

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΜΗΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΡΗΣΗΣ RDF/SRF ΩΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΤΗΝ
ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ: ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ, ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗΣ
ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ, ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΧΑΡΙΣΙΟΣ ΑΧΙΛΛΑΣ, ΔΡ. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΑΝΝΑ ΜΙΧΟΥ, ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΑΝΙΑΣ, ΔΡ. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΠΕΤΡΟΣ ΣΑΜΑΡΑΣ, ΔΡ. ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
2	ΜΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
3	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ & ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ	4
4	ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ (SRF/RDF) ΣΤΗΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ.....	5
5	ΚΡΙΣΙΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ.....	11
5.1	Προδιαγραφές εναλλακτικών καυσίμων.....	11
5.1.1	Ποιοτικός έλεγχος SRF/RDF.....	13
5.2	Τέφρα.....	13
5.3	Διοξίνες και φουράνια.....	14
5.3.1	Χημική σύσταση-προέλευση- επίδραση.....	14
5.3.2	Μηχανισμοί σχηματισμού	15
5.3.3	Δειγματοληψία-ανάλυση	16
5.3.4	Τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών διοξινών και φουρανίων.....	19
5.3.5	Εκπομπές διοξινών από την τσιμεντοβιομηχανία.....	20
5.4	Αέριες εκπομπές και Διασπορά αέριων ρύπων.....	25
6	ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΤΙΤΑΝ ΕΥΚΑΡΠΙΑΣ	26
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	27
	ΠΗΓΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	29

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Διοικούσα Επιτροπή του ΤΕΕ/ΤΚΜ, στην 6^η τακτική συνεδρίαση της 09/04/2020 έλαβε την απόφαση με ΑΔΑ: ΨΕΑΑ46Ψ842-03Η, για την συγκρότηση Ομάδας Εργασίας με θέμα την **μελέτη της ακολουθούμενης διαδικασίας χρήσης RDF/SRF ως καυσίμου από τη βιομηχανία «ΤΙΤΑΝ»**.

Η Ομάδα Εργασίας ορίστηκε χωρίς αποζημίωση και συγκροτήθηκε από τους:

- Χαρίσιο Αχίλλα, Επίκουρο Καθηγητή, Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος, Μ.Μ.
- Σουλτάνα Μίχου, Σύμβουλο Ανάπτυξης, Μελετήτρια Η.Μ.
- Γεώργιο Μπανιά, Ερευνητή Γ', ΕΚΕΤΑ/ΙΒΟ, Μ.Μ.
- Πέτρο Σαμαρά, Καθηγητή, Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος, Χ.Μ.

Στις 30 Μαρτίου 2020 το ΤΕΕ/ΤΚΜ παρέλαβε επιστολή του Δήμου Παύλου Μελά η οποία έθετε ερωτήματα σχετικά με την αιτούμενη τροποποίηση των περιβαλλοντικών όρων λειτουργίας της τσιμεντοβιομηχανίας «ΤΙΤΑΝ» στην Ευκαρπία Θεσσαλονίκης, ως προς την χρήση RDF/SRF ως εναλλακτικού καυσίμου ποσοστιαίας υποκατάστασης του petcoke. Ταυτόχρονα και για το ίδιο θέμα απέστειλε επιστολή η εταιρεία ΤΙΤΑΝ.

Η Ο.Ε. έχει στόχο την «Μελέτη της ακολουθούμενης διαδικασίας χρήσης RDF/SRF ως εναλλακτικού καυσίμου από την τσιμεντοβιομηχανία ΤΙΤΑΝ και υπόδειξη πιθανών προβλημάτων και περιβαλλοντικών επιπτώσεων.»

Για τον σκοπό αυτό η Ο.Ε. πραγματοποίησε εκτενή επισκόπηση των βασικών αρχών της διαχείρισης στερεών αποβλήτων και της στρατηγική κυκλικής οικονομίας. Επιπρόσθετα διερεύνησε την αξιοποίηση εναλλακτικών καυσίμων (SRF/RDF) στην τσιμεντοβιομηχανία στη βάση τόσων διεθνών επιστημονικών ερευνών αλλά και αξιοποιώντας τη διεθνή εμπειρία. Παράλληλα, εξέτασε τα κρίσιμα περιβαλλοντικά ζητήματα στην ευρύτερη περιοχή των εγκαταστάσεων της εταιρίας ΤΙΤΑΝ Α.Ε. στην Ευκαρπία και ιδιαίτερα τα θέματα που αφορούν στις προδιαγραφές των εναλλακτικών καυσίμων, στην τέφρα, στην παραγωγή και διαχείριση των εκπομπών Διοξινών και φουρανίων και στις λοιπές εκπομπές από την συναποτέφρωση. Τέλος, η Ο.Ε. αξιολόγησε τους προτεινόμενους περιβαλλοντικούς όρους και διατύπωσε προτάσεις τόσο για τον έλεγχο όσο και για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εταιρεία, τις αρμόδιες υπηρεσίες και την τοπική κοινωνία.

2 ΜΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αιτούμενη τροποποίηση των περιβαλλοντικών όρων λειτουργίας της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN Α.Ε. στην Ευκαρπία Θεσσαλονίκης αφορά στην αξιοποίηση SRF, δηλαδή ανακτώμενου στερεού καυσίμου - απορριμματογενούς με κωδικό EKA 19 12 10, ως εναλλακτικό καύσιμο που θα υποκαταστήσει μερικώς το ορυκτής προέλευσης καύσιμο pet coke.

Η συν-αποτέφρωση (συν-επεξεργασία) στην τσιμεντοβιομηχανία αποτελεί βέλτιστη διαθέσιμη πρακτική που στόχο έχει, μεταξύ άλλων, τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα από τις εγκαταστάσεις αυτές. Είναι σύμφωνη με την ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων, καθώς το SRF είναι δευτερογενές καύσιμο, υπόλειμμα από την διαδικασία ανακύκλωσης στερεών αποβλήτων και οδηγείται για ανάκτηση ενέργειας αντί να διατεθεί σε ταφή.

Κρίσιμα περιβαλλοντικά ζητήματα αποτελούν οι εκπομπές αερίων ρύπων, η τέφρα και η ποιότητα του εισερχόμενου εναλλακτικού καυσίμου. Για τα ως άνω διαπιστώνονται τα εξής:

- Τόσο από τη διεθνή βιβλιογραφία, όσο και από τη μελέτη διασποράς αερίων ρύπων στην ευρύτερη περιοχή (Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής ΑΠΘ 2019) διαπιστώνεται ότι η μερική αντικατάσταση pet coke από εναλλακτικά καύσιμα, συμπεριλαμβανομένου του SRF, μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας της τσιμεντοβιομηχανίας.
- Όσον αφορά στις εκπομπές διοξινών και φουρανίων, οι υψηλές θερμοκρασίες εντός του κλιβάνου, ο μεγάλος χρόνος παραμονής, το έντονο αλκαλικό περιβάλλον και η ταχεία ψύξη των απαερίων που εφαρμόζονται ήδη στην εγκατάσταση, παρεμποδίζουν τόσο τον σχηματισμό τους, όσο και την ανασύνθεσή τους.
- Η τέφρα ενσωματώνεται μέσα στη δομή του κλίνκερ, το οποίο αποτελεί ενδιάμεσο προϊόν για την παραγωγή τσιμέντου και δεν είναι δυνατή η απελευθέρωση των συστατικών της στο περιβάλλον.
- Η ποιότητα του SRF ακολουθεί συγκεκριμένες προδιαγραφές. Ο έλεγχος της ποιότητας επιβάλλεται να ακολουθεί συγκεκριμένα πρότυπα, να εντάσσεται στο Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας του εργοστασίου που πιστοποιείται από ανεξάρτητο φορέα και να πραγματοποιείται τόσο στο χώρο παραγωγής του δειγματοληπτικά, όσο και σε κάθε παραλαβή.

Για τη διασφάλιση και τον έλεγχο της τήρησης των περιβαλλοντικών όρων προτείνονται:

α) η συνεχής λειτουργία ανοιχτής πλατφόρμας με on line καταγραφή 7 αερίων ρύπων και με ανάρτηση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων από τις δειγματοληψίες διοξινών και φουρανίων

β) η εγκατάσταση συστήματος συνεχούς δειγματοληψίας για τη μέτρηση διοξινών και φουρανίων από ανεξάρτητο φορέα, ώστε να δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης σε ετήσια βάση και

γ) η εφαρμογή δειγματοληψίας και ανάλυσης σε κάθε εισερχόμενο φορτίου SRF/RDF και η παροχή στον Δήμο Παύλου Μελά της δυνατότητας να λαμβάνει δείγματα του εισερχόμενου SRF/RDF και να πραγματοποιεί μετρήσεις.

3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ & ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Οι αρχές και οι κατευθύνσεις για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων καθορίζονται από την Οδηγία Πλαίσιο 2008/98/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε από την Οδηγία 2018/851/ΕΕ και ενσωματώθηκε στο Εθνικό Δίκαιο (Ν. 4042/2012 όπως τροποποιήθηκε και ισχύει).

Σύμφωνα με το ως άνω θεσμικό πλαίσιο, αποτελεί υποχρέωση να προάγεται η ανώτερη ιεραρχικά διαχείριση των στερεών αποβλήτων, δηλαδή Πρόληψη – Προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση – Ανακύκλωση – Ανάκτηση υλικών – Ανάκτηση Ενέργειας – Διάθεση.

Σύμφωνα με την Οδηγία 2018/851/ΕΕ «Η διαχείριση των αποβλήτων στην Ένωση θα πρέπει να βελτιωθεί και να μετατραπεί σε βιώσιμη διαχείριση υλικών με στόχο την προστασία, τη διατήρηση και τη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, την προστασία της υγείας του ανθρώπου, την εξασφάλιση της συνετής, αποδοτικής και ορθολογικής χρησιμοποίησης των φυσικών πόρων, την προαγωγή των αρχών της κυκλικής οικονομίας, τη βελτίωση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, τη μείωση της εξάρτησης της Ένωσης από εισαγόμενους πόρους, τη δημιουργία νέων οικονομικών ευκαιριών και τη συμβολή στη μακροπρόθεσμη ανταγωνιστικότητα».

Οι οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικά βιώσιμες στρατηγικές διαχείρισης αποβλήτων είναι κρίσιμο να αξιολογούνται στη βάση μιας ολιστικής προσέγγισης. Σε ένα τέτοιο ολιστικό πλαίσιο διαχείρισης στη βάση της κυκλικής οικονομίας και της βιομηχανικής συμβίωσης, η βιομηχανία τσιμέντου είναι δυνατό να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε ένα συνδυασμό εναλλακτικών τεχνολογιών διαχείρισης ρευμάτων αποβλήτων με την ανάκτηση υλικών που σε πολλές περιπτώσεις αναγκαστικά θα κατέληγαν προς διάθεση σε ΧΥΤΑ. Με τον τρόπο αυτό, συμβάλλει στη μείωση της χρήσης των φυσικών πόρων, στην κατανάλωση ενέργειας και στις σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλο τον κύκλο ζωής. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς να διακυβεύονται τα πρότυπα ποιότητας τσιμέντου, όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται σε πολλές δημοσιευμένες επιστημονικές εργασίες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) (π.χ. Chen et al., 2010, Chen et al., 2015, Strazza et al., 2011, Li et al., 2014).

Η ΕΕ στο πλαίσιο του σχεδίου δράσης για την κυκλική οικονομία και πιο συγκεκριμένα στις κατευθυντήριες οδηγίες που αφορούν στο ρόλο της ενεργειακής αξιοποίησης των

αποβλήτων στη κυκλική οικονομία αναγνώρισαν τη λύση της αξιοποίησης στην τσιμεντοβιομηχανία και την προκρίνουν συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες (COM(2017) 34 final/26.01.2017: “The role of waste-to-energy in the circular economy”)¹. Στη χώρα μας στο Εθνικό Επιχειρησιακό Σχέδιο για την Κυκλική Οικονομία² συμπεριλαμβάνεται δράση (Δράση 1.16) για την προώθηση της χρήσης αποβλήτων ως δευτερογενών καυσίμων στη βιομηχανία.

Με την αξιοποίηση SRF στην τσιμεντοβιομηχανία ακολουθείται η ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων, με δεδομένο ότι δίνεται προτεραιότητα στην ανακύκλωση των υλικών και στη συνέχεια στην ανάκτηση ενέργειας από το υπόλειμμα που προκύπτει.

4 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ (SRF/RDF) ΣΤΗΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Την τελευταία δεκαετία, σε διεθνές επίπεδο, κατά, υπήρξε μια αυξανόμενη χρήση ενός εύρους προϊόντων που προέρχονται από Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) σε (συν)επεξεργασία για την παραγωγή τσιμέντου. Η βιομηχανία τσιμέντου αποτελεί έναν τομέα της οικονομίας που χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Κατά συνέπεια απαιτείται καινοτόμες προσεγγίσεις για εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων και μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατανάλωση ενέργειας σε μια κοινή βιομηχανική εγκατάσταση τσιμέντου ανέρχεται σε 3.000 – 6.500 MJ/t παραγόμενου κλίνκερ (clinker), ανάλογα με τις χρησιμοποιημένες πρώτες ύλες και την εφαρμοζόμενη διαδικασία παραγωγής (Samolada and Zabaniotou, 2014). Το κλίνκερ αποτελεί προϊόν της τσιμεντοβιομηχανίας, από τη λειοτρίβιση του οποίου προκύπτει το κοινό τσιμέντο. Παρόλο που οι κλίβανοι σε μονάδες παραγωγής τσιμέντου διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην ενεργειακή αξιοποίηση αποβλήτων σε χώρες όπως η Νορβηγία, η Γερμανία, η Ελβετία, και η Ιαπωνία, η χώρα μας έχει μείνει σημαντικά πίσω σε αυτόν τον τομέα.

Διεθνείς επιστημονικές μελέτες αναφέρουν ότι η χρήση στερεών ανακτημένων καυσίμων SRF (Solid Recovered Fuel) στον κλίβανο τσιμέντου προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη, σημαντικότερα των οποίων αποτελούν η μείωση των ποσοτήτων των αποβλήτων που καταλήγουν σε υγειονομική ταφή (π.χ. Kara, 2012; Reza et al., 2013), η ελάττωση των καθαρών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και συνεπώς η βελτίωση του αποτυπώματος άνθρακα, αλλά και η υψηλή ενεργειακή απόδοση των μονάδων παραγωγής τσιμέντου (Samolada and Zabaniotou, 2014). Αξίζει να σημειωθεί ότι το SRF αποτελεί ένα απορριμματογενές καύσιμο που παράγεται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ, ως διαχωρισμένο και ομογενοποιημένο κλάσμα υψηλής θερμογόνου δύναμης. Ενεργειακά, τα ΑΣΑ συνήθως είναι φτωχό «υλικό» εξαιτίας του σημαντικού ποσοστού του

¹ <https://ec.europa.eu/environment/waste/waste-to-energy.pdf>

² http://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/downloads/2018/05/kyklicki_oikonomia.pdf

οργανικού «κλάσματος» (υπολείμματα τροφής που ανεβάζει σημαντικά την υγρασία τους σε 40-50%). Το εν λόγω κλάσμα (SRF) αποτελείται κυρίως από χαρτί, πλαστικά και άλλα υλικά σχετικά υψηλής θερμογόνου δύναμης, μετά το σχετικό διαχωρισμό. Το SRF είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο είτε σε αυτόνομες μονάδες καύσης, είτε στην τσιμεντοβιομηχανία για υποκατάσταση μέρους του συμβατικού καυσίμου που συνήθως είναι το pet coke.

Σημαντική διάσταση για τα SRF (και τα Refuse-derived fuel ή RDF) αποτελούν οι τεχνικές τους προδιαγραφές και τα πρότυπα που πρέπει αυστηρώς να ακολουθούνται.

Η συναποτέφρωση (συν-επεξεργασία) εναλλακτικών καυσίμων (RDF/SRF) αποτελεί από το 2013 Βέλτιστη διαθέσιμη Τεχνική (Best Available Technology - BAT) στη βάση της 2013/163/ΕΕ³ (θέσπιση των συμπερασμάτων βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών (BAT) βάσει της οδηγίας 2010/75/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου περί βιομηχανικών εκπομπών, όσον αφορά την παραγωγή τσιμέντου, ασβέστου και οξειδίου του μαγνησίου). Αντίστοιχα στην Οδηγία για τις Βιομηχανικές Εκπομπές της ΕΕ (2010/75/ΕΕ)⁴ και τίθενται συγκεκριμένες οριακές τιμές των ατμοσφαιρικών εκπομπών για τη συναποτέφρωση αποβλήτων (Μέρος 3, Ενότητα 2: Ειδικές διατάξεις για τις τσιμεντοκαμίνους που συναποτεφρώνουν απόβλητα).

Με τον όρο συναποτέφρωση (συν-επεξεργασία) στην τσιμεντοβιομηχανία νοείται η ταυτόχρονη ανάκτηση ενέργειας και ανακύκλωση υλικών από την αξιοποίηση εναλλακτικών καυσίμων για την παραγωγή κλίνκερ. (ενδιάμεσο προϊόν για την παραγωγή τσιμέντου). Η ως άνω διαδικασία πραγματοποιείται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (~1.500 °C), με περίσσεια αέρα και μεγάλους χρόνους παραμονής ($\Delta t > 12-15 \text{ sec}$), ενώ δεν παράγεται τέφρα, αφού ενσωματώνεται στο τελικό προϊόν σε μη υδατοδιαλυτή μορφή. Τα εναλλακτικά καύσιμα είναι προϊόντα επεξεργασίας αποβλήτων και όχι σύμμικτα απορρίμματα.

Πίνακας 4.1: Συγκριτικός πίνακας Συν-επεξεργασίας και Αποτέφρωσης

	Συν-επεξεργασία / Cement Kiln (στη βάση της 2013/163/ΕΕ)	Αποτέφρωση / Incinerator
Θερμοκρασία	~1.500 °C	~ 900 °C
Θερμοκρασία (αερίου)	> 1.800 °C Πλήρης καύση των οργανικών συστατικών (PCDD/PCDFs)	1.200 °C
Χρόνος Παραμονής	> 1.800 °C για $\Delta t > 12-15 \text{ sec}$	$\Delta t > 2 \text{ sec}$
Θερμοκρασία (απαερίων)	Άμεση ψύξη στα σακόφιλτρα ~120 °C Επίτευξη ελάχιστου χρόνου παραμονής απαερίων στο θερμοκρασιακό παράθυρο 200 °C -	Απαιτούνται πιθανώς δευτερογενή μέτρα

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0163&from=EL>

⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=EL>

	450°C που αποτρέπει τη σχηματισμό των PCDD/PCDFs	
Διάθεση τέφρας	Δεν παράγεται τέφρα Δέσμευση βαρέων μετάλλων στο κλίνκερ σε μη υδατοδιαλυτή μορφή	Απόθεση σε ΧΥΤΕΑ
Δημιουργία όξινων αερίων	Δέσμευση λόγω αλκαλικού περιβάλλοντος	Πλυντηρίδες για τη δέσμευση

Όσον αφορά στην περίπτωση του εργοστασίου της Εταιρίας TITAN Α.Ε. στην Ευκαρπία Θεσσαλονίκης, σύμφωνα με τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, πρόκειται να αξιοποιηθεί υλικό SRF (κωδικός ΕΚΑ 19 12 10, ανακτώμενο στερεό καύσιμο - απορριμματογενές), ως εναλλακτικό καύσιμο που θα υποκαταστήσει μερικώς το ορυκτής προέλευσης καύσιμο pet coke. Το εισερχόμενο SRF θα πρέπει να ανταποκρίνεται στα υψηλά ποιοτικά πρότυπα του EN15359:2011 και συγκεκριμένα στις κατηγορίες 1 – 3 που προβλέπονται από το τελευταίο. Οι προδιαγραφές του ως άνω καυσίμου, οφείλουν σύμφωνα με το πρότυπο να βρίσκονται εντός του ορίου τιμών που περιγράφεται στον Πίνακα 4.2. Στον ίδιο πίνακα, παρουσιάζονται και οι προδιαγραφές του εισερχόμενου καυσίμου SRF, όπως αναλυτικά αποτυπώνονται στο Παράρτημα IV της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Πίνακας 4.2: Εισερχόμενο καύσιμο SRF

Χαρακτηριστικό καυσίμου	Τιμή κατά EN15359	Εισερχόμενο SRF (σύμφωνα με τη Μ.Π.Ε.)	Μεθοδολογία ελέγχου
Καθαρή θερμογόνο αξία (MJ/kg ar)	≥ 15	16	EN 15400
Περιεχόμενο τέφρας (%d)	≤ 20	18	EN 15403
Ποσοστό υγρασίας (%ar)	≤ 20	10	EN 15414
Χλώριο (% d)	≤ 1,0	0,75	EN 15408
Βαρέα μέταλλα (mg/kg d)	≤ 10.000	630	EN 15411
Υδράργυρος (mg/kg d)	≤ 1,0	0,08	EN 15411

Το θέμα της αξιοποίησης του SRF απασχολεί από πολύ παλιά το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Ήδη από τη μελέτη που εκπόνησε ομάδα εργασίας του ΤΕΕ το 1985 με τίτλο «Μελέτη για την προώθηση των τεχνολογιών και των δυνατοτήτων ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης των απορριμμάτων στην Ελλάδα», το κεφάλαιο για την αξιοποίηση του RDF κατέχει σημαντική θέση. Επίσης, σχετική μελέτη πραγματοποιήθηκε από Ομάδα Εργασίας του ΤΕΕ/TKM με τίτλο «Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας» (Κατσανεβάκης και συν., 2010). Το ενδιαφέρον παραμένει από τότε αδιάλειπτο τόσο για το ΤΕΕ, όσο και για την επιστημονική κοινότητα. Σε πρόσφατη εργασία (Supino et al., 2016) περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της ευρωπαϊκής βιομηχανίας τσιμέντου, προκειμένου να εντοπιστούν οι τάσεις και σχετικές δυνατότητες βελτίωσης της απόδοσης. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται εκτίμηση της καταλληλότητας των «οδικών διαδρομών»

(roadmaps) που ακολουθούνται σε αυτόν τον τομέα οικονομικής δραστηριότητας για τη βιωσιμότητα και των σχετικών προγραμμάτων που υιοθετήθηκαν. Σε αυτό το πλαίσιο, το κλάσμα SRF παρέχει ευκαιρίες τόσο στον τομέα των αποβλήτων, όσο και στη βιομηχανία τσιμέντου. Οι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες (> 1.800 °C) και οι οξειδωτικές συνθήκες που αναπτύσσονται στον κλίβανο τσιμέντου, σε συνδυασμό πάντοτε με τεχνικές ταχείας ψύξης, διασφαλίζουν την αποτελεσματική εξάλειψη των τοξικών ρύπων της καύσης, όπως π.χ. τα φουράνια και τις διοξίνες (Samolada and Zabaniotou, 2014).

Πολλές εργασίες σχετίζονται με την καινοτομία των εγκαταστάσεων παραγωγής τσιμέντου, την αυξημένη αποδοτικότητα ενεργειακών και φυσικών πόρων με χαμηλή ένταση άνθρακα, τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων για τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με πρόσφατη εργασία (Samolada and Zabaniotou, 2014), η χρήση αποβλήτων ως εναλλακτικών καυσίμων είναι βασική εναλλακτική πρακτική για την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής τσιμέντου και την ταυτόχρονη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ωστόσο, απαιτούνται βελτιώσεις για την περαιτέρω μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη διασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας. Αυτό συμπεριλαμβάνει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα της χρήσης ενεργειακών και υλικών πόρων και ένα μεγαλύτερο ρυθμό αντικατάστασης πρώτων υλών ορυκτών καυσίμων (συμπεριλαμβανομένης της χρήσης υψηλότερων ποσοστών αποβλήτων). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ευρωπαϊκή τσιμεντοβιομηχανία επιδιώκει περαιτέρω να αυξήσει την αποτελεσματικότητα των πόρων και την ενέργειας, να επενδύσει σε καινοτόμες τεχνολογίες μείωσης εκπομπών για τη δημιουργία ενός αειφόρου και ανταγωνιστικού τομέα παραγωγής τσιμέντου (Habert et al., 2010).

Η χρήση του SRF είναι μια ευρέως διαδεδομένη πρακτική στην Ευρώπη. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε ορισμένες χώρες είναι τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα καύσιμα σε κλιβάνους τσιμέντου (Supino et al., 2016). Η Γερμανία και η Ολλανδία, εισάγουν απόβλητα από την Ιταλία και αντιπροσωπεύουν τις πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις. Στους κλιβάνους τσιμέντου, η χρήση SRF είναι σύμφωνη με την ιεραρχία αποβλήτων (Κοινοτική Οδηγία 2008/98/EC), αφού δίνεται προτεραιότητα στην ανακύκλωση των υλικών και στη συνέχεια στην ανάκτηση ενέργειας. Αν και η χρήση του SRF σε εργοστάσια τσιμέντου θεωρείται ως μέσο ανάκτηση ενέργειας, το γεγονός ότι ανόργανα συστατικά ενσωματώνονται στο κλίνκερ συνεπάγεται ότι ένα συγκεκριμένο μερίδιο του SRF τεχνικά ανακυκλώνεται σε επίπεδο υλικού. Σε άλλη επιστημονική εργασία (Viczek et al., 2020) προσδιορίστηκε το ποσοστό αυτό, αναλύοντας 80 αντιπροσωπευτικά δείγματα SRF που διατίθενται επί του παρόντος στην αγορά της Αυστρίας, της Κροατίας, της Σλοβακίας και της Σλοβενίας.

Η παραγωγή τσιμέντου επιτρέπει τη χρήση αποβλήτων για την αντικατάσταση πρώτων υλών και συμβατικών καυσίμων. Μεταξύ όλων των εναλλακτικών καυσίμων, η χρήση απορριμματογενών καυσίμων σε εργοστάσιο τσιμέντου παρουσιάζεται ως η περισσότερο φιλική προς το περιβάλλον, καθώς ταυτόχρονα μειώνει τις εκπομπές του θερμοκηπίου τόσο

από τσιμεντοβιομηχανίες, όσο και από χώρους υγειονομικής ταφής (Benhelal et al., 2013). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτή η μείωση είναι έμμεση, διότι αν τα απορριμματογενή καύσιμα δε χρησιμοποιούνται στη διαδικασία παραγωγής τσιμέντου ως μερική πηγή ενέργειας, είναι αναγκαίο να διατίθενται σε ΧΥΤΑ ή να αποστέλλονται σε αποτεφρωτήρες, παράγοντας επιπλέον ποσότητες CO₂ επιπρόσθετα των ποσοτήτων που θα παραχθούν από τα ορυκτά καύσιμα που δεν έχουν αντικατασταθεί (Benhelal et al., 2013). Επιπλέον, η χρήση τέτοιων καυσίμων οδηγεί σε μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και του κόστους παραγωγής (Strazza et al., 2011), Σύμφωνα με την ίδια εργασία, η χρήση των εναλλακτικών καυσίμων είναι μια ιδανική μέθοδος για την ανάκτηση ενέργειας από απόβλητα. Η χρήση ανακτηθέντων πλαστικών ως εναλλακτικού καυσίμου με υποκατάσταση 22% σε ιταλική τσιμεντοβιομηχανία, σε σύγκριση με το μέσο ιταλικό εργοστάσιο που υποκαθιστά το 4% έδειξε μείωση του περιβαλλοντικού φορτίου σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων (Strazza et al., 2011).

Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη, εντός της έννοιας της βιομηχανικής συμβίωσης, η κοινή συν-επεξεργασία και συν-αποτέφρωση δευτερογενών καυσίμων στην παραγωγή τσιμέντου αποδεικνύεται επίσης αποδοτική από πλευράς κόστους - αποτελεσματικότητας (Dondur et al., 2015). Η τεχνο-οικονομική ανάλυση καταδεικνύει ότι η συνδυασμένη αποτέφρωση SRF και συμβατικών ορυκτών καυσίμων (π.χ. pet coke) είναι οικονομικά βιώσιμη σε αναλογία 20:80, ενώ οι επιπτώσεις στην ποιότητα αέρα είναι αμελητέες.

Συμπερασματικά, η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στην τσιμεντοβιομηχανία παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες καύσης (Πίνακας 4.3). Είναι γεγονός ότι οι υψηλές θερμοκρασίες και οι συνθήκες της καύσης εξασφαλίζουν την καταστροφή του οργανικού μέρους των καυσίμων, ενώ ταυτόχρονα το ανόργανο μέρος (βαρέα μέταλλα και τέφρα) δεσμεύονται και διοχετεύονται στο κλινκερ, χωρίς να απαιτούνται επιπρόσθετα μέτρα για τη διάθεση της στάχτης. Η χρήση ενός προτύπου ποιότητας SRF ως εναλλακτικού καυσίμου αποδεικνύεται από πολλές εργασίες ότι είναι περιβαλλοντικά επωφελής.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, τα πλεονεκτήματα, οι αδυναμίες, οι ευκαιρίες και οι απειλές της συν-επεξεργασίας σε υπάρχοντες υψικαμίνους τσιμεντοβιομηχανίας (ανάλυση SWOT), δείχνουν ότι η χρήση του SRF στη βιομηχανία τσιμέντου είναι ευνοϊκή (Samolada and Zabaniotou, 2014).

Πίνακας 4.3: Ανάλυση SWOT για χρήση SRF ως εναλλακτικό καύσιμο σε υφιστάμενους κλιβάνους τσιμέντου (Samolada και Zabaniotou, 2014)

Εσωτερικοί Παράγοντες		Εξωτερικοί Παράγοντες	
Πλεονεκτήματα	Αδυναμίες	Ευκαιρίες	Απειλές
1. Ορθολογική διαχείριση ΑΣΑ 2. Ενεργειακή Ανάκτηση	1. Ανασφάλεια στη συνεχή τροφοδοσία	1. Προώθηση των εναλλακτικών καυσίμων 2. Αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων	1. Διαφορές στην αποτελεσματική ανακύκλωση

Διερεύνηση χρήσης RDF/SRF ως εναλλακτικό καύσιμο στην τσιμεντοβιομηχανία: Πρακτικές, διασφάλισης ποιότητας, προοπτικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

<ol style="list-style-type: none"> 3. Χρήση διαθέσιμων εγκαταστάσεων 4. Συστηματική – Ολοκληρωμένη Προσέγγιση 5. Αποτελεσματική (μερική) αντικατάσταση πρώτων υλών 6. Εξοικονόμηση πρώτων υλών και ορυκτών καυσίμων 7. Υψηλό επίπεδο περιβαλλοντικής προστασίας (απαιτήσεις IPPC) 8. Περιβαλλοντικά φιλικό καύσιμο, χωρίς αμφιλεγόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις 9. Μείωση αερίων του θερμοκηπίου 10. Συνεισφορά στους στόχους της νομοθεσίας ακολουθώντας την ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων 11. Βιώσιμη Ανάπτυξη 12. Καλά αναπτυγμένο νομοθετικό πλαίσιο 13. Μικρό κόστος επένδυσης 14. Μείωση του εξωτερικού κόστους 15. Οικονομικά βιώσιμη επένδυση 16. Βιομηχανική συμβίωση 17. Ενδιαφέρον από τη βιομηχανία τσιμέντου 18. Γενικά αποδεκτή από τις τοπικές κοινωνίες 19. Συμβατή με τις τοπικές δραστηριότητες 20. Παγκόσμια και ευρεία πετυχημένη εμπειρία 		<ol style="list-style-type: none"> 3. Ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της τσιμεντοβιομηχανίας 4. Συνεισφορά της βιομηχανικής οικολογίας και συν(επεξεργασίας) 5. Πρόληψη της καθυστέρησης στην αξιοποίηση αποβλήτων και κλείσιμο των ΧΥΤΑ 6. Ενεργή συμμετοχή των τσιμεντοβιομηχανιών σε περιβαλλοντικές δραστηριότητες 7. Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη 	<ol style="list-style-type: none"> 2. Σκεπτικισμός των τοπικών κοινωνιών 3. Διαφορές στην κανονική και σταθερή τροφοδοσία αποβλήτων σε κλιβάνους με εγγυημένη χαμηλή τιμή αποβλήτων
--	--	---	---

Επιπλέον, σε σύγκριση με την αντίστοιχη χρήση απορριμματογενών καυσίμων σε άλλες εγκαταστάσεις η συν-αποτέφρωση σε κλιβάνους τσιμέντου έχει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη που σχετίζονται με την ελαχιστοποίηση των τοξικών ρύπων καύσης (φουράνια και διοξίνες) λόγω πλήρους οξειδωσης και ιδιαίτερα ευνοϊκών συνθηκών αντίδρασης (υψηλή θερμοκρασία φλόγας > 1.800 °C). Η περαιτέρω απελευθέρωση αερίου σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 1.100 °C για τουλάχιστον 5-6 δευτερόλεπτα μέσα στον κλίβανο τσιμέντου οδηγεί σε αποδεκτά επίπεδα εκπομπών, σε σύγκριση με την καύση σε ειδικά εργοστάσια που λειτουργούν συνήθως σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

5 ΚΡΙΣΙΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

5.1 Προδιαγραφές εναλλακτικών καυσίμων

Τα εναλλακτικά καύσιμα είναι παραπροϊόντα ή απόβλητα άλλων βιομηχανικών κλάδων, προϊόντα μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων και υλικά που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν και τα οποία, διαφορετικά, θα κατέληγαν σε ταφή.

Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται εναλλακτικά (απορριμματογενή) καύσιμα (SRF, RDF), αποξηραμένη ιλύς βιολογικού καθαρισμού, πετρελαιοειδή κατάλοιπα αναμεμιγμένα με πριονίδι, υπολείμματα ανακύκλωσης συσκευασιών, χαρτί, ξύλο, πριονίδι, υφάσματα, βιομάζα από αγροτικά και δασικά υπολείμματα, ζωοτροφές και οργανικά απόβλητα όπως πλαστικά, ελαστικά οχημάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους, υπολείμματα ανακύκλωσης οχημάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους κ.λπ.

Πιο συγκεκριμένα το RDF είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο που μπορεί να προκύψει από τη βιομηχανική επεξεργασία των υπολειμμάτων της ανακύκλωσης των αστικών και εμποροβιομηχανικών αποβλήτων, καθώς και των συσκευασιών (του μπλε κάδου). Ειδικότερα και όσον αφορά στα ΑΣΑ, παράγεται μετά την αφαίρεση των οργανικών υπολειμμάτων που οδηγούνται για κομποστοποίηση και των ανακυκλώσιμων υλικών που πωλούνται (μέταλλα, γυαλί, χαρτί, πλαστικό). **Το RDF το οποίο ακολουθεί το ποιοτικό πρότυπο EN 15359⁵ ονομάζεται και SRF (Solid Recovered Fuel).**

Στη βάση του ΦΕΚ Β 3339/12.12.2014 καθορίζονται οι απαιτήσεις (προδιαγραφές) για εργασίες επεξεργασίας στο πλαίσιο της μηχανικής- βιολογικής επεξεργασίας των σύμμεικτων αστικών αποβλήτων και καθορισμός χαρακτηριστικών των παραγόμενων υλικών ανάλογα με τις χρήσεις τους, σύμφωνα με το εδάφιο β της παραγράφου 1 του άρθρου 38 του Ν. 4042/2012 (Α'/24). Πιο συγκεκριμένα, στο Άρθρο 6 της ως άνω ΚΥΑ, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των απορριμματογενών ανακτώμενων στερεών καυσίμων (κωδικός ΕΚΑ 19 12 10) από εγκαταστάσεις Μηχανικής-Βιολογικής Επεξεργασίας σύμμεικτων αστικών αποβλήτων, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για ανάκτηση ενέργειας, βασίζονται σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15359:2011, σε τουλάχιστον τέσσερις βασικές παραμέτρους, ως εξής:

- τη μέση κατώτερη θερμογόνο δύναμη (Lower Heating Value – LHV)
- τη μέση περιεκτικότητα σε χλώριο επί ξηρής βάσης
- την διάμεσο της περιεκτικότητας σε υδράργυρο
- το 80% των τιμών της περιεκτικότητας σε υδράργυρο.

⁵ EN 15359:2011 «Solid Recovered Fuels- Specifications and Classes»

Η κλάση του απορριμματογενούς καυσίμου, σύμφωνα με το πρότυπο EN 15359:2011 θα πρέπει να αναφέρεται ως εξής:

- Κλάση 1, 2, ...5 για την μέση κατώτερη θερμογόνο αξία,
- Κλάση 1, 2, ...5 για τη μέση περιεκτικότητα σε χλώριο και
- Κλάση 1, 2, ...5 με βάση τη χειρότερη μεταξύ των δύο περιπτώσεων (διάμεσος και 80% των τιμών), για τον υδράργυρο.

Ο Πίνακας 5.1 αναφέρει τις αποδεκτές οριακές τιμές, κατά παράμετρο, για χρήση απορριμματογενών καυσίμων.

Πίνακας 5.1: Κλάσεις απορριμματογενών ανακτώμενων στερεών καυσίμων κατά ΕΛΟΤ EN 15359:2011

Παράμετρος	Μονάδα Μέτρησης	Κλάση				
		1	2	3	4	5
Μέση κατώτερη θερμογόνος αξία	MJ/ kg *	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
Μέση περιεκτικότητα σε χλώριο	% σε ξηρή βάση	≤0,2	≤0,6	≤1,0	≤1,5	≤3,0
Διάμεσος της περιεκτικότητας σε υδράργυρο	mg/ MJ *	≤0,02	≤0,03	≤0,08	≤0,15	≤0,50
80% των τιμών της περιεκτικότητας σε υδράργυρο	mg/ MJ *	≤0,04	≤0,06	≤0,16	≤0,30	≤1,00

Ειδικά για την τσιμεντοβιομηχανία, τα απορριμματογενή ανακτώμενα στερεά καύσιμα θα πρέπει να κατηγοριοποιούνται στις κλάσεις 1, 2 ή 3, ανάλογα με τον τεχνολογικό εξοπλισμό των εργοστασίων.

Οι παράμετροι που αποτυπώνονται στον Πίνακα 5.2 θα πρέπει να προσδιορίζονται, σε εξαμηνιαία βάση.

Πίνακας 5.2: Παρακολούθηση παραμέτρων καυσίμου

Παράμετρος	Μονάδα Μέτρησης	Πρότυπα εργαστηριακών ελέγχων
Περιεκτικότητα σε βιομάζα	% κ.β. (ξηρή βάση)	EN 15440:2011
Περιεκτικότητα σε πτητική ύλη	% κ.β. (ξηρή βάση)	EN 15402:2011
Υγρασία	% κ.β.	CEN/TS 15414-1:2010

Περιεκτικότητα σε τέφρα	% κ.β.	EN 15403:2011
Θερμιδική αξία	kJ/Kg	EN 15400:2011
Χλώριο, Cl	% κ.β. (ξηρή βάση)	EN 15408:2011
Υδράργυρος, Hg	mg/kg, (ξηρή βάση)	EN 15411:2011

5.1.1 Ποιοτικός έλεγχος SRF/RDF

Στη βάση τόσο της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του ΤΙΤΑΝ αλλά και της Εθελοντικής Συμφωνίας Συνεργασίας «Για την αξιοποίηση δευτερογενών καυσίμων από την τσιμεντοβιομηχανία, στο πλαίσιο της βιομηχανικής συμβίωσης και της κυκλικής οικονομίας»⁶, οι τσιμεντοβιομηχανίες υποχρεούνται, μεταξύ άλλων, κατά τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων να διενεργούν αυστηρό ποιοτικό έλεγχο κατά την παραλαβή των εναλλακτικών καυσίμων και εντός των μονάδων τους. Ο ως άνω ποιοτικός έλεγχος απαιτείται να εντάσσεται στο Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας των εργοστασίων το οποίο θα πιστοποιείται σε ετήσια βάση από ανεξάρτητο διαπιστευμένο φορέα (Άρθρο 6).

5.2 Τέφρα

Οι κλίβανοι της τσιμεντοβιομηχανίας είναι δυνατόν να αξιοποιήσουν τα υπολείμματα της διαδικασίας ανακύκλωσης και μηχανικής επεξεργασίας απορριμμάτων που αλλιώς θα οδηγούνταν σε ταφή, χωρίς να παράγονται νέα απόβλητα με δεδομένο ότι η τέφρα ενσωματώνεται στο κλίνκερ σε μη υδατοδιαλυτή μορφή⁷ και ουσιαστικά διαφοροποιεί την συν-επεξεργασία από την αποτέφρωση στην οποία η τέφρα αποτελεί απόβλητο⁸. Σημειώνεται ότι το κλίνκερ συναλέθεται με ορυκτό ή βιομηχανικό γύψο και άλλα υλικά όπως φυσική ποζολάνη (Μηλαϊκή γη, περλίτης, Σκυδραϊκή γη), ιπτάμενη τέφρα (IT, υγρή ή ξηρή), τεχνητή ποζολάνη (σκωρία υψικαμίνου), ασβεστόλιθο κτλ, ανάλογα με τον τύπο του παραγόμενου τσιμέντου. Από το τσιμέντο μαζί με αδρανή υλικά (άμμο, χαλίκι) και νερό παρασκευάζεται το σκυρόδεμα με το οποίο κατασκευάζονται τα κτίρια (άοπλο ή οπλισμένο). Επομένως δεν υπάρχει τρόπος «απόσπασης» ή διαχωρισμού ή ακόμα και εκλυσιμότητας συστατικών της τέφρας από το σκυρόδεμα.

⁶ ΥΠΕΝ-ΕΤΕ, 2019 Εθελοντική Συμφωνία Συνεργασίας: «Για την αξιοποίηση δευτερογενών καυσίμων από την τσιμεντοβιομηχανία, στο πλαίσιο της βιομηχανικής συμβίωσης και της κυκλικής οικονομίας

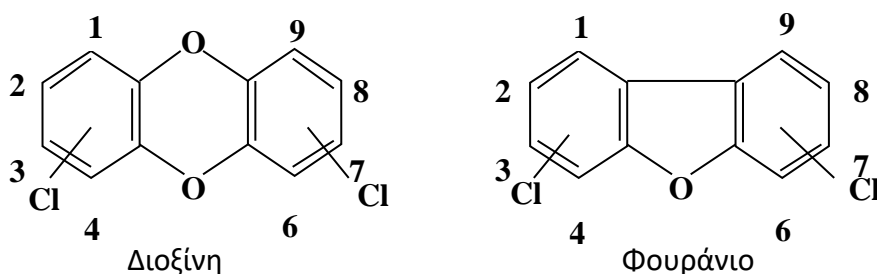
⁷ European Commission, 2010. Reference Document on Best Available Techniques in The Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries.

⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0163&from=EL>

5.3 Διοξίνες και φουράνια

5.3.1 Χημική σύσταση-προέλευση- επίδραση

Ο όρος "διοξίνες και φουράνια" χαρακτηρίζει μια ομάδα από συνολικά 210 χλωριωμένους αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Οι διοξίνες αποτελούν χλωριωμένα παράγωγα της διβενζο-π-διοξίνης (dibenzo-p-dioxin) και περιλαμβάνουν συνολικά 75 ενώσεις ενώ τα φουράνια αποτελούν χλωριωμένα παράγωγα του διβενζοφουρανίου (dibenzofuran) και περιλαμβάνουν συνολικά 135 ενώσεις. Οι διαφορετικές ενώσεις προκύπτουν από την παρουσία διαφορετικών υποκαταστατών χλωρίου στη δομή τους όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1: Η δομή των πολυχλωριωμένων διοξινών και των πολυχλωριωμένων φουρανίων

Οι διοξίνες και τα φουράνια σχηματίζονται είτε κατά τη διάρκεια ορισμένων φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στη φύση όπως πχ πυρκαγιές δασών και εκρήξεις ηφαιστειών, είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες. Σήμερα είναι γνωστό ότι οι διοξίνες και τα φουράνια παράγονται από ένα μεγάλο αριθμό βιομηχανικών δραστηριοτήτων όπως η λεύκανση με χλώριο προϊόντων κυτταρίνης, η παραγωγή διάφορων χημικών προϊόντων (φυτοφάρμακα, εντομοκτόνα, διαλύτες, συντηρητικά ξύλου κ.λπ.), η τήξη μετάλλων, η παραγωγή τσιμέντου και κυρίως η ατελής καύση οργανικών ουσιών που περιέχουν χλώριο σε οποιαδήποτε μορφή (οργανική ή ανόργανη) (Addink and Olie, 1995).

Από το σύνολο των 210 ενώσεων, τα ισομερή με 1 ως 3 άτομα χλωρίου δεν θεωρούνται τοξικά. Από τις υπόλοιπες ενώσεις, τοξικές ιδιότητες εμφανίζουν εκείνες οι οποίες παρουσιάζουν υποκαταστάτες χλωρίου στις θέσεις 2, 3, 7 και 8. Έτσι, 7 παράγωγα από τις 75 διοξίνες και 10 από τα 135 φουράνια παρουσιάζουν υψηλή τοξικότητα, ενώ η 2, 3, 7, 8 τετραχλωρο-διβενζο-π-διοξίνη (γνωστή ως διοξίνη του Seveso) έχει την μεγαλύτερη τοξικότητα από όλες. Για πρακτικούς λόγους, έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος υπολογισμού της ισοδύναμης τοξικότητας με την οποία εκφράζεται η συνολική αθροιστική τοξικότητα των διαφορετικών παραγώγων (Toxicity Equivalent Quantity, TEQ) (McKay, 2002). Είναι φανερό ότι σημαντικό στοιχείο αναφοράς για τις μετρήσεις αυτών των ρύπων αποτελεί η συγκέντρωσή τους σε ισοδύναμο τοξικότητας και όχι η συνολική συγκέντρωση των διοξινών και φουρανίων που περιέχει όλα τα παράγωγα (τοξικά και μη τοξικά).

Οι διοξίνες απαντώνται στον αέρα, στο έδαφος και στα ιζήματα θαλασσών, νερών και ποταμών. Στον αέρα η παρουσία τους οφείλεται στις εκπομπές από πηγές ρύπων, ενώ στο έδαφος οφείλεται στους μηχανισμούς εναπόθεσης από τον αέρα και στη χρήση ουσιών επιβαρυνμένων με διοξίνες (φυτοφάρμακα). Λόγω του ισχυρά λιπόφιλου χαρακτήρα τους, οι συγκεντρώσεις των διοξινών στα νερά είναι χαμηλές και συνήθως βρίσκονται προσροφημένες σε σωματίδια οργανικής ύλης.

Διαφορετικές συγκεντρώσεις διοξινών και φουρανίων στον αέρα έχουν παρουσιαστεί από πολλούς ερευνητές που ποικίλλουν ανάλογα με το σημείο δειγματοληψίας, την απόσταση από βιομηχανικές περιοχές, το είδος της περιοχής (αστική, αγροτική, βιομηχανική κ.λπ.). Γενικά οι συγκεντρώσεις των τοξικών αυτών ενώσεων στον αέρα παρουσιάζονται μειωμένες σε αγροτικές περιοχές (<0,1 pg/m³) και ιδιαίτερα αυξημένες σε βιομηχανικές και μερικές φορές αστικές περιοχές. Παράλληλα, οι συγκεντρώσεις των ουσιών αυτών στο έδαφος αγροτικών περιοχών δεν ξεπερνούν συνήθως τα 2 pg TEQ/g, ενώ σε βιομηχανικές περιοχές μπορούν να φτάσουν ακόμα και μερικές χιλιάδες pg/g (Pulles et al., 2006).

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, ορισμένες διοξίνες θεωρούνται ισχυρά τοξικές ουσίες, ενώ η 2, 3, 7, 8 τετραχλωριωμένη διοξίνη θεωρείται η πιο τοξική από όλα τα παράγωγα. Οι επιδράσεις τους μπορεί να ποικίλουν και σύμφωνα με ανακοίνωση του Οργανισμού Προστασίας Περιβάλλοντος της Αμερικής, δεν υπάρχει ασφαλές όριο έκθεσης στις διοξίνες. Έτσι σήμερα καταβάλλονται σημαντικές προσπάθειες για την κατανόηση των μηχανισμών σχηματισμού αυτών των ουσιών με απώτερο στόχο την μείωσή τους.

5.3.2 Μηχανισμοί σχηματισμού

Οι μηχανισμοί σχηματισμού αυτών των ουσιών αποτέλεσαν το αντικείμενο της έρευνας από το 1977, χρονιά κατά την οποία ανακαλύφτηκε η παρουσία διοξινών και φουρανίων στα απαέρια από την καύση στερεών απορριμμάτων. Από τότε έχουν γίνει πολλές υποθέσεις και έχουν διατυπωθεί θεωρίες σχετικά με τον σχηματισμό των ουσιών αυτών κατά την καύση οργανικών ουσιών. Σήμερα έχει αποδειχθεί από θεωρητικούς υπολογισμούς ότι οι ουσίες αυτές σχηματίζονται κυρίως μέσω ετερογενών αντιδράσεων σε χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες παρά μέσω ομογενών αντιδράσεων. Επιπλέον, κατάλληλες συνθήκες για τον σχηματισμό τους επικρατούν στην περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας που εντοπίζεται αμέσως μετά από την ζώνη καύσης υψηλής θερμοκρασίας σε έναν αποτεφρωτήρα (post-combustion zone) (Karstensen, 2006, 2008).

Δύο κυρίως μηχανισμοί έχουν προταθεί από τους ερευνητές για να περιγραφούν οι αντιδράσεις σχηματισμού των διοξινών: ο ένας μηχανισμός περιλαμβάνει αντιδράσεις στην επιφάνεια του άκαυστου άνθρακα που συνδέεται με τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας (de novo synthesis), ενώ ο άλλος μηχανισμός περιλαμβάνει αντιδράσεις μεταξύ πρόδρομων ουσιών στην αέρια φάση (precursors). Σύμφωνα με τον πρώτο μηχανισμό, άνθρακας, χλώριο,

οξυγόνο και χλώριο στην ιπτάμενη τέφρα ενώνονται παρουσία οξυγόνου στην αέρια φάση και σχηματίζουν χλωριωμένους αρωματικούς υδρογονάνθρακες όπως οι διοξίνες και τα φουράνια. Αρχικές έρευνες και επόμενες μελέτες επιβεβαίωσαν την υπόθεση ότι ο μηχανισμός αυτός λαμβάνει χώρα στην έξοδο ενός αποτεφρωτήρα σε θερμοκρασίες περίπου 300-350°C. Επιπλέον, σήμερα έχει διαπιστωθεί ότι τα μεταλλικά στοιχεία και κυρίως ο χαλκός παίζουν σημαντικό ρόλο ως καταλύτες σε αυτόν το μηχανισμό.

