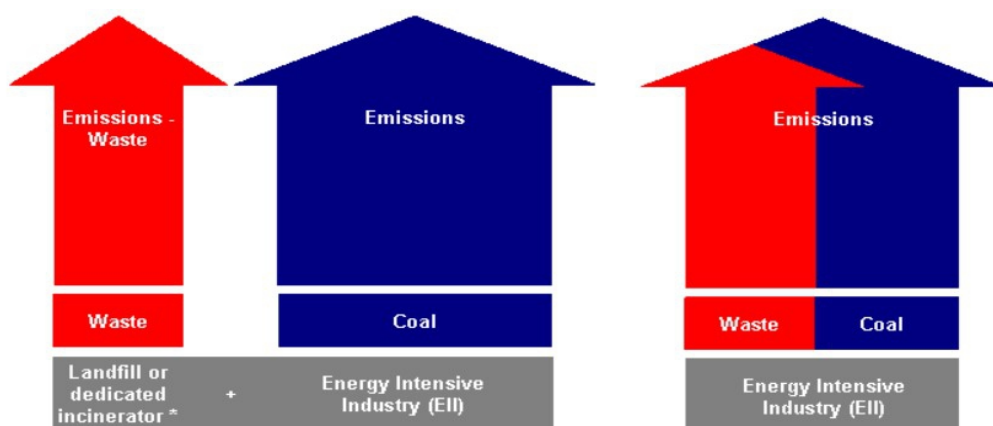




ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΠΜΣ:ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**'Αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας στην
τσιμεντοβιομηχανία'**



Φοιτητής: Μαγαλιός Δημήτριος

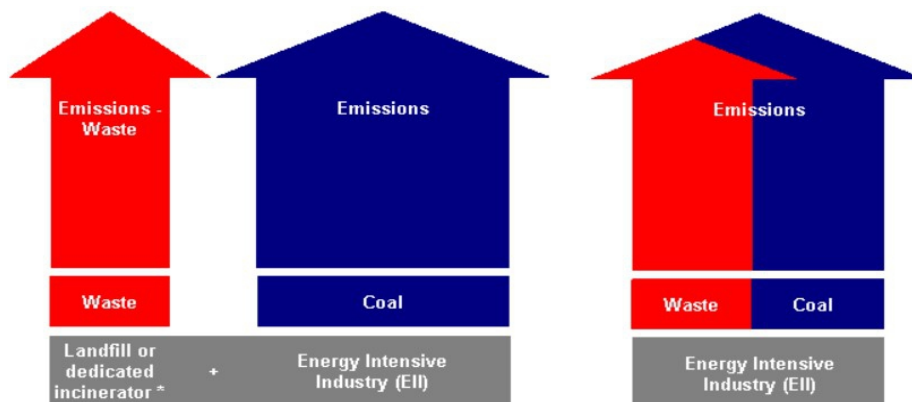
Επιβλέπουσα: Χριστοπούλου Όλγα, Καθηγήτρια

Βόλος, Ιούνιος 2018



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΠΜΣ: ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**'Αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας στην
τσιμεντοβιομηχανία'**



Φοιτητής: Μαγαλιός Δημήτριος

Επιβλέπουσα: Χριστοπούλου Όλγα, Καθηγήτρια

Βόλος, Ιούνιος 2018

Δήλωση

Βεβαιώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του ΤΜΧΠΠΑ και ότι στο πλαίσιο αυτού έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λ.π., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του ΠΘ ή και του ΤΜΧΠΠΑ.

Ημερομηνία:

Ονοματεπώνυμο:

Υπογραφή:

Περίληψη

Η αναζήτηση της τσιμεντοβιομηχανίας για οικονομικότερες μορφές ενέργειας, αλλά και η ανάγκη των κρατών για διαφορετικούς τρόπους διαχείρισης των αποβλήτων, φέραν στο προσκήνιο ένα νέο είδος καυσίμου που δεν εξορύσσεται από το υπέδαφος αλλά αποβάλλεται από τις ανάγκες της κοινωνίας και της βιομηχανίας. Τα νέα αυτά καύσιμα είναι γνωστά ως εναλλακτικά καύσιμα, RDF, TDF, ιλύς αστικών λυμάτων, βιομάζα, εξετάστηκαν ως προς την θερμική τους αξία, τις εκπομπές σε αέριους ρύπους, το κόστος των τεχνολογικών αλλαγών σε ένα εργοστάσιο αλλά και τους κινδύνους που εγκυμονούν στην ποιότητα του κλίνκερ και συγκρίθηκαν με τα συμβατικά καύσιμα, Petcoke, Μαζούτ και Φυσικό αέριο.

Ενώ σαν συμπέρασμα τα οφέλη που προέκυψαν είναι πως συμβάλλουν στην μείωση χρήσης των μη ανανεώσιμων πόρων, σε πολλές περιπτώσεις βρέθηκε μείωση εκπομπών αερίων ρύπων και η χρήση τους σε συγκεκριμένα στάδια παραγωγής με τον σωστό τεχνολογικό εξοπλισμό μπορεί να ελαττώσει ακόμα περισσότερο τον σχηματισμό διοξινών και φουρανίων, ενώ από οικονομικής άποψης κερδισμένες είναι τόσο οι βιομηχανίες όσο και τα κράτη καθώς διαθέτουν λιγότερα χρήματα για την διαχείριση των αποβλήτων. Είναι όμως ο μέσος πολίτης?

Λέξεις κλειδιά : τσιμεντοβιομηχανία, εναλλακτικά καύσιμα, συμβατικά καύσιμα, διοξίνες, φουράνια, πολίτης

Abstract

The search for the cement industry for more economical forms of energy, and the need for states for different ways of managing waste, has brought to the forefront a new type of fuel that is not mined by the subsoil but is eliminated by the needs of society and industry. These new fuels are known as alternative fuels, RDF, TDF, urban sewage sludge, biomass, tested for their thermal value, emissions to gaseous pollutants, the cost of technological change in a plant, and the risks to quality clinker and compared with conventional fuels, Petcoke, Fuel Oil and Natural Gas.

While the benefits that have emerged are that they help to reduce the use of non-renewable resources, in many cases emissions reduction has been found and their use at certain stages of production with the right technological equipment can further reduce the formation of dioxins and furans, while from an economic point of view, both industries are benefiting as industries as they have less money for waste management. But is it also the average civilian?

Key words: cement industry, alternative fuels, conventional fuels, dioxins, furans, civilian.

Ευχαριστίες

Όλες οι ευχαριστίες του κόσμου είναι λίγες να αποδοθούν στην οικογένεια μου που με την επιμονή και την υπομονή της με στήριξε, με στηρίζει και θα με στηρίζει ακόμα και στις πιο δύσκολες ώρες, χωρίς την θέληση τους η μεταπτυχιακή διατριβή δεν θα είχε τελειώσει έγκαιρα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κα Όλγα Χριστοπούλου για την ανάθεση του θέματος και την άμεση ανταπόκριση όπου και όταν χρειάστηκε, επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της επιτροπής καθηγητές, κυρίους Σκάγιαννη και Χαϊνταρλή, αλλά και όλους του καθηγητές που συνεργάστηκαν μαζί μας στις διαλέξεις του μεταπτυχιακού της χωρικής ανάλυσης και διαχείρισης περιβάλλοντος.

Ειδική αναφορά και ευχαριστία θα ήθελα να αποδώσω στην καθηγήτρια κα Αικατερίνη Παπαοικονόμου για την καθοδήγησή της και την αμέριστη βοήθεια που μου έδωσε με σκοπό την ολοκλήρωση του έργου.

Τέλος ευχαριστώ την κοπέλα μου για την αντοχής και την ανοχή της!

Περιεχόμενα

Κατάλογοι πινάκων, γραφημάτων, σχημάτων.....	7
1.Εισαγωγή.....	9
2.Βιομηχανία Τσιμέντου.....	13
2.1.Δομή.....	13
2.2.Πρώτες ύλες.....	16
2.3.Παραγωγική διαδικασία.....	17
2.4.Κλίνκερ.....	20
2.5.Τσιμέντο.....	24
3.Ρύποι.....	27
3.1.Γενικά.....	27
3.2.Κύριοι ρύποι NO _x , SO _x , τέφρα, σκόνη.....	28
3.3.Διοξίνες και φουράνια.....	31
3.4.Υδράργυρος.....	32
4.Ενέργεια.....	34
5.Συμβατικά καύσιμα.....	36
5.1.Κατηγορίες.....	36
5.2.Petcoke.....	37
5.3.Μαζούτ.....	39
5.4.Φυσικό αέριο.....	41
6.Εναλλακτικά καύσιμα.....	42
6.1.Γενικά.....	42
6.2.Tire Derived Fuel.....	48
6.3.Ιλύς αστικών λυμάτων.....	50
6.4.Βιομάζα.....	51
6.5.Refuse Derived Fuel.....	52
6.5.1.RDF στον περιστροφικό κλίβανο.....	54
6.5.2.RDF και περιβάλλον.....	56
7.Σύγκριση συμβατικών-εναλλακτικών καυσίμων.....	58
8.Προοπτικές για την Ελλάδα.....	64
9.Συμπεράσματα.....	68
10.Βιβλιογραφία.....	71

Κατάλογος πινάκων

- 1.1 Επιρροή της τσιμεντοβιομηχανίας στην ΕΕ σε αριθμούς
- 2.1 Κατηγορίες τσιμέντου, πρότυπο EN 197-1
- 2.2 Κατηγορίες τσιμέντου ως προς την αντοχή του
- 3.1 Οριακές τιμές εκπομπής ρύπων στην βιομηχανία τσιμέντου
- 3.2 Όριο εκπομπής σκόνης ανά χώρα της ΕΕ
- 4.1 Εκτιμώμενη θερμογόνος δύναμη ανά καύσιμο
- 5.1 Ποσοστά χρήσεις συμβατικών καυσίμων
- 5.2 Εκπομπές ρύπων Μαζουτ
- 6.1 Τεχνικές διαχείρισης απορριμάτων ανά ποσότητα στην ΕΕ
- 6.2 Είδη αποβλήτων
- 7.1 Εκπομπές CO₂ ανά είδος καυσίμου
- 7.2 Θερμογόνος δύναμη ανά είδος καυσίμου
- 7.3 Μεταβολή στις ποσότητες εκπομπής διοξινών και φουρανίων με ή χωρίς την χρήση εναλλακτικών καυσίμων
- 7.4 Σύγκριση αποτεφρωτήρα-περιστροφικού κλιβάνου

Κατάλογος γραφημάτων

- 1.1 Προοπτικές παραγωγής τσιμέντου σε εκατομμύρια τόνους
- 2.1 Μεταβολή και εύρος θερμοκρασίας ανά στάδιο παραγωγικής διαδικασίας τσιμέντου
- 6.1 Ποσοστιαία αντικατάσταση εναλλακτικών καυσίμων σε χώρες της ΕΕ
- 6.2 Ποσότητες αποβλήτων ανά τρόπο διαχείρισης στην Κωνσταντινούπολη
- 6.3 Προοπτική χρήσης ελαστικών στα επόμενα έτη ανά ήπειρο
- 6.4 Τρόποι διαχείρισης αποβλήτων στην ΕΕ (Ποσοστά)
- 6.5 Περιπτώσεις εκπομπών διοξινών και φουρανίων με ή χωρίς εναλλακτικά καύσιμα
- 7.1 Εκπομπές υδραργύρου ανάλογα με το ποσοστό αναπλήρωσης εναλλακτικών καυσίμων
- 7.2 Εκπομπές βαρέων μετάλλων με ή χωρίς την χρήση εναλλακτικών καυσίμων

- 8.1 Παραγωγή τσιμέντου στην Ελλάδα έως το 2016
- 8.2 Ποσοστιαία κατανάλωση τσιμέντου στις χώρες της ΕΕ
- 8.3 Ποσοστό υγειονομικής ταφής ανά χώρα της ΕΕ

Κατάλογος σχημάτων

- 2.1 Παραγωγική μονάδα τσιμέντου
- 2.2 Πρώτες ύλες τσιμέντου
- 2.3 Ονοματολογία ποιοτήτων τσιμέντου
- 6.1 Industry/ecology/society win triangle
- 6.2 Οφέλη από την καύση αποβλήτων σε περιστροφικό κλίβανο
- 6.3 Οφέλη από την καύση αποβλήτων σε περιστροφικό κλίβανο έναντι ταφής
- 8.1 Τοποθεσίες εργοστασίων και κέντρων διανομής τσιμέντου στην Ελλάδα

1.Εισαγωγή

Βιομηχανία τσιμέντου,ένας από τους μεγαλύτερους ρυπαντές σε εκπομπές CO₂,NOx και SO₂ σε παγκόσμιο επίπεδο. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της βιομηχανίας είναι η ένταση ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή ενός χαμηλού κόστους τελικού προϊόντος για τον καταναλωτή.

CO₂,ένας από τους σημαντικότερους ρύπους που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με το ποσοστό του αυξάνεται ταχύτατα όσο περισσότερα ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιούνται,ενδεικτικά κατά την παραγωγή ενός τόνου τσιμέντου απελευθερώνεται 0,65-0,92 τόνοι διοξείδιο του άνθρακα ανάλογα με τα καύσιμα,τον τύπο του τσιμέντου,τον εξοπλισμό (www.global-greenhouse-warming.com).

Τις τελευταίες δεκαετίες τόσο η κοινωνία αλλά και οι κυβερνήσεις με τις ίδιες τις τσιμεντοβιομηχανίες λαμβάνουν υπόψιν ολοένα και περισσότερο το κομμάτι περιβάλλον, κατά κανόνα λιγότερο από το οικονομικό σκέλος όμως γίνονται προσπάθειες αυτά τα δυο να ισορροπήσουν προς όφελος όλων.

Οι ανεπτυγμένες κυρίως χώρες με οδηγίες,όρια και κανόνες που θέτουν συμβάλλουν ώστε η τσιμεντοβιομηχανία να αναζητήσει μεθόδους που θα συμβάλλουν στην οικονομική ευημερία αλλά και στην αειφορική ανάπτυξη με το βλέμμα στραμμένο στους φυσικούς πόρους και το περιβάλλον, καθώς και στις επιταγές ανταγωνισμού της εποχής με τις αναπτυσσόμενες χώρες να αυξάνουν όλο και περισσότερο την επιρροή τους.

Σε μια βιομηχανία έντασης ενέργειας σημαντικό κομμάτι στην βιωσιμότητα της είναι ο σύγχρονος τεχνολογικός εξοπλισμός,οι πρώτες ύλες αλλά και οι πηγες ενέργειας που χρησιμοποιεί. Ενώ γίνονται βήματα ως προς την αντικατάσταση μηχανολογικού εξοπλισμού με νέο που θα είναι ενεργειακός,περιβαλλοντικά αλλά και οικονομικά πιο συμφέρων, όπως επίσης και χρήση εναλλακτικών πρώτων υλών που απαιτούν χαμηλότερα ποσοστά ενέργειας για να αξιοποιηθούν,μεγάλη συζήτηση έχει ξεκινήσει τον τελευταίο καιρό για το εάν τα εναλλακτικά καύσιμα λειτουργούν και ως προς το συμφέρον της κοινωνίας εκτός του οικονομικού οφέλους που έχει η εκάστοτε βιομηχανία.

Συναντάμε πρώτη φορά το τσιμέντο ως συνδετικό οικοδομικό υλικό στην αρχαία

Αίγυπτο και κατά την Ρωμαϊκή εποχή (www.lafarge.gr). Με το ξέσπασμα της βιομηχανικής επανάστασης, η ανάγκη για μια φθηνή πρώτη ύλη στις κατασκευές ήταν γεγονός όπως επίσης και η αυξανόμενη ζήτηση για μεγαλύτερα, σταθερότερα και πιο ανθεκτικά έργα υποδομών ήταν εμφανής.

Έτσι λοιπόν στα μέσα του 19ου αιώνα κάνει την επανεμφάνισή του το τσιμέντο με βιομηχανική πλέον παραγωγή σε κατακόρυφους κλιβάνους οι οποίοι με την σειρά τους και με την εξέλιξη της τεχνολογίας αντικαταστάθηκαν από περιστροφικού τύπου (IEA, 2009).

Παράλληλα ο κλάδος της βιομηχανίας τσιμέντου είναι από τους πλέον απαιτητικούς σε αριθμό εργαζομένων καθώς απαιτούνται ειδικές δεξιότητες από τον κάθε έναν εργαζόμενο σε όλα τα στάδια της διαδικασίας, ενδεικτικές είναι οι θέσεις εργασίας στον κλάδο στην ΕΕ τόσο οι άμεσες όσο και οι έμμεσες καθώς και η συνεισφορά του στο ΑΕΠ της Ένωσης όπως φαίνεται από τον πίνακα 1.1, για αυτό είναι εύκολα κατανοητό πως η επιρροή που μπορεί να ασκηθεί σε κράτη και θεσμούς από τους επιχειρηματίες με σκοπό την προάσπιση των συμφερόντων τους είναι πολύ μεγάλη.

Γενικά	Δεδομένα	Έτος
Συνεισφορά στο ΑΕΠ των EU28	1,9%	2016
Εργαζόμενοι	38358	2015
Άμεσες θέσεις εργασίας που υπάρχουν εξαιτίας της τσιμεντοβιομηχανίας	384000	2012
Άμεσες και έμμεσες θέσεις εργασίας	1.08 εκατομμύρια	2012
Άμεση προστιθέμενη αξία	20 δισεκατομμύρια	2012
Άμεση και έμμεση προστιθέμενη αξία	56 δισεκατομμύρια	2012

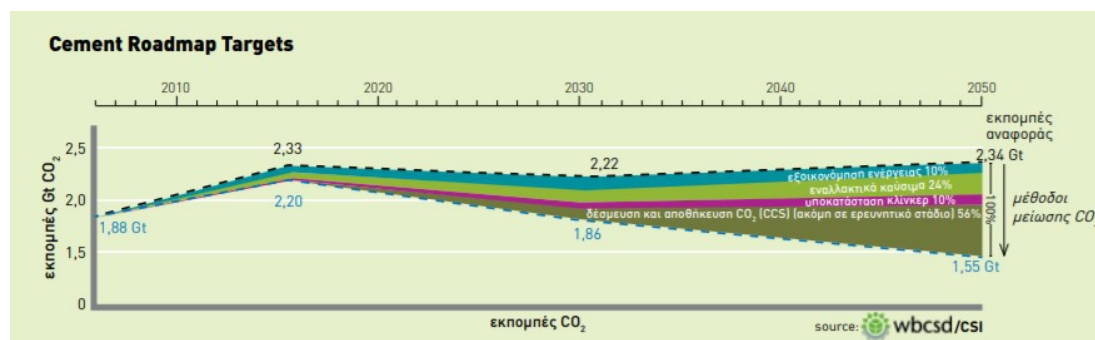
Πίνακας 1.1. Πηγή www.cembureau.eu

Εξαιτίας των αναπτυσσόμενων χωρών η τάση στην παραγωγή του τσιμέντου αυξάνεται με την εκτίμηση ότι θα σταθεροποιηθεί κοντά στα 4,5 δις τόνους μέχρι το 2050 όπως φαίνεται στο γράφημα 1.1



Γράφημα 1.1, Πηγή Καραγιάννης, 2012

Έτσι λοιπόν οι τσιμεντοβιομηχανίες έχουν προχωρήσει σε ένα πλάνο μείωσης ρύπων μέσω νέων τεχνολογιών αλλά και αντικατάστασης καυσίμων και πρώτων υλών όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1.2



Γράφημα 1.2 Πηγή www.wbcsdcement.org

Λαμβάνοντας υπόψιν την μελλοντική παραγωγή τσιμέντου και την όλο και μεγαλύτερη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας, οι βιομηχανίες έχουν στραφεί σε μια σειρά εγχειρημάτων για τη μείωση τόσο τους κόστους αλλά και το περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Μια από αυτές τις μεθόδους η οποία θα εξετάσουμε είναι η χρήση και η σύγκριση συμβατικών και εναλλακτικών καυσίμων σαν πηγή ενέργειας στα στάδια παραγωγής του τελικού προϊόντος,εφόσον έχει προηγηθεί μια ανασκόπηση στην τσιμεντοβιομηχανία ως προς τον τρόπο παραγωγής του προϊόντος,τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιεί αλλά και τους ρύπους που παράγει,ενώ θα εξεταστούν και οι προοπτικές της βιομηχανίας για την χώρα μας.

