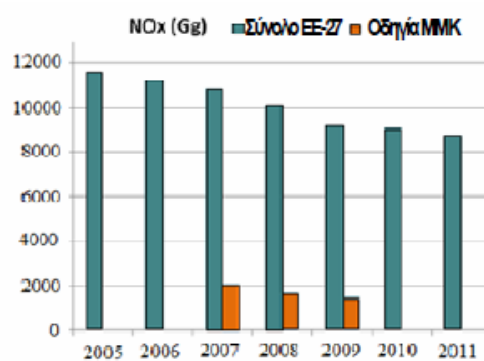


Τεχνολογίες ελέγχου των εκπομπών των Συμβατικών Ατμοηλεκτρικών Σταθμών (ΣΑΗΣ) με καύσιμο άνθρακα

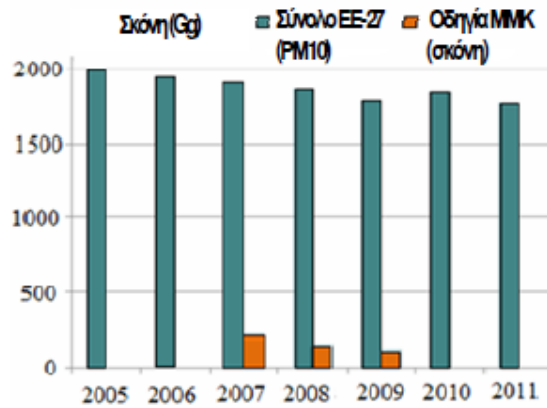
Δρ. Ανανίας Τομπουλίδης
Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Δυτικής Μακεδονίας

ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
ΚΑΠΕ, 22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015



Εκπομπές NO_x που παράγονται στην ΕΕ-27 και το μερίδιο των ΜΜΚ

ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
ΚΑΠΕ, 22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015



Εκπομπές σκόνης που παράγονται στην ΕΕ-27 και το μερίδιο των MMK

ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
ΚΑΠΕ, 22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015

Συνεισφορές των εκπομπών από διάφορες κατηγορίες MMK στις συνολικές εκπομπές αερίων ρύπων των σταθμών ΟΠΕΡ που λειτουργούσαν στην ΕΕ το 2001, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Μητρώο Ρυπογόνων Εκπομπών (EPER)

| Κατηγορία MMK | Συμβολή στις συνολικές εκπομπές από τους σταθμούς ΟΠΕΡ (%) | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|--------|------|
| | SO ₂ | NO _x | NH ₃ | CO ₂ | N ₂ O | CH ₄ | PM ₁₀ | Hg _{tot} | Διοξίνες+φουράνια | NM VOC | CO |
| MMK άνω των 300 MW | 64,6 | 53,4 | 0,5 | 54,4 | 7,6 | 0,2 | 38,1 | 28,8 | 19,0 | 0,7 | 4,4 |
| MMK ισχύος 50-300 MW | 3,6 | 6,0 | N1 | 5,0 | 21,0 | 0,2 | 2,1 | 2,6 | 0,2 | 0,7 | 2,8 |
| Αεριοστρόβιλοι | 0,9 | 3,6 | 0,03 | 5,5 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | N1 | 0,3 | 0,1 | 0,3 |
| Σταθεροί κινητήρες | 0,3 | 1,2 | N1 | 0,1 | N1 | 0,05 | 0,2 | 0,3 | N1 | 0,1 | 0,03 |
| Όλες οι MMK | 69,4 | 64,2 | 0,5 | 65,0 | 29,0 | 0,8 | 40,5 | 31,7 | 19,5 | 1,6 | 7,5 |

Σημείωση: N1 - Δεν αναφέρονται εκπομπές για την κατηγορία αυτή

ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
ΚΑΠΕ, 22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015

Οριακή τιμή εκπομπής: η αποδεκτή συγκέντρωση μάζας των ρυπογόνων ουσιών που περιέχονται στα καυσαέρια μίας μονάδας, και μπορούν να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα.

Καθορίζεται σε mg/m^3 και ικανοποιεί ένα ογκομετρικό περιεχόμενο στα καυσαέρια της τάξης του:

- ✓3% για τις μονάδες καύσης υγρών ή αερίων καυσίμων,
- ✓6% για την καύση στερεών καυσίμων
- ✓15% για τις αεριοστροβιλικές μονάδες.

