



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ NO_x ΣΕ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥΣ
ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

ΗΛΙΑΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ - ΔΕΛΗΓΕΩΡΓΗΣ ΤΡΥΦΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δρ. ΚΟΛΟΚΟΤΡΩΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΚΟΖΑΝΗ (ΙΟΥΛΙΟΣ, 2016)

Εικόνα εξωφύλλου: <http://energypress.gr/news/perivallontiko-liftingk-90-ek-eyro-sto-sygkrotima-agios-dimitrios-tis-dei>

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
Περίληψη	6
Ευχαριστίες	7
Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή	8
Οξειδία του αζώτου	9
1.1 Τι είναι τα οξειδία του αζώτου	9
1.1.1 Ορισμός οξειδίων του αζώτου	9
1.1.2 Οξειδία του αζώτου και αντιδράσεις σχηματισμού	9
1.1.3 Επιπτώσεις των οξειδίων του αζώτου	11
1.2 Πηγές σχηματισμού NOx	14
1.3 Τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών οξειδίων του αζώτου.....	17
1.3.1 Πρωτογενή μέτρα για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου	18
1.3.1.1 Μείωση της περισσειας αέρα.....	18
1.3.1.2 Καύση με σταδιακή παροχή αέρα	18
1.3.1.3 Καύση με σταδιακή παροχή καυσίμου	19
1.3.1.4 Ανακυκλοφορία των καυσαερίων.....	20
1.3.1.5 Καυστήρες χαμηλών εκπομπών NOx.....	24
1.3.1.6 Ρευστοποιημένη κλίση	26
1.3.2 Δευτερογενή μέτρα για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου..	27
1.3.2.1 Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR).....	28
1.3.2.2 Επιλεκτική μη καταλυτική αναγωγή (SNCR).....	30
1.3.3 Σύνοψη της απόδοσης των μέτρων μείωσης των NOx	32
1.4 Συμπεράσματα	33
1.5 Δομή εργασίας	34
Κεφάλαιο 2 - Εφαρμοσμένες τεχνολογίες deNOx σε υφιστάμενες λιγνιτικές μονάδες παραγωγής και προτεινόμενα μέτρα	35
2.1 Τεχνολογίες μείωσης οξειδίων του αζώτου σε λιγνιτικές μονάδες παραγωγής	35
2.1.1 Μετατροπές σε ατμοηλεκτρικό σταθμό με καύσιμο λιγνίτη στη Βουλγαρία	35
2.1.2 Αναβάθμιση ατμοηλεκτρικού σταθμού στην Ουγγαρία για την επίτευξη των Ευρωπαϊκών ορίων εκπομπών NOx με επιλεκτική μη καταλυτική αναγωγή (SNCR)	37
2.2 Προτεινόμενες τεχνολογίες μείωσης NOx από εταιρείες κατασκευής λιγνιτικών μονάδων	40

2.2.1 Συνδυασμός του συστήματος overfire air με την επιλεκτική μη καταλυτική αναγωγή – ALSTOM	40
2.2.2 Μείωση οξειδίων του αζώτου με την τεχνολογία WIR	46
2.2.3 Η πρόταση της NALCO MOBOTEC για μείωση εκπομπών NOx.....	56
3.3 Συμπεράσματα	60
Κεφάλαιο 3 - Μελέτη τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου	62
3.1 Ο ατμοηλεκτρικός σταθμός Αγίου Δημητρίου.....	62
3.2 Παρούσα κατάσταση	63
3.3 Παράμετροι που συντελούν στην αποφυγή σχηματισμού οξειδίων του αζώτου	63
3.3.1 Κατανομή αέρα καύσης.....	63
3.3.1.1 Πρωτογενής αέρας.....	64
3.3.1.2 Δευτερογενής αέρας	64
3.3.1.3 Τριτογενής Αέρας.....	66
3.3.1.4 Αέρας στεγανοποίησης τεφρολεκάνης	68
3.3.1.5 Παρασιτικός αέρας.....	69
3.3.2 Μύλοι λιγνίτη.....	69
3.4 Μετασκευές μείωσης NOx στην Μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου	78
3.4.1 Μετατροπή του Overfire Air System 1.....	78
3.4.2 Τοποθέτηση Overfire Air System 2.....	81
3.4.3 Μετατροπή καυστήρων.....	86
3.4.4 Βαθμός Απόδοσης Μονάδας V	88
3.5 Μελλοντικές μετασκευές στις Μονάδες I-II-III-IV	88
3.6 Αλληλουχία ενεργειών για μείωση των NOx.....	89
3.6.1 Γενικά.....	89
3.6.2 Κατανομή αέρα και καυσίμου στον θάλαμο καύσης	89
3.7 Συμπεράσματα	90
Κεφάλαιο 4 - Μελέτη ειδικών εκπομπών, δεικτών εκπομπών και απωλειών καυσαερίων των ρύπων των μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου	92
4.1 Ειδικές εκπομπές και δείκτες εκπομπών ρύπων των μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.....	92
4.1.1 Ορισμός ειδικής εκπομπής και δείκτη εκπομπής	92
4.1.2 Ειδικές εκπομπές και δείκτες εκπομπών ρύπων Μονάδων I-IV	93
4.1.2.1 Διαγράμματα ειδικών εκπομπών ρύπων της μονάδας IV	94
4.1.2.2 Διαγράμματα δεικτών εκπομπών ρύπων της μονάδας IV	97

4.1.3 Ειδικές εκπομπές και δείκτες εκπομπών ρύπων Μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου.....	99
4.1.3.1 Διαγράμματα ειδικών εκπομπών ρύπων της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου.....	100
4.1.3.2 Διαγράμματα δεικτών εκπομπών ρύπων της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου.....	102
4.1.4 Ειδικές εκπομπές και δείκτες εκπομπών ρύπων Μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου.....	105
4.1.4.1 Διαγράμματα ειδικών εκπομπών ρύπων της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου.....	105
4.1.4.2 Διαγράμματα δεικτών εκπομπών ρύπων της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου.....	108
4.2 Σύγκριση ειδικών εκπομπών και δεικτών εκπομπών ρύπων των μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου	110
4.2.1 Σύγκριση ειδικών εκπομπών και δεικτών εκπομπών ρύπων της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης των οξειδίων του αζώτου.....	110
4.2.2 Σύγκριση ειδικών εκπομπών και δεικτών εκπομπών ρύπων της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης των οξειδίων του αζώτου και της μονάδας IV.....	116
4.3 Απώλειες καυσαερίων	121
4.3.1 Συγκριτικά διαγράμματα απωλειών καυσαερίων μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου	123
4.3.2 Συγκριτικά διαγράμματα απωλειών καυσαερίων μονάδας IV και V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου	126
4.4 Συμπεράσματα	129
Κεφάλαιο 5 – Συμπεράσματα - Προτάσεις	131
5.1 Συμπεράσματα	131
5.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία	132
Βιβλιογραφία	135
Παράρτημα Ι.....	137
Παράρτημα ΙΙ.....	145
Παράρτημα ΙΙΙ.....	153

Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζονται οι πηγές σχηματισμού των οξειδίων του αζώτου (NO_x), οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία καθώς και τα πρωτογενή και δευτερογενή μέτρα μείωσής τους σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, παρουσιάζονται εγκατεστημένες τεχνολογίες μείωσης NO_x σε υφιστάμενους σταθμούς, όπως και άλλες, προτεινόμενες από συγκεκριμένες εταιρείες.

Στη συνέχεια, δίνεται βάση στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου που εκμεταλλεύεται κοιτάσματα από το Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας και συγκεκριμένα αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τον σχηματισμό NO_x όπως ο αέρας που εισέρχεται στον λέβητα και οι μύλοι άλεσης και τροφοδοσίας λιγνίτη.

Ταυτόχρονα, εξετάζονται οι εγκατεστημένες τεχνολογίες στην Μονάδα V του σταθμού οι οποίες αποσκοπούν στην μείωση των εκπομπών NO_x, έτσι ώστε η Μονάδα να πληρεί τα ευρωπαϊκά όρια εκπομπών των 200 mg/Nm³. Οι τεχνολογίες αυτές είναι η τοποθέτηση συστήματος τριτογενούς αέρα στα 57 μέτρα καθ' ύψος του λέβητα (Over Fire Air 2), με σκοπό την καύση του εναπομείναντος καυσίμου. Επίσης, η μετατροπή του συστήματος τριτογενούς αέρα OFA 1 και συγκεκριμένα η σφράγιση δύο εκ των δώδεκα αρχικά οπών παροχής αέρα, καθώς πλέον εισέρχεται αέρας και από τον OFA 2. Ακόμη, μετατροπές έγιναν και στους καυστήρες του λέβητα οι οποίες περιελάμβαναν τη μείωση της διατομής εισαγωγής του δευτερογενούς αέρα και την τοποθέτηση μεταλλικών ελασμάτων με σκοπό την αποτελεσματικότερη διάχυση του καυσίμου και την αποφυγή δημιουργίας θερμών σημείων τα οποία συντελούν στον σχηματισμό NO_x.

Έπειτα, με βάση τα ημερήσια δεδομένα των Μονάδων του σταθμού και με σκοπό την σύγκριση των εκπομπών των ρύπων τους, υπολογίστηκαν οι ειδικές εκπομπές και οι δείκτες εκπομπών τους. Συγκεκριμένα, η σύγκριση αυτή έγινε στην Μονάδα V πριν και μετά την εγκατάσταση των τεχνολογιών μείωσης NO_x, αλλά και μεταξύ της Μονάδας V πριν τις μετασκευές με την Μονάδα IV του σταθμού η οποία εκ παραδοχής είναι όμοια με τις Μονάδες I, II και III. Ίδιες συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν μεταξύ αυτών των Μονάδων όσον αφορά και τις απώλειες καυσαερίων τους.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι ο βαθμός απόδοσης της Μονάδας V παρέμεινε ίδιος και μετά την εγκατάσταση των τεχνολογιών μείωσης NO_x. Επίσης, οι εκπομπές των NO_x δεν είναι στα επιθυμητά επίπεδα αν και αυτό πρόκειται να αλλάξει καθώς οι μετασκευές βρίσκονται ακόμα σε κατάσταση προσαρμογής στην λειτουργία της Μονάδας.

Ευχαριστίες

Με τη διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μας στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Θα θέλαμε λοιπόν, σε αυτό το σημείο, να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους που στάθηκαν δίπλα μας, σε ολόκληρη τη φοιτητική μας πορεία.

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας, που μας έδωσαν τη δυνατότητα να σπουδάσουμε παρά τις δύσκολες οικονομικές συγκυρίες της εποχής, και που πάντα μας στήριζαν και μας στηρίζουν στις επιλογές μας.

Επίσης, ευχαριστούμε ολόκληρο το ανθρώπινο δυναμικό της σχολής, για τις γνώσεις και τις εμπειρίες που με όρεξη και υπομονή μας μετέδωσαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα θέλαμε να αποδώσουμε στον κ. Νικολαΐδη Ιωάννη, Υποτομέαρχη Χημικής Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου για την πολύτιμη συνεισφορά του και που παρά του φόρτου εργασίας του μας μετέδωσε με υπομονή τις απαραίτητες γνώσεις και μας παρείχε τα δεδομένα και το υλικό για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε συγκεκριμένα τους διδάσκοντες κ.κ. Ανανία Τομπουλίδη και Δημήτριο Κολοκοτρώνη, προς τους οποίους αισθανόμαστε ευγνώμωνες για την ουσιαστική βοήθεια και συμμετοχή τους στην υλοποίηση της Διπλωματικής Εργασίας.

Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή

Έχει παρατηρηθεί ότι από την ανθρωπογενή δραστηριότητα παράγονται μια σειρά από επιβλαβείς αέριους ρύπους οι οποίοι επιφέρουν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην κατάσταση της ατμόσφαιρας και στην ανθρώπινη υγεία. Κύριες πηγές αυτών των ρύπων αποτελούν η βιομηχανική και οικιακή χρήση ορυκτών καυσίμων, τα οχήματα (μεταφορές), οι βιομηχανικές διεργασίες, οι φυσικές πηγές κτλ. Οι πιο επικίνδυνοι από αυτούς τους ρύπους είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξειδία του αζώτου (NO_x), τα οξειδία του θείου (SO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια, οι τοξικές, επικίνδυνες και ραδιενεργές ενώσεις καθώς και αυτές που περιέχουν αλογόνα.

Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου που παράγονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), και το υποξείδιο του αζώτου (N₂O). Το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου είναι γνωστά ως NO_x και αντιστοιχούν στο 90% των οξειδίων του αζώτου που παράγονται στις μεγάλες μονάδες καύσης.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η μελέτη των εκπομπών οξειδίων του αζώτου και των υπόλοιπων ρύπων στις λιγνιτικές μονάδες του ατμοηλεκτρικού σταθμού Αγίου Δημητρίου καθώς και των τεχνολογιών μείωσης αυτών. Η μελέτη αυτή έχει ως σκοπό την περιγραφή των εγκατεστημένων τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου (NO_x) και την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά το αν οι μονάδες του σταθμού έχουν επιτύχει τις απαιτούμενες μειωμένες εκπομπές ρύπων και συγκεκριμένα των NO_x ώστε να πληρούν τα ευρωπαϊκά όρια εκπομπών των 200 mg/Nm³.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται γενικά στοιχεία των χημικών ενώσεων NO_x, των πηγών σχηματισμού τους και των επιπτώσεων τους στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Επιπλέον, εξηγούνται τα μέτρα με τα οποία είναι δυνατό να αποφευχθεί ο σχηματισμός τους και να μειωθούν οι εκπομπές τους.

Οξειδία του αζώτου

1.1 Τι είναι τα οξειδία του αζώτου

1.1.1 Ορισμός οξειδίων του αζώτου

Με τον όρο οξειδία του αζώτου εννοούνται το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) που εμφανίζονται στον αέρα. Το άζωτο, που αποτελεί το 78% του όγκου της ατμόσφαιρας, σχηματίζει διάφορα οξειδία του αζώτου κατά την καύση του.

Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία της καύσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα του οξειδίου του αζώτου που σχηματίζεται. Προσπάθεια μείωσης των θερμοκρασιών καύσης οδηγεί σε μικρότερη παραγωγή NOx.

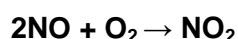
Το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Αντίθετα το διοξείδιο έχει δριμεία μυρωδιά. Μαζί με τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα μειώνει τη φωτεινότητα και δημιουργεί τη φωτοχημική αιθαλομίχλη.^[1]

1.1.2 Οξειδία του αζώτου και αντιδράσεις σχηματισμού

Οι σημαντικότερες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα και συμπεριλαμβάνουν NO, NO₂ και το N₂O, σύμφωνα με την εργασία [1] θα συνοψιστούν παρακάτω.

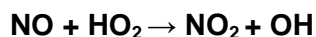
- **Σχηματισμός μονοξειδίου του αζώτου – NO:**

Είναι τοξικό και αποτελεί το 90-95% των εκπομπών NOx που προέρχονται από την καύση στερεών καυσίμων. Ο μέσος χρόνος ζωής του στην τροπόσφαιρα είναι μικρός, λεπτά ίσως και δευτερόλεπτα, αφού οξειδώνεται αμέσως σε NO₂ με την ακόλουθη αντίδραση:

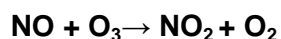


Αυτό πραγματοποιείται στην κατώτερη ατμόσφαιρα που το οξυγόνο είναι ευρέως διαθέσιμο.

Το ατμοσφαιρικό NO μπορεί επίσης να αντιδράσει με το υδροπεροξειδίο (HO₂), ένα φωτοχημικό προϊόν που προέρχεται από τη ρίζα υδροξυλίου (OH) και τα άτομα του υδρογόνου που υπάρχουν στον αέρα. Αποτέλεσμα είναι η απελευθέρωση υδροξυλίου (OH).



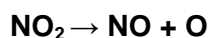
Στην κατώτερη τροπόσφαιρα/στρατόσφαιρα όπου το οξυγόνο δεν είναι άφθονο, το NO αντιδρά με το όζον οδηγώντας στην μείωση της προστατευτικής στοιβάδας του όζοντος.



- **Σχηματισμός διοξειδίου του αζώτου NO₂:**

Το διοξείδιο του αζώτου σχηματίζεται γρήγορα στην ατμόσφαιρα, από την οξειδωση του NO. Είναι τοξικός παράγοντας που μπορεί να βλάψει την ανθρώπινη υγεία.

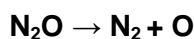
Η κυριότερη πηγή NO₂ στην ατμόσφαιρα είναι η ταχεία οξειδωση του NO. Αν και το NO₂ είναι προϊόν της καύσης ορυκτών καυσίμων, υπάρχει σε μικρό ποσοστό (5-10%) στα NO_x που μετριούνται αμέσως μετά την καύση. Η μετατροπή του NO₂ σε NO μπορεί να συμβεί με φωτόλυση. Από αυτήν την αντίδραση απελευθερώνεται το οξυγόνο το οποίο επίσης αντιδρά γρήγορα με το μοριακό οξυγόνο και παράγεται όζον.



Αυτή η αντίδραση ενισχύεται από την παρουσία υδρογονανθράκων, όπως αυτοί που υπάρχουν στο αστικό περιβάλλον. Το όζον που παράγεται με αυτόν τον τρόπο στην τροπόσφαιρα συνεισφέρει στο φωτοχημικό νέφος και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το όζον, σε υψηλές συγκεντρώσεις, είναι τοξικό για τον άνθρωπο.

- **Σχηματισμός υποξειδίου του αζώτου N₂O:**

Το N₂O είναι μια πολύ σταθερή χημική ένωση. Είναι σχετικά αδρανές χημικό, όμως απορροφά υπέρυθρη ακτινοβολία και έτσι συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στην στρατόσφαιρα το 90% του N₂O αποσυντίθεται με φωτόλυση και απελευθερώνεται μοριακό άζωτο.



Σχεδόν το 95% αντιδρά με ελεύθερες ρίζες οξυγόνου και παράγεται NO:



Αυτή είναι η κύρια πηγή NO στην στρατόσφαιρα. Έτσι το N₂O δρα άμεσα ως προς την μείωση του ατμοσφαιρικού όζοντος.^[1]

1.1.3 Επιπτώσεις των οξειδίων του αζώτου

Οι επιπτώσεις των NO_x μπορούν να χωριστούν τόσο σε επιπτώσεις παγκοσμίου χαρακτήρα όσο και τοπικού. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι η καύση ορυκτών καυσίμων είναι η κυριότερη πηγή εκπομπών NO_x.

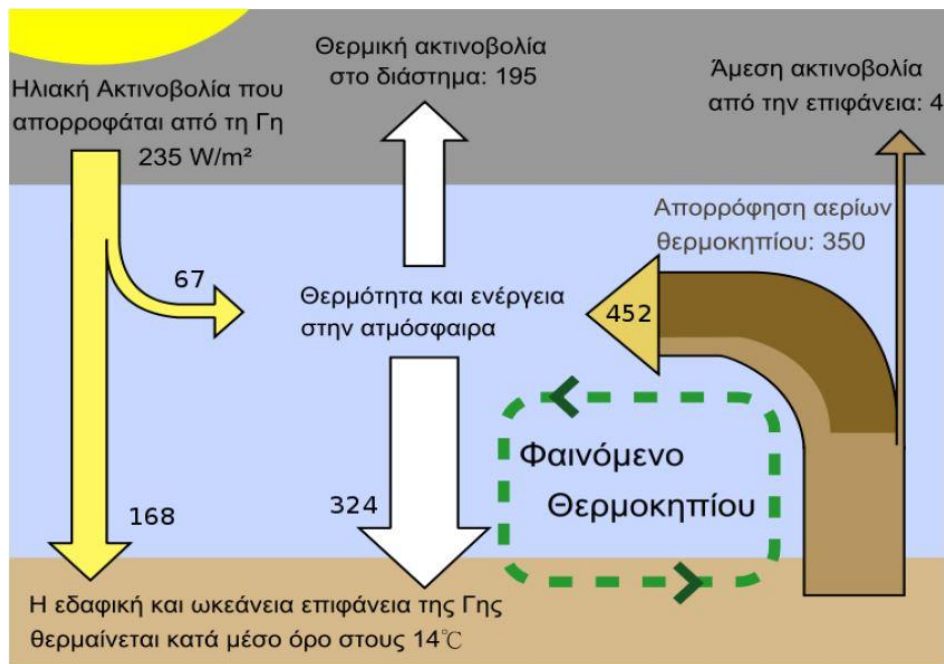
Οι επιπτώσεις παγκοσμίου χαρακτήρα είναι:

- **Φαινόμενο του θερμοκηπίου:**

Είναι μηχανισμός της φύσης ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία του πλανήτη 33 °C υψηλότερη από όσο θα ήταν αν δεν υπήρχαν τα αέρια του θερμοκηπίου. Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην γη απορροφάται κι επανεκπέμπεται με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Αυτή η υπέρυθρη ακτινοβολία απορροφάται και επανεκπέμπεται από τα αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, εμποδίζοντας κάποια θερμότητα να «χαθεί» προς το διάστημα.

Το N₂O ήταν υπεύθυνο σε ποσοστό 6% για το φαινόμενο του θερμοκηπίου την δεκαετία του 1980. Αν και η συγκέντρωση του N₂O είναι μικρή αν συγκριθεί με τις συγκεντρώσεις άλλων αερίων του θερμοκηπίου, ο χρόνος ζωής του στην ατμόσφαιρα είναι μεγάλος (150 χρόνια). Το φαινόμενο του θερμοκηπίου ανά μόριο N₂O είναι 290 φορές περισσότερο από αυτό του CO₂ για μια μεγάλη χρονική περίοδο (πάνω από 100 χρόνια). Παρ' όλα αυτά η συνεισφορά του CO₂ είναι μεγαλύτερη λόγω της μεγάλης του συγκέντρωσης του

στην ατμόσφαιρα. Η ροή ενέργειας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου φαίνεται στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1: Ροή ενέργειας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου^[1]

- **Σχηματισμός και μείωση του όζοντος:**

Από τις αντιδράσεις των NO_x μπορεί να παραχθεί O₃ στην κατώτερη τροπόσφαιρα όπου αυτό συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στο φωτοχημικό νέφος. Η στιβάδα του όζοντος προστατεύει την γη από ένα μεγάλο ποσοστό της υπεριώδους ακτινοβολίας που δέχεται. Η υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει καρκίνο του δέρματος και να καταστείλει το ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπου. Σχεδόν η μισή απώλεια όζοντος στην στρατόσφαιρα οφείλεται στην άμεση ή έμμεση δράση των NO_x. Αυτή τη στιγμή που η μετατροπή N₂O σε NO είναι η μεγαλύτερη πηγή NO στην στρατόσφαιρα, μια αύξηση στις εκπομπές N₂O θα οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση του όζοντος. Ο διπλασιασμός συγκέντρωσης N₂O στην ατμόσφαιρα μπορεί να οδηγήσει σε 12% μείωση του συνολικού στρατοσφαιρικού όζοντος.

Οι επιπτώσεις τοπικού χαρακτήρα είναι:

- **Φωτοχημικό νέφος**

Το φωτοχημικό νέφος είναι η γκρι ομίχλη που παρατηρείται σε αστικές περιοχές όπου η μόλυνση είναι μεγάλη. Η ομίχλη οφείλεται πρωτίστως στην συσσώρευση NO_x και υδρογονανθράκων που μπορούν να προκαλέσουν μείωση της ορατότητας όταν βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Αυτές οι χημικές ενώσεις αντιδρούν με την

παρουσία φωτός και παράγουν ρύπους, όπως το όζον, οι οποίοι και αυτοί με τη σειρά τους προκαλούν μείωση της ορατότητας.

Ένα άλλο αποτέλεσμα του σχηματισμού αυτής της ομίχλης είναι η ζημιά που προκαλείται στην ανθρώπινη υγεία. Αν και οι συγκεντρώσεις NO_x δεν είναι τόσο μεγάλες ώστε να προκαλέσουν αναπνευστικά προβλήματα, η παραγωγή όζοντος από τα καυσαέρια μπορεί να συμβάλλει σε αυτό. Η συγκέντρωση άλλων ρύπων στο φωτοχημικό νέφος, οι οποίοι παράγονται από τις αντιδράσεις NO_x μπορούν να βλάψουν άμεσα την ανθρώπινη υγεία.

- **Όξινη εναπόθεση:**

Όξινη εναπόθεση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να ορίσει την εναπόθεση όξινων χημικών (όπως τα νιτρώδη, νιτρώδη θειώδη και θειικά) από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια του πλανήτη (σε νερό και έδαφος). Αν και συχνά αναφέρεται ως όξινη βροχή, η εναπόθεση μπορεί να συμβεί μέσω βροχής, χιονιού, ομίχλης ακόμη και μέσω ξηρών σωματιδίων.

Όταν μελετάται το φαινόμενο της όξινης βροχής είναι δύσκολο να οριστεί ποιος ακριβώς παράγοντας ευθύνεται. Το PH της βροχής είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης NO_x, SO_x και άλλων χημικών. Κατά μέσο όρο τα NO_x και τα SO_x συνεισφέρουν κατά 30% και 70% αντίστοιχα στην τιμή του PH της βροχής, αν και αυτό μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Τα τελευταία χρόνια η συνολική συνεισφορά των NO_x στην όξινη βροχή αυξάνεται.

- **Επιπτώσεις στον άνθρωπο:**

Αν και ο μέσος όρος της συνολικής συγκέντρωσης NO_x μπορεί να είναι μικρός όσον αφορά την άμεση τοξικότητα διά της εισπνοής, η κατανομή των αερίων δεν είναι παντού ίδια. Μεγαλύτερη έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις συμβαίνει λόγω της συσσωρευμένης μόλυνσης από πηγές κοντά στο έδαφος, την οικιακή χρήση ορυκτών καυσίμων και την κίνηση οχημάτων.

Το NO όταν εισέρχεται στο σώμα σχηματίζει νιτρώδεις μορφές που οξειδώνουν τον σίδηρο στην αιμοσφαιρίνη καθιστώντας την αναποτελεσματική για να μεταφέρει οξυγόνο. Η ασφυχτική επίδρασή της αντίδρασης είναι πιο έντονη στα βρέφη, όπου καλείται βρεφική μεθαιμοσφαιριναιμία.

Το NO₂ είναι λιγότερο διαλυτό στο νερό από το SO₂ και επομένως μεταφέρεται περισσότερο μέσα στους πνεύμονες. Η έκθεση σε NO₂ ακόμη και σε μικρή δόση μπορεί

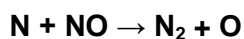
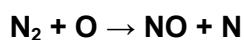
να προκαλέσει προβλήματα στα νεφρά, το ήπαρ, τη σπλήνα, στα ερυθρά και τα λευκά αιμοσφαίρια.

Υπάρχουν πολυάριθμες επιδράσεις από την έκθεση είτε σε NOx είτε σε NO₂. Εκτός από βρογχίτιδα και πνευμονία, αυτά τα αέρια μπορούν να προκαλέσουν αναπνευστικές μολύνσεις όπως γρίπη. Το κάπνισμα περιλαμβάνει την άμεση εισπνοή τοξικών χημικών, συμπεριλαμβανομένων των NOx.^[1]

1.2 Πηγές σχηματισμού NOx

Τα NOx σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της καύσης μέσω τριών διαφορετικών μηχανισμών: 1. θερμικό NOx, 2. καύσιμο NOx και 3. άμεσο NOx. Η κατανόηση των μηχανισμών που καθορίζουν το σχηματισμό των παραπάνω τριών τύπων NOx, επιτρέπει και την ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων ελέγχου και μείωσής τους.^[2]

1. **Θερμικό NOx:** Η ποσότητα του θερμικού NOx εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία και, ως εκ τούτου, εάν η θερμοκρασία είναι κάτω από 1000°C, οι εκπομπές είναι σημαντικά χαμηλότερες, και η σχηματιζόμενη ποσότητα NOx εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε άζωτο. Ο σχηματισμός του θερμικού μονοξειδίου του αζώτου λαμβάνει χώρα σε υψηλές θερμοκρασίες, μέσω ενός αργού μηχανισμού που ξεκινάει στη φλόγα και συνεχίζεται στην περιοχή των προϊόντων της καύσης πίσω από την φλόγα (η περιοχή μετά την αντίδραση).^[3]



Ο σχηματισμός του θερμικού NO αρχικά προτάθηκε από τον Zeldovich και χρησιμοποιεί ρίζες για την επίτευξη της αντίδρασης μεταξύ αζώτου και οξυγόνου του αέρα που χρησιμοποιείται στην καύση. Η δημιουργία θερμικού NO αναφέρεται στην αντίδραση υψηλής θερμοκρασίας μεταξύ αζώτου και οξυγόνου από τον αέρα καύσης. Κατά την καύση σχηματίζονται οξειδία του αζώτου λόγω θερμικής αζωτοδέυμησης (N₂ fixation) σε υψηλή θερμοκρασία. Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) αποτελεί το κύριο προϊόν ενώ το NO₂ σχηματίζεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Στις

περισσότερες σταθερές συσκευές καύσης, ο χρόνος παραμονής είναι πολύ μικρός όπως και οι συγκεντρώσεις οξυγόνου είναι επίσης πολύ μικρές που δεν επιτρέπουν σημαντικές ποσότητες NO να οξειδωθούν σε NO₂. Και οι θερμοδυναμικές και οι κινητικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο κατά το σχηματισμό θερμικού NOx και συνεπώς και η θερμοκρασία και η συγκέντρωση επηρεάζουν την παραγόμενη ποσότητα NOx. Ο ρυθμός αντίδρασης είναι στενά συνδεδεμένος με τη θερμοκρασία.^[2]

2. **Άμεσο NOx:** Αναπτύσσεται κυρίως από την αντίδραση υδρογονανθράκων με μοριακό άζωτο σε περιοχή φλόγας με λίγο οξυγόνο. Οι συγκεντρώσεις NOx κοντά στη ζώνη φλόγας για καύσιμα υδρογονάνθρακες επιδεικνύουν λιγότερη εξάρτηση από τη θερμοκρασία σε σχέση με αυτήν που θα αναμένονταν από θερμοδυναμικής και κινητικής θεώρησης με βάση το μηχανισμό Zeldovich που ισχύει για το θερμικό NOx. Κοντά στη ζώνη της φλόγας ρίζες όπως το O και το OH ενισχύουν το ρυθμό παραγωγής NOx. Κατά συνέπεια κάποια ποσότητα NOx θα σχηματιστεί ανεξάρτητα από έντονες παρεμβάσεις ρύθμισης της θερμοκρασίας της φλόγας και της περιεκτικότητας σε οξυγόνο.^[2]
3. **Καύσιμο NOx:** Προέρχεται από τα καύσιμα που περιέχουν οργανικό άζωτο (κυρίως άνθρακας ή βαρύ κλάσμα πετρελαίου). Κατά την καύση κονιοποιημένου άνθρακα, το καύσιμο NOx αποτελεί το 50% με 70% των συνολικών εκπομπών NOx. Οι δεσμοί άνθρακα – αζώτου μπορούν να διασπώνται ευκολότερα από τους δεσμούς διατομικού αζώτου οπότε ο ρυθμός σχηματισμού καύσιμου NOx μπορεί να είναι μεγαλύτερος από του θερμικού NOx. Τεχνικές ελέγχου της διαδικασίας καύσης που σκοπεύουν στη μείωση του θερμικού NOx μέσω της μείωσης θερμοκρασίας μπορεί να μην είναι αποτελεσματικοί για καύσιμα με υψηλό περιεχόμενο σε άζωτο. Ο σχηματισμός καύσιμου NOx εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες καύσης όπως η συγκέντρωση οξυγόνου και η περιεκτικότητα του καυσίμου σε άζωτο. Οι λέβητες καύσης κονιοποιημένου άνθρακα, των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες NOx. Υπάρχουν αρκετά είδη λεβητών, οι οποίοι διακρίνονται από τη μέθοδο τροφοδότησης του καυσίμου. Οι κύριες μέθοδοι τροφοδότησης της καύσης είναι: ο απλός ή ο αντικριστός τοίχος, οι κυκλωνικές και οι εφαπτομενικές μονάδες ανάφλεξης. Επίσης, βάσει των χαρακτηριστικών της τέφρας, οι λέβητες μπορεί να είναι ξηρού πυθμένα (αφαίρεση στερεάς τέφρας) ή υγρού πυθμένα (αφαίρεση λιωμένης τέφρας). Οι εκπομπές NOx ποικίλουν και εξαρτώνται από το είδος του καυσίμου και της

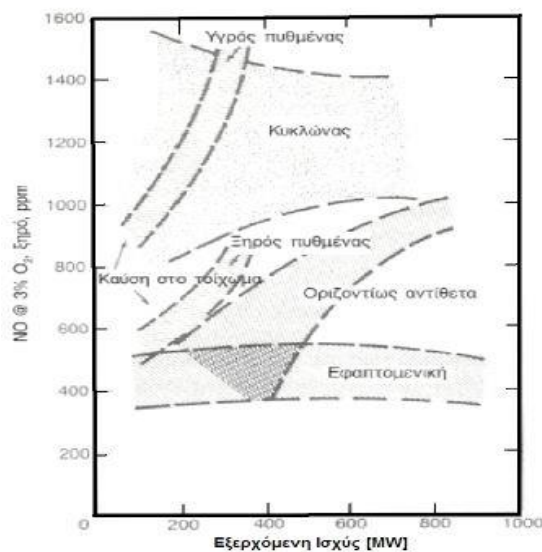
τροφοδότησης της φωτιάς. Μερικά παραδείγματα για τους συντελεστές εκπομπής (χωρίς ελέγχους) παρουσιάζονται στον πίνακα 1.1.^[2]

Πίνακας 1.1: Παραδείγματα συντελεστών εκπομπής^[2]

Είδος Λέβητα	Είδος Καυσίμου	Συντελεστές Εκπομπής ^α kg NO _x /Mg Άνθρακα (ή όπως δηλώνεται)
Κονιοποιημένος άνθρακας	Άνθρακίτης	9
Κονιοποιημένος άνθρακας Ξηρού πυθμένα	Ασφαλτούχος και υποασφαλτού- χος	10.5(7.5) ^β
Υγρού πυθμένα	Ασφαλτούχος και υποασφαλτού- χος	17
Κυκλώνας (θρυμματισμένου άνθρακα)	Ασφαλτούχος και υποασφαλτού- χος	18.5
Κονιοποιημένος άνθρακας	Λιγνίτης	6-7(4) ^β
Λέβητες μονάδων ηλεκτροπαραγωγής	Υπολειμματικό πετρέλαιο	5 ^γ
Εφαπτομενική τροφοδοσία καύσης	Υπολειμματικό πετρέλαιο	12.6 ^γ
Κατακόρυφη τροφοδοσία καύσης	Φυσικό αέριο	8.80 ^δ
Λοιποί (γενικά)	Υπολειμματικό πετρέλαιο	6.6 ^ε
Βιομηχανικοί λέβητες	Πετρέλαιο ως προϊόν απόσταξης	2.4 ^ζ
	Φυσικό αέριο	2.24 ^δ

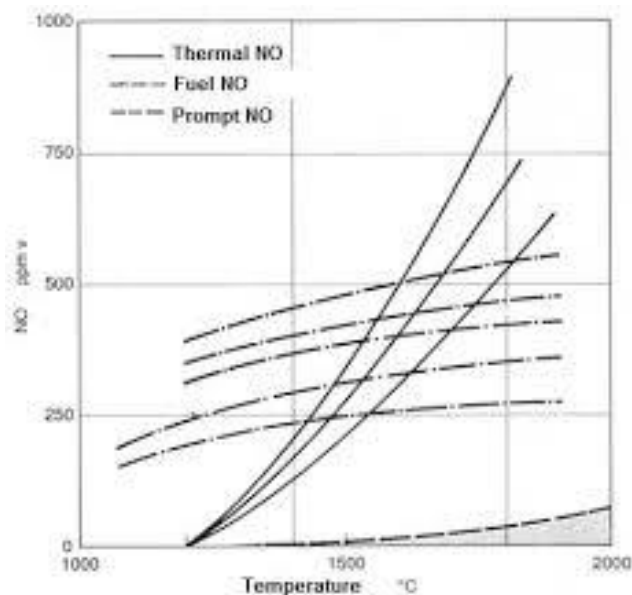
^α Το σύνολο των οξειδίων του αζώτου εκφράζονται ως NO₂.
^β Οι τιμές στις παρενθέσεις είναι για μονάδες με εφαπτομενική τροφοδοσία φωτιάς.
^γ Οι εκπομπές εκφράζονται σε kg NO₂ /1000 liters καιγόμενου πετρελαίου.
^δ Οι εκπομπές εκφράζονται σε kg NO₂ /1000 m³ καιγόμενου αερίου.
^ε Εκπομπές NO_x σε βιομηχανικούς λέβητες εξαρτώνται ισχυρά από την περιεκτικότητα σε άζωτο του υπολειμματικού πετρελαίου

Στο σχήμα 1.2 παρουσιάζονται αντιπροσωπευτικές περιοχές τιμών συγκεντρώσεων των NO_x για διάφορους τύπους λεβητών καύσης άνθρακα σε συνάρτηση με την εξερχόμενη ισχύ.



Σχήμα 1.2: Συγκεντρώσεις NO σε καυσάερια για λέβητες καυσίμου άνθρακα^[2]

Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζεται η κατανομή κάθε πηγής NOx σε σχέση με τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο λέβητα.



Σχήμα 1.3: Κατανομή πηγών NOx σε σχέση με τη θερμοκρασία του λέβητα^[4]

1.3 Τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών οξειδίων του αζώτου

Οι τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών οξειδίων του αζώτου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: πρωτογενή μέτρα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του σχηματισμού των NOx και τα δευτερογενή μέτρα που είναι μέτρα αντιμετώπισης των ήδη σχηματισμένων NOx. Στο σχήμα 1.4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τόσο τα πρωτογενή όσο και τα δευτερογενή μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου.^[3]



Σχήμα 1.4: Διάγραμμα πρωτογενών και δευτερογενών μέτρων μείωσης NOx^[3]

1.3.1 Πρωτογενή μέτρα για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου

Τα πρωτογενή μέτρα για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου έχουν στόχο τον έλεγχο των εκπομπών μεταβάλλοντας τις παραμέτρους λειτουργίας ή σχεδιασμού των μονάδων καύσης, έτσι ώστε να περιοριστεί ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου, ή να μετασχηματιστούν εντός του λέβητα τα ήδη σχηματισμένα οξείδια του αζώτου πριν από την απελευθέρωσή τους στην ατμόσφαιρα. Ο σκοπός των μέτρων αυτών είναι:

- μείωση του διαθέσιμου οξυγόνου στην περιοχή της αντίδρασης
- μείωση των θερμοκρασιών καύσης
- αποφυγή των αιχμών της θερμοκρασίας μέσω της εξομάλυνσης και της ταχείας ανάμειξης των αντιδραστηρίων στη φλόγα
- μείωση του χρόνου παραμονής σε υψηλές θερμοκρασίες
- μείωση των ήδη σχηματισμένων οξειδίων του αζώτου στο τέλος της φλόγας.^[3]

Οι παραπάνω σκοποί μπορούν να επιτευχθούν με τεχνικές πρωτογενών μέτρων που ακολουθούν.

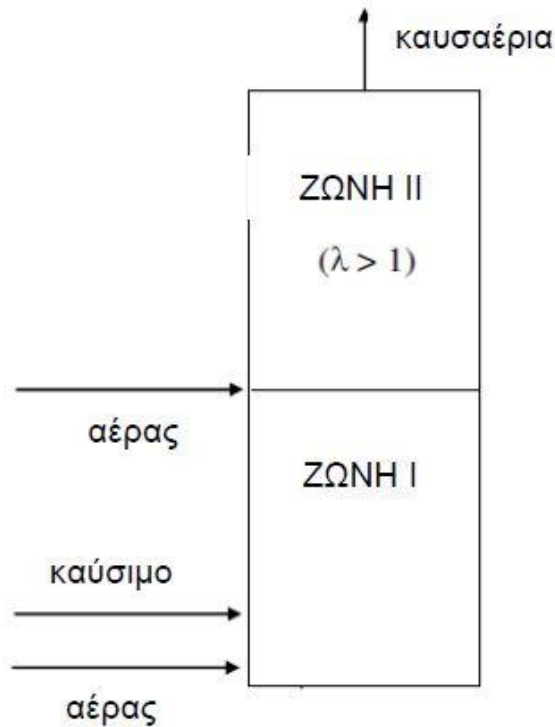
1.3.1.1 Μείωση της περίσσειας αέρα

Η διαδικασία μείωσης της περίσσειας αέρα απαιτεί ένα σύστημα ρύθμισης με ακρίβεια της αναλογίας αέρα-καυσίμου και μία ιδιαίτερα καλή μίξη αυτών στην περιοχή της αντίδρασης. Ο σχηματισμός θερμικού οξειδίου του αζώτου περιορίζεται με τη μείωση της διαθέσιμης ποσότητας οξυγόνου μέσα στην περιοχή της καύσης στην ελάχιστη απαιτούμενη για πλήρη καύση. Η ανεπαρκής εφαρμογή της διαδικασίας οδηγεί σε ατελή καύση και, έτσι, στην αύξηση της ποσότητας άνθρακα μέσα στην τέφρα. Αυτού του είδους οι (λανθασμένες) αλλαγές οδηγούν στη μείωση της αποδοτικότητας του λέβητα, σε σκωριοποίηση, διάβρωση και έναν γενικά αρνητικό αντίκτυπο στην απόδοση του λέβητα.^[3]

1.3.1.2 Καύση με σταδιακή παροχή αέρα

Η διαδικασία εφαρμόζεται στο επίπεδο του θαλάμου καύσης. Η μείωση των NO_x μέσω της σταδιακής εισαγωγής του αέρα βασίζεται στην ανάπτυξη δύο ξεχωριστών ζωνών καύσης εντός του θαλάμου καύσης όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5: μία πρωτογενή ζώνη,

χωρίς περίσσεια οξυγόνου, και μία δευτερογενή ζώνη, με πλεόνασμα οξυγόνου, ώστε να διασφαλιστεί η πλήρης καύση του καυσίμου. [3]

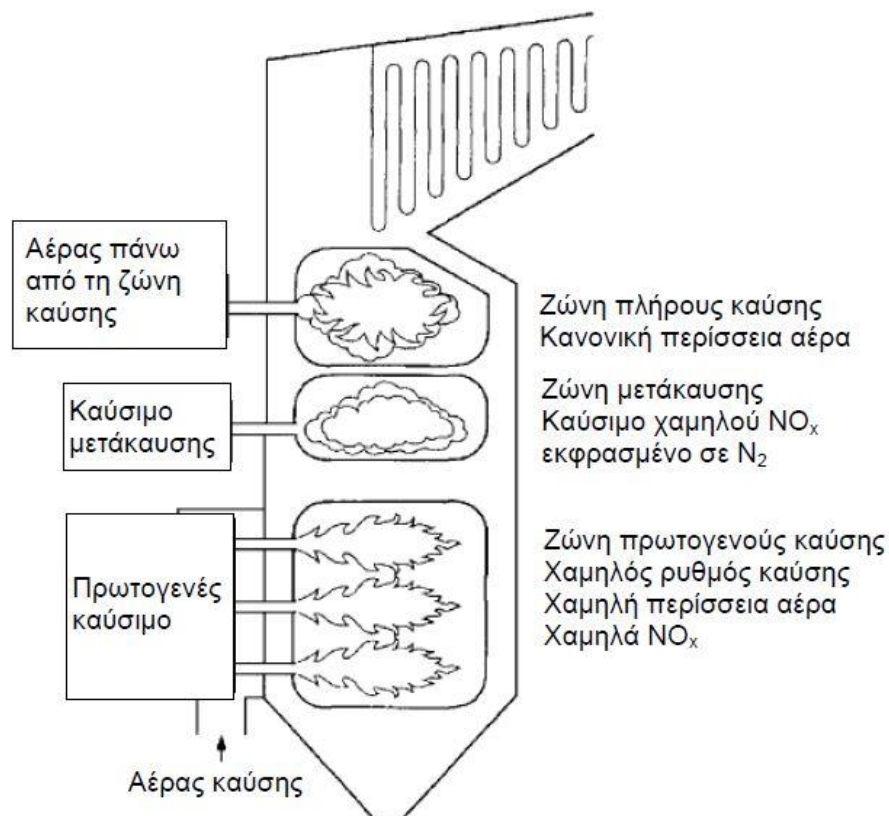


Σχήμα 1.5: Η αρχή εφαρμογής της καύσης με σταδιακή εισαγωγή του αέρα [3]

Η μέθοδος μειώνει την ποσότητα του οξυγόνου στην πρώτη ζώνη καύσης στο 70–90% της ζήτησης. Η υπο-στοιχειομετρική καύση καταστέλλει την μετατροπή του αζώτου από τον αέρα σε NOx. Επιπλέον, μειώνεται και ο σχηματισμός θερμικού NOx. Στη δεύτερη ζώνη, η καύση γίνεται πλήρης με την εισαγωγή του υπολειπόμενου απαραίτητου αέρα. Η χαμηλή θερμοκρασία στη δεύτερη ζώνη καύσης περιορίζει και αυτή την παραγωγή θερμικού NOx. Υπάρχουν όμως δύο σοβαρά μειονεκτήματα στην περίπτωση που δεν εφαρμόζεται ορθώς η διαδικασία, και αυτά είναι ο σχηματισμός μονοξειδίου του άνθρακα και η ατελής καύση του άνθρακα. [3]

1.3.1.3 Καύση με σταδιακή παροχή καυσίμου

Η διαδικασία καύσης με σταδιακή παροχή/εισαγωγή του καυσίμου περιλαμβάνει τη δημιουργία πολλών ζωνών στο θάλαμο καύσης, όπου τόσο το καύσιμο όσο και ο αέρας καύσης εισάγονται κατά στάδια. Στο σχήμα 1.6 παρουσιάζεται μία απεικόνιση της διαδικασίας. [3]



Σχήμα 1.6:Οι τρεις ζώνες καύσης^[3]

Η διαδικασία περιλαμβάνει την εμφάνιση τριών ζωνών εντός του θαλάμου καύσης:

- Το 85–90% του καυσίμου καίγεται στην πρωτογενή ζώνη, σε ένα περιβάλλον με σχετικά χαμηλή περίσσεια αέρα.
- Η υπόλοιπη ποσότητα του καυσίμου εισάγεται στη δεύτερη ζώνη (γνωστή ως ζώνη μετάκαυσης). Δημιουργούνται ρίζες υδρογονανθράκων, μειώνοντας τα οξειδία του αζώτου που είχαν προηγουμένως σχηματισθεί σε μοριακό άζωτο. Στη ζώνη της μετάκαυσης ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου μπορεί να διατηρηθεί σε χαμηλό επίπεδο μέσω των χαμηλών θερμοκρασιών καύσης.
- Στην τρίτη ζώνη, η καύση συμπληρώνεται με την προσθήκη του υπόλοιπου αέρα.^[3]

1.3.1.4 Ανακυκλοφορία των καυσαερίων

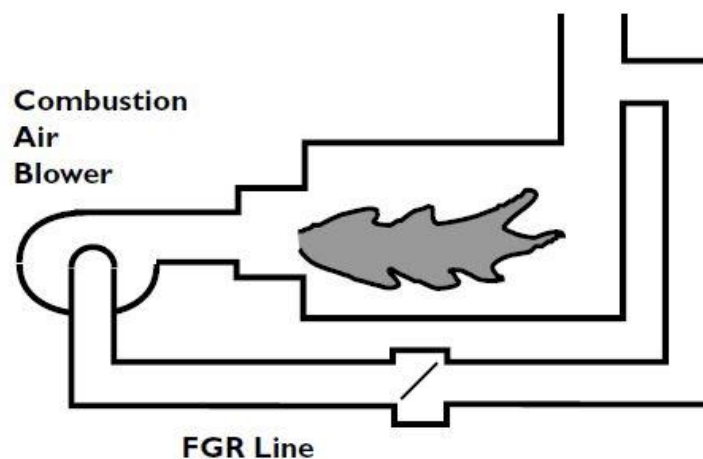
Η ανακυκλοφορία καυσαερίου (Flue Gas Recirculation - FGR) είναι μια πολύ αποτελεσματική μέθοδος μείωσης εκπομπών οξειδίων του αζώτου σε λέβητες και είναι σχετικά φθηνή στην εγκατάσταση. Η περισσότερη απο τη δουλειά που πραγματοποιήθηκε

τελευταία για την FGR έδειξε πως ανακυκλοφορώντας μέχρι το 25% του καυσαερίου μέσα στο λέβητα μπορεί να μειώσει τις εκπομπές NOx 25% από το αρχικό τους επίπεδο. Λόγω αυτής της επιτυχίας έχει διαδοθεί και τώρα φορείς βιομηχανικών διεργασιών ενδιαφέρονται για το αν η FGR μπορεί να κάνει το ίδιο και για αυτούς.

Η FGR μειώνει τα NOx με δύο τρόπους:

- Το ψυχρό, σχετικά αδρανές, ανακυκλοφορούμενο καυσαέριο δρα ως ψυκτικό μέσο, απορροφώντας θερμότητα από τη φλόγα και μειώνοντας τις μέγιστες θερμοκρασίες της.
- Όταν αναμιγνύεται με τον αέρα καύσης, το ανακυκλοφορούμενο καυσαέριο μειώνει τη μέση περιεκτικότητα οξυγόνου στον αέρα κάνοντας την αντίδραση για δημιουργία NOx να επιζητά τα συστατικά που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί.

Για την πραγματοποίηση της FGR, ο πιο απλός τρόπος είναι να χρησιμοποιηθεί ο φυσητήρας του αέρα καύσης για να ρουφήξει το καυσαέριο και να το αναμίξει με φρέσκο αέρα πριν την εισαγωγή του στον λέβητα όπως φαίνεται στο σχήμα 1.7. Αυτή η τεχνική είναι επίσης γνωστή και ως αλλοίωση του αέρα (air vitiation) και έχει εφαρμοστεί σε πολλούς τύπους λεβητών χωρίς άλλες μετατροπές. Ο δεύτερος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθεί ένας ξεχωριστός φυσητήρας για να τραβήξει το καυσαέριο και να το ωθήσει μέσω ενός συλλέκτη ή άλλης διάταξης μέσα στη φλόγα. Αυτό κανονικά απαιτεί εργοστασιακά τροποποιημένους καυστήρες. Και οι δύο μέθοδοι φαίνεται να είναι ισάξια αποτελεσματικές αν και συγκεκριμένοι σχεδιασμοί λεβήτων ανταποκρίνονται καλύτερα σε μια από τις δύο μεθόδους.

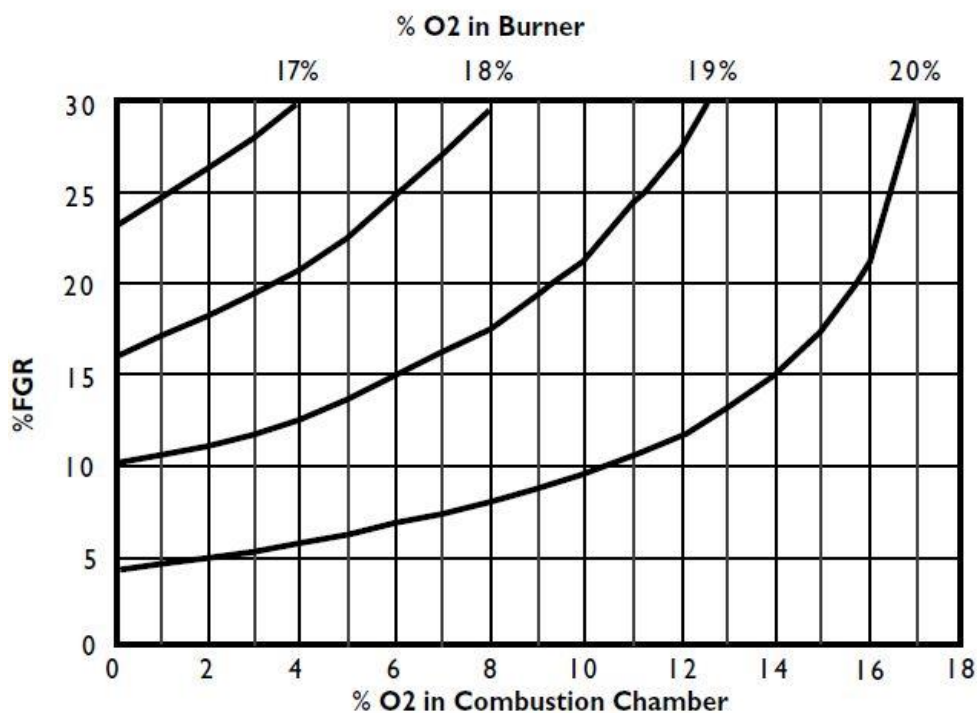


Σχήμα 1.7: FGR by Air Vitiation^[5]

Δυστυχώς, η FGR δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί παντού. Όπως προαναφέρθηκε η FGR λειτουργεί μειώνοντας και τη θερμοκρασία της φλόγας και το οξυγόνο στη ζώνη καύσης έτσι το καυσαέριο πρέπει να είναι σχετικά ψυχρό και να έχει αρκετά χαμηλό οξυγόνο. Ένας σύγχρονος λέβητας, για παράδειγμα, έχει καυσαέρια με θερμοκρασία το πολύ

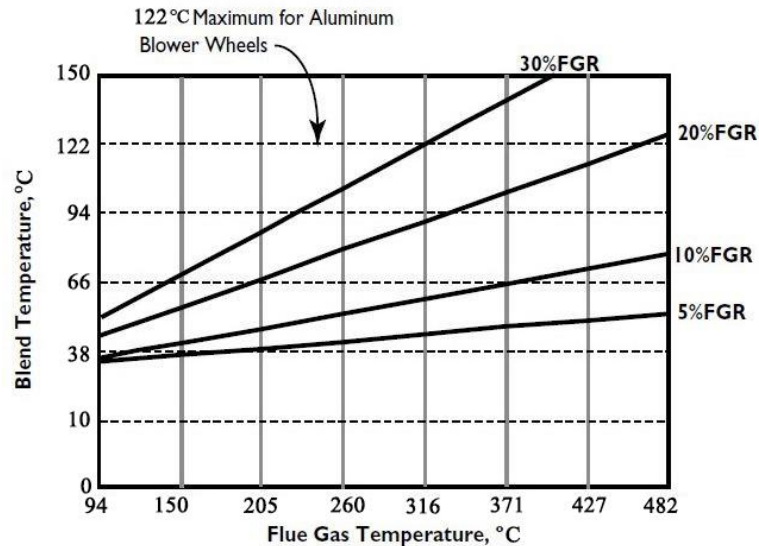
316°C και 5% O₂, συνθήκες ιδανικές για συστήματα FGR. Ωστόσο, πολλές βιομηχανικές διεργασίες έχουν καυσαέρια τα οποία είναι παραπάνω θερμά απ' όσο θα έπρεπε ή έχουν παραπάνω οξυγόνο και είναι άχρηστα.

Η εμπειρία λέει πως μειώνοντας τις εκπομπές NO_x σε σύγχρονους βιομηχανικούς λέβητες σε 30 ppm ή λιγότερο, απαιτείται μείωση της μέσης περιεκτικότητας του οξυγόνου στον αέρα καύσης στο 18% (ο φρέσκος αέρας περιέχει 20.9% O₂). Μαζί με αυτό και με την ποσότητα του οξυγόνου στο καυσαέριο μπορεί να προσδιοριστεί το ποσοστό της FGR που είναι απαραίτητη από το σχήμα 1.8. Αν, για παράδειγμα, ο θάλαμος καύσης περιέχει 4% O₂ και χρειάζεται 18% O₂ στον καυστήρα για να επιτευχθεί η μείωση των NO_x το σχήμα δείχνει πως το ποσοστό FGR που απαιτείται για να κάνει τη δουλειά είναι 20%.



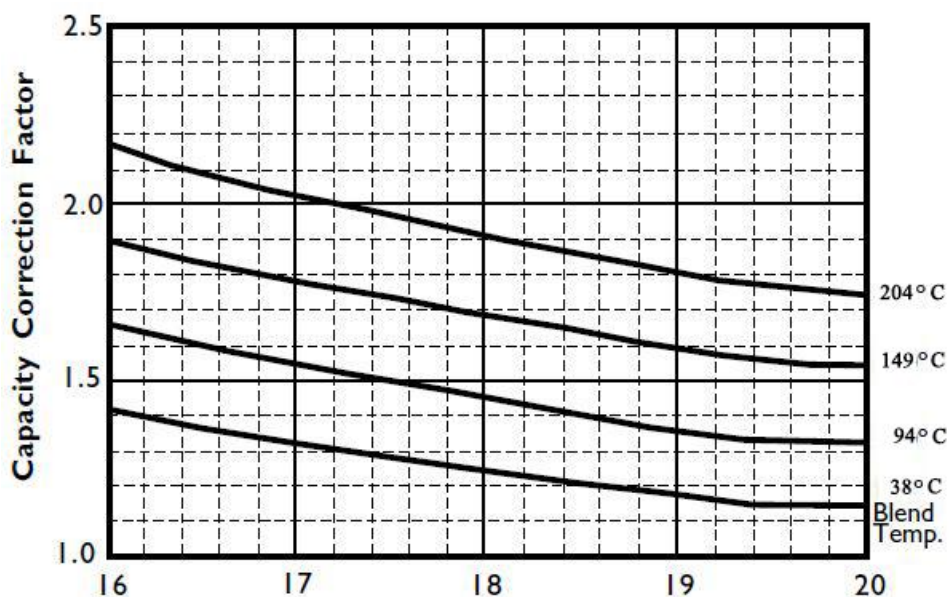
Σχήμα 1.8: Ποσοστό οξυγόνου στον καυστήρα σύμφωνα με το ποσοστό ανακυκλοφορίας καυσαερίου και το ποσοστό οξυγόνου στον θάλαμο καύσης^[5]

Κάτι άλλο που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι η θερμοκρασία του μίγματος αέρα/καυσαερίου στον φουσητήρα αέρα καύσης. Ας υποτεθεί πως ο κατασκευαστής απαγορεύει την έκθεσή του σε θερμοκρασία άνω των 122°C και το καυσαέριο έχει θερμοκρασία 372°C. Το σχήμα 1.9 δείχνει ότι ένα μίγμα που περιέχει 20% καυσαέριο των 372°C και το υπόλοιπο 80% αέρα, μπορεί να έχει θερμοκρασία 99°C, το οποίο είναι κάτω του ορίου για τον φουσητήρα, άρα μέσα στις προδιαγραφές για εγκατάσταση της FGR.



Σχήμα 1.9: Διάγραμμα ποσοστού ανακυκλοφορίας καυσαερίου σύμφωνα με την θερμοκρασία μίγματος και τη θερμοκρασία του καυσαερίου^[5]

Υπάρχουν όμως ακόμα πολλά άλλα πράγματα που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν. Το πρώτο είναι απώλεια ισχύος του καυστήρα. Αν αντικατασταθεί το 20% του αέρα καύσης με καυσαέριο χαμηλού οξυγόνου, πρέπει να μειωθεί το μέγεθος του καυστήρα για να αντισταθμίσει το μειωμένο βάρος του οξυγόνου που ρέει μέσα από αυτόν. Επίσης το μίγμα αέρα/καυσαερίου έχει αυξημένη θερμοκρασία. Στην περίπτωση καυστήρα με μίγμα 99°C που περιέχει 18% O₂ η ισχύς του καυστήρα είναι μόλις 67% της αρχικής. Η λύση είναι ένας υπερδιαστασιοποιημένος καυστήρας για να παρέχει την είσοδο που απαιτείται. Σε αυτήν την περίπτωση, θα χρειαστεί ένας καυστήρας με ισχύ κατά 50% αυξημένη των απαιτήσεων. Το σχήμα 1.10 δείχνει τους παράγοντες διόρθωσης της ισχύος για διάφορες θερμοκρασίες μίγματος αέρα/καυσαερίου και περιεκτικότητας σε οξυγόνο.



Σχήμα 1.10: Παράγοντες διόρθωσης της ισχύος^[5]

Το δεύτερο είναι η απώλεια σταθερότητας και ελαστικότητας του καυστήρα. Το πλεονέκτημα με τη μείωση της ταχύτητας της καύσης είναι τα μειωμένα NOx. Το μειονέκτημα είναι ότι μπορούν να επιτευχθούν υψηλότερες εκπομπές CO και άκαυστων υδρογονανθράκων και σωματιδίων. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, η καύση μπορεί να επηρεαστεί τόσο σημαντικά ώστε ο καυστήρας να γίνει ασταθής. Συνεπώς η FGR δεν είναι κάτι που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τυχαία. Απαιτεί, το λιγότερο, γνώση του πως θα λειτουργήσει ο καυστήρας κάτω από αυτές τις συνθήκες και συχνά καυστήρες ειδικά τροποποιημένους με σκοπό την ομαλή λειτουργία με την FGR.

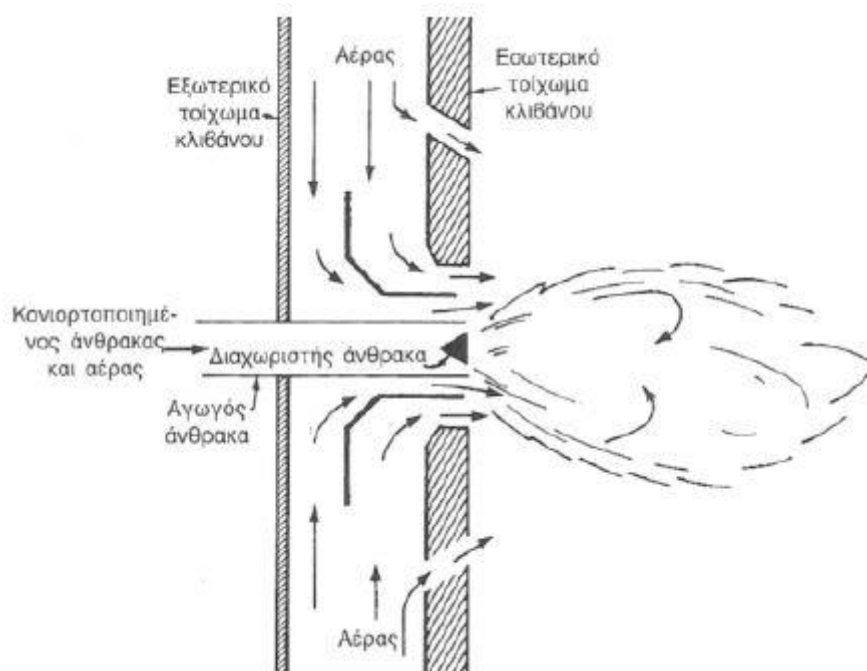
Τρίτον, ένα σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων απαιτεί προσοχή στη σχεδίαση των σωληνώσεων και του συστήματος ελέγχου. Πρέπει να είναι ικανό να δίνει την απαιτούμενη ροή σε όλες τις εκτιμώμενες συνθήκες λειτουργίας. Επίσης πρέπει να είναι ικανό να τη μειώσει με το ρυθμό καύσης για να αποφευχθούν προβλήματα με την απόδοση του καυστήρα και με τη μόλυνση από παρασιτικό αέρα. Τέλος πρέπει να είναι καλά μονωμένο ή φραγμένο για να προστατευθούν οι άνθρωποι που βρίσκονται γύρω από το σύστημα.^[5]

1.3.1.5 Καυστήρες χαμηλών εκπομπών NOx

Νέοι καυστήρες χαμηλών εκπομπών NOx εκπροσωπούν την πλέον συνηθισμένη τροποποίηση στο σχεδιασμό εξοπλισμού για τη μείωση σχηματισμού των NOx και σχεδιάζονται για να διαβαθμίζουν είτε τον αέρα ή το καύσιμο στον καυστήρα. Οι καυστήρες χαμηλής εκπομπής NOx δεν είναι μόνο αποτελεσματικοί σε νέα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν και σε προγράμματα εκσυγχρονισμού παλαιών εγκαταστάσεων.

Η αρχή λειτουργίας τους είναι παρόμοια με αυτή της διαβάθμισης αέρα μέσω εισαγωγής του σε υψηλότερα από τη φλόγα επίπεδα (OFA) ή της διαβάθμισης καυσίμου μέσω επανάκαυσης. Σε καυστήρες διαβάθμισης αέρα, στην πρωτογενή φλόγα χρησιμοποιείται πλούσιο μίγμα καυσίμου – αέρα και η χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου ελαχιστοποιεί το σχηματισμό NOx. Επιπλέον αέρας εισάγεται έξω από την πρωτογενή φλόγα όπου επικρατεί χαμηλή θερμοκρασία και έτσι διατηρείται η συγκέντρωση NOx σε χαμηλά επίπεδα αλλά σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία για τη συμπλήρωση της καύσης. Οι καυστήρες χαμηλών εκπομπών NOx παρεμποδίζουν το σχηματισμό NOx με τον έλεγχο του μίγματος αέρα και καυσίμου. Διαφορετικοί κατασκευαστές καυστήρων, χρησιμοποιούν διαφορετικό εξοπλισμό για τον έλεγχο του μίγματος καυσίμου – αέρα. Οι δοκιμές δείχνουν ότι οι καυστήρες χαμηλής εκπομπής NOx μειώνουν της εκπομπές NOx κατά 40-60% σε σύγκριση με παλαιότερους συμβατικούς καυστήρες.

Η απόσταση μεταξύ των καυστήρων μπορεί να επηρεάσει το σχηματισμό των NOx. Σε ένα μεγάλο λέβητα ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας, μπορεί να υπάρχουν δεκαπέντε έως είκοσι καυστήρες στο μπροστινό τοίχωμα. Με όλες τις φλόγες να συγχωνεύονται εξαιτίας των στενών διαστημάτων, προκύπτουν υψηλές θερμοκρασίες και κατά συνέπεια μεγαλύτερος σχηματισμός NOx, ειδικά στο κεντρικό τμήμα του λέβητα. Σε νεότερους σχεδιασμούς προβλέπονται μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των καυστήρων. Αυτή η στρατηγική παρουσιάζει λιγότερη αλληλεπίδραση μεταξύ των φλογών και περισσότερη ψύξη με ακτινοβολία της κάθε μιας φλόγας χωριστά. Το σχήμα 1.11 απεικονίζει την διάταξη ενός καυστήρα χαμηλών εκπομπών NOx.^[2]



Σχήμα 1.11: Σχηματικό διάγραμμα καυστήρα κονιορτοποιημένου άνθρακα χαμηλών εκπομπών NOx^[2]

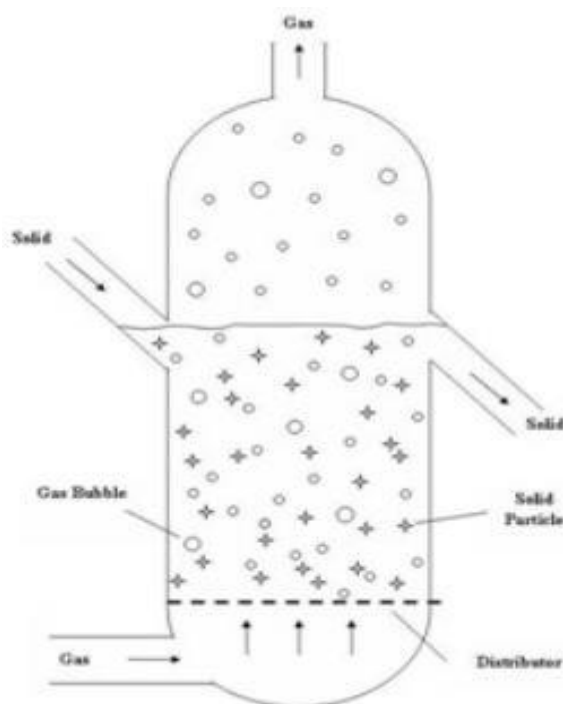
Η αύξηση των διαστημάτων μεταξύ καυστήρων σε μεγαλύτερους λέβητες εμποδίζει το σχηματισμό NOx με παρόμοιους τρόπους. Γενικά, μεγαλύτεροι κλειστοί χώροι εξασφαλίζουν περισσότερο χρόνο για την ολοκλήρωση της καύσης με τη χρησιμοποίηση μη-στοιχειομετρικών καυστήρων. Επίσης, μεγαλύτεροι κλειστοί χώροι εξασφαλίζουν περισσότερη επιφάνεια αυλών νερού προκειμένου να πετύχουν την ίδια ποσότητα μεταφοράς θερμότητας από φλόγες με χαμηλότερη θερμοκρασία. Τελικά, μεγαλύτεροι κλειστοί χώροι μειώνουν την τυρβώδη ανάμιξη καυσίμου και αέρα, με την οποία παρεμποδίζεται ο σχηματισμός NOx (ιδιαίτερα του καύσιμου NOx).

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μείωση του άμεσου NOx είναι ο περιορισμός και συρρίκνωση των περιοχών με πλούσιο μίγμα καυσίμου η χρήση καυστήρων προανάμιξης

ή ταχείας ανάμιξης, καθώς και η διάλυση του καυσίμου μέσω της προσθήκης ατμού στην τροφοδοσία καυσίμου και η εισαγωγή στο καύσιμο ανακυκλοφορούντων καυσαερίων.^[2]

1.3.1.6 Ρευστοποιημένη κλίνη

Ως ρευστοποιημένη κλίνη εννοούμε μια κλίνη σωματιδίων τα οποία κινούνται τυχαία και ασταμάτητα με την βοήθεια μιας ρευστής φάσης με αποτέλεσμα να δημιουργείτε μια ρευστοαίωρηση όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.12. Στην κλίνη υπάρχουν αυλοί ατμοποίησης του νερού.^[6]



Σχήμα 1.12: Σχηματική παράσταση της αρχής λειτουργίας θαλάμου καύσης ρευστοποιημένης κλίνης^[7]

Σε μια ρευστοποιημένη κλίνη μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη μείωση των οξειδίων του αζώτου διότι η καύση πραγματοποιείται σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας η οποία κυμαίνεται από τους 840°C μέχρι και τους 950°C και δεν δημιουργούνται τοπικά θερμά σημεία. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση αδρανούς υλικού όπως ο ασβέστης, ωστόσο ο ασβέστης σε συνδιασμό με το διοξείδιο του θείου (SO_2) που παράγεται από την καύση σχηματίζει γύψο και για αυτό το λόγο γίνεται χρήση της άμμου ως αδρανές υλικό η οποία έχει την ιδιότητα να διατηρεί την θερμοκρασία μιας μάζας σταθερή για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα.^{[6][7]}

Το εύρος της παροχής καυσίμου κυμαίνεται από 0,5 tn/hr μέχρι 100 tn/hr. Συγκεκριμένα, στο 100% της συνολικής μάζας που περιέχεται στην ρευστοποιημένη κλίνη (καύσιμο και αδρανές υλικό) το 1% είναι το καύσιμο και το 99% το αδρανές υλικό το οποίο και παραμένει στον θάλαμο.^{[6][7]}

Συνοψίζοντας, η ρευστοποιημένη κλίνη είναι μία ιδανική λύση για καύση λιγνίτη της ευρύτερης περιοχής του λεκανοπεδίου Δυτικής Μακεδονίας καθώς οι μεγάλες διακυμάνσεις στην ποιότητα του καυσίμου δεν επηρεάζουν τη θερμοκρασία της καύσης αφού επιτυγχάνεται σταθερή θερμοκρασία λόγω της παρουσίας του αδρανούς υλικού και επιπλέον έχουμε λιγότερες εκπομπές σε NOx. Ωστόσο, δεν έχουν κατασκευαστεί μονάδες μεγαλύτερες από 300MW και υπάρχουν ελαφρώς υψηλότερα κόστη λειτουργίας και συντήρησης σε σύγκριση με μονάδες κονιοποιημένου άνθρακα. Αποτελεί ιδανικό τρόπο καύσης απορριμάτων και βιομάζας.^{[6][7]}

1.3.2 Δευτερογενή μέτρα για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου

Η εφαρμογή των πρωτογενών μέτρων για τη μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου οδηγεί στη σημαντική μείωση της συγκέντρωσής τους στα καυσαέρια που απάγονται από το θάλαμο καύσης. Ωστόσο, δεν επαρκούν για την ικανοποίηση των διεθνών κανόνισμών για τις εκπομπές NOx.

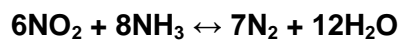
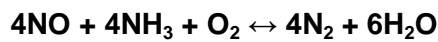
Τα δευτερογενή μέτρα περιλαμβάνουν τη δέσμευση των οξειδίων του αζώτου από τα καυσαέρια, πριν από την απαγωγή τους μέσω της καπνοδόχου στο περιβάλλον. Οι περισσότερες τεχνολογίες καυσαερίων που αφορούν στη μείωση των εκπομπών NOx βασίζονται στην έγχυση αμμωνίας, ουρίας ή άλλων ενώσεων που αντιδρούν με τα NOx των καυσαερίων για την αναγωγή τους σε μοριακό άζωτο. Το ειδικό κόστος επένδυσης καθώς και τα ειδικά λειτουργικά κόστη των μέτρων αυτών είναι μεγαλύτερα από τα κόστη που σχετίζονται με τα πρωτογενή μέτρα. Τα δευτερογενή μέτρα διακρίνονται:

- στην επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (Selective Catalytic Reduction-SCR), και
- την επιλεκτική μη καταλυτική αναγωγή (Selective Non Catalytic Reduction-SNCR).^[3]

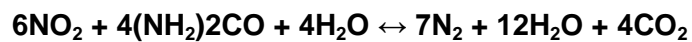
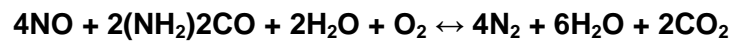
1.3.2.1 Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR)

Η διαδικασία της επιλεκτικής καταλυτικής αναγωγής των οξειδίων του αζώτου αφορά τη χρήση αμμωνίας ή ουρίας με την παρουσία καταλύτη. Το αναγωγικό μέσο εγχύεται στα καυσαέρια πριν από τον καταλύτη. Η μετατροπή των NO_x συμβαίνει στην επιφάνεια του καταλύτη, σε μία θερμοκρασία που γενικά κυμαίνεται μεταξύ 170 και 510°C, μέσω μίας εκ των ακόλουθων βασικών αντιδράσεων:

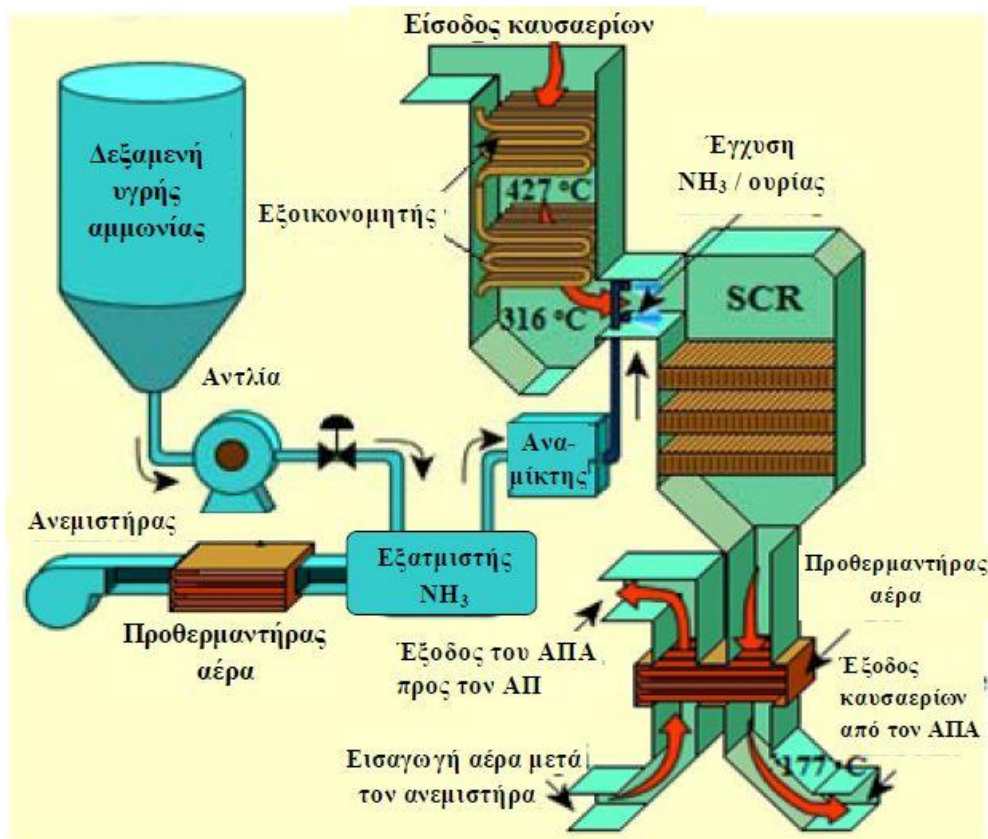
- Με αμμωνία ως αναγωγικό μέσο



- Με ουρία ως αναγωγικό μέσο



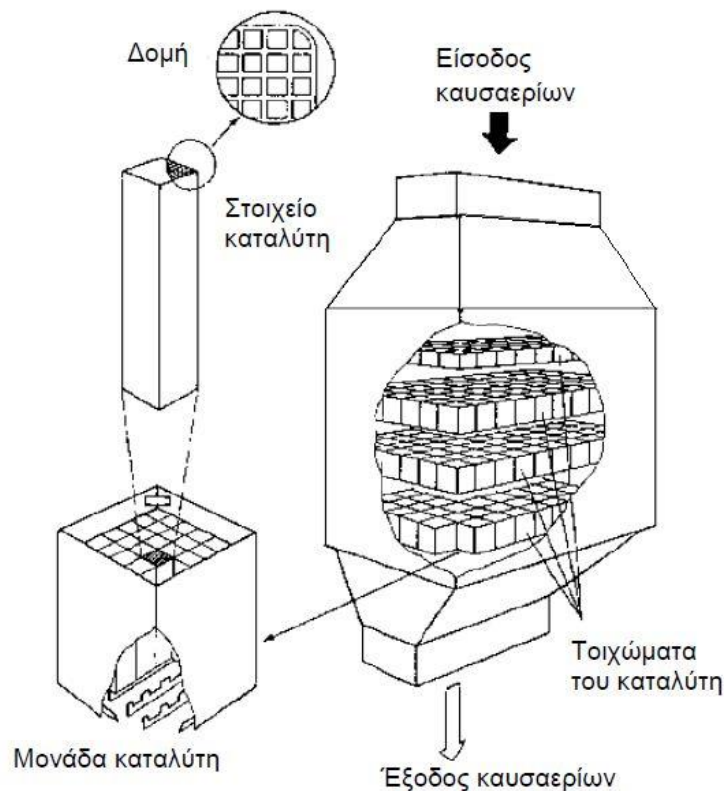
Όταν χρησιμοποιείται η αμμωνία ως αναγωγικό μέσο, αυτή διατηρείται ως υδατικό διάλυμα ή σε υγροποιημένη κατάσταση.^[3]



ΑΠΑ - Αναγεννητικός προθερμαντήρας αέρα, ΑΠ - Ατμοπαραγωγός
 Σχήμα 1.13: Διάταξη ενός συστήματος SCR^[3]

Η μονάδα θα πρέπει να τοποθετείται πριν από τον αναγεννητικό προθερμαντήρα του αέρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.13, προκειμένου η θερμοκρασία του αερίου να ανταποκρίνεται στο βέλτιστο εύρος δράσης του καταλύτη. Οι καταλύτες που χρησιμοποιούνται μπορούν να έχουν διάφορα γεωμετρικά σχήματα, όπως κηρήθρας ή πλάκας. Οι καταλύτες μπορεί να κατασκευάζονται από οξειδία βαρέων μετάλλων, ζεόλιθους, οξειδία σιδήρου ή ενεργό άνθρακα. Οι επιδόσεις και ο χρόνος ζωής τους επηρεάζονται έντονα από τη συγκέντρωση σκόνης στα καυσαέρια.

Οι καταλύτες κατασκευάζονται με διάφορες διαμέτρους καναλιών. Η επιλογή διαμέτρου βελτιστοποιείται σύμφωνα με την περιεκτικότητα της σκόνης στα καυσαέρια, τα χαρακτηριστικά της σκόνης και την απώλεια πίεσης που λαμβάνει χώρα στη μονάδα SCR. Τα επιμέρους στοιχεία του καταλύτη συσκευάζονται όλα μαζί σε μία λειτουργική μονάδα και τοποθετούνται κατά στρώματα στη μονάδα SCR όπως φαίνεται στο σχήμα 1.14.



Σχήμα 1.14: Διάρθρωση μιας μονάδας SCR^[3]

Τα κύρια πλεονεκτήματα της τεχνολογίας SCR είναι τα εξής:

- η διαδικασία SCR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλά από τα καύσιμα που εν γένει χρησιμοποιούνται στις διεργασίες καύσης, όπως είναι το φυσικό αέριο ή τα προϊόντα πετρελαίου, καθώς και τα αέρια διεργασιών και ο άνθρακας
- η μετατροπή των NOx δεν οδηγεί στη δημιουργία ρυπογόνων παραπροϊόντων
- η παραγωγή των NOx μπορεί να μειωθεί κατά 90% ή περισσότερο
- η γενικότερη μείωση των εκπομπών NOx εξαρτάται από την SCR και τα πρωτογενή μέτρα^[3]

2.3.2.2 Επιλεκτική μη καταλυτική αναγωγή (SNCR)

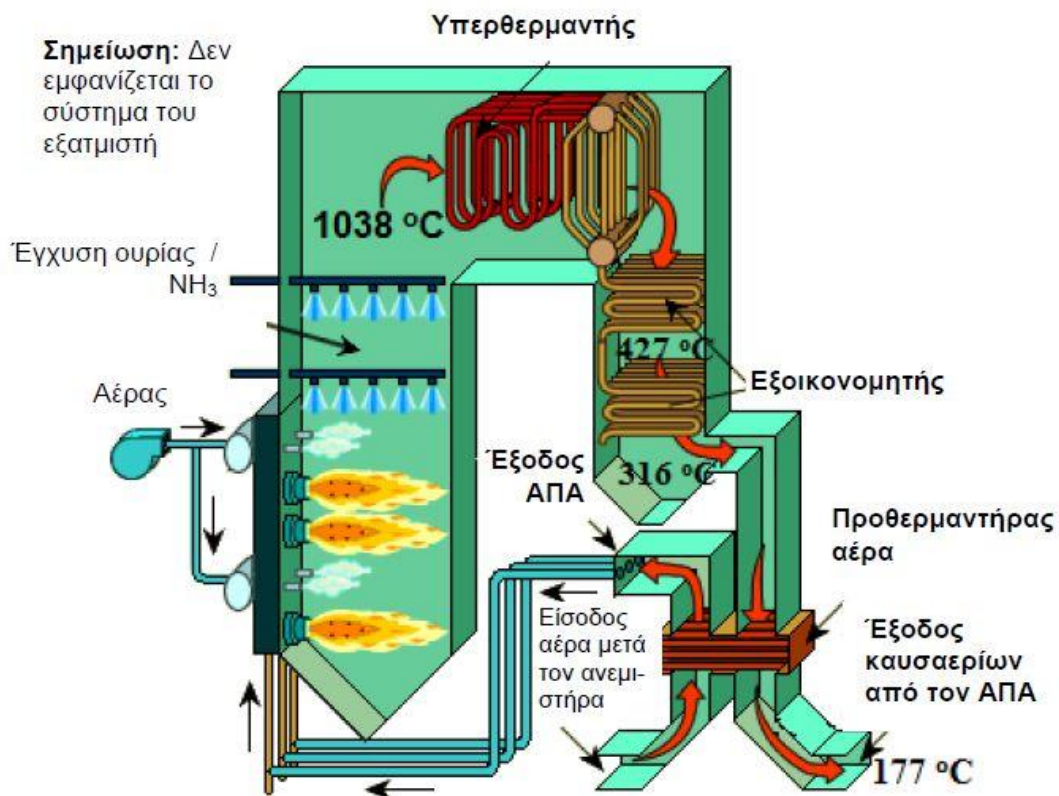
Η διεργασία συνίσταται στην έγχυση αμμωνίας (ως διάλυμα) ή ουρίας απευθείας στο άνω μέρος του ατμοπαραγωγού. Χρησιμοποιώντας την αμμωνία ως αντιδραστήριο, λαμβάνουν χώρα σχεδόν ταυτόχρονα οι ακόλουθες αντιδράσεις:

- $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$ (οξειδωση)
- $4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ (αναγωγή)

Μία διάταξη SNCR αποτελείται από δύο λειτουργικές μονάδες:

- Τη μονάδα αποθήκευσης του αντιδραστηρίου, που περιλαμβάνει την αποθήκευση, την ψύξη και την εξάτμιση του αντιδραστηρίου.
- Το κυρίως σύστημα SNCR, στο οποίο λαμβάνει χώρα η έγχυση του αντιδραστηρίου και η αντίδραση μεταξύ των οξειδίων του αζώτου με άζωτο και νερό.

Η βέλτιστη θερμοκρασία αντίδρασης κυμαίνεται σε ένα διάστημα το οποίο πρέπει να τηρείται αυστηρά και είναι μεταξύ 850 και 1100°C. Πάνω από αυτό το διάστημα η αμμωνία οξειδώνεται κι έτσι παράγεται ακόμη περισσότερο οξείδιο του αζώτου, ενώ κάτω από αυτό, ο ρυθμός μετατροπής είναι πολύ χαμηλός και η αμμωνία απελευθερώνεται στον αέρα. Ένας ατμοπαραγωγός που είναι εξοπλισμένος με ένα σύστημα SNCR θα πρέπει να διαθέτει αρκετά σημεία έγχυσης της αμμωνίας, έτσι ώστε, ανεξαρτήτως του φορτίου, η αντίδραση να λαμβάνει χώρα στο βέλτιστο εύρος θερμοκρασιών.^[3]



Σχήμα 1.15: Διάταξη ενός συστήματος SNCR^[3]

Για την επαρκή λειτουργία της διεργασίας SNCR είναι σημαντικές οι εξής συνθήκες:

- να υπάρχει πλήρης ανάμιξη των καυσαερίων με την NH_3 , και
- η έγχυση της NH_3 να γίνεται στη βέλτιστη θερμοκρασία σε όλα τα επίπεδα φορτίου του ατμοπαραγωγού.

Ο εξοπλισμός της διεργασίας SNCR, η διάταξη της οποίας απεικονίζεται στο σχήμα 1.15, εγκαθίσταται εύκολα και δεν απαιτεί πολύ χώρο, ακόμη και εάν, όπως ισχύει σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, απαιτούνται περισσότερα ενός επίπεδα έγχυσης. Η διεργασία SNCR χαρακτηρίζεται από ένα χαμηλό ρυθμό αναγωγής, και ως εκ τούτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε λέβητες με ήδη χαμηλό επίπεδο εκπομπών. Μπορεί επίσης να είναι χρήσιμη σε λέβητες που εφαρμόζουν ήδη μία πρωτογενή τεχνική μείωσης. Ωστόσο, δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τους λέβητες με διακυμάνσεις του φορτίου ή με μεταβλητή ποσότητα καυσίμου.^[3]

1.3.3 Σύνοψη της απόδοσης των μέτρων μείωσης των NO_x

Πίνακας 1.2: Σύνοψη της απόδοσης των πρωτογενών μέτρων μείωσης των NO_x ^[3]

Διεργασία		Αποδοτικότητα	Περιορισμοί
Χαμηλή περισσεια αέρα		10 – 44%	ατελής καύση
Καύση με σταδιακή παροχή αέρα		10 – 65% (40% άνθρακας, 45% ασφαλτούχος άνθρακας, 65% ΦΑ)	ατελής καύση
Ανακυκλοφορία καυσαερίων		20 – 50% (< 20% άνθρακας, 30-50% ΦΑ)	αστάθεια φλόγας
Καυστήρες χαμηλών εκπομπών NO_x	Με σταδιακή διοχέτευση αέρα	25 – 35%	αστάθεια φλόγας ατελής καύση
	Με σταδιακή διοχέτευση καυσίμου	50 – 60%	

Πίνακας 1.3: Σύνοψη της απόδοσης των δευτερογενών μέτρων μείωσης των NO_x ^[3]

Διεργασία	Αποδοτικότητα	Άλλες επιδόσεις	
		Παράμετρος	Τιμή
Καταλυτική επιλεκτική αναγωγή	80 – 95%	Θερμοκρασία λειτουργίας	320-420°C (διάταξη πριν το φίλτρο σκόνης) 260-320°C (διάταξη πίσω από το φίλτρο σκόνης)
		Αναγωγικό μέσο	Αμμωνία / ουρία
		Κατανάλωση ηλεκτρισμού	0.5% (διάταξη πριν το φίλτρο σκόνης) 2% (διάταξη πίσω από το φίλτρο σκόνης)
		Απώλεια πίεσης	0.4 – 1 kPa
Μη επιλεκτική καταλυτική αναγωγή	30 – 50 (80)%	Θερμοκρασία λειτουργίας	850 – 1050°C
		Αναγωγικό μέσο	Αμμωνία / ουρία
		Κατανάλωση ηλεκτρισμού	0.1 – 0.3 %

1.4 Συμπεράσματα

Με τον όρο οξειδία του αζώτου εννοούνται το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), που εμφανίζονται στον αέρα. Η ποσότητα των οξειδίων που σχηματίζεται εξαρτάται από το πόσο υψηλή είναι η θερμοκρασία της καύσης.

Τα NO_x σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της καύσης μέσω τριών διαφορετικών μηχανισμών, του θερμικού NO_x, του καύσιμου NO_x και του άμεσου NO_x. Σε υψηλές θερμοκρασίες του λέβητα δημιουργούνται άμεσα και θερμικά NO_x σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ενώ το καύσιμο NO_x παρατηρείται να διατηρεί μια κατά προσέγγιση σταθερή συγκέντρωση σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών του λέβητα (σχήμα 1.3).

Ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου έχει σημαντικές επιπτώσεις αφενός στο περιβάλλον και αφετέρου στην ανθρώπινη υγεία. Για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητη η μείωση των εκπομπών τους και αυτή επιτυγχάνεται με μια σειρά μέτρων που χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα πρωτογενή και τα δευτερογενή μέτρα. Τα πρωτογενή μέτρα είναι αυτά που προλαμβάνουν τον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου ενώ τα δευτερογενή είναι αυτά που επεμβαίνουν στη μείωσή τους μετά τον σχηματισμό τους και συγκεκριμένα στα καυσαέρια.

Τα πρωτογενή μέτρα είναι τα εξής:

- Μείωση της περίσσειας αέρα
- Καύση με σταδιακή παροχή αέρα
- Καύση με σταδιακή παροχή κασίμου
- Ανακυκλοφορία καυσαερίων
- Καυστήρες χαμηλών εκπομπών οξειδίων του αζώτου
- Ρευστοποιημένη κλίνη

από τα οποία αυτά που εμφανίζουν υψηλότερη αποδοτικότητα είναι η καύση με σταδιακή παροχή αέρα, η ανακυκλοφορία καυσαερίων και οι καυστήρες χαμηλών εκπομπών NO_x με σταδιακή διοχέτευση κασίμου.

Τέλος, τα δευτερογενή μέτρα είναι τα παρακάτω:

- Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή SCR
- Επιλεκτική μη-καταλυτική αναγωγή SNCR

με την επιλεκτική καταλυτική αναγωγή να κατέχει υψηλότερο ποσοστό αποδοτικότητας της τάξης του 80-95%.

1.5 Δομή εργασίας

Αντικείμενο του δευτέρου κεφαλαίου αποτελεί η περιγραφή εγκατεστημένων τεχνολογιών μείωσης NO_x σε υφιστάμενες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως και η αναφορά άλλων προτεινόμενων τεχνολογιών από συγκεκριμένες εταιρείες.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο ατμοηλεκτρικός σταθμός Αγίου Δημητρίου και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη τον οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο. Ακόμη, εξετάζονται οι παράμετροι και οι διατάξεις μιας μονάδας του σταθμού που επηρεάζουν τον σχηματισμό NO_x. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στις μετασκευές οι οποίες έχουν λάβει χώρα στην Μονάδα V του σταθμού με σκοπό την μείωση των εκπομπών NO_x, καθώς επίσης αναφέρονται πιθανές αλλαγές και στις υπόλοιπες τέσσερις μονάδες του σταθμού για τον ίδιο ακριβώς λόγο.

Επιπλέον, πραγματοποιείται σύγκριση των εκπομπών των ρύπων των μονάδων του σταθμού στο τέταρτο κεφάλαιο, μέσω των ειδικών εκπομπών, των δεικτών εκπομπών και των απωλειών καυσαερίων. Η σύγκριση των ποσοτήτων αυτών γίνεται με διαγράμματα τα οποία προβάλλουν ταυτόχρονα και τις διακυμάνσεις των φορτίων των μονάδων.

Τέλος, παρατίθενται τα συμπεράσματα της εργασίας τα οποία ακολουθούνται από προτάσεις για πιθανή μελλοντική μελέτη.

Κεφάλαιο 2 - Εφαρμοσμένες τεχνολογίες deNOx σε υφιστάμενες λιγνιτικές μονάδες παραγωγής και προτεινόμενα μέτρα

2.1 Τεχνολογίες μείωσης οξειδίων του αζώτου σε λιγνιτικές μονάδες παραγωγής

Οι συνέπειες των οξειδίων του αζώτου απασχολούν από το παρελθόν την παγκόσμια κοινότητα και για αυτό έχουν εγκατασταθεί τεχνολογίες μείωσης και ελέγχου των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Παρακάτω παρουσιάζονται εφαρμοσμένες τεχνικές μείωσης NOx σε λιγνιτικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

2.1.1 Μετατροπές σε ατμοηλεκτρικό σταθμό με καύσιμο λιγνίτη στη Βουλγαρία

Το Contour Global Maritsa East 3 είναι ένα από τα μεγαλύτερα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας στην Βουλγαρία αποτελούμενο από 4 μονάδες των 227 MW. Βρίσκεται δίπλα στην πόλη Galabovo. Το καύσιμο που καταναλώνει είναι λιγνίτης με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, θείο και τέφρα, τον οποίο αντλεί από τα ανθρακωρυχεία της γύρω περιοχής. Με σκοπό να ικανοποιήσει τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις, δηλαδή να μειώσει τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου κάτω από 200 mg/Nm³ με 6% O₂, ο σταθμός αποφάσισε να ανανεώσει το ήδη υπάρχον σύστημα πυροδότησής του με πρωτογενή μέτρα.

Οι απαιτήσεις/στόχοι αυτού του προγράμματος ήταν οι εξής:

- Μείωση των εκπομπών NOx από περίπου 400 mg/Nm³ σε τιμή κάτω των 180mg/Nm³ με 6% O₂
- Αύξηση της αποδοτικότητας του κλιβάνου μειώνοντας το λόγο πραγματικού αέρα προς τον στοιχειομετρικό από 1.2 σε 1.15 στην έξοδό του
- Διατήρηση των εκπομπών CO₂ σταθερά κάτω από 180 mg/Nm³ με 6% O₂
- Προστασία των τοιχωμάτων από διάβρωση
- Προστασία του κλιβάνου από σκουριά
- Διατήρηση των παραμέτρων πίεσης στο εύρος που κυμαίνονταν πριν την αναβάθμιση

Για να επιτευχθούν όλοι οι παραπάνω στόχοι, θα έπρεπε να δημιουργηθεί ένα νέο σχέδιο για ολόκληρο το σύστημα πυροδότησης.^[8]

Μετατροπές στους καυστήρες

Με την υπάρχουσα διαμόρφωση δεν ήταν δυνατόν να μειωθούν οι εκπομπές NOx στα απαραίτητα επίπεδα γι αυτό αναπτύχθηκε ένα νέο σχέδιο για τους καυστήρες παρόμοιο με αυτό άλλων μονάδων που κατάφεραν με επιτυχία να εκτελέσουν τέτοια απαιτητικά προγράμματα. Μια καλή ανάμειξη του μίγματος αέρα-καυσίμου απαιτεί μεγάλη διαφορά στις ταχύτητες αυτών των δύο ροών. Γι αυτό το λόγο, οι διατομές του δευτερογενούς αέρα στους καυστήρες προσαρμόστηκαν λαμβάνοντας υπ όψιν την απαιτούμενη προσαρμοσμένη ροή του αέρα στους καυστήρες. Για σταθερή φλόγα του μίγματος αέρα καυσίμου στην έξοδο του καυστήρα, χρησιμοποιήθηκαν σταθεροποιητές φλόγας στις εξόδους. Οι σταθεροποιητές αυτοί υπάρχουν για να μειώνουν την ταχύτητα μέρους των σωματιδίων σκόνης αλλά και για να δημιουργούν τυρβώδη ροή στα σωματίδια με σκοπό την επιτάχυνση της εξάτμισης των πτητικών και τη σταθεροποίηση της ανάφλεξης κοντά στις εξόδους των καυστήρων.

Η διαμόρφωση και το μέγεθος των αγωγών αέρα στους κύριους καυστήρες σχεδιάζονται έτσι ώστε να διασφαλίζουν τη σωστή ανάμειξη του κονιοποιημένου καυσίμου με τον αέρα και να παρέχουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα προστασίας των αυλών του εξατμιστή. Αυτός ο σχεδιασμός θα μειώσει σημαντικά τη δημιουργία σκουριάς και την πιθανότητα διάβρωσης στην περιοχή των καυστήρων.

Εγκατάσταση καινούριου τοιχώματος και συστήματος αέρα over-fire

Με σκοπό την προστασία των τοιχωμάτων από την διάβρωση και τη σκουριά και την επίτευξη κατανομής του αέρα στον κλίβανο για επαρκή μείωση των οξειδίων του αζώτου, εγκαταστάθηκε ένα καινούργιο σύστημα αέρα, τοποθετημένο σε κάθε τοίχωμα του λέβητα. Κάθε τοίχωμα εξοπλίστηκε με ακροφύσια αέρα τα οποία δημιουργούν τις απαραίτητες συνθήκες οξυγόνου σ' αυτά.

Επίσης, εγκαταστάθηκε ένα καινούριο over-fire σύστημα αέρα, τοποθετημένο στο εμπρός και πίσω τοίχωμα του λέβητα, με σκοπό να παρέχει το απαιτούμενο εναπομείναν ποσό αέρα, για πλήρη καύση των προϊόντων της αντίδρασης πάνω από τον τελευταίο καυστήρα, σε μια σταθερή απόσταση και με υψηλή ταχύτητα. Η δυνατή ώθηση αυτού του αέρα προκαλεί καλή διείδυση και ανάμειξη του καυσαερίου με τον αέρα και παρέχει το

απαραίτητο οξυγόνο για την καύση των μονοξειδίων του άνθρακα τα οποία δεν έχουν μετατραπεί ακόμα σε διοξείδιο του άνθρακα στην περιοχή της καύσης.

Το νέο πλάνο καύσης χρειάζεται ένα βελτιστοποιημένο χρόνο παραμονής των σωματιδίων καυσίμου στον θάλαμο καύσης μειώνοντας το ύψος της ζώνης καύσης του κύριου καυστήρα και αυξάνοντας το ύψος της δευτερεύουσας ζώνης πάνω από τον τελευταίο καυστήρα. Αυτό επιτυγχάνεται κατανέμοντας την καύση κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα του κλιβάνου μπροστά από τον κατώτερο καυστήρα. Αυτή η κατανομή έχει μια σημαντικά θετική επίδραση στο σχηματισμό NOx επειδή η συγκέντρωση του οξυγόνου και ο σχηματισμός του καυσίμου NOx είναι στενά συνδεδεμένα.

Σύστημα κονιοποιημένου καυσίμου

Τα σχετικά μέτρα έλαβαν χώρα στους αγωγούς κονιοποιημένου καυσίμου με σκοπό βελτιστοποιημένο καύσιμο και βελτιστοποιημένη κατανομή αερίων για το νέο σύστημα πυροδότησης χαμηλών NOx.

Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τόσο ένα 3D CFD μοντέλο όσο κι ένα φυσικό μοντέλο κλίμακας 1:10. Για να επικυρωθούν τα αποτελέσματα του μοντέλου CFD, πραγματοποιήθηκαν τεστ και στο φυσικό μοντέλο.

Τα αποτελέσματα του CFD ήταν αρκετά σύμφωνα με αυτά του φυσικού μοντέλου κάτι που έδωσε παραπάνω ασφάλεια και σιγουριά για την περαιτέρω εκτέλεση του κώδικα υπολογισμού. Με αυτήν την διαμόρφωση ήταν πιθανό να βρεθεί η καλύτερη διανομή άνθρακα και ατμού αλλάζοντας τις σχετικές ρυθμίσεις. Χάρη στην καινούρια εγκατάσταση, η απαιτούμενη διανομή κονιοποιημένου καυσίμου και καυσαερίου μπορούσε να προσαρμοστεί κατά τη δοκιμή παράδοσης του καινούριου συστήματος πυροδότησης.^[8]

2.1.2 Αναβάθμιση ατμοηλεκτρικού σταθμού στην Ουγγαρία για την επίτευξη των Ευρωπαϊκών ορίων εκπομπών NOx με επιλεκτική μη καταλυτική αναγωγή (SNCR)

Το Mátrai Erőmű, το οποίο φαίνεται στο σχήμα 2.1, αποτελεί το μεγαλύτερο θερμοηλεκτρικό σταθμό της Ουγγαρίας που χρησιμοποιεί ως καύσιμο τον λιγνίτη και βρίσκεται δίπλα στην πόλη Visonta στους πρόποδες των βουνών Mátra και δίπλα στη μεγαλύτερη λιγνιτική περιοχή της χώρας. Τα 920 MW που υποστηρίζει ο σταθμός

παράγονται απο δύο μονάδες των 100 MW (μονάδες 1 και 2), τρεις μονάδες των 220MW (μονάδες 3,4 και 5), όπως και δύο γεννήτριες αερίου των 30MW η καθεμιά.



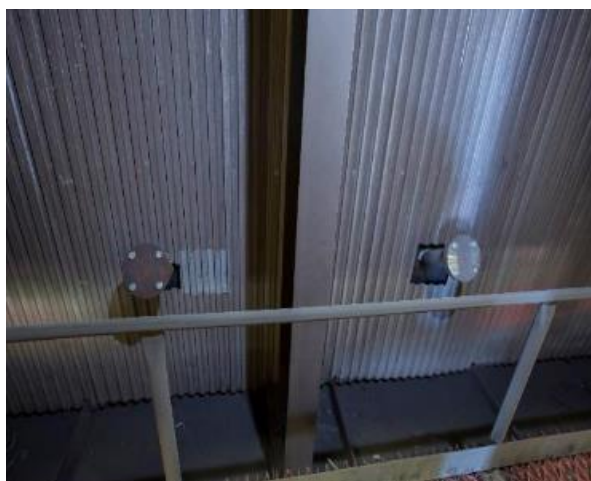
Σχήμα 2.1: Ο θερμοηλεκτρικός σταθμός Mátrai Erőmű^[9]

Προς το παρόν, ένα 10% βιομάζας προστίθεται σαν καύσιμο στο εργοστάσιο. Η τάση αυτή όλο και αυξάνεται καθώς το ποσό της βιομάζας σταδιακά θα αυξηθεί στο 15%. Αυτό περιορίζει την επιλογή δευτερογενών μεθόδων απονιτροποίησης ως εφαρμογή της τεχνολογίας SCR. Στην περίπτωση κρίσιμων καυσίμων όπως ο λιγνίτης και η βιομάζα, η διάρκεια ζωής του καταλύτη μειώνεται εξαιτίας του ρίσκου διάβρωσης ή δηλητηρίασής του.

Γι αυτούς τους λόγους ο σταθμός αποφάσισε, με σκοπό να λύσει το πρόβλημα των οξειδίων του αζώτου, να ελέγξει την πρόταση της εταιρείας ERC που παρουσιάζονται μέσω της εφαρμογής της τεχνολογίας SNCR. Το Mátrai Erőmű ζήτησε απο την ERC να κάνει μια επίδειξη της αποτελεσματικότητας αυτής της μεθόδου σε ένα πεδίο δοκιμής μεγάλης κλίμακας.

Το τεστ πραγματοποιήθηκε στην τρίτη μονάδα τον Νοέμβριο του 2011. Ακολουθώντας τις οδηγίες της ERC ο ανάδοχος κατασκεύασε τις θέσεις ψεκασμού για τις λόγχες, δηλαδή σωλήνες στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης όπως επίσης και ένα σύνολο ακροφυσίων για την εισαγωγή των λογχών (σχήμα 2.2). Οι θέσεις ψεκασμού δημιουργήθηκαν σύμφωνα με τις ειδικές πληροφορίες μιας προσομοίωσης CFD. Επιπλέον, η ERC πραγματοποίησε και θερμοκρασιακές μετρήσεις.

Το τεστ πραγματοποιήθηκε επιτυχώς με τη βοήθεια μιας πειραματικής εγκατάστασης. Αποδείχτηκε πως εξαιτίας της τεχνολογίας SNCR, η οριακή τιμή των NOx των 200 mg/Nm³ κρατήθηκε μεταξύ του 50 και 100% σε όλες τις βαθμίδες φορτίου στο εύρος ελέγχου της μονάδας. Ακόμα και η αμμωνία στο καυσαέριο δεν ξεπέρασε τα 5 mg/Nm³.



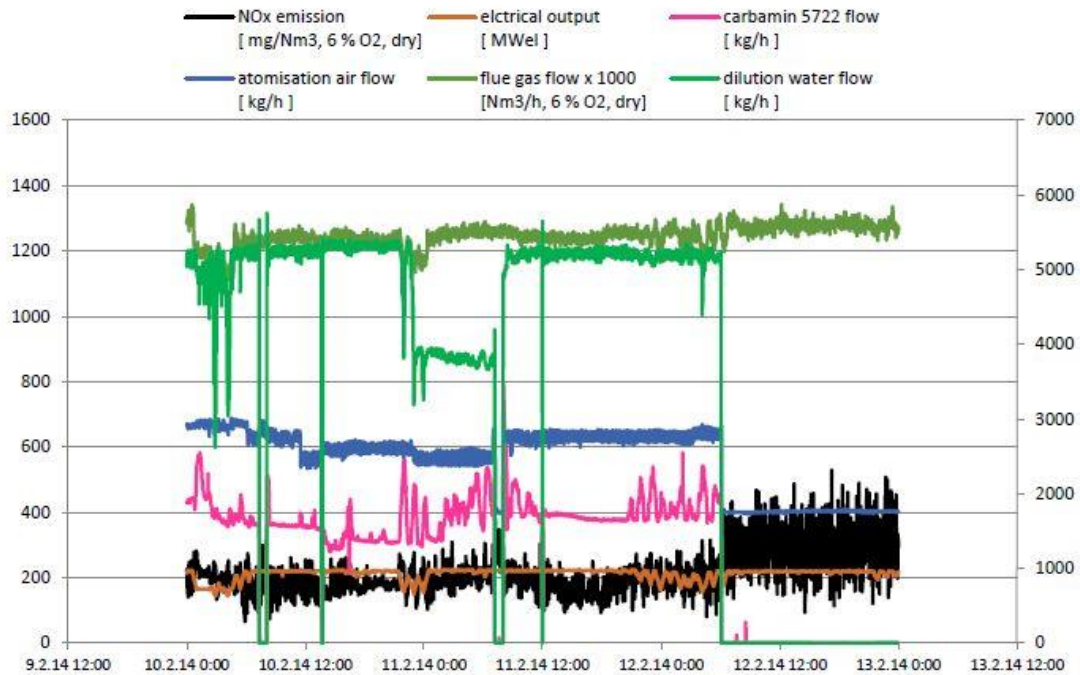
Σχήμα 2.2: Θέσεις ακροφυσίων εξωτερικά του λέβητα ^[9]

Βασισμένο σε αυτό το επιτυχημένο τεστ το εργοστάσιο Mátrai Erőmű αποφάσισε να εγκαταστήσει τελικά την τεχνολογία SNCR στις μονάδες 3,4 και 5. Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα, η εγκατάσταση στην τρίτη μονάδα ολοκληρώθηκε στα τέλη του 2013. Η ανάθεση των μονάδων 3 και 4 έγινε τέλη Αυγούστου του 2014.^[9]

Αποτελέσματα

Το σύστημα SNCR που σχεδιάστηκε, λειτουργεί πλήρως αυτόματα. Ένα σύστημα μετρήσεων των εκπομπών κάθε μονάδας ενημερώνει συνεχώς το σύστημα SNCR σχετικά με τις εκπομπές NO_x. Με σκοπό να προσδιοριστεί η ψεκασμένη ποσότητα του διαλυμένου αναγωγικού μέσου, η μονάδα ελέγχου λαμβάνει επίσης κάποιες λειτουργικές παραμέτρους του λέβητα όπως ογκομετρική ροή απαερίων, φορτίο κ.λπ. Το σύστημα SNCR είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο που οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου κάτω των 200 mg/Nm³ διατηρούνται στο ξηρό καυσαέριο σε 6% O₂ σε ημερήσια βάση.

Σαν παράδειγμα, το σχήμα 2.3 δείχνει τα αποτελέσματα λειτουργίας της 3^{ης} μονάδας στην περίοδο τριών ημερών



Σχήμα 2.3: Αποτελέσματα λειτουργίας σε περίοδο τριών ημερών^[9]

Τα αποτελέσματα πληρούν εξ ολοκλήρου τις προσδοκίες καθώς οι εκπομπές των NOx των 200mg/Nm³ δεν ξεπερνιούνται κατα μέσο όρο ημερησίως. Επιπλέον, ένα ανεξάρτητο μετρολογικό ινστιτούτο επιβεβαίωσε εγγυημένες μετρήσεις σε λειτουργία offline στις οποίες μέχρι και το σημείο της διαρροής NH₃ στα καυσαέρια είναι λιγότερο από 2 mg/Nm³.
[9]

2.2 Προτεινόμενες τεχνολογίες μείωσης NOx από εταιρείες κατασκευής λιγνιτικών μονάδων

2.2.1 Συνδυασμός του συστήματος overfire air με την επιλεκτική μη καταλυτική αναγωγή – ALSTOM

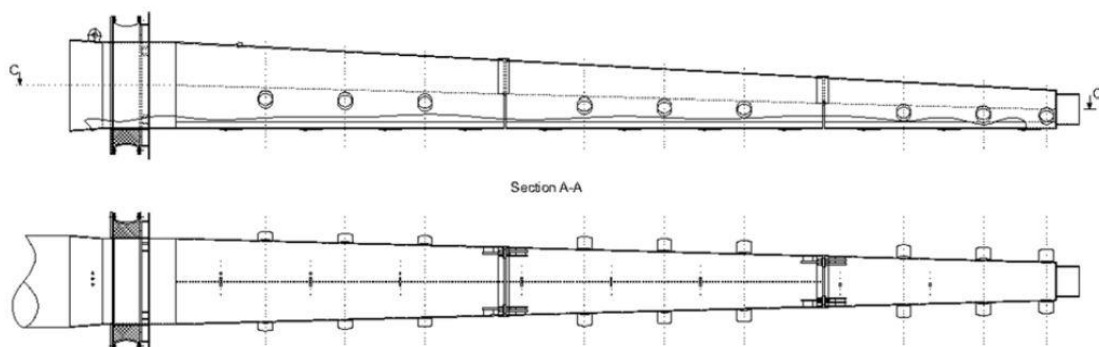
Δοκιμές πλήρους κλίμακας έχουν διεξαχθεί σε έναν λέβητα 396 MW με καύσιμο λιγνίτη τον Νοέμβριο του 2014. Το εγκατεστημένο σύστημα πυροδότησης χαμηλών NOx αποτελείται από καυστήρες τζετ και δύο επίπεδα OFA (overfire air). Το δεύτερο επίπεδο, που αποτελείται από δέκα λόγχες, βρίσκεται στον τελευταίο υπερθερμαντή. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών αυτών, μέσα από τις λόγχες των OFA συστημάτων, ψεκάστηκε και ουρία που σε συνδυασμό με το σύστημα πυροδότησης χαμηλών NOx, τα επίπεδα

εκπομπών κάτω των 150 mg/m^3 θα μπορούσαν επιτυχώς να επιτευχθούν σε συνθήκες πλήρους φορτίου.^[10]

Τεχνική προσέγγιση

Μια απλή προσέγγιση της εφαρμογής SNCR σε μεγάλους βιομηχανικούς λέβητες είναι η τοποθέτηση πολλαπλών μπεκ αμμωνίας ή/και ουρίας σε διάφορες θέσεις στο τοίχωμα του κλιβάνου. Συνήθως τα μπέκ είναι οργανωμένα σε ομάδες σε πολλά επίπεδα. Ενεργοποιούνται βάση ενός ειδικού προγράμματος, συνήθως συνδεδεμένο με θερμοκρασιακές μετρήσεις. Η βασική ιδέα είναι να ενεργοποιούνται τα μπέκ μόνο όταν οι συνθήκες (κυρίως θερμοκρασιακές) είναι ιδανικές για να πετύχουμε την επιθυμητή μείωση των NO_x σε συνδυασμό με μικρή διαφυγή NH_3 . Συνήθως τα μπέκ των τοιχωμάτων δεν είναι ικανά να καλύψουν ολόκληρη τη διατομή του κλιβάνου. Αυτό έχει μεγάλη σημασία σε μεγάλους βιομηχανικούς λέβητες. Συνεπώς, μόνο ένα μέρος των NO_x πραγματικά μειώνεται από την SNCR διαδικασία.

Για να υπερνικήσει αυτό το έλλειμμα η Alstom ανέπτυξε ένα σχέδιο για να συνδυάσει την τεχνολογία SNCR με την ήδη αποδεδειγμένη προσέγγιση μείωσης των οξειδίων του αζώτου, δηλαδή τον συνδυασμό της με το σύστημα overfire air. Οι λόγχες του συστήματος OFA συνήθως χρησιμοποιούνται για κλιβάνους όπου ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής για μετρήσεις μείωσης των NO_x δεν είναι επαρκής. Το σχήμα 2.4 δείχνει τον σχεδιασμό των λογχών.



Σχήμα 3.4: Απεικόνιση σχεδιασμού λογχών OFA^[10]

Οι λόγχες αποτελούνται από τρία μέρη για να αποκτούν συγκεκριμένη ελαστικότητα. Η κάθε λόγχη στενεύει από την αρχή προς το τέλος της. Μικρά στόμια είναι τοποθετημένα και στις δύο πλευρές της λόγχης. Η θέση των ακροφυσίων αντιστοιχεί στα σημεία μεταξύ σειρών σωληνωτών επιφανειών ανταλλαγής θερμότητας. Η βασική λειτουργία των λογχών είναι να διασφαλίζουν μια ευνοϊκή κατανομή του overfire αέρα σε ολόκληρη τη

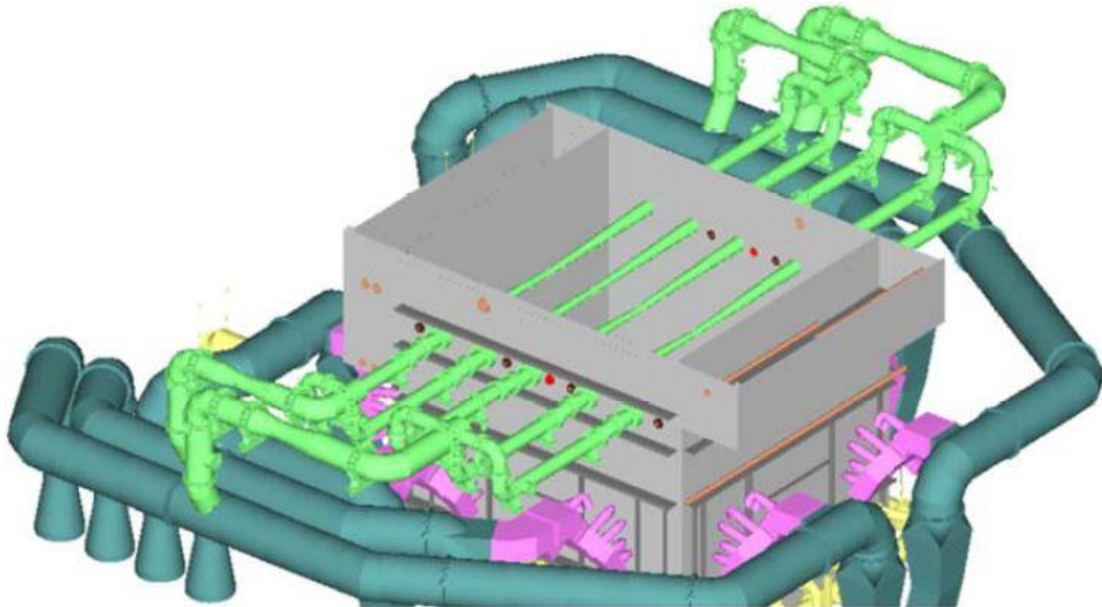
διατομή του κλιβάνου. Το σχήμα 2.5 δίνει μία ιδέα στο πως μία λόγχη είναι τοποθετημένη στον υπερθερμαντή.



Σχήμα 2.5: Όψη μια λόγχης που είναι τοποθετημένη στον υπερθερμαντή^[10]

Οι λόγχες είναι κατασκευασμένες από αντιθερμικό ασάλι. Το υλικό αντέχει σε θερμοκρασία 800 βαθμών Κελσίου. Η θερμοκρασία του καυσαερίου είναι συνήθως παραπάνω από 800 βαθμούς Κελσίου. Συνεπώς οι λόγχες είναι μονίμως τροφοδοτημένες με αέρα ο οποίος αποτελεί συνήθως το 6-7% του ολικού αέρα καύσης. Συσσώρευση αιωρούμενης τέφρας στην δομή της λόγχης αποφεύγεται με την τακτική απομάκρυνσή της. Η ταχύτητα εξόδου του αέρα στην έξοδο στα μικρά στόμια είναι περίπου 40 m/s σε πλήρες φορτίο. Η ελάχιστη ταχύτητα είναι 20 m/s για να διατηρηθεί η απαιτούμενη ψύξη της κατασκευής. Επιπλέον αυτή η ροή αέρα αποτρέπει την κατακάλιση τέφρας μέσα στη λόγχη. Το μονοξειδίο του άνθρακα μετά την καύση δεν αυξάνει την θερμοκρασία του καυσαερίου καθώς επικρατεί το φαινόμενο της ψύξης από το σύστημα τριτογενούς αέρα ΟΦΑ.

Στο σχήμα 2.6 γίνεται επεικόνιση δέκα λογχών ΟΦΑ σε μεγάλο λέβητα. Σε κάθε πλευρά του λέβητα πέντε λόγχες είναι τοποθετημένες έτσι ώστε να καλύπτουν με αέρα όλη τη διατομή.



Σχήμα 2.6: Διαμόρφωση των λογχών OFA στον λέβητα^[10]

Βασισμένη σε αυτήν την τεχνολογία η Alstom ανέπτυξε την ιδέα της χρήσης των λογχών OFA ως σύστημα διανομής ουρίας ή/και αμμωνίας. Σε αυτήν τη θέση η θερμοκρασία του καυσαερίου ταιριάζει τέλεια για την SNCR με έναν χρόνο παραμονής περίπου 0.5 sec. Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι λόγχες λειτουργούν με ζεστό αέρα, το αντιδραστήριο στοιχείο υποτίθεται ότι είναι πλήρως εξατμισμένο στον αεραγωγό της λόγχης πριν τον ψεκασμό. Επομένως, οποιαδήποτε πρόσκρουση στο υλικό του σωλήνα είναι πολύ απίθανη. Η λόγχη θα διασφαλίσει επίσης μια ιδανική κατανομή του αντιδραστηρίου σε ολόκληρη τη διατομή του κλιβάνου όπως επίσης και τη γρήγορη αντίδραση και την μείωση του μονοξειδίου του αζώτου.

Κατα τη διάρκεια των προετοιμασιών για το τεστ, κάθε λόγχη τροφοδοτήθηκε με ένα ψεκαστήρα ουρίας. Η ουρία επιλέχθηκε για το τεστ σκοπίμως καθώς η αμμωνία είναι πιο δύσκολο να ελεγχθεί.

Το σχήμα 2.7 δείχνει τον ψεκαστήρα τοποθετημένο στον αεραγωγό μιας λόγχης OFA. Λειτουργεί με συμπιεσμένο αέρα για τον ψεκασμό τους ουρίας. Καθεμιά από τις δέκα λόγχες εξοπλίστηκε με έναν ψεκαστήρα. Συνεπώς είναι αναγκαίο να μετράται η ροή ουρίας σε κάθε λόγχη.



Σχήμα 2.7: Ψεκασμός ουρίας στον αγωγό αέρα^[10]

Τα τεστ

Κατα τη διάρκεια των τεστ η μονάδα λειτουργούσε σε πλήρες φορτίο (396 MW). Ο πίνακας 2.1 δείχνει την μέση ποιότητα λιγνίτη που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 2.1 Ανάλυση καυσίμου^[10]

		17.11.14	18.11.14	19.11.14
NCV/LHV	MJ/kg	7.252	7.977	8.011
Water	%	54.2	50.3	50.6
Ash	%	11.5	12.9	12.2
Carbon	%	23.0	24.5	24.5
Hydrogen	%	1.72	1.80	1.89
Nitrogen	%	0.25	0.27	0.24
Sulphur	%	1.23	1.19	0.80
Oxygen	%	8.10	9.04	9.77

Τα τεστ διήρκησαν τρεις μέρες. Κάθε τεστ διήρκησε περίπου τέσσερις με έξι ώρες. Κατα τη διάρκεια των τεστ, η διαμόρφωση του μύλου παρέμεινε αμετάβλητη. Οι φυσητήρες στις λόγχες δεν ήταν σε λειτουργία. Σε κάθε λόγχη ΟFA εφοδιάστηκε με 80 l/h διάλυμα ουρίας [40% (NH₂)₂CO], έτσι ψεκάστηκαν σε σύνολο 800 l/h.

Αποτελέσματα

Ο πίνακας 2.2 παρουσιάζει τα αποτελέσματα των τεσσάρων τεστ (V1,V2,V3,V4)

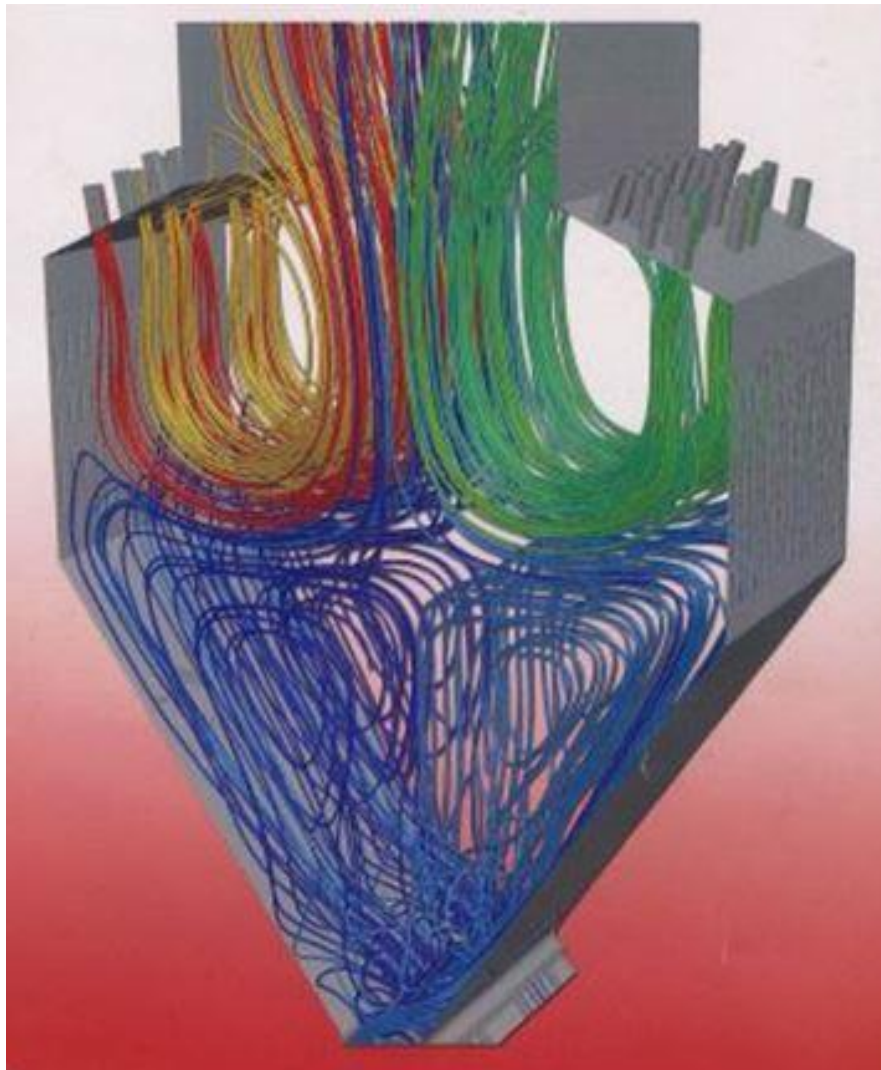
Πίνακας 2.2 Επιδόσεις εκπομπών ^[10]

	NO _x [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]	CO [mg/m ³]	NO _x red	NO _x red
	Baseline	SNCR in op.	Average	Δ, mg/m ³	red rate, %
V1	190 - 200	< 200	150 - 160	-	-
V2	190 - 200	155	150 - 160	35 - 45	18 - 22
V3	230 - 240	150	90 - 100	80 - 90	35 - 38
V4	270 - 280	160	40 - 50	110 - 120	40 - 43

Η πρώτη στήλη δείχνει τις βασικές εκπομπές NO_x χωρίς τον ψεκασμό ουρίας. Η δεύτερη στήλη δείχνει τις εκπομπές NO_x με την SNCR σε λειτουργία. Το δέλτα υπολογίζει τη διαφορά μεταξύ των βασικών εκπομπών NO_x με αυτές με λειτουργία SNCR. Το ποσοστό μείωσης (red rate%) αποτελεί το ποσοστό του δέλτα σε σχέση με τις βασικές εκπομπές NO_x.

Για τα τεστ V2 έως V4 η συγκέντρωση της NH₃ στην τέφρα ήταν κάτω από 30ppm. Το ποσό της τέφρας στο καυσαέριο σε συνδυασμό με τις ιδιότητές της οδηγούν σε ολικά χαμηλές συγκεντρώσεις. Η συγκέντρωση της αμμωνίας στο καυσαέριο υπολογίστηκε μεταξύ 10 και 50 ppm. Τα αποτελέσματα είναι ακόμα υπο αξιολόγηση και είναι απαραίτητο να διεξαχθούν κι άλλα τεστ για να επιβεβαιώσουν τις αρχικές διαπιστώσεις και να βελτιστοποιηθεί ο ψεκασμός.^[10]

2.2.2 Μείωση οξειδίων του αζώτου με την τεχνολογία WIR



Σχήμα 2.8: Απεικόνιση της καύσης με τεχνολογία WIR^[11]

Πολλά χρόνια εμπειρίας στην εφαρμογή της τεχνολογίας WIR-fluid έδειξαν μια εγγυημένη μείωση των NOx σε ποσοστό 40-75%, την πιθανότητα της 100% δέσμευσης του θείου από τον πλούσιο σε ασβέστιο άνθρακα και την ολοκληρωτική αποτροπή συσσώρευσης σκουριάς, κάτι το οποίο αποτελεί μια φθηνή λύση για τα μεγάλα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο σταθμός του Αγίου Δημητρίου και άλλοι σταθμοί στην Ελλάδα.

Η Polytechenergo, η εταιρεία που κατέχει τα δικαιώματα της τεχνολογίας WIR-fluid, πραγματοποίησε επίσης μια σειρά από επιτυχείς βιομηχανικές εφαρμογές στην τεχνολογία καύσης χωρίς μύλους, στην οποία θρυμματισμένο καύσιμο παρέχεται μέσα στον θάλαμο καύσης κατευθείαν από τους τροφοδότες ακατέργαστου άνθρακα παρακάμπτοντας τον μύλο. Αυτή η τεχνολογία καύσης μοιάζει αρκετά με τους λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης σε σχέση με τη συγκέντρωση του καυσίμου στον θάλαμο

καύσης. Το σχήμα 2.8 απεικονίζει την ροή του αέρα και του καυσίμου μέσα στον θάλαμο καύσης.

Η συζήτηση για την μετατροπή της μονάδας 4 του σταθμού του Αγίου Δημητρίου σε σύστημα καύσης λιγνίτη χωρίς μύλους μαζί με τα ωφέλη της εφαρμογής της τεχνολογίας WIR-fluid, θα επέτρεπε την παύση όλων των εξαιρωτήρων των μύλων και επιπλέον τη μείωση κατά 8.5 MW του κόστους της βοηθητικής κατανάλωσης ενέργειας όπως επίσης και τον αποκλεισμό κάθε διαδικασίας σχετικής με τη συντήρησή τους.

Η εμπειρία της τεχνολογίας WIR-fluid σε διάφορους τύπους καυσίμων (μαύρο και καφέ άνθρακα, λάδι σχιστόλιθου, τύρφη), με μεγάλο εύρος ιδιοτήτων, επιτρέπει εκτίμηση μείωσης των οξειδίων του αζώτου στο 50-60% στον σταθμό του Αγίου Δημητρίου. Ωστόσο, λόγω έλλειψης εμπειρίας με λιγνίτη, αυτό δεν μπορεί να είναι σίγουρο 100%.^[12]

Χαρακτηριστικά τεχνολογίας WIR-fluid χαμηλών εκπομπών

Η καύση κονιοποιημένου καυσίμου με ευθείας ροής φλόγα, η οποία είναι η πιο κοινή μέθοδος, έχει αρκετά μειονεκτήματα συμπεριλαμβανομένου του ότι:

- Δεν παρέχει αξιόπιστη λειτουργία του λέβητα στο εύρος σχεδιασμού των φορτίων υπό παρατεταμένη ανάφλεξη σε χαμηλά φορτία και προκαλεί σκουριά στα τοιχώματα σε φορτία κοντά στα ονομαστικά.
- Δεν πληρεί τις σύγχρονες απαιτήσεις για αποδοτικότητα και περιβαλλοντική προστασία.

Μία από τις τεχνικές λύσεις που εξαλείφουν αυτά τα μειονεκτήματα είναι μια τεχνολογία χαμηλών εκπομπών (WIR-technology) καύσης άνθρακα σε συμβατικό θάλαμο καύσης η οποία είχε ευρεία βιομηχανική χρήση την προηγούμενη δεκαετία. Η τεχνολογία βασίζεται στην επίτευξη αεροδυναμικής δίνης στο κάτω μέρος του θαλάμου καύσης μέσω της αλληλεπίδρασης των αντίρροπων ροών των καυστήρων, οι οποίοι έχουν μια κλίση προς τα κάτω, και την ριπή αέρος που εισχωρεί από τον πυθμένα σε όλο το πλάτος του λέβητα.

Είναι μια πολύπλοκη τεχνολογία που ταυτόχρονα καταστέλλει ενεργά τις εκπομπές (NO_x, SO_x και CO) και αυξάνει την απόδοση του λέβητα.

Η περιοχή της δίνης στην ψυχρή χοάνη, με πολλαπλές κυκλοφορίες του καυτού καυσαερίου, του καυσίμου και της τέφρας παρέχει:

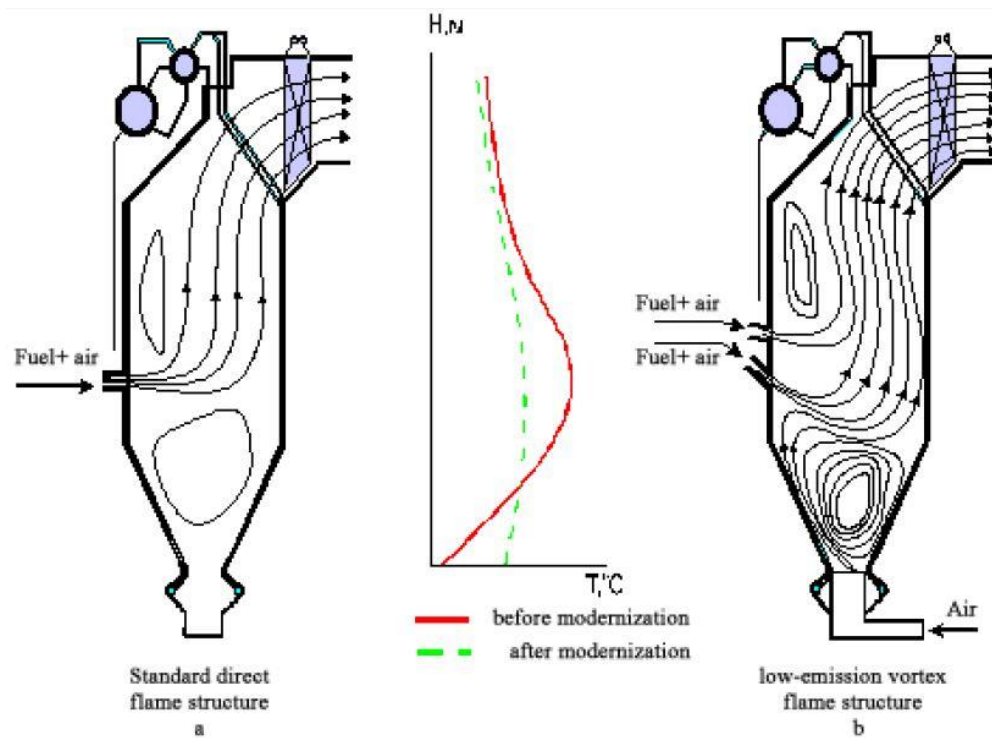
- Σταθερή ανάφλεξη του καυσίμου ερχόμενο από τον καυστήρα, λόγω εντακτικής ανάμειξης με μια μεγάλη μάζα σωματιδίων καύσης που κυκλοφορούν στην

περιοχή της δίνης και σταθεροποιούν την καύση. Ένας ακόμα παράγοντας που βοηθά την καύση είναι ανοδική ροή κατά μήκος του λέβητα που διασφαλίζει την εισροή καυτού καυσαερίου στο κύριο μέρος της φλόγας.

- Επίταση ανταλλαγής θερμότητας στον πυθμένα του λέβητα και αύξηση του συντελεστή θερμικής απόδοσης του λέβητα σε τιμές από 0.45 - 0.5
- Εξίσορρόπηση της θερμοκρασίας και των θερμικών πεδίων στην περίμετρο αλλά και στο βάθος του θαλάμου καύσης και συνεπώς τη μείωση των επιπέδων θερμοκρασίας στο λέβητα και στην έξοδό του κατά 100-150°C
- Ελαχιστοποίηση της συσσώρευσης σκουριάς στα τοιχώματα και της ρύπανσης των επιφανειών συναγωγής θερμότητας
- Ο σχηματισμός της ζώνης καύσης χαμηλής θερμοκρασίας στον πυθμένα του λέβητα διασπά τα NOx
- Αυξημένη απόδοση δέσμευσης του θείου λόγω πολλαπλής κυκλοφορίας ασβεστίου μέσα στον θάλαμο καύσης

Το σχήμα 2.9 δείχνει την αεροδυναμική κατασκευή ενός λέβητα φλόγας ευθείας ροής κι ενός με δίνη χαμηλών εκπομπών. Η πρώτη απεικόνιση χαρακτηρίζεται από θερμοκρασιακή απόκλιση με την παρουσία ζώνης υψηλής θερμοκρασίας στο κέντρο της φλόγας. Η δεύτερη χαρακτηρίζεται από πεδίο ίσης θερμοκρασίας και συγκέντρωσης.

Σε αντίθεση με την φλόγα ευθείας ροής, η αεροδυναμική δίνη χρησιμοποιεί ολόκληρο το κάτω μέρος του λέβητα για να δημιουργήσει μια ζώνη πολλαπλής κυκλοφορίας καυσίμου, τέφρας και καυσαερίων. Οι χαμηλές θερμοκρασίες στη δίνη επιτυγχάνονται από την ανάμειξη των αντίθετα τοποθετημένων ροών που απορρέουν από τους καυστήρες υπό κλίση και από την εισροή αέρα από τον πυθμένα που καλύπτει όλο το πλάτος του λέβητα.^[12]



Σχήμα 2.9: Η αεροδυναμική δομή της φλόγας^[12]

Η τοποθέτηση των καυστήρων υπο κλίση επιτρέπει την κατεύθυνση μεγάλης μάζας καυσίμου στον πυθμένα του θαλάμου που μέσω της εισροής του αέρα (αέρας τεφρολεκάνης) παρασύρεται σε κυκλοφορία και καίγεται στην περιοχή της δίνης. Τα καυσαέρια που δημιουργούνται σταθεροποιούν την ανάφλεξη του καυσίμου που έρχεται από τους καυστήρες.

Η αναβάθμιση των συσκευών του λέβητα είναι αναγκαία για να παρέχει ένα εντατικό φορτίο στη περιοχή της δίνης. Με σκοπό την αποφυγή της εκροής σωματιδίων καύσης από αυτήν την περιοχή, η ταχύτητα και η κλίση της ροής της σκόνης από τους καυστήρες θα πρέπει να προσαρμόζονται βάσει εμπειρίας από παλιές αναβαθμίσεις.

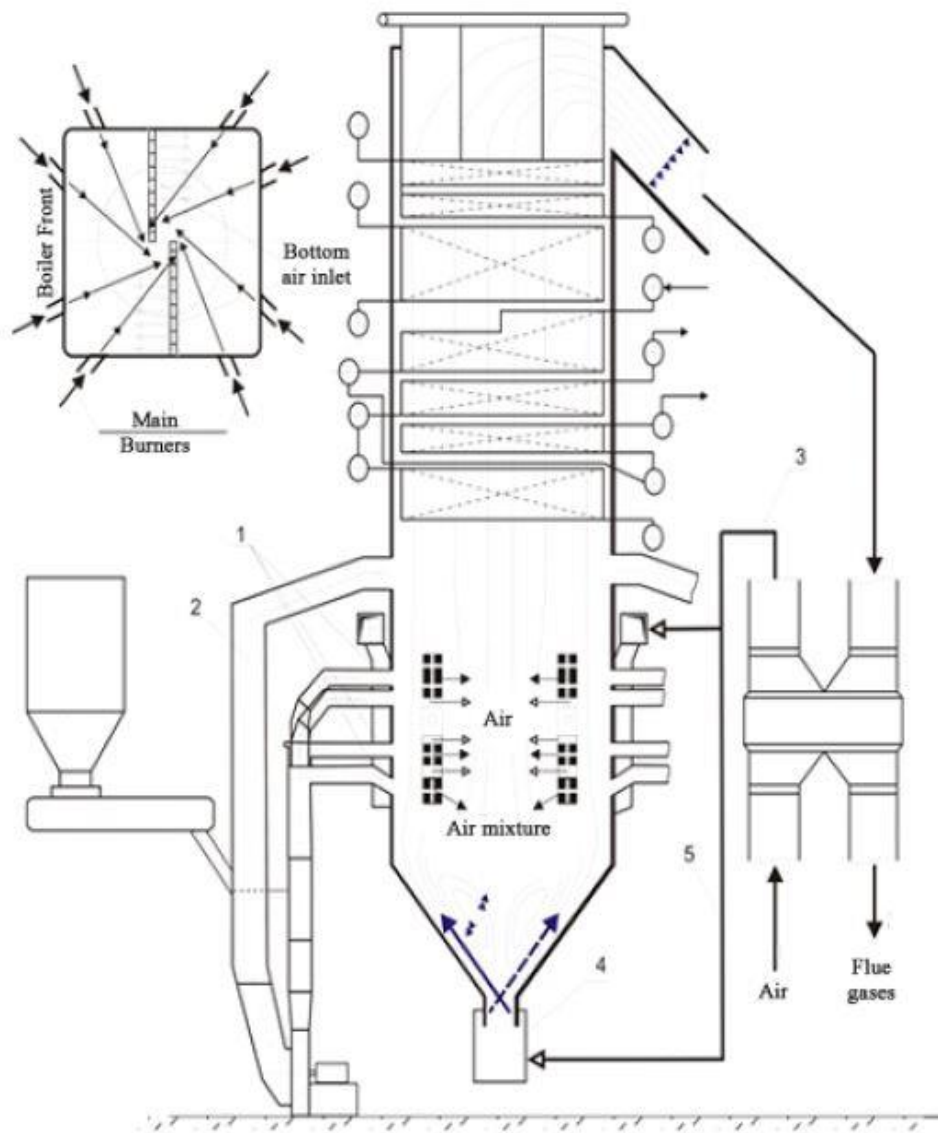
Η εντατική ανάμειξη των καυσαερίων σε όλο το μήκος και πλάτος του λέβητα λόγω της αεροδυναμικής της δίνης οδηγεί στην εξισορρόπηση της θερμοκρασίας. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, ο εκσυγχρονισμός αυξάνει την τελική μεταφορά θερμότητας αυξάνοντας τα εξαρτήματα συναγωγής και ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία του καυσαερίου στην έξοδο του λέβητα μειώνεται κατά 100-120°C.

Λέβητες βασισμένοι στην αρχή της καύσης κονιοποιημένου καυσίμου, στις περισσότερες περιπτώσεις μπορούν να δουλέψουν μόνο με το καύσιμο σχεδιασμού τους. Καύση άλλων καυσίμων οδηγεί σε μη φυσιολογικές θερμοκρασίες στους σωλήνες και συνεπώς στις επιφάνειες συναγωγής στις οποίες παρατηρείται εντατική συγκέντρωση σκουριάς. Στην

συγκεκριμένη τεχνολογία χαμηλών εκπομπών, η χαμηλή θερμοκρασία ελαχιστοποιεί την συγκέντρωση σκουριάς σε κάθε τύπο στερεού καυσίμου.^[12]

Περιγραφή εκσυγχρονισμού των λέβητών

Λαμβάνοντας υπ' όψιν αυτές τις προτάσεις πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετατροπές θα πραγματοποιηθούν με βάση την αρχή της διατήρησης των κανόνων λειτουργίας του λέβητα που παρέχουν μεγάλο χρόνο λειτουργίας και αξιοπιστία σε όλο το εύρος φορτίου. Ο εκσυγχρονισμός αφορά μόνο την δομή των μύλων και των καυστήρων, οι οποίοι θα αναβαθμιστούν. Στο σχήμα 2.10 απεικονίζεται ο προτεινόμενος σχεδιασμός του εκσυγχρονισμού του λέβητα της μονάδας IV του σταθμού του Αγίου Δημητρίου σύμφωνα με την τεχνολογία WIR-fluid.



Σχήμα 2.10: Απεικόνιση εκσυγχρονισμού^[12]

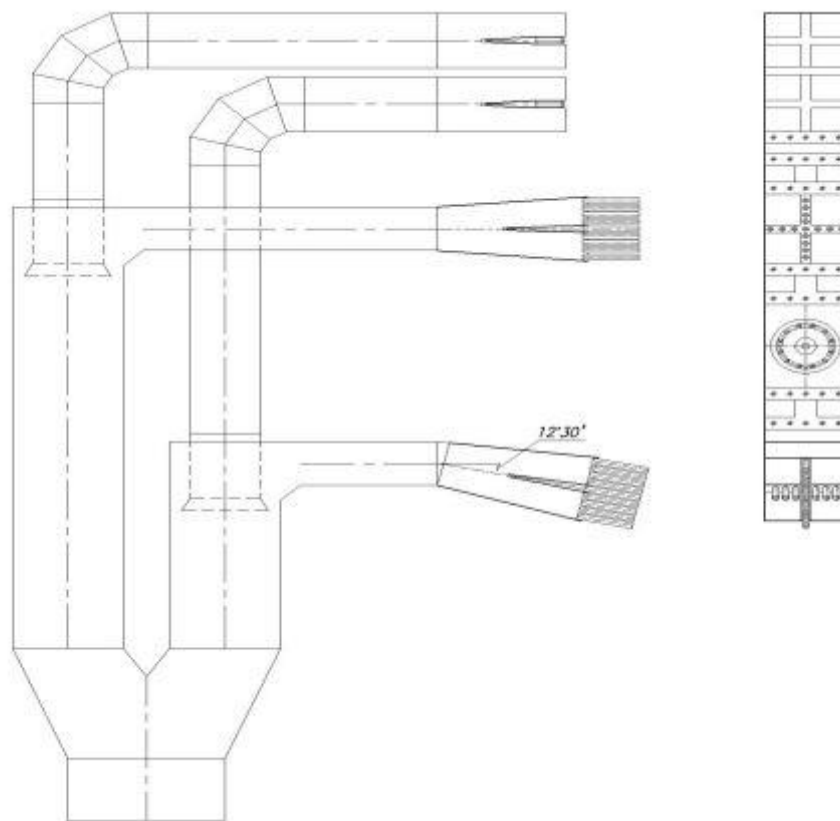
➤ Όγκος δουλειάς

Ο εκσυγχρονισμός δεν επηρεάζει τη διάταξη του λέβητα και του συστήματος σωληνώσεων και περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Εκσυγχρονισμός των καυστήρων
- Κατασκευή και εγκατάσταση συσκευής εισροής αέρα απο τον πυθμένα
- Αφαίρεση των κόνων στα τέσσερα συστήματα προετοιμασίας κονιάματος

➤ Δομή του λέβητα

Ο εκσυγχρονισμένος σχεδιασμός των καυστήρων φαίνεται στο σχήμα 2.11

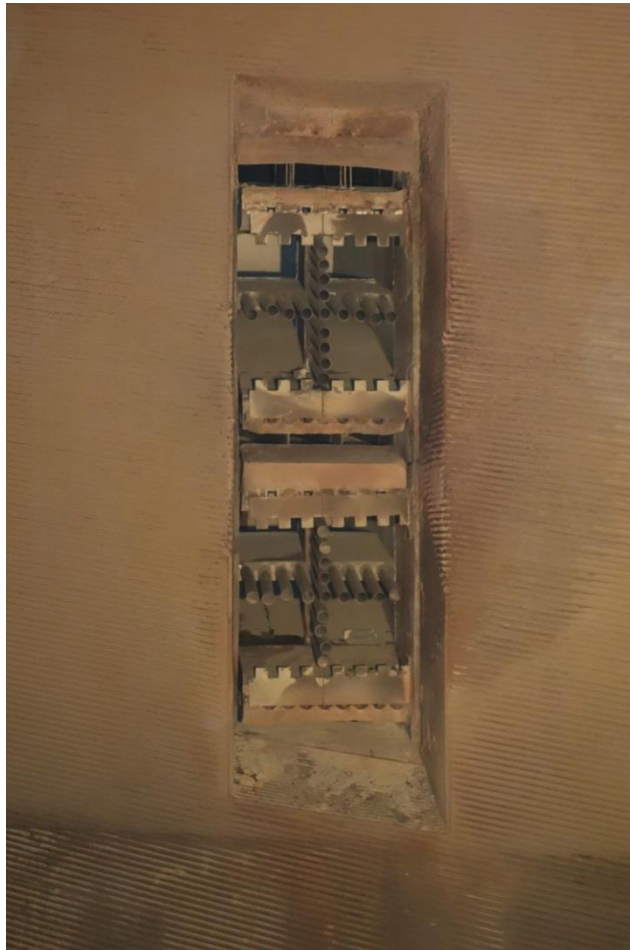


Σχήμα 2.11: Σχηματική απεικόνιση εκσυγχρονισμού των καυστήρων^[12]

Τα ακροφύσια των κατώτερων αγωγών όλων των καυστήρων έχουν μια κλίση 12,5° κάτι που θα μπορούσε να αυξήσει το διαχωρισμό των μεγάλων σωματιδίων στον πυθμένα του λέβητα όπως επίσης και τη συγκέντρωση καυσίμου στο κρύο μέρος της καπνοδόχου.

Ο κάτω αγωγός για παροχή δευτερεύοντος αέρα κλείνει. Οι αγωγοί παροχής αέρα πάνω και κάτω απο τους καυστήρες κλείνουν απο τις υπάρχουσες βαλβίδες και ο δευτερογενής

αέρας παρέχεται απο την περιοχή των σταυρωτών αγωγών οι οποίοι απεικονίζονται στα σχήματα 2.12 και 2.13.



Σχήμα 2.12: Καυστήρες Μονάδας V μετά την μετασκευή^[6]



Σχήμα 2.13: Πυροβόλα καυστήρων Μονάδας V μετά την μετασκευή^[6]

Οι μετατροπές αυτές στον καυστήρα θα αλλάξουν την κατανομή του αέρα με μια αύξηση του μεριδίου του στο πάνω μέρος του καυστήρα. Η τομή διαμέσου του καυστήρα παραμένει αμετάβλητη, η επιφάνεια ροής του δευτερεύοντος αέρα μειώνεται από 2.28 m² σε 1.6 m².

Στα τέσσερα συστήματα προετοιμασίας κονιάματος, οι κώνοι, στην έξοδο των τροφοδοσιών κονιάματος που λειτουργούν για το χαμηλό επίπεδο τροφοδοσίας, αποσυναρμολογούνται. Μια τέτοια παρέμβαση μειώνει την αντίσταση του συστήματος κονιάματος και βελτιώνει την αναπνοή του.

➤ **Συσκευή εισροής αέρα στον πυθμένα του λέβητα**

Στον πυθμένα του λέβητα, στη χοάνη τέφρας εγκαθίσταται μια συσκευή εισροής αέρα που βοηθάει την κίνηση της δίνης στο κάτω μέρος του θαλάμου και αποτρέπει την πτώση μεγάλων σωματιδίων καυσίμου. Η συσκευή αυτή περιέχει ένα ακροφύσιο το οποίο παρέχει μεγάλη αρχική ταχύτητα στον αέρα και αεραγωγούς που σιγουρεύουν την κατεύθυνσή του.

Το τελικό σχέδιο και οι προδιαγραφές της συσκευής εισροής αέρα επιλέγεται βάσει εμπειρίας από πολλές αναβαθμίσεις που έχει εφαρμόσει η Polytechenergo. Η απουσία της διαβρωτικής φθοράς των αγωγών του λέβητα είναι εγγυημένη. Η συσκευή εισροής αέρα μαζί με τον εκσυγχρονισμένο καυστήρα σιγουρεύει την ανάγκη για εφαρμογή της τεχνολογίας WIR-fluid.

Για να παρέχεται ο αέρας στην συσκευή εισροής αέρα απαιτούνται μετατροπές στους ήδη υφιστάμενους αγωγούς.

➤ **Αεροδυναμικά χαρακτηριστικά**

Ακολουθώντας τις μετατροπές σύμφωνα με την τεχνολογία WIR-fluid, το 25% του αέρα παρέχεται στον πυθμένα του λέβητα δια μέσου της συσκευής εισροής αέρα. Το μερίδιο αέρα στους καυστήρες μειώνεται από 75% σε 45% και αέρας παρέχεται μόνο πάνω από τους καυστήρες. Η ταχύτητα του αέρα στην έξοδο του καυστήρα θα είναι 24 m/s το οποίο συμφωνεί με την ταχύτητα πριν την μετατροπή (πίνακας 2.3).

Η αύξηση της ικανότητας εξαερισμού των μύλων αυξάνοντας τα σωματίδια καυσίμου και μειώνοντας την αντίσταση του συστήματος κονιάματος οδηγεί σε μια μικρή αύξηση της ταχύτητας του μίγματος καυσίμου στην έξοδο του καυστήρα από 11 m/s σε 13.8 m/s

Ο σχεδιασμός της συσκευής εισροής αέρα του πυθμένα παρέχει μια ταχύτητα στην έξοδο του ακροφυσίου ίση με 45 m/s και 15 m/s στην χοάνη τέφρας. Αυτό το επίπεδο ταχύτητας ελαχιστοποιεί την απώλεια σωματιδίων στην τεφρολεκάνη μικρότερων των 10 mm και διασφαλίζει την επιστροφή τους στην ζώνη δίνης του λέβητα.^[12]

Πίνακας 2.3: Κύρια αεροδυναμικά χαρακτηριστικά πριν και μετά τον εκσυγχρονισμό^[12]

Παράμετροι	Πριν τον εκσυγχρονισμό	Μετά τον εκσυγχρονισμό
Φορτίο, MW	310	310
Συνολική παροχή αέρα, Nm ³ /h	1000500	1000500
Χωρητικότητα αερισμού του μύλου, Nm ³ /h	120000	120000/140000*
Έκταση του μίγματος καυσίμου στην έξοδο του καυστήρα, m ³	5,25	5,26
Ταχύτητα του μίγματος καυσίμου στην έξοδο του καυστήρα, m/s	11	11/13,8*
Έκταση του δευτερογενούς αέρα στην έξοδο του καυστήρα, m ²	2,28	1,6
Ποσοστό δευτερογενούς αέρα στον καυστήρα, %	70	45
Παροχή δευτερογενούς αέρα στον καυστήρα, m ³ /h	149500	961000
Ταχύτητα δευτερογενούς αέρα στην έξοδο του καυστήρα, m/s	26	24

➤ **Λειτουργία του θαλάμου καύσης μετά την εγκατάσταση της τεχνολογίας WIR-fluid**

Η ανάφλεξη και λειτουργία του λέβητα μετά τον εκσυγχρονισμό θα εκτελείται σύμφωνα με τις ισχύουσες οδηγίες και με προσθήκες, σχετικές με τον τρόπο τοποθέτησης των βαλβίδων στους αγωγούς στα χαμηλά επίπεδα καύσης.

Μετά την ανάφλεξη του λέβητα και την αύξηση της θερμοκρασίας, ακολουθεί μια σταδιακή μετάβαση σε περιοχή χονδροειδούς κονιοποίησης η οποία επιτυγχάνεται με την τακτική βοήθεια των μύλων και των διαχωριστών αλλά και μειώνοντας την αντίσταση του συστήματος κονιοποίησης.

Η χονδροειδής κονιοποίηση και η κλίση των αγωγών καυσίμου μίγματος επιτρέπει αυξημένα ποσά μεγάλων σωματιδίων στον πυθμένα του λέβητα. Ο επεκταμένος χρόνος καύσης των μεγάλων σωματιδίων, τα οποία κυκλοφορούν επανειλημμένως στον πυθμένα, οδηγούν στη συσσώρευση του καυσίμου. Με άλλα λόγια, στον πυθμένα του λέβητα δημιουργείται μια ζώνη υψηλής συγκέντρωσης σε καύσιμο. Όπως προαναφέρθηκε, αυτό

το φαινόμενο συνεισφέρει στην σταθεροποίηση της ανάφλεξης και της καύσης του καυσίμου σε ολόκληρο το λειτουργικό φάσμα του φορτίου του λέβητα.

Η ανακατανομή του δευτερεύοντος αέρα στην κορυφή του καυστήρα διασφαλίζει την αποτελεσματική ανάμειξη και την μετέπειτα καύση του καυσίμου με ελάχιστες εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO).

➤ Περιβαλλοντικές παράμετροι

Η μετάβαση σε τεχνολογία καύσης WIR-fluid μειώνει τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου επειδή:

- Η μείωση της θερμοκρασίας στον κλίβανο βοηθάει στην ελαχιστοποίηση του σχηματισμού θερμικού NOx
- Μειώνεται η παροχή αέρα στους καυστήρες και στην έξοδο του κλιβάνου
- Σχηματίζονται ζώνες με υψηλή συγκέντρωση σε καύσιμο στον πυθμένα, δηλαδή στη ζώνη δίνης.

Η μέγιστη θερμοκρασία φλόγας σύμφωνα με τα υλικά στον σταθμό Αγίου Δημητρίου δεν υπερβαίνει τους 1200°C. Κάτω από αυτές τις συνθήκες το κύριο τμήμα των οξειδίων του αζώτου αποτελείται από NOx που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της καύσης πτητικών στο κύριο μέρος της φλόγας. Η συγκέντρωση για τη μονάδα 4 είναι στο εύρος των 450-550 mg/m³ (O₂ = 6%).

Όπως έχει αποδειχτεί από πολλές έρευνες, η παροχή αέρα λίγο κάτω του στοιχειομετρικού αποτρέπει το σχηματισμό οξειδίων του αζώτου. Ο προτεινόμενος εκσυγχρονισμός των καυστήρων με την ανακατανομή της προγραμματισμένης παροχής αέρα στο επάνω μέρος, θα παρέχει στην κύρια περιοχή της φλόγας των κατώτερων καυστήρων λόγο περίσσειας αέρα περίπου 0.7. Επιπλέον, η καύση του καυσίμου συνοδεύεται επίσης από μια έλλειψη οξυγόνου, ενώ ένα μεγάλο ποσό καυσίμου που καίγεται και συνεπώς ενός ενεργού ημίκαυστου άνθρακα (κοκ) στη ζώνη της δίνης διευκολύνει την διαδικασία διάσπασης των ήδη σχηματισμένων οξειδίων του αζώτου σε μορφή ατμοσφαιρικού όζοντος.

Όλες οι αναβαθμίσεις που πραγματοποίησε η Polytechnenergy έχουν εγγυηθεί μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου στα καυσαέρια. Για εκσυγχρονισμένους λέβητες στην Πολωνία (20 λέβητες) η μείωση των NOx έπεσε στο επίπεδο των 470 mg/Nm³ (από 900-1100 mg/Nm³) το οποίο ήταν η μόνη απαίτηση από τον εκσυγχρονισμό.

Μεταγενέστερες αναβαθμίσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες πέτυχαν μείωση της συγκέντρωσης των οξειδίων του αζώτου στα καυσαέρια από 750 σε 450 mg/Nm³.^[12]

2.2.3 Η πρόταση της NALCO MOBOTEC για μείωση εκπομπών NOx

Ο λέβητας της μονάδας IV του σταθμού του Αγίου Δημητρίου έχει εξεταστεί λεπτομερώς και εκτιμήθηκε για την εφαρμογή του συστήματος της Nalco Mobotec ως λύση για τη συμμόρφωση με τις μέγιστες ευρωπαϊκές επιτρεπόμενες εκπομπές στα 200 mg/Nm³ και για τα NOx και για τα SOx το έτος 2016. Έχει κατασκευαστεί ένα μοντελο CFD και διάφορες περιπτώσεις συμπεριλαμβανομένης της βασικής, των συστημάτων ROFA/Rotamix, Furnace Sorbent Injection(FSI) και της βιομάζας εφαρμόστηκαν σ' αυτό. Το μοντέλο αυτό κατασκευάστηκε για τον λέβητα της μονάδας IV, ωστόσο τα δεδομένα είναι εφαρμόσιμα και στους υπόλοιπους τέσσερις λέβητες. Δεδομένα του HVT testing (ενός τεστ που μετρά με ακρίβεια τη θερμοκρασία των αερίων , αλλά μετρά και τα διαφορετικά επίπεδα των αερίων εντός της εστίας) παρείχαν άριστη επικύρωση του βασικού μοντέλου CFD. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν μια επιτεύξιμη μείωση των NOx κατα 54% μόνο με το σύστημα ROFA, από 504 mg/Nm³ σε 229 mg/Nm³. Μαζί με την εφαρμογή του συστήματος Rotamix, μια επιπλέον μείωση παρατηρείται κατα 25% στα 172 mg/Nm³. Η εμπειρία του παρελθόντος με την εφαρμογή της τεχνολογίας ROFA, ωστόσο, οδηγεί την Nalco Mobotec να πιστεύει πως αφού μπορεί να επιτευχθεί γενικά μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών NOx με το σύστημα ROFA σε σχέση με την προβλεπόμενη του μοντέλου CFD, η απαίτηση για 200 mg/Nm³ μπορεί να ικανοποιηθεί μόνο με το σύστημα ROFA.

Η χρήση του συστήματος ROFA έδειξε μια μικρή βελτίωση στην φυσική κατακράτηση του ασβεστίου στον άνθρακα απο 61% σε 63%. Πιστεύεται πως αυτός ο αριθμός μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερος αν ληφθεί υπ' όψιν πως το ROFA θα αυξήσει τον χρόνο παραμονής και θα μειώσει την θερμοκρασία του καυσαερίου στην έξοδο του λέβητα.

Βασιζόμενη στα παραπάνω, η Nalco Mobotec προτείνει την ταχεία εγκατάσταση του συστήματος ROFA στον λέβητα, επιτρέποντας την εκτίμηση σχετικά με το αν τα απαιτούμενα επίπεδα NOx μπορούν να επιτευχθούν χωρίς τη χρήση ουρίας (ωστόσο ο σχεδιασμός του συστήματος ROFA θα περιλαμβάνει διατάξεις για την εύκολη μελλοντικά εγκατάσταση του Rotamix)

Αυτή η πρόταση αφορά την εγκατάσταση του συστήματος ROFA (με βλέψεις για μελλοντική εφαρμογή του Rotamix) στον λέβητα της μονάδας IV, αλλά θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε κάθε λέβητα απο τον I έως τον III ή και με ένα επιπλέον κόστος στον λέβητα της μονάδας V. Στην πρόταση συμπεριλαμβάνεται επίσης η συμμετοχή της Nalco Mobotec και σε έρευνες για βιώσιμες επιλογές για την μείωση των SOx.^[13]

Στον πίνακα 2.4 παρουσιάζεται η εγγυημένη απόδοση της Nalco Mobotec όσον αφορά τις εκπομπές NOx ως αποτέλεσμα της εγκατάστασης του προτεινόμενου συστήματος ROFA. Η εγγυημένη αυτή απόδοση είναι βασισμένη στις συνθήκες και τις παραδοχές που σημειώνονται στον πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.4 Εγγυημένα αποτελέσματα εκπομπών NOx του συστήματος ROFA της Nalco Mobotec^[13]

NOx	Baseline NOx	Mobotec NOx	% Reduction
ROFA	504 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³	60.3%

Πίνακας 2.5 Υφιστάμενες συνθήκες^[13]

Unit #4 Boiler			
Item	Characteristics		
Manufacturer	EVT SULZER		
Year	1986		
Type	Tangentially-fired, sub-critical with single reheat		
Fuel: Coal (Lignite)	Moisture	Wt%	48.0-53.0%
	Ash	Wt%	15.0-23.0%
	Carbon	Wt%	17.5-20.5%
	Hydrogen	Wt%	1.2-1.6%
	Oxygen	Wt%	7.0-8.0%
	Nitrogen	Wt%	0.4-0.6%
	Sulfur	Wt%	0.4-0.6%
	HHV		3000-3600 kcal/kg
Unit rating (Gross)	310 MW		
Fuel Flow	550-600 t/h		
Heat input	1.80-1.98 G kcal/h		
Steam Flow	887 t/h		
Existing NOx	486-505 mg/Nm ³		

Περιγραφή του συστήματος ROFA και Rotamix της Nalco Mobotec

Rotating Opposed Fired Air ή αλλιώς ROFA είναι ένα σύστημα μείωσης NOx. Το μεγαλύτερο μέρος της ροής προς τα επάνω κατά μήκος του λέβητα τίθεται σε περιστροφή με ειδικά σχεδιασμένα ακροφύσια τοποθετημένα ασύμμετρα. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι αυξημένη τυρβώδης ανάμιξη και μαζική περιστροφή σε ολόκληρο το μήκος του λέβητα. Αυτό βελτιώνει την κατανομή της θερμοκρασίας των καυσαερίων, την κατανομή των ριζών καύσης, την απορρόφηση της θερμότητας, την οξειδωση του CO και την καύση των σωματιδίων στο επάνω μέρος του λέβητα.

Η ανάμιξη και η περιστροφή αποτρέπουν τη στρωτή ροή και επιτρέπουν την χρήση ολόκληρου του κλιβάνου πιο αποτελεσματικά για τη διαδικασία της καύσης, όπως επίσης και για τη διαδικασία της ανάμιξης του προσροφητικού. Η δίνη του ROFA μειώνει την μέγιστη θερμοκρασία αντίδρασης, μειώνει το σχηματισμό NOx, καίει τον άνθρακα πιο

αποτελεσματικά και αυξάνει την απορρόφηση θερμότητας απο συναγωγή, τα οποία σε συνδυασμό μπορεί να αυξάνουν τον ολικό βαθμό απόδοσης του λέβητα. Με την αποτελεσματικότερη ανάμιξη του αέρα καύσης, ο ROFA μειώνει επίσης την ανάγκη για περίσσεια αέρα. Αυτό καταλήγει σε λιγότερη ψύξη του λέβητα λόγω αχρησιμοποίητου αέρα καύσης αλλά και σε αύξηση της απόδοσης της απορρόφησης θερμότητας. Ο ROFA θα βελτιώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα του προσροφητικού για τη μείωση του HCl, Hg και SO₂.

Τα ακροφύσια του συστήματος ROFA είναι στρατηγικά τοποθετημένα στα τοιχώματα του λέβητα για να βελτιστοποιήσουν την μείωση των NOx και την ένταση της καύσης. Τελικά, η απόδοση και η λειτουργικότητα του συστήματος ROFA συνδυάζονται και είναι εξαρτημένες απο την ολική γεωμετρία και λειτουργία του λέβητα. Ο αέρας του ROFA ψεκάζεται έτσι ώστε να δημιουργεί μια περιστροφική ροή στην επάνω περιοχή της ζώνης καύσης.

Τα αποτελέσματα του συστήματος ROFA:

- Μειωμένη διαθεσιμότητα οξυγόνου στην κύρια περιοχή της καύσης, μειώνοντας την δυνατότητα για σχηματισμό NOx
- Τυρβώδης μίξη στην μέση και επάνω περιοχή του λέβητα επιτρέποντας ολοκλήρωση της διαδικασίας της καύσης στην δευτερεύουσα περιοχή μειώνοντας τα επίπεδα CO.
- Πιο ομοιόμορφο προφίλ θερμοκρασίας και κατανομής θερμότητας στη μέση και επάνω περιοχή του κλιβάνου μειώνοντας την θερμική καταπόνηση και βελτιώνοντας την απόδοση του λέβητα
- Ομαλοποίηση της κατανομής καυσίμου – αέρα μειώνοντας τα σημεία χαμηλού O₂ και υψηλού CO επιτρέποντας τη μονάδα να λειτουργεί σε χαμηλά επίπεδα παροχής O₂ για βελτιωμένη απόδοση.
- Μια τυρβώδης, καλής ανάμιξης περιοχή στην οποία ψεκάζονται προσροφητικές αντιδραστήριες ουσίες για μείωση SO₂ και/ή χημικά μείωσης NOx.^[13]

Rotamix – Βελτιωμένη SNCR

Το Rotamix είναι ένα τρίτης γενιάς σύστημα SNCR.Ο τυρβώδης ψεκασμός αέρα και η μίξη που παρέχονται απο τον ROFA επιτρέπουν την αποτελεσματική ανάμιξη των χημικών αντιδραστηρίων με τα προϊόντα της καύσης στον κλίβανο. Το αποτέλεσμα είναι η αποτελεσματική εισαγωγή των χημικών μείωσης εκπομπών κατευθείαν σε ένα καλά κατανεμημένο, περιστρεφόμενο μίγμα. Μέσω αυτοματισμού και επι τόπου συντονισμού,

το σύστημα Rotamix προσαρμόζεται στις αλλαγές του φορτίου και της θερμοκρασίας του κλιβάνου και επιλεκτικά εισάγει χημικά οπουδήποτε η θερμοκρασία είναι ιδανική για μείωση ρύπων. Αυτό μειώνει κατα πολύ τη κατανάλωση χημικών και ελαττώνει την διαρροή τους αυξάνοντας την απόδοση της δραστηριότητας κατα την ανάμιξη. Σχετικά με άλλα συστήματα SNCR, το Rotamix μπορεί να μειώσει τα κόστη των χημικών μέχρι και κατά 50%.

Το Rotamix σε συνδυασμό με τον ROFA προσφέρει εξαιρετικό συνδυασμό χρόνου, θερμοκρασίας και τυρβώδους μίξης για να μεγιστοποιήσει τη μείωση των NOx. Μόλις εγκατασταθεί, το σύστημα Rotamix είναι επαρκώς ευέλικτο να χρησιμοποιήσει αμμωνία ή/και ουρία για τον έλεγχο των NOx.

Το σύστημα Rotamix για τη μείωση των NOx περιλαμβάνει ένα σύστημα παράδοσης αντιδραστηρίων, που έχει δεξαμενές αποθήκευσης χημικών και νερού, αντλίες και σωληνώσεις. Οι σωληνώσεις διασχίζουν το λέβητα μέχρι και το σύστημα Rotamix. Νερό και αντιδραστήριο αναμιγνύονται και πηγαίνουν σε ξεχωριστούς εγχυτήρες. Το σύστημα Rotamix περιλαμβάνει εγχυτήρες παράδοσης αέρα, αέρα ψύξης, νερό ύγρανσης και διαλυμένου μίγματος αντιδραστηρίου.

Η αποτελεσματικότητα του Rotamix για μείωση των NOx εξαρτάται απο την θερμοκρασία του κλιβάνου. Από εμπειρία του παρελθόντος και απο μοντέλα CFD παρόμοιων μονάδων, η Nalco Mobotec είναι σε θέση να προβλέψει θερμοκρασιακά πρότυπα στον κλίβανο και να επιλέξει τις καλύτερες θέσεις για ψεκασμό χημικών. Πολλαπλές θυρίδες είναι εγκατεστημένες για να επιτρέπουν την προσαρμογή της θέσης ψεκασμού με τις αλλαγές του φορτίου του λέβητα.

Πρόσφατες εγκαταστάσεις του συστήματος Rotamix τρίτης γενιάς της Nalco Mobotec έχουν αποφέρει εντυπωσιακά αποτελέσματα με τη μείωση των NOx να φτάνει το 83%.^[13]

3.3 Συμπεράσματα

Κατα καιρούς έχουν προταθεί απο εταιρείες τεχνολογίες οι οποίες έχουν ως σκοπό τη μείωση των οξειδίων του αζώτου σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν ως καύσιμό τους τον λιγνίτη. Κάποιες απο αυτές είναι οι παρακάτω:

Ο συνδυασμός του συστήματος overfire air με την επιλεκτική μη καταλυτική αναγωγή. Είναι μια τεχνολογία που προτάθηκε από την ALSTOM και στοχεύει στον ψεκασμό ουρίας μέσα απο τις λόγχες του συστήματος OFA και σε συνδυασμό με το σύστημα πυροδότησης χαμηλών NOx, την επίτευξη των ανώτατων επιτρεπτών ορίων εκπομπών των 200 mg/Nm³. Πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας ήταν ότι εκτός απο την διασφάλιση ευνοϊκής κατανομής του overfire αέρα σε ολόκληρη τη διατομή του λέβητα για πλήρη καύση, επιτεύχθηκε και η ιδανική κατανομή του αντιδραστηρίου, πράγμα που δεν ήταν εφικτό με απλή προσέγγιση της τεχνολογίας SNCR.

Η τεχνολογία WIR προτάθηκε απο την εταιρεία Polytechnenergy για την τέταρτη μονάδα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και εφαρμόζεται πραγματοποιώντας την διαδικασία της καύσης παρακάμπτοντας τους μύλους, παρέχοντας δηλαδή θρυμματισμένο καύσιμο στον λέβητα κατευθείαν απο τους τροφοδότες. Μια τεχνολογία που επιτρέπει παύση όλων των μύλων όπως και κάθε διαδικασίας συντήρησής τους και μείωση κατα 8.5 MW του κόστους της βοηθητικής κατανάλωσης ενέργειας. Με την επίτευξη αεροδυναμικής δίνης στο κάτω μέρος του θαλάμου καύσης μέσω της αλληλεπίδρασης των αντίρροπων ροών των καυστήρων, οι οποίοι έχουν μια κλίση προς τα κάτω, και την ριπή αέρος που εισχωρεί απο τον πυθμένα σε όλο το πλάτος του λέβητα, δημιουργείται μια ζώνη υψηλής συγκέντρωσης σε καύσιμο στον πυθμένα του λέβητα. Αυτό το φαινόμενο συνεισφέρει στην σταθεροποίηση της ανάφλεξης και της καύσης του καυσίμου σε ολόκληρο το λειτουργικό φάσμα του φορτίου του λέβητα και δημιουργεί τις συνθήκες για τη μείωση των εκπομπών επικίνδυνων ουσιών όπως τα NOx, μια από τις οποίες είναι η χαμηλή θερμοκρασία μέσα στον λέβητα.

Τέλος, έρχεται και η Nalco Mobotec να προτείνει τις δικές της τεχνολογίες μείωσης οξειδίων του αζώτου πάλι για την τέταρτη μονάδα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, αν και τα δεδομένα τους είναι εφαρμόσιμα και στις υπόλοιπες τέσσερις μονάδες του σταθμού. Μία απο αυτές είναι το σύστημα ROFA, το οποίο θέτει τη ροή του μίγματος αέρα – καυσίμου σε μια περιστροφική κίνηση με ειδικά τοποθετημένα ακροφύσια αέρα και αποσκοπεί στην τυρβώδη ανάμιξη και ομαλή καύση του μίγματος σε ολόκληρο τον κλίβανο αποφεύγοντας την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών και επομένως τη δημιουργία NOx. Ακολουθεί το σύστημα Rotamix, που αποτελεί τρίτης γενιάς σύστημα SNCR, που με τον συντονισμό

του με τις αλλαγές φορτίου και θερμοκρασίας του κλιβάνου, στοχεύει στον ψεκάσμο χημικών ουσιών μέσα σε αυτόν οπουδήποτε η θερμοκρασία είναι ιδανική για μείωση ρύπων. Ο συνδυασμός αυτών των δύο συστημάτων προσφέρει εξαιρετικό συνδυασμό χρόνου, θερμοκρασίας και τυρβώδους μίξης και μεγιστοποιεί τη μείωση των οξειδίων του αζώτου.

Κάποιοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ήδη έχουν προβεί σε μετασκευές με σκοπό την μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου ώστε να πληρούν τις ευρωπαϊκές απαιτήσεις των 200 mg/Nm³. Ο κάθε σταθμός εξέτασε προσεκτικά τις προτεινόμενες τεχνολογίες μείωσης NOx των αρμόδιων εταιρειών και προχώρησε στην εφαρμογή αυτών που είχαν τη δυνατότητα να εγκατασταθούν στον καθένα και που έφεραν τα επιθυμητά αποτελέσματα μετά από τα κατάλληλα τεστ.

Το Contour Global Maritsa East 3, ένα από τα μεγαλύτερα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας στην Βουλγαρία, αυτό που έκανε για να μειώσει τις εκπομπές των NOx ήταν να προχωρήσει σε μετατροπές στους καυστήρες των μονάδων του αλλά και στους αγωγούς πρωτογενούς και δευτερογενούς αέρα, πετυχαίνοντας έτσι ένα καλά αναμειγμένο μίγμα αέρα-καυσίμου και ομογενοποίησης της φλόγας, αποφεύγοντας τη δημιουργία θερμών σημείων μέσα στο λέβητα που καταλήγουν στη δημιουργία NOx. Επίσης, τοποθέτησε καινούργιο σύστημα αέρα τοιχώματος και σύστημα αέρα overfire με σκοπό να καταφέρει σωστή κατανομή αέρα μέσα στον κλίβανο και επομένως σωστή καύση και μείωση των εκπομπών NOx και πραγματοποίησε μετατροπές στο σύστημα κονιοποιημένου καυσίμου ώστε να παρέχεται το βέλτιστο κονιοποιημένο καύσιμο και βέλτιστη κατανομή καυσαερίων στο νέο του σύστημα πυροδότησης χαμηλών NOx.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι το Mátrai Erőmű, το οποίο αποτελεί τον μεγαλύτερο θερμοηλεκτρικό σταθμό της Ουγγαρίας. Με σκοπό και αυτός ο σταθμός να μειώσει τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου, κρίθηκε απαραίτητο να ελεγχθεί η πρόταση της εταιρείας ERC η οποία ήταν η εγκατάσταση της τεχνολογίας SNCR. Μέτα από λεπτομερή τεστ που έλαβαν χώρα στην Τρίτη μονάδα του σταθμού, αποφασίστηκε πως τα αποτελέσματα της τεχνολογίας SNCR πληρούσαν τις ευρωπαϊκές οριακές τιμές εκπομπών NOx και γι αυτόν τον λόγο αποφασίστηκε πως η τεχνολογία έπρεπε να εγκατασταθεί. Τα αποτελέσματα που έφερε η τεχνολογία ήταν και τα επιθυμητά.

Κεφάλαιο 3 - Μελέτη τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

3.1 Ο ατμοηλεκτρικός σταθμός Αγίου Δημητρίου

Ο ατμοηλεκτρικός σταθμός Αγίου Δημητρίου διαθέτει πέντε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη προερχόμενο από το Νότιο Πεδίο (που βρίσκεται σε απόσταση 16 km δυτικά του Θερμοηλεκτρικού Σταθμού). Ο Λιγνίτης είναι χαμηλής θερμογόνου δύναμης και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά Λιγνίτη^[6]

Υγρασία	50,60%
Τέφρα	18,90%
Πτητικά	21,80%
Μόνιμος Άνθρακας	9,90%
CO₂ από ανθρακικά άλατα (κυρίως του ασβεστίου)	4,40%
C	18,50%
H	1,40%
S	0,50%
N	0,50%
O	9,50%
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη	1.210 kcal/kg

Οι Μονάδες I και II έχουν ισχύ 300 MWe και λειτουργούν από το 1984, οι Μονάδες III και IV έχουν ισχύ 310 MWe και λειτουργούν από το 1985 και η Μονάδα V με ισχύ 375 MWe λειτουργεί από το 1997.

Οι Λέβητες των μονάδων I, II, III και IV είναι εξαναγκασμένης κυκλοφορίας Sulzer και ο Λέβητας της Μονάδας V είναι τύπου Benson (once through).^[6]

3.2 Παρούσα κατάσταση

Οι εκπομπές NO_x των Μονάδων κυμαίνονται μεταξύ 400 και 600 mg/Nm³ για τις μονάδες I έως IV και 300 έως 400 mg/Nm³ για την μονάδα V που διαθέτει εγκατάσταση υπερκείμενου αέρα. Η Μονάδα V είναι η μόνη που διαθέτει εγκατάσταση υπερκείμενου αέρα στα +30 μέτρα και κάτω από τους εξόδους των αγωγών ανακυκλοφορίας των καυσαερίων των μύλων.^[6]

3.3 Παράμετροι που συντελούν στην αποφυγή σχηματισμού οξειδίων του αζώτου

Όπως γίνεται αντιληπτό από την ανασκόπηση των προηγούμενων κεφαλαίων, ο κύριος παράγοντας σχηματισμού οξειδίων του αζώτου είναι η υψηλή θερμοκρασία καύσης. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται εντός της εστίας του θαλάμου καύσης σε μεγάλες ατμοηλεκτρικές μονάδες επηρεάζεται σημαντικά από πολλές παραμέτρους όπως:

- η περίσσεια του αέρα
- η ορθολογιστική κατανομή του καυσίμου από τους διάφορους καυστήρες
- η πίεση του δευτερεύοντα αέρα
- η διάχυση του καυσίμου σε όλη την διατομή του λέβητα^[6]

3.3.1 Κατανομή αέρα καύσης

Όλος ο αέρας που εισέρχεται στον λέβητα στα διάφορα επίπεδα (καθ' ύψος του λέβητα) προέρχεται από τους προθερμαντές αέρα (LUVO) και έχει θερμοκρασία περίπου 320°C. Οι προθερμαντές αέρα καύσης, προθερμαίνουν τον αέρα της καύσης με χρήση καυσαερίων που εξέρχονται του οικονομητήρα. Με αυτόν τον εξεργειακά σωστό τρόπο μειώνεται η θερμοκρασία των καυσαερίων (περίπου στους 165°C).

Ο αέρας, που είναι απαραίτητος για την ομαλή λειτουργία του λέβητα, διοχετεύεται στο λέβητα σε διάφορα σημεία ως εξής:

- **Πρωτογενής αέρας**
- **Δευτερογενής αέρας**
- **Τριτογενής αέρας**
- **Αέρας στεγανοποίησης τεφρολεκάνης**

Κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες αέρα χρησιμοποιείται για συγκεκριμένο σκοπό.

Πέραν του παραπάνω αέρα καύσης είναι αναπόφευκτο να υπάρξουν εισροές αέρα στο λέβητα από μη προσδιορισμένα σημεία λόγω της ελαφράς υποπίεσης που υφίσταται στην εστία (παρασιτικός αέρας). Ο παρασιτικός αέρας είναι αέρας χαμηλής θερμοκρασίας

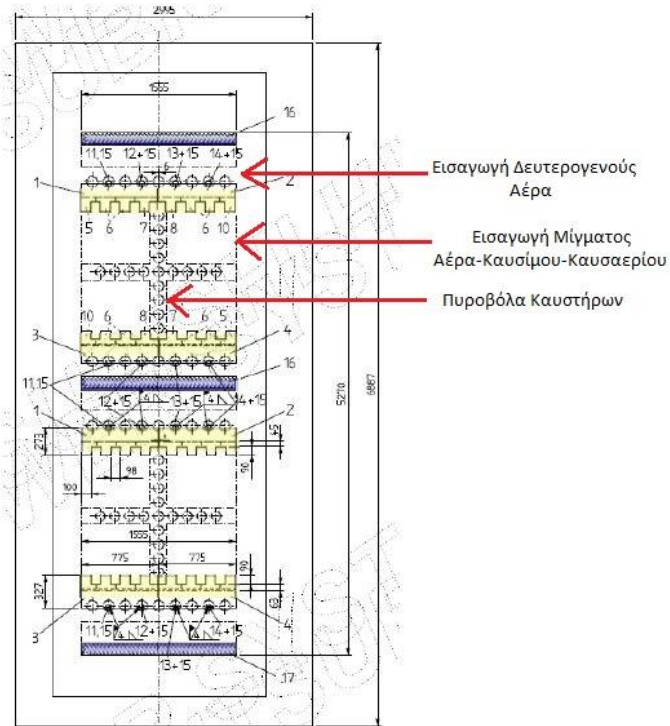
(περίπου η θερμοκρασία του Λεβητοστασίου, 40C) και δεν συμβάλει στην ομαλή λειτουργία του λέβητα αλλά αντίθετα δυσχεραίνει την αντιμετώπιση των ΝΟx. Αναπόφευκτα η εισροή παρασιτικού αέρα μειώνει τον αέρα (δευτερογενή) που απαιτείται για την καύση.^[6]

3.3.1.1 Πρωτογενής αέρας

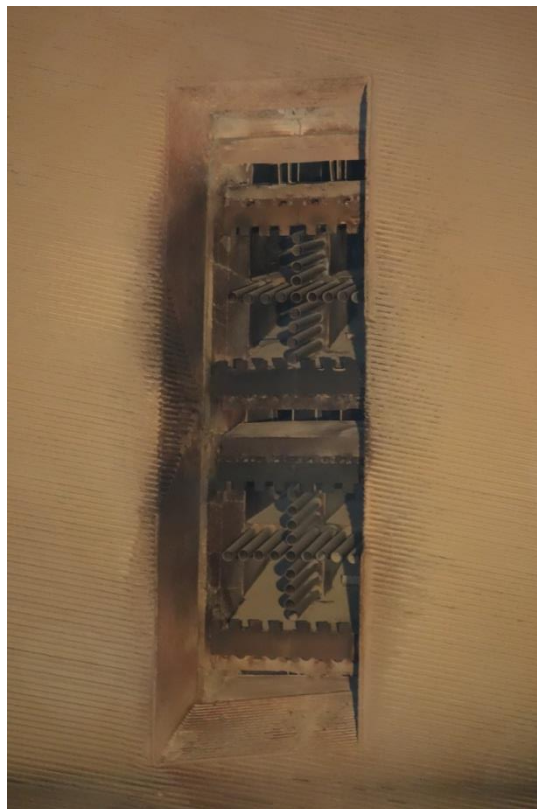
Ο πρωτογενής αέρας εισέρχεται στον λέβητα μαζί με το καύσιμο μέσω των καυστήρων. Ειδικότερα, μετά τα LUVΟ ο πρωτογενής αέρας οδηγείται στους μύλους όπου αναμιγνύεται με το καύσιμο. Το ιδανικότερο σενάριο, και για την μείωση των ΝΟx, θα ήταν να μην εισαγόταν καθόλου πρωτογενής αέρας στον μύλο. Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό καθώς ο πρωτογενής αέρας χρειάζεται για την ψύξη του μύλου. Είναι εύλογα αντιληπτό πως ο πρωτογενής αέρας είναι απαραίτητος για την λειτουργία του μύλου στην είσοδο του οποίου έχει θερμοκρασία 310°C. Ο πρωτογενής αέρας χρησιμοποιείται κυρίως για την ψύξη του μίγματος λιγνίτη και αναρροφούμενου καυσαερίου από την εστία, έτσι ώστε στο εσωτερικό του μύλου αλλά και στην έξοδο αυτού (διαχωριστής) η θερμοκρασία του μίγματος να μην υπερβαίνει τους 180°C. Αυξημένη θερμοκρασία σημαίνει γήρανση των επενδύσεων και πλακών του μύλου, επιτάχυνση των φθορών και μειωμένες ωρες λειτουργίας του μύλου με αποτέλεσμα την μη οικονομική άλεση του λιγνίτη.^[6]

3.3.1.2 Δευτερογενής αέρας

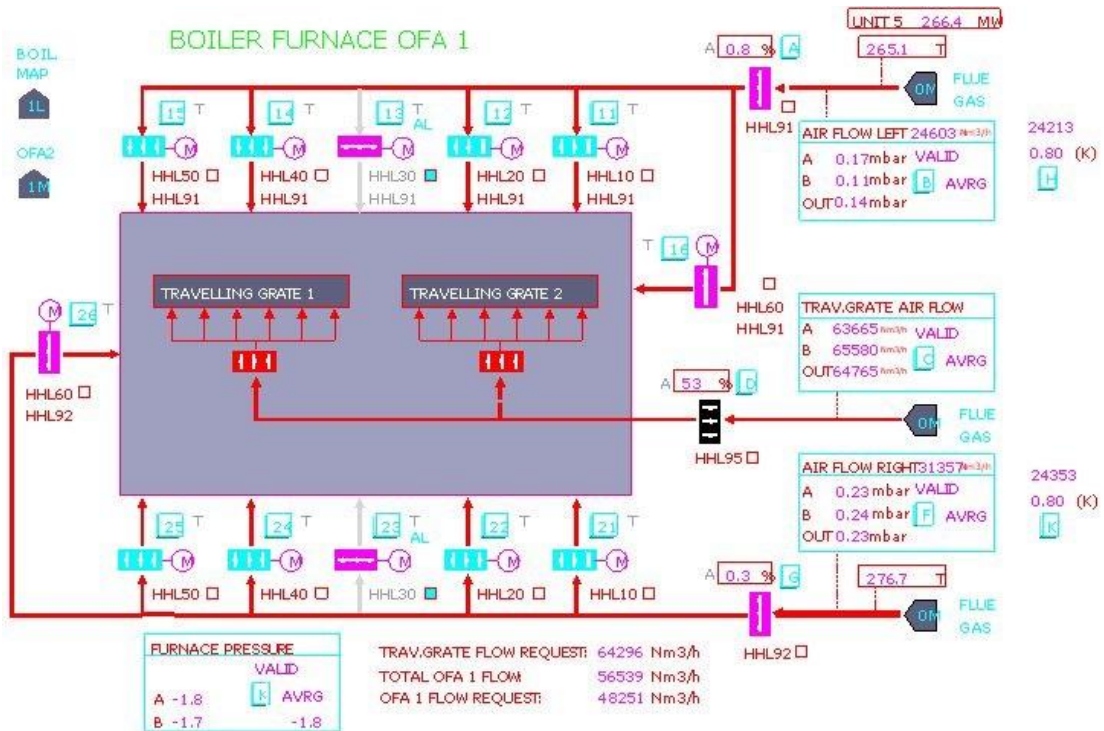
Ο δευτερογενής αέρας μπαίνει στον λέβητα από ειδικές διόδους που υπάρχουν πάνω και κάτω από τους καυστήρες λιγνίτη όπως φαίνεται στα σχήματα 3.1 και 3.2. Μικρό μέρος του δευτερογενούς αέρα εισέρχεται διαμέσου ειδικών «πυροβόλων» που υπάρχουν δίπλα από τους καυστήρες του λιγνίτη εν είδη σταυρού (σειρά μεταλλικών σωλήνων) προκειμένου να υπάρχει ψύξη του χώρου δίπλα στους καυστήρες ώστε να μην πληγεί η πλινθοδομή από τις υψηλές θερμοκρασίες. Λόγω της διάταξης από τα «πυροβόλα», ο δευτερεύων αέρας βοηθά στην ανάμιξη του καυσίμου. Εισέρχεται στον λέβητα με πίεση προκειμένου να γίνεται καλύτερη ανάμιξη καυσίμου-αέρα και να έχουμε ομογενοποίηση της θερμοκρασίας και διάχυση της φλόγας σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χώρο. Η πίεση του δευτερογενούς αέρα θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν υψηλή (>15 mbar σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση). Σε περίπτωση που μειωθεί η παροχή του δευτερογενούς αέρα δημιουργείται διαταραχή στην θερμοκρασιακή κατάσταση.^[6]



Σχήμα 3.1: Διάταξη καυστήρων και πυροβόλων Μονάδας V μετά την μετασκευή^[14]



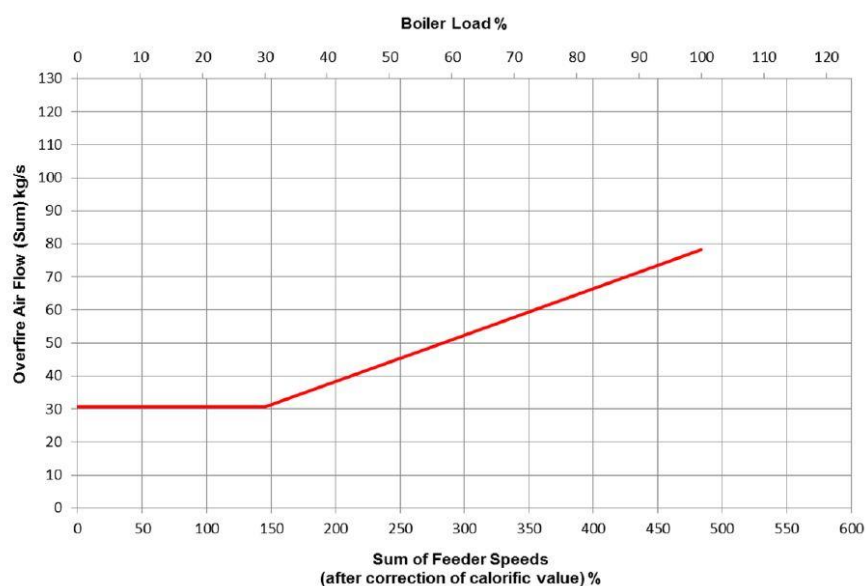
Σχήμα 3.2: Καυστήρες μονάδας V μετά την μετασκευή(Η διάταξη περιγράφεται στο σχήμα 3.1)^[6]



Σχήμα 3.4: Απεικόνιση λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο για τον OFA 1 [6]

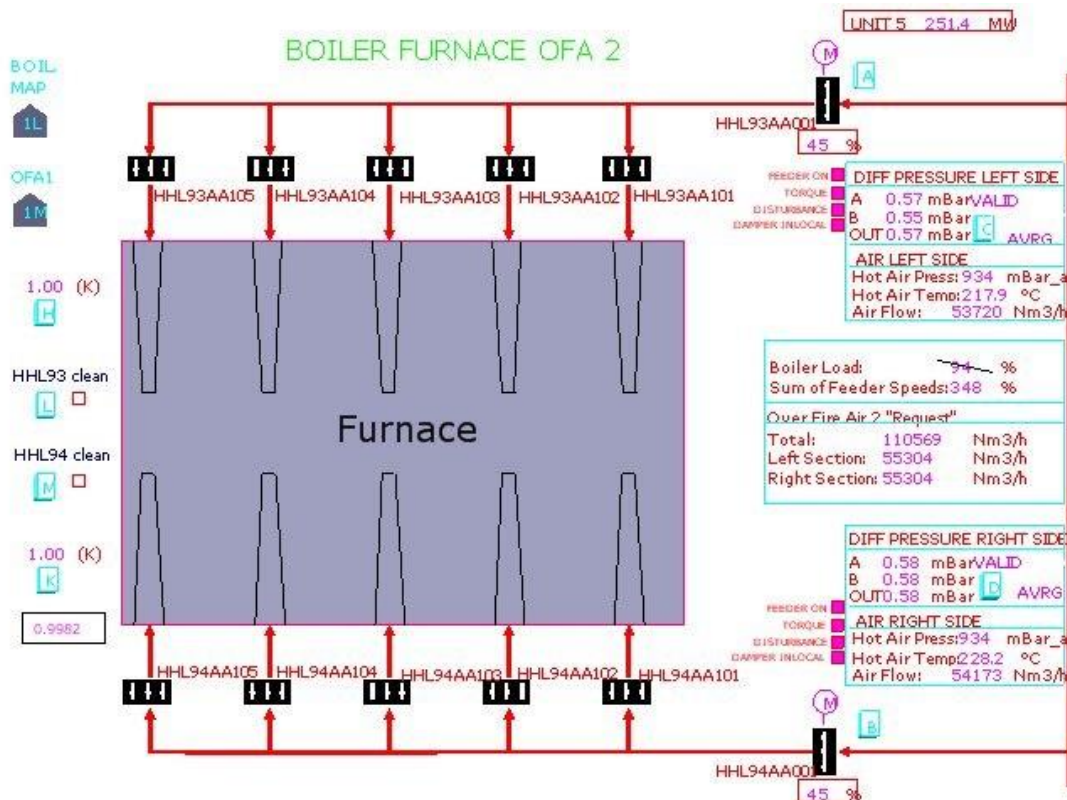
Το σχήμα 3.4 δείχνει την λειτουργία του συστήματος OFA 1 σε πραγματικό χρόνο και διακρίνονται η ποσότητα του τριτογενούς αέρα και η αντίστοιχη πίεση του.

Η ποσότητα του τριτογενούς αέρα υπολογίζεται από μία καμπύλη όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5, που συσχετίζει το άθροισμα της ταχύτητας των τροφοδοτών των μύλων σε ποσοστό επί τοις εκατό και το φορτίο του λέβητα με την απαιτούμενη παροχή του τριτογενούς αέρα.



Σχήμα 3.5: Καμπύλη ταχύτητας τροφοδοτών και απαιτούμενου τριτογενούς αέρα [14]

Ο τριτογενής αέρας OFA 2 εισέρχεται στο λέβητα από δέκα (10) σημεία, πέντε σε κάθε πλευρά του λέβητα (αντικριστά - στην εμπρός και πίσω πλευρά του λέβητα). Εμπρός πλευρά χαρακτηρίζεται η πλευρά που ευρίσκεται από την πλευρά του ανελκυστήρα του λεβητοστασίου και οι μύλοι είναι αυτοί με αριθμό 4 και 5. Πίσω πλευρά είναι η απέναντι πλευρά που βρίσκεται προς την πλευρά της καμινάδας και του πύργου ψύξης και οι μύλοι με αριθμό 1 και 8 (Η αρίθμηση των μύλων γίνεται αντίθετα της φοράς των δεικτών του ρολογιού). Ο αέρας εισέρχεται από ειδικές λόγχες μεγάλου μήκους εντός του λέβητα έτσι ώστε να υπάρξει αέρας για τέλεια καύση σε όλα τα σημεία της διατομής του λέβητα και να διασφαλιστεί η κατά το δυνατόν μείωση του CO. Το σχήμα 3.6 δείχνει την λειτουργία του συστήματος OFA 2 σε πραγματικό χρόνο και διακρίνονται η ποσότητα του τριτογενούς αέρα και η αντίστοιχη πίεση του. [6]



Σχήμα 3.6: Διάταξη λογχών OFA 2 και απεικόνιση λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο [6]

3.3.1.4 Αέρας στεγανοποίησης τεφρολεκάνης

Ο αέρας στεγανοποίησης εισάγεται στον λέβητα από το κάτω μέρος του και συγκεκριμένα από την τεφρολεκάνη. Ο αέρας αυτός συντελεί στο να καούν τα όποια άκαυστα του λιγνίτη που δεν έχουν προλάβει την καύση στον λέβητα και σε διαφορετική περίπτωση θα οδηγούνταν μαζί με την τέφρα για απόρριψη. Η ποσότητα του αέρα καύσης για μια μονάδα 300 MW είναι συνήθως κάτω από 50.000 m³/hr και μειώνεται ελάχιστα με την μείωση του φορτίου. Η Μονάδα V διαθέτει σχάρα μετάκαυσης, δηλαδή τα άκαυστα του λιγνίτη δεν πέφτουν στην τεφρολεκάνη αμέσως αλλά σε μια μεταλλική ταινία

που κινούμενη με αργό ρυθμό δίνει το χρόνο στα άκαυστα να καούν έγκαιρα. Για το λόγο αυτό τα άκαυστα της υγρής τέφρας στη μονάδα V είναι συνήθως <5% ενώ στις άλλες μονάδες μπορεί να φθάσουν και το 40%. Ο αέρας αυτός δεν επιτρέπει άκαυστα να διαφύγουν του λέβητα από το κάτω μέρος αλλά και καυσαέριο (εάν σημειωθεί υπερπίεση εντός του λέβητα) για αυτό και ονομάζεται και αέρας στεγανοποίησης της τεφρολεκάνης.^[6]

3.3.1.5 Παρασιτικός αέρας

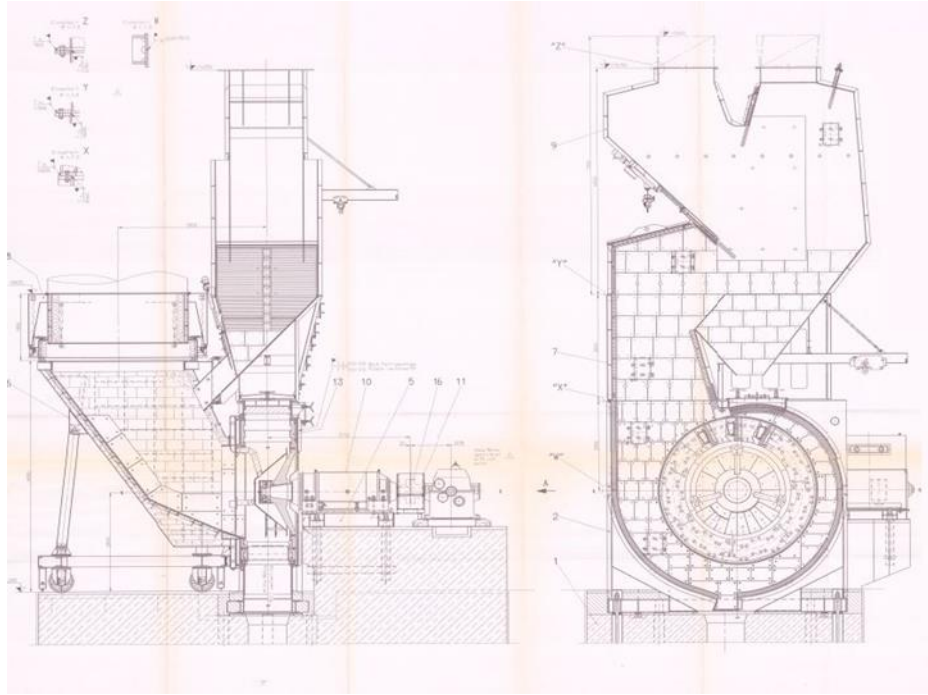
Ο λέβητας είναι ένα υκρίωμα, προκειμένου να προσαρμόζεται στις όποιες συστολές ή διαστολές ανάλογα με την κλιμάκωση των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται σε αυτόν. Όντας μία ογκώδης κατασκευή δεν είναι δυνατή η πλήρης στεγανοποίηση του, με αποτέλεσμα διαμέσου κάποιων ανοιγμάτων να εισέρχεται στο εσωτερικό του παρασιτικός αέρας, η ύπαρξη του οποίου είναι αναπόφευκτη.

Ένα ικανοποιητικό (αποδεκτό) ποσοστό παρασιτικού αέρα είναι οπωσδήποτε μικρότερο του 20% του συνολικού αέρα που μπαίνει στον λέβητα. Ο κατασκευαστής εγγυάται συνήθως ποσοστό κατά την παράδοση του λέβητα <12%. Με την πάροδο των χρόνων και τις συχνές επισκευές από διαρροές του λέβητα και άλλες διαφυγές, παρασιτικός αέρας υπάρχει πάντα και όλο βαίνει αυξανόμενος. Γίνεται ρύθμιση της ποσότητας του συνολικού αέρα που θα εισαχθεί από τα LUVO για να διατηρηθεί η σωστή ποσότητα αέρα που διοχετεύεται στον λέβητα.^[6]

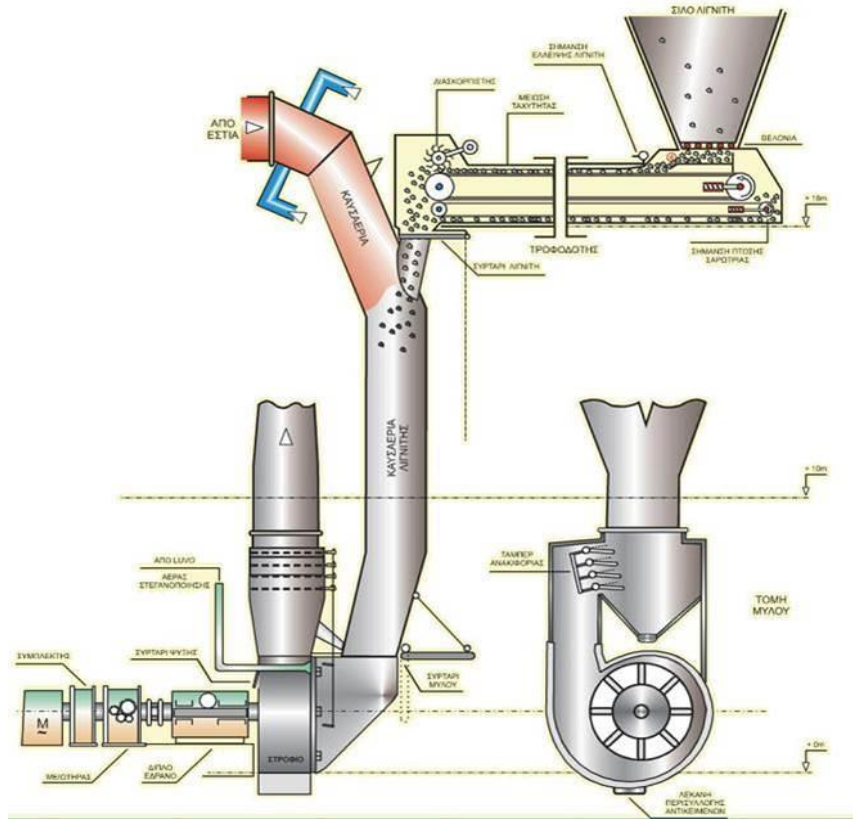
3.3.2 Μύλοι λιγνίτη

Οι μύλοι άλεσης του λιγνίτη είναι ένα από τα βασικά στοιχεία για την λειτουργία των ατμοηλεκτρικών μονάδων και συνάμα για τον έλεγχο των εκπομπών οξειδίων του αζώτου.

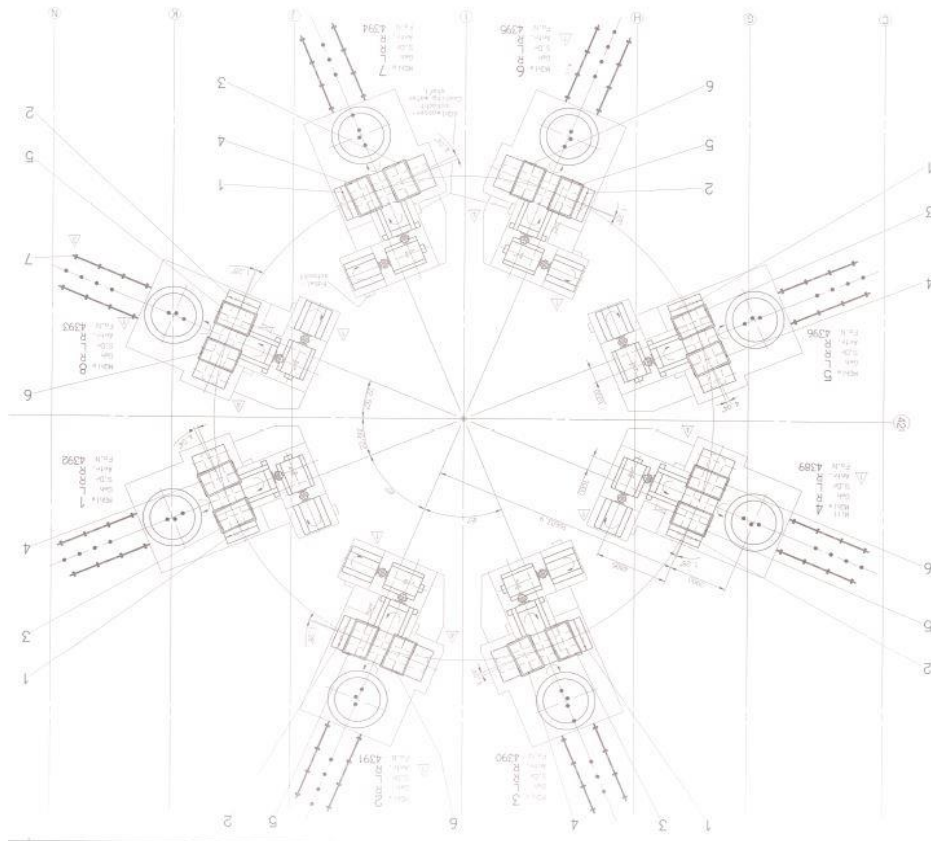
Πρόκειται για μεγάλες διατάξεις που βρίσκονται στο κάτω μέρος του λέβητα η απεικόνιση των οποίων γίνεται στο σχήμα 3.7, ονομάζονται επίσης fan mill (ανεμιστήρας μύλος) ή beater mill. Τροφοδοτούνται με λιγνίτη από τα σιλό λιγνίτη τα οποία με τη σειρά τους εφοδιάζονται με λιγνίτη διαμέσου ελαστικών ιμάντων (ταινίες μεταφοράς) από το κτίριο των σπαστήρων. Οι μύλοι τροφοδοτούνται επίσης με καυσαέρια και προθερμασμένο αέρα (πρωτογενής αέρας), στο εσωτερικό τους γίνεται η ανάμιξη όλων των παραπάνω, μέσω μεγάλων μεταλλικών στροφείων, πριν διοχετευθούν στον λέβητα διαμέσου των καυστήρων όπως φαίνεται στο σχήμα 3.8. Υπάρχουν οκτώ μύλοι λιγνίτη ανά μονάδα, δηλαδή δύο μύλοι σε κάθε πλευρά του λέβητα, αυτό διακρίνεται στο σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.7: Πρόοψη και πλάγια όψη ενός μύλου[6]



Σχήμα 3.8: Σύστημα τροφοδοσίας και κονιοποίησης λιγνίτη[6]



Σχήμα 3.9: Διάταξη των μύλων στην Μονάδα V^[6]

Στον μύλο διοχετεύονται λιγνίτης, καυσαέρια και πρωτογενής αέρας. Ο λιγνίτης πρέπει να μπαίνει στον μύλο στην σωστή κοκκομετρία. Για καλύτερα αποτελέσματα τα κομμάτια του λιγνίτη μετά τον σπαστήρα πρέπει να έχουν διατομή γύρω στα 40 mm και να είναι καλής ποιότητας για να έχουμε λιγότερη τέφρα (ανόργανη ύλη).

Ο λιγνίτης οδηγείται από το σιλό στον μύλο, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, διαμέσου μιας μεταλλικής ταινίας που ονομάζεται τροφοδότης. Το στρώμα του λιγνίτη πάνω στην ταινία τροφοδότη είναι 35cm. Το ύψος αυτό διαμορφώνεται μέσω ενός μεταλλικού ελάσματος που έχει "άνοιγμα" 35 cm. Η ταχύτητα του τροφοδότη εκφράζεται με το επί τοις εκατό ποσοστό της μέγιστης ταχύτητας του, δηλαδή αν η μέγιστη ταχύτητα του είναι V τότε λέμε ότι ο τροφοδότης τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή κινείται με π.χ. 30% και αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα του είναι 0,3V και μπορεί να φτάσει μέχρι το 85%. Άρα, γνωρίζοντας την ταχύτητα του τροφοδότη, τις διαστάσεις του λιγνιτικού στρώματος επί του τροφοδότη και την ποιότητα του λιγνίτη υπολογίζουμε το ποσό του αέρα που απαιτείται για την καύση.

Τα καυσαέρια που οδηγούνται στον μύλο έχουν θερμοκρασία 900°C και αναρροφώνται με ελκυσμό από την έξοδο της εστίας διότι ο λέβητας έχει ελαφρά υποπίεση (-1,5 mbar)

και η περιστροφή της πτερωτής του μύλου δημιουργεί την απαιτούμενη αναρρόφηση του καυσαερίου. Ο πρωτογενής αέρας εισέρχεται με θερμοκρασία 310°C πριν την είσοδο του λιγνίτη στο μύλο. Δεν πρέπει να μπαίνει μεγάλη ποσότητα αέρα αλλά όσος αέρας απαιτείται για την διατήρηση της θερμοκρασίας του μύλου σε ανεκτά επίπεδα. Το ιδανικότερο σενάριο θα ήταν να μην έμπαινε καθόλου πρωτογενής αέρας. Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό διότι ο πρωτογενής αέρας χρειάζεται για την ψύξη του μύλου καθώς ανάλογα με τον αέρα γίνεται ρύθμιση της θερμοκρασίας. Σε πλήρες φορτίο κάθε μύλος χρειάζεται 110.000 m³ αέρα περίπου την ώρα.

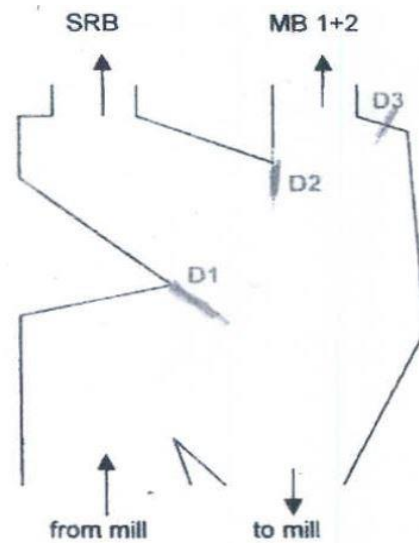
Η θερμοκρασία στον μύλο δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 180°C με 190°C. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η φθορά των πλακών της πτερωτής αλλά και όλων των άλλων μεταλλικών εξαρτημάτων του μύλου (επενδύσεις) γίνεται ραγδαία συνεπώς η λειτουργία του μύλου οικονομικά ασύμφορη αφού απαιτούνται περισσότερες ώρες συντήρησης. Η ψύξη του μύλου επιτυγχάνεται μέσω της εξάτμισης της υγρασίας που περιέχει ο λιγνίτης καθώς η υγρασία είναι αυτή που απορροφά την θερμότητα των καυσαερίων και του πρωτογενούς αέρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι όσο περισσότερος λιγνίτης μπαίνει στον μύλο τόσο περισσότερο ο μύλος να ψύχεται και συνεπώς μικρότερη η απαίτηση για πρωτογενή αέρα.

Σε περίπτωση που η θερμοκρασία εντός του μύλου υπερβεί την επιθυμητή, τα μεταλλικά πτερύγια των στροφείων των μύλων αρχίζουν να φθείρονται εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται. Στο σχήμα 3.10 απεικονίζονται περιπτώσεις φθαρμένων πτερυγίων των μύλων. Όσο περισσότερο φθείρονται τα κινούμενα μέρη του μύλου τόσο μειώνεται η αλεστική του ικανότητα με αποτέλεσμα να συσσωρεύεται ποσότητα λιγνίτη στο εσωτερικό του μύλου. Τα λεπτομερή σωματίδια λιγνίτη αναρροφώνται εντός του λέβητα μέσω των καυστήρων.



Σχήμα 3.10: Φθαρμένα πτερύγια μύλου^[6]

Τα σωματίδια λιγνίτη με μεγαλύτερο βάρος επιστρέφουν στο μύλο μέσω ενός αγωγού (αγωγός ανακυκλοφορίας) στην είσοδο του λιγνίτη στο μύλο. Αυτή η ανακυκλοφορία που λαμβάνει χώρα στον μύλο φαίνεται στο σχήμα 3.11. Σε περίπτωση που ο μύλος δεν είναι σε θέση να αλέσει τον λιγνίτη και να τον απομακρύνει προς την εστία μέσω των καυστήρων, η περίσσεια ποσότητα λιγνίτη συσσωρεύεται στο μύλο με αποτέλεσμα την σταδιακή μείωση του θερμικού φορτίου του λέβητα.



Σχήμα 3.11: Ανακυκλοφορία μύλου (Όπου D1,D2,D3 damper διαχωρισμού σωματιδίων λιγνίτη)^[6]

Προκειμένου να αποφευχθεί αυτή η κατάσταση, αυξάνουμε τις στροφές του μύλου. Τα όρια των στροφών του μύλου είναι 400 – 450 rpm. Αυξάνοντας τις στροφές αυξάνεται και η θερμοκρασία, καθώς στον μύλο εισέρχεται περισσότερο αναρροφούμενο καυσαέριο. Έτσι, αναγκαστικά αυξάνεται ο πρωτογενής αέρας που εισέρχεται με αποτέλεσμα να αυξηθεί ο λόγος αέρα λ στην εστία. Δεδομένου ότι η καύση πρέπει να είναι υποστοιχειομετρική, με λόγο αέρα περίπου 0,85, πρέπει στο παραπάνω σενάριο να μειωθεί ο δευτερογενής αέρας για να μην αυξηθεί περαιτέρω ο λόγος αέρα. Επίσης, σε αυτή τη περίπτωση, με περισσότερο αέρα θα έχουμε πλούσιο μίγμα και η ανάφλεξη του λιγνίτη θα γίνει γρηγορότερα, άρα θα έχουμε τοπικά μεγαλύτερες θερμοκρασίες και επομένως θα δημιουργηθούν NOx και όχι CO γιατί η καύση θα είναι πλήρης.

Τα ρεύματα που διοχετεύει ο μύλος μέσω των καυστήρων στον λέβητα διαχωρίζονται σε ένα ειδικό χώρο πάνω από τον μύλο που λεγεται διαχωριστής. Στον χώρο αυτό υπάρχουν ειδικά μεταλλικά ελάσματα (που ρυθμίζονται ανάλογα με την κατάσταση στην οποία ευρίσκεται ο μύλος, δηλαδή η αλεστική του ικανότητα) και επιτρέπουν την διαστρωμάτωση της κοκκομετρίας ώστε να ξεχωρίσουν τα μικρά σωματίδια και να αναρροφηθούν από τον καυστήρα των ασθενών ρευμάτων (varor burner) σε υψηλότερο σημείο του λέβητα. Τα βαρύτερα σωματίδια οδηγούνται στο λέβητα από δύο αγωγούς (ducts) που είναι οι κύριοι καυστήρες (main burners). Τα σωματίδια αυτά διαχωρίζονται σε δύο κλάσματα με μια ειδική λαμαρίνα που απεικονίζεται στο σχήμα 3.12.

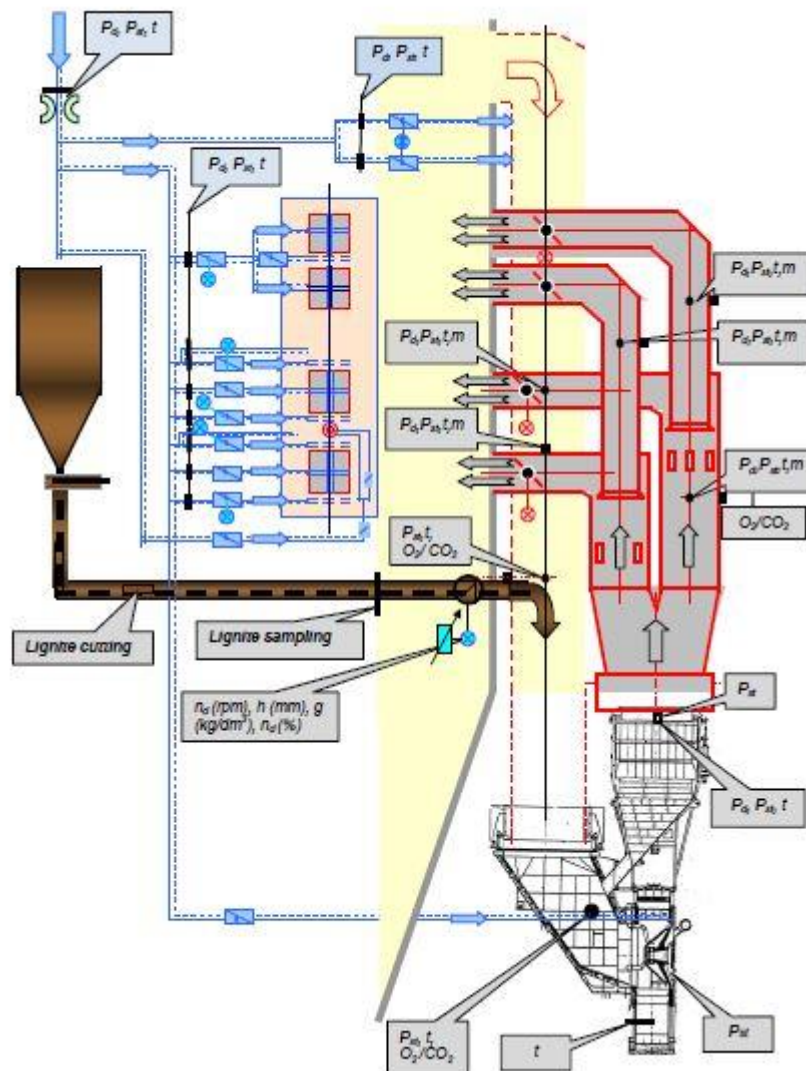


Σχήμα 3.12: Έλασμα διαχωρισμού σωματιδίων λιγνίτη (damper)^[6]

Η ρύθμιση της θέσης αυτού του damper ορίζεται από μετρήσεις που διενεργούνται στους δύο αγωγούς των κυρίων καυστήρων έτσι ώστε να χωρίζεται η ποσότητα ανάλογα με τον

δευτερογενή αέρα που εισέρχεται στο λέβητα (η κλίση της οποίας καθορίζεται με βάση το επιθυμητό αποτέλεσμα). Αν λόγω χάρη προορίζεται για καύση διαφορετικός άνθρακας, επαναρυθμίζεται η κλίση του ελάσματος. Αυτό συμβαίνει όταν είναι μεγάλο το χρονικό διάστημα που θα καίγεται διαφορετικός άνθρακας, σε αντίθετη περίπτωση δεν πραγματοποιείται καμία αλλαγή.

Τα ρεύματα, δηλαδή οι κλάδοι του μίγματος λιγνίτη και αέρα που διαχωρίζονται μετά τον μύλο και στον διαχωριστή είναι τέσσερα (για τις μονάδες I έως IV). Πρώτα γίνεται ο διαχωρισμός σε δύο ρεύματα και έπειτα το κάθε ρεύμα χωρίζεται σε άλλα δύο (ένα ισχυρό και ένα ασθενές). Έτσι, έχουμε δύο ισχυρά ρεύματα στο κάτω μέρος του κλιβάνου και δύο ασθενή πιο ψηλά όπως φαίνεται στο σχήμα 3.13. Στο σχήμα 3.14 απεικονίζονται οι αγωγοί του μίγματος αέρα-λιγνίτη μετά τον διαχωρισμό τους.



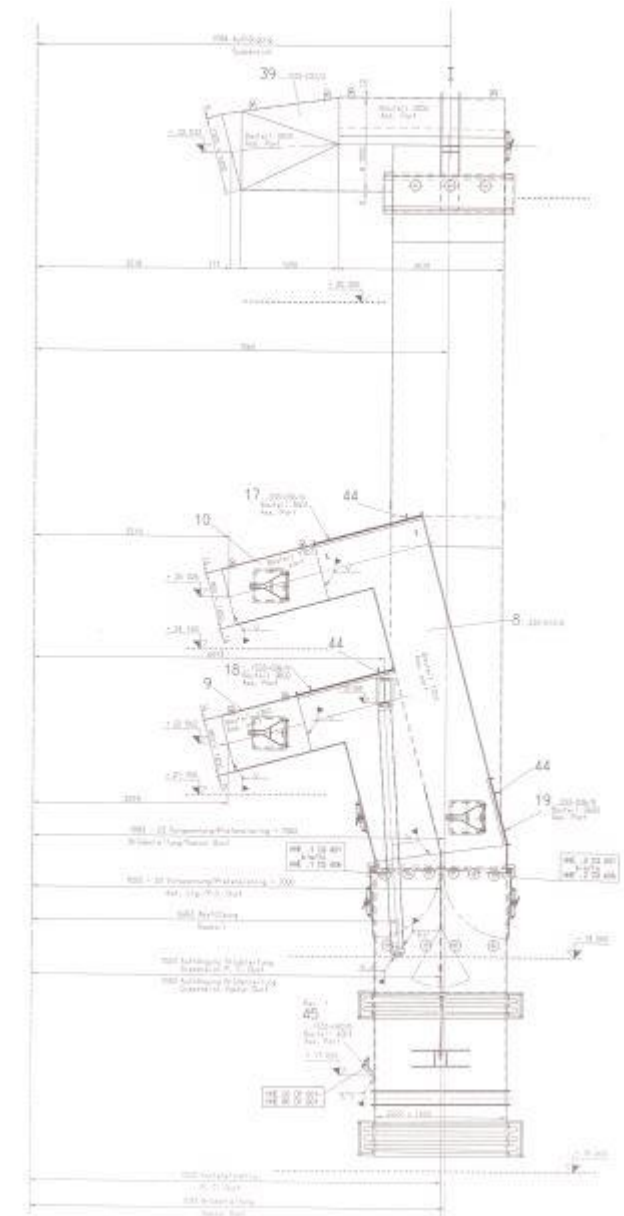
Σχήμα 3.13: Διάγραμμα λειτουργίας μύλου 41 (πρώτος μύλος μονάδας IV)^[6]



Σχήμα 3.14: Αγωγοί μίγματος αέρα – λιγνίτη μετά τον διαχωρισμό τους^[6]

Στην μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου τα ρεύματα αυτά είναι τρία, δύο ισχυρά και ένα ασθενές πιο ψηλά, η διάταξη των οποίων απεικονίζεται στο σχήμα 3.15. Με βάση αυτή τη διάταξη θα τροποποιηθούν και τα ρεύματα των υπόλοιπων τεσσάρων μονάδων του σταθμού με στόχο την μείωση των οξειδίων του αζώτου.

Στην μονάδα V του σταθμού, η συνολική ποσότητα του μίγματος λιγνίτη-αέρα που βγαίνει από τον μύλο χωρίζεται με την παρακάτω σύσταση για τον κάθε κλάδο. Το 50 - 55% του μίγματος οδηγείται στο κάτω ισχυρό, το 35 - 40% στο άνω ισχυρό και το 10% στο ασθενές ρεύμα. Αυτό γίνεται προκειμένου να έχουμε όσο το δυνατό πιο χαμηλά την καύση.



Σχήμα 3.15: Ρεύματα μίγματος αέρα - λιγνίτη μονάδας V^[6]

Ο λέβητας υπολογίζει την ποιότητα του λιγνίτη, μέσω ειδικού εξοπλισμού όπως παροχόμετρα, μανόμετρα θερμομέτρα και άλλα όργανα μέτρησης. Στην ουσία υπολογίζει το ωφέλιμο φορτίο του λέβητα και γνωρίζοντας από την ταχύτητα των τροφοδοτών την καταναλισκόμενη ποσότητα λιγνίτη, λύνει αντίστροφα την εξίσωση του βαθμού απόδοσης υπολογίζοντας την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (ΚΘΙ). Με την χρήση της καμπύλης ταχύτητας του τροφοδότη και του αέρα υπολογίζει το ποσό αέρα που χρειάζεται κάθε μύλος. Η ποιότητα του λιγνίτη έχει να κάνει με τη θερμογόνο δύναμη που ουσιαστικά λέγεται διόρθωση σε σχέση με τη συμβατική ποιότητα του λιγνίτη. Όλα τα παραπάνω πραγματοποιούνται αυτόματα, σε περίπτωση που δεν έχω το επιθυμητό αποτέλεσμα π.χ.

οξειδία του αζώτου πάνω από το επιτρεπτό όριο, με σκοπό να αντιμετωπιστεί αυτό πραγματοποιούνται επεμβάσεις στον χειρισμό της μονάδας από το control room.

Η ιδανική περίπτωση είναι η μονάδα να δουλεύει με τον μικρότερο κατά το δυνατόν αριθμό μύλων που να είναι καλά «φορτωμένοι» δηλαδή με μεγάλη παροχή λιγνίτη, διότι με περισσότερους μύλους σε λειτουργία θα αυξηθεί η ποσότητα του αέρα, άρα και η πιθανότητα να δημιουργηθούν οξειδία του αζώτου. Όταν κάποιος μύλος βρίσκεται εκτός λειτουργίας, τροφοδοτείται και πάλι με πρωτεύοντα αέρα και τα πυροβόλα του καυστήρα με δευτερεύοντα προκειμένου να ψύχεται ο καυστήρας και να μην παραμορφωθεί από τις υψηλές θερμοκρασίες.^[6]

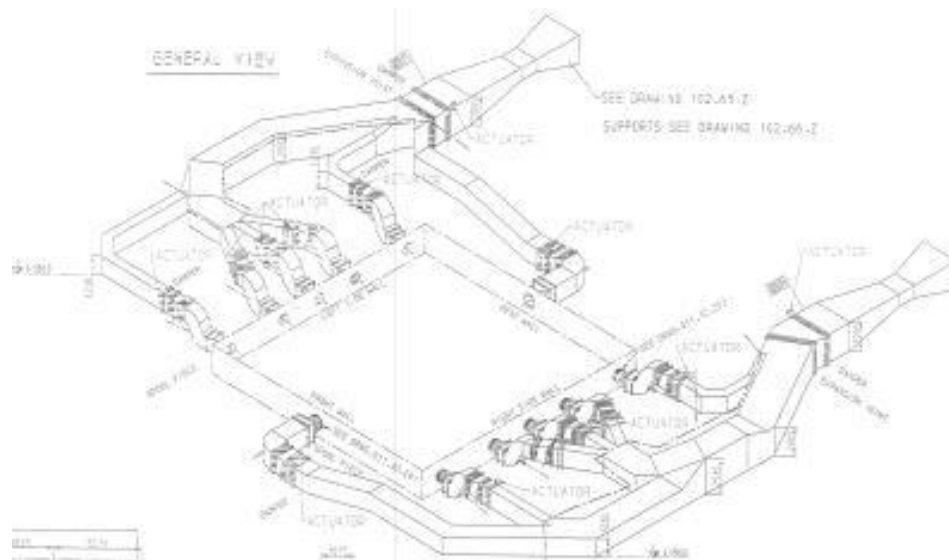
3.4 Μετασκευές μείωσης NOx στην Μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

Οι μετασκευές που πραγματοποιήθηκαν στην Μονάδα V έγιναν με σκοπό την επίτευξη των ευρωπαϊκών ορίων εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Οι εργασίες μετασκευής της μονάδας έγιναν το καλοκαίρι 2015 και είναι οι εξής:

- Μετατροπή του Overfire Air System 1
- Τοποθέτηση Overfire Air System 2
- Μετατροπή καυστήρων

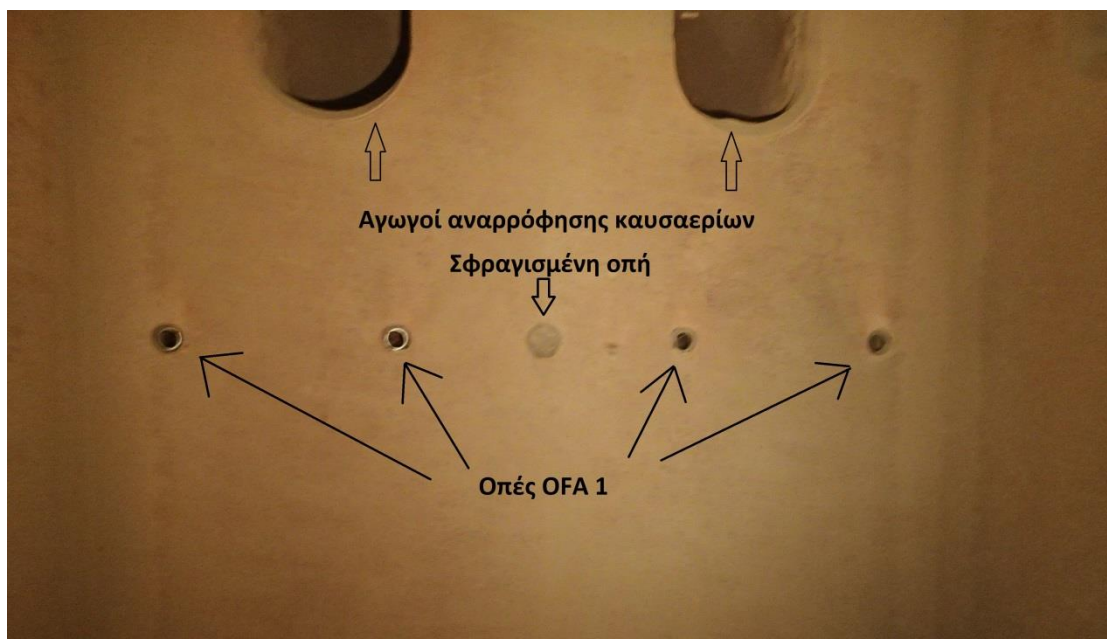
3.4.1 Μετατροπή του Overfire Air System 1

Ο OFA 1 βρίσκεται στα 30 μέτρα του λέβητα, κάτω από τους αγωγούς ανακυκλοφορίας των καυσαερίων. Αποτελείται από δώδεκα οπές, η διάταξη των οποίων φαίνεται στο σχήμα 3.16. Πέντε οπές βρίσκονται στην δεξιά πλευρά του λέβητα, άλλες πέντε βρίσκονται στην αριστερή του πλευρά και δύο οπές βρίσκονται στο εμπρός και πίσω τοίχωμα του λέβητα αντίστοιχα. Η μπροστινή πλευρά του λέβητα είναι η πλευρά που αντικρίζουμε κοιτώντας από τον σταθμό τον πύργο ψύξης.



Σχήμα 3.16: Διάταξη οπών OFA 1^[6]

Οι μετατροπές που πραγματοποιήθηκαν στον OFA 1 είναι ότι από τις δώδεκα αρχικές οπές καταργήθηκε η μεσαία από τις πέντε κάθε πλαϊνής πλευράς. Συγκεκριμένα, σφραγίστηκαν με σκυρόδεμα όπως φαίνεται στα σχήματα 3.17 και 3.18 .



Σχήμα 3.17: Οπές OFA 1 και αγωγοί αναρρόφησης καυσαερίων^[6]

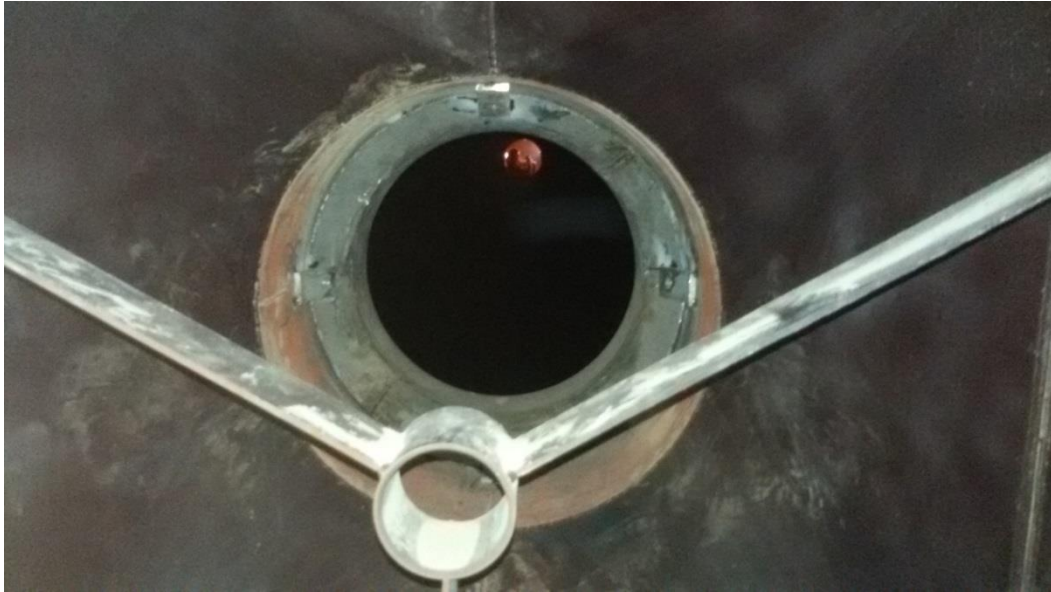


Σχήμα 3.18: Οπή OFA 1 μετά τη σφράγιση^[6]

Μία ακόμη μετατροπή που έλαβε χώρα στους OFA 1 είναι η μείωση της διατομής των υπολοίπων οπών όπως φαίνεται στα σχήματα 3.19 και 3.20.



Σχήμα 3.19: Οπή OFA 1 μετά την μείωση της διατομής^[6]

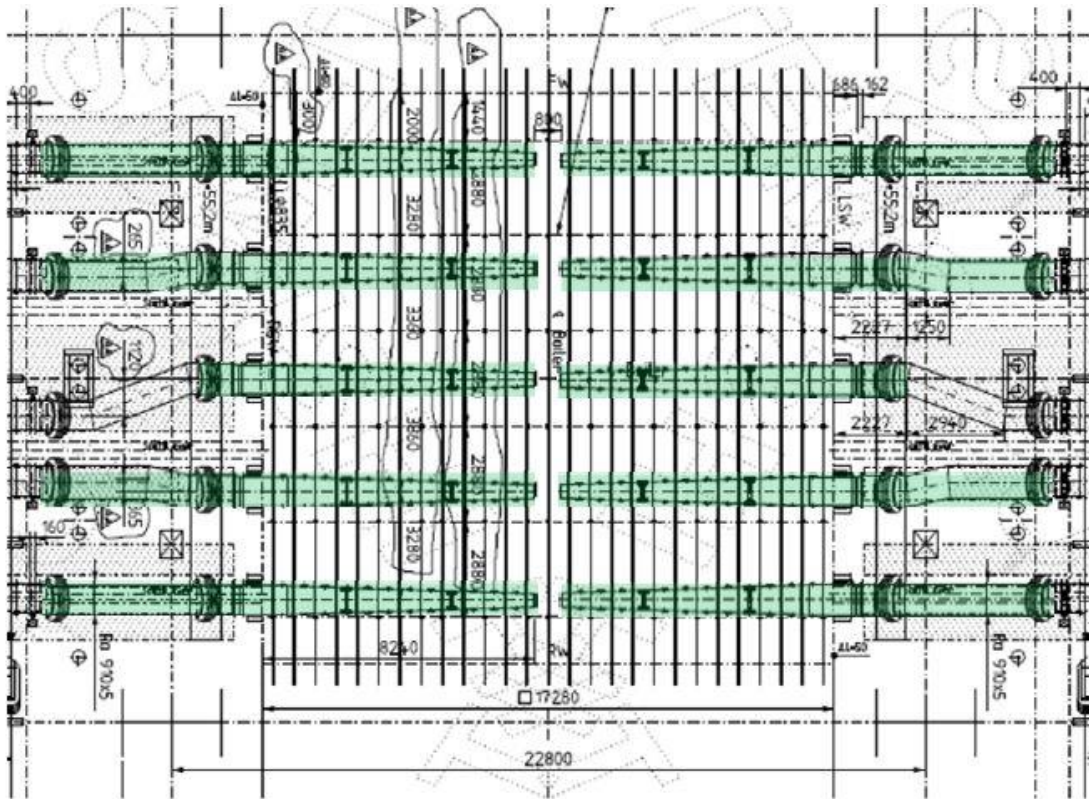


Σχήμα 3.20: Οπή OFA 1 μετά την μείωση της διατομής^[6]

Οι παραπάνω μετασκευές πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την μείωση της παροχής τριτογενούς αέρα από τον OFA 1 καθώς προστέθηκε και διάταξη OFA 2 στα 57 μέτρα καθ' ύψος του λέβητα. Το ποσό τριτογενούς αέρα που διοχετεύεται θα πρέπει να είναι ίδιο και αφού προγραμματίστηκε η τοποθέτηση OFA 2 αυτό αυτόματα σημαίνει ότι έπρεπε να μειωθεί η παροχή αέρα στον OFA 1.^[6]

3.4.2 Τοποθέτηση Overfire Air System 2

Με βάση την μελέτη μείωσης οξειδίων του αζώτου από τον ανάδοχο, αποφασίστηκε η εγκατάσταση OFA 2 στα 57 μέτρα του λέβητα. Ο τριτογενής αέρας που μπαίνει στον λέβητα από τον OFA 2 διοχετεύεται διαμέσου δέκα μεταλλικών λογχών οι οποίες έχουν οπές σε όλο το μήκος τους και η διατομή των οποίων μειώνεται καθώς εισχωρούν στο κέντρο του λέβητα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.21. Κάθε λόγχη αποτελείται από τρία μέρη και συνολικά έχουν μήκος έξι μέτρα. Οι λόγχες πριν την τοποθέτησή τους στον λέβητα φαίνονται στο σχήμα 3.22. Οι λόγχες πρέπει να είναι εύκαμπτες με σκοπό να είναι σε θέση να δέχονται τις όποιες συστολές και διαστολές μέσα στον λέβητα. Το σχήμα 3.23 απεικονίζει τις μεταλλικές λόγχες κατά την τοποθέτησή τους στον λέβητα.



Σχήμα 3.21: Διάταξη των λογγών εσωτερικά του λέβητα^[6]



Σχήμα 3.22: Οι μεταλλικές λόγγες πριν την τοποθέτησή τους στον λέβητα^[6]

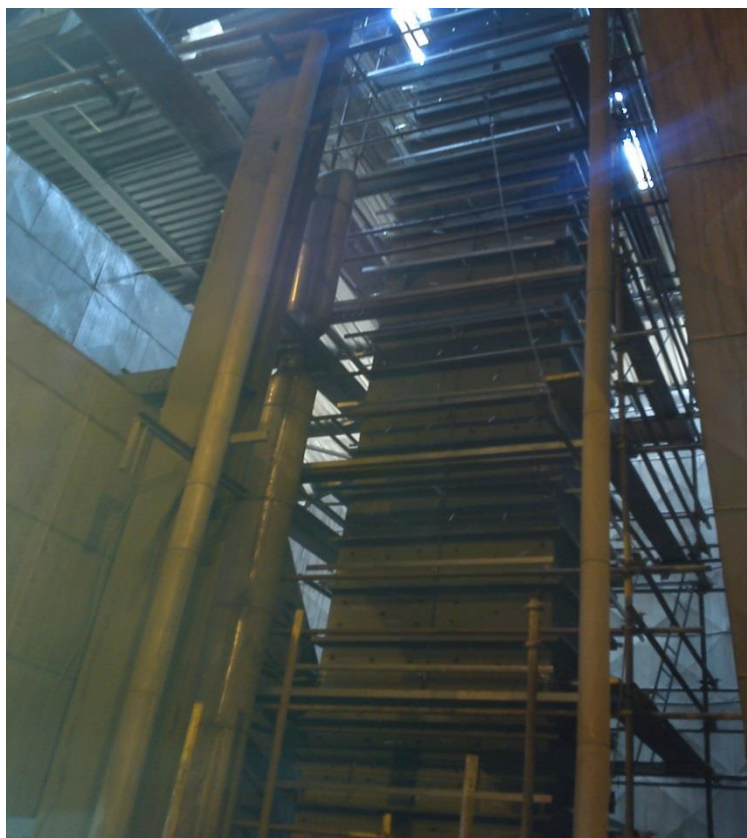


Σχήμα 3.23: Οι μεταλλικές λόγχες κατά την τοποθέτησή τους στον λέβητα^[6]

Ο αέρας που παρέχεται στις λόγχες του OFA 2 προέρχεται από τα LUNO. Κάθε λέβητας έχει δύο LUNO. Η κάθε πεντάδα λογχών δέχεται αέρα από ένα LUNO τα οποία βρίσκονται στα 12 μέτρα και για κάθε πεντάδα αντιστοιχεί ένα παροχόμετρο. Ο αέρας διοχετεύεται από τα LUNO διαμέσου μεταλλικών αγωγών τετραγωνικής διατομής προς την κάθε πεντάδα λογχών στα 57 μέτρα. Οι μεταλλικοί αγωγοί απεικονίζονται στα σχήματα 3.24 και 3.25. Στο σημείο πριν την κατάληξη του αγωγού στις λόγχες, η διατομή του μειώνεται σταδιακά κατά μήκος με σκοπό την επίτευξη ίδιας παροχής και ταχύτητας αέρα και στις πέντε λόγχες.



Σχήμα 3.24: Οι μεταλλικοί αγωγοί του OFA 2 πριν την τοποθέτησή τους^[6]

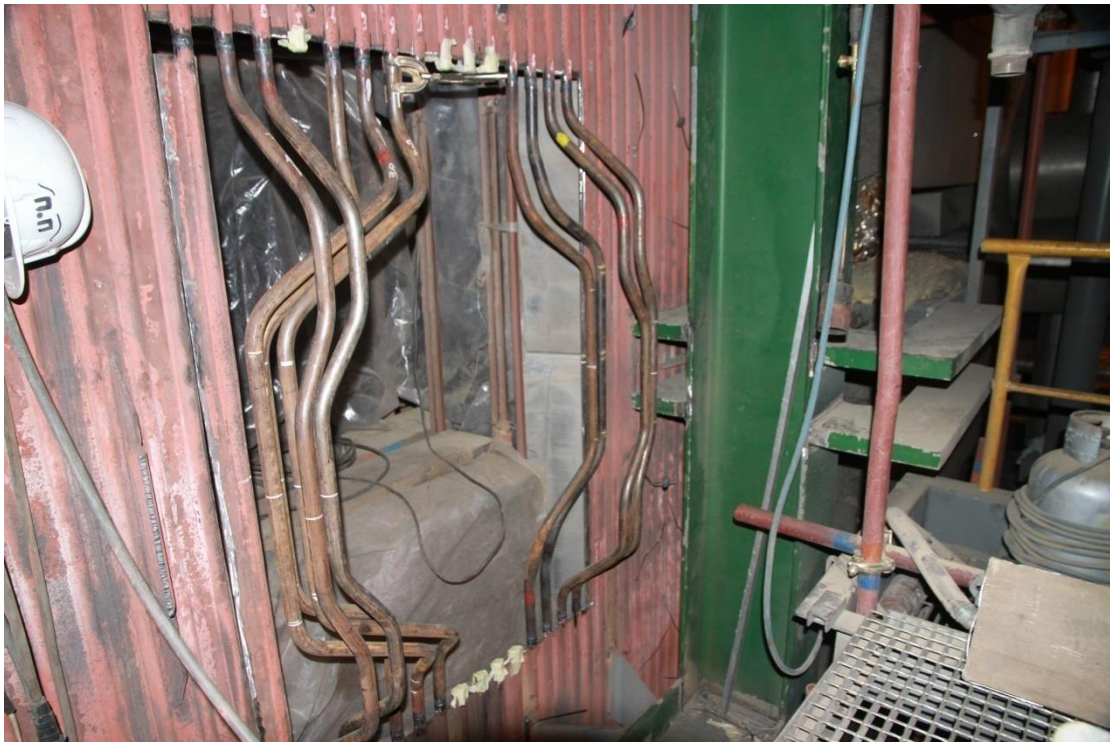


Σχήμα 3.25: Αγωγός του OFA 2 κατά την τοποθέτησή του^[6]

Για την τοποθέτηση των λογχών του OFA 2, χρειάστηκε να γίνουν ανοίγματα στα τοιχώματα του λέβητα καθώς ο λέβητας δεν είχε τις προδιαγραφές τοποθέτησης δεύτερου συστήματος OFA. Στα σημεία των τοιχωμάτων του λέβητα που θα τοποθετούνταν οι λόγχες, η διάταξη των αυλών ανόδου θα έπρεπε να τροποποιηθεί. Στα σχήματα 3.26 και 3.27 φαίνεται η τροποποιημένη διάταξη των αυλών ανόδου στα συγκεκριμένα σημεία. Πρόκειται για αυλούς κατάλληλα διαμορφωμένους με σκοπό να «αγκαλιάζουν» τα ανοίγματα των λογχών οι οποίοι διαμορφώθηκαν σε μηχανουργείο και έπειτα έγινε συγκόλληση αυτών στα τοιχώματα του λέβητα. ^[6]



Σχήμα 3.26: Οι νέοι διαμορφωμένοι αυλοί κατά τη συγκόλλησή τους στο υδροτοίχωμα του λέβητα^[6]



Σχήμα 3.27: Οι νέοι διαμορφωμένοι αυλοί στο υδροτοίχωμα του λέβητα^[6]

3.4.3 Μετατροπή καυστήρων

Προκειμένου το μίγμα αέρα-λιγνίτη να μην καίγεται σημειακά στον λέβητα και να δημιουργεί τοπικά θερμά σημεία, που συντελούν στην δημιουργία οξειδίων του αζώτου, πρέπει να γίνεται διασπορά των σωματιδίων του λιγνίτη καθώς πρέπει να καίγονται ομοιόμορφα σε όλη τη διατομή του λέβητα. Για τον σκοπό αυτό τοποθετήθηκαν μεταλλικές πλάκες οι οποίες έχουν την μορφή μαιάνδρου στο επάνω και κάτω μέρος κάθε καυστήρα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.28.



Σχήμα 3.28: Μεταλλική πλάκα αναχαίτησης σωματιδίων λιγνίτη^[6]

Καθώς ρέει το μίγμα αέρα-λιγνίτη από τον μύλο προς τον καυστήρα, ένα μέρος των σωματιδίων λιγνίτη συγκρούεται με τα «δόντια» της μεταλλικής πλάκας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της ταχύτητας αυτών των σωματιδίων και έτσι την ομογενοποίηση της φλόγας και διασπορά της σε όλη την διατομή του λέβητα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η αποφυγή θερμών σημείων και κατα συνέπεια η δημιουργία οξειδίων του αζώτου.

Μία ακόμη μετατροπή που πραγματοποιήθηκε στους καυστήρες, είναι η μείωση της παροχής δευτερογενούς αέρα. Αυτό έγινε γιατί τοποθετήθηκε η εγκατάσταση OFA 2. Για

την μείωση της παροχής του δευτερογενούς αέρα μειώθηκε το εμβαδόν της διατομής των ανοιγμάτων από τα οποία διοχετεύεται μέσα στον λέβητα. Η μείωση της διατομής επιτεύχθηκε με την προσθήκη σκυροδέματος όπως φαίνεται στο σχήμα 3.29.

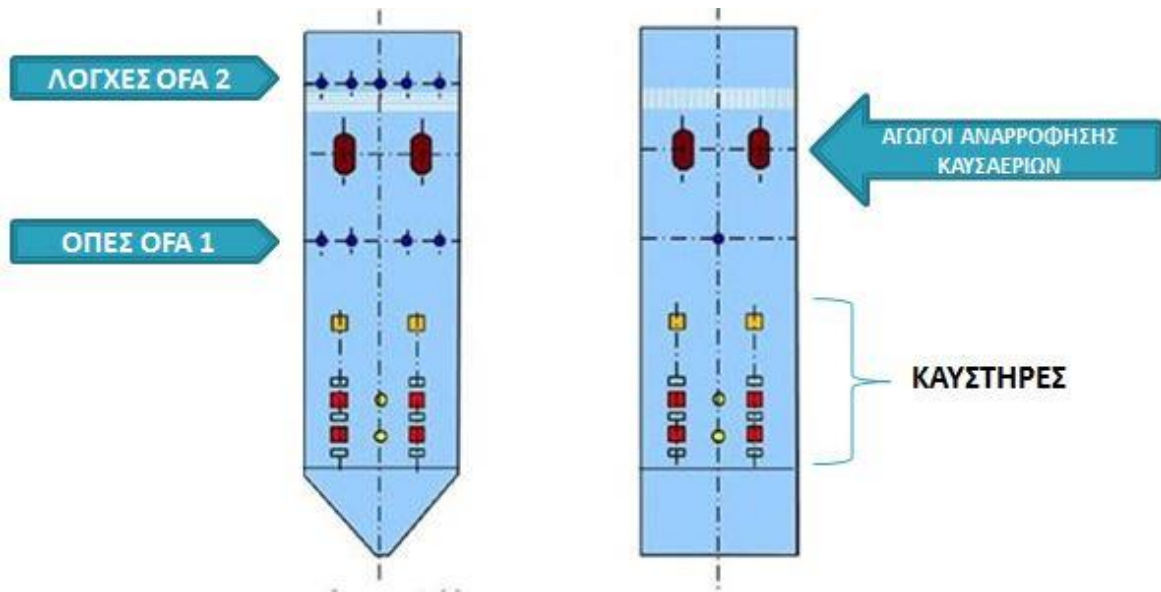


Σχήμα 3.29: Μειωμένη διατομή παροχής δευτερογενούς αέρα^[6]

Στα σχήματα 3.30 και 3.31 απεικονίζονται οι καυστήρες της Μονάδας V μετά τις μετασκευές.



Σχήμα 3.30: Καυστήρας μονάδας V μετά την μετασκευή^[6]



Σχήμα 3.31: Απεικόνιση λέβητα Μονάδας V μετά τις μετασκευές^[14]

Τέλος, πραγματοποιήθηκαν και κάποιες ηλεκτρολογικές μετατροπές που αποσκοπούσαν στον χειρισμό των ρυθμιστών (τάμπερ) αέρα από το control room. [6]

3.4.4 Βαθμός Απόδοσης Μονάδας V

Όρος της σύμβασης με τον ανάδοχο κατασκευαστή των μετασκευών που εγκαταστήθηκαν, αποτελούσε το να μην μεταβληθεί ο βαθμός απόδοσης της Μονάδας αλλά να διατηρηθεί ίδιος. Ο βαθμός απόδοσης αρχικά ήταν 38%. Μία πρώτη εκτίμηση του βαθμού απόδοσης δείχνει πως ο όρος αυτός της σύμβασης τηρήθηκε καθώς δεν σημειώθηκε αλλαγή στην τιμή του.

3.5 Μελλοντικές μετασκευές στις Μονάδες I-II-III-IV

Στις πρώτες τέσσερις μονάδες του σταθμού δεν έχουν πραγματοποιηθεί ακόμα μετασκευές με σκοπό την μείωση των οξειδίων του αζώτου. Ωστόσο, έχει προγραμματιστεί η εγκατάστασή τους. Συγκεκριμένα, οι μετασκευές που θα λάβουν χώρα στις μονάδες I-IV είναι οι παρακάτω:

- Κατάργηση του ενός εκ των δύο ασθενών ρευμάτων μίγματος αέρα-καυσίμου
- Εγκατάσταση συστήματος τριτογενούς αέρα OFA 1 και OFA 2^[6]

3.6 Αλληλουχία ενεργειών για μείωση των NOx

3.6.1 Γενικά

Για να μειωθούν οι εκπομπές NOx θα πρέπει να διατηρηθούν χαμηλές θερμοκρασίες καύσης και υποστοιχειομετρική αναλογία αέρα στην εστία. Αυτό φαίνεται θεωρητικά εύκολο και τα NOx μπορεί πραγματικά να μειωθούν αρκετά, αλλά θα υπάρξει μεγάλος αντίκτυπος στα άκαυστα και κυρίως στην αύξηση των CO σε πολύ υψηλά επίπεδα.^[6]

3.6.2 Κατανομή αέρα και καυσίμου στον θάλαμο καύσης

Προκειμένου να μην δημιουργηθούν NOx θα πρέπει να διατηρηθούν χαμηλές κατά το δυνατόν θερμοκρασίες στην εστία. Η διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών μπορεί να επιτευχθεί με τρεις παράλληλης ενέργειες.

- Η ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στο λέβητα πρέπει να είναι ελαφρώς υποστοιχειομετρική για να μην έχουμε τέλεια καύση και τεράστια έκλυση θερμότητας. Στην είσοδο του λιγνίτη στην εστία, ο θεωρητικός αέρας πρέπει να είναι λιγότερος του 100% (περίπου 85%).
- Η φλόγα στην εστία πρέπει να βρίσκεται σε ανάδευση, δηλαδή να υπάρχει "τύρβη" ώστε με την ανάμειξη του αέρα να δημιουργηθεί στην εστία ένας τεράστιος φλογοστρόβιλος. Με αυτό το τρόπο θα ομογενοποιηθεί η θερμοκρασία της εστίας και δεν θα υπάρχουν τοπικά θερμά σημεία. Αυτό το αποτέλεσμα παρέχεται από τον υψηλής πίεσης δευτερογενή αέρα.
- Η διάχυση των σωματιδίων λιγνίτη στο λέβητα θα πρέπει να καλύπτει άμεσα όλη τη διατομή του. Για αυτό το λόγο στους καυστήρες λιγνίτη υπάρχει μια διαμόρφωση (μαϊανδρος από λαμαρίνα) ώστε να μειωθούν οι ταχύτητες των σωματιδίων λιγνίτη και να μην συγκλίνει όλη η ποσότητα του λιγνίτη στο κέντρο της εστίας.

Ο αέρας που εισέρχεται στο λέβητα από κάθε μύλο θα πρέπει να είναι τόσοσ ώστε να υπάρχει υποστοιχειομετρική καύση. Για το λόγο αυτό ο αέρας (πρωτογενής και δευτερογενής - ως άθροισμα) υπολογίζεται από μια καμπύλη που είναι συνάρτηση της ταχύτητας του τροφοδότη του μύλου και της ποιότητας του λιγνίτη. Η ποιότητα του λιγνίτη υπολογίζεται ανά πάσα στιγμή ανάλογα με το αποτέλεσμα που προσφέρει ο λιγνίτης. Δηλαδή μετράται η ατμοπαραγωγή, η ενθαλπία του ατμού και η κατανάλωση λιγνίτη και υπολογίζεται η θερμογόνος δύναμη του λιγνίτη.

Εφόσον έχει υπολογιστεί το άθροισμα πρωτεύοντος και δευτερεύοντος αέρα, παρέχεται πρωτεύοντας αέρας στο μύλο σε ποσότητα τέτοια ώστε η θερμοκρασία διαχωριστή να μην υπερβαίνει κάποια ορισμένη τιμή , π.χ. 180°C για λογούς που εξηγήθηκε παραπάνω. Το υπόλοιπο ποσό αέρα διοχετεύεται ως δευτερεύοντας αέρας.

Ομοίως, η ποσότητες αέρα στον OFA 1 , OFA2 και τεφρολεκάνη (αέρας στεγανοποίησης) παρέχεται σαν συνάρτηση του αθροίσματος των ταχυτήτων όλων των τροφοδοτών. Συνήθως σε πλήρες φορτίο ο αέρας στην τεφρολεκάνη είναι 80.000 κυβικά μέτρα και ο αέρας στον OFA 2 είναι διπλάσιος του OFA 1. Η περίσσεια του αέρα στο θάλαμο καύσης (στην έξοδο) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 115% και το οξυγόνο στα καυσαέρια πριν από το LUVO σε πλήρες φορτίο πρέπει να είναι περίπου 3%.^[6]

3.7 Συμπεράσματα

Η μείωση των οξειδίων του αζώτου στις μονάδες του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Αρχικά, η δημιουργία των οξειδίων του αζώτου είναι κατα κύριο λόγο φαινόμενο που προκύπτει από τις συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας καύσης που επικρατούν μέσα στην εστία. Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών κατα την καύση είναι η περίσσεια του αέρα, η ορθολογιστική κατανομή του καυσίμου από τους διάφορους καυστήρες, η πίεση του δευτερεύοντα αέρα και η διάχυση του καυσίμου σε όλη την διατομή του λέβητα.

Παράγοντες που συμβάλλουν στον έλεγχο αφενός της θερμοκρασιακής κατανομής μέσα στον θάλαμο καύσης και αφετέρου στον σχηματισμού οξειδίων του αζώτου, είναι ο αέρας που εισέρχεται μέσα στον λέβητα και οι συνθήκες λειτουργίας των μύλων άλεσης λιγνίτη που διοχετεύουν το καύσιμο. Ο αέρας που εισέρχεται πρέπει να μπαίνει σε διαφορετικά σημεία καθ' ύψος στον λέβητα και η ποσότητα του να είναι τόση ώστε η καύση να είναι ελαφρώς υποστοιχειομετρική πριν του OFA (λόγος αέρα: $\lambda=0,85$) με σκοπό την πλήρη καύση του καυσίμου στο ύψος των OFA και συνεπώς την αποφυγή ανάπτυξης θερμών σημείων. Ταυτόχρονα θα πρέπει να δουλεύουν όσο το δυνατόν λιγότεροι μύλοι σε μια μονάδα οι οποίοι να τροφοδοτούνται με την ελάχιστη δυνατή ποσότητα αέρα και την μέγιστη δυνατή ποσότητα καυσίμου.

Στην μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, με γνώμονα την μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου για την επίτευξη των ευρωπαϊκών ορίων των 200mg ανά Nm³, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από μετασκευές. Αρχικά, έγινε μετατροπή του συστήματος εισαγωγής τριτογενούς αέρα από τον OFA1. Συγκεκριμένα, σφραγίστηκαν δύο από τις

δώδεκα συνολικά οπές έτσι ώστε να επιτευχθεί η διανομή αέρα που απαιτούνταν καθώς πλέον εισάγεται αέρας και από το νέο σύστημα εισαγωγής τριτογενούς αέρα OFA2.

Ο OFA2 που τοποθετήθηκε στα 57 μέτρα του λέβητα, αποτελεί ακόμη μια μετασκευή της μονάδας V και αποσκοπεί στην εισαγωγή τριτογενούς αέρα υψηλότερα στον λέβητα, ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης καύση και αποφυγή εκπομπών μονοξειδίων του άνθρακα (CO). Αποτελείται από δέκα μεταλλικές λόγχες τοποθετημένες εσωτερικά του λέβητα και οι οποίες μέσω των οπών που διαθέτουν παρέχουν το κατάλληλο ποσό αέρα και εξασφαλίζουν τη διάχυση του.

Ταυτόχρονα, παροχή αέρα στα συστήματα OFA1 και OFA2 σημαίνει μείωση του δευτερογενούς αέρα από τους καυστήρες που αποτελεί επίσης μια ακόμη μετασκευή που πραγματοποιήθηκε. Η μείωση αυτή επιτεύχθηκε με την μείωση της διατομής των ανοιγμάτων από τα οποία παρέχεται ο δευτερογενής αέρας. Παράλληλα τοποθετήθηκαν μεταλλικές πλάκες στους καυστήρες, με τη μορφή μαιάνδρου που αποσκοπούν στην ομοιόμορφη διάχυση του μίγματος αέρα-καυσίμου, την ομαλή καύση του και την αποφυγή δημιουργίας τοπικών θερμών σημείων.

Τέλος, στις μονάδες I-II-III-IV δεν έχουν πραγματοποιηθεί ακόμη μετασκευές, ωστόσο με σκοπό την επίτευξη των ευρωπαϊκών ορίων εκπομπών, προβλέπεται η κατάργηση ενός εκ των δύο ασθενών ρευμάτων μίγματος αέρα-καυσίμου και η εγκατάσταση συστημάτων παροχής τριτογενούς αέρα OFA1 και OFA2.

Κεφάλαιο 4 - Μελέτη ειδικών εκπομπών, δεικτών εκπομπών και απωλειών καυσαερίων των ρύπων των μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

4.1 Ειδικές εκπομπές και δείκτες εκπομπών ρύπων των μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

4.1.1 Ορισμός ειδικής εκπομπής και δείκτη εκπομπής

Τα επίπεδα των ρύπων ποσοτικοποιούνται με τις ειδικές εκπομπές. Η ειδική εκπομπή προκύπτει από το κλάσμα της ροής μάζας του ρύπου προς την αποδιδόμενη ισχύ.

$$\text{Ειδική εκπομπή} = \frac{\text{Ροή μάζας του ρύπου}}{\text{Ισχύς που αποδίδεται}}$$

Συγκεκριμένα οι τιμές των ειδικών εκπομπών των ρύπων υπολογίστηκαν από τις ακόλουθες σχέσεις:

- Διοξείδιο του θείου:

$$sSO_2 = \frac{\dot{m}_{SO_2}}{P}$$

- Μονοξείδιο του άνθρακα:

$$sCO = \frac{\dot{m}_{CO}}{P}$$

- Διοξείδιο του άνθρακα:

$$sCO_2 = \frac{\dot{m}_{CO_2}}{P}$$

- Οξειδία του αζώτου:

$$sNO_x = \frac{\dot{m}_{NO_x}}{P}$$

Επίσης, μία άλλη ποσότητα ως μέτρο σύγκρισης των εκπομπών των ρύπων είναι η ποσότητα των ρύπων που εκπέμπονται από μοναδιαία ποσότητα κατανάλωσης καυσίμου. Αυτό ονομάζεται δείκτης εκπομπής:

Συγκεκριμένα οι τιμές των ειδικών εκπομπών των ρύπων υπολογίστηκαν από τις ακόλουθες σχέσεις:

- **Διοξείδιο του θείου:**

$$EI_{SO_2} = \frac{\dot{m}_{SO_2}}{\dot{m}_f}$$

- **Μονοξείδιο του άνθρακα:**

$$EI_{CO} = \frac{\dot{m}_{CO}}{\dot{m}_f}$$

- **Διοξείδιο του άνθρακα:**

$$EI_{CO_2} = \frac{\dot{m}_{CO_2}}{\dot{m}_f}$$

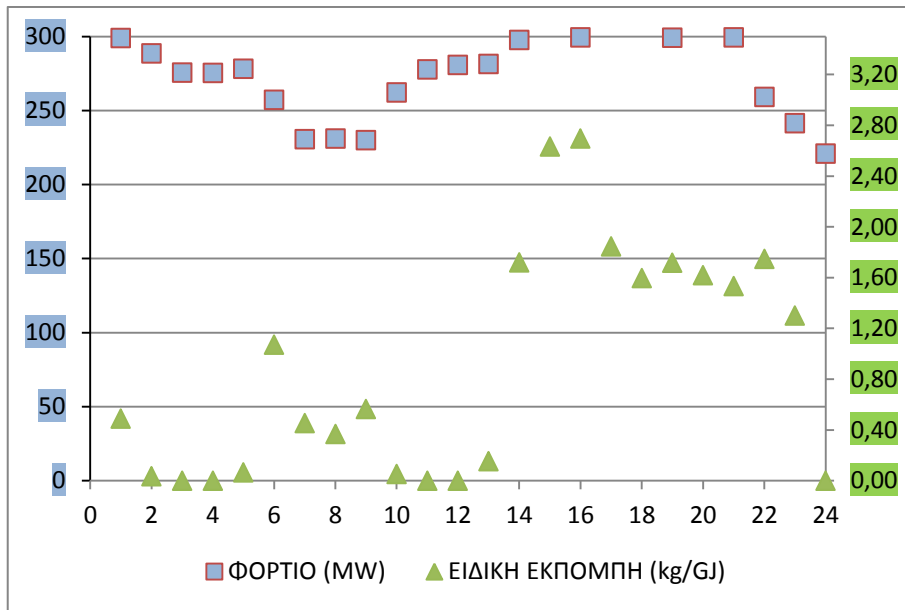
- **Οξειδία του αζώτου:**

$$EI_{NO_x} = \frac{\dot{m}_{NO_x}}{\dot{m}_f}$$

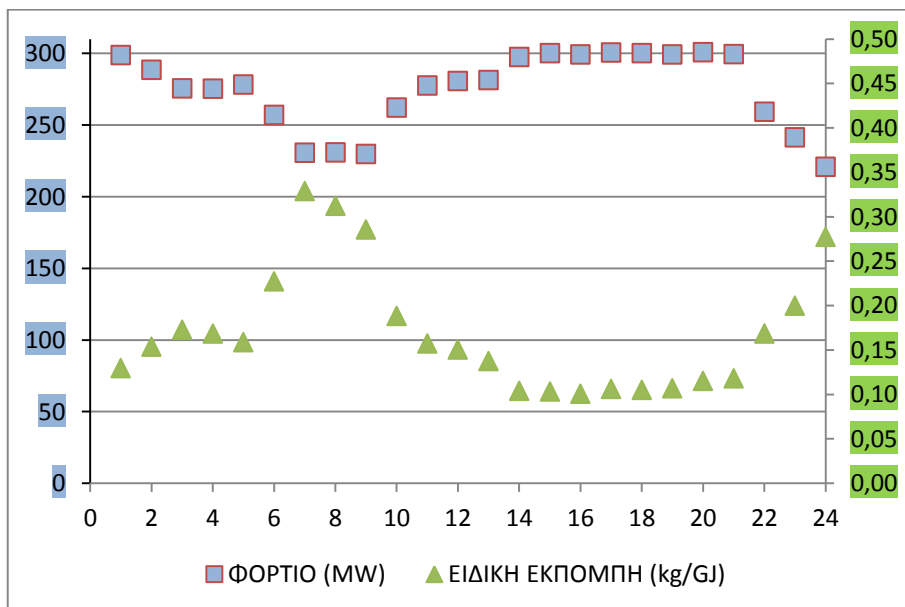
4.1.2 Ειδικές εκπομπές και δείκτες εκπομπών ρύπων Μονάδων I-IV

Από ημερήσια δεδομένα εκπομπών ρύπων των μονάδων I-IV του Παρατήματος III , υπολογίστηκαν οι ειδικές εκπομπές καθώς και ο δείκτης εκπομπών και παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα. Στους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν, οι τιμές των εκπομπών των ρύπων ήταν οι ημερήσιες τιμές της Μονάδας IV του σταθμού στις 5 Αυγούστου 2015. Τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν επίσης τις τιμές των υπολοίπων μονάδων (I-II-III) καθώς είναι ίδιας κατασκευής και περίπου ίδιας παραγώμενης ισχύος.

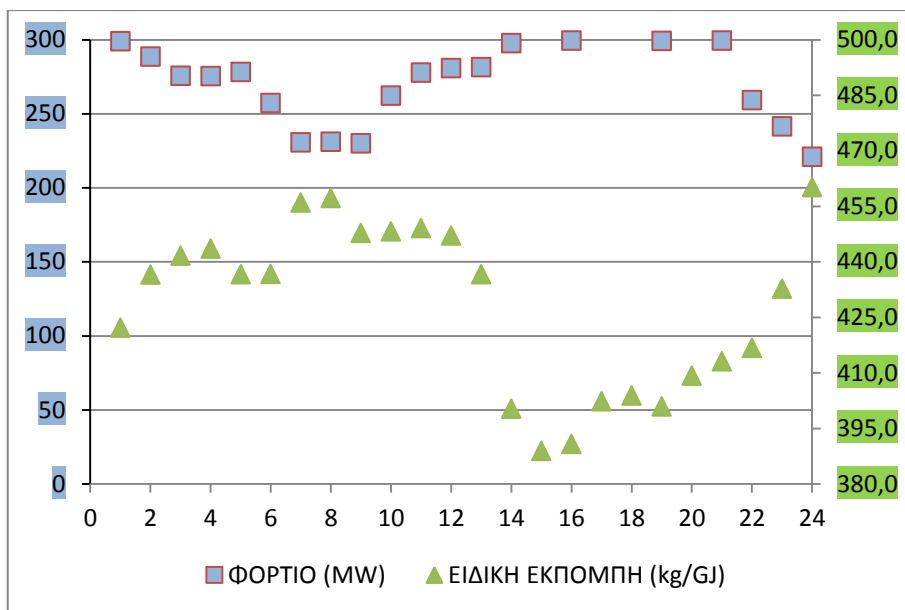
4.1.2.1 Διαγράμματα ειδικών εκπομπών ρύπων της μονάδας IV



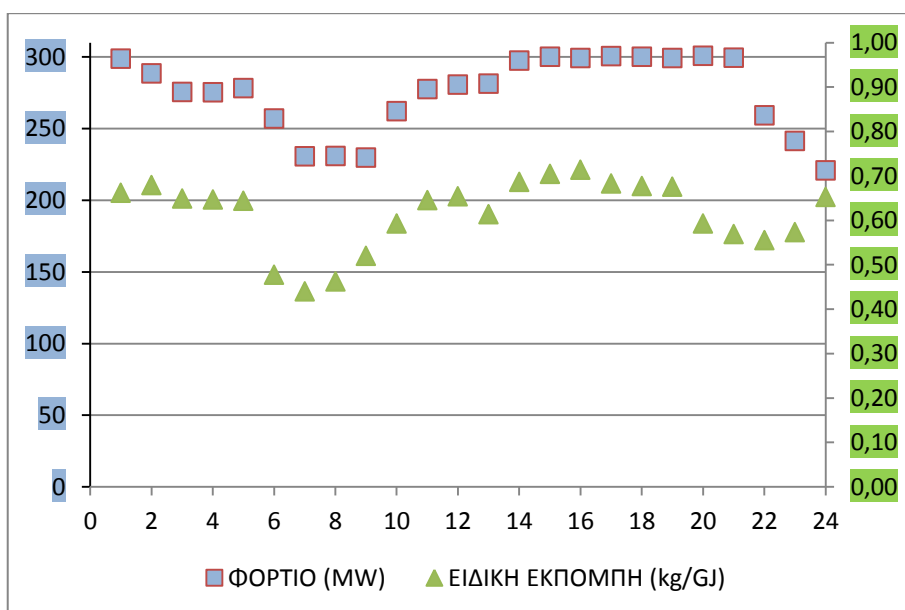
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO_2) της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

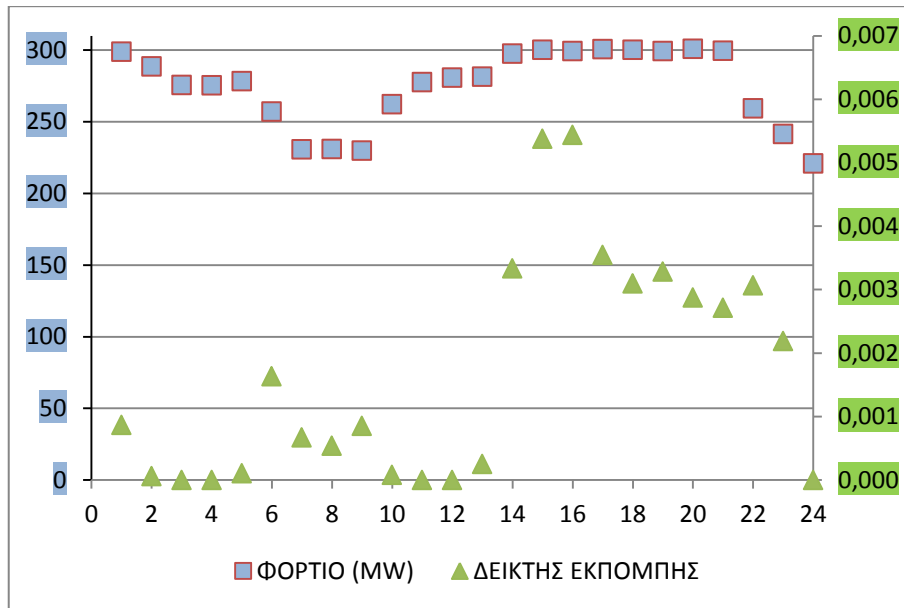
Οι ειδικές εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) φαίνεται πως κυμαίνονται σε τιμές από 0 έως 1,10 kg/GJ για την αυξομείωση του φορτίου, ενώ όταν η μονάδα λειτουργεί σε πλήρες φορτίο στα 300 MW για συνεχόμενες ώρες, σημειώνεται σημαντική αύξηση στις ειδικές εκπομπές SO₂ και συγκεκριμένα φτάνουν μέχρι και 2,7 kg/GJ. Η μέση ημερήσια τιμή των ειδικών εκπομπών του SO₂ είναι 0,9405 kg/GJ.

Στη συνέχεια, μελετώντας τις ειδικές εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) παρατηρείται πως για μέγιστες τιμές φορτίου, οι τιμές τους βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα της τάξης των 0.10 με 0.20 kg/GJ ενώ όταν στο φορτίο της μονάδας σημειώνονται πτώσεις, οι τιμές των ειδικών εκπομπών παρουσιάζουν αύξηση φτάνοντας μέχρι και τα 0.32 kg/GJ. Η μέση ημερήσια τιμή τους είναι 0.1636 kg/GJ.

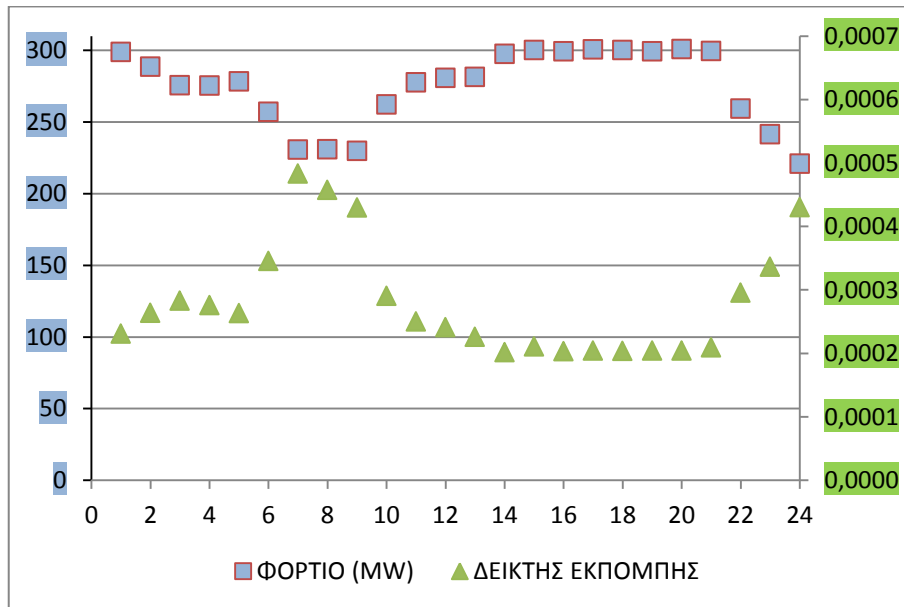
Ίδια περίπου συμπεριφορά φαίνεται να έχουν και οι ειδικές εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) αφού κι αυτές, στις ώρες της ημέρας που η μονάδα λειτουργούσε σε υψηλό φορτίο (300 MW), κυμαίνονταν σε τιμές 388 – 413 kg/GJ, ενώ όταν το φορτίο μειωνόταν σε τιμές περίπου 230 MW, έδειχναν αύξηση μεταξύ των τιμών 422 – 457 kg/GJ με την μέση ημερήσια τιμή τους να είναι 426 kg/GJ.

Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πορεία των ειδικών εκπομπών των οξειδίων του αζώτου (NO_x) κατά τη διάρκεια της ημέρας καθώς παρατηρείται πως ακολουθεί ακριβώς τις αυξομειώσεις του φορτίου. Όσο μειώνεται το φορτίο μειώνονται και οι ειδικές εκπομπές NO_x σε τιμές μέχρι και 0.43 kg/GJ ενώ όσο το φορτίο αυξάνεται και αγγίζει τα μέγιστα επίπεδα των 300 MW. Οι τιμές των ειδικών εκπομπών NO_x φτάνουν μέχρι και 0.71 kg/GJ με τη μέση ημερήσια τιμή τους να είναι 0.6206 kg/GJ. Μια ακόμα ενδιαφέρουσα παρατήρηση σχετικά με τις ειδικές εκπομπές των NO_x είναι πως, εκτός από το ότι ακολουθούν την πορεία του φορτίου, ακολουθούν και την ακριβώς αντίθετη πορεία με αυτές του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), γεγονός που είναι δικαιολογημένο καθώς οι σχηματισμοί αυτών των δύο ρύπων συνδέονται ασυμπτωτικά κατά τη διάρκεια της καύσης μέσα στον λέβητα. Συγκεκριμένα, στο πρώτο στάδιο στη ζώνη των καυστήρων επικρατεί υποστοιχειομετρική καύση με λόγο αέρα καυσίμου 0,85 με σκοπό την αποφυγή σχηματισμού NO_x διατηρώντας χαμηλή θερμοκρασία καύσης, πράγμα που σημαίνει ότι το μίγμα είναι πλούσιο και μένουν άκαυστα CO τα οποία δεν προλαβαίνουν να οξειδωθούν πλήρως.

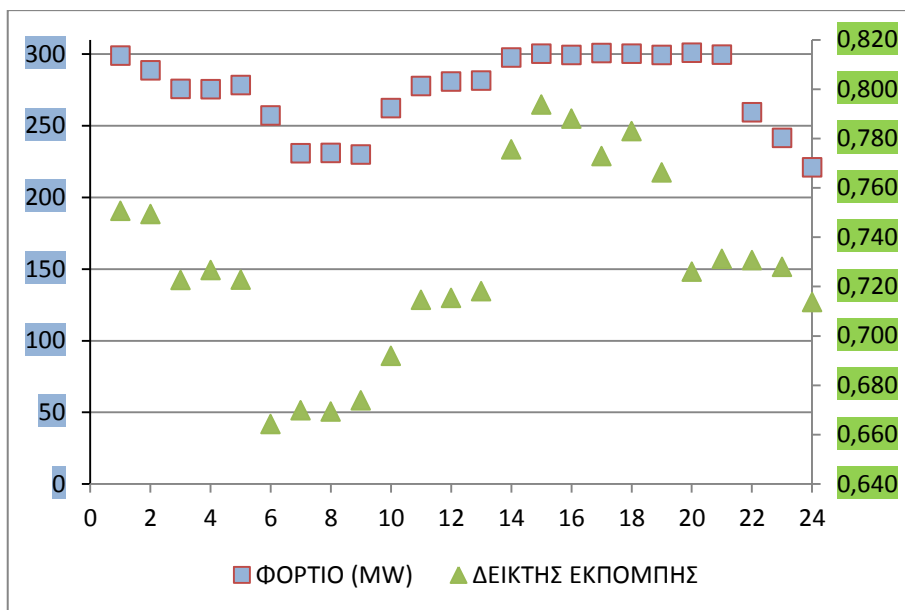
4.1.2.2 Διαγράμματα δεικτών εκπομπών ρύπων της μονάδας IV



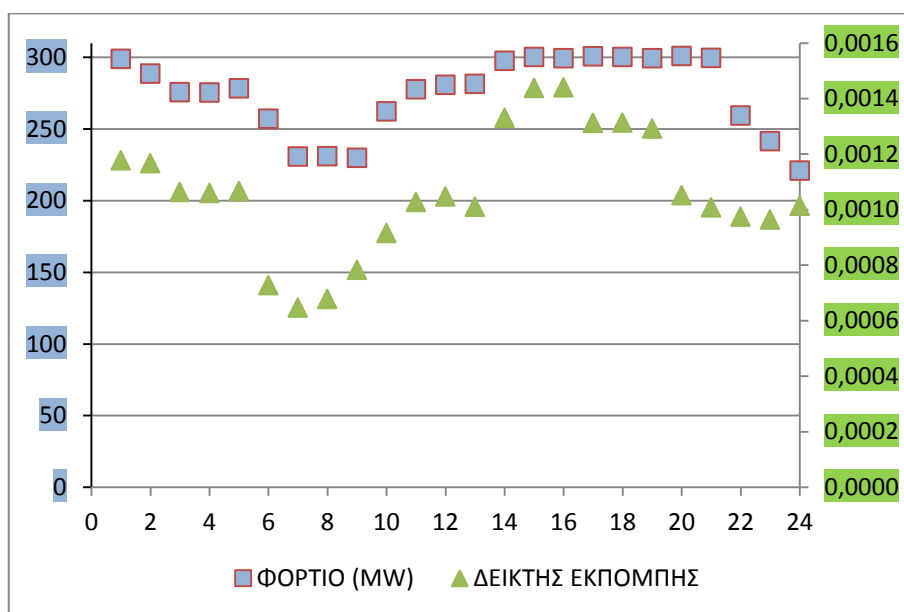
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO_2) της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.6: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.7: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Τα διαγράμματα των δεικτών εκπομπών των ρύπων της μονάδας IV δείχνουν κι αυτά τους δείκτες εκπομπών κάθε ρύπου κατά τη διάρκεια μιας ημέρας σε σχέση με το φορτίο της μονάδας.

Αρχικά, ο δείκτης εκπομπής διοξειδίου του θείου (SO_2) παρατηρείται πως κυμαίνεται ποιοτικά παρόμοια με τις ειδικές εκπομπές αλλά παίρνει τιμές από 0 – 0.0016 kg ρύπου/kg καυσίμου για φορτίο από 229 – 288 MW. Όταν όμως το φορτίο αγγίζει τη

μέγιστη τιμή των 300 MW, ο δείκτης σημειώνει σημαντική αύξηση και το εύρος των τιμών που κυμαίνεται είναι από 0.0021 έως και 0.0054 kg ρύπου/kg καυσίμου. Η μέση τιμή του δείκτη εκπομπής κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι 0.0008.

Στη συνέχεια, ακολουθεί ο δείκτης εκπομπής του μονοξειδίου του άνθρακα, ο οποίος παραμένει κι αυτός, όπως και οι ειδικές εκπομπές του CO, σε χαμηλά επίπεδα της τάξης του 0.00020 kg ρύπου/kg καυσίμου όταν το φορτίο της μονάδας είναι μέγιστο (300 MW), ενώ δέχεται αύξηση σε τιμές από 0.00022 έως 0.00048 kg ρύπου/kg καυσίμου όταν σημειώνεται πτώση του φορτίου στα 229 με 288 MW με μέση ημερήσια τιμή 0.00027 kg ρύπου/kg καυσίμου.

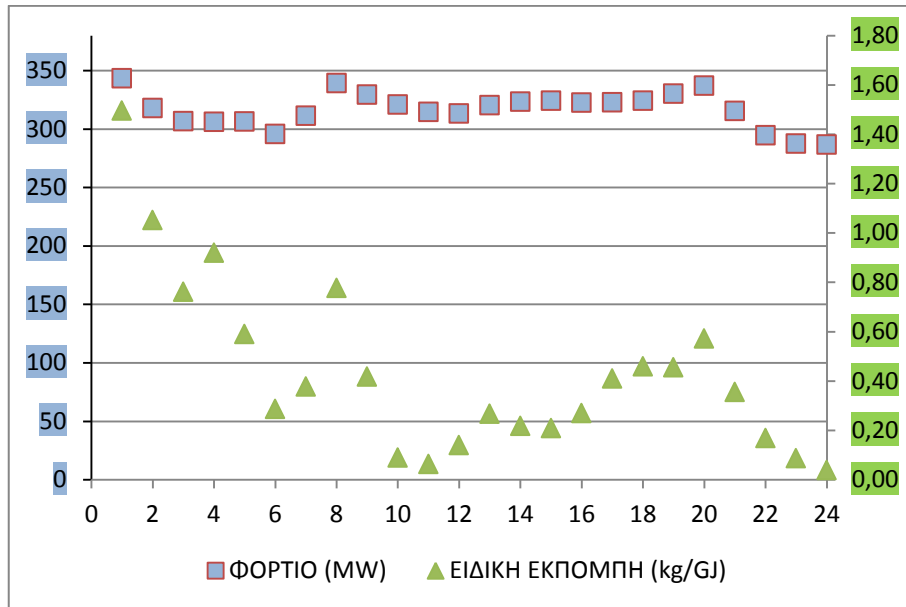
Όσον αφορά τον δείκτη εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα, παρατηρείται αύξηση των τιμών του στο 0.76 – 0.79 kg ρύπου/kg καυσίμου όταν το φορτίο είναι μέγιστο και μείωση των τιμών του στο 0.66 – 0.75 kg ρύπου/kg καυσίμου όταν μειώνεται αντίστοιχα και το φορτίο στα 299 – 288 MW. Η μέση ημερήσια τιμή του είναι 0.7283 kg ρύπου/kg καυσίμου.

Τα οξείδια του αζώτου έχουν δείκτη εκπομπής του οποίου η πορεία είναι ανάλογη με αυτήν του φορτίου της μονάδας, δηλαδή ακολουθεί τις αυξομειώσεις του φορτίου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όσο το φορτίο είναι 300 MW, ο δείκτης εκπομπής παίρνει τιμές από 0.0012 έως 0.0014 kg ρύπου/kg καυσίμου ενώ όταν το φορτίο μειώνεται, ο δείκτης πέφτει μέχρι και στο 0.0006 kg ρύπου/kg καυσίμου. Όλη του η πορεία μέσα στη μέρα δίνει μία μέση τιμή 0.001 kg ρύπου/kg καυσίμου.

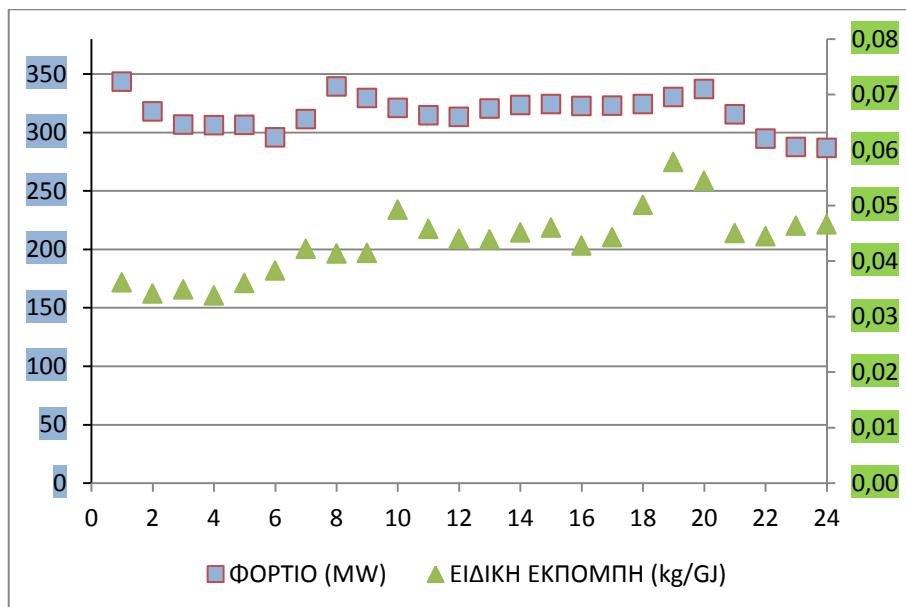
4.1.3 Ειδικές εκπομπές και δείκτες εκπομπών ρύπων Μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου

Όσον αφορά τα διαγράμματα που ακολουθούν για τις ειδικές εκπομπές και τους δείκτες εκπομπών των ρύπων της μονάδας V πριν τις μετασκευές που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την μείωση των οξειδίων του αζώτου, τα δεδομένα ήταν οι ημερήσιες τιμές εκπομπών της μονάδας στις 9 Φεβρουαρίου 2015 του Παραρτήματος Ι.

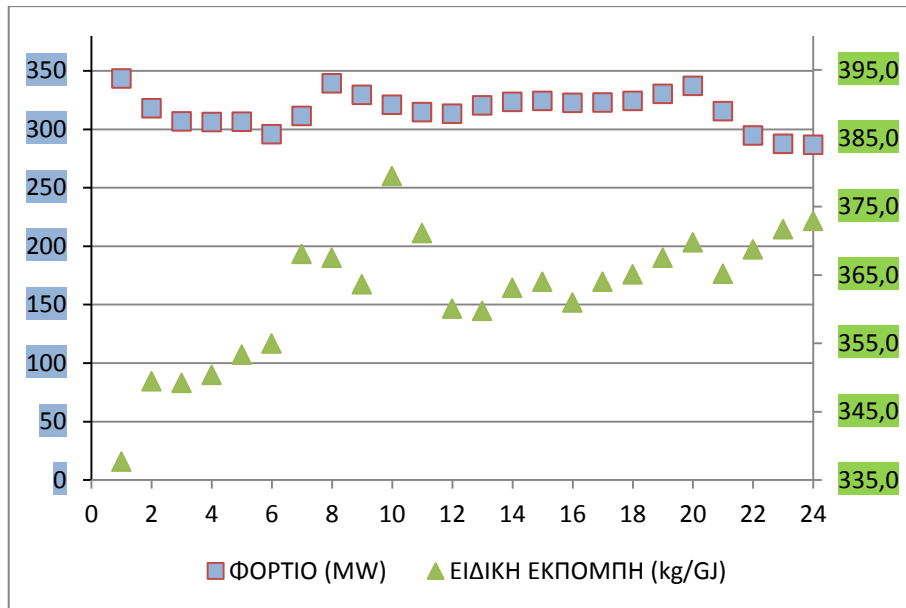
4.1.3.1 Διαγράμματα ειδικών εκπομπών ρύπων της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου



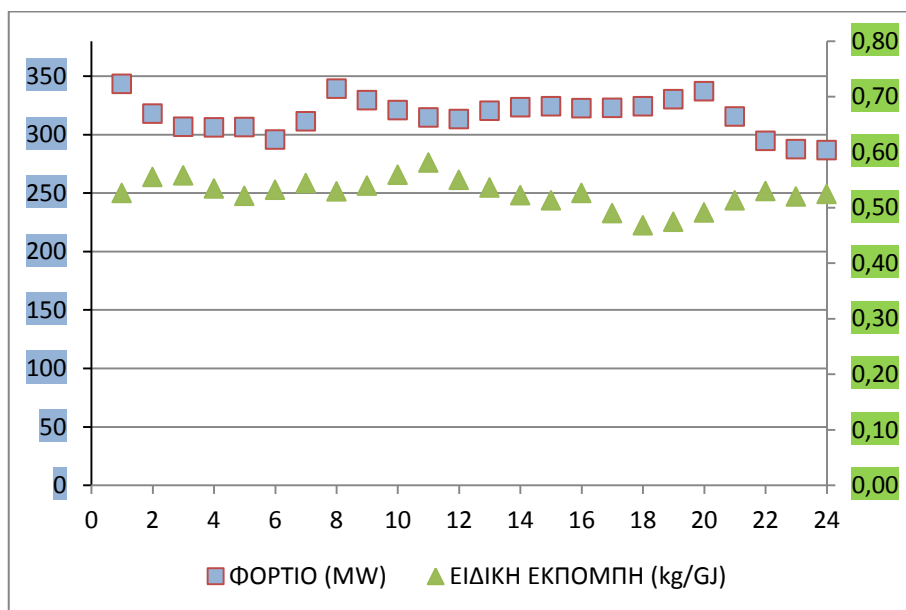
Σχήμα 4.9: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.10: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.11: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.12: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Περνώντας στα διαγράμματα ειδικών εκπομπών των ρύπων της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης των NOx, αρχικά παρατηρείται πως οι ειδικές εκπομπές του διοξειδίου του θείου (SO₂) δεν σημειώνουν κάποια αξιοσημείωτη μεταβολή καθώς οι τιμές τους κυμαίνονται στα 0.03 – 0.57 kg/GJ όταν το φορτίο της μονάδας είναι σταθερό στα 324 MW. Μόνο στις πρώτες τέσσερις ώρες της ημέρας φαίνεται να παίρνουν

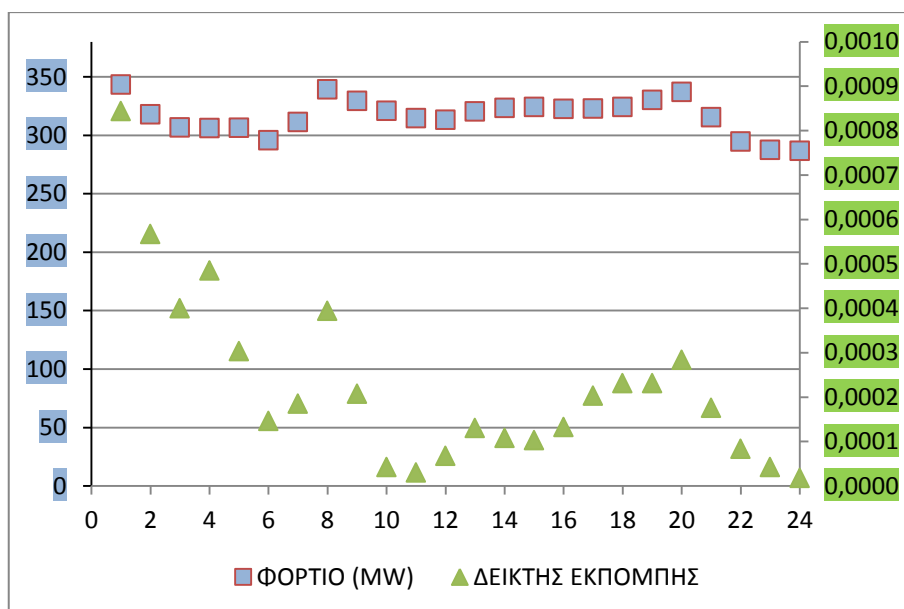
υψηλές τιμές μέχρι και 1.49 kg/GJ κι αυτό συνέβη όταν το φορτίο έπιασε μέγιστη τιμή στα 343 MW. Η μέση ημερήσια τιμή των ειδικών εκπομπών του SO₂ είναι 0.044 kg/GJ.

Οι ειδικές εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) φαίνεται να ακολουθούν την πορεία του φορτίου μέσα στη μέρα και παίρνουν τιμές από 0.033 έως και 0.057 kg/GJ χωρίς ιδιαίτερες αυξομειώσεις, με μέση τιμή καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας στα 0.043 kg/GJ.

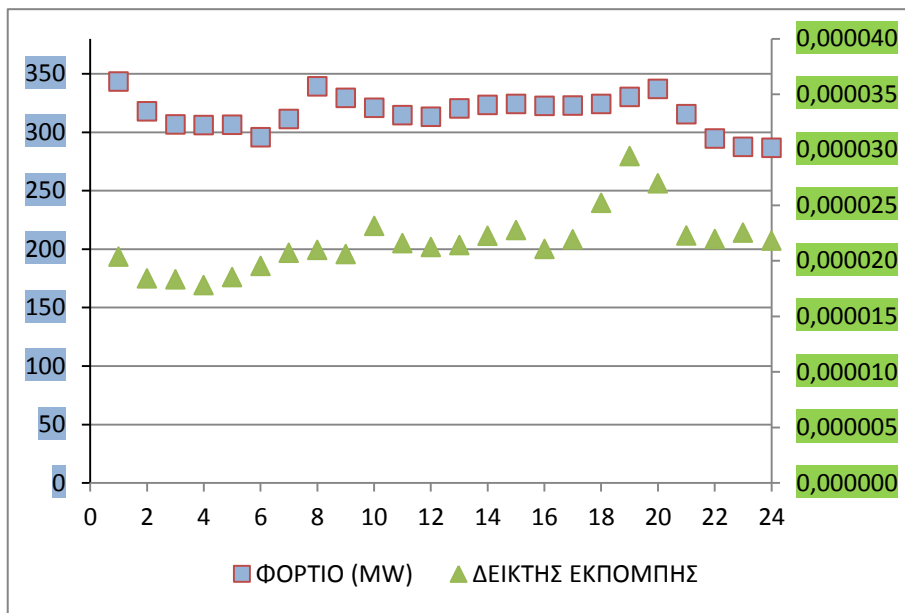
Στη συνέχεια, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) φαίνεται να έχει κι αυτό ειδικές εκπομπές χωρίς ιδιαίτερες αυξομειώσεις και με τιμές από την ελάχιστη στα 337 kg/GJ έως τη μέγιστη στα 379 kg/GJ. Η μέγιστη αυτή τιμή σημειώθηκε όταν το φορτίο μέσα στη μέρα άγγιξε σχεδόν τη μέγιστη τιμή του στα 339 MW. Η μέση ημερήσια τιμή των ειδικών εκπομπών του CO είναι 362.3 kg/GJ.

Τέλος, οι ειδικές εκπομπές των οξειδίων του αζώτου φαίνεται να κυμαίνονται στις τιμές μεταξύ 0.46 – 0.58 kg/GJ με μέση ημερήσια τιμή 0.52 kg/GJ, αλλά μετά την εγκατάσταση των τεχνολογιών μείωσης των NOx αυτές οι τιμές πέφτουν κατα πολύ, όπως φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 4.20

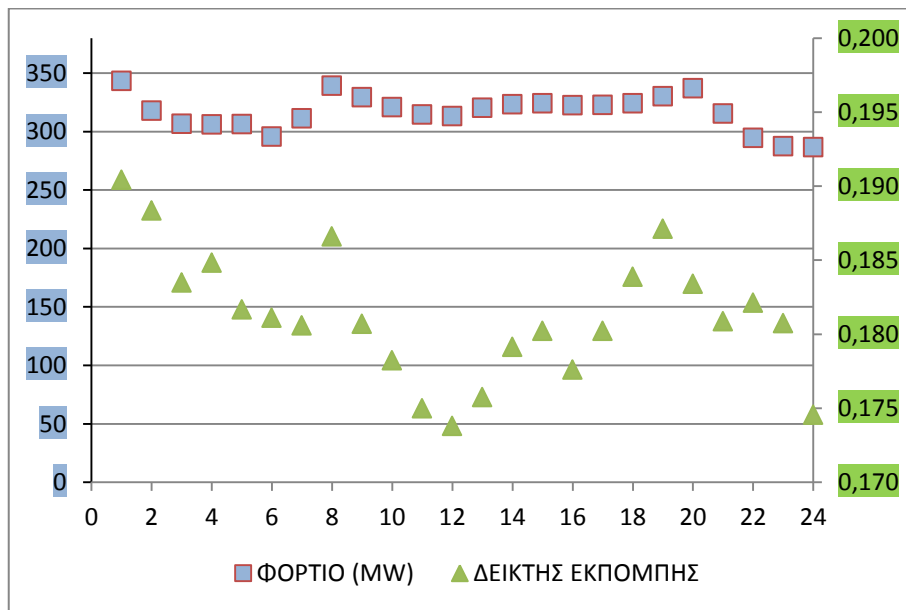
4.1.3.2 Διαγράμματα δεικτών εκπομπών ρύπων της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου



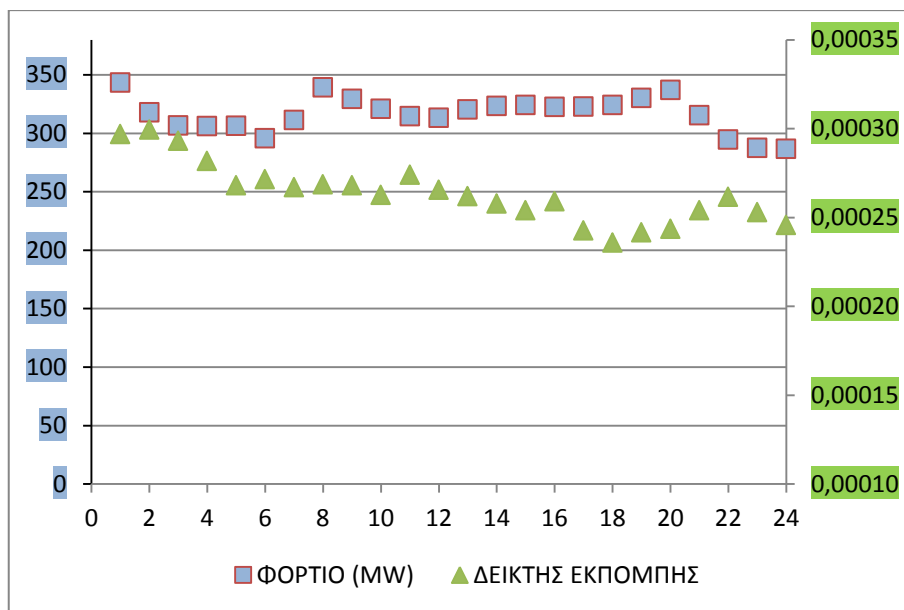
Σχήμα 4.13: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.14: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.15: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.16: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Ο δείκτης εκπομπής του SO₂ στην Μονάδα V πριν την εγκατάσταση των μετασκευών δεν παρουσιάζει κάποια ανάλογη αυξομείωση αντίστοιχη του φορτίου. Παρατηρείται ωστόσο, πως κατά την αύξηση του φορτίου ο δείκτης εκπομπής αυξάνεται και αυτός. Ο δείκτης εκπομπής του SO₂ παρουσιάζει στη διάρκεια της ημέρας μια μέση τιμή 0,0001246 kg ρύπου/kg καυσίμου.

Στο σχήμα 4.14 φαίνεται πως ο δείκτης εκπομπής του CO ακολουθεί την αυξομείωση του φορτίου. Κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,0000178 και 0,00002943 kg ρύπου/kg καυσίμου, και έχει μέση τιμή 0,00002177 kg ρύπου/kg καυσίμου.

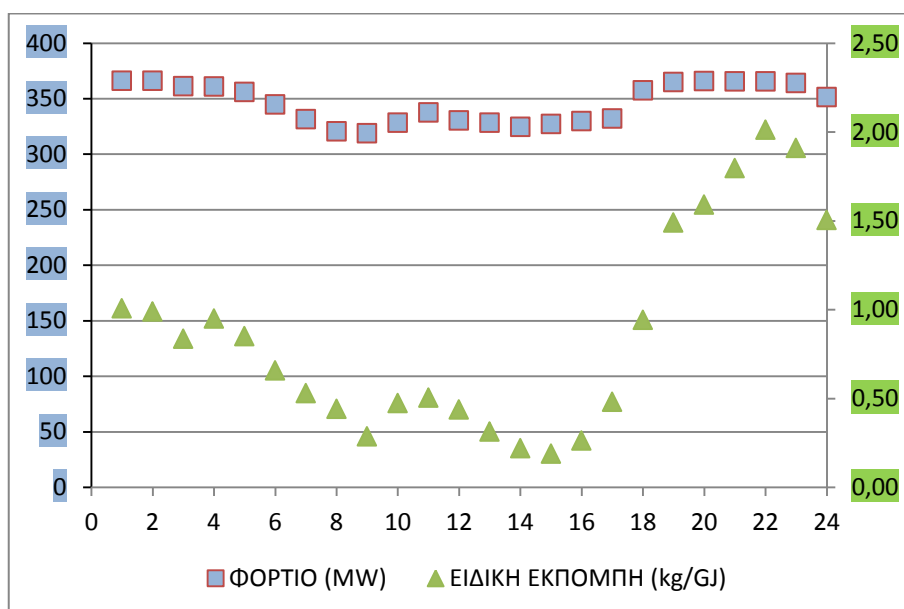
Ο αντίστοιχος δείκτης του CO₂ σημειώνει αύξηση όταν το φορτίο παίρνει μέγιστες τιμές στην διάρκεια της ημέρας και συγκεκριμένα κοντά στα 340MW, ενώ μειώνεται όταν το φορτίο ακολουθεί σταθερές τιμές χωρίς αυξομειώσεις. Ο δείκτης εκπομπής του CO₂ έχει μία μέση τιμή 0,18119 kg ρύπου/kg καυσίμου.

Όσον αφορά τον δείκτη εκπομπής των NOx, διακρίνεται ότι έχει μεγαλύτερη τιμή από τον αντίστοιχο του CO. Ωστόσο η αυξομείωση των τιμών του είναι αντιστρόφως ανάλογη του δείκτη εκπομπής του CO. Ο δείκτης κυμαίνεται μεταξύ του 0,0002357 και 0,0002993 kg ρύπου/kg καυσίμου και έχει μια μέση τιμή 0,0002631 kg ρύπου/kg καυσίμου.

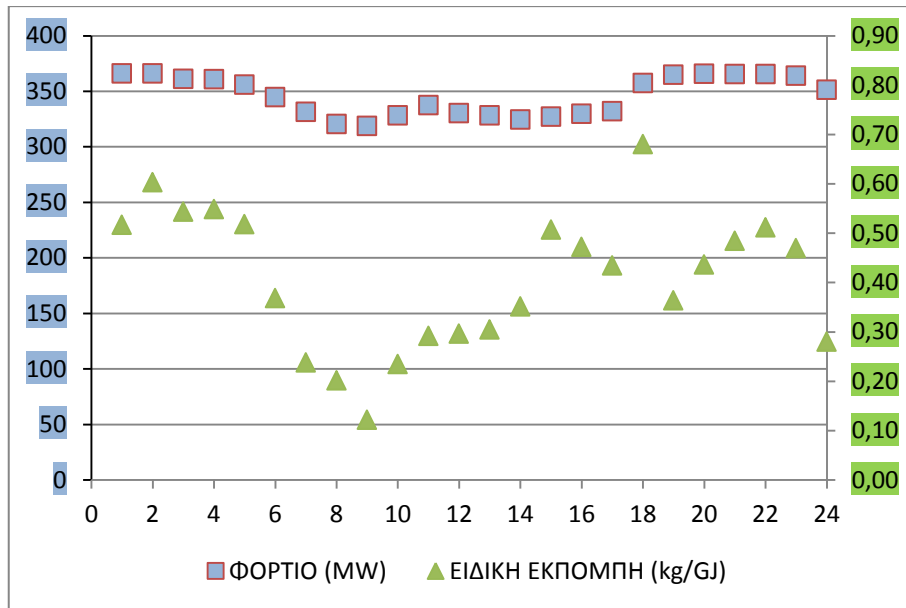
4.1.4 Ειδικές εκπομπές και δείκτες εκπομπών ρύπων Μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου

Μετά την εγκατάσταση των τεχνολογιών μείωσης των οξειδίων του αζώτου στην μονάδα V, οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 3.4.1, λήφθηκαν δεδομένα εκπομπών ρύπων της μονάδας στις 5 Αυγούστου 2015 του Παραρτήματος II.

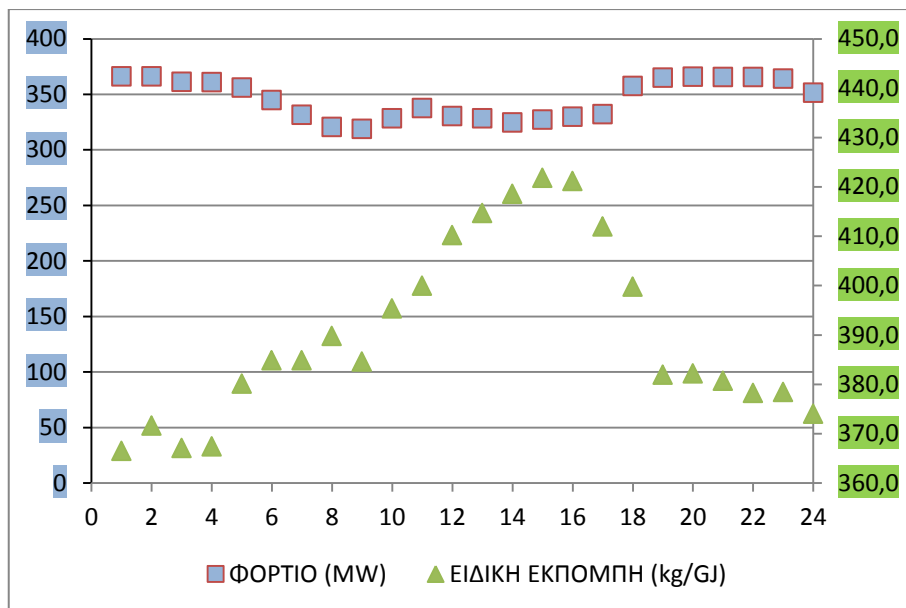
4.1.4.1 Διαγράμματα ειδικών εκπομπών ρύπων της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου



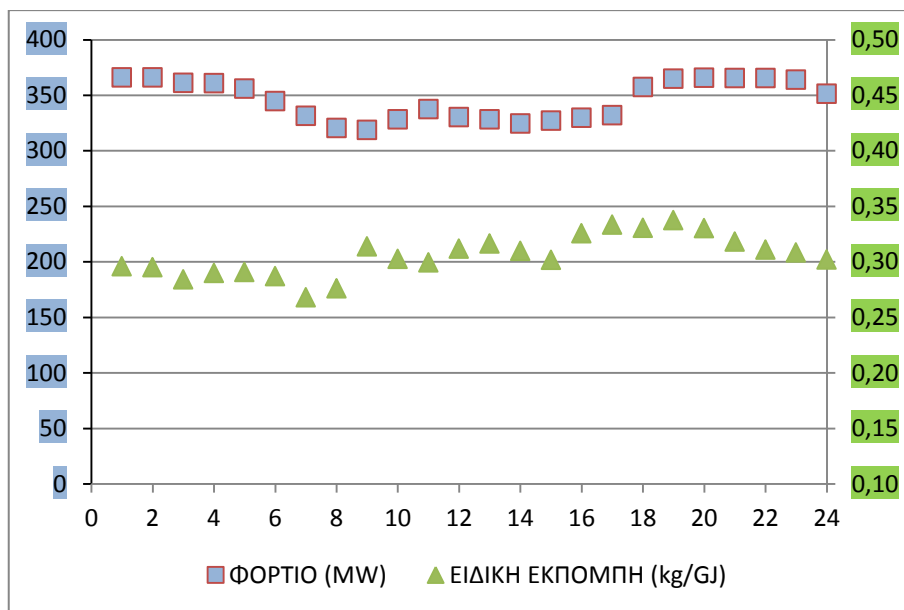
Σχήμα 4.17: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂) της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.18: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.19: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.20: Διάγραμμα ειδικών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx) της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

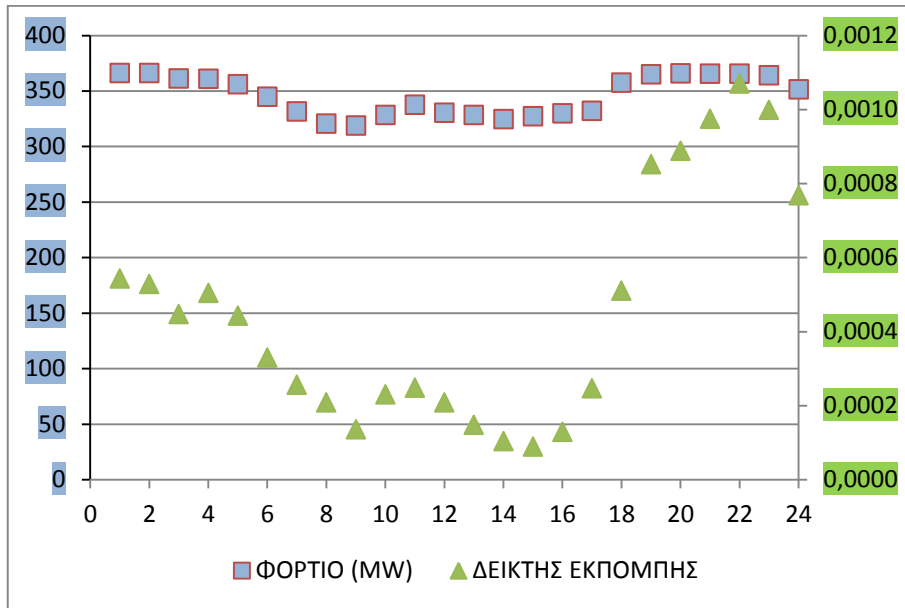
Μετά την εγκατάσταση των τεχνολογιών μείωσης NOx οι ειδικές εκπομπές του SO₂ είναι αυξημένες σε σχέση με τις αντίστοιχες πριν την εγκατάσταση των τεχνολογιών. Επίσης, παρατηρείται πως όταν το φορτίο είναι υψηλό για αρκετές ώρες η ειδικές εκπομπές SO₂ αυξάνονται σημαντικά. Αυτό συμβαίνει διότι με αύξηση του φορτίου αυξάνεται και η θερμοκρασία στον λέβητα, επομένως είναι ευκολότερη η οξείδωση του θείου σε SO₂. Συγκεκριμένα οι ειδικές εκπομπές του SO₂ παρουσιάζουν μία ελάχιστη τιμή 0,1882 kg/GJ και η μέγιστη τιμή τους φτάνει τα 2,0114 kg/GJ.

Οι ειδικές εκπομπές του CO φαίνεται πως ακολουθούν την αυξομείωση του φορτίου και παρουσιάζουν μέση τιμή 0,41198 kg/GJ.

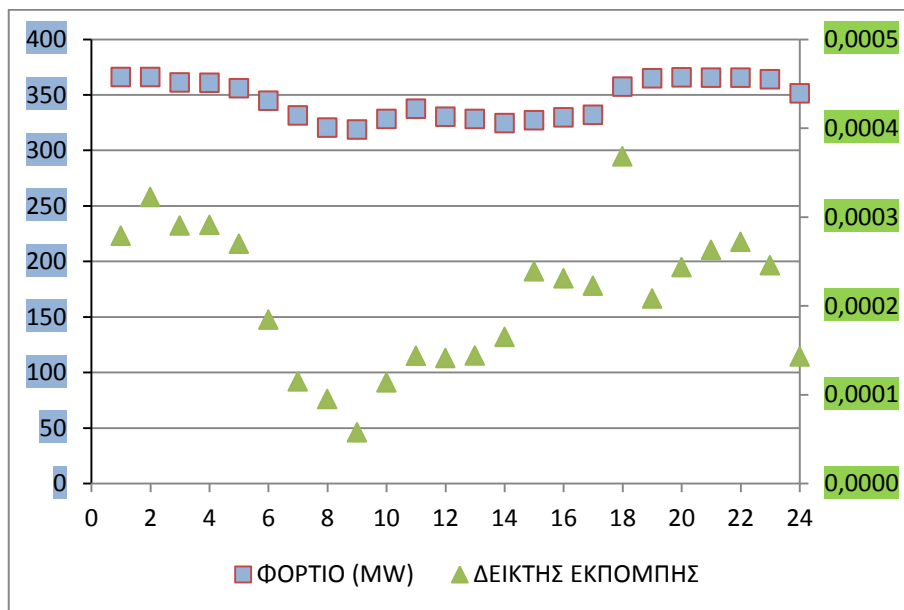
Σχετικά με τις ειδικές εκπομπές του CO₂, διακρίνεται πως όταν το φορτίο παίρνει σχετικά μέγιστες τιμές οι ειδικές εκπομπές μειώνονται. Κυμαίνονται μεταξύ των 366,487 kg/GJ και 421,763 kg/GJ. Η μέση τιμή των ειδικών εκπομπών είναι 389,574 kg/GJ.

Τέλος, οι ειδικές εκπομπές των NOx μετά την εγκατάσταση των μετασκευών παρουσιάζουν ελάχιστη τιμή 0,2679 kg/GJ και μέγιστη 0,3374 kg/GJ. Οι ειδικές εκπομπές των NOx έχουν μία μέση τιμή 0,3058 kg/GJ.

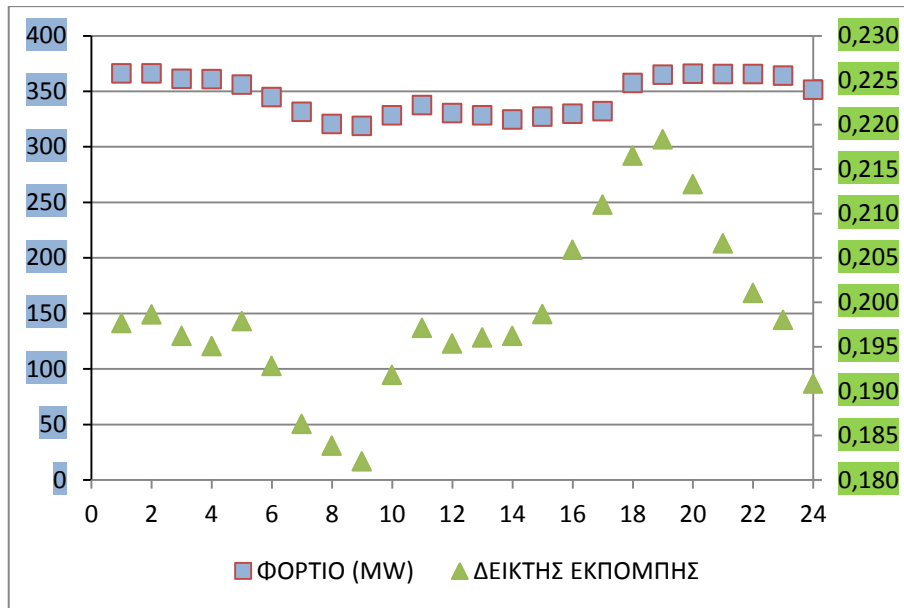
4.1.4.2 Διαγράμματα δεικτών εκπομπών ρύπων της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου



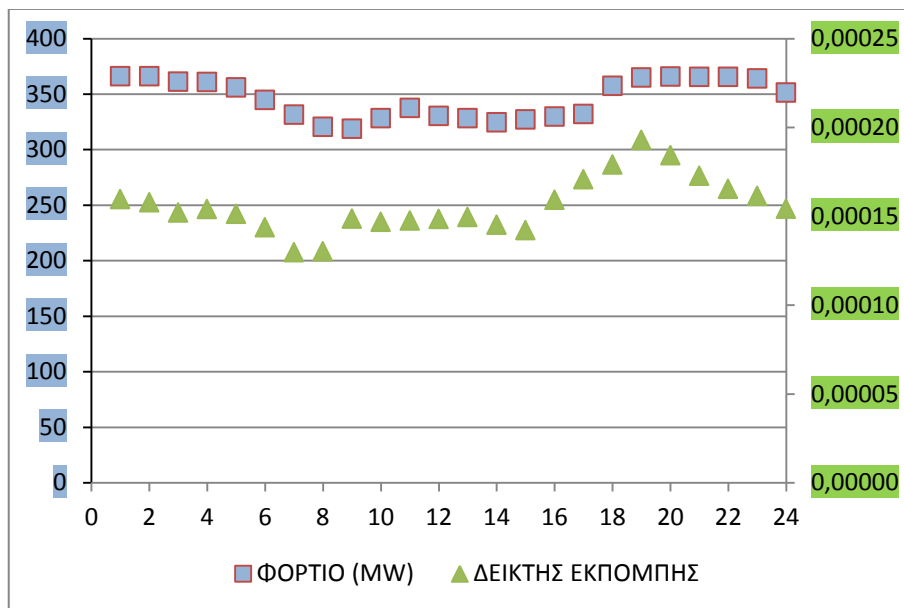
Σχήμα 4.21: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂) της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.22: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.23: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.24: Διάγραμμα δεικτών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) της μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Οι δείκτες εκπομπών του SO_2 παρουσιάζουν υψηλές τιμές όταν η μονάδα λειτουργεί σε υψηλό φορτίο για συνεχόμενες ώρες. Ωστόσο, η τιμή των δεικτών εκπομπών ακολουθεί την αυξομείωση του φορτίου. Οι τιμές των δεικτών κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0,000088 και 0,001069 kg ρύπου/kg καυσίμου και η μέση τιμή των δεικτών στη διάρκεια της ημέρας είναι 0,000158 kg ρύπου/kg καυσίμου.

Μετά την εγκατάσταση των μετασκευών οι δείκτες εκπομπών του CO παρουσιάζουν μία ελάχιστη τιμή 0,000057 και μια μέγιστη 0,000368 kg ρύπου/kg καυσίμου μολονότι η αυξομείωση του φορτίου έχει κυμανθεί στα 48MW. Η μέση τιμή των δεικτών εκπομπών του CO είναι 0,00020 kg ρύπου/kg καυσίμου.

Οι δείκτες εκπομπών του CO₂ παρουσιάζουν σημαντική αυξομείωση η οποία κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,182 και 0,218 kg ρύπου/kg καυσίμου με την μέση τιμή τους να είναι ίση με 0,198 kg ρύπου/kg καυσίμου.

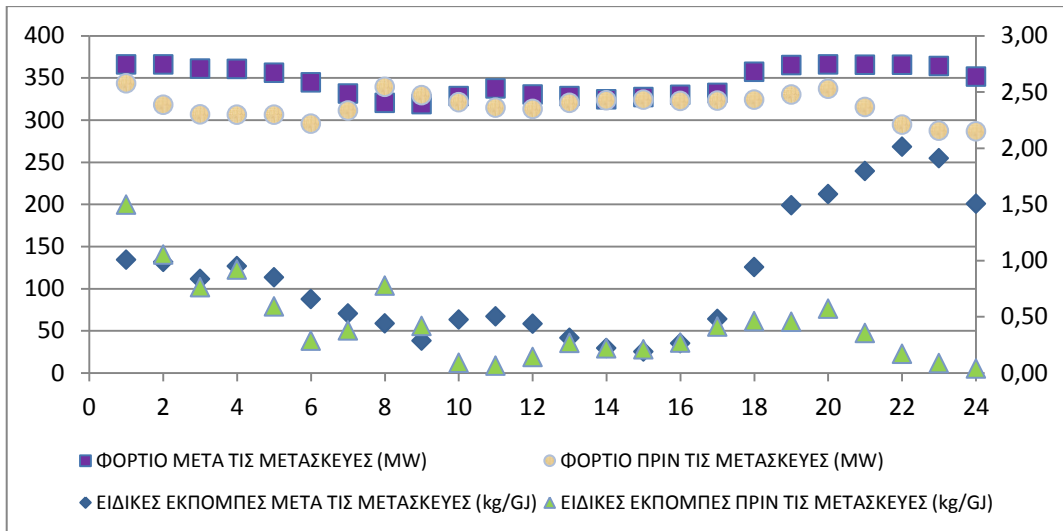
Οι δείκτες εκπομπών των NO_x ακολουθούν την αυξομείωση του φορτίου ενώ έχουν μικρότερες τιμές από τις αντίστοιχες με αυτές πριν τις μετασκευές. Η μέση τιμή των δεικτών εκπομπών είναι 0,000155 kg ρύπου/kg καυσίμου. Επίσης, η ελάχιστη τιμή 0,000129 kg ρύπου/kg καυσίμου των δεικτών εκπομπών παρατηρείται όταν το φορτίο είναι κοντά στα 320MW.

4.2 Σύγκριση ειδικών εκπομπών και δεικτών εκπομπών ρύπων των μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

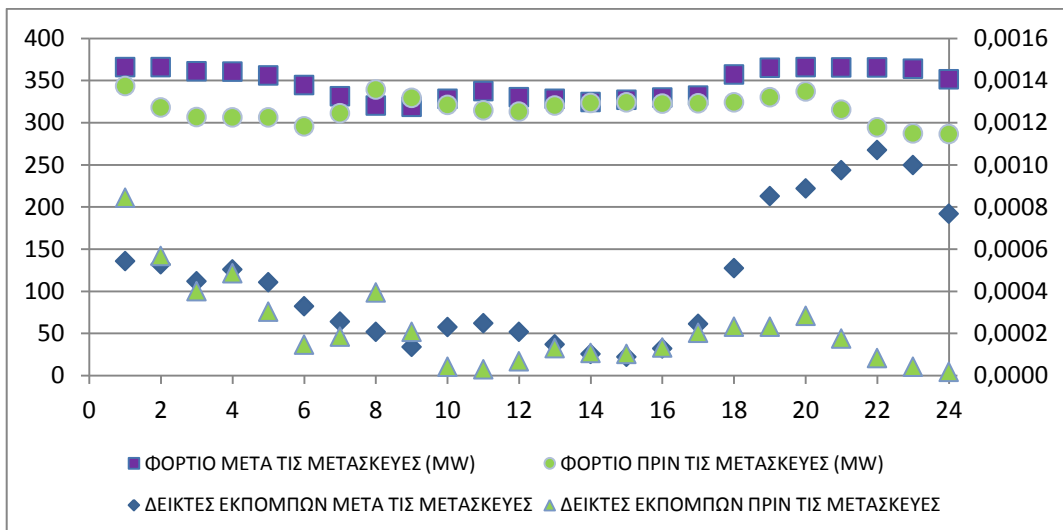
4.2.1 Σύγκριση ειδικών εκπομπών και δεικτών εκπομπών ρύπων της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης των οξειδίων του αζώτου

Σχετικά με τις ειδικές εκπομπές και τους δείκτες εκπομπών της Μονάδας V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου επιλέχθηκαν δεδομένα μετρήσεων ρύπων τυχαίων ημερών. Σύμφωνα με αυτά, που κοινό τους στοιχείο ήταν η λειτουργία της μονάδας σε σχετικά υψηλό φορτίο, υπολογίστηκαν τα δύο παραπάνω μεγέθη με σκοπό τη σύγκριση των εκπομπών της μονάδας πριν και μετά την πραγματοποίηση των μετασκευών μείωσης οξειδίων του αζώτου.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, ο αριστερός κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στις τιμές του φορτίου των μονάδων σε MW, ο δεξιός στις τιμές των ειδικών εκπομπών και δεικτών εκπομπών αντίστοιχα και τέλος ο οριζόντιος στις ώρες μιας ημέρας.

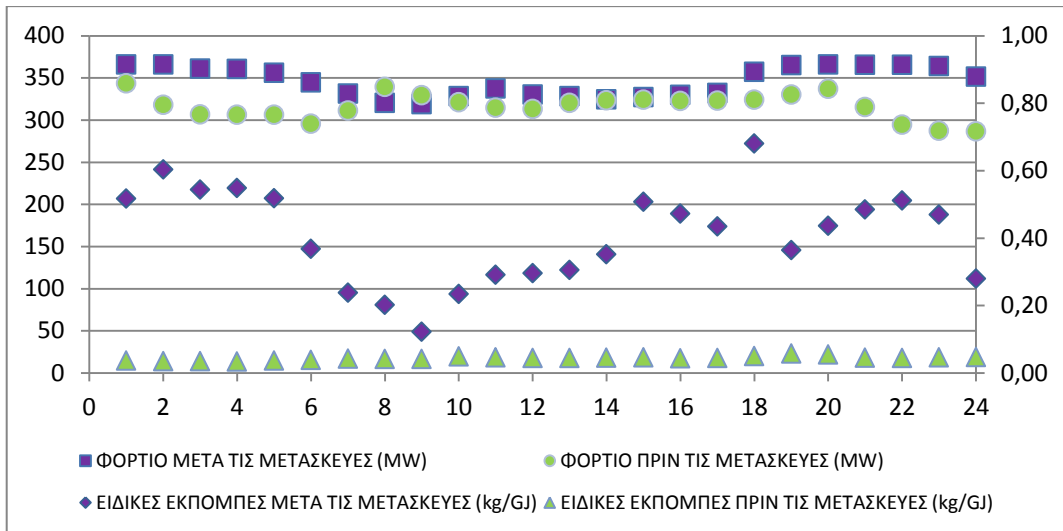


Σχήμα 4.25: Συγκριτικό διάγραμμα ειδικών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO_2) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

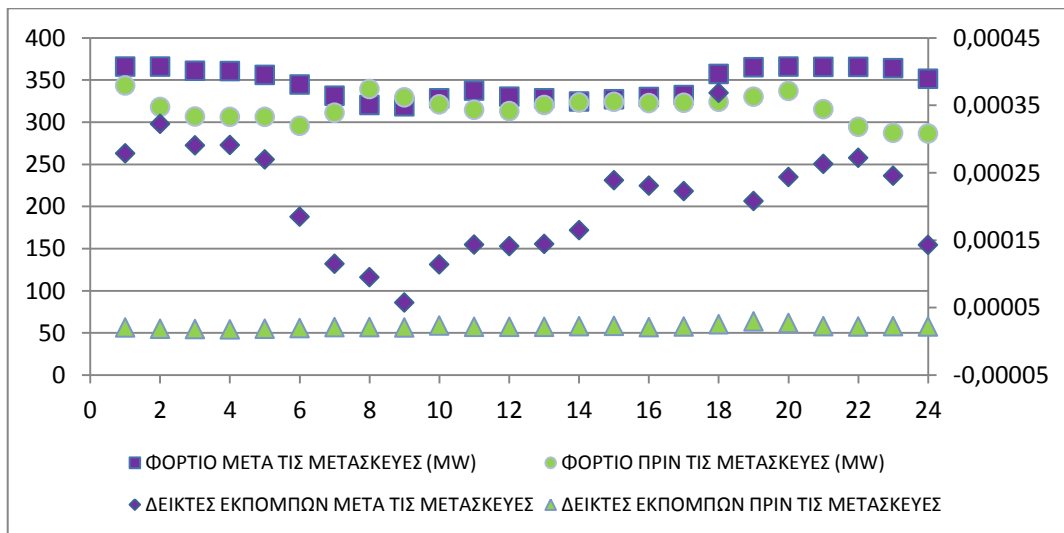


Σχήμα 4.26: Συγκριτικό διάγραμμα δεικτών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO_2) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Τα συγκριτικά διαγράμματα ειδικών εκπομπών και δεικτών εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO_2) δείχνουν πως πριν και μετά τις μετασκευές στη μονάδα V δεν σημειώνεται καμία σημαντική αλλαγή. Αυτό σημαίνει πως και η ειδική εκπομπή και ο δείκτης εκπομπής του ρύπου ακολουθούν τις αυξομειώσεις του φορτίου της μονάδας για τις αντίστοιχες περιπτώσεις πριν και μετά την εγκατάσταση των μετασκευών.



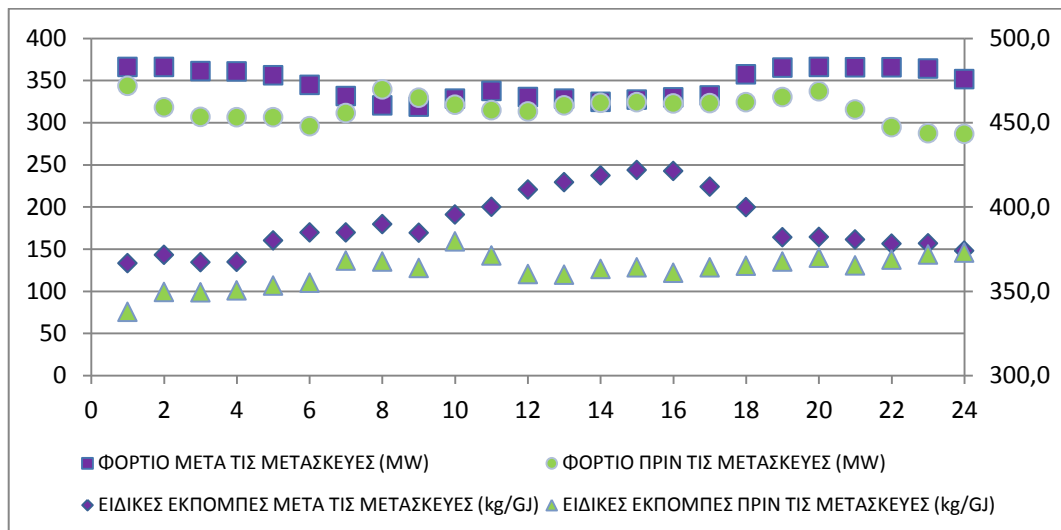
Σχήμα 4.27: Συγκριτικό διάγραμμα ειδικών εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



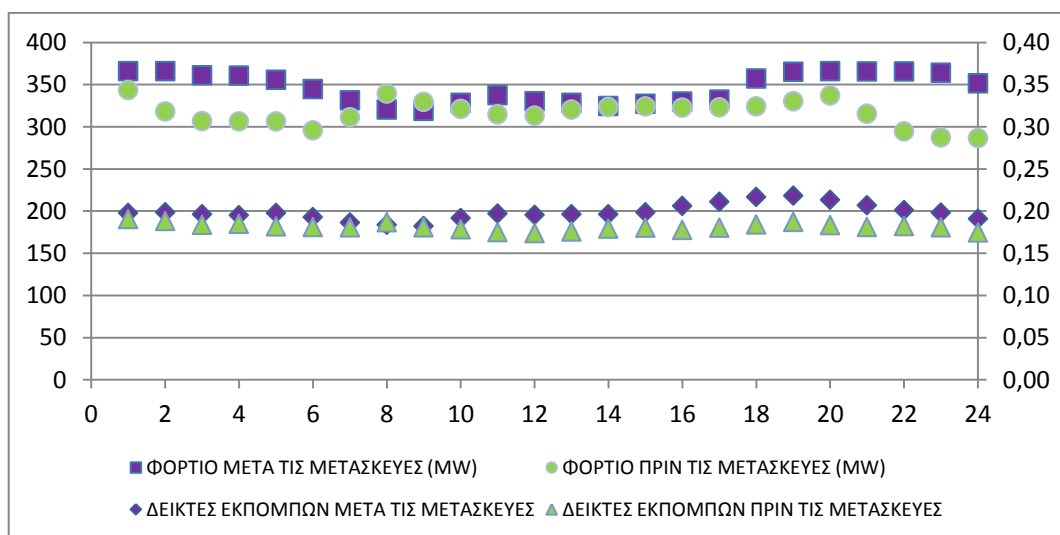
Σχήμα 4.28: Συγκριτικό διάγραμμα δεικτών εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Οι ειδικές εκπομπές και οι δείκτες εκπομπών του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) παρουσιάζουν μεταβολές. Συγκεκριμένα, οι εκπομπές (CO) πριν τις μετασκευές κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα σε αντίθεση με τις εκπομπές μετά από τις μετασκευές οι οποίες αυξήθηκαν. Επίσης, ενώ την ημέρα που λήφθηκαν τα δεδομένα, το φορτίο της μονάδας V μετά την εγκατάσταση deNOx, κυμάνθηκε μεταξύ 318MW και 366MW χωρίς σημαντικές αυξομειώσεις, οι εκπομπές CO παρουσιάζουν απότομες μεταβολές.

Αυτή η αύξηση των εκπομπών CO ήταν λογικό να συμβεί καθώς μετά τις μετασκευές οι ιδανικές συνθήκες μείωσης NOx είναι αυτές της υποστοιχειομετρικής καύσης με λόγο αέρα ίσο με 0,85. Αυτό σημαίνει ότι μια μικρή ποσότητα καυσίμου καίγεται πιο ψηλά στο λέβητα, με την συμβολή του τριτογενούς αέρα που διοχετεύεται από τους OFA 1 και OFA 2. Παρόλα αυτά, κάποια ποσότητα παραμένει άκαυστη και για αυτό έχουμε αυξημένες εκπομπές CO.

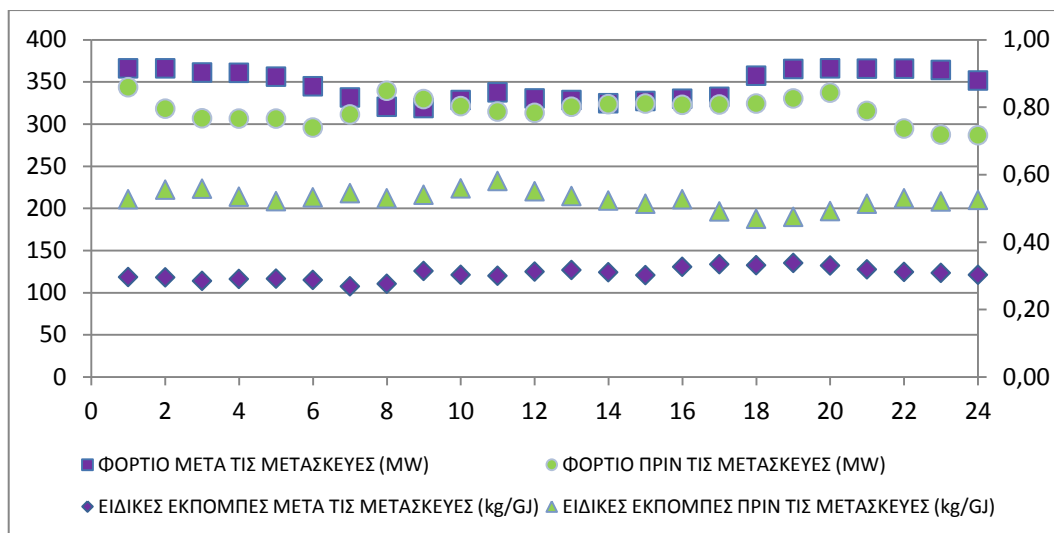


Σχήμα 4.29: Συγκριτικό διάγραμμα ειδικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

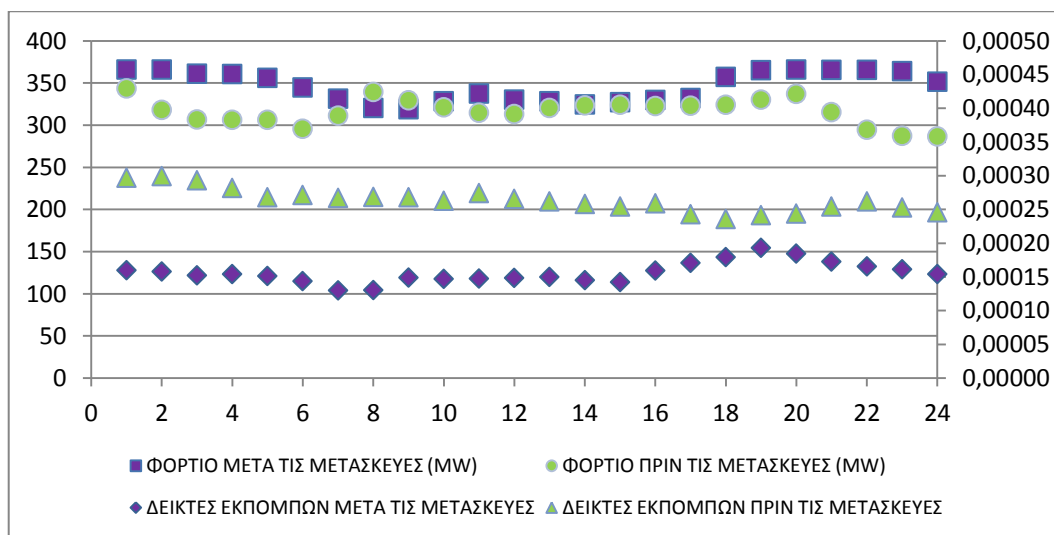


Σχήμα 4.30: Συγκριτικό διάγραμμα δεικτών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) όπως και το διοξείδιο του θείου (SO₂) δεν παρουσιάζει κάποια μεταβολή στον ρυθμό εκπομπής αλλά συμβαδίζει με τις εκπομπές πριν τις μετασκευές, ακολουθώντας την αυξομείωση του φορτίου.



Σχήμα 4.31: Συγκριτικό διάγραμμα ειδικών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



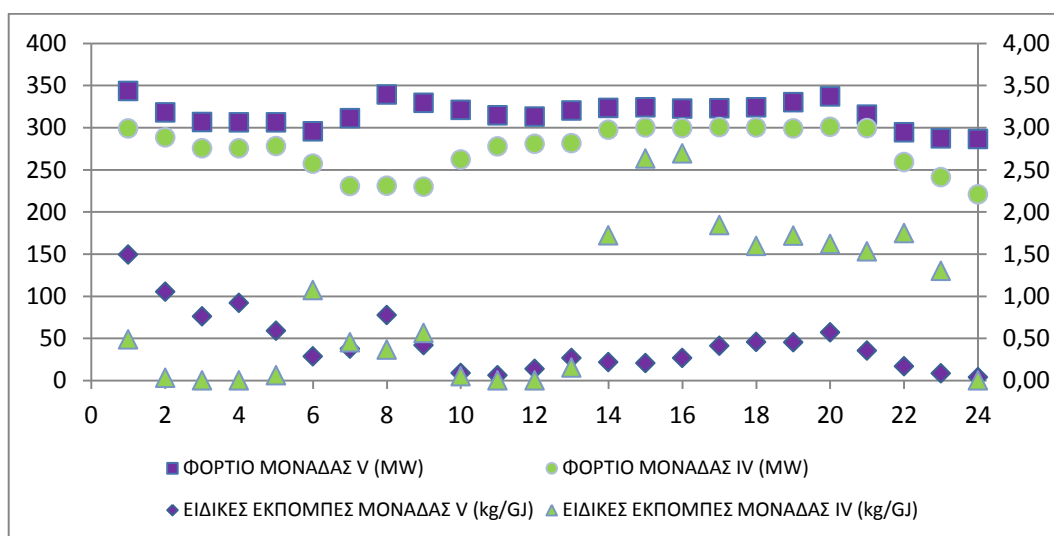
Σχήμα 4.32: Συγκριτικό διάγραμμα δεικτών εκπομπών οξειδίων το αζώτου (NO_x) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Όσον αφορά τα οξειδία του αζώτου (NO_x) τα οποία αποτελούνται κατα κύριο λόγο από NO και ελάχιστο NO₂, παρουσιάζουν την αναμενόμενη μείωση μετά τις μετασκευές. Συγκεκριμένα, πριν από την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x τα επίπεδα ειδικών εκπομπών κυμαίνονταν μεταξύ 0,467 και 0,580 kg/GJ, ενώ μετά τις μετασκευές παρατηρείται πτώση αυτών μεταξύ των τιμών 0,268 και 0,337 kg/GJ μολονότι το φορτίο της μονάδας ήταν πιο υψηλό.

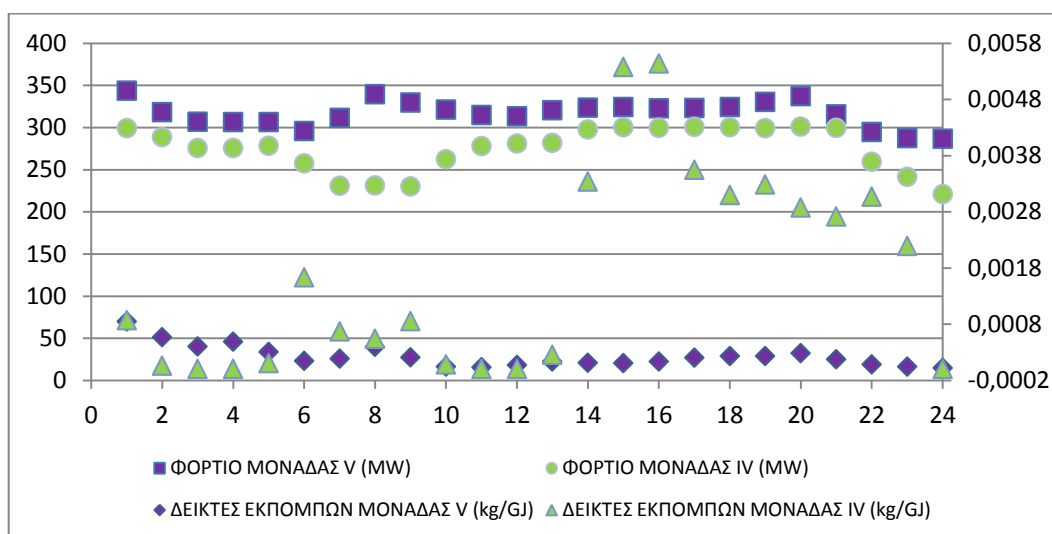
Οι τιμές εκπομπών οξειδίων του αζώτου της μονάδας V μέχρι της 5 Αυγούστου 2015 ήταν μεταξύ των 206,7 και 254,8 mg/Nm³, πράγμα που σημαίνει ότι δεν πληρούσαν ακόμα τα ευρωπαϊκά όρια των 200 mg/Nm³ με 6% οξυγόνο. Ωστόσο, αυτές οι τιμές πρόκειται να δεχτούν περαιτέρω πτώση καθώς ακόμα πραγματοποιούνται παρεμβάσεις στον χειρισμό της μονάδας.

4.2.2 Σύγκριση ειδικών εκπομπών και δεικτών εκπομπών ρύπων της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης των οξειδίων του αζώτου και της μονάδας IV

Σύμφωνα με τα δεδομένα που λήφθηκαν για τις ειδικές εκπομπές και τους δείκτες εκπομπών της μονάδας IV και της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου, σε ημέρες που και οι δύο μονάδες λειτουργούσαν σε σχετικά υψηλό φορτίο, παρατίθενται τα αντίστοιχα συγκριτικά διαγράμματα σε σχέση με το φορτίο των μονάδων στη διάρκεια μιας ημέρας.

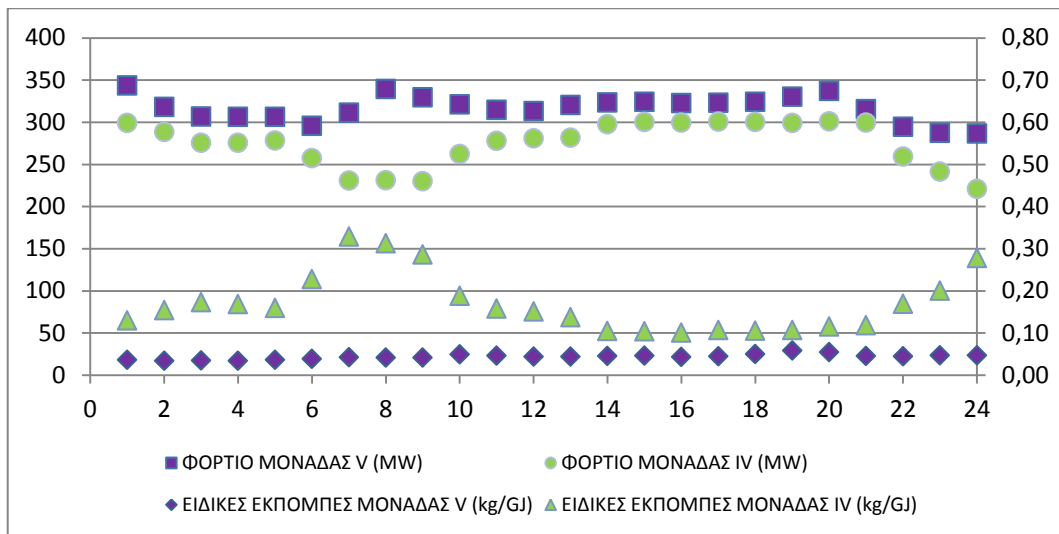


Σχήμα 4.33: Συγκριτικό διάγραμμα ειδικών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

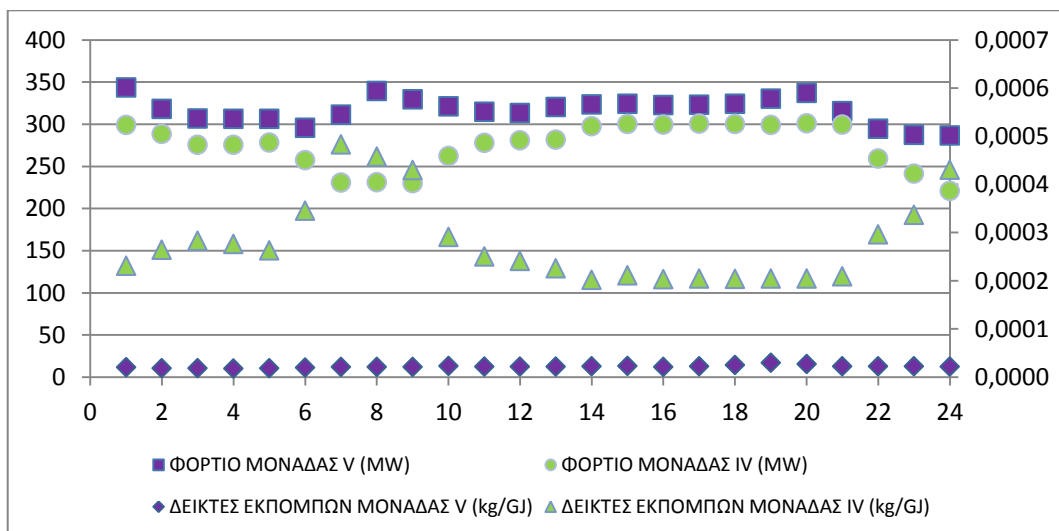


Σχήμα 4.34: Συγκριτικό διάγραμμα δεικτών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Παρατηρώντας τα συγκριτικά διαγράμματα των ειδικών εκπομπών και των δεικτών εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO_2) των μονάδων IV και V πριν τις μετασκευές, διαπιστώνεται πως ενώ η μονάδα IV λειτουργεί σε ελαφρώς χαμηλότερο φορτίο, η ειδική εκπομπή SO_2 κυμαίνεται, για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε υψηλότερες τιμές από αυτές της μονάδας V. Ωστόσο, ο δείκτης εκπομπής SO_2 της μονάδας IV είναι μεγαλύτερος από αυτόν της μονάδας V σε όλη τη διάρκεια της ημέρας.



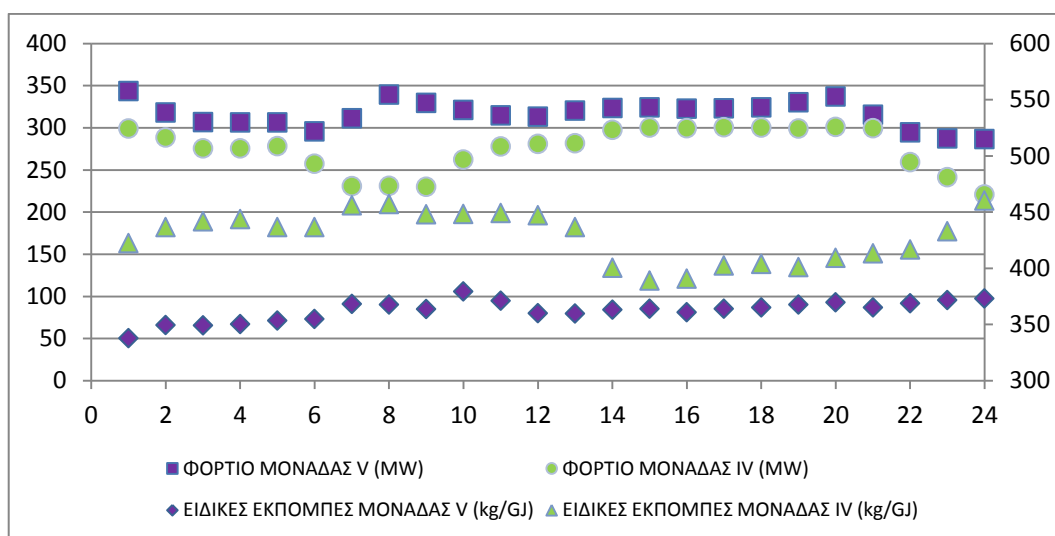
Σχήμα 4.35: Συγκριτικό διάγραμμα ειδικών εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



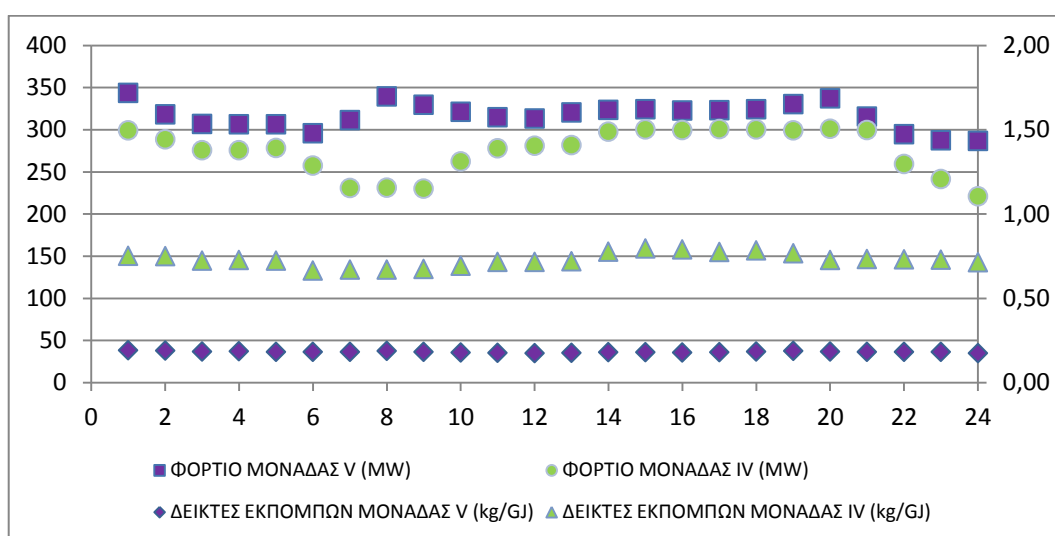
Σχήμα 4.36 Συγκριτικό διάγραμμα δεικτών εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Οι ειδικές εκπομπές της μονάδας V παίρνουν τιμές 0,033 – 0,057 kg/GJ με μέση τιμή 0,043 kg/GJ, ενώ αυτές της μονάδας IV κυμαίνονται από 0,1 έως 0,328 kg/GJ με μέση τιμή 0,163 kg/GJ.

Επίσης, οι δείκτες εκπομπών CO της μονάδας IV είναι μεγαλύτεροι από τους αντίστοιχους της V ακολουθούν σχεδόν ίδια πορεία εκτός από τις 6:00 – 10:00 που εκεί φαίνεται να σημειώνουν αρκετή διαφορά με τον δείκτη εκπομπής της μονάδας IV να φτάνει στο 0,00048 kg ρύπου/kg καυσίμου.



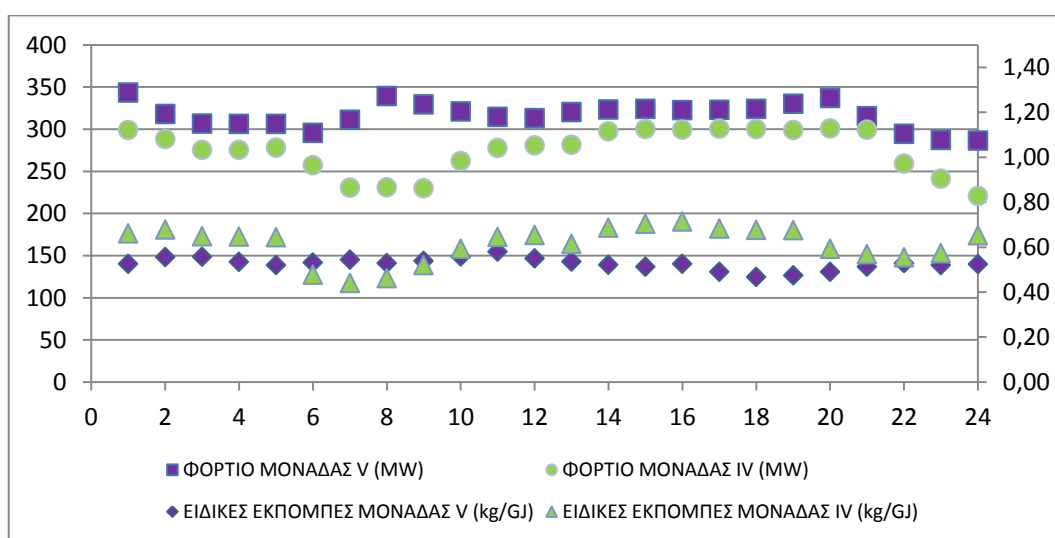
Σχήμα 4.37: Συγκριτικό διάγραμμα ειδικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



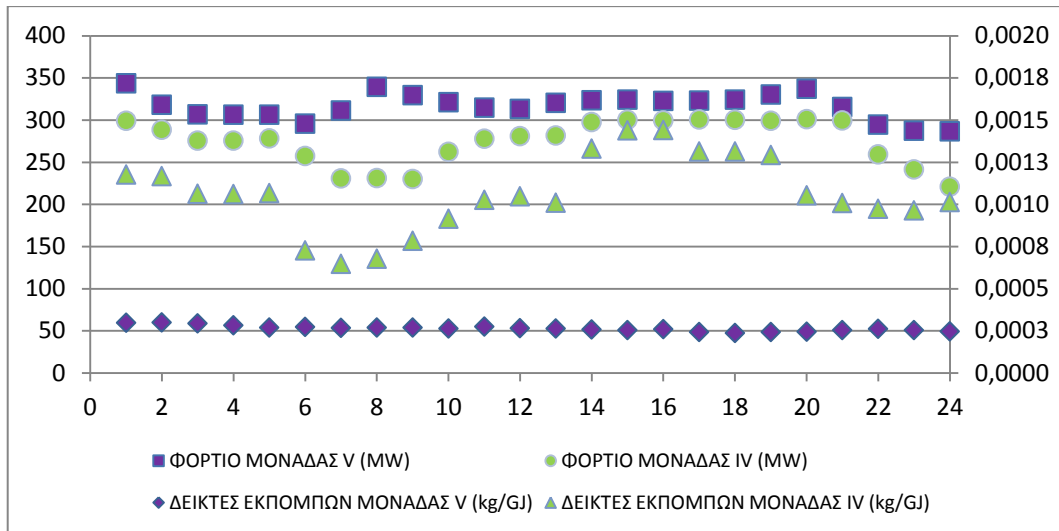
Σχήμα 4.38: Συγκριτικό διάγραμμα δεικτών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 4.37 και 4.38 συμπεραίνεται ότι τόσο οι ειδικές εκπομπές όσο και οι δείκτες εκπομπών CO₂ της μονάδας IV παίρνουν μεγαλύτερες τιμές από τις αντίστοιχες αυτών της μονάδας V. Ειδικότερα, οι ειδικές εκπομπές CO₂ της μονάδας IV κυμαίνονται από 388 έως 460 kg/GJ, ενώ αυτές της μονάδας V από 337,6 έως 379,4 kg/GJ και μόνο στις ώρες 14:00 και 18:00 φαίνεται να πλησιάζουν.

Παράλληλα, οι δείκτες εκπομπών CO₂ των δύο μονάδων φαίνεται να έχουν πιο ξεκάθαρη διαφορά καθώς αυτός της μονάδας IV κυμαίνεται στα 0,664 με 0,793 kg ρύπου/kg καυσίμου ενώ ο δείκτης της μονάδας V στα 0,173 έως 0,190 kg ρύπου/kg καυσίμου.



Σχήμα 4.39: Συγκριτικό διάγραμμα ειδικών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.40: Συγκριτικό διάγραμμα δεικτών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Όσον αφορά τα οξείδια του αζώτου (NOx), παρατηρείται πως η ειδική εκπομπή και των δύο μονάδων είναι περίπου ίση με μέση τιμή 0,62 kg/GJ για την μονάδα IV και 0,526 kg/GJ για την μονάδα V. Αντίθετα, οι δείκτες εκπομπών των οξειδίων του αζώτου διαφέρουν κατά πολύ καθώς η μέση τιμή της μονάδας V είναι 0,00026 ενώ της μονάδας IV είναι 0,001.

4.3 Απώλειες καυσαερίων

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα των απωλειών καυσαερίων. Τα διαγράμματα αυτά δημιουργήθηκαν λαμβάνοντας τιμές εκπομπών των ρύπων (SO_2 , CO, CO_2 , NO_x) των μονάδων IV και V τις ίδιες ημέρες που υπολογίστηκαν οι ειδικές εκπομπές και οι δείκτες εκπομπών (στις 5 Αυγούστου 2015 για την μονάδα IV, στις 9 Φεβρουαρίου 2015 για την μονάδα V πριν την εγκατάσταση των τεχνολογιών μείωσης NO_x και στις 5 Αυγούστου 2015 για την μονάδα V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x) (Παράρτημα I-II-III). Στα διαγράμματα των απωλειών δεν συμπεριλαμβάνονται αυτά του οξυγόνου (O_2) και του αζώτου (N_2).

Οι υπολογισμοί των απωλειών καυσαερίων για το διοξείδιο του θείου (SO_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) πραγματοποιήθηκαν με βάση τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις.

Απώλειες καυσαερίων Q:

$$Q = \dot{m}_g \Delta h$$

Όπου \dot{m}_g η παροχή του ρύπου και Δh η διαφορά ενθαλπίας που υπολογίζεται με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$\begin{aligned} \Delta h &= \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \\ &= R \int_{T_1}^{T_2} (a + \beta T + \gamma T^2 + \delta T^3 + \varepsilon T^4) dT \\ &= R \left[\alpha T + \beta \frac{T^2}{2} + \gamma \frac{T^3}{3} + \delta \frac{T^4}{4} + \varepsilon \frac{T^5}{5} \right]_{T_1}^{T_2} \end{aligned}$$

Όπου R η παγκόσμια σταθερά των αερίων ($R=8.314 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$), T_2 η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, T_1 η θερμοκρασία περιβάλλοντος (298K) και C_p η ειδική θερμοχωρητικότητα των ρύπων στη σχέση^[16]:

$$\frac{C_p}{R} = a + \beta T + \gamma T^2 + \delta T^3 + \varepsilon T^4$$

της οποίας οι συντελεστές παίρνουν τιμές για τον κάθε ρύπο από τον πίνακα 4.1:

Πίνακας 4.1: Συντελεστές υπολογισμού ειδικής θερμοχωρητικότητας για κάθε ρύπο^[16]

gas	α	$\beta \cdot 10^3$	$\gamma \cdot 10^6$	$\delta \cdot 10^9$	$\varepsilon \cdot 10^{12}$
CO	3,710	-1,619	3,692	-2,032	0,240
CO ₂	2,401	8,735	-6,607	2,002	0
SO ₂	3,267	5,324	0,684	-5,281	2,559

Οι υπολογισμοί απωλειών καυσαερίων των οξειδίων του αζώτου (NO_x), λόγω του γεγονότος ότι οι ρύποι αποτελούνται κατά 97,5% κατ' όγκο από μονοξείδιο του αζώτου (NO) και 2,5% κατ' όγκο από διοξείδιο του αζώτου (NO₂), υπολογίστηκαν κατά παραδοχή μόνο για το NO καθώς το NO₂ θεωρήθηκε αμελητέα ποσότητα.

Απώλειες ρύπου NO:

$$Q = \dot{m}_g C_p (T_2 - T_1)$$

Όπου \dot{m}_g η παροχή μονοξειδίου του αζώτου, T_2 η θερμοκρασία εξόδου του, T_1 η θερμοκρασία περιβάλλοντος και C_p η ειδική θερμοχωρητικότητα που λήφθηκε από τον πίνακα 4.2

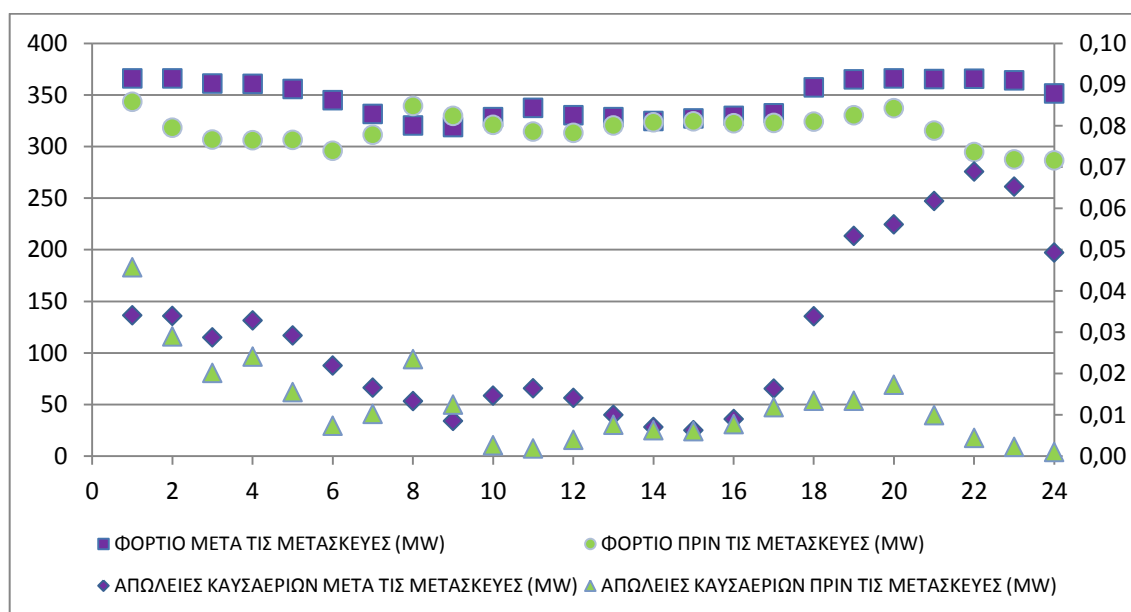
Πίνακας 4.2: Πίνακας υπολογισμού ειδικής θερμοχωρητικότητας NO με βάση την θερμοκρασία εξόδου^[17]

Nitric oxide (NO), MW = 30.006, enthalpy of formation @ 298 K (kJ/kmol) = 90,297

T(K)	\bar{c}_p (kJ/kmol-K)	$(\bar{h}^\circ(T) - \bar{h}_f^\circ(298))$ (kJ/kmol)	$\bar{h}_f^\circ(T)$ (kJ/kmol)	$\bar{s}^\circ(T)$ (kJ/kmol-K)	$\bar{g}_f^\circ(T)$ (kJ/kmol)
200	29.374	-2,901	90,234	198.856	87,811
298	29.728	0	90,297	210.652	86,607
300	29.735	55	90,298	210.836	86,584
400	30.103	3,046	90,341	219.439	85,340
500	30.570	6,079	90,367	226.204	84,086
600	31.174	9,165	90,382	231.829	82,828
700	31.908	12,318	90,393	236.688	81,568
800	32.715	15,549	90,405	241.001	80,307
900	33.489	18,860	90,421	244.900	79,043
1,000	34.076	22,241	90,443	248.462	77,778

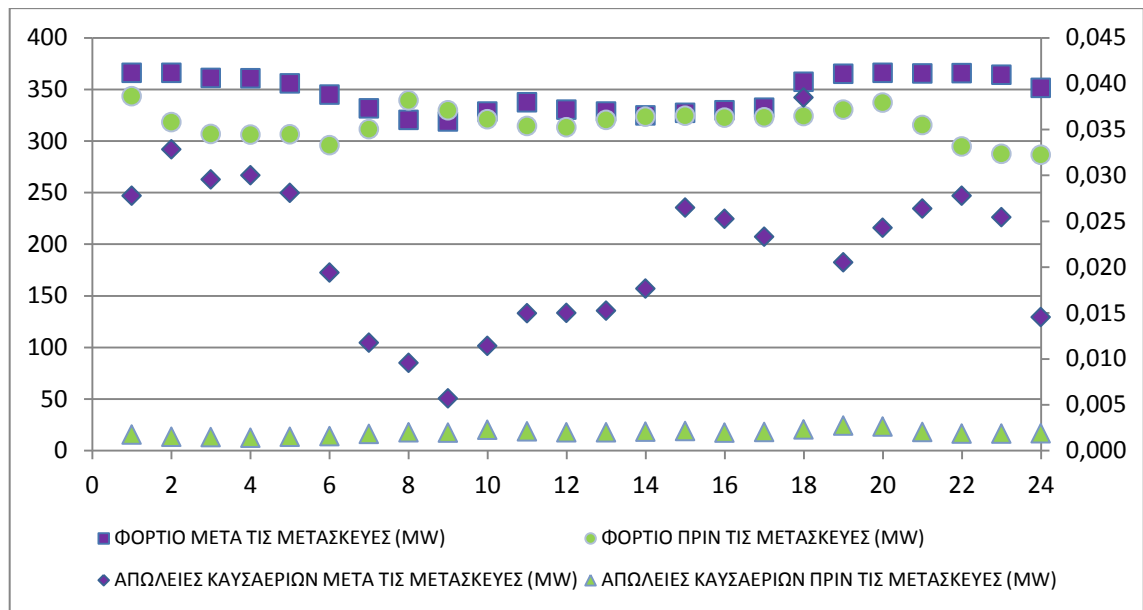
Καθώς οι τιμές θερμοκρασιών εξόδου του NO δεν συμβαδίζουν με αυτές του πίνακα χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες γραμμικές παρεμβολές με σκοπό να εξαχθεί μια έγκυρη τιμή της θερμοχωρητικότητας.

4.3.1 Συγκριτικά διαγράμματα απωλειών καυσαερίων μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου



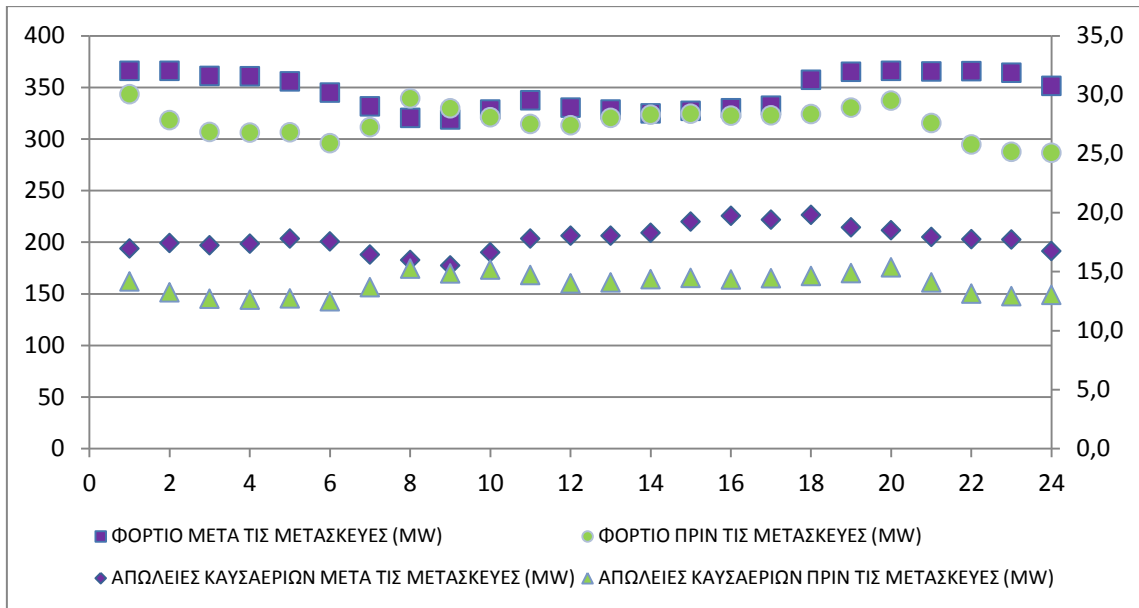
Σχήμα 4.41: Συγκριτικό διάγραμμα απωλειών καυσαερίων διοξειδίου του θείου (SO₂) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Παρατηρώντας το διάγραμμα απωλειών του SO₂, συμπεραίνεται πως οι απώλειες του ρύπου δεν σημείωσαν σημαντικές αλλαγές πριν και μετά τις μετασκευές. Ακολουθούν την ίδια περίπου πορεία εκτός από ένα διάστημα που το φορτίο μετά τις μετασκευές αυξήθηκε όπως και οι ειδικές εκπομπές (Διάγραμμα 5.25), επομένως ήταν λογικό να αυξηθούν και οι απώλειες. Συγκεκριμένα, οι τιμές των απωλειών και των δύο μονάδων κυμαίνονται στα επίπεδα των 0,0018 έως 0,0457 MW μέχρι τις 18:00 ενώ από εκεί και πέρα οι απώλειες μετά τις μετασκευές αυξάνονται μέχρι και τη μέγιστη τιμή των 0,0689 MW. Η μέση τιμή απωλειών SO₂ πριν τις μετασκευές είναι 0,0123 MW ενώ μετά τις μετασκευές 0,029 MW.



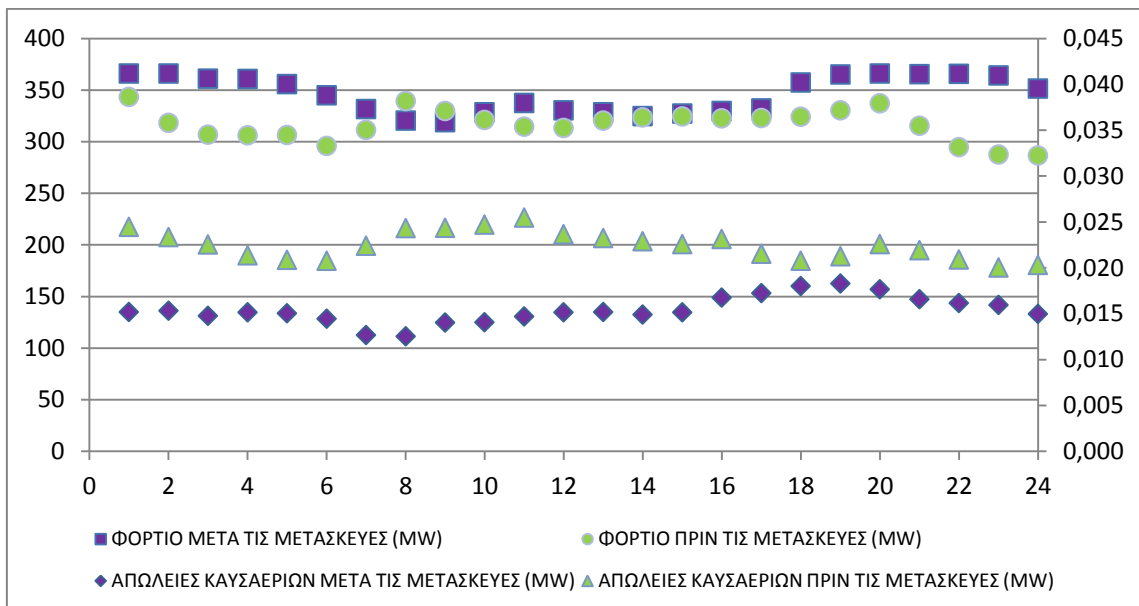
Σχήμα 4.42: Συγκριτικό διάγραμμα απωλειών καυσαερίων μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Με τον ίδιο περίπου τρόπο εξηγούνται και οι απώλειες του μονοξειδίου του άνθρακα. Παρατηρείται πως στα διαστήματα της ημέρας με διαφορά φορτίου, οι τιμές απωλειών του CO μετά τις μετασκευές σημειώνουν αύξηση και συγκεκριμένα οι τιμές που παίρνουν είναι από 0,0056 έως και 0,0384 MW με μέση τιμή 0,0217 MW, σε αντίθεση με αυτές πριν τις μετασκευές που ήταν σχεδόν σταθερές με μέση τιμή 0,0019 MW. Επίσης, όταν τα φορτία είχαν περίπου την ίδια τιμή δηλαδή στις 9:00, οι απώλειες του CO πριν και μετά τις μετασκευές παρουσίασαν μικρότερη διαφορά.



Σχήμα 4.43: Συγκριτικό διάγραμμα απωλειών καυσαερίων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

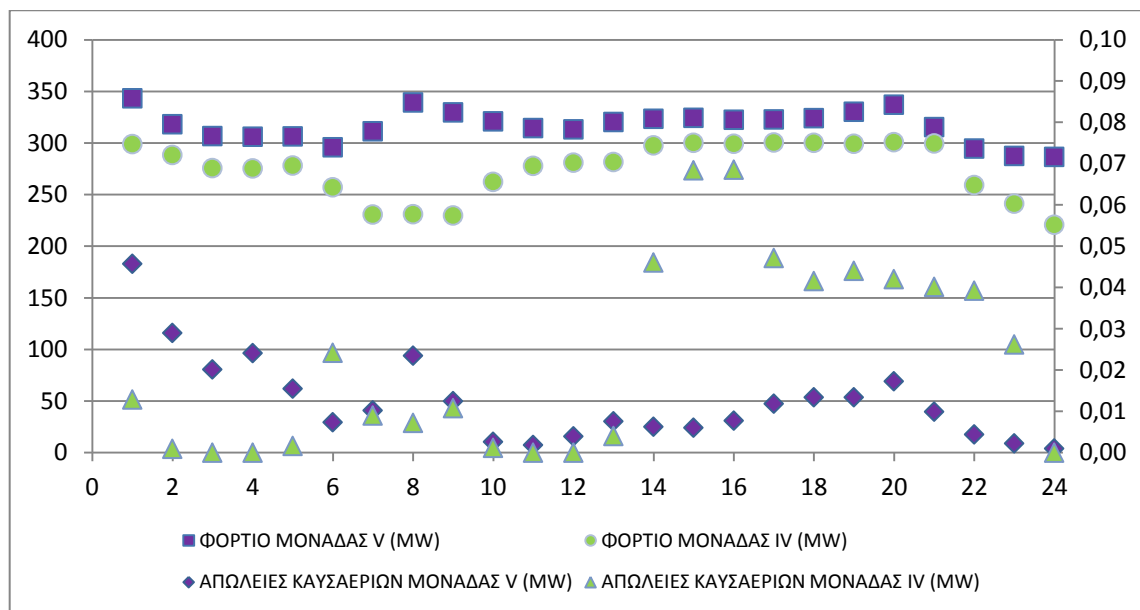
Όσον αφορά τις τιμές απωλειών του CO₂, παρουσιάζονται ελαφρώς μεγαλύτερες αυτές μετά τις μετασκευές καθώς όμως σημειώνεται και μεγαλύτερο φορτίο και κυμαίνονται στα 12,48 – 15,36 MW πριν τις μετασκευές και στα 15,51 – 19,81 MW μετά τις μετασκευές.



Σχήμα 4.44: Συγκριτικό διάγραμμα απωλειών καυσαερίων οξειδίων του αζώτου (NOx) της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

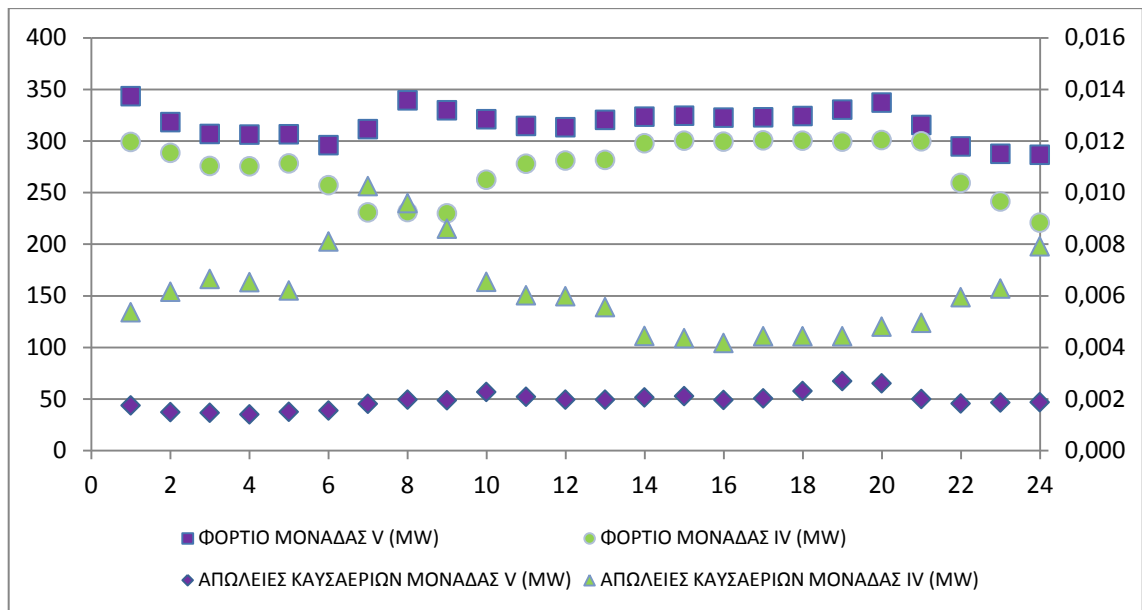
Τέλος, σχετικά με τις απώλειες των οξειδίων του αζώτου (NO_x), ήταν αναμενόμενο μετά τις μετασκευές στην μονάδα V να μειωθούν οι εκπομπές τους και επομένως οι απώλειες τους όπως και έγινε. Στο σχήμα 4.44 παρατηρείται αυτή η πτώση των τιμών των απωλειών τους από 0,0207 έως 0,0254 MW με μέση τιμή 0,022 MW πριν τις μετασκευές σε 0,0125 έως 0,0182 MW μετά τις μετασκευές με μέση τιμή 0,0153 MW.

4.3.2 Συγκριτικά διαγράμματα απωλειών καυσαερίων μονάδας IV και V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου



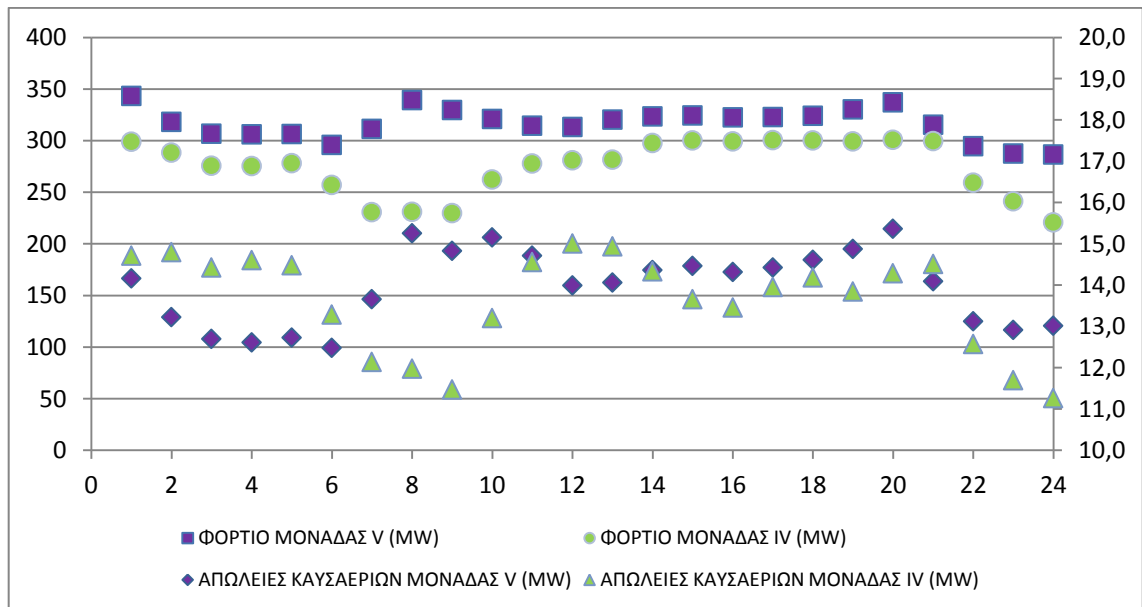
Σχήμα 4.45: Συγκριτικό διάγραμμα απωλειών καυσαερίων διοξειδίου του θείου (SO₂) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Στο συγκριτικό διάγραμμα απωλειών SO₂ μεταξύ των μονάδων IV και V, φαίνεται ότι οι απώλειες της μονάδας IV είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές της μονάδας V στο δεύτερο μισό της ημέρας αφού κυμαίνονται 0.026 – 0.068 MW όταν αυτή δουλεύει σε πλήρες φορτίο μολονότι η μονάδα V δουλεύει σε υψηλότερο φορτίο, ενώ στο πρώτο στα 0 μέχρι 0,0241 MW. Οι τιμές απωλειών SO₂ της μονάδας V παίρνουν τιμές από 0,0009 μέχρι 0,0457 MW η μέση τιμή των οποίων είναι 0,0123 MW.



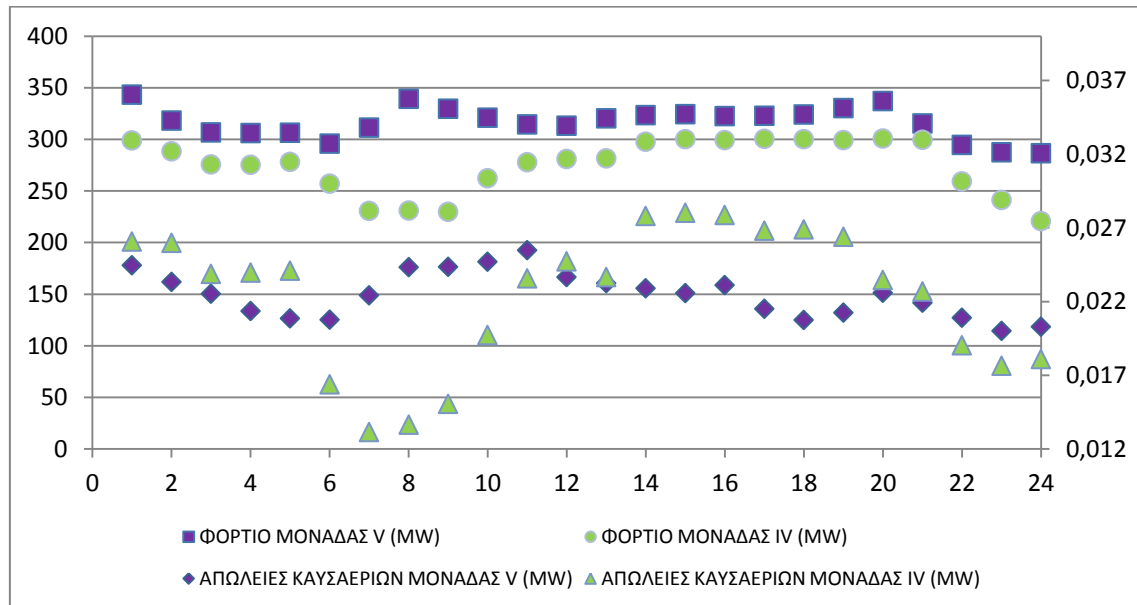
Σχήμα 4.46: Συγκριτικό διάγραμμα απωλειών καυσαερίων μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Οι απώλειες του CO παρουσιάζουν μια πιο ξεκάθαρη εικόνα με αυτές της μονάδας IV να κυμαίνονται σε υψηλότερες τιμές στα 0,0041 – 0,0102 MW έναντι των 0,0014 – 0,0027 MW της μονάδας V παρόλο που το φορτίο είναι χαμηλότερο από αυτό της V. Επίσης, τη στιγμή της ημέρας που παρατηρείται μείωση του φορτίου της μονάδας IV, εκεί οι απώλειες του CO αγγίζουν τις υψηλότερες τιμές τους. Η μέση τιμή των απωλειών CO της μονάδας IV είναι 0,0061 MW.



Σχήμα 4.47: Συγκριτικό διάγραμμα απωλειών καυσαερίων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας

Οι απώλειες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) των δύο μονάδων φαίνεται να κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα τιμών των 11,47 – 15,36 MW παρά τη διαφορά φορτίου, γεγονός που δικαιολογείται καθώς η μονάδα V είναι αποδοτικότερη από την μονάδα IV.



Σχήμα 4.48: Συγκριτικό διάγραμμα απωλειών καυσαερίων οξειδίων του αζώτου (NO_x) της μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NO_x και της μονάδας IV σε σχέση με το φορτίο στη διάρκεια της ημέρας.

Την πορεία που ακολουθούν οι ειδικές εκπομπές των NO_x της μονάδας IV, την ίδια ακολουθούν και οι απώλειές τους οι οποίες κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα με αυτές των NO_x της μονάδας V, με αυτές της μονάδας IV να κυμαίνονται στα 0,0176 – 0,0280 MW με μέση τιμή 0,0224 MW και της V στα 0,020 – 0,025 MW, παρόλο που στις 6:00 – 10:00 οι απώλειες της IV παρουσιάζουν σημαντική πτώση με ελάχιστη τιμή 0,0131 MW. Αυτή η πτώση και συνεπώς η διαφορά απωλειών σημειώνεται κατά τη διάρκεια λειτουργίας των μονάδων με μεγάλη διαφορά φορτίου.

4.4 Συμπεράσματα

Διαμορφώνοντας τα διαγράμματα ειδικών εκπομπών και των δεικτών εκπομπών των ρύπων της μονάδας V πριν και μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης NOx συμπεραίνεται ότι οι τιμές και των δύο μεγεθών των NOx όντως μειώθηκαν κατά πολύ, γεγονός αναμενόμενο.

Σε συνδυασμό με αυτή τη πτώση των οξειδίων του αζώτου παρατηρήθηκε και μια ελαφρά αύξηση της ειδικής εκπομπής και του δείκτη εκπομπής του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), πράγμα λογικό αφού αυτοί οι δύο ρύποι σχετίζονται αντιστρόφως ανάλογα όσον αφορά τον σχηματισμό τους μέσα στον λέβητα.

Ωστόσο, οι ειδικές εκπομπές και οι δείκτες εκπομπών των άλλων δύο ρύπων (CO₂ και SO₂) παρά τις μετασκευές, παρουσίασαν ίδια πορεία με πριν καθώς οι αλλαγές που έγιναν δεν είχαν σκοπό να τους καταπολεμήσουν.

Από την άλλη μεριά, στη σύγκριση που έγινε στις μονάδες IV και V πριν τις μετασκευές, παρά τη διαφορά φορτίου με αυτό της V να είναι αρκετά μεγαλύτερο, φαίνεται πως οι ειδικές εκπομπές και οι δείκτες εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και του διοξειδίου του θείου (SO₂) της μονάδας V βρίσκονταν περίπου στα ίδια επίπεδα. Σε αντίθεση με αυτό, τα μεγέθη αυτά των οξειδίων του αζώτου (NOx) και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της μονάδας IV ήταν κατά πολύ υψηλότερα από αυτά της μονάδας V. Όλα τα παραπάνω δικαιολογούνται από το γεγονός ότι ο λέβητας της μονάδας V είναι μεγαλύτερος καθ' ύψος, διαθέτει δύο συστήματα τριτογενούς αερα (OFA1 και OFA2) και λειτουργεί σε υπερκρίσιμες συνθήκες καθώς είναι τύπου BENSON, πράγμα που την καθιστά αποδοτικότερη και λιγότερο ρυπογόνα σε σχέση με τις υπόλοιπες.

Προχωρώντας στη σύγκριση των απωλειών καυσαερίων της μονάδας V πριν και μετά τις μετασκευές, παρατηρείται πως σημαντικές αλλαγές σημειώνονται στα οξείδια του αζώτου (NOx) και στο μονοξείδιο του άνθρακα (CO), στους ρύπους δηλαδή που επηρεάστηκαν από τις νέες εγκατεστημένες τεχνολογίες μείωσης NOx. Συγκεκριμένα, οι απώλειες των NOx παρουσιάζουν λογική πτώση και οι απώλειες του CO αύξηση, σε αντίθεση με τις απώλειες των άλλων δύο ρύπων (SO₂, CO₂) να μοιάζουν σχεδόν αμετάβλητες.

Τέλος, στη σύγκριση των απωλειών των ρύπων μεταξύ των μονάδων IV και V, συμπεραίνεται ότι παρόλο που στην μονάδα V δεν είχαν πραγματοποιηθεί οι μετασκευές με σκοπό την μείωση των NOx, οι εκπομπές αυτών όπως και των άλλων ρύπων είναι κατά πολύ μικρότερες από αυτές της μονάδας IV. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) που σημειώνει μια πτώση στα διαστήματα της ημέρας με

υψηλές τιμές φορτίου χωρίς βέβαια να καταφέρνει να κυμανθεί στα χαμηλά επίπεδα της μονάδας V.

Κεφάλαιο 5 – Συμπεράσματα - Προτάσεις

5.1 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή δόθηκε βαρύτητα στους τρόπους σχηματισμού των οξειδίων του αζώτου, στις επιπτώσεις τους καθώς και στα πρωτογενή και δευτερογενή μέτρα μείωσής τους. Παρουσιάστηκαν διάφορες προτάσεις από διάφορες εταιρείες που είχαν ως σκοπό την μείωση των εκπομπών τους, όπως επίσης και άλλες ήδη εγκατεστημένες τεχνολογίες σε υφιστάμενες μονάδες σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρά τον μεγάλο αριθμό των τεχνολογιών μείωσης NO_x, δεν είναι δυνατή η εφαρμογή τους σε κάθε μονάδα παραγωγής ενέργειας, διότι οι μονάδες έχουν πολλές κατασκευαστικές διαφορές και χρησιμοποιούν διαφορετικής ποιότητας ορυκτά καύσιμα. Για αυτό το λόγο πραγματοποιούνται τα κατάλληλα τέστ με σκοπό την δοκιμή των τεχνολογιών αυτών και την εφαρμογή τους τελικά αν τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών είναι και τα επιθυμητά.

Στη συνέχεια, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στις μονάδες του ατμοηλεκτρικού σταθμού Αγίου Δημητρίου και στις μετασκευές που έλαβαν χώρα στην Μονάδα V. Με τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στις διατάξεις των μονάδων του σταθμού, βγαίνει το συμπέρασμα πως σημαντικοί παράγοντες στον σχηματισμό NO_x είναι αφενός οι μύλοι άλεσης λιγνίτη που θα πρέπει να λειτουργούν με όσο το δυνατό λιγότερο πρωτογενή αέρα και να μην φθίνει η αλεστική τους ικανότητα και αφετέρου τα συστήματα δευτερογενούς και τριτογενούς αέρα τα οποία εξασφαλίζουν την διάχυση του καυσίμου στην διατομή του λέβητα και την κάυση των εναπομείναντων άκαυστων σωματιδίων πιο ψηλά στον λέβητα. Οι μετασκευές που πραγματοποιήθηκαν στην Μονάδα V ήταν η τοποθέτηση συστήματος τριτογενούς αέρα OFA 2 και οι μεταροπές στον OFA 1 και στους καυστήρες του λέβητα.

Από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε, συμπεραίνεται πως οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NO_x) μετά την εγκατάσταση των τεχνολογιών μείωσής τους, ελατώθηκαν κατά πολύ αλλά όχι τόσο ώστε να πληρούν τα ευρωπαϊκά όρια εκπομπών των 200 mg/Nm³. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι οι μετασκευές αυτές βρίσκονται ακόμα σε εξέλιξη πράγμα που σημαίνει πως εν τέλει οι εκπομπές των NO_x θα φτάσουν στα επιθυμητά επίπεδα.

Επίσης, παρατηρήθηκε μία αύξηση στις εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), γεγονός που ήταν αναμενόμενο καθώς τα οξείδια του αζώτου και το μονοξείδιο του

άνθρακα είναι ποσότητες αντιστρόφως ανάλογες. Παρόλα αυτά στο τέλος των μετασκευών σκοπός είναι να μειωθεί και το CO επειδή και αυτό αποτελεί επιβλαβή ρύπο.

Στις συγκρίσεις που έγιναν μεταξύ των ειδικών εκπομπών, των δεικτών εκπομπών και των απωλειών καυσαερίων των ρύπων, που προέκυψαν από τα δεδομένα των πινάκων του παραρτήματος, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι μετασκευές που πραγματοποιήθηκαν στην Μονάδα V του σταθμού δεν επηρέασαν κανέναν από τους υπόλοιπους ρύπους εκτός των προβλεπόμενων NOx και CO, δηλαδή δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές ούτε στις ειδικές εκπομπές και τους δείκτες εκπομπών τους αλλά ούτε και στις απώλειές τους. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως στον βαθμό απόδοσης της Μονάδας V του σταθμού δεν σημειώθηκε κάποια αλλαγή, αλλά παρέμεινε περίπου στο 38% και μετά τις μετασκευές.

5.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Όπως είναι κατανοητό, για την μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx) σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θα μπορούσε να μελετηθεί πληθώρα άλλων τεχνολογιών και παραγόντων που επηρεάζουν τον σχηματισμό τους.

Όμως οι λιγνιτικοί Σταθμοί παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον επειδή χρησιμοποιούν τοπικό καύσιμο αλλά και επειδή σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν πρωτογενή μέτρα (χωρίς έγχυση αναγωγικών μέσων ή χρήση καταλυτών) και με σχετικά απλές μετασκευές του λέβητα. Οι μετασκευές όμως αυτές απαιτούν βαθιά γνώση των φαινομένων καύσης.

Θα παρουσιαστούν προτάσεις για παραπέρα δουλειά με πρωτογενή μέτρα:

Οι μύλοι άλεσης λιγνίτη παίζουν σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό NOx. Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι συγκεκριμένες διατάξεις είναι η μηχανική φθορά των μεταλλικών τους στοιχείων και συγκεκριμένα των πλακών και των επενδύσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της αλεστικής ικανότητας του μύλου και την απαίτηση για περισσότερο πρωτογενή αέρα, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα σχηματισμού NOx. Με την πάροδο του χρόνου και φθορά των μεταλλικών μερών, μειώνεται η ποσότητα λιγνίτη που μπορεί να αλεστεί με αποτέλεσμα να μειώνεται η ικανότητα ψύξης του μύλου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας στην έξοδο του μύλου και εξαιτίας αυτού, την σταδιακή αύξηση του πρωτογενή αέρα σαν μέσο ψύξης του μύλου. Για αυτό τον λόγο θα ήταν σημαντικό να μελετηθούν μέτρα μείωσης έως και μηδενισμού

της παροχής πρωτογενούς αέρα, καθώς και να γίνει μελέτη ευαισθησίας του βέλτιστου χρόνου αντικατάστασης των πλακών και των επενδύσεων των μύλων.

Επίσης, με σκοπό την μείωση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται μέσα στον λέβητα θα μπορούσε να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο θα ήταν εφικτό να μειωθεί η εισαγωγή - αναρρόφηση καυσαερίων στο μύλο. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπ'όψιν πως αυτή η παροχή πρέπει να είναι τόση ώστε το ποσοστό υγρασίας που περιέχει ο λιγνίτης μετά την εξάτμισή της να μην υπερβαίνει το 15% (ώστε να είναι διασφαλισμένη η ανάφλεξή του στο λέβητα).

Μία μέθοδος ψύξης του μίγματος αέρα-καυσίμου-καυσαερίου είναι η έγχυση νερού στην είσοδο του μύλου. Το νερό εξατμίζεται μέσω της υψηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων και μειώνει την θερμοκρασία του μίγματος. Θα ήταν χρήσιμο να υπολογιστεί πόσο επηρεάζεται ο βαθμός απόδοσης του λέβητα με την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου. Η έγχυση νερού στην είσοδο του μύλου αυξάνει και την παροχή του καυσαερίου με αποτέλεσμα την κατανάλωση περισσότερης ενέργειας από τους ανεμιστήρες ελκυσμού. Πέραν τούτου μειώνεται η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία στο θάλαμο καύσης και αυξάνει το ποσό θερμότητας που μπορεί να εναλλαγεί στους υπερθερμαντήρες, αναθερμαντήρες και οικονομητήρα. Πιθανώς να υπάρχει βέλτιστη ποσότητα έγχυσης που επηρεάζει θετικά την μείωση εκπομπών NO_x χωρίς να δημιουργεί μεγάλα προβλήματα στην απόδοση της μονάδας.

Άλλη λύση θα μπορούσε να είναι ο περιορισμός του καυσαερίου που εισέρχεται στο μύλο από την οπή αναρρόφησης καυσαερίων του θαλάμου καύσης με μικρή μείωση της διατομής του αγωγού ή τοποθέτηση "εμποδίων" στο δρόμο του καυσαερίου προς την είσοδο του μύλου. Με αυτό τον τρόπο, μικρή μείωση του καυσαερίου στο μύλο μπορεί να μειώσει σημαντικά τον πρωτογενή αέρα που απαιτείται για ψύξη του μύλου.

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν πολλές φορές ορυκτά καύσιμα με αυξημένο ποσοστό πτητικών ουσιών. Οι πτητικές ουσίες κάνουν το καύσιμο περισσότερο εύφλεκτο, καθώς καίγονται πρώτα αυτές (συνήθως μεθάνιο CH₄ και μονοξείδιο του άνθρακα CO) και δεσμεύουν το οξυγόνο, μειώνοντας τις πιθανότητες σχηματισμού οξειδίων του αζώτου (NO_x) και στη συνέχεια καίγεται ο άνθρακας σε χαμηλότερη θερμοκρασία από ότι αν δεν περιείχε πτητικές ουσίες. Επομένως, μία μελέτη πάνω στο πώς μεταβάλλονται οι εκπομπές NO_x με καύσιμα που περιέχουν αυξημένο ποσοστό πτητικών ουσιών θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Ακόμη, όσον αφορά τις εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα, θα μπορούσε να μελετηθεί η εξάρτησή τους από τον τρόπο διάταξης και σχεδιασμού των λογχών, μέσω των οποίων διοχετεύεται ο τριτογενής αέρας από τον OFA 2.

Τέλος, θα ήταν ωφέλιμο να εξεταστεί το πώς η πίεση με την οποία διοχετεύεται ο δευτερογενής αέρας μέσα στον λέβητα επηρεάζει τον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου. Ο δευτερογενής αέρας εισέρχεται στον λέβητα με πίεση 10-20 mbar παραπάνω από την ατμοσφαιρική με σκοπό την ανάδευση του μίγματος αέρα καυσίμου και την ομογενοποίησή του σε όλη τη διατομή του λέβητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το καύσιμο να καίγεται ομαλά χωρίς τη δημιουργία θερμών σημείων που συμβάλλουν στην δημιουργία NOx.

Βιβλιογραφία

- 1) Μπιρμπίλης Γεώργιος, Διπλωματική εργασία: «Πρωτογενή μέτρα μείωσης NOx στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου», Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, 2013
- 2) Αντώνιος Τουρλιδάκης, «Μέτρα μείωσης οξειδίων του αζώτου (NOx) σε εγκαταστάσεις καύσης άνθρακα», «Τεχνική αναφορά με τις Βέλτιστες διαθέσιμες πρακτικέςγια τη μείωση των οξειδίων του αζώτου (NOx) σε εγκαταστάσεις καύσης», Περιφερειακός πόλος καινοτομίας Δυτικής Μακεδονίας - συνΕνέργεια, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, 2008
- 3) ΚΑΠΕ, Δ/ση Ενεργειακής Πολιτικής & Σχεδιασμού-Τμήμα Εκπαίδευσης, Σεμινάριο: «Προώθηση των Καθάρων Τεχνολογιών Άνθρακα», 27 & 28 Ιανουαρίου 2015
- 4) Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:
http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/15_16_SOx_NOx.pdf
- 5) Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:
<http://www.genesyscombustion.com/whitepages-417.pdf>
- 6) Νικολαΐδης Ιωάννης, Υποτομέαρχης Χημικής Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, Προσωπική επικοινωνία, 2015-2016
- 7) Ανανίας Τομπουλίδης, Αντώνιος Τουρλιδάκης, Σύγχρονες τεχνολογίες στην παραγωγή ενέργειας για καλύτερη απόδοση και μειωμένους ρύπους, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Ημερίδα Δήμου Κοζάνης «Ο Λιγνίτης στη Δυτική Μακεδονία», 26/2/2010
- 8) Ralf Kriegeskotte, Quinto Di Ferdinando, Hans-Ulrich Thierbach and Bernhard Zimmermann, (2013), Modernisation of a lignite-fired steam generator – Reduction of NOx emissions
- 9) Dipl.-Ing. Zoltan Teuber, Dr.-Ing. Wolfgang Schüttenhelm, Karlheinz Huber, SNCR Retrofit of a Lignite Power Plant to Meet the new EC NOx-Limit of 200 mg/Nm³, ERC Technik GmbH
- 10) Dr. T. Hilber, K. Schnieder, H. Brüggemann, F. Kluger, G. Schmidt, «Combining OFA lances with SNCR technology – A promising approach to minimise NOX emission of lignite-fired power plants», ALSTOM Boiler Deutschland GmbH, Stuttgart / Germany, 21/5/2015

- 11)** ENERGETIK_08_2011
- 12)** ENERVEK ΕΛΛΑΣ ΕΠΕ, «WIR-Fluid Combustion Technology, TECHNICAL PROPOSAL»
- 13)** Nalco Mobotec NO_x Reduction Proposal 10-0448, PUBLIC POWER CORPORATION S.A of Greece, Agios Dimitrios Power Station, Boiler # 4,
- 14)** Operation Manual for the Retrofit of OFA 1, OFA 2 and parts of Coal Burners, Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe
- 15)** Διαλέξεις Μηχανών Εσωτερικής Καύσης, Dr. P.G. Aleiferis 2010–11, Μετάφραση Δρ. Κολοκοτρώνης Δημήτριος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
- 16)** Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, Daisie D. Boettner, Margaret B. Bailey, 7th Edition, Fundamentals of Engineering Thermodynamics
- 17)** Stephen Turns, 3rd Edition, An Introduction to Combustion: Concepts and Applications

Παράρτημα Ι

Πίνακας ημερήσιων δεδομένων Μονάδας V πριν την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου στις 9 Φεβρουαρίου 2015

Date	SO2			NOx			CO			CO2			Dust		
	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry	Duct 1 dry	Duct 2 dry	Duct Mean Value 1/2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry
	Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOx_1	Channel: NOx_2	Channel: NOx	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2	Channel: Dust_1	Channel: Dust_2	Channel: Dust
Mean Value	354,8	320,8	337,6	358,1	440,2	400,3	30,0	36,1	33,1	13,2	13,1	13,2	16,2	29,1	22,8
Minimum	40,6	14,9	28,8	315,1	388,7	352,9	23,8	28,6	26,3	12,4	12,7	12,6	14,4	21,4	18,4
Maximum	1403,4	1006,4	1203,6	398,9	476,5	436,2	42,9	43,9	43,4	13,8	13,6	13,6	18,8	44,2	31,4
Standard Deviation	355,3	237,6	281,3	23,0	23,8	22,9	4,3	4,2	4,1	0,4	0,3	0,3	1,5	5,5	3,2
# values	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
09/02/2015 01:00	1403	1006	1204	379	467	423	28	30	29,1	13,05	12,93	12,99	18,0	27,4	22,70
09/02/2015 02:00	935	716	820	384	477	433	24	29	26,6	12,58	12,99	12,80	16,0	22,9	19,64
09/02/2015 03:00	725	479	595	395	474	436	25	30	27,3	12,44	12,70	12,57	16,9	24,7	20,99
09/02/2015 04:00	859	591	718	379	451	417	24	29	26,3	12,59	12,80	12,70	15,0	21,4	18,38
09/02/2015 05:00	609	315	458	363	443	404	25	30	28,0	12,86	12,96	12,91	14,6	22,7	18,80
09/02/2015 06:00	326	126	222	375	447	413	27	32	29,7	12,66	12,77	12,72	14,7	22,6	18,82
09/02/2015 07:00	406	165	282	366	446	407	29	34	31,6	13,13	13,09	13,11	14,4	32,8	23,81
09/02/2015 08:00	778	380	580	352	440	395	28	34	30,9	13,78	13,38	13,58	14,6	27,8	21,15
09/02/2015 09:00	440	195	317	372	447	410	28	35	31,5	13,61	13,16	13,39	15,5	30,4	22,96
09/02/2015 10:00	110	20	66	376	444	409	32	41	36,0	13,72	13,18	13,45	15,7	35,1	25,29
09/02/2015 11:00	80	15	47	399	470	435	31	38	34,3	13,43	13,06	13,24	18,6	44,2	31,45
09/02/2015 12:00	97	117	107	372	469	422	31	36	33,8	12,99	13,06	13,02	18,7	35,4	27,26
09/02/2015 13:00	114	290	204	366	453	411	30	37	33,6	13,00	13,04	13,02	18,8	34,6	26,92
09/02/2015 14:00	84	243	166	355	437	397	30	39	34,3	13,18	13,24	13,21	18,3	30,7	24,65
09/02/2015 15:00	88	225	158	351	426	389	30	39	34,9	13,33	13,34	13,34	18,3	32,4	25,50
09/02/2015 16:00	111	294	206	361	441	402	29	37	32,7	13,12	13,25	13,19	16,7	27,8	22,42
09/02/2015 17:00	214	402	310	335	405	371	30	37	33,5	13,43	13,44	13,44	14,7	25,9	20,44
09/02/2015 18:00	259	430	346	316	389	353	35	40	37,7	13,60	13,58	13,59	15,1	33,2	24,33
09/02/2015 19:00	236	441	341	315	395	356	43	44	43,4	13,57	13,57	13,57	15,4	31,4	23,59
09/02/2015 20:00	310	538	427	328	403	366	39	42	40,6	13,55	13,55	13,55	16,6	30,7	23,80
09/02/2015 21:00	160	367	288	342	431	388	31	37	34,1	13,11	13,18	13,15	15,6	27,6	21,84
09/02/2015 22:00	71	177	127	343	448	398	30	37	33,4	12,85	12,88	12,87	14,9	23,1	19,20
09/02/2015 23:00	44	84	65	339	434	389	30	38	34,6	12,93	12,97	12,95	15,4	23,1	19,38
10/02/2015 00:00	41	18	29	340	439	392	31	38	34,8	13,07	13,14	13,10	17,2	26,4	21,98

Oxygen				H2O			Flue Gas Flow						AP		
before LUVVO	before LUVVO	after ESP		Duct 1	Duct 2	Duct Mean Value 1/2	Duct 1 normalized dry	Duct 2 normalized dry	Duct Mean Value 1/2 normalized dry	Duct 1 (6% O2) dry	Duct 2 (6% O2) dry	Duct Mean Value 1/2 (6% O2) dry	Duct 1	Duct 2	Duct Mean Value 1/2
Channel: O2_Out_1	Channel: O2_Out_2	Channel: O2_1	Channel: O2_2	Channel: H2O_1	Channel: H2O_2	Channel: Calc	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: Flow	Channel: FI_O2_1	Channel: FI_O2_2	Channel: Flow_O2	Channel: DP_1	Channel: DP_2	Channel: Calc
%	%			%	%	%	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	mbar	mbar	mbar
3,3	2,3	6,6	7,2	19,1	17,8	18,4	759,367	838,033	1.597,400	728,475	768,652	1.497,127	1,3	1,4	1,4
2,8	2,0	5,9	6,7	16,6	15,5	17,0	702,423	791,939	1.494,362	655,334	715,912	1.371,246	1,2	1,3	1,3
3,9	2,5	7,2	7,6	20,3	19,8	20,1	817,887	881,010	1.685,205	822,625	833,517	1.632,954	1,4	1,5	1,4
0,3	0,2	0,4	0,3	1,0	1,2	0,8	32,788	20,920	52,285	48,637	29,947	76,348	0,0	0,0	0,0
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
3,4	2,3	6,5	7,3	18,1	17,8	17,9	788,663	847,628	1.636,291	762,932	773,030	1.535,962	1,33	1,44	1,39
3,8	2,3	7,0	7,3	19,8	16,4	18,0	746,074	844,828	1.590,902	694,774	773,550	1.468,324	1,28	1,40	1,35
3,9	2,5	7,2	7,6	20,2	16,3	18,1	729,340	830,977	1.560,319	669,510	741,858	1.411,368	1,26	1,38	1,32
3,8	2,4	7,1	7,5	19,9	15,9	17,7	721,779	826,000	1.547,779	668,173	744,173	1.412,346	1,24	1,36	1,30
3,6	2,3	6,9	7,4	19,8	18,1	18,9	728,741	807,080	1.535,821	686,730	734,092	1.420,822	1,25	1,37	1,31
3,8	2,5	7,2	7,6	20,3	17,2	18,7	709,918	802,119	1.512,037	655,334	715,912	1.371,246	1,23	1,34	1,29
3,4	2,3	6,6	7,3	18,9	17,4	18,1	761,369	840,439	1.601,808	728,573	768,864	1.497,437	1,29	1,41	1,36
2,8	2,1	5,9	6,9	16,6	17,8	17,2	817,887	864,849	1.682,736	822,625	810,329	1.632,954	1,36	1,47	1,41
3,0	2,3	6,2	7,3	18,7	18,3	18,5	788,110	853,169	1.641,279	779,614	781,573	1.561,187	1,34	1,46	1,40
3,0	2,3	6,1	7,3	17,7	18,3	18,0	802,422	858,313	1.660,735	795,154	782,847	1.578,001	1,35	1,47	1,41
3,3	2,4	6,4	7,4	19,4	19,3	19,3	775,579	839,816	1.615,395	752,423	759,557	1.511,980	1,34	1,46	1,40
3,5	2,4	6,8	7,4	20,3	19,8	20,1	757,034	828,884	1.585,888	714,681	753,698	1.468,379	1,32	1,44	1,38
3,5	2,4	6,8	7,3	19,9	19,1	19,5	774,268	847,572	1.621,840	733,413	771,569	1.504,982	1,34	1,46	1,40
3,3	2,2	6,6	7,2	19,5	19,4	19,4	779,274	849,502	1.628,776	747,659	783,902	1.531,561	1,34	1,47	1,41
3,2	2,2	6,5	7,1	19,2	19,5	19,4	778,457	843,174	1.621,631	754,308	783,861	1.538,169	1,33	1,46	1,40
3,4	2,2	6,7	7,1	19,6	19,0	19,3	771,116	846,348	1.617,465	736,553	782,686	1.519,239	1,33	1,46	1,40
3,0	2,1	6,3	6,9	18,4	18,0	18,2	765,102	837,096	1.602,198	749,057	786,805	1.535,862	1,30	1,42	1,36
2,9	2,0	6,1	6,7	17,9	18,3	18,1	763,975	831,429	1.595,404	757,116	790,004	1.547,120	1,29	1,42	1,36
2,9	2,0	6,2	6,8	17,8	17,8	17,8	783,624	854,569	1.638,264	773,750	809,514	1.583,264	1,32	1,45	1,39
3,0	2,0	6,2	6,8	17,4	16,6	17,0	804,195	881,010	1.685,205	792,729	833,517	1.626,246	1,35	1,47	1,41
3,3	2,3	6,7	7,2	19,0	16,2	17,5	751,273	853,060	1.604,333	716,140	783,472	1.499,612	1,28	1,41	1,35
3,6	2,5	7,0	7,6	19,3	15,5	17,3	717,860	828,171	1.546,031	668,897	740,900	1.409,797	1,23	1,36	1,30
3,5	2,5	7,0	7,5	19,4	16,7	18,0	706,332	804,845	1.511,177	660,180	723,351	1.383,531	1,21	1,32	1,27
3,4	2,4	6,8	7,4	20,3	18,3	19,2	702,423	791,939	1.494,362	663,073	718,595	1.381,668	1,22	1,34	1,28

Pressure		Temperature			Load	Air	Lignite	SO2			NOx			CO		
Duct 1	Duct 2	Duct Mean Value 1/2	Duct 1	Duct 2	Unit	Unit	Unit	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total
Channel: Press_1	Channel: Press_2	Channel: Calc	Channel: Temp_1	Channel: Temp_2	Channel: Act_Load	Channel: Flow_Air	Channel: Flow_lig	Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOx_1	Channel: NOx_2	Channel: NOx	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO
mbar	mbar	mbar	oC	oC	MW	Nm ³ /h	kg/s	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day
910.8	897.5	903.8	159.7	158.8	316.3	1.170.752	632.5	6205	5926	12132	6260	8122	14382	525	665	1190
908.1	895.1	901.4	154.5	155.1	286.6	1.085.571										
916.0	903.1	909.2	163.8	163.6	343.3	1.220.961										
2.1	2.2	2.1	2.6	2.1	15.2	44.307										
24	24	24	24	24	24	24	24									
908	895	901	160	159	343.3	1213856	608.8	1071	778	1849	289	361	650	21	23	45
909	896	902	156	156	318.0	1161435	589.9	650	554	1204	267	369	636	17	22	39
909	896	902	156	156	306.6	1141513	583.5	485	355	840	264	351	616	17	22	38
910	897	903	155	155	306.2	1123238	580.4	574	440	1013	253	336	589	16	21	37
910	897	903	154	155	306.3	1129345	595.6	419	232	650	249	325	575	17	22	40
910	898	904	156	157	295.7	1111154	579.4	214	90	304	246	320	566	18	23	41
909	896	903	156	157	311.2	1168770	634.3	296	127	422	267	343	609	21	26	47
909	895	902	160	160	339.1	1220961	667.8	640	308	948	289	356	646	23	28	50
910	896	902	162	161	329.5	1209325	663.0	343	152	496	290	350	640	22	27	49
910	896	903	162	162	321.0	1209758	683.2	88	16	104	299	347	646	25	32	57
910	896	903	164	164	314.4	1193032	666.8	60	11	71	300	357	658	23	29	52
911	898	904	162	162	313.1	1188194	648.5	69	88	158	266	354	620	22	27	50
910	896	903	160	160	320.3	1217117	655.6	83	224	307	269	350	618	22	29	51
910	896	903	160	159	323.3	1216163	655.3	63	191	254	265	343	608	22	30	53
910	896	903	161	159	324.2	1214202	654.8	66	176	243	265	334	599	23	31	54
910	897	903	161	160	322.6	1216390	655.5	82	230	312	266	345	611	21	29	50
911	898	904	161	159	322.8	1178077	651.9	160	316	476	251	318	569	23	29	51
911	898	904	162	160	324.1	1155120	643.4	196	339	536	239	307	546	27	32	58
911	898	904	161	159	330.1	1183612	648.3	183	357	540	244	320	564	33	36	69
911	897	904	162	160	337.0	1212146	679.3	246	448	694	260	336	596	31	35	66
913	899	906	161	159	315.3	1152480	636.5	115	288	402	245	337	582	22	29	51
915	902	908	158	158	294.5	1102748	596.1	47	131	179	229	332	561	20	27	47
916	903	909	157	157	287.3	1085571	590.8	29	61	90	224	314	538	20	28	48
916	903	909	160	158	286.6	1093824	612.2	27	13	40	226	316	541	20	28	48

CO2			Dust			Flue Gas Flow wet normalized			Flue Gas Flow wet			Specific Consumption	Diesel Oil Consumption
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1 normalized wet	Duct 2 normalized wet	Duct Mean Value 1/2 normalized wet	Duct 1 wet	Duct 2 wet	Duct Mean Value 1/2 wet	Unit	Unit
Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2	Channel: Dust_1	Channel: Dust_2	Channel: Dust	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: Flow	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: Flow	Channel: Specific Consumption	Channel: Flow_Oil
t/day	t/day	t/day	kg/day	kg/day	kg/day	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	m3/h	m3/h	m3/h	kg/kWh	l/min
4712	5191	9902	284	535	819	937.930	1.019.752	1.957.682	1.632.618	1.797.378	3.429.996	2.00	0.06
						876.518	966.402	1.842.921	1.516.002	1.687.890	3.203.892	1.77	0.06
						980.518	1.056.698	2.032.845	1.711.599	1.867.247	3.575.300	2.14	0.06
						32.635	30.456	62.854	64.958	62.928	127.655	0.08	
						24	24	24	24	24	24	24	24
202	215	417	14	21	35	962.802	1.030.838	1.993.640	1.682.827	1.822.679	3.505.506	1.77	0
184	216	400	11	18	29	930.428	1.010.869	1.941.297	1.610.430	1.773.971	3.384.401	1.86	0
178	207	385	11	18	30	914.067	992.857	1.906.924	1.579.554	1.740.521	3.320.075	1.90	0
179	208	386	10	16	26	900.692	982.127	1.882.819	1.550.773	1.716.203	3.266.976	1.90	0
184	205	390	10	17	27	908.535	985.708	1.894.243	1.564.050	1.723.906	3.287.957	1.94	0
177	201	378	10	16	26	891.027	969.048	1.860.075	1.538.011	1.698.157	3.236.169	1.96	0
196	216	412	10	25	36	939.149	1.017.977	1.957.126	1.624.433	1.788.117	3.412.550	2.04	0
221	227	449	12	23	35	980.518	1.052.327	2.032.845	1.711.599	1.863.700	3.575.300	1.97	0
211	221	431	12	24	36	968.970	1.044.754	2.013.725	1.696.508	1.853.630	3.550.138	2.01	0
216	222	438	12	27	40	974.905	1.050.133	2.025.038	1.708.676	1.866.267	3.574.943	2.13	0
205	216	420	14	34	48	961.974	1.040.617	2.002.591	1.691.469	1.856.810	3.548.279	2.12	0
193	213	406	13	27	40	950.350	1.033.303	1.983.653	1.660.909	1.833.463	3.494.373	2.07	0
198	217	415	14	27	41	966.324	1.048.222	2.014.546	1.682.886	1.852.518	3.535.404	2.05	0
202	221	423	14	24	38	968.384	1.053.490	2.021.874	1.690.040	1.861.479	3.551.519	2.03	0
204	221	425	14	25	39	963.391	1.048.042	2.011.433	1.683.833	1.851.556	3.535.389	2.02	0
199	220	419	12	22	34	959.007	1.045.001	2.004.008	1.676.974	1.846.967	3.523.941	2.03	0
202	221	423	11	20	31	937.415	1.020.784	1.958.198	1.636.964	1.800.855	3.437.819	2.02	0
204	222	426	11	26	38	930.618	1.017.518	1.948.136	1.627.921	1.797.371	3.425.293	1.99	0
209	228	437	12	25	37	953.885	1.039.363	1.993.248	1.664.659	1.832.415	3.497.074	1.96	0
214	234	449	13	26	39	973.913	1.056.698	2.030.611	1.703.676	1.867.247	3.570.923	2.02	0
194	221	414	11	22	33	927.095	1.017.699	1.944.794	1.614.935	1.789.359	3.404.295	2.02	0
181	210	391	10	17	27	889.559	980.491	1.870.051	1.539.339	1.715.390	3.254.728	2.02	0
179	205	384	10	17	27	876.518	966.402	1.842.921	1.516.002	1.687.890	3.203.892	2.06	0
180	204	385	11	19	30	880.790	969.779	1.850.568	1.526.359	1.696.592	3.222.951	2.14	0

SO2	SO2	NOX	NOX	CO	CO	CO2	CO2	Dust	Dust	Oxygen	Oxygen	Moisture	Moisture	Gas Flow	Gas Flow	Gas Flow	Gas Flow
Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct 1 after ESP	Duct 2 after ESP	Duct 1	Duct 2	Duct 1 normalized dry	Duct 2 normalized dry	Duct 1 (6% O2) dry	Duct 2 (6% O2) dry
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: NOX_1	Channel: NOX_2	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: Dust_1	Channel: Dust_2	Channel: O2_1	Channel: O2_2	Channel: H2O_1	Channel: H2O_2	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: F_O2_1	Channel: F_O2_2
mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	%	%	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h
354.8	320.8	358.1	440.2	30.0	36.1	13.2	13.1	16.2	29.1	6.6	7.2	19.0	17.8	760.920	838.943	730.811	770.048
40.6	14.9	315.1	388.7	23.8	28.6	12.4	12.7	14.4	21.4	5.9	6.7	16.6	15.5	702.423	791.939	655.334	715.912
1403.4	1006.4	398.9	476.5	42.9	43.9	13.8	13.6	18.8	44.2	7.2	7.6	20.3	19.8	817.887	881.010	822.625	833.517
355.3	237.6	23.0	23.8	4.3	4.2	0.4	0.3	1.5	5.5	0.4	0.3	1.0	1.2	32.788	20.920	48.637	29.947
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
1403	1006	379	467	28	30	13	13	18	27	6.49	7.32	18.09	17.77	788663	847628	762932	773030
935	716	384	477	24	29	13	13	16	23	7.03	7.27	19.81	16.43	746074	844828	694774	773550
725	479	395	474	25	30	12	13	17	25	7.23	7.61	20.21	16.30	729340	830977	669510	741858
859	591	379	451	24	29	13	13	15	21	7.11	7.49	19.86	15.90	721779	826000	668173	744173
609	315	363	443	25	30	13	13	15	23	6.86	7.36	19.79	18.12	728741	807080	666730	734092
326	126	375	447	27	32	13	13	15	23	7.15	7.61	20.33	17.23	709918	802119	655334	715912
406	165	366	446	29	34	13	13	14	33	6.65	7.28	18.93	17.44	761369	840439	728573	768864
778	380	352	440	28	34	14	13	15	28	5.91	6.95	16.59	17.82	817887	864849	822625	810329
440	195	372	447	28	35	14	13	16	30	6.16	7.26	18.67	18.34	788110	853169	779614	781573
110	20	376	444	32	41	14	13	16	35	6.14	7.32	17.69	18.27	802422	858313	795154	782847
80	15	399	470	31	38	13	13	19	44	6.45	7.43	19.38	19.30	775579	839816	752423	759557
97	117	372	469	31	36	13	13	19	35	6.84	7.36	20.34	19.79	757034	828854	714681	753698
114	290	366	453	30	37	13	13	19	35	6.79	7.35	19.87	19.14	774268	847572	733413	771569
84	243	355	437	30	39	13	13	18	31	6.61	7.16	19.53	19.36	779274	849502	747659	783902
88	225	351	426	30	39	13	13	18	32	6.47	7.06	19.20	19.55	778457	843174	754308	783861
111	294	361	441	29	37	13	13	17	28	6.67	7.13	19.59	19.01	771116	846348	736553	782686
214	402	335	405	30	37	13	13	15	26	6.31	6.90	18.38	17.99	765102	837096	749057	786805
259	430	316	389	35	40	14	14	15	33	6.13	6.75	17.91	18.29	763975	831429	757116	790004
236	441	315	395	43	44	14	14	15	31	6.19	6.79	17.85	17.78	783624	854569	773750	809514
310	538	328	403	39	42	14	14	17	31	6.21	6.81	17.43	16.63	804195	881010	792729	833517
160	367	342	431	31	37	13	13	16	28	6.70	7.22	18.96	16.18	751273	853060	716140	783472
71	177	343	448	30	37	13	13	15	23	7.02	7.58	19.30	15.54	717860	828171	668897	740900
44	84	339	434	30	38	13	13	15	23	6.98	7.53	19.42	16.72	706332	804845	660180	723351
41	18	340	439	31	38	13	13	17	26	6.84	7.39	20.25	18.34	702423	791939	663073	718595

ΕΙΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΠΥΛΩΝ

SO2			NOx			CO			CO2		
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOx_1	Channel: NOx_2	Channel: NOx	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2
kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ
0,22704135	0,21682004	0,44386139	0,22905351	0,29714800	0,52620151	0,01920423	0,02433267	0,04353690	172,38681983	189,91879068	362,30561051
0,026099	0,009980	0,038522	0,204803	0,263201	0,468003	0,014444	0,019011	0,033744	161,101153	174,116187	337,645771
0,866277	0,629413	1,495690	0,265175	0,322023	0,580877	0,027918	0,029888	0,057807	187,092498	198,258391	379,420184
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,866277	0,629413	1,495690	0,233965	0,292265	0,526230	0,017123	0,019011	0,036134	163,529584	174,116187	337,645771
0,567596	0,484174	1,051770	0,233246	0,322023	0,555269	0,014726	0,019401	0,034127	161,101153	188,289730	349,390883
0,439673	0,321599	0,761272	0,239415	0,318290	0,557705	0,014993	0,019868	0,034861	161,398473	187,780944	349,179417
0,520435	0,398987	0,919422	0,229478	0,304581	0,534059	0,014444	0,019300	0,033744	161,966798	188,360962	350,327761
0,379590	0,209963	0,589553	0,226190	0,294854	0,521043	0,015780	0,020248	0,036028	166,981709	186,299975	353,281685
0,200814	0,084973	0,285787	0,230911	0,300984	0,531895	0,016703	0,021554	0,038257	165,896189	189,044797	354,940987
0,263913	0,113126	0,377039	0,238186	0,305769	0,543955	0,018587	0,023619	0,042207	175,200619	192,858292	368,058911
0,524248	0,251970	0,776218	0,236915	0,291903	0,528818	0,018557	0,022746	0,041304	181,285986	186,227814	367,513801
0,289326	0,128526	0,417852	0,244463	0,294859	0,539322	0,018276	0,023168	0,041444	177,696417	185,922833	363,619250
0,075870	0,013731	0,089601	0,258415	0,300518	0,558932	0,021684	0,027543	0,049227	187,092498	192,327686	379,420184
0,053010	0,009980	0,062991	0,265175	0,315702	0,580877	0,020292	0,025465	0,045758	180,702797	190,386698	371,089495
0,061562	0,078488	0,140050	0,236172	0,313728	0,549899	0,019737	0,024253	0,043990	171,406304	188,633937	360,040242
0,072405	0,194125	0,266530	0,232929	0,303204	0,536133	0,018889	0,024956	0,043845	171,436961	188,256693	359,693654
0,054100	0,163892	0,217992	0,227833	0,294512	0,522345	0,019078	0,026032	0,045110	173,369099	189,742563	363,111662
0,056959	0,150987	0,207946	0,227013	0,285888	0,512900	0,019481	0,026476	0,043957	174,612014	189,371546	363,983560
0,070670	0,198365	0,269035	0,228966	0,297478	0,526433	0,018086	0,024697	0,042783	171,183568	189,756232	360,918800
0,137923	0,272141	0,410064	0,215898	0,274088	0,489985	0,019419	0,024837	0,044256	173,753518	190,242123	363,995641
0,168171	0,290872	0,459043	0,204803	0,263201	0,468003	0,022991	0,027099	0,050060	174,918739	190,149628	365,068367
0,153864	0,300511	0,454374	0,205163	0,269166	0,474329	0,027918	0,029888	0,057807	175,825839	191,666781	367,492619
0,202422	0,369531	0,571953	0,214031	0,276991	0,491022	0,025624	0,028755	0,054379	176,425891	193,297047	369,722938
0,100988	0,253533	0,354520	0,215558	0,297253	0,512811	0,019384	0,025612	0,044997	170,514671	194,632877	365,147548
0,044566	0,123996	0,168863	0,216353	0,313247	0,529600	0,018764	0,025660	0,044424	170,986536	197,708965	368,695501
0,028239	0,058615	0,086654	0,216151	0,303810	0,519961	0,019407	0,028906	0,046313	173,396471	198,258391	371,654862
0,026099	0,012423	0,038522	0,218615	0,306091	0,524706	0,019863	0,026710	0,046573	174,833497	198,060793	372,894290

ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

SO2		NOX		CO		CO2					
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total			
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOX_1	Channel: NOX_2	Channel: NOX	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO			
0,00011355	0,00001105	0,00012460	0,00011455	0,00014861	0,00026316	0,00000960	0,00001217	0,00002177	0,08621207	0,09497995	0,18119202
0,00001222	0,00000471	0,00001803	0,00010233	0,00013257	0,00023572	0,00000762	0,00001018	0,00001780	0,08183702	0,08977758	0,17379455
0,00048854	0,00035496	0,00084349	0,00013194	0,00017359	0,00029932	0,00001422	0,00001522	0,00002943	0,09222223	0,10149664	0,19041475
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,00048854	0,00035496	0,00084349	0,00013194	0,00016482	0,00029677	0,00000966	0,00001072	0,00002038	0,09222223	0,09819252	0,19041475
0,00030596	0,00026099	0,00056695	0,00012573	0,00017359	0,00029932	0,00000794	0,00001046	0,00001840	0,08684077	0,10149664	0,18833740
0,00023104	0,00016899	0,00040003	0,00012581	0,00016726	0,00029306	0,00000788	0,00001044	0,00001832	0,08481170	0,09867516	0,18348686
0,00027456	0,00021049	0,00048505	0,00012106	0,00016069	0,00028175	0,00000762	0,00001018	0,00001780	0,08544740	0,09937194	0,18481934
0,00019520	0,00010797	0,00030318	0,00011632	0,00015163	0,00026795	0,00000812	0,00001041	0,00001853	0,08587069	0,09580515	0,18167584
0,00010247	0,00004336	0,00014582	0,00011782	0,00015358	0,00027140	0,00000852	0,00001100	0,00001952	0,08464951	0,09646122	0,18111073
0,00012949	0,00005550	0,00018499	0,00011686	0,00015002	0,00026689	0,00000912	0,00001159	0,00002071	0,08596025	0,09462379	0,18058404
0,00026619	0,00012794	0,00039413	0,00012029	0,00014821	0,00026851	0,00000942	0,00001155	0,00002097	0,09204870	0,09455793	0,18660663
0,00014377	0,00006387	0,00020764	0,00012148	0,00014652	0,00026800	0,00000908	0,00001151	0,00002059	0,08830095	0,09238882	0,18068977
0,00003564	0,00000645	0,00004209	0,00012139	0,00014117	0,00026257	0,00001019	0,00001294	0,00002313	0,08788960	0,09034891	0,17823851
0,00002500	0,00000471	0,00002970	0,00012504	0,00014887	0,00027391	0,00000957	0,00001201	0,00002158	0,08521110	0,08977758	0,17498869
0,00002972	0,000003789	0,00006760	0,00011400	0,00015144	0,00026544	0,00000953	0,00001171	0,00002123	0,08273931	0,09105524	0,17379455
0,00003538	0,00009484	0,00013022	0,00011380	0,00014814	0,00026194	0,00000923	0,00001219	0,00002142	0,08375981	0,09197751	0,17573732
0,00002669	0,00008086	0,00010755	0,00011240	0,00014530	0,00025771	0,00000941	0,00001284	0,00002226	0,08553429	0,09361239	0,17914667
0,00002820	0,00007475	0,00010295	0,00011239	0,00014154	0,00025394	0,00000965	0,00001311	0,00002275	0,08645107	0,09375857	0,18020964
0,00003478	0,00009762	0,00013239	0,00011267	0,00014639	0,00025906	0,00000890	0,00001215	0,00002105	0,08424025	0,09336961	0,17760985
0,00006829	0,00013475	0,00020304	0,00010690	0,00013571	0,00024261	0,00000961	0,00001230	0,00002191	0,08603189	0,09419602	0,18022791
0,00008470	0,00014651	0,00023121	0,00010315	0,00013257	0,00023572	0,00001156	0,00001365	0,00002521	0,08810289	0,09577437	0,18387726
0,00007835	0,00015302	0,00023136	0,00010617	0,00013706	0,00024358	0,00001422	0,00001522	0,00002943	0,08952891	0,09759497	0,18712388
0,00010041	0,00018331	0,00028373	0,00010617	0,00013741	0,00024358	0,00001271	0,00001426	0,00002698	0,08751862	0,09588780	0,18340642
0,00005002	0,00012557	0,00017559	0,00010677	0,00014723	0,00025399	0,00000960	0,00001269	0,00002229	0,08445528	0,09640094	0,18085622
0,00002201	0,00006125	0,00008526	0,00010687	0,00015473	0,00026159	0,00000927	0,00001267	0,00002194	0,08445733	0,09765665	0,18211398
0,00001373	0,00002850	0,00004224	0,00010511	0,00014774	0,00025286	0,00000944	0,00001308	0,00002252	0,08432288	0,09641325	0,18073613
0,00001222	0,00000582	0,00001803	0,00010233	0,00014328	0,00024561	0,00000930	0,00001250	0,00002180	0,08183702	0,09270938	0,17454640

ΑΠΟΛΕΙΞ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

SO2				NOx				CO				CO2			
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOx_1	Channel: NOx_2	Channel: NOx	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2	
MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	
0,00634052	0,00604062	0,01238114	0,00981827	0,01264650	0,02246478	0,00085729	0,00107746	0,00193475	6,67154059	7,29184483	13,96338541				
0,00066926	0,00028788	0,00098277	0,00839164	0,01158003	0,02001351	0,00059890	0,00080289	0,00140179	5,81884919	6,66239118	12,48137626				
0,02660068	0,01914014	0,04574082	0,01163393	0,01383361	0,02546754	0,00131198	0,00138197	0,00269395	7,53494593	7,95809760	15,36303686				
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
0,02660068	0,01914014	0,04574082	0,01092797	0,01352553	0,02445350	0,00083122	0,00091434	0,00174556	6,89436872	7,26895367	14,16332239				
0,01565976	0,01334662	0,02900638	0,00980347	0,01352370	0,02332716	0,00064314	0,00084662	0,00148976	6,10080966	7,12420049	13,22501015				
0,01164141	0,00852523	0,02016664	0,00965939	0,01285620	0,02251560	0,00062853	0,00083387	0,00146240	5,86541966	6,83238360	12,69780326				
0,01362360	0,01048002	0,02410362	0,00915811	0,01219472	0,02135282	0,00059890	0,00080289	0,00140179	5,81884919	6,79036163	12,60921082				
0,00992811	0,00552929	0,01545740	0,00901964	0,01183449	0,02085413	0,00065380	0,00084441	0,00149820	5,99379521	6,73359838	12,72739358				
0,00513187	0,00218172	0,00731359	0,00899143	0,01177233	0,02076376	0,00067583	0,00087599	0,00155181	5,81898509	6,66239118	12,48137626				
0,00712393	0,00306321	0,01018714	0,00979494	0,01261160	0,02240654	0,00079425	0,00101231	0,00180655	6,49134775	7,16817273	13,65952048				
0,01587076	0,00760926	0,02348002	0,01091052	0,01341158	0,02432210	0,00088819	0,00108615	0,00197434	7,53494593	7,72118406	15,25612998				
0,00862314	0,00380589	0,01242903	0,01107614	0,01327772	0,02435387	0,00086068	0,00108431	0,00194500	7,27216950	7,55927375	14,83144325				
0,00221132	0,00039845	0,00260977	0,01144746	0,01325686	0,02470432	0,00099846	0,00126288	0,00226133	7,48789552	7,66313367	15,15102919				
0,00153110	0,00028788	0,00181899	0,01163393	0,01383361	0,02546754	0,00092545	0,00115993	0,00208538	7,16764651	7,54184012	14,70948663				
0,00174076	0,00222238	0,00396314	0,01015283	0,01350418	0,02365701	0,00088189	0,00108507	0,00196695	6,65511917	7,33399698	13,98911615				
0,00206320	0,00552628	0,00758947	0,01009867	0,01313342	0,02323209	0,00085108	0,00112344	0,00197452	6,70681581	7,35765564	14,06447145				
0,00156547	0,00470113	0,00626661	0,01002772	0,01285522	0,02288294	0,00087272	0,00118087	0,00205359	6,88786802	7,47205642	14,35992444				
0,00166072	0,00434173	0,00600245	0,01006497	0,01250990	0,02257488	0,00089773	0,00120401	0,00210173	6,99025028	7,47595870	14,46620898				
0,00205623	0,00569180	0,00774804	0,01012857	0,01298709	0,02311567	0,00083160	0,00112055	0,00195215	6,83899619	7,47434989	14,31334608				
0,00401217	0,00780049	0,01181267	0,00954933	0,01195440	0,02156037	0,00089271	0,00112581	0,00201852	6,94016170	7,48632031	14,42648202				
0,00494552	0,00841250	0,01333580	0,00915427	0,01158003	0,02073429	0,00106676	0,00123914	0,00230590	7,06346389	7,55043830	14,61390219				
0,00618727	0,01108135	0,01732686	0,00994387	0,01263753	0,02258168	0,00123742	0,00136347	0,00260089	7,40493926	7,95809760	15,36303686				
0,00286712	0,00706073	0,00992784	0,00930056	0,01259996	0,02190552	0,00086975	0,00112824	0,00199799	6,64704400	7,44123326	14,08827660				
0,00116345	0,00319729	0,00436074	0,00859507	0,01229924	0,02089431	0,00077469	0,00104695	0,00182164	6,12814297	6,99807489	13,12621787				
0,00072048	0,00147241	0,00219290	0,00839164	0,01162187	0,02001351	0,00078304	0,00106954	0,00185258	6,07369769	6,83634417	12,91004186				
0,00066926	0,00031351	0,00098277	0,00852692	0,01175892	0,02028583	0,00080519	0,00106635	0,00187154	6,15543984	6,86153591	13,01697575				

Παράρτημα II

Πίνακας ημερήσιων δεδομένων Μονάδας V μετά την εγκατάσταση τεχνολογιών μείωσης οξειδίων του αζώτου στις 5 Αυγούστου 2015

Date	SO2			NOx			CO			CO2			Dust		
	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry	Duct 1 dry	Duct 2 dry	Duct Mean Value 1/2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry
Mean Value	393.0	924.5	666.0	218.5	241.5	230.3	125.3	485.2	310.3	14.6	14.3	14.4	52.8	25.6	39.0
Minimum	29.1	233.7	133.7	194.6	217.4	206.7	65.3	118.7	93.9	13.8	13.6	13.7	21.5	19.7	20.9
Maximum	1122.3	1925.9	1528.0	243.7	265.9	254.8	173.1	822.9	492.4	15.2	14.8	15.0	135.8	37.8	86.7
Standard Deviation	342.8	535.6	438.0	11.3	13.5	11.4	30.0	182.7	107.8	0.3	0.3	0.3	36.3	4.4	20.1
# values	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
05/08/2015 01:00	507	1064	799	218	249	235	140	646	409.6	14.88	14.43	14.64	21.5	20.5	20.93
05/08/2015 02:00	497	1019	773	214	246	231	173	739	471.9	15.00	14.55	14.76	24.1	22.8	23.45
05/08/2015 03:00	398	883	663	208	240	225	165	662	430.8	15.00	14.55	14.76	26.0	21.9	23.80
05/08/2015 04:00	436	1025	751	214	243	230	156	675	434.3	14.90	14.52	14.70	29.2	22.8	25.78
05/08/2015 05:00	367	917	656	211	236	224	147	628	399.3	14.81	14.51	14.65	31.6	22.6	26.90
05/08/2015 06:00	271	717	504	209	230	220	134	417	282.3	14.54	14.14	14.33	38.9	26.2	32.26
05/08/2015 07:00	180	610	408	195	217	207	103	254	183.2	14.40	13.99	14.18	31.1	19.7	25.06
05/08/2015 08:00	133	515	337	200	221	211	90	209	153.9	14.25	13.94	14.08	33.7	22.8	27.90
05/08/2015 09:00	63	358	221	234	250	243	65	119	93.9	13.80	13.60	13.69	43.0	22.7	32.13
05/08/2015 10:00	127	561	355	216	237	227	80	263	176.0	14.35	14.20	14.27	41.0	23.7	31.91
05/08/2015 11:00	142	596	374	214	231	223	97	331	216.6	14.46	14.25	14.35	54.8	25.9	40.02
05/08/2015 12:00	116	515	317	222	230	226	113	315	214.8	14.48	14.12	14.30	66.3	29.8	47.91
05/08/2015 13:00	51	395	225	223	232	227	102	333	219.3	14.58	14.31	14.44	67.1	24.8	45.63
05/08/2015 14:00	34	276	157	216	227	222	112	385	251.6	14.80	14.46	14.63	99.5	28.4	63.10
05/08/2015 15:00	29	234	134	205	223	214	144	567	360.0	15.20	14.81	15.00	122.6	33.4	76.99
05/08/2015 16:00	36	334	185	227	231	229	128	536	332.3	14.89	14.65	14.77	135.8	37.8	86.73
05/08/2015 17:00	133	551	342	231	243	237	138	481	309.1	14.71	14.40	14.56	135.0	34.0	84.66
05/08/2015 18:00	350	1021	682	225	254	239	170	823	492.4	14.89	14.49	14.69	80.7	27.8	54.54
05/08/2015 19:00	682	1563	1125	244	266	255	92	456	274.8	14.37	14.02	14.20	50.4	25.1	37.71
05/08/2015 20:00	802	1595	1199	234	264	249	110	547	328.9	14.58	14.14	14.36	35.6	24.8	30.19
05/08/2015 21:00	971	1736	1354	223	257	240	146	583	365.4	14.53	14.18	14.36	24.8	23.1	23.96
05/08/2015 22:00	1122	1926	1528	217	255	236	152	621	388.6	14.54	14.23	14.38	22.7	24.0	23.35
05/08/2015 23:00	1038	1878	1463	217	255	236	136	578	359.6	14.49	14.28	14.38	23.8	24.6	24.20
06/08/2015 00:00	742	1575	1171	219	250	235	93	335	218.1	14.12	14.02	14.07	24.0	24.4	24.22

Oxygen				H2O			Flue Gas Flow						AP		
before LUVO	before LUVO	after ESP		Duct 1	Duct 2	Duct Mean Value 1/2	Duct 1 normalized dry	Duct 2 normalized dry	Duct Mean Value 1/2 normalized dry	Duct 1 (6% O2) dry	Duct 2 (6% O2) dry	Duct Mean Value 1/2 (6% O2) dry	Duct 1	Duct 2	Duct Mean Value 1/2
Channel: O2_Out_1	Channel: O2_Out_2	Channel: O2_1	Channel: O2_2	Channel: H2O_1	Channel: H2O_2	Channel: Calc	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: Flow	Channel: FI_O2_1	Channel: FI_O2_2	Channel: Flow_O2	Channel: DP_1	Channel: DP_2	Channel: Calc
%	%	%	%	%	%	%	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	mbar	mbar	mbar
2.1	2.2	6.3	6.7	25.3	19.7	22.4	815.508	893.939	1.709.447	801.321	851.169	1.652.490	1.3	1.4	1.3
1.8	1.8	5.8	6.3	23.6	18.3	21.7	745.382	872.494	1.625.038	688.282	795.381	1.483.663	1.1	1.4	1.3
2.8	3.1	7.3	7.6	27.6	20.8	23.6	887.985	918.927	1.799.608	899.139	889.859	1.775.799	1.4	1.5	1.4
0.3	0.3	0.4	0.4	1.2	0.6	0.5	45.277	12.608	49.690	54.178	26.553	72.952	0.1	0.0	0.0
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
1.9	2.0	5.9	6.4	23.9	19.9	21.7	771.540	907.725	1.679.264	776.297	885.194	1.661.490	1.16	1.44	1.31
1.8	1.9	5.8	6.3	23.6	20.2	21.7	783.793	905.364	1.689.157	794.337	889.859	1.684.196	1.18	1.45	1.32
1.8	1.9	5.8	6.3	23.7	20.2	21.8	752.573	893.070	1.645.643	762.493	876.107	1.638.600	1.13	1.43	1.30
1.9	1.9	5.9	6.3	24.0	20.0	21.8	756.001	896.704	1.652.705	761.260	877.540	1.638.800	1.15	1.43	1.30
2.0	2.0	6.1	6.4	24.4	20.0	22.0	792.964	898.446	1.691.410	789.302	872.051	1.661.353	1.21	1.44	1.33
2.3	2.4	6.4	6.9	25.5	19.5	22.3	795.638	900.845	1.696.483	772.998	845.343	1.618.341	1.23	1.43	1.34
2.4	2.6	6.6	7.2	26.3	19.3	22.5	760.495	888.477	1.648.972	727.894	818.974	1.546.868	1.19	1.40	1.30
2.5	2.8	6.8	7.3	26.6	18.9	22.4	745.382	879.656	1.625.038	703.411	805.077	1.508.488	1.16	1.38	1.28
2.8	3.1	7.3	7.6	27.5	18.3	22.5	751.107	889.560	1.640.668	688.282	795.381	1.483.663	1.19	1.38	1.29
2.4	2.5	6.7	6.9	26.3	19.1	22.5	784.609	881.821	1.666.431	748.259	826.103	1.574.361	1.22	1.39	1.31
2.4	2.5	6.6	6.9	26.0	19.4	22.6	832.671	890.947	1.723.619	798.033	836.099	1.634.131	1.30	1.41	1.36
2.3	2.5	6.6	7.1	26.1	19.5	22.7	847.798	888.431	1.736.229	813.588	824.933	1.638.521	1.33	1.41	1.37
2.3	2.4	6.6	6.9	26.2	19.6	22.8	841.098	886.066	1.727.194	810.050	833.074	1.643.124	1.32	1.41	1.36
2.2	2.3	6.4	6.8	25.9	19.8	22.8	818.726	883.529	1.702.255	796.608	835.636	1.632.243	1.28	1.41	1.35
1.9	2.0	6.0	6.5	27.6	19.9	23.6	811.035	875.243	1.686.278	811.003	847.748	1.658.752	1.31	1.41	1.36
2.0	2.0	6.1	6.5	25.1	19.8	22.4	849.438	873.650	1.723.088	842.125	844.128	1.686.253	1.33	1.41	1.37
2.0	2.1	6.1	6.6	25.0	19.5	22.2	850.219	872.494	1.722.713	842.311	838.002	1.680.313	1.33	1.40	1.36
1.8	1.8	5.8	6.3	25.0	20.0	21.9	887.985	993.391	1.781.376	899.139	876.661	1.775.799	1.36	1.44	1.40
2.2	2.2	6.3	6.7	25.0	19.2	22.0	880.681	918.927	1.799.608	865.756	874.100	1.739.856	1.36	1.46	1.41
2.0	2.2	6.0	6.6	24.5	19.6	22.0	872.913	911.780	1.784.693	871.669	874.596	1.746.266	1.34	1.45	1.40
2.0	2.1	6.0	6.5	24.5	20.2	22.3	868.366	906.876	1.775.243	868.986	873.930	1.742.916	1.32	1.45	1.39
2.0	2.1	6.0	6.5	24.6	20.6	22.5	855.952	905.967	1.761.919	857.790	874.421	1.732.211	1.31	1.45	1.38
2.1	2.1	6.1	6.7	25.0	20.8	22.9	849.315	905.794	1.755.108	844.165	865.157	1.709.322	1.30	1.46	1.38
2.4	2.5	6.5	7.0	26.1	20.3	23.1	811.901	899.745	1.711.646	785.960	837.945	1.623.905	1.26	1.42	1.34

Pressure			Temperature			Load	Air	Lignite	SO2			NOx			CO		
Duct 1	Duct 2	Duct Mean Value 1/2	Duct 1	Duct 2	Duct Mean Value 1/2	Unit	Unit	Unit	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total
Channel: Press_1	Channel: Press_2	Channel: Calc	Channel: Temp_1	Channel: Temp_2	Channel: Calc	Channel: Act_Load	Channel: Flow_Air	Channel: Flow_lig	Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOx_1	Channel: NOx_2	Channel: NOx	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO
mbar	mbar	mbar	oC	oC	oC	MW	Nm3/h	kg/s	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day
916.4	907.3	911.6	168.2	171.0	169.7	345.7	1,151.616	678.5	7598	18815	26413	4204	4931	9135	2411	9893	12304
914.5	905.6	910.0	161.4	166.3	164.1	318.7	1,093.874										
918.2	909.2	913.4	180.5	180.1	180.2	366.0	1,192.941										
1.0	1.1	0.9	5.7	3.9	4.7	17.6	26.263										
24	24	24	24	24	24	24	24	24									
917	907	911	161	166	164	365.9	1173954	678.5	394	933	1327	169	221	390	109	572	681
916	907	911	163	168	166	366.0	1177267	684.7	395	907	1302	170	219	389	137	657	795
916	907	911	165	170	168	361.0	1158735	675.2	304	782	1086	159	210	369	126	580	706
916	907	911	166	171	169	360.7	1161097	679.3	332	900	1232	163	213	376	119	593	712
916	907	911	167	171	169	355.8	1161446	683.4	299	800	1089	167	206	372	116	547	663
916	907	911	168	172	170	344.7	1170357	688.0	209	606	816	162	194	356	104	353	457
917	908	912	164	169	167	331.4	1143385	684.7	131	500	631	142	178	320	75	208	283
918	909	913	163	168	166	320.4	1125333	679.2	93	415	508	140	178	318	64	169	232
918	909	913	162	166	164	318.7	1140426	673.1	44	284	328	161	199	360	45	94	139
918	909	913	164	168	166	328.2	1132900	676.6	95	463	558	162	196	358	60	217	277
917	908	913	168	171	170	337.4	1150214	684.7	114	498	611	170	193	364	77	276	354
917	908	912	170	172	171	330.3	1142621	693.5	94	425	519	181	190	371	92	260	352
917	909	913	170	171	170	328.3	1131949	694.4	41	329	370	181	193	374	83	277	360
917	908	912	172	173	173	324.6	1122143	692.3	27	230	257	172	190	362	89	321	411
916	908	912	177	178	177	327.1	1112886	694.6	24	198	222	166	189	355	117	480	597
916	907	911	180	180	180	329.7	1116136	674.5	31	282	312	191	195	386	108	453	560
916	907	911	181	179	180	332.1	1093874	648.4	112	462	574	195	204	398	116	403	519
915	906	911	177	176	177	357.2	1140943	659.6	315	895	1210	203	222	425	153	721	874
915	906	910	172	173	172	364.9	1184180	638.4	590	1366	1957	211	232	443	80	399	478
915	906	910	170	171	170	365.8	1172938	655.4	699	1395	2094	204	231	435	96	478	574
915	906	911	165	168	167	365.3	1170956	673.0	844	1517	2361	194	224	418	127	510	637
916	906	911	164	168	166	365.5	1183324	687.5	963	1684	2647	186	223	409	130	543	673
916	906	911	164	168	166	364.0	1192941	695.7	876	1625	2501	194	220	404	115	500	615
917	907	912	163	167	165	351.4	1178880	688.6	583	1319	1902	172	210	382	73	281	354

CO2			Dust			Flue Gas Flow wet normalized			Flue Gas Flow wet			Specific Consumption	Diesel Oil Consumption
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1 normalized wet	Duct 2 normalized wet	Duct Mean Value 1/2 normalized wet	Duct 1 wet	Duct 2 wet	Duct Mean Value 1/2 wet	Unit	Unit
Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2	Channel: Dust_1	Channel: Dust_2	Channel: Dust	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: Flow	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: Flow	Channel: Specific Consumption	Channel: Flow_Oil
t/day	t/day	t/day	kg/day	kg/day	kg/day	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	m3/h	m3/h	m3/h	kg/kWh	l/m in
5616	6019	11635	1026	522	1547	1.091.708	1.113.930	2.205.638	1.926.151	1.996.885	3.923.036	1,97	0,06
						985.941	1.083.710	2.100.067	1.727.357	1.927.347	3.694.134	1,75	0,06
						1.173.858	1.144.261	2.311.632	2.099.123	2.051.914	4.144.238	2,13	0,06
						59.484	19.745	64.791	122.191	34.534	138.319	0,12	
						24	24	24	24	24	24	24	24
225	257	483	17	18	35	1.013.341	1.133.509	2.146.850	1.759.104	2.010.890	3.769.994	1,85	0
231	259	490	19	20	39	1.025.287	1.134.332	2.159.619	1.787.975	2.021.065	3.809.040	1,87	0
222	255	477	20	19	39	985.941	1.119.588	2.105.529	1.727.357	2.002.481	3.729.838	1,87	0
221	256	477	22	20	42	994.219	1.120.888	2.115.108	1.746.203	2.009.700	3.755.902	1,88	0
231	256	487	25	20	45	1.048.578	1.122.455	2.171.032	1.844.751	2.015.641	3.860.392	1,92	0
227	250	478	30	22	52	1.068.060	1.119.255	2.187.316	1.882.771	2.012.314	3.895.086	2,00	0
215	244	459	23	16	39	1.031.835	1.101.136	2.132.971	1.802.237	1.962.675	3.764.912	2,07	0
209	241	449	24	18	42	1.015.053	1.085.014	2.100.067	1.766.787	1.927.347	3.694.134	2,12	0
204	238	441	30	18	48	1.035.977	1.089.099	2.125.076	1.796.908	1.927.733	3.724.641	2,11	0
221	246	467	31	20	50	1.064.717	1.090.567	2.155.284	1.854.285	1.936.491	3.790.776	2,06	0
236	249	486	44	22	65	1.125.708	1.105.540	2.231.248	1.981.030	1.981.504	3.962.534	2,03	0
241	246	488	54	25	79	1.147.607	1.103.505	2.251.112	2.029.797	1.982.323	4.012.120	2,10	0
241	249	490	54	21	75	1.139.293	1.101.676	2.240.968	2.013.696	1.972.699	3.986.395	2,12	0
238	251	489	79	24	103	1.105.207	1.102.159	2.207.366	1.965.261	1.983.205	3.948.465	2,13	0
242	255	497	99	28	128	1.120.382	1.092.325	2.212.707	2.016.924	1.986.356	4.003.281	2,12	0
248	251	500	114	32	146	1.134.671	1.089.456	2.224.127	2.057.404	1.992.637	4.050.041	2,05	0
246	247	492	114	29	142	1.134.320	1.083.710	2.218.030	2.058.083	1.977.067	4.035.150	1,95	0
260	254	514	73	24	97	1.164.549	1.117.150	2.281.699	2.099.123	2.028.504	4.127.627	1,85	0
249	253	502	44	22	66	1.173.858	1.137.774	2.311.632	2.092.324	2.051.914	4.144.238	1,75	0
250	253	503	31	22	53	1.156.216	1.134.469	2.290.686	2.049.588	2.035.230	4.084.818	1,79	0
248	253	501	22	20	42	1.149.668	1.136.479	2.286.147	2.015.500	2.027.018	4.042.518	1,84	0
244	253	498	20	21	40	1.135.710	1.140.519	2.276.229	1.986.548	2.032.454	4.019.003	1,88	0
242	254	496	20	21	41	1.132.408	1.144.261	2.276.669	1.980.830	2.040.486	4.021.316	1,91	0
225	248	473	19	20	39	1.098.387	1.129.443	2.227.830	1.913.132	2.007.512	3.920.645	1,96	0

SO2	SO2	NOX	NOX	CO	CO	CO2	CO2	Dust	Dust	Oxygen	Oxygen	Moisture	Moisture	Gas Flow	Gas Flow	Gas Flow	Gas Flow
Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct 1 after ESP	Duct 2 after ESP	Duct 1	Duct 2	Duct 1 normaliz ed dry	Duct 2 normaliz ed dry	Duct 1 (6% O2) dry	Duct 2 (6% O2) dry
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: NOX_1	Channel: NOX_2	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: Dust_1	Channel: Dust_2	Channel: O2_1	Channel: O2_2	Channel: H2O_1	Channel: H2O_2	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: Fl_O2_1	Channel: Fl_O2_2
mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	%	%	%	%	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h
393,0	924,5	218,5	241,5	125,3	485,2	14,6	14,3	52,8	25,6	6,3	6,7	25,3	19,8	817,047	894,192	803,511	852,066
29,1	233,7	194,6	217,4	65,3	118,7	13,8	13,6	21,5	19,7	5,8	6,3	23,6	18,3	745,382	872,494	688,282	795,381
1122,3	1925,9	243,7	265,9	173,1	822,9	15,2	14,8	135,8	37,8	7,3	7,6	27,6	20,8	887,985	918,927	899,139	889,859
342,8	535,6	11,3	13,5	30,0	182,7	0,3	0,3	36,3	4,4	0,4	0,4	1,2	0,6	45,277	12,608	54,178	26,553
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
507	1054	218	249	140	646	15	14	21	20	5,91	6,37	23,86	19,92	771540	907725	776297	885194
497	1019	214	246	173	739	15	15	24	23	5,80	6,26	23,55	20,19	783793	905364	794337	898989
398	893	208	240	165	662	15	15	26	22	5,80	6,28	23,67	20,23	752573	893070	762493	876107
436	1025	214	243	156	675	15	15	29	23	5,90	6,32	23,96	20,00	756001	896704	761260	877540
367	917	211	236	147	628	15	15	32	23	6,07	6,44	24,38	19,96	792964	898446	789302	872051
271	717	209	230	134	417	15	14	39	26	6,43	6,92	25,51	19,51	795638	900845	772998	845343
180	610	195	217	103	254	14	14	31	20	6,64	7,17	26,30	19,31	760495	888477	727894	818974
133	515	200	221	90	209	14	14	34	23	6,84	7,27	26,57	18,93	745382	879656	703411	805077
63	358	234	250	65	119	14	14	43	23	7,25	7,59	27,50	18,32	751107	889560	688282	795381
127	561	216	237	80	263	14	14	41	24	6,69	6,95	26,31	19,14	784609	881821	748259	826103
142	596	214	231	97	331	14	14	55	26	6,62	6,92	26,03	19,41	832671	890947	798033	836099
116	515	222	230	113	315	14	14	66	30	6,61	7,07	26,12	19,49	847798	888431	813588	824933
51	395	223	232	102	333	15	14	67	25	6,55	6,90	26,17	19,57	841098	886096	810050	833074
34	276	216	227	112	385	15	14	100	28	6,41	6,81	25,92	19,84	818726	883529	796608	835636
29	234	205	223	144	567	15	15	123	33	6,00	6,47	27,61	19,87	811035	875243	811003	847748
36	334	227	231	128	536	15	15	136	38	6,13	6,51	25,14	19,81	849438	873650	842125	844128
133	551	231	243	138	481	15	14	135	34	6,14	6,59	25,05	19,49	850219	872494	842311	838002
350	1021	225	254	170	823	15	14	81	28	5,81	6,28	23,75	20,03	887985	893391	899139	876661
682	1563	244	266	92	456	14	14	50	25	6,25	6,73	24,98	19,23	880681	918927	865756	874100
802	1595	234	264	110	547	15	14	36	25	6,02	6,61	24,50	19,63	872913	911780	871669	874566
971	1736	223	257	146	583	15	14	25	23	5,99	6,54	24,47	20,20	868366	906876	868986	873930
1122	1926	217	255	152	621	15	14	23	24	5,97	6,52	24,63	20,57	855952	905967	857790	874421
1038	1878	217	255	136	578	14	14	24	25	6,09	6,67	25,00	20,84	849315	905794	844165	865157
742	1575	219	250	93	335	14	14	24	24	6,48	7,03	26,08	20,34	811901	899745	785960	837945

ΕΛΙΑΚΕΣ ΕΚΤΟΜΠΕΣ ΠΥΛΩΝ

SO2				NOX				CO				CO2			
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOX_1	Channel: NOX_2	Channel: NOX	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2				
kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	
0,25439673	0,62995533	0,88435206	0,14077588	0,16508596	0,30586184	0,08073897	0,33124316	0,41198213	188,04739675	201,52750408	389,57490083				
0,020041	0,168223	0,188264	0,118747	0,149196	0,267942	0,039168	0,082331	0,121500	170,435924	192,150238	366,487282				
0,731612	1,279817	2,011429	0,162739	0,176893	0,337491	0,118936	0,560978	0,679914	209,264143	216,151016	421,763801				
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
0,299077	0,708120	1,007197	0,128407	0,167507	0,295914	0,082434	0,434180	0,516614	171,154613	195,332668	366,487282				
0,299441	0,688300	0,987742	0,128732	0,166365	0,295097	0,104332	0,498829	0,603161	175,214732	196,346877	371,561608				
0,233692	0,601842	0,835534	0,122290	0,161938	0,284228	0,096904	0,446353	0,543257	170,635642	196,379846	367,015488				
0,255618	0,692908	0,948526	0,125418	0,164431	0,289848	0,091748	0,456458	0,548206	170,435924	196,926134	367,362058				
0,225863	0,624632	0,850496	0,130021	0,160680	0,290701	0,090594	0,427295	0,517889	180,156328	199,908542	380,064870				
0,168710	0,488721	0,657431	0,130206	0,156655	0,286860	0,083748	0,284414	0,368162	183,128650	201,718314	384,846964				
0,109792	0,418658	0,528450	0,118747	0,149196	0,267942	0,063038	0,174487	0,237525	180,255140	204,584069	384,839209				
0,080877	0,359835	0,440713	0,121698	0,154258	0,275956	0,055191	0,146158	0,201349	180,862462	208,871815	389,734278				
0,037995	0,247916	0,285911	0,140511	0,173306	0,313817	0,039168	0,082331	0,121500	177,463490	207,121817	384,585307				
0,080573	0,392036	0,472609	0,137056	0,165504	0,302561	0,050782	0,183636	0,234418	187,220094	208,127093	395,347187				
0,093457	0,409917	0,503374	0,140306	0,159132	0,299437	0,063756	0,227583	0,291340	194,677392	205,243510	399,920902				
0,079183	0,357250	0,436433	0,152135	0,158636	0,311770	0,077216	0,218855	0,296071	202,856555	207,313058	410,169613				
0,034691	0,278359	0,313049	0,152978	0,163287	0,316265	0,070142	0,234773	0,304915	203,824806	210,818796	414,643603				
0,022907	0,197075	0,219982	0,146984	0,162672	0,309656	0,076549	0,274990	0,351539	203,746336	214,768463	418,514799				
0,020041	0,168223	0,188264	0,141339	0,160367	0,301706	0,099190	0,407843	0,507033	205,612785	216,151016	421,763801				
0,025733	0,237227	0,262960	0,161182	0,164372	0,325554	0,090763	0,381357	0,472120	209,264143	211,857654	421,121797				
0,093838	0,386154	0,479992	0,167621	0,170527	0,333265	0,097180	0,337213	0,434393	205,477524	206,468476	411,946000				
0,244973	0,696235	0,941209	0,157621	0,172833	0,330454	0,118936	0,560978	0,679914	202,016487	197,740823	399,757309				
0,449286	1,040102	1,489388	0,160598	0,176893	0,337491	0,060569	0,303346	0,363915	189,239755	192,691223	381,930977				
0,531043	1,059332	1,590375	0,155217	0,175063	0,330281	0,072878	0,363291	0,436169	189,854487	192,298383	382,152871				
0,641773	1,153421	1,795194	0,147650	0,170524	0,318174	0,096528	0,387731	0,484259	188,516642	192,150238	380,666880				
0,731612	1,279817	2,011429	0,141672	0,169356	0,311028	0,099058	0,412512	0,511570	185,746313	192,424973	378,171286				
0,668712	1,239630	1,908342	0,140052	0,168206	0,308259	0,087745	0,381311	0,469056	184,503139	193,875112	378,378251				
0,460801	1,042910	1,503711	0,136241	0,165707	0,301949	0,058079	0,221836	0,279915	178,052023	195,904024	373,956046				

ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

SO2			NOX			CO			CO2		
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOX_1	Channel: NOX_2	Channel: NOX	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2
0,00012962	0,00002866	0,00015828	0,00007173	0,00008411	0,00015584	0,00004114	0,00016877	0,00020991	0,09581113	0,10267931	0,19849044
0,00000944	0,00007923	0,00008867	0,00005740	0,00007222	0,00012970	0,00001854	0,00003898	0,00005752	0,08401599	0,09805705	0,18207304
0,00038894	0,00068038	0,00106932	0,00009180	0,00010111	0,00019291	0,00006441	0,00030382	0,00036824	0,10941088	0,11014403	0,21831516
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,00016130	0,00038190	0,00054320	0,00006925	0,00009034	0,00015959	0,00004446	0,00023416	0,00027862	0,09230659	0,10534622	0,19765281
0,00016007	0,00036794	0,00052802	0,00006882	0,00008893	0,00015775	0,00005577	0,00026666	0,00032243	0,09366425	0,10496082	0,19862507
0,00012493	0,00032173	0,00044666	0,00006537	0,00008657	0,00015194	0,00005180	0,00023861	0,00029042	0,09121888	0,10498129	0,19620017
0,00013571	0,00036788	0,00050360	0,00006659	0,00008730	0,00015389	0,00004871	0,00024235	0,00029106	0,09048931	0,10455373	0,19504304
0,00011759	0,00032520	0,00044278	0,00006769	0,00008365	0,00015134	0,00004717	0,00022246	0,00026962	0,09379282	0,10407619	0,19786901
0,00008452	0,00024485	0,00032938	0,00006523	0,00007848	0,00014372	0,00004196	0,00014249	0,00018445	0,09174856	0,10106209	0,19281065
0,00003515	0,00020265	0,00025580	0,00005748	0,00007222	0,00005740	0,00003051	0,00008446	0,00011498	0,08725341	0,09902995	0,18628337
0,00003815	0,00016972	0,00020787	0,00005740	0,00007276	0,00013016	0,00002603	0,00006894	0,00009497	0,08530762	0,09851883	0,18382645
0,00001799	0,00011737	0,00013536	0,00006652	0,00008205	0,00014857	0,00001854	0,00003898	0,00005752	0,08401599	0,09805705	0,18207304
0,00003909	0,00019020	0,00022929	0,00006649	0,00008029	0,00014679	0,00002464	0,00008909	0,00011373	0,09082298	0,10097283	0,19180264
0,00004606	0,00020201	0,00024807	0,00006915	0,00007842	0,00014757	0,00003142	0,00011216	0,00014358	0,09594029	0,10114745	0,19708775
0,00003771	0,00017012	0,00020783	0,00007245	0,00007602	0,00014846	0,00003677	0,00010422	0,00014099	0,09659862	0,09872077	0,19531938
0,00001640	0,00013159	0,00014799	0,00007232	0,00007719	0,00014951	0,00003316	0,00011098	0,00014414	0,09635408	0,09966035	0,19601443
0,00001074	0,00009240	0,00010314	0,00006891	0,00007627	0,00014518	0,00003589	0,00012893	0,00016481	0,09552383	0,10069141	0,19621525
0,00000944	0,00007923	0,00008867	0,00006657	0,00007553	0,00014210	0,00004672	0,00019209	0,00023881	0,09684101	0,10180439	0,19864540
0,00001258	0,00011598	0,00012856	0,00007880	0,00008036	0,00015916	0,00004437	0,00018644	0,00023081	0,10230493	0,10357285	0,20587778
0,00004806	0,00019778	0,00024584	0,00008335	0,00008734	0,00017069	0,00004471	0,00017271	0,00022249	0,10524166	0,10574921	0,21099087
0,00013268	0,00037708	0,00050975	0,00008537	0,00009361	0,00017897	0,00006441	0,00030382	0,00036824	0,10941088	0,10709521	0,21650609
0,00025682	0,00059453	0,00085135	0,00009180	0,00010111	0,00019291	0,00003462	0,00017340	0,00020802	0,10817114	0,11014403	0,21831516
0,00029638	0,00059122	0,00088760	0,00008663	0,00009770	0,00018433	0,00004067	0,00020276	0,00024343	0,10595937	0,10733333	0,21328271
0,00034635	0,00062607	0,00097443	0,00008014	0,00009256	0,00017270	0,00005240	0,00021046	0,00026285	0,10232645	0,10429876	0,20662522
0,00038894	0,00068038	0,00106932	0,00007532	0,00009003	0,00016535	0,00005266	0,00021930	0,00027196	0,09874662	0,10229714	0,20104376
0,00034992	0,00064867	0,00099859	0,00007329	0,00008802	0,00016130	0,00004591	0,00019953	0,00024545	0,09654601	0,10145014	0,19799614
0,00023516	0,00053222	0,00076737	0,00006953	0,00008456	0,00015409	0,00002964	0,00011321	0,00014285	0,09086358	0,09997382	0,19083739

ΑΠΟΛΕΙΞΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

SO2		NOx		CO		CO2					
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total			
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOx_1	Channel: NOx_2	Channel: NOx	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2
MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
0,00824649	0,02097339	0,02921988	0,00702067	0,00837580	0,01539646	0,00419130	0,01752031	0,02171161	8,49324164	9,27940542	17,77264706
0,00066413	0,00558980	0,00625393	0,00541706	0,00709250	0,01250955	0,00178422	0,00387636	0,00566058	7,02509490	8,49051081	15,51560572
0,02464250	0,04428871	0,06893121	0,00866237	0,00959765	0,01826001	0,00676474	0,03169816	0,03846290	10,04804374	9,92043740	19,81523974
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,00987164	0,02425612	0,03412777	0,00644403	0,00870698	0,01515101	0,00429976	0,02346353	0,02776329	7,75693942	9,19040171	16,94734113
0,01002849	0,02388321	0,03391170	0,00655014	0,00875397	0,01530411	0,00551819	0,02729136	0,03280955	8,05837612	9,35911412	17,41749025
0,00784033	0,02087630	0,02871664	0,00622821	0,00851201	0,01474022	0,00513074	0,02439698	0,02952771	7,86278060	9,35878718	17,22156778
0,00863573	0,02419635	0,03283308	0,00642942	0,00869746	0,01512688	0,00488989	0,02510795	0,02999784	7,90890389	9,44842987	17,35733377
0,00756451	0,02160572	0,02917022	0,00660600	0,00841677	0,01502276	0,00478556	0,02327691	0,02806247	8,28803401	9,50111980	17,78915381
0,00551014	0,01643779	0,02194793	0,00644898	0,00797766	0,01442664	0,00431283	0,01506301	0,01937584	8,21622223	9,32271401	17,53893624
0,00335721	0,01322731	0,01658452	0,00551418	0,00714608	0,01266026	0,00304301	0,00869006	0,01173307	7,56974034	8,87978167	16,44952201
0,00236947	0,01090904	0,01327850	0,00541706	0,00709250	0,01250955	0,00255363	0,00698714	0,00954077	7,27652640	8,69863270	15,97515910
0,00109538	0,00739887	0,00849425	0,00615804	0,00784845	0,01400648	0,00178422	0,00387636	0,00566058	7,02509490	8,49051081	15,51560572
0,00242457	0,01217705	0,01460162	0,00626527	0,00779644	0,01406171	0,00241306	0,00899435	0,01140741	7,73671459	8,88040995	16,61712454
0,00298327	0,01344453	0,01642780	0,00679254	0,00790403	0,01469657	0,00320924	0,01175566	0,01496490	8,53656378	9,24949926	17,78606303
0,00251134	0,01154507	0,01405640	0,00731189	0,00780978	0,01512167	0,00385904	0,01113531	0,01499434	8,83917029	9,20612822	18,04529851
0,00109171	0,00886346	0,00995517	0,00729610	0,00787485	0,01517095	0,00347863	0,01177457	0,01525320	8,81239133	9,22365980	18,03593113
0,00072536	0,00629017	0,00701553	0,00704717	0,00785797	0,01490514	0,00381688	0,01381554	0,01763243	8,86531108	9,41992213	18,28523321
0,00066413	0,00558980	0,00625393	0,00707703	0,00805035	0,01512738	0,00516674	0,02129916	0,02646590	9,36603899	9,87303941	19,23907840
0,00087759	0,00807976	0,00895735	0,00829566	0,00844964	0,01674550	0,00466032	0,02039736	0,02525797	9,81190862	9,92043740	19,73234603
0,00322947	0,01314466	0,01637413	0,00845161	0,00876490	0,01721650	0,00525134	0,01803280	0,02328415	9,72262885	9,66191137	19,38454022
0,00086427	0,02502006	0,03388433	0,00861773	0,00938813	0,01800586	0,00676474	0,03169816	0,03846290	10,04804374	9,76719601	19,81523974
0,01600592	0,03728525	0,05329117	0,00866237	0,00959765	0,01826001	0,00339764	0,01711759	0,02051523	9,26374234	9,49216821	18,75591056
0,01866125	0,03747666	0,05613791	0,00826549	0,00938172	0,01764722	0,00403552	0,02024603	0,02428155	9,16605961	9,347722054	18,51328015
0,02174836	0,04001745	0,06176681	0,00759636	0,00897079	0,01656715	0,00516279	0,02120863	0,02637141	8,77410810	9,15811725	17,93222534
0,02464250	0,04428871	0,06893121	0,00724718	0,00888799	0,01613518	0,00526757	0,02250951	0,02777708	8,59221993	9,14738868	17,73960861
0,02244954	0,04281351	0,06526305	0,00714036	0,00880930	0,01594966	0,00465041	0,02076399	0,02541440	8,50661011	9,19835508	17,70496520
0,01476363	0,03453455	0,04929818	0,00663300	0,00832372	0,01495671	0,00293918	0,01158554	0,01452472	7,83367018	8,91090487	16,74457505

Παράρτημα III

Πίνακας ημερήσιων δεδομένων Μονάδας IV στις 5 Αυγούστου 2015

Date	SO2			NOx			CO			CO2			Dust		
	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry	Duct 1 dry	Duct 2 dry	Duct Mean Value 1/2 dry	Duct 1 6% O2 dry	Duct 2 6% O2 dry	Duct Mean Value 1/2 6% O2 dry
	Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOx_1	Channel: NOx_2	Channel: NOx	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2	Channel: Dust_1	Channel: Dust_2	Channel: Dust
	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	%	%	%	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³
Mean Value	603,8	746,1	668,4	398,0	493,0	441,0	100,8	135,1	116,3	13,8	12,8	13,3	11,3	10,7	11,0
Minimum	0,0	0,0	0,0	281,6	310,3	294,6	55,7	97,5	75,8	11,8	11,0	11,4	7,2	7,4	7,8
Maximum	1915,5	2167,5	2030,3	480,3	607,0	538,0	204,5	239,1	220,1	14,8	13,6	14,3	16,6	16,8	16,7
Standard Deviation	617,2	727,0	666,5	56,9	78,9	66,5	46,2	41,6	43,9	1,0	0,8	0,9	2,6	2,7	2,6
# values	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
05/08/2015 01:00	274	449	353	430	537	478	78	113	93,8	14,59	13,57	14,13	13,2	10,3	11,89
05/08/2015 02:00	10	41	24	436	534	480	93	128	108,7	14,53	13,46	14,05	14,2	11,4	12,94
05/08/2015 03:00	0	0	0	415	499	453	105	140	120,6	14,09	13,01	13,61	14,1	14,1	14,14
05/08/2015 04:00	0	0	0	413	495	449	102	136	117,0	14,20	13,03	13,68	16,6	16,8	16,66
05/08/2015 05:00	30	64	45	410	504	453	98	128	111,6	14,11	13,00	13,61	16,4	13,9	15,27
05/08/2015 06:00	667	830	741	302	364	330	143	173	157,0	13,05	11,98	12,57	11,7	10,8	11,27
05/08/2015 07:00	276	338	304	282	310	295	205	239	220,1	12,15	11,15	11,70	9,4	9,2	9,28
05/08/2015 08:00	216	281	246	291	331	309	195	226	209,0	12,14	11,22	11,72	8,0	8,3	8,13
05/08/2015 09:00	343	430	383	323	389	353	177	213	193,8	11,84	10,97	11,44	7,2	8,5	7,81
05/08/2015 10:00	28	44	35	371	452	408	113	149	129,5	13,79	12,70	13,29	13,0	10,5	11,87
05/08/2015 11:00	0	0	0	408	492	446	92	129	108,7	14,74	13,47	14,17	12,5	13,2	12,81
05/08/2015 12:00	0	0	0	414	502	454	87	125	104,5	14,85	13,57	14,27	13,6	15,0	14,22
05/08/2015 13:00	69	153	107	392	482	432	80	117	96,7	14,61	13,38	14,05	13,6	14,6	14,05
05/08/2015 14:00	1092	1506	1281	452	582	511	61	97	77,6	13,88	13,07	13,51	10,2	9,7	9,98
05/08/2015 15:00	1852	2165	1995	474	604	534	59	102	78,2	13,68	12,84	13,30	8,3	8,0	8,14
05/08/2015 16:00	1915	2168	2030	480	607	538	56	100	75,8	13,71	12,75	13,27	8,3	8,4	8,36
05/08/2015 17:00	1301	1442	1365	455	566	505	58	103	78,6	14,13	13,15	13,69	9,2	11,9	10,43
05/08/2015 18:00	1080	1301	1181	451	561	501	58	102	77,6	14,25	13,20	13,77	11,9	9,6	10,85
05/08/2015 19:00	1157	1415	1274	451	562	501	59	103	79,3	14,06	13,09	13,62	10,1	7,9	9,14
05/08/2015 20:00	1062	1335	1185	385	494	434	66	106	84,1	14,55	13,46	14,06	10,2	7,9	9,14
05/08/2015 21:00	987	1271	1114	365	474	414	69	106	85,9	14,63	13,50	14,12	10,7	8,0	9,48
05/08/2015 22:00	1123	1410	1255	348	458	399	114	129	121,1	12,82	12,23	12,55	9,2	8,2	8,76
05/08/2015 23:00	809	1019	906	347	459	399	139	140	139,3	12,33	11,98	12,17	8,3	7,4	7,88
06/08/2015 00:00	0	0	0	393	484	435	179	191	184,8	11,94	11,24	11,62	10,3	10,9	10,60

Oxygen				H2O				Flue Gas Flow						AP		
before LUVO	before LUVO	after ESP		Duct 1	Duct 2	Duct Mean Value 1/2	Duct 1 normalized dry	Duct 2 normalized dry	Duct Mean Value 1/2 normalized dry	Duct 1 (6% O2) dry	Duct 2 (6% O2) dry	Duct Mean Value 1/2 (6% O2) dry	Duct 1	Duct 2	Duct Mean Value 1/2	
Channel: O2_Out_1	Channel: O2_Out_2	Channel: O2_1	Channel: O2_2	Channel: H2O_1	Channel: H2O_2	Channel: Calc	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: Flow	Channel: FI_O2_1	Channel: FI_O2_2	Channel: Flow_O2	Channel: DP_1	Channel: DP_2	Channel: Calc	
%	%	%	%	%	%	%	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h	mbar	mbar	mbar	
4,0	3,7	8,1	8,2	19,6	22,4	20,8	883,771	736,234	1.620,005	760,477	629,664	1.390,141	1,3	1,3	1,3	
3,2	3,0	7,1	7,2	15,8	19,5	17,5	858,381	713,934	1.572,315	645,967	547,268	1.193,234	1,2	1,2	1,2	
5,4	4,4	9,9	9,9	22,0	24,0	22,9	899,986	755,182	1.651,228	817,948	670,216	1.488,164	1,4	1,3	1,3	
0,7	0,5	0,9	0,9	1,9	1,2	1,6	11,989	10,114	20,966	55,561	40,317	95,460	0,0	0,0	0,0	
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
3,5	4,1	7,3	7,4	21,2	23,4	22,2	898,188	738,752	1.636,940	817,948	670,216	1.488,164	1,37	1,28	1,33	
3,6	4,2	7,5	7,7	20,8	23,0	21,8	899,769	743,287	1.643,056	807,140	661,337	1.468,477	1,37	1,28	1,33	
3,9	4,1	7,9	8,1	20,6	23,1	21,7	899,986	739,744	1.639,730	794,403	637,857	1.422,260	1,36	1,28	1,33	
3,8	4,0	7,8	8,0	20,9	23,2	21,9	898,997	738,180	1.637,177	789,578	637,317	1.426,895	1,37	1,28	1,33	
3,8	3,8	7,9	8,0	20,8	22,7	21,7	892,995	743,608	1.636,603	782,365	643,571	1.425,937	1,36	1,28	1,32	
4,4	4,2	8,7	8,8	18,9	21,6	20,1	892,127	746,107	1.638,233	734,455	604,762	1.339,217	1,32	1,27	1,30	
5,1	4,1	9,6	9,8	16,9	20,4	18,5	897,332	750,378	1.647,710	680,072	559,598	1.239,671	1,29	1,25	1,27	
5,1	4,0	9,7	9,8	16,8	20,4	18,4	898,558	752,670	1.651,228	679,074	563,737	1.242,810	1,29	1,25	1,27	
5,4	4,0	9,9	9,9	15,8	19,5	17,5	893,700	755,182	1.648,882	662,594	556,927	1.219,521	1,26	1,23	1,25	
4,2	3,9	8,2	8,4	19,7	22,3	20,9	878,946	741,389	1.620,336	748,847	623,201	1.372,048	1,31	1,26	1,28	
3,6	3,9	7,4	7,7	21,3	23,2	22,2	877,147	736,889	1.614,036	794,123	652,403	1.446,526	1,34	1,27	1,31	
3,5	4,1	7,3	7,6	21,3	23,4	22,3	877,950	735,497	1.613,447	801,355	656,321	1.457,675	1,34	1,28	1,31	
3,5	4,4	7,4	7,7	21,0	23,3	22,1	871,426	731,816	1.603,242	789,319	649,372	1.438,691	1,33	1,27	1,30	
3,6	3,6	7,7	7,6	19,4	22,4	20,8	880,820	734,971	1.615,790	780,620	657,538	1.438,159	1,31	1,26	1,29	
3,7	3,3	7,7	7,7	19,5	22,5	20,9	876,762	731,645	1.608,407	775,326	651,095	1.426,421	1,31	1,25	1,28	
3,8	3,2	7,7	7,7	19,3	22,1	20,6	878,625	736,642	1.615,267	779,084	651,337	1.430,421	1,30	1,25	1,28	
3,6	3,1	7,4	7,5	20,1	22,9	21,3	885,457	733,662	1.619,119	801,217	661,401	1.462,618	1,33	1,26	1,30	
3,5	3,0	7,4	7,5	20,8	22,9	21,8	879,679	734,117	1.613,796	799,639	662,264	1.461,903	1,33	1,27	1,30	
3,5	3,0	7,5	7,5	20,5	22,8	21,5	879,864	734,342	1.614,206	792,566	659,306	1.451,872	1,32	1,26	1,30	
3,3	3,2	7,1	7,2	21,9	24,0	22,9	881,505	723,736	1.605,241	816,513	664,001	1.480,514	1,35	1,27	1,31	
3,2	3,2	7,1	7,2	22,0	24,0	22,9	879,973	725,447	1.605,419	817,714	665,648	1.483,362	1,35	1,27	1,32	
4,3	3,2	8,8	8,5	17,6	21,7	19,5	862,017	715,558	1.577,574	703,320	596,676	1.299,996	1,25	1,21	1,23	
4,7	3,3	9,3	8,8	16,5	21,3	18,7	858,381	713,934	1.572,315	668,214	578,786	1.247,000	1,22	1,19	1,21	
5,2	3,3	9,9	9,8	16,1	20,3	18,0	870,300	732,072	1.602,372	645,967	547,268	1.193,234	1,23	1,21	1,22	

Pressure			Temperature			Load	Air	Lignite	SO2			NOX			CO		
Duct 1	Duct 2	Duct Mean Value 1/2	Duct 1	Duct 2	Duct Mean Value 1/2	Unit	Unit	Unit	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total
Channel: Press_1	Channel: Press_2	Channel: Calc	Channel: Temp_1	Channel: Temp_2	Channel: Calc	Channel: Act_Load	Channel: Flow_Air	Channel: Flow_Lig	Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOX_1	Channel: NOX_2	Channel: NOX	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO
mbar	mbar	mbar	oC	oC	oC	MW	Nm ³ /h	kg/s	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day
891.5	896.1	893.6	139.7	171.4	154.1	274.4	886.772	160.7	10991	11309	22300	7265	7450	14715	1839	2042	3881
888.9	894.2	891.3	134.3	164.8	148.2	220.8	837.191										
896.0	900.0	897.8	145.0	177.0	159.6	300.8	895.083										
2.0	1.6	1.9	2.9	3.4	3.0	26.8	17.748										
24	24	24	24	24	24	24	24	24									
890	895	892	140	172	154	298.9	894556	168.1	224	301	525	352	360	712	64	75	140
890	895	892	141	172	155	288.5	894469	168.0	8	27	35	352	353	705	75	85	160
890	895	892	142	173	156	275.6	894495	168.4	0	0	0	326	318	644	82	89	171
889	895	892	143	175	158	275.4	894497	168.1	0	0	0	326	315	641	80	87	167
890	895	892	143	174	157	278.2	894539	168.1	23	41	64	321	324	645	77	82	159
891	895	893	142	174	156	257.1	894478	169.0	490	502	992	222	220	442	105	105	210
892	896	894	139	170	153	230.6	894528	157.0	188	189	377	192	174	365	139	134	273
893	897	895	137	167	151	230.9	894478	157.8	147	158	305	198	187	385	132	128	260
894	898	896	136	165	149	229.9	885461	152.8	227	240	467	214	217	430	117	119	236
892	897	894	137	165	150	262.2	889859	169.9	21	27	48	278	282	559	85	93	178
891	896	893	141	170	155	277.7	889940	174.5	0	0	0	324	321	645	73	84	157
891	896	893	143	174	157	280.8	889917	175.5	0	0	0	332	330	661	70	82	152
891	896	893	145	177	160	281.5	887324	171.1	55	100	154	309	313	622	63	76	139
892	897	894	143	176	158	297.6	894238	153.6	852	990	1843	353	383	736	47	64	112
892	897	894	140	173	155	300.1	895027	147.0	1436	1410	2845	368	394	761	45	66	112
892	896	894	138	171	153	299.3	895004	148.4	1492	1412	2904	374	395	770	43	65	108
891	895	893	139	170	153	300.5	894930	156.5	1042	954	1996	364	375	739	47	68	115
890	895	892	140	172	155	300.2	895083	154.9	864	862	1726	361	371	732	46	67	113
890	895	892	138	171	153	299.2	895008	156.6	917	933	1850	357	371	728	47	68	115
889	894	891	139	172	154	300.8	895012	169.6	867	886	1754	314	328	642	54	70	125
889	894	891	140	174	155	299.4	895076	169.2	807	846	1653	298	316	614	57	71	127
894	899	896	138	173	154	259.2	847886	147.8	790	841	1631	245	273	518	80	77	157
896	900	898	134	167	149	241.3	837191	143.5	540	590	1130	232	266	498	93	81	174
896	899	897	134	165	148	220.8	839522	142.4	0	0	0	254	265	519	116	105	220

CO2			Dust			Flue Gas Flow wet normalized			Flue Gas Flow wet			Specific Consumption	Diesel Oil Consumption
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1 normalized wet	Duct 2 normalized wet	Duct Mean Value 1/2 normalized wet	Duct 1 wet	Duct 2 wet	Duct Mean Value 1/2 wet	Unit	Unit
Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2	Channel: Dust_1	Channel: Dust_2	Channel: Dust	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: Flow	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: Flow	Channel: Specific Consumption	Channel: Flow_Oil
t/day	t/day	t/day	kg/day	kg/day	kg/day	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	kg/kWh	l/min
5706	4409	10115	207	161	368	1.099.545	948.379	2.047.924	1.865.012	1.723.057	3.588.069	2.12	0.10
						1.028.041	906.583	1.934.624	1.711.836	1.623.822	3.335.658	1.76	0.10
						1.140.553	965.305	2.105.019	1.947.991	1.761.836	3.709.827	2.46	0.10
						31.652	15.588	46.648	67.020	39.355	105.855	0.21	0.00
						24	24	24	24	24	24	24	24
257	197	454	11	7	18	1.140.553	964.465	2.105.019	1.939.032	1.756.429	3.695.461	2.03	0
257	196	453	11	8	19	1.136.477	965.305	2.101.782	1.938.163	1.760.857	3.699.020	2.10	0
249	189	438	11	9	20	1.133.269	962.221	2.095.490	1.938.867	1.758.642	3.697.509	2.20	0
251	189	440	13	11	24	1.136.321	960.708	2.097.030	1.947.991	1.761.836	3.709.827	2.20	0
247	190	437	13	9	22	1.128.158	962.126	2.090.284	1.932.138	1.761.470	3.693.608	2.17	0
229	176	404	9	7	15	1.100.179	951.993	2.052.172	1.875.646	1.739.964	3.615.610	2.37	0
214	164	379	6	5	12	1.080.175	942.822	2.022.997	1.827.646	1.706.993	3.534.640	2.45	0
214	166	380	5	5	10	1.079.407	945.900	2.025.307	1.818.132	1.701.117	3.519.249	2.46	0
208	163	371	5	5	10	1.061.188	938.220	1.999.408	1.776.301	1.675.359	3.451.660	2.39	0
238	185	423	10	7	16	1.094.196	953.735	2.047.931	1.841.524	1.706.856	3.548.380	2.33	0
254	195	449	10	9	19	1.113.971	959.728	2.073.699	1.896.804	1.739.405	3.636.210	2.26	0
256	196	452	11	10	21	1.116.075	960.387	2.076.463	1.910.078	1.757.570	3.667.649	2.25	0
250	192	442	11	9	20	1.103.475	954.542	2.058.017	1.895.536	1.755.837	3.651.373	2.19	0
240	189	429	8	6	14	1.092.798	947.333	2.040.131	1.866.787	1.738.263	3.605.050	1.86	0
236	185	420	6	5	12	1.089.733	944.072	2.033.805	1.845.765	1.718.920	3.564.685	1.76	0
237	185	421	6	5	12	1.088.743	945.549	2.034.292	1.837.262	1.713.641	3.550.903	1.79	0
246	190	435	7	8	15	1.107.522	951.655	2.059.177	1.875.238	1.726.410	3.601.648	1.87	0
246	190	437	10	6	16	1.110.817	952.579	2.063.396	1.888.859	1.735.806	3.624.665	1.86	0
243	189	432	8	5	13	1.106.172	951.808	2.057.980	1.871.181	1.730.741	3.601.922	1.88	0
252	191	443	8	5	14	1.129.224	952.699	2.081.924	1.915.301	1.737.951	3.653.252	2.03	0
253	192	445	9	5	14	1.128.129	955.122	2.083.250	1.918.010	1.748.879	3.666.889	2.03	0
217	172	389	6	5	11	1.046.552	913.351	1.959.903	1.763.305	1.659.568	3.422.872	2.05	0
208	168	376	6	4	10	1.028.041	906.583	1.934.624	1.711.836	1.623.822	3.335.658	2.14	0
204	162	366	7	6	13	1.037.915	918.181	1.956.096	1.728.887	1.637.024	3.365.911	2.32	0

SO2	SO2	NOX	NOX	CO	CO	CO2	CO2	Dust	Dust	Oxygen	Oxygen	Moisture	Moisture	Gas Flow	Gas Flow	Gas Flow	Gas Flow
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: NOX_1	Channel: NOX_2	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: Dust_1	Channel: Dust_2	Channel: O2_1	Channel: O2_2	Channel: H2O_1	Channel: H2O_2	Channel: Flow_1	Channel: Flow_2	Channel: FI_O2_1	Channel: FI_O2_2
mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³			%	%	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h
603,8	746,1	398,0	493,0	100,8	135,1	13,8	12,8	11,3	10,7	8,0	8,1	19,7	22,4	883,865	736,106	764,122	632,301
0,0	0,0	281,6	310,3	59,7	97,5	11,8	11,0	7,2	7,4	7,1	7,2	15,8	19,5	858,381	713,934	645,967	547,268
1915,5	2167,5	480,3	607,0	204,5	239,1	14,8	13,6	16,6	16,8	9,9	9,9	22,0	24,0	899,986	755,182	817,948	670,216
617,2	727,0	56,9	78,9	46,2	41,6	1,0	0,8	2,6	2,7	0,9	0,9	1,9	1,2	11,989	10,114	55,561	40,317
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
274	449	430	537	78	113	15	14	13	10	7,34	7,39	21,25	23,40	898188	738752	817948	670216
10	41	436	534	93	128	15	13	14	11	7,54	7,65	20,83	23,00	899769	743287	807140	661337
0	0	415	499	105	140	14	13	14	14	7,93	8,07	20,58	23,12	899986	739744	784403	637857
0	0	413	495	102	136	14	13	17	17	7,83	8,05	20,89	23,16	898997	738180	788578	637317
30	64	410	504	98	128	14	13	16	14	7,86	8,02	20,84	22,71	892995	743608	782365	643571
667	830	302	364	143	173	13	12	12	11	8,65	8,84	18,91	21,63	892127	746107	734455	604762
276	338	282	310	205	239	12	11	9	9	9,63	9,81	16,93	20,41	897332	750378	680072	559598
216	281	291	331	195	226	12	11	8	8	9,66	9,77	16,75	20,43	898558	752670	679074	563737
343	430	323	389	177	213	12	11	7	9	9,88	9,94	15,78	19,51	893700	755182	662594	556927
28	44	371	452	113	149	14	13	13	10	8,22	8,39	19,67	22,26	878946	741389	748847	623201
0	0	408	492	92	129	15	13	12	13	7,42	7,72	21,26	23,22	877147	736889	794123	652403
0	0	414	502	87	125	15	14	14	15	7,31	7,61	21,34	23,42	877950	735497	801355	656321
69	153	392	482	80	117	15	13	14	15	7,41	7,69	21,03	23,33	871426	731816	789319	649372
1092	1506	452	582	61	97	14	13	10	10	7,71	7,58	19,40	22,42	880820	734971	780620	657538
1852	2165	474	604	59	102	14	13	8	8	7,74	7,65	19,54	22,50	876762	731645	775326	651095
1915	2168	480	607	56	100	14	13	8	8	7,70	7,74	19,30	22,09	878625	736642	779084	651337
1301	1442	455	566	58	103	14	13	9	12	7,43	7,48	20,05	22,91	885457	733662	801217	661401
1080	1301	451	561	58	102	14	13	12	10	7,36	7,47	20,81	22,93	879679	734117	799639	662264
1157	1415	451	562	59	103	14	13	10	8	7,49	7,53	20,46	22,85	879864	734342	792566	659306
1062	1335	385	494	66	106	15	13	10	8	7,11	7,24	21,94	24,03	881505	723736	816513	664001
987	1271	365	474	69	106	15	13	11	8	7,06	7,24	22,00	24,05	879973	725447	817714	665648
1123	1410	348	458	114	129	13	12	9	8	8,76	8,49	17,63	21,66	862017	715558	703320	596676
809	1019	347	459	139	140	12	12	8	7	9,32	8,84	16,50	21,25	858381	713934	668214	578786
0	0	393	484	179	191	12	11	10	11	9,87	9,79	16,15	20,27	870300	732072	645967	547268

ΕΙΑΙΚΕΣ ΕΚΤΟΜΠΙΕΣ ΠΥΛΩΝ

SO2		NOx		CO		CO2					
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total			
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOx_1	Channel: NOx_2	Channel: NOx	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2
kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ	kg/GJ
0,46356622	0,47700727	0,94057349	0,30640628	0,31422401	0,62063028	0,07756856	0,08611763	0,16368620	240,65887367	185,98182049	426,64069416
0,000000	0,000000	0,000000	0,230727	0,209197	0,439924	0,040243	0,059831	0,100675	217,997066	170,865403	388,862469
1,384923	1,310194	2,695117	0,347250	0,366899	0,714149	0,167552	0,161181	0,328733	258,078751	203,316674	460,147996
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,208377	0,279783	0,488159	0,327044	0,334685	0,661729	0,059632	0,070134	0,129766	239,183625	183,027600	422,211224
0,008022	0,025893	0,033915	0,339238	0,339892	0,679131	0,072246	0,081437	0,153683	247,283865	189,205713	436,489579
0,000000	0,000003	0,000003	0,328221	0,321002	0,649223	0,083094	0,089727	0,172820	251,077100	190,530313	441,607412
0,000000	0,000000	0,000000	0,328729	0,318187	0,646916	0,080983	0,087358	0,168341	253,005138	190,522692	443,527829
0,023380	0,040864	0,064244	0,320605	0,323688	0,644293	0,076541	0,082350	0,158891	247,018927	189,552016	436,570943
0,529201	0,542540	1,071741	0,239907	0,237884	0,477791	0,113780	0,113290	0,227070	247,056573	189,610935	436,666608
0,226237	0,228054	0,454292	0,230727	0,209197	0,439924	0,167552	0,161181	0,328733	258,078751	197,936423	456,015174
0,176728	0,190563	0,367290	0,238017	0,224653	0,462670	0,158980	0,153462	0,312443	257,738887	199,444080	457,182967
0,274482	0,289626	0,564108	0,258526	0,261672	0,520198	0,141910	0,143637	0,285647	251,107063	196,685306	447,792369
0,022232	0,028903	0,051135	0,294124	0,298509	0,592633	0,089901	0,098359	0,188260	252,278686	195,940602	448,219288
0,000000	0,000000	0,000000	0,324042	0,321367	0,645410	0,072787	0,084432	0,157219	254,099967	195,003248	449,103215
0,000000	0,000000	0,000000	0,328025	0,326015	0,654041	0,069351	0,081294	0,150644	253,224978	193,885400	447,110378
0,053792	0,098311	0,152103	0,305009	0,309038	0,614047	0,062156	0,075188	0,137344	246,839765	189,788152	436,627917
0,795485	0,924421	1,719906	0,329332	0,357182	0,686514	0,044300	0,059831	0,104131	224,156697	176,109732	400,266428
1,328822	1,304744	2,633566	0,340211	0,364298	0,704509	0,042097	0,061189	0,103286	217,997066	170,865403	388,862469
1,384923	1,310194	2,695117	0,347250	0,366899	0,744199	0,040243	0,060432	0,100675	219,527719	171,266445	390,764164
0,963323	0,881706	1,845029	0,336747	0,346290	0,683037	0,043111	0,063175	0,106286	227,123659	175,166772	402,290431
0,799228	0,797413	1,596640	0,333994	0,343470	0,677464	0,042636	0,062353	0,104989	227,744804	176,115300	403,860104
0,851067	0,866099	1,717167	0,331601	0,344006	0,675607	0,043763	0,063104	0,106867	225,644342	175,266794	400,911136
0,800982	0,818439	1,619421	0,289999	0,302837	0,592836	0,049974	0,065035	0,115009	232,559790	176,676086	409,235876
0,748870	0,784746	1,533616	0,276637	0,292766	0,569403	0,052696	0,065536	0,118233	234,662716	178,442154	413,104871
0,846078	0,901603	1,747681	0,262189	0,292970	0,555159	0,086160	0,082478	0,168637	232,558521	184,157248	416,715769
0,621926	0,678962	1,300888	0,267008	0,306015	0,573022	0,106557	0,093316	0,199873	239,286701	193,433464	432,720166
0,000000	0,000000	0,000000	0,319683	0,333326	0,653008	0,145553	0,131766	0,277319	256,831322	203,316674	460,147996

ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΚΤΟΜΠΙΟΝ

SO2			NOx			CO			CO2		
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOx_1	Channel: NOx_2	Channel: NOx	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO	Channel: CO2_1	Channel: CO2_2	Channel: CO2
0,00079138	0,00001191	0,00080329	0,00052308	0,00053643	0,00105951	0,00013242	0,00014702	0,00027944	0,41084050	0,317749864	0,72833914
0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00033889	0,00030727	0,00064616	0,00008115	0,00011538	0,00020175	0,37580065	0,28842047	0,66422112
0,00279275	0,00266299	0,00545480	0,00070024	0,00074353	0,00144011	0,00024610	0,00023674	0,00048284	0,44493372	0,34873762	0,79367134
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,00037043	0,00049737	0,00086780	0,00058139	0,00059497	0,00117635	0,00010601	0,00012468	0,00023068	0,42519649	0,32536798	0,75056447
0,00001377	0,00004445	0,00005823	0,00058241	0,00058353	0,00116594	0,00012403	0,00013981	0,00026384	0,42453955	0,32483036	0,74936991
0,00000000	0,00000001	0,00000001	0,00053707	0,00052525	0,00106232	0,00013597	0,00014682	0,00028279	0,41083621	0,31176380	0,72260001
0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00053853	0,00052126	0,00105978	0,00013267	0,00014311	0,00027578	0,41447469	0,31211553	0,72659023
0,00003871	0,00006765	0,00010636	0,00053079	0,00053589	0,00106668	0,00012672	0,00013634	0,00026306	0,40895910	0,31381815	0,72277725
0,00080498	0,00082527	0,00163024	0,00036493	0,00036185	0,00072678	0,00017307	0,00017233	0,00034540	0,37580065	0,28842047	0,66422112
0,00033230	0,00033496	0,00066726	0,00033889	0,00030727	0,00064616	0,00024610	0,00023674	0,00048284	0,37906374	0,29072723	0,66979097
0,00025872	0,00027897	0,00053768	0,00034844	0,00032887	0,00067731	0,00023273	0,00022466	0,00045739	0,37730935	0,29197037	0,66927972
0,00041301	0,00043579	0,00084880	0,00038900	0,00039373	0,00078273	0,00021353	0,00021613	0,00042965	0,37783443	0,29594740	0,67378183
0,000003431	0,00004461	0,00007892	0,00045397	0,00046073	0,00091470	0,00013876	0,00015181	0,00029057	0,38938023	0,30242506	0,69180529
0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00051552	0,00051126	0,00102678	0,00011580	0,00013432	0,00025012	0,40424722	0,31023035	0,71447757
0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00052479	0,00052158	0,00104637	0,00011095	0,00013006	0,00024101	0,40512330	0,31018856	0,71531186
0,00008846	0,00016168	0,00025014	0,00050161	0,00050823	0,00100984	0,00010222	0,00012365	0,00022587	0,40594275	0,31211796	0,71806071
0,00154124	0,00179105	0,00333229	0,00063807	0,00069203	0,00133011	0,00008583	0,00011592	0,00020175	0,43429945	0,34120935	0,77550880
0,00271214	0,00266299	0,00537513	0,00069437	0,00074353	0,00143791	0,00008592	0,00012489	0,00021081	0,44493372	0,34873762	0,79367134
0,00279275	0,00264205	0,00543480	0,00070024	0,00073987	0,00144011	0,00008115	0,00012186	0,00020302	0,44268573	0,34530459	0,78799032
0,00185046	0,00169368	0,00354414	0,00064886	0,00066519	0,00131205	0,00008281	0,00012135	0,00020417	0,43628505	0,33648033	0,77276558
0,00154938	0,00154586	0,00309524	0,00064748	0,00066585	0,00131333	0,00008265	0,00012088	0,00020353	0,44150546	0,34141665	0,78292211
0,00162638	0,00165511	0,00328149	0,00063369	0,00065739	0,00129108	0,00008363	0,00012059	0,00020422	0,43120384	0,33493291	0,76613675
0,00142099	0,00145196	0,00287295	0,00051448	0,00053725	0,00105173	0,00008866	0,00011538	0,00020403	0,41257529	0,31343418	0,72600946
0,00132535	0,00138885	0,00271420	0,00048959	0,00051814	0,00100773	0,00009326	0,00011599	0,00020925	0,41530758	0,31580807	0,73111564
0,00148346	0,00158082	0,00306428	0,00045971	0,00051368	0,00097338	0,00015107	0,00014461	0,00029568	0,40775459	0,32289061	0,73064520
0,00104614	0,00114208	0,00218821	0,00044913	0,00051475	0,00096388	0,00017924	0,00015697	0,00033621	0,40250229	0,32537291	0,72787520
0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00049576	0,00051692	0,00101267	0,00022572	0,00020434	0,00043006	0,39828991	0,31530025	0,71359017

ΑΠΟΛΟΓΙΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

SO2		NOX		CO		CO2		
Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total	Duct 1	Duct 2	Total
Channel: SO2_1	Channel: SO2_2	Channel: SO2	Channel: NOx_1	Channel: NOx_2	Channel: NOx	Channel: CO_1	Channel: CO_2	Channel: CO
MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
0,00950661	0,01277177	0,02227838	0,00971570	0,01271925	0,02243495	0,00254116	0,00360774	0,00614890
0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00610705	0,00703740	0,01314445	0,00141845	0,00275230	0,00417075
0,03063271	0,03844909	0,06850984	0,01179006	0,01624871	0,02801160	0,00460427	0,00563836	0,01024263
24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,00469033	0,00815367	0,01284401	0,01129035	0,01476884	0,02605889	0,00213734	0,00321852	0,00535585
0,00017632	0,00073153	0,00090785	0,01142974	0,01453648	0,02596622	0,00252735	0,00362224	0,00614959
0,00000000	0,00000009	0,00000009	0,01068176	0,01319212	0,02387388	0,00280796	0,00383522	0,00664318
0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,01076315	0,01320164	0,02396479	0,00275334	0,00377006	0,00652339
0,00050390	0,00112676	0,00163066	0,01058399	0,01350210	0,02408609	0,00262381	0,00357290	0,00619671
0,01040955	0,013378445	0,02419400	0,00723256	0,00914485	0,01637741	0,00356160	0,00452975	0,00809135
0,00390323	0,00506325	0,00896649	0,00610705	0,00703740	0,01314445	0,00460427	0,00563836	0,01024263
0,00300680	0,00415050	0,00715730	0,00621698	0,00742204	0,01363902	0,00431082	0,00527138	0,00958220
0,00456793	0,00616177	0,01072970	0,00661022	0,00845288	0,01506310	0,00376642	0,00482353	0,00858996
0,00042763	0,00070326	0,00113089	0,00868707	0,01102686	0,01971393	0,00275641	0,00377719	0,00653360
0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,01052286	0,01303641	0,02355927	0,00245420	0,00356162	0,00601582
0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,01095115	0,01376182	0,02471297	0,00240418	0,00356932	0,00597350
0,00119350	0,00279755	0,00399105	0,01035744	0,01322886	0,02364629	0,00219191	0,00336340	0,00555531
0,01834833	0,02766918	0,04601752	0,01163526	0,01616008	0,02779534	0,00162519	0,00281588	0,00444107
0,02995266	0,03844909	0,06840176	0,01176289	0,01624871	0,02801160	0,00151112	0,00283848	0,00434961
0,03063271	0,03787713	0,06850984	0,01179006	0,01606872	0,02785877	0,00141845	0,00275230	0,00417075
0,02156330	0,02558544	0,04714874	0,01156668	0,01522332	0,02679001	0,00153732	0,00288806	0,00442538
0,01813626	0,02340139	0,04153766	0,01162229	0,01526016	0,02688245	0,00154038	0,00288113	0,00442151
0,01885066	0,02514244	0,04399310	0,01127346	0,01512485	0,02639831	0,00154455	0,00288530	0,00442985
0,01793081	0,02409311	0,04202391	0,00996213	0,01349566	0,02345799	0,00178225	0,00301422	0,00479647
0,01684981	0,02326770	0,04011751	0,00954746	0,01313250	0,02267996	0,00188820	0,00305764	0,00494553
0,01628420	0,02293395	0,03921715	0,00774449	0,01127941	0,01902390	0,00264206	0,00330254	0,00594459
0,01073079	0,01543114	0,02616193	0,00708209	0,01055062	0,01763271	0,00293359	0,00334503	0,00627982
0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00775569	0,01034580	0,01810150	0,00366522	0,00425160	0,00791681
24	24	24	24	24	24	24	24	24
7,38068589	7,32925735	14,70994324	7,38068589	7,32925735	14,70994324	7,38068589	7,32925735	14,70994324
7,45182195	7,34541780	14,79723975	7,45182195	7,34541780	14,79723975	7,45182195	7,34541780	14,79723975
7,31292473	7,11064418	14,42356891	7,31292473	7,11064418	14,42356891	7,31292473	7,11064418	14,42356891
7,41664810	7,18351452	14,60016261	7,41664810	7,18351452	14,60016261	7,41664810	7,18351452	14,60016261
7,30018613	7,18288159	14,48306773	7,30018613	7,18288159	14,48306773	7,30018613	7,18288159	14,48306773
6,66305861	6,62044534	13,28350395	6,66305861	6,62044534	13,28350395	6,66305861	6,62044534	13,28350395
6,10378914	6,03777488	12,14156402	6,10378914	6,03777488	12,14156402	6,10378914	6,03777488	12,14156402
6,01050864	5,96704006	11,97754869	6,01050864	5,96704006	11,97754869	6,01050864	5,96704006	11,97754869
5,72709403	5,74696464	11,47405867	5,72709403	5,74696464	11,47405867	5,72709403	5,74696464	11,47405867
6,65102424	6,54804302	13,19906726	6,65102424	6,54804302	13,19906726	6,65102424	6,54804302	13,19906726
7,38080194	7,17347522	14,55427716	7,38080194	7,17347522	14,55427716	7,38080194	7,17347522	14,55427716
7,56885011	7,43625171	15,00510182	7,56885011	7,43625171	15,00510182	7,56885011	7,43625171	15,00510182
7,51098416	7,42345310	14,93443726	7,51098416	7,42345310	14,93443726	7,51098416	7,42345310	14,93443726
7,08976253	7,24519719	14,33495972	7,08976253	7,24519719	14,33495972	7,08976253	7,24519719	14,33495972
6,73627878	6,91919457	13,65547335	6,73627878	6,91919457	13,65547335	6,73627878	6,91919457	13,65547335
6,65566559	6,80158013	13,45724571	6,65566559	6,80158013	13,45724571	6,65566559	6,80158013	13,45724571
6,96908996	6,98380245	13,95289241	6,96908996	6,98380245	13,95289241	6,96908996	6,98380245	13,95289241
7,08515241	7,10193981	14,18709222	7,08515241	7,10193981	14,18709222	7,08515241	7,10193981	14,18709222
6,85071456	6,99085761	13,84157217	6,85071456	6,99085761	13,84157217	6,85071456	6,99085761	13,84157217
7,13639360	7,14677995	14,28317355	7,13639360	7,14677995	14,28317355	7,13639360	7,14677995	14,28317355
7,23828082	7,27104442	14,50932523	7,23828082	7,27104442	14,50932523	7,23828082	7,27104442	14,50932523
6,13546583	6,43681881	12,57228464	6,13546583	6,43681881	12,57228464	6,13546583	6,43681881	12,57228464
5,65765214	6,03883254	11,69648468	5,65765214	6,03883254	11,69648468	5,65765214	6,03883254	11,69648468
5,55421207	5,70811074	11,26232280	5,55421207	5,70811074	11,26232280	5,55421207	5,70811074	11,26232280