2.Βιομηχανία Τσιμέντου

2.1.Δομή

Τεχνολογικός εξοπλισμός παραγωγικής διαδικασίας (Κατσαούνης και Λευθέρης,2018)

- Σπαστήρες,εκεί λαμβάνει τόπο η μείωση του μεγέθους των πρώτων υλών με σκοπό να επέλθει η ομογενοποίηση και να παραχθεί το λεπτόκοκκο υλικό σε μορφή σκόνης,η φαρίνα. Υπάρχουν 4 τύποι σπαστήρων :

1. Με σιάγωνα
2. Περιστροφικοί
3. Με ράουλα
4. Με σφαίρα

- Προθερμαντήρες,έχουν στόχο την εξοικονόμηση καυσίμου και ενέργειας,εκεί συμβαίνει η αρχική καύση της φαρίνας,υπάρχουν 2 ειδών:

1. Με εσχάρα
2. Με αιώρηση σωματιδίων

1) Προασβεστοποιητής,είναι μια εξελιγμένη μορφή προθερμαντήρα ο οποίος αυξάνει την ενεργειακή αποδοτικότητα των καύσιμων καθώς δεν επιτρέπει να χαθεί η αποβαλλόμενη ενέργεια και συμβάλει στην πύρωση του μείγματος πριν την είσοδο του στον περιστροφικό κλίβανο

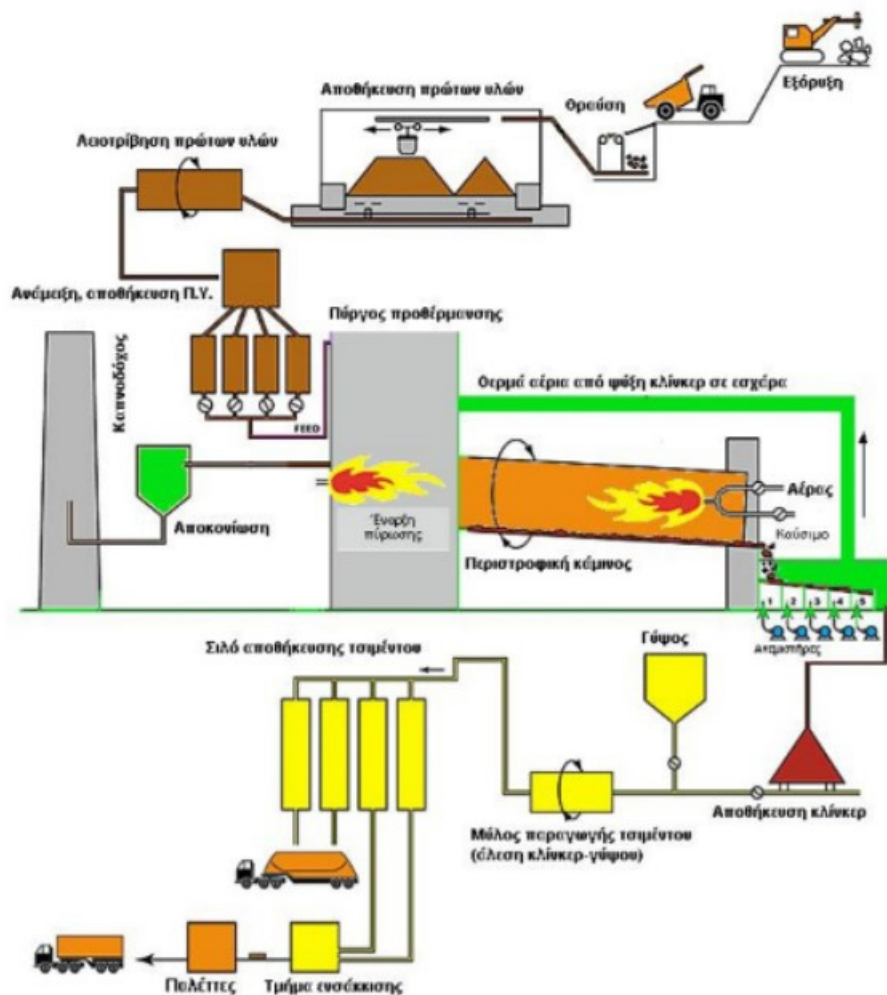
2) Περιστροφικός κλίβανος,είναι μεγάλων διαστάσεων περιστρεφόμενη κατασκευή (70-240m) με κυλινδρική μορφή,όπου στο επενδυμένο από πυρίμαχα υλικά εσωτερικό της συμβαίνει η διεργασία της κλινκεροποίησης,η εισερχόμενη φαρίνα,εξέρχεται σε μορφή κλίνκερ.

3) Σύστημα ψύξης,μετά την κλινκεροποίηση του μείγματος φαρίνας απαραίτητη διαδικασία είναι η άμεση ψύξη της,αυτό το στάδιο συμβαίνει στο σύστημα ψύξης ενώ η θερμότητα που ανακτάται επιστρέφει στα προηγούμενα στάδια. Υπάρχουν 2 είδη ψυκτών:

1. Ψύκτης με εσχάρα
2. Περιστρεφόμενος ψύκτης

4) Μύλοι άλεσης,σε αυτό το σημείο γίνεται η άλεση του κλίνκερ με το γύψο και προκύπτει το τσιμέντο σαν τελικό προϊόν,στη σημερινή εποχή αλέθονται περισσότερα υλικά όπως η ποζολάνη με σκοπό να μειωθούν τα ποσοστά του ενεργοβόρου κλίνκερ.

Στην εικόνα 2.1 βλέπουμε πως λειτουργεί μια μονάδα παραγωγής τσιμέντου με όλα τα στάδια την παραγωγικής διαδικασίας από την εξόρυξη πρώτων υλών μέχρι την τελική διάθεση.



Εικόνα 2.1.Πηγή Τσακαλάκης,2010

2.2.Πρώτες ύλες

Για την δημιουργία του κλίνκερ τσιμέντου απαιτούνται κατά 75% ασβεστολιθικά και 25% αργιλοπυριτικά πετρώματα,ενώ οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι (Τσακαλάκης,2006) :

- ➔ Ασβεστόλιθος
- ➔ Κιμωλία
- ➔ Άργιλοι
- ➔ Πυριτική άμμος
- ➔ Σιδηρομεταλλεύματα



Εικόνα 2.2.Πηγή Σαλαπάτας,2012

Αξίζει να αναφερθεί πως για κάθε 1 τόνο παραγωγής τσιμέντου απαιτούνται περίπου 1,65 τόνοι πρώτων υλών γι αυτό συνήθως γειτνιάζει το λατομείο εξόρυξης πρώτων υλών με το εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου,δεδομένου και της πολύ χαμηλής τιμής του τελικού προϊόντος. (www.orykta.gr)

Για την προετοιμασία των πρώτων υλών απαιτείται σε αυτές πριν χρησιμοποιηθούν (Τσακαλάκης,2006):

- Θραύση
- Λειοτρίβιση
- Ομογενοποίηση

2.3.Παραγωγική διαδικασία

Ο βασικός κορμός της παραγωγικής διαδικασίας που ακολουθείται κατά κανόνα από κάθε βιομηχανία τσιμέντου είναι αυτή όπως την ορίζει το Cembureau (www.cembureau.eu):

- Εξόρυξη και μεταφορά πρώτων υλών.

Συνήθως η εξόρυξη γίνεται πλησίον του εργοστασίου για να κρατηθεί χαμηλό το κόστος παραγωγής, τα κύρια υλικά των εξορύξεων είναι ο ασβεστόλιθος από τον οποίο προέρχεται το μεγαλύτερο ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου.

- Θραύση πρώτων υλών.

Γίνεται το σπάσιμο του ασβεστολίθου και άλλων πρώτων υλών στους σπαστήρες, για να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα το πάχος των πρώτων υλών πρέπει να μειωθεί μέχρι να γίνει σκόνη η φυσική σύστασή τους, με σκοπό να μην υπάρχουν προβλήματα κατά την τροφοδοσία στο επόμενο στάδια της παραγωγικής διαδικασίας.

- Προομογενοποίηση και άλεση φαρίνας.

Μετά τη σύνθλιψη, οι πρώτες ύλες αναμιγνύονται και αλέθονται μεταξύ τους για να παράγουν την φαρίνα. Για να εξασφαλιστεί υψηλή ποιότητα τσιμέντου, η χημεία των πρώτων υλών παρακολουθείται και ελέγχεται πολύ προσεκτικά. Δεδομένου ότι η τελική σύνθεση και οι ιδιότητες του τσιμέντου καθορίζονται με αρκετά αυστηρά όρια, αυτό μπορεί να υποτεθεί ότι οι απαιτήσεις για το ακατέργαστο μείγμα θα ήταν εξίσου αυστηρές. Ενώ είναι σημαντικό να έχουμε τις σωστές αναλογίες ασβεστίου, πυριτίου, το αλουμίνιο και το σίδηρο, στη συνολική χημική σύνθεση και τη δομή των μεμονωμένων πρώτων υλών τα συστατικά μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στον κλίβανο, έτσι πολλά χημικά συστατικά στα ακατέργαστα συστατικά καίγονται και αντικαθίστανται με οξυγόνο από τον αέρα (Mo`men Mohsen, 2015).

- Προθέρμανση

Τα αέρια που προέρχονται από τον κλίβανο προθερμαίνουν την κονιοποιημένη πρώτη ύλη πριν εισέλθει στον κλίβανο. Ένας προθερμαντήρας αποτελείται από μια σειρά κυκλώνων μέσω των οποίων περνάει το ακατέργαστο άλευρο με περιστροφή καυσαερίων κατά την αντίθετη κατεύθυνση της ροής του υλικού. Σε αυτούς τους κυκλώνες, η θερμική ενέργεια (θερμότητα) ανακτάται από τα καυτά καυσαέρια με τα οφέλη που προθερμαίνει την ακατέργαστη φαρίνα, βελτιώνεται η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας και απαιτούνται λιγότερα καύσιμα. Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε υγρασία πρώτων υλών και απαιτήσεις ανάκτησης θερμότητας, ένας κλίβανος μπορεί να έχει μέχρι έξι στάδια κυκλώνων, με αυξανόμενη ανάκτηση θερμότητας σε κάθε επιπλέον στάδιο.

- Προασβεστοποίηση

Σε αυτό το στάδιο λαμβάνει χώρα η διάσπαση του ασβεστίτη CaCO_3 σε οξειδίο του ασβεστίου CaO και διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , όπου και συναντάμε τις υψηλότερες εκπομπές σε CO_2 περίπου το 60% της συνολικής διαδικασίας παραγωγής. Μέρος της αντίδρασης σε υψηλές θερμοκρασίες στις σύγχρονες εγκαταστάσεις πραγματοποιείται σε ένα «προ-ασβεστοποιητή», έναν θάλαμο καύσης στον πυθμένα του προθερμαντήρα πάνω από τον κλίβανο και εν μέρει στον κλίβανο. Η χρήση των καυσίμων παράγει το υπόλοιπο CO_2 .

- Παραγωγή κλίνκερ

Η φαρίνα εισέρχεται στον κλίβανο σε θερμοκρασίες περίπου 1000°C . Τα καύσιμα καίγονται απευθείας στους περιστροφικούς κλιβάνους μέχρι τους 2000°C για να εξασφαλίσουν ότι οι πρώτες ύλες φθάνουν σε θερμοκρασίες υλικού μέχρι 1.450°C . Ο κλίβανος περιστρέφεται περίπου 3-5 φορές ανά λεπτό και η πρώτη ύλη ρέει κάτω από προοδευτικά θερμότερες ζώνες του κλιβάνου προς τη φλόγα. Η έντονη θερμότητα προκαλεί χημικές και φυσικές αντιδράσεις που μερικώς λιώνουν το μείγμα σε κλίνκερ.

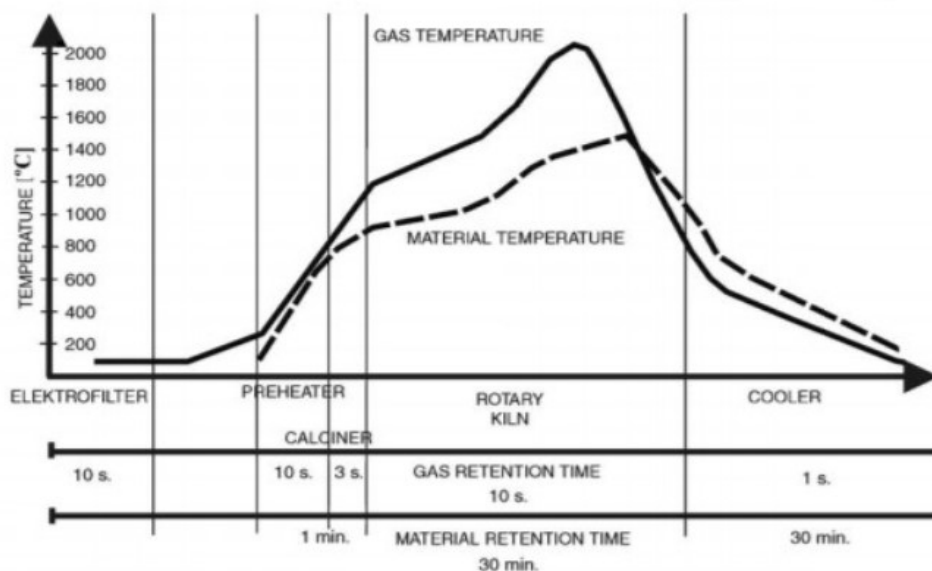
- Ψύξη του κλινκερ

Από την θερμοκρασία των 1450°C με την βοήθεια ειδικών ανεμιστήρων η θερμοκρασία πέφτει κατακόρυφα στους 100°C και το παραχθέν κλινκερ είναι έτοιμο για αποθήκευση.

- Άλεση κλινκερ με υλικά για παραγωγή τσιμέντου

Γύψος προστίθεται στο κλινκερ για τον έλεγχο του χρόνου πήξης του τελικού τσιμέντου. Το ψυγμένο κλινκερ και το μείγμα γύψου αλέθονται σε γκρίζα σκόνη που ονομάζεται Ordinary Portland Cement (OPC) ή μπορούν να αλεσθούν με άλλα μεταλλικά συστατικά για να παράγουν, για παράδειγμα, τα σύνθετα τσιμέντα Portland (PCC). Παραδοσιακά, οι μύλοι σφαίρας χρησιμοποιούνται για λείανση, παρόλο που σήμερα σε πολλές σύγχρονες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται πιο αποδοτικές τεχνολογίες όπως οι κυλινδρικές πρέσες και οι κάθετοι μύλοι ή συνδυασμοί αυτών.

Σύμφωνα με τους Mokrzycki et al. στο διάγραμμα 2.1 βλέπουμε τις θερμοκρασίες που επικρατούν κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας του τσιμέντου



Γράφημα 2.1.Πηγή Mokrzycki et al.,2003

2.4.Κλίνκερ

Με τον όρο κλίνκερ εννοούμε το προϊόν που προκύπτει από το ψήσιμο του μείγματος των πρώτων υλών (ασβεστόλιθοι, άργιλος, σιδηρομεταλλεύματα) αναμεμιγμένες στην σωστή αναλογία όπου το μείγμα μπαίνει σε στάδιο πυρομεταλλουργικής κατεργασίας στον περιστρεφόμενο κλίβανο (Πατσαβούδη, 1997)

Η κλινκεροποίηση όπου είναι το πιο ενεργοβόρο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας συντελείται σε θερμοκρασίες 1200-1450°C μέσα στον κλίβανο από όπου εξάγεται το προϊόν που ονομάζουμε κλίνκερ τσιμέντου (Μπότσιος, 2011).

Τα στάδια για την δημιουργία του κλίνκερ μέσα στον κλίβανο είναι τα εξής (Σαλαπάτας, 2012) :

- Εξάτμιση ελεύθερου νερού
- Απομάκρυνση κρυσταλλικού νερού
- Πύρωση ασβεστολίθου

Ενώ τα κυριότερα συστατικά του κλίνκερ είναι (www.hcia.gr) :

➔ Πυριτικό τριασβέστιο

Το κυριότερο συστατικό του κλίνκερ και αυτό που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την πορεία της πήξης και της σκλήρυνσης. Το C3S ενσωματώνει στο πλέγμα του και άλλα ιόντα με αποτέλεσμα το στερεό διάλυμα που προκύπτει ονομάζεται αλίτης. Η ενυδάτωση του αλίτη είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και το προϊόν της ενυδάτωσης είναι μια άμορφη φάση ενυδατωμένου πυριτικού ασβεστίου. Η χημική αντίδραση ενυδάτωσης είναι: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + (3+m-n)\text{H}_2\text{O} \rightarrow n\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O} + (3-n)\text{Ca}(\text{OH})_2$

➔ Πυριτικό διασβέστιο

Το β- C2S είναι η πλέον σημαντική γιατί είναι το κύριο συστατικό του κλίνκερ. Η μορφή αυτή είναι μετασταθής σε όλες τις θερμοκρασίες αλλά με την είσοδο ξένων ιόντων στο πλέγμα επιτυγχάνεται σταθεροποίηση της σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το C₂S ενσωματώνει στο πλέγμα του και άλλα ιόντα με αποτέλεσμα το στερεό διάλυμα που προκύπτει ονομάζεται βελίτης.

Η χημική αντίδραση ενυδάτωσης είναι: $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + (2+m-n)\text{H}_2\text{O} \rightarrow n\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O} + (2-n)\text{Ca}(\text{OH})_2$

Είναι παρόμοια με την αντίδραση του CS αλλά με μικρότερα ποσοστά $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

➔ Αργιλικό τριασβέστιο

Οι αντιδράσεις του C_3A με το νερό καθώς και οι αντιδράσεις του με το νερό και τη γύψο έχουν μελετηθεί εκτεταμένα για να καθοριστεί ο ρόλος της γύψου στη ρύθμιση της πήξης του τσιμέντου.

➔ Αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο

Άξιο αναφοράς είναι πως ανάλογα με τα ποσοστά πρώτων υλών αλλά και της ποιότητας αυτών, αντίστοιχος θα είναι και ο χρωματισμός του παραγόμενου τσιμέντου. (Μοροπούλου, 2014)

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές τεχνικές/διεργασίες που μπορεί να επιτευχθεί η παραγωγή του κλίνκερ ανάλογα με τον εξοπλισμό της εκάστοτε βιομηχανίας, πιο αναλυτικά υπάρχει (Cembureau, 1999):

Ξηρά διαδικασία

Στη ξηρά διαδικασία η φαρίνα έχει ξηρανθεί και έχει περιεκτικότητα υγρασίας μόλις 5%, αυτό έχει συμβεί συνήθως με τα θερμά αέρια του περιστροφικού κλίβανου, έτσι λοιπόν στους προθερμαντήρες, η φαρίνα τροφοδοτείται στην κορυφή μιας σειράς από κυκλώνες που περνούν σε σταδιακή ροή αντίθετου ρεύματος με θερμά αέρια από τον περιστροφικό κλίβανο παρέχοντας έτσι ικανοποιητική εναλλαγή θερμότητας μεταξύ στερεών σωματιδίων και θερμού αερίου. Οι κυκλώνες εξυπηρετούν ως διαχωριστές μεταξύ των στερεών και του αερίου.

Πριν από την είσοδο στον περιστροφικό κλίβανο, η φαρίνα θερμαίνεται σε θερμοκρασία περίπου 900°C . Τα καυσαέρια εξέρχονται από τον προθερμαντήρα σε θερμοκρασία $300-360^\circ\text{C}$ και χρησιμοποιούνται περαιτέρω για την ξήρανση των πρώτων υλών.

Οι 4 προθερμαντές που χρησιμοποιούνται για την ξήρανση είναι επιρρεπείς σε μπλοκαρίσματα και συσσωρεύσεις υλικών που προκαλούνται από υπερβολική εισαγωγή στοιχείων όπως το θείο, χλωριδίων ή αλκαλιών που εξατμίζονται στο σύστημα καμίνου. Υπερβολική απόθεση μπορεί να απαιτεί την εγκατάσταση ενός συστήματος το οποίο επιτρέπει ένα μέρος των αερίων του περιστροφικού κλιβάνου να παρακάμψει τον προθερμαντήρα. Έτσι, μέρος των πτητικών ενώσεων που εξαγονται μαζί με το αέριο.

Ένα σύστημα παράκαμψης εξαγάγει ένα τμήμα (τυπικά 5-15%) των αερίων του κλιβάνου από τον κατακόρυφο σωλήνα μεταξύ του κλιβάνου και του προθερμαντήρα. Το αέριο αυτό έχει υψηλό φορτίο σκόνης, ψύχεται με αέρα, οι πτητικές ενώσεις συμπυκνώνονται στα σωματίδια και το αέριο στη συνέχεια διέρχεται μέσω φίλτρου σκόνης (Cembureau, 1999).

Οι σύγχρονοι προθερμαντήρες έχουν συνήθως 4 στάδια κυκλώνα με μέγιστη δυναμικότητα είναι περίπου 4000 τόνους / ημέρα.

Μια σημαντική αύξηση της παραγωγικής ικανότητας μπορεί να επιτευχθεί με τους κλιβάνους προασβεστοποίησης με μια δεύτερη συσκευή καύσης μεταξύ του περιστροφικού κλιβάνου και του τμήματος προθερμαντήρα. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να καεί μέχρι 60% του συνολικού καυσίμου του συστήματος κλιβάνου στο στάδιο που ονομάζεται προασβεστοποίηση. Σε θερμοκρασία περίπου 880 ° C, στο καυτό μείγμα φαρίνας λαμβάνει χώρο η ασβεστοποίηση σε βαθμό περίπου 90% κατά την είσοδο στον περιστροφικό κλίβανο (www.understanding-cement.com).

Σήμερα στις σύγχρονες βιομηχανίες χρησιμοποιούνται συστήματα κλιβάνου με προθερμαντήρα 5 έως 6 βαθμίδων και προ-ασβεστοποιητή καθώς τα επιπλέον στάδια κυκλώνα βελτιώνουν την θερμική απόδοση.

Ημί-ξηρη διεργασία

Στην ημί-ξηρη διαδικασία, η φαρίνα υποβάλλεται σε σφαιροποίηση με ποσοστό 10-12% νερό στο δίσκο κοκκοποίησης και τροφοδοτείται σε οριζόντια σχάρα προθερμαντήρα μπροστά από τον περιστροφικό κλίβανο (σύστημα "Lepol"). Το σφαιροποιημένο υλικό είναι αποξηραμένο, προθερμασμένο και μερικώς ασβεστοποιημένο. Ένας υψηλότερος βαθμός ασβεστοποίησης μπορεί να επιτευχθεί

με την καύση μέρους του καυσίμου στον θερμαινόμενο θάλαμο του προθερμαντήρα της σχάρας (www.cementkilns.co.uk).

Τα καυτά καυσαέρια από τον κλίβανο περνούν πρώτα μέσω στρώματος προθερμανθέντων στο ζεστό θάλαμο. Μετά την ενδιάμεση τοποθέτηση σε κυκλώνες, τα αέρια αναρροφούνται για μια ακόμη φορά μέσω ενός στρώματος υγρών σφαιριδίων στον θάλαμο ξήρανσης της σχάρας.

Μεγάλο αρνητικό της ημί-ξηρης διαδικασίας, είναι πως τα καυσαέρια των κλιβάνων δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σύστημα ξήρανσης και λείανσης της φαρίνας λόγω του χαμηλού επιπέδου θερμοκρασίας. Επίσης τα έξοδα συντήρησης των προθερμαντήρων σχάρας είναι υψηλά. Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις σπάνια χρησιμοποιούν την ημί-ξηρη διαδικασία.

Υγρή διαδικασία

Οι συμβατικοί κλίβανοι υγρής διεργασίας είναι οι παλαιότεροι τύποι περιστροφικών κλιβάνων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κλίνκερ. Η τροφοδοσία υγρού κλιβάνου περιέχει συνήθως 28 έως 43% νερό που προστίθενται στον μύλο πρώτων υλών. Η ανάμειξη των πρώτων υλών και η ομογενοποίηση της φαρίνας επιτυγχάνεται σε ειδικά σιλό πολτού ή όπου εισάγεται πεπιεσμένος αέρας και ο πολτός αναδεύεται συνεχώς. Ο πολτός αντλείται στον περιστροφικό κλίβανο όπου εξατμίζεται το νερό στη ζώνη ξήρανσης στην είσοδο του κλιβάνου. Αφού περάσει η ζώνη ξήρανσης, η πρώτη ύλη μετακινείται προς τα κάτω στον κλίβανο να υποστεί ασβεστοποίηση και να παραχθεί το κλίνκερ (Hernández et al., 2014).

Η συμβατική τεχνολογία υγρών κλιβάνων έχει υψηλή κατανάλωση θερμότητας και παράγει μεγάλο όγκο καυσαερίων και υδρατμών. Οι υγροί περιστροφικοί κλίβανοι μπορεί να φθάσουν συνολικά μήκος έως και 240 μέτρα.

Στα σύγχρονα συστήματα υγρών κλιβάνων, ο ακατέργαστος πολτός τροφοδοτείται σε έναν ξηραντήρα ιλύος όπου το νερό

εξατμίζεται πριν από την αποξηραμένη πρώτη ύλη που εισέρχεται σε έναν προθερμαντήρα / προ-ασβεστοποιητή κυκλώνα. Τα σύγχρονα συστήματα υγρών κλιβάνων έχουν πολύ χαμηλότερη ειδική κατανάλωση θερμότητας σε σύγκριση σε συμβατικούς υγρούς κλιβάνους

2.5.Τσιμέντο

Το τσιμέντο είναι η πιο διαδεδομένη συνδετική σκόνη και η χημική αντίδρασή του με νερό παράγει την τσιμεντόπαστα χαρακτηριστικό της οποίας είναι η πήξη και η σκλήρυνση. Συστατικά του τσιμέντου είναι (Καραστεργίου,2009) :

- κλίνκερ
- κοκκοποιημένη σκωρία υψικάμινου
- ποζολανικά υλικά
- τέφρες
- ψημένος σιστόλιθος
- ασβεστόλιθος
- πυριτική παιπάλη

. Έτσι λοιπόν σε συνδυασμό με την άμμο και το χαλίκι είναι το βασικό συστατικό στην παραγωγή του σκυροδέματος. (www.hcia.gr).

Το τσιμέντο κατηγοριοποιείται ως προς την χημική του σύσταση πρότυπο EN 197-1 σύμφωνα με τον πίνακα 2.1:

Τύπος	Περιγραφή
CEM I	Τσιμέντο Portland
CEMII	Σύνθετο τσιμέντο Portland
CEM III	Σκωριοτσίμεντο
CEM IV	Ποζολανικό τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο τσιμέντο

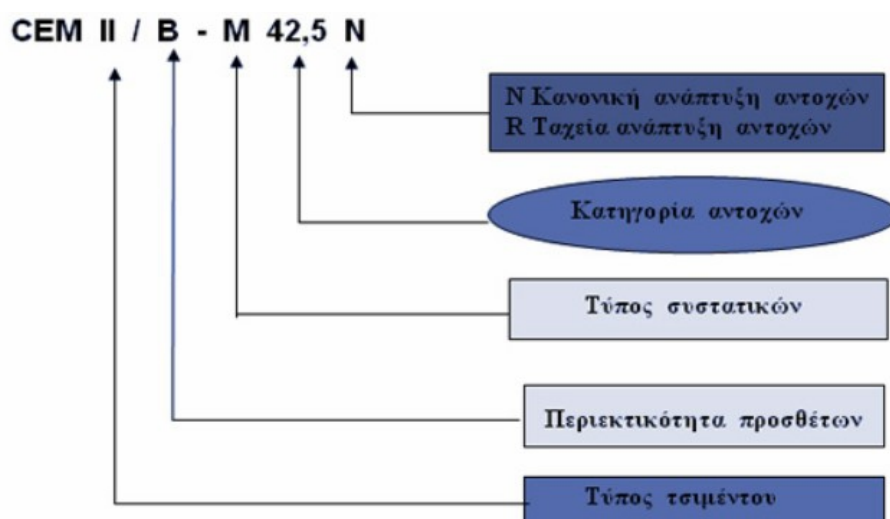
Πίνακας 2.1. Πηγή www.hcia.gr

Όπως επίσης και ως προς την αντοχή του όπως φαίνεται στον πίνακα 2.2

Κατηγορία Αντοχής	Αντοχή στη θλίψη MPa			Αρχικός χρόνος πήξης	Διόγκωση (Διαστολή)	
	Αρχική αντοχή		Τυπική αντοχή			
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες		min	mm
32,5 N	-	≥ 16.0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10.0	-				
42,5 N	≥ 10.0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20.0	-				
52,5 N	≥ 20.0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30.0	-				

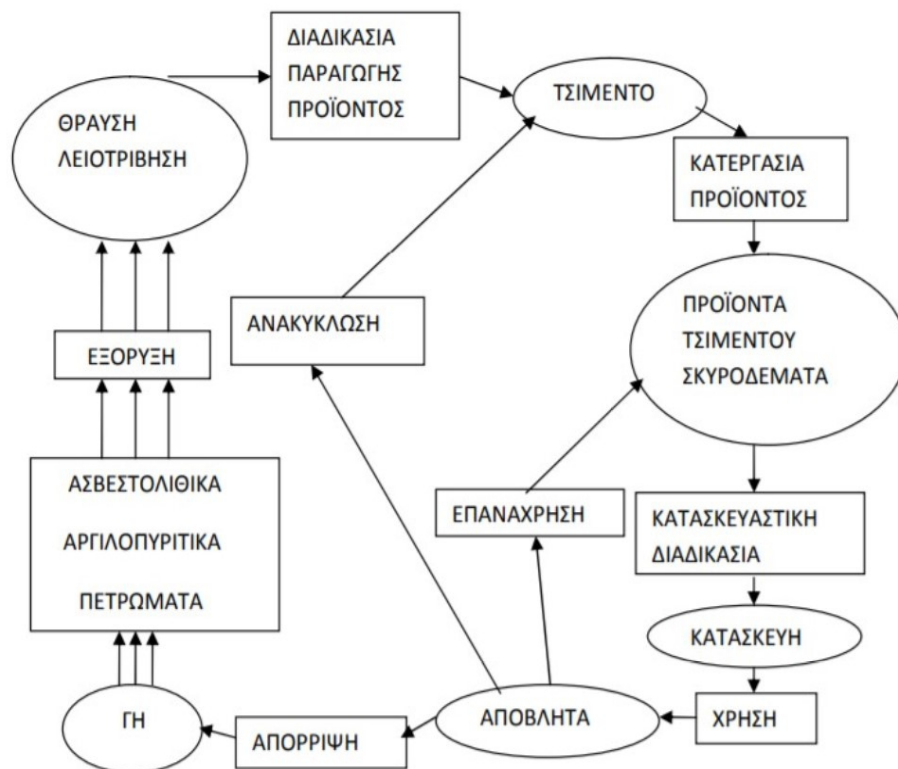
Πίνακας 2.2.Πηγή www.hcia.gr

Η ονοματολογία του προκύπτει από το παρακάτω πρότυπο της εικόνας 2.3



Εικόνα 2.3.Πηγή www.hcia.gr

Ο κύκλος ζωής του τσιμέντου είναι ο εξής



Εικόνα 2.4.Πηγή Τσιμπούκας,2011

Όπως βλέπουμε και από την εικόνα υπάρχει επανάχρηση και ανακύκλωση τσιμέντου και σκυροδέματος, δυστυχώς όμως προς το παρόν αυτή η τεχνολογία δεν είναι ευρέως διαδεδομένη και βρίσκεται σε εμβρυακό στάδιο,παρόλα αυτά υπάρχει λαμπρό μέλλον σε αυτά τα δυο στάδια του κύκλου της ζωής του τσιμέντου.

3.Ρύποι

3.1.Γενικά

Η βιομηχανία τσιμέντου, μια παραδοσιακά ενεργοβόρος βιομηχανία με υψηλές απαιτήσεις σε θερμοκρασία και κατανάλωση ενέργειας ευθύνεται άμεσα για το 5% των παγκοσμίων εκπομπών ρύπων σε CO₂ άμεσα και συνολικά για το 8% έμμεσα (Γώγου, 2017), το αξιοπρόσεκτο σε αυτού του είδους την βιομηχανία όμως είναι πως κατά κανόνα δεν υπάρχουν στερεά ή υγρά απόβλητα που προκύπτουν κατά ή μετά την παραγωγική διαδικασία και το κύριο σημείο ρύπανσης εστιάζεται στα παραγόμενα αέρια τα οποία προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις τόσο στα στρώματα της ατμόσφαιρας όσο και στο γειτονικό περιβάλλον του εργοστασίου (Τσιαμπάκος, 2014)

Οι κατηγορίες αερίων ρύπων σύμφωνα με την οδηγία 96/61/EK της ΕΕ είναι :

- Τα οξείδια του αζώτου (Nox)
- Τα οξείδια του θείου (Sox)
- Τα αιωρούμενα σωματίδια
- Οι εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα

Ενώ στις ήσσονος σημασίας ενώσεις για την παραγωγή του κλίνκερ βρίσκονται οι πτητικές ουσίες (VOC), ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει για τις διβενζοδιοξίνες και τα φουράνια (PCDD/F), τα βαρέα μέταλλα και ειδικά για τον υδράργυρο (Hg) το κάδμιο (Cd) και το χρώμιο (Cr), τα οποία απελευθερώνονται με την καύση των καυσίμων και έχουν ξεσηκώσει θύελλες αντιδράσεων στις τοπικές κοινωνίες που γειτνιάζουν με βιομηχανίες τσιμέντου.

Οι οριακές τιμές εκπομπής σε εγκατάσταση τσιμεντοβιομηχανίας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 3.1 σύμφωνα με τις ΕΕ94/67,ΚΥΑ2487/455/199,ΦΕΚ196/Β/1999 :

Μετρούμενη παράμετρος	Μέσες ημερήσιες τιμές (mg/m ³)
CO	50
Ολική σκόνη	10
Οργανικές ουσίες υπό την μορφή αερίων (TOC)	10
Υδροχλώριο(HCl)	10
Υδροφθόριο (HF)	1
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	50
	Μέσες τιμές ημióρου (mg/m ³)
Κάδμιο (Cd)	0.1
Υδράργυρος (Hg)	0.1
Θάλλιο (Tl)	0.1

Πίνακας 3.1.Πηγή Κολοβός 2006

3.1.1.Κύριοι ρύποι

NO_x

Κατά τη διάρκεια της καύσης που λαμβάνει χώρα κατά τα στάδια παραγωγής του κλίνκερ και όταν οι θερμοκρασίες ξεπεράσουν τους 1200°C μέσα στον περιστροφικό κλίβανο,τότε δημιουργούνται οξείδια του αζώτου,τα οποία κατά μέσο όρο φθάνουν στην ΕΕ τα 1300 mg/m³ (ΟΚΟΡΟΛ report,1998),επίσης εκτός της υψηλής θερμοκρασίας οξείδια του αζώτου μπορούν να παραχθούν και εάν στο

καύσιμο βρίσκονται χημικά παγιδευμένες ενώσεις αζώτου και αντιδράσουν με το οξειδωτικό περιβάλλον του κλιβάνου (EIPPCB,2013) .

Η μείωση των NO_x θα πρέπει να είναι βαρύνουσας σημασίας καθώς τα οξείδια του αζώτου συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, της όξινης βροχής και στην υποβάθμιση της στιβάδας του όζοντος (Τομπουλίδης,2015)

SO_x

Το παραγόμενο πτητικό θείο εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα των πρώτων υλών σε πτητικό θείο και εκπέμπεται στα μέρη του περιστροφικού κλιβάνου όπου επικρατούν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες, έτσι λοιπόν σύμφωνα με το European IPPC Bureau οι πρώτες ύλες ενδέχεται να περιέχουν θείο δεσμευμένο ως θειικό ή θειούχο. Τα θειικά άλατα είναι σταθερές ενώσεις οι οποίες είναι μόνο εν μέρει θερμικές και αποσυντίθεται στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στον περιστροφικό κλίβανο. Κατά συνέπεια, το θείο που υπάρχει σε μορφή θειικού άλατος αποβάλλεται σχεδόν καθολικά από το σύστημα κλιβάνου με το συσσωματωμένο στο κλίνκερ (EIPPCB,2013).

Μεγάλη είναι η συμβολή των SO_x στην δημιουργία της όξινης βροχής (Khallal,2011)

Τέφρα

Όπως είναι φυσικό η χρήση στερεού καυσίμου στην βιομηχανία έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή στερεών υπολειμμάτων μετά την παραγωγική διαδικασία, η ποσότητα αλλά και η περιεκτικότητα σε στοιχεία εξαρτάται από το είδους του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε ενώ η τέφρα βρίσκεται στα εξής στάδια (www.eedsa.gr) :

- στο χώρο καύσης
- ιπτάμενη τέφρα που παγιδεύεται στα φίλτρα
- τέφρα ανακτώμενη από τα απαέρια κατά την καύση

Το θετικό με την παραγόμενη τέφρα στην τσιμεντοβιομηχανία είναι πως γίνεται άμεσα επαναχρησιμοποίησή της και συνάλεση με το κλίνκερ για την παραγωγή διαφόρων ποιοτήτων τσιμέντου, έτσι δεν χρειάζεται ειδικός χώρος ταφής της, όμως η όποια ρύπανση μεταφέρεται στο τελικό προϊόν.

Σκόνη

Οι εκπομπές των ιπτάμενων σωματιδίων γίνονται συνήθως είτε στον χώρο του λατομείου της βιομηχανίας κατά την εξόρυξη πρώτων υλών είτε σε πιθανές βλάβες στις ταινίες μεταφοράς πρώτων υλών, κατά την αποθήκευση του κλίνκερ ή του τσιμέντου είτε από την καμινάδα του κλιβάνου.

Τα τελευταία χρόνια με την χρήση των υβριδικών ηλεκτροστατικών φίλτρων η εκπομπή σκόνης έχει περιοριστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό κάτω από τα επίπεδα των 30 mg/Nm³ σύμφωνα με τα στοιχεία συνεχών μετρήσεων (Cembureau, 2007).

Στον πίνακα 3.2 φαίνονται τα όρια εκπομπής σκόνης ανά χώρα στην ΕΕ.

Σκόνη Mg/Nm ³	Στοιχεία βασίζόμενα	Νέα/τροποποιημένη ή υφιστάμενη εγκατάσταση	Καπνοδόχος κλιβάνου	Ψύξη του κλίνκερ	Άλεση τσιμέντου	Άλλες σημειακές πηγές
Αυστρία	E	νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη	50 50	50 50	50 50	50 50
Βέλγιο	A	νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη	50 50-150	50 50-400	50 50-150	50-300
Δανία		νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη				
Φιλανδία		νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη				
Γαλλία	E	νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη	50 50(a)	100 100(a)	50 50(b)	30 30
Γερμανία	E	νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη	50 50	50 50	50 50	50 50
Ελλάδα	E/T	νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη	100 150	100 150	100 150	
Ιρλανδία		νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη				
Ιταλία	E/A	νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη	50	50	50	50
Λουξεμβούργο		νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη				
Ολλανδία		νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη				
Πορτογαλία	E	νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη	50 100	100 100	75 75	50 50
Ισπανία	E	νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη	400/250(c) 100 (d)	170/100(c) 100 (d) 170/100(c) 100 (d)	300/250(c) 75 (d) 300/250(c) 75 (d)	300/250(c) 50 (d) 300/250(c) 50 (d)
Σουηδία	A	νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη	50(e) 150-500	250-500	150-250	20 50-150
Ηνωμένο Βασίλειο		νέα/τροποποιημένη υφιστάμενη	40 (g)	50 (g)	40 (g)	50 (g)

Πίνακας 3.2. Πηγή Cembureau, 2007

3.2.Διοξίνες

Σχηματισμός PCDD / F στην καύση

Οι διοξίνες μπορούν να σχηματιστούν από ένα συνδυασμό μηχανισμών ανάλογα με τον κλίβανο και το σχεδιασμό της διαδικασίας, τις συνθήκες καύσης, τα χαρακτηριστικά τροφοδοσίας και τον τύπο και τη λειτουργία του εξοπλισμού της συσκευής ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (SINTEF, 2006).

Οι θεωρίες για τον μηχανισμό σύνθεσης διοξινών μπορούν να περιγραφούν ως:

1. Εάν υπάρχουν ίχνη PCDD / Fs στα καύσιμα ή στις πρώτες ύλες, μπορούν να εξαχθούν ποσά από τα ίχνη τους στα στάδια παραγωγής, είναι όμως παραδεκτό ότι καταστρέφονται πλήρως εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν.

2. Ο σχηματισμός PCDD / F από πρόδρομες ουσίες αερίας φάσης οι οποίες είναι χημικά παρόμοιες με αυτές όπως οι αρωματικές ενώσεις, μέσω (Μαρκάτος, 2008):

- Ομογενών αντιδράσεων σε αέρια φάση.
- Ετερογενών αντιδράσεων από πρόδρομες αλογονούχες ενώσεις.

3. De novo synthesis των διοξινών από πηγές άνθρακα που είναι χημικά διαφορετικές από τις δομές δακτυλίων διοξινών και φουρανίων.

Οι επικρατέστερες μορφές δημιουργίας διοξινών είναι οι περιπτώσεις 2 και 3 οι οποίες λαμβάνουν χώρο στο εύρος θερμοκρασιών μεταξύ 450-200°C.

Είναι πλέον γενικά αποδεκτό ότι η πρώτη θεωρία δεν μπορεί να εξηγήσει τα επίπεδα των εκπομπών PCDD / Fs που έχουν μετρηθεί από καυστήρες. Τα PCDD / Fs αποσυντίθενται γρήγορα σε θερμοκρασίες άνω των 925 ° C (SINTEF, 2006). Στους κλίβανους τσιμέντου, η θερμοκρασία αερίου φάσης στις ζώνες του καυστήρα φτάνει μέχρι τους 2000 ° C, πράγμα που θα διασφαλίσει ότι οποιαδήποτε ίχνη PCDD / Fs στο καύσιμο που τροφοδοτείται μέσω των καυστήρων θα έχει καταστραφεί εντελώς.

Η θεωρία 2α πιστεύεται επίσης ότι παίζει σχετικά μικρό ρόλο στις εκπομπές PCDD / F από εγκαταστάσεις καύσης. Στις υψηλές θερμοκρασίες σε μια ζώνη καύσης, η διαδικασία πολλαπλών βημάτων απαραίτητο για τον σχηματισμό PCDD / F δεν μπορεί να ανταγωνιστεί την καταστροφή (Sidhu et al., 1994).

Οι εκπομπές PCDD / F από τις συσκευές καύσης πιστεύεται τώρα ότι έχουν ως αποτέλεσμα κυρίως από ετερογενείς, επιφανειακά καταλυόμενες αντιδράσεις στις

περιοχές μετά την καύση της μονάδας (Θεωρίες 2β και 3). Πειραματικά στοιχεία δείχνουν ότι αυτές οι αντιδράσεις να εμφανίζονται σε εύρος θερμοκρασιών περίπου 200 ° C έως 450 ° C ή ευρύτερη, με μέγιστο σχηματισμό που συμβαίνει κοντά στους 350 ° C .

Οι θεωρίες που έχουν επικρατήσει είναι των ετερογενών αντιδράσεων. Η θεωρία (2b) μπορεί να διακριθεί από (3) με αντιδράσεις που περιλαμβάνουν χλωροαρωματικές πρόδρομες ουσίες που ενδέχεται να υπάρχουν ήδη στο καύσιμο, ή που θα μπορούσαν να σχηματιστούν ως προϊόντα ατελούς καύσης (Dickson et al., 1992). Η θεωρία (3) δεν το κάνει και απαιτεί να υπάρχουν πρόδρομοι χλωροαρωματικών σε τέφρα ιπτάμενου υλικού ή στο ρεύμα αερίου. Αντ 'αυτού, τόσο οι πρόδρομοι χλωροαρωματικών όσο και οι PCDD / Fs μπορούν να συντεθούν de novo από αέρια-στερεά και στερεές-στερεές αντιδράσεις μεταξύ σωματιδίων άνθρακα, αέρα, υγρασίας και ανόργανων χλωριδίων παρουσία ενός μεταλλικού καταλύτη.. (Μαρκάτος, 2008).

3.3. Υδράργυρος

Ο υδράργυρος εισέρχεται στην τσιμεντοβιομηχανία μέσω των πρώτων υλών και κυρίως των καυσίμων που χρησιμοποιούνται.

Εξαιτίας της υψηλής πτητικότητας του, τα στοιχεία του υδραργύρου δεν συγκρατούνται στο 100% του συνόλου τους στον περιστροφικό κλίβανο και στην περιοχή προθέρμανσης. Αντ 'αυτού, αέρια στοιχεία υδραργύρου προσκολλούν στα σωματίδια της πρώτης ύλης στην περιοχή των ηλεκτροστατικών φίλτρων είτε στα σακκόφιλτρα, με τα σωματίδια σκόνης να λειτουργούν ως πυρήνες συμύκνωσης. Αυτό σημαίνει ότι ο υδράργυρος μπορεί να εμπλουτιστεί μετά το πέρας της παραγωγικής διαδικασίας (CSI, 2016).

Σύμφωνα με τους Schreiber και Kellett καθώς τα αέρια καύσης κινούνται προς το άκρο τροφοδοσίας πρώτης ύλης του συστήματος κλιβάνου, η θερμοκρασία μειώνεται από περίπου 2000 ° C σε 100-300 ° C ανάλογα με τον εξοπλισμό, τον τρόπο λειτουργίας και την υγρασία των πρώτων υλών. Επιπλέον, μερικά από τον υδράργυρο που απελευθερώνονται από τις πρώτες ύλες καθώς θερμαίνονται αντιδρούν με το χλώριο σε μορφή $HgCl_2$.

Μερικά από τα στοιχεία του υδράργυρου αντιδρούν και σχηματίζουν HgO καθώς οι θερμοκρασίες καυσαερίων συνεχίζουν να μειώνονται μέχρι το σημείο ζέσεως του υδραργύρου τους 350°C . Το σχηματισμένο οξείδιο μπορεί να αντιδρά περαιτέρω με το χλώριο για να σχηματίσει HgCl_2 .

Σε θερμοκρασίες αερίου κάτω από τους 325°C , μέρος του υδραργύρου μπορεί να αντιδράσει με θείο για να σχηματίσει θεικό υδράργυρο (HgSO_4).

Καθώς το μείγμα κλίνκερ θερμαίνεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 225°C και 325°C , υπάρχει πιθανώς σχηματισμός πυριτικού υδραργύρου HgSiO_3 .

Στη συνέχεια τα καυσαέρια περνούν μέσα από τη συσκευή ψύξης, οι θερμοκρασίες συνεχίζουν να πέφτουν φθάνοντας τους 100°C . Η μείωση αυτή επιτρέπει τη συμπύκνωση μέρους του στοιχειακού υδραργύρου ενωμένα με τα σωματίδια σκόνης. Ορισμένες από τις οξειδωμένες ενώσεις υδραργύρου HgCl_2 , HgO και HgSO_4 μπορούν να ενωθούν με τα σωματίδια σκόνης (Schreiber, Kellett, 2005).

Ο υδράργυρος περιέχεται στα καυσαέρια σε διάφορες μορφές. Τα όργανα συνεχούς μέτρησης υδραργύρου πρέπει να είναι ικανά να ανιχνεύουν όλες τις μορφές υδραργύρου.

Για τη συνεχή μέτρηση χρησιμοποιούνται δύο τύποι συσκευών (CSI, 2016).

1. Θερμοκαταλυτικές συσκευές: οι ενώσεις υδραργύρου στο αέριο που έχουν υποβληθεί σε δειγματοληψία μειώνονται με τη βοήθεια ενός θερμαινόμενου σταθερού καταλύτη.

2. Χημικές συσκευές υγρού τύπου που περιλαμβάνουν ένα στάδιο αντίδρασης με ένα ρευστό αναγωγικό παράγοντα (συνήθως χλωριούχο κασσίτερο (II)).

Τα φωτομετρικά όργανα (ανίχνευση υπεριωδών ακτίνων) χρησιμοποιούνται σε όλους τους τύπους οργάνων και μπορούν να ανιχνεύουν μόνο στοιχειακά μειωμένο υδράργυρο.

Συνεχής μέτρηση των εκπομπών υδραργύρου από τους αποτεφρωτές αποβλήτων είναι υποχρεωτική σε πολλές χώρες.

4.Ενέργεια

Η βιομηχανία που ασχολείται με την παραγωγή τσιμέντου έχει έρθει αντιμέτωπη με δύο προκλήσεις:

1. τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος σε CO₂
2. τη μείωση του ενεργειακού της κόστους σε συνδυασμό με τη χρήση των καυσίμων.

Οι τσιμεντοβιομηχανίες είναι ενεργοβόρες και θεωρούνται μεγάλοι ρυπαντές στην εκπομπή CO₂ πίσω μόνο από τις χαλυβουργίες σε ποσοστό 5-8% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών CO₂. (Worell et al.,2001)

Έχει υπολογιστεί ότι για κάθε τόνο παραγόμενου κλίνκερ απαιτούνται περίπου 3GJ θερμικής ενέργειας και το κόστος που απαιτείται γι' αυτό είναι περίπου το 30-40% του κόστους παραγωγής του προϊόντος. Είναι χαρακτηριστικό ότι το 2005 η βιομηχανία τσιμέντου κατανάλωσε 9 exajowles (EJ) καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή της. (IEA 2007, Murray and Price,2008). Γι' αυτό το λόγο οι τσιμεντοβιομηχανίες προσπαθούν να εντάξουν στον ενεργητικό τους εναλλακτικά καύσιμα έτσι ώστε να έχουν μερική ή και πλήρη απαλλαγή από τα συμβατικά.

Ενδεικτική κατανάλωση ενέργειας ανά τόνο παραγόμενου κλίνκερ

- Ξηρή μέθοδος παραγωγής με στάδια προθέρμανσης/προασβεστοποίησης 3000-3800MJ
- Ξηρή μέθοδος με προθέρμανση 3100-4200MJ
- Ημίξηρη 3300-4500MJ
- Υγρή 5000-6000MJ (Σαλαπάτας, 2012) (Τσακαλάκης ,2010)

Το πιο σημαντικό κριτήριο για την επιλογή ενός καυσίμου είναι η θερμογόνος δύναμη του,με την προϋπόθεση να μην αλλοιώνεται η ποιότητα του τελικού προϊόντος αλλά και να μην χρειάζονται τεχνολογικές αλλαγές είτε στον καυστήρα είτε στον περιστρεφόμενο κλίβανο.

Στον πίνακα 4.1 φαίνεται η εκτιμώμενη θερμογόνος δύναμη ανά καύσιμο.

Συμβατικά και εναλλακτικά καύσιμα τσιμεντοβιομηχανίας	Θερμογόνος δύναμη GJ/tn
<u>Συμβατικά καύσιμα</u>	
Άνθρακας	25.3
Petcoke	33.7
<u>Εναλλακτικά καύσιμα</u>	
TDF	27-31
Βιομηχανικά απόβλητα	17-21
Οικιακά απορρίμματα	15
Ιλύς βιολογικών καθαρισμών	13-16

Πίνακας 4.1.Πηγή Τσακαλάκης,2010

5.ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΨΙΜΑ

5.1.Κατηγορίες συμβατικών καυσίμων

Με τον όρο συμβατικά καύσιμα ορίζουμε όλα εκείνα τα ορυκτά υλικά τα οποία η θερμογόνοξ αξία τους χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας στη βιομηχανία τσιμέντου, χαρακτηριστικό τους είναι πως δεν συγκαταλέγονται στους ανανεώσιμους πόρους ενώ συνήθως η εξόρυξη τους είναι κοστοβόρα και κατά κανόνα το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα είναι υψηλό με εξαίρεση το φυσικό αέριο, χωρίζονται σε στερεά, υγρά, αέρια (Τσακαλάκης, 2010).

Στην κατηγορία των στερεών καυσίμων συναντάμε τα:

- Pet-coke
- Άνθρακες
- Λιγνίτες

Των υγρών:

- Πετρέλαιο και τα κλάσματά του (Μαζούτ)

Στα αέρια:

- Φυσικό αέριο

Ενώ τα ποσοστά χρήσης των συμβατικών καυσίμων έχουν ως εξής.

Καύσιμο	Ποσοστό χρήσης %
Petcoke	74.5
Μαζούτ	5
Λιγνίτης	5.5
Φυσικό αέριο	1
Άλλα	14

Πίνακας 5.1 Πηγή Τσακαλάκης2010

5.2.Pet-coke

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει γίνει μια αλματώδη αύξηση στην κατανάλωση pet-coke ως βασικού καυσίμου στη βιομηχανία τσιμέντου είτε ως μοναδική πηγή είτε σε συνδυασμό με κάποιο άλλο το οποίο αποτελείται κατά 80% από άνθρακα.

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

- Οι φυσικές ιδιότητες των ανθράκων περιλαμβάνουν τη θερμογόνο δύναμή τους, το ποσοστό υγρασίας, την περιεκτικότητά τους σε πτητικά και την περιεκτικότητά τους σε τέφρα ενώ,

- Οι χημικές τους ιδιότητες αναφέρονται στην περιεκτικότητά τους σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο.

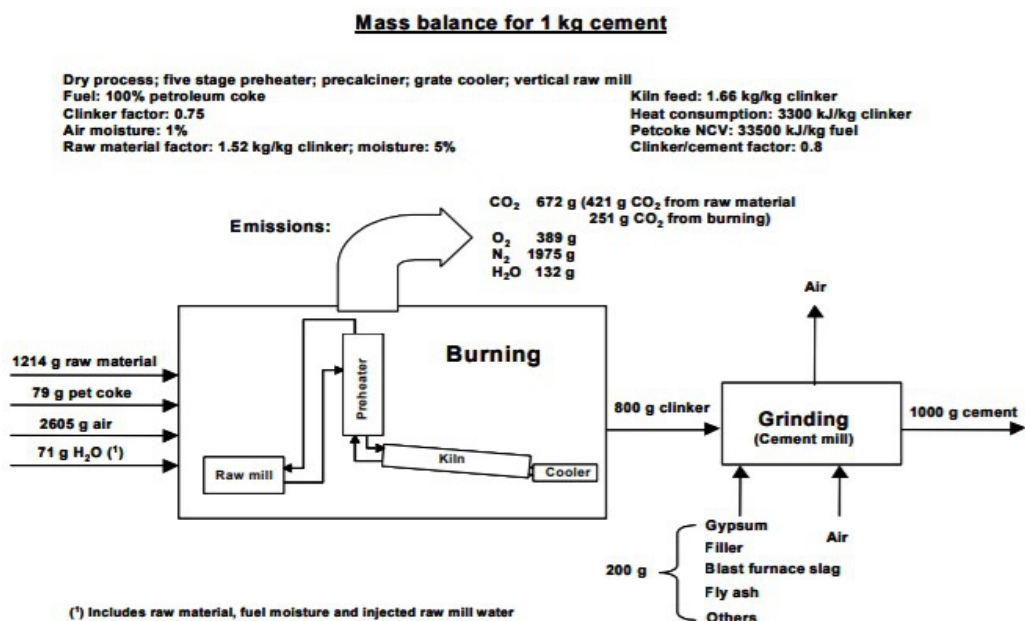
Χρησιμοποιείται κατά κανόνα σε στέρεη κοκκώδης μορφή εφόσον πρώτα έχει θρυμματιστεί. Αποτελείται σε ποσοστό τουλάχιστον 80% από καθαρό άνθρακα και είναι παραπροϊόν του πετρελαίου, η θερμογόνο δύναμή του είναι περίπου 34 GJ/tn ενώ έχει υψηλή θερμοκρασία έναυσης κοντά στους 650°C (Τσακαλάκης, 2010)

Ένα από τα χαρακτηριστικά του που το κάνουν πρώτη πηγή ενέργειας στην τσιμεντοβιομηχανία είναι το υψηλό ποσοστό θερμογόνου δύναμης σε συνάρτηση με την τιμή του, εξαιτίας του ότι είναι παραπροϊόν του πετρελαίου και η παραγωγή του είναι πολύ μεγαλύτερη από την ζήτηση (Κρακούδης, 2009).

Στα αρνητικά του pet-coke πρέπει να αναφερθούμε στην ανάγκη του να πετύχουμε υψηλές θερμοκρασίες για να αναφλεχθεί (Μουρίκης, 2017) εξαιτίας της χαμηλής του πτητικότητας όσο και τα προβλήματα που δημιουργεί στον τεχνολογικό εξοπλισμό εξαιτίας της καθίζησης του υπό μορφή σκόνης μετά την καύση του (Σαλαπάτας, 2012)

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε θείο αλλά και των ποσοτήτων βαρέων μετάλλων που υπάρχουν στην τέφρα αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για τις περιοχές γειτνίασης (Μουρίκης, 2017).

Ένα τυπικό δείγμα για την παρασκευή 1 κιλού τσιμέντου με αποκλειστική χρήση petcoke είναι την παρακάτω εικόνα 5.1.



Εικόνα 5.1.Πηγή Cembureau,2006

Όπου βλέπουμε πως θα απαιτηθούν 79γρ petcoke και 1214γρ πρώτων υλών για να παραχθούν 800γρ κλίνκερ και να έχουμε εκπομπές 672γρ CO₂,309 O₂,1975 N₂ και 132 γραμμάρια H₂O καθιστώντας το συγκεκριμένο καύσιμο ρυπογόνο για την ατμόσφαιρα.

5.3.Μαζούτ

Στα υγρά συμβατικά καύσιμα συναντάμε το μαζούτ, ένα υπόλειμμα απόσταξης πετρελαίου σε μαύρη παχύρρευστη μορφή.

Η παρασκευή του μαζούτ γίνεται από τα βαριά πετρελαϊκά υπολείμματα του πετρελαίου σε όλες τις διεργασίες του και επειδή το κόστος της αποθήκευσης κρίνεται ασύμφορο από τα διυλιστήρια προτιμάται να πωλείται σε πολύ χαμηλές τιμές.

Οι προδιαγραφές της αγοράς θέτουν αυστηρούς περιορισμούς στο ιξώδες που όσο αυξάνεται τόσο πιο δύσκολη γίνεται η διάσπασή του άρα και η καύση του, όπως επίσης και στην περιεκτικότητα σε θείο, χαρακτηριστικό του είναι η υψηλή θερμογόνο δύναμη του, περίπου 42 GJ/tn ενώ η θερμοκρασία έναυσης του είναι 50°C (Μαμάσης και Στεφανάκος, 2011)

Οι βασικές ιδιότητες του μαζούτ είναι (Αυγερόπουλος, 2014) :

- Μεγάλη πυκνότητα που σχετίζεται με την υψηλή θερμογόνο δύναμη τους καυσίμου
- Υψηλό ιξώδες κάτι που κάνει πιο δύσκολη τη διάσπαση του μαζούτ σε μικρότερα σταγονίδια.
- Υψηλή περιεκτικότητα σε θείο που συνήθως τίθενται αυστηροί κανόνες για την χρήση του μαζούτ.
- Ικανοποιητική θερμογόνο δύναμη
- Παραγωγή τέφρας, επειδή είναι βαρύ κλάσμα του πετρελαίου, το μαζούτ ενδέχεται να περιέχει ποσότητες και άλλων υλικών.

Πρέπει να αναφερθεί ότι για την χρήση του μαζούτ απαιτείται προθέρμανση για την μείωση του ιξώδες του. Έτσι λοιπόν παρόλο που η τιμή αγοράς του μαζούτ από τις τσιμεντοβιομηχανίες είναι χαμηλή, η προπαρασκευή που απαιτείται χρονοβόρα αλλά και κοστοβόρα και έτσι χάνει όλο και περισσότερο έδαφος απέναντι στα άλλα καύσιμα.

Οι εκπομπές του μαζούτ διακρίνονται στον πίνακα 5.2

Ένωση	Kg/tn
CO ₂	3078273
CO	402
NO _x	6631
SO _x	30

Πίνακας 5.2.Πηγή Σαλαπάτας,2012

5.4.Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο είναι ένα από τα ορυκτά καύσιμα το οποίο σχηματίζεται στις περιοχές σχηματισμού υδρογονανθράκων και ενώ η οικιακή χρήση του υφίσταται εδώ και πολλές δεκαετίες, εξαιτίας των νέων αγωγών που δημιουργήθηκαν ανά τον κόσμο, τα τελευταία χρόνια το φυσικό αέριο έχει κάνει την εμφάνιση σαν συμβατικό καύσιμο της βιομηχανίας τσιμέντου, σπάνια σαν αποκλειστική πηγή περισσότερο όμως σαν συνδυαστικό καύσιμο είτε με το petcoke είτε με εναλλακτικά καύσιμα.

Το φυσικό αέριο είναι το πιο οικονομικό σε σχέση με άλλες αέριες πηγές ενέργειας ενώ η θερμογόνος του δύναμη κρίνεται ικανοποιητική εξαιτίας του υδρογόνου που περιέχει και είναι της τάξης των 54 GJ/t_n (Μαμάσης και Στεφανάκος, 2011).

Σαν καύσιμο παρουσιάζει αρκετά συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα άλλα. Αρχικά δεν απαιτείται κάποια προεργασία για να ξεκινήσει η καύση όπως τα υγρά ή στερεά καύσιμα, και η καύση πραγματοποιείται μόλις αναμειχθεί με τα κατάλληλα ποσοστά οξυγόνου και στην επιθυμητή χαμηλή θερμοκρασία έναυσης, παράλληλα η περιοχή καύσης είναι καθαρή σε αντίθεση με την καύση petcoke, πετρελαίου κ.α και δεν δημιουργείται τέφρα (Αντωνάτος, 2014).

Ο τεχνολογικός εξοπλισμός απαιτεί απλές συντηρήσεις καθώς δεν υπάρχουν υπολείμματα μετά την καύση που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα και η μόνη αλλαγή εστιάζεται στη θέση του καυστήρα εξαιτίας της υψηλής φλόγας που δημιουργείται με την καύση του αερίου (Τσακαλακης, 2010).

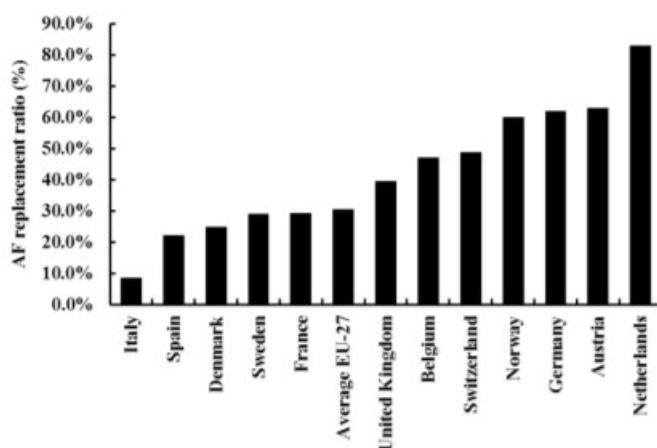
Τέλος το φυσικό αέριο έχει χαρακτηριστεί ως το πιο πράσινο συμβατικό καύσιμο καθώς οι εκπομπές σε CO₂ είναι πολύ χαμηλά επίπεδα όμως εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν κατά την χρήση του είναι δεδομένο πως αυξάνονται οι εκπομπές σε NO_x.

Στα μόνα αρνητικά του καυσίμου μπορούμε να καταλογίσουμε την υψηλή τιμή σε σχέση με τα στερεά και υγρά καύσιμα όπως επίσης πρέπει να υπάρξει προσαρμογή του καυστήρα και της θέσης του εξαιτίας της υψηλότερης θερμοκρασίας που επικρατεί στην ζώνη έναυσης σε σχέση με τα άλλα καύσιμα (Αντωνάτος, 2014).

6.ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

6.1.Γενικά

Είναι κοινή παραδοχή ότι στην εποχή που ζούμε ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που έχουν να αντιμετωπίσουν οι οργανωμένες κοινωνίες είναι η διαχείριση των σκουπιδιών και των αποβλήτων, παράλληλα με τις σύγχρονες επιταγές για το περιβάλλον στην τσιμεντοβιομηχανία, μια νέα κατάσταση φαίνεται να παγιώνεται αργά αλλά σταθερά στον τομέα της ενέργειας, οι πετρελαϊκές κρίσεις του παρελθόντος έκαναν τις επιχειρήσεις να αναζητήσουν διαφορετικές πηγές ενέργειας, οι οποίες θα χαρακτηρίζονται από χαμηλού εύρους οικονομικές διακυμάνσεις και θα χουν ένα πιο πράσινο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, τουλάχιστον όσο αφορά τις εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα. Η δέσμευση των ανεπτυγμένων χωρών με την συνθήκη του Παρισιού το 2015 για περιορισμό της εκπομπής CO₂, βοήθησε τις τσιμεντοβιομηχανίες να θέσουν προγράμματα και σχέδια σε εφαρμογή για αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με εναλλακτικά, κυρίως απορρίμματα στα οποία είτε δεν μπορεί να υπάρξει επαναχρησιμοποίηση είτε δεν συμφέρει οικονομικά. Στις χώρες της ΕΕ προς το παρόν παρατηρούνται ακραίες τιμές όσον αφορά την αντικατάσταση των καυσίμων, καθώς μερικές χώρες έχουν αγγίξει πολύ υψηλά ποσοστά ενώ άλλες έχουν μείνει πίσω όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.2.



Γράφημα 6.1.Πηγή Zhang,2013

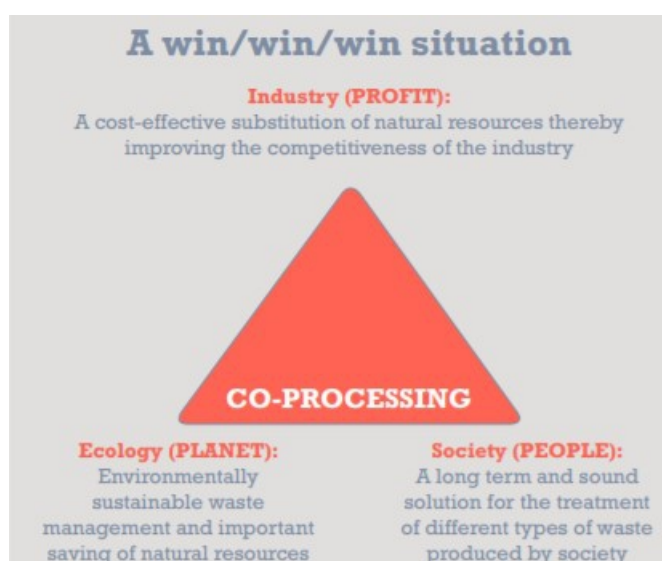
Αυτό συμβαίνει διότι ως επί το πλείστον κάθε χώρα-μέλος ακολουθεί δική της πολιτική για την διαχείριση των αποβλήτων και παρόλο που οι οδηγία προς τα κράτη είναι κοινές όπως φαίνεται στον πίνακα οι τρόποι και τα ποσοστά διαχείρισης διαφέρουν όπως φαίνεται στον πίνακα 6.1,γι αυτό το λόγο δεν έχουμε καθολική διαχείριση αποβλήτων στην ΕΕ.

	Αστικά απορρίμ ματα,κιλ ό/άτομο	Σύνολο αστικών απορριμ άτων που διαχειρίσ τηκαν,κι λό/άτομο	Ανακύκλ ωση και κομποστ οποίηση	Ανακύκλ ωση	Κομποστ οποίηση	Υγειονομ ική ταφή	Καύση
EU28	492	480	42	27	15	34	24
Belgium	456	458	57	36	21	1	42
Bulgaria	460	433	27	24	3	73	0
Czech Republic	308	308	25	21	3	57	20
Denmark	668	668	45	32	13	3	52
Germany	611	610	65	47	18	0	35
Estonia	279	220	40	34	6	44	16
Ireland	570	570	45	37	8	39	16
Greece	503	493	18	16	2	82	0
Spain	464	464	27	17	10	63	10
France	534	534	39	23	16	28	33
Croatia	391	381	16	14	2	85	0
Italy	529	523	38	24	14	41	20
Cyprus	663	663	21	12	9	79	0
Latvia	301	301	16	14	2	84	0
Lithuani a	469	458	21	19	2	79	1
Luxemb ourg	662	662	47	28	19	18	36
Hungary	402	402	26	21	5	65	9
Malta	589	559	13	9	4	87	0
Netherla	551	551	50	24	26	2	49

nds							
Austria	552	528	62	28	34	3	35
Poland	314	249	25	13	12	75	1
Portugal	453	453	27	12	15	54	20
Romania	389	313	1	1	0	99	
Slovenia	362	301	47	42	5	51	2
Slovakia	324	313	13	6	7	77	10
Finland	506	506	34	22	12	33	34
Sweden	462	462	47	32	15	1	52

Πίνακας 6.1.Πηγή Massarini and Muraro ,2015

Ειδικότερα η κατάσταση αποτυπώνεται ακριβώς από το παρακάτω τρίγωνο όπου εκφράζεται μια "win-win-win" κατάσταση μεταξύ βιομηχανίας,περιβάλλοντος και κοινωνίας,τόσο σε οικονομικό όσο και ποιοτικό επίπεδο σύμφωνα με την Ένωση Ευρωπαϊκών Τσιμεντοβιομηχανιών.



Εικόνα 6.1.Πηγή Cembureau,2016

Οι υψηλές θερμοκρασίες και οι αλκαλικές συνθήκες που συναντάμε μέσα στο περιστροφικό κλίβανο καθώς και η επαναχρησιμοποίηση της παραγόμενης τέφρας στην άλεση του τσιμέντου μοιάζουν ως οι ιδανικές συνθήκες αν θεωρήσουμε την καύση απορριμάτων σαν την ενδεδειγμένη μέθοδο.

Έχει γίνει λοιπόν μια κατηγοριοποίηση στα εναλλακτικά καύσιμα, τα οποία πρέπει να απαντούν σε κάποια κριτήρια για να τα χρησιμοποιήσει η βιομηχανία, τα οποία είναι (Mokrzycki et al.,2003):

- Διαθεσιμότητα
- Φυσική κατάσταση καυσίμου (υγρό,στερεό,αέριο)
- Περιεχόμενο ανταλλάξιμων στοιχείων (Na,K,Cl,S)
- Τοξικότητα
- Σύνθεση τέφρας
- Περιεχόμενο πτητικών στοιχείων
- Θερμογόνος αξία
- Φυσικές ιδιότητες
- Ιδιότητες λείανσης
- Ποσοστό υγρασίας

Ενώ αν και μπορεί τα κριτήρια να πληρούνται για την χρήση των εναλλακτικών καυσίμων, υπάρχουν κάποιοι άλλοι περιορισμοί που αρκετές φορές κάνουν τα εναλλακτικά καύσιμα αδύνατα να χρησιμοποιηθούν και αυτοί είναι (Κολοβος,2007) :

- Η νομοθεσία ανάλογα με την εκάστοτε περιοχή
- Η συμβολή των εναλλακτικών καυσίμων στην ποιότητα του εξαγόμενου προϊόντος
- Η διαδικασία παραγωγής
- Η υγιεινή και ασφάλεια στο χώρο εργασίας
- Οι αντιδράσεις από τις τοπικές κοινωνίες
- Το κόστος της επένδυσης για την χρήση

Κατηγοριοποίηση σε σχέση με την προέλευση τους (Mokrzycki et al.,2003)

- Επικίνδυνα απόβλητα
- Μη επιβλαβή βιομηχανικά απόβλητα
- Δημοτικά απόβλητα
- Βιομάζα
- Απόβλητα που δεν έχουν κατηγοριοποιηθεί

Τα ΕΚ ταξινομούνται ανάλογα με την σύστασή τους :

- αέρια (αέριο υγειονομικής ταφής)
- υγρά (έλαια,λίπη,λάσπες βιομηχανίας κá)
- στερεά (ζωική σκόνη,χαρτί,ελαστικά,πλαστικά κá)

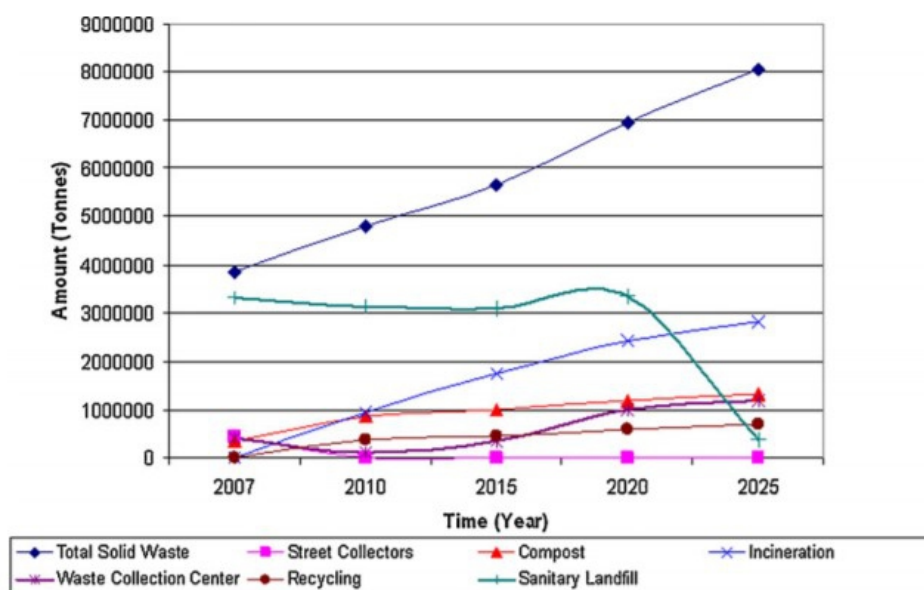
Στον περιστρεφόμενο κλίβανο καύσης συναντούμε όλες εκείνες τις προϋποθέσεις που απαιτούνται για την καύση των ΕΚ. Έτσι λοιπόν η θερμοκρασία αγγίζει τους 1450°C,ενώ η φλόγα τους 2000°C και συμβάλει στην πλήρη καταστροφή των χημικών ενώσεων,παράλληλα ο χρόνος παραμονής των υλικών στον κλίβανο είναι μεγάλος με συνέπεια την καταστροφή ανεπιθύμητων ενώσεων,επιπλέον επειδή βρισκόμαστε σε βιομηχανικό περιβάλλον,οι διαδικασίες είναι συνεχής,ελεγχόμενες και συνήθως οι στάσεις είναι προγραμματισμένες (Μαρκάτος,2008). Οι μεγάλες ποσότητες ασβεστόλιθου εξασφαλίζουν στον κλίβανο ένα ισχυρά αλκαλικό περιβάλλον μέσα στο οποίο υπάρχει δέσμευση στο χλώριο και το θείο σχηματίζοντας μη τοξικές ενώσεις με άμεση επαναχρησιμοποίηση αυτών των ενώσεων στην τέφρα (Γαλανούλης,2000)

Υλικά που χρησιμοποιούνται από την βιομηχανία τσιμέντου σαν εναλλακτικά καύσιμα είναι τα εξής κατά τον πίνακα 6.2

Βιομηχανικά απόβλητα	Πετρελαιοειδή, λιπαντικά Ιλύς από την παραγωγή ασφάλτου Απόβλητα χημικής βιομηχανίας Απόβλητα άνθρακα από μονάδες παραγωγής λιπασμάτων Διαλύτες
Σύνθετα υλικά	Επαναχρησιμοποιημένα ελαστικά Πλαστικά Πολυμερή Σκόνη από την παραγωγή γραφίτη Χρησιμοποιημένες μπαταρίες
Γεωργικά απόβλητα	Παραπροϊόντα από την αποφλοίωση ρυζιού, σιτηρών, καρύδας, κακάο Παραπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου και χάρτου Παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων
Άλλες πηγές	Σχιστόλιθοι που περιέχουν πετρέλαιο Αστικά απόβλητα

Πίνακας 6.2. Κολοβός, 2007

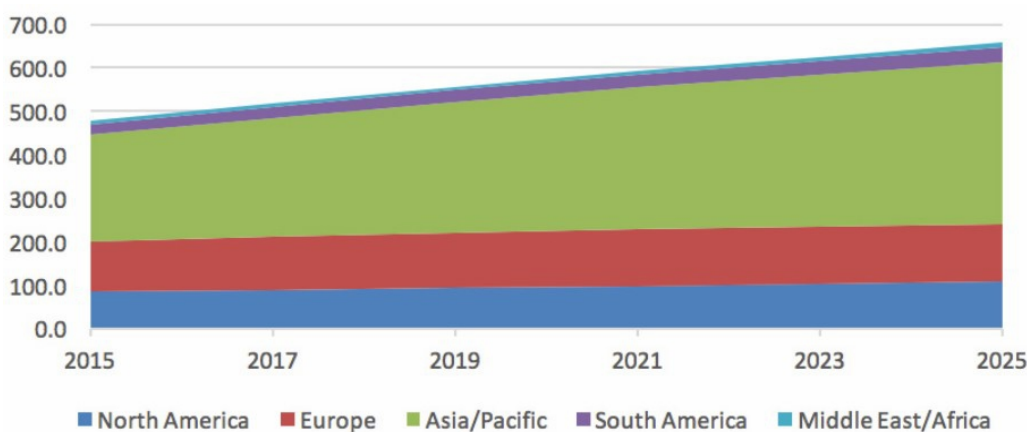
Μια σύγχρονη μορφή διαχείρισης απορριμάτων είναι αυτή της Κωνσταντινούπολης, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.2, στο οποίο να μεν υπάρχει μεγάλη αυξητική τάση στην δημιουργία απορριμάτων όμως από την παραδοσιακή ταφή των αποβλήτων στρέφεται στην κομποστοποίηση και την καύση.



Γράφημα 6.2. Πηγή Kara et al., 2009

6.2.TDF

Στη σημερινή εποχή και με την ραγδαία ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων χωρών οι μεταφορές και οι συγκοινωνίες έχουν εκτοξευθεί σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια, συναντάμε λοιπόν μια αυξητική τάση της συνολικής ποσότητας χρήσης ελαστικών, όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα, η οποία αυτομάτως δημιουργεί πρόβλημα στον τρόπο διαχείρισης μετά το τέλος της ζωής τους και εφόσον φτάσουν στο στάδιο που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν περαιτέρω στο παρακάτω γράφημα 6.3 φαίνεται η αυξητική τάση που προαναφέραμε.



Γράφημα 6.3. Πηγή www.tiretechnologyinternational.com

Σε αυτό το πρόβλημα λύση έρχεται να δώσει η τσιμεντοβιομηχανία καθώς η καύση των ελαστικών (tire derived fuel) εξαιτίας της πολύ υψηλής τους θερμικής αξίας ($>30\text{MJ/kg}$) τα κάνει να είναι από τα καλύτερα καύσιμα φτάνοντας τη θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου και χρησιμοποιούνται στα περισσότερα στάδια παραγωγής κλίνκερ (Pipilikaki et al., 2005).

Στα θετικά του TDF μπορούμε να καταλογίσουμε την μείωση κατά 1,25tn άνθρακα για κάθε τόνο TDF που χρησιμοποιεί η βιομηχανία (Consonni et al., 2005), επίσης η τροφοδοσία και η ζύγιση τους είναι μια σχετικά απλή διαδικασία (Σαλαπάτας, 2012), ενώ υπάρχει εύκολη προμήθεια πρώτης ύλης σχεδόν σε όλα τα σημεία του πλανήτη, επίσης όταν χρησιμοποιείται η καύση έναντι της ταφής αποφεύγονται τυχόν πυρκαγιές που θα είχαν σαν αποτέλεσμα την ανεξέλεγκτη εκπομπή ρύπων.

Πρέπει να αναφερθεί πως στον περιστροφικό κλίβανο τα ελαστικά τοποθετούνται είτε ολόκληρα ως έχουν, είτε μετά από επεξεργασία αφαίρεσης του σύρματος με παράλληλο τεμαχισμό τους, σημειωτέον πως τα τεμαχισμένα άνευ σύρματος ελαστικά έχουν υψηλότερη θερμογόνο δύναμη από τα ολόκληρα (Pipilikaki et al., 2005)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το έντονα αλκαλικό περιβάλλον αλλά και η υψηλή θερμοκρασία της καμίνου δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για την καύση ελαστικών συνήθως χωρίς εκπομπές μεγαλύτερες από τα επιτρεπόμενα όρια ανεπιθύμητων ενώσεων, ενώ η τέφρα που δημιουργείται εξαιτίας των μετάλλων που περιέχονται στα ελαστικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην άλεση του τσιμέντου με περαιτέρω μείωση του κόστους παραγωγής του και υπάρχει συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με τον άνθρακα στις εκπομπές CO₂ όπου είναι σαφώς χαμηλότερες αλλά και η περιεκτικότητα σε θείο είναι κατά 0,20-0,30% μικρότερη με αποτέλεσμα τη μείωση εκπομπής SO_x (California intergated waste management, 1992).

Στα αρνητικά της χρήση TDF ως εναλλακτικού καυσίμου είναι πως δεν χρησιμοποιούνται σε ποσοστό αναπλήρωσης πάνω από 30% διότι υπάρχει ενδεχόμενο αλλοίωσης του παραχθέντος κλίνκερ (Pipilikaki et al., 2005) και το ποσοστό τέφρας δεν μπορεί να ξεπερνάει το 6% εξαιτίας των υψηλών ποσοστών ψευδαργύρου για να μην υπάρξει αλλαγή στη δομή του τσιμέντου (Uson et al., 2013).

Αν και οι εκπομπές σε CO₂, NO_x, SO_x είναι χαμηλότερες από ότι τα συμβατικά καύσιμα κατά την καύση των ελαστικών παρουσιάζονται υψηλά ποσοστά ιόντων χλωρίου όπως επίσης και βαρέων μετάλλων όπως το θάλλιο, τα όποια περνάνε στην παραγόμενη τέφρα και τελικά τοποθετούνται στο τσιμέντο μεταφέροντας την ρύπανση εκεί (Coleman et al., 2016).

Τέλος υπάρχουν στοιχεία για παραγωγή διοξινών και φουρανίων όταν χρησιμοποιούνται εκτός περιστρεφόμενου κλιβάνου σε άλλες διεργασίες (Pipilikaki et al., 2005).

6.3.Ιλύς αστικών λυμάτων

Στα αστικά κέντρα κάθε χώρας λειτουργούν εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων,μετά την κατάλληλη επεξεργασία,προκύπτει μια παραγόμενη ιλύς με σημαντική θερμική αξία η οποία με την κατάλληλη περαιτέρω επεξεργασία μπορεί να αποτελέσει πηγή ενέργειας,δεδομένου πως η κατάσταση της είναι δύσκολα διαχειρίσιμη εξαιτίας των βαρέων μετάλλων που περιέχει,ενώ οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βρίσκονται στα αστικά λύματα,στις απορροές των φρεατίων των πόλεων και στα βιομηχανικά απόβλητα (Αγγελάκης,2005) . Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στην ιλύ ποικίλει και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την βιομηχανική συνιστώσα των ανεπεξεργαστων λυμάτων και μη φιλική ως προς το περιβάλλον,ενώ η θερμική της αξίας είναι μεταξύ 13-16 GJ/tn (Τσακαλάκης,2010).

Η τσιμεντοβιομηχανία είναι μια εναλλακτική λύση ως προς την διάθεση της ιλύς καθώς με την συναποτέφρωση στον περιστροφικό κλίβανο μπορεί να δώσει την απαραίτητη ενέργεια για την εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή κλίνκερ (Rahman et al.,2014).

Το μεγάλο μειονέκτημα όσον αφορά το κόστος χρήσης της ιλύος,είναι πως πρέπει να ξηραθεί πριν την χρησιμοποίηση της ως ΕΚ και αυτό διότι βρίσκεται σε υγρή μορφή (Uson et al.,2013). Εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία η λυματολάσπη προτείνεται για χρήση στο στάδιο της προθέρμανσης ή της προασβεστοποίησης είτε σε πολύ χαμηλή περιεκτικότητα 5% επί του συνολικού καυσίμου στον κλίβανο (Zabaniotou,2008)

Σε σχέση με τους αέριους ρύπους,παρατηρούνται μειωμένες εκπομπές CO₂ και NO_x (Rahman et al.,2015) δημιουργούνται προβλήματα με την υψηλή περιεκτικότητα σε υδράργυρο με ανώτατο όριο το 0,5 mg/kg (Zabaniotou et al,2008),επιπλέον μεγάλη επιστημονική συζήτηση βρίσκεται σε εξέλιξη την παρούσα χρονική περίοδο για το αν η ιλύς αστικών λυμάτων αυξάνει τις εκπομπές σε βαρέα μέταλλα ενώ πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι συμβάλει στη μείωση δημιουργίας διοξινών και φουρανίων (Galvez et al.,2007)

6.4.Βιομάζα

Η βιομάζα είναι μια περίπτωση ΕΚ που συχνά χρησιμοποιείται στην τσιμεντοβιομηχανία σαν αξιόπιστη και φθηνή πηγή ενέργειας, συνήθως είναι παραπροϊόν αγροτικής καλλιέργειας ή της βιομηχανίας τροφίμων, η βιομάζα μπορεί να θεωρηθεί ανανεώσιμος φυσικός πόρος με την έννοια ότι βιώνει έναν αέναο κύκλο αναπαραγωγής, μετασχηματισμού, καταστροφής και είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ηλιακή ενέργεια (Κοψαχείλη, 2012).

Υπάρχουν πολλά και διαφορετικά συστατικά που μπορούν να συνθέσουν την βιομάζα όπως το τσόφλι ρυζιού, του καφέ, του αμυγδάλου, ο πυρήνας της ελιάς κ.α. (Werther et al., 2000). Γίνεται εύκολα κατανοητό πως κάθε ξεχωριστό στοιχείο της βιομάζας έχει διαφορετική θερμική αξία, διαφορετικό ποσοστό υγρασίας και περιεκτικότητα σε πτητικά στοιχεία και παραγόμενη τέφρα, συνήθως η τιμή της θερμικής της αξίας που κρίνεται ικανοποιητική είναι μεταξύ 14-21 MJ/kg (Chuah et al., 2006).

Η προμήθεια βιομάζας γίνεται συχνά από κοντινές στη μονάδα παραγωγής περιοχές το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους και έτσι η χρήση είναι πιο συχνή σε εργοστάσιο που βρίσκονται σε αγροτικές περιοχές.

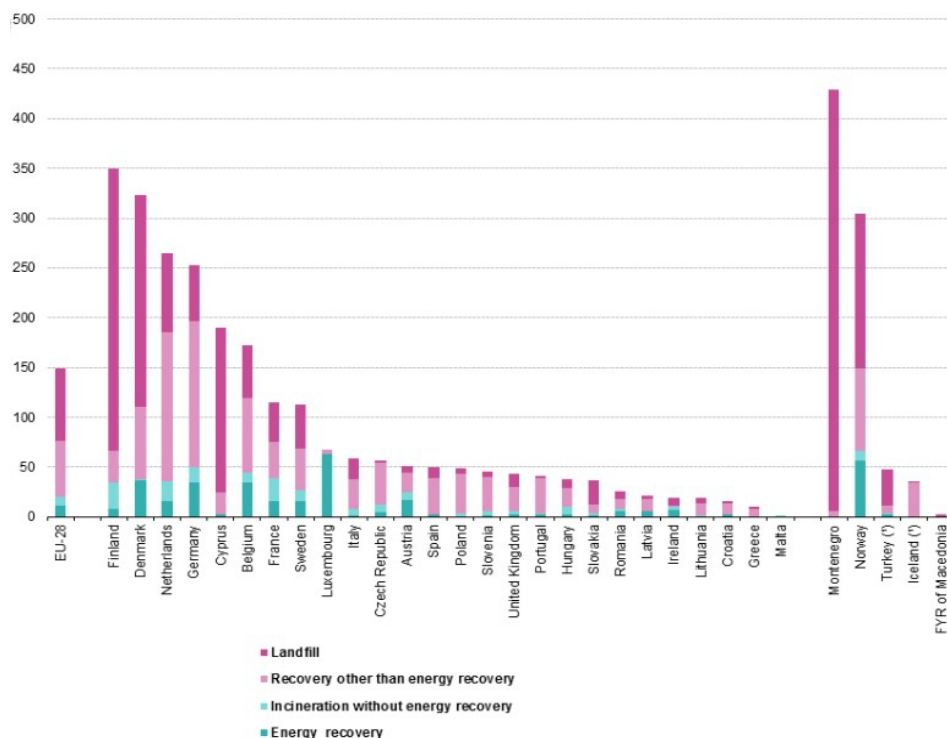
Στα ισχυρά πλεονεκτήματα της βιομάζας προστίθεται το γεγονός πως θεωρείται ουδέτερη ως προς τις εκπομπές CO₂ και έτσι εκτός του περιβαλλοντικού οι βιομηχανίες έχουν κέρδος και από την αγορά του άνθρακα (Vaccano, 2006), επίσης δεν χρειάζονται τεχνολογικές αλλαγές στον μηχανολογικό εξοπλισμό του εργοστασίου για την καύση της βιομάζας καθώς μπορεί με χρησιμοποιηθεί με απευθείας καύση στα στάδια έως την προασβεστοποίηση ενώ για χρήση στον καυστήρα του περιστρεφόμενου κλιβάνου θα χρειαστεί η μετατροπή της σε βιοκαύσιμο, έρευνες δείχνανε πως η συναποτέφρωση σε ποσοστό 20% βιομάζας Pet-Coke εκπέμπει μειωμένους ρύπους σε SO_x και αποτρέπει τον σχηματισμό διοξινών και φουρανίων (Murray and Price, 2008).

Στα αρνητικά της βιομάζας είναι η εποχικότητάς της όπως επίσης και το υψηλό ποσοστό σε υγρασία της το οποίο απαιτεί προεργασία για να μην υπάρξουν αρνητικές συνέπειες στην διεργασία ψησίματος του κλινκερ (Καραγιάννης, 2012) αλλά και το ηθικό πρόβλημα στην τάση των τελευταίων ετών να καλλιεργείται η γη

για την παραγωγή βιοκαυσίμων,σε αυτή την περίπτωση η βιομάζα δεν θεωρείται ουδέτερη σε εκπομπές CO₂.

6.5.RDF

Ο ορθότερος τρόπος διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων τείνει να γίνει ολοένα και μεγαλύτερο πρόβλημα στη σύγχρονη εποχή. Συνεχής επιστημονικές έρευνες καταδεικνύουν τρόπους εκμετάλλευσης των απορριμμάτων τόσο ως προς την επαναχρησιμοποίηση, όπου είναι δυνατό, μέσω της ανακύκλωσης αλλά και ως προς την αξιοποίηση της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί μέσα από χημικούς τρόπους επεξεργασίας τους. Έτσι λοιπόν σε αρκετά από τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης η μέθοδος ταφής χάνει έδαφος έναντι της ανακύκλωσης αλλά και της καύσης των απορριμμάτων με σκοπό την χρήση της θερμικής τους αξίας όπως προκύπτει από το διάγραμμα



Γράφημα 6.4.Πηγή Eurostat,2014

Στην ΕΕ σύμφωνα με την οδηγία 2008/98/ΕΚ υπάρχει μια ιεράρχηση στον τομέα της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων:

- Πρόληψη
- Μείωση αποβλήτων
- Επαναχρησιμοποίηση
- Ανακύκλωση
- Ανάκτηση ενέργειας
- Υγειονομική ταφή
-

Με τον όρο RDF (Revised Derived Fuel) εννοούμε το κλάσμα που μένει με την ανάκτηση στερεών αποβλήτων που μπορούν να ανακυκλωθούν με υψηλή θερμογόνο δύναμη (Nithikul,2007).

Άξιο αναφοράς είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η σύνθεση του RDF διαφέρει ανάλογα με την περιοχή συλλογής των απορριμάτων. Συνήθως αποτελείται από 70% χαρτί, 20% πλαστικό, 10% ύφασμα.

Η συναποτέφρωση του RDF υπάγεται για την χώρα μας στην ΚΥΑ 22912/1117/6-6-2005 η οποία αποτελεί ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία της Ευρωπαϊκής οδηγίας 76/2000/ΕΚ, όπου βρίσκουμε τις οριακές τιμές εκπομπής για την καύση στις τσιμεντοβιομηχανίες (Μαρκατος, 2008).

Ο τρόπος παραγωγής του RDF γίνεται τόσο με μηχανικό όσο και με βιολογικό τρόπο, στα στάδια παραγωγής του στις μονάδες είναι τα εξής (Bourtsalas et.al,2018):

- Βιολογική ξήρανση
- Μηχανικός διαχωρισμός σε δύο κατηγορίες τεμαχισμού των 0.80mm και μεγαλύτερων των 80mm
- Βιολογικός μετασχηματισμός, μείωση μεγέθους
- Διαχωρισμός ως προς την θερμική αξία
- Λείανση και συμπίκνωση

Σημαντικό ρόλο στην κατηγοριοποίηση του RDF παίζει η περιεκτικότητά του σε υγρασία, χλώριο και υδράργυρο.

6.5.1.RDF στον περιστρεφόμενο κλίβανο

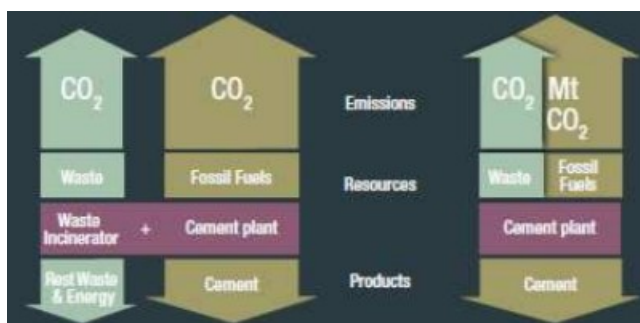
Η συνεχής αναζήτηση από την τσιμεντοβιομηχανία για οικονομικότερες και πιο οικολογικές πηγές ενέργειας έστρεψαν τις επιχειρήσεις στην χρήση του RDF ως καύσιμο στην καύση του περιστροφικού κλιβάνου, εκτιμάται ότι μέχρι το 2050 στην ΕΕ η κύρια πηγή ενέργειας στην τσιμεντοβιομηχανία το 60% θα είναι εναλλακτικά καύσιμα (Cembureau,2016). Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι σταθερά υψηλές θερμοκρασίες και οι αλκαλικές συνθήκες που επικρατούν στον κλίβανο συνθέτουν ένα περιβάλλον, σε συνδυασμό με την συνεχόμενη οξειδωτική ροή του αέρα, που μπορεί να καταστρέψει τις ανεπιθύμητες ενώσεις φουράνιων και διοξινών ενώ η παραγόμενη τέφρα στην οποία τοποθετούνται τα βαρέα μέταλλα επαναχρησιμοποιείται στην άλεση του τσιμέντου (Supino et al.,2016).

Θα πρέπει να διευκρινιστεί πως το απλό RDF είναι κατάλληλο για χρήση στην προασβεστοποίηση και την προθέρμανση,σε περίπτωση που η χρήση του προορίζεται για τον περιστροφικό κλίβανο θα πρέπει να γίνει περαιτέρω ξήρανση συνήθως χρησιμοποιώντας την θερμότητα της παραγωγικής διαδικασίας,σε κάθε άλλη περίπτωση το κόστος του θεωρείται απαγορευτικό για χρήση (IFC,2017).

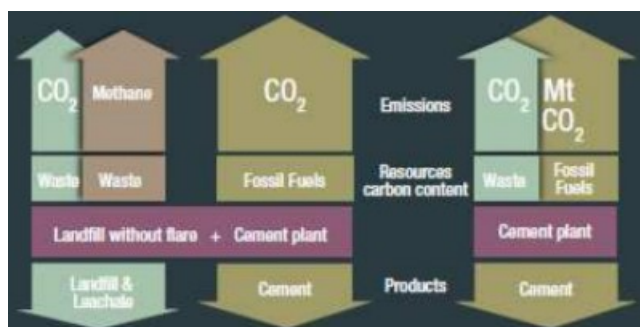
Ως προς το τεχνολογικό κομμάτι το RDF με μια μέση θερμογόνο δύναμη κοντά στα 17MJ/Kg έχει περίπου την μισή αξία από το pet-coke που αγγίζει τα 34MJ/Kg. Έτσι οι ποσότητες που απαιτούνται είναι μεγαλύτερες για την παροχή ίδιας ενέργειας, κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψιν τόσο για την μεταβολή της ποιότητας του κλίνκερ αλλά και ως προς την δημιουργία κατάλληλων τροφοδοτικών μηχανημάτων (Καραγιάννης, 2012).

Πρέπει να επισημανθούν και τα επίπεδα αζώτου,θείου,χλωρίου τα οποία αν είναι αυξημένα στο RDF μπορούν να προκαλέσουν ανεπιθύμητες φραγές στον κύκλο της φαρίνας προκαλώντας πρόβλημα στη ροή υλικών του κλιβάνου (Bhatty,1993).

Στην πρώτη εικόνα 6.2 βλέπουμε το ποσοστό του όγκου των αποβλήτων που καίγονται σε περιστροφική κάμινο και σε ειδικά σχεδιασμένους αποτεφρωτήρες ξεχωριστά,ενώ στη δεύτερη 6.3 βλέπουμε τον όγκο των απόβλητων που χρησιμοποιούνται στην τσιμεντοβιομηχανία και σε χώρους υγειονομικής ταφής.



Εικόνα 6.2.Πηγή Cembureau,1999



Εικόνα 6.3.Πηγή Cembureau,1999

Τα οφέλη που συνδέονται με την παραγωγή και αξιοποίηση των RDF είναι (Bahareh Reza et al.,2013):

- Η εξοικονόμηση των ορυκτών καυσίμων
- Μείωση των δαπανών για την υγειονομική ταφή:

Ο χώρος υγειονομικής ταφής είναι η πιο δαπανηρή διαχείριση και διάθεση αποβλήτων. Ενώ έχουμε περιορισμούς στην οσμή,στις εκπομπές και σταματάει η υποβάθμιση στο έδαφος,παράλληλα ο έλεγχος διάβρωσης απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και περιβαλλοντικά οι επιπτώσεις είναι υψηλότερες.

Ο μέγιστος χώρος που εξοικονομείτε στην υγειονομικής ταφής είναι ίσος με το ποσό του παραγόμενου RDF.

6.5.2.RDF περιβάλλον

Ένα από τα προβλήματα της συναποτέφρωσης του RDF από την τσιμεντοβιομηχανία είναι η αντίδραση των τοπικών κοινωνιών εξαιτίας των περιβαλλοντολογικών κινδύνων που το διέπουν.

Έτσι λοιπόν ενώ αποδεδειγμένα το RDF μειώνει τις εκπομπές σε ρύπους CO₂, πράγμα που ωφελεί τις βιομηχανίες και σε οικονομικό κομμάτι εξαιτίας της αγοράς δικαιώματος ρύπων, ενώ μειωμένες τείνουν να είναι και οι εκπομπές NO_x καθώς η χρήση έμψησης πραγματοποιείται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες εξαιτίας της σύστασής του.

Σε αντίθεση όμως με τα προηγούμενα οι υψηλές τιμές του RDF σε ποσοστά σε χλώριο (0.3-0.5%), δημιουργούν πιθανότητες να υπάρξουν πτητικές ενώσεις χλωρίου (Genon and Brizio,2008) με αρκετά αρνητικές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία, παρόλο που στις περισσότερες περιπτώσεις δεν ξεπερνούν τα ανώτατα θεσπισμένα όρια καθώς το μεγαλύτερο κομμάτι διασπάτε στο αλκαλικό περιβάλλον της καμίνου.

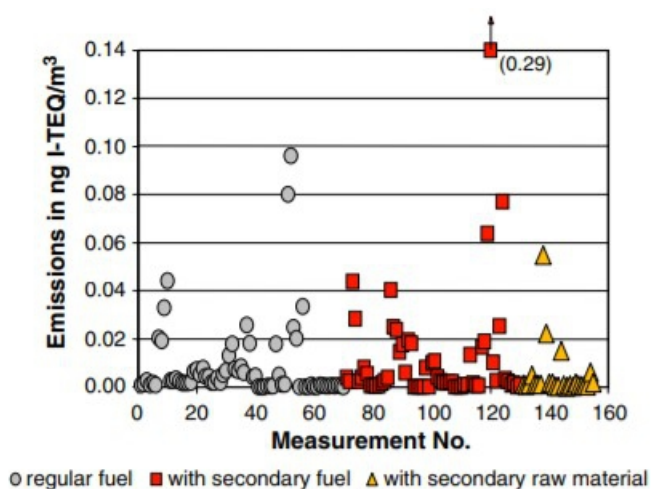
Ίσως το σημαντικότερο πρόβλημα που συναντάμε στη καύση RDF είναι στα πτητικά μέταλλα όπως ο υδράργυρος και το θάλλιο καθώς δεν δεσμεύονται ούτε στο κλίνκερ ούτε και στο φίλτρα των αερίων και έτσι βρίσκουν την έξοδό τους στην ατμόσφαιρα σε αέρια φάση (Genon and Brizio,2008). Αξίζει βέβαια να αναφερθεί ότι σπάνια ξεπερνιούνται τα ανώτατα θεσπισμένα όρια και ο καλύτερος περιορισμός ως προς το χλώριο αλλά και τον υδράργυρο είναι να επιλέγεται RDF με χαμηλά ποσοστά περιεκτικότητας σε αυτά τα δυο στοιχεία (Μαρκατος, 2008).

Τέλος αναφορά πρέπει να γίνει στο σχηματισμό διοξινών και φουρανίων όπου έχουν θεσπιστεί κατώτατα όρια εκπομπής μέσω της ΚΥΑ 22912/1117/6-6-2005 και η τιμή είναι 0.1 mg-TEQ/m³ διοξίνες και φουράνια (ΚΥΑ 22912/1117) (ΦΕΚ 759B/6-6-2005).

Οι διοξίνες παράγονται από τα βαρέα μέταλλα που λειτουργούν ως καταλύτες στις πρόδρομες αλογονούχες ενώσεις με αποτέλεσμα τον σχηματισμό τους, κάτι που συμβαίνει στην βιομηχανία τσιμέντου μόνο όταν υπάρξει πρόβλημα στη λειτουργία του περιστροφικού κλιβάνου και δημιουργηθεί ατελής καύση ή στον τομέα της

απορρύπανσης εφόσον επικρατούν θερμοκρασίες μεταξύ 200-450°C για περισσότερο από 4 δευτερόλεπτα (Stanmore,2004)

Σε μελέτες που λάβαν χώρα στα εργοστάσια της Γερμανίας φάνηκε πώς τα επίπεδα διοξινών και φουρανίων παρέμειναν σχεδόν σταθερά με την συναποτέφρωση του RDF με συμβατικό καύσιμο όπως και επίσης και με εναλλακτικές πρώτες ύλες (Genon and Brizio,2008),όπως βλέπουμε στο γράφημα 6.5 οι εκπομπές πλην ελαχίστων διαφοροποιήσεων παρέμειναν σταθερές με ή χωρίς την χρήση εναλλακτικών καυσίμων.



Γράφημα 6.5.Πηγή Genon,2008

Κατά το ASTM E856-83 το RDF ταξινομείται σε επτά κατηγορίες (Καραγιαννης ,2012) :

- RDF _1: Απόβλητα που χρησιμοποιούνται κατευθείαν
- RDF _2: Επεξεργασμένα με ή χωρίς σιδηρούχων συστατικών
- RDF _3: Έχει γίνει διαχωρισμός στο γυαλί, τα μεταλλικά και τα ανόργανα συστατικά
- RDF _4: Επεξεργασμένο ώστε το 95% κατά βάρος του υλικού να διέρχεται από 10 mesh screen
- RDF _5: Συμπιεσμένο σε μορφή κύβου
- RDF _6: Σε μορφή υγρού καυσίμου
- RDF _7: Σε μορφή αέριου καυσίμου

7.Σύγκριση Συμβατικών-Εναλλακτικών καυσίμων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα σταθούμε στα συγκριτικά πλεονεκτήματα των εναλλακτικών καυσίμων έναντι στα συμβατικά και θα εξετάσουμε τις μελλοντικές προοπτικές των χρήσεών τους από την βιομηχανία με στόχο ένα όσο το δυνατόν πιο πράσινο αλλά περισσότερο ανταγωνιστικό σε οικονομικούς όρους περιβάλλον.

Πιο αναλυτικά μπορεί τα εναλλακτικά καύσιμα να μην θεωρούνται ως μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας όμως πρακτικά οι παραγόμενες ποσότητες από την γεωργία, τον άνθρωπο και τις βιομηχανίες είναι ανεξάντλητη (Sarc and Lober,2013) σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα όπου η περίοδος χρήσης τους αναμένεται να μην ξεπεράσει τα επόμενα 70 χρόνια, έτσι λοιπόν εξαιτίας του ανεξάντλητου της πηγής τα εναλλακτικά καύσιμα είναι χαμηλότερο και συνήθως το τεχνολογικό κόστος ώστε να μπουν σε εφαρμογή είναι μικρό και σε ορισμένες περιπτώσεις αχρείαστο και η εξοικονόμηση μπορεί να φτάσει τους 2.5 εκ τόνους ορυκτών μόνο στην ΕΕ (Cembureau,2016).

Παράλληλα τα εναλλακτικά καύσιμα μπορούν να θεωρηθούν ως πιο οικολογικό καύσιμο σε σχέση με τα συμβατικά όταν χρησιμοποιούνται σε κλίβανο τσιμεντοβιομηχανίας, διότι εξαιτίας των συνθηκών που έχουν προηγουμένως περιγραφεί οι εκπομπές σε CO_2 και NO_x είναι χαμηλότερες από το να χρησιμοποιούνταν σε εργοστάσιο αποτέφρωσης (Moses P.M Chiyama,2011), ενώ εξαιτίας των αυστηρών ορίων που έχουν θεσπιστεί στις περισσότερες χώρες χαμηλότερες είναι οι εκπομπές σε CO_2 όπου χρησιμοποιούνται μαζί με ορυκτά.

Στον πίνακα 7.1 βλέπουμε τις εκπομπές σε CO_2 ανά είδος καυσίμου.

Τύπος καυσίμου	Εκπομπές CO ₂ (kg/GJ)
Petcoke	101
Άνθρακας	96
Φυσικό αέριο	54.2
Ελαστικά	85
Αστικά απορρίμματα	8.7
Βιομάζα	0

Πίνακας 7.1. Pembina Institute and enviromental defence,2014

Αξίζει να αναφερθεί πως από την καύση των εναλλακτικών καυσίμων και την δημιουργία τέφρας παράλληλα με την επαναχρησιμοποίησή της στην παραγωγή τσιμέντου οδηγεί σε μείωση της παραγωγής πρώτων υλών τσιμέντου (Γαλανούλης,2000),ενώ όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα υπάρχουν αυξομειώσεις στην εκπομπή χημικών στοιχείων εφόσον υπάρχει συμμετοχή των ΕΚ στην καύση.

Η θερμογόνος δύναμη των συμβατικών καυσίμων είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτή των εναλλακτικών όπως φαίνεται στον πίνακα και γι αυτό απαιτείται χρήση μεγαλύτερων ποσοτήτων αποβλήτων για να παραχθεί η ζητούμενη ενέργεια στην οποία υστερούν,όπως επίσης πολλές φορές είναι επιτακτική ανάγκη η δημιουργία νέων χώρων αποθήκευσης των καυσίμων,στο πίνακα 7.2 βλέπουμε την αποθηκευμένη ενέργεια του κάθε καυσίμου.

Είδος καυσίμου	Θερμογόνος δύναμη GJ/tn
Petcoke	34
Μαζούτ	42
Φυσικό αέριο	54
RDF	17
TDF	30
Βιομάζα	14-21
Ιλύς αστικών λυμάτων	13-16

Πίνακας 7.2.

Πηγή Pipilikaki2005,Chuah2006,Τσακαλάκης2010,Μαμάσης2011, Καραγιάννης2012

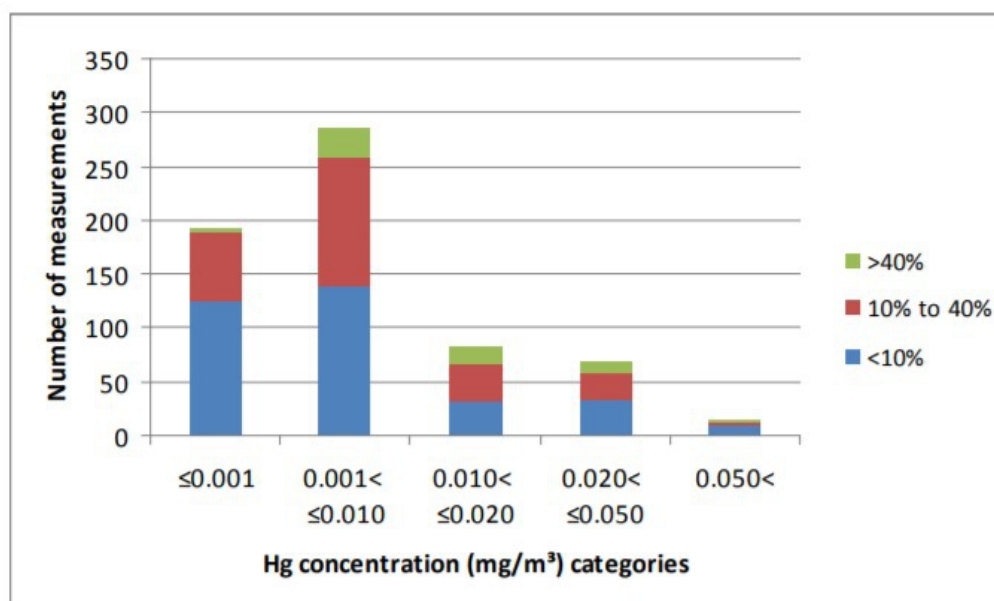
Μελέτες στον Καναδά,έδειξαν πως η συναποτέφρωση εναλλακτικών και συμβατικών καυσίμων δεν αύξησε σε απαγορευτικά επίπεδα τις εκπομπές διοξινών και φουρανίων (Pembina institute,2014)

Στοιχείο	Μονάδα μέτρησης	Καύση χωρίς χρήση ΕΚ	Καύση με χρήση ΕΚ	Μεταβολή
HCl	Mg/m ³	0.88-5.93	0.87-1.32	Μείωση
SO _x	Mg/m ³	714-878	311-328	Μείωση
HF	Mg/m ³	0.13-0.23	0.02-0.04	Αύξηση
NO _x	Mg/m ³	789-835	406-560	Μείωση
Συνολικός άνθρακας	Mg/m ³	11.7-23.2	5.7-7.1	Μείωση
Πολυκυκλικές αρωματικές ενώσεις	Mg/m ³	-	0.003	Αύξηση
Cd	Mg/m ³	<0.005	<0.007	Αύξηση
Tl	Mg/m ³	<0.005	<0.005	Καμία μεταβολή
Hg	Mg/m ³	0.014-0.044	0.003-0.006	Μείωση
Sb,Pb,As,Cr, Co,Cu,Mn, Ni,V,Sn	Mg/m ³	<0.300	<0.500	Αύξηση
PCDD/PCDF, I-TEQ	Mg/m ³	0.001-0.002	0.005-0.006	Αύξηση

Πίνακας 7.3

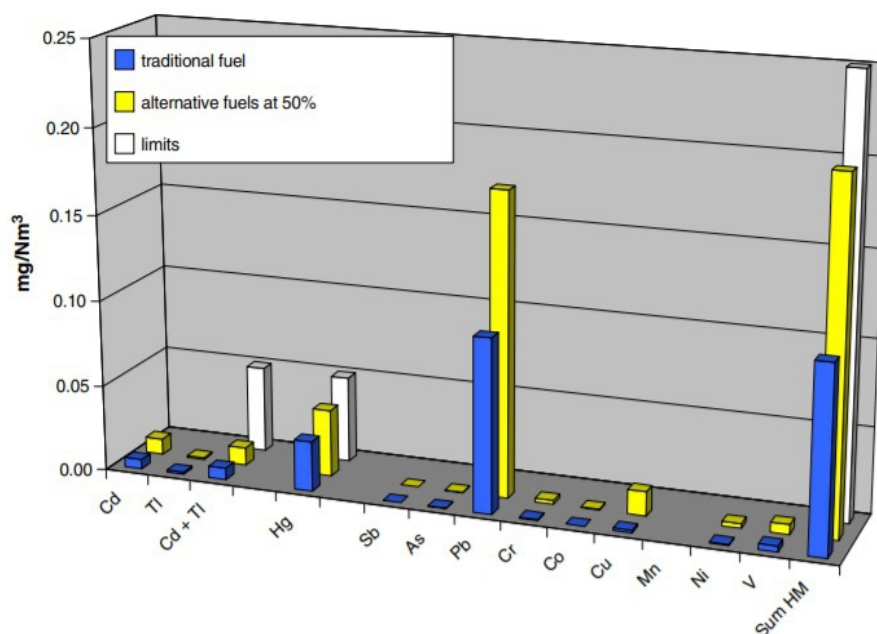
Πηγή Pembina Institute and environmental defence,2014

Όσον αφορά τις μετρήσεις υδραργύρου σε 649 δείγματα για το 2005, το 2006 και το 2007 από την έρευνα του Cembureau, σε βιομηχανίες που αντικατέστησαν συμβατικά με εναλλακτικά καύσιμα σε ποσοστό έως και 40% δεν φαίνεται οι εκπομπές να πέρασαν τα ανώτατα θεσπισμένα όρια για τον υδράργυρο,κάτι που φαίνεται καθαρά στο διάγραμμα 7.2.



Γράφιμα 7.1.Πηγή CSI,2016

Ενώ τα αποτελέσματα μελετών που ανέθεσε να γίνουν η Γερμανική Ένωση Τσιμεντοβιομηχανίας (VDZ),δείχνουν πως ναι μεν υπάρχει αύξηση στα βαρέα μέταλλα όταν χρησιμοποιούνται σε ποσοστό αναπλήρωσης 50% ΕΚ,όμως δεν ξεπερνιούνται τα ανώτατα ευρωπαϊκά όρια όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.2 (Genon and Brizio,2008).



Γράφιμα 7.2.Πηγή Genon,2008

Είναι γεγονός ότι η βιομηχανία τσιμέντου μελετά συνεχώς τη δημιουργία νέων τεχνικών που θα της αποφέρει κέρδος με βάση το κόστος παραγωγής και επιπλέον ως προς την αειφορία χρήσης των φυσικών πόρων αλλά και μια πιο οικολογική αντιμετώπιση ως προς το περιβάλλον (Λιάπης,2010). Έτσι η καύση των εναλλακτικών καυσίμων, όταν αυτά δεν δέχονται περαιτέρω επεξεργασία είναι σαφώς προτιμότερη τεχνική από την υγειονομική ταφή και την συμφόρηση που έχει δημιουργηθεί στη σημερινή εποχή σε αυτούς τους χώρους (Cordwell,2006), ενώ οι κλίβανοι των τσιμεντοβιομηχανιών είναι καλύτερη και πληρέστερη εναλλακτική απέναντι στα εργοστάσια αποτέφρωσης διότι δεν παράγουν τέφρα (Worell et al., 2001) και όπως φαίνεται στον πίνακα φαίνονται πιο αναλυτικά τα συγκριτικά πλεονεκτήματα μεταξύ περιστροφικού κλίβανου τσιμεντοβιομηχανίας και αποτεφρωτήρα.

	Αποτεφρωτήρας	Περιστροφικός κλίβανος
Θερμοκρασία υλικού °C	900	1450
Θερμοκρασία αερίων °C	1200	2000
Χρόνος παραμονής	<2	10
Όξινα αέρια	Απαιτούνται πλυντρίδες για δέσμευση	Δέσμευση εξαιτίας αλκαλικού περιβάλλοντος
Τέφρα	Απαιτείται ειδικός χώρος απόθεσης	Επαναχρησιμοποίηση για άλεση τσιμέντου

Πίνακας 7.4,Πηγή Αθανασιάδη 2011

Υπάρχει μεγάλη δυνατότητα αύξησης της χρήσης στερεών αποβλήτων ως εναλλακτικών καυσίμων αλλά και ως πρώτες ύλες στην παραγωγή τσιμέντου,καθώς η συγκεκριμένη βιομηχανία είναι μια από τις μεγαλύτερες σε κατανάλωση σε ενέργεια στον κόσμο. Συγκεκριμένα, βάση στοιχείων που έχουν δημοσιοποιηθεί σε πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι ο τομέας τσιμέντου αντιπροσωπεύει περίπου το 10-

15% του της συνολικής βιομηχανικής κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως η οποία έφθασε σε κατανάλωση επίπεδο 120 kW h / t τσιμέντου (Madloul et al.,2011).

Σχετικά με το κόστος ανά μονάδα βάρους των εναλλακτικών καυσίμων είναι χαμηλότερο από το κόστος των ορυκτών καυσίμων,ωστόσο το κόστος μιας μονάδας θερμότητας εναλλακτικού καυσίμου μπορεί να είναι υψηλότερο (Genon and Brizio, 2008). Παρακάτω θα δούμε ποια είναι τα στάδια που ανεβάζουν το κόστος των Εκ και ειδικότερα του RDF (Bahareh Reza et al.,2013) :

- Το σημαντικότερο κόστος είναι η παραγωγή RDF με αυστηρά κριτήρια.
 - Έξοδα που σχετίζονται με τη λειτουργία μιας επιχείρησης θεωρούνται λειτουργικό κόστος και περιλαμβάνονται ως μεταβλητό το κόστος συντήρησης, εργασίας και ηλεκτρικής ενέργειας.
 - Κατασκευή των εγκαταστάσεων.
- Πρόσθετες δαπάνες για την παραγωγή τσιμέντου:
- Το πρόσθετο κόστος περιλαμβάνει την κατασκευή επιπλέον αποθηκευτικού χώρου, εφαρμογή όλων των απαραίτητων μέτρων ασφαλείας, την αγορά ή την ενημέρωση του τεχνολογικού εξοπλισμού,την τροποποίηση των κλιβάνων και την αναβάθμιση του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου.
 - Το κόστος μεταφοράς μεταξύ σταθμών και εγκαταστάσεων τις τσιμεντοβιομηχανίας.

8. Προοπτικές για την Ελλάδα

Στην χώρα μας η αξιοποίηση των εναλλακτικών καυσίμων είναι από τις χαμηλότερες στην ΕΕ κυρίως των κοινωνικοπολιτικών προβλημάτων που έχουν προκύψει (Samolada and Zabaniotou, 2014) εξαιτίας τόσο των ακατάλληλων εγκαταστάσεων όσο και της περιεκτικότητας των εναλλακτικών καυσίμων σε χλώριο και βαρέα μέταλλα αλλά και την εσφαλμένη πληροφόρηση.

Ενώ υπάρχουν σαφείς κοινοτικές οδηγίες που δεσπόζουν στην ελληνική νομοθεσία για τις κατηγορίες των αποβλήτων 4042/2012 λίγα έχουν γίνει στο τομέα περισυλλογής, διαλογής, ανακύκλωσης, καύσης. Το προεδρικό διάταγμα 50910/2003 έκανε για πρώτη φορά αναφορά στην καύση αποβλήτων με σκοπό να μειωθούν τα απόβλητα που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής σε ποσοστό 35%-50% (Samolada and Zabaniotou, 2014).

Η Ελλάδα προσχώρησε στην συνθήκη του Κυото με τον νόμο 3017/202 με την προϋπόθεση να ελαττώσει κατά 8% τις εκπομπές της σε CO₂, ενώ έχει θέσει αυστηρούς όρους με το προεδρικό διάταγμα 22912/117/2005 για την καύση των απορριμάτων, μα απαραίτητη προϋπόθεση τον έλεγχο των SO₂, NO_x, διοξινών, φουρανίων και βαρέων μετάλλων.



Εικόνα 8.1. Πηγή www.hcia.gr

Παρόλο που στη χώρα μας δραστηριοποιούνται τρεις εταιρίες παραγωγής τσιμέντου όπως φαίνεται στην εικόνα 8.1 (TITAN,LAFARGE-HOLCIM,ITALCEMENTI) με συνολική παραγωγή 8,26 εκατομμύρια τόνους (www.hcia.gr) η υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων με εναλλακτικά καύσιμα είναι ακόμη μικρότερη του 5% των συνολικών καυσίμων αν και το 2012 υπογράφει η συμφωνία εθελοντικής συνεργασίας με το υπουργείο περιβάλλοντος δεν φαίνεται να υπάρχουν μεγάλες αλλαγές στα ποσοστά των εναλλακτικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται.

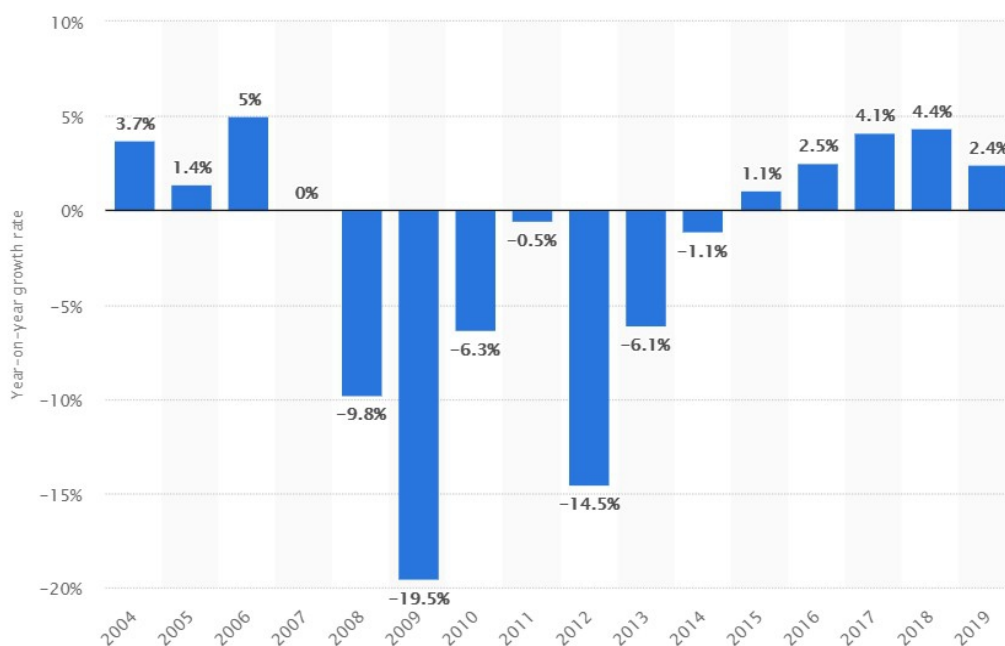


Γράφημα 8.1.Πηγή www.hcia.gr

Η μείωση της παραγωγής στη χώρα μας όπως προκύπτει από το διάγραμμα 8.1 σε συνάρτηση με το όλο και αυξανόμενο ενεργειακό κόστος, στρέφει σιγά σιγά τις εγχώριες βιομηχανίες στην κατεύθυνση εναλλακτικών καυσίμων.

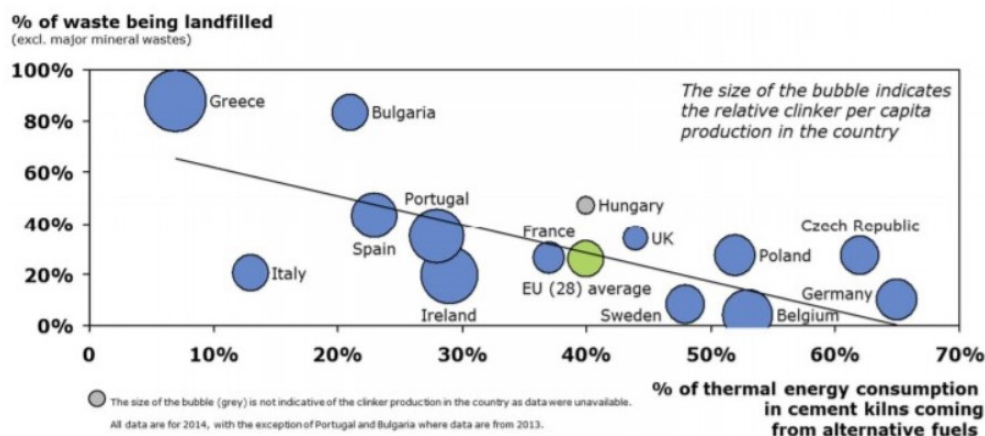
Όπως προκύπτει από το γράφημα 8.2 η ραγδαία πτώση σε ζήτηση τσιμέντου σε συνδυασμό με την αναιμική ανάκαμψη στα χρόνια μετά την κρίση επηρέασε τόσο την ελληνική όσο και τις ευρωπαϊκές βιομηχανίες έτσι μια αγορά που δείχνει να πιέζεται είναι λογικό να απαιτεί οικονομικότερες λύσεις για βιώσιμες επιχειρήσεις αρκεί αυτές να στρέφονται προς το συμφέρον του ανθρώπου και του περιβάλλοντος

και όχι μόνο ως προς τα οικονομικά οφέλη.



Γράφημα 8.2.Πηγή Morgan Stanley, Statista 2018

Είναι όμως παραδεκτό το γεγονός ότι στη χώρα μας δεν υπάρχει σύστημα συλλογής και επεξεργασίας ούτε μια κεντρική διαχείριση είτε από το κράτος είτε από τους δήμους που να λειτουργεί με σοβαρούς όρους, οι ελεγκτικές αρχές καθίστανται τις περισσότερες φορές μη αποδοτικές εξαιτίας των υποστελεχωμένων θέσεων αλλά και της διαφθοράς, ενώ δεν υπάρχουν στατιστικές ούτε καταγεγραμμένες ποσότητες που φανερώσουν τον πραγματικό όγκο των αποβλήτων.

Γράφημα 8.3.Πηγή www.ecofys.com

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα του διαγράμματος, υπάρχει μεγάλο περιθώριο βελτίωσης στην Ελλάδα για τα εναλλακτικά καύσιμα καθώς έχει την αρνητική πρωτιά στην ταφή των απορριμμάτων, αρκεί να εκπονηθούν τα κατάλληλα σχέδια για την ενημέρωση της κοινής γνώμης, την αποδοτικότερη δράση των ελεγκτικών μηχανισμών, την ελάφρυνση της γραφειοκρατίας όπου με τις κατάλληλες τεχνολογικές επενδύσεις από τις βιομηχανίες τα εναλλακτικά καύσιμα θα γίνουν τα κύρια πηγή ενέργειας, ειδικά αν λάβουμε υπόψιν το γεγονός ότι έως σήμερα στη χώρα μας το 88% των αποβλήτων θάβονται σε νόμιμους είτε παράνομους ΧΥΤΑ (Jeroen de Beer et al., 2017)

9.Συμπεράσματα

Ξεκινώντας με δεδομένο πως η βιομηχανία τσιμέντου χαρακτηρίζεται από την ένταση ενέργειας αλλά και από την ανάγκη χρήσης αρκετών πρώτων υλών, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως επηρεάζει το περιβάλλον τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο σε μεγάλο βαθμό, αρκεί μόνο να αναλογιστεί κανείς πως συμβάλλει κατά 5-8% στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, παράλληλα χρησιμοποιώντας συμβατικά καύσιμα είναι έκθετη στο χρηματιστήριο τιμών των ορυκτών καυσίμων και με τις κρίσεις να διαδέχονται η μια την άλλη έστρεψαν την τσιμεντοβιομηχανία να χρησιμοποιεί καύσιμα του 19ου αιώνα όπως μορφές άνθρακα και λιγνίτη αλλά και βαρέα κλάσματα πετρελαίου.

Είναι δεδομένο πως τα περιθώρια κίνησης των βιομηχανιών ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες είναι αρκετά στενά εξαιτίας των θεσπισμένων κανόνων λειτουργίας αλλά και των ορίων στις εκπομπές ρύπων καθώς ολοένα και περισσότερες χώρες λαμβάνουν σοβαρά υπόψη την κλιματική αλλαγή, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τα αίτια που τα προκαλούν.

Εκτιμώντας το σύγχρονο ανταγωνιστικό περιβάλλον αλλά και την παγκοσμιοποιημένη οικονομία του 21ου αιώνα, σαν πρώτα βήματα οι βιομηχανίες θα πρέπει να έχουν εύκολη και άμεση πρόσβαση στο φυσικό αέριο, να υπάρξουν συμφωνίες με τις εταιρίες παροχής του και να υποχρεωθούν να χρησιμοποιήσουν το φυσικό αέριο στα στάδια όπου το κόστος του δεν θεωρείτε απαγορευτικό και δεν χρειάζεται εγκατάσταση νέου εξοπλισμού, τα στάδια αυτά είναι τις προθέρμανσης και της προασβεστοποίησης κάτι που θα μειώσει τις εκπομπές σε CO₂, ενώ δεν θα αυξήσει και τις εκπομπές NOx κάτι που θα γινόταν αν είχε χρησιμοποιηθεί στον περιστροφικό κλίβανο .

Σε επόμενο επίπεδο πρέπει να αυξηθούν τα ποσοστά της βιομάζας ως εναλλακτικό καύσιμο και ειδικά τα υπολείμματα γεωργικών προϊόντων καθώς είναι ουδέτερα σε εκπομπές CO₂ και σε συναποτέφρωση με συμβατικά καύσιμα αποδεδειγμένα μειώνεται ο σχηματισμός διοξινών, φουρανίων αλλά και οι εκπομπές βαρέων μετάλλων, κατά την άποψη μου όμως θα πρέπει να αποφευχθεί η δημιουργία καλλιεργειών που προορίζονται για καύσιμο καθώς το πρόβλημα εκτός από χρηστικό είναι αγγίζεις και τις ηθικές αρχές της κοινωνίας.

Παράλληλα η χρήση των εναλλακτικών καυσίμων που σχετίζεται με ανθρώπινα ή βιομηχανικά απόβλητα θα πρέπει να γίνεται βάση πολύ αυστηρών ορίων, αλλά και κριτηρίων σε μια βιομηχανία, καθώς μπορεί να μειώνονται ή να μην αυξάνονται οι εκπομπές σε ρύπους του φαινομένου του θερμοκηπίου, όμως ελλοχεύουν κίνδυνοι σχηματισμού διοξινών και φουρανίων αλλά και απελευθέρωσης βαρέων μετάλλων, μπορεί στις περισσότερες των περιπτώσεων τα ποσοστά να είναι μεν αυξημένα αλλά να μην ξεπερνάν τα επιτρεπόμενα όρια όμως δεν πρέπει να επαναπαυτούν οι βιομηχανίες ούτε η κοινωνία σε αυτό. Έτσι λοιπόν οι τσιμεντοβιομηχανίες θα πρέπει να υποχρεωθούν να ανανεώσουν τον εξοπλισμό τους και ιδιαίτερα τα συστήματα απορρύπανσης μειώνοντας τον χρόνο που παραμένουν εκεί τα καυσαέρια μηδενίζοντας τις πιθανότητες ανάπτυξης των διοξινών, οι χώρες από την μεριά τους θα πρέπει να διαθέτουν αξιόπιστους ελεγκτικούς μηχανισμούς τόσο με φυσική παρουσία και δειγματοληψία όσο και με σύγχρονα συστήματα παρακολούθησης τα οποία καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο τις εκπομπές.

Η καύση των αποβλήτων είναι μια λύση ενάντια στην υγειονομική ταφή που συμφέρει τόσο τις βιομηχανίες όσο και τα κράτη στο θέμα διαχείρισης τους η οποία ελαττώνει την υποβάθμιση του εδάφους και την ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα, όμως θα πρέπει να είναι η τελευταία εναλλακτική και σε καμία περίπτωση να μην αντικαταστήσει την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση.

Παράλληλα οι βιομηχανίες από την μεριά τους θα πρέπει εκτός από την εταιρική τους υπευθυνότητα ως προς την κοινωνία, πρέπει να επενδύσουν σε νέες τεχνολογίες, όπου οι απώλειες και οι απαιτήσεις ενέργειας θα είναι χαμηλότερες, έτσι θα υπάρχει εξοικονόμηση και θα χρειάζονται μικρότερα ποσά καυσίμων, όπως επίσης νέες μορφές τσιμέντου πρέπει να διερευνηθούν που θα έχουν μικρότερα ποσοστά κλίνκερ στην σύνθεση τους.

Πολλές φορές τα εναλλακτικά καύσιμα είναι χώρος συγκρούσεων τοπικών κοινωνιών, κυβερνήσεων και τσιμεντοβιομηχανιών καθώς ακόμη και σήμερα ενώ είναι κοινή παραδοχή πως μειώνουν την χρήση των μη ανανεώσιμων πόρων και εξοικονομούν χωρά από τους ΧΥΤΑ οι απόψεις διίστανται ως προς τον περιβαλλοντικό τους χαρακτήρα γι αυτό το λόγο υπάρχει χρέος από το κράτος αλλά και την επιχείρηση να ενημερώσουν τον κόσμο με επιστημονικά στοιχεία και μελέτες και να ξεκινήσει η χρήση τους εφόσον υπάρχει η έγκριση.

Τέλος θα χρειαστούν έρευνες σε βάθος ετών για να αποσαφηνιστεί τόσο ο τρόπος σχηματισμού των διοξινών όσο και οι επιπτώσεις των εναλλακτικών καυσίμων τόσο στο περιβάλλον όσο και στην υγεία των ανθρώπων, για αυτό το λόγο θα πρέπει η χρήση να γίνεται πάντα υπό αυστηρά όρια, με τον κατάλληλο τεχνολογικό εξοπλισμό και με προτεραιότητα τον άνθρωπο. Κλείνοντας καταλαβαίνει κανείς ότι υπό τις παρούσες συνθήκες η μείωση εκπομπών των ρύπων έχει ένα τετελεσμένο όριο που δύσκολα θα ξεπεραστεί με τα υπάρχοντα συμβατικά και εναλλακτικά καύσιμα καθώς σε αρκετές έρευνες φάνηκε πως η μείωση όταν υπήρχε τις περισσότερες των περιπτώσεων ήταν μικρή, ενώ το πραγματικό κέρδος είναι στην έμμεση μείωση απέναντι σε άλλες τεχνικές διαχείρισης των αποβλήτων αλλά και στο παραγωγικό κόστος του τελικού προϊόντος της βιομηχανίας. Γι αυτό λοιπόν το πρώτο μέλημα θα πρέπει να ναι η επένδυση σε νέα τεχνολογία και η δημιουργία περιβαλλοντική συνείδησης.

10.Βιβλιογραφία

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) American Society for Testing and Material E856-83
- 2) Bahareh R., Atousa S., Rajeev R., Rehan S., Kasun H.,2013. Environmental and economic aspects of production and utilization of RDF as alternative fuel in cement plants: A case study of Metro Vancouver Waste Management Resources, Conservation and Recycling, Volume 81, pages 105–114.
- 3) Bhatti J.I.,1995.Role of minor elements in cement manufacture and use,Research and development bulletin,Portland cement associaton,Skokie,Illinois.
- 4) Bourtsalas A.C,Jiao Zhang,M.J Castaldi,N.J. Themelis,2018. Use of non-recycled plastic and paper as alternative fuel in cement production,Journal of cleaner production 181,page 8-16.
- 5) California intergrated waste management,1992,Tires as fuel supplement feasibility study, Board publications No:401-93-001
- 6) Cembureau,1999. Best availbale techniques for cement industry.
- 7) Cembureau,2007. Behaviour of SO₂ in the clinker burning process.
- 8) Cembureau,2011,World Cement Production by Region Evolution 2001-2011.
- 9) Cembureau,2016. Cement,concrete and the circular economy
- 10) Cement Sustainability Initiative,2016,Guidance for reducing and controlling emissions of mercury compounds in the cement industry
- 11) Chuah A.L.,Ghani A.K.,Yunus R.,Omar R.,September 2006. Biomass as the renewable energy sources in Malaysia: An overview,International Journal of green energy,pages 323-346.
- 12) Coleman Horsley,Marion H.Emmert,Aaron Sakulich,November 2016 Influence of alternative fuels on trace element content of ordinary portland cement,Fuel,Volume 184,pages 481-489
- 13) Consonni S.,Giugliano M.,Grosso M.,2005. Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste : Part B : Emission and cost estimates,Waste management,Volume 25,Issue 2,pages 137-148
- 14) Cordwell,2006. Handling alternative fuels,World cement 37,pages 31-36

- 15) Dickson, L.C., Lenoir D., and Hutzinger O.,1992. “Quantitative Comparison of de Novo and Precursor Formation of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins under Simulated Municipal Solid Waste Incinerator Postcombustion Conditions.” Environmental Science and Technology, 26,p 1822.
- 16) European IPPC Bureau 2013, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide.
- 17) Fytili D,Zabaniotou A.,January 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods-A review,Renewable and sustainable energy reviews,volume 12,Issue 1,pages 116-140
- 18) Galvez A.,Conesa J.A.,Martin-Gullas,Font R.,2007.Interaction between pollutants produced in sewage sludge combustion and cement raw material,Chemosphere 2007,p 387-394,volume 69,Issue 9.
- 19) Genon G.,Brizio E.,2008. Perspectives and limits for cement kilnsas a destination of RDF,Waste management 28,p2375-2385.
- 20) Hernadez O.D.,Quiroz J.A.,Valencia O.P.A.,2014. Combustion System Model of a Wet Process Clinker Kiln.
- 21) International Energy Agency October 2007,Fossil fuel-fired power generation.
- 22) International Energy Agency,2009.World business council for sustainable development,cement technology roadmap 2009: carbon emissions reduction up to 2050.
- 23) Internation Finance Corporation,2017. Increasing the use of alternative fuel in cement plants international best practise.
- 24) Jenkins B.G.,Mather S.B.,Fuelling the demand for alternatives,The cement enviromental Year-book 1997
- 25) Jeroen de Beer,Jan Cihlar,Igor Hensing,May 2017. Status and prospects fo co-processing of waste in EU cement plant.
- 26) Kara M., Günay E., Tabak Y.,Yıldız S.,2009. Perspectives for pilot scale study of RDF in Istanbul, Turkey. Waste Management,Issue 29,pages 2976–2982.
- 27) Khallaf Mohamed,September 2011.The impact of air pollution on health,economy,enviroment and agricultural sources chapter 16.

- 28) Madloul N.A., Saidur R., Hossain M.S., Rahim N.A.,2011. A critical review on energy use and savings in the cement industries. Renewable and Sustainable Energy Reviews,Issue152042–2060.
- 29) Massarini P., Muraro P. 2015 , RDF: from waste to resource – the Italian case,Energy Procedia 81 pages 569 – 584
- 30) Mokrzycki Eugeniusz,Aliga Uliasz-Bochenczyk,Mieczyslaw Sarna,January-February 2003.Use of alternative fuels in the polish cement industry,Applied energy volume 74,Issues 1-2,pages 101-111
- 31) Mo`men Mohsen Anwaar Yousef Al-Farayh,Dec.2015. Cement Manufacturing Relationship between Mining and Cement Manufactaring.
- 32) Moses P.M.,Chinyama,2011Alternative fuels in cement manufacturing,Alternative Fuel pages 263-281.
- 33) Murray,A.,Price L.,2008, “Use of alternative fuels in cement manufacture: analysis of fuel characteristics and feasibility for use in the Chinese cement sector”, Report No. LBNL-525E, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley
- 34) Murray Brian C.,Ross Martin T.,November 2016.What is the fuel of the future? Prospects under the clean power plan,Energy Economics,volume 60,pages 451-459
- 35) Nithikul J.,2007. Potential of refuse derived fuel production from Bangkok municipal solid waste. Thailand:Asian Institute of Technology School of Environment,Resources and Development.
- 36) “Okopol report Cembureau 1998,Economic evaluation of NOx abatement techniques in the European cement.
- 37) Pembina Institute and enviromental defence,2014,Alternative fuel use in cement manufacturing,Implications,opportunities and barriers in Ontario.
- 38) Pipilikaki,Katsioti P.,Papageorgiou M.,Fragoulis D.,Chaniotakis D.2005,Use of tire derived fuel in clinker burning,Cement and concrete composites,volume 27,pages 843-847
- 39) Rahman A.Rasul M.G.,Khan,S.Sharma,2014. Aspen plus based simulation for energy recovery from waste to utilize in cement plant preheater tower,Energy procedia,volume 61,pages 922-92

- 40) Rahman A.Rasul M.G.,Khan,S.Sharma, April 2015 Recent development on the uses of alternative fuels in cement manufacturing progress,Fuel,Volume 145,pages 84-99
- 41) Renzoni Roberto,Ullrich Christophe,Belboom Sandra,Germain Albert, ,April 2010.Mercury in the cement industry,CEMBUREAU – CSI.
- 42) Samolada M.C.,Zabaniotou A.A.,february 2014. Energetic valorization of SRF in dedicated plant and cement kilns and guidelines for application in Greece and Cyprus,Resources,Conservation and recycling,volume 83,page 34-43
- 43) Samolada M.C.,Zabaniotou A.A.,Feb 2014.Comparative assessment of municipal sewage sludge-to-energy management in Greece,Waste management,volume 34,issue 2,p411-420
- 44) Sarc R.,Lorber K.E.,September 2013. Production,quality and quality assurance of Refuse Derived Fuels,Waste management Volume 33,Issue 9,pages 1825-1834.
- 45) Schreiber, R. J. J.,Kellett C.D.,2005. Inherent Mercury Controls Within the Portland Cement Kiln System.Research & Development Information,Skokie,Illinois, USA, Portland Cement Association,page 32.
- 46) Sidhu, L., Maqsud, L., Dellinger, B., and Mascolo, G,1994. “The Homogeneous, Gas-Phase Formation of Chlorinated and Brominated Dibenzodioxins from 2,4,6-Trichloro and 2,4,6-Tribromophenols.” Presented at the 25th Combustion Symposium, the Colloquium on Incineration and Wastes.
- 47) Stanmore B.R.,2004. The formation of dioxins in combustion systems ,combustion and flare,Volume 136,Issue 3 pages 348-427.
- 48) Supino St.,Malandrino Or.,Testa M.,2016. Sustainability in the EU cement industry: the italian and german experiences,Journal of cleaner production 112,pages 430-442
- 49) Uson A,Lopez Ana M.,Ferreira G.,Llera E.,Feb 2013. Uses of alternative fuels and raw materials in the cement industry as sustainable waste management options,Renewable and sustainable Energy reviews pages 243-256.
- 50) Vaccaro M,2006. Burning alternative fuels in rotary cement kilns,cement industry technical conference.

- 51) Werther J., Saenger M., Ogada T., 2000. Combustion science, volume 26 pages 1-27.
- 52) Worrell E., Price L., Martin M., Hendriks C., 2001. Carbon dioxide emissions from the global cement industry, Annual review of energy and the environment volume 26, Issue 1, 303-329
- 53) Zabaniotou A., Ioannidou P., Skoulou V., July 2008. Rapeseed residues utilization for energy and second generation fuels, Fuel volume 87, Issues 8-9 pages 1492-1502.

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Αγγελάκης Α., Βούρβαχη Κ., Διαβάτης Η., Ευμορφοπούλου Α., Κάρτσωνας Ν., Μαμάης Δ., Μποσδογιάννη Α., Στάμου Α., 2005, Εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης των παραπροϊόντων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, ΤΕΕ
- 2) Αθανασιάδη Ι. Μαρία 2011, Αποτίμηση τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης αστικών απορριμάτων, ΕΜΠ
- 3) Αντωνάτος Γ, 2014. Τεχνολογίες διαχείρισης στερεών υπολειμμάτων πετρελαίου σε διυλιστήριο, Χανιά ΠΚ.
- 4) Αυγερόπουλος Α, «Πετρέλαια, Πετροχημικά & Λιπαντικά. Σύσταση του πετρελαίου». Έκδοση: 1.0. Ιωάννινα 2014
- 5) Γαϊτάνα Κατερίνα, Γουλή Κορίνα, 2014. Περιβαλλοντική μελέτη της μονάδας παραγωγής τσιμέντου, ΤΕΙ Καβάλας.
- 6) Γαλανούλης Ε, 2000. Εναλλακτικά καύσιμα στην τσιμεντοβιομηχανία, ημερίδα ΤΕΕ, Αθήνα.
- 7) Γωγου Αικατερίνη, Τσιόδρα Μαρία-Ελένη, 2017. Σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό κανονισμό EMAS: Ανάπτυξη πρώτων σταδίων εφαρμογής στη βιομηχανία τσιμέντου, ΤΕΙ Πειραιά
- 8) Καραγιάννης Ι.Α, 2012. Επίδραση των ιχνοστοιχείων των εναλλακτικών καυσίμων και πρώτων υλών στη δομή και τις ιδιότητες του κλίνκερ τσιμέντου πορτλαντ, Αθήνα ΕΜΠ.

- 9) Κατσαούνης Α, Λευθήρης Θ, 2018. Εξοικονόμηση ενέργειας στην τσιμεντοβιομηχανία, Βόλος ΠΘ.
- 10) Κολοβός Κ, 2007. Η χρήση δευτερογενών υλικών και καυσίμων στη βιομηχανία τσιμέντου, εκδήλωση ΤΕΕ “ Εναλλακτικές πρώτες ύλες και καύσιμα στη βιομηχανία τσιμέντου”.
- 11) Κοψαχείλη Μαρία, 2012. Αειφορική ανάπτυξη και νέες τεχνολογίες : η περίπτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Βόλος ΠΘ.
- 12) Κρακούδης Δ, 2009. Καύσιμα της τσιμεντοβιομηχανίας, ΤΕΙ Καβάλα.
- 13) Λιάπης Ν, 2010 Βιοκαύσιμα στην Ελλάδα, Ημερίδα ΚΑΠΕ, Αθήνα, Απρίλιος
- 14) Μαμάσης Ν., Στεφανάκος Ι., 2011, Εισαγωγή στην ενεργειακή τεχνολογία, Ορυκτά καύσιμα και ενέργεια. Τομέας Υδατικών πόρων, Επιστημονικές παραδόσεις ΕΜΠ.
- 15) Μαρκάτος Ν.Χ., 2008. Επιπτώσεις από την καύση εναλλακτικού καυσίμου RDF στις εγκαταστάσεις παραγωγής τσιμέντου της ΑΓΕΤ στο Μυλάκι Ευβοίας.
- 16) Μοροπούλου Α, 2014, Δομικά υλικά, 9ο εξάμηνο. Αθήνα ΕΜΠ
- 17) Μουρίκης Κωνσταντίνος, 2017 Μελέτη τεχνολογίας παραγωγής τσιμέντου συστήματα αποκονίωσης, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.
- 18) Μπότσιος Δ., 2011 Παρασκευή τσιμέντου με χρήση ελληνικών τεφρών και μελέτη των ιδιοτήτων του. Αθήνα ΕΜΠ
- 19) Πατσαβούδη Δ, 1998. Τεχνολογία δομικών υλικών, ΟΕΒΔ.
- 20) Σαλαπάτας Γ, 2012. Χρήση εναλλακτικών καυσίμων στην βιομηχανία τσιμέντου, Αθήνα, ΕΜΠ.
- 21) Σαλονικίδου Φ., Θεσσαλονίκη 2015. Η καύση ως τεχνική διαχείρισης απορριμάτων και παραγωγής ενέργειας στη βιομηχανία, επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. ΑΠΘ Τμήμα Φυσικής
- 22) Τομπουλίδης Ανανίας, 2015. Τεχνολογίες ελέγχου εκπομπών συμβατικών ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΣΑΗΣ) με καύσιμο άνθρακα.
- 23) Τσακαλάκης Κ.Γ, 2006. Ο ρόλος των δεικτών ποιότητας LSF, SR και AR στη ρύθμιση της τροφοδοσίας για παραγωγή τσιμέντων συγκεκριμένου τύπου, 15ο συνέδριο σκυροδέματος ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη.
- 24) Τσιαμπάκος Ευθύμιος, 2014. Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων βιομηχανίας τσιμέντου, ΤΕΙ Καβάλας

- 25) Τσιμπούκας Σπύρος, 2011. Η περιβαλλοντική επίδραση του τσιμέντου και των προϊόντων του, Αθήνα, ΕΜΠ
- 26) Χριστόλη Μ, Καπετάνιου Ε, Σταυρακακής Γ, Λυγερού Α, Μαρκάτου Ν.Χ, 2008. Σχηματισμός διόξινων κατά την καύση εναλλακτικού καυσίμου RDF σε εγκαταστάσεις τσιμεντοβιομηχανίας, Αθήνα ΕΜΠ

Διαδικτυακές πηγές

- 1) www.lafarge.gr/istoria_tsimentou [πρόσβαση 15/05/2018]
- 2) www.orykta.gr/ekmetalleusi-emploutismos/metallourgikes-diergasies/81-elliniki-tsimentobiomihania [πρόσβαση 13/05/2018]
- 3) cembureau.eu/cement-101/the-manufacturing-process/ [πρόσβαση 14/05/2018]
- 4) cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures [πρόσβαση 15/05/2018]
- 5) www.iea.org [πρόσβαση 11/05/2018]
- 6) www.wbcsdcement.org/index.php/publications [πρόσβαση 15/05/2018]
- 7) www.hcia.gr/el/cement-concrete/cement/technology/ [πρόσβαση 11/05/2018]
- 8) www.hcia.gr/el/cement-concrete/cement/codes-standards/ [πρόσβαση 10/05/2018]
- 9) www.energy.ca.gov [πρόσβαση 09/05/2018]
- 10) www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=96 [πρόσβαση 08/05/2018]
- 11) www.understanding-cement.com/kiln [πρόσβαση 07/05/2018]
- 12) www.cementkilns.co.uk/lepol_kilns [πρόσβαση 07/05/2018]
- 13) www.thecementgrindingoffice.com [πρόσβαση 07/05/2018]
- 14) www.tiretechnologyinternational.com [πρόσβαση 07/05/2018]
- 15) ec.europa.eu [πρόσβαση 05/05/2018]
- 16) www.ecofys.com [πρόσβαση 05/05/2018]
- 17) eur-lex.europa.eu [πρόσβαση 05/05/2018]
- 18) www.global-greenhouse-warming.com/cement-CO2-emissions.html [πρόσβαση 15/05/2018]
- 19) www.statista.com/statistics/373712/growth-rate-of-cement-consumption-in-western-europe/ [πρόσβαση 16/05/2018]

Νομοθετικό πλαίσιο

- 1) Οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα 2008/98/EK
- 2) Οδηγία για καύση αποβλήτων 2000/76/EK
- 3) Οδηγία για ειδικά ρεύματα αποβλήτων, ιλύς από λύματα 86/278/ΕΟΚ
- 4) Οδηγία για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης 96/61/EK
- 5) Διαχείριση ελαστικών ΠΔ 109/2004