Η μετρηθείσα συγκέντρωση μάζας στα καυσαέρια μετατρέπεται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$E_B = \frac{21 - O_B}{21 - O_M} \times E_M$$

όπου:

E_B = η συγκέντρωση μάζας, σύμφωνα με το επίπεδο αναφοράς του οξυγόνου,

E_M = η μετρηθείσα συγκέντρωση μάζας,

O_B = περιεκτικότητες οξυγόνου αναφοράς,

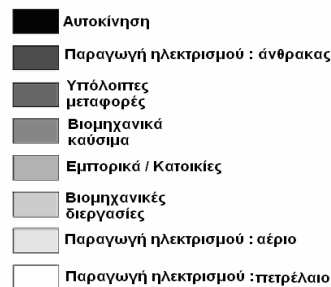
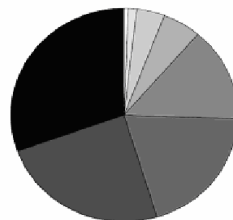
O_M = μετρηθείσες περιεκτικότητες οξυγόνου.

ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
ΚΑΠΕ, 22 - 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015

➤ Μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου

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.



ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
ΚΑΠΕ, 22 - 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015

Οι επιβλαβείς επιπτώσεις των οξειδίων του αζώτου

• Τα οξείδια του αζώτου συμβάλλουν στην επιδείνωση του φαινομένου του **θερμοκηπίου**, με συνεισφορά που εκτιμάται μεταξύ 4 και 6%, αλλά και στην υποβάθμιση της στιβάδας του όζοντος. Το μίγμα των οξειδίων του αζώτου, από τα οποία το διοξείδιο του αζώτου έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση, είναι αέρια με **υψηλό τοξικό δυναμικό**, με πολλαπλές επιπτώσεις για τον ανθρώπινο οργανισμό, ειδικά εκεί όπου προκαλούνται ερεθισμοί. Η χρόνια και επαναλαμβανόμενη δράση ορισμένων τοξικών δόσεων προκαλεί σημαντικά προβλήματα στην **αναπνευστική οδό**.

• Το διοξείδιο του αζώτου σε συνδυασμό με το νερό σχηματίζει **νιτρικό οξύ το οποίο προκαλεί τη διάβρωση των μεταλλικών κατασκευών**, και, μαζί με διάφορα κατιόντα που βρίσκονται στον αέρα, σχηματίζει νιτρικά άλατα, τα οποία υποβαθμίζουν τα δίκτυα ηλεκτρισμού και τηλεφωνίας λόγω της διαβρωτικής δράσης τους πάνω στο χαλκό, τον ορείχαλκο, το αλουμίνιο και το νικέλιο

✓ Μηχανισμοί σχηματισμού NOx

Οι μηχανισμοί σχηματισμού των οξειδίων του αζώτου εξαρτώνται από την προέλευση του αζώτου, και του περιβάλλοντος στο οποίο λαμβάνει χώρα η αντίδραση :

- A) τα **θερμικά NOx** είναι αποτέλεσμα της αντίδρασης του οξυγόνου με το άζωτο στον αέρα,
- B) τα **άμεσα NOx** προκύπτουν κατά τη μετατροπή του μοριακού αζώτου στη φλόγα υπό την παρουσία ενδιάμεσων ενώσεων υδρογονανθράκων,
- Γ) τα **NOx που βρίσκονται στο καύσιμο** σχηματίζονται από το άζωτο που περιέχεται στο καύσιμο.

A) τα θερμικά NOx είναι αποτέλεσμα της αντίδρασης του οξυγόνου με το άζωτο στον αέρα

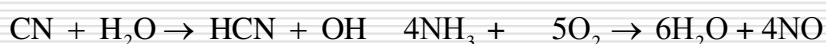
Η ποσότητα του θερμικού NOx εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη **θερμοκρασία** και, ως εκ τούτου. Εάν η θερμοκρασία είναι κάτω από 1000°C, οι εκπομπές είναι σημαντικά χαμηλότερες, και η σχηματιζόμενη ποσότητα NOx εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε άζωτο. Ο σχηματισμός του 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):



Ο απαιτούμενος χρόνος για την παραγωγή 500ppm NO στους 2000°C είναι περίπου 0.1 s, αλλά στους 1750°C ο απαιτούμενος χρόνος είναι 1.0s. Από τη στιγμή που τα καυσαέρια απομακρύνονται από τη ζώνη της φλόγας, ο ρυθμός αντίδρασης μειώνεται κατά τάξεις μεγέθους, οπότε ο σχηματισμός NO σταματάει γρήγορα.

B) τα άμεσα NOx προκύπτουν κατά τη μετατροπή του μοριακού αζώτου στη φλόγα υπό την παρουσία ενδιάμεσων ενώσεων υδρογονανθράκων

Το άμεσο NOx αποτελεί μία πολύ μικρή ποσότητα σε σχέση με τις ποσότητες που παράγονται από τους άλλους μηχανισμούς. Το άμεσο NOx προέρχεται από την αντίδραση μεταξύ των ριζών του καυσίμου (δηλ. των CH) και του μοριακού αζώτου, με σχηματισμό ενώσεων όπως NH, HCN, H₂CN, και CN⁻, η οποία ακολουθείται από οξειδωση. Ο σχηματισμός του άμεσου οξειδίου του αζώτου λαμβάνει χώρα στην περιοχή της φλόγας, από το άζωτο στον αέρα, και αποτελεί συνέπεια των αντιδράσεων μεταξύ των ριζών CN, NH και CH με τα μόρια των H₂, H₂O και N₂:



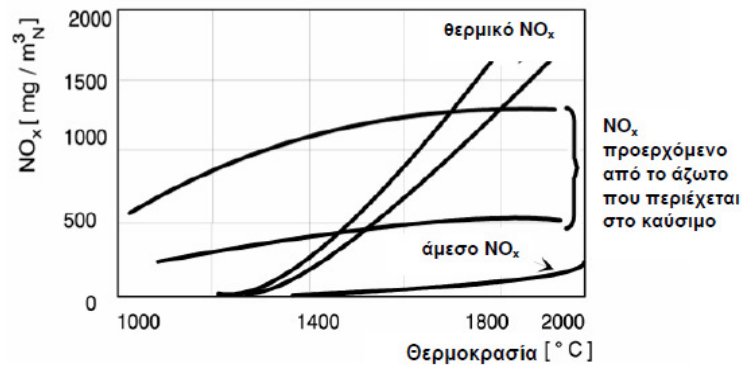
Γ) τα NOx που βρίσκονται στο καύσιμο σχηματίζονται από το άζωτο που περιέχεται στο καύσιμο

- Ο σχηματισμός του NOx στο καύσιμο εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άζωτο του καυσίμου και τη συγκέντρωση οξυγόνου στο περιβάλλον της αντίδρασης.
- Το άζωτο απελευθερώνεται από το καύσιμο, όπου υφίσταται υπό τη μορφή αλειφατικών (αμίνες) ή αρωματικών ενώσεων (πυριδίνη, πυρρόλη), κατά τη διάρκεια της απελευθέρωσης των πτητικών ουσιών, με ένα ρυθμό ίσο με το μέσο ρυθμό απώλειας μάζας από το σωματίδιο του καυσίμου.
- Το άζωτο συνδυάζεται με ρίζες (όπως τα CH) δημιουργώντας ενώσεις όπως είναι τα HCN, CN και NH_i, οι οποίες στη συνέχεια αντιδρούν σχηματίζοντας NO ή N₂, σύμφωνα με την οξειδωτική ή αναγωγική φύση του περιβάλλοντος του θαλάμου καύσης.
- Αυτός ο τύπος NOx συναντάται συχνά στους ανθρακικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, καθώς το άζωτο βρίσκεται σε μεγαλύτερες ποσότητες στη δομή αυτού του τύπου καυσίμου από ό,τι σε άλλους (50-80% σε στερεά αντί για ~50% σε υγρά)

Μέση περιεκτικότητα σε άζωτο για διάφορους τύπους καυσίμων

| Καύσιμο | Άζωτο στο καύσιμο (% κατά βάρος, ξηρή βάση, χωρίς τέφρα) |
|----------------------|---|
| Ανθρακας | 0.5 – 2 |
| Βιομάζα (ξύλο) | <0.5 |
| Τύρφη | 1.5 – 2.5 |
| Ασφαλτούχος άνθρακας | <1.0 |
| Φυσικό αέριο | 0.0 |
| Φωταέριο | 0,1 – 1 (>>1 χημικές πηγές) |

Η ποσότητα του σχηματιζόμενου NO_x εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άζωτο του καυσίμου, τη συγκέντρωση του οξυγόνου στη φλόγα, τον χρόνο αντίδρασης και τη θερμοκρασία της φλόγας, αν και οι δύο πρώτοι παράγοντες κυρίως είναι σημαντικοί.



Σχηματισμός NO_x βάσει της θερμοκρασίας

ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
ΚΑΠΕ, 22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015

| Είδος Λέβητα | Είδος Καυσίμου | Συντελεστές Εκπομπής ^α kg NO _x /Mg Άνθρακα (ή όπως δηλώνεται) |
|--|-------------------------------------|---|
| Κονιοποιημένος άνθρακας | Ανθρακίτης | 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 | | |
| Εφαπτομενική τροφοδοσία καύσης | Υπολειμματικό πετρέλαιο | 5 ^γ |
| Κατακόρυφη τροφοδοσία καύσης | Υπολειμματικό πετρέλαιο | 12.6 ^γ |
| Λοιποί (γενικά) | Φυσικό αέριο | 8.80 ^δ |
| Βιομηχανικοί λέβητες | Υπολειμματικό πετρέλαιο | 6.6 ^ε |
| | Πετρέλαιο ως προϊόν απόσταξης | 2.4 ^γ |
| | 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

ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
ΚΑΠΕ, 22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015

ERROR: stackunderflow
OFFENDING COMMAND: ~

STACK: