



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

υπό

ΧΑΡΙΛΑΟΥ ΠΑΛΑΠΕΛΑ

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

Βόλος, 2020

© 2020 Χαρίλαος Παλαπέλας

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Ανδρίτσος Νικόλαος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Μποντόζογλου Βασίλειος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Σταματέλλος Αναστάσιος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Ανδρίτσο Νικόλαο για την πολύτιμη καθοδήγησή του. Επιπλέον, οφείλω να αφιερώσω την διπλωματική μου εργασία στους γονείς μου που μου συμπαραστάθηκαν όλα τα χρόνια της φοίτησής μου στο πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους που με στήριξαν κατά τα έτη των σπουδών μου. Τέλος, ευχαριστώ το Θεό που κράτησε υγιή.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

ΧΑΡΙΛΑΟΣ ΠΑΛΑΠΕΛΑΣ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2020

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Ανδρίτσος Νικόλαος,
Καθηγητής Πειραματικών Φαινομένων Μεταφοράς

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η ανάδειξη των πιο σημαντικών και διαδεδομένων τεχνικών-μεθόδων-συστημάτων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας με σκοπό την μείωση των οξειδίων του αζώτου στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Αρχικά, αναλύεται η δημιουργία και η προέλευση των οξειδίων του αζώτου, καθώς επίσης αναφέρονται οι αρνητικές επιπτώσεις που προκαλούν στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Επιπλέον, γίνεται μια αναφορά στον τρόπο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένες τεχνικές αντιρρύπανσης των οξειδίων του αζώτου. Στη συνέχεια, αναλύονται οι πιο βασικές τεχνικές αντιρρυπαντικής τεχνολογίας των οξειδίων του αζώτου κατά την διαδικασία της καύσης, καθώς επίσης αναφέρονται οι τεχνικές αντιρρυπαντικής τεχνολογίας των οξειδίων του αζώτου που εφαρμόζονται στα καυσαέρια που προκύπτουν από την καύση. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν οι τεχνικές χαμηλής περισσειας αέρα στην καύση, μη στοιχειομετρικής καύσης, καυστήρων χαμηλής παραγωγής οξειδίων του αζώτου, ανακυκλοφορίας καυσαερίων, έγχυσης νερού-ατμού, μειωμένης προθέρμανσης αέρα, επανάκαυσης καυσίμου, βελτιστοποίησης της καύσης, προσθήκης οξυγόνου αντί αέρα κατά την διαδικασία της καύσης, μη θερμικού πλάσματος, εκλεκτικής καταλυτικής αναγωγής, εκλεκτικής μη καταλυτικής αναγωγής, προσρόφησης και απορρόφησης. Τέλος, παρατίθενται ορισμένες πληροφορίες για την νομοθεσία και τα όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου στην Ευρώπη και στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

CONTROL OF NITROGEN OXIDES IN POWER PLANTS AND INDUSTRIAL FACILITIES

CHARILAOS PALAPELAS

Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly, 2020

Supervisor: Dr Andritsos Nikolaos
Professor of Experimental Transport Phenomena

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to highlight the most important and widespread techniques-methods-systems of anti-pollution technology in order to reduce nitrogen oxides in power plants and industrial plants. Initially, the creation and origin of nitrogen oxides are analyzed, as well as the negative effects they cause on humans and the environment. In addition, a reference is made to the way electricity is generated and some anti-pollution techniques for nitrogen oxides are briefly presented. Then, the most basic techniques of nitrogen oxide anti-pollution technology during the combustion process are analyzed, as well as the anti-pollution technology techniques of nitrogen oxides that are applied to the flue gases resulting from combustion. More specifically, the techniques of low excess air combustion, non-stoichiometric combustion, low nitrogen oxides burners, flue gas recirculation, water-steam injection, reduced air preheat, fuel reburning, adding oxygen instead of air during the combustion process, non-thermal plasma, selective catalytic reduction, selective non-catalytic reduction, adsorption and absorption. Finally, some information is provided on the legislation and the limits of nitrogen oxides emissions in Europe and the United States.

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΤΩΝ, ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
2. ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ	10
2.1. Τι είναι και πως δημιουργούνται τα οξείδια του αζώτου.....	10
2.2. Αρνητικές επιπτώσεις στην φύση και στον άνθρωπο	13
2.3 Πηγές προέλευσης των οξειδίων του αζώτου	15
ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ	16
3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	16
3.1 Διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.....	16
3.2 Βασικές αρχές αντιρρυπαντικών μεθόδων και αντιρρυπαντικής τεχνολογίας για τον έλεγχο των οξειδίων του αζώτου.....	19
4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ	23
4.1 Χαμηλή περίσσεια αέρα στην καύση (Low Excess Air-LEA).....	23
4.2 Μη στοιχειομετρική καύση (Off-Stoichiometric Combustion-OSC).....	28
4.3 Καυστήρες χαμηλής παραγωγής NO _x (Low NO _x Burners-LNB)	32
4.4 Ανακυκλοφορία καυσαερίων (Flue Gas Recirculation –FGR)	35
4.5 Έγχυση νερού-ατμού (Water-Steam Injection).....	37
4.6 Μειωμένη προθέρμανση του αέρα (Reduced Air Preheat).....	39
4.7 Επανάκαυση καυσίμου [Fuel Reburning (FR)]	41
4.8 Βελτιστοποίηση καύσης (Combustion optimization).....	45
4.9 Προσθήκη οξυγόνου αντί αέρα κατά την διαδικασία της καύσης	50
5. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΑΠΑΕΡΙΑ ΚΑΥΣΗΣ	55
5.1 Μη θερμικό πλάσμα (Non thermal plasma-NTP)	55
5.1.1 Τύποι NTP αντιδραστήρων.....	58
5.2 Εκλεκτική καταλυτική αναγωγή (Selective catalytic reduction – SCR)	63

5.3 Εκλεκτική μη καταλυτική αναγωγή (Selective noncatalytic reduction – SNCR)	74
5.4 Προσρόφηση και Απορρόφηση (Adsorption and Absorption)	79
6. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΕΡΑ-ΕΕΑ-ΚΙΝΑ	82
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	96
Βιβλιογραφία	97
Παράρτημα Α.....	103
Καταλύτες SCR.....	103
Παράρτημα Β.....	105
Έλεγχοι NO _x - απόδοση και αποτελεσματικότητα	105
Παράρτημα Γ	106
Συντελεστές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων από διαδικασίες καύσης.....	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΤΩΝ, ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Κατάλογος Εικόνων :

Εικόνα 1: Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με τεχνολογία ατμοστρόβιλου.....	17
Εικόνα 2 : Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) σε σχέση με εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και καπνού (2).....	24
Εικόνα 3 : Λειτουργία εργοστασίου RENERGIA (5).....	26
Εικόνα 4 : Ο ανεξέλεγκτος σχηματισμός οξειδίων του αζώτου σε σχέση με την ποσότητα του οξυγόνου (4).....	27
Εικόνα 5 : Η επιρροή της αναλογίας OFA στην συγκέντρωση οξειδίων του αζώτου (NO_x), στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO), στην περιεκτικότητα του άκαυστου άνθρακα και στην απόδοση του λέβητα. (7).....	30
Εικόνα 6 : Απεικόνιση υπολογιστικής ρευστοδυναμικής μοντελοποίησης για σύστημα OFA. (8).....	31
Εικόνα 7 : Λειτουργία καυστήρα LNB (2).....	34
Εικόνα 8 : Δείκτης εκπομπών NO_x ως συνάρτηση των αναλογιών EGR και των μεθόδων EGR [exhaust gas recirculation (ανακυκλοφορία καυσαερίων)] για μεθάνιο σε ομοαξονικές φλόγες αέρα χωρίς ανάμιξη. (10).....	36
Εικόνα 9 : Σχέση έγχυσης νερού με την μείωση εκπομπών NO_x . (11).....	38
Εικόνα 10 : Οι εκπομπές NO_x σε συνάρτηση με την προθέρμανση του αέρα (12).....	40
Εικόνα 11 : Διαδικασία επανάκαυσης καυσίμου σε ένα λέβητα (2).....	42
Εικόνα 12 : Οι επιπτώσεις του κλάσματος επανάκαυσης καυσίμου στην απόδοση μείωσης των NO_x (13).....	43
Εικόνα 13 : Παρατηρήσεις NO_x πριν την εφαρμογή της μεθόδου (γκρι χρώμα) σε σχέση με τις παρατηρήσεις NO_x μετά την εφαρμογή της μεθόδου (Κόκκινο χρώμα) (14).....	47
Εικόνα 14 : Σχέση απόδοσης - NO_x (15).....	48
Εικόνα 15 : Συγκέντρωση NO_x ως συνάρτηση της αξονικής απόστασης από τον καυστήρα για μεταβαλλόμενη συγκέντρωση οξυγόνου στον αέρα καύσης (18).....	51
Εικόνα 16 : Μείωση των NO_x έναντι της στοιχειομετρικής αναλογίας της πρωτογενούς ζώνης καύσης αλλάζοντας την συνολική συγκέντρωση οξυγόνου στον αέρα καύσης. (19).....	52
Εικόνα 17 : Συγκέντρωση NO_x για την περίπτωση 22,5% OFA (20).....	53
Εικόνα 18 : Προφίλ οξυγόνου για την περίπτωση 22,5% OFA (20).....	54
Εικόνα 19 : Διαδρομές αφαίρεσης NO_x υπό τη δράση διαφορετικών ελεύθερων ριζών (21).....	57
Εικόνα 20 : Συσκευή ακτινοβολίας δέσμης ηλεκτρονίων (22).....	58
Εικόνα 21 : Τύποι αντιδραστήρων DBD (22).....	60
Εικόνα 22 : Αντιδραστήρες CDR (22).....	62
Εικόνα 23 : Σχηματική απεικόνιση μιας διαδικασίας SCR (23).....	64
Εικόνα 24 : Η μέθοδος SCR (24).....	65
Εικόνα 25 : Η εξίσωση αντίδρασης του NO με την αμμωνία (24).....	66
Εικόνα 26 : Παράθυρο θερμοκρασίας λειτουργίας για διαφορετικούς τύπους καταλύτη (25).....	68
Εικόνα 27 : Τρεις τύποι καταλυτικών γεωμετριών SCR (26).....	69
Εικόνα 28 : Απόδοση απομάκρυνσης NO_x σε σχέση με τη θερμοκρασία (27).....	70
Εικόνα 29 : Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας SNCR (28).....	75

Εικόνα 30 : Χημική αντίδραση με τη χρήση ουρίας ως αντιδραστήριο (28).....	76
Εικόνα 31 : Καμπύλη λειτουργίας SNCR (29).....	76
Εικόνα 32 : Απορρόφηση NO _x χρησιμοποιώντας κορεσμένο νερό με όζον παρουσία και απουσία όζοντος σε αέρια φάση. ▲ η υγρή φάση περιέχει κορεσμένη συγκέντρωση όζοντος και η γραμμομοριακή αναλογία όζοντος προς NO στην αέρια φάση είναι 1, ■ Το όζον υπάρχει μόνο στην υγρή φάση και η υγρή φάση περιέχει κορεσμένη συγκέντρωση όζοντος, ○ Χωρίς όζον σε νερό και αέριο, △ Το όζον υπάρχει μόνο στην αέρια φάση και η γραμμομοριακή αναλογία όζοντος προς NO είναι 1 (30)	81
Εικόνα 33 : Οδηγός ποιότητας αέρα για το διοξείδιο του αζώτου κατά το EPA (31)	83
Εικόνα 34 : Τάσεις εκπομπών οξειδίων του αζώτου (32)	83
Εικόνα 35 : Αλλαγή στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου σε σύγκριση με τους στόχους πρωτοκόλλου NECD και Γκέτεμποργκ του 2010 (32).....	85
Εικόνα 36 : Μερίδια εκπομπών οξειδίων του αζώτου για το 2011 (32)	85
Εικόνα 37 : Τάσεις των εκπομπών NO _x από θερμικούς σταθμούς στην Κίνα (34)	93

Κατάλογος Πινάκων :

Πίνακας 1: Προέλευση NO _x στην ατμόσφαιρα (1)	15
Πίνακας 2 : Τάσεις εκπομπών οξειδίων του αζώτου (32)	84
Πίνακας 3 : Ανώτατα όρια NO _x 2010 σύμφωνα με την οδηγία NEC και το πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ (32)	86
Πίνακας 4 : Οδηγίες εκπομπών σωματιδίων (mg / Nm ³) (33)	90
Πίνακας 5 : Οδηγίες εκπομπών για NO _x (mg / Nm ³) (33)	91
Πίνακας 6 : Πράξη καθαρού αέρα των Ηνωμένων Πολιτειών, 1990 (33)	92
Πίνακας 7 : Κεντρική γνωστοποίηση του πίνακα ελέγχου της ρύπανσης 2009, ΙΝΔΙΑ (33). 93	
Πίνακας 8 : Επαρχιακές εκπομπές NO _x για κινεζικούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, 2010 (34)	94
Πίνακας 9 : Σύγκριση εθνικού μέσου όρου έντασης NO _x θερμοηλεκτρικών σταθμών (g / kWh) (34)	95

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

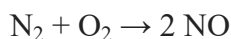
2. ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

2.1. Τι είναι και πως δημιουργούνται τα οξείδια του αζώτου

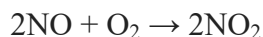
Με τον γενικό όρο οξείδια του αζώτου (NO_x) γίνεται αναφορά στο αέριο μίγμα μονοξειδίου του αζώτου (NO) και διοξειδίου του αζώτου (NO_2) που υπάρχει στην γήινη ατμόσφαιρα, αποτελώντας έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες ρύπανσής της. Συνήθως στην ομάδα αυτή των οξειδίων περιλαμβάνεται και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), αέριο το οποίο συμβάλλει σημαντικά στη δημιουργία του φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα οξείδια του αζώτου μπορούν να σχηματιστούν είτε φυσικά είτε τεχνητά.

Φυσικός σχηματισμός :

Υπό κανονικές συνθήκες το άζωτο δεν αντιδρά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Αυτό οφείλεται στον ιδιαίτερα ισχυρό τριπλό δεσμό μεταξύ των δύο ατόμων που συνιστούν το μόριο του αζώτου, γεγονός που καθιστά το μόριο του αδρανές. Η αντίδραση όμως μεταξύ αζώτου και οξυγόνου είναι δυνατή σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών. Έτσι, οξείδια του αζώτου παράγονται όταν στην ατμόσφαιρα συμβαίνουν ηλεκτρικές εκκενώσεις, όπως αστραπές και κεραυνοί. Κατά την εκδήλωση αστραπών και κεραυνών στην ατμόσφαιρα, η περί την ηλεκτρική εκκένωση περιοχή του αέρα αποκτά πολύ υψηλές θερμοκρασίες, και έτσι πραγματοποιείται αρχικά η αντίδραση:



Το σχηματιζόμενο μονοξείδιο του αζώτου αντιδρά, σε διάστημα μερικών δεκάδων λεπτών, με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, παράγοντας διοξείδιο του αζώτου:



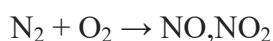
Τεχνητός σχηματισμός :

Τα οξείδια του αζώτου σχηματίζονται κατά τις διαδικασίες καύσεως κυρίως ορυκτών καυσίμων (βενζίνης, πετρελαίου, γαιανθράκων), σε κινητήρες οχημάτων και εργοστάσια αλλά και από κατασκευές οικιακής χρήσης (κεντρικές θερμάνσεις, τζάκια κτλ). Στις συνθήκες αυτές, όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες (και πιέσεις) οι πιο πάνω αντιδράσεις είναι σχετικά εύκολο να πραγματοποιηθούν. Τα πιο περιβαλλοντικά σημαντικά οξείδια του αζώτου είναι όπως αναφέρθηκε: NO , NO_2 , και πιο πρόσφατα N_2O . Το N_2O είναι μια πρόσφατη ανησυχία επειδή είναι ένα αέριο

του θερμοκηπίου που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη και επειδή μπορεί να βοηθήσει στην καταστροφή του στρώματος όζοντος της ανώτερης ατμόσφαιρας που μας προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία. Ευτυχώς, πολύ λίγο N₂O εκπέμπεται από τη φλόγα ενός τυπικού καυστήρα. Πάνω από το 90% των NO_x από μια τυπική φλόγα έχει τη μορφή NO και το υπόλοιπο είναι NO₂. Ωστόσο, δεδομένου ότι το NO τελικά μετατρέπεται σε NO₂ στην ατμόσφαιρα, οι περισσότεροι κανονισμοί αντιμετωπίζουν όλα τα NO_x ως NO₂. Οι εκπομπές NO_x από πηγές καύσης οφείλονται στην οξειδωση του ατμοσφαιρικού N₂ και στην οξειδωση του αζώτου που συνδέεται χημικά σε μόρια καυσίμου. Υπάρχουν τρεις βασικοί μηχανισμοί παραγωγής NO_x. Ορισμένοι από αυτούς τους μηχανισμούς είναι καλά κατανοητοί, ενώ άλλοι βρίσκονται ακόμη υπό διερεύνηση. Αυτοί είναι :

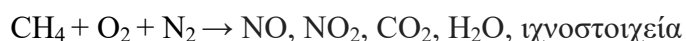
- ❖ Ο θερμικός μηχανισμός
- ❖ Ο γρήγορος μηχανισμός
- ❖ Ο μηχανισμός καυσίμων

Το θερμικό NO_x σχηματίζεται από την αντίδραση υψηλής θερμοκρασίας αζώτου με οξυγόνο, μέσω του γνωστού μηχανισμού Zeldovich, όπως δίνεται από την απλοποιημένη αντίδραση :



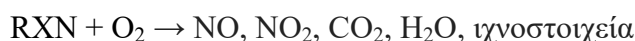
Το θερμικό NO_x αυξάνεται εκθετικά με τη θερμοκρασία. Πάνω από τους 1100 °C είναι γενικά ο κυρίαρχος μηχανισμός στις διαδικασίες καύσης, καθιστώντας το σημαντικό στις περισσότερες εφαρμογές θέρμανσης υψηλής θερμοκρασίας. Αυτό σημαίνει ότι αυτός ο μηχανισμός καθίσταται πιο σημαντικός όταν χρησιμοποιείται προθέρμανση αέρα ή εμπλουτισμός οξυγόνου του αέρα καύσης, γεγονός που αυξάνει κανονικά τη θερμοκρασία της φλόγας.

Το «γρήγορο» NO_x σχηματίζεται από τη σχετικά γρήγορη αντίδραση μεταξύ ριζών αζώτου, οξυγόνου και υδρογονανθράκων. Δίνεται από τη συνολική αντίδραση :



Στην πραγματικότητα, αυτή η πολύ περίπλοκη διαδικασία αποτελείται από εκατοντάδες αντιδράσεις. Οι ρίζες υδρογονανθράκων είναι ενδιάμεσα είδη που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης. Το «γρήγορο» NO_x είναι γενικά ένας σημαντικός μηχανισμός σε διαδικασίες καύσης χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Το καύσιμο NO_x σχηματίζεται από την άμεση οξειδωση οργανικών αζωτούχων ενώσεων που περιέχονται στο καύσιμο. Δίνεται από τη συνολική αντίδραση :



Σύνοψη ιδιοτήτων :

Το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο με δριμεία αλλά γλυκεία οσμή. Είναι άχρωμο ή καφέ σε συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου. Το διοξείδιο του αζώτου είναι άχρωμο έως καφέ υγρό σε θερμοκρασία δωματίου, με ισχυρή δριμεία οσμή, που σε θερμοκρασίες άνω των 40° C μετατρέπεται σε καφεκόκκινο αέριο.

Όταν τα οξείδια του αζώτου, με την επίδραση του ηλιακού φωτός, συνδυαστούν με πτητικές οργανικές ενώσεις, δημιουργούν επιφανειακό όζον, το κύριο συστατικό της φωτοχημικής αιθαλομίγλης (smog) η οποία δημιουργείται στις περισσότερες αστικές περιοχές του πλανήτη κυρίως κατά το καλοκαίρι.

2.2. Αρνητικές επιπτώσεις στην φύση και στον άνθρωπο

Τα οξείδια του αζώτου συμβάλλουν στην δημιουργία ασθματικών καταστάσεων και αναπνευστικών προβλημάτων, καθώς σε συνθήκες βροχής σχηματίζουν, αντιδρώντας με το νερό, νιτρικό οξύ (όξινη βροχή), ενώ σε συνθήκες υψηλής υγρασίας σχηματίζουν ατμούς νιτρικού οξέος, οι οποίοι είναι δυνατόν να εισχωρήσουν στο αναπνευστικό σύστημα προκαλώντας του σοβαρές βλάβες. Τα μικροσωματίδια που σχηματίζονται, επίσης, μπορούν να εισχωρήσουν στα πλέον ευαίσθητα σημεία των πνευμόνων και να προκαλέσουν εμφύσημα και βρογχίτιδα και να επιδεινώσουν καρδιακές παθήσεις.

Σε πειράματα που έγιναν σε ζώα που εκτέθηκαν σε ατμόσφαιρα με υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου παρατηρήθηκαν αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές βλάβες στους πνεύμονες καθώς και βιοχημικές μεταβολές. Σε μικρότερες συγκεντρώσεις αλλά για μεγάλο χρονικό διάστημα εμφανίστηκαν αλλοιώσεις σε ιστούς, εμφράξεις των βρογχιολίων και μεγαλύτερη ευπάθεια σε μικροβιακές λοιμώξεις του αναπνευστικού συστήματος. Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου είναι βλαπτικότερες για την υγεία ανθρώπων και ζώων σε σχέση με τις επί μακρότερο χρόνο εκθέσεις χαμηλών συγκεντρώσεων.

Η έκθεση υφασμάτων και υφαντικών υλών σε οξείδια του αζώτου φαίνεται ότι επηρεάζει εξασθένηση των υφαντικών ινών και προκαλεί το κιτρίνισμά τους. Για το σκοπό αυτό η βιομηχανία υφαντικών υλών έχει καταβάλει προσπάθειες κατασκευής υφασμάτων πιο ανθεκτικών σε παρόμοιες εκθέσεις.

Μια από τις επιδράσεις των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα έγκειται στην καταστροφή της οζονόσφαιρας. Η λωρίδα αυτή του όζοντος χρησιμεύει στην προστασία όλων των ζώντων οργανισμών από την υπερβολική υπεριώδη ακτινοβολία που περιέχεται στην ηλιακή ακτινοβολία, απορροφώντας μεγάλο μέρος της. Η λέπτυνση της οζονόσφαιρας επιτρέπει σε μεγαλύτερα ποσά υπεριώδους ακτινοβολία να φθάσει στην επιφάνεια της Γης, προκαλώντας ζημιές τόσο στα φυτά (ιδιαίτερα στα καλλιεργούμενα), τις υδρόβιες μορφές ζωής και τον άνθρωπο. Αν και ο ρόλος των οξειδίων του αζώτου στην καταστροφή αυτή δεν ήταν γνωστός για μεγάλο χρονικό διάστημα, νέα μελέτη τον κατέδειξε χρησιμοποιώντας τις ίδιες μεθόδους με τις οποίες είχαν καταδειχτεί οι βλαπτικές επιδράσεις των οργανοαλογονούχων ενώσεων

Η όξινη βροχή, στον σχηματισμό της οποίας συμμετέχουν τα οξείδια του αζώτου είναι υπεύθυνη για σημαντικές καταστροφές σε δάση και άλλες φυτικές μορφές ζωής. Επιπλέον, μεταβάλλει το pH του εδάφους με ενδεχόμενο να παρεμποδίζει από τα φυτά την απορρόφηση άλλων θρεπτικών ουσιών, όπως καλίου, μαγνησίου και ασβεστίου. Ακόμη μεγαλύτερες καταστροφές, όμως, προκαλούνται από την πτώση της όξινης βροχής σε λιμναία και ποτάμια οικοσυστήματα: Ελάχιστα ψάρια μπορούν να επιβιώσουν σε απότομες αλλαγές του pH του περιβάλλοντός τους, ενώ παράλληλα μειώνεται η βιοποικιλότητα και ο πληθυσμός και άλλων οργανισμών, σημαντικών κρίκων στο τροφικό πλέγμα. Παρόμοιες μεταβολές του pH έχουν ενοχοποιηθεί για πολλές περιπτώσεις εμφάνισης νεκρών ψαριών σε λιμναία περιβάλλοντα. Ιδιαίτερα επικίνδυνη είναι η κατάσταση

κατά την οποία τα οξείδια του αζώτου ενσωματώνονται σε χιονονιφάδες: Με την τήξη των χιονιών κατά την άνοιξη, το παραγόμενο όξινο νερό καταλήγει σε ποταμούς ή λίμνες προκαλώντας ένα "όξινο παλμό" ιδιαίτερα καταστρεπτικό για σχεδόν όλες τις μορφές ζωής στο οικοσύστημα.

Επιπλέον, τα οξείδια του αζώτου είναι δυνατό να αντιδράσουν με άλλες οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, δημιουργώντας ιδιαίτερα τοξικές ενώσεις, όπως οι νιτροζαμίνες και τα νιτροαρένια.

2.3 Πηγές προέλευσης των οξειδίων του αζώτου

Αρχικά, θα περιγράψουμε τις βασικότερες πηγές προέλευσης των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα και την εκτίμηση της δυναμικότητας τους την τελευταία 20-ετία:

Πίνακας 1: Προέλευση NO_x στην ατμόσφαιρα (1)

Πηγή	Δυναμικότητα (Teragrams/χρόνο)
Καύση ορυκτών καυσίμων: <ul style="list-style-type: none">➤ Αυτοκίνητα: 40-45%➤ Μονάδες παραγωγής ενέργειας: 30-35%➤ Βιομηχανία: 20%	24
Έδαφος (καλλιέργειες και φυσικό περιβάλλον)	12
Καύση βιομάζας (πυρκαγιές)	8
Αστραπές	5
Οξείδωση ατμοσφαιρικής αμμωνίας	3
Αεροπλάνα	0,5
Δημιουργία στην ατμόσφαιρα (Φωτόλυση/οξείδωση N ₂)	0,1

Όπως παρατηρείται στον πίνακα 1 η μεγαλύτερη ποσότητα οξειδίων του αζώτου προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιείται για την κίνηση αυτοκινήτων, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις διάφορες χρήσεις καυσίμων στην βιομηχανία. Εδώ, μπορεί να σημειωθεί ότι η παραγωγή του οξειδίου του αζώτου κατά την καύση ευνοείται όταν η διαδικασία γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, σημαντικό είναι να αναφερθεί και η σειρά κατάταξης κάποιων συνηθισμένων καυσίμων με βάση την παραγωγή οξειδίων του αζώτου κατά την διαδικασία της καύσης: ορυκτοί άνθρακες > πετρέλαιο, βενζίνες > φυσικό αέριο

ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ

3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

3.1 Διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος

Στην Ελλάδα η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κυρίως από θερμικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού και ένα μόνο μικρό ποσοστό παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι θερμικοί σταθμοί μπορεί να είναι λιγνιτικοί, πετρελαϊκοί καθώς και φυσικού αερίου. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι, με βάση και το πρόγραμμα-στόχο της Ευρωπαϊκής ένωσης για μία στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στην Ελλάδα έχει τεθεί σε εφαρμογή ένα πρόγραμμα προσπάθειας απολιγνιτοποίησης των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

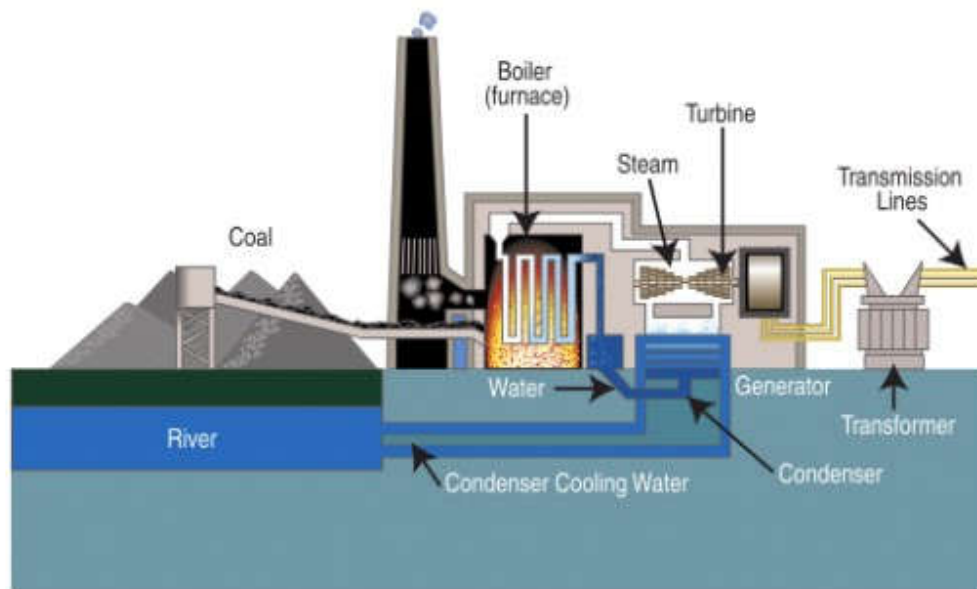
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στην καύση από την οποία παράγονται ορισμένοι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως μικροσωματίδια, οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου, οξείδια του άνθρακα, μη μεθανικές πτητικές οργανικές ενώσεις τα λεγόμενα (NVOC_s). Η ποσότητα και η ποιότητα του καυσίμου που χρησιμοποιούμε επιδρά στην ποιότητα και στην σύσταση των καυσαερίων που παράγονται κατά την καύση και κατά συνέπεια στην ποιότητα και στην σύσταση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Πιο συγκεκριμένα η ποσότητα αζώτου που περιέχει η καύσιμη ύλη, καθώς επίσης και το άζωτο που περιέχει ο ατμοσφαιρικός αέρας που χρησιμοποιείται για την καύση του καυσίμου, επηρεάζουν τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου.

Υπάρχουν τέσσερις γενικές κατηγορίες τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις όποιες θα γίνει μια μικρή αναφορά και ανάλυση:

- Τεχνολογία με Ατμοστρόβιλο (οι λεγόμενες ατμοηλεκτρικές μονάδες)
- Τεχνολογία με Αεροστρόβιλο
- Τεχνολογία με Συνδυασμένο Κύκλο
- Τεχνολογία με Μηχανές Εσωτερικής Ενέργειας

Τεχνολογία με Ατμοστρόβιλο (ατμοηλεκτρικές μονάδες) : Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται για την κυρίως για την καύση στερεών καυσίμων. Τα βασικά εργαλεία που βρίσκουμε σε αυτή τη μέθοδο είναι ένας λέβητας ατμοπαραγωγής, μία γεννήτρια και έναν ατμοστρόβιλο που οδηγεί την γεννήτρια. Αρχικά, το νερό του

λέβητα θερμαίνετε από την θερμότητα που παράγεται κατά την καύση του καυσίμου στον καυστήρα και δημιουργείται ατμός υψηλής πίεσης άνω των 100 bar. Ο υπέρθερμος ατμός οδηγείται στον αμοστρόβιλο όπου εκεί εκτονώνεται και περιστρέφει τα πτερύγια του και έτσι μέσω της γεννήτριας, η οποία μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα. Ο βαθμός απόδοσης φτάνει περίπου στο 40%.



Εικόνα 1: Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με τεχνολογία αμοστρόβιλου

Τεχνολογία με Αεροστρόβιλο : Ο βασικός εξοπλισμός αυτή της τεχνολογίας αποτελείται από τον θάλαμο καύσης, τον συμπιεστή του αεροστρόβιλου, τον αεροστρόβιλο και τη γεννήτρια. Ο συμπιεστής του αεροστρόβιλου συμπιέζει τον αέρα που εισέρχεται το θάλαμο καύσης, στον οποίο καίγεται το καύσιμο. Τα καυσαέρια εκτονώνονται στο αεροστρόβιλο παράγοντας μηχανική ενέργεια που περιστρέφει την γεννήτρια και έτσι παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Τα καυσαέρια που παράγονται είναι σε θερμοκρασία 300-600 °C. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι, η σημαντική ισχύς που χρειάζεται για να κινηθεί ο συμπιεστής και η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων που παράγονται, έχουν ως αποτέλεσμα έναν μικρό βαθμό απόδοσης της τάξεως του 29-32%.

Τεχνολογία με Συνδυασμένο Κύκλο : Η τεχνολογία αυτή αναφέρεται στον συνδυασμό των δύο τεχνολογιών που αναφέρθηκαν προηγουμένως (τεχνολογία με Αμοστρόβιλο και τεχνολογία με Αεροστρόβιλο). Ουσιαστικά, εδώ γίνεται μια προσπάθεια

εκμετάλλευσης της υψηλής θερμοκρασίας που έχουν τα καυσαέρια του θερμικού κύκλου με αεροστρόβιλο. Ο βασικός εξοπλισμός είναι μία ή δύο γεννήτριες, ένα λέβητα ανάκτησης θερμότητας, έναν αεροστρόβιλο και έναν ατμοστρόβιλο. Αναφέρθηκε ότι, αφού εφαρμοστεί κανονικά η τεχνολογία του αεροστροβίλου, τα καυσαέρια που παράγονται βρίσκονται σε υψηλή θερμοκρασία. Τα καυσαέρια αυτά αντί να τα αποβάλλουμε στο περιβάλλον, οδηγούνται στο λέβητα ανάκτησης θερμότητας, όπου εκεί θερμαίνουν το νερό του λέβητα και παράγεται ατμός. Έτσι, εφαρμόζεται και η τεχνολογία με ατμοστρόβιλο σε συνδυασμό με αεροστρόβιλο. Ο συνδυασμός αυτός έχει μεγάλα πλεονεκτήματα σε ό,τι αφορά την απόδοση αυτού του κύκλου, αφού μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας μπορούν να έχουν απόδοση μέχρι και 58%.

Τεχνολογία με Μηχανές Εσωτερικής Ενέργειας : Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στην χρησιμοποίηση μίας μηχανής εσωτερικής καύσης η οποία περιστρέφει μια γεννήτρια. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα ευρύ πλήθος καυσίμων όπως από βαρέα μέχρι και ελαφρά κλάσματα πετρελαίου (μαζούτ, ντίζελ) και αέρια καύσιμα (βιοαέριο, φυσικό αέριο). Ο βαθμός απόδοσης είναι αρκετά υψηλός και φτάνει το 50% ωστόσο με αυτή την τεχνολογία παρατηρείται υψηλή παραγωγή οξειδίων του αζώτου το οποίο είναι και ένα μεγάλο μειονέκτημα της τεχνολογίας αυτής. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης το μίγμα συμπιέζεται και στη συνέχεια αναφλέγεται με αποτέλεσμα την εκτόνωση των καυσαερίων και την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω ενός εμβόλου. Στη συνέχεια μία γεννήτρια μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.

3.2 Βασικές αρχές αντιρρυπαντικών μεθόδων και αντιρρυπαντικής τεχνολογίας για τον έλεγχο των οξειδίων του αζώτου

Όπως διαπιστώθηκε στις προηγούμενες ενότητες, κατά την διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργούνται διάφοροι ατμοσφαιρικοί ρύποι. Οι ατμοσφαιρικοί αυτοί ρύποι είναι κυρίως οξείδια του αζώτου, διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, σωματίδια, πτητικές οργανικές χημικές ενώσεις καθώς και το σύνολο των άκαυστων υδρογονανθράκων από τα καύσιμα. Η απομάκρυνση των οξειδίων του αζώτου η λεγόμενη απονίτρωση μπορεί να γίνει είτε μεμονωμένα είτε με ταυτόχρονη απομάκρυνση και των οξειδίων του θείου (αποθειώση) .

Οι δύο κύριες κατηγορίες ελέγχων των οξειδίων του αζώτου είναι οι μεταβολές στην καύση και οι τεχνικές επεξεργασίας αερίων καύσης. Οι μεταβολές στην καύση χρησιμοποιούνται για να περιορίσουν σχηματισμό οξειδίων του αζώτου κατά την διαδικασία της καύσης του καυσίμου. Οι τεχνικές επεξεργασίας των αερίων καύσης χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των οξειδίων του αζώτου από τα αέρια καύσης.

Γενικότερα, οι βασικές αρχές για την μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι οι εξής:

- ❖ *Μείωση των μέγιστων θερμοκρασιών με χρήση πλούσιου καυσίμου αρχικά στη ζώνη φλόγας, αύξηση του ρυθμού ψύξης της φλόγας και μείωση της αδιαβατικής θερμοκρασίας της φλόγας με αραιώση* : Η μείωση της θερμοκρασίας καύσης σημαίνει την αποφυγή της στοιχειομετρικής αναλογίας που είναι ο ακριβής λόγος των χημικών ουσιών που εισέρχονται στην αντίδραση. Ουσιαστικά, αυτή η τεχνική μειώνει τη θερμοκρασία με περίσσεια καυσίμου, αέρα, καυσαερίων ή ατμού. Οι τεχνικές των ελέγχων καύσης έχουν διαφορετικές μορφές αυτής της μεθόδου για την μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων και είναι διαφορετικές για τα καύσιμα με υψηλή και χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο. Ο έλεγχος των οξειδίων του αζώτου από την καύση καυσίμων υψηλής περιεκτικότητας σε άζωτο όπως είναι ο άνθρακας μπορεί να κατανοηθεί από την καθαρή στοιχειομετρική αναλογία. Ο έλεγχος των οξειδίων του αζώτου από την καύση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας όπως είναι το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο μπορεί να θεωρηθεί ως χαμηλή έναντι υψηλής αναλογίας καυσίμου-αέρα. Συμπερασματικά, η τεχνική αυτή αποφεύγει την ιδανική στοιχειομετρική αναλογία επειδή αυτή είναι η αναλογία που παράγει υψηλότερες θερμοκρασίες οι οποίες με τις σειρά τους παράγουν υψηλότερες συγκεντρώσεις θερμικών οξειδίων του αζώτου.

- ❖ *Μείωση του χρόνου παραμονής στο πιο ζεστό τμήμα της ζώνης φλόγας με αλλαγή της μορφής της ζώνης φλόγας :* Η μείωση του χρόνου διαμονής σε υψηλές θερμοκρασίες καύσης μπορεί να γίνει με το συγχρονισμό ανάφλεξης ή εγχύσεων με τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Μπορεί να γίνει, επίσης, στους λέβητες με τον περιορισμό της φλόγας σε μια μικρή περιοχή στην οποία ο αέρας καύσης μετατρέπεται σε καυσαέριο. Αυτό ακολουθείται αμέσως από την έγχυση του καυσίμου, του ατμού, περισσότερου αέρα καύσης ή ανακυκλωμένου καυσαερίου. Αυτός ο σύντομος χρόνος παραμονής στη μέγιστη θερμοκρασία διατηρεί την τεράστια πλειονότητα του αζώτου από το να ιονιστεί. Αυτό, βέβαια, δεν έχει καμία σχέση με το συνολικό χρόνο διαμονής των καυσαερίων στο λέβητα.
- ❖ *Χημική μείωση των οξειδίων του αζώτου :* Η μέθοδος αυτή παρέχει μια χημικά αναγωγική ουσία για την απομάκρυνση του οξυγόνου από τα οξείδια του αζώτου. Για παράδειγμα, η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την εκλεκτική καταλυτική αναγωγή που χρησιμοποιεί την αμμωνία , την εκλεκτική μη καταλυτική αναγωγή η όποια χρησιμοποιεί αμμωνία ή ουρία και την επανάκαυση αερίου. Το θερμικό πλάσμα η οποία είναι μια νέα τεχνολογία, όταν χρησιμοποιείται με ένα αναγωγικό παράγοντα, μειώνει χημικά τα οξείδια του αζώτου. Όλες αυτές οι τεχνολογίες προσπαθούν να μειώσουν χημικά το σθένος του αζώτου στο μηδέν όταν το σθένος έχει γίνει υψηλότερο από 11.Ορισμένοι καυστήρες χαμηλής περιεκτικότητας σε οξείδια του αζώτου βασίζονται σε κάποιο βαθμό σε αυτή την αρχή.
- ❖ *Οξειδωση των οξειδίων του αζώτου :* Αυτή η τεχνική αυξάνει σκόπιμα το σθένος του ιόντος αζώτου για να επιτρέψει στο νερό να το απορροφήσει, δηλαδή βασίζεται στη μεγαλύτερη διαλυτότητα του οξειδίου του αζώτου σε υψηλότερο σθένος. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση καταλύτη (προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου) για τη δημιουργία όζοντος στη ροή του αέρα, είτε με προσθήκη όζοντος στη ροή του αέρα. Η μέθοδος του θερμικού πλάσματος, όταν χρησιμοποιείται χωρίς αναγωγικό παράγοντα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οξείδωση των οξειδίων του αζώτου. Εδώ συνήθως χρησιμοποιείται και μία πλυντίδρα η οποία προστίθεται στην διαδικασία για να απορροφήσει τις εκπομπές του πεντοξειδίου του αζώτου (N_2O_5) στην ατμόσφαιρα.
- ❖ *Αφαίρεση αζώτου από την καύση :* Αυτό επιτυγχάνεται με την αφαίρεση του αζώτου ως αντιδρών, είτε με τη χρήση οξυγόνου αντί αέρα κατά την διαδικασία της καύσης, είτε χρησιμοποιώντας πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε άζωτο καύσιμο, ώστε να σχηματιστούν λιγότερα οξείδια του αζώτου. Η εξάλειψη του αζώτου με τη χρήση οξυγόνου τείνει να παράγει μια έντονη φλόγα που πρέπει να μειωθεί στη συνέχεια.

- ❖ *Προσρόφηση και απορρόφηση* : Η επεξεργασία καυσαερίων με προσθήκη προσροφητικών (όπως αμμωνία, ασβεστόλιθος σε σκόνη, οξείδιο του αργιλίου ή άνθρακας) μπορεί να απομακρύνει τα οξείδια του αζώτου και άλλους ρύπους (κυρίως θείο). Η χρήση του άνθρακα ως προσροφητικού μερικές φορές χρησιμοποιείται για τον περιορισμό των εκπομπών οξειδίων του αζώτου παρά το γεγονός αυτό. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται ακολουθούμενη από διήθηση και ηλεκτροστατική καθίζηση για την απομάκρυνση του προσροφητή.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχει και ο συνδυασμός των μεθόδων αυτών για την καλύτερευση των αποτελεσμάτων μείωσης των εκπομπών αζώτου.

Μεταβολές στην καύση : Οι αλλαγές στη διαδικασία καύσης μπορούν να επιτευχθούν είτε με μεταβολή των συνθηκών λειτουργίας σε υπάρχοντες κλιβάνους, είτε με την εγκατάσταση νέων σχεδιασμένων κλιβάνων ή καυστήρων. Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1980 έγινε μία ανάπτυξη, μέσω διάφορων ερευνών, των τεχνικών στην μεταβολή των συνθηκών λειτουργίας που επικρατούν κατά την διαδικασία της καύσης και οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην μείωση σχηματισμού οξειδίων του αζώτου. Οι τεχνικές αυτές είναι:

- Χαμηλή περίσσεια αέρα στην καύση
- Μη στοιχειομετρική καύση
- Ανακύκλωση αερίων καύσης
- Επανάκαυση αερίου
- Μείωση προθέρμανσης αέρα και μείωση ρυθμών καύσης
- Προσθήκη νερού με πίεση

Τεχνικές επεξεργασίας αερίων καύσης : Η τεχνική αυτή απομάκρυνσης οξειδίων του αζώτου από τα αέρια που παράγονται κατά την διάρκεια της καύσης είναι θεμιτή όταν απαιτείται υψηλότερη απόδοση απομάκρυνσης σε σχέση με τις τεχνικές που εφαρμόζονται κατά την μεταβολή των συνθηκών λειτουργίας της καύσης. Οι τεχνικές επεξεργασίας αερίων καύσης κατηγοριοποιούνται σε ξηρές και υγρές.

