

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3

ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΕ ΛΕΒΗΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

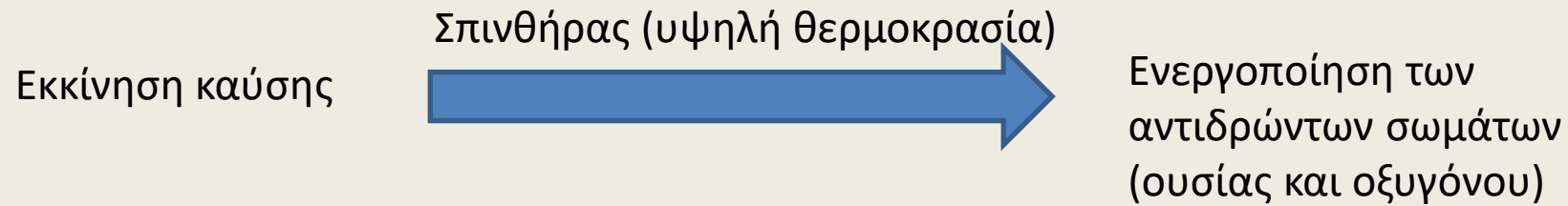
Επιμέλεια Παρουσίασης:
Γλυτσός Θόδωρος, Λαζαρίδης Μιχάλης

Ορισμός Καύσης

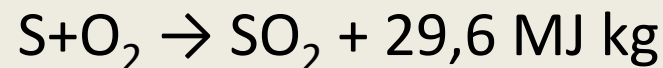
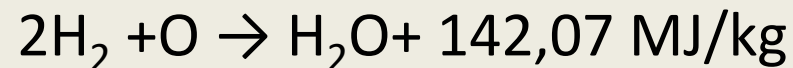
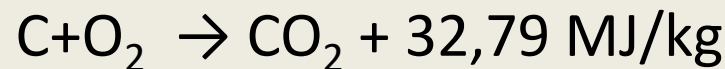
- **Καύση** ονομάζεται κάθε εξώθερμη χημική αντίδραση ενός υλικού καυσίμου με οξυγόνο (ή αέρα), που συντελείται με αρκετά μεγάλο βαθμό απόδοσης θερμότητας, έτσι ώστε η εκπεμπόμενη ενέργεια υπό μορφή θερμότητας να είναι τεχνικά εκμεταλλεύσιμη.
- Ελάχιστη προϋπόθεση είναι η εκπεμπόμενη θερμότητα να είναι τόσο ώστε να μπορεί να διατηρηθεί η αντίδραση.
- Μέσω της αντίδρασης της καύσης, η χημική ενέργεια η οποία βρίσκεται αποθηκευμένη στο καύσιμο, με τη βοήθεια του οξειδωτικού μετατρέπεται σε θερμότητα.



Ορισμός Καύσης



- Η ταχεία χημική αντίδραση καυσίμου και οξειδωτικού δημιουργεί οξείδια τα οποία με τη σειρά τους απαρτίζουν τα καυσαέρια (CO_2 , NO_2 , SO_2 , κλπ)



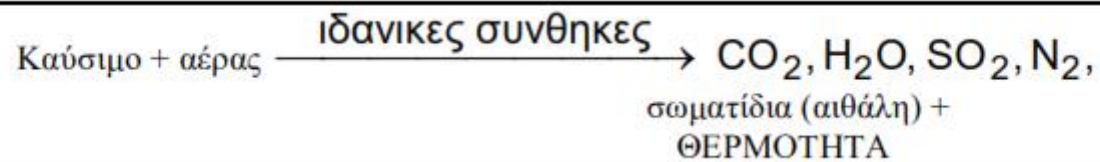
Σημασία της καύσης

- Ευρύτατη χρήση σε πολλές καθημερινές διεργασίες για την παραγωγή ενέργειας.
 - Σταθμοί παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν την καύση σαν την βασική αρχή για την διαδικασία εναλλαγής ενέργειας.
 - Σύγχρονα προωθητικά συστήματα (αεριοστροβίλοι αεροπλάνων και πυραύλων) βασίζονται στη καύση
- Η θέρμανση (π.χ. κτιρίων) της και η παραγωγή ενέργειας σε σταθμούς απαιτούν την καύση στερεού, αερίου ή υγρού καυσίμου.

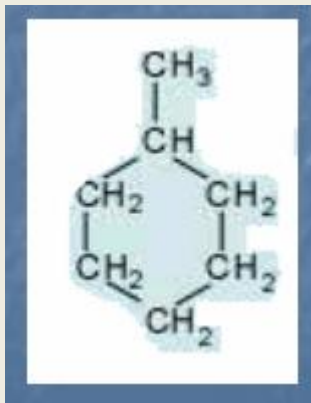
- Η καύση λαμβάνει χώρα σε μηχανές δύο τύπων, της μηχανής εσωτερικής και εξωτερικής καύσης.
- Στις μηχανές εσωτερικής καύσης τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση χρησιμοποιούνται απευθείας για να παράγουν κίνηση
- Στις μηχανές εξωτερικής καύσης γίνεται εκμετάλλευση του θερμικού της περιεχομένου με κάποια διάταξη εναλλαγής / απαγωγής θερμότητας.

Τέλεια – Ατελής καύση

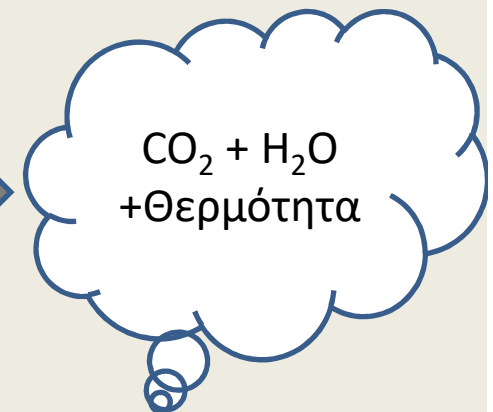
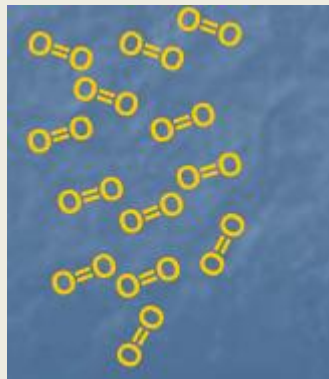
Τέλεια (πλήρης καύση) λαμβάνει χώρα όταν το καύσιμο και το οξυγόνο βρίσκονται σε εκείνη την αναλογία ώστε να έχουμε πλήρη καύση όλου του υπάρχοντος καυσίμου και του οξυγόνου προς διοξείδιο του άνθρακα. Στην περίπτωση αυτή παράγονται CO_2 , H_2O και SO_2 , αν στα καύσιμα περιέχεται θείο



Υδρογονάνθρακας

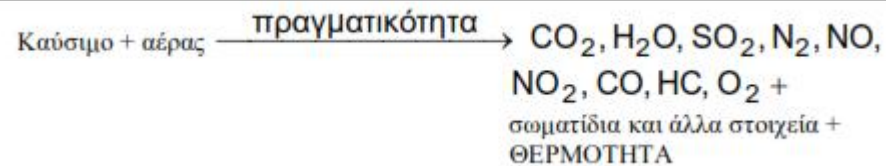


Οξυγόνο

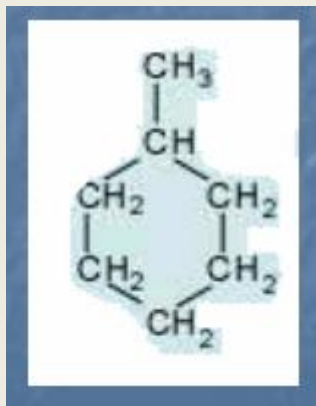


Τέλεια – Ατελής καύση

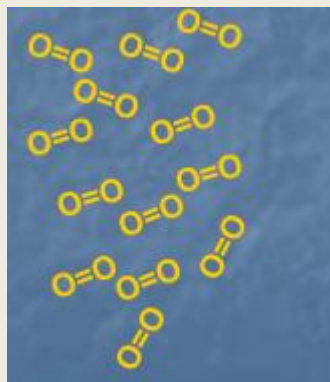
Ατελή καύση έχουμε αν δεν υπάρχει επαρκές οξυγόνο για την πλήρη καύση του καυσίμου, ορισμένα από τα άτομα του άνθρακα συνδυάζονται με ένα μόνο άτομο οξυγόνου με αποτέλεσμα να παράγεται CO και αιθάλη (υδρογονάνθρακες στα καυσαέρια).



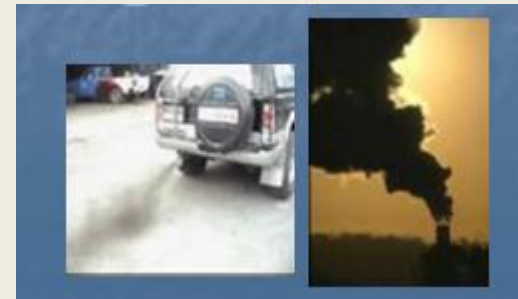
Υδρογονάνθρακας



Οξυγόνο

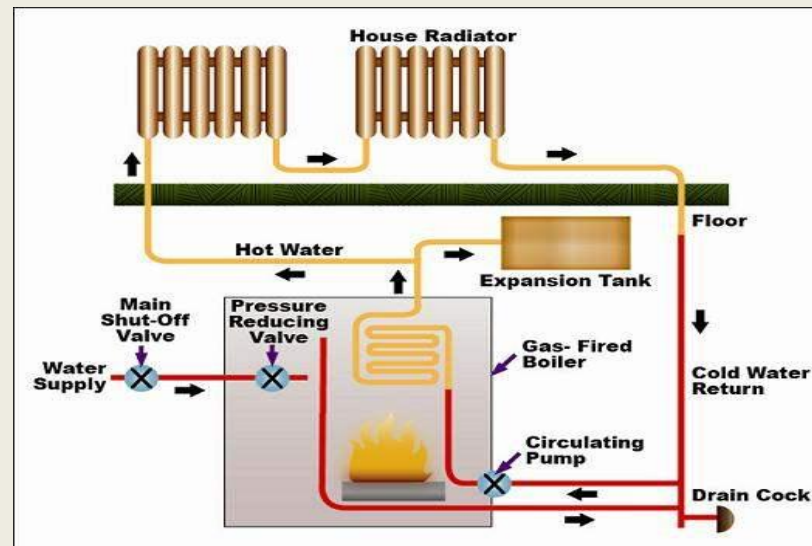


CO₂ + H₂O
+ Μειωμένη
Θερμότητα
+ Αιθάλη, CO

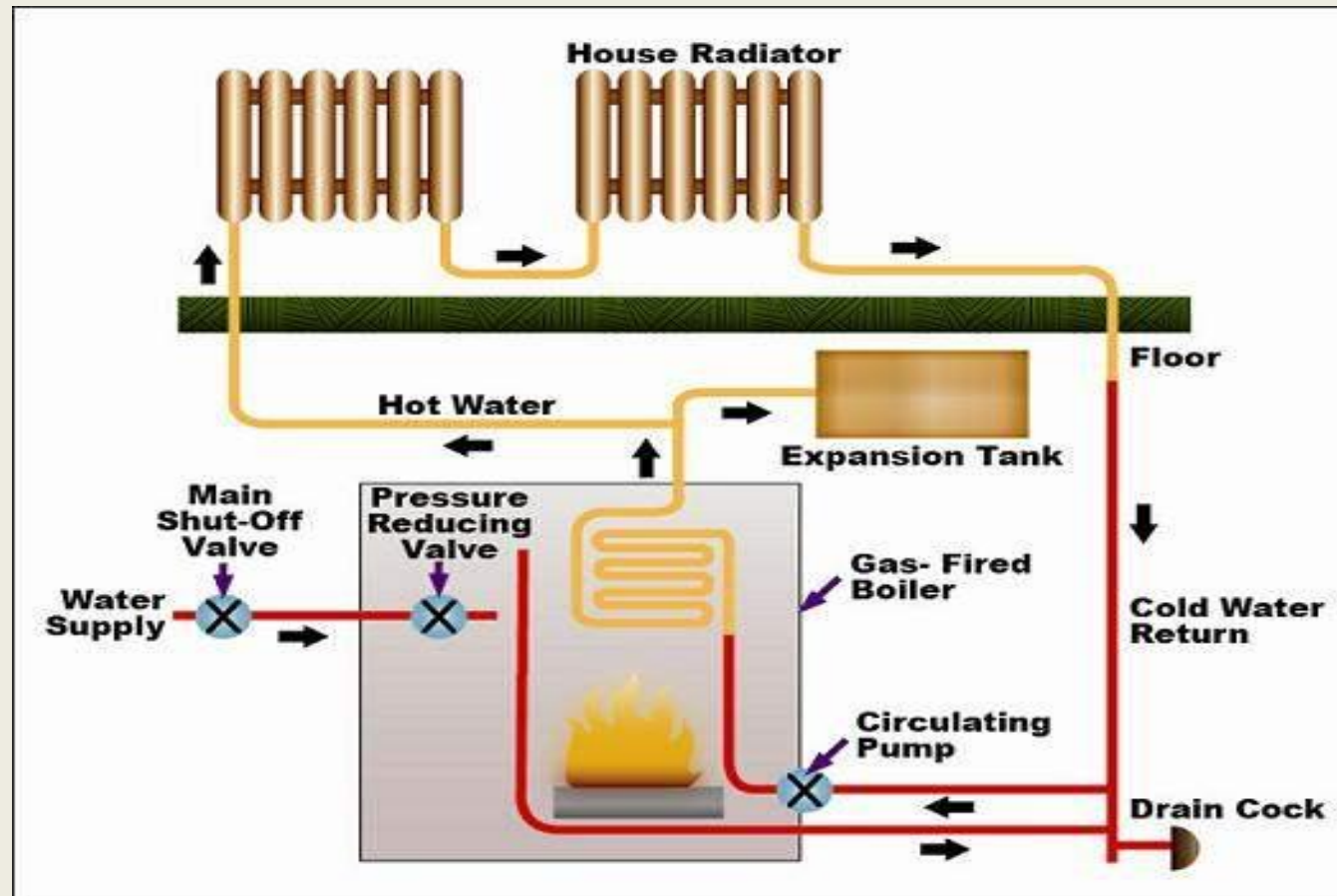


Σύστημα κεντρικής θέρμανσης

- Το πιο διαδεδομένο σύστημα για τη θέρμανση των χώρων του σπιτιού σήμερα είναι αυτό της κεντρικής θέρμανσης.
- Η αρχή λειτουργίας του συστήματος βασίζεται στη μεταφορά θερμότητας μέσω του νερού.
- Η διαδικασία πραγματοποιείται με χρήση λέβητα, μέσα στον οποίο, με τη βοήθεια του καυστήρα, το νερό αποκτά υψηλή θερμοκρασία και μέσω του κυκλοφορητών και των σωληνώσεων φτάνει στα θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ).
- Το καυτό νερό μέσω των σωμάτων διαχέει θερμότητα στον αέρα και έτσι επιτυγχάνεται η άνοδος της θερμοκρασίας του χώρου.

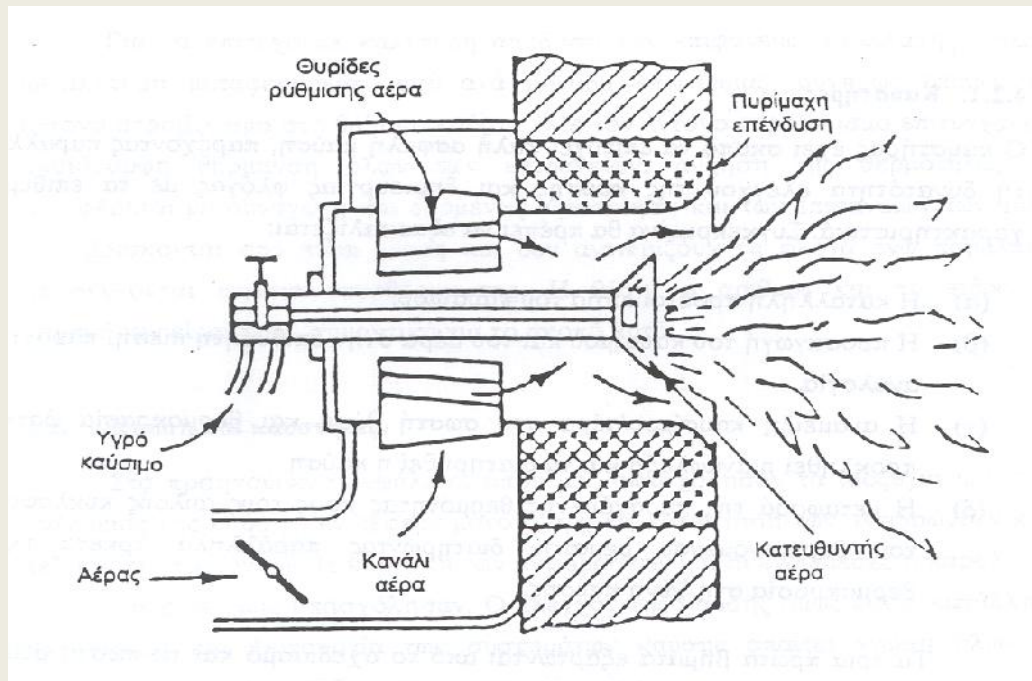


Σύστημα κεντρικής θέρμανσης

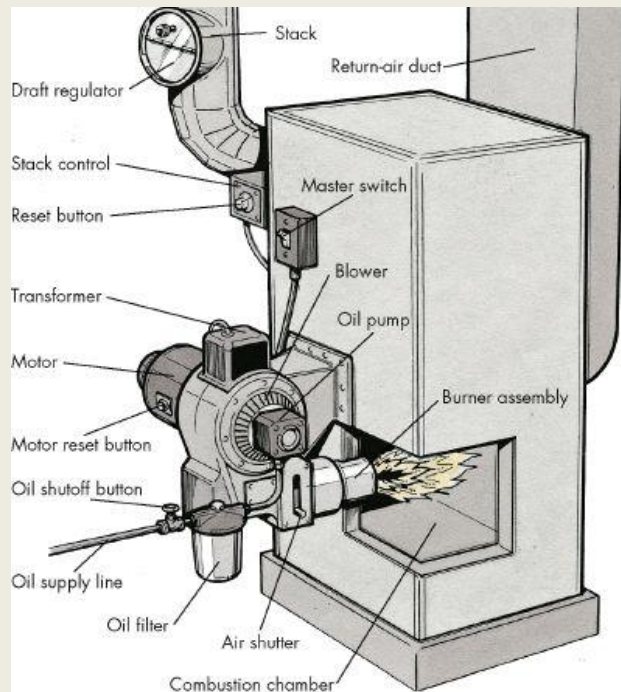


Σύστημα κεντρικής θέρμανσης

- Η καύση λαμβάνει χώρα σε αέρια κατάσταση με ανάμειξη του καυσίμου με αέρα
- Για την καύση των υγρών καυσίμων θα πρέπει προηγουμένως να γίνει διασκορπισμός σε λεπτές σταγόνες (εκνέφωση) ώστε να είναι εύκολη η εξάτμιση και η καλή ανάμειξη με τον αέρα
- Η ανάφλεξη και καύση γίνεται στο θάλαμο καύσης, καθώς το καύσιμο και ο αέρας προχωρούν, συνήθως με έντονα τυρβώδη ροή, από την έξοδο του καυστήρα προς την καμινάδα.

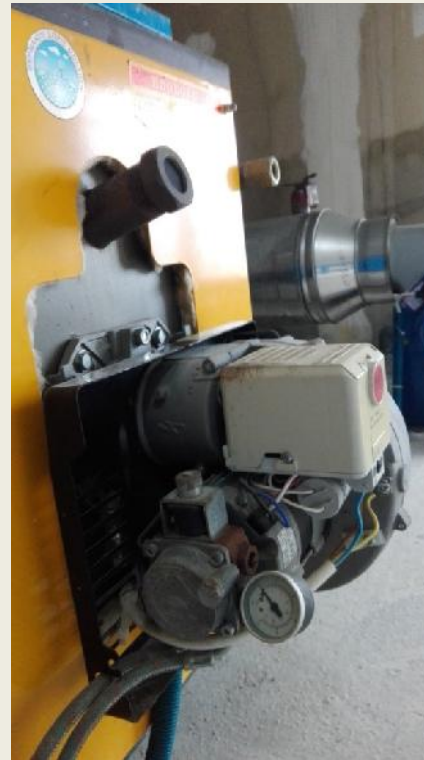


Σύστημα κεντρικής θέρμανσης/Καυστήρας



- τον ηλεκτροκινητήρα
- την αντλία πετρελαίου
- το μπεκ
- τον ανεμιστήρα
- την ηλεκτρομαγνητική δικλείδα ελέγχου
- το τάμπερ
- το Μ/Σ ανύψωσης,
- το σπινθηριστή ή μπουζί
- το φωτοκύτταρο για τον έλεγχο της ύπαρξης φλόγας στο θάλαμο.

Σύστημα κεντρικής θέρμανσης/Καυστήρας



Απόδοση συστήματος κεντρικής θέρμανσης

■ Ορίζεται ως το πηλίκο της εκμεταλλεύσιμης θερμότητας που παραλαμβάνεται από το σύστημα προς τη συνολική προσδιδόμενη ενέργεια που προσδίδεται σε αυτό.

$$\text{Συντελεστής απόδοσης} = \frac{\text{Εκμεταλλεύσιμη θερμότητα}}{\text{Προσδιδόμενη θερμότητα}} \times 100$$

- Η ενέργεια που προσδίδεται σ' ένα σύστημα παραγωγής θερμότητας με καύση είναι κατά κύριο λόγο η χημική ενέργεια του καυσίμου. Προστίθεται επίσης:
- Η αισθητή θερμότητα του καυσίμου στη θερμοκρασία που παρέχεται στο σύστημα
- Η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται στην αντλία του καυσίμου και στους ανεμιστήρες προωθήσεως ή ελκυσμού του αέρα καύσης (αν υπάρχουν)
- Η θερμότητα του ατμού διασκορπισμού του καυσίμου.

Απώλειες συστήματος κεντρικής θέρμανσης

- ❑ Απώλειες λόγω αναντιστρεπτότητας: δεν είναι άμεσα εντοπίσιμες και αναφέρονται στην ποιότητα της θερμικής ενέργειας που παραλαμβάνεται από το μέσο. Οι απώλειες αυτές μπορούν να μειωθούν με κατάλληλη προσαρμογή της θερμοκρασίας της φλόγας.
- ❑ Ποσά θερμότητας μεταφέρονται από το σύστημα προς το περιβάλλον μέσω των τοιχωμάτων του λέβητα
- ❑ Ποσά θερμότητας μεταφέρονται από το σύστημα προς το περιβάλλον μέσω των καυσαερίων που παράγονται κατά την καύση.

Οι απώλειες με τα καυσαέρια διακρίνονται στις:

- ❑ Απώλειες λόγω του θερμικού περιεχομένου των καυσαερίων
- ❑ Απώλειες λόγω ατελούς καύσης.
- ❑ Παρουσία υδρατμών στα καυσαέρια
- ❑ Περίσσεια αέρα

Περίσσεια αέρα

Για να εξασφαλισθεί η καύση ολόκληρης της ποσότητας του υπάρχοντος καυσίμου, είναι συνήθως απαραίτητη μία επιπλέον ποσότητα αέρα, η οποία ονομάζεται περίσσεια αέρα (excess air).

Η ποσότητα αυτή είναι απαραίτητη συνήθως λόγω της μη τέλειας μίξης καυσίμου - αέρα, εξαρτάται δε από:

- Το είδος του καυσίμου
- Την ποιότητα του καυσίμου
- Τον βαθμό ανάμιξης καυσίμου – αέρα

Περίσσεια αέρα

Η περίσσεια αέρα δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$\lambda = \frac{L}{L_o}$$

Όπου λ =περίσσεια αέρα

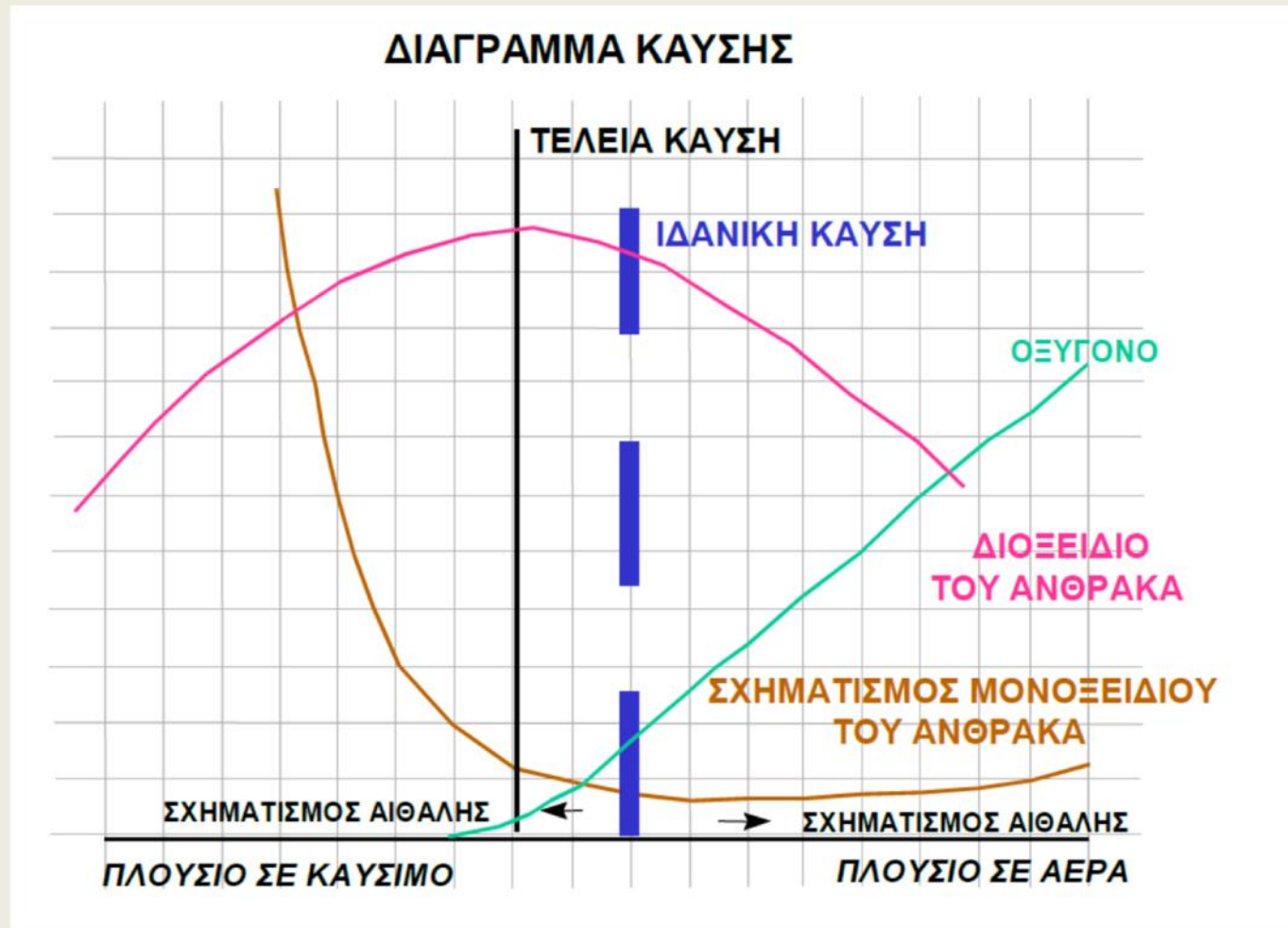
L = πραγματικά χρησιμοποιούμενος αέρας

L_o = Θεωρητικά αναγκαία ποσότητα αέρα

Ορισμένες ενδεικτικές τιμές περίσσειας αέρα για διαφορετικά καύσιμα δίνονται παρακάτω:

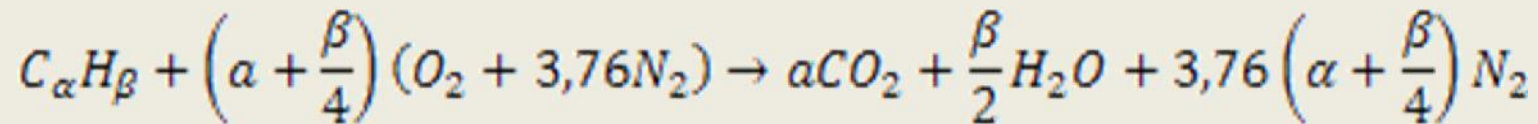
Είδος Καυσίμου	Περίσσεια Αέρα
Φυσικό αέριο	1,05
Πετρέλαιο	1,07-1,15
Λιγνίτης	1,25-1,3
Λιθάνθρακας	1,1-2

Ιδανική λειτουργία λέβητα

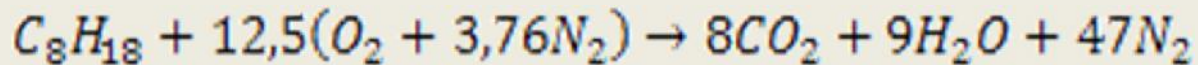


Στοιχειομετρία καύσης

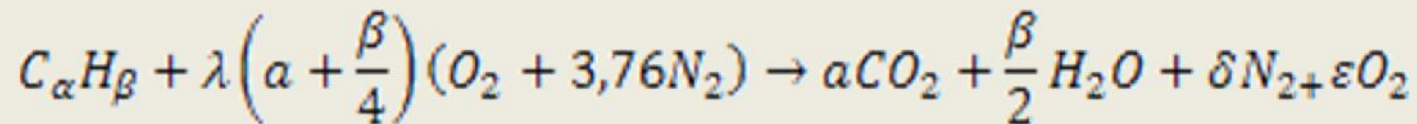
Ο αέρας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω περιέχει και άζωτο. Λαμβάνοντας υπόψη και τη διατήρηση της μάζας του αζώτου, η γενική μορφή της στοιχειομετρικής αντίδρασης ενός mol υδρογονάνθρακα ($C_\alpha H_\beta$) θα είναι:



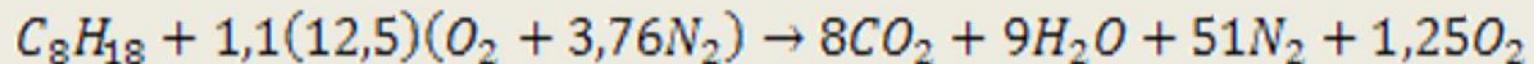
Για παράδειγμα, για τη στοιχειομετρική καύση του οκτανίου (C_8H_{18}) έχουμε:



Σε περίπτωση που στο μίγμα υπάρχει περίσσεια αέρα, η γενική αντίδραση παίρνει τη μορφή:

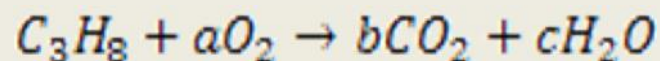


Οι συντελεστές δ και ε υπολογίζονται από την διατήρηση του συνολικού οξυγόνου και αζώτου. Η καύση του οκτανίου με περίσσεια αέρα 10% γίνεται:



Στοιχειομετρία καύσης

Σε συνθήκες τέλει καύσης, οι υδρογονάνθρακες των καυσίμων οξειδώνονται πλήρως και ο άνθρακας μετατρέπεται σε CO_2 και το H_2 σε H_2O . Για παράδειγμα, κατά την τέλεια καύση ενός mol προπανίου (C_3H_8) έχουμε:



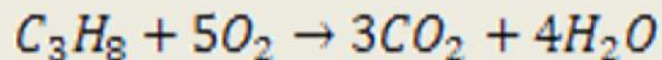
Για να υπολογίσουμε τους συντελεστές στα αντιδρώντα και στα προϊόντα εργαζόμαστε ως εξής:

Ο συντελεστής b υπολογίζεται από τα άτομα του άνθρακα ($b=3$)

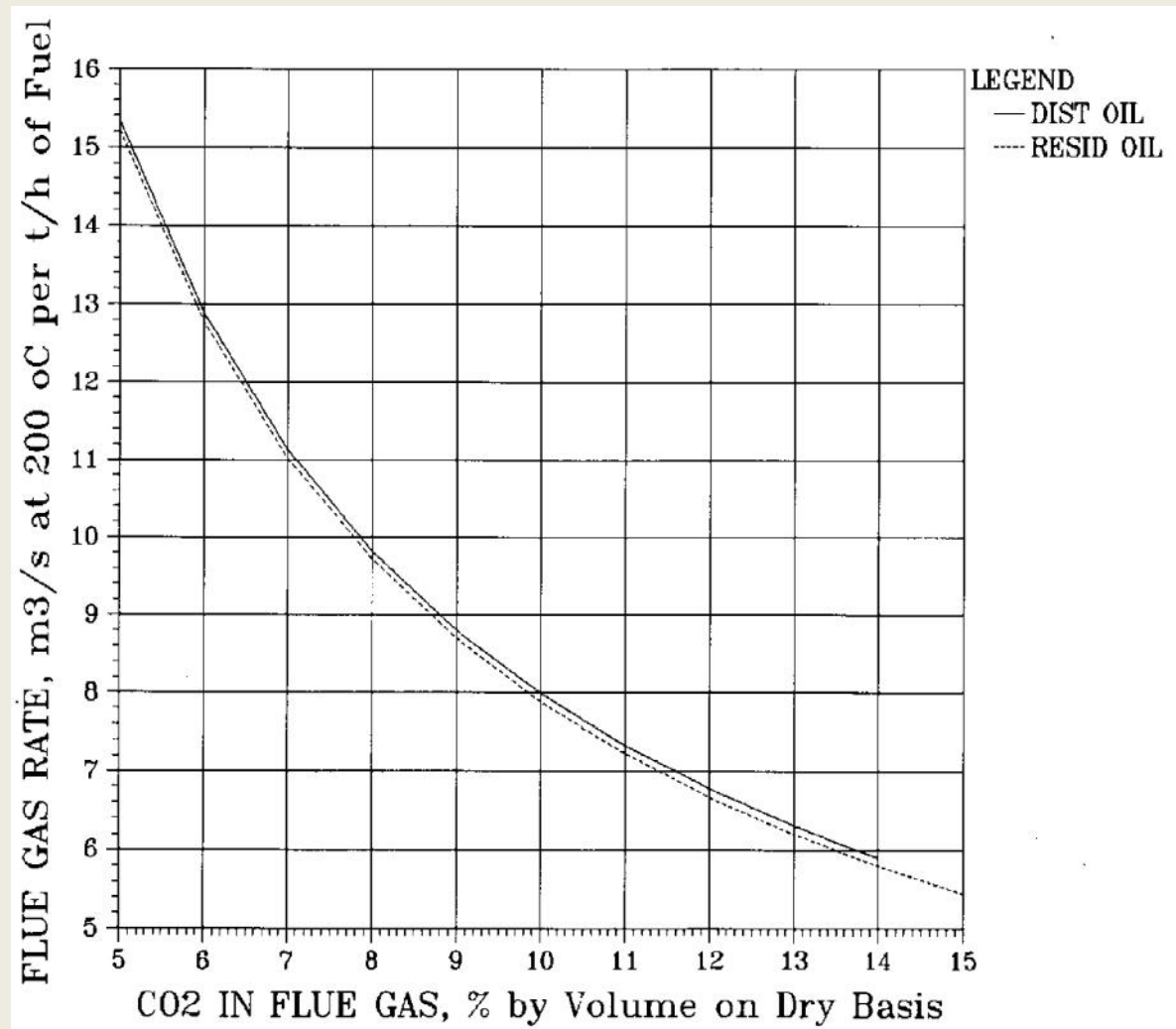
Ο συντελεστής c υπολογίζεται από τα άτομα του υδρογόνου ($2c=8$ άρα $c=4$)

Τελευταίο υπολογίζουμε το συντελεστή a για το οξυγόνο ($2a=2b + c$, άρα $a=5$)

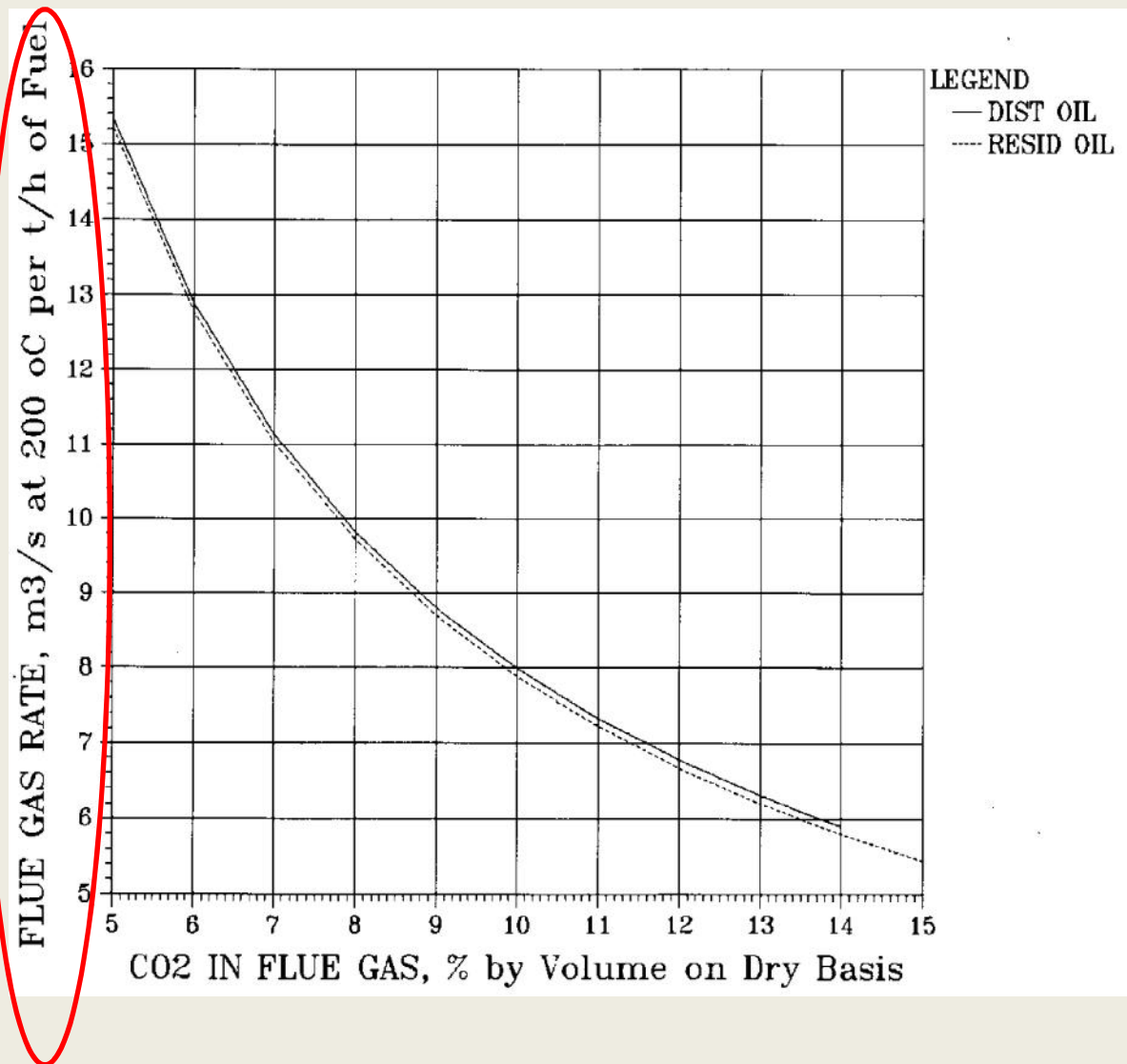
Επομένως η στοιχειομετρική αντίδραση της καύσης του προπανίου είναι:



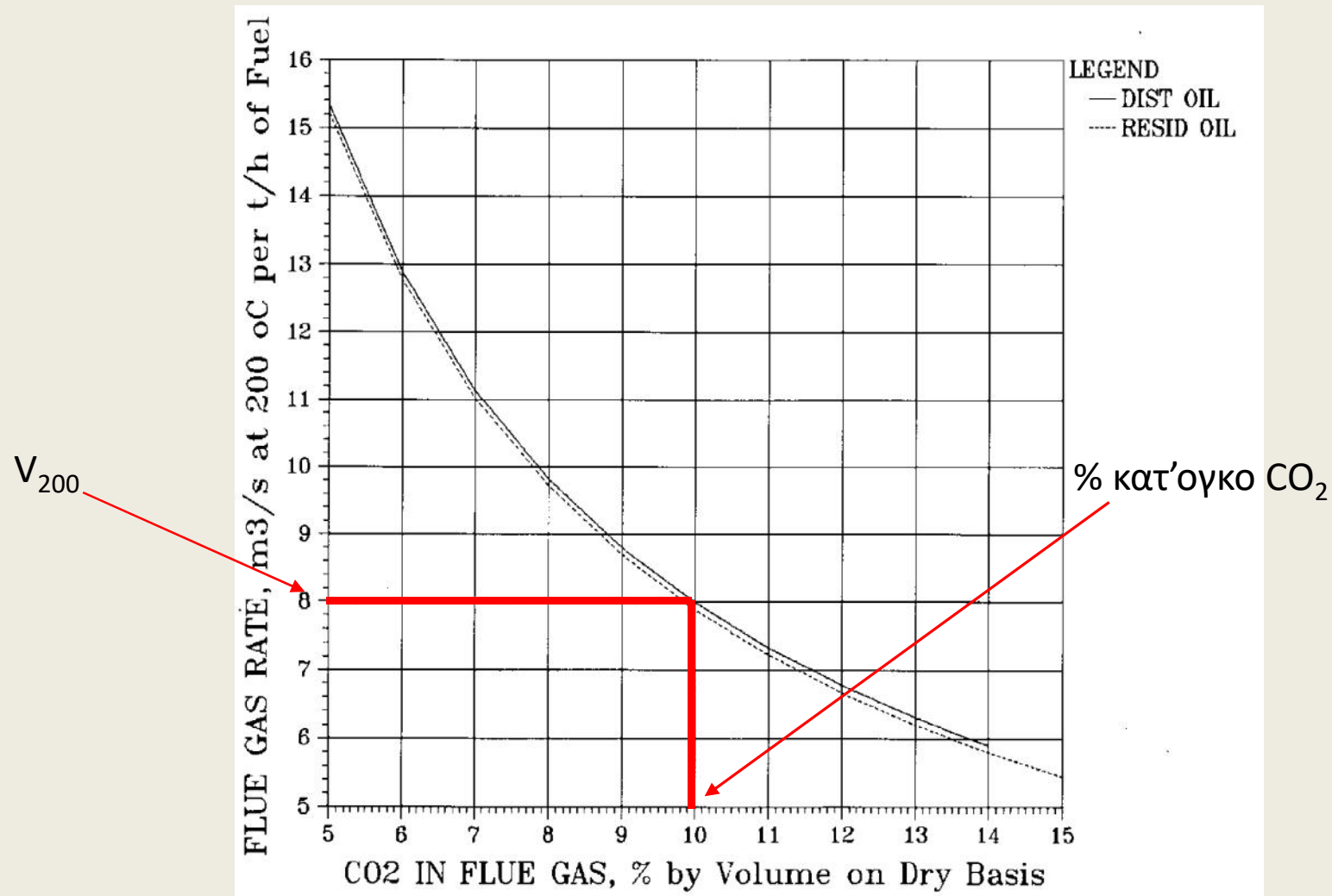
Υπολογισμός συντελεστών εκπομπής (NO_x , SO_2 , CO)



Υπολογισμός συντελεστών εκπομπής (NO_x , SO_2 , CO)



Υπολογισμός συντελεστών εκπομπής (NO_x , SO_2 , CO)



Υπολογισμός συντελεστών εκπομπής (NO_x , SO_2 , CO)

Τα καυσαέρια μεταφέρονται ισοβαρώς (σταθερή πίεση) από το λέβητα ($200\text{ }^\circ\text{C}$) στο περιβάλλον ($\theta\text{ }^\circ\text{C}$).

$$V_{\theta} = 3600 \times V_{200} \times \frac{273 + \theta}{273 + 200}$$

Μετατροπή της συγκέντρωσης των ρυπαντών από ppm σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

$$C_{\mu\text{g}/\text{m}^3} = \frac{PM_i}{RT} \times C_{\text{ppm}}$$

Προσδιορισμός εκπομπής ρυπαντών σε kg ανά τόνο κατανάλωσης καυσίμου.

$$e_i = C_{\mu\text{g}/\text{m}^3} \times V_{\theta} \times 10^{-9}$$

Υπολογισμός συντελεστών εκπομπής (NO_x , SO_2