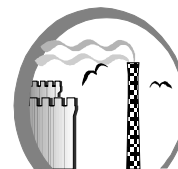


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VIII

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ (ΔΕΚ 2019)



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
Δ/ΝΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΟΥΣΙΟΠΟΥΛΟΣ



**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ
ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ
ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ ΤΙΤΑΝ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

Καθ. Ν. Μουσιόπουλος (υπεύθυνος ομάδας μελέτης),

Δρ. Γ. Τσέγας, Δρ. Ελ. Χουρδάκης

Δεκέμβριος 2019

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη περιλαμβάνει τη διερεύνηση και ποσοτικοποίηση της επίπτωσης στην ποιότητα αέρα από την πρακτική χρήση νέων μιγμάτων εναλλακτικών καυσίμων στη μονάδα της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN στη Θεσσαλονίκη.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών που διενεργήθηκαν οδηγούν στο συμπέρασμα ότι κατά τη χρήση τόσο των υφιστάμενων όσο και των νέων μιγμάτων εναλλακτικών με συμβατικό καύσιμο, η μονάδα δεν έχει επιβαρυντική επίδραση στην ποιότητα αέρα της γύρω περιοχής. Υπό ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες, μοναδική εξαίρεση αποτελεί το NO₂, για το οποίο μπορεί να προκύψει παροδική επιβάρυνση, χωρίς αυτή να οδηγεί σε υπέρβαση τεθειμένων ορίων. Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων οδηγεί γενικά σε μείωση της συνεισφοράς της μονάδας στα επίπεδα συγκεντρώσεων ρύπων στη γύρω περιοχή, συμπεριλαμβανομένου του NO₂, και ως εκ τούτου κρίνεται περιβαλλοντικά συμφέρουσα.

Στη μελέτη που ακολουθεί, αρχικά γίνεται εκτίμηση των εκπομπών αερίων ρύπων, αερολυμάτων και βαρέων μετάλλων από τη λειτουργία της μονάδας, τόσο κατά τη χρήση υφιστάμενων μιγμάτων συμβατικού καυσίμου (petcoke) με εναλλακτικά καύσιμα, όσο και κατά τη χρήση δύο νέων σεναρίων μιγμάτων συμβατικού με εναλλακτικά καύσιμα.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται προσομοίωση της διασποράς των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων, αερολυμάτων και βαρέων μετάλλων στην περιοχή γύρω από το εργοστάσιο με χρήση του μαθηματικού μοντέλου AUSTAL.

Στη βάση της εκτίμησης αυτής, αποτιμάται αναλυτικά η συνεισφορά στην ποιότητα αέρα της λειτουργίας της μονάδας για σεναρία μιγμάτων καυσίμων, διερευνώνται οι προοπτικές υποκατάστασης των υφιστάμενων μιγμάτων με τα υπό εξέταση μίγματα και διατυπώνονται συγκεκριμένες προτάσεις για τη βέλτιστη λειτουργία της μονάδας και για τον αποτελεσματικό έλεγχο τήρησης των περιβαλλοντικών όρων.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	3
2. Μίγματα καυσίμων.....	4
3. Μεθοδολογία.....	5
4. Εκτίμηση εκπομπών αερίων ρύπων, αερολυμάτων και βαρέων μετάλλων.....	6
5. Διασπορά.....	10
6. Συμπεράσματα.....	22
7. Βιβλιογραφία.....	25

1. Εισαγωγή

Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στη βιομηχανία τσιμέντου έχει καθιερωθεί τα τελευταία 40 χρόνια στις περισσότερες από τις ανεπτυγμένες χώρες, με πρωταγωνιστές κυρίως τις Ιαπωνία, Ελβετία, Η.Π.Α., Βέλγιο, Γερμανία, Τσεχία, Πολωνία, Σουηδία, ΗΒ και Γαλλία. Στο πλαίσιο της διερεύνησης των δυνατοτήτων εναρμόνισης της παραγωγικής διαδικασίας της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN με τις πρακτικές που ακολουθούνται σε διεθνές και ευρωπαϊκό επίπεδο σε αντίστοιχες παραγωγικές διαδικασίες, πραγματοποιήθηκε μελέτη με αντικείμενο την ποσοτικοποίηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων και την αποτίμηση της επιβάρυνσης στην ποιότητα αέρα της ευρύτερης περιοχής από τη μονάδα της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN στη Θεσσαλονίκη, με βάση το υφιστάμενο μίγμα συμβατικών και εναλλακτικών καυσίμων και δύο νέα σενάρια χρήσης εναλλακτικών καυσίμων.

Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω ερευνητικές δραστηριότητες:

1. Ποσοτικοποίηση και αποτίμηση των εκπομπών αέριων ρύπων, αερολυμάτων και βαρέων μετάλλων από τη μονάδα, τόσο κατά τη χρήση υφιστάμενου μίγματος συμβατικού καυσίμου και εναλλακτικών καυσίμων, όσο και κατά τη χρήση δύο διαφορετικών μιγμάτων συμβατικού με εναλλακτικά καύσιμα.

Συγκεκριμένα διενεργήθηκαν:

- Σύγκριση των υφιστάμενων εκπομπών ελεγχόμενων ρύπων, όπως προκύπτουν από το σύστημα συνεχούς παρακολούθησης εκπομπών της μονάδας, με τα αναθεωρημένα νομοθετικά όρια.
- Συγκριτική αποτίμηση των μετρούμενων εκπομπών, ανά ελεγχόμενο ρύπο, με τις εκτιμήσεις εκπομπών προηγούμενης μελέτης που είχε εκπονηθεί για την ίδια μονάδα.
- Εκτίμηση των εκπομπών ελεγχόμενων ρύπων κατά την υφιστάμενη κατάσταση και για σενάριο χρήσης δύο νέων μιγμάτων καυσίμων με τη χρήση προσαρμοσμένων συντελεστών εκπομπής.

2. Αποτίμηση της επιβάρυνσης στην ποιότητα αέρα της ευρύτερης περιοχής με αριθμητική προσομοίωση της διασποράς νομοθετικά ελεγχόμενων ρύπων που εκλύονται από τη μονάδα και σύγκριση με τα νομοθετημένα όρια.

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης δραστηριότητας πραγματοποιήθηκαν:

- Υπολογισμοί διασποράς με βάση την ως άνω αναθεωρημένη αποτίμηση εκπομπών.
- Ενσωμάτωση στους υπολογισμούς διασποράς δεδομένων από το λεπτομερές τρισδιάστατο ανεμολογικό πεδίο μοντέλου μεσοκλίμακας MEMO.
- Στατιστική επικύρωση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών διασποράς βάσει μετρήσεων ποιότητας αέρα σταθμών παρακολούθησης.

Οι παραπάνω εργασίες πραγματοποιήθηκαν βάσει δύο σεναρίων αναφοράς και δύο σεναρίων χρήσης μιγμάτων συμβατικού με εναλλακτικά καύσιμα από την μονάδα παραγωγής, τα οποία περιγράφονται στην επόμενη ενότητα.

Οι εκτιμώμενες τιμές συγκρίνονται με τα όρια που προβλέπονται από την κείμενη νομοθεσία, η οποία καλύπτει τόσο την συνεπεξεργασία στην τσιμεντοβιομηχανία όσο και τις οδηγίες σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Πιο συγκεκριμένα, στο Παράρτημα II, παράγραφος II.1. «Ειδικές διατάξεις για τους τσιμεντοκλιβάνους που συναποτεφρώνουν απόβλητα» και στο Παράρτημα V της Οδηγίας 2010/75/EK ορίζονται οι οριακές τιμές για τις εκπομπές. Για την υφιστάμενη κατάσταση και τη χρήση μιγμάτων συμβατικού με εναλλακτικά καύσιμα τα όρια που προβλέπονται έχουν καθοριστεί από την άδεια έγκρισης περιβαλλοντικών όρων της μονάδας. Τα όρια για την ποιότητα αέρα καθορίζονται στην οδηγία 2008/50/EK για όλους τους ρύπους πλην των As, Cd, Νικαι Β(a)P, για τους οποίους οριακές τιμές προδιαγράφονται στην οδηγία 2004/107/EK.

2. Μίγματα καυσίμων

Τα μίγματα καυσίμων που μελετήθηκαν με την προοπτική χρήσης τους κατά την παραγωγική διαδικασία της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN συμπεριλαμβάνουν υποκατάσταση του συμβατικού καυσίμου petcoke κατά ένα ποσοστό από το εναλλακτικό καύσιμο Solid Recovered Fuel (SRF) (EKA 19 12 10). Πιο αναλυτικά, στις επόμενες παραγράφους εξετάζονται τα εξής σενάρια μίγματος καυσίμων κατά θερμική συμμετοχή:

- Σενάριο αναφοράς 1 (Baseline 1): Pet coke 90% - ASR/SRF 10%
- Σενάριο αναφοράς 2 (Baseline 2): Pet coke 70% - SRF 30%
- Σενάριο A: Petcoke 70% - SRF (EKA 19 12 10) 30%
- Σενάριο B: Petcoke 60% - SRF (EKA 19 12 10) 40%

Στη βάση των ως άνω σεναρίων μίγματος καυσίμων και με δεδομένες τις θερμογόνους δυνάμεις των εναλλακτικών καυσίμων είναι δυνατή η εκτίμηση του λόγου μάζας συμβατικού καυσίμου/εναλλακτικών καυσίμων σε κάθε μίγμα. Πιο αναλυτικά, η Κατωτέρα Θερμογόνος Δύναμη (ΚΘΔ) κάθε καυσίμου υπολογίστηκε από τον μέσο όρο των ΚΘΔ από 10 Lots, με βάση τα στοιχεία από το Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας της TITAN A.E.. Από τις αναλύσεις προκύπτει ότι για το petcoke η ΚΘΔ είναι ίση με 32,26 MJ/kg, ενώ για τα ASR και SRF 18,15 MJ/kg και 16,86 MJ/kg, αντίστοιχα. Τέλος, για την περίπτωση του SRF (EKA 19 12 10) η ΚΘΔ ανέρχεται σε 16 MJ/kg. Βάσει των λόγων των ΚΘΔ, υπολογίζεται ο λόγος συμμετοχής συμβατικού καυσίμου/εναλλακτικού καυσίμου κατά μάζα για κάθε μίγμα, που παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Για την περίπτωση του πρώτου σεναρίου αναφοράς (Baseline

1), χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των ΚΘΔ των δύο καυσίμων ASR και SRF ως ΚΘΔ του εναλλακτικού καυσίμου.

Πίνακας 1: Σύσταση μίγματος αναφοράς και σεναρίων κατά ποσοστό θερμικής συμμετοχής και κατά μάζα.

Σενάρια	Αναλογία θερμικής συμμετοχής	Αναλογία κατά μάζα
Baseline1	Petcoke 90% - ASR/SRF 10%	Petcoke 83% - ASR/SRF 17%
Baseline 2	Pet coke 70% - SRF 30%	Pet coke 55% - SRF 45%
A	Pet coke 70% - SRF (EKA 19 12 10) 30%	Pet coke 54% - SRF (EKA 19 12 10)46%
B	Pet coke 60% - SRF (EKA 19 12 10)40%	Pet coke 43% - SRF (EKA 19 12 10)57%

3. Μεθοδολογία

Για τον υπολογισμό των εκπομπών αερίων ρύπων της υφιστάμενης κατάστασης λειτουργίας της μονάδας στο σενάριο αναφοράς (Baseline2) πραγματοποιήθηκε στατιστική συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων δραστηριότητας (όγκος παραγωγής), μέσης σύστασης μίγματος καυσίμου και δεδομένων εκπομπών από την υψικάμινο της μονάδας, όπως προκύπτουν από συνεχείς μετρήσεις για το έτος 2017 (TITAN A.E, Έκθεση Μετρήσεων Ατμοσφαιρικών Εκπομπών & Υγρών και Στερεών Αποβλήτων, 2017). Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκαν οι μέσοι συντελεστές εκπομπής για τους ρύπους SO₂, NO_x, PM₁₀, σκόνη, HCl, βενζόλιο, B(a)P, CO και PCDD/Fs, όπως και των μετάλλων Cd, Ti, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V.

Στην περίπτωση των υπολοίπων υπό εξέταση σεναρίων χρήσης μιγμάτων εναλλακτικών καυσίμων με συμβατικό καύσιμο, η εκτίμηση των εκπομπών βασίστηκε σε συντελεστές εκπομπής ανά ρύπο που έχουν υπολογιστεί σε προγενέστερη μελέτη για κάθε είδος καυσίμου, για αντιπροσωπευτικές μέσες συστάσεις των εν λόγω καυσίμων (ΕΜΘΠΜ, 2011).

Επιπρόσθετα, για την εκτίμηση των εκπομπών στις περιπτώσεις χρήσης εναλλακτικών καυσίμων υιοθετήθηκαν οι εξής παραδοχές:

- Ειδική κατανάλωση ενέργειας (Specific Energy Consumption)¹: 3220,9 kJ/kg.
- Δυναμικότητα: 4350 t clinker/ημέρα
- Ποσοστό PM₁₀ επί του συνόλου της εκπεμπόμενης σκόνης: 84% (EPA, 1994).

¹ Μέγεθος που εκφράζει την κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος.

- Βαθμός απόδοσης συστήματος Επιλεκτικής Μη-Καταλυτικής Αναγωγής (Selective Non-Catalytic Reduction - SNCR) όσον αφορά στον περιορισμό των εκπομπών NO_2 : 45%.

4. Εκτίμηση εκπομπών αερίων ρύπων, αερολυμάτων και βαρέων μετάλλων

Όπως ήδη σημειώθηκε, στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε αποτίμηση των εκπομπών για τα δύο σενάρια αναφοράς στη βάση μετρήσεων που παρασχέθηκαν από το σύστημα συνεχούς παρακολούθησης εκπομπών της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN στην υψικάμινο της μονάδας. Δεδομένου ότι παρόμοιες μετρήσεις δεν ήταν διαθέσιμες για τα δυο νέα εναλλακτικά σενάρια, και προς εξασφάλιση βάσης σύγκρισης ανάμεσα στα σενάρια αναφοράς και τα δύο εναλλακτικά σενάρια, έγινε εκτίμηση των εκπομπών και για τα τρία σενάρια μείγματος με συμμετοχή εναλλακτικού καυσίμου τουλάχιστον 30%, βάσει συντελεστών εκπομπής που υπολογίσθηκαν σε προηγούμενη μελέτη (ΕΜΘΠΜ, 2011) για όλους τους αέριους ρύπους που ελέγχονται σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία. Στην ως άνω μελέτη για κάθε σενάριο θεωρήθηκε τόσο η μέση όσο και η μέγιστη περίπτωση περιεκτικότητας (ανώτερο όριο περιεκτικότητας). Επιπρόσθετα, για τον υπολογισμό των εκπομπών των σεναρίων απαιτείται σε πρώτο επίπεδο η στοιχειομετρική ανάλυση του συνόλου των καυσίμων. Στους Πίνακες 2&3 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι εκτιμήσεις των εκπομπών για το δεύτερο σενάριο αναφοράς (Baseline2) σε αντιπαραβολή με τα δύο νέα σενάρια μείγματος συμβατικού με εναλλακτικό καύσιμο όσον αφορά στη μέση και τη μέγιστη περίπτωση, αντίστοιχα.

Πίνακας 2: Ποσοτικοποίηση εκπομπών αερίων ρύπων, αερολυμάτων και βαρέων μετάλλων κατά την παραγωγική διαδικασία της τσιμεντοβιομηχανίας «TITAN» στη βάση μετρήσεων που διεξήχθησαν από την τσιμεντοβιομηχανία TITAN για το έτος 2019 και εκτίμησης για τη μέση σύσταση του εναλλακτικού καυσίμου.

Ρύπος	Εκτίμηση Ρυθμού Εκπομπής (average περιεκτικότητας) (mg/Nm ³)			Οριακή τιμή νομοθεσίας (mg/Nm ³)
	Baseline 2 (70% PC – 30% SRF)	Σενάριο A (70% PC – 30% SRF (ΕΚΑ 19 12 10))	Σενάριο Β(60% PC – 40% SRF (ΕΚΑ 19 12 10))	

	Εκτίμηση	Μετρήσεις	Εκτίμηση	Εκτίμηση	
SO₂	26,85	1,46	26,75	25,59	200
NO₂	660,47	465,67	657,73	627,55	500
Σκόνη	11,80	1,09	11,76	11,22	20
PM₁₀	9,91	0,92	9,88	9,42	
HCl	19,41	0,399	21,17	25,89	10
TOC	7,4	5,4	7,4	7,4	40
NH₃	3	3,23	3	3	50
HF	0,06	0,04	0,06	0,0521	1
CO	1233,41	161,27	1237,59	1283,58	
PCDD/Fs	2,35·10 ⁻⁸	6,95·10 ⁻⁹	2,33·10 ⁻⁸	2,09·10 ⁻⁸	10 ⁻⁷
Hg	0,032	0,00815	0,0053	0,0045	0,05
Cd + Tl	0,0076	0,0028	0,0014	0,0011	0,05
Sb+As+Pb+Cr+ Co+Cu+Mn+Ni+V	0,1897	0,0137	0,0244	0,029	0,5
Ρύπος	Εκτίμηση Ρυθμού Εκπομπής (μέγιστη περιεκτικότητα) (mg/Nm³)				Οριακή τιμή νομοθεσίας (mg/Nm³)

Πίνακας 3: Εκτίμηση εκπομπών αερίων ρύπων, αερολυμάτων και βαρέων μετάλλων κατά την παραγωγική διαδικασία της τσιμεντοβιομηχανίας «TITAN» για τη μέγιστη σύσταση του εναλλακτικού καυσίμου.

	Baseline 2 (70% PC – 30% SRF)	Σενάριο A (70% PC – 30% SRF (ΕΚΑ 19 12 10))	Σενάριο B (60% PC – 40% SRF (ΕΚΑ 19 12 10))	
SO₂	28,03	27,9	26,511	200
NO₂	1254,9	1249,68	1192,34	500
Σκόνη	16,06	15,99	15,26	20
PM₁₀	13,49	13,43	12,82	
HCl	31,06	44,76	54,91	10
TOC	7,4	7,4	7,4	40
NH₃	3	3	3	50
HF	0,097	0,096	0,0834	1
CO	1541,76	1546,98	1604,47	
PCDD/Fs	$2,5211 \cdot 10^{-8}$	$2,4979 \cdot 10^{-8}$	$2,2432 \cdot 10^{-8}$	10^{-7}
Hg	0,0587	0,0254	0,0278	0,05
Cd + Tl	0,0148	0,0078	0,0086	0,05
Sb+As+Pb+Cr+ Co+Cu+Mn+Ni+V	0,6999	1,188	1,4694	0,5

5. Διασπορά

Η εισαγωγή της χρήσης νέου τύπου εναλλακτικού καυσίμου στο μίγμα καυσίμων της μονάδας καθιστά απαραίτητη την εκτίμηση της συνεισφοράς κάθε είδους καυσίμου στα επίπεδα αέριας ρύπανσης στην περιοχή, τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση όσο και για τα δύο σενάρια μίγματος καυσίμου.

Για τον υπολογισμό της διασποράς των αερίων ρύπων και των αερολυμάτων από την υψικάμινο της μονάδας στη γύρω περιοχή χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο AUSTAL 2000 (Janicke, 2002; Janicke et al., 2003). Πρόκειται για ένα Λαγκρανζιανό μοντέλο, διαμορφωμένο σύμφωνα με το γερμανικό πρότυπο αναφοράς VDI 3945 (VDI, 2011), το οποίο αναπτύχθηκε για λογαριασμό της γερμανικής Ομοσπονδιακής Περιβαλλοντικής Υπηρεσίας, ενώ προτείνεται από το 2002 ως πρότυπο μοντέλο διασποράς από τον γερμανικό κανονισμό για την ποιότητα αέρα (TA Luft, 2002). Η επίδραση του αναγλύφου της περιοχής στη διασπορά του πλουμίου λαμβάνεται υπόψη από το μοντέλο με τη βοήθεια του ενσωματωμένου διαγνωστικού μοντέλου ροής TALdia. Όσον αφορά στους χημικούς μετασχηματισμούς κατά τη διασπορά των ρύπων, εξετάστηκε οξειδωση του NO στα εκπεμπόμενα οξειδία του αζώτου (NO_x) σε NO₂.

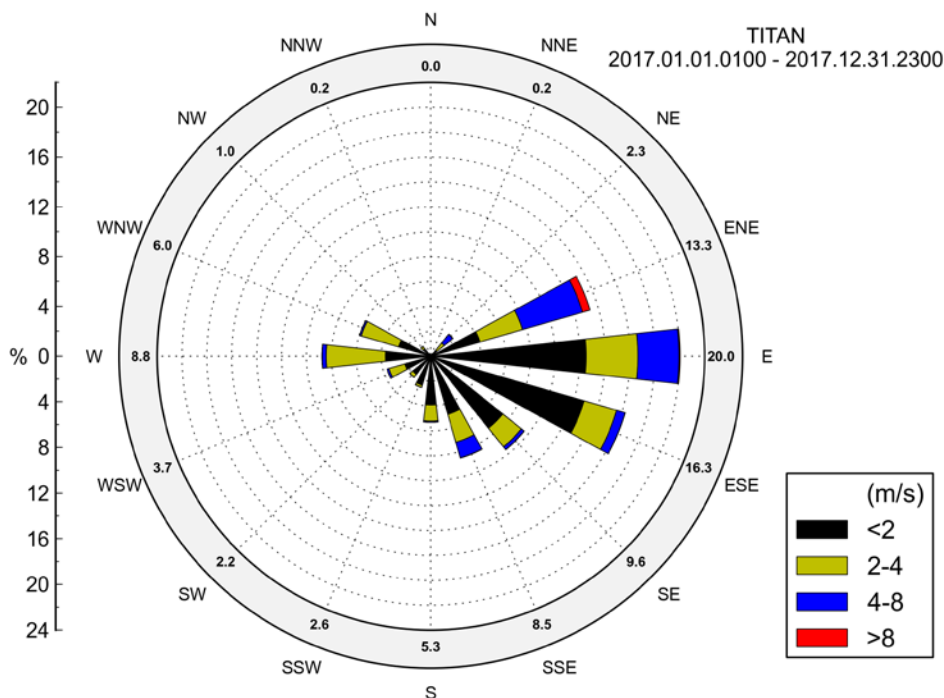
Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε για μία περιοχή 10×10 km² με κέντρο την κύρια υψικάμινο της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN. Η εφαρμογή του μοντέλου αφορά ένα ολόκληρο ημερολογιακό έτος, μια χρονική περίοδο η οποία θεωρείται πως αποτυπώνει με επαρκή τρόπο και ικανοποιητική ακρίβεια τη μεταβλητότητα των μετεωρολογικών καταστάσεων που είναι δυνατόν να εμφανιστούν στην περιοχή μελέτης. Τα απαιτούμενα ως στοιχεία εισόδου μετεωρολογικά δεδομένα ανέμου και θερμοκρασίας ελήφθησαν από δύο πηγές:

1. Από τις ωριαίες μετρήσεις, για ολόκληρο το ημερολογιακό έτος 2017, του μετεωρολογικού σταθμού που λειτουργεί στους χώρους της μονάδας της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN, στην οροφή κτιρίου κοντά στο ΝΔ άκρο της μονάδας και σε ύψος ~3 m από το έδαφος.
2. Από εφαρμογή του μετεωρολογικού μοντέλου μεσοκλίμακας MEMO για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, με έτος αναφοράς το 2003, με τη μέθοδο της συνοπτικής ταξινόμησης και ανασύνθεσης ετήσιων χρονοσειρών.

Με τη χρήση τοπικών δεδομένων μετεωρολογίας επιδιώχθηκε η βελτίωση των υπολογισμών διασποράς έναντι εκείνων προηγούμενης μελέτης (ΕΜΘΠΜ, 2011), που είχε βασιστεί αποκλειστικά σε μετεωρολογικά δεδομένα του αεροδρομίου Μακεδονία, αποτυπώνοντας ακριβέστερα πλέον τις θερμικές και δυναμικές επιδράσεις του τοπικού αναγλύφου. Φαινόμενα όπως καταβατικοί άνεμοι / άνεμοι πλαγιάς, καναλισμοί και τοπικές

Θερμοκρασιακές αναστροφές μπορούν δυνητικά να επηρεάσουν ισχυρά τη διασπορά ρύπων στην κλίμακα των μερικών χιλιομέτρων, και είναι δυνατόν να προσεγγιστούν μόνο μέσω τοπικών μετρήσεων ή υπολογισμών μοντέλων υψηλής χωρικής διακριτότητας. Στην παρούσα μελέτη, και για τις δύο εναλλακτικές πηγές δεδομένων εισόδου μετεωρολογίας, ελήφθησαν υπόψη επιπρόσθετα δεδομένα νεφοκάλυψης για το 2017 από τον μετεωρολογικό σταθμό του αεροδρομίου Μακεδονία.

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται το ροδόγραμμα διευθύνσεων ανέμου όπως προέκυψε από τις μετρήσεις του τοπικού σταθμού για το 2017. Γίνεται εμφανές ότι οι επικρατούσες διευθύνσεις ανέμου είναι οι Α και Α-ΝΑ που συσχετίζονται με ανέμους κυρίως μικρής και μέτριας έντασης, με ένα δευτερεύον μέγιστο από Δ και Δ-ΒΔ, συσχετιζόμενο με ανέμους μέτριας έντασης.



Εικόνα 1: Ροδόγραμμα διευθύνσεων ανέμου για την περιοχή της μονάδας, όπως προέκυψε από τοπικές μετρήσεις του σταθμού TITAN.

Για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων από το μοντέλο διασποράς, απαιτείται η εκτίμηση της εκάστοτε ανύψωσης του πλουμίου των απαερίων πάνω από το γεωμετρικό ύψος της καμινάδας του περιστροφικού κλιβάνου (ΠΚ). Η ανύψωση εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή στην περιοχή, καθώς και από τις διεργασίες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία και την ταχύτητα εκροής των καυσαερίων κατά την έξοδό τους στην ατμόσφαιρα. Για τη συγκεκριμένη μελέτη οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ανύψωσης του πλουμίου παρουσιάζονται στον

Πίνακα 4. Κατά τις προσομοιώσεις διασποράς που παρουσιάζονται στη συνέχεια, αγνοήθηκε η συνεισφορά των διάχυτων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις της μονάδας, πλην του κλιβάνου, που περιλαμβάνουν δραστηριότητες όπως μεταφορά, επεξεργασία και μεταφόρτωση καυσίμων, πρώτων υλών, τελικού προϊόντος κλπ. Η προσέγγιση αυτή θεωρείται ρεαλιστική με δεδομένο ότι οι εκπομπές επαναιώρησης εντός της μονάδας έχουν περιοριστεί στο ελάχιστο μέσω της εφαρμογής τεχνικών μέτρων (ασφαλτόστρωση, κλειστοί χώροι μεταφόρτωσης, αναχώματα, δενδροφύτευση) και εργοταξιακών πρακτικών (διαβροχή, πλύση επίσωτρων).

Πίνακας 4: Γεωμετρικά δεδομένα και χαρακτηριστικά του απαερίου.

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες
Ύψος καμινάδας ΠΚ	124	m
Διάμετρος καμινάδας ΠΚ	4,0	m
Διατομή καμινάδας ΠΚ	12,56	m ²
Παροχή απαερίου	144	m ³ /s
Μέση θερμοκρασία απαερίου	110	°C

Μία συγκριτική ποιοτική αποτίμηση των αποτελεσμάτων διασποράς που προέκυψαν στη βάση των τοπικών μετεωρολογικών χρονοσειρών του 2017 με εκείνα που προέκυψαν από τις συνθετικές μετεωρολογικές χρονοσειρές εφαρμογής MEMO για το 2003 δείχνει γενική συμφωνία σε ό,τι αφορά τα υπολογιζόμενα χωρικά μέγιστα των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων. Παρόλα αυτά, λόγω της προσεγγιστικής φύσης της μεθοδολογίας συνοπτικής ταξινόμησης για το 2003, η ποιότητα των αποτελεσμάτων αυτών σε ό,τι αφορά τη ρεαλιστική αναπαραγωγή της χωρικής κατανομής της διασποράς των ρύπων υπολείπεται αισθητά εκείνων που βασίστηκαν σε δεδομένα τοπικής μετεωρολογίας. Για τον λόγο αυτό, στα επόμενα παρουσιάζονται αποτελέσματα των υπολογισμών διασποράς όπως προέκυψαν στη βάση της τοπικής μετεωρολογίας. Οι υπολογιζόμενες μέσες ετήσιες προσαυξήσεις συγκέντρωσης είναι πάρα πολύ χαμηλές, περίπου δέκα φορές κάτω από το κατώφλι διακριτικής ικανότητας των οργάνων που τυπικά χρησιμοποιούνται για τη συνεχή παρακολούθηση ποιότητας αέρα (ambient concentrations).

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα χωρικά μέγιστα των μέσων συγκεντρώσεων των αερίων ρύπων στο επίπεδο του εδάφους πάνω από την ξηρά εντός της περιοχής μελέτης όσον αφορά στο Σενάριο Αναφοράς (Baseline 2): Petcoke 70% - SRF 30%. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αποτυπώνεται η μέγιστη επιβάρυνση εντός της περιοχής μελέτης, που αποδίδεται στη λειτουργία της μονάδας. Οι συγκεκριμένοι υπολογισμοί διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας εκπομπές που υπολογίστηκαν βάσει μετρήσεων. Επίσης, ανάλογα με τις περιόδους εξέτασης του κάθε ρύπου, όπως αυτές ορίζονται από τη νομοθεσία, παρουσιάζονται εκτιμήσεις για τις

μέσες ετήσιες τιμές, τις μέγιστες κατά τη διάρκεια του έτους μέσες ημερήσιες τιμές, καθώς και τις μέγιστες κατά τη διάρκεια του έτους ωριαίες τιμές.

Σε ό,τι αφορά στοσυγκεκριμένο σενάριο, **τα απόλυτα επίπεδα των συνεισφορών στις συγκεντρώσεις, όπως υπολογίζονται βάσει των συντελεστών εκπομπής, είναι χαμηλά για το σύνολο των ρύπων.** Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα επίπεδα συγκεντρώσεων στη βάση των μετρηθεισών εκπομπών για το 2019,σημαντικά χαμηλότερα σε σχέση με τα αποτελέσματα στη βάση των εκτιμήσεων για τις εκπομπές για τους περισσότερους ρύπους (βλ. Πίνακα 6). Ειδικά για το SO₂, τη Σκόνη, το HCl και το CO, οι μετρήσεις εκπομπών δίνουν μια εξαιρετικά χαμηλή τιμή σε σχέση με την εκτίμηση, γεγονός που αντικατοπτρίζεται και στις αντίστοιχες υπολογιζόμενες συγκεντρώσεις.

Πίνακας 5: Μέγιστες εντός της περιοχής μελέτης εκτιμώμενες πρόσθετες συγκεντρώσεις για το Σενάριο Αναφοράς Baseline 2 (Pet coke 70% - SRF 30%)με βάση τις μετρήσεις εκπομπών του 2019.

Ρύπος (μg/m ³)	Μέση ετήσια συγκέντρωση	Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση	Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση
	Εκπομπές με βάση μετρήσεις (2019)		
SO ₂	0,002	0,05	0,79
NO ₂	0,39	16,45	252,11
Dust	0,0016	0,0385	
PM ₁₀	0,0014	0,0321	
HCl	0,0006	0,014	
HF	6,05E-05	0,001	
CO	0,24	5,69	
NH ₃	0,0049	0,11	
PCDD/Fs	1,05E-11	2,45E-10	
Cd+Tl	4,23E-06		
Hg	1,23E-05		
SB+As+Pb+Cr +Co+Mn+Ni+V	2,07E-05		

Οι Πίνακες 6 έως 9 και 10 έως 13 περιέχουν τις υπολογιζόμενες συγκεντρώσεις για τα δύο νέα σενάρια εναλλακτικών καυσίμων αναφορικά με τη μέση και δυσμενέστερη περίπτωση, αντίστοιχα. Οι συγκεκριμένοι Πίνακες περιέχουν αποτελέσματα στη βάση εκτιμήσεων για τις εκπομπές (βλ. Ενότητα 4) και τις αντίστοιχες ποσοστιαίες μεταβολές σε σχέση με το πρώτο σενάριο αναφοράς (Baseline 1 - Πίνακες 6 και 8) και σε σχέση με το δεύτερο σενάριο αναφοράς (Baseline 2 - Πίνακες 7 και 9). Θα πρέπει να επισημανθεί εξ αρχής ότι οι μεταβολές νοούνται ως προς τις τιμές των σεναρίων αναφοράς που έχουν προκύψει στη βάση εκτιμήσεων εκπομπών, οι οποίες όπως επισημάνθηκε οδηγούν για τους περισσότερους ρύπους σε μεγάλη υπερεκτίμηση των αντίστοιχων υπολογιζόμενων συγκεντρώσεων. Επομένως, ακόμα και σχετικά μεγάλες ποσοστιαίες αυξήσεις στην πράξη αναμένεται να οδηγήσουν σε μικρές ή αμελητέες απόλυτες αυξήσεις επί των συγκεντρώσεων αναφοράς, όπως αυτές έχουν υπολογιστεί βάσει μετρήσεων. Όσον αφορά στη χωρική κατανομή της συνεισφοράς στις μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις εντός της περιοχής μελέτης, σημειώνεται πως δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα αποτελέσματα της μελέτης με τίτλο «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 καυσίμων» του 2018.

Πίνακας 6:Μέγιστες εντός της περιοχής μελέτης εκτιμώμενες πρόσθετες συγκεντρώσεις για το σενάριο (Petcoke 70% - SRF (EKA 19 12 10) 30%) – «τιμή» και ποσοστιαία μεταβολή σε σχέση με το σενάριο αναφοράςBaseline 1 (Petcoke 90% - SRF/ASR10%) στη βάση εκτιμήσεων μείωσης περιεκτικότητας για τις εκπομπές – «μεταβολή»

Ρύπος ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Μέση ετήσια συγκέντρωση (Averages)		Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση (Averages)		Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση (Averages)	
	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)
SO₂	0,0405	-10,2%	0,9400	-10,2%	14,47	-10,2%
NO₂	0,5500	-10,8%	23,21	-10,8%	355,83	-10,8%
Dust	0,0178	-10,8%	0,4150	-10,8%		
PM₁₀	0,0148	-10,8%	0,3459	-10,8%		
HCl	0,0300	157,6%	0,747	157,6%		
HF	9,08E-05	-25,8%	0,002	-25,8%		
CO	1,8700	10,9%	43,68	10,9%		
NH₃	0,0045	0,0%	0,11	0,0%		
PCDD/Fs	3,53E-11	-21,2%	8,23E-10	-21,2%		
Cd+Tl	2,09E-06	-68,1%				
Hg	7,96E-06	-69,5%				
SB+As+Pb+Cr +Co+Mn+Ni+V	3,69E-05	-67,5%				

Πίνακας7: Μέγιστες εντός της περιοχής μελέτης εκτιμώμενες πρόσθετες συγκεντρώσεις για το σενάριο (Petcoke 70% - SRF (EKA 19 12 10) 30%) – «τιμή» και ποσοστιαία μεταβολή σε σχέση με το σενάριο αναφοράς Baseline 2 (Petcoke70% - SRF30%) στη βάση εκτιμήσεων μείωσης περιεκτικότητας για τις εκπομπές – «μεταβολή»

Ρύπος ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Μέση ετήσια συγκέντρωση (Averages)		Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση (Averages)		Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση (Averages)	
	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)
SO ₂	0,04045	-0,4%	0,94	-0,4%	14,47	-0,4%
NO ₂	0,55	-0,4%	23,21	-0,4%	355,83	-0,4%
Dust	0,0178	-0,4%	0,4150	-0,4%		
PM ₁₀	0,0148	-0,4%	0,3459	-0,4%		
HCl	0,0320	9,1%	0,747	9,1%		
HF	9,08E-05	-1,2%	0,002	-1,2%		
CO	1,87	0,3%	43,68	0,3%		
NH ₃	0,0045	0,0%	0,11	0,0%		
PCDD/Fs	3,53E-11	-0,9%	8,22856E-10	-0,9%		
Cd+Tl	2,09E-06	-81,8%				
Hg	7,96E-06	-83,5%				
SB+As+Pb+Cr +Co+Mn+Ni+V	3,69E-05	-87,1%				

Πίνακας8: Μέγιστες εντός της περιοχής μελέτης εκτιμώμενες πρόσθετες συγκεντρώσεις για το σενάριο (Petcoke 60% - SRF (EKA 19 12 10) 40%) – «τιμή» και ποσοστιαία μεταβολή σε σχέση με το σενάριο αναφοράςBaseline 1 (Petcoke 90% - SRF/ASR10%) στη βάση εκτιμήσεων μείωσης περιεκτικότητας για τις εκπομπές – «μεταβολή»

Ρύπος ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Μέση ετήσια συγκέντρωση (Averages)		Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση (Averages)		Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση (Averages)	
	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)
SO ₂	0,039	-14,1%	0,90	-14,1%	13,85	-14,1%
NO ₂	0,52	-14,9%	22,15	-14,9%	339,50	-14,9%
Dust	0,0170	-14,9%	0,396	-14,9%		
PM ₁₀	0,0141	-14,9%	0,33	-14,9%		
HCl	0,04	215,0%	0,914	215,0%		
HF	7,88E-05	-35,6%	0,002	-35,6%		
CO	1,94	15,0%	45,30	15,0%		
NH ₃	0,0045	0,0%	0,11	0,0%		
PCDD/Fs	3,17E-11	-29,2%	7,39E-10	-29,2%		
Cd+Tl	1,74E-06	-73,5%				
Hg	6,84E-06	-73,8%				
SB+As+Pb+Cr +Co+Mn+Ni+V	4,37E-05	-61,6%				

Πίνακας9: Μέγιστες εντός της περιοχής μελέτης εκτιμώμενες πρόσθετες συγκεντρώσεις για το σενάριο (Petcoke 60% - SRF (EKA 19 12 10) 40%) – «τιμή» και ποσοστιαία μεταβολή σε σχέση με το σενάριο αναφοράς Baseline 2 (Petcoke 70% - SRF30%) στη βάση εκτιμήσεων μέσης περιεκτικότητας για τις εκπομπές – «μεταβολή»

Ρύπος ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Μέση ετήσια συγκέντρωση (Averages)		Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση (Averages)		Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση (Averages)	
	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)
SO₂	0,0390	-4,7%	0,90	-4,7%	13,85	-4,7%
NO₂	0,5200	-5,0%	22,15	-5,0%	339,50	-5,0%
Dust	0,0170	-5,0%	0,3960	-5,0%		
PM₁₀	0,0141	-5,0%	0,3300	-5,0%		
HCl	0,0391	33,4%	0,914	33,4%		
HF	7,88E-05	-14,2%	0,002	-14,2%		
CO	1,9400	4,1%	45,30	4,1%		
NH₃	0,0045	0,0%	0,11	0,0%		
PCDD/Fs	3,17E-11	-11,0%	7,39E-10	-11,0%		
Cd+Tl	1,74E-06	-84,9%				
Hg	6,84E-06	-85,8%				
SB+As+Pb+Cr +Co+Mn+Ni+V	4,37E-05	-84,8%				

Πίνακας 10: Μέγιστες εντός της περιοχής μελέτης εκτιμώμενες πρόσθετες συγκεντρώσεις για το σενάριο (Petcoke 70% - SRF (EKA 19 12 10) 30%) – «τιμή» και ποσοστιαία μεταβολή σε σχέση με το σενάριο αναφοράς Baseline 1 (Petcoke 90% - RDF/ASR10%) στη βάση εκτιμήσεων μέγιστης περιεκτικότητας για τις εκπομπές – «μεταβολή»

Ρύπος ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Μέση ετήσια συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)		Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)		Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)	
	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)
SO₂	0,042	-11,6%	0,98	-11,6%	15,10	-11,6%
NO₂	1,04	-10,8%	44,11	-10,8%	676,09	-10,8%
Dust	0,0242	-10,8%	0,5645	-10,8%		
PM₁₀	0,0201	-10,8%	0,4704	-10,8%		
HCl	0,0677	240,3%	1,580	240,3%		
HF	$1,45 \cdot 10^{-4}$	-25,8%	0,003	-25,8%		
CO	2,34	10,9%	54,60	10,9%		
NH₃	0,0045	0,0%	0,11	0,0%		
PCDD/Fs	$3,78 \cdot 10^{-11}$	-21,2%	$8,82 \cdot 10^{-10}$	-21,2%		
Cd+Tl	$1,18 \cdot 10^{-5}$	-6,3%				
Hg	$3,85 \cdot 10^{-5}$	-19,9%				
SB+As+Pb+Cr +Co+Mn+Ni+V	0,0018	337,6%				

Πίνακας 11: Μέγιστες εντός της περιοχής μελέτης εκτιμώμενες πρόσθετες συγκεντρώσεις για το σενάριο (Petcoke 70% - SRF (EKA 19 12 10) 30%) – «τιμή» και ποσοστιαία μεταβολή σε σχέση με το σενάριο αναφοράς Baseline 2 (Petcoke 70% - SRF 30%) στη βάση εκτιμήσεων μέγιστης περιεκτικότητας για τις εκπομπές – «μεταβολή»

Ρύπος ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Μέση ετήσια συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)		Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)		Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)	
	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)
SO₂	0,042	-0,5%	0,98	-0,5%	15,10	-0,5%
NO₂	1,04	-0,4%	44,11	-0,4%	676,09	-0,4%
Dust	0,0242	-0,4%	0,5645	-0,4%		
PM₁₀	0,0201	-0,4%	0,4704	-0,4%		
HCl	0,0677	44,1%	1,58	44,1%		
HF	$1,45 \cdot 10^{-4}$	-1,2%	0,003	-1,2%		
CO	2,34	0,3%	54,60	0,3%		
NH₃	0,0045	0,0%	0,11	0,0%		
PCDD/Fs	$3,78 \cdot 10^{-11}$	-0,9%	$8,82 \cdot 10^{-10}$	-0,9%		
Cd+Tl	$1,18 \cdot 10^{-5}$	-47,3%				
Hg	$3,85 \cdot 10^{-5}$	-56,7%				
SB+As+Pb+Cr +Co+Mn+Ni+V	0,0018	69,7%				

Πίνακας12: Μέγιστες εντός της περιοχής μελέτης εκτιμώμενες πρόσθετες συγκεντρώσεις για το σενάριο (Petcoke 60% - SRF (EKA 19 12 10) 40%) – «τιμή» και ποσοστιαία μεταβολή σε σχέση με το σενάριο αναφοράς Baseline 1 (Petcoke 90% - RDF/ASR10%) στη βάση εκτιμήσεων μέγιστης περιεκτικότητας για τις εκπομπές – «μεταβολή»

Ρύπος ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Μέση ετήσια συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)		Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)		Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)	
	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)
SO₂	0,040	-16,0%	0,94	-16,0%	14,34	-16,0%
NO₂	1,00	-14,9%	42,08	-14,9%	645,07	-14,9%
Dust	0,0231	-14,9%	0,5386	-14,9%		
PM₁₀	0,0192	-14,9%	0,4488	-14,9%		
HCl	0,0830	317,5%	1,938	317,5%		
HF	$1,26 \cdot 10^{-4}$	-35,6%	0,003	-35,6%		
CO	2,43	15,0%	56,63	15,0%		
NH₃	0,0045	0,0%	0,11	0,0%		
PCDD/Fs	$3,39 \cdot 10^{-11}$	-29,2%	$7,92 \cdot 10^{-10}$	-29,2%		
Cd+Tl	$1,31 \cdot 10^{-5}$	3,4%				
Hg	$4,21 \cdot 10^{-5}$	-12,4%				
SB+As+Pb+Cr +Co+Mn+Ni+V	0,0022	441,2%				

Πίνακας13: Μέγιστες εντός της περιοχής μελέτης εκτιμώμενες πρόσθετες συγκεντρώσεις για το σενάριο (Petcoke 60% - SRF (EKA 19 12 10) 40%) – «τιμή» και ποσοστιαία μεταβολή σε σχέση με το σενάριο αναφοράςBaseline 2 (Petcoke 70% - SRF30%) στη βάση εκτιμήσεων μέγιστης περιεκτικότητας για τις εκπομπές – «μεταβολή»

Ρύπος ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Μέση ετήσια συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)		Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)		Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση (Μέγιστη Περιεκτικότητα)	
	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)	Τιμή	Μεταβολή (%)
SO₂	0,040	-5,4%	0,94	-5,4%	14,34	-5,4%
NO₂	1,00	-5,0%	42,08	-5,0%	645,07	-5,0%
Dust	0,0231	-5,0%	0,5386	-5,0%		
PM₁₀	0,0192	-5,0%	0,4488	-5,0%		
HCl	0,0830	76,8%	1,938	76,8%		
HF	$1,26 \cdot 10^{-4}$	-14,2%	0,003	-14,2%		
CO	2,43	4,1%	56,63	4,1%		
NH₃	0,0045	0,0%	0,11	0,0%		
PCDD/Fs	$3,39 \cdot 10^{-11}$	-11,0%	$7,92 \cdot 10^{-10}$	-11,0%		
Cd+Tl	$1,31 \cdot 10^{-5}$	-41,8%				
Hg	$4,21 \cdot 10^{-5}$	-52,6%				
SB+As+Pb+Cr +Co+Mn+Ni+V	0,0022	109,9%				

6. Συμπεράσματα

Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στη βιομηχανία τσιμέντου έχει καθιερωθεί στις περισσότερες από τις ανεπτυγμένες χώρες τα τελευταία 40 χρόνια, με πρωταγωνιστές κυρίως τις Ιαπωνία, Ελβετία, Η.Π.Α., Βέλγιο, Γερμανία, Τσεχία, Πολωνία, Σουηδία, ΗΒ και Γαλλία. Στο πλαίσιο της διερεύνησης των δυνατοτήτων εναρμόνισης της παραγωγικής διαδικασίας της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN με τις πρακτικές που ακολουθούνται σε διεθνές και

ευρωπαϊκό επίπεδο σε αντίστοιχες παραγωγικές διαδικασίες, πραγματοποιήθηκε η ποσοτικοποίηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων και η αποτίμηση της επιβάρυνσης στην ποιότητα αέρα της ευρύτερης περιοχής από τη μονάδα της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN στη Θεσσαλονίκη, με βάση το υφιστάμενο μίγμα συμβατικών και εναλλακτικών καυσίμων και δύο σενάρια χρήσης εναλλακτικών καυσίμων.

Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω ερευνητικές δραστηριότητες:

1. Ποσοτικοποίηση και αποτίμηση των εκπομπών αέριων ρύπων, αερολυμάτων και βαρέων μετάλλων από τη μονάδα κατά την καύση διαφορετικών μιγμάτων συμβατικού με εναλλακτικά καύσιμα.
2. Αποτίμηση της επιβάρυνσης στην ποιότητα αέρα της ευρύτερης περιοχής με αριθμητική προσομοίωση της διασποράς νομοθετικά ελεγχόμενων ρύπων που εκλύονται από τη μονάδα και σύγκριση με τα νομοθετημένα όρια.

Σε ό,τι αφορά στις ατμοσφαιρικές εκπομπές του υφιστάμενου μίγματος, αυτές βασίστηκαν σε συντελεστές εκπομπής που υπολογίστηκαν στην προηγούμενη μελέτη του 2011 (ΕΜΘΠΜ, 2011) και ανήχθησαν σε χρησιμοποιούμενο κατά το έτος 2019 μίγμα καυσίμων. Στην περίπτωση των δύο σεναρίων επέκτασης της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων, σε ποσοστό θερμικής συμμετοχής 30% και 40% στο μίγμα καυσίμων, οι αντίστοιχες εκτιμήσεις εκπομπών έγιναν βάσει των συντελεστών εκπομπής (ΕΜΘΠΜ, 2011) με κατάλληλη αναγωγή στα προβλεπόμενα μίγματα καυσίμων. Παράλληλα, για το πρώτο εναλλακτικό σενάριο (Petcoke 70% - SRF (ΕΚΑ 19 12 10)30%) διεξήχθησαν υπολογισμοί βασισμένοι σε μετρήσεις εκπομπών, οι οποίες προήρθαν από το σύστημα συνεχούς παρακολούθησης εκπομπών που λειτουργεί στη μονάδα.

Για τους ρύπους SO₂, NO₂, Σκόνη, PM₁₀, HF και PCDD/Fs, ο υπολογισμός στη βάση συντελεστών εκπομπής υποδεικνύει μείωση των εκπομπών για τα δύο σενάρια των εναλλακτικών καυσίμων, σε σχέση με το υφιστάμενο μίγμα. Όσον αφορά στις εκπομπές των βαρέων μετάλλων, δεν προκύπτει αξιοσημείωτη αύξηση των εκπομπών τους κατά τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων. Η εκτίμηση βάσει των βιβλιογραφικών συντελεστών εκπομπής εμφανίζει μια μικρή αύξηση των εκπομπών του HCl. Και για τους δύο ρύπους, και λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη υπερεκτίμηση των σχετικών εκπομπών, όπως καταδεικνύει η σύγκριση με τις μετρήσεις του 2019, οι συγκεκριμένες αυξήσεις δε μπορούν να οδηγήσουν σε υπέρβαση των αντίστοιχων νομοθετικών ορίων.

Στη συνέχεια εκτιμήθηκε η επιβάρυνση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξαιτίας της λειτουργίας της μονάδας, με παράλληλη εξέταση της διαφοροποίησης των συγκεντρώσεων μεταξύ των δύο σεναρίων εναλλακτικών καυσίμων και των υφιστάμενων μιγμάτων. Το αποτέλεσμα της εν λόγω διερεύνησης καθιστά σαφές πως η συνεισφορά της μονάδας για το σενάριο αναφοράς είναι πολύ χαμηλή για όλους τους ρύπους, με μοναδική εξαίρεση

μεμονωμένες ωριαίες συγκεντρώσεις του NO₂. Για τον εν λόγω ρύπο και υπό δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες είναι δυνατόν να υπάρξει (να σημειωθεί) παροδική επιβάρυνση, αλλά πάντως μικρότερη σε σχέση με τις οριακές τιμές ωριαίων συγκεντρώσεων της νομοθεσίας. Η επιβάρυνση αυτή δεν οδηγεί σε υπερβάσεις ακόμα και του αυστηρού νομοθετικού ορίου ωριαίων τιμών. Θα πρέπει, επίσης, να επισημανθεί ότι για τον έλεγχο των εκπομπών NO₂ στη μονάδα λειτουργεί σύστημα επιλεκτικής μη-καταλυτικής αναγωγής με δυνατότητα ρύθμισης σε σχεδόν-πραγματικό χρόνο μέσω δυναμικά ελεγχόμενης έγχυσης αμμωνίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι εκπομπές NO₂ μπορούν να ελέγχονται, εντός ενός σχετικά μεγάλου εύρους τιμών, προκειμένου οι σχετιζόμενες διασπειρόμενες ποσότητες να παραμένουν κάτω από τα νομοθετικά όρια. Σε κάθε περίπτωση, η επέκταση χρήσης των εναλλακτικών καυσίμων στα νέα μείγματα αναμένεται να οδηγήσει σε μείωση της συνεισφοράς της μονάδας στα επίπεδα των συγκεντρώσεων των αερίων ρύπων στη γύρω περιοχή, συμπεριλαμβανομένου και του διοξειδίου του αζώτου.

7. Βιβλιογραφία

AEA Technology (AEAT), 2003. Emission factors programme Task 4(b) – Review of cement sector Pollution Inventory Report to the Department for Environment, Food and Rural Affairs; the National Assembly of Wales: the Scottish Executive; and the Department of Environment in Northern Ireland, AEAT/ENV/R/1425/Issue, August.

Cembureau CSI, 2009. Sustainable cement production. Co-Processing of alternative fuels and raw materials in the European Cement Industry, January.

Institute of Clean Air Companies Inc. (ICAC), 2000. White paper, Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR) for controlling NO_x emissions, May.

Janicke, L., 2002: Lagrangian dispersion modelling. Particulate Matter in and from Agriculture, 235, 37-41, ISBN 3-933140-58-7.

Janicke, L., and U. Janicke, 2003: (A modelling system for licensing industrial facilities) Entwicklung eines modellgestützten Beurteilungssystems für den anlagenbezogenen Immissionsschutz. UFOPLAN 200 43 256, on behalf of the German Federal Environmental Agency (UBA).

Kleppinger E.W., 1993, "Cement clinker: an environmental sink for residues from hazardous waste treatment in cement kilns", Waste Management 13 (8), 553-572.

Richards J., Goshaw D., Speer D. and T. Holder, 2008. Air Emissions Data Summary for Portland Cement Pyroprocessing Operations Firing Tire-Derived Fuels, Portland Cement Association.

Schreiber & Yonley Associates, 2008. Current State of Practice for Selective Non-Catalytic Reduction, Portland Cement Association, PCA R&D Serial No. 3046.

TA Luft (2002): (German Regulation on Air Quality Control) Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft TA-Luft GMBI (2002), 25-29, 511-605).

U. S. Environmental Protection Agency (EPA), 1994. Emission Factor Documentation for AP-42, Section 11.6, Portland Cement Manufacturing, Final Report, May.

Verein Deutscher Ingenieure, (VDI) 2011. Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 „Umweltmeteorologie. Atmosphärische Ausbreitungsmodelle. Partikelmodell", URL: <http://www.vdi.de/4790.0.html>, last accessed: 25.07.2011.

ΕΜΘΠΜ (Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής), 2011. Εκτίμηση των εκπομπών αέριων ρύπων και προσομοίωση της διασποράς τους στην περιοχή γύρω από το εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντων της εταιρίας TITAN στη Θεσσαλονίκη για διαφορετικά σενάρια μίγματος καυσίμων.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2000. Οδηγία 2000/76/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Δεκεμβρίου 2000 για την αποτέφρωση των αποβλήτων.

Κολοβός Κ., Τσιβίλης Σ., Κάκαλη Γ., 2006. Χρήση Δευτερογενών Υλικών και Καυσίμων κατά την Έψηση του Μίγματος των Πρώτων Υλών στη Βιομηχανία Τσιμέντου, Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, V, τεύχος 1-2.

ΕΜΘΠΜ (Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής), 2018. 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 καυσίμων