Ξηρές τεχνικές :

- Εκλεκτική καταλυτική αναγωγή
- Εκλεκτική μη καταλυτική αναγωγή
- Προσρόφηση

Υγρές τεχνικές :

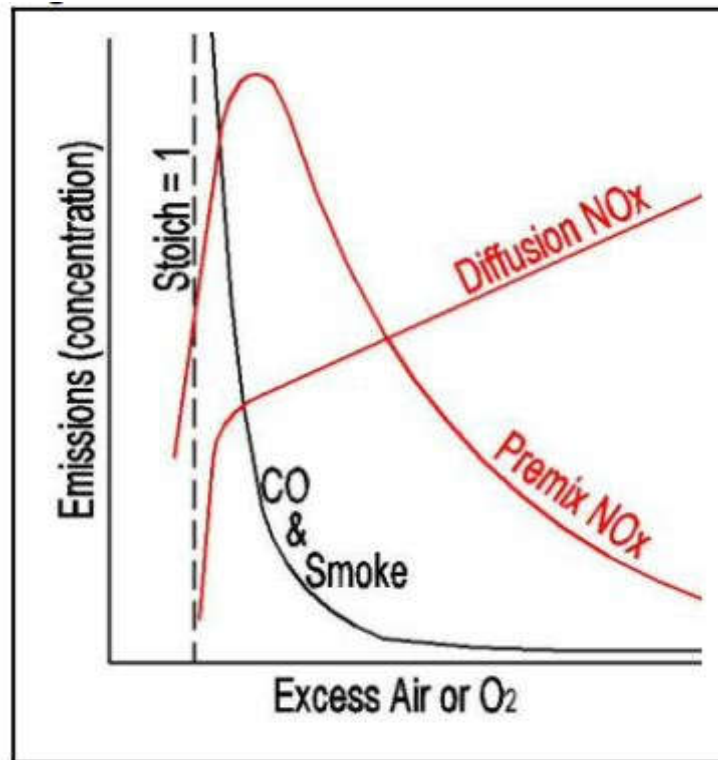
- Απορρόφηση

Στις παρακάτω ενότητες θα γίνει μια αναλυτική περιγραφή των τεχνικών που αναφέρθηκαν καθώς επίσης θα αναφερθούν κάποιες ακόμα ειδικές τεχνικές αντιρρυπαντικής τεχνολογίας των οξειδίων του αζώτου και συνδυασμένες τεχνικές απονίτρωσης και αποθείωσης. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι σημαντικό ρόλο στην μείωση των NO_x (σε συνδυασμό με τις απαιτητές τεχνικές αντιρρυπαντικής λειτουργίας) έχει ο τύπος του λέβητα που χρησιμοποιείται για την καύση του καυσίμου.

4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ

4.1 Χαμηλή περίσσεια αέρα στην καύση (Low Excess Air-LEA)

Αυτός είναι ο πιο βασικός τρόπος για τη μείωση των οξειδίων του αζώτου στους περισσότερους καυστήρες. Τα παλαιότερα χρόνια ήταν σύνηθες να παρατηρούμε κλιβάνους να χρησιμοποιούνται με 50-100% περίσσεια αέρα, δηλαδή το ποσό αέρα σε περίσσεια από εκείνο που χρειάζεται στοιχειομετρικά για 100% καύση. Η υπερβολική ροή αέρα κατά την καύση έχει συσχετιστεί με την ποσότητα των παραγόμενων οξειδίων του αζώτου. Ο περιορισμός της καθαρής ροής του αέρα σε λιγότερο από 2% μπορεί να περιορίσει σημαντικά την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξείδια του αζώτου. Αν και υπάρχουν ζώνες πλούσιες σε καύσιμα και ζώνες φτωχές σε καύσιμο στην περιοχή της καύσης, ο συνολικός καθαρός αέρας που βρίσκεται σε περίσσεια είναι περιορισμένος κατά τη χρήση αυτής της προσέγγισης. Έτσι, όπως καταλαβαίνει κανείς, το πρώτο βήμα για τον έλεγχο των εκπομπών οξειδίων του αζώτου είναι η ελαχιστοποίηση της πλεονάζουσας στάθμης αέρα. Συγκεκριμένα, η λέξη «κλειδί» είναι η ελαχιστοποίηση διότι αν πλεονάζον αέρας μειωθεί κοντά στο στοιχειομετρικό, όλοι οι ρύποι που σχετίζονται με την ατελή καύση αρχίζουν να αυξάνονται. Σε αυτό το σημείο υπάρχει μια ανταλλαγή μεταξύ οξειδίων του αζώτου και προϊόντων της ατελούς καύσης. Ένα πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι μία εύκολο τροποποιήσιμη διαδικασία, ενώ ένα μειονέκτημα είναι ότι σε σχέση και με άλλες τεχνικές μείωσης ρύπων των οξειδίων του αζώτου είναι λιγότερο αποτελεσματική καθώς φτάνει σε ένα ποσοστό 20-25% μείωσης των παραγόμενων κατά την καύση οξειδίων του αζώτου. Επίσης, η μέθοδος αυτή προκαλεί υψηλότερη παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα και επηρεάζει το μέγεθος και τη σταθερότητα της φλόγας κατά την καύση.



Εικόνα 2 : Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) σε σχέση με εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και καπνού (2)

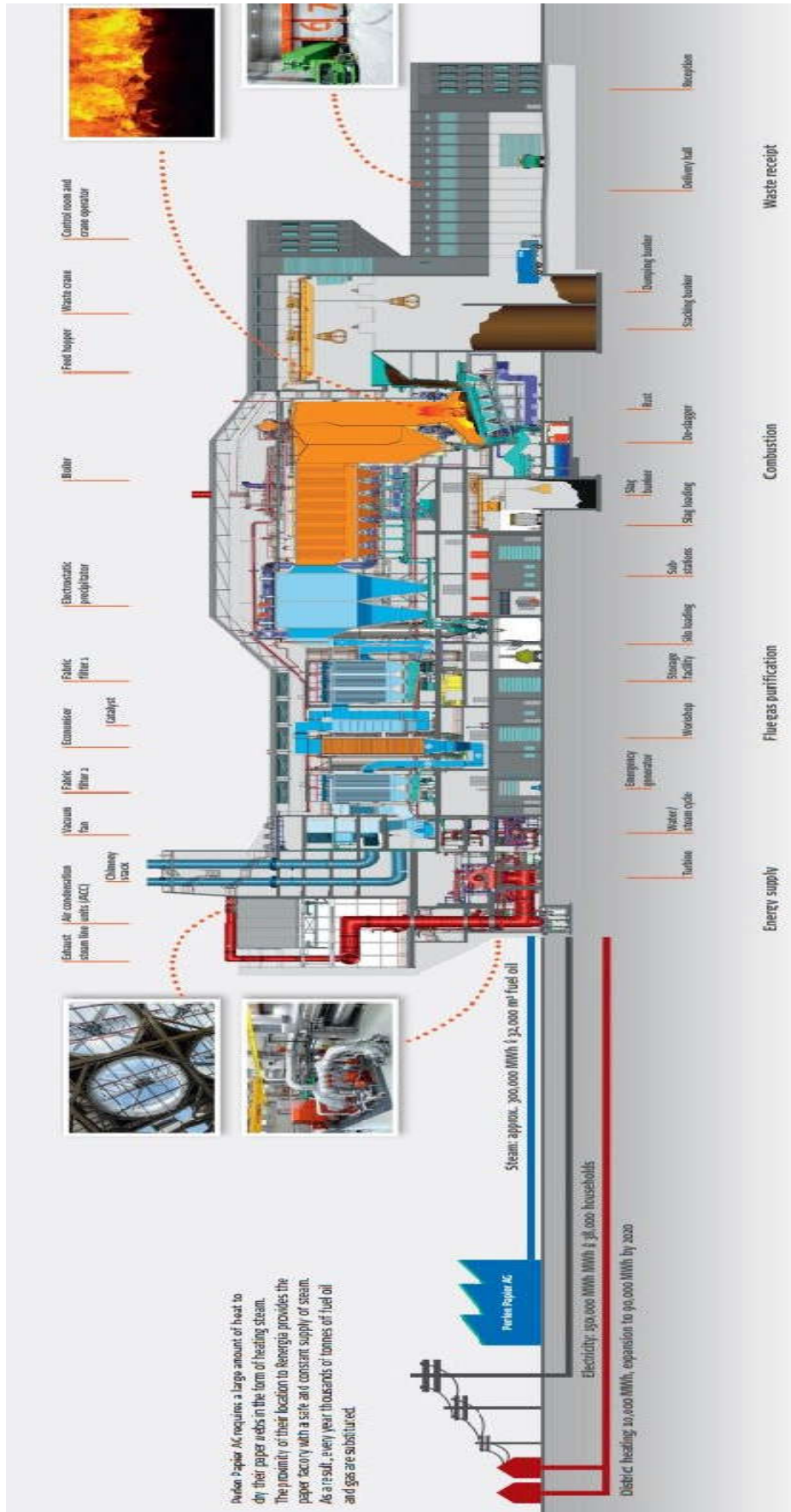
Όπως παρατηρείται και από την Εικόνα 2, οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα και καπνού είναι αμελητέες σε υψηλά επίπεδα αέρα. Καθώς η περίσσεια αέρα μειώνεται, η παραγωγή του μονοξειδίου του άνθρακα και του καπνού αυξάνεται γρήγορα και απότομα. Αυτό σημαίνει ότι κανένας καυστήρας δεν μπορεί να λειτουργήσει με πολύ χαμηλή περίσσεια αέρα εκτός εάν υπάρχει κάποια πρόσθετη αντιρρυπαντική τεχνολογία που θα μειώσει ή θα μπορέσει με κάποιο τρόπο να μας απαλλάξει από την παραγωγή των προϊόντων της ατελούς καύσης.

Η συμπεριφορά των οξειδίων του αζώτου εξαρτάται από τον τύπο της φλόγας. Οι τύποι της φλόγας είναι : η φλόγα διάχυσης (οι περισσότεροι παραδοσιακοί καυστήρες λειτουργούν με τέτοια φλόγα) και η προμεμιγμένη φλόγα. Για μία φλόγα διάχυσης τα NO_x μειώνονται σχεδόν γραμμικά καθώς μειώνεται η περίσσεια αέρα, ώσπου να φτάσει σε ένα σημείο στο οποίο τα NO_x μειώνονται απότομα. Έτσι, μπορούμε να μειώσουμε τα NO_x που παράγονται από την καύση με φλόγα διάχυσης, ενώ ταυτόχρονα διατηρούμε σε χαμηλά επίπεδα την παραγωγή CO και καπνού. Θα μπορούσε να ειπωθεί κιόλας ότι αποτελεί και ένα μικρό πρόβλημα συντονισμού. Για μία προμεμιγμένη φλόγα το πρόβλημα είναι πιο περίπλοκο. Το καλύτερο σημείο λειτουργίας φαίνεται πως είναι το σημείο εκείνο όπου υπάρχει υψηλή περίσσεια αέρα. Αυτό όμως πρακτικά είναι αδύνατο να λειτουργήσει χωρίς ορισμένες ειδικές τεχνικές επειδή το μείγμα αέρα-καυσίμου είναι πολύ «φτωχό» για να ανάψει ή να κάψει με ένα σταθερό τρόπο. Έτσι, οι προμεμιγμένες φλόγες λειτουργούν σε αρκετά

υψηλά επίπεδα NO_x με περιορισμένη ευελιξία στην στο συντονισμό NO_x και CO-καπνού.

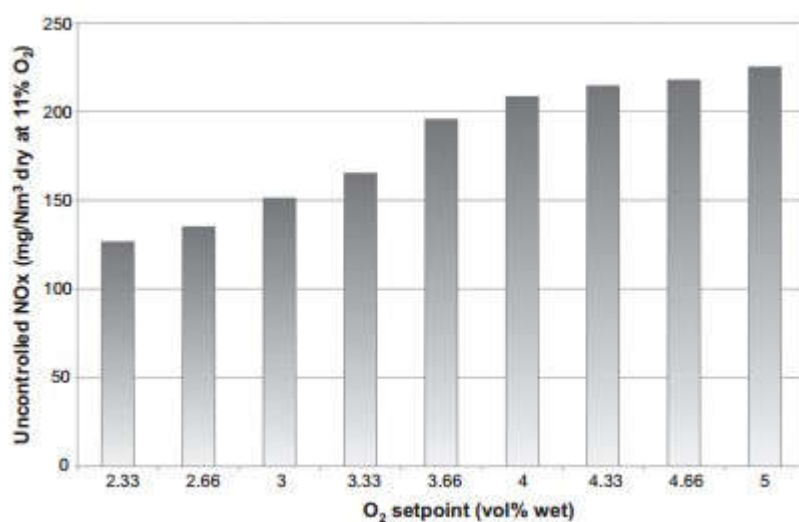
Όλα αυτά τονίζουν την ανάγκη ελέγχου του αέρα σε οποιοδήποτε σύστημα καύσης που ως σκοπό έχει την μείωση των παραγόμενων οξειδίων του αζώτου. Η ροή αέρα πρέπει αν διατηρείται κοντά στο ελάχιστο πρακτικό επίπεδο από ένα αυτόματο σύστημα έλεγχου ροής αέρα [όπως το YS1700 Boiler Combustion Control της εταιρίας YOKOGAWA (3)] το οποίο θα ελέγχει τη ροή αέρα συνεχώς καθώς αλλάζει το φορτίο του λέβητα.

Θα ήταν χρήσιμο να αναφερθεί και η περίπτωση του εργοστασίου της RENERGIA το οποίο βρίσκεται στη Λουκέρνη της Ελβετίας και άρχισε την λειτουργία του το 2015. Σε μία πρόσφατη έρευνα (4) που δημοσιεύτηκε το 2017 μελετήθηκε το αποτέλεσμα της χαμηλής περισσειας αέρα κατά την καύση και πώς αυτή επιδρά στο σχηματισμό των NO_x. Το εργοστάσιο αυτό χρησιμοποιεί απόβλητα-απορρίμματα ως καύσιμο για να παραγάγει υψηλής θερμοκρασίας ατμό, ηλεκτρική και θερμική ενέργεια τα όποια στην συνέχεια εξάγει στο διπλανό εργοστάσιο χαρτιού της PERLEN PAPIER AG, καθώς επίσης και σε διπλανές οικίες. Ο ατμός που παράγει για την PERLEN PAPIER AG φτάνει τις 300.000 MWh το οποίο ισούται περίπου με 32.000 m³ καυσίμου. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει φτάνει τις 150.000 MWh η οποία αντιστοιχεί για τις ανάγκες περίπου 38.000 οικιών. Η τηλεθέρμανση που παράγει είναι περίπου 10.000 MWh που όμως η εταιρία προβλέπει ότι θα φτάσει τις 90.000 MWh το 2020. Στην Εικόνα 3 μπορούμε να παρατηρήσουμε το εργοστάσιο και πως αυτό λειτουργεί.



Εικόνα 3 : Λειτουργία εργοστασίου RENERGIA (5)

Σύμφωνα με την έρευνα ο ανεξέλεγκτος σχηματισμός οξειδίων του αζώτου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα του οξυγόνου (O_2) που υπάρχει στη διαδικασία καύσης. Η επίδραση του οξυγόνου στον ανεξέλεγκτο σχηματισμό οξειδίων του αζώτου εμφανίζεται στην Εικόνα 4 στο σημείο μεταξύ 2,33 και 5 % οξυγόνου (υγρού). Η μετρούμενη συγκέντρωση οξυγόνου στην έξοδο του λέβητα κυμαίνεται γύρω από αυτό το σημείο ρύθμισης. Αν λάβουμε ως αναφορά το 5% οξυγόνου, η τιμή των ανεξέλεγκτων NO_x που είναι πάνω από 200 mg/Nm^3 μειώνεται σε λιγότερα από 150 mg/Nm^3 όταν μειώνουμε το οξυγόνο στο 3% ή και ακόμα χαμηλότερα.



Εικόνα 4 : Ο ανεξέλεγκτος σχηματισμός οξειδίων του αζώτου σε σχέση με την ποσότητα του οξυγόνου (4)

4.2 Μη στοιχειομετρική καύση (Off-Stoichiometric Combustion-OSC)

Η μη στοιχειομετρική καύση χωρίζεται γενικά σε δύο τεχνολογίες-μεθόδους που είναι οι εξής:

- Καυστήρες εκτός λειτουργίας [Burners Out of Service (BOOS)]
- Υπερβολικά θερμικά επεξεργασμένος αέρας [Overfire air (OFA)]

Καυστήρες εκτός λειτουργίας [Burners Out of Service (BOOS)] : Όταν μία μονάδα καύσης εξοπλίζεται με πολλαπλούς καυστήρες τότε μπορεί να ένα ποσοστό καυστήρων εκτός λειτουργίας. Αυτό επιτρέπει τους διπλανούς καυστήρες (στη διάταξη της μονάδας καύσης) να τροφοδοτούν με καύσιμα και αέρα τους καυστήρες που βρίσκονται εκτός λειτουργίας. Το αποτέλεσμα είναι η καύση σε στάδια με την οποία η θερμοκρασία να είναι πάντα χαμηλότερη σε σχέση με όταν όλοι οι καυστήρες είναι σε λειτουργία. Έτσι, τα θερμικά NO_x που παράγονται είναι λιγότερα. Ο βαθμός στον οποίο μειώνεται η παραγωγή NO_x εξαρτάται από τη χωροταξική σχέση των καυστήρων που βρίσκονται εκτός λειτουργίας με τους άλλους καυστήρες. Ουσιαστικά, η τεχνική περιλαμβάνει τον τερματισμό της ροής καυσίμου από έναν καυστήρα ή περισσότερους για τη δημιουργία ζωνών «πλούσιων» και «φτωχών» σε καύσιμα επιτυγχάνοντας κάποιο έλεγχο εκπομπών NO_x που κυμαίνεται σε 10% (6) περίπου μείωση .

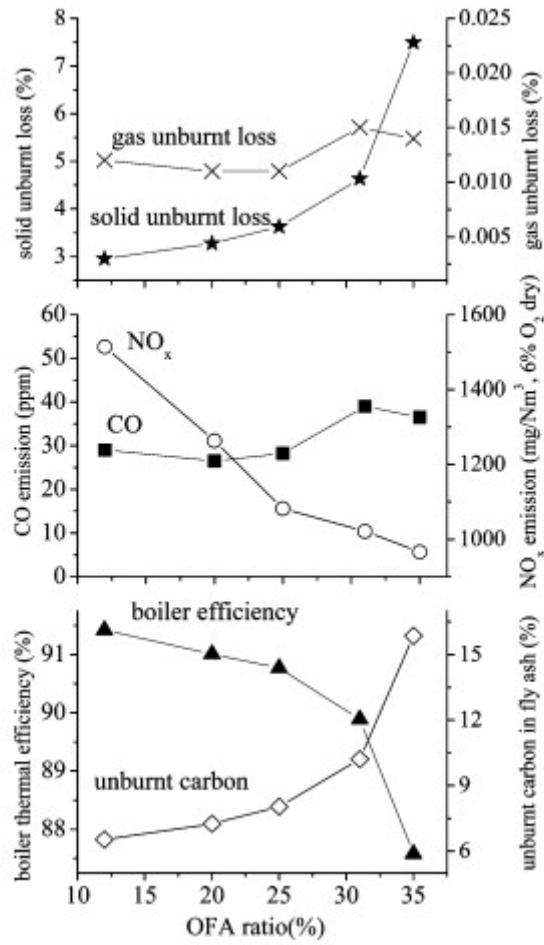
Υπερβολικά θερμικά επεξεργασμένος αέρας [Overfire air (OFA)] : Τα συστήματα OFA εκτρέπουν ένα μέρος του αέρα καύσης μακριά από την κύρια ζώνη καύσης. Όταν κατά την καύση χρησιμοποιείται ένα πλούσιο σε καύσιμα μείγμα, η χρήση του OFA ολοκληρώνει την καύση. Επειδή το μείγμα είναι πάντα μη στοιχειομετρικό όταν συμβαίνει η καύση, η θερμοκρασία συγκρατείται και μένει σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Μετά από όλα τα άλλα στάδια καύσης, το υπόλοιπο του καυσίμου οξειδώνεται πάνω από τον αέρα της φωτιάς. Αυτή συνήθως δεν είναι μια υπερβολική ποσότητα αέρα. Πρόκειται για μια καλά αποδεδειγμένη, εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία για μείωση των NO_x σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα. Η τεχνολογία OFA απαιτεί την εισαγωγή του αέρα καύσης να διαχωρίζεται σε πρωτογενείς και δευτερεύουσες τομές ροής για να επιτευχθεί πλήρης εξάντληση και να ενθαρρυνθεί ο σχηματισμός αζώτου (N₂) παρά NO_x. Όταν χρησιμοποιείται το OFA, το 70-90% του αέρα καύσης τροφοδοτείται στους καυστήρες, με το υπόλοιπο να εισάγεται στο κλίβανο πάνω από τους καυστήρες. Ειδικότερα, κατά την καύση γαιανθράκων, ο πρωτογενής αέρας και ο άνθρακας παράγουν ένα σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας (με μικρή περιεκτικότητα σε οξυγόνο) πλούσιο σε καύσιμο περιβάλλον

κοντά στον καυστήρα, το οποίο μειώνει το σχηματισμό καυσίμου-NO_x. Ο θερμικά επεξεργασμένος αέρας εγχέεται πάνω από την πρωτογενή ζώνη καύσης, παράγοντας μια σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας δευτερεύουσα ζώνη καύσης που περιορίζει το σχηματισμό θερμικών NO_x. Η τεχνολογία OFA στη καύση, με τη χρήση καυστήρων χαμηλής παραγωγής NO_x, μπορεί να μειώσει τις εκπομπές NO_x κατά 30-70%. Επίσης, μπορεί να αυξήσει τα άκαυστα επίπεδα άνθρακα στην τέφρα κατά 35-50%, με το βαθμό αύξησης να εξαρτάται από την αντιδραστικότητα του άνθρακα που χρησιμοποιείται. Επιπλέον, μπορεί να αντιμετωπιστούν λειτουργικά προβλήματα, όπως διάβρωση του τείχους προστασίας, ρύπανση και απώλεια θερμοκρασίας ατμού. Επιπρόσθετα, η θέση των θυρών ψεκασμού και η ανάμιξη του αέρα είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της αποτελεσματικής καύσης.

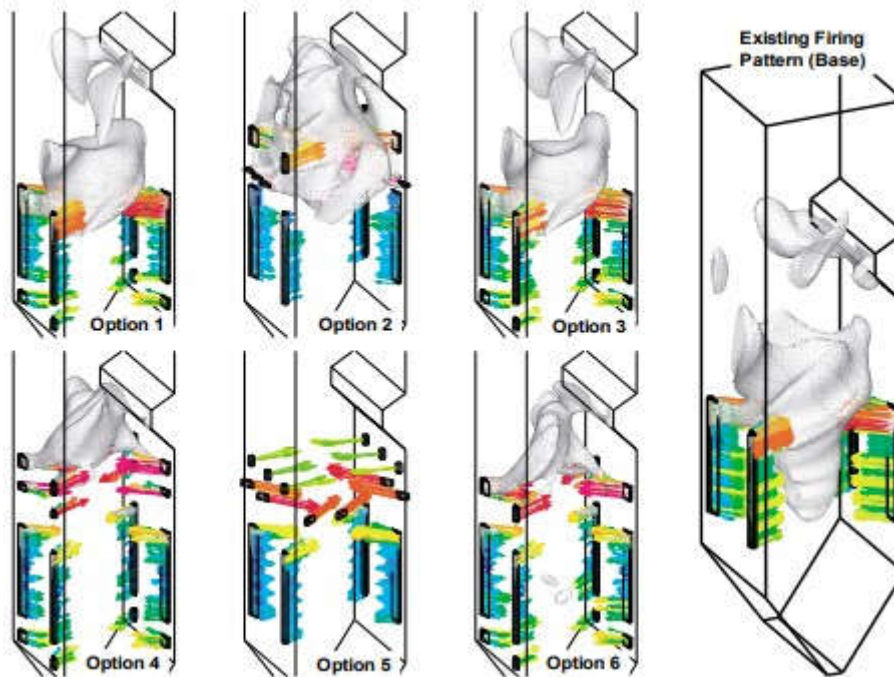
Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων OFA : closedcouple overfire air (COFA) και separated overfire air (SOFA). Το σύστημα COFA εισάγει τον υπόλοιπο δευτερεύοντα αέρα ακριβώς πάνω από τους καυστήρες. Το σύστημα SOFA αυξάνει την απόσταση μεταξύ της πρωτεύουσας ζώνης καύσης και των στομιών OFA, τα οποία εισάγουν τον δευτερεύοντα αέρα, για να δημιουργήσει μια ζώνη διαχωρισμού.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, απαιτείται ένας ανεμιστήρας ενίσχυσης για να παρέχει επαρκή ταχύτητα ανάμιξης ώστε να επιτυγχάνεται υψηλότερος ρυθμός μείωσης NO_x. Για το σχεδιασμό αποτελεσματικών συστημάτων OFA, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως ο αριθμός γωνιών - υψομέτρων, η απόσταση και η γεωμετρία του λέβητα και το μέγεθος του λέβητα.

Όπως ειπώθηκε προηγουμένως, η τεχνολογία αυτή δημιουργεί μια ζώνη πλούσια σε καύσιμα κοντά στους καυστήρες εισάγοντας μόνο ένα μέρος του αέρα καύσης στην περιοχή του κύριου καυστήρα και εισάγοντας τον εναπομένοντα αέρα καύσης που ονομάζεται overfire air. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μία αναλογία αέρα που ονομάζεται αναλογία OFA (OFA ratio). Σε μελέτη που έγινε αποδείχθηκε ότι η αναλογία OFA επηρεάζει σημαντικά τη δημιουργία οξειδίων του αζώτου (7). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όταν η αναλογία OFA αυξάνεται από το 12% στο 35%, οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου μειώνονται από 1308 mg/Nm³ σε 966 mg/Nm³ (στο 6% ξυρού οξυγόνου). Λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές αλλά και οικονομικές συνέπειες προτείνεται ότι η πιο βέλτιστη αναλογία OFA βρίσκεται στο 25%.



Εικόνα 5 : Η επιρροή της αναλογίας OFA στην συγκέντρωση οξειδίων του αζώτου (NO_x), στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO), στην περιεκτικότητα του άκαυστου άνθρακα και στην απόδοση του λέβητα. (7)



Εικόνα 6 : Απεικόνιση υπολογιστικής ρευστοδυναμικής μοντελοποίησης για σύστημα OFA. (8)

Τελικά, σε σχέση με ότι παρουσιάστηκε, και οι δύο τεχνικές μη στοιχειομετρικής καύσης θα μπορούσαμε να πούμε πως περιγράφονται ως διαδικασίες σταδιακής καύσης. Οι τεχνικές αυτές έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και πιο συγκεκριμένα η τεχνική BOOS δεν έχει κανένα κόστος κεφαλαίου σε αντίθεση με την OFA η οποία έχει γενικά υψηλό κόστος αγοράς. Επίσης, όπως διαπιστώνεται και από την Εικόνα 5 όσο αυξάνεται η αναλογία OFA αυξάνεται η δημιουργία CO που έχει ως αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η λήψη επιπρόσθετων αντιρρυπαντικών μέτρων. Οι τεχνικές της μη στοιχειομετρικής καύσης μπορούν να εφαρμοστούν γενικά σε όλα τα είδη καυσίμων. Τέλος, στις τεχνικές της μη στοιχειομετρικής καύσης παρατηρούνται επιπτώσεις στο μέγεθος της φλόγας καύσης και στη χωρητικότητα του ανεμιστήρα.

4.3 Καυστήρες χαμηλής παραγωγής NO_x (Low NO_x Burners-LNB)

Ένα LNB παρέχει μια σταθερή φλόγα που έχει πολλές διαφορετικές ζώνες καύσης. Για παράδειγμα, η πρώτη ζώνη μπορεί να είναι η πρωτογενής καύση. Η δεύτερη ζώνη μπορεί να είναι ένα καύσιμο που προστίθεται για να μειώσει χημικά τα NO_x. Η τρίτη ζώνη μπορεί να είναι η τελική καύση σε χαμηλή περίσσεια αέρα για τον περιορισμό της θερμοκρασίας. Το LNB μπορεί να έχει έως και 80% αποτελεσματικότητα στη μείωση των εκπομπών NO_x. Αυτή μπορεί να είναι μία από τις φθηνότερες τεχνολογίες πρόληψης της ρύπανσης με υψηλό ποσοστό μείωσης των NO_x.

Οι LNB καυστήρες έχουν σχεδιαστεί για να επιτυγχάνουν τα ακόλουθα (9) :

- Μεγιστοποίηση του ρυθμού πτητικής εξέλιξης των ουσιών και τη συνολική πτητική απόδοση από το καύσιμο, με το άζωτο του καυσίμου να αναπτύσσεται στο αναγωγικό τμήμα της φλόγας.
- Παροχή ζώνης με έλλειψη οξυγόνου όπου το άζωτο του καυσίμου αναπτύσσεται για να ελαχιστοποιηθεί η μετατροπή του σε NO_x, διασφαλίζοντας ότι υπάρχει αρκετό οξυγόνο για τη διατήρηση σταθερής φλόγας.
- Βελτιστοποίηση του χρόνου παραμονής και της θερμοκρασίας στην αναγωγική ζώνη για να ελαχιστοποιηθεί η μετατροπή του αζώτου του καυσίμου σε NO_x.
- Μεγιστοποίηση του χρόνου παραμονής του απανθρακώματος υπό συνθήκες πλούσιες σε καύσιμα για να μειώσετε την πιθανότητα σχηματισμού NO_x από το άζωτο που παραμένει στο απανθράκωμα μετά την αποπτητικοποίηση.
- Προσθήκη επαρκή αέρα για την πλήρη καύση.

Όλοι οι καυστήρες LNB εφαρμόζουν την αρχή της στάσης αέρα, αλλά τα σχέδια διαφέρουν πολύ μεταξύ των κατασκευαστών. Οι καυστήρες LNB, που βασίζονται μόνο στη στάση αέρα, μπορούν να επιτύχουν μείωση των εκπομπών NO_x 30-60%. Επιπλέον, πρέπει να λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να συμβούν τα ακόλουθα (9) :

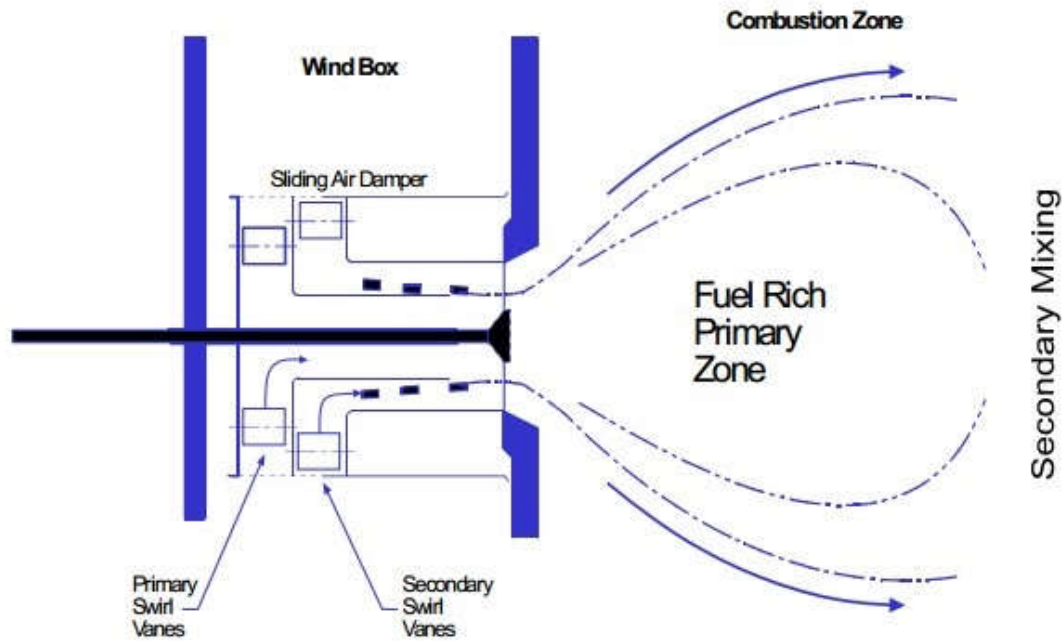
- Η συνολική απόδοση καύσης να μην μειώνεται σημαντικά
- Η σταθερότητα της φλόγας και τα όρια μείωσης να μην επηρεάζονται
- Η φλόγα πρέπει να έχει ένα οξειδωτικό περίβλημα για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας διάβρωσης λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στα τοιχώματα του κλιβάνου
- Το μήκος της φλόγας είναι συμβατό με τις διαστάσεις του κλιβάνου
- Η απόδοση πρέπει να είναι αποδεκτή για ένα ευρύ φάσμα καυσίμων

Η κύρια ανησυχία στους καυστήρες LNB είναι η πιθανότητα μείωσης της αποτελεσματικότητας της καύσης και συνεπώς η αύξηση των επιπέδων του άκαυστου

άνθρακα (καυσίμου) στα καυσαέρια. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου που χρησιμοποιείται για περεταίρω αντιρρυπαντική λειτουργία. Ορισμένες παράμετροι λειτουργίας που μπορούν να εφαρμοστούν για να μετριάσουν την επίδραση του άκαυστου άνθρακα είναι οι ακόλουθες (9) :

- Χρήση καυσίμου (συνήθως χρησιμοποιείται κάποιος γαιάνθρακας) με υψηλή αντιδραστικότητα και υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικές ύλες
- Μείωση του μεγέθους των σωματιδίων του άνθρακα.
- Ισορρόπηση της διανομής άνθρακα στους καυστήρες.
- Χρησιμοποίηση προηγμένων συστημάτων ελέγχου καύσης.

Γενικά, η περιεκτικότητα σε άνθρακα, η λεπτότητα, η περιεκτικότητα σε πτητικές ουσίες και η περιεκτικότητα σε άζωτο επηρεάζουν το σχηματισμό NO_x στην καύση κονιοποιημένου άνθρακα. Από αυτές τις ιδιότητες,, η περιεκτικότητα σε άνθρακα και η περιεκτικότητα σε πτητικές ουσίες έχουν σημαντικότερο αντίκτυπο στο σχηματισμό NO_x σε σύγκριση με τυπικές διακυμάνσεις στην περιεκτικότητα σε άζωτο και την λεπτότητα του κονιοποιημένου άνθρακα. Ωστόσο, οι λέβητες που εξοπλίζονται με κονιοποιητές για να παρέχουν ένα λεπτότερο άλεσμα άνθρακα μπορούν να επιτύχουν τις μεγαλύτερες μειώσεις NO_x με LNB καυστήρες. Εκτός από τις ιδιότητες του άνθρακα, τα χαρακτηριστικά του λέβητα, όπως το μέγεθος του κλιβάνου και οι ογκομετρικοί και επίπεδοι ρυθμοί απελευθέρωσης θερμότητας, επηρεάζουν τη θερμοκρασία των καυσαερίων και το χρόνο παραμονής στη ζώνη καύσης και από εκεί, την επίδραση της αποτελεσματικότητας των LNB καυστήρων. Οι μακρύτερες φλόγες των καυστήρων LNB απαιτούν μεγαλύτερους φούρνους για να αποτρέψουν την πρόσκρουση στους τοίχους του κλιβάνου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι μεταποιήσεις καυστήρων σε LNB μπορούν να οδηγήσουν σε αλλαγή των μορφών μεταφοράς θερμότητας μέσα στον κλίβανο, σε αυξημένη διάβρωση των τοιχωμάτων του και σε αυξημένη ρύπανση του.



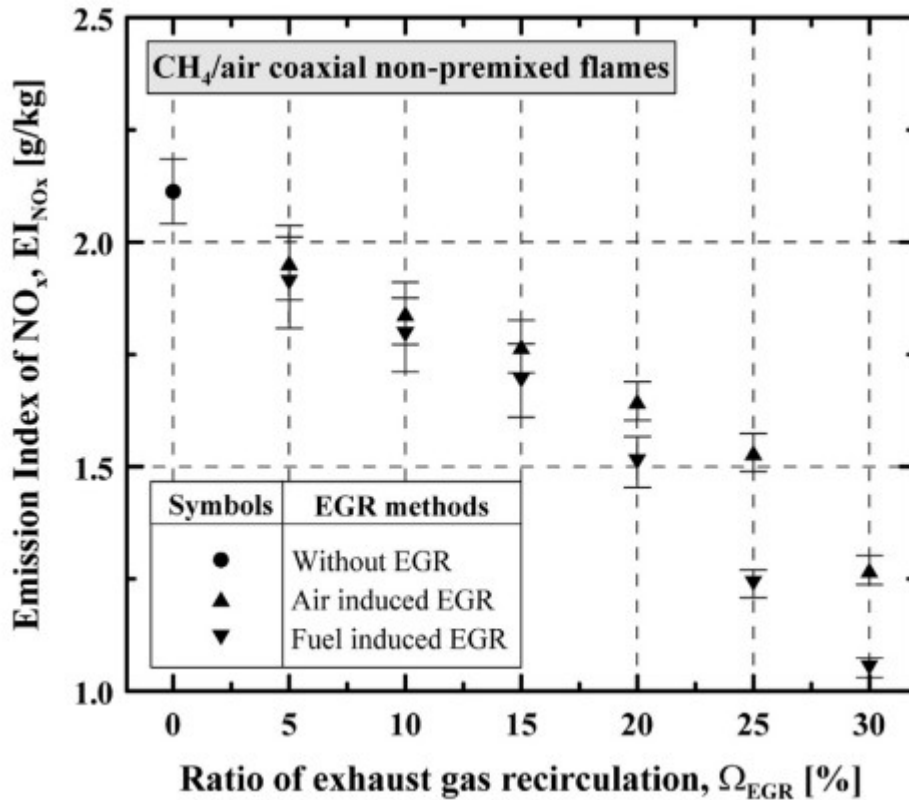
Εικόνα 7 : Λειτουργία καυστήρας LNB (2)

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7, αρχικά εισάγεται στο «εσωτερικό» μέρος του καυστήρα το πρωταρχικό μείγμα καυσίμου-αέρα, το οποίο είναι πλούσιο σε καύσιμο. Στο «εξωτερικό» μέρος του καυστήρα εισάγεται το υπόλοιπο κομμάτι αέρα. Έτσι, δημιουργείται ο πυρήνας της αξονικής φλόγας που είναι πλούσιος σε καύσιμο και αρχίζει η πρωταρχική καύση. Στη συνέχεια, δημιουργείται η ζώνη ανακυκλοφορίας προϊόντων καύσης και στο τέλος υπάρχει μία σταδιακή ανάμιξη μερικώς καμένων προϊόντων της αρχικής ζώνης καύσης και του δευτερογενούς αέρα. Στους καυστήρες LNB γίνεται, ουσιαστικά, μία εσωτερική σταδιακή καύση. Οι συγκεκριμένοι καυστήρες έχουν γενικά μικρό κόστος λειτουργίας και είναι συμβατοί με την τεχνολογία FGR η οποία θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα, ωστόσο έχουν μέτριο προς υψηλό κόστος αγοράς, καθώς επίσης μπορούν να χρησιμοποιήσουν πληθώρα καυσίμων.

4.4 Ανακυκλοφορία καυσαερίων (Flue Gas Recirculation –FGR)

Η ανακυκλοφορία των καυσαερίων (FGR) περιλαμβάνει την ανακυκλοφορία μέρους του απαερίων πίσω στον κλίβανο ή στους καυστήρες για την τροποποίηση των συνθηκών στη ζώνη καύσης μειώνοντας τη μέγιστη θερμοκρασία της φλόγας και τη συγκέντρωση οξυγόνου, μειώνοντας έτσι το σχηματισμό NO_x . Η θερμότητα στο καυσαέριο μπορεί να ανακτηθεί από έναν εναλλάκτη θερμότητας. Εάν η θερμοκρασία καύσης διατηρηθεί κάτω από τους $760\text{ }^\circ\text{C}$, ο θερμικός σχηματισμός NO_x θα είναι αμελητέος. Το FGR χρησιμοποιείται εμπορικά για πολλά χρόνια σε μονάδες με καύση άνθρακα. Ωστόσο, σε αντίθεση με τους λέβητες φυσικού αερίου και πετρελαίου, οι οποίοι μπορούν να επιτύχουν υψηλή μείωση NO_x , οι λέβητες με καύση άνθρακα πραγματοποιούν συνήθως μείωση λιγότερο από 20% NO_x λόγω της σχετικά χαμηλής συμβολής των θερμικών NO_x στη συνολική ποσότητα NO_x .

Σε συμβατικές εφαρμογές FGR, το 20-30% των καυσαερίων εξάγεται από τον αγωγό εξόδου του λέβητα αντίθετα στη ροή του θερμαντήρα αέρα και αναμιγνύεται με τον αέρα καύσης. Αυτή η διαδικασία μειώνει τον σχηματισμό θερμικού NO_x χωρίς σημαντική επίδραση στο NO_x καυσίμου. Η μειωμένη θερμοκρασία φλόγας μειώνει τη μεταφορά θερμότητας, περιορίζοντας ενδεχομένως τη μέγιστη ικανότητα θέρμανσης της μονάδας, με αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητας παραγωγής ατμού. Έτσι, θα μπορούσαμε να πούμε πως μπορεί να επηρεαστεί η θερμική απόδοση του λέβητα. Πιο συγκεκριμένα στην έρευνα τους οι Byeonghun Yu, Seungro Lee, Chang-Eon Lee (10) και χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το μεθάνιο θεώρησαν ότι η προσθήκη FGR θα μπορούσε να μειώσει τη ζώνη υψηλής θερμοκρασίας και να μειώσει τη μέγιστη θερμοκρασία καύσης, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των θερμικών NO_x .



Εικόνα 8 : Δείκτης εκπομπών NO_x ως συνάρτηση των αναλογιών EGR και των μεθόδων EGR [exhaust gas recirculation (ανακυκλοφορία καυσαερίων)] για μεθάνιο σε ομοαξονικές φλόγες αέρα χωρίς ανάμιξη. (10)

Όπως προκύπτει και από την Εικόνα 8 ο δείκτης εκπομπών NO_x μειώθηκε με την αύξηση των αναλογιών EGR λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας φλόγας ανεξάρτητα από τη μέθοδο EGR. Οπότε, γίνεται κατανοητό ότι η αναλογία ανακυκλοφορίας καυσαερίων είναι σημαντική και επηρεάζει τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου.

Ουσιαστικά, με τη μέθοδο αυτή, καυσαέρια επανακυκλοφορούν, μειώνοντας τη θερμοκρασία. Η μέθοδος αυτή έχει υψηλό δυναμικό μείωσης NO_x για καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο, ωστόσο έχει ένα υψηλό κόστος κεφαλαίου καθώς και λειτουργικό κόστος. Επηρεάζει την μεταφορά θερμότητας και τις πιέσεις τους συστήματος. Επίσης, επιδρά στην χωρητικότητα του ανεμιστήρα στην πίεση του κλιβάνου και στην πτώση πίεσης του καυστήρα. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλη ποικιλία καυσίμων αλλά γενικά προτιμούνται καύσιμα που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο.

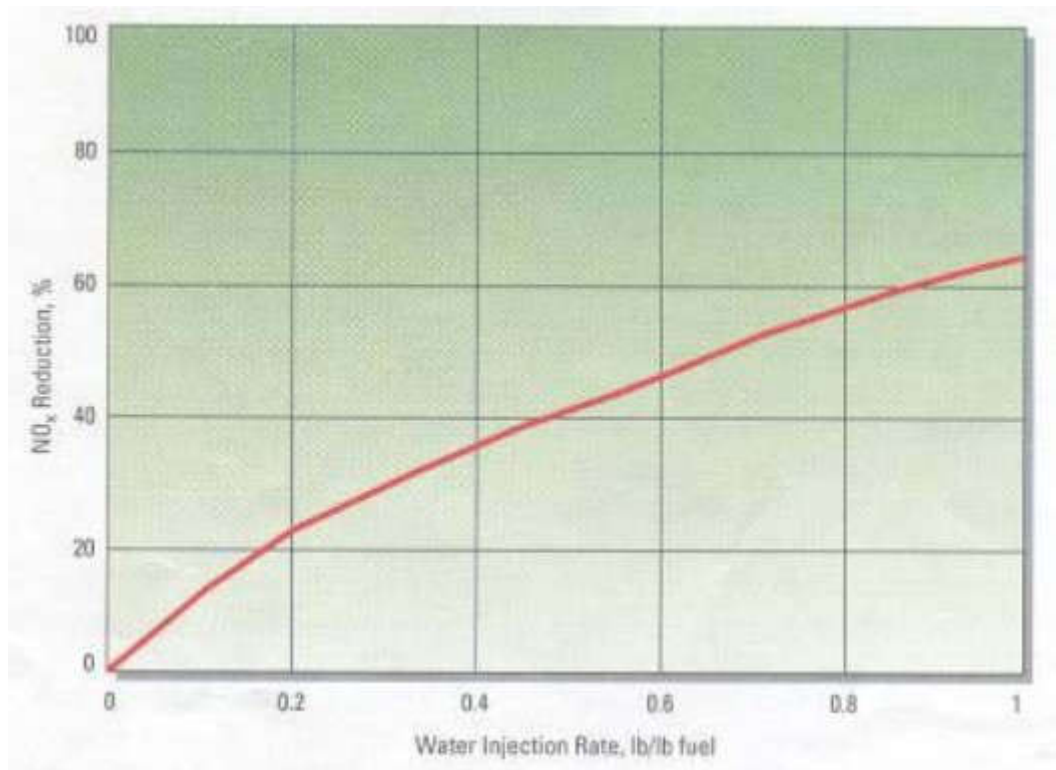
4.5 Έγχυση νερού-ατμού (Water-Steam Injection)

Η έγχυση νερού ή ατμού προκαλεί την αλλαγή της στοιχειομετρίας του μείγματος. Και οι δύο αυτές ενέργειες προκαλούν χαμηλότερη θερμοκρασία καύσης. Εάν η θερμοκρασία μειωθεί επαρκώς, τα θερμικά NO_x δεν θα σχηματιστούν σε τόσο μεγάλη συγκέντρωση. Η έγχυση νερού ή ατμού χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια για τη μείωση των εκπομπών NO_x στις διαδικασίες καύσης μειώνοντας τη θερμοκρασία της φλόγας. Το νερό ή ο ατμός μπορούν να εγχυθούν σε διάφορες θέσεις σε μια διαδικασία καύσης, όπως στην παροχή αέρα καύσης, στο καύσιμο, στο μείγμα καυσίμου-αέρα πριν από την καύση, στη ζώνη φλόγας, ή ακόμη και στη φορά ρεύματος της ζώνης φλόγας, αν και αυτό είναι γενικά λιγότερο αποτελεσματικό από τις άλλες μεθόδους, επειδή έχουν συνήθως ήδη σχηματιστεί σημαντικά NO_x . Η έγχυση νερού ή ατμού κατά την διαδικασία καύσης δεν μειώνει μόνο την θερμοκρασία αλλά μειώνει την συγκέντρωση οξυγόνου στο οξειδωτικό στοιχείο. Η επιτυχής εφαρμογή της έγχυσης νερού ή ατμού απαιτεί σωστή έγχυση του υγρού στη ζώνη καύσης. Το μέγεθος και η ταχύτητα των σταγονιδίων καθορίζουν σε πιο σημείο επηρεάζεται η θερμοκρασία της καύσης. Αυτό συνήθως απαιτεί τη στόχευση των περιοχών υψηλότερης θερμοκρασίας της ζώνης καύσης με βάση προβλέψεις από την υπολογιστική ρευστοδυναμική μοντελοποίηση της φλόγας του καυστήρα. Αυτή η μέθοδος είναι κάπως αποτελεσματική σε κλιβάνους που λειτουργούν με πετρέλαιο και άνθρακα, αλλά έχει εφαρμοστεί πιο αποτελεσματικά σε κλιβάνους που λειτουργούν με αέριο.

Αυτή η τεχνική υιοθετείται κυρίως σε αεριοστρόβιλους. Το πρόσθετο πλεονέκτημα της υιοθέτησης αυτής της τεχνικής είναι η ενίσχυση της παραγωγής ισχύος ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης ροής μάζας. Αυτή η τεχνική, ωστόσο, απαιτεί εξαιρετικά καθαρό νερό, καθώς ακόμη και μια λεπτή παρουσία αλκαλίων στον καυστήρα μπορεί να καταστρέψει τον αεριοστρόβιλο που λειτουργεί σε θερμοκρασία εισόδου 1423 Kelvin ή και παραπάνω.

Η εφαρμογή έγχυσης νερού ή ατμού για τον έλεγχο των εκπομπών NO_x έχει αρκετά σημαντικά μειονεκτήματα. Το μονοξείδιο του άνθρακα και οι μη καμένοι υδρογονάνθρακες αυξάνονται, ειδικά σε χαμηλά φορτία. Η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται έως και 5% για να αντισταθμίσει τη θερμότητα της εξάτμισης του νερού. Εάν χρησιμοποιείται έγχυση ατμού, απαιτείται περίπου 50% υψηλότερος ρυθμός μάζας σε σύγκριση με την έγχυση νερού και υπάρχει η απώλεια ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή ατμού. Έχει γενικά μέτριο κόστος κεφαλαίου και το ποσοστό μείωσης των NO_x είναι παρόμοιο με την FGR τεχνική. Επηρεάζει την απόδοση της καύσης και απαιτεί αυξημένη ισχύ για τον ανεμιστήρα. Επηρεάζει,

επίσης, την σταθερότητα της φλόγας. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται με πληθώρα καυσίμων αλλά προτιμούνται καύσιμα που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα αζώτου.

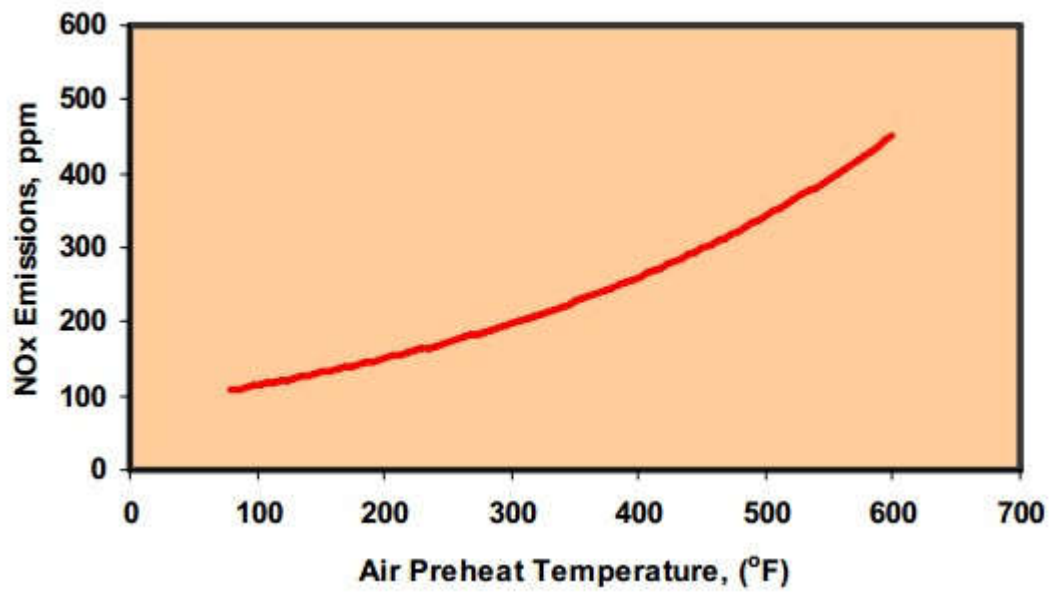


Εικόνα 9 : Σχέση έγχυσης νερού με την μείωση εκπομπών NO_x. (11)

4.6 Μειωμένη προθέρμανση του αέρα (Reduced Air Preheat)

Για τις διαδικασίες καύσης, ένας από τους πιο ισχυρούς τρόπους για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας είναι η προθέρμανση του αέρα καύσης που πηγαίνει στους καυστήρες. Η πηγή αυτής της θερμικής ενέργειας είναι συνήθως το ρεύμα καυσαερίων, το οποίο αφήνει τη διαδικασία σε υψηλές θερμοκρασίες. Ένας εναλλάκτης θερμότητας, τοποθετημένος στη καπνοδόχο ή στον αγωγό, μπορεί να εξαγάγει ένα μεγάλο μέρος της θερμικής ενέργειας στα καυσαέρια και να το μεταφέρει στον εισερχόμενο αέρα καύσης. Η ανακύκλωση της θερμότητας με αυτόν τον τρόπο θα μειώσει την ποσότητα του αγορασμένου καυσίμου που απαιτείται από τον κλίβανο. Ο αέρας, λοιπόν, συνήθως προθερμαίνεται για την ψύξη των καυσαερίων, τη μείωση των απωλειών θερμότητας και την αποδοτικότητα. Ωστόσο, αυτό μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία του αέρα καύσης σε επίπεδα όπου τα NO_x σχηματίζονται πιο εύκολα. Με τη μείωση της προθέρμανσης του αέρα, η θερμοκρασία καύσης μειώνεται και ο σχηματισμός NO_x καταστέλλεται. Αυτό μπορεί να μειώσει την απόδοση, αλλά μπορεί να περιορίσει την παραγωγή NO_x .

Η αντικατάσταση των προθερμαντήρων αέρα με εξοικονομητές (economizers) είναι μία επιλογή για τη μείωση των NO_x χωρίς να θυσιάζεται η ενεργειακή απόδοση. Ωστόσο, η αναδρομολόγηση υφιστάμενων γραμμών τροφοδοσίας και η τροποποίηση των αγωγών καυσαερίων και καύσης απαιτεί σημαντικό χρόνο διακοπής λειτουργίας και μπορεί να είναι μια πολύ ακριβή επιλογή. Η εμπειρία που έχει αποκτηθεί πάνω στο θέμα αυτό δείχνει ότι η τροποποίηση του αγωγού είναι δύσκολη και είναι εξαιρετικά δύσκολο να αναπαραχθεί η απόδοση καύσης μετά την τροποποίηση. Οι μονάδες που έχουν τροποποιηθεί με τέτοιο τρόπο συχνά απαιτούσαν εκ νέου σωλήνωση ή ακόμη και αντικατάσταση κλιβάνου για να επιστρέψουν στην προηγούμενη απόδοση. Η αντικατάσταση του προθερμαντήρα αέρα με έναν εξοικονομητή για απλή αντιμετώπιση των εκπομπών NO_x είναι μια πολύ ακριβή και περιττή πρόταση, ειδικά όταν υπάρχουν πιο οικονομικές εναλλακτικές λύσεις. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται με πληθώρα καυσίμων αλλά προτιμούνται καύσιμα που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα αζώτου.



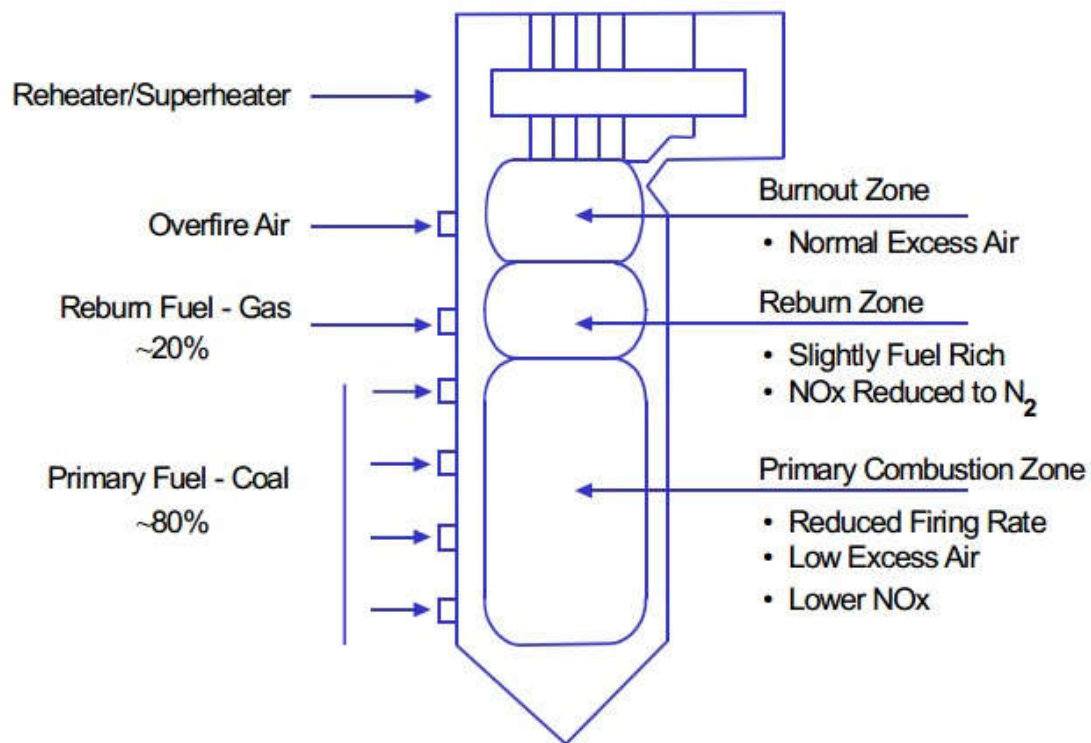
Εικόνα 10 : Οι εκπομπές NO_x σε συνάρτηση με την προθέρμανση του αέρα
(12)

4.7 Επανάκαυση καυσίμου [Fuel Reburning (FR)]

Η επανακυκλοφορία ψυχρού καυσαερίου με προστιθέμενο καύσιμο, που αυτό μπορεί να είναι φυσικό αέριο, κονιοποιημένος άνθρακας, βιομάζα καθώς και κάποια μίγματα άνθρακα-νερού, προκαλεί μείωση της πρωτογενούς θερμοκρασίας καύσης. Επίσης, όταν προστίθεται ως δευτερεύον στάδιο καύσης, η παρουσία προστιθέμενου καυσίμου μειώνει χημικά τα νέα NO_x που παράγονται μετατρέποντας τα σε μοριακό άζωτο. Το προστιθέμενο καύσιμο καταναλώνεται μόνο εν μέρει για τη μείωση των NO_x και η καύση ολοκληρώνεται σε μεταγενέστερο στάδιο χρησιμοποιώντας είτε ακροφύσια αέρα καύσης είτε γενικά μία τεχνική OFA. Αυτή η τεχνική έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική σε χρόνους παραμονής από 0,2 δευτερόλεπτα έως 1,2 δευτερόλεπτα και έχει επιτύχει έως και 76% μείωση εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Η διαδικασία δεν απαιτεί τροποποιήσεις στο υπάρχον κύριο σύστημα καύσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα είδη λέβητα.

Στην κύρια ζώνη καύσης, οι καυστήρες λειτουργούν σε μειωμένο ρυθμό καύσης με χαμηλή περίσσεια αέρα, σε στοιχειομετρία 0,9-1,1, για την παραγωγή χαμηλότερων επιπέδων θερμικού NO_x . Το προστιθέμενο καύσιμο, το οποίο μπορεί να είναι 10-30% της συνολικής ποσότητας καυσίμου, εγχέεται πάνω από την κύρια ζώνη καύσης για να δημιουργήσει μια ζώνη πλούσια σε καύσιμα σε στοιχειομετρία 0,85-0,95. Σε αυτή τη ζώνη, η μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών NO_x προέρχεται από τις χημικές ρίζες υδρογονανθράκων¹ που σχηματίζονται στη ζώνη επανάκαυσης και αντιδρούν με τα NO_x και σχηματίζουν N_2 (άζωτο) και υδρατμούς. Η θερμοκρασία σε αυτήν τη ζώνη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1255.4 Kelvin. Ο υπόλοιπος αέρας καύσης εγχέεται πάνω από τη ζώνη επανάκαυσης για να παραχθεί μια επιπλέον ζώνη καύσης που δεν θα είναι πλούσια σε καύσιμο. Στην Εικόνα 11 φαίνονται ακριβώς οι ζώνες καύσης.

¹ χημικές ρίζες: μέρη των αντιδρώντων που δεν υφίστανται μεταβολές στη διάρκεια μιας χημικής αντίδρασης συγκεκριμένα εδώ της καύσης

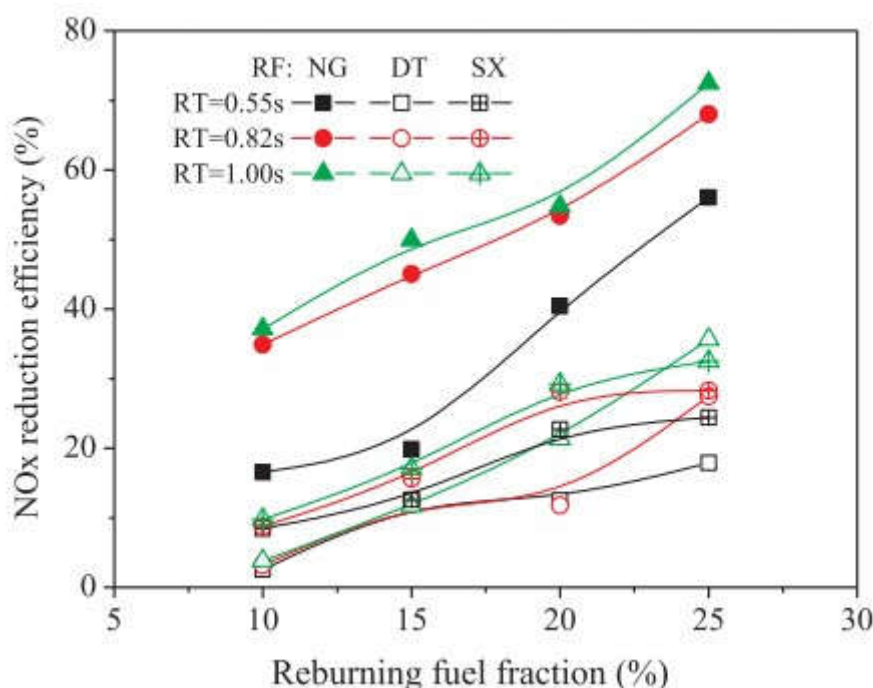


Εικόνα 11 : Διαδικασία επανάκαυσης καυσίμου σε ένα λέβητα (2)

Οι διαστάσεις του κλιβάνου επηρεάζουν αρκετές βασικές παραμέτρους σχεδιασμού για συστήματα επανάκαυσης, συμπεριλαμβανομένης της ανάμιξης καυσίμου επανάκαυσης και καυσαερίων, του χρόνου παραμονής του αερίου εντός των ζωνών επανάκαυσης-καύσης και της μεταφοράς θερμότητας στη ζώνη καυστήρα και στο άνω μέρος του κλιβάνου. Απαιτείται επαρκής χρόνος παραμονής για την επίτευξη της επαρκούς ανάμιξης καυσαερίων στη ζώνη επανάκαυσης και για την πλήρη καύση στη ζώνη καύσης. Δεδομένου του επαρκούς χρόνου στη ζώνη επανάκαυσης, η στοιχειομετρία της ζώνης επαναφοράς είναι μια άλλη κρίσιμη παράμετρος που επηρεάζει τη μείωση των NO_x . Αυτή η στοιχειομετρία σχετίζεται άμεσα με το πώς διαχωρίζεται η θερμότητα μεταξύ των κύριων ζωνών και των ζωνών επανάκαυσης. Μία αύξηση της θερμότητας στη ζώνη επανάκαυσης και μια ανάλογη μείωση της θερμότητας της κύριας ζώνης καύσης θα μειώσει τη στοιχειομετρία στη ζώνη επανάκαυσης και θα βελτιώσει την απόδοση μείωσης των NO_x . Η κατανομή της θερμότητας, όμως, περιορίζεται από κάποιους παράγοντες. Ένας παράγοντας είναι η ανάγκη σταθερότητας της φλόγας στην αρχική ζώνη καύσης. Επίσης, μεγάλο ρόλο έχουν τα πιθανά μη αποδεκτά επίπεδα καύσης του άνθρακα που μπορεί να προκύψουν από την προσθήκη σχετικά μεγάλων ποσοτήτων καυσίμου επανάκαυσης που απαιτούνται για την επίτευξη της επιθυμητής μείωσης των NO_x . Τέλος, σημαντική είναι και η πιθανότητα αύξησης της διάβρωσης του σωλήνα του λέβητα εντός της ζώνης επανάκαυσης.

Η επιλογή του καυσίμου επανάκαυσης καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα καυσίμου, την εξισορρόπηση του λειτουργικού κόστους έναντι του κόστους κεφαλαίου και τις ιδιαιτερότητες του λέβητα. Εάν το φυσικό αέριο είναι

διαθέσιμο επί τόπου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ανανέωσης, ανάλογα με την τιμή του φυσικού αερίου σε σχέση με άλλα καύσιμα, όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο. Σε σύγκριση με την επανάκαυση φυσικού αερίου, η επανάκαυση άνθρακα απαιτεί σχετικά μεγαλύτερο χρόνο παραμονής στη ζώνη επανάκαυσης και έναν μεγαλύτερο κλίβανο για την επίτευξη επαρκούς καύσης του άνθρακα. Επειδή η παράμετρος της καύσης του άνθρακα μπορεί να περιορίσει την ποσότητα του καυσίμου επανάκαυσης που μπορεί να εγχυθεί, η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων άνθρακα επανάκαυσης είναι μία ακόμη βασική παράμετρος. Σε αυτή την περίπτωση, ένας αρκετά λεπτός κονιοποιημένος άνθρακας μπορεί να είναι απαραίτητος για την επίτευξη αποδεκτής μείωσης των NO_x .



Εικόνα 12 : Οι επιπτώσεις του κλάσματος επανάκαυσης καυσίμου στην απόδοση μείωσης των NO_x (13)^{2 3 4 5 6}

Στην Εικόνα 12 παρατηρούμε ότι με την αύξηση του ποσοστού του καυσίμου επανάκαυσης παρατηρείται σημαντική μείωση των εκπομπών NO_x . Παρατηρείται, επίσης σημαντική διαφορά στο καύσιμο επανάκαυσης αφού το φυσικό αέριο είναι πιο αποτελεσματικό σε σχέση με τους δύο άνθρακες. Σημαντικό ρόλο κατέχει και ο χρόνος παραμονής στη ζώνη επανάκαυσης καυσίμου.

² RT : χρόνος παραμονής στη ζώνη επανάκαυσης καυσίμου

³ RF : καύσιμο επανάκαυσης

⁴ NG : φυσικό αέριο ως καύσιμο επανάκαυσης

⁵ DT : καύσιμο άνθρακα (Datong bituminous)

⁶ SX : καύσιμο άνθρακα (Shanxi anthracite)

Ουσιαστικά, σε αυτή την τεχνική εισαγάγουμε κάποιο είδος καυσίμου για να αντιδράσει με το παραγόμενο NO_x . Η τεχνική αυτή έχει μέτριο κόστος και σχετικά μέτρια έως υψηλή αφαίρεση των NO_x . Επεκτείνει το συνολικό χρόνο διαδικασίας της καύσης επηρεάζει το θερμοκρασιακό προφίλ του κλιβάνου. Τέλος, η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα καυσίμων και ιδιαίτερα για κονιοποιημένα στερεά καύσιμα.

4.8 Βελτιστοποίηση καύσης (Combustion optimization)

Η βελτιστοποίηση καύσης αναφέρεται στον ενεργό έλεγχο της καύσης. Σε λέβητα με φυσικό αέριο, μειώνοντας την απόδοση καύσης από 100% σε 99%, η παραγωγή NO_x μειώθηκε σε πολύ πιο αποδεκτό επίπεδο. Για λέβητες που έχουν ως καύσιμο τον άνθρακα, σημειώθηκε μείωση κατά 20% έως 60% των NO_x . Αυτά τα μέτρα ενεργού ελέγχου καύσης επιδιώκουν να βρουν τη βέλτιστη απόδοση καύσης και να ελέγξουν την καύση σε αυτήν την απόδοση και συνεπώς τις εκπομπές NO_x . Μια προσέγγιση της τεχνολογίας αυτής χρησιμοποιεί ένα πρόγραμμα υπολογιστή νευρωνικού δικτύου για να βρει το βέλτιστο σημείο ελέγχου. Μία άλλη προσέγγιση είναι η χρήση λογισμικού για τη βελτιστοποίηση των εισόδων για την καθορισμένη έξοδο. Ο προμηθευτής αέρα καύσης μειώνει την ποσότητα αέρα που προαναμιγνύεται με καύσιμο από τη στοιχειομετρική αναλογία (αναλογία που παράγει τη θερμότερη φλόγα) για να επιμηκύνει τη φλόγα στον καυστήρα και να μειώσει τον ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας ανά όγκο μονάδας. Αυτό μπορεί να λειτουργήσει όταν οι σωλήνες του λέβητα είναι αρκετά μακριά από τον καυστήρα. Το μονοξείδιο του άνθρακα, το άκαυστο καύσιμο και το μερικώς καμένο καύσιμο που προκύπτουν μπορούν στη συνέχεια να οξειδωθούν σε μία τεχνική OFA σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Η καύση πρέπει να βελτιστοποιηθεί για τις συνθήκες που αντιμετωπίζονται.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετά πακέτα λογισμικού που εφαρμόζουν διαδικασίες βελτιστοποίησης στο καταναμημένο σύστημα ελέγχου του λέβητα για να παρέχουν αυστηρότερο έλεγχο των παραμέτρων λειτουργίας της εγκατάστασης. Χρησιμοποιήθηκε λογισμικό βελτιστοποίησης με βάση την τεχνητή νοημοσύνη για τη βελτίωση των λειτουργιών λέβητα ατμού με καύσιμο από ορυκτά καύσιμα στα τέλη της δεκαετίας του 1990, με τη βελτιστοποίηση λέβητα εργοστασίου αρχικά να επικεντρώνεται στη μείωση των εκπομπών NO_x . Χρησιμοποιώντας τεχνολογίες που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη, όπως νευρωνικά δίκτυα, σχεδιασμός πειραμάτων, μοντέλο πρόβλεψης ελέγχου και βελτιστοποίηση βάσει κανόνων, οι βελτιστοποιητές καύσης εξάγουν γνώσεις σχετικά με τη διαδικασία καύσης και καθορίζουν τη βέλτιστη ισορροπία ροής καυσίμου και αέρα στον κλίβανο.

Η διαδικασία καύσης βελτιστοποιείται με αποτέλεσμα χαμηλότερες εκπομπές NO_x και βελτιωμένη απόδοση λέβητα, διατηρώντας παράλληλα την ασφαλή, αξιόπιστη και συνεπή λειτουργία της μονάδας. Επίσης, έχουν αναπτυχθεί προσεγγίσεις βελτιστοποίησης καύσης όπου χρησιμοποιούνται προηγμένες υπολογιστικές και πειραματικές προσεγγίσεις για την πραγματοποίηση τροποποιήσεων σχεδιασμού και λειτουργίας στον εξοπλισμό καύσης και στο λέβητα στο σύνολο του. Τα συστήματα βελτιστοποίησης καύσης βελτιστοποιούν την κατανομή καυσίμου και αέρα στους λέβητες προτείνοντας ρυθμίσεις συστήματος ελέγχου έτσι ώστε να ικανοποιούν καλύτερα ένα σύνολο στόχων και περιορισμών.

Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες τεχνολογίες βελτιστοποίησης καύσης:

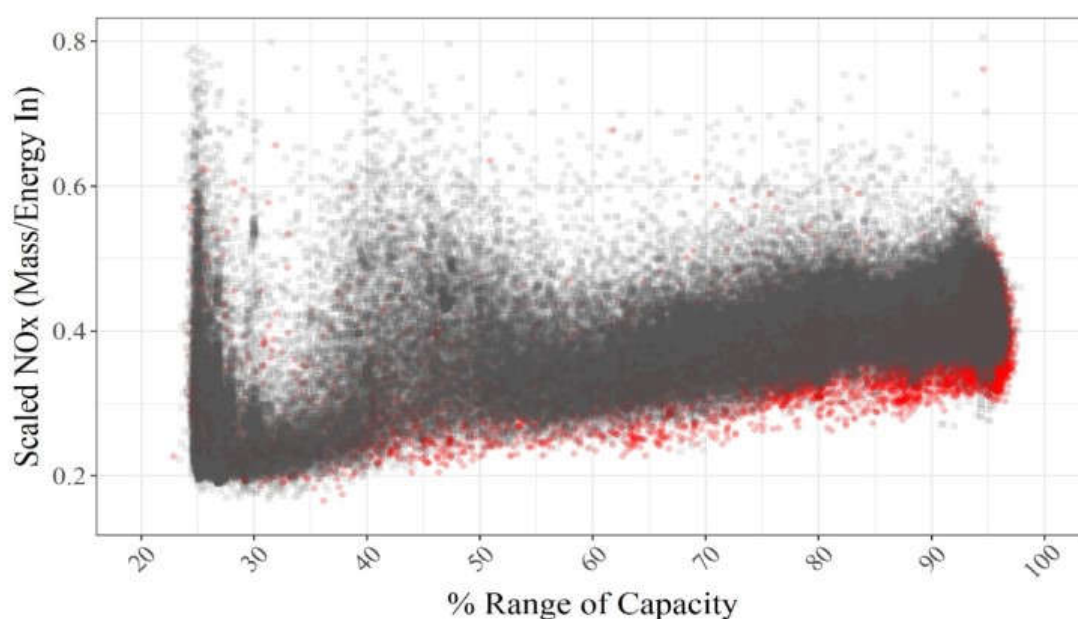
- ❖ *Βελτιστοποίηση βάσει μοντέλου νευρικού δικτύου* : Αυτά τα νευρωνικά δίκτυα⁷ είναι μη γραμμικά, πολυμεταβλητά μοντέλα σταθερής κατάστασης που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των καλύτερων συνδυασμών μεταβλητών υπό διαφορετικές συνθήκες. Ο τύπος του μοντέλου είναι ευέλικτος και μπορεί να προσαρμόσει τη δική του δομή με βάση την «εμπειρία» που αποκτά. Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους μεταβλητές που χειρίζονται τη διαδικασία καύσης οι οποίοι μπορούν να προσαρμοστούν με την πάροδο του χρόνου για να εξισορροπήσουν τις λειτουργίες της μονάδας.
- ❖ *Πρότυπος προγνωστικός έλεγχος* : Τα δυναμικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη αλλαγών τα επόμενα λεπτά και την πρόβλεψη των επιπτώσεων των διαταραχών και των μελλοντικών κινήσεων. Ο πρότυπος προγνωστικός έλεγχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βελτιστοποίηση των κύριων ελέγχων ακαθάριστου αέρα που πρέπει να ανταποκρίνονται γρήγορα στις συνθήκες της εγκατάστασης (π.χ. έλεγχος θερμοκρασίας αναθέρμανσης και υπερθέρμανσης).
- ❖ *Βελτιστοποίηση βάσει κανόνα* : Ευρετικά μοντέλα που συλλαμβάνουν και κωδικοποιούν την ανθρώπινη εμπειρογνωμοσύνη ως κανόνες που μπορούν να εφαρμοστούν συστηματικά από μια μηχανή συμπερασμάτων για να ταξινομήσουν ένα σύνολο πιθανών ενεργειών δεδομένου ενός συνόλου προϋποθέσεων. Για παράδειγμα η βελτιστοποίηση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση ενός συνόλου προτεινόμενων ενεργειών καύσης μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη ενέργεια.
- ❖ *Σχεδιασμός πειραμάτων / άμεση αναζήτηση* : Μια μορφή άμεσης βελτιστοποίησης στην οποία ο βελτιστοποιητής κάνει μια μικρή αλλαγή και εάν αυτή η αλλαγή βελτιώσει τη διαδικασία κάνει μια άλλη μικρή αλλαγή προς στην ίδια κατεύθυνση. Αυτή η προσέγγιση δοκιμής και σφάλματος επαναλαμβάνεται σε μία συνεχή αναζήτηση για τη βελτιωμένη λειτουργική απόδοση. Αυτή η λειτουργία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση μοντέλων νευρωνικών δικτύων.

Γενικότερα, η υπολογιστική δυναμική μοντελοποίηση ρευστών χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος για το σχεδιασμό και την τελειοποίηση εφαρμογών τεχνολογίας ελέγχου. Τέτοια μοντελοποίηση μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό των αρχικών ρυθμίσεων του καυστήρα για την επιθυμητή απόδοση μείωσης των NO_x, τον προσδιορισμό της

⁷ Νευρωνικό δίκτυο ονομάζεται ένα κύκλωμα διασυνδεδεμένων νευρώνων. Το νευρωνικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο από απλούς υπολογιστικούς κόμβους, διασυνδεδεμένους μεταξύ τους.

θέσης του OFA, τη βελτιστοποίηση της εφαρμογής του σε σχέση με τη μείωση των NO_x , την αποφυγή της διάβρωσης του τοίχου του λέβητα και την παροχή πληροφοριών σχετικά με τις πιθανές στρατηγικές καύσης για ασυνήθιστα σχέδια λέβητα.

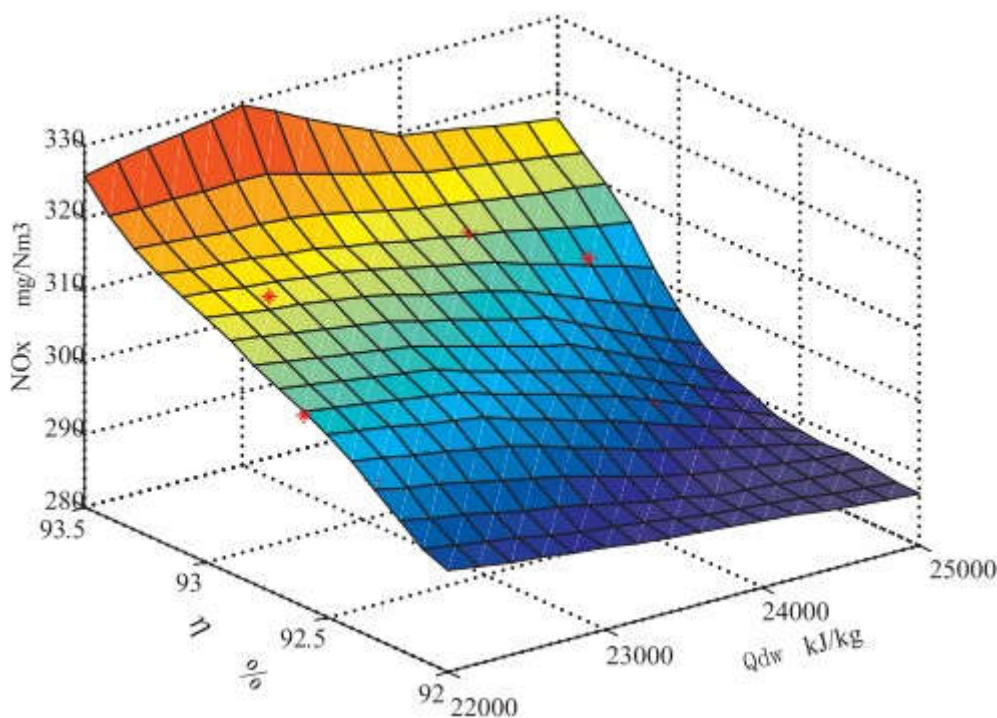
Υπάρχουν, γενικά διάφοροι μέθοδοι μοντελοποίησης. Οι πιο συνηθισμένοι μέθοδοι είναι support vector regression (SVR), random forest (RF), kernel partial least squares (KPLS), artificial neural networks (ANN). Μία πρόσφατη έρευνα (14) συνέκρινε τις παραπάνω μεθόδους μοντελοποίησης για να προσδιορίσει την βέλτιστη επιλογή ώστε να χρησιμοποιηθεί σε ένα σύστημα βελτιστοποίησης καύσης. Μετά τη σύγκριση SVR, RF, KPLS και ANN, το μοντέλο ANN επιλέχθηκε λόγω της ικανότητάς του να προβλέπει με ακρίβεια τον ρυθμό εκπομπών NO_x σε δεδομένα που δεν εμφανίζονται στο πλαίσιο του συνόλου κατάρτισης σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους. Αυτό το μοντέλο διαμορφώθηκε με έναν μοναδικό τρόπο ώστε να αλλάζει τους χρησιμοποιημένους νευρωνικούς συντελεστές στο μοντέλο ως απόκριση στους τρέχοντες παραμέτρους του συστήματος και στη συνολική διαμόρφωση της μονάδας για να παρέχει ακριβή και σταθερή απόδοση. Τελικά, πραγματοποιήθηκε μείωση 22,5% του ρυθμού εκπομπών NO_x . Στην Εικόνα 13 παρατηρείται η μείωση των εκπομπών NO_x μετά την εφαρμογή της μεθόδου.



Εικόνα 13 : Παρατηρήσεις NO_x πριν την εφαρμογή της μεθόδου (γκρι χρώμα) σε σχέση με τις παρατηρήσεις NO_x μετά την εφαρμογή της μεθόδου (Κόκκινο χρώμα) (14)

Μία ακόμη πρόσφατη έρευνα (15) αναφέρεται στην χρήση ενός μοντέλου, με βάση τον τροποποιημένο K-πρωτότυπο αλγόριθμο, για την επίλυση του προβλήματος

βελτιστοποίησης περιορισμού των NO_x στο σύστημα ρύθμισης καύσης του λέβητα. Ο K-πρωτότυπος αλγόριθμος βασίζεται γενικά σε τρία βήματα : στην αρχική επιλογή πρωτοτύπων, στην αρχική κατανομή και στην ανακατανομή. Στην Εικόνα 14 παρατηρείται μείωση των NO_x καθώς μειώνεται η απόδοση.



Εικόνα 14 : Σχέση απόδοσης - NO_x (15)

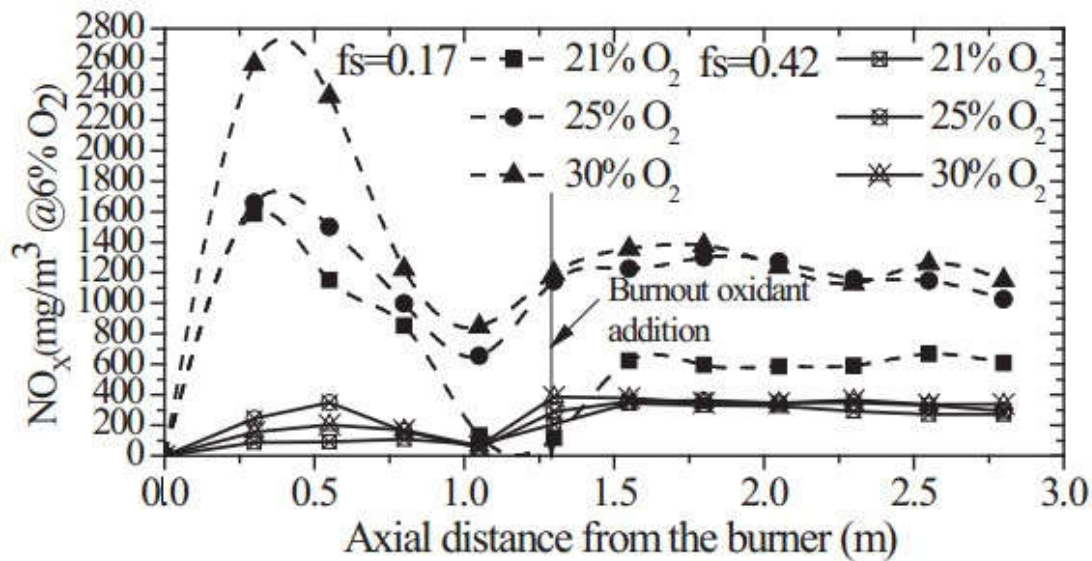
Τέλος, μία ακόμη πολλά υποσχόμενη μέθοδος (16) είναι η extreme learning machine (ELM). Σε σύγκριση με τα μοντέλα ANN και SVR, το μοντέλο ELM το φαίνεται να ξεχωρίζει από τα άλλα δύο μοντέλα λόγω του ακριβέστερου αποτελέσματος πρόβλεψης και της καλύτερης καλής απόδοσης γενίκευσης. Για την εκτέλεση εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο με βελτιστοποίηση καύσης, η απόκριση χρόνου της διαδικασίας προσομοίωσης είναι κρίσιμη. Το νέο μοντέλο ELM είναι μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων. Η μέθοδος αυτή σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο harmony search (17) , που βελτιστοποιεί τις εκπομπές NO_x , μπορεί να επιφέρουν 16,5-19,2% μείωση εκπομπών NO_x .

Με την βελτιστοποίηση της καύσης αλλάζει ουσιαστικά η αποτελεσματικότητα της πρωτογενούς καύσης. Η τεχνική αυτή έχει γενικά ελάχιστο κόστος αλλά επεκτείνει το χρόνο παραμονής και επηρεάζει το θερμοκρασιακό προφίλ του κλιβάνου. Γενικά, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται με πληθώρα καυσίμων αλλά προτιμάται σε υγρά καύσιμα καθώς και στο αέριο. Τελευταία, βέβαια όλο και περισσότερα εργοστάσια

παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τον στερεό άνθρακα τείνουν να χρησιμοποιούν βελτιστοποιητές καύσης.

4.9 Προσθήκη οξυγόνου αντί αέρα κατά την διαδικασία της καύσης

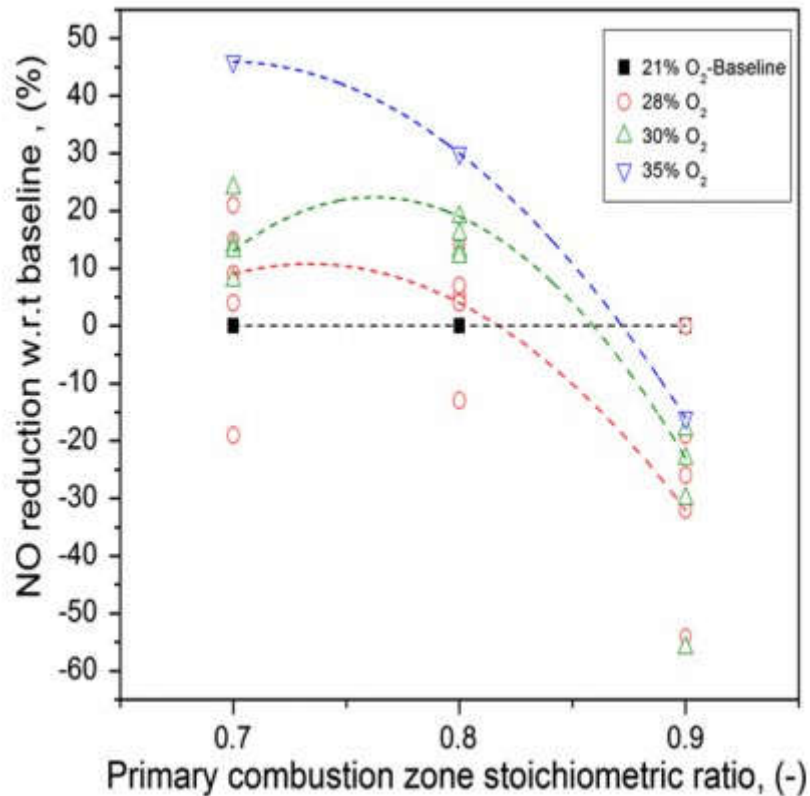
Όταν το σύστημα καύσης λειτουργεί στο ενδιάμεσο (30-90% O₂) ή στο υψηλό επίπεδο (> 90% O₂) σύστημα εμπλουτισμού οξυγόνου, οι υπάρχοντες καυστήρες αέρα-καυσίμου πρέπει να αντικατασταθούν από καυστήρες ειδικά σχεδιασμένους για να χρησιμοποιούν στα υψηλότερα επίπεδα O₂. Η μέθοδος εμπλουτισμού οξυγόνου χαμηλού επιπέδου (21-30% O₂) μπορεί να εξοικονομήσει το κόστος των μεταποιήσεων των υπάρχοντων καυστήρων. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά του εμπλουτισμού οξυγόνου χαμηλού επιπέδου σε ένα σύστημα καύσης αέρα-καυσίμου δεν έχουν μελετηθεί εκτενώς μέχρι τώρα. Στην Εικόνα 15 παρατηρείται, η επίδραση του εμπλουτισμού οξυγόνου στις εκπομπές NO_x για την καύση άνθρακα και κάνει αναφορά για δύο περιπτώσεις συγκέντρωσης οξυγόνου 25% και 30% (κατ' όγκο). Σε αυτά τα δεδομένα, το NO_x φαίνεται να υφίσταται το ίδιο μοτίβο αύξησης σχηματισμού-μείωσης σχηματισμού-αύξησης σχηματισμού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 15 με κάποιες μικρές αλλαγές. Αυτό υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει ουσιώδης διαφορά στον μηχανισμό σχηματισμού NO_x μεταξύ της σταδιακής καύσης ενός εμπλουτισμένου με οξυγόνο περιβάλλοντος και της καύσης στον αέρα. Αρχικά, εμφανίζονται πολύ υψηλές κορυφές NO_x σε διάφορες περιπτώσεις πριν από την προσθήκη του οξειδωτή και στη συνέχεια πέφτουν γρήγορα λόγω της μείωσης του NO_x στην ζώνη που δημιουργείται και είναι πλούσια σε καύσιμο. Η υψηλότερη συγκέντρωση οξυγόνου στην ατμοσφαιρική καύση εμπλουτισμένη με οξυγόνο θα προκαλούσε επίσης μεγαλύτερη κορυφή NO_x. Ειδικά στο 30%, η κορυφή NO_x είναι πάνω από 1000 mg/m³ υψηλότερη από την απλή περίπτωση καύσης με αέρα.



Εικόνα 15 : Συγκέντρωση NO_x ως συνάρτηση της αξονικής απόστασης από τον καυστήρα για μεταβαλλόμενη συγκέντρωση οξυγόνου στον αέρα καύσης (18)

Σύμφωνα με την έρευνα S.S. Daood (19) οι εκπομπές NO_x είχαν μια αυξανόμενη τάση όταν η συγκέντρωση οξυγόνου στον δευτερογενή αέρα αυξήθηκε από 21% σε σχεδόν 70%. Όταν η συγκέντρωση οξυγόνου συνέχισε να αυξάνεται στο 100%, οι εκπομπές NO_x μειώθηκαν σημαντικά ξανά. Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ευνοϊκή μείωση των εκπομπών NO_x ειδικά σε υψηλότερες συγκεντρώσεις οξυγόνου. Αυτές οι μειώσεις παρατηρήθηκαν για το πλήρες εύρος του δευτερογενούς εμπλουτισμένου με οξυγόνο αέρα.

Στην Εικόνα 16 παρατηρείται η συνολική επίδραση του εμπλουτισμού οξυγόνου στη μείωση των NO_x για την αλλαγή των στοιχειομετρικών λόγων της ζώνης πλησίον του καυστήρα σε σύγκριση με την απλή κατάσταση. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η αποτελεσματικότητα της συνολικής συγκέντρωσης οξυγόνου 30-35% είναι πιο σημαντική σε σύγκριση με τη συγκέντρωση οξυγόνου 28% στον αέρα καύσης για διάφορες διαιρέσεις προσθήκης ποσότητας οξυγόνου μεταξύ δευτερογενών και οξειδωτικών ρευμάτων. Παρατηρείται, επίσης, ένα εύρος επιπρόσθετης μείωσης NO_x 12-19% με συγκέντρωση οξυγόνου 30% σε σύγκριση με 4-7% για συγκέντρωση οξυγόνου 28% στον αέρα καύσης με στοιχειομετρική αναλογία 0,8. Ως εκ τούτου, η συνολική συγκέντρωση οξυγόνου 30% στον αέρα καύσης μπορεί να θεωρηθεί ως η βέλτιστη συνδυασμένη περιεκτικότητα οξυγόνου που παρέχει υψηλότερες μειώσεις NO_x.

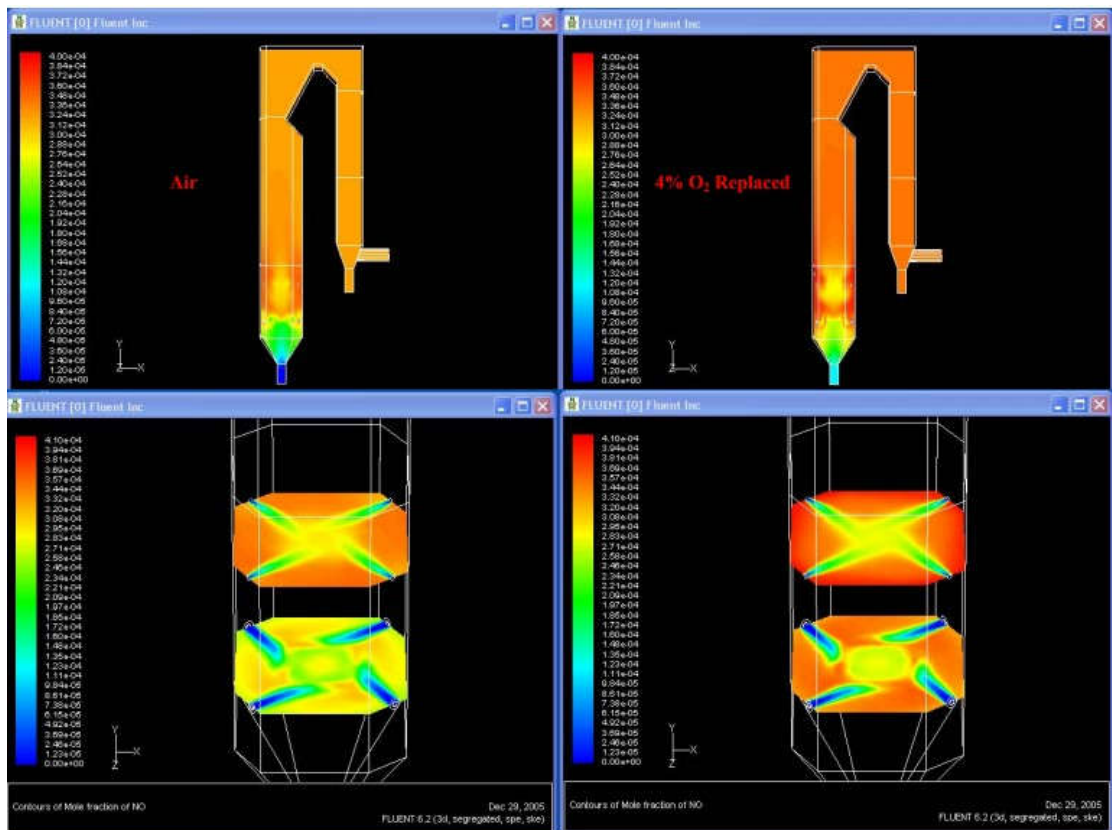


Εικόνα 16 : Μείωση των NO_x έναντι της στοιχειομετρικής αναλογίας της πρωτογενούς ζώνης καύσης αλλάζοντας την συνολική συγκέντρωση οξυγόνου στον αέρα καύσης. (19)

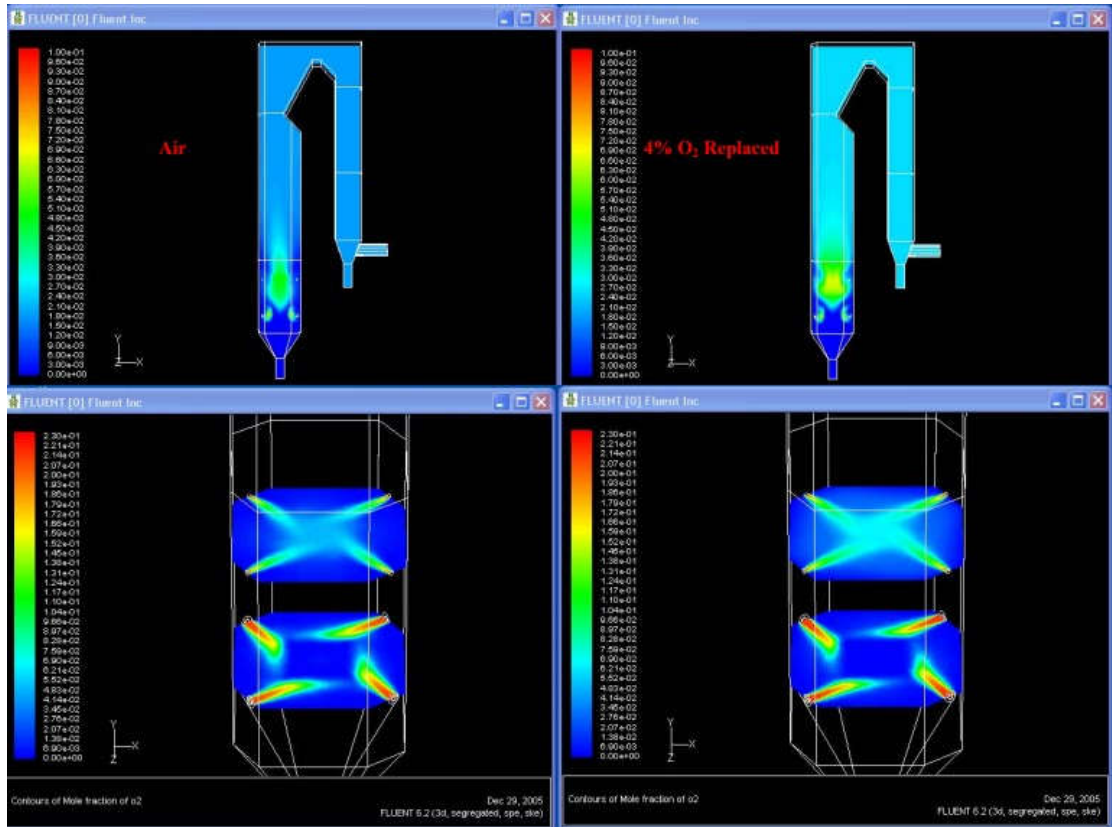
Ωστόσο, πρέπει αν γίνει κατανοητό ότι τα αποτελέσματα αυτά δεν είναι πάντα δεσμευτικά. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση των NO_x σε υψηλότερα επίπεδα εμπλουτισμού οξυγόνου όπως είναι η πιθανή αλλαγή της τιμής του αριθμού στροβιλισμού για τον καυστήρα, η μείωση της έντασης στροβιλισμού καθώς μειώνεται η ροή δευτερεύοντος εμπλουτισμένου με οξυγόνο αέρα μέσω του καυστήρα, η επίδραση της φλόγας του καυστήρα, η ταχεία ανάφλεξη και ο ρυθμός καύσης του καυσίμου, η αύξηση της θερμοκρασίας και τέλος ο χρόνος παραμονής του καυσίμου στις ζώνες καύσης είναι μερικοί από αυτούς τους παράγοντες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν διαφοροποιήσεις στο ποσοστό μείωσης των NO_x όπως αν πούμε προκύπτει από το Ινστιτούτο Δυτικής Έρευνας (20) το οποίο αναφέρει μείωση 4,1% των NO_x για συγκέντρωση οξυγόνου 23% στον συνολικό αέρα με εμπλουτισμό οξυγόνου δευτερογενούς και πρωτογενούς αέρα σε 0,8 στοιχειομετρική αναλογία και 16,2% για συγκέντρωση οξυγόνου 22% με μόνο δευτερογενές εμπλουτισμένο αέρα σε στοιχειομετρική αναλογία 0,77.

Σύμφωνα, λοιπόν, με το Ινστιτούτο Δυτικής Έρευνας ο εμπλουτισμός οξυγόνου φαίνεται να είναι ικανός να μειώσει τα επίπεδα NO_x από την καύση άνθρακα, ειδικά όταν λειτουργεί σε χαμηλά επίπεδα OFA. Ωστόσο, οι μειώσεις που παρατηρήθηκαν

είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές που αναφέρθηκαν από άλλους αμφισβητώντας έτσι την οικονομική βιωσιμότητα της τεχνικής. Γενικά, όπως και σε άλλες τεχνικές, υπάρχει ανάγκη για την μοντελοποίηση στοιχείων της καύσης μέσω ενός προγράμματος υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Στην Εικόνα 17 παρατηρείτε η συγκέντρωση NO_x με τη βοήθεια του προγράμματος Fluent. Ενώ το Fluent φαίνεται να προβλέπει τις ποσότητες των NO_x , είναι ευαίσθητο στις θερμικές συνθήκες και έτσι κρίνεται απαραίτητη η βοήθεια μιας πιο ακριβής θερμικής πρόβλεψης. Στην Εικόνα 18 παρατηρείτε το προφίλ του οξυγόνου που έχει εισαχθεί.



Εικόνα 17 : Συγκέντρωση NO_x για την περίπτωση 22,5% OFA (20)



Εικόνα 18 : Προφίλ οξυγόνου για την περίπτωση 22,5% OFA (20)

Ουσιαστικά, στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούμε οξυγόνο για την οξείδωση του καυσίμου. Η τεχνική αυτή έχει αναλόγως μέτριο προς υψηλό κόστος και παράγει εντονότερη καύση ενώ για την εφαρμογή της χρειάζεται να γίνει κάποια τροποποίηση στον κλίβανο καθώς επίσης είναι απαραίτητη και η προσθήκη εξοπλισμού για τον χειρισμό του οξυγόνου. Τέλος, η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε πληθώρα καυσίμων.

5. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΑΠΑΕΡΙΑ ΚΑΥΣΗΣ

5.1 Μη θερμικό πλάσμα (Non thermal plasma-NTP)

Παλαιότερα, χρησιμοποιώντας το μεθάνιο και το εξάνιο ως αναγωγικούς παράγοντες, το μη θερμικό πλάσμα έχει αποδειχθεί ότι απομακρύνει τα NO_x σε εργαστηριακό περιβάλλον με έναν αγωγό αντιδραστήρα μήκους μόνο 0.6096 μέτρων. Οι αναγωγικοί παράγοντες ιονίστηκαν από μια παροδική υψηλή τάση που δημιούργησε ένα μη θερμικό πλάσμα. Οι ιονισμένοι αναγωγικοί παράγοντες αντέδρασαν με NO_x και πέτυχαν μείωση των παραγόμενων οξειδίων του αζώτου έως και 94%. Υπάρχουν ενδείξεις ότι μπορεί να επιτευχθεί ακόμη υψηλότερη μείωση. Μία επιτυχημένη μέθοδος χρησιμοποιεί αμμωνία ως αναγωγικό παράγοντα για να αντιδράσει με το NO_x σε μία δέσμη ηλεκτρονίων και έτσι να δημιουργηθεί πλάσμα. Ο μη θερμικός αντιδραστήρας πλάσματος θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί χωρίς αναγωγικό παράγοντα για τη δημιουργία όζοντος και να χρησιμοποιήσει αυτό το όζον για να αυξήσει το σθένος του αζώτου για ακολουθήσει η απορρόφηση ως νιτρικό οξύ.

Γενικά το NTP μπορεί να δημιουργηθεί είτε με τη μέθοδο εκκένωσης αερίου είτε με τη μέθοδο ιονίζουσας ακτινοβολίας. Απαιτούνται διαφορετικές δομές αντιδραστήρων για διάφορες μεθόδους παραγωγής μη θερμικού πλάσματος. Εν τω μεταξύ, οι παράμετροι δομής του αντιδραστήρα έχουν σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά της αποτελεσματικότητας για την απομάκρυνση των ρύπων. Επομένως, έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία αντιδραστήρων για τις τεχνολογίες καθαρισμού καυσαερίων NTP. Τα τυπικά χαρακτηριστικά δομής των αντιδραστήρων NTP που χρησιμοποιούνται στην απομάκρυνση των NO_x είναι η ακτινοβολία δέσμης ηλεκτρονίων (electron beam irradiation), η εκκένωση διηλεκτρικού φραγμού (dielectric barrier discharge) και οι αντιδραστήρες εκκένωσης κορώνας⁸ (corona discharge reactors).

Η τεχνική πλάσματος κορώνας έχει διερευνηθεί ευρέως για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω των διαφόρων πλεονεκτημάτων της, όπως η ταυτόχρονη επεξεργασία ρύπων, ταχεία εκκίνηση και τερματισμός λειτουργίας, το χαμηλό κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας, εκμεταλλεύσιμα ως προς περεταίρω πώληση υποπροϊόντα, καλή επεκτασιμότητα και ενσωμάτωση με υπάρχοντα συστήματα. Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές πλάσματος κορώνας σε υψηλή πίεση είναι

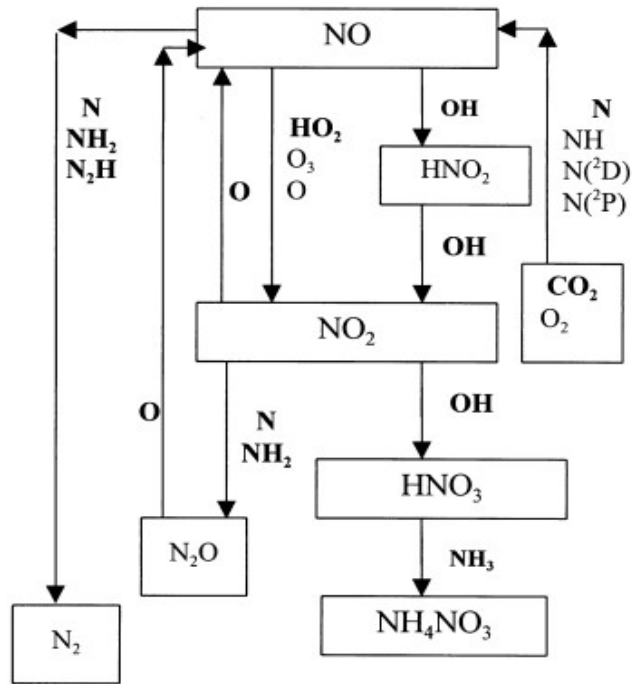
⁸ Η εκκένωση κορώνας είναι μια ηλεκτρική εκκένωση που προκαλείται από τον ιονισμό ενός υγρού όπως ο αέρας που περιβάλλει έναν αγωγό που είναι ηλεκτρικά φορτισμένος. Η εκκένωση κορώνας είναι μια διαδικασία με την οποία ένα ρεύμα ρέει από ένα ηλεκτρόδιο με υψηλό δυναμικό σε ένα ουδέτερο ρευστό, συνήθως αέρα, iontίζοντας το υγρό έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια περιοχή πλάσματος γύρω από το ηλεκτρόδιο. Για περισσότερες πληροφορίες (37).

η εκκένωση κορώνας με παλμική ταινία (pulsed streamer corona discharge-PSC) και η εκκένωση κορώνας σε κλίνη συσκευασμάτων (packed - bed⁹ corona discharge-PCP). Σε έναν αντιδραστήρα εκκένωσης κορώνας, σχηματίζεται ένα μη ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ δύο ηλεκτροδίων συγκέντρωσης από αιχμηρές ακμές ή σημεία των ηλεκτροδίων του, όπου η ακτίνα καμπυλότητας είναι μικρή. Σε μία λειτουργία κορώνας για μία εκκένωση κορώνας, η ζώνη ιονισμού απλώνεται σε ολόκληρο το κενό. Το κατάλληλο διάκενο εκκένωσης για τον αντιδραστήρα κορώνας μεγαλύτερης κλίμακας είναι 10 cm ή υψηλότερο. Η αύξηση του πλάτους παλμού οδηγεί σε μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για αφαίρεση NO_x.

Ο μηχανισμός απομάκρυνσης NO_x με μη θερμικό πλάσμα μπορεί να εξηγηθεί ως εξής: ένα καυσαέριο ρέει στο χώρο μεταξύ των ηλεκτροδίων, όπου παράγεται ένα απαλλαγμένο αέριο, και δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια με μέση ενέργεια περίπου 5 eV. Τα ηλεκτρόνια που παράγονται, συγκρούονται με μόρια αερίου, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό ριζών N, O και OH. Τα μόρια NO και NO₂ μπορούν να προσβληθούν από ρίζες και να οξειδωθούν ή να μειωθούν σε N₂ (άζωτο). Αυτές οι χημικές ρίζες μπορούν να κάνουν κάποια αντίδραση με επιβλαβή αέρια, όπως μόρια μονοξειδίου του αζώτου (NO) και να τα μετατρέψουν σε ακίνδυνα μόρια, όπως το N₂. Επιπλέον, μπορούν να σχηματίσουν δευτερεύουσες ρίζες, όπως HO₂ και O₃, οι οποίες μπορούν να αντιδράσουν με NO_x. Στην Εικόνα 19 παρατηρούνται όλες οι διαδρομές αφαίρεσης NO_x υπό τη δράση διαφορετικών ελεύθερων ριζών.

Οι τεχνολογίες NTP έχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως ότι δεν χρησιμοποιούν χημικά πρόσθετα, έχουν γρήγορη και αποτελεσματική διαδικασία απομάκρυνσης ρύπων, λειτουργούν σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία δωματίου, έχουν χαμηλότερο κόστος επένδυσης και λειτουργίας, εξοικονομούν χώρο και δεν έχουν δευτερογενή ρύπανση. Παρά τον εξοπλισμό χαμηλού κόστους και τις απλές διαδικασίες, αυτή η μέθοδος έχει μερικά μειονεκτήματα όπως χαμηλή πίεση λειτουργίας και αποδοτικότητα και υψηλό κόστος ενέργειας. Επιπλέον, τα επιβλαβή αέρια αντίδρασης, τα οποία δεν είναι φιλικά προς το περιβάλλον, είναι ανεπιθύμητα.

⁹ Στη χημική επεξεργασία, μια κλίνη συσκευασμάτων είναι ένας κοίλος σωλήνας, σωλήνας ή άλλο δοχείο που είναι γεμάτο με ένα υλικό συσκευασίας. Τα στρώματα συσκευασίας μπορεί επίσης να περιέχουν σωματίδια καταλύτη ή προσροφητικά όπως σφαιρίδια ζεόλιθου, κοκκώδη ενεργό άνθρακα κ.λπ.



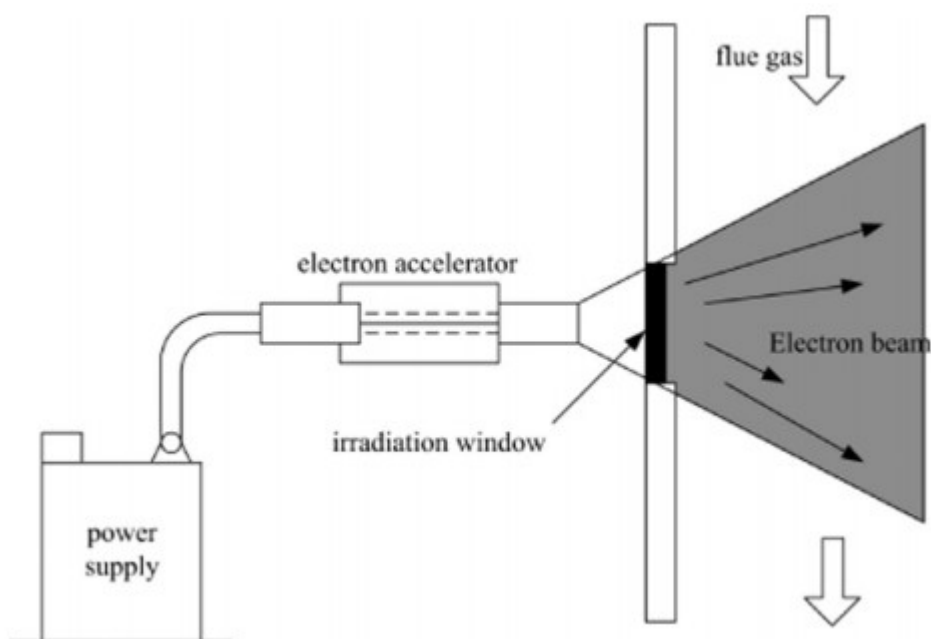
Εικόνα 19 : Διαδρομές αφαίρεσης NO_x υπό τη δράση διαφορετικών ελεύθερων ριζών (21)

5.1.1 Τύποι NTP αντιδραστήρων

Όπως ειπώθηκε υπάρχουν διαφορετικές δομές αντιδραστήρων για διάφορες μεθόδους παραγωγής μη θερμικού πλάσματος. Παρακάτω αναλύονται ορισμένες από αυτές τις δομές.

Ακτινοβολία δέσμης ηλεκτρονίων (electron beam irradiation) :

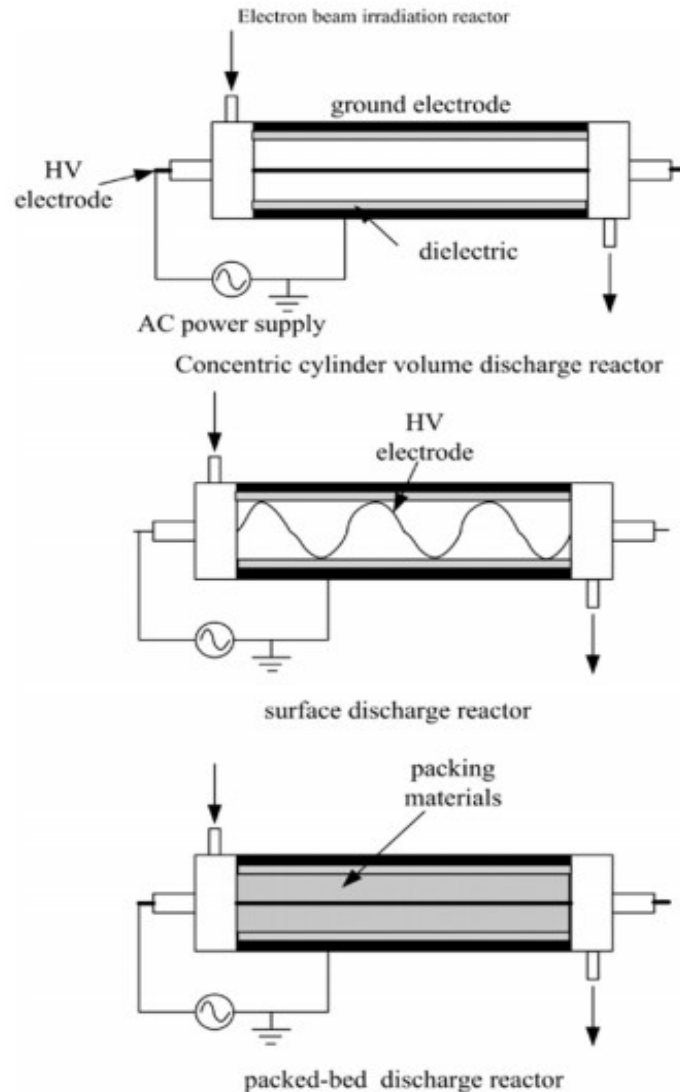
Η ακτινοβολία δέσμης ηλεκτρονίων είναι μια τυπική μέθοδος παραγωγής NTP που χρησιμοποιεί την αρχή της ιονίζουσας ακτινοβολίας. Στην Εικόνα 20 φαίνεται μία τυπική συσκευή ακτινοβολίας δέσμης ηλεκτρονίων. Η δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας που εκπέμπεται από τον επιταχυντή ηλεκτρονίων προκαλεί αντιδράσεις ραδιόλυσης των μορίων των καυσαερίων στη ραδιενεργή ζώνη και οδηγεί τελικά στο σχηματισμό NTP. Στη διαδικασία ακτινοβολίας δέσμης ηλεκτρονίων, η ενέργεια ακτινοβολίας που απορροφάται από διαφορετικά συστατικά των καυσαερίων είναι ανάλογη με το κλάσμα μάζας τους. Ο επιταχυντής ηλεκτρονίων είναι ένα βασικό στοιχείο επεξεργασίας της συσκευής ακτινοβολίας δέσμης ηλεκτρονίων. Μέχρι τώρα, ο πιο κατάλληλος επιταχυντής ηλεκτρονίων υψηλής ισχύος για βιομηχανική κλίμακα επεξεργασίας καυσαερίων ηλεκτρονικής δέσμης είναι οι επιταχυντές μετασχηματιστών άμεσης ισχύος (direct power line transformer accelerators) υπάρχουν ωστόσο και άλλοι τύποι επιταχυντών ηλεκτρονίων μερικοί από τους οποίους είναι ο επιταχυντής ηλεκτρονίων συμπαγούς μετασχηματιστή υψηλής ισχύος (power compact transformer electron accelerator), ο επιταχυντής συζευγμένου πολλαπλασιαστή (coupled-multiplier accelerator) και ούτω καθεξής.



Εικόνα 20 : Συσκευή ακτινοβολίας δέσμης ηλεκτρονίων (22)

Εκκένωση διηλεκτρικού φραγμού (dielectric barrier discharge-DBD) :

Το DBD που ονομάζεται επίσης αθόρυβη εκκένωση, είναι η ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, η οποία εφαρμόζει εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής τάσης και διαχωρίζεται από τουλάχιστον ένα μονωτικό διηλεκτρικό. Τα μονωτικά διηλεκτρικά που χρησιμοποιούνται συχνά είναι γυαλί ανθεκτικό στη θερμότητα, γυαλί από πυρίτιο, αλουμίνα, κεραμικά υλικά, στρώματα πολυμερών ή άλλα υλικά με χαμηλή διηλεκτρική απώλεια και υψηλή αντοχή. Το μονωτικό διηλεκτρικό που χρησιμοποιείται στον αντιδραστήρα DBD έχει ως αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση της εκκένωσης, την εξάλειψη της χάραξης και της διάβρωσης των ηλεκτροδίων και την καταστολή του σχηματισμού σπινθήρων εκφόρτισης. Με βάση τη δομή του αντιδραστήρα, το DBD μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις τύπους: εκκένωση όγκου, εκκένωση επιφάνειας, συμπαγής εκκένωση και εκκένωση packed-bed. Η δομή ηλεκτροδίων των αντιδραστήρων πλάσματος εκκένωσης όγκου είναι συνήθως η παράλληλη πλάκα ή ομόκεντρος κύλινδρος. Στους αντιδραστήρες πλάσματος εκκένωσης όγκου, τα λεπτά κανάλια πλάσματος, δηλαδή οι ταινίες, διαδίδονται στο αέριο μεταξύ των ηλεκτροδίων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκκένωσης. Η Εικόνα 21 δείχνει τον τυπικό ομόκεντρο κυλινδρικό αντιδραστήρα εκκένωσης όγκου (concentric cylinder volume discharge reactor). Οι αντιδραστήρες πλάσματος εκκένωσης επιφάνειας χρησιμοποιούν συνήθως το ηλεκτρόδιο λεπτού σύρματος ή το ηλεκτρόδιο που μοιάζει με χτένα-κύμα. Σε αντίθεση με τον αντιδραστήρα πλάσματος εκκένωσης όγκου, ο αντιδραστήρας πλάσματος εκκένωσης επιφάνειας έχει τα πλεονεκτήματα της εύκολης κατασκευής, μεγαλύτερης και πιο ομοιόμορφης περιοχής πλάσματος και υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης. Οι αντιδραστήρες πλάσματος εκκένωσης επιφάνειας (surface discharge plasma reactors) που χρησιμοποιούνται στα πειράματα χρησιμοποιούν ως επί το πλείστον ηλεκτρόδιο τύπου σπειροειδούς σύρματος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 21. Στην Εικόνα 21 φαίνεται, επίσης, ένας τυπικός αντιδραστήρας πλάσματος εκκένωσης packed-bed (packed-bed discharge plasma reactor). Σφαιρίδια με υψηλή διηλεκτρική σταθερά χρησιμοποιούνται ως υλικό συσκευασίας και τοποθετούνται στο διάκενο μεταξύ του φράγματος και του ηλεκτροδίου. Το πιο τυπικό υλικό συσκευασίας είναι το τιτανικό βάριο (BaTiO_3). Η παρουσία σφαιριδίων στον αντιδραστήρα συμβάλλει στην ομοιομορφία της κατανομής και της εκκένωσης ροής αερίου. Τα μειονεκτήματα του αντιδραστήρα packed-bed είναι η πτώση υψηλής πίεσης και η τριβή των σφαιριδίων. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες NTP, το DBD έχει υψηλό βαθμό τεχνολογικής ωριμότητας, ομοιόμορφα και σταθερά χαρακτηριστικά εκκένωσης και ομοιόμορφη χωρική κατανομή στο πλάσμα. Έτσι, η τεχνολογία DBD έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή, στις τεχνολογίες καθαρισμού καυσαερίων NTP.



Εικόνα 21 : Τύποι αντιδραστήρων DBD (22)

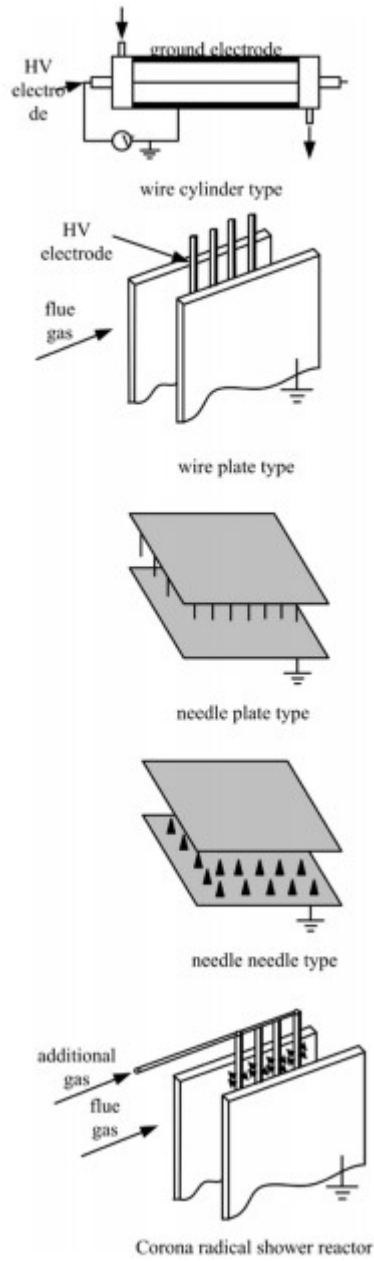
Αντιδραστήρες εκκένωσης κορώνας (corona discharge reactors-CDR) :

Η εκκένωση CDR είναι η μερική ηλεκτρική εκκένωση κοντά στα ηλεκτρόδια που εφαρμόζουν υψηλή τάση. Το ηλεκτρόδιο εκκένωσης του CDR, όπως είναι ένα ηλεκτρόδιο λεπτού σύρματος, ένα ηλεκτρόδιο βελόνας και ούτω καθεξής, έχει συνήθως πολύ μικρή ακτίνα καμπυλότητας που θα μπορούσε να υψηλή πιθανή κλίση. Σε μια τέτοια περίπτωση, τα καυσαέρια διασπώνται και σχηματίζουν μη θερμικό πλάσμα πρωταρχικώς, γύρω από τα ηλεκτρόδια εκκένωσης όταν γίνεται σύνδεση με μία υψηλή τάση. Σύμφωνα με τον τύπο τροφοδοσίας υψηλής τάσης, η εκκένωση κορώνας μπορεί να χωριστεί σε παλμική εκκένωση κορώνας (pulsed corona discharge-PCD) και DC εκκένωση κορώνας. Για το PCD, ο χρόνος αύξησης της εφαρμοζόμενης παλμικής τάσης είναι της τάξης των 10 ns που είναι κάτω από τη

συχνότητα ιόντων. Η διασπορά της ενέργειας από την επιτάχυνση ιόντων ελαχιστοποιείται και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας PCD. Επομένως, η PCD έχει υψηλότερη ενεργειακή απόδοση σε σύγκριση με την εκκένωση κορώνας DC και όσο μικρότερος είναι ο χρόνος ανόδου¹⁰, τόσο υψηλότερη είναι η ενεργειακή απόδοση. Η εκκένωση DC κορώνα προκαλείται από DC υψηλής τάσης, η οποία έχει τα πλεονεκτήματα της απλής τροφοδοσίας και του χαμηλού κόστους του εξοπλισμού λόγω της αποφυγής της χρήσης παλμικής τροφοδοσίας. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 22, ο αντιδραστήρας πλάσματος εκκένωσης κορώνας μπορεί να χωριστεί σε πολλούς τύπους ανάλογα με τη δομή του ηλεκτροδίου, όπως τύπος σύρματος-κυλίνδρου, τύπος σύρματος-πλάκας, τύπος βελόνας-πλάκας, τύπος βελόνας-βελόνας και ούτω καθεξής. Μεταξύ αυτών, οι αντιδραστήρες πλάκας-βελόνας και βελόνας-βελόνας χρησιμοποιήθηκαν ως επί το πλείστον στις συνθήκες εκκένωσης DC κορώνας. Οι αντιδραστήρες σύρματος-κυλίνδρου και σύρματος-πλάκας παράγουν κορώνα μόνο γύρω από το ηλεκτρόδιο εκκένωσης, με αποτέλεσμα μικρή περιοχή πλάσματος και ασθενές ρεύμα εκκένωσης. Επιπλέον, το σταθερό εύρος τάσης εκκένωσης των αντιδραστήρων σύρματος-κυλίνδρου και σύρματος-πλάκας είναι περιορισμένο και είναι εύκολο να σχηματιστεί βλάβη σπινθήρα. Οι αντιδραστήρες βελόνας-πλάκας και βελόνας-βελόνας έχουν υψηλότερη τάση διάσπασης σπινθήρα και πιο σταθερά χαρακτηριστικά εκκένωσης σε σύγκριση με τους αντιδραστήρες σύρματος-κυλίνδρου και σύρματος-πλάκας. Ωστόσο, η συνολική απόδοση εκκένωσης είναι χαμηλότερη.

Μεταξύ των αντιδραστήρων πλάσματος εκκένωσης κορώνας DC, το σύστημα ψεκασμού «ντουζ» ριζών (DC corona radical shower system) που βασίζεται στην αρχή της σταθεροποιημένης εκκένωσης ροής έχει επίσης πολλές εφαρμογές στον τομέα του καθαρισμού καυσαερίων. Σε μια μέθοδο εκκένωσης κορώνας σταθεροποιημένης ροής, γρήγορη ροή αερίου διέρχεται απευθείας από το εσωτερικό των ηλεκτροδίων. Στο σύστημα αυτό, αντί για το κοίλο σωληνοειδές ηλεκτρόδιο, υπάρχει σωληνοειδές ηλεκτρόδιο με μερικά ακροφύσια. Η περιοχή της κορώνας σχηματίζεται στην άκρη των ακροφυσίων και το επιπρόσθετο αέριο εγχέεται στην περιοχή της κορώνας από τα ακροφύσια και μεταγενέστερα θα διαχωρίζεται σε διάφορες ρίζες. Το σύστημα αυτό φαίνεται στην Εικόνα 22. Το επιπρόσθετο αέριο μπορεί να είναι η αμμωνία, το οξυγόνο, οι υδρατμοί και οι υδρογονάνθρακες καθώς επίσης μπορούν να αλλάξουν με τα είδη ρύπων. Το πιο διακριτό χαρακτηριστικό του συστήματος αυτού είναι ο επιλεκτικός διαχωρισμός του αερίου που προστίθεται.

¹⁰ Στα ηλεκτρονικά, όταν περιγράφεται μια λειτουργία τάσης ή τρέχοντος βήματος, ο χρόνος ανόδου είναι ο χρόνος που απαιτείται από ένα σήμα για να αλλάξει από μια καθορισμένη χαμηλή τιμή σε μια καθορισμένη υψηλή τιμή.



Εικόνα 22 : Αντιδραστήρες CDR (22)

5.2 Εκλεκτική καταλυτική αναγωγή (Selective catalytic reduction - SCR)

Το SCR χρησιμοποιεί έναν καταλύτη για να αντιδράσει με το NO_x και έτσι να επιφέρει τη χημική μείωση του. Ο καταλύτης αυτός είναι συνήθως η αμμωνία (NH_3), το υδρογόνο (H_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το υδρόθειο (H_2S) και διαφορές άλλες ουσίες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναγωγικά αέρια. Βέβαια, το πιο κοινό μέσο που χρησιμοποιείται είναι η NH_3 . Μπορεί να επιτύχει έως και 94% μείωση των NO_x και είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές τεχνικές μείωσης των NO_x . Ωστόσο, αυτή η τεχνολογία έχει υψηλό αρχικό κόστος. Επιπλέον, οι καταλύτες έχουν πεπερασμένη διάρκεια ζωής όταν χρησιμοποιούνται στα καυσαέρια και κάποιο ποσοστό καταλύτη δεν αντιδρά.

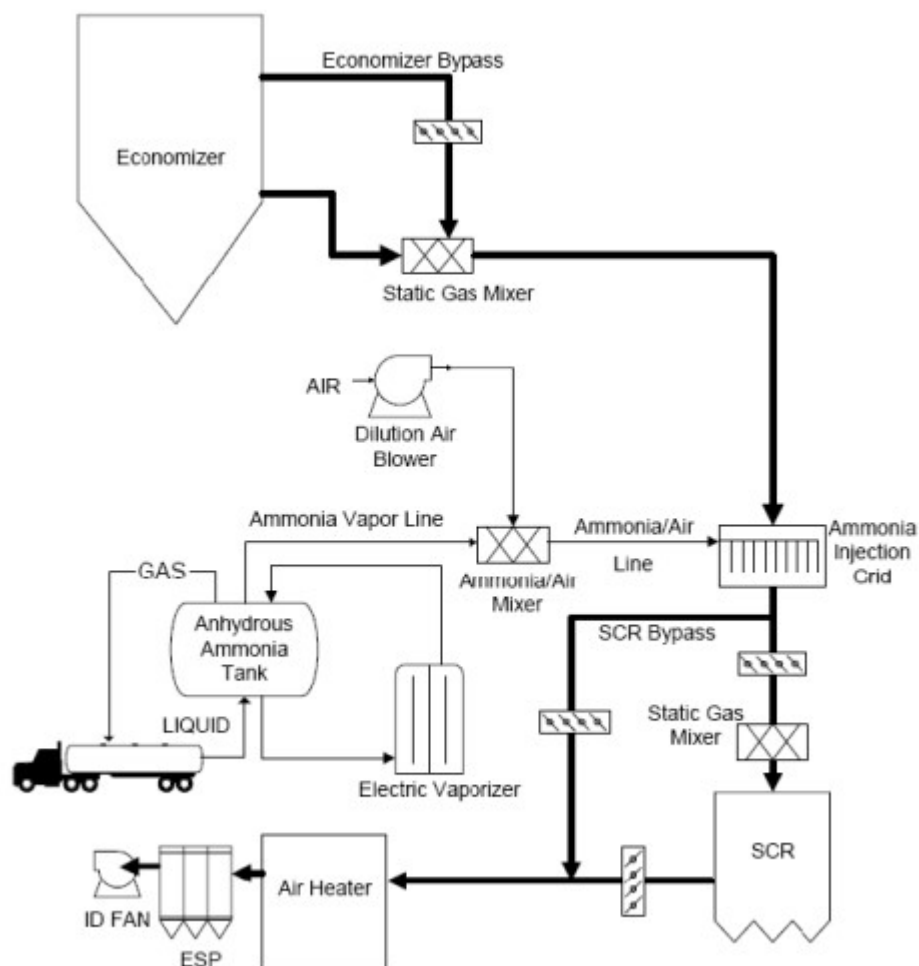
Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται ευρέως σε εμπορικές εφαρμογές στη Δυτική Ευρώπη και την Ιαπωνία, οι οποίες έχουν αυστηρούς κανονισμούς NO_x , και είναι η μέθοδος που επιλέγεται για την αντιρρυπαντική τεχνολογία των καυσαερίων που παράγονται κατά την καύση στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Κίνα. Οι αυστηροί κανονισμοί NO_x στη Δυτική Ευρώπη επιβάλλουν ουσιαστικά την εγκατάσταση δευτερευόντων συστημάτων μείωσης NO_x , τα περισσότερα από τα οποία είναι SCR, με μόνο μερικούς λέβητες που χρησιμοποιούν τη διαδικασία επιλεκτικής μη καταλυτικής αναγωγής στην οποία θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο.

Αρχικά, ήταν η Ιαπωνία, στη δεκαετία του 1970, που δημιούργησε μια βιομηχανία με τη χρήση αυτής της μεθόδου ελέγχου με βάση τον καταλύτη για τον έλεγχο των NO_x από μεγάλες πηγές καύσης. Λίγο αργότερα, η τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην Ευρώπη, ιδίως στη Γερμανία, για να μπορέσει να «πιάσει» τα όρια που απαιτούνταν για την ποιότητα του αέρα μιας υποδομής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον άνθρακα. Οι Ηνωμένες Πολιτείες καθυστέρησαν να υιοθετήσουν αυτή τη μέθοδο και μόνο στα τέλη της δεκαετίας του 1980 περιορίστηκαν στην εφαρμογή της μεθόδου σε διυλιστήρια και βιομηχανικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Βεβαίως, από τον Μάρτιο του 2015, πάνω από το 51% των αμερικανικών εργοστασίων καύσης άνθρακα έχει εγκατεστημένες μονάδες SCR.

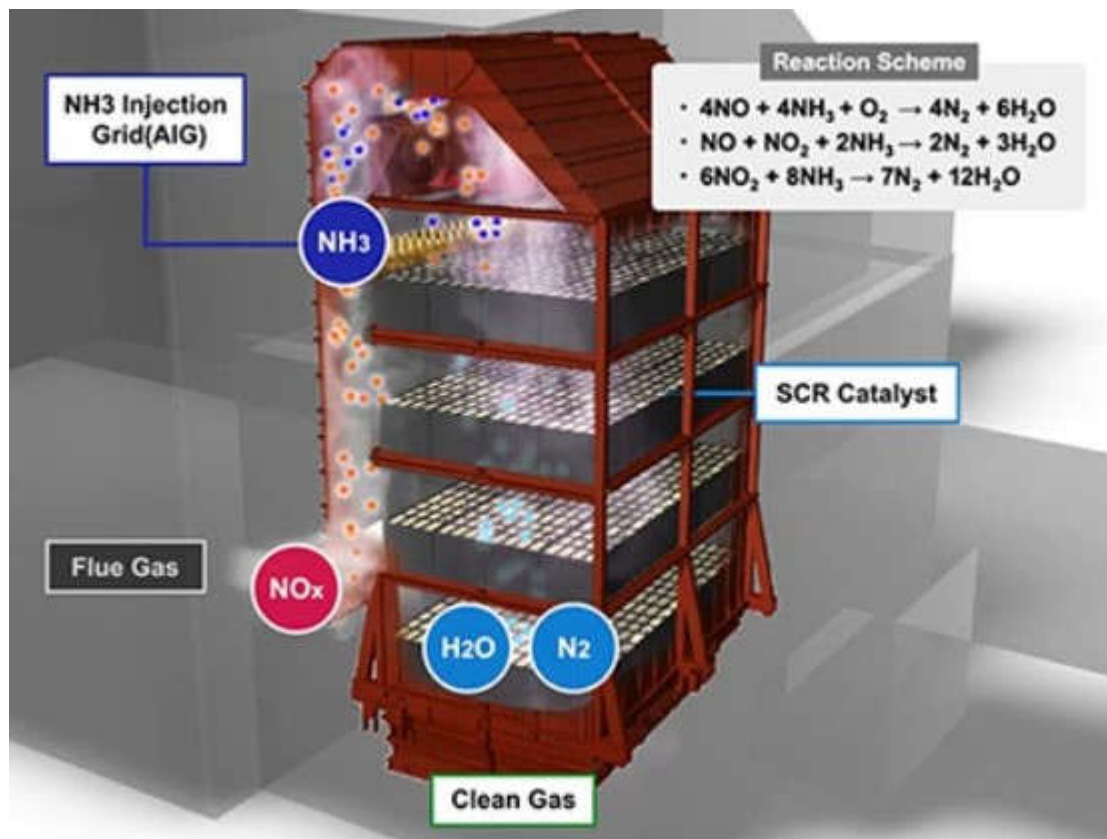
Όπως, ειπώθηκε και προηγουμένως, η διαδικασία SCR βασίζεται στη χημική αναγωγή του μορίου NO_x . Το SCR χρησιμοποιεί ένα καταλύτη με βάση το μέταλλο που έχει ορισμένες ενεργοποιημένες περιοχές ώστε να αυξηθεί ο ρυθμός αντίδρασης της αναγωγής. Ένας αναγωγικός παράγοντας, συνήθως, με βάση το άζωτο (αντιδραστήριο), όπως η αμμωνία ή η ουρία, εγχέεται στο καυσαέριο μετά την καύση. Το αντιδραστήριο αντιδρά επιλεκτικά με τα NO_x των καυσαερίων εντός

συγκεκριμένου εύρους θερμοκρασίας και παρουσία του καταλύτη και του οξυγόνου για να μετατρέψουν τα NO_x σε μοριακό άζωτο (N_2) και υδρατμούς (H_2O).

Η Εικόνα 23 και 24 δείχνει ένα απλοποιημένο σχήμα της διαδικασίας για ένα σύστημα SCR. Το αντιδραστήριο εγχέεται στο καυσαέριο από την μονάδα καύσης. Το αντιδραστήριο γενικά αναμειγνύεται με πεπιεσμένο αέρα ή ατμό για να βοηθηθεί η έγχυση. Το αντιδραστήριο αναμειγνύεται με τα καυσαέρια και στη συνέχεια μαζί εισέρχονται στο θάλαμο του αντιδραστήρα που περιέχει τον καταλύτη. Καθώς τα καυτά καυσαέρια και το αντιδραστήριο διαχέονται μέσα στο θάλαμο του αντιδραστήρα που περιέχει τον καταλύτη και έρχονται σε επαφή με τις ενεργοποιημένες περιοχές του καταλύτη, τα NO_x που περιέχονται στα καυσαέρια μετατρέπονται χημικά σε άζωτο και νερό. Η θερμότητα των καυσαερίων παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για την αντίδραση. Στη συνέχεια, το άζωτο, οι υδρατμοί και τα άλλα συστατικά των καυσαερίων ρέουν έξω από τον αντιδραστήρα SCR.



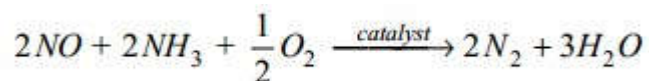
Εικόνα 23 : Σχηματική απεικόνιση μιας διαδικασίας SCR (23)



Εικόνα 24 : Η μέθοδος SCR (24)

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τοποθεσίες στη μονάδα καύσης όπου μπορούν να εγκατασταθούν συστήματα SCR. Η θερμοκρασία και τα συστατικά των καυσαερίων ποικίλλουν ανάλογα με τη θέση του θαλάμου αντιδραστήρα SCR. Οι αντιδραστήρες SCR που βρίσκονται αντίθετα στο ρεύμα των καυσαερίων έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες και υψηλότερα επίπεδα σωματιδίων. Η θερμοκρασία ενός αντιδραστήρα SCR, που βρίσκεται στη φορά του ρεύματος των καυσαερίων, μπορεί να είναι γενικά κάτω από το αποδεκτό εύρος. Σε αυτήν την περίπτωση, ενδέχεται να απαιτείται επαναθέρμανση των καυσαερίων, γεγονός που αυξάνει σημαντικά το λειτουργικό κόστος της SCR.

Ο αναγωγικός παράγοντας που χρησιμοποιείται από την πλειονότητα των συστημάτων SCR είναι η αέρια αμμωνία (NH₃) αφού διεισδύει στους πόρους του καταλύτη εύκολα. Εντός του κατάλληλου εύρους θερμοκρασίας, η αμμωνία που βρίσκεται σε αέρια φάση αποσυντίθεται σε ελεύθερες ρίζες συμπεριλαμβανομένων των NH₃ και NH₂. Μετά από μια σειρά αντιδράσεων, οι ρίζες αμμωνίας έρχονται σε επαφή με τα NO_x και το μετατρέπουν σε N₂ και H₂O. Η εξίσωση αντίδρασης αμμωνίας φαίνεται στην Εικόνα 25. Σημειώστε ότι τα NO_x αντιπροσωπεύονται ως οξείδιο του αζώτου (NO), καθώς είναι η κυρίαρχη μορφή των NO_x μέσα στο λέβητα.



Εικόνα 25 : Η εξίσωση αντίδρασης του NO με την αμμωνία (24)

Η εξίσωση υποδεικνύει ότι απαιτείται 1 mol NH₃ για να αφαιρεθεί ένα mol NO_x. Ο καταλύτης μειώνει την απαιτούμενη ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης και αυξάνει τον ρυθμό αντίδρασης. Στην καταλυτική αντίδραση, οι ενεργοποιημένες περιοχές του καταλύτη απορροφούν γρήγορα την αμμωνία και το μονοξείδιο του αζώτου για να σχηματίσουν ένα ενεργοποιημένο σύμπλεγμα. Η καταλυτική αντίδραση, που φαίνεται στην Εικόνα 25, λαμβάνει χώρα με αποτέλεσμα να παράγεται άζωτο και νερό, τα οποία στη συνέχεια απορροφώνται από τα καυσαέρια. Η περιοχή του καταλύτη στην οποία έγινε η αντίδραση γίνεται ξανά ενεργή μέσω της διαδικασίας της οξειδωσης. Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων, όπως αναφέρθηκε, μετατρέπει την αμμωνία σε ελεύθερες ρίζες και παρέχει την ενέργεια ενεργοποίησης για την αντίδραση. Η αντίδραση απαιτεί επίσης περίσσεια οξυγόνου, τυπικά 2 έως 4 τοις εκατό, για να ολοκληρωθεί. Η αντίδραση των NO_x με αμμωνία είναι εξώθερμη, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση θερμότητας. Ωστόσο, επειδή η συγκέντρωση των NO_x στα καυσαέρια στην είσοδο του συστήματος SCR είναι τυπικά 0,02 έως 0,01 τοις εκατό κατ'όγκο, η ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται είναι αντίστοιχα μικρή. Η θερμοδυναμική ισορροπία δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στη μείωση των NO_x εάν τα καυσαέρια βρίσκονται εντός του απαιτούμενου εύρους θερμοκρασίας.

Αντιδραστήρια :

Η επιλεκτική καταλυτική μείωση της απομάκρυνσης των NO_x από καύσιμο αέριο χρησιμοποιώντας αμμωνία (NH₃) έχει διερευνηθεί ευρέως. Το NH₃-SCR είναι μια αποτελεσματική μέθοδος που εφαρμόζεται ευρέως για την αφαίρεση NO_x από σταθερές πηγές. Το σύστημα SCR μπορεί να χρησιμοποιεί είτε ξηρή είτε νωπή αμμωνία για την αντίδραση αναγωγής. Η ξηρή αμμωνία είναι σχεδόν 100% καθαρή αμμωνία. Είναι ένα αέριο σε κανονική ατμοσφαιρική θερμοκρασία, επομένως, πρέπει να μεταφέρεται και να αποθηκεύεται υπό πίεση. Η ξηρή αμμωνία απαιτεί συχνά ειδικές άδειες για μεταφορά και αποθήκευση. Τα συστήματα SCR που χρησιμοποιούν νωπή αμμωνία γενικά την μεταφέρουν και την αποθηκεύουν σε συγκέντρωση 29,4% αμμωνία σε νερό, αν και μερικές πρόσφατες εφαρμογές χρησιμοποιούν διάλυμα 19%. Η χρήση νωπής αμμωνίας μειώνει τα προβλήματα μεταφοράς και αποθήκευσης. Επιπλέον, ορισμένες τοποθεσίες ενδέχεται να μην απαιτούν άδειες για συγκεντρώσεις κάτω του 28%. Ωστόσο, η νωπή αμμωνία απαιτεί μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης από την ξηρή αμμωνία. Ενώ το διάλυμα 29,4% έχει σημαντική πίεση ατμών σε κανονικές θερμοκρασίες αέρα, για την παροχή επαρκούς ατμού αμμωνίας στο σύστημα SCR απαιτείται γενικά ένας εξατμιστής. Το κόστος του αντιδραστήριου

επηρεάζει το ετήσιο κόστος ενός συστήματος SCR. Ανάλογα με τις τοπικές απαιτήσεις αδειοδότησης και την προτίμηση του ιδιοκτήτη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ξηρή είτε νωπή αμμωνία στη διαδικασία SCR.

Ένα, ακόμη, αντιδραστήριο που χρησιμοποιείται είναι το υδρογόνο (H_2). Το υδρογόνο είναι ένας φιλικός προς το περιβάλλον παράγοντας και θεωρείται καθαρό καύσιμο επειδή η καύση του παράγει μόνο νερό. Ως τέτοιο, σε σύγκριση με τα HC και NH_3 , η επιλεκτική καταλυτική αναγωγή χρησιμοποιώντας H_2 (H_2 -SCR) είναι μία καλή μέθοδος απομάκρυνσης NO_x . Το H_2 έχει βελτιωμένη επίδραση στη δραστηριότητα του καταλύτη και απομακρύνει τις δηλητηριάσεις που περιορίζουν την αντίδραση. Το H_2 , ως μία ελκυστική εναλλακτική αναγωγική ουσία, παρέχει έναν πολλά υποσχόμενο τρόπο για την ικανοποίηση των κριτηρίων αύξησης των ορίων εκπομπών χωρίς πρόκληση δευτερογενών ρύπων. Το H_2 έχει διερευνηθεί ως ένας αποτελεσματικός αναγωγικός παράγοντας για SCR υπό περίσσεια οξυγόνου. Αυτό έχει γίνει μια ελκυστική, περιβαλλοντικά καλοήθης τεχνολογία λόγω της υψηλής αποτελεσματικότητάς της, της μείωσης των NO_x σε χαμηλότερη θερμοκρασία, της υψηλής εκλεκτικότητας N_2 και του νερού που είναι το μόνο προϊόν. Επίσης, διάφορες μελέτες έχουν αναφέρει υψηλή αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης NO_x χρησιμοποιώντας το H_2 ως αναγωγικό παράγοντα στην SCR απουσία οξυγόνου.

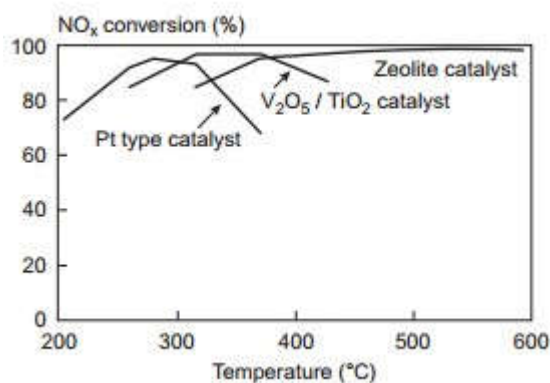
Η τεχνική SCR με υδρογονάνθρακες (HC-SCR) ως αναγωγικούς παράγοντες έχει διερευνηθεί ευρέως λόγω του κύριου πλεονεκτήματος της χρήσης ενός μείγματος αερίων παρόμοιου με αυτό που βρίσκεται στα καυσαέρια. Η ελεύθερη ενέργεια Gibbs μειώνεται σημαντικά παρουσία ενός αναγωγικού παράγοντα. Η παρουσία O_2 οδηγεί επίσης σε περαιτέρω μείωση της ελεύθερης ενέργειας Gibbs. Έτσι, το HC-SCR φαίνεται να είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος για την απομάκρυνση των NO_x από τα καυσαέρια.

Λόγω της χαμηλότερης τιμής και επειδή είναι πιο εύκολα διαθέσιμο από την αμμωνία, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) θεωρείται ότι είναι ένα αποτελεσματικό αντιδραστήριο για τη μείωση των NO_x . Δεδομένου ότι το CO παράγεται επίσης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της καύσης και συνυπάρχει στο καυσαέριο, εάν το CO χρησιμοποιείται ως αναγωγικός παράγοντας, θα μπορούσε να αναμένεται ένα πολύ φθηνότερο και απλοποιημένο σύστημα για τη διαδικασία μείωσης των NO_x .

Καταλύτες :

Οι καταλύτες SCR αποτελούνται από ενεργά μέταλλα ή κεραμικά με πολύ πορώδη δομή. Μέσα στους πόρους του καταλύτη ενεργοποιούνται κάποιες περιοχές-θέσεις. Σε αυτές τις θέσεις λαμβάνει χώρα η αντίδραση αναγωγής. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μετά την αντίδραση αναγωγής, η θέση επανενεργοποιείται μέσω επανυδάτωσης ή οξειδωσης. Με την πάροδο του χρόνου, ωστόσο, η δραστηριότητα του καταλύτη μειώνεται, απαιτώντας αντικατάσταση του καταλύτη. Τόσο το καταλυτικό υλικό όσο και η διαμόρφωση του καθορίζουν τις ιδιότητες του καταλύτη.

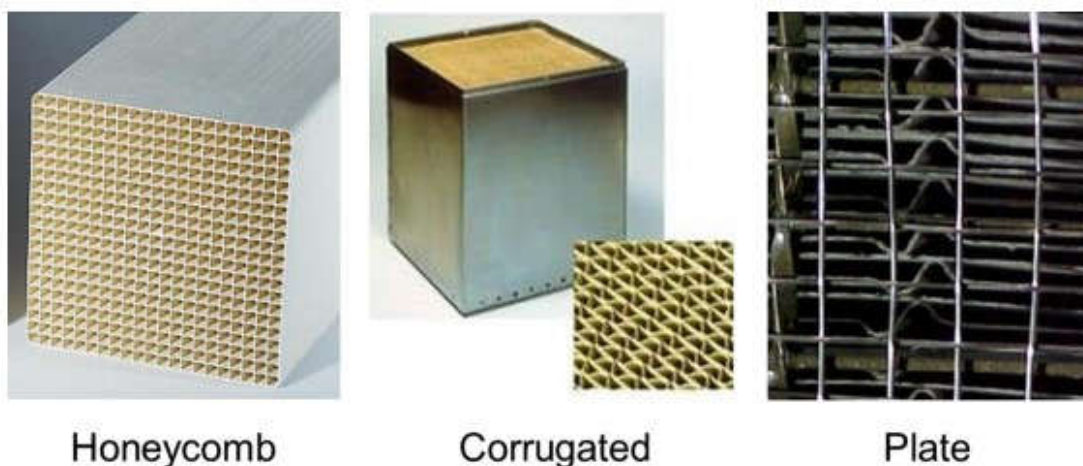
Τα πρώτα σκευάσματα καταλύτη SCR στα μέσα της δεκαετίας του 1970 ήταν κυρίως μεταλλικά οξειδία που υποστηρίζονταν σε υποστρώματα αλουμίνας (οξείδιο του αργιλίου). Αυτοί οι πρώτοι καταλύτες μείωσαν τα ποσοστά εκπομπών για τα οξειδία του αζώτου, αλλά η απόδοση ήταν περιορισμένη για ορισμένες συνθέσεις και ζητήματα αντοχής προέκυψαν σε ορισμένες εφαρμογές, υποκινώντας περαιτέρω εξελίξεις στην επιστήμη των υλικών. Οι καταλύτες με βάση το οξείδιο του λευκόχρυσου και του χρωμίου τείνουν να οξειδώσουν το αντιδραστήριο της αμμωνίας στο στοχευόμενο εύρος λειτουργίας του SCR (533.15 -672 K), περιορίζοντας την αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης των NO_x ενώ καταναλώνουν υπερβολικό αντιδραστήριο. Υποστρώματα με βάση το αλουμίνιο απενεργοποιούνται παρουσία θείου λόγω σχηματισμού θεικού αργιλίου. Το βανάδιο-βολφράμιο (V₂O₅-WO₃) ή το βανάδιο-μολυβδαίνιο (V₂O₅- MoO₃) με υπόστρωμα τιτανίας (TiO₂) είναι μακράν οι πιο κοινές συνθέσεις που χρησιμοποιούνται σε εμπορικές εφαρμογές SCR. Η χαμηλή οξείδωση της αμμωνίας, η αποτελεσματική χρήση αντιδραστηρίων, καθώς και η εξαιρετική αντοχή στο θείο έχουν διατηρήσει αυτά τα υλικά ως τα επικρατέστερα. Το πιο αξιοσημείωτο μειονέκτημα των καταλυτικών υλικών με βάση το βανάδιο-τιτανία είναι ότι η θερμοκρασία λειτουργίας είναι αναγκαστικά γενικά κάτω των 755.37 K. Ως εκ τούτου, αυτά τα υλικά βρίσκονται στα συστήματα συνδυασμένου κύκλου αεριοστρόβιλων (GTCC) με καταλύτη εγκατεστημένο στον εξοπλισμό HRSG (Heat recovery steam generator), όπου οι τυπικές θερμοκρασίες καυσαερίων είναι 588.7-672 K και είναι ιδανικά κατάλληλες για τα υλικά αυτά, παρέχοντας τη μέγιστη απόδοση των καταλυτικών αντιδράσεων και ευνοϊκές συνθήκες για μακροχρόνια ανθεκτικότητα. Η οικογένεια καταλυτών ζεόλιθου έχει χρησιμοποιηθεί σε απλούς κύκλους αεριοστρόβιλων για οφέλη θερμικής λειτουργικότητας, αλλά σπάνια χρησιμοποιείται για σταθερές εφαρμογές σήμερα λόγω του υψηλού κόστους υλικού και της κατώτερης αντοχής στα είδη θείου.



Εικόνα 26 : Παράθυρο θερμοκρασίας λειτουργίας για διαφορετικούς τύπους καταλύτη (25)

Μαζί με τη χημική σύνθεση του καταλύτη, οι καταλυτικές γεωμετρίες διαδραματίζουν επίσης μεγάλο ρόλο. Οι γεωμετρίες σε εμπορική χρήση σήμερα περιλαμβάνουν :

- ❖ Κηρήθρα (Honeycomb) :
 - ✓ Ολόκληρο το κυψελοειδές σώμα αποτελείται από καταλυτικό υλικό, συχνά ενισχυμένο με ίνες γυαλιού που είναι αναπόσπαστο μέρος της σύνθεσης.
 - ✓ Το καταλυτικό υλικό επικαλύπτεται σε ένα αδρανές υπόστρωμα.
- ❖ Κυματοειδής (Corrugated) :
 - ✓ Το καταλυτικό υλικό επικαλύπτεται (ή εμποτίζεται με διάλυμα) με ένα υπόστρωμα που αποτελείται από ίνες γυαλιού. Η κατασκευή συσκευάζεται σε «δοχεία» για προστασία κατά τη μεταφορά, το χειρισμό και τη χρήση.
 - ✓ Λιγότερο συνηθισμένη αν και παρόμοια στη γεωμετρία είναι μια δομή φύλλου, αποτελούμενη από λεπτό μεταλλικό υπόστρωμα επικαλυμμένο με καταλυτικό υλικό, συμπιεσμένο σε κυματοειδές αυλακώσεις, στοιβάζεται και συσκευάζεται με παρόμοιο τρόπο.
- ❖ Πλάκα (Plate) :
 - ✓ Το καταλυτικό υλικό συμπιέζεται σε διογκωμένο φύλλο μεταλλικού πλέγματος με περιοδικές παραμορφώσεις για να δημιουργηθεί διαχωρισμός μεταξύ των πλακών όταν στοιβάζονται.



Εικόνα 27 : Τρεις τύποι καταλυτικών γεωμετριών SCR (26)

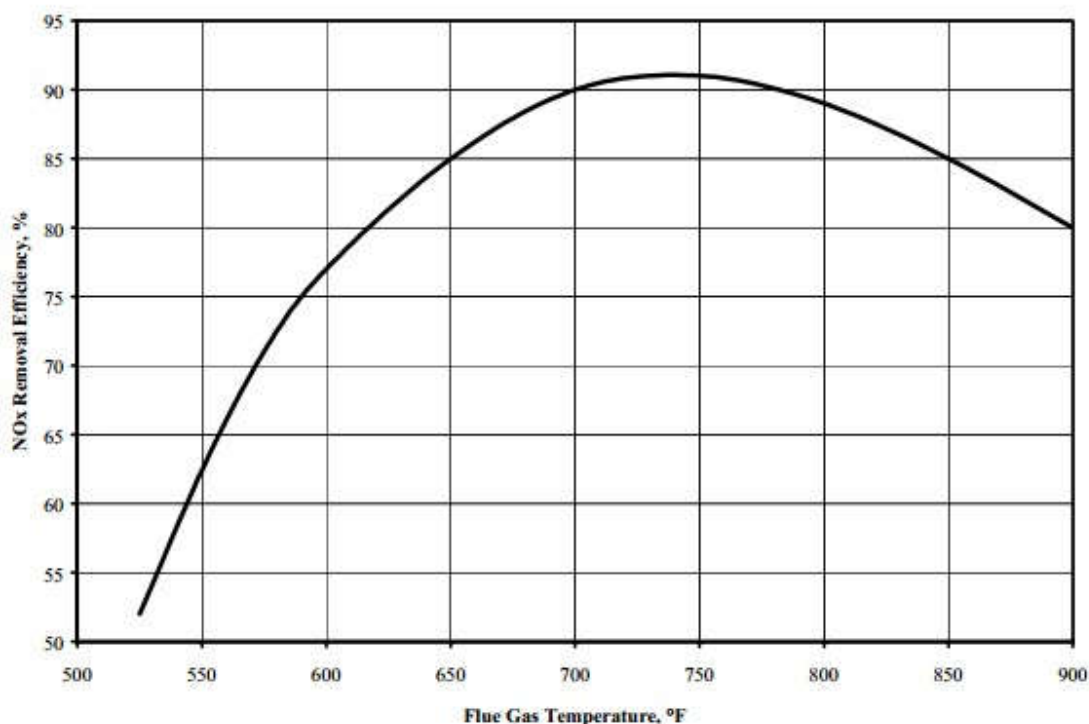
Η κυψελοειδούς μορφή είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη γεωμετρία σε εφαρμογές GTCC. Οι κυματοειδείς τύποι χρησιμοποιούνται επίσης με το αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό ότι είναι ελαφρύτεροι.

Παράμετροι απόδοσης SCR :

Ο ρυθμός αντίδρασης της αναγωγής καθορίζει την ποσότητα NO_x που αφαιρείται από τα καυσαέρια. Οι κύριοι σχεδιαστικοί και λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση αφαίρεσης NO_x του SCR είναι :

Θερμοκρασία :

Η αντίδραση μείωσης των NO_x είναι αποτελεσματική μόνο εντός ενός δεδομένου εύρους θερμοκρασίας. Η χρήση ενός καταλύτη στη διαδικασία SCR μειώνει το εύρος θερμοκρασίας που απαιτείται. Σε θερμοκρασίες κάτω από το καθορισμένο εύρος, η κινητική της αντίδρασης μειώνεται και η αμμωνία περνά μέσω του λέβητα (ammonia slip). Σε θερμοκρασίες πάνω από το καθορισμένο εύρος, σχηματίζεται οξείδιο του αζώτου (N_2O) και απενεργοποιείται ο καταλύτης. Στην Εικόνα 27 είναι ένα γράφημα της απόδοσης απομάκρυνσης NO_x ως συνάρτηση της θερμοκρασίας για έναν τυπικό καταλύτη τύπου μεταλλικού οξειδίου.



Εικόνα 28 : Απόδοση απομάκρυνσης NO_x σε σχέση με τη θερμοκρασία (27)

Βαθμός ανάμιξης :

Το αντιδραστήριο πρέπει να διασκορπίζεται και να αναμιγνύεται σε όλο το καυσαέριο. Η ανάμιξη πραγματοποιείται με ένα σύστημα έγχυσης το οποίο εγχέει αμμωνία σε αέρια φάση, που βρίσκεται υπό πίεση, εντός των καυσαερίων. Το σύστημα έγχυσης ελέγχει τη γωνία ψεκασμού, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του

αντιδραστηρίου που εγχύθηκε. Ορισμένα συστήματα εγχέουν την αμμωνία με ένα ρευστό όπως ατμό ή αέρα για να αυξήσουν τη διείσδυση στα καυσαέρια. Η ανάμιξη των καυσαερίων και της αμμωνίας πραγματοποιείται πριν από την είσοδο στον αντιδραστήρα SCR. Εάν η ανάμιξη δεν είναι επαρκής, η μείωση των NO_x είναι αναποτελεσματική.

Πραγματική στοιχειομετρική αναλογία :

Η πραγματική στοιχειομετρική αναλογία καθορίζει την ποσότητα αντιδραστηρίου που απαιτείται για την επίτευξη της στοχευόμενης μείωσης NO_x . Η θεωρητική στοιχειομετρική αναλογία για την αντίδραση αναγωγής με αμμωνία είναι ίση με 1. Αυτή η υπόθεση γραμμικής σχέσης 1 προς 1 μεταξύ της ποσότητας του αντιδραστηρίου και του αφαιρεθέντος NO_x είναι καλή έως περίπου 85% μείωση των NO_x . Μετά το 85%, η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης αρχίζει να σταματάει και απαιτείται περισσότερη από τη θεωρητική ποσότητα αμμωνίας για επιπλέον απομάκρυνση NO_x . Αυτό οφείλεται στο τμήμα του NO_x που έχει τη μορφή NO_2 και τους περιορισμούς του ρυθμού αντίδρασης. Τα συστήματα SCR χρησιμοποιούν συνήθως μια στοιχειομετρική αναλογία 1,05 moles αμμωνίας ανά mol NO_x . Επειδή το κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας εξαρτάται από την ποσότητα του αντιδραστηρίου που καταναλώνεται, η πραγματική στοιχειομετρική αναλογία είναι μια σημαντική παράμετρος σχεδιασμού που καθορίζεται από τον σχεδιαστή SCR.

Μη ελεγχόμενη συγκέντρωση NO_x :

Η συγκέντρωση των αντιδραστηρίων επηρεάζει επίσης το ρυθμό αντίδρασης της διαδικασίας αναγωγής NO_x . Γενικά, υψηλότερες μη ελεγχόμενες συγκεντρώσεις εισόδου NO_x έχουν ως αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις αφαίρεσης NO_x λόγω της κινητικής της αντίδρασης. Ωστόσο, τα επίπεδα NO_x που είναι υψηλότερα από περίπου 150 ppm, δεν οδηγούν σε αυξημένη απόδοση. Τα χαμηλά επίπεδα εισόδου NO_x οδηγούν σε μειωμένη απόδοση απομάκρυνσης των NO_x επειδή οι ρυθμοί αντίδρασης είναι πιο αργοί, ιδιαίτερα στο τελευταίο στρώμα του καταλύτη.

Διαφυγή αμμωνίας (Ammonia Slip) :

Η ολίσθηση αμμωνίας αναφέρεται στην περίσσεια αντιδραστηρίου που διέρχεται μέσα από τον αντιδραστήρα. Αν στο καυσαέριο που εξέρχεται από τον αντιδραστήρα υπάρχει ποσότητα αμμωνίας τότε αυτή προκαλεί διάφορα προβλήματα. Τα όρια στην αποδεκτή διαφυγή αμμωνίας, που επιβάλλονται είτε από κανονιστικά όρια είτε από απαιτήσεις σχεδιασμού, θέτουν περιορισμούς στην απόδοση SCR. Η διαφυγή της αμμωνίας δεν παραμένει σταθερή καθώς το σύστημα SCR λειτουργεί αλλά αυξάνεται καθώς μειώνεται η δραστηριότητα του καταλύτη. Τα κατάλληλα σχεδιασμένα συστήματα SCR, τα οποία λειτουργούν κοντά στη θεωρητική στοιχειομετρία και παρέχουν επαρκή όγκο καταλύτη, διατηρούν χαμηλά επίπεδα διαφυγής αμμωνίας, περίπου 2 έως 5 ppm.

Δραστηριότητα του καταλύτη :

Η δραστικότητα του καταλύτη είναι ένα μέτρο του πόσο ο καταλύτης επιταχύνει τον ρυθμό αντίδρασης μείωσης NO_x . Η υψηλότερη δραστικότητα καταλύτη οδηγεί σε ταχύτερο ρυθμό αντίδρασης και μεγαλύτερη απομάκρυνση NO_x . Η δραστικότητα του καταλύτη είναι συνάρτηση πολλών μεταβλητών, συμπεριλαμβανομένης της σύνθεσης και της δομής του καταλύτη, των ρυθμών διάχυσης, των ποσοστών μεταφοράς μάζας, της θερμοκρασίας του αερίου και της σύνθεσης του αερίου. Καθώς μειώνεται η δραστικότητα του καταλύτη, μειώνεται επίσης ο ρυθμός αντίδρασης μείωσης NO_x . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερη αφαίρεση NO_x .

Επιλεκτικότητα αντίδρασης καταλύτη :

Το SCR ευνοεί την αντίδραση μείωσης των NO_x έναντι άλλων αντιδράσεων δεδομένου ότι τα αντιδραστήρια είναι στην κατάλληλη θερμοκρασία και υπάρχει οξυγόνο. Ωστόσο, εξακολουθούν να εμφανίζονται διάφορες άλλες αντιδράσεις και ο καταλύτης επιταχύνει επίσης αυτές τις αντιδράσεις. Γενικά, οι καταλύτες προάγουν το σχηματισμό δύο ανεπιθύμητων ενώσεων, του τριοξειδίου του θείου (SO_3) και του υποξειδίου του αζώτου (N_2O).

Απώλεια πίεσης :

Η πίεση καυσαερίων μειώνεται καθώς τα καυσαέρια ρέουν κατά μήκος του καταλύτη. Η μείωση της πίεσης είναι συνάρτηση του μήκους του καταλύτη και της διαμόρφωσης του καταλύτη. Η απόθεση ιπτάμενης τέφρας και άλλων σωματιδίων στον καταλύτη με την πάροδο του χρόνου αυξάνει αυτή την πτώση πίεσης κατά μήκος του καταλύτη.

Απενεργοποίηση καταλύτη :

Οι καταλύτες χάνουν τη δραστικότητα τους με την πάροδο του χρόνου για διάφορους λόγους. Οι πρωταρχικοί μηχανισμοί για την απενεργοποίηση του καταλύτη είναι :

- ❖ *Δηλητηρίαση* : Ορισμένα από τα συστατικά του καυσίμου που απελευθερώνονται κατά την καύση δρουν ως δηλητήρια για τον καταλύτη. Τα δηλητήρια αυτά περιλαμβάνουν οξείδιο του ασβεστίου, οξείδιο του μαγνησίου, κάλιο, νάτριο, αρσενικό, χλώριο, φθόριο και μόλυβδο. Αυτά τα συστατικά απενεργοποιούν τον καταλύτη αφού διαχέονται στις ενεργές θέσεις και τις καταλαμβάνουν ανεπανόρθωτα. Η δηλητηρίαση αντιπροσωπεύει την κύρια αιτία της απενεργοποίησης του καταλύτη.
- ❖ *Θερμική τήξη (σύντηξη)* : Οι υψηλές θερμοκρασίες καυσαερίων εντός του αντιδραστήρα SCR προκαλούν τήξη, μια μόνιμη απώλεια δραστικότητας του καταλύτη λόγω αλλαγής στη δομή των πόρων του. Τα νεότερα καταλυτικά υλικά είναι λιγότερο ευαίσθητα στη θερμική τήξη που αυξάνει τη διάρκεια ζωής τους.
- ❖ *Ρύπανση του καταλύτη* : Τα άλατα αμμωνίας-θείου, η ιπτάμενη τέφρα και άλλα σωματιδιακά υλικά στα καυσαέρια προκαλούν ρύπανση του καταλύτη. Το υλικό αυτό εναποτίθεται στην επιφάνεια και στις θέσεις ενεργών πόρων

του καταλύτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μείωση του αριθμού των διαθέσιμων θέσεων για μείωση των NO_x και αύξηση της απώλειας πίεσης καυσαερίων κατά μήκος του καταλύτη.

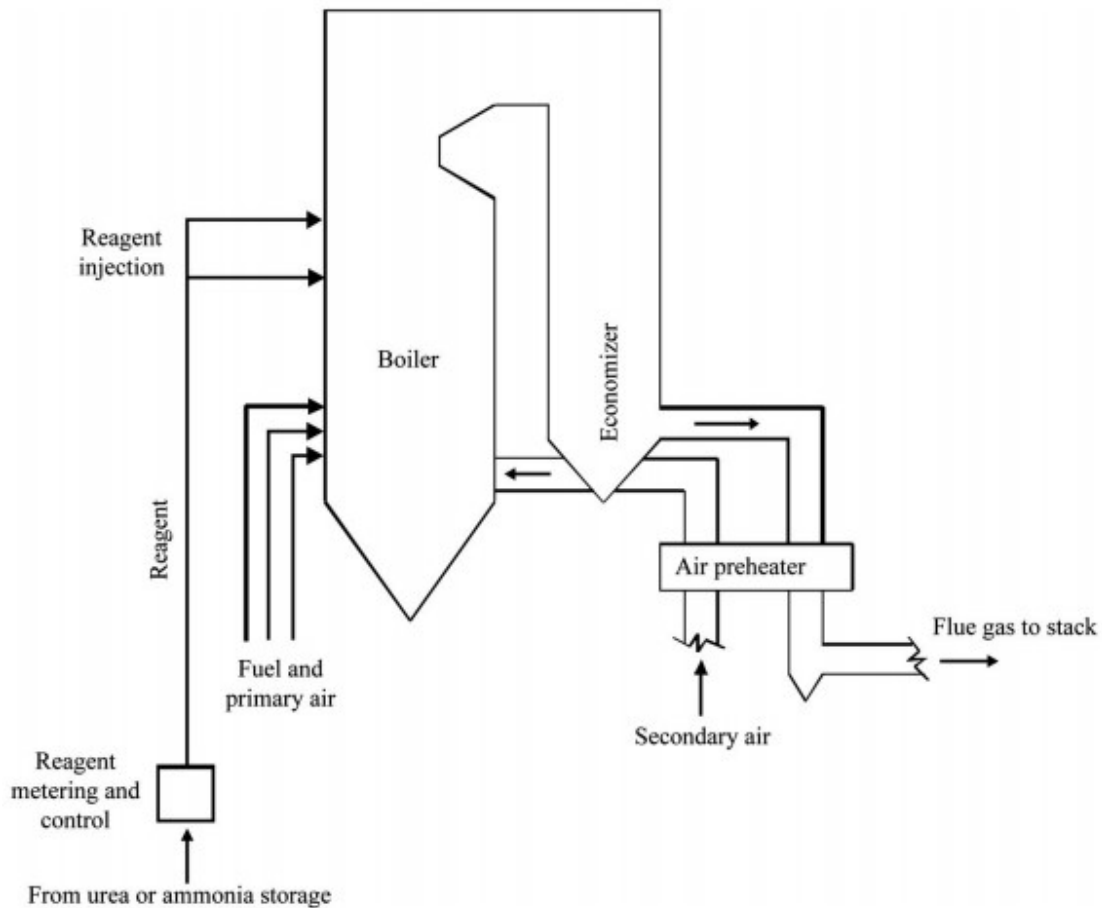
- ❖ *Διάβρωση* : Η προσκόλληση των σωματιδίων και οι υψηλές ταχύτητες του αερίου διαβρώνουν το καταλύτη.
- ❖ *Γήρανση* : Η γήρανση του καταλύτη είναι μια αλλαγή στις φυσικές και χημικές ιδιότητες των πόρων του καταλύτη που συμβαίνει με την πάροδο του χρόνου.

Συμπερασματικά, στη τεχνική SCR τοποθετείται ένας καταλύτης που βρίσκεται στη ροή των καυσαερίων και προάγει την αντίδραση μεταξύ αμμωνίας και NO_x . Η τεχνική αυτή έχει υψηλό ποσοστό αφαίρεσης των NO_x από τα καυσαέρια. Έχει σχετικά υψηλό κόστος κεφαλαίου καθώς επίσης και υψηλό λειτουργικό κόστος. Με την τεχνική αυτή αυξάνεται η πτώση πίεσης και υπάρχει ο κίνδυνος δημιουργίας επικίνδυνων αποβλήτων όπως είναι η αμμωνία. Τέλος, η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε πληθώρα καυσίμων.

5.3 Εκλεκτική μη καταλυτική αναγωγή (Selective noncatalytic reduction - SNCR)

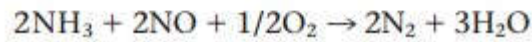
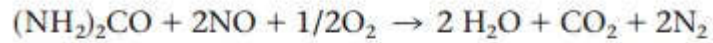
Στο SNCR η αμμωνία ή η ουρία εγχέεται σε λέβητα ή σε αγωγούς σε περιοχή όπου η θερμοκρασία είναι μεταξύ 900 °C και 1100 °C. Αυτή η τεχνολογία βασίζεται σε θερμοκρασία που ιονίζει την αμμωνία ή την ουρία αντί να χρησιμοποιεί καταλύτη ή μη θερμικό πλάσμα. Η μείωση των NO_x με το SNCR μπορεί να είναι έως και πάνω από 70%. Το SNCR βασίζεται στη χημική αναγωγή των μορίων των NO_x σε μοριακό άζωτο (N₂) και υδρατμούς (H₂O). Ένας αναγωγικός παράγοντας με βάση το άζωτο (αντιδραστήριο), όπως η αμμωνία ή η ουρία, εγχέεται στο καυσαέριο μετά την καύση. Το αντιδραστήριο μπορεί να αντιδράσει με έναν αριθμό συστατικών των καυσαερίων. Ωστόσο, η αντίδραση αναγωγής των NO_x προτιμάται έναντι άλλων διαδικασιών χημικής αντίδρασης για ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασίας και παρουσία οξυγόνου, επομένως, θεωρείται μια επιλεκτική χημική διαδικασία.

Η διαδικασία SNCR πραγματοποιείται εντός της μονάδας καύσης που λειτουργεί ως θάλαμος αντίδρασης. Το αντιδραστήριο εγχέεται στο καυσαέριο μέσω ακροφυσίων που είναι τοποθετημένα στον τοίχο της μονάδας καύσης. Τα ακροφύσια ψεκασμού βρίσκονται γενικά στην περιοχή μετά την καύση, στην άνω περιοχή του κλιβάνου και στους αγωγούς μεταφοράς. Η θερμότητα του λέβητα παρέχει την ενέργεια για την αντίδραση αναγωγής. Στην Εικόνα 29 φαίνεται η διαδικασία SNCR.



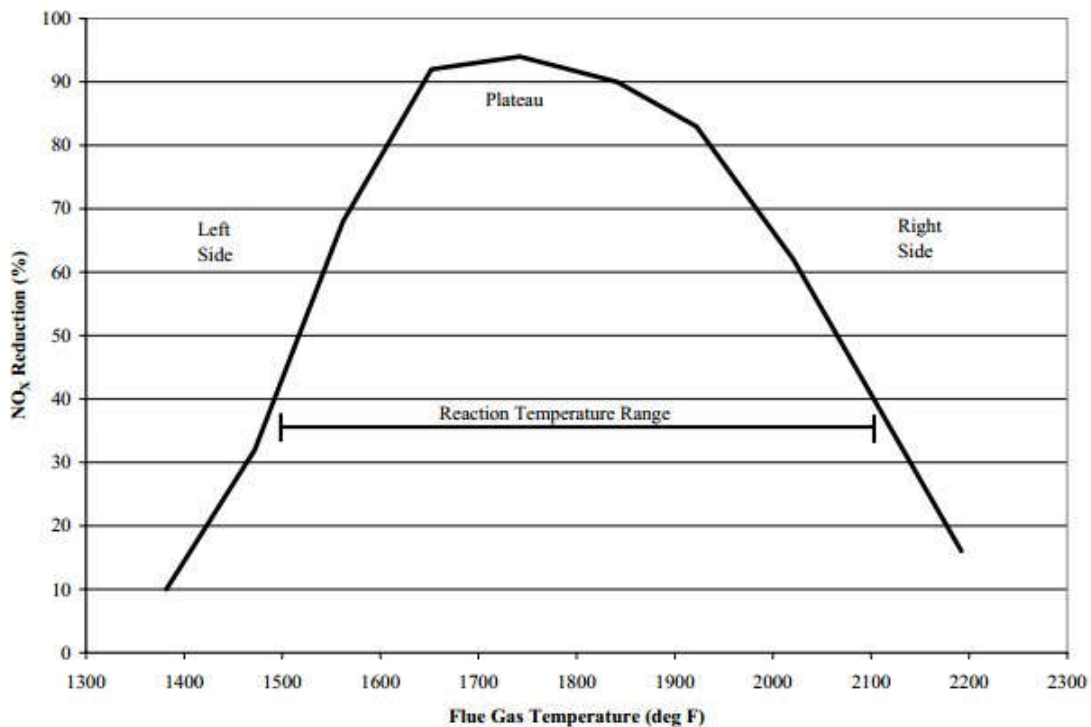
Εικόνα 29 : Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας SNCR (28)

Ο τύπος αντίδρασης για την διαδικασία SNCR είναι ο ίδιος όπως και για τη SCR στην Εικόνα 24. Ουσιαστικά ότι ισχύει για το αντιδραστήριο της αμμωνίας στην τεχνική SCR ισχύει και για την SNCR. Η διαφορά είναι ότι εδώ δεν χρησιμοποιούμε κάποιο είδος καταλύτη αλλά η αντίδραση γίνεται με βάση τη θερμοκρασία των καυσαερίων. Επιπλέον, η ουρία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως αντιδραστήριο για εφαρμογές SNCR. Η ουρία (NH_2CONH_2) είναι ευκολότερη στο χειρισμό και την αποθήκευση από την NH_3 . Ως εκ τούτου, τα συστήματα με βάση την ουρία είναι πιο συνηθισμένα από αυτά με βάση την αμμωνία, αλλά τα δεδομένα λειτουργίας αποκαλύπτουν υψηλότερες μειώσεις των NO_x με το αντιδραστήριο αμμωνίας. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ακατάλληλη και ατελή ανάμιξη των αερίων με έγχυση ουρίας σε σύγκριση με την ξηρή αμμωνία. Η ουρία διασπάται πρώτα σε αμμωνία και μετά αντιδρά με τα NO_x . Στην Εικόνα 30 φαίνεται ο τύπος της χημικής αντίδρασης με ουρία.



Εικόνα 30 : Χημική αντίδραση με τη χρήση ουρίας ως αντιδραστήριο (28)

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 31, το παράθυρο θερμοκρασίας είναι εξαιρετικά σημαντικό σε μία διαδικασία SNCR. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες καυσαερίων, ο ρυθμός αντίδρασης θα μειωθεί με αποτέλεσμα υψηλότερα επίπεδα NO_x και αυξημένη διαφυγή αμμωνίας (αμμωνία που δεν αντέδρασε). Σε υψηλότερες θερμοκρασίες καυσαερίων, όχι μόνο θα μειωθεί η αποτελεσματικότητα της αντίδρασης του αντιδραστήριου με τα NO_x , αλλά μπορεί να προκύψουν αυξημένα επίπεδα NO_x λόγω της οξείδωσης του αντιδραστήριου.



Εικόνα 31 : Καμπύλη λειτουργίας SNCR (29)

Ο στόχος του συστήματος είναι να εγχύσει το απαιτούμενο αντιδραστήριο στο παράθυρο θερμοκρασίας που περιγράφεται στην Εικόνα 31 με επαρκή χρόνο παραμονής για την απαιτούμενη αντίδραση. Ο ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος παραμονής είναι ένα δευτερόλεπτο. Προκειμένου το αντιδραστήριο να «πιάσει» το

απαιτούμενο παράθυρο θερμοκρασίας που είναι διαθέσιμο σε έναν τυπικό σχεδιασμό κλιβάνου, η έγχυση του αντιδραστήριου πρέπει να προηγείται του εύρους θερμοκρασίας της καμπύλης για να επιτευχθεί η επιθυμητή μείωση.

Γενικά, οι λειτουργικές επιπτώσεις του συστήματος SNCR και ειδικότερα οι παράμετροι λειτουργίας είναι παρόμοιες με αυτές που αναλύθηκαν για ένα SCR σύστημα. Εν συντομία αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν ρύπανση του προθερμαντήρα αέρα, μόλυνση τέφρας, εκπομπές N_2O και μικρές αυξήσεις του ρυθμού θερμότητας. Μια σημαντική επίπτωση του SNCR στις εγκαταστάσεις είναι στον προθερμαντήρα αέρα, όπου η εναπομένουσα αμμωνία αντιδρά με το SO_3 στο καυσαέριο για να σχηματίσει θειικό και θειικό αμμώνιο προκαλώντας διάβρωση. Τα υψηλά επίπεδα αμμωνίας που δεν αντέδρασε και διέφυγε από τον κλίβανο μπορούν να μολύνουν την ιπτάμενη τέφρα και να μειώσουν την πώληση ή τη διάθεσή της. Σημαντικές ποσότητες N_2O μπορούν να σχηματιστούν όταν το αντιδραστήριο εγχυθεί σε περιοχές του λέβητα που είναι κάτω από το βέλτιστο εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας του SNCR. Η έγχυση ουρίας τείνει να παράγει υψηλότερο επίπεδο N_2O σε σύγκριση με την αμμωνία. Η συνολική απώλεια απόδοσης και ισχύος συνήθως κυμαίνεται από 0,3% έως 0,8%.

Αντιδραστήρια :

Η αμμωνία ως αντιδραστήριο αναλύθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 5.2 (σύστημα SCR). Όπως αναφέρθηκε, ένα ακόμη αντιδρών του συστήματος SNCR είναι η ουρία. Η ουρία χρησιμοποιείται γενικά σε υδατικό διάλυμα 50%. Σε αυτή τη συγκέντρωση, το διάλυμα ουρίας πρέπει να θερμαίνεται και να κυκλοφορεί σε ψυχρά κλίματα λόγω του χαμηλού σημείου πήξης. Διατίθενται υψηλότερες συγκεντρώσεις διαλυμάτων ουρίας που μειώνουν τον όγκο αποθήκευσης αλλά απαιτούν εκτεταμένη θέρμανση για να αποφευχθεί το πάγωμα. Η ουρία εγχέεται στον λέβητα ως υδατικό διάλυμα και εξατμίζεται από τη θερμότητα του λέβητα. Η ουρία μπορεί επίσης να μεταφερθεί σε μορφή σβόλων που ελαχιστοποιεί τις απαιτήσεις μεταφοράς. Ωστόσο, για να παραχθεί υδατική ουρία για χρήση στο σύστημα SNCR, η ουρία πρέπει να αναμιχθεί με νερό στην εγκατάσταση. Αυτή η διαδικασία ανάμειξης είναι γενικά απαγορευτική ως προς το κόστος, εκτός από απομακρυσμένες τοποθεσίες, μεγάλες εγκαταστάσεις ή εγκαταστάσεις όπου ήδη πραγματοποιούνται διαδικασίες χημικής ανάμειξης.

Τα συστήματα με βάση την ουρία έχουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των συστημάτων με βάση την αμμωνία. Η ουρία είναι ένα μη τοξικό, λιγότερο πτητικό υγρό που μπορεί να αποθηκευτεί και να αντιμετωπιστεί με μεγαλύτερη ασφάλεια από την αμμωνία. Τα σταγονίδια του διαλύματος της ουρίας μπορούν να διεισδύσουν μακρύτερα στα καυσαέρια όταν εγχυθούν στο λέβητα. Αυτό βελτιώνει την ανάμιξη με τα καυσαέρια που είναι δύσκολο σε μεγάλους λέβητες. Λόγω αυτών των πλεονεκτημάτων, η ουρία χρησιμοποιείται πιο συχνά από την αμμωνία σε εφαρμογές μεγάλου λέβητα συστημάτων SNCR.

Υδρικά συστήματα SNCR/ SCR :

Το SCR γενικά αντιπροσωπεύει μια σχετικά υψηλή κεφαλαιακή απαίτηση, ενώ το SNCR έχει υψηλό κόστος αντιδραστήριου. Ένα υβριδικό σύστημα SNCR / SCR εξισορροπεί αυτά τα κόστη κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής για ένα συγκεκριμένο επίπεδο μείωσης των NO_x, παρέχει βελτιώσεις στη χρήση αντιδραστηρίων και αυξάνει τη συνολική μείωση των NO_x. Ωστόσο, υπάρχει περιορισμένη εμπειρία με αυτά τα υβριδικά συστήματα, καθώς η λειτουργία σε πλήρη κλίμακα αυτού του μοντέλου σε σταθμούς μέχρι σήμερα ήταν μόνο σε επιδείξεις. Η υβριδική αυτή λειτουργία έχει δείξει μειώσεις έως και 60-70%. Σε ένα υβριδικό σύστημα SNCR / SCR, το SNCR λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από τα αυτόνομα SNCR, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη μείωση των NO_x αλλά και υψηλότερη διαφυγή αμμωνίας. Η εναπομένουσα αμμωνία τροφοδοτεί έναν αντιδραστήρα SCR μικρότερου μεγέθους, ο οποίος αφαιρεί την αμμωνία και μειώνει περαιτέρω τις εκπομπές NO_x. Τα υβριδικά συστήματα SNCR / SCR μπορούν να εγκατασταθούν σε διαφορετικούς σχηματισμούς, συμπεριλαμβανομένων :

- ✓ SNCR με συμβατικό SCR που στεγάζεται σε αντιδραστήρα
- ✓ SNCR με SCR στον αγωγό, το οποίο χρησιμοποιεί καταλύτες σε υπάρχοντες ή πρόσθετους αγωγούς καυσαερίων
- ✓ SNCR με προθερμαντήρα αέρα, όπου χρησιμοποιούνται καταλυτικά ενεργά στοιχεία μεταφοράς θερμότητας
- ✓ SNCR με συνδυασμό SCR αγωγού και προθερμαντήρα αέρα με καταλυτικά στοιχεία

Συμπερασματικά, η τεχνική SNCR μπορεί να χρησιμοποιήσει ως αντιδραστήρια κατά βάση αμμωνία και ουρία τα οποία εγχέονται για να αντιδράσουν με τα NO_x. Όταν χρησιμοποιείται η ουρία ως αντιδραστήριο επιτυγχάνουμε χαμηλό κόστος κεφαλαίου και μέτρια απομάκρυνση των NO_x ενώ η θερμοκρασία παίζει καθοριστικό ρόλο στη μείωση των NO_x. Όταν χρησιμοποιείται η αμμωνία ως αντιδραστήριο επιτυγχάνουμε χαμηλό λειτουργικό κόστος και μέτρια μείωση των NO_x ωστόσο έχουμε μέτριο προς υψηλό κόστος κεφαλαίου καθώς επίσης προκύπτουν ζητήματα αποθήκευσης, χειρισμού και συστήματος έγχυσης της αμμωνίας. Γενικά η εγκατάσταση ενός συστήματος SNCR επηρεάζει την γεωμετρία του κλιβάνου και το θερμοκρασιακό προφίλ. Τέλος, η μέθοδος SNCR μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη ποικιλία καυσίμων.

5.4 Προσρόφηση και Απορρόφηση (Adsorption and Absorption)

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την προσρόφηση και την απορρόφηση. Οι μέθοδοι αυτές πολλές φορές χρησιμοποιούνται για ταυτόχρονη μείωση των NO_x και των SO_x (οξειδία του θείου). Υπάρχει για παράδειγμα μία μέθοδος που ψεκάζει ξηρό κονιοποιημένο ασβεστόλιθο στα καυσαέρια. Ο ασβεστόλιθος στη συνέχεια αντιδρά τόσο με θειικό οξύ όσο και με νιτρικό οξύ. Μια άλλη μέθοδος ψεκάζει έναν μείγμα ασβεστόλιθου και αμμωνίας σε σκόνη στα καυσαέρια. Ο ασβεστόλιθος αντιδρά με το θείο ενώ η αμμωνία αντιδρά με τα NO_x . Η έγχυση ξηρών προσροφητικών στον αγωγό είναι ένα άλλο παράδειγμα αυτής της τεχνικής και μπορεί να μειώσει τους ρύπους σε τρία στάδια τα οποία είναι στον θάλαμο καύσης, στον αγωγό καυσαερίων που οδηγεί στο σακόφιλτρο και στον αγωγό καυσαερίων που οδηγεί στο ηλεκτροστατικό φίλτρο. Τα προϊόντα που σχηματίζονται είναι το θειικό ασβέστιο και το νιτρικό αμμώνιο τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω ή να πωληθούν. Οι τεχνικές της προσρόφησης και της απορρόφησης αναφέρεται ότι μπορούν να επιτύχουν έως και 60% μείωση των NO_x . Υπάρχουν γενικά πολλά απορροφητικά και προσροφητικά.

Προσρόφηση :

Οι μέθοδοι αφαίρεσης NO_x και SO_x απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού και μεγάλο αριθμό πρόσθετων εγκαταστάσεων για την επεξεργασία των λυμάτων. Συνεπώς, απαιτείται ανάπτυξη τεχνολογίας σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που βρίσκονται στην περιοχή με ανεπαρκή παροχή νερού. Η προσρόφηση είναι μια ξηρή μέθοδος για την ταυτόχρονη απομάκρυνση των NO_x και SO_x και θεωρείται ως μία από τις πιο χρήσιμες μεθόδους επεξεργασίας αερίων που περιέχουν NO_x και SO_x . Διαφορετικά προσροφητικά, όπως ενεργός άνθρακας, ζεόλιθοι, προσροφητικό στερεάς αμίνης¹¹, μεταλλικά οξειδία και Silica Gel¹² μπορούν να απορροφήσουν και να αφαιρέσουν τα NO_x και SO_x . Η λειτουργία του ενεργού άνθρακα ως προσροφητικό μέσο αλλάζει όταν χρησιμοποιείται σε καθαρά αέρια σε σχέση με όταν γίνεται χρήση του σε αέρια μείγματα. Γενικά, ο ενεργός άνθρακας έχει μεγαλύτερη «προτίμηση» για τα SO_x παρά για τα NO_x . Αυτό οφείλεται κυρίως στην υψηλότερη μόνιμη διπολική ροπή και την πολικότητα του SO_x από το NO_x , το οποίο οδηγεί σε ισχυρότερη διασπορά και σε ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις με την επιφάνεια. Τα μεταλλικά οξειδία με τον ενεργό άνθρακα ενώ έχουν γενικά υψηλή δραστηριότητα για την μείωση των NO_x εμφανίζουν ορισμένα προβλήματα. Ένα από αυτά είναι η δηλητηρίαση τους παρουσία SO_x ως αποτέλεσμα του σχηματισμού θειικών αλάτων και θείωσης του

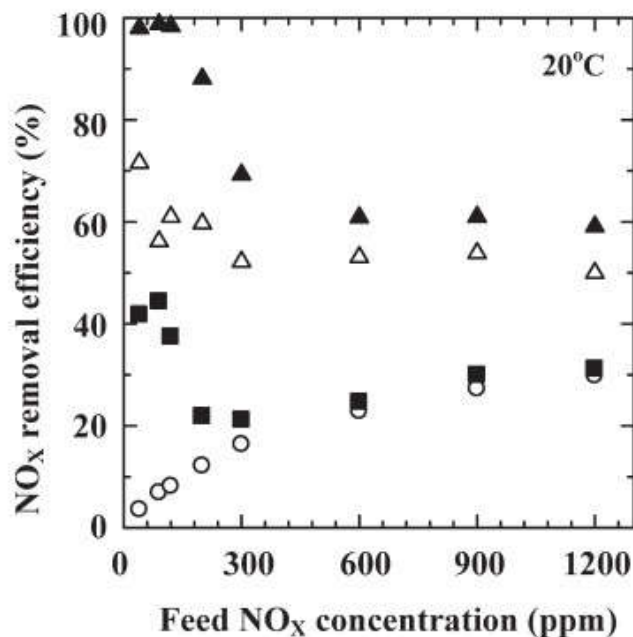
¹¹ Οι αμίνες είναι αζωτούχες οργανικές ενώσεις με μία τουλάχιστον αμινομάδα, δηλαδή $-\text{NR}_2$, όπου τα όξινα ατομάτα ίδια R μπορεί να είναι υδρογόνο, αλογόνα, υποκατεστημένα ή μη υδροκαρβύλια και ορισμένες άλλες μονοσθενείς ομάδες, ως κύρια χαρακτηριστική ομάδα.

¹² Το Silica Gel είναι μια άμορφη και πορώδης μορφή διοξειδίου του πυριτίου

άνθρακα. Οι ζεόλιθοι, με χαμηλό κόστος, που δεν είναι τοξικοί, με μοναδικές επιφανειακές ιδιότητες και καλά καθορισμένη δομή πόρων έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα ως προσροφητικό για την αφαίρεση NO_x και SO_x . Η μεμβράνη NaZSM-5 εμφανίζει υψηλή ικανότητα προσρόφησης NO_x σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών από 30 °C έως 350 °C.

Απορρόφηση :

Οι μέθοδοι της απορρόφησης είναι ανταγωνιστικές με άλλες τεχνολογίες που εφαρμόζονται μετά την καύση για την ταυτόχρονη απομάκρυνση των NO_x και SO_x . Τα περισσότερα από τα NO_x που εκπέμπονται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα είναι NO και NO_2 . Το NO_2 μπορεί να απορροφηθεί αποτελεσματικά από μερικά υδατικά διαλύματα. Η αδρανής φύση του NO έχει δημιουργήσει ένα επίμονο πρόβλημα σε βιομηχανικές εφαρμογές. Η διαλυτότητα του NO δεν εξαρτάται από το pH, αλλά τα περισσότερα χημικά αντιδραστήρια για απορρόφηση NO_2 είναι αποτελεσματικά μόνο σε υψηλό pH. Η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να μειώσει τη διαλυτότητα του NO . Η χαμηλή διαλυτότητα του NO σε υδατικά διαλύματα μπορεί να αυξήσει σημαντικά την αντίσταση των υγρών φάσεων κατά την μεταφορά μάζας. Έτσι, το NO μπορεί να απομακρυνθεί από τα καυσαέρια μέσω οξειδωσης σε NO_2 ακολουθούμενο από απορρόφηση σε αλκαλικό διάλυμα. Γενικά, προστίθενται πρόσθετα σε μία πλυντρίδα για τη μετατροπή του σχετικά αδιάλυτου NO στο νερό σε ένα αρκετά διαλυτό NO_2 , το οποίο μπορεί να απομακρυνθεί περαιτέρω με αλκαλικά απορροφητικά. Υδατικά διαλύματα χρησιμοποιούνται ευρέως για απομάκρυνση των NO_x όπως Fe (II) EDTA, υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2), διάλυμα υπερμαγγανικού καλίου (KMnO_4), διάλυμα ουρίας ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) και όζον (O_3). Έχει διερευνηθεί η επίδραση διαφόρων πρόσθετων όπως η συγκέντρωση ουρίας, ο χρόνος αντίδρασης και η θερμοκρασία, το pH και ο ρυθμός ροής αερίου στις διεργασίες μείωσης NO_x και SO_x . Το NaClO_2 είναι γνωστό ως ένα αποτελεσματικό αντιδραστήριο για την απορρόφηση και την οξείδωση των NO_x και SO_x , και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή χημικού διαλύματος λόγω της καλής διαλυτότητάς του στο νερό. Μία πρόσφατη έρευνα (30) έδειξε ότι μπορεί να υπάρξει υψηλή απόδοση στην απορρόφηση των NO_x σε νερό με όζον με τη χρήση εξοπλισμού που ενσωματώνει φίλτρο με ίνες γυαλιού. Η απορρόφηση των NO_x στο νερό είναι αρκετά δύσκολη σε σύγκριση με άλλα αέρια, όπως SO_2 , CO_2 και NH_3 λόγω της χαμηλής διαλυτότητας των NO_x στο νερό. Στην Εικόνα 32 φαίνεται η μείωση των NO_x .



Εικόνα 32 : Απορρόφηση NO_x χρησιμοποιώντας κορεσμένο νερό με όζον παρουσία και απουσία όζοντος σε αέρια φάση. ▲ η υγρή φάση περιέχει κορεσμένη συγκέντρωση όζοντος και η γραμμομοριακή αναλογία όζοντος προς NO στην αέρια φάση είναι 1, ■ Το όζον υπάρχει μόνο στην υγρή φάση και η υγρή φάση περιέχει κορεσμένη συγκέντρωση όζοντος, ○ Χωρίς όζον σε νερό και αέριο, △ Το όζον υπάρχει μόνο στην αέρια φάση και η γραμμομοριακή αναλογία όζοντος προς NO είναι 1 (30)

Συμπερασματικά, η προσρόφηση-απορρόφηση χρησιμοποιεί μια χημική ουσία για να απορροφήσει τα NO_x ή έναν προσροφητή για να το κρατήσει. Η μέθοδος αυτή μπορεί να ελέγξει και άλλους ρύπους όπως και NO_x. Έχει μέτριο λειτουργικό κόστος ωστόσο δημιουργείται η ανάγκη δημιουργίας κάποιου χώρου αποθήκευσης για το προσροφητικό-απορροφητικό μέσο. Τέλος, η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί με πληθώρα καυσίμων.

6. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΕΡΑ¹³-ΕΕΑ¹⁴-ΚΙΝΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθεί στην ευρωπαϊκή περιβαλλοντολογική νομοθεσία καθώς επίσης θα αναφερθούμε σε κάποιους κανονισμούς που ισχύουν για τις εκπομπές ρύπων στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και στην Κίνα. Δίνεται έμφαση σε αυτές τις χώρες-ενώσεις κρατών διότι σύμφωνα μετά τελευταία στοιχεία οι χώρες αυτές εμφανίζουν τις περισσότερες εκπομπές ρύπων στον κόσμο.

ΕΡΑ :

Στις 22 Ιανουαρίου 2010, το ΕΡΑ ενίσχυσε το Εθνικό Πρότυπο Ποιότητας του Περιβάλλοντος (NAAQS) για το διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Το ΕΡΑ έθεσε ένα πρότυπο NO₂ 1 ώρας στο επίπεδο των 100 parts per billion (ppb). Το ΕΡΑ διατήρησε επίσης το ετήσιο μέσο όρο NO₂ στα 53 ppb. Το πρότυπο 1 ώρας θα προστατεύσει τη δημόσια υγεία περιορίζοντας την έκθεση των ανθρώπων σε βραχυπρόθεσμες μέγιστες συγκεντρώσεις NO₂ - οι οποίες εμφανίζονται κυρίως κοντά σε μεγάλους δρόμους. Επιπλέον, το ΕΡΑ καθόρισε απαιτήσεις παρακολούθησης και αναφοράς του ατμοσφαιρικού αέρα για το NO₂. Στις αστικές περιοχές, απαιτούνται οθόνες κοντά σε μεγάλους δρόμους και σε άλλες περιοχές όπου αναμένονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις. Το ΕΡΑ έχει τοποθετήσει έναν αριθμό οθονών σε τοποθεσίες για να βοηθήσει στην προστασία κοινοτήτων που είναι ευαίσθητες σε επιπτώσεις στην υγεία που σχετίζονται με το NO₂. Στην Εικόνα 33 φαίνεται ο οδηγός ποιότητας αέρα για το διοξείδιο του αζώτου κατά το ΕΡΑ.

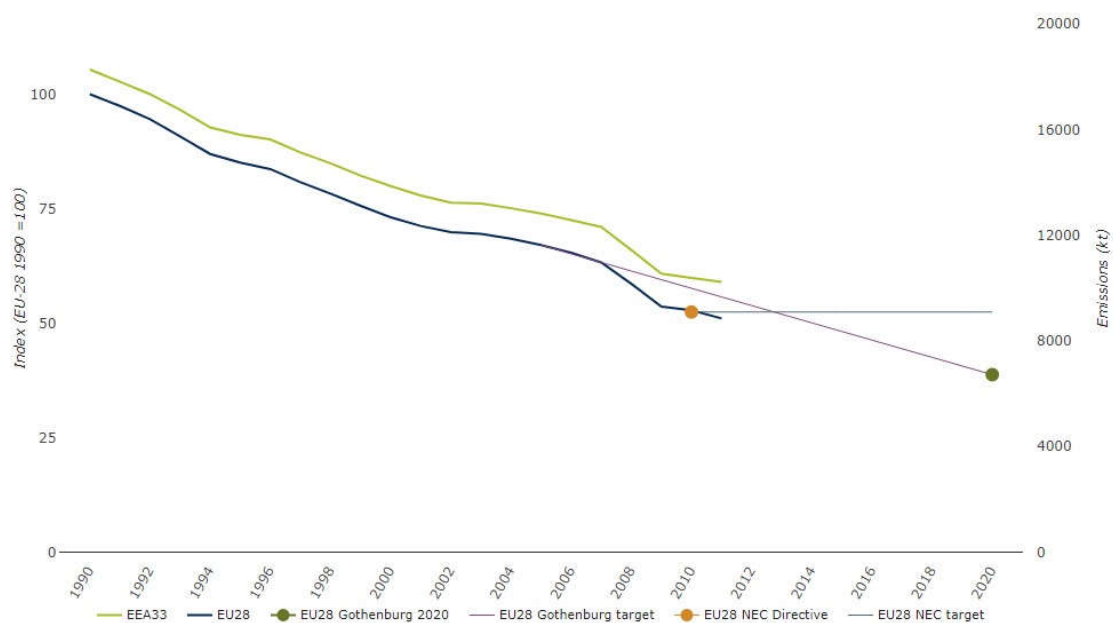
¹³ United States Environmental Protection Agency Search

¹⁴ European Environmental Agency

Air Quality Index	Protect Your Health Near Roadways
Good (0-50)	No health impacts are expected when air quality is in this range.
Moderate (51-100)	Individuals who are unusually sensitive to nitrogen dioxide should <u>consider limiting prolonged</u> outdoor exertion.
Unhealthy for Sensitive Groups (101-150)	The following groups should <u>limit prolonged</u> outdoor exertion: <ul style="list-style-type: none"> • People with lung disease, such as asthma • Children and older adults
Unhealthy (151-200)	The following groups should <u>avoid prolonged</u> outdoor exertion: <ul style="list-style-type: none"> • People with lung disease, such as asthma • Children and older adults Everyone else should <u>limit prolonged</u> outdoor exertion.
Very Unhealthy (201-300)	The following groups should <u>avoid all</u> outdoor exertion: <ul style="list-style-type: none"> • People with lung disease, such as asthma • Children and older adults Everyone else should <u>limit</u> outdoor exertion.

Εικόνα 33 : Οδηγός ποιότητας αέρα για το διοξείδιο του αζώτου κατά το EPA (31)

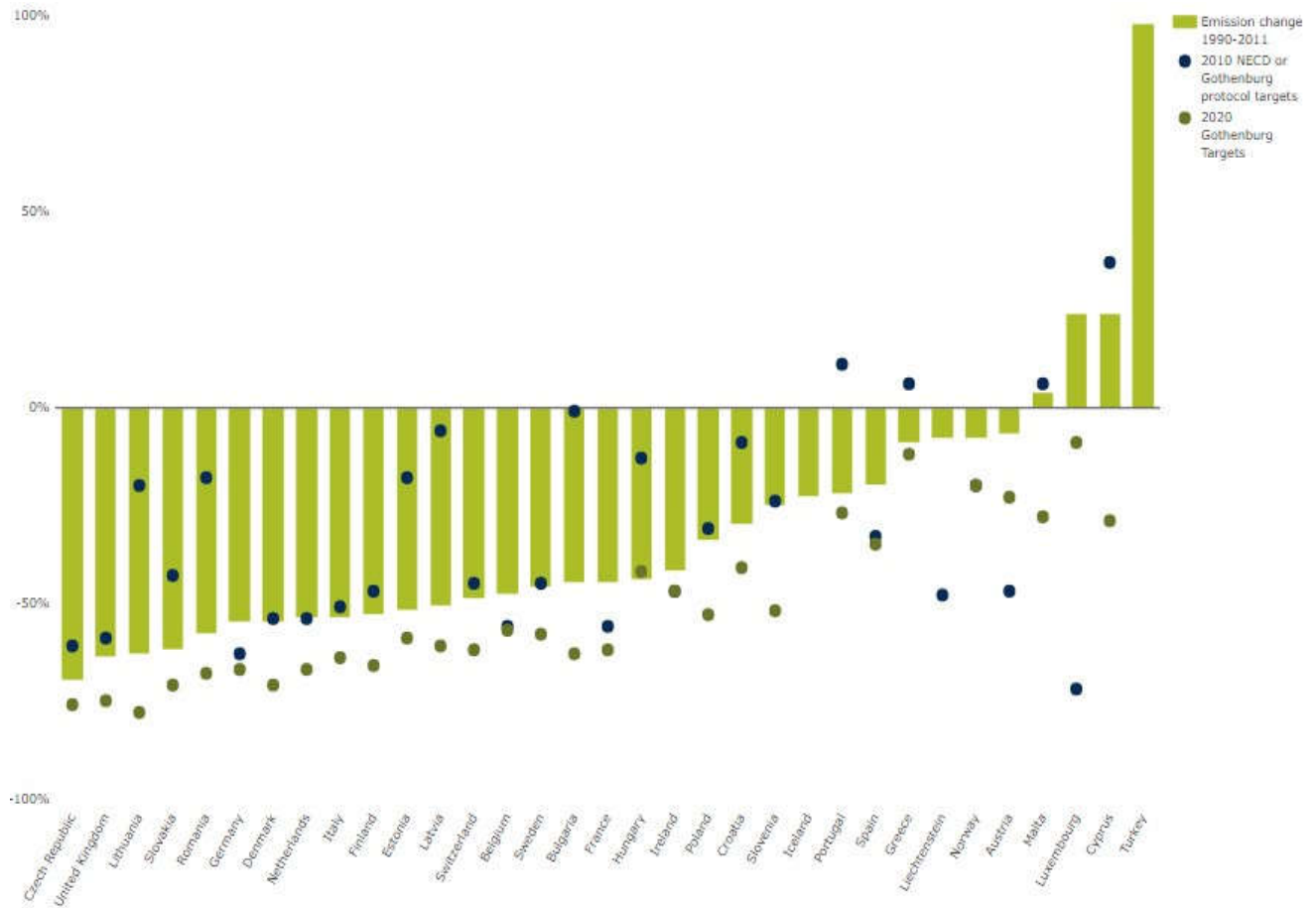
EEA :



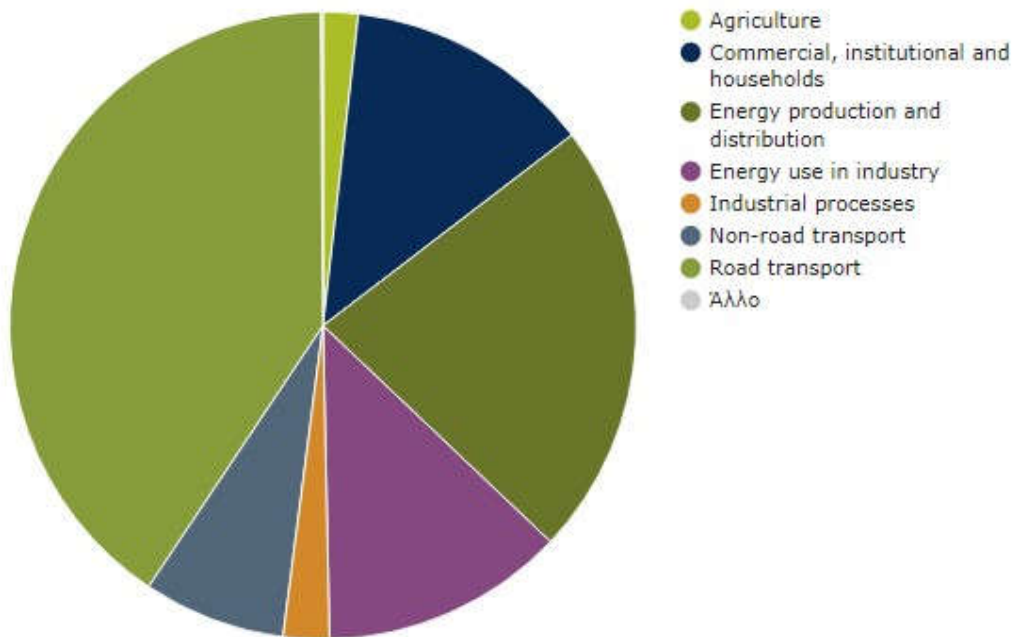
Εικόνα 34 : Τάσεις εκπομπών οξειδίων του αζώτου (32)

Πίνακας 2 : Τάσεις εκπομπών οξειδίων του αζώτου (32)

year	EEA33 index	EEA33	EU28	EU28 index	EU28 Gothenburg 2020	EU28 Gothenburg target	EU28 NEC Directive	EU28 NEC target
1990	100	18.267,75	17.338,17	100				
1991	97,49	17.809,58	16.891,21	97,42				
1992	94,92	17.339,58	16.393,46	94,55				
1993	91,88	16.747,85	15.740,3	90,78				
1994	88,01	16.077,86	15.074,23	86,94				
1995	86,5	15.801,5	14.744,24	85,04				
1996	85,54	15.625,95	14.501,8	83,64				
1997	82,83	15.130,6	14.004,12	80,77				
1998	80,58	14.720,57	13.574,35	78,29				
1999	78,04	14.255,6	13.110,54	75,62				
2000	75,88	13.861,22	12.675,54	73,11				
2001	73,89	13.498,57	12.347,89	71,22				
2002	72,45	13.234,49	12.111,31	69,85				
2003	72,23	13.194,34	12.062,61	69,51				
2004	71,27	13.019,66	11.887,42	68,45				
2005	70,19	12.822,49	11.623,48	67,04		67,04		
2006	68,81	12.570,01	11.334,79	65,37		65,15		
2007	67,39	12.309,88	10.985,96	63,25		63,27		
2008	62,62	11.439,22	10.180,09	58,6		61,38		
2009	57,72	10.543,82	9.299,94	53,64		59,5		
2010	56,81	10.377,89	9.154,27	52,8		57,61	9.090	52,43
2011	56,01	10.232,44	8.848,66	51,02		55,73		52,43
2012						53,84		52,43
2013						51,95		52,43
2014						50,07		52,43
2015						48,18		52,43
2016						46,3		52,43
2017						44,41		52,43
2018						42,53		52,43
2019						40,64		52,43
2020					6.719,45	38,76		52,43



Εικόνα 35 : Αλλαγή στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου σε σύγκριση με τους στόχους πρωτοκόλλου NECD και Γκέτεμποργκ του 2010 (32)



Εικόνα 36 : Μέρη εκπομπών οξειδίων του αζώτου για το 2011 (32)

Πίνακας 3 : Ανώτατα όρια NO_x 2010 σύμφωνα με την οδηγία NEC και το πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ (32)

Country	2010 NECD ceilings	2010 CLRTAP Gothenburg Protocol ceilings	2020 CLRTAP Gothenburg Protocol ceilings
Austria	103	107	149
Belgium	176	181	172
Bulgaria	247	266	91
Cyprus	23	N/A	12
Czech Republic	286	286	181
Denmark	127	127	80
Estonia	60	N/A	30
Finland	170	170	110
France	810	860	715
Germany	1051	1081	963
Greece	344	344	289
Hungary	198	198	134
Iceland*	N/A	N/A	N/A
Ireland	65	65	65
Italy	990	1000	727
Latvia	61	84	25
Liechtenstein	N/A	0.37	N/A
Lithuania	110	110	29
Luxembourg	11	11	35
Malta	8	N/A	5
Netherlands	260	266	190
Norway	N/A	156	154
Poland	879	879	606
Portugal	250	260	167
Romania	437	437	170
Slovakia	130	130	65
Slovenia	45	45	28
Spain	847	847	827
Switzerland	N/A	79	55
Sweden	148	148	111
Turkey*	N/A	N/A	N/A
United Kingdom	1167	1181	711

* Iceland and Turkey do not have a ceiling under the NEC Directive or the Gothenburg protocol.

Οι εκπομπές NO_x του ΕΕΑ-33 μειώθηκαν κατά 44% μεταξύ 1990 και 2011. Η πλειονότητα των χωρών του ΕΕΑ-33 ανέφεραν χαμηλότερες εκπομπές NO_x το 2011 σε σύγκριση με το 1990. Οι εξαιρέσεις σε αυτό είναι η Τουρκία (της οποίας οι εκπομπές ήταν δύο φορές υψηλότερες το 2011 από ό, τι στο 1990), Κύπρος (24% υψηλότερα), Λουξεμβούργο (24%) και Μάλτα (4%). Η ύφεση, και η επακόλουθη οικονομική επιβράδυνση, που ξεκίνησε στα μέσα του 2008 ήταν καθοριστικός παράγοντας για τη μείωση των εκπομπών NO_x μεταξύ 2007 και 2011, κυρίως λόγω της μείωσης του επιπέδου των βιομηχανικών και μεταφορικών δραστηριοτήτων σε ολόκληρη την Ευρώπη. Οι συνολικές εκπομπές μειώθηκαν κατά 17% μεταξύ αυτών των ετών, σε σύγκριση με μείωση κατά 7% μεταξύ 2003 και 2007. Σε γενικές γραμμές, τα νεότερα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν σημειώσει καλύτερη πρόοδο στην επίτευξη των αντίστοιχων ανώτατων ορίων του 2010 από τα παλαιότερα κράτη μέλη της ΕΕ-15. Όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ-13, τα οποία προσχώρησαν μεταξύ 2004 και 2013, έχουν μειώσει τις εκπομπές πέραν των απαιτούμενων βάσει του NECD. Αντιθέτως, μόνο οκτώ κράτη μέλη της ΕΕ-15 είχαν εκπομπές 2011 κάτω από τα αντίστοιχα εθνικά τους ανώτατα όρια. Παρά τη διαφορά αυτή, τόσο οι ομάδες ΕΕ-15 όσο και οι νέες ομάδες ΕΕ-13 έχουν σημειώσει γενικά παρόμοιες μειώσεις στις εκπομπές NO_x από το 1990, κατά 49,1% και 48,7% αντίστοιχα. Ωστόσο, τα ανώτατα όρια της NECD για τις ομάδες είναι σημαντικά διαφορετικά, αντιπροσωπεύοντας μειώσεις από τις εκπομπές του 1990 κατά 52% και 31% αντίστοιχα. Αυτή η διαφορά αντικατοπτρίζεται λιγότερο στο αναθεωρημένο πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ, σύμφωνα με το οποίο οι ομάδες ΕΕ-15 και ΕΕ-13 αναμένεται να επιτύχουν μειώσεις 44% και 35% αντίστοιχα από τα επίπεδα εκπομπών του 2005. Όπως προαναφέρθηκε, οι εκπομπές έχουν πράγματι αυξηθεί σε τέσσερις χώρες του ΕΕΑ -33 κατά την περίοδο 1990-2011, παρόλο που όλες οι χώρες έχουν υποχρεώσεις να μειώσουν τις εκπομπές βάσει του πρωτοκόλλου NECD και του Γκέτεμποργκ. Ωστόσο, από το 2005, οι εκπομπές έχουν μειωθεί σε όλες εκτός από μία από αυτές τις χώρες, πράγμα που δείχνει ότι έως το 2011 είχε σημειωθεί κάποια πρόοδος στην πορεία προς τα όρια της ανώτατης οδηγίας NECD. Η Ισλανδία, το Λιχτενστάιν, η Νορβηγία, η Ελβετία και η Τουρκία δεν είναι μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ως εκ τούτου δεν έχουν καθοριστεί ανώτατα όρια εκπομπών στο πλαίσιο του NECD. Ωστόσο, η Νορβηγία και η Ελβετία έχουν επικυρώσει το Πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ της Σύμβασης της UNECE LRTAP, απαιτώντας από αυτούς να μειώσουν τις εκπομπές τους στο συμφωνημένο ανώτατο όριο που καθορίζεται στο πρωτόκολλο έως το 2010. Το Λιχτενστάιν έχει επίσης υπογράψει, αλλά δεν έχει επικυρώσει το πρωτόκολλο. Ενώ η Ελβετία ανέφερε εκπομπές το 2011 που ήταν χαμηλότερες από το ανώτατο όριό τους, ούτε το Λιχτενστάιν ούτε η Νορβηγία δεν έχουν ακόμη εκπληρώσει τα εθνικά τους ανώτατα όρια, και ως εκ τούτου πρέπει να συνεχίσουν να κάνουν σημαντικές μειώσεις προκειμένου να διασφαλίσουν τη συμμόρφωση. Η αναθεώρηση της εθνικής οδηγίας για τα ανώτατα όρια εκπομπών 2001/81 / ΕΚ (NECD) αποτελεί μέρος της εφαρμογής της θεματικής στρατηγικής για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η πρόταση τροποποίησης του NECD βρίσκεται ακόμη υπό προετοιμασία και πρέπει να ορίσει τα ανώτατα όρια εκπομπών έως το 2020 για τις τέσσερις ήδη ρυθμιζόμενες ουσίες (NO_x, NMVOC, SO_x και NH₃), καθώς και για τις πρωτογενείς εκπομπές PM_{2.5}.

Μια αναθεώρηση του πρωτοκόλλου του Γκέτεμποργκ δημοσιεύθηκε τον Ιούνιο του 2012 και πρότεινε μείωση των ποσοστών εκπομπών από τα επίπεδα του 2005 που θα επιτευχθούν έως το 2020 για τις τέσσερις ήδη ρυθμιζόμενες ουσίες και τις πρωτογενείς εκπομπές ΑΣ₂,5. Τα υφιστάμενα ανώτατα όρια εκπομπών για το 2010 έχουν επεκταθεί έως το 2020, έτσι ώστε όλες οι χώρες να έχουν πρόσθετες υποχρεώσεις να διατηρούν τα επίπεδα εκπομπών κάτω από τα ανώτατα όρια του 2010 ή να μειώσουν περαιτέρω τις εκπομπές εάν δεν έχουν ακόμη εκπληρώσει αυτά τα ανώτατα όρια. Οι εκπομπές που αναφέρθηκαν για το 2011 δείχνουν ότι η πλειονότητα των κρατών μελών βρίσκεται σε καλό δρόμο για την επίτευξη των προτεινόμενων στόχων μείωσης των εκπομπών για το 2020 βάσει του αναθεωρημένου πρωτοκόλλου του Γκέτεμποργκ. Οκτώ χώρες ανέφεραν εκπομπές 2011 υψηλότερες από τη γραμμική πορεία προς τους στόχους τους για το 2020, ωστόσο, για πέντε από αυτές η διαφορά ήταν μικρότερη από το 10% των εκπομπών του 2005.

Κανονισμοί :

Έχουν εφαρμοστεί ορισμένες πολιτικές που μειώνουν άμεσα ή έμμεσα τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου. Σε αυτά περιλαμβάνονται: Αρχικά υπάρχει η εθνική οδηγία 2001/81 / EC για τα ανώτατα όρια εκπομπών (NECD), η οποία τέθηκε σε ισχύ στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα το 2001. Η NECD θέτει ανώτατα όρια εκπομπών για τέσσερις σημαντικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους (NO_x, διοξείδιο του θείου (SO₂), αμμωνία (NH₃)) και πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός μεθανίου (NMVOCs)) που θα επιτευχθούν από το 2010 και μετά για κάθε κράτος μέλος. Τα ανώτατα όρια έχουν σχεδιαστεί για να βελτιώσουν την προστασία στην Κοινότητα του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας από κινδύνους ανεπιθύμητων ενεργειών. Το NECD βρίσκεται επί του παρόντος υπό εξέταση, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή μπορεί να εγκρίνει πρόταση αναθεωρημένης οδηγίας κατά τη διάρκεια του 2010. Υπάρχει, επίσης, το Πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ (1999) της Σύμβασης της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE) για τη διασυνοριακή ατμοσφαιρική ρύπανση μεγάλης εμβέλειας (Σύμβαση LRTAP) για την καταπολέμηση της οξίνισης, του ευτροφισμού και του όζοντος στο έδαφος. Βασικός στόχος του πρωτοκόλλου είναι η ρύθμιση των εκπομπών σε περιφερειακή βάση εντός της Ευρώπης και η προστασία των οικοσυστημάτων από τη διασυνοριακή ρύπανση, ορίζοντας ανώτατα όρια μείωσης των εκπομπών που πρέπει να επιτευχθούν έως το 2010 για τους ίδιους τέσσερις ρύπους που αναφέρονται στο NECD (π.χ. SO₂, NO_x, NH₃ και NMVOC). Συνολικά, για τα κράτη μέλη της ΕΕ, τα ανώτατα όρια που καθορίζονται στο πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ είναι γενικά είτε ελαφρώς λιγότερο αυστηρά είτε τα ίδια με τα ανώτατα όρια εκπομπών που καθορίζονται στο NECD. Η οδηγία για τις μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης (2001/80/EC) είναι σημαντική για τη μείωση των εκπομπών NO_x, SO₂ και σκόνης από εγκαταστάσεις καύσης με θερμική χωρητικότητα ίση ή μεγαλύτερη από 50 MW. Οι εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας οδηγίας περιλαμβάνουν σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, διυλιστήρια πετρελαίου, χαλυβουργεία και άλλες βιομηχανικές διεργασίες που λειτουργούν με στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα. Η "νέα" μονάδα

πρέπει να πληροί τις οριακές τιμές εκπομπών (ELV) που αναφέρονται στο LCPD. Ωστόσο, τα κράτη μέλη μπορούν να επιλέξουν να εκπληρώσουν τις υποχρεώσεις για υφιστάμενες εγκαταστάσεις (δηλαδή εκείνες που λειτουργούσαν πριν από το 1987) είτε συμμορφώνοντας τις ELV είτε λειτουργώντας σε ένα εθνικό σχέδιο μείωσης εκπομπών (NERP) που θέτει ανώτατο όριο για κάθε ρύπο. Η αλληλεπίδραση της LCPD και της οδηγίας IPPC εξετάζεται επί του παρόντος ως μέρος της αναθεώρησης της οδηγίας IPPC. Η οδηγία για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (96/61/EC) τέθηκε σε ισχύ το 1999. Στόχος της είναι η πρόληψη ή η ελαχιστοποίηση της ρύπανσης στον αέρα, το νερό ή τη γη από διάφορες βιομηχανικές πηγές σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι εγκαταστάσεις που καλύπτονται από το Παράρτημα I της Οδηγίας IPPC πρέπει να λάβουν άδεια από τις αρχές να λειτουργήσουν. Νέες και υπάρχουσες εγκαταστάσεις, οι οποίες υπόκεινται σε «ουσιαστικές αλλαγές», απαιτήθηκαν για να πληρούν τις απαιτήσεις της οδηγίας IPPC από τις 30 Οκτωβρίου 1999. Άλλες υπάρχουσες εγκαταστάσεις πρέπει να έχουν συμμορφωθεί έως τις 30 Οκτωβρίου 2007. Οι οριακές τιμές εκπομπών που αναφέρονται οι όροι άδειας πρέπει να βασίζονται στις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές (BAT). Η Επιτροπή προέβη σε αναθεώρηση της οδηγίας IPPC και της σχετικής νομοθεσίας για τις βιομηχανικές εκπομπές και στις 21 Δεκεμβρίου 2007 ενέκρινε πρόταση οδηγίας για τις βιομηχανικές εκπομπές. Η πρόταση αναδιατυπώνει επτά υφιστάμενες οδηγίες σχετικά με τις βιομηχανικές εκπομπές (συμπεριλαμβανομένης της IPCC και της LCPD) σε ένα ενιαίο νομοθετικό μέσο. Τέλος, στόχος της οδηγίας 96/62/EC για την αξιολόγηση και διαχείριση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα («οδηγία πλαίσιο για την ποιότητα του αέρα») είναι η διατήρηση και η βελτίωση της ποιότητας του αέρα εντός της Ευρωπαϊκής Κοινότητας με τον καθορισμό στόχων για τον ατμοσφαιρικό αέρα, με την κατάρτιση κοινών μεθόδων και κριτηρίων για την αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα και τη λήψη και διάδοση πληροφοριών. Η πρώτη οδηγία "Daughter" 99/30/EC τέθηκε σε ισχύ το 1999 και έθεσε οριακές τιμές για τις ωριαίες και ετήσιες μέσες συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου που θα επιτευχθούν σε ολόκληρη την κοινότητα έως την 1η Ιανουαρίου 2010.

Γενικά, οι εκπομπές NO_x καλύπτονται από την εθνική οδηγία της ΕΕ για τα ανώτατα όρια εκπομπών (NECD) (2001/81/EC) και το πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ βάσει της σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών για τη διασυνοριακή ατμοσφαιρική ρύπανση μεγάλων αποστάσεων (σύμβαση LRTAP) (UNECE 1999). Το NECD περιλαμβάνει γενικά ελαφρώς αυστηρότερους στόχους μείωσης των εκπομπών από το πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ για τις χώρες της ΕΕ-15 για την περίοδο 1990-2010. Το Πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ τέθηκε σε ισχύ στις 17 Μαΐου 2005, μετά την επικύρωσή του από 16 χώρες στις αρχές του 2005. Η αναθεώρηση του πρωτοκόλλου του Γκέτεμποργκ το 2012 πρότεινε στόχους μείωσης των εκπομπών για το 2020 σε σχέση με τις αναφερόμενες εκπομπές για το 2005 για όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ-27 και για ορισμένα ΕΕΑ -32 κράτη μέλη εκτός ΕΕ. Στον Πίνακα 3 φαίνονται τα ανώτατα όρια NO_x για το 2010 σύμφωνα με την οδηγία NEC και το πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ.

Πίνακας 4 : Οδηγίες εκπομπών σωματιδίων (mg / Nm³) (33)

FUEL	IFC-WB ^{a,b} /Plant capacity, MWth		United States	EU ^c /Plant capacity, MWth	CHINA ^d	INDIA/plant capacity, MW	
	NDA	DA					
Natural Gas	NA	NA					
Other Gaseous Fuels	50	30					
Liquid Fuels	50/ >50 to <600	30/ >50 to <600					
Liquid Fuels	50/ ≥600	30/ ≥600					
Solid Fuels	50/ >50 to <600	30/ >50 to <600	6.4 gm/GJ	50/50 to 100	50	100–150 ^e /200 to <500	
Solid Fuels	50/ ≥600	30/ ≥600		30/ >100		45 ^e (maximum) with design coal and all fields in service/ sub-critical ≥500	80 ^f (maximum) with maximum ash coal and one field of each pass of ESP out of service)/sub-critical ≥ 500
Solid Fuels						50 ^g (maximum or as per MOEF ^h 's requirement, whichever is more stringent with design coal and one field of each pass of ESP out of service)/ supercritical 660/ 800 MW	80 ^d (maximum or as per MOEF ^h 's requirement, whichever is more stringent with maximum ash coal and one field of each pass of ESP out of service)/ supercritical 660/ 800 MW

Notes: NDA = Non-Degraded Airshed, DA = Degraded Airshed (poor air quality), NA = Not Applicable.
MOEF = Ministry of Environment and Forests, India.

^aIFC-WB (International Finance Corporation-World Bank) Environmental, Health and Safety (EHS) Guidelines THERMAL POWER PLANTS (December 19, 2008) [3].

^bDry Gas Excess O₂ Content for gaseous and liquid fuels is 3% and for solid fuels is 6%.

^cCEA (Central Electricity Authority, India) Standard Technical Specification Main Plant Package of Sub-critical Thermal Power Project ≥500 MW (September 2008).

^dCEA Standard Technical Features of BTG System for Supercritical 660/800 MW Thermal Units (July 2013).

Πίνακας 5 : Οδηγίες εκπομπών για NO_x (mg / Nm³) (33)

FUEL	IFC-WB ^{a,b} /Plant capacity, MWth		United States	EU ^a /Plant capacity, MWth	CHINA ^a	INDIA/ Plant capacity, MW
	NDA	DA				
Natural Gas	240	240				
Other Gaseous Fuels	240	240				
Liquid Fuels	400/ >50 to <600	200/ > 50 to <600				
Liquid Fuels	400/ ≥600	200/ ≥ 600				
Solid Fuels	510 or up to 1100	200/ > 50	450 gm/MWH	150/50 to 300		
Solid Fuels	If volatile matter of fuel < 10%/ > 50			200/ >300		

Notes: NDA = Non-Degraded Airshed, DA = Degraded Airshed (poor air quality), NA = Not Applicable, MOEF = Ministry of Environment and Forests, India.

^aIFC-WB (International Finance Corporation-World Bank) Environmental, Health and Safety (EHS) Guidelines THERMAL POWER PLANTS (December 19, 2008) [3].

^bDry Gas Excess O₂ Content for gaseous and liquid fuels is 3% and for solid fuels is 6%.

Στον Πίνακα 4 και στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι κατευθυντήριες γραμμές για τις εκπομπές λέβητα ατμού με καύσιμο ορυκτών καυσίμων, όπως καθορίζονται από την IFC WB (International Finance Corporation-World Bank) και άλλες χώρες.

Εκτός από τα όρια εκπομπών που συζητήθηκαν παραπάνω, τα όρια εκπομπών ατμοσφαιρικού αέρα σε διάφορες χώρες είναι πιο αυστηρά για τη διαφύλαξη της υγείας των ανθρώπων, των ζώων, των φυτών κ.λπ., όπως φαίνεται από τον Πίνακα 6 που αντικατοπτρίζει τα όρια εκπομπών στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Πίνακα 7 που παρουσιάζει το Εθνικό πρότυπο ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα των ορίων εκπομπών στην Ινδία.

Πίνακας 6 : Πράξη καθαρού αέρα των Ηνωμένων Πολιτειών, 1990 (33)

Pollutant	Primary standards		Secondary standards	
	Level	Averaging time	Level	Averaging time
Carbon Monoxide	9 ppm (10 mg/m ³)	8-hour ⁽¹⁾	None	
	35 ppm (40 mg/m ³)	1-hour ⁽¹⁾		
Lead	0.15 µg/m ³ ⁽²⁾	Rolling	Same as Primary	
		3-Month Average		
	1.5 µg/m ³	Quarterly Average	Same as Primary	
Nitrogen Dioxide	0.053 ppm (100 µg/m ³)	Annual (Arithmetic Mean)	Same as Primary	
Particulate Matter (PM ₁₀)	150 µg/m ³	24-hour ⁽³⁾	Same as Primary	
Particulate Matter (PM _{2.5})	15.0 µg/m ³	Annual ⁽⁴⁾ (Arithmetic Mean)	Same as Primary	
	35 µg/m ³	24-hour ⁽⁵⁾	Same as Primary	
Ozone	0.075 ppm (2008 std)	8-hour ⁽⁶⁾	Same as Primary	
	0.08 ppm (1997 std)	8-hour ⁽⁷⁾	Same as Primary	
	0.12 ppm	1-hour ⁽⁸⁾	Same as Primary	
Sulfur Dioxide	0.03 ppm	Annual (Arithmetic Mean)	0.5 ppm (1300 µg/m ³)	3-hour ⁽¹⁾
	0.14 ppm	24-hour ⁽¹⁾		

⁽¹⁾Not to be exceeded more than once per year.

⁽²⁾Final rule signed October 15, 2008.

⁽³⁾Not to be exceeded more than once per year on average over 3 years.

⁽⁴⁾To attain this standard, the 3-year average of the weighted annual mean PM_{2.5} concentrations from single or multiple community-oriented monitors must not exceed 15.0 µg/m³.

⁽⁵⁾To attain this standard, the 3-year average of the 98th percentile of 24-hour concentrations at each population-oriented monitor within an area must not exceed 35 µg/m³ (effective December 17, 2006).

⁽⁶⁾To attain this standard, the 3-year average of the fourth-highest daily maximum 8-hour average ozone concentrations measured at each monitor within an area over each year must not exceed 0.075 ppm. (effective May 27, 2008)

⁽⁷⁾(a) To attain this standard, the 3-year average of the fourth-highest daily maximum 8-hour average ozone concentrations measured at each monitor within an area over each year must not exceed 0.08 ppm.

(b) The 1997 standard—and the implementation rules for that standard — will remain in place for implementation purposes as EPA undertakes rulemaking to address the transition from the 1997 ozone standard to the 2008 ozone standard.

⁽⁸⁾(a) The standard is attained when the expected number of days per calendar year with maximum hourly average concentrations above 0.12 ppm is <1.

(b) As of June 15, 2005 EPA has revoked the 1-hour ozone standard in all areas except the fourteen 8-hour ozone non-attainment Early Action Compact (EAC) Areas. For one of the 14 EAC areas (Denver, CO), the 1-hour standard was revoked on November 20, 2008. For the other 13 EAC areas, the 1-hour standard was revoked on April 15, 2009.

Πίνακας 7 : Κεντρική γνωστοποίηση του πίνακα ελέγχου της ρύπανσης 2009, ΙΝΔΙΑ (33)

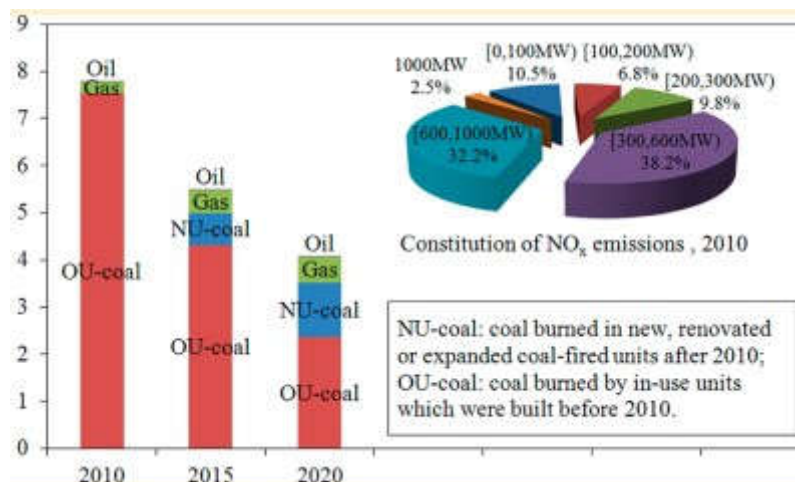
Pollutants	Time weighted	Concentration In ambient air, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Industrial, residential, rural, and other areas	Ecologically sensitive areas (notified by Central Government)
Sulfur Dioxide SO_2	Annual average*	50	20
	24 hours**	80	80
Nitrogen Dioxide NO_2	Annual average*	40	30
	24 hours**	80	80
Particulate Matter (size less than $10\ \mu\text{m}$) or PM_{10}	Annual average*	60	60
	24 hours**	100	100
Particulate Matter (size less than $2.5\ \mu\text{m}$) or $\text{PM}_{2.5}$	Annual average*	40	40
	24 hours**	60	60
Ozone, O_3	8 hours**	100	100
	1 hour	180	180
Lead	Annual average*	0.5	0.5
	24 hours**	1.0	1.0
Carbon Monoxide CO , mg/m^3	8 hours**	2.0	2.0
	1 hour	4.0	4.0
Ammonia NH_3	Annual average*	100	100
	24 hours**	400	400

*Annual Arithmetic Mean of minimum 104 measurements in a year taken twice a week 24 hourly at uniform interval.

**24 hourly or 8 hourly or 1 hourly monitored values, as applicable, shall be complied with 98% of the time in a year. 2% of the time, they may exceed the limits but not on two consecutive days of monitoring.

Κίνα :

Οι αυξανόμενες εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) στην ηπειρωτική Κίνα έχουν προκαλέσει μεγάλη ανησυχία λόγω των δυσμενών επιπτώσεών τους στην περιφερειακή ποιότητα του αέρα και τη δημόσια υγεία.



Εικόνα 37 : Τάσεις των εκπομπών NO_x από θερμικούς σταθμούς στην Κίνα (34)

Πίνακας 8 : Επαρχιακές εκπομπές NO_x για κινεζικούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, 2010 (34)

province	NO _x emissions (kt)			
	coal	oil	gas	total
North				
Beijing	12.15	0.42	4.00	16.58
Tianjin	123.29	0.54	2.88	126.71
Hebei	464.66	0.20	44.29	509.15
Shanxi	589.00	0.00	9.44	598.44
Inner Mongolia	627.23	0.02	7.47	634.73
Northeast				
Liaoning	326.81	0.39	13.99	341.19
Jilin	156.97	0.08	1.60	158.65
Heilongjiang	202.24	0.33	1.07	203.64
East				
Shanghai	129.16	1.85	17.44	148.45
Jiangsu	628.27	0.15	20.49	648.90
Zhejiang	333.73	2.04	4.54	340.31
Anhui	318.51	0.05	11.40	329.96
Fujian	127.44	2.00	3.58	133.02
Jiangxi	124.03	0.04	6.57	130.64
Shandong	668.96	1.70	29.78	700.45
Central South				
Henan	515.64	1.73	10.92	528.29
Hubei	160.42	0.11	18.14	178.67
Hunan	164.19	0.29	7.05	171.52
Guangdong	397.82	4.76	4.85	407.43
Guangxi	99.90	0.02	6.82	106.74
Hainan	18.41	0.02	1.05	19.48
Southwest				
Chongqing	74.93	0.05	1.18	76.16
Sichuan	146.66	0.07	1.65	148.37
Guizhou	349.64	0.10	1.56	351.31
Yunnan	141.63	0.03	7.33	148.98
Xizang				
Northwest				
Shaanxi	217.28	0.03	2.91	220.22
Gansu	135.94	0.03	0.73	136.69
Qinghai	27.43	0.01	0.34	27.79
Ningxia	130.73	0.01	0.04	130.78
Xinjiang	125.81	0.58	2.00	128.39
total	7538.90	17.70	245.10	7801.60

Οι εκπομπές ατμοσφαιρικών NO_x από κινεζικούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς υπολογίζονται σε περίπου 7801,6 kt, όπως διαπιστώνεται και στο Πίνακα 8. Οι μονάδες με καύση άνθρακα συνεισφέρουν πάνω από το 96% των συνολικών εκπομπών λόγω του ενεργειακού μίγματος που κυριαρχείται από λέβητες κοινής ωφέλειας που χρησιμοποιούν άνθρακα.

Πίνακας 9 : Σύγκριση εθνικού μέσου όρου έντασης NO_x θερμοηλεκτρικών σταθμών (g / kWh) (34)

	China				United States		England	Germany	Japan
	2000	2010	2015	2020	1999	2010	1999	1999	1999
NO _x -intensity	4.23 ^a	2.28 ^b	1.72 ^c	1.25 ^e	2.20 ^a	1.09 ^d	1.90 ^a	0.90 ^a	0.29 ^a

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 9, η μέση κινεζική ένταση των NO_x για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά έχει μειωθεί κατά 46,1% από το 2000 έως το 2010, κυρίως λόγω της αυξανόμενης ενεργειακής απόδοσης της νέας ή μετασκευασμένης μεγάλης κλίμακας παραγωγής ενέργειας με άνθρακα, κλείνοντας σε μεγάλο βαθμό ρυπογόνες και μικρού μεγέθους μονάδες, και η ευρεία εφαρμογή της τεχνολογίας LNBs σε μονάδες μεγάλης κλίμακας. Επιπλέον, η ένταση των NO_x αναμένεται να μειωθεί περαιτέρω στα 1,72 και 1,25 g / kWh έως τα έτη 2015 και 2020, αντίστοιχα. Ωστόσο, σε σύγκριση με τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Αγγλία, τη Γερμανία και την Ιαπωνία όπου έχουν εγκατασταθεί ευρέως προηγμένα LNBs και SCR ή SNCR για τη μείωση των εκπομπών των NO_x, η παρούσα ένταση NO_x της παραγωγής θερμικής ενέργειας στην Κίνα εξακολουθεί να είναι πολύ υψηλότερη για το 2010.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι προηγμένες τεχνολογίες ελέγχου NO_x, ειδικά η SCR, τέθηκαν σε λειτουργία στο πλαίσιο της Πρόσκλησης του US EPA NO_x State Implementation Plan και του Ομοσπονδιακού Προγράμματος Εμπορίου Προϋπολογισμού NO_x. Το συνολικό αποτέλεσμα της ευρείας εφαρμογής του SCR είναι η σημαντική μείωση των εκπομπών NO_x. Μέχρι το τέλος του 2010, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής που είναι εξοπλισμένα με SCR ή SNCR στην Κίνα έχει αυξηθεί σε περίπου 72,9 GW, αλλά αντιπροσωπεύει μόνο περίπου το 10% της συνολικής χωρητικότητας των θερμοηλεκτρικών σταθμών. Επομένως, η πιο αποτελεσματική τεχνολογία για τη μείωση των εκπομπών NO_x από σταθμούς παραγωγής ενέργειας με καύση ορυκτών στην Κίνα κατά τη διάρκεια του «12ου πενταετούς σχεδίου» θα είναι η SCR ή η SNCR.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μείωση των παραγόμενων οξειδίων του αζώτου κατά την διαδικασία της βιομηχανικής καύσης είναι επιτακτική ανάγκη. Πολλές και διαφορετικές τεχνικές-μέθοδοι αντιρρυπαντικής τεχνολογίας έχουν αναπτυχθεί για αυτό το σκοπό. Αν και υπάρχει πληθώρα τέτοιων συστημάτων φαίνεται ότι δεν υπάρχει τεχνολογία ελέγχου που είναι σαφώς ανώτερη για όλα τα συστήματα καύσης. Αφού δεν υπάρχει κάποια τεχνολογία που ξεχωρίζει σημαντικά, πρέπει να γίνεται σωστή επιλογή των καυσίμων και της τεχνολογίας ελέγχου είτε μεταξύ αυτών που υπάρχουν ήδη στην αγορά, είτε από έναν αυξανόμενο αριθμό νέων και πολλά υποσχόμενων ιδεών. Επίσης, ο συνδυασμός της αποτελεσματικότητας του συστήματος ελέγχου με το συνολικό κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας είναι σημαντικό στοιχείο για την βιωσιμότητα της επιχείρησης. Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας είναι και ο κατάλληλος συνδυασμός των συστημάτων αντιρρύπανσης και η ταυτόχρονη χρήση τους μιας και αυτός είναι και ο ιδανικότερος τρόπος ώστε να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή μείωση των ρύπων (NO_x). Καθώς ο κόσμος σήμερα στρέφεται ολοένα και περισσότερο προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), η χρήση των συμβατικών μεθόδων παραγωγής ενέργειας (θερμικής-ηλεκτρικής) μέσω καύσης θα συνεχίσει να υφίσταται για τα επόμενα χρόνια σε ορισμένες χώρες αφού για διάφορους λόγους οι ΑΠΕ πολλές φορές δεν μπορούν να καλύψουν τη συνολική ζήτηση ενέργειας. Έτσι, η έρευνα και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και μεθόδων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας θα πρέπει να συνεχίσουν να αναζητούν πιο αποτελεσματικές απαντήσεις και να προσπαθούν να τις εξισορροπήσουν έναντι κόστους και αποτελεσματικότητας. Ο πλανήτης αποτελεί το μεγάλο σπίτι μας, ένα πολύπλοκο οικοσύστημα το οποίο είναι ανάγκη να σεβαστούμε. Η προστασία του περιβάλλοντος θα πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα μας. Άλλωστε, κάθε άνθρωπος έχει ένα θεμελιώδες δικαίωμα για ένα περιβάλλον ποιότητας που επιτρέπει μια ζωή αξιοπρέπειας και υγείας. Με αυτό ως σκεπτικό θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο κόσμος μας και όλο το οικοσύστημα που υπάρχει σε αυτόν είναι ένα δάνειο που έχουμε ως προς τις νέες γενιές και αποτελεί υποχρέωση όλων να το σεβαστούμε.

Βιβλιογραφία

1. **Γεντεκάκης, Ιωάννης.** *Ατμοσφαιρική ρύπανση (επιπτώσεις, έλεγχος & εναλλακτικές τεχνολογίες)*. σ.λ. : Κλειδάριθμος, 2010. σ. 784.
2. **Doyle, Brian.** Oxygen Based NOx Control. 2009.
3. **YOGOGAWA.** [Ηλεκτρονικό]
<https://www.yokogawa.com/us/library/resources/application-notes/ys1700-boiler-combustion-control/>.
4. **Strobel, Reto, Waldner, Maurice και Gablinger, Helen.** Highly efficient combustion with low excess air in a modern energyfrom-waste (EfW) plant. *Waste Management*. March 2018.
5. **RENERGIA.** [Ηλεκτρονικό]
https://www.renergia.ch/__/frontend/handler/document/42/173/ANLAGENFACTSHEET%202017-09-29%20100%20ENGLISH.pdf.
6. **IEA CLEAN COAL CENTRE.** IEA CLEAN COAL CENTRE. [Ηλεκτρονικό] 20 January 2018.
<https://www.iea-coal.org/fuel-staging-burner-out-of-service-boos-fuel-biasing-reburning-or-three-stage-combustion/>.
7. **Feng, Ren, και συν.** Influence of the Overfire Air Ratio on the NOx Emission and Combustion Characteristics of a down-Fired 300-MWe Utility Boiler. *Environmental Science & Technology*. 1 August 2010, Τόμ. 44, 16, σσ. 6510–6516.
8. **BABCOCK & WILCOX.** BABCOCK & WILCOX. [Ηλεκτρονικό] https://www.babcock.com/-/media/documents/products/combustion/e101-3180_ofa-for-corner-fired-boilers.ashx.
9. **Zhangfa, Wu.** *NOx control for pulverised coal fired power stations*. IEA Clean Coal Centre. London : CCC, 2002. σ. 64.
10. **Byeonghun, Yu, Seungro, Lee και Chang-Eon, Lee.** Study of NOx emission characteristics in CH4/air non-premixed flames with exhaust gas recirculation. *Energy*. 2015.
11. **Wood, Stephen C.** Select the Right NOx Control Technology. *Chemical engineering progress*. January 1994, σσ. 32-38.
12. **Entropy Technology & Environmental Consultants, Inc. (ETEC).** *Cost-Effective NOx Control for Combustion Systems with Air Preheat*.
13. **Weidong, Fan, και συν.** Effects of reburning fuel characteristics on NOx emission during pulverized coal combustion and comparison with air-staged combustion. *Fuel*. 1 April 2020.
14. **Tuttle, Jacob F, και συν.** Sustainable NOx emission reduction at a coal-fired power station through the use of online neural network modeling and particle swarm optimization. *Control Engineering Practice*. December 2019.

15. **Hui, Gu, και συν.** Optimized scheme in coal-fired boiler combustion based on information entropy and modified K-prototypes algorithm. *Results in Physics*. June 2018.
16. **Peng, Tan, και συν.** Modeling and optimization of NO_x emission in a coal-fired power plant using advanced machine learning methods. *Energy Procedia*. 2014.
17. **Geem, Z W, Kim, J H και Loganathan, G V.** A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *Simulation*. 1 February 2001, Τόμ. 76, 2, σσ. 60-68.
18. **Weidong, Fan, και συν.** Coal-nitrogen release and NO_x evolution in the oxidant-staged combustion of coal. *Energy*. 15 April 2017.
19. **S.S., Daood, και συν.** Deep-staged, oxygen enriched combustion of coal. *Fuel*. November 2012.
20. **Western Research Institute.** REDUCTION OF NO_x EMISSION FROM COAL COMBUSTION THROUGH OXYGEN ENRICHMENT. Laramie, Wyoming : Western Research Institute , 2006.
21. **Ruinian, Li και Xin, Liu.** Main fundamental gas reactions in denitrification and desulfurization from flue gas by non-thermal plasmas. *Chemical Engineering Science*. July 2000.
22. **Nehra, V, Kumar, A και Dwivedi, HK.** Atmospheric non-thermal plasma sources. *International Journal of Engineering*. 1 February 2008.
23. **EPA.** EPA. [Ηλεκτρονικό]
https://www3.epa.gov/ttn/ecas/docs/SCRCostManualchapter7thEdition_2016.pdf.
24. **Mitsubishi Hitachi Power Systems.** Mitsubishi Hitachi Power Systems. [Ηλεκτρονικό]
<https://www.mhps.com/products/aqcs/lineup/flue-gas-denitration/>.
25. **Peng, Yue.** APPLICATION OF NANOTECHNOLOGY IN POLLUTION CONTROL OF NO_x FROM STATIONARY SOURCES. *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*. s.l. : Elsevier, 2019.
26. **Stephenson, Nancy D.** Selective catalytic reduction for reduced NO_x emissions. *Heat Recovery Steam Generator Technology*. s.l. : Vernon L. Eriksen, 2017.
27. **Rosenberg, H.S και Oxley, J. H.** Selective Catalytic Reduction for NO_x Control at Coal-fired Power Plants.
28. **Srivastava, Ravi K, και συν.** Nitrogen Oxides Emission Control Options for Coal-Fired Electric Utility Boilers. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2 March 2012, σσ. 1367-1388.
29. **Bell, Ron D και Buckingham, Fred P.** AN OVERVIEW OF TECHNOLOGIES FOR REDUCTION OF OXIDES OF NITROGEN FROM COMBUSTION FURNACES. 2003.
30. **Yasuda, Masahiro, και συν.** High-Efficiency NO_x Absorption in Water Using Equipment Packed with a Glass Fiber Filter. *Environmental Science & Technology*. 1 March 2011.

31. **EPA (United States Environmental Protection Agency).** *Air Quality Guide for Nitrogen Dioxide*. s.l. : Office of Air and Radiation.
32. **EEA-(European Environment Agency).** Nitrogen oxides (NO_x) emissions. [Ηλεκτρονικό] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-nitrogen-oxides-nox-emissions-1/assessment.2010-08-19.0140149032-3>.
33. **Sarkar, Dipak K.** CHAPTER 14 : Air Pollution Control. *Thermal Power Plant*. s.l. : Elsevier, 2015.
34. **Tian, Hezhong, και συν.** Nitrogen Oxides Emissions from Thermal Power Plants in China: Current Status and Future Predictions. *Environmental Science & Technology*. 2013.
35. **Neuffer, Bill.** *NO_x CONTROLS FOR EXISTING UTILITY BOILERS*.
36. **Καραθανάσης, Σταύρος Στ.** *Ατμοσφαιρική ρύπανση (Ορισμός, Επιπτώσεις, Πηγές από Βιομηχανικές και Βιοτεχνικές Δραστηριότητες, Τεχνολογία Αντιμετώπισης, Νομοθεσία)*. Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, 2006.
37. **Wikipedia.** Wikipedia. [Ηλεκτρονικό] https://en.wikipedia.org/wiki/Corona_discharge#Mechanism.
38. **Seshadri, Prasanna.** Systems to control Nitrogen Oxides (NO_x) in Coal Fired Power Plants.
39. **WORLD BANK GROUP.** Nitrogen Oxides: Pollution Prevention and Control.
40. **EPA.** *Selective Catalytic Reduction*.
41. —. *Selective Noncatalytic Reduction*.
42. **11th International Conference on Electrostatic.** *Electrostatic Precipitation*.
43. **IEA Clean Coal Centre.** NO_x control for high-ash coal-fired power plants in India.
44. **U.S. Department of Energy.** Energy Tips – Process Heating.
45. **Western Research Institute.** REDUCTION OF NO_x EMISSION FROM COAL COMBUSTION THROUGH OXYGEN ENRICHMENT. [Ηλεκτρονικό] <https://www.osti.gov/biblio/889826>.
46. **National Energy Technology Laboratory.** NITROGEN OXIDES (NO_x) EMISSIONS. [Ηλεκτρονικό] <https://www.netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/nitrogen-oxides>.
47. **GE Power.** WATER INJECTION FOR NO_x REDUCTION. [Ηλεκτρονικό] <https://www.ge.com/power/services/gas-turbines/upgrades/water-injection-for-nox-reduction>.
48. **IEA CLEAN COAL CENTRE.** CLEAN COAL TECHNOLOGIES FUEL STAGING (BURNER OUT OF SERVICE (BOOS), FUEL BIASING, REBURNING, OR THREE-STAGE COMBUSTION).

- [Ηλεκτρονικό] <https://www.iea-coal.org/fuel-staging-burner-out-of-service-boos-fuel-biasing-reburning-or-three-stage-combustion/>.
49. **Wikipedia.** Wikipedia. [Ηλεκτρονικό]
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BC%CE%AF%CE%BD%CE%B5%CF%82#%CE%A7%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82_%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%B4%CF%81%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82.
50. Researchgate. [Ηλεκτρονικό] https://www.researchgate.net/figure/Off-stoichiometric-combustion-can-be-achieved-by-air-staging-or-fuel-staging-Courtesy-of_fig1_236513097.
51. **Wikipedia.** Wikipedia. [Ηλεκτρονικό] https://en.wikipedia.org/wiki/Rise_time.
52. —. Wikipedia. [Ηλεκτρονικό]
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%B1_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%B1%CE%B6%CF%8E%CF%84%CE%BF%CF%85_\(NOx\)](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%B1_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%B1%CE%B6%CF%8E%CF%84%CE%BF%CF%85_(NOx)).
53. —. Wikipedia. [Ηλεκτρονικό] https://en.wikipedia.org/wiki/Packed_bed.
54. —. Wikipedia. [Ηλεκτρονικό]
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%85%CF%81%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF.
55. **ENTROPY TECHNOLOGY AND ENVIRONMENTAL CONSULTANTS.** ENTROPY TECHNOLOGY AND ENVIRONMENTAL CONSULTANTS. [Ηλεκτρονικό]
https://www.etcinc.net/downloads/theory_cost_effective_NOx.pdf.
56. —. ENTROPY TECHNOLOGY AND ENVIRONMENTAL CONSULTANTS. [Ηλεκτρονικό]
<https://www.etcinc.net/downloads/NOx%20Control%20on%20a%20Budget-Power%20July%202003.pdf>.
57. —. ENTROPY TECHNOLOGY AND ENVIRONMENTAL CONSULTANTS. [Ηλεκτρονικό]
<https://www.etcinc.net/About-ETEC/#.XtulDkUzYdW>.
58. **CECO.** CECO CCA. [Ηλεκτρονικό] <https://www.cecoenviro.com/overfire-air-ofa-cca-combustion-systems>.
59. **Cooper, David και Alley, F.C.** Έέγχος αέριας ρύπανσης (Σχεδιασμός Αντιρυπαντικής Τεχνολογίας). [επιμ.] Μαρία Γούλα. [μεταφρ.] Γρηγόρης Καλαμπούκας και Ηρακλής Λάτσιος. 3. Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, 2004. σ. 797.
60. **Glynn, Henry και Heinke, Gary.** *Environmental science and engineering*. 2. s.l. : Prentice Hall, 1996. σ. 778 .
61. **Κούγκολος, Αθανάσιος.** *Περιβαλλοντική Μηχανική (Ρύπανση και προστασία του περιβάλλοντος)*. s.l. : Τζιόλας, 2018. σ. 458.
62. *Air pollution (Engineering Control of Air Pollution)*. s.l. : Arthur C. Stern, Academic Press.

63. **U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory.** *Evaluation of Gas Reburning and Low-NOx Burners on a Wall-Fired Boiler A DOE Assessment.* 2001.
64. **Flamme, Michael.** Low NOx combustion technologies for high temperature applications. *Energy Conversion and Management.* 11 October 2001, Τόμ. 42, 15-17, σσ. 1919-1935.
65. **Stanmore, B.R. και Visona, S.P.** Prediction of NO emissions from a number of coal-fired power station boilers. *Fuel Processing Technology.* May 2000, Τόμ. 64, 1-3, σσ. 25-46.
66. **Miller, Falcone και Miller, B.G.** Advanced flue gas cleaning systems for sulfur oxides (SOx), nitrogen oxides (NOx) and mercury emissions control in power plants. *Advanced Power Plant Materials, Design and Technology.* s.l. : Elsevier, 2010, σσ. 187-216.
67. **Carlos E. Romero, Xingchao Wang.** Key technologies for ultra-low emissions from coal-fired power plants. *Advances in Ultra-Low Emission Control Technologies for Coal-Fired Power Plants.* s.l. : Elsevier, 2019, σσ. 39-79.
68. **ELZeini, Hesham Y.** Q-Chem Steam Boilers NOx Emissions Reduction. *Proceedings of the 2nd Annual Gas Processing Symposium.* Qatar : Elsevier, 2010, σσ. 41-49. *Advances in Gas Processing.*
69. **Kiang, Yen-Hsiung.** Combustion process characterization for fuels, biomass, wastes, biosludge, and biocarbons. *Fuel Property Estimation and Combustion Process Characterization.* s.l. : Elsevier, Academic Press, 2018, σσ. 235-264.
70. **Garg, Ashutosh.** Specify Better Low NOx Burners For Furnaces. *Chemical Engineering Progress.* 1 1 1994.
71. **Fatemeh Gholami, Martin Tomas, Zahra Gholami, Mohammadtaghi Vakili.** Technologies for the nitrogen oxides reduction from flue gas: A review. *Science of The Total Environment.* 20 April 2020, Τόμ. 714.
72. **Hongfang Chen, Tomoaki Namioka, Kunio Yoshikawa.** Characteristics of tar, NOx precursors and their absorption performance with different scrubbing solvents during the pyrolysis of sewage sludge. *Applied Energy.* December 2011, Τόμ. 88, 12, σσ. 5032-5041.
73. **Giuseppe Liuzzo, Nicola Verdone, Marco Bravi.** The benefits of flue gas recirculation in waste incineration. *Waste Management.* 2007, Τόμ. 27, 1, σσ. 106-116.
74. **Baolu Shi, Jie Hu, Hongwei Peng, Satoru Ishizuka.** Effects of internal flue gas recirculation rate on the NOx emission in a methane/air premixed flame. *Combustion and Flame.* February 2018, Τόμ. 188, σσ. 199-211.
75. **N.M. Prosser, M.M. Shah.** Current and future oxygen (O₂) supply technologies for oxy-fuel combustion. *Oxy-Fuel Combustion for Power Generation and Carbon Dioxide (CO₂) Capture.* s.l. : Elsevier, Ligang Zheng, 2011.
76. **S.S. Daood, W. Nimmo, P. Edge, B.M. Gibbs.** Deep-staged, oxygen enriched combustion of coal. *Fuel.* November 2012, Τόμ. 101, σσ. 187-196.

77. **Siming Ma, Yongchun Zhao, Jianping Yang, Shibo Zhang, Junying Zhang, Chuguang Zheng.** Research progress of pollutants removal from coal-fired flue gas using non-thermal plasma. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. January 2017, Τόμ. 67, σσ. 791-810.
78. **Tao Wang, Baomin Sun.** Effect of temperature and relative humidity on NO_x removal by dielectric barrier discharge with acetylene. *Fuel Processing Technology*. April 2016, Τόμ. 144, σσ. 109-114.
79. **Kai Chen, Jianwen Zhang, Defu Che.** Effect of separated over-fire air on combustion performance of a 3 MW pilot-scale facility. *Applied Thermal Engineering*. 5 September 2016, Τόμ. 108, σσ. 30-40.
80. **Chunlin Wang, Yang Liu, Song Zheng, Aipeng Jiang.** Optimizing combustion of coal fired boilers for reducing NO_x emission using Gaussian Process. *Energy*. 15 June 2018, Τόμ. 153, σσ. 149-158.
81. **Li-Gang Zheng, Hao Zhou, Ke-Fa Cen, Chun-Lin Wang.** A comparative study of optimization algorithms for low NO_x combustion modification at a coal-fired utility boiler. *Expert Systems with Applications*. March 2009, Τόμ. 36, 2, σσ. 2780-2793.
82. **Seyed Mostafa Safdarnejad, Jake F. Tuttle, Kody M. Powell.** Dynamic modeling and optimization of a coal-fired utility boiler to forecast and minimize NO_x and CO emissions simultaneously. *Computers & Chemical Engineering*. 8 May 2019, Τόμ. 124, σσ. 62-79.
83. **Wenhao Songa, Ziqu Ouyanga, Minghao Wangd, Shiyuan Lia, Jingzhang Liua, Qiang Yud, Wen Liua, Shujun Zhua.** The combustion and NO_x emission characteristics of the ultra-low volatile fuel using the novel pulverized coal self-sustained preheating combustion technology. *Fuel*. 1 July 2020, Τόμ. 271.
84. **Lacour, Corine και Taupin, Benoit.** On the Effect of Air Temperature on Mild Flameless Combustion Regime of High Temperature Furnace. 1 1 2009.
85. **L. D. Smoot, S. C. Hill, H. Xu.** NO_x CONTROL THROUGH REBURNING. *Progress in Energy and Combustion Science*. October 1998, Τόμ. 24, 5, σσ. 385-408.
86. **Jan Bergström, Miljökonserterna.** *NO_x Reduction using Reburning with Natural Gas*. 1993.
87. **Tillman, David A.** Conventional Power Plant Technology Advances at the End of the 20th Century (1970-2000). *Coal-Fired Electricity and Emissions Control: Efficiency and Effectiveness*. s.l. : Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2018, 6, σσ. 133-167.
88. **WATER/STEAM INJECTION FOR NO_x REDUCTION IN PROCESS BURNERS. Steve Londerville, Kevin Anderson, Charles Baukal, Wes Bussman.** Pittsburgh : ASME, 2019. ASME 2018 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Τόμ. 8A, σ. 6.

Παράρτημα Α

Καταλύτες SCR

Σε αυτό το παράρτημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα έρευνας σε διάφορα είδη επιλεκτικών καταλυτών καταλυτικής αναγωγής. (25)

Catalysts	Preparation Methods (Calcination Temperature)	Reaction Conditions	Highest NO _x Conversion (Temperature Range)
V-based catalyst			
V ₂ O ₅ /TiO ₂	Sol-gel (500°C)	NH ₃ = NO = 0.5%, 5%O ₂ , 13,500 h ⁻¹	≥90% (450–500°C)
V ₂ O ₅ -SO ₄ ²⁻ /TiO ₂	Sol-gel (500°C)	NH ₃ = NO = 0.5%, 5%O ₂ , 13,500 h ⁻¹	100% (370–500°C)
V ₂ O ₅ -WO ₃ /TiO ₂	Impregnation (500°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 3%O ₂ , 70,000 h ⁻¹	100% (300–450°C)
V ₂ O ₅ -MO ₃ /TiO ₂	Impregnation (550°C)	NH ₃ = NO = 0.08%, 0.9%O ₂	100% (280–400°C)
V ₂ O ₅ -CeO ₂ -WO ₃ /TiO ₂	Impregnation (500°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 3%O ₂ , 28,000 h ⁻¹	100% (250–450°C)
Ce-based catalyst			
CeO ₂ /TiO ₂	Co-precipitation (500°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 5.3%O ₂ , 25,000 h ⁻¹	100% (170–350°C)
CeO ₂ -WO ₃	Homogeneous precipitation (500°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 5%O ₂ , 250,000 h ⁻¹	≥97% (225–450°C)
CeO ₂ -MO ₃	Impregnation (500°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 5%O ₂ , 120,000 h ⁻¹	≥90% (300–350°C)
CeO ₂ -WO ₃ /TiO ₂	Homogeneous precipitation (500°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 5%O ₂ , 100,000 h ⁻¹	100% (225–450°C)
CeO ₂ -MO ₃ /TiO ₂	Impregnation (500°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 5%O ₂ , 128,000 h ⁻¹	≥90% (270–400°C)
Mn-based catalyst			
MnO _x	Precipitation (350°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 5%O ₂ , 50,000 h ⁻¹	100% (100–150°C)
MnO _x /AC/C	Impregnation (400°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 3%O ₂ , 10,610 h ⁻¹	95% (250°C)
MnO _x -CeO ₂	Co-precipitation (650°C)	NH ₃ = NO = 0.1%, 2%O ₂ , 42,000 h ⁻¹	100% (120–150°C)
MnO _x -CuO	Co-precipitation (350°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 5%O ₂ , 30,000 h ⁻¹	100% (50–200°C)
MnO _x -WO ₃	Co-precipitation (600°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 5%O ₂ , 50,000 h ⁻¹	100% (70–200°C)
MnO _x /TiO ₂	Impregnation (400°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 5%O ₂ , 50,000 h ⁻¹	100% (150–200°C)

Catalysts	Preparation Methods (Calcination Temperature)	Reaction Conditions	Highest NO _x Conversion (Temperature Range)
Fe-based catalyst			
FeO _x -MnO _x	Co-precipitation (500°C)	NH ₃ = NO = 0.1%, 2%O ₂ , 15,000 h ⁻¹	100% (120–180°C)
Fe ₂ (SO ₄) ₃ /TiO ₂	Impregnation (500°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 5%O ₂ , 80,000 h ⁻¹	≥90% (350–450°C)
FeO _x -WO ₃	Co-precipitation (500°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 3%O ₂ , 60,000 h ⁻¹	100% (250–400°C)
FeO _x /TiO ₂	Co-precipitation (400°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 5%O ₂ , 50,000 h ⁻¹	≥95% (250–350°C)
Zeolite catalyst			
Cu-SSZ	Commercial	NH ₃ = NO = 0.035%, CO ₂ = H ₂ O = 5%, 14%O ₂ , 30,000 h ⁻¹	≥90% (200–400°C)
Cu-SAPO	Commercial	NH ₃ = NO = 0.035%, CO ₂ = H ₂ O = 5%, 14%O ₂ , 30,000 h ⁻¹	≥80% (200–350°C)
Fe-ZSM-5	Ion exchange (600°C)	NH ₃ = NO = 0.035%, 2% H ₂ O, 5%O ₂ , 30,000 h ⁻¹	≥80% (350–450°C)
Fe-HBEA	Ion exchange (550°C)	NH ₃ = NO = 0.05%, 3%O ₂ , 160,000 h ⁻¹	≥90% (300–550°C)

Παράρτημα Β

Έλεγχοι NO_x - απόδοση και αποτελεσματικότητα

Σε αυτό το παράρτημα παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένες τεχνικές αντιρρυπαντικής λειτουργίας, η απόδοση και η αποτελεσματικότητά τους. (35)

Boiler Type	NOX Control Levels (lb/MMbtu)	NOX Control Control Eff.	% Nox Effect.	Cost (\$/ton)
PC-Wall	OFA	0.70 - 0.80	15 - 30	410 - 1100
PC-Wall	LNB	0.45 - 0.60	35 - 55	160 - 450
PC-Wall	LNB+OFA	0.35 - 0.55	40 - 60	270 - 800
PC-Tang	LNB-CCOFA	0.40 - 0.45	25 - 50	500 - 1300
PC-Tang	LNB+SOFA	0.30 - 0.45	25 - 50	420 - 1600
PC-Wall	SNCR	0.50 - 0.65	30 - 50	590 - 1100
PC-Wall	SCR	0.15 - 0.25	75 - 85	1700 - 3200
PC-Tang	SNCR	0.30 - 0.40	30 - 50	630 - 1300
PC-Tang	SCR	0.10 - 0.15	75 - 85	2600 - 5000
Cyclone	NGR	0.50 - 0.70	45 - 65	500 - 800
O/G Wall	BOOS	0.30 - 0.35	15 - 50	230 - 510
O/G Wall	FGR	0.25 - 0.35	30 - 50	320 - 1000
O/G Wall	LNB	0.25 - 0.30	25 - 50	750 - 1700
O/G Wall	LNB+OFA+FGR	0.10 - 0.20	30 - 80	900 - 2600
O/G Tang	BOOS	0.20 - 0.25	15 - 35	340 - 740
O/G Tang	LNB	0.15 - 0.25	15 - 50	1000 - 5100
O/G Wall	SNCR	0.25 - 0.30	35 - 50	670 - 1100
O/G Wall	SCR	0.10 - 0.15	70 - 80	2600 - 4900
O/G Tang	SNCR	0.15 - 0.20	35 - 50	800 - 2200
O/G Tang	SCR	0.05 - 0.10	65 - 85	3600 - 7400

Παράρτημα Γ

Συντελεστές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων από διαδικασίες καύσης

Σε αυτό το παράρτημα παρουσιάζονται οι συντελεστές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων από τους βιομηχανικούς καυστήρες και γενικότερα από την καύση στερεών, υγρών και αέριων καυσίμων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των βιομηχανικών και βιοτεχνικών μονάδων. (36)

Καύσιμο: Λέγνο Αποξηραμένο			Καύσιμο: Πετρέλαιο Κοκ		
Είδος καυσίμου - Αέθριο: θορυβώδες και ελαστικό λάδι Μέθοδο Μέτρησης: Αντιστάθμιση (UI) σε συνιστώσες			Είδος καυσίμου - Αέθριο: θορυβώδες και ελαστικό λάδι Μέθοδο Μέτρησης: Αντιστάθμιση (UI) σε συνιστώσες		
Τεχνολογία Ανταρπίστασης: Κοινό			Τεχνολογία Ανταρπίστασης: Αποτίς Εκσυμπακτο		
Πίεση	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Πίεση	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή
CO	0,0018515	EPA FIRE	CO	0,3	EPA FIRE
NO _x	0,0074059	EPA FIRE	NO _x	7	EPA FIRE
SO ₂	10	CORINAIR	SO ₂	15	CORINAIR
TSP	0,0001587	EPA FIRE	TSP	3,5	EPA FIRE
VOCs	0,0001481	EPA FIRE	VOCs	0,035	EPA FIRE
Καύσιμο: Υγραέριο (Lpg) Είδος καυσίμου - Αέθριο: θορυβώδες και ελαστικό λάδι Μέθοδο Μέτρησης: Αντιστάθμιση (UI) σε συνιστώσες			Καύσιμο: Υγραέριο (Lpg) Είδος καυσίμου - Αέθριο: θορυβώδες και ελαστικό λάδι Μέθοδο Μέτρησης: Αντιστάθμιση (UI) σε συνιστώσες		
Τεχνολογία Ανταρπίστασης: -			Τεχνολογία Ανταρπίστασης: -		
Πίεση	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Πίεση	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή
CO	0,67	WHO	CH ₄	0,14	CORINAIR
NO _x	2,7	WHO	CO	0,75	EPA AP42
PM	0,07	WHO	MPVOCs	0,33	CORINAIR
SO ₂	10	WHO	NO _x	4,59	IPCC
TSP	5,265	WHO	SO ₂	1,8924	CORINAIR
VOCs	0,13	WHO	TSP	0,1291711	EPA AP42
Καύσιμο: Μεταλλουργικό Άσος Είδος καυσίμου - Αέθριο: θορυβώδες και ελαστικό λάδι Τεχνολογία Ανταρπίστασης: -			Καύσιμο: Μεταλλουργικό Άσος Είδος καυσίμου - Αέθριο: θορυβώδες και ελαστικό λάδι Τεχνολογία Ανταρπίστασης: -		
Πίεση	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Πίεση	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή
CO	0,3	EPA FIRE	CO	0,3	EPA FIRE
NO _x	7	EPA FIRE	NO _x	15	CORINAIR
SO ₂	15	CORINAIR	TSP	42	EPA FIRE
TSP	42	EPA FIRE	VOCs	0,035	EPA FIRE
VOCs	0,035	EPA FIRE			

Κατανομή Αρρύθμισης						
Μεταβολή Μεταφοράς Αρρύθμισης (ΔΕ) σε ατμοσφαιρική Τεχνολογία Αντιρρύθμισης: Προβλεπόμενη						
Επίπεδο Αναρρύθμισης - Αρρύθμιση (Overhead Number)						
Τεχνολογία Αντιρρύθμισης: Εξοπλισμός (Overhead Air)						
Πόσος Συναρμολογημένος Εξοπλισμός (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συναρμολογημένοι Εξοπλισμοί (σε kg/U)	Πόσος Συναρμολογημένος Εξοπλισμός (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συναρμολογημένοι Εξοπλισμοί (σε kg/U)	Πόσος Συναρμολογημένος Εξοπλισμός (σε kg/U)
CO 3	EPA	3 EPA AP 42	CO 3	EPA WHO	2.5 EPA AP 42 / WHO 0.045-67.9 CORINAIR	2.5 EPA AP 42 / WHO 0.045-67.9 CORINAIR
NO _x 2.25	EPA	2.25 EPA AP 42	NO _x 3	EPA WHO	3 EPA AP 42 / WHO 0.085-6.84 CORINAIR	3 EPA AP 42 / WHO 0.085-6.84 CORINAIR
SO ₂ 5.6	CORINAIR παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 0.4%	5.6 CORINAIR	SO ₂ 5.6	CORINAIR παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 0.4%	5.6 CORINAIR	5.6 CORINAIR
TSP 20.4	EPA παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 12%	20.4 EPA AP 42	TSP 6.12	EPA παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 12%	6.12 EPA AP 42	6.12 EPA AP 42
VOCs 0.035	EPA	0.035 EPA AP 42	VOCs 0.035	EPA	0.035 EPA AP 42	0.035 EPA AP 42
Τεχνολογία Αντιρρύθμισης: Ψαλίδι, Εισαγωγή						
Άλλοι Συναρμολογημένοι Εξοπλισμοί						
CO 3	EPA WHO		CO 3	EPA WHO		
NO _x 3	EPA WHO		NO _x 3	EPA WHO		
SO ₂ 5.6	CORINAIR παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 0.4%		SO ₂ 5.6	CORINAIR παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 0.4%		
TSP 20.4	EPA παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 12%		TSP 20.4	EPA παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 12%		
VOCs 0.035	EPA		VOCs 0.035	EPA		
Επίπεδο Αναρρύθμισης - Αρρύθμιση (Overhead Number)						
Τεχνολογία Αντιρρύθμισης: Εξοπλισμός (Overhead Air)						
Πόσος Συναρμολογημένος Εξοπλισμός (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συναρμολογημένοι Εξοπλισμοί (σε kg/U)	Πόσος Συναρμολογημένος Εξοπλισμός (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συναρμολογημένοι Εξοπλισμοί (σε kg/U)	Πόσος Συναρμολογημένος Εξοπλισμός (σε kg/U)
CO 2.5	EPA	2.5 EPA AP 42	CO 2.5	EPA WHO	2.5 EPA AP 42 / WHO 0.045-67.9 CORINAIR	2.5 EPA AP 42 / WHO 0.045-67.9 CORINAIR
NO _x 2.175	EPA	2.175 EPA AP 42	NO _x 2.9	EPA	2.9 EPA AP 42	2.9 EPA AP 42
SO ₂ 5.6	CORINAIR παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 0.4%	5.6 CORINAIR	SO ₂ 5.6	CORINAIR παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 0.4%	5.6 CORINAIR	5.6 CORINAIR
TSP 48	EPA παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 12%	48 EPA AP 42	TSP 14.4	EPA παρακλιμακωμένο βάσει στο κλιμακωτό 12%	14.4 EPA AP 42	14.4 EPA AP 42
VOCs 0.035	EPA	0.035 EPA AP 42	VOCs 0.035	EPA	0.035 EPA AP 42	0.035 EPA AP 42

Κατάσταση: Αρχική
(συνέχεια)

Μονάδα Μέτρησης: Αναρροήσιμος (U) το εκασάδειον.

Είδος καυσίμου: Αέθιοπος, Στερεόφιτ Στελέξ, Φοματ.

Τεχνολογία Αντιρροήσεως: Υαλός, Εξοχέυσιον

Πόσις	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)
CO	2,5	EPA WHO	2,5 EPA AP 42 / WHO 0,045-67,9 CORINAIR
NO _x	2,9	EPA	2,9 EPA AP 42 3 WHO
SO ₂	5,6	CORINAIR, παρακτώσιμη θάλας στο καύσιμω 0,4%	0,085-6,84 CORINAIR 5,6 CORINAIR
TSP	48	EPA, παρακτώσιμη θάλας στο καύσιμω 12%	48 EPA AP 42 40,8 WHO
VOCs	0,035	EPA	0,035 EPA AP 42 0,035 WHO

Είδος καυσίμου: Αέθιοπος, Στερεόφιτ Στελέξ, Φοματ.

Τεχνολογία Αντιρροήσεως: Ηλεκτροστατικός, Φίλτρο

Μονάδα Μέτρησης: Αναρροήσιμος, RfE το εκασάδειον.

Τεχνολογία Αντιρροήσεως: Ηλεκτροστατικός, Φίλτρο

Πόσις	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	
			Εκπομπής	Πηγή
CO	0,075	EPA	0,075 EPA AP 42	Άλλοι Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)
NO _x	1,8	EPA	1,8 EPA AP 42	2,5 EPA AP 42 / WHO 0,045-67,9 CORINAIR
SO ₂	5,6	CORINAIR, παρακτώσιμη θάλας στο καύσιμω 0,4%	5,6 CORINAIR	1,8 EPA AP 42 0,085-6,84 CORINAIR
TSP	0,42	EPA, παρακτώσιμη θάλας στο καύσιμω 12%	0,42 EPA AP 42	5,6 CORINAIR 6 WHO
VOCs	0,015	EPA, εξαγωγή NMVOC	0,015 EPA AP 42	6 WHO

Καύσιμο: Πετρέλαιο

Κόβος αναρτήρας: Αέθριος, Ρεορρυθμιζόμενα Κόβη

Μονάδα Μέτρησης: Αναρτήρας, Βέλι ή αεροβέλιος

Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Υαλός, Εισαγωγή

Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Τροποποιημένο Καύσιμο με Αποθήκη, Εξαγωγή, Travelling Grate

Πόνοξ	Συντελεστής Εξαερίσεως (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συντελεστές Εξαερίσεως (σε kg/U)	Πόνοξ	Συντελεστής Εξαερίσεως (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συντελεστές Εξαερίσεως (σε kg/U)
CO	0,3	EPA AP42	0,3 EPA AP 42	CO	0,3	EPA AP42	0,3 EPA AP 42
NO _x	0,9	EPA AP42	4,5 EPA AP 42	NO _x	4,5	EPA AP42	0,3-4,5 WHO 4,5 EPA AP 42
SO ₂	18	CORINAIR, απορρυπαντήρια βέλιου στο καύσιμο 0,9%	18 CORINAIR	SO ₂	18	CORINAIR WHO απορρυπαντήρια βέλιου στο καύσιμο 0,9%	1,5-5 WHO 18 CORINAIR / WHO
				TSP	1	EPA AP42 απορρυπαντήρια βέλιου στο καύσιμο 12,5%	1 EPA AP 42 < 1,2 WHO
				VOCs	0,035	EPA AP42	0,035 EPA AP 42 0,055-9 WHO
Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Υαλός, Εισαγωγή							
Πόνοξ	Συντελεστής Εξαερίσεως (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συντελεστές Εξαερίσεως (σε kg/U)	Πόνοξ	Συντελεστής Εξαερίσεως (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συντελεστές Εξαερίσεως (σε kg/U)
CO	0,3	EPA AP42	0,3 EPA AP 42	CO	0,3	EPA AP 42	0,3 EPA AP 42
NO _x	4,5	EPA AP42	4,5 EPA AP 42	NO _x	4,5	EPA AP 42	0,3-4,5 WHO 4,5 EPA AP 42
SO ₂	18	CORINAIR WHO απορρυπαντήρια βέλιου στο καύσιμο 0,9%	18 CORINAIR / WHO	SO ₂	18	CORINAIR WHO απορρυπαντήρια βέλιου στο καύσιμο 0,9%	1,5-5 WHO 18 CORINAIR / WHO
TSP	5	EPA AP42 απορρυπαντήρια βέλιου στο καύσιμο 12,5%	5 EPA AP 42	TSP	5	EPA AP 42	5 EPA AP 42 4,6-5 WHO
VOCs	0,035	EPA AP42	0,035 EPA AP 42	VOCs	0,035	EPA AP 42	0,035 EPA AP 42 0,055-9 WHO

Καύσιμα: Μαζαίαι Υγροί Οξεία

Είδος καύσιμου: Αέρια Διαβρωτικά και Καυσίμα Αύγουστος		Μεταβλητή Αντιρροή: Διάφορα		Μεταβλητή Αντιρροή: Διάφορα	
Τυπολογία Αντιρροή: Low NO _x Burner		Τυπολογία Αντιρροή: Low NO _x Burner		Τυπολογία Αντιρροή: Low NO _x Burner	
Πόρος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Μάλλον Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πόρος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR 0,127 EPA AP42	CH ₄	0,2
CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO 0,4-70,5 CORINAIR	CO	0,64
MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	MMVOCs	0,72
NO _x	4,44	IPCC / EPA / CORINAIR	4,44 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	NO _x	4,44
SO ₂	70	CORINAIR / EPA υπερκαύσιμα	CORINAIR / EPA AP42	SO ₂	70
ZSP	4,497	EPA AP42 υπερκαύσιμα θάου στο καύσιμο 3,5%	70 CORINAIR / EPA AP42 4,497 EPA AP42	ZSP	4,497
Τυπολογία Αντιρροή: Εξέλιξη Low NO _x Burner					
Πόρος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Μάλλον Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πόρος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR 0,127 EPA AP42	CH ₄	0,2
CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO 0,4-70,5 CORINAIR	CO	0,64
MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	MMVOCs	0,72
NO _x	6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	NO _x	5,29
SO ₂	37,42	CORINAIR / EPA υπερκαύσιμα θάου στο καύσιμο 3,5%	37,42 CORINAIR / EPA AP42	SO ₂	70
ZSP	4,497	EPA AP42 υπερκαύσιμα θάου στο καύσιμο 3,5%	4,497 EPA AP42	ZSP	4,497
Τυπολογία Αντιρροή: Επιστροφή στην Καύση					
Πόρος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Μάλλον Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πόρος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR 0,127 EPA AP42	CH ₄	0,2
CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO 0,4-70,5 CORINAIR	CO	0,64
MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	MMVOCs	0,72
NO _x	6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	NO _x	5,29
SO ₂	37,42	CORINAIR / EPA υπερκαύσιμα θάου στο καύσιμο 3,5%	37,42 CORINAIR / EPA AP42	SO ₂	70
ZSP	4,497	EPA AP42 υπερκαύσιμα θάου στο καύσιμο 3,5%	4,497 EPA AP42	ZSP	4,497

**Κριτήριο: Μαζική Έγερση Ομίου
(Grouping)**

Είδος κοινοτήτων: Αθήνα, Βραχμαρίων Κοινοότητα, Δούρα, Νερόνια, Μελίτη, Διοικητήριο, Δι.Ε.Μ. Καλλιθέας, Τριφυλία Αιγαίου, Τριφυλία Αιγαίου Κοσμοπόλη, Βόλωση Κασού, Μορφοί, Μελίτη, Διοικητήριο, Δι.Ε.Μ. Καλλιθέας, Τριφυλία Αιγαίου Κοσμοπόλη, Έργο, Κομοτηνή, Σπυριό, Δράμα

Τριφυλία Αιγαίου Κοσμοπόλη		Μορφοί		Τριφυλία Αιγαίου Κοσμοπόλη		Τριφυλία Αιγαίου Κοσμοπόλη	
Πόσις	Συντελεστής Έκτασης (σε kgU)	Πηγή	Αλλοι Συντελεστής Έκτασης (σε kgU)	Πόσις	Συντελεστής Έκτασης (σε kgU)	Πηγή	Αλλοι Συντελεστής Έκτασης (σε kgU)
CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR 0,127 EPA AP42	CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR 0,127 EPA AP42
CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO 0,4-70,5 CORINAIR	CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO 0,4-70,5 CORINAIR
MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR
NO _x	4,17	IPCC / EPA / CORINAIR	4,17 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	NO _x	6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR
SO ₂	70	CORINAIR / EPA ελαττωμένη (όλοο στο καύσιμο 3,5%)	70 CORINAIR / EPA AP42	SO ₂	15,12	IPCC / EPA / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR
TSP	4,497	EPA AP42 ελαττωμένη (όλοο στο καύσιμο 3,5%)	4,497 EPA AP42	TSP	4,497	CORINAIR / EPA ελαττωμένη (όλοο στο καύσιμο 3,5%)	15,12 CORINAIR / EPA AP42
Τριφυλία Αιγαίου Κοσμοπόλη		Τριφυλία Αιγαίου Κοσμοπόλη		Τριφυλία Αιγαίου Κοσμοπόλη		Τριφυλία Αιγαίου Κοσμοπόλη	
Πόσις	Συντελεστής Έκτασης (σε kgU)	Πηγή	Αλλοι Συντελεστής Έκτασης (σε kgU)	Πόσις	Συντελεστής Έκτασης (σε kgU)	Πηγή	Αλλοι Συντελεστής Έκτασης (σε kgU)
CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR 0,127 EPA AP42	CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR 0,127 EPA AP42
CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO 0,4-70,5 CORINAIR	CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO 0,4-70,5 CORINAIR
MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR
NO _x	6,11	IPCC / EPA / CORINAIR	6,11 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	NO _x	6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR
SO ₂	70	CORINAIR / EPA ελαττωμένη (όλοο στο καύσιμο 3,5%)	70 CORINAIR / EPA AP42	SO ₂	5,55	CORINAIR / EPA ελαττωμένη (όλοο στο καύσιμο 3,5%)	5,55 CORINAIR / EPA AP42
TSP	4,497	EPA AP42 ελαττωμένη (όλοο στο καύσιμο 3,5%)	4,497 EPA AP42	TSP	2,025	EPA AP42 ελαττωμένη (όλοο στο καύσιμο 3,5%)	2,025 EPA AP42

**Κατάσταση: Μολύνει Υποβάλει Θέλει
(συνολικά)**

Είδος συστατικού - Αδρανές συστατικό και Ευρωπαική Αθροιστική		Μικροβιακή βιολογική δραστηριότητα (β) ή Αντιβιοβιολογική	
Τεχνολογία Αντιρροπόμενης: Υγείας, Κοινωνικής, Αθροιστική		Τεχνολογία Αντιρροπόμενης: Υγείας, Κοινωνικής, Αθροιστική	
Πόσιμος Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Αλλοι Σχεδιαστές Εκπομπής (σε kg/U)	Αλλοι Σχεδιαστές Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄ 0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR
CO 0,64	EPA AP42 WHO	0,127 EPA AP42	0,127 EPA AP42
MMVOCs 0,72	CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR	0,64 EPA AP42 / WHO
NO _x 6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR
SO ₂ 8,32	CORINAIR / EPA παρακτωμένη	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR
ZSP 2,025	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%	8,32 CORINAIR / EPA AP42	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR
	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%	2,025 EPA AP42	9,36 CORINAIR / EPA παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%
	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%		EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%
Τεχνολογία Αντιρροπόμενης: Υγείας, Κοινωνικής, Αθροιστική - Πρωτεύον Μεταφορές			
Πόσιμος Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Αλλοι Σχεδιαστές Εκπομπής (σε kg/U)	Αλλοι Σχεδιαστές Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄ 0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR
CO 0,64	EPA AP42 WHO	0,127 EPA AP42	0,127 EPA AP42
MMVOCs 0,72	CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR	0,64 EPA AP42 / WHO
NO _x 6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR
SO ₂ 9,36	CORINAIR / EPA παρακτωμένη	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR
ZSP 2,025	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%	9,36 CORINAIR / EPA AP42	5,46 IPCC / EPA / CORINAIR
	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%	2,025 EPA AP42	70 CORINAIR / EPA παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%
	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%		EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%
Τεχνολογία Αντιρροπόμενης: Υγείας, Κοινωνικής, Αθροιστική			
Πόσιμος Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Αλλοι Σχεδιαστές Εκπομπής (σε kg/U)	Αλλοι Σχεδιαστές Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄ 0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR
CO 0,64	EPA AP42 WHO	0,127 EPA AP42	0,127 EPA AP42
MMVOCs 0,72	CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR	0,64 EPA AP42 / WHO
NO _x 6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR
SO ₂ 9,36	CORINAIR / EPA παρακτωμένη	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR
ZSP 2,025	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%	9,36 CORINAIR / EPA AP42	5,46 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR
	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%	2,025 EPA AP42	70 CORINAIR / EPA παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%
	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%		EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%
Τεχνολογία Αντιρροπόμενης: Υγείας, Κοινωνικής, Αθροιστική			
Πόσιμος Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Αλλοι Σχεδιαστές Εκπομπής (σε kg/U)	Αλλοι Σχεδιαστές Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄ 0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR
CO 0,64	EPA AP42 WHO	0,127 EPA AP42	0,127 EPA AP42
MMVOCs 0,72	CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR	0,64 EPA AP42 / WHO
NO _x 6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR
SO ₂ 9,36	CORINAIR / EPA παρακτωμένη	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR
ZSP 2,025	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%	9,36 CORINAIR / EPA AP42	5,46 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR
	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%	2,025 EPA AP42	70 CORINAIR / EPA παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%
	EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%		EPA AP42 παρακτωμένη θέλει στο καύσιμο 3,5%

Καύσιμο: Μαζούτ Χαμηλού Θείου

Μονάδα Μέτρησης Αποκατάστασης (U) ή σε ανατολίτικους

Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Low NO_x Burner

Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Best-Case Control

Είδος καύσιμης - Μέτρηση: Βιομηχανικό Κοκ, Ελαφρύ/Αίθριο

Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Εγγενή Στο Αίθριο

Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Επισκευασμένης Καταστάσεως

Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Επισκευασμένης Καταστάσεως

Πέρος Εκπομπής (σε kg/U)	Συντελεστής Πηγή	Αλλοι Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)		Πέρος Εκπομπής (σε kg/U)	Συντελεστής Πηγή	Αλλοι Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	
		CH ₄	CO			CH ₄	CO
0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,127 EPA AP42	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,127 EPA AP42
0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO	0,4-70,5 CORINAIR	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO	0,4-70,5 CORINAIR
0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	4,44 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	4,44 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR
4,44	IPCC / EPA / CORINAIR	4,44 IPCC / EPA / CORINAIR	14 CORINAIR / EPA AP42	4,44	IPCC / EPA / CORINAIR	4,44 IPCC / EPA / CORINAIR	14 CORINAIR / EPA AP42
14	CORINAIR / EPA επισκευασμένη θόλο στο καύσιμο 0,7%	14 CORINAIR / EPA επισκευασμένη θόλο στο καύσιμο 0,7%	14 CORINAIR / EPA AP42	14	IPCC / EPA / CORINAIR	4,44 IPCC / EPA επισκευασμένη θόλο στο καύσιμο 0,7%	14 CORINAIR / EPA AP42
1,227	EPA AP42 επισκευασμένη θόλο στο καύσιμο 0,7%	1,227 EPA AP42	1,227 EPA AP42	1,227	CORINAIR / EPA επισκευασμένη θόλο στο καύσιμο 0,7%	1,227	14 CORINAIR / EPA AP42
Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Εγγενή Στο Αίθριο							
Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Επισκευασμένης Καταστάσεως							
Πέρος Εκπομπής (σε kg/U)	Συντελεστής Πηγή	Αλλοι Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)		Πέρος Εκπομπής (σε kg/U)	Συντελεστής Πηγή	Αλλοι Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	
		CH ₄	CO			CH ₄	CO
0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,127 EPA AP42	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,127 EPA AP42
0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO	0,4-70,5 CORINAIR	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO	0,4-70,5 CORINAIR
0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	4,44 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	4,44 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR
6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	7,48 CORINAIR / EPA AP42	6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	7,48 CORINAIR / EPA AP42
7,48	CORINAIR / EPA επισκευασμένη θόλο στο καύσιμο 0,7%	7,48 CORINAIR / EPA επισκευασμένη θόλο στο καύσιμο 0,7%	7,48 CORINAIR / EPA AP42	7,48	CORINAIR / EPA επισκευασμένη θόλο στο καύσιμο 0,7%	7,48 CORINAIR / EPA επισκευασμένη θόλο στο καύσιμο 0,7%	14 CORINAIR / EPA AP42
1,227	EPA AP42 επισκευασμένη θόλο στο καύσιμο 0,7%	1,227 EPA AP42	1,227 EPA AP42	1,227	EPA AP42 επισκευασμένη θόλο στο καύσιμο 0,7%	1,227	1,227 EPA AP42

**Κατανομή Μαζικών Νοσηλάσι Θέσιου
(Στοιχεία)**

Είδος καυσίμου - Αίθρια θορύβου και Στοιχεία		Μονάδα Μέτρησης Διασποράς (kg/m ³ ή μg/m ³)		Εξουσιοδοτημένη Εταιρεία	
Εξουσιοδοτημένη Εταιρεία		Εξουσιοδοτημένη Εταιρεία		Εξουσιοδοτημένη Εταιρεία	
Πόσις	Στοιχεία	Πόσις	Στοιχεία	Πόσις	Στοιχεία
(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)
CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR
CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,127 EPA AP42	0,127 EPA AP42	0,127 EPA AP42
MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,64 EPA AP42 / WHO	0,64 EPA AP42 / WHO	0,64 EPA AP42 / WHO
NO _x	4,17	IPCC / EPA / CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR
SO ₂	14	CORINAIR / EPA	0,084-1,366 CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR
TSP	1,227	EPA AP42	4,17 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR
			14 CORINAIR / EPA AP42	3,02 CORINAIR / EPA AP42	3,02 CORINAIR / EPA AP42
			1,227 EPA AP42	1,227 EPA AP42	1,227 EPA AP42
Εξουσιοδοτημένη Εταιρεία: <i>Εταιρεία Διασποράς Αέρος (Reduced Air Pollution)</i>					
Πόσις	Στοιχεία	Πόσις	Στοιχεία	Πόσις	Στοιχεία
(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)
CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR
CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,127 EPA AP42	0,127 EPA AP42	0,127 EPA AP42
MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,64 EPA AP42 / WHO	0,64 EPA AP42 / WHO	0,64 EPA AP42 / WHO
NO _x	6,11	IPCC / EPA / CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR
SO ₂	14	CORINAIR / EPA	0,084-1,366 CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR
TSP	1,227	EPA AP42	6,11 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR
			14 CORINAIR / EPA	3,02 CORINAIR / EPA	3,02 CORINAIR / EPA
			1,227 EPA AP42	1,227 EPA AP42	1,227 EPA AP42
Εξουσιοδοτημένη Εταιρεία: <i>Εταιρεία Διασποράς Αέρος (Reduced Air Pollution)</i>					
Πόσις	Στοιχεία	Πόσις	Στοιχεία	Πόσις	Στοιχεία
(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)	(σε kg/U)
CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR
CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,127 EPA AP42	0,127 EPA AP42	0,127 EPA AP42
MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,64 EPA AP42 / WHO	0,64 EPA AP42 / WHO	0,64 EPA AP42 / WHO
NO _x	6,11	IPCC / EPA / CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR	0,4-70,5 CORINAIR
SO ₂	14	CORINAIR / EPA	0,084-1,366 CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR
TSP	1,227	EPA AP42	6,11 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR
			14 CORINAIR / EPA	3,02 CORINAIR / EPA	3,02 CORINAIR / EPA
			1,227 EPA AP42	1,227 EPA AP42	1,227 EPA AP42
Εξουσιοδοτημένη Εταιρεία: <i>Εταιρεία Διασποράς Αέρος (Reduced Air Pollution)</i>					

**Καθαρισμός Μεταλλών Χαμηλού Θάους
(Στοιχείο)**

Είδος κοινοτήτων: Α.Π.Π.Α. Βασιλευπόλι και Ευρυπόλι - 66000
 Μισθία Μεταλλουργία Ανελαστικότητα 0,1% σε συντηρητικό
 Τεχνολογία Αντιρροπήσεων: Υγός Κοκκιοποίησης / Αποψύξης / Αερίοποίησης / Αερίοποίησης

Τεχνολογία Αντιρροπήσεων: Υγός Κοκκιοποίησης / Αποψύξης / Αερίοποίησης / Αερίοποίησης

Πέποις	Συνολική Εξουσιμότητα (σε kg/U)		Άλλοι Συνολικοί Εξουσιμότητα (σε kg/U)		Πηγή	Πέποις	Συνολική Εξουσιμότητα (σε kg/U)		Άλλοι Συνολικοί Εξουσιμότητα (σε kg/U)	
	Εξουσιμότητα	Πηγή	Εξουσιμότητα	Πηγή			Εξουσιμότητα	Πηγή	Εξουσιμότητα	Πηγή
CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR 0,127 EPA AP42	CORINAIR		CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR 0,127 EPA AP42	
CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO 0,4-70,5 CORINAIR	EPA AP42 WHO		CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO 0,4-70,5 CORINAIR	
MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	CORINAIR		MMVOCs	0,72	IPCC / EPA / CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	
NO _x	6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	IPCC / EPA / CORINAIR		NO _x	6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	
SO ₂	1,66	CORINAIR / EPA παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%	1,66 CORINAIR / EPA AP42	CORINAIR / EPA παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%		SO ₂	1,87	CORINAIR / EPA παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%	1,87 CORINAIR / EPA AP42	
TSP	0,552	EPA AP42 παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%	0,552 EPA AP42	EPA AP42 παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%		TSP	0,552	EPA AP42 παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%	0,552 EPA AP42	

Τεχνολογία Αντιρροπήσεων: Υγός Κοκκιοποίησης / Αποψύξης / Αερίοποίησης / Αερίοποίησης

Τεχνολογία Αντιρροπήσεων: Υγός Κοκκιοποίησης / Αποψύξης / Αερίοποίησης / Αερίοποίησης

Πέποις	Συνολική Εξουσιμότητα (σε kg/U)		Άλλοι Συνολικοί Εξουσιμότητα (σε kg/U)		Πηγή	Πέποις	Συνολική Εξουσιμότητα (σε kg/U)		Άλλοι Συνολικοί Εξουσιμότητα (σε kg/U)	
	Εξουσιμότητα	Πηγή	Εξουσιμότητα	Πηγή			Εξουσιμότητα	Πηγή	Εξουσιμότητα	Πηγή
CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR 0,127 EPA AP42	CORINAIR		CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR 0,127 EPA AP42	
CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO 0,4-70,5 CORINAIR	EPA AP42 WHO		CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO 0,4-70,5 CORINAIR	
MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	CORINAIR		MMVOCs	0,72	IPCC / EPA / CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	
NO _x	6,83	IPCC / EPA / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	IPCC / EPA / CORINAIR		NO _x	5,46	IPCC / EPA / CORINAIR	6,83 IPCC / EPA AP 42 / CORINAIR	
SO ₂	1,87	CORINAIR / EPA παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%	1,87 CORINAIR / EPA AP42	CORINAIR / EPA παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%		SO ₂	14	CORINAIR / EPA παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%	14 CORINAIR / EPA AP42	
TSP	0,552	EPA AP42 παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%	0,552 EPA AP42	EPA AP42 παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%		TSP	1,227	EPA AP42 παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%	1,227 EPA AP42	

Τεχνολογία Αντιρροπήσεων: Υγός Κοκκιοποίησης / Αποψύξης / Αερίοποίησης / Αερίοποίησης

Τεχνολογία Αντιρροπήσεων: Υγός Κοκκιοποίησης / Αποψύξης / Αερίοποίησης / Αερίοποίησης

Πέποις	Συνολική Εξουσιμότητα (σε kg/U)		Άλλοι Συνολικοί Εξουσιμότητα (σε kg/U)		Πηγή	Πέποις	Συνολική Εξουσιμότητα (σε kg/U)		Άλλοι Συνολικοί Εξουσιμότητα (σε kg/U)	
	Εξουσιμότητα	Πηγή	Εξουσιμότητα	Πηγή			Εξουσιμότητα	Πηγή	Εξουσιμότητα	Πηγή
CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	CORINAIR		CH ₄	0,2	CORINAIR	0,004-0,402 CORINAIR	
CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO	EPA AP42 WHO		CO	0,64	EPA AP42 WHO	0,64 EPA AP42 / WHO	
MMVOCs	0,72	CORINAIR	0,084-1,366 CORINAIR	CORINAIR		MMVOCs	0,72	IPCC	0,084-1,366 CORINAIR	
NO _x	6,83	IPCC	6,83 IPCC	IPCC		NO _x	6,83	IPCC	6,83 IPCC	
SO ₂	14	CORINAIR / EPA AP42 / WHO παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%	14 CORINAIR / EPA AP42 / WHO	CORINAIR / EPA AP42 / WHO 7 EPA AP42		SO ₂	14	CORINAIR / EPA AP42 / WHO 7 EPA AP42	14 CORINAIR / EPA AP42 / WHO	
TSP	1,227	EPA AP42 παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%	1,227 EPA AP42	1,227 EPA AP42		TSP	1,227	EPA AP42 παρακαλούμετα βέβαια στο καύσιμο 0,7%	1,227 EPA AP42	

Είδος αναρτήρα - Μέγεθος Αναρτήρα/Αριθμός Κοιτώνων/Απόσταση		Κατηγορία Αντίστοιχ		Μέγιστη Μέση/Μεγιστη Δυναμική/ΜΕ (σε mg/m ³ /ώρα)		Υπερμεγιστη Αντίρρηση/ΜΕ (σε mg/m ³ /ώρα)	
Ποσότητα Αναρτήρα/Μέγεθος (σε kg/U)	Ποσότητα	Μέγιστη Μέση/Μεγιστη Δυναμική/ΜΕ (σε kg/U)	Υπερμεγιστη Αντίρρηση/ΜΕ (σε kg/U)	Ποσότητα Αναρτήρα/Μέγεθος (σε kg/U)	Μέγιστη Μέση/Μεγιστη Δυναμική/ΜΕ (σε kg/U)	Υπερμεγιστη Αντίρρηση/ΜΕ (σε kg/U)	Ποσότητα Αναρτήρα/Μέγεθος (σε kg/U)
CH ₄	0,09	CORINAIR	0,065-0,108 CORINAIR	CH ₄	0,09	CORINAIR	0,065-0,108 CORINAIR
CO	0,71	EPA AP42 WHO	0,007 EPA AP42	CO	0,71	EPA AP42 WHO	0,007 EPA AP42
ΜΗΥΟΧ ₃	0,09	CORINAIR / EPA	0,71 EPA AP42 / WHO	ΜΗΥΟΧ ₃	0,09	CORINAIR / EPA	0,71 EPA AP42 / WHO
NO _x	1,83	IPCC / EPA / CORINAIR	0,52-23,70 CORINAIR	NO _x	1,96	IPCC / EPA / CORINAIR	0,52-23,70 CORINAIR
SO ₂	1	CORINAIR / EPA	0,09 CORINAIR / EPA AP42	SO ₂	1	CORINAIR / EPA	0,09 CORINAIR / EPA AP42
TSP	0,469	αποσπασματίζοντα βελόνι στο κούρσιμα 0,05% EPA AP42	1,83 IPCC / EPA AP42 / CORINAIR	TSP	0,469	αποσπασματίζοντα βελόνι στο κούρσιμα 0,05% EPA AP42	1,96 IPCC / EPA AP42 / CORINAIR
Υπερμεγιστη Αντίρρηση/ΜΕ (σε kg/U)							
CH ₄	0,09	CORINAIR	0,065-0,108 CORINAIR	CH ₄	0,09	CORINAIR	0,065-0,108 CORINAIR
CO	0,71	EPA AP42 WHO	0,007 EPA AP42	CO	0,71	EPA AP42 WHO	0,007 EPA AP42
ΜΗΥΟΧ ₃	0,09	CORINAIR / EPA	0,52-23,70 CORINAIR	ΜΗΥΟΧ ₃	0,09	CORINAIR / EPA	0,52-23,70 CORINAIR
NO _x	2,82	IPCC / EPA / CORINAIR	0,09 CORINAIR / EPA AP42	NO _x	0,97	IPCC / EPA / CORINAIR	0,09 CORINAIR / EPA AP42
SO ₂	0,53	CORINAIR / EPA	2,82 IPCC / EPA AP42 / CORINAIR	SO ₂	1	CORINAIR / EPA	0,97 IPCC / EPA AP42 / CORINAIR
TSP	0,469	αποσπασματίζοντα βελόνι στο κούρσιμα 0,05% EPA AP42	0,53 CORINAIR / EPA AP42	TSP	0,469	αποσπασματίζοντα βελόνι στο κούρσιμα 0,05% EPA AP42	0,53 CORINAIR / EPA AP42

**Καθαρισμός Ατμόσφαιρας
(2006/2007)**

Είδος ρυπαρώσεως - Αίθρια: Βιομηχανική και Κατοικιακή αέθλιαση		Μικροβιακή Μείωση: Αποβιομηχανική ή Βιομηχανική αέθλιαση	
Υπερβολικά Αεραγόμενα: Έναρξη / Αποβιομηχανική / Κατοικιακή / Σπιντζ / Δρομική		Υπερβολικά Αεραγόμενα: Έναρξη / Αποβιομηχανική / Κατοικιακή / Σπιντζ / Δρομική	
Πόνοσ	Εκπομπή (σε kg/U)	Πόνοσ	Εκπομπή (σε kg/U)
CH ₄	0,09	CH ₄	0,09
CO	0,71	CO	0,71
ΜΗΠΟC: 0,09		ΜΗΠΟC: 0,09	
NO _x	0,71	NO _x	2,82
SO ₂	1	SO ₂	0,22
TSP	0,469	TSP	0,469
Υπερβολικά Αεραγόμενα: Έναρξη / Αποβιομηχανική / Κατοικιακή / Σπιντζ / Δρομική		Υπερβολικά Αεραγόμενα: Έναρξη / Αποβιομηχανική / Κατοικιακή / Σπιντζ / Δρομική	
Πόνοσ	Εκπομπή (σε kg/U)	Πόνοσ	Εκπομπή (σε kg/U)
CH ₄	0,09	CH ₄	0,09
CO	0,71	CO	0,71
ΜΗΠΟC: 0,09		ΜΗΠΟC: 0,09	
NO _x	2,82	NO _x	2,82
SO ₂	0,08	SO ₂	0,12
TSP	0,211	TSP	0,211

Καύσιμα: Αιθίνα (Στοιβάρα)					
Είδη καυσίμων: Αίθιοπος, θειωμένο και θειωμένο λάδι					
Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Δεν υπάρχουν / Αποβατικά					
Μεθόδους Μέτρησης Δυναμικότητας (μ.α. αναφοράς): Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Δεν υπάρχουν / Οξείδιο - Σημαντικό Μέγεθος					
Πίνακς Εντοπιστής (σε kg/U)	Πηγή	Άλλες Συντελεστές Εντοπιστής (σε kg/U)	Πίνακς Εντοπιστής (σε kg/U)	Πηγή	Άλλες Συντελεστές Εντοπιστής (σε kg/U)
CH ₄ 0,09	CORINAIR	0,065-0,108 CORINAIR	CH ₄ 0,09	CORINAIR	0,065-0,108 CORINAIR
CO 0,71	EPA AP42 WHO	0,007 EPA AP42	CO 0,71	EPA AP42 WHO	0,007 EPA AP42
NMVOCS 0,09	CORINAIR / EPA	0,52-23,70 CORINAIR	NMVOCS 0,09	CORINAIR / EPA	0,52-23,70 CORINAIR
NO _x 2,82	IPCC / EPA / CORINAIR	2,82 IPCC / EPA AP42	NO _x 2,82	IPCC / EPA / CORINAIR	2,82 IPCC / EPA AP42
SO ₂ 0,13	CORINAIR / EPA	0,13 CORINAIR / EPA	SO ₂ 0,13	CORINAIR / EPA	0,13 CORINAIR / EPA
TSP 0,211	EPA AP42	0,13 CORINAIR / EPA AP42	TSP 0,211	EPA AP42	0,13 CORINAIR / EPA AP42
Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Διασείς / Διασείρας / φίλτρο στο καύσιμο 0,05%					
Πίνακς Εντοπιστής (σε kg/U)	Πηγή	Άλλες Συντελεστές Εντοπιστής (σε kg/U)	Πίνακς Εντοπιστής (σε kg/U)	Πηγή	Άλλες Συντελεστές Εντοπιστής (σε kg/U)
CH ₄ 0,09	CORINAIR	0,065-0,108 CORINAIR	CH ₄ 0,09	CORINAIR	0,065-0,108 CORINAIR
CO 0,71	EPA AP42 WHO	0,007 EPA AP42	CO 0,71	EPA AP42 WHO	0,007 EPA AP42
NMVOCS 0,09	CORINAIR / EPA	0,52-23,70 CORINAIR	NMVOCS 0,09	CORINAIR	0,52-23,70 CORINAIR
NO _x 2,26	IPCC / EPA / CORINAIR	2,26 IPCC / EPA AP42 / CORINAIR	NO _x 2,82	IPCC	2,82 IPCC
SO ₂ 1	CORINAIR / EPA	1 CORINAIR / EPA AP42	SO ₂ 1	CORINAIR WHO	2,84 EPA AP42 / WHO
TSP 0,469	EPA AP42	0,469 EPA AP42	TSP 0,469	EPA AP42	0,469 EPA AP42
Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Διασείς / Διασείρας / φίλτρο στο καύσιμο 0,05%					

Κατάσταση: Φυσικό Αέριο					
Επίπεδο Καταστάσεως: Αξιωματικό Αέριο					
Μονάδα Μέτρησης: Δοσολογία (μg/m ³ ατμ. σταθμ. ομοιοδότητος)					
Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Εξουδετέρωση Καταρτήσας					
Ρύπος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συντελεστές Εκπομπής (σε kg/U)	Ρύπος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄	34,9	EPA AP42	34,9 EPA AP42	CH ₄	34,9
CO	1485,928	EPA AP42	1485,9 EPA AP42	CO	363,9008
NO _x	1152,4	EPA AP42	1152,4 EPA AP42	NO _x	2577,6
SO ₂	125,9	EPA AP42 για παρακολούθηση βόθου στο καύσιμο 60 mg/m ³	125,9 EPA AP42	SO ₂	125,9
TSP	115,2	EPA AP42	115,2 EPA AP42	TSP	115,2
NOC _x	83,4	EPA AP42	83,4 EPA AP42	NOC _x	83,4
Επίπεδο Καταστάσεως: Αξιωματικό Αέριο, Μονοκαύσιμα Αέρια					
Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Low NO _x Burners					
Ρύπος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συντελεστές Εκπομπής (σε kg/U)	Ρύπος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄	34,9	EPA AP42	34,9 EPA AP42	CH ₄	34,9
CO	1273,653	EPA AP42	1273,7 EPA AP42	CO	1273,653
NO _x	758,1	EPA AP42	758,1 EPA AP42	NO _x	485,2
SO ₂	125,9	EPA AP42 για παρακολούθηση βόθου στο καύσιμο 60 mg/m ³	125,9 EPA AP42	SO ₂	125,9
TSP	115,2	EPA AP42	115,2 EPA AP42	TSP	115,2
NOC _x	83,4	EPA AP42	83,4 EPA AP42	NOC _x	83,4
Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Υδατός, Εξουδετέρωση					
Ρύπος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συντελεστές Εκπομπής (σε kg/U)	Ρύπος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄	34,9	EPA AP42	34,9 EPA AP42	CH ₄	34,9 EPA AP42
CO	1273,653	EPA AP42	1273,7 EPA AP42	CO	1273,7 EPA AP42
NO _x	1516,2	EPA AP42	1516,2 EPA AP42	NO _x	560 WHO
SO ₂	125,9	EPA AP42 για παρακολούθηση βόθου στο καύσιμο 60 mg/m ³	125,9 EPA AP42	SO ₂	2240 WHO
TSP	115,2	EPA AP42	115,2 EPA AP42	TSP	125,9 EPA AP42
NOC _x	83,4	EPA AP42	83,4 EPA AP42	NOC _x	115,2 EPA AP42, 48 WHO
Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Υδατός, Εξουδετέρωση					
Ρύπος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συντελεστές Εκπομπής (σε kg/U)	Ρύπος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄	34,9	EPA AP42	34,9 EPA AP42	CH ₄	34,9 EPA AP42
CO	1273,653	EPA AP42	1273,7 EPA AP42	CO	1273,7 EPA AP42
NO _x	1516,2	EPA AP42	1516,2 EPA AP42	NO _x	560 WHO
SO ₂	125,9	EPA AP42 για παρακολούθηση βόθου στο καύσιμο 60 mg/m ³	125,9 EPA AP42	SO ₂	2240 WHO
TSP	115,2	EPA AP42	115,2 EPA AP42	TSP	125,9 EPA AP42
NOC _x	83,4	EPA AP42	83,4 EPA AP42	NOC _x	115,2 EPA AP42, 48 WHO
Τεχνολογία Αντιρρύπανσης: Υδατός, Εξουδετέρωση					
Ρύπος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)	Πηγή	Άλλοι Συντελεστές Εκπομπής (σε kg/U)	Ρύπος	Συντελεστής Εκπομπής (σε kg/U)
CH ₄	34,9	EPA AP42	34,9 EPA AP42	CH ₄	34,9 EPA AP42
CO	1273,653	EPA AP42	1273,7 EPA AP42	CO	1273,7 EPA AP42
NO _x	1516,2	EPA AP42	1516,2 EPA AP42	NO _x	560 WHO
SO ₂	125,9	EPA AP42 για παρακολούθηση βόθου στο καύσιμο 60 mg/m ³	125,9 EPA AP42	SO ₂	2240 WHO
TSP	115,2	EPA AP42	115,2 EPA AP42	TSP	125,9 EPA AP42
NOC _x	83,4	EPA AP42	83,4 EPA AP42	NOC _x	115,2 EPA AP42, 48 WHO