Ο δεύτερος μηχανισμός περιλαμβάνει αντιδράσεις στην αέρια φάση μεταξύ ουσιών με δομή παρόμοια με τις διοξίνες και τα φουράνια, όπως π.χ. οι χλωροφαινόλες που σχηματίζονται ως παραπροϊόντα ατελούς καύσης. Οι πρόδρομες αυτές ουσίες φαίνεται ότι αντιδρούν επίσης καταλυτικά με ορισμένα από τα στοιχεία της ιπτάμενης τέφρας. Ένας μεγάλος αριθμός ουσιών έχει μελετηθεί ότι μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή τοξικών ουσιών όπως αλειφατικές ενώσεις, μονοκυκλικοί και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Η πενταχλωροφαινόλη ήταν η πρώτη ουσία που δοκιμάστηκε ως πρόδρομη ουσία για την παραγωγή διοξινών και φουρανίων σε θερμοκρασίες μεταξύ 150 και 400°C όπου φάνηκε ότι η παραγωγή των τοξικών ουσιών ελάμβανε χώρα σε σημαντικές ποσότητες στην θερμοκρασιακή περιοχή από 250 μέχρι 400°C, ενώ σε θερμοκρασίες έξω από αυτή την περιοχή παρατηρήθηκαν σχεδόν μηδενικές μετατροπές. Επιπλέον, από την εξέταση διαφορετικών ουσιών αποδείχθηκε ότι η παρουσία αρωματικών δακτυλίων, χλωρίου ή οξυγόνου στις πρόδρομες ουσίες δεν αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τον σχηματισμό των διοξινών και των φουρανίων.

Συνοψίζοντας, είναι σήμερα παραδεκτό ότι οι διοξίνες και τα φουράνια σχηματίζονται σε μια θερμοκρασιακή περιοχή από 200 ως 450°C, παρουσία άνθρακα, υδρογόνου, οξυγόνου και χλωρίου σε οποιαδήποτε μορφή, ενώ ορισμένα στοιχεία που βρίσκονται στην ιπτάμενη τέφρα και κυρίως ο χαλκός, παρουσιάζουν σημαντική καταλυτική δράση. Τέτοιες συνθήκες εντοπίζονται κυρίως στην περιοχή που βρίσκεται μετά την ζώνη καύσης υψηλής θερμοκρασίας ενός συστήματος θερμικής διεργασίας.

5.3.3 Δειγματοληψία-ανάλυση

Για τον υπολογισμό των ισοδύναμων τοξικότητας σε ένα μίγμα διοξινών και φουρανίων απαιτείται να μετρηθεί η συγκέντρωση κάθε επιμέρους παραγώγου. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις, όπως π.χ. σε δείγματα ατμοσφαιρικού αέρα, οι συγκεντρώσεις είναι ελάχιστες, της τάξης των μερικών fg/m^3 . Για την ασφαλή ταυτοποίηση των επιμέρους παραγώγων διοξινών και φουρανίων απαιτείται αναλυτικός εξοπλισμός υψηλής ευκρίνειας, συλλογή σημαντικών ποσοτήτων δείγματος και έμπειρο προσωπικό ώστε να επιτευχθεί απομόνωση των παραγώγων και απομάκρυνση των ενώσεων που δυσχεραίνουν την ανάλυση (clean-up). Σήμερα έχουν αναπτυχθεί πρότυποι κανόνες δειγματοληψίας, καθαρισμού και ταυτοποίησης των ενώσεων αυτών.

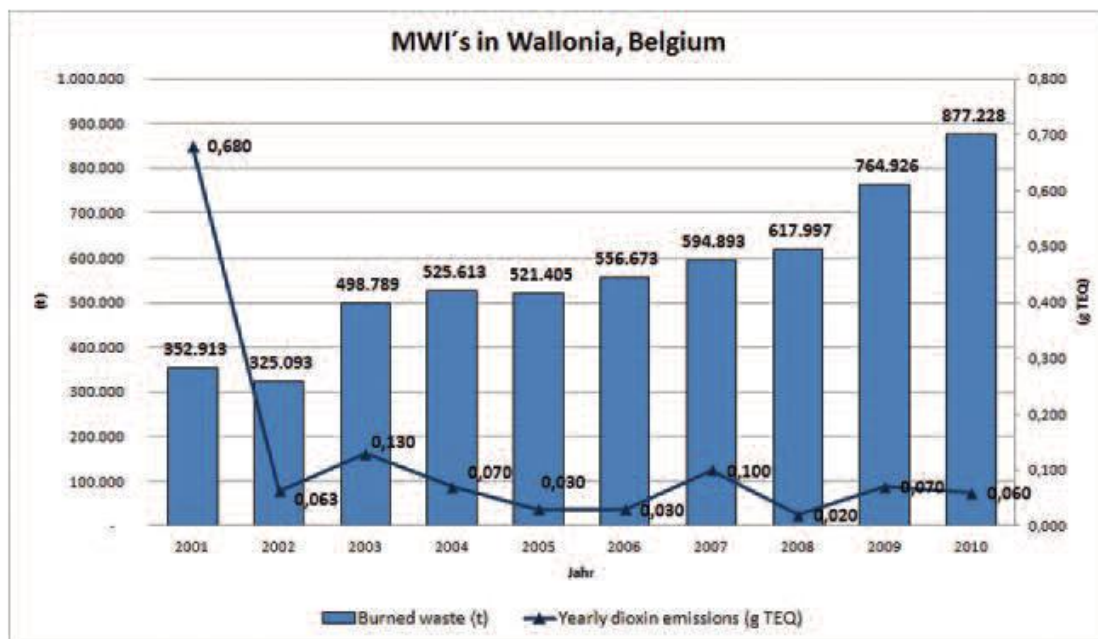
Η συλλογή δειγμάτων από απαέρια καύσης αλλά και από ατμοσφαιρικό αέρα λαμβάνει χώρα με ένα σύστημα, σύμφωνα με την αρχή της ισοκινητικής δειγματοληψίας, όπου ο όγκος του δείγματος είναι ανάλογος του συνολικού όγκου των απαερίων. Το σύστημα δειγματοληψίας περιλαμβάνει ένα ψυχόμενο σωλήνα με ακροφύσιο, το μέγεθος του οποίου εξαρτάται από τις συγκεκριμένες συνθήκες δειγματοληψίας και κυρίως από την ταχύτητα των απαερίων. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα φίλτρο για την απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων και μια στήλη με προσροφητικό μέσο (πολυουρεθάνη, XAD ρητίνη) για την συλλογή των διοξινών και φουρανίων από την αέρια φάση.

Το απαιτούμενο διάστημα για τη συλλογή των δειγμάτων καθορίζεται ανάλογα με την αναμενόμενη συγκέντρωση σε διοξίνες και σχετίζεται με την απαιτούμενη ποσότητα των ενώσεων που πρέπει να συλλεχθούν έτσι ώστε να είναι δυνατή η ποσοτική τους ανάλυση στη συνέχεια, στο εργαστήριο. Με άλλα λόγια, η δειγματοληψία θα πρέπει να διαρκέσει τόσο διάστημα όσο είναι απαραίτητο για να συλλεχθεί μια ποσότητα διοξινών που θα είναι μεγαλύτερη από την αναλυτική ικανότητα του οργάνου μέτρησης. Συνήθως το διάστημα αυτό είναι περίπου 8 ώρες και πάντως δεν μπορεί να είναι μικρότερο από 6 ώρες.

Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δειγματοληψίας παρουσιάζει ένα εγγενές μειονέκτημα, αφού αντιστοιχεί σε στιγμιαίο μόνο δείγμα και δε δίνει συνολική εικόνα για το μέγεθος των εκπομπών. Η διάρκεια δειγματοληψίας για 6-8 ώρες για 1 ή 2 ημέρες το χρόνο αντιστοιχεί ένα πολύ μικρό ποσοστό του συνολικού χρόνου λειτουργίας μιας μονάδας και επιπλέον με τον τρόπο αυτό δε συμπεριλαμβάνονται τυχόν διακυμάνσεις στις εκπομπές αερίων υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες πχ αλλαγές στη σύσταση του καυσίμου και στις παραμέτρους λειτουργίας, έναρξη και σταμάτημα λειτουργίας κλπ. Η διακύμανση των εκπομπών έχει τεκμηριωμένα διαπιστωθεί σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης όπου παρατηρήθηκε σημαντική υπέρβαση του ορίου των $0,1 \text{ ng TEQ/m}^3$ φτάνοντας σε πολλαπλάσιες τιμές, έως $5,5 \text{ ng TEQ/m}^3$ κατά την έναρξη λειτουργίας, ενώ η επαναφορά εντός των ορίων διαπιστώθηκε μετά από διάστημα περισσότερο των 10 ημερών συνεχούς λειτουργίας (Hung et al., 2016).

Δυστυχώς σήμερα δε διατίθεται ένα συνεχές (online) σύστημα καταγραφής των εκπομπών σύμφωνα με τα πρότυπα (US EPA method 23, EN 1948). Ωστόσο, ένα σύστημα δειγματοληψίας με δυνατότητα συνεχούς συλλογής δειγμάτων για μεγάλο χρονικό διάστημα θα μπορούσε να υποκαταστήσει εν μέρει την έλλειψη αυτή, αφού με τον τρόπο αυτό θα δίνεται η δυνατότητα να εκτιμηθεί η παραγωγή και έκλυση τοξικών αερίων σε μεγάλο χρονικό διάστημα. Τέτοιες διατάξεις πλέον κυκλοφορούν και έχουν δοκιμαστεί περίπου από το 2000 στη Γερμανία και στο Βέλγιο σε μονάδες αποτέφρωσης. Το Βέλγιο ήταν η πρώτη χώρα που από το 2000 εισήγαγε νομοθετικά την απαίτηση για συνεχή συλλογή δειγμάτων προς προσδιορισμό διοξινών σε μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων, μέτρο που κατόπιν επεκτάθηκε σε αποτεφρωτήρες επικίνδυνων αποβλήτων, κλιβάνους τσιμεντοβιομηχανίας κλπ. Σύμφωνα με αυτόν τον όρο, θα έπρεπε να γίνεται συλλογή δειγμάτων για τουλάχιστον 2 εβδομάδες με μέσο όρο συγκέντρωσης τα $0,1 \text{ ng TEQ/m}^3$ (Reinmann, 2012).

Το συγκεκριμένο παράδειγμα ακολούθησαν στη συνέχεια και άλλες χώρες όπως η Γερμανία, Γαλλία κλπ. Με τον τρόπο αυτό υπήρχε η δυνατότητα για την καλύτερη καταγραφή των αέριων εκπομπών και δόθηκε το έναυσμα να αναπτυχθούν βέλτιστες τεχνικές για τη μείωση των τοξικών ρύπων: με βάση αυτό το σύστημα έγινε εφικτό να μειωθεί η μέση συγκέντρωση διοξινών στα απαέρια από 11 μονάδες αποτέφρωσης κατά ένα συντελεστή 10 έως 20 , μολονότι η ποσότητα των αποβλήτων προς αποτέφρωση είχε αυξηθεί κατά 3 φορές, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2: Μείωση των ολικών διοξινών και φουρανίων στο Βέλγιο (Reinmann, 2012)

Τα δείγματα που συλλέγονται στο φίλτρο και στο προσροφητικό μέσο του συστήματος δειγματοληψίας, υφίστανται εκχύλιση με τολουόλιο για 12 ως 24 ώρες. Ακολούθως τα εκχυλίσματα υποβάλλονται σε μια διαδικασία καθαρισμού που περιλαμβάνει τροφοδοσία διαμέσου μιας στήλης που περιέχει διαφορετικά στρώματα πυριτίας (ουδέτερης, εμποτισμένης με οξύ και εμποτισμένης με βάση) και μιας στήλης οξειδίου του αργιλίου. Στην πρώτη στήλη απομακρύνονται κυρίως πολικά συστατικά (μη κορεσμένες ενώσεις, λιπίδια), ενώ στη δεύτερη στήλη διαχωρίζονται οι διοξίνες και τα φουράνια από άλλες οργανικές ουσίες π.χ. από τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια. Το τελικό στάδιο της προετοιμασίας περιλαμβάνει εξάτμιση του δείγματος μέχρι όγκου 10 μλ και εισαγωγή στο σύστημα του αέριου χρωματογράφου-φασματογράφου μαζών. Ανάλογα με το είδος του δείγματος και την παρουσία άλλων ενώσεων έχουν αναφερθεί παραλλαγές της βασικής μεθόδου καθαρισμού του δείγματος. Στην αρχή της προετοιμασίας γίνεται προσθήκη συγκεκριμένων πρότυπων διοξινών στο δείγμα και η ανάκτησή τους υπολογίζεται στο τέλος της ανάλυσης, ώστε να εκτιμηθούν τυχόν απώλειες κατά την διάρκεια των διαδοχικών σταδίων καθαρισμού. Το Ομάδα Εργασίας, ΤΕΕ/TKM

ποσοστό ανάκτησης στη συνέχεια χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της συγκέντρωσης των επιμέρους παραγώγων.

Είναι φανερό ότι για τη δειγματοληψία και ανάλυση αυτών των ουσιών απαιτείται εξοπλισμός υψηλού κόστους, εργαστήρια ειδικά διαμορφωμένα για τη διατήρηση υπερκαθάρων συνθηκών και ειδικά καταρτισμένο προσωπικό με εμπειρία στην ταυτοποίηση διοξινών και φουρανίων.

5.3.4 Τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών διοξινών και φουρανίων

Τα τελευταία χρόνια γίνεται σημαντική δουλειά για την μέτρηση και τον έλεγχο των διοξινών. Σήμερα έχει υιοθετηθεί ένα όριο για τη συνολική ισοδύναμη συγκέντρωση διοξινών από εγκαταστάσεις καύσης σε 0.1 ng/m^3 . Για την απομάκρυνση των διοξινών και φουρανίων από απαέρια καύσης έχουν εφαρμοστεί τεχνικές που κατατάσσονται γενικά σε δύο κατηγορίες: πρωτοβάθμιες και δευτεροβάθμιες τεχνικές. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν μέθοδοι που εφαρμόζονται κυρίως στην ζώνη καύσης και έχουν ως σκοπό την μείωση του σχηματισμού των τοξικών ρύπων, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τεχνικές απομάκρυνσης των ρύπων από τα απαέρια καύσης.

Ένας μεγάλος αριθμός συσκευών έχει χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση των διοξινών και φουρανίων από την αέρια φάση που περιλαμβάνουν ηλεκτροστατικά φίλτρα, πλυντρίδες, σακκόφιλτρα, προσθήκη προσροφητικών μέσων όπως ζεόλιθοι και ενεργοί άνθρακες. Ένα σύστημα που παρουσιάζει σημαντικό βαθμό κατακράτησης τοξικών ρύπων, περίπου 95%, περιλαμβάνει πλυντρίδα και σακκόφιλτρο πριν από το οποίο γίνεται προσθήκη ενεργού άνθρακα. Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος είναι εύκολη προσαρμογή σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις και δυνατότητα ευελιξίας ανάλογα με τις συνθήκες με κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας. Τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν μεταφορά των ρύπων από την αέρια φάση στη στερεή (προσροφητικό μέσο) και υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Μια άλλη τεχνική αποτελεί η καταλυτική διάσπαση παρουσία οξειδωτικών ή αναγωγικών καταλυτών αν και η αποδοτικότητα της τεχνικής αυτής δεν έχει αποδειχθεί σε θερμοκρασίες περίπου 200°C .

Τεχνικές της πρωτοβάθμιας κατηγορίας αποσκοπούν κυρίως στη μείωση των διοξινών και φουρανίων πριν από τη δημιουργία τους και περιλαμβάνουν ελάττωση του χρόνου παραμονής των απαερίων σε θερμοκρασίες μεταξύ 200 και 450°C με ταχεία ψύξη των απαερίων, διαχωρισμό της ιπτάμενης τέφρας (και επομένως των καταλυτικών σωματιδίων) από τα απαέρια πριν από την "κρίσιμη" ζώνη, μείωση του χρόνου παραμονής των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας στα τοιχώματα του εναλλάκτη θερμότητας με κατάλληλους φυσητήρες, βελτιστοποίηση των συνθηκών λειτουργίας ώστε να συμβαίνει πλήρης καύση, προσθήκη ορισμένων ουσιών και δημιουργία αλκαλικού περιβάλλοντος στην

"κρίσιμη" περιοχή έτσι ώστε να λάβει χώρα αναστολή των μηχανισμών σχηματισμού τοξικών ρύπων.

Η εφαρμογή των σύγχρονων τεχνολογιών σε εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από τέτοιες μονάδες. Κατά τη διάρκεια μιας μελέτης που εκπονήθηκε για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης και περιελάμβανε τη μέτρηση των διοξινών και φουρανίων σε διάφορες παραγωγικές μονάδες σε ευρωπαϊκές χώρες, σε δύο περιόδους το 1995 και το 2000, βρέθηκε ότι γενικά οι εκπομπές των τοξικών αυτών ρύπων είχαν μειωθεί σημαντικά μεταξύ των δύο χρονολογιών. Ειδικότερα είχε επισημανθεί ότι οι εκπομπές από εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων είχαν ελαττωθεί κατά 90%, εξαιτίας της εφαρμογής πιο αυστηρών ορίων αλλά και της εγκατάστασης νέων τεχνολογιών επεξεργασίας των απαερίων. Από τη μελέτη αυτή φάνηκε ότι σημαντικές πηγές των τοξικών ρύπων αποτελούσαν οι μονάδες τήξης σιδήρου, οι αποτεφρωτήρες ιατρικών αποβλήτων, ενώ σημαντική ήταν και η συμμετοχή από μη-βιομηχανικές πηγές (π.χ. πυρκαγιές από ανεξέλεγκτες χωματερές, κίνηση οχημάτων, οικιακή καύση κ.λπ.).

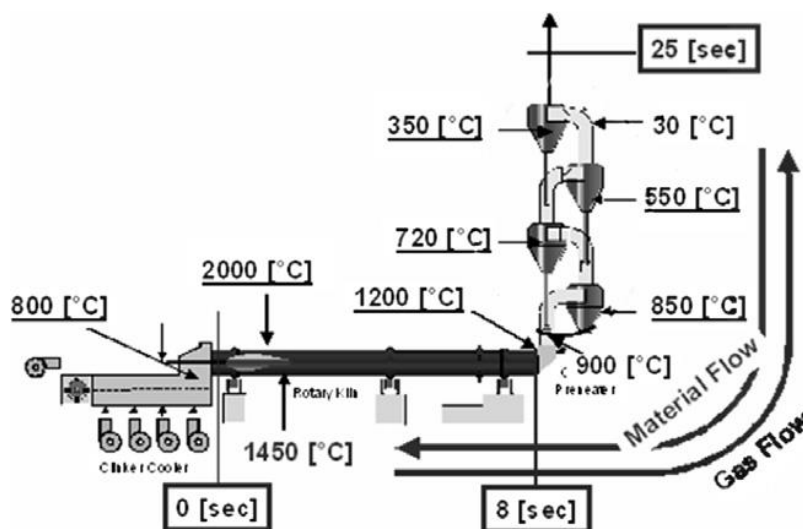
Συνοψίζοντας, η ενεργειακή αξιοποίηση των στερεών απορριμμάτων αποτελεί μια ελκυστική μέθοδο διαχείρισης, η οποία σήμερα, με την εφαρμογή των σύγχρονων τεχνικών καύσης και επεξεργασίας των απαερίων, παρουσιάζει επιπλέον το πλεονέκτημα της ελάχιστης παραγωγής ρύπων. Παράλληλα, η επιβολή αυστηρών ορίων για τις συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων αλλά και η ανάπτυξη εξειδικευμένων τεχνικών δειγματοληψίας και ανάλυσης αυτών των ουσιών μπορεί να εξασφαλίσει μηδενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη λειτουργία αυτών των μονάδων.

5.3.5 Εκπομπές διοξινών από την τσιμεντοβιομηχανία

Η παραγωγή του τσιμέντου περιλαμβάνει διεργασίες όπως η θέρμανση, φρύξη και σύντηξη των πρώτων υλών που είναι συνήθως ασβεστόλιθος, σχιστόλιθος και άλλα υλικά για να σχηματιστεί το κλίνκερ. Η θέρμανση του κλίνκερ λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασία υλικού 1450°C σε κεκλιμένους περιστρεφόμενους κυλίνδρους επενδυμένους με ανθεκτικά στη θερμότητα τούβλα. Μετά την ψύξη, το κλίνκερ αλέθεται με μικρή ποσότητα γύψου για να δώσει τον πιο κοινό τύπο τσιμέντου, το τσιμέντο Πόρτλαντ.

Στη διαδικασία παραγωγής κλίνκερ είναι απαραίτητο να διατηρηθούν θερμοκρασίες περίπου 1450°C για να διασφαλιστεί η απαιτούμενη αντίδραση σύντηξης. Επιπλέον, το κλίνκερ πρέπει να θερμανθεί τυπικά υπό οξειδωτικές συνθήκες και για το λόγο αυτό απαιτείται 2-4% περίσσεια οξυγόνου κατά την θέρμανση. Λόγω αυτών των απαιτήσεων ένας σύγχρονος περιστροφικός κλίβανος τσιμέντου έχει πολλά χαρακτηριστικά που τον καθιστούν ιδανικό για συνεπεξεργασία στερεών αποβλήτων όπως υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλος χρόνος παραμονής, περίσσεια σε οξυγόνο κατά τη διάρκεια και μετά την καύση, καλές συνθήκες

ανάμιξης, καθαρισμό των απαερίων με αλκαλικές ύλες, σταθεροποίηση βαρέων μετάλλων στη δομή του κλίνκερ, μειωμένη παραγωγή υποπροϊόντων όπως σκωρία, στάχτες ή υγρά κατάλοιπα και πλήρης ανάκτηση ενέργειας και πρώτων υλών από τα απόβλητα (Σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3: Θερμοκρασίες και χρόνος παραμονής αερίων σε κλίβανο με προθερμαντήρα τεσσάρων σταδίων (Kartsensen, 2008)

Παλιότερες μελέτες σχετικά με εκπομπές από τσιμεντοκλιβάνους έδιναν υψηλές συγκεντρώσεις διοξινών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που γινόταν τροφοδοσία εναλλακτικών καυσίμων. Οι Brzuzny and Hites (1996) υπολόγισαν τη συνολική ετήσια εκπομπή PCDD / PCDF στον αέρα από τσιμεντοκλιβάνους σε 3000 ± 600 kg. Οι εκπομπές από τσιμεντοβιομηχανίες έφταναν σε 4160 μg / τόνο τσιμέντο και 320 μg / τόνο τσιμέντο, αντίστοιχα, με τροφοδοσία και χωρίς τροφοδοσία εναλλακτικών καυσίμων. Αργότερα, το 1999, οι εκπομπές υπολογίστηκαν από το Τμήμα Περιβάλλοντος του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (UNEP) στα 2699 και 200 μg TEQ / τόνο, αντίστοιχα, ενώ παράλληλες ανάλογες μελέτες έγιναν στην Ιταλία, τη Ρωσία αλλά και την Ταϊβάν (Caserini, και Monguzzi, 2002, Kucherenko et al., 2001, Chen, 2004). Από αυτές τις μετρήσεις εκτιμήθηκε ότι η συμβολή της βιομηχανίας τσιμέντου κυμαινόταν από 5% έως τη χειρότερη περίπτωση 59% των συνολικών εκπομπών διοξινών σε παγκόσμια κλίμακα (Brzuzny and Hites, 1996).

Πιο πρόσφατες μελέτες που βασίζονται σε πραγματικές μετρήσεις, έδειξαν σημαντικά χαμηλότερους συντελεστές εκπομπών που αποτελούν λιγότερο από περίπου 0,5% των συνολικών εκπομπών. Οι Fabrellas et al. (2004) υπολόγισαν εκπομπές διοξινών στα 0,014464 μg I-TEQ / τόνο τσιμέντου από τσιμεντοβιομηχανία στην Ισπανία, ενώ οι αντίστοιχες τιμές στις Χώρες της Βαλτικής εκτιμήθηκαν σε 0,2 μg TEQ / τόνο (Kakareka, 2002)

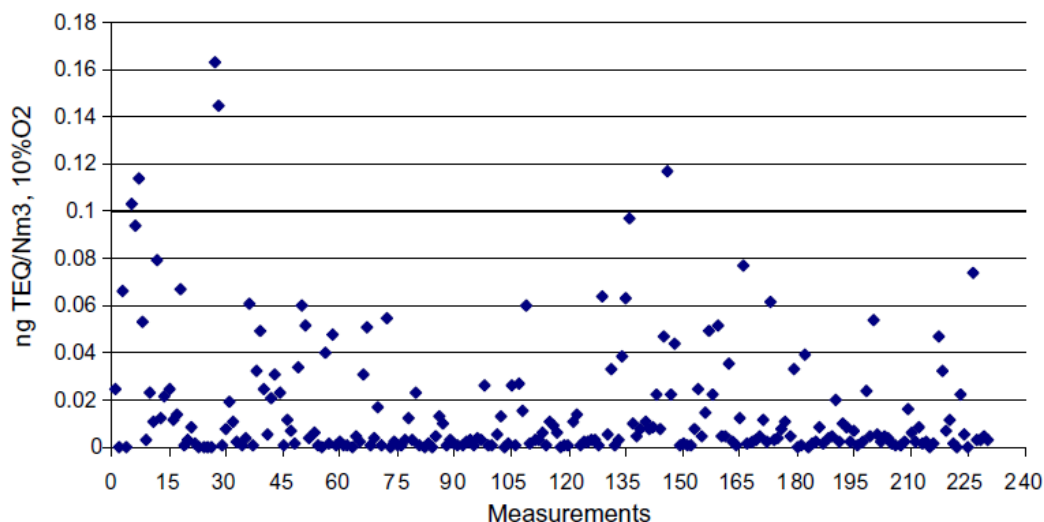
Εναλλακτικά καύσιμα και πρώτες ύλες (AFR) που προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες όπως ελαστικά, χρησιμοποιημένα λιπαντικά, πλαστικά, διαλύτες και πολλά άλλα χρησιμοποιούνται συνήθως από τη βιομηχανία τσιμέντου ως υποκατάστατο καυσίμων

από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 (Karstensen, 2006). Η επίδραση στις εκπομπές και την ποιότητα του προϊόντος όταν χρησιμοποιούνται εναλλακτικά καύσιμα στην παραγωγή κλίνκερ έχουν διερευνηθεί και παρουσιαστεί σε ένα μεγάλο αριθμό εργασιών. Από μελέτες σχετικά με την επίδραση στις εκπομπές των PCDD / PCDF κατά την τροφοδοσία διαφορετικών εναλλακτικών καυσίμων σε κλιβάνους τσιμεντοβιομηχανίας δε φάνηκε κάποια συσχέτιση ανάμεσα στο υλικό και τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις τοξικών ρύπων, όπως συνοπτικά φαίνεται από τα αποτελέσματα που δίνονται στον Πίνακα 5.3.

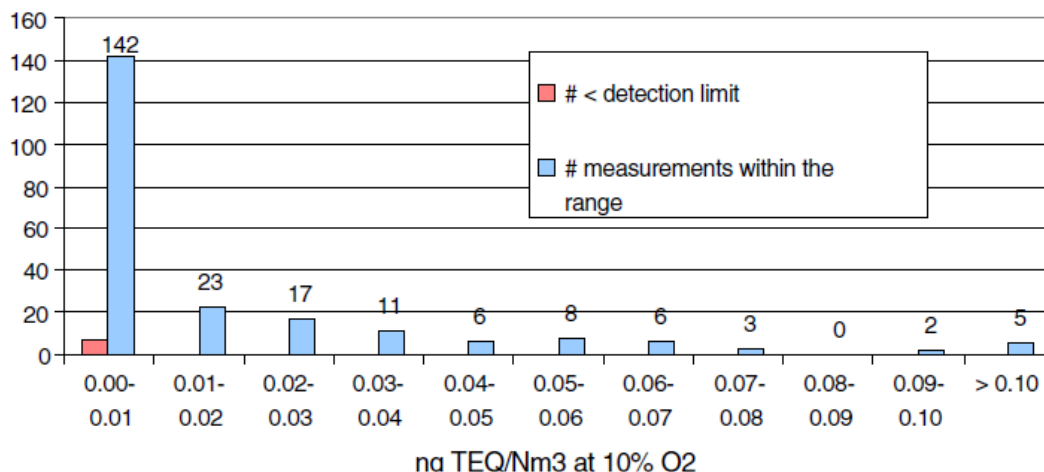
Πίνακας 5.3: Εναλλακτικά καύσιμα σε κλιβάνους τσιμεντοβιομηχανίας και εκπομπές PCDD/PCDF (μοναδιαίες τιμές ή μέσοι όροι, Karstensen, 2006)

Εναλλακτικό καύσιμο	ng I-TEQ/m ³
Πλαστικά, υφάσματα και ζωοτροφές	0,0025
Ζωοτροφές και εμποτισμένο πριονίδι	0,0033
Άνθρακας, πλαστικά και ελαστικά	0,0021-0,0041
Ελαστικά	0,002-0,006
Pet coke, πλαστικά και απορριπτόμενα έλαια	0,001
Pet coke, ελαιόσποροι και απορριπτόμενα έλαια	0,0012
Τεμαχισμένα ελαστικά	0,004-0,021
Εμποτισμένο πριονίδι και διαλύτες	0,00003-0,00145
Διαλύτες	0,00029-0,00057
Λάσπες	<0,011
Απόβλητα αυτοκινήτων	0,0036-0,07

Από την άλλη μεριά η Ευρωπαϊκή Ένωση Τσιμέντου ανέφερε 230 μετρήσεις PCDD / PCDF από 110 τσιμεντοκλιβάνους σε 11 χώρες το 2003 (van Loo, 2004). Οι χώρες που διενεργήθηκε η μελέτη αυτή περιελάμβαναν το Βέλγιο, τη Δημοκρατία της Τσεχίας, Δανία, Γαλλία, Γερμανία, Ουγγαρία, Ιταλία, Νορβηγία, Ισπανία, Κάτω Χώρες και Ηνωμένο Βασίλειο, χώρες όπου εφαρμόζεται η εισαγωγή εναλλακτικών καυσίμων σε κλιβάνους. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι η μέση συγκέντρωση ήταν 0,017 ng I-TEQ / m³ όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.4 και 5.5. Οι χαμηλότερες και υψηλότερες συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν ήταν <0,001 και 0,163 ng I-TEQ / m³, αντίστοιχα. Συνολικά, στο 98% των 230 κλιβάνων είχαν μετρηθεί συγκεντρώσεις κάτω των 0,1 ng TEQ / m³ ενώ η πλειονότητα των κλιβάνων είχε ως αποτέλεσμα εκπομπές με συγκεντρώσεις χαμηλότερες ακόμα και από 0,01 ng TEQ / m³.



Σχήμα 5.4: Αποτελέσματα εκπομπών διοξινών σε 230 κλιβάνους και 11 χώρες (van Loo, 2004)



Σχήμα 5.5: Κατανομή εκπομπών διοξινών από 230 μετρήσεις (van Loo, 2004)

Οι πολύ χαμηλές εκπομπές PCDD / PCDF από τσιμεντοκλιβάνους, ανεξάρτητα από τον τύπο καυσίμου που χρησιμοποιείται, μπορεί να αποδοθούν στις υψηλές θερμοκρασίες και τη μακρά παραμονή εντός του κλιβάνου (Karstensen, 2004). Ακόμα κι αν δεν αποκλειστεί εντελώς η δυνατότητα να σχηματίζονται άκαυστες ενώσεις και πρόδρομες ενώσεις για το σχηματισμό διοξινών, αυτές οι πηγές είναι συνήθως μικρής σημασίας σε σύγκριση με την περιεκτικότητα σε οργανικά στην πρώτη ύλη. Τα οργανικά που περιέχονται στην πρώτη ύλη, θα εξατμιστούν στον προθερμαντήρα και θα φτάσουν στο ρεύμα των αερίων. Παράλληλα, φαίνεται ότι σε αρκετά από τα εναλλακτικά καύσιμα υπάρχει χλώριο, σε διαφορετικές μορφές, το οποίο στις θερμοκρασίες λειτουργίας στον προθερμαντήρα και τον μεταθερμαντήρα θα διατίθεται για αντιδράσεις στην επιφάνεια σωματιδίων προς δημιουργία διοξινών.

Η περιοχή προθέρμανσης ενός τσιμεντοκλιβάνου είναι μοναδική, με κλίσεις θερμοκρασίας που κυμαίνονται από περίπου 250 έως 850°C, με μεγάλες παροχές αερίων και χρόνο παραμονής έως 25 δευτερόλεπτα. Στις συνθήκες αυτές διατίθενται άφθονα σωματίδια στην επιφάνεια των οποίων λαμβάνουν χώρα ετερογενείς καταλυόμενες αντιδράσεις και de novo σύνθεση διοξινών. Τα κατώτερα μέρη του προθερμαντήρα μπορεί να προσφέρονται επίσης για σχηματισμό διοξινών μέσω πρόδρομων ενώσεων. Επιπλέον, οι αποθέσεις στα τοιχώματα των διατάξεων μπορεί να παίζουν σημαντικό ρόλο για τη δημιουργία διοξινών ακόμα και αν οι συνθήκες είναι τέτοιες που δεν είναι ευνοϊκές για το σχηματισμό τους (memory effects).

Οι σύγχρονοι ξηροί κλίβανοι με προθερμαντήρα φαίνεται ότι έχουν ως αποτέλεσμα την έκλυση χαμηλότερων εκπομπών από τα συστήματα όπου εφαρμόζεται η υγρή διεργασία παραγωγής τσιμέντου. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε δύο κύριες διαφορές μεταξύ τα δύο συστημάτων: η χαμηλότερη θερμοκρασία των συστημάτων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας σε ξηρά συστήματα και η απουσία ξηραντηρίου με ξηρή άλεση σε υγρά συστήματα. Ο τρόπος λειτουργίας ενός ξηρού συστήματος στηρίζεται σε απαγωγή των θερμών απαερίων από τον κλίβανο και τον προθερμαντήρα και την τροφοδοσία του στον ξηραντήρα άλεσης, έτσι ώστε να ξηραίνονται οι πρώτες ύλες, πριν το ρεύμα αυτό οδηγηθεί στο σύστημα αντιρρυπαντικής τεχνολογίας.

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας συμβάλλει στη δημιουργία χαμηλών εκπομπών τόσο λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας των απαερίων όσο και λόγω προσρόφησης μέρους των διοξινών στην αέρια φάση. Αντίθετα, σε συστήματα όπου δε λαμβάνει χώρα ταχεία μείωση της θερμοκρασίας στο εύρος 200-400°C οι συνθήκες είναι ιδανικές για την de novo σύνθεση διοξινών. Επιπλέον, η παρουσία διοξινών στις αρχικές πρώτες ύλες μπορεί να μειωθεί στα απαέρια με την προσθήκη αλκαλικών και θειούχων ενώσεων στα ανώτερα τμήματα του κλιβάνου ή στα κατώτερα του προθερμαντήρα. Οι ενώσεις αυτές έχει αποδειχθεί ότι παρεμποδίζουν το σχηματισμό των διοξινών και συνήθως αναμένεται μια αντίστροφη σχέση ανάμεσα στις εκπομπές διοξειδίου του θείου στα απαέρια και συγκεντρώσεων σε διοξίνες (Mukherjee et al., 2016).

Σε μια μεταγενέστερη μελέτη, αξιολογήθηκαν περισσότερες από 2000 μετρήσεις PCDD / PCDF σε κλιβάνους παρουσία και απουσία εναλλακτικών καυσίμων (Karstensen, 2008). Τα δεδομένα της μελέτης αυτής έδειξαν γενικά ότι οι περισσότεροι σύγχρονοι κλίβανοι τσιμέντου έχουν εκπομπές που ικανοποιούν το όριο των 0,1 ng I-TEQ / m³ και ότι η σωστή και υπεύθυνη χρήση αποβλήτων για την αντικατάσταση μέρους του ορυκτού καυσίμου δεν είναι σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το σχηματισμό PCDD / PCDF.

Οι σύγχρονοι κλίβανοι με προθερμαντήρα φαίνεται να έχουν χαμηλότερες εκπομπές από τις παλαιότερες εγκαταστάσεις χωρίς προθέρμανση, αλλά ο κύριος παράγοντας που συμβάλλει στον σχηματισμό PCDD / PCDFs φαίνεται να είναι η διαθεσιμότητα οργανικών και προδρόμων ενώσεων στην πρώτη ύλη και η θερμοκρασία λειτουργίας της αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Τροφοδοσία υλικών που περιέχουν αυξημένες συγκεντρώσεις οργανικών δε

συνίσταται, ενώ η ταχεία ψύξη των απαερίων αποτελεί την βέλτιστη τεχνική για την μείωση του σχηματισμού διοξινών.

5.4 Αέριες εκπομπές και Διασπορά αέριων ρύπων

Οι αέριες εκπομπές που προκύπτουν κατά την παραγωγή τσιμέντου υπόκεινται στο αυστηρό ρυθμιστικό και ελεγκτικό πλαίσιο της Οδηγίας για τις Βιομηχανικές Εκπομπές της Ευρωπαϊκής Ένωσης (IED2010/75/ΕΕ, ΚΥΑ 36060/1133/2015). Η ελληνική τσιμεντοβιομηχανία λειτουργεί σε πλήρη συμμόρφωση με τα νέα, αυστηρότερα όρια εκπομπών που η Ευρώπη έχει ορίσει από τον Μάρτιο 2017.

Στη βάση της μελέτης: «Εκτίμηση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων και προσομοίωση της διασποράς τους στην περιοχή γύρω από το εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντων της εταιρίας TITAN στη Θεσσαλονίκη για διαφορετικά σενάρια μίγματος»⁹ (ΕΜΘΠΜ, 2019) διαπιστώνεται ότι η επιβάρυνση του εργοστασίου για το σύνολο των εξεταζόμενων σεναρίων υποκατάστασης του συμβατικού καυσίμου (Pet coke) με το εναλλακτικό καύσιμο SRF (το οποίο πληροί τις απαιτήσεις του EN 15359:2011) είναι συγκριτικά μικρότερη. Πιο συγκεκριμένα, η υποκατάσταση του συμβατικού καυσίμου με εναλλακτικά καύσιμα (στη βάση των σεναρίων ποσόστωσης που περιγράφονται) οδηγεί σε μείωση της συνεισφοράς της μονάδας στα επίπεδα των συγκεντρώσεων των αερίων ρύπων στην ευρύτερη περιοχή.

Πίνακας 5.4: Οριακές τιμές εκπομπών στην Οδηγία για τις Βιομηχανικές Εκπομπές της ΕΕ (2010/75/ΕΕ)¹⁰

Ρύπος	Οριακές τιμές με εναλλακτικά καύσιμα προ 26.03.2017 C (mg/Nm ³)	Επικαιροποιημένες τιμές με βάση την IED, Άρθρο 15 (26.03.2017) C (mg/Nm ³)
Ολικός κονιορτός	30	20
HCl	10	10
HF	1	1
NO _x για υφιστάμενες μονάδες NO _x για νέες μονάδες	800 500 ⁽¹⁾	500
Cd + Tl	0,05	0,05

⁹ Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, 2019. Εκτίμηση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων και προσομοίωση της διασποράς τους στην περιοχή γύρω από το εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντων της εταιρίας TITAN στη Θεσσαλονίκη για διαφορετικά σενάρια μίγματος (Μουσιόπουλος Ν., Τσέγας Γ., Χουρδάκης Ε.)

¹⁰ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=EL>

Διοξίνες και φουράνια	10^{-7}	10^{-7}
Hg	0,05	0,05
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5	0,5

(1) Για την εφαρμογή των οριακών τιμών εκπομπών NO_x , οι τσιμεντοκλίβανοι που λειτουργούν και έχουν λάβει άδεια σύμφωνα με την ισχύουσα κοινοτική νομοθεσία και οι οποίοι άρχισαν να συναποτεφρώνουν απόβλητα μετά την 28 Δεκεμβρίου 2004 δεν θεωρούνται νέες μονάδες.

6 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΤΙΤΑΝ ΕΥΚΑΡΠΙΑΣ

Σύμφωνα με τη ΜΠΕ για την τροποποίηση περιβαλλοντικών όρων, τα μέτρα που προβλέπονται για τη μείωση/αντιμετώπιση των εκπομπών περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Υψηλή θερμοκρασία εντός του κλιβάνου που φτάνει στους $2000^{\circ}C$, περίσσεια αέρα και μεγάλος χρόνος παραμονής, με αποτέλεσμα την πλήρη καύση των οργανικών ενώσεων και τη διάσπαση τυχόν ενώσεων του χλωρίου, οι οποίες στη συνέχεια απομακρύνονται από την αέρια φάση και κατακρατούνται εντός του τελικού προϊόντος.
2. Δημιουργία έντονα αλκαλικού περιβάλλοντος εντός του κλιβάνου λόγω της παρουσίας οξειδίων των αλκαλίων που βρίσκονται στην πρώτη ύλη (K_2O και Na_2O) αλλά και οξειδίου του ασβεστίου (CaO) που παράγεται από τη διάσπαση του ανθρακικού ασβεστίου. Οι αλκαλικές συνθήκες έχει διαπιστωθεί ότι παρεμποδίζουν το σχηματισμό διοξινών και φουρανίων, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στη δέσμευση ενώσεων του θείου και του χλωρίου.
3. Ταχεία ψύξη των απαερίων σε θερμοκρασία περίπου $120^{\circ}C$, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ελάχιστος χρόνος παραμονής, 1-2 s, στη θερμοκρασιακή περιοχή των $200-400^{\circ}C$, όπου λαμβάνει χώρα δημιουργία των διοξινών.

Τα ως άνω μέτρα σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία θεωρούνται κατάλληλα για τη παραγωγή μειωμένων εκπομπών στο περιβάλλον και εκτιμάται ότι, σε συνδυασμό με τη συνεχή έλεγχο της ποιότητας των εισερχόμενων εναλλακτικών καυσίμων, θα συμβάλλουν σε σχεδόν μηδενικές εκπομπές τοξικών αερίων.

Προς αυτήν την κατεύθυνση και με δεδομένο ότι η τσιμεντοβιομηχανία στη βάση της Εθελοντικής Συμφωνίας Συνεργασίας¹¹ υποχρεούται να ενισχύσει τους ελέγχους και τις

¹¹ ΥΠΕΝ-ΕΤΕ, 2019 Εθελοντική Συμφωνία Συνεργασίας: «Για την αξιοποίηση δευτερογενών καυσίμων από την τσιμεντοβιομηχανία, στο πλαίσιο της βιομηχανικής συμβίωσης και της κυκλικής οικονομίας
Ομάδα Εργασίας,
ΤΕΕ/ΤΚΜ

μετρήσεις των αέριων ρύπων των εργοστασίων που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα (SRF/RDF) μέσω:

- Δημιουργίας ανοιχτής πλατφόρμας (με ευθύνη της ΕΤΕ) online καταγραφής 7 αέριων ρύπων (Σκόνη, NO_x, SO₂, TOC, NH₃, HCl, HF), με ελεύθερη πρόσβαση, ώστε ο κάθε πολίτης να μπορεί να συγκρίνει τις εκπομπές αέριων ρύπων κάθε εργοστασίου με τις ημερήσιες οριακές τιμές όπως αυτές ορίζονται στην εθνική νομοθεσία.
- Μετρήσεων διοξειδίων και φουρανίων με δώδεκα δειγματοληψίες ανά κλίβανο, σε ετήσια βάση (αντί για 2/έτος που προβλέπεται από την νομοθεσία) μέσω διαπιστευμένου κατά EN 17025 εργαστηρίου με δημοσιοποίηση τους στην ανοιχτή πλατφόρμα καταγραφής αέριων ρύπων.

κρίνεται ως μια πρακτική που είναι δυνατόν να συμβάλλει προς την κατεύθυνση υιοθέτησης των αρχών της κυκλικής οικονομίας και στην ανάπτυξη δράσεων βιομηχανικής συμβίωσης.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα μέτρα που προβλέπονται για την τροποποίηση των περιβαλλοντικών όρων της λειτουργίας του εργοστασίου TITAN στην Ευκαρπία Θεσσαλονίκης, ώστε να αξιοποιηθεί υλικό SRF (κωδικός ΕΚΑ 19 12 10, ανακτώμενο στερεό καύσιμο - απορριμματογενές), ως εναλλακτικό καύσιμο, κρίνονται επαρκή.

Ωστόσο, προκειμένου να διασφαλιστεί πλήρως η ελάχιστη περιβαλλοντική επίπτωση από τη λειτουργία της εγκατάστασης με εναλλακτικά καύσιμα, θα πρέπει να προβλεφθεί η εγκατάσταση ενός συστήματος συνεχούς δειγματοληψίας το οποίο θα προσφέρει τη δυνατότητα παρακολούθησης των εκπομπών σε ετήσια βάση. Ανάλογο σύστημα έχει ήδη εγκατασταθεί σε παρόμοιες μονάδες (τσιμεντοβιομηχανία ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ, Βόλος) όπου προβλέπεται η συνεχής δειγματοληψία από τα απαέρια για χρονικό διάστημα 1 μήνα, που επαναλαμβάνεται 12 φορές το έτος, έτσι ώστε συνολικά να καλύπτεται περίοδος ενός έτους.

Επίσης προτείνεται να συντάσσει η εταιρεία, ανά τέσσερα έτη, αντί των δέκα ετών που προβλέπει η εθνική νομοθεσία, μελέτη διασποράς αέριων ρύπων, η οποία και θα δημοσιοποιείται.

Σχετικά με την ποιότητα του εισερχόμενου SRF θεωρείται απαραίτητη η εφαρμογή δειγματοληψίας και ανάλυσης του υλικού σε κάθε εισερχόμενο φορτίο, προκειμένου να διαπιστώνεται η συμφωνία με τις προβλεπόμενες από τα πρότυπα προδιαγραφές ποιότητας. Επιπρόσθετα, προτείνεται να δίνεται στον Δήμο Παύλου Μελά η δυνατότητα να λαμβάνει δείγματα του εισερχόμενου SRF/RDF και να πραγματοποιεί μετρήσεις, ακολουθώντας κατάλληλα πρότυπα δειγματοληψίας και ανάλυσης.

Τέλος, είναι αναγκαίο να συνεχίσει την αδιάλειπτη λειτουργία της η ηλεκτρονική πλατφόρμα που υλοποίησε ήδη η TITAN A.E. στην οποία μπορεί να έχει πρόσβαση κάθε φορέας και μεμονωμένος πολίτης. Η πλατφόρμα να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον on line καταγραφή των αερίων ρύπων και ενσωμάτωση των καταγραφών, προσθήκη των αποτελεσμάτων των αναλύσεων από τις δειγματοληψίες διοξινών και φουρανίων και των αποτελεσμάτων των αναλύσεων από τις δειγματοληψίες των εισερχόμενων εναλλακτικών καυσίμων.

ΠΗΓΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Addink, M. and Olie, K. (1995). Mechanisms of Formation and Destruction of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in Heterogeneous Systems, *Environmental Science and Technology*, 29(6), 1425.
2. Brzuzny, L.P., Hites, R.A. (1996). Global mass balance for polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans, *Environ. Sci. Technol.* 30 (6), 1797.
3. Caserini, S., Monguzzi, A.M. (2002). PCDD/PCDFs emissions inventory in the Lombardy Region: results and uncertainties. *Chemosphere* 48, 779.
4. Chen, C.M. (2004). The emission inventory of PCDD/PCDF in Taiwan, *Chemosphere* 54, 1413.
5. Fabrellas, B., Larrazaba, D., Martinez, A., Sanz, P., Ruiz, M.L., Abad, E., Rivera, J. (2004). Global assessment of PCDD/PCDF emissions from the Spanish cement sector. Effect of conventional/alternative fuels, *Organohalogen Compd.*, 66.
6. Hung, P. C., Chang, S. H., Buekens, A., Chang, M. B. (2016). Continuous sampling of MSWI dioxins, *Chemosphere*, 145, 119.
7. Kakareka, S.V. (2002). Sources of persistent organic pollutants emission on the territory of Belarus, *Atmos. Environ.* 36, 1407.
8. Karstensen, K. H. (2006). Formation and release of POPs in the cement industry. Germany: World Business Council for Sustainable Development.
9. Karstensen, K. H. (2008). Formation, release and control of dioxins in cement kilns. *Chemosphere*, 70(4), 543–560.
10. Kucherenko, A.V., Klyuev, N.A., Yufit, S.S., Cheleptchikov, A.A., Brodskij, E.S. (2001). Study of dioxin sources in Krasnoyarsk, Russia. *Organohalogen Compd.* 50, 459.
11. McKay, G. (2002). Dioxin characterisation, formation and minimisation during municipal solid waste (MSW) incineration: review, *Chemical Engineering J.*, 86, 343.
12. Mukherjee, A., Debnath, B., Ghosh, S. C. (2016). A Review on Technologies of Removal of Dioxins and Furans from Incinerator Flue Gas, *Procedia Environmental Sciences* 35, 528.
13. Pulles, T., Kok, H., Quass, U. (2006). Application of the emission inventory model TEAM: Uncertainties in dioxin emission estimates for central Europe, *Atmospheric Environment*, 40, 2321.
14. Reinmann, J. (2012). 15 Years Continuous Emission Monitoring of Dioxins Experiences and Trends, www.envirotech-online.com, April-May 2012.

16. Van Loo, W. (2004). European PCDD/PCDF data from the cement industry. CEMBUREAU – The European Cement Association, 55, rue d’Arlon – B-1040 Brussels.
17. Κατσανεβάκης Ι., Μαλαμάκης Α., Περκουλίδης Γ., Τσατσαρέλης Θ., 2010. Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας – Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Ομάδα Εργασίας, Μάρτιος.
18. Benhelal E., Zahedi G., Shamsaei E., Bahadori A. (2013) Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement industry. *Journal of Cleaner Production*, Volume 51, pp. 142-161.
19. Chen C., Habert G., Bouzidi Y., Jullien A. (2010) Environmental impact of cement production: Detail of the different processes and cement plant variability evaluation. *Journal of Cleaner Production*, Volume 18, pp. 478-485.
20. Chen W., Hon J., Xu C. (2015) Pollutants generated by cement production in China, their impacts, and the potential for environmental improvement. *Journal of Cleaner Production*, Volume 103, pp. 61-69.
21. Dondur N., Jovović A., Spasojević-Brkić V., Radić D., Obradović M., Todorović D., Josipović S., Stanojević M. (2015) Use of Solid Recovered Fuel (SRF) in cement industry – economic and environmental implications. *Journal of Applied Engineering Scienc*, Volume 13, Issue 4, pp. 307-315.
22. Habert G., Billard C., Rossi P., Chen C., Roussel N. (2010) Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives. *Cement and Concrete Research*, Volume 40, pp. 820-826.
23. Kara M. (2012) Environmental and economic advantages associated with the use of RDF in cement kilns. *Resources Conservation & Recycling*, Volume 68, pp. 21-28.
24. Li C., Nie Z., Cui S., Gong X., Wang Z. (2014) The life cycle inventory study of cement manufacture in China. *Journal of Cleaner Production*, Volume 72, pp. 204-211.
25. Reza B., Soltani A., Ruparathna R., Sadiq R., Hewage K. (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 & Recycling*, Volume 81, pp. 105-114.
26. Samolada M.C., Zabaniotou A.A. (2014) Energetic valorization of SRF in dedicated plants and cement kilns and guidelines for application in Greece and Cyprus. *Resources Conservation & Recycling*, Volume 83, pp. 34-43.
27. Strazza C., Del Borghi A., Gallo M., Del Borghi M. (2011) Resource productivity enhancement as means for promoting cleaner production: analysis of co-incineration in

cement plants through a life cycle approach. *Journal of Cleaner Production*, Volume 19, pp. 1615-1621.

28. Supino S., Malandrino O., Testa M., Sica D. (2016) Sustainability in the EU cement industry: the Italian and German experiences. *Journal of Cleaner Production*, Volume 112, Part 1, pp 430-442.