1990) για βαρέα μέταλλα σε υγρές διαδικασίες καμίνων τσιμέντου με επικίνδυνα καύσιμα αποβλήτων συμφωνεί με το συμπέρασμα από το Tokheim (2000). Ότι δηλαδή το μεγαλύτερο μέρος των ιχνοστοιχείων τα οποία βρίσκονται στην κάμινο προέρχονται από τις πρώτες ύλες και τους ορυκτούς άνθρακες παρά από χημικά και επικίνδυνα απόβλητα. Ο Πίνακας 6.3.3 παρέχει συμπεράσματα από μελέτη σε καμίνους τσιμέντου υγρών διαδικασιών.

Ο Jacott σε μελέτη του το 2003, συγκρίνει τις εκπομπές που αναφέρθηκαν παραπάνω με τα απόβλητα σκόνης που δημιουργούνται από την καύση χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων στις καμίνους. Αναφέρει, ότι παράγονται σημαντικά περισσότερα απόβλητα σκόνης και μάλιστα με μεγαλύτερη τοξικότητα, αλλά όχι στις ξηρές καμίνους παραγωγής τσιμέντου.

Πίνακας 6.3.3: Κατάληξη μετάλλων σε υγρές διαδικασίες καμίνων τσιμέντου.^[19]

Συμπυκνωμένα στη σκόνη της καμίνου	Συμπυκνωμένα στο κλίνκερ	Ομοιόμορφα κατανεμημένα	Εξαρτάται από το σημείο τροφοδοσίας
As	Be		Sb
Cd	Cr	Ba	As
Pb	Ag	Ni	Ba
Hg	V	V	Be
Se			Cr
Tl			Ni
			Se
			Zn

Πίνακας 6.3.4: Παραγωγή σκόνης τσιμεντοκαμίνου με επικίνδυνα και μη επικίνδυνα καύσιμα.^[18]

Είδος καμίνου	Μέσος όρος καθαρής σκόνης τσιμεντοκαμίνου σε αναλογία με την παραγωγή κλίνκερ (μετρικός τόνος σκόνης καμίνου/μετρικό τόνο κλίνκερ)
Κάμιнос μη επικίνδυνων καυσίμων	
Υγρή διαδικασία	0.060
Υγρή προθερμαντική/προασβεστοποιητική διαδικασία	0.024
Ξηρή διαδικασία	0.107
Κάμιнос επικίνδυνων καυσίμων	
Υγρή διαδικασία	0.061
Υγρή προθερμαντική/προασβεστοποιητική διαδικασία	0.038
Ξηρή διαδικασία	0.166

Από το 1980-1990, οι μηχανισμοί ελέγχου ρυπογόνων εκπομπών, είχαν εντοπίσει ότι η εκπομπή διοξίνων από την χρησιμοποίηση χημικών και επικίνδυνων αποβλήτων ήταν πολύ μεγαλύτερη. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι αυτές οι δοκιμές διεξήχθησαν κάτω από τις χειρότερες δυνατές συνθήκες καύσης, δηλαδή υψηλά ποσοστά τροφοδοσίας αποβλήτων και υψηλές θερμοκρασίες στα συστήματα ελέγχου της ρύπανσης αέρα. Έρευνα για την καύση τέτοιου είδους αποβλήτων, δείχνει ότι η δυνατότητα για σχηματισμό πολυχλωριομένων διβενζο-διοξίνων και πολυχλωριομένων διβενζο-φουρανίων σε τσιμεντοκαμίνοους περιορίζεται κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης και οι μετα-προθερμαντήριες ζώνες είναι οι πιο ψυχρές ζώνες του συστήματος. Σύμφωνα με αναφορές που έχουν γίνει από τον Karstensen, μελέτες στις καμίνοους προθέρμανσης/προασβεστοποίησης ξηρής διαδικασίας, που διενεργήθηκαν από το τμήμα ελέγχου ρύπανσης της Ταϊλάνδης, το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος Ηνωμένων Εθνών (UNEP) και την βιομηχανία τσιμέντου Holcim Columbia αλλά και έρευνες στην Αίγυπτο, όλες έχουν δείξει μη σημαντικές αυξήσεις στις εκπομπές πολυχλωριομένων διβενζο-διοξίνων/ διβενζο-φουρανίων σε σύγκριση με τις εκπομπές από την καύση άνθρακα στις καμίνοους. Τα επίπεδα πολυχλωριομένων διβενζο-διοξίνων/φουρανίων, πολυχλωριομένων διφαινυλίων και εξαχλωροβενζόλιου μετρήθηκαν με δύο επικίνδυνα εντομοκτόνα σε μια βιομηχανική μονάδα στο Βιετνάμ και όλα τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα επίπεδα εκπομπών ήταν κάτω από τα μέγιστα όρια. Σε μελέτη που εκπονήθηκε στη Μαλαισία, με ληγμένα στερεά και συμπυκνωμένα φυτοφάρμακα διαλυμένα σε κηροζίνη και μαζούτ, δεν ανιχνεύθηκαν πολυχλωριομένες διβενζο-διοξίνες/φουράνια. Σε μια άλλη μελέτη στον Καναδά, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καύσης με επικίνδυνους χλωριομένους υδρογονάνθρακες που περιείχαν έως 46% χλώριο. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι όλα τα πρωτογενή υλικά συμπεριλαμβανομένου του 50% του πολυχλωριομένου διφαινυλίου καταστράφηκαν. Επίσης φάνηκε ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά όγκου εκπομπών όταν το 20%-40% του συμβατικού καυσίμου αντικαθίσταται από υγρά απόβλητα. Παρόμοιες δοκιμές με χλωριομένους και φθοριομένους υδρογονάνθρακες διεξήχθησαν σε υγρή κάμινο στη Σουηδία και έδειξαν ότι η απόδοση καταστροφής και απομάκρυνσης του πολυχλωριομένου διφαινυλίου ήταν μεγαλύτερη από 99.98% και ότι δεν επιφέρεται καμιά αλλαγή στην ποιότητα του προϊόντος. Ωστόσο, τα πιο σημαντικά πρωτογενή μέτρα για να επιτευχθεί συμμόρφωση με το κατάλληλο επίπεδο εκπομπών, είναι η γρήγορη ψύξη των καυσαερίων της καμίνοου σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 200°C τόσο σε ξηρή όσο και σε υγρή διαδικασία, χωρίς προθέρμανση για την αποφυγή υψηλών θερμοκρασιών στην είσοδο του συστήματος ελέγχου μόλυνσης του αέρα. Σύγχρονες κάμινοοι προθέρμανσης/προασβεστοποίησης έχουν ήδη αυτό το χαρακτηριστικό στη διαδικασία σχεδιασμού. Αυτό που θα πρέπει να αποφεύγεται, είναι η τροφοδοσία εναλλακτικών πρώτων υλών ως μέρος μείγματος πρώτων υλών, ειδικά αν αυτό περιέχει εξαρχής οργανικές ουσίες, ενώ ταυτόχρονα δεν θα πρέπει να τροφοδοτούνται κατά την εκκίνηση ή τη λήξη της διαδικασίας.

6.4. ΚΑΥΣΙΜΑ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ

Σε παγκόσμια κλίμακα, περίπου το 30% των αποβλήτων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα στην τσιμεντοβιομηχανία προέρχονται από προϊόντα πετρελαίου, συμπεριλαμβανομένων των ελαστικών, των χρησιμοποιημένων ορυκτέλαιων, καουτσούκ, petcoke και της ασφάλτου. Ανάμεσα σε αυτά τα καύσιμα τα πιο συνήθη είναι τα ελαστικά και τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια.

Στον Πίνακα, 6.4.1, φαίνονται περιληπτικά βασικά χαρακτηριστικά των καυσίμων που βασίζονται στο πετρέλαιο και χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα στην παραγωγή τσιμέντου.

Πίνακας 6.4.1: Χαρακτηριστικά των καυσίμων που προέρχονται από το πετρέλαιο και χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα στην παραγωγή τσιμέντου.^[12]

Καύσιμο	Ποσοστό υποκατάστασης %	Κατώτερη Θερμογόνος δύναμη (GJ/ξηρό τόνο)	Εκπομπές άνθρακα (τόνοι C/τόνο)	ΔCO_2 (τόνος/τόνο άνθρακα υποκατάστασης)
Ελαστικά	<20	30-40	0.56	-0.8
Πολυαιθυλένιο	Μη διαθέσιμο	46	0.70	-1.0
Πολυπροπυλένιο	Μη διαθέσιμο	46	0.70	-1.0
Πολυστυρένιο	Μη διαθέσιμο	41	0.70	-0.9
Χρησιμ/ένα ορυκτέλαια	Μη διαθέσιμο	21.6	0.44	-0.5
Petcoke	Έως 100	19-34	0.78	0.2

Οι αρνητικές τιμές στη μεταβολή του CO_2 δείχνουν μια καθαρή μείωση των εκπομπών ενώ οι θετικές μια καθαρή αύξηση.

6.4.1. Καύσιμα που προέρχονται από ελαστικά

Τα ελαστικά αποτελούν τα παλαιότερα δευτερογενή εναλλακτικά στερεά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο της διαδικασίας παραγωγής τσιμέντου. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, το ποσοστό ελαστικών που χρησιμοποιείται για ενεργειακή αξιοποίηση στην τσιμεντοβιομηχανία είναι περίπου το 30% των ενεργειακών καυσίμων, ενώ στην Ελλάδα είναι μόλις το 1%. Ένα βασικό πρόβλημα λοιπόν, το οποίο απαιτεί άμεση επίλυση, αποτελεί η εγκατάλειψη στο περιβάλλον τόσο των οχημάτων όσο και των επιμέρους τμημάτων τους που ολοκληρώνουν τον κύκλο ζωής τους και τίθενται σε αχρηστία προτού αποσυρθεί το όχημα στο σύνολό του. Ένα τμήμα που προκαλεί αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον, κυρίως όταν αποτίθενται ανεξέλεγκτα είτε σε χωματερές είτε σε χαράδρες είναι τα ελαστικά μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους. Το μεγαλύτερο μειονέκτημά τους είναι ότι μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους, όταν αποτίθενται στο περιβάλλον, ο χρόνος πλήρους αφομοίωσής τους από τη φύση είναι πάρα πολύ μεγάλος. Αποτελούν υλικά που δεν αποικοδομούνται γρήγορα, υποβαθμίζοντας έτσι αισθητικά τον χώρο στον οποίο αποτίθενται και αποτελώντας μόνιμη εστία μόλυνσεων. Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό η αξιοποίηση τους ως καύσιμα, από τις βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου και σίγουρα αποτελεί μια επιπλέον λύση στην καταπολέμηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.



Εικόνα 6.4.1.1: Σωροί ελαστικών μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους εναποτίθενται ανεξέλεγκτα^[27].

-Ανάλυση υλικού

Η σύσταση των ελαστικών είναι μεταβλητή σε σχέση με τα επίπεδα των ενισχυτικών υλικών εντός των ελαστικών. Η σύνθεση είναι επίσης πιθανό να είναι διαφορετική από τον κάθε κατασκευαστή ή να αλλάξει κατά το πέρασμα του χρόνου από τη φθορά. Επίσης, η σύσταση διαφοροποιείται αν τα ελαστικά προέρχονται από επιβατικά ή φορτηγά οχήματα. Γενικά, τα καύσιμα που προέρχονται από ελαστικά είναι πολύ υψηλής ποιότητας καύσιμα, έχοντας θερμογόνο δύναμης 30-40MJ/kg περίπου, ίδια δηλαδή με έναν ορυκτό άνθρακα ανώτερης ποιότητας. Η περιεκτικότητα σε άζωτο αυτού του είδους καυσίμων, είναι χαμηλότερη από εκείνη του άνθρακα ενώ η περιεκτικότητα σε σε χλώριο είναι υψηλότερη. Τα καύσιμα που προέρχονται από ελαστικά, συνήθως έχουν περιεκτικότητα σε θείο 0,5%-2%, η οποία είναι μικρότερη ή ίση με τους περισσότερους άνθρακες και τους πετρελαϊκούς σπένθρακες. Επίσης, τα ελαστικά μπορεί να περιέχουν μέταλλα, όπως ο μόλυβδος, το κάδμιο και ο ψευδάργυρος. Στον Πίνακα 6.4.1.1 δίνονται ποσοστά συστατικών που περιέχουν τα ελαστικά.

Πίνακας 6.4.1.1: Ποσοστά επιμέρους συστατικών που περιέχουν τα ελαστικά οχημάτων.^[20]

Υλικό	Επιβατικά	Φορτηγά
Φυσικό ή συνθετικό καουτσούκ	47.0%	45.0%
Άνθρακας	21.5%	22.0%
Μέταλλα	16.5%	25.0%
Υφάσματα	5.5%	-
Οξείδιο ψευδαργύρου	1.0%	2.0%
Θείο	1.0%	1.0%
Πρόσθετα	7.5%	5.0%

-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση

Τα καύσιμα από ελαστικά μπορούν να παρέχονται σε έναν αριθμό διαφορετικών μορφών. Ανάλογα με τη μορφή του ελαστικού χρησιμοποιείται και για διάφορες εφαρμογές. Για πρακτικούς λόγους σύγκρισης μεταξύ των επιστημόνων ή όσων ασχολούνται με την εναλλακτική εκμετάλλευση των ανακυκλώμενων ελαστικών έχει πραγματοποιηθεί η διάκριση που φαίνεται στον πίνακα 6.4.1.2, ανάλογα με το μέγεθος των τεμαχίων τους. Στον Πίνακα 6.4.1.3 φαίνονται διάφορες μορφές όπου μπορούν να υπάρξουν, μαζί με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Πίνακας 6.4.1.2: Διάκριση ελαστικών ανάλογα με το μέγεθος των τεμαχίων τους.

Ονομασία ελαστικού μέρους	Μέγεθος ελαστικού
Cut	>300
Τεμάχιο (shred)	300-50mm
Chip	50-10mm
Κόκκος (granulate)	10-1mm
Πούδρα (powder)	<1mm
Λεπτή πούδρα (fine powder)	<500μm

Η αποθήκευση των ελαστικών (ολόκληρων) εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος και τον τύπο τους (οχημάτων ή φορτηγών). Η διαλογή και η αποθήκευση μπορεί να εκτελείται στο χώρο ή να έχει γίνει ήδη από τον προμηθευτή. Τα ολόκληρα ελαστικά απαιτούν περισσότερο χώρο αποθήκευσης. Παρά το γεγονός ότι η αποθήκευση πραγματοποιείται συνήθως σε ανοιχτό χώρο, μερικές φορές παραδίδονται σε ρυμουλκούμενα φορτηγά που λειτουργούν ως κάδοι αποθήκευσης και μπορούν να τροφοδοτούν το υλικό απ' ευθείας στις καμίνους ή τις μεταφορικές ταινίες τροφοδοσίας. Την ίδια στιγμή μερικοί διαχειριστές χρησιμοποιούν ως χώρο αποθήκευσης τα σιλό αποθήκευσης καυσίμου για να αποφεύγεται η διείσδυση του νερού.

Σήμερα, ένας αριθμός συστημάτων ελέγχου έχει ενσωματωθεί πλήρως στη μεταφορά και τη ζύγιση των ελαστικών. Για τα ολόκληρα ελαστικά οι τεχνικές που θέλουν ιδιαίτερη προσοχή είναι: η μηχανική μεταφορά από την αποθήκευση (ή μέσω φορτηγών και ξεφόρτωμα στο τέλος της μεταφοράς) και ο έλεγχος τροφοδοσίας στην κάμινο. Η μεταφορά των τεμαχισμένων ελαστικών στην κάμινο γίνεται συνήθως με μηχανικά μέσα. Για παράδειγμα ιμάντες, ταινίες μεταφοράς, ανυψούμενοι κάδοι κ.α. Μερικά συστήματα ενσωματώνουν περιστροφικές βαλβίδες, όπως τρίοδοι βαλβίδες, οι οποίες επιτρέπουν και προσθήκες άλλων τύπων εναλλακτικών καυσίμων μαζί με τα τεμαχισμένα ελαστικά.

Πίνακας 6.4.1.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διάφορων μορφών ελαστικών.^[21]

Τύπος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Τρίμματα ελαστικών	<ul style="list-style-type: none"> -Τα μεταλλικά μέρη των σφαιριδίων και ακτινικές ζώνες μπορούν να απομακρύνονται με αεροταξινόμηση. -Το τρίμμα μπορεί στη συνέχεια να εμφυσάται με κονιοποιημένο καύσιμο άνθρακα για την απευθείας υποκατάσταση του κονιοποιημένου άνθρακα. -Η αποθήκευση, η μεταφορά και η διαχείριση των τριμμάτων είναι παρόμοια με αυτή των ανθράκων. 	<ul style="list-style-type: none"> -Η απομάκρυνση του χάλυβα είναι περιττή, δεδομένου ότι οι κλίβανοι έχουν ανάγκη για σίδηρο κατά τη διαδικασία. -Η παραγωγή τριμμάτων είναι αρκετά ακριβή. -Μπορεί να απαιτηθεί καταστολή σκόνης ή πυρκαγιάς στο χώρο αποθήκευσης λόγω μεγάλης πυκνότητας.
Τεμαχισμένα ελαστικά	<ul style="list-style-type: none"> -Ο ρυθμός τροφοδοσίας να είναι συνεχής και προσεκτικά οργανωμένος. -Υπάρχει πολύ λίγη χειρωνακτική εργασία σε σχέση με τα ολόκληρα ελαστικά. 	<ul style="list-style-type: none"> -Η παραγωγή τους είναι ακριβή. -Το σύρμα των ελαστικών και οι ακτινικές ζώνες δεν έχουν ομαλή κοκκομετρική κατανομή, όταν τα ελαστικά είναι τεμαχισμένα. Συνεπώς τα τεμάχια που είναι συνδεδεμένα με αυτά τα σύρματα “αγκιστρώνουν” οτιδήποτε έρχεται σε επαφή μαζί τους. - Μπορεί να απαιτηθεί καταστολή σκόνης ή πυρκαγιάς στο χώρο αποθήκευσης.
Ολόκληρα ελαστικά	<ul style="list-style-type: none"> -Κανένα κόστος επεξεργασίας, μόνο δαπάνες απόκτησης -Δεν απαιτείται καταστολή σκόνης ή πυρκαγιάς στο χώρο αποθήκευσης. 	<ul style="list-style-type: none"> -Η μεταφορά, η αποθήκευση και η διαχείριση ολόκληρων ελαστικών απαιτεί περισσότερη υλικοτεχνική υποδομή και περισσότερη χειρωνακτική εργασία. Επίσης οι εργασίες αυτές είναι δύσκολο να αυτοματοποιηθούν.

-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας

Η χρησιμοποίηση ελαστικών ως εναλλακτικό καύσιμο στην παραγωγή τσιμέντου, δίνει πλήρη καταστροφή των ελαστικών χωρίς να παράγονται καθόλου αέριες εκπομπές υπό μορφή μαύρου καπνού που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα ή προκαλούν δυσάρεστες οσμές.

Για το σκοπό χρησιμοποίησης των ελαστικών στην παραγωγή τσιμέντου υπάρχουν δύο διαδικασίες αξιοποίησής τους: σε υγρές/ξηρές καμίνους ή σε καμίνους τύπου preheater/precalciner. Σε υγρές ή ξηρές μεθόδους παραγωγής, τα ελαστικά μπορούν να χρησιμοποιούν με δύο διαφορετικούς τρόπους. Κομμάτια ελαστικών ή και μικρότερα θρυμματισμένα ελαστικά μπορούν να εμψυσώνται με κονιοποιημένο άνθρακα ή μέσω ενός ξεχωριστού συστήματος τροφοδοσίας. Τα ολόκληρα ελαστικά μπορούν να τροφοδοτηθούν στην κάμινο μέσω κατάλληλης εισόδου τροφοδοσίας (τύπου Cadence) που είναι προσαρμοσμένη στο πλευρικό τοίχωμα της καμίνου. Η είσοδος αυτή, ενσωματώνει ένα ειδικό σύστημα τροφοδοσίας, εξωτερικά της καμίνου, κατά το οποίο τα ολόκληρα ελαστικά παραλαμβάνονται και παραδίδονται μέσα στην περιοχή της καμίνου, χρησιμοποιώντας τη βαρύτητα. Καθώς η είσοδος στην κορυφή της καμίνου περιστρέφεται, η πύλη ανοίγει και το ελαστικό πέφτει μέσα στην κάμινο. Ο μέγιστος ρυθμός τροφοδοσίας περιορίζεται στο ένα λάστιχο ανά περιστροφή. Το 10-15% του αέρα καύσεως για τη διαδικασία, προστίθεται στο μέσο της καμίνου για τη δημιουργία μιας οξειδωτικής ζώνης καύσης αλλά και για την εξασφάλιση της πλήρους καύσης των ελαστικών. Ωστόσο, τα σύρματα τα οποία φέρουν τα τεμάχια των ελαστικών μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα στην διαδικασία της τροφοδοσίας, αφού αυτή εξαρτάται απόλυτα από τη βαρύτητα. Η εγκατάσταση μπορεί να είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Επιπρόσθετα, ο ψυχρός αέρας που εισέρχεται στην κάμινο με κάθε άνοιγμα της πύλης επηρεάζει αρνητικά την απόδοση της καμίνου. Πάντως σε αυτού του είδους τις καμίνους, αυτή είναι η μόνη μέθοδος αξιοποίησης των ελαστικών.

Η διαδικασία στις καμίνους τύπου προθέρμανσης-προπύρωσης (preheater/precalciner) είναι πιο εύκολη και μπορούν να αξιοποιηθούν θρυμματισμένα ή και τεμαχίδια ελαστικών ως άμεσα υποκατάστατα κονιοποιημένου άνθρακα, όπως και στην παραπάνω περίπτωση. Στις μεθόδους preheater-precalciner, επιτρέπεται η τροφοδοσία ολόκληρων ή τεμαχισμένων ελαστικών πολύ απλά, μέσω ενός κεκλιμένου αγωγού στην τροφοδοσία της καμίνου, καθώς η τροφοδοσία γίνεται από το τελευταίο στάδιο προθέρμανσης-προπύρωσης. Ολόκληρα ελαστικά ή τρίμματα, μπορούν να τροφοδοτηθούν σε έναν κεκλιμένο αγωγό διπλής εισόδου, μεταξύ της καμίνου και της εκκένωσης της στο τελευταίο στάδιο. Με την εξωτερική πύλη κλειστή, η εσωτερική πύλη ανοίγει και πέφτει το ελαστικό ή τα τρίμματα κατευθείαν μέσα στην τροφοδοσία της καμίνου ή σε έναν κεκλιμένο αγωγό ο οποίος διοχετεύει, τα ελαστικά ή τα τρίμματα, εντός της τροφοδοσίας. Και πάλι, λόγω της βαρύτητας, μπορεί να υπάρξει πρόβλημα με τα σύρματα τα οποία φέρουν τα ελαστικά. Ωστόσο, το σύστημα αυτό είναι το πλέον κατάλληλο για ολόκληρα ελαστικά. Επίσης, ο χρονισμός ανοίγματος/κλεισίματος του θαλάμου μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί ο ρυθμός εισόδου των ελαστικών και να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις των εκπομπών.



Εικόνα 6.4.1.2: Φόρτωση ελαστικών σε κάμινο^[27].

-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών

Σύμφωνα με θεωρητικές απόψεις, το θείο και ο άνθρακας που απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια της καύσης των ελαστικών αναμένεται να ενσωματωθούν στο CaO, για το σχηματισμό γύψου, που αποτελεί πρόσθετο (σε συνάλεση με το κλίνκερ) του τσιμέντου. Επίσης, οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου αναμένεται να είναι μειωμένες. Υπάρχουν όμως ορισμένα εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου, που μέσω δοκιμών έχουν διαπιστώσει αλλαγές στα επίπεδα εκπομπών SO_x και NO_x, ανάλογα με το που και πότε καίγονται τα ελαστικά αλλά και τα επίπεδα παρουσίας οξυγόνου. Σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στην εγκατάσταση Tokheim (2000) με ολόκληρα ελαστικά αυτοκινήτων στην είσοδο της καμίνου και με μέγιστο ρυθμό τροφοδοσίας 1t/h, επιτεύχθηκε μείωση εκπομπών NO_x της τάξης του 25% και η συγκέντρωση του θείου αυξήθηκε από το 4% σε ένα επίπεδο περίπου του 6%. Στην ίδια μελέτη αλλά με τεμαχισμένα ελαστικά αυτοκινήτων στην είσοδο της καμίνου, διαπιστώθηκαν μειωμένες εκπομπές NO_x κατά 30-50%. Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε από τους Prisciandaro, Mazziotti και Veglio (2003) έδειξε ότι αν τα ελαστικά αντικαθιστούν λιγότερο από το 20% των συμβατικών καυσίμων ο όγκος των εκπομπών συμπεριλαμβανομένων και των SO₂, NO_x και CO ελαφρώς θα αυξηθεί. Η διαφωνία για τις εκπομπές υπήρξε εξαιτίας της σημαντικής παροχής αέρα, της διαφορετικής υγρασίας και της ατελούς καύσης των ελαστικών που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση. Ο Mokrzycki ανέφερε χαρακτηριστικά ότι αύξηση των εκπομπών εμφανίζεται μόνο αν τα εναλλακτικά καύσιμα τροφοδοτούνται στην είσοδο της καμίνου. Σε δοκιμές, είχε διαπιστωθεί ότι με ένα συνδυασμό ελαστικών και άνθρακα πραγματοποιήθηκε αύξηση 24% στις εκπομπές SO₂, μείωση 11% των οξειδίων αζώτου και αύξηση 37% των εκπομπών CO. Παρόλα αυτά παρατηρήθηκε μείωση του ρυθμού εκπομπής οργανικών ενώσεων που υπολογίζεται στο 45% για διοξίνες και φουράνια.

Σύμφωνα με δοκιμές που έγιναν στην εγκατάσταση Tokheim (2000) δεν υπήρξε καμιά σημαντική αύξηση των εκπομπών διοξίνων/φουρανίων ή βαρέων μετάλλων κατά τη χρησιμοποίηση τεμαχισμένων ελαστικών στην είσοδο της καμίνου. Ωστόσο σε μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Hsu και Ling (2000) τα επίπεδα των διοξίνων και φουρανίων στο τσιμέντο αυξήθηκαν κατά την προσθήκη ελαστικών στην κάμινο. Επίσης, φαίνεται να αυξάνεται η εκπομπή πτητικών οργανικών ενώσεων, κάτι που πιθανώς οφείλεται στο σημείο τροφοδοσίας το οποίο ήταν η είσοδος της καμίνου. Παράλληλα, τα διαθέσιμα στοιχεία για την καύση ελαστικών σε καμίνους για παραγωγή τσιμέντου, δείχνουν ότι η απελευθέρωση των μετάλλων μοιάζει να είναι ελάχιστη. Σε αυτό συμβάλλει η παρουσία σιδήρου στις πτυχώσεις και στις ακτινικές ζώνες των ελαστικών, που μειώνει την ανάγκη για προμήθεια και τροφοδοσία οξειδίων σιδήρου, που αποτελούν βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή τσιμέντου. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Conesa, Galvez, Mateos, Martin-Gullon, και Font (2008), διαπιστώθηκε ότι η αύξηση νικελίου μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλο όγκο εκπομπών κατά την τροφοδοσία των ελαστικών, ειδικά αν το σημείο τροφοδοσίας είναι η είσοδος της καμίνου. Ως εκ τούτου, τα μέταλλα που περιέχονται στα ελαστικά, τα οποία εξαχνώνονται μέσα στην κάμινο, έχουν μικρότερο χρόνο παραμονής εντός της καμίνου, ώστε να απορροφηθούν από το τσιμέντο.

6.4.2. Καύσιμα που προέρχονται από πλαστικά

Όταν αναφερόμαστε στον όρο πλαστικά, εννοούμε μια ευρεία ποικιλία συνθετικών ή ημισυνθετικών οργανικών στερεών υλικών, τα οποία μπορεί να περιέχουν πρόσθετα, οργανικά ή μη, για βελτίωση των ιδιοτήτων τους. Τα πλαστικά είναι πολύ ανθεκτικά στη διάβρωση και πολλά από αυτά, αν δεν ανακυκλώνονται, προκαλούν σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα αφού δεν είναι αποικοδομήσιμα στη φύση. Η αξιοποίηση τους ως καύσιμα σε τσιμεντοκαμίνους, ίσως αποτελεί μια λύση διάθεσης τους. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν εργοστάσια που να χρησιμοποιούν μόνο πλαστικά απόβλητα ως εναλλακτικά καύσιμα, για την παραγωγή τσιμέντου. Τα χρησιμοποιούν σε συνδυασμό με άλλες εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Τα πλαστικά απόβλητα έχουν μεγάλη τιμή αγοράς η οποία συνήθως κυμαίνεται στα 13-14 Ευρώ/τόνο, που όμως είναι πολύ πιο χαμηλή από την τιμή του άνθρακα.

-Ανάλυση υλικού

Τα χρησιμοποιημένα πλαστικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικά καύσιμα για την παραγωγή τσιμέντου πρέπει να ελέγχονται και να προσδιορίζεται η χημική τους σύσταση, ώστε να διαπιστώνεται η καταλληλότητά τους για καύση. Συνήθως, πολλά πλαστικά έχουν περιεκτικότητα σε χλώριο, κάτι που αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Πλαστικά που είναι ακατάλληλα για χρήση σε βιομηχανικές διεργασίες έχουν συνήθως θερμογόνο δύναμη της τάξης των 29 έως 40 MJ/kg που είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτή του άνθρακα, ενώ πλαστικές σακούλες (απόβλητα συσκευασιών) που προέρχονται από τα καταστήματα λιανικής πώλησης, έχουν μια θερμογόνο δύναμη της τάξης των 12.5 έως 18.5 MJ/kg. Ωστόσο, το χλωριούχο πολυβινύλιο (Polyvinyl Chloride, PVC) που χρησιμοποιείται για σωλήνες, οικιακά είδη και το οποίο περιέχει σχεδόν 50% χλώριο, αλλά και το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (Polyethylene Terephthalate, PET) που χρησιμοποιείται σε φιλμ, δοχεία, ίνες, κλπ και έχει υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο, χαρακτηρίζονται και τα δύο από χαμηλές τιμές θερμογόνου δύναμης.

-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση

Μερικά εργοστάσια χρησιμοποιούν πλαστικά υλικά που προέρχονται από αστικά στερεά απόβλητα, ενώ ορισμένα άλλα χρησιμοποιούν μόνο πλαστικά τα οποία δεν είναι κατάλληλα για ανακύκλωση. Ο διαχωρισμός τους γίνεται στην πηγή και στη συνέχεια τα πλαστικά συλλέγονται και διαχωρίζονται περαιτέρω, καθώς δεν είναι όλα κατάλληλα για χρήση ως καύσιμα (λόγω του ότι μερικά μπορεί να έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε χλώριο και θείο). Συνήθως, τα πλαστικά είναι τεμαχισμένα σε περίπου 2 έως 20 χιλιοστά, ενώ μπορεί και να κοκκοποιούνται και σε μικρότερου μεγέθους κλάσματα ώστε να πληρούν τις προδιαγραφές μεγέθους που ορίζει το εργοστάσιο. Πάντως, σε διάφορες χώρες τα πλαστικά χρησιμοποιούνται ως μέρος μείγματος υλικών. Για παράδειγμα, στην Αυστρία τα εργοστάσια χρησιμοποιούν καύσιμες στερεές ουσίες που αποτελούνται από πλαστικά, πριονίδι, έλαια και βερνίκια, στο Βέλγιο καύσιμα που περιέχουν υγρά καύσιμα υποκατάστασης και εμποτισμένο χαρτί με απορροφητική ουσία ενώ στο Ηνωμένο Βασίλειο πολλά εργοστάσια τσιμέντου αξιοποιούν καύσιμα που περιέχουν μείγμα χαρτιού, πλαστικού, υπολείμματα ταπήτων και φωτογραφικό φιλμ. Όσον αφορά την αποθήκευση, όταν έχουμε ογκώδη τεμάχια που απαιτούν ελάττωση μεγέθους αυτά τα υλικά φυλάσσονται σε στεγασμένες εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Συνήθως, κατασκευάζονται αποθηκευτικοί χώροι ώστε να προφυλάσσεται το υλικό από την επαφή με υγρά, κάτι που μπορεί να προκαλέσει μεταβλητότητα στην παροχή της τροφοδοσίας. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης των υλικών από πλαστικό δεν χρειάζονται συστήματα ελέγχου υγρασίας και μείωσης οσμών. Λόγω της χημικής τους σύστασης, τα πλαστικά μπορούν εύκολα να αναφλεγούν όταν εκτεθούν σε αρκετή θερμότητα υπό την παρουσία οξυγόνου. Ως εκ τούτου συστήματα καταστολής σκόνης, ανίχνευσης και κατάσβεσης πυρκαγιάς, είναι συστήματα που είναι απαραίτητα για την ασφαλή αποθήκευση τέτοιου είδους υλικών.

Σχετικά με τη διακίνηση του προτεμαχισμένου, συνήθως αυτό φορτώνεται από τους αποθηκευτικούς χώρους μέσω οχημάτων σε κάδους και κεκλιμένα επίπεδα φόρτωσης. Το υλικό στη συνέχεια μεταφέρεται μηχανικά μέσω μιας ταινίας μεταφοράς στο πλησιέστερο σημείο εισαγωγής στην κάμινο. Αυτό, επιτρέπει στα τεμαχισμένα υλικά να υπόκεινται προηγουμένως σε μαγνητικό διαχωρισμό για την απομάκρυνση τυχόν παγιδευμένων σιδηρούχων μεταλλικών υλικών, από την ταινία. Στη συνέχεια, το υλικό εμφανίζεται στην κάμινο μέσω ενός συστήματος πεπιεσμένου αέρα (πνευματική μεταφορά), αφού πρώτα τοποθετηθεί σε ένα σύστημα μέτρησης (συνήθως διάταξη ζύγισης), ώστε να εξασφαλισθεί ο σταθερός ρυθμός τροφοδοσίας μέσα στην κάμινο.

-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας

Τα πλαστικά μεταφέρονται είτε στον κύριο καυστήρα είτε στη δευτερεύουσα καύση, στον προασβεστοποιητή. Το υλικό μεταφέρεται στον καυστήρα, από ένα ενδιάμεσο δοχείο που έχει συσσωρευθεί, μέσω μιας μεταφορικής ταινίας και ενός περιστροφικού συστήματος τροφοδοσίας, μέσω πνευματικής μεταφοράς. Το σύστημα έχει απλή σχεδίαση και εύκολη συντήρηση. Ορισμένα σημαντικά σημεία αναφέρονται παρακάτω:

- Η σύνθεση της πρώτης ύλης θα πρέπει να ελέγχεται για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της στην όλη διαδικασία, το τελικό προϊόν αλλά και τον όγκο των εκπομπών.
- Τα εναλλακτικά καύσιμα πρέπει να τροφοδοτούνται με κατάλληλο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η ταυτόχρονη επαφή μεταξύ καυσίμου, προασβεστοποιημένου μείγματος και αερίων καμίνου.
- Τα επίπεδα οξυγόνου πρέπει να διατηρούνται βέλτιστα, για την εξασφάλιση ελάχιστης δημιουργίας ρύπων.

- Ο ρυθμός τροφοδοσίας των υλικών πρέπει να είναι ελεγχόμενος και σύμφωνος με τη θερμοκρασία και να εναρμονίζεται με το ρυθμό τροφοδοσίας του βασικού καυσίμου.
- Για τη χρήση σε πρωτογενή καύση, το μέγεθος των τεμαχιδίων πρέπει να είναι 10mm, γιατί είναι το βέλτιστο για υψηλό ρυθμό τροφοδοσίας. Η καύση μεγαλύτερου μεγέθους πλαστικών υλικών, δημιουργεί στην είσοδο, στην περιοχή υψηλής θερμοκρασίας της φλόγας, σωματίδια σφαιρικού σχήματος εξαιτίας της δομής του υλικού.

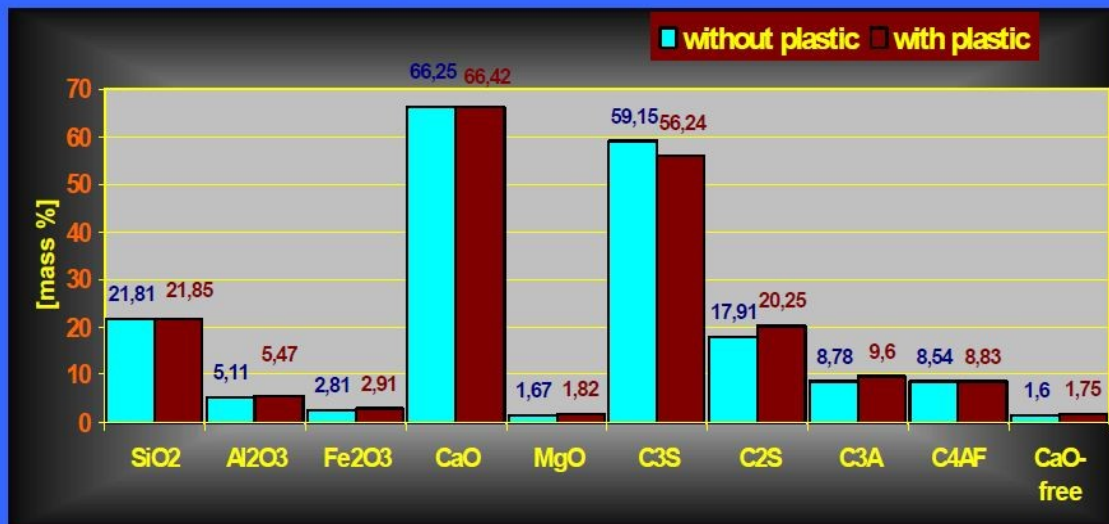
-Ποιότητα υλικού και όγκος εκπομπών

Τα οφέλη που σχετίζονται με την αντικατάσταση των ορυκτών ανθράκων με καύσιμα προερχόμενα από πλαστικά, είναι μεγαλύτερα κατά τη χρησιμοποίηση πλαστικών υλικών, όπως πολυαιθυλένιο και πολυστυρένιο, και υπολογίζονται περίπου στον 1 t CO₂/ t άνθρακα. Η συγκέντρωση του χλωρίου μπορεί να αποτελέσει έναν ανασταλτικό παράγοντα σε ορισμένες ποικιλίες πλαστικών και ιδιαίτερα στο PVC. Ωστόσο, λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να αποτελέσει η δέσμευση των σωματιδίων μέσω ενός σακκόφιλτρου και η ανακύκλωσή τους πίσω στο κλίνκερ. Το χλώριο βέβαια, μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα και την αντοχή του κλίνκερ, αν οι συγκέντρωσή του υπερβαίνει το 0.7%. Σύμφωνα με δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στην εγκατάσταση Tokheim (2000) και διενεργήθηκαν με υψηλής ποιότητας μείγματος πλαστικού στην είσοδο της καμίνου (15% υποκατάσταση ενέργειας), διαπιστώθηκε μείωση των εκπομπών NO_x έως και 40%. Αντίθετα, με σημείο τροφοδοσίας την περιοχή του προασβεστοποιητή η μείωση των εκπομπών NO_x έφτασαν μόλις το 20%. Εν τούτοις, όταν το σημείο τροφοδοσίας είναι η είσοδος της καμίνου μπορεί να προκύψουν ορισμένα άλλα λειτουργικά προβλήματα. Το αναγωγικό περιβάλλον διαταράσσει την εσωτερική κυκλοφορία του θείου, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση θειικών αλάτων στο προασβεστοποιημένο μείγμα και τον αυξημένο σχηματισμό εναποθέσεων στην περιοχή του προασβεστοποιητή. Επίσης, αυξάνεται η μεταφερόμενη ενέργεια από την περιστροφική κάμινο στον προασβεστοποιητή. Συνεπώς αυξάνεται και η συγκέντρωση ασβεστίου στο κλίνκερ, κάτι που επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του τελικού προϊόντος (τσιμέντο). Στο Σχήμα 6.4.2.1 φαίνεται η επίδραση στην ποιότητα του κλίνκερ, από την καύση πλαστικών και στο οποίο το 40% των καυσίμων έχει υποκατασταθεί από θερμικά κλάσματα αποβλήτων.

40% fuels substitution through thermal fraction from waste

Influences on the clinker

Content on oxides and phases in [mass-%]



Σχήμα 6.4.2.1: Επίδραση της καύσης πλαστικών στην ποιότητα του κλίνκερ.^[22]

Όσον αφορά τις εκπομπές διοξίνων δεν μπορούμε να μιλήσουμε αποκλειστικά για την καύση πλαστικών γιατί αυτά αξιοποιούνται σε συνδυασμό με διάφορα μείγματα άλλων εναλλακτικών καυσίμων. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον Karstensen (2008), χρησιμοποιήθηκε αρχικά ένα μείγμα από ζωικά άλευρα, πλαστικά και υπολείμματα υφασμάτων. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ένα δεύτερο μείγμα από pet coke, πλαστικά και χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια και τέλος ένα μείγμα από άνθρακα, πλαστικά και ελαστικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εκπομπές πολυχλωριομένων διβενζο-διοξίνων/φουρανίων ήταν αντίστοιχα 0.0024, 0.001 και 0.0021-0.0041 ng/m³.

Παράλληλα, ενδέχεται τα καύσιμα να περιέχουν πτητικά μέταλλα, όπως είναι ο υδράργυρος και το θάλλιο. Αυτά είναι πιθανό να περάσουν στη διεργασία του τσιμέντου και να απελευθερωθούν στον αέρα. Εν τούτοις, αυτά τα μέταλλα τείνουν να συμπυκνωθούν σε σκόνη, καθώς υπάρχει ψυχρό ρεύμα, με αποτέλεσμα να απομακρύνονται από τον ηλεκτροστατικό καθαρισμό αερίων εκπομπών. Τα ημι-πτητικά μέταλλα, όπως είναι το κάδμιο, ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος, με συσσώρευσή τους μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στη διαδικασία καύσης, για αυτό τα υλικά πρέπει να ελέγχονται στην πηγή και αν χρειαστεί να περιορίζεται η συγκέντρωσή των μετάλλων αυτών.

6.4.3. Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια

Με τον όρο χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια εννοούμε κάθε βιομηχανικό ή λιπαντικό έλαιο ορυκτής συνθετικής ή μικτής βάσης το οποίο κατέστη ακατάλληλο για τη χρήση για την οποία προοριζόταν αρχικά. Κυρίως εννοούμε τα χρησιμοποιημένα λάδια κινητήρων εσωτερικής καύσεως και κιβωτίων ταχυτήτων, τα ορυκτέλαια μηχανών, στροβίλων και υδραυλικών συστημάτων. Στη κατηγορία των χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων συμπεριλαμβάνονται και τα μείγματα πετρελαιοειδών καταλοίπων-λιπαντελαίων που προέρχονται από πλοία, άλλα μέσα μεταφοράς ή σταθερές εγκαταστάσεις. Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης συλλέγονται περίπου 1.7 εκατομμύρια τόνοι/έτος χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων, από τα οποία το 63% χρησιμοποιείται ως εναλλακτικό καύσιμο για την παραγωγή τσιμέντου.

-Ανάλυση υλικού

Σε γενικές γραμμές τα τελευταία χρόνια τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο ως εναλλακτικά καύσιμα στη βιομηχανία τσιμέντου, δεδομένου ότι χαρακτηρίζονται από μια σχετικά υψηλή θερμογόνο δύναμη (33-44 MJ/kg). Ως επί το πλείστον όμως παραμένουν επικίνδυνα, κάτι που οφείλεται στις υψηλές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων που προκύπτουν λόγω της μόλυνσης από υλικά με τα οποία μπορεί προηγουμένως να έχουν έρθει σε επαφή. Σε σύγκριση με τα καύσιμα που προέρχονται από το πετρέλαιο, τα ορυκτέλαια αυτά έχουν πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε βαρέα μέταλλα, θείο, φώσφορο και αλογόνα. Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις τους εξαρτώνται από την πηγή προέλευσης των ορυκτελαίων. Για παράδειγμα, κοινό άλας, “χλωριούχο νάτριο” συχνά εμφανίζεται σε χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια που προέρχονται από διεργασίες σε θαλάσσιο περιβάλλον, εξαιτίας της μόλυνσης από το θαλασσινό νερό.

-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση

Η προεπεξεργασία των ορυκτελαίων πριν από την καύση δεν είναι απαραίτητη. Ωστόσο, το υλικό μπορεί να προεπεξεργαστεί με ανάμειξη, σε δεξαμενή ανάμειξης και διήθηση για την αφαίρεση ιζημάτων. Οι πολύ υψηλές τιμές θερμογόνου δύναμης των ορυκτελαίων, βοηθούν στην ανάμειξη άλλων υγρών, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή μέση τιμή θερμογόνου δύναμης για τη χρήση στις καμίνους τσιμέντου. Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για την αποφυγή διαρροών κατά τη μεταφορά των χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Τυχόν διαρροές θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με τη χρήση απορροφητικών υλικών. Τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια αποθηκεύονται σε δεξαμενές, οι οποίες πρέπει να είναι εγκατεστημένες, όπου είναι δυνατόν, πάνω από το έδαφος. Αυτό επιτρέπει να πραγματοποιούνται έλεγχοι συντήρησης πιο τακτικά και πιο εύκολα αλλά και οι διαρροές να εντοπίζονται νωρίτερα. Όλες οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης θα πρέπει τοποθετούνται σε στεγανή βάση ώστε το υλικό να μην έρχεται σε επαφή με νερό (υπεδαφικό ή τρεχούμενο). Σε περίπτωση διαρροής πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα ώστε να αποτραπεί η είσοδος των ελαίων σε αποχετεύσεις, στο έδαφος ή σε οποιεσδήποτε πορώδεις επιφάνειες.

-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας

Το υλικό μπορεί να τροφοδοτείται μέσω του κύριου καυστήρα ή του ασβεστοποιητή, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα τροφοδοσίας και εκνέφωσης των ελαίων. Γενικά, μη αναμειγμένα ορυκτέλαια χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση ή την προθέρμανση της διαδικασίας του κύριου καυστήρα. Συνήθως, ένα υγρό καύσιμο και ένα ακροφύσιο με σύστημα εκνέφωσης είναι προσαρμοσμένα και εγκατεστημένα στο κέντρο του σωλήνα καύσης του άνθρακα.

-Ποιότητα προϊόντος και εκπομπές

Οι μειώσεις στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν από την αντικατάσταση του άνθρακα από χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια υπολογίζεται περίπου σε 0.5 τόνους CO₂ ανά τόνο άνθρακα που αντικαθίσταται.

Μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Γιαννόπουλο Δ., Κολαίτη, Δ., Τογκαλίδου Α., Σκευή Γ., Φούντη Μ. (2007), για την χρησιμοποίηση γαλακτωμάτων ελαίων στις τσιμεντοκαμίνους, έδειξε ότι αν και οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου NO_x από τον προασβεστοποιητή είναι γενικά χαμηλότερες από αυτές στην κάμινο, η έγχυση γαλακτωμάτων ελαίων στην τελευταία μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των επιπέδων NO μέχρι και 50%. Ωστόσο, η εισαγωγή ελαίων με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο στον προασβεστοποιητή μπορεί να προκαλέσει, κάτω από ορισμένες συνθήκες, αύξηση των επιπέδων των εκπομπών NO_x.

Μια άλλη μελέτη που εκπονήθηκε από τους Berry και MacDonald (1975/76), με καύση λαδιών που χρησιμοποιούνται σε στροφαλοθάλαμους αυτοκινήτων, τα οποία είναι σε μεγάλο βαθμό μολυσμένα από τοξικά συστατικά, έδειξε σημαντική ποσότητα εκπομπών, μόλυβδου, ψευδάργυρου και φώσφορου. Οι εκπομπές μόλυβδου, ψευδάργυρου και φώσφορου στην κάμινο δεν βρέθηκαν αυξημένες, αντίθετα βρέθηκε μια μικρή αύξηση των εκπομπών σε βρώμιο. Παράλληλα, μικρή μείωση των εκπομπών, διαπιστώθηκε κατά τη διάρκεια της μελέτης, όταν μαζί με την εισαγωγή των ορυκτελαίων υπήρξε και προσθήκη νερού, κάτι που βελτιώνει την απόδοση του συστήματος καθαρισμού αερίων. Όσον αφορά τις εκπομπές πολυχλωριομένων διβενζο-διοξίνων/φουρανίων, σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε καμίνους ξηρής διεργασίας, στη Γερμανία, δεν διαπιστώθηκε καμιά σημαντική διαφορά σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα. Ωστόσο, όπως ανέφερε ο Boughton (2004) οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από την καύση ανεπεξέργαστων χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων, είναι πολύ σημαντικές και χρήζουν σπουδαίας προσοχής, με συνέπεια αυτή η πρακτική καύσης να μην συνιστάται για καμίνους τσιμέντου.

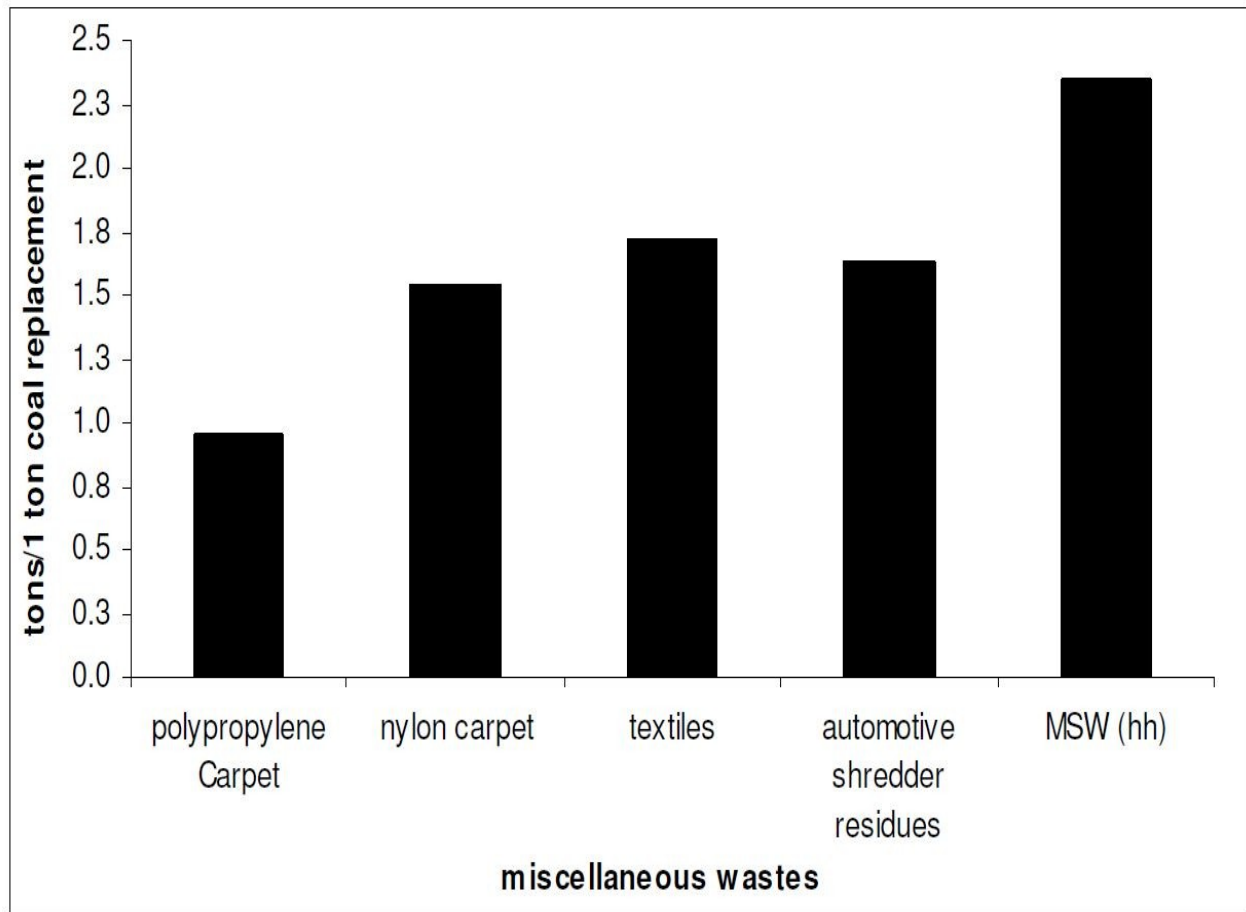
6.5. ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Υπάρχει μια ποικιλία διάφορων αποβλήτων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα στις καμίνους τσιμέντου. Τέτοια καύσιμα μπορεί να είναι, υπολείμματα τεμαχισμού αυτοκινήτων, υπολείμματα υφασμάτων, υπολείμματα από τη βιομηχανία ταπήτων, κεριού, αέρια χώρου υγειονομικής ταφής και αστικά στερεά απόβλητα. Τα υπολείμματα τεμαχισμού αυτοκινήτων, τα υπολείμματα υφασμάτων και τα αστικά στερεά απόβλητα έχουν κατώτερη θερμογόνο δύναμη περίπου της τάξης των 16 MJ/kg, τα αέρια χώρου υγειονομικής ταφής έχουν λίγο μεγαλύτερη, περίπου 19 MJ/kg ενώ η θερμογόνο δύναμη για τα υπολείμματα ταπήτων εξαρτάται από το είδος του τάπητα: τα υπολείμματα ταπήτων από πολυπροπυλένιο και νάυλον έχουν περίπου 28 MJ/kg και 17 MJ/kg αντίστοιχα. Από τη θερμογόνο δύναμη εξαρτάται η ποσότητα των αποβλήτων αυτών που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα. Στο Σχήμα 6.5.1 μπορούμε να δούμε τις ποσότητες αυτές, οι οποίες βασίζονται σε μέση Κ.Θ.Δ άνθρακα 23.6 MJ/kg. Στον Πίνακα 6.5.1 φαίνονται κάποια χαρακτηριστικά διάφορων αποβλήτων που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα για την παραγωγή τσιμέντου.

Πίνακας 6.5.1: Χαρακτηριστικά διάφορων αποβλήτων που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα.^[12]

Καύσιμο	Ποσοστό υποκ/στασης	Κατώτερη θερμογόνο δύναμη (GJ/ξηρό τόνο)	Περιεκ/τητα σε υγρασία	Εκπομπές άνθρακα (τόνοι C/τόνο)	ΔCO ₂ (τόνος/τόνο άνθρακα υποκατάστασης)
Υπολείμματα τεμαχισμού αυτοκινήτων	2	16.5	2	0.44	0.01
Υπολείμματα ταπήτων					
Πολυπ/λένιο	-	28	0.2	0.57	-0.54
Νάυλον	-	17	0.9	0.42	-0.15
Υφάσματα	30	16.3	6	0.41	0
Αέριο χώρου υγειονομικής ταφής	-	19.7		0.3	-1
Αστικά στερεά απόβλητα	Έως 30	12-16	10-35	0.26-0.36	-0.4

Οι αρνητικές τιμές στη μεταβολή του CO₂ δείχνουν μια καθαρή μείωση των εκπομπών ενώ οι θετικές μια καθαρή αύξηση.



Σχήμα 6.5.1: Τόνοι διάφορων αποβλήτων που απαιτούνται για την αντικατάσταση ενός τόνου άνθρακα.^[12]

6.5.1. Αστικά στερεά απόβλητα και καύσιμα εξαγόμενα από την επεξεργασία τους (Refuse derived fuel, RDF)

Όταν αναφερόμαστε σε αστικά στερεά απόβλητα, εννοούμε τα απόβλητα εκείνα που αποτελούνται από αντικείμενα καθημερινής χρήσης και τα οποία καταλήγουν στους κάδους απορριμμάτων κατοικημένων περιοχών. Δηλαδή, πρόκειται για στερεά απόβλητα που παράγονται από τα νοικοκυριά, τα εμπορικά καταστήματα, τον καθαρισμό οδών και άλλων δημόσιων χώρων, αλλά και εκείνα που παράγονται από πάσης φύσεως επιχειρήσεις και μπορούν από τη φύση τους να εξομοιωθούν με τα στερεά απόβλητα των νοικοκυριών. Τα RDF είναι καύσιμα, τα οποία παράγονται από την επεξεργασία και την αφυδάτωση των αστικών στερεών αποβλήτων. Στις καμίνους τσιμέντου δεν χρησιμοποιούνται αστικά στερεά απόβλητα τα οποία δεν έχουν πρώτα διαχωριστεί. Αυτό συμβαίνει λόγω της ετερογενούς φύσης τους, καθώς περιέχουν υλικά μεγάλης ποικιλίας θερμογόνων δυνάμεων και μεγεθών, ενώ επίσης μπορεί να περιέχουν και ορισμένα επικίνδυνα υλικά. Τα RDF αποτελούνται συνήθως από κοκκοποιημένα στερεά απόβλητα, τα οποία παραμένουν μετά την απομάκρυνση των μη καύσιμων υλικών (σιδηρούχα υλικά, γυαλί, άμμος και άλλα μη καύσιμα).

-Ανάλυση υλικού

Τα RDF περιέχουν διάφορα υλικά, που μπορεί να είναι χαρτί, πλαστικά, καουτσούκ, ξύλο, υπολείμματα υφασμάτων, οργανικά απόβλητα και μέταλλα, τα οποία να βρίσκονται σε διάφορες συνθέσεις ανάλογα με την προέλευση των αποβλήτων. Η παραγωγή και η σύνθεση των αποβλήτων εξαρτάται από πολλούς τοπικούς παράγοντες, όπως τα προϊόντα, τη συμπεριφορά των καταναλωτών, τις καιρικές συνθήκες κτλ. Τα αστικά στερεά απόβλητα έχουν θερμογόνο δύναμη που κυμαίνεται στα 12-16MJ/kg, ενώ τα RDF παρουσιάζουν θερμογόνο δύναμη στα 15-20MJ/kg. Επίσης, τα RDF έχουν πολλές φορές υψηλή περιεκτικότητα σε διάφορα μέταλλα όπως είναι, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο, ο χαλκός, ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το κάδμιο.

-Προεπεξεργασία υλικού, αποθήκευση και διαχείριση

Τα αστικά στερεά απόβλητα, για να αξιοποιηθούν θα πρέπει προηγουμένως να διαχωριστούν. Η διαλογή πραγματοποιείται πριν την τροφοδοσία τους στην κάμινο. Η προεπεξεργασία μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Το καύσιμο μπορεί να είναι είτε ένα απόβλητο από τη διαλογή και το οποίο έχει μερικά ελαφρύτερα κλάσματα κυρίως χαρτί και πλαστικό, είτε ένα RDF ή αστικό απόβλητο που έχει αεριοποιηθεί. Κατά την παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων και RDF, τα υλικά θα πρέπει να εξετάζονται ώστε να αφαιρούνται ανακυκλώσιμα, αδρανή και μερικές φορές υγρά κλάσματα. Μετά την αφαίρεση το υπόλοιπο υλικό είναι περίπου το 20-50% του αρχικού βάρους των αποβλήτων. Έπειτα, το υλικό κονιοποιείται, ώστε να αποκτήσει ένα πιο ομοιόμορφο μέγεθος. Επίσης, μπορεί να υποβληθεί σε μια δευτερεύουσα διαδικασία διαλογής, ώστε να δημιουργηθούν 3 κλάσματα: τα λεπτόκοκκα, τα μεσαία και τα χονδρόκοκκα. Τα μεσαία κλάσματα ταξινομούνται ώστε να αφαιρεθούν τα βαρέα στοιχεία από το χαρτί και το πλαστικό. Στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως χονδρόκοκκο καύσιμο ή ξηρό και να σχηματίσουν σφαιρίδια για την παραγωγή συμπυκνωμένου RDF.

Σχετικά με την αποθήκευση, τα RDF είναι απαραίτητο να αποθηκεύονται υπό κάλυψη ή σε κλειστές αποθήκες με επαρκή εξαερισμό, αφού μπορεί να έχουν μορφή σκόνης ενώ αν εκτεθούν σε υγρασία αποσυντίθενται. Πρέπει όμως να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στους χώρους αποθήκευσης, γιατί υπάρχει η πιθανότητα να δημιουργηθεί διαρροή και τα RDF να έρθουν σε επαφή με το υπόγειο νερό, κάτι που πρέπει να αποφεύγεται. Παράλληλα, τα υλικά αυτά έχουν μια χαρακτηριστική οσμή, η οποία πρέπει να ελαχιστοποιείται. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την κατάλληλη κάλυψη του υλικού και με συστήματα αερισμού των χώρων. Ταυτόχρονα οι χώροι αποθήκευσης πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με συστήματα πυρανίχνευσης και κατάσβεσης, που να προλαμβάνουν την επέκταση φωτιάς που μπορεί να εκδηλωθεί στις εγκαταστάσεις. Τέλος, οι δαπάνες μεταφοράς και αποθήκευσης των υλικών, λόγω της χαμηλής πυκνότητάς τους, είναι πολύ υψηλότερες από αυτές των υποκατεστημένων καυσίμων ανά μονάδα παραγόμενης θερμότητας. Τα χαρακτηριστικά των RDF καθορίζουν τα συστήματα μεταφοράς, τα οποία πρέπει κυρίως να είναι σχεδιασμένα για την αποφυγή εκπομπών σκόνης. Τα RDF μπορεί να έχουν και χονδρόκοκκα αλλά και λεπτομερή υλικά τα οποία μπορούν να εμποδίσουν τη διαδικασία της μεταφοράς. Η μεταφορά των RDF πρέπει να ελαχιστοποιείται, αφού μπορούν εύκολα να αποδομηθούν σε σκόνη. Η μεταφορά πρέπει να γίνεται με προστασία του υλικού (π.χ κάτω από κάλυμα), κάτι που θα βοηθήσει να αποτραπούν οι εκπομπές δυσάρεστων οσμών.

-Τροφοδοσία και απαιτήσεις διαδικασίας

Η τροφοδοσία του υλικού μπορεί να πραγματοποιηθεί από το σημείο εξόδου της καμίνου, περιοχή από την οποία εξάγεται το κλίνκερ, με το καύσιμο και τα παραγόμενα αέρια να κινούνται αντίθετα σε σχέση με την κίνηση του υλικού, ώστε να επιτευχθεί η καύση του. Επίσης, το υλικό μπορεί να τροφοδοτηθεί στον προασβεστοποιητή, ο οποίος έχει διαφορετικό χρόνο παραμονής των παραγόμενων αερίων και συνθήκες θερμοκρασίας. Στην πρώτη περίπτωση τα αέρια παραμένουν στην κάμινο για χρόνο 10 δευτερολέπτων και η θερμοκρασία κυμαίνεται πάνω από τους 1500°C. Στη δεύτερη περίπτωση η θερμοκρασία είναι γύρω στους 800-900°C, στη ζώνη εισαγωγής του υλικού και η παραμονή των αερίων στη ζώνη θερμικής ανάκτησης (με σταδιακά φθίνουσες θερμοκρασίες) δεν ξεπερνά τα μερικά δευτερόλεπτα. Η συγκέντρωση θείου στα RDF (0.1%-0.2% ή λίγο υψηλότερη έως 0.5%) είναι γενικά πολύ χαμηλότερη από ότι η αντίστοιχη στα συμβατικά ορυκτά καύσιμα (3%-5%). Ως εκ τούτου, τυχόν προβλήματα που αφορούν την κατακρήμνιση ή το φράξιμο μπορούν να αποκλειστούν, ωστόσο πρέπει να επαληθεύονται θέματα που αφορούν τη δέσμευση και μεταφορά αλκαλίων στο κλίνκερ. Αντιθέτως, μια αύξηση σε χλώριο (0.3-0.5%) σε σχέση με κωκ (<0.1%) μπορεί να οδηγήσει σε μερικά προβλήματα, που προκύπτουν από αντιδράσεις μεταξύ αλκαλίων και χλωρίου και συνεπώς να χρειάζεται να λειτουργήσει ένα σύστημα “παράκαμψης” προκειμένου να περιορισθούν τα χλώρια στο τελικό κλίνκερ. Όσον αφορά την απαίτηση αέρα για καύση RDF, αυτή εξαρτάται από τη σύνθεση που μπορεί να έχουν τα καύσιμα. Για παράδειγμα, αν έχουμε RDF με σύνθεση C 53%, H 7%, O 21% και ανόργανες 19% και θερμογόνο δύναμη 20MJ/kg, τότε η απαίτηση αέρα υπολογίζεται στα 6.16Nm³/kg.

-Ποιότητα προϊόντος και όγκος εκπομπών

Η ετερογένεια των αστικών στερεών αποβλήτων, καθιστά τα χαρακτηριστικά των εκπομπών τους δύσκολο να γενικευθούν. Η εκμετάλλευση RDF στις καμίνους τσιμέντου δεν φαίνεται να επηρεάζει την ποιότητα των εκπομπών, τουλάχιστον από άποψη μάκρο-ρύπανσης (NO_x, CO, SO_x, πτητικές οργανικές ενώσεις και σκόνη). Μπορεί όμως να μην ισχύει το ίδιο από άποψη μικρο-ρύπανσης. Επιπλέον, αν η υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων από RDF είναι μέχρι 50%, τότε η ποιότητα του κλίνκερ δεν επηρεάζεται από εκπομπές καυσαερίων. Η καύση

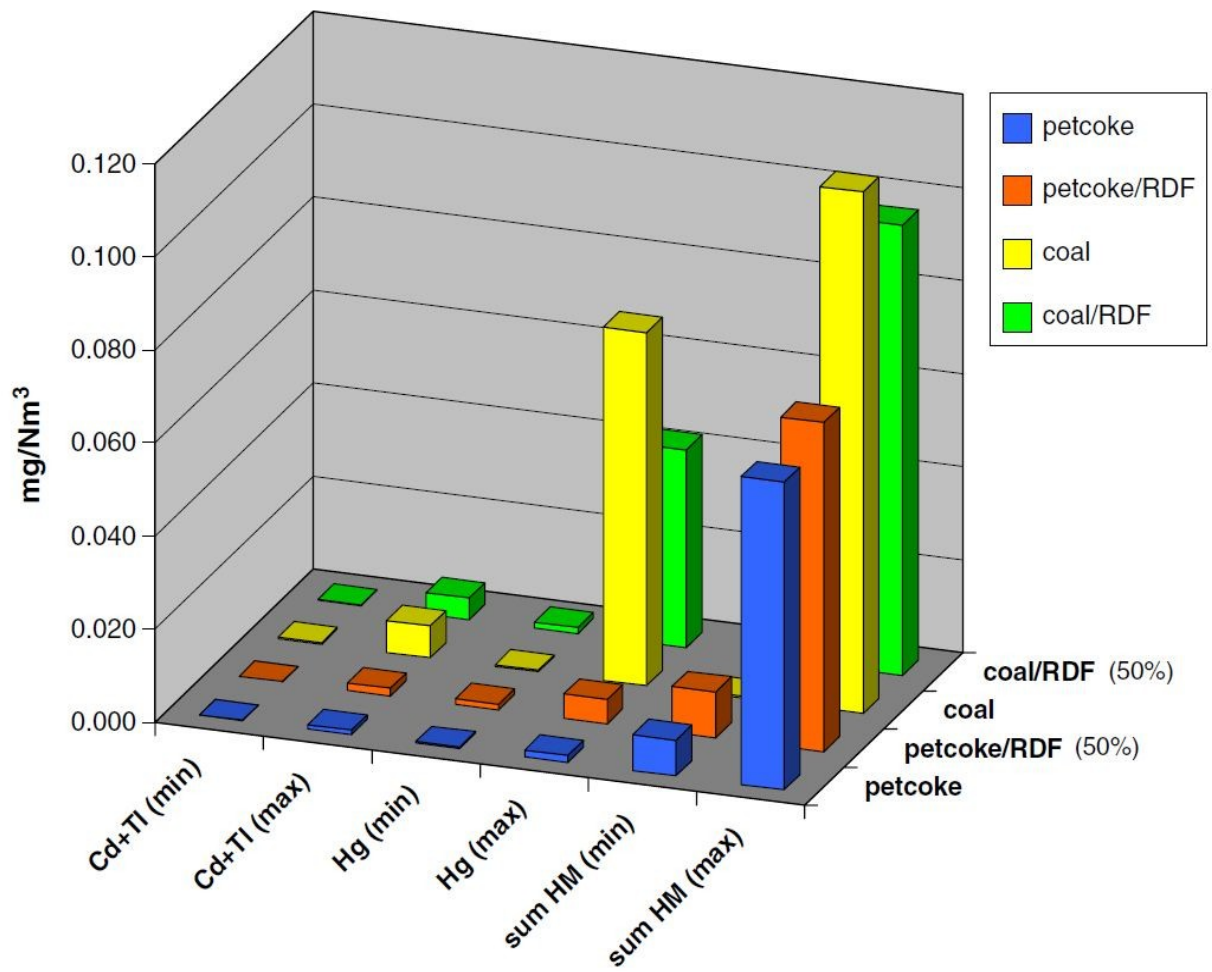
RDF επιφέρει μια μείωση περίπου της τάξης των 1.61 kg CO₂ /kg χρησιμοποιημένου RDF σε σύγκριση με τον άνθρακα, κάτι που οφείλεται στη χημική σύνθεση του καυσίμου υλικού. Ωστόσο, οι Mokrzycki, Uliasz-Bochenczyk και Sarna (2003), σε μελέτη που πραγματοποίησαν, διαπίστωσαν ότι παρατηρείται αυξημένη περιεκτικότητα CO στις εκπομπές, όταν το υλικό τροφοδοτείται στην είσοδο της καμίνου (προασβεστοποιητής), επομένως το καύσιμο πρέπει να τροφοδοτείται στον κύριο καυστήρα της καμίνου.

Από άποψη σύνθεσης, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη, η παρουσία αζώτου, θείου και χλωρίου στα RDF. Το άζωτο είναι αυτό που ευθύνεται για το σχηματισμό των οξειδίων του νατρίου. Χαμηλές τιμές στα RDF (0.3–0.5% σε σύγκριση με 1.5–2% στα ορυκτά καύσιμα) οδηγούν σε μικρότερο σχηματισμό αυτών των επιβλαβών προϊόντων. Γενικά ο όγκος εκπομπών NO_x σχετίζεται με την ποσότητα αζώτου στο καύσιμο, τις θερμοκρασίες στην κάμινο, τους χρόνους παραμονής και το είδος των καυστήρων. Το όφελος που σχετίζεται με τις εκπομπές NO_x έχει αποτιμηθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2003) στα 0.36 kg NO_x/τόνο καμένων RDF. Η συγκέντρωση του θείου στα RDF είναι γενικά πολύ χαμηλότερη από την αντίστοιχη στα συμβατικά ορυκτά καύσιμα (0.1-0.2% στα RDF, 3-5% στα συμβατικά). Σε δοκιμές, έχει διαπιστωθεί ότι οι εκπομπές SO₂ κατά την καύση RDF είναι μειωμένες ενώ ταυτόχρονα υπάρχει και μείωση SO₃ στο κλίνκερ έως και 50%. Μειώσεις επίσης παρατηρήθηκαν στα αλκάλια και σε CaSO₄ ως άμεσο αποτέλεσμα της μείωσης SO₃. Όμως, παρατηρήθηκε και μια αύξηση στην περιεκτικότητα του οξειδίου του ασβεστίου της τάξης του 35%, που πιθανώς οφείλεται στο ότι δεν είχε ρυθμιστεί η περιεκτικότητα του CaO στο ακατέργαστο μείγμα.

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Genon and Brizio (2008), θεωρώντας ότι τα RDF έχουν 0.1-0.4 ppm υδράργυρο και 0.18-2.6 ppm κάδμιο, διαπίστωσαν ότι η καύση ενός τόνου RDF σε κάμινο τσιμέντου, σε σύγκριση με την χρήση ορυκτού άνθρακα, προκαλεί μια μικρή αύξηση περίπου 421mg στις εκπομπές υδραργύρου, 4.1mg στις εκπομπές μολύβδου και 1.1 σε αυτές του καδμίου. Ωστόσο, σε μια άλλη δοκιμή, χρησιμοποιώντας RDF με διαφορετικά χαρακτηριστικά, διαπιστώθηκε ότι μπορεί να υπάρξει έντονη εκπομπή βαρέων μετάλλων, μέχρι και σε επικίνδυνα όρια. Πάντως, η μεταφορά των βαρέων μετάλλων στα αέρια εκπομπών διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση και εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- 1) Τη σύνθεση του καυσίμου
- 2) Την παρουσία αλογόνων
- 3) Την παρουσία αναγωγικής ή οξειδωτικής ατμόσφαιρας
- 4) Το σύστημα αποκονίωσης της καμίνου
- 5) Τη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων που ανακυκλώνονται στο σύστημα

Σε κάθε περίπτωση, είναι προφανές ότι η χρήση RDF αντί συμβατικών καυσίμων σε καμίνους τσιμέντου μπορεί να καταστεί επικίνδυνη, ως προς την παρουσία μεγάλων ποσοτήτων αλογόνων. Για αυτό, η ποιότητα και ποσότητα των RDF που πρόκειται να αξιοποιηθούν πρέπει να αναλύονται σε βάθος. Τώρα, όσον αφορά το χλώριο, η υψηλή περιεκτικότητά του στα RDF μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερες εκπομπές τόσο HCl όσο και πολυχλωριωμένων διβενζο-διοξίνων/φουρανίων. Παρόλα αυτά, σε αρκετές μελέτες δεν έχει παρατηρηθεί αύξηση στις εκπομπές των διοξίνων. Έχει διαπιστωθεί όμως ότι υψηλότερη αναλογία ατόμων χλωρίου/υδρογόνου στα RDF, σε σύγκριση με τον άνθρακα, ενισχύει το σχηματισμό πολυαρωματικών υδρογονανθράκων και αιθάλης. Επομένως, η καύση RDF μπορεί να παράγει μεγαλύτερη ποσότητα πολυαρωματικών υδρογονανθράκων από ότι η καύση άνθρακα. Στο Σχήμα 6.5.1.1 φαίνονται οι εκπομπές βαρέων μετάλλων από την τροφοδοσία διαφορετικών καυσίμων σε κάμινο τσιμέντου.



Σχήμα 6.5.1.1: Εκπομπές βαρέων μετάλλων ανά μείγμα καυσίμων σε κάμινο τσιμέντου.^[24]

6.5.2. Υπολείμματα τεμαχισμού αυτοκινήτων

Όταν αναφερόμαστε σε υπολείμματα από τεμαχισμό αυτοκινήτων, εννοούμε όλα εκείνα τα μη ανακτήσιμα συστατικά στο τέλος του κύκλου ζωής των οχημάτων. Αποτελούν συνήθως, το 20% του βάρους του οχήματος και είναι ένα σύνολο αποτελούμενο από καουτσούκ, πλαστικό, ξύλο, χαρτί, σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μεταλλικά τμήματα. Κάθε χρόνο, περίπου 27 εκατομμύρια οχήματα αποσύρονται από την κυκλοφορία και μόνο στην Αμερική 3-5 εκατομμύρια τόνοι υπολειμμάτων τεμαχισμού αυτοκινήτων καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής. Το 50% των ξηρών υπολειμμάτων μπορούν να αξιοποιηθούν ως καύσιμο ενώ το άλλο 50% δεν αξιοποιείται, αφού μπορεί να είναι μέταλλα, γυαλιά κ.α. Τέτοιου είδους υπολείμματα, χρησιμοποιούνται ως καύσιμα σε καμίνους κυρίως στο Βελγίου και τη Γαλλία. Η πρακτική χρησιμοποίησής τους σε τσιμεντοκαμίνους έχει τη δυνατότητα να αυξηθεί στην Ευρώπη λόγω των πρόσφατων οδηγιών σχετικά με την πολιτική διαχείρισης των αποσυρόμενων οχημάτων. Η Ευρωπαϊκή οδηγία σχετικά με την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής των οχημάτων (2000/53/ΕΚ) απαιτεί, τουλάχιστον το 85% των αυτοκινήτων να αποσύρονται ή να επαναχρησιμοποιούνται (συμπεριλαμβανομένων και αυτών για ανάκτηση ενέργειας) έως το 2006 και το 95% έως το 2015. Τα υπολείμματα αυτά έχουν Κ.Θ.Δ της τάξης των 16 MJ/kg. Επειδή, αποτελούν ένα ετερογενές μείγμα είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί η ακριβής σύνθεσή τους και πολλές φορές απαιτείται μια διαδικασία διαχωρισμού των επιμέρους συστατικών ώστε να βελτιωθεί η θερμογόνο δύναμή τους, καθώς και για να μειωθεί η παραμένουσα τέφρα ή να απομακρυνθούν προβληματικά στοιχεία, όπως το PVC. Ωστόσο, τα υπολείμματα μπορεί να περιέχουν έως και 40% ορυκτά (ενώσεις πυριτίου, ασβεστίου, αργιλίου και σιδήρου) παρεμφερή με εκείνα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τσιμέντου.

Παράλληλα, εξαιτίας της ετερογένειάς τους, η διατήρηση της σταθερότητας της καμίνου είναι πολύ δύσκολη και αυτό οδηγεί πολλές βιομηχανίες τσιμέντου να τα απορρίπτουν. Τα υπολείμματα τεμαχισμού αυτοκινήτων, τείνουν να έχουν υψηλή αλκαλικότητα, λόγω του καλίου και του ασβεστίου, η οποία αυξάνει την παραγωγή της σκόνης της καμίνου. Η καύση τους, ίσως οδηγήσει σε μεγαλύτερες εκπομπές βαρέων μετάλλων εξαιτίας της παρουσίας χάλκινων συρμάτων. Επίσης, ακόμη ένας λόγος που δυσκολεύει τη χρησιμοποίησή τους ως καύσιμο, είναι η έντονη παρουσία πολυχλωριομένου διφαινυλίου. Ωστόσο, υπάρχουν τρόποι ώστε η χρήση των υπολειμμάτων αυτών σε καμίνους τσιμέντου να ωφελεί τόσο το εργοστάσιο που τα αξιοποιεί όσο και την κοινωνία. Η ανακύκλωση αυτοκινήτων θέλει να αναπτύξει τεχνολογίες για τη βελτίωση του διαχωρισμού των υλικών στα υπολείμματα και να καταστήσει τα χαρακτηριστικά καύσης πιο φιλικά στο περιβάλλον. Αποτελέσματα δοκιμών έχουν δείξει ότι με τις κατάλληλες τεχνολογίες βαρυτομετρικού διαχωρισμού, που μπορούν να αποκλείσουν το πολύ λεπτό υλικό (<1,2cm), υπάρχει δυνατότητα μείωσης τόσο της σκόνης της καμίνου, όσο και των επικίνδυνων εκπομπών. Το εκτιμώμενο ετήσιο κόστος κεφαλαίου του απαραίτητου εξοπλισμού σε ορίζοντα 20ετίας, είναι περίπου 155000\$ για μια εγκατάσταση με τροφοδοσία 15t/h.

6.5.3. Υπολείμματα ταπήτων

Τα απορρίμματα ταπήτων αποτελούν ένα μεγάλο όγκο εναλλακτικών καυσίμων, με υψηλή περιεκτικότητα σε θερμικό δυναμικό, σχεδόν παρόμοια με εκείνη ενός άνθρακα χαμηλής ποιότητας, υψηλή περιεκτικότητα σε CaCO_3 και λάτεξ/καουτσούκ, που αποτελούν τα πληρωτικά υλικά των ταπήτων. Η Κ.Θ.Δ των ταπήτων εξαρτάται από το είδος τους: Τα υπολείμματα ταπήτων προπυλενίου και νάυλον έχουν περίπου κατώτερη θερμογόνο δύναμη 28 MJ/kg και 17 MJ/kg αντίστοιχα. Μια περιστροφική κάμινος μπορεί να αξιοποιήσει όλα τα είδη ταπήτων με εξαίρεση εκείνα που κύριο συστατικό τους είναι το PVC (Polyvinyl Chloride). Υπάρχει η πιθανότητα, στα απορρίμματα ταπήτων να υπάρχουν προσμίξεις ιχνοστοιχείων. Είναι πιθανό, να υπάρχει χλώριο (π.χ άλας), το οποίο μπορεί να προέρχεται είτε από την κατασκευή των ταπήτων, είτε από τη χρήση τους. Επίσης, μπορεί να υπάρχει μαγνήσιο, νάτριο, πυρίτιο ή αλουμίνιο τα οποία προήλθαν από το υλικό πλήρωσης των ταπήτων ή από τη μετέπειτα χρήση τους. Ορισμένα όμως άλλα ιχνοστοιχεία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καταλύτες στην κατασκευή ταπήτων.

Η καύση υπολειμμάτων ταπήτων δεν συμβάλλει σημαντικά στην αντιστάθμιση του άνθρακα (-0.15 και -0.54 τόνοι CO_2 / τόνο άνθρακα, για υπολείμματα πλαστικών ταπήτων και προπυλενίου αντίστοιχα). Τα υπολείμματα πλαστικών ταπήτων σε σύγκριση με αυτά του προπυλενίου αποδίδουν αρκετά μεγαλύτερες εκπομπές NO_x . Τα πρώτα περιέχουν περίπου 4.5% άζωτο κατά βάρος σε αντίθεση με αυτά του προπυλενίου που περιέχουν λιγότερο από 0.05%. Και τα δύο είδη ταπήτων πάντως, παρουσιάζουν αυξημένες ποσότητες εκπομπών αζώτου, σε σύγκριση με τον άνθρακα. Η μετατροπή του αζώτου, στους νάυλον τάπητες, σε εκπομπές NO_x ελέγχεται πιο αποτελεσματικά, αν η τροφοδοσία τους στις καμίνους πραγματοποιείται σε παρτίδες, παρά αν η τροφοδοσία είναι συνεχής.

Σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από τους P.Lemieux, E.Stewart, M.Realff, J.A. Mulholland (2004), με συνεχή τροφοδοσία υπολειμμάτων ταπήτων, με ρυθμό έως και 30% της ολικής ενέργειας εισόδου, προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα: Μια ανάλυση φασμάτων φθορισμού ακτίνων-X δείγματος τέφρας της καμίνου, έδειξε ότι το 50-60% της τέφρας αποτελείται από οξειδίο του ασβεστίου και οι μεγαλύτερες δευτερεύουσες περιεκτικότητες είναι αυτές σε οξειδίο του αργιλίου, πυριτίου, μαγνησίου και θείου. Οι εκπομπές NO_x παρουσιάζουν αύξηση κατά 95 ppm, κάτι που οφείλεται στην περιεκτικότητα αζώτου του νάυλον. Στα πειράματα αυτά, η μετατροπή του αζώτου των ταπήτων σε NO κυμαίνεται από 3% έως 8%. Ωστόσο, η προετοιμασία και η μέθοδος τροφοδοσίας των ταπήτων στην κάμινο είναι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να ελέγξουν σε κάποιο βαθμό τη μετατροπή αυτή. Διαπιστώθηκε επίσης, ότι σε υψηλό ρυθμό τροφοδοσίας η μετατροπή αυξανόταν. Η τροφοδοσία μεγαλύτερων τεμαχίων ταπήτων μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερες εκπομπές NO_x , εξαιτίας της μειωμένης μετατροπής του αζώτου που περιέχουν οι τάπητες. Παράλληλα, η ατελής καύση προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων του CO , των πτητικών οργανικών ενώσεων και των πολυαρωματικών υδρογονανθράκων, αυξήθηκε ελάχιστα μόνο όταν απόβλητα ταπήτων συντροφοδοτούνταν με φυσικό αέριο. Η συγκέντρωση του CO αυξήθηκε κατά περίπου 1.4 ppm και των πολυαρωματικών υδρογονανθράκων κατά 2.5 mg/m^3 . Η μόνη αύξηση περιεκτικότητας πτητικής οργανικής ένωσης που παρατηρήθηκε ήταν αυτή του βενζολίου η οποία ήταν πολύ μικρή. Τέλος, οι εκπομπές υδραργύρου, που μπορεί να αποτελεί μια πιθανή πρόσμειξη των ταπήτων μετά τη χρήση τους, δεν ανιχνεύθηκαν πάνω από ένα επίπεδο της τάξης των 1-2 mg/m^3 .

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ουσιαστικά, τα εναλλακτικά καύσιμα που μπορούν να αντικαταστήσουν τα συμβατικά στην διαδικασία παραγωγής τσιμέντου, μπορούν τα κατηγοριοποιηθούν στα εξής: Αγροτική Βιομάζα, Μη Αγροτική Βιομάζα, Χημικά και Επικίνδυνα Απόβλητα, Καύσιμα Προερχόμενα από το Πετρέλαιο και γενικά, καύσιμα που καθορίζονται ανάλογα την προέλευσή τους.

Προτού, οποιοδήποτε εναλλακτικό καύσιμο χαρακτηριστεί κατάλληλο για χρησιμοποίηση σε περιστροφικές καμίνους, θα πρέπει να εξετασθεί και να προσδιορισθούν ορισμένες ιδιότητές του, βάση των οποίων θα διασφαλισθούν, η διαχείριση του καυσίμου, η λειτουργία της καμίνου αλλά και η προστασία του περιβάλλοντος. Αυτά είναι: η φυσική κατάσταση του καυσίμου, η περιεκτικότητα σε στοιχεία Na, K, Cl, S, η τοξικότητα, η περιεκτικότητα σε τέφρα, η θερμογόνος δύναμη, οι φυσικές ιδιότητες, η συμπεριφορά κατά την άλεση, η περιεκτικότητα σε υγρασία.

Γενικά, η υποκατάσταση ορυκτών καυσίμων από εναλλακτικά καύσιμα, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της τσιμεντοβιομηχανίας, αποτελεί διαδεδομένη πρακτική που ολοένα και περισσότερες βιομηχανίες ανά τον κόσμο αρχίζουν να υιοθετούν. Αυτό βέβαια συμβαίνει, διότι τα οφέλη από την εκμετάλλευση εναλλακτικών καυσίμων αποτυπώνονται τόσο στην τσιμεντοβιομηχανία όσο και σε κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Τα οφέλη αυτά, μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

1) Για το περιβάλλον:

- Εξοικονόμηση φυσικών πόρων
- Μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου

2) Για την κοινωνία:

- Ασφαλής και οικονομική διάθεση των αποβλήτων
- Μοχλός κοινωνικής ανάπτυξης

3) Για την τσιμεντοβιομηχανία:

- Μείωση εκπομπών CO₂
- Μείωση του κόστους παραγωγής
- Βελτίωση της ανταγωνιστικότητας

Υπολογίζεται ότι η ενέργεια που απαιτείται κατά την παραγωγή κλίνκερ είναι περίπου 3350 – 4200 MJ/kg, για αυτό πολύ σημαντικό ρόλο, στην εκμετάλλευση των εναλλακτικών καυσίμων, παίζει η τιμή της θερμογόνου δύναμής τους. Τη μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη παρουσιάζουν τα καύσιμα που προέρχονται από προϊόντα πετρελαίου. Συγκεκριμένα, τα καύσιμα που προέρχονται από ελαστικά, παρουσιάζουν θερμογόνο δύναμη, που ανάλογα με την προέλευση των ελαστικών, μπορεί να φτάσει και πάνω από τα 40 MJ/kg. Παράλληλα, τα προϊόντα βιομάζας, τόσο της γεωργικής όσο και της μη γεωργικής, παρά τη σχετικά μικρή θερμογόνο δύναμη που παρουσιάζουν, δίνουν ένα επιπλέον κίνητρο χρησιμοποίησής τους. Αυτό είναι το μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα, δηλαδή η πολύ μικρή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται κατά την καύση τους και κατά συνέπεια η πολύ μικρή επιβάρυνση του περιβάλλοντος .

Η καύσιμη ύλη, είναι επίσης ένας από τους κύριους συντελεστές διαμόρφωσης του κόστους παραγωγής του τσιμέντου. Υπολογίζεται ότι, η συμμετοχή του καυσίμου ανέρχεται περίπου στο 30% - 40% του συνολικού κόστους παραγωγής του τσιμέντου. Η έως τώρα εφαρμογή των εναλλακτικών καυσίμων στην τσιμεντοβιομηχανία, έχει δείξει σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής. Ταυτόχρονα μάλιστα, με την αύξηση των τιμών του ορυκτού άνθρακα ενισχύεται ακόμα περισσότερο η υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων με εναλλακτικά.

Τα εναλλακτικά καύσιμα αποτελούν μια αέναη πηγή ενέργειας. Η εργασία αυτή, παρουσιάζει τα είδη των εναλλακτικών καυσίμων και το πλήθος των παραμέτρων για τη σωστή εφαρμογή τους στην παραγωγή τσιμέντου. Τις τελευταίες δεκαετίες, παρατηρείται ολοένα και περισσότερες χώρες να στρέφονται σε τέτοιου είδους πηγές ενέργειας, που η εκμετάλλευσή τους έχει θετικές επιδράσεις όχι μόνο στη βιομηχανία τσιμέντου και το περιβάλλον, αλλά και στο ευρύτερο κοινωνικό επίπεδο. Για αυτό είναι πολύ σημαντικό οι τσιμεντοβιομηχανίες να συνεχίσουν τις έρευνες προς αυτή την κατεύθυνση και να εστιάσουν στην περαιτέρω ανάπτυξη εφαρμογών εκμετάλλευσης και ενσωμάτωσης των εναλλακτικών καυσίμων στο τσιμέντο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τσακαλάκης Κώστας, Καθηγητής Ε.Μ.Π, Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Αθήνα 2010.
2. Σταμάτης Τσίμας, Σωτήρης Τσιβιλής, Καθηγητές Ε.Μ.Π, Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π, Αθήνα 2000.
3. Timothy T.Maxwell and Jesse C.Jones,Alternative Fuels, Emissions, Economics and Performance, Published by SAE International, 1994.
4. Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, Hellenic Cement Industry Association, www.hcia.gr.
5. CEMBUREAU, The European Cement Association, www.cembureau.be
6. Κωνσταντίνος Γ. Κολοβός, Δρ. Χημικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., Χρήση Δευτερογενών Υλικών και Καυσίμων στη Βιομηχανία Τσιμέντου, Εκδήλωση Τ.Ε.Ε. «Εναλλακτικές πρώτες ύλες και καύσιμα στη βιομηχανία τσιμέντου, Αθήνα 2007.
7. Ιστορία του Τσιμέντου και του Σκυροδέματος, Παν.Αναγνωστόπουλος, Πολιτικός Μηχανικός, Ε.Μ.Π., συνεργάτης του ΙΟΚ.
8. Κ.Γ. Κολοβός Δρ Χημικός Μηχανικός Ε.Μ.Π, Σ.Τσιβιλής Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π, Γ.Κακάλη Επίκουρος Καθηγήτρια Ε.Μ.Π, Η Χρήση Δευτερογενών Υλικών και Καυσίμων κατά την Έψηση του Μίγματος των Πρώτων Υλών στη Βιομηχανία Τσιμέντου.
9. CEMBUREAU, Enviromental Benefits of Using Alternative Fuels in Cement Production A Life-Cycle Approach, CEMBUREAU - The European Cement Association, 1999.
10. W.K.H. Ariyaratne, M.C. Melaaen, K. Eine and L.A. Tokheim, Meat and Bone Meal as a Renewable Energy Source in Cement Kilns: Investigation of Optimum Feeding Rate Department of Process, Energy & Environmental Technology Telemark University College, Norway, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Spain 2010.
11. Τσακαλάκης Κώστας, Καθηγητής Ε.Μ.Π.– Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Παραγωγή Ενέργειας από Συμβατικά Ορυκτά Καύσιμα και από Εναλλακτικές Πηγές Ενέργεια 2005.
12. Murray A., Price L., Use of Alternative Fuels in Cement Manufacture: Analysis of Fuel Characteristics and Feasibility for Use in the Chinese Cement Sector, U.S. Environmental Protection Agency, US 2008.
13. CEMBUREAU, Alternative Fuels in Cement Manufacture, Technical and Environmental review, CEMBUREAU - The European Cement Association, 1997.
14. Παναγιώτης Βασ.Μπασινάς, Χημικός Μηχανικός Α.Π.Θ, Μελέτη της Συνδυασμένης Πυρόλυσης και Καύσης Ανθράκων, Βιομάζας και Αποβλήτων, Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη 2011.

15. V.Albino, R.M.Dangelico, A.Natalicchio and D.M.Yazan, Alternative Energy Sources in Cement Manufacturing, Department of Mechanical and Management Engineering Politecnico di Bari, Italy 2011.
16. W.K. Hiromi Ariyaratne, Alternative Fuels in Cement Kilns – Characterization and Experiments, Telemark University College, Norway 2009.
17. A.Zabaniotou and C.Theofilou , Use of Sewage Sludge as a Conventional Fuel Substitute, in Cement Factories, 9th International Conference on Enviromental Science and Technology, Rhodes, Greece 2005.
18. M.Jacott, Cyrus Reed, A.Taylor and M.Winfield , Energy Use in the Cement Industry in North America: Emissions, Waste Generation and Pollution Control, 1990-2001, Commission for Environmental Cooperation, 2nd North American Symposium on Assessing the Environmental Effects of Trade, 2003.
19. D.Gossman, M.Black, M.Ward , The Fate of Trace Metals in the Wet Process Cement Kiln, AWMA International Specialty Conference on Waste Combustion in Boilers and Industrial Furnaces April, 1990.
20. K.Norquay, End-of-Life Tyre Management: Storage Options, Final Report for the Ministry for the Environment, New Zealand 2004.
21. D.Constans, D.Gossman, Tire Derived Fuel Use in Cement Kilns, Gossman Consulting, Inc., Volume 3, Number 09, 1997.
22. F.Willitsch, G.Sturm, F.Wurst, T.Prey, Alternative Fuels in the Cement-Industry, 2009.
23. E.Mokrzycki, A.U.- Boheczyk, Alternative Fuels for the Cement Industry, Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences, Poland 2003.
24. G. Genon, E. Brizio, Perspectives and Limits for Cement Kilns as a Destination for RDF, Waste Management, Politecnico di Torino, Italy 2008.
25. B.Boughton, Evaluation of Shredder Residue as Cement Manufacturing Feedstock, California Enviromental of Toxic Substances Control, Office of Pollution Prevention and Technology Development, 2006.
26. P.Lemieux, E.Stewart, M.Realff, J.A. Mulholland, Emissions Study of Co-Firing Waste Carpet in a Rotary Kiln, Journal of Environmental Management, Georgia Institute of Technology, Atlanta, U.S.A 2004.
27. A.Dekeukelaere – Cementis, Co-processing waste in the cement industry, A solution to natural resource preservation and total emission reduction, Beirut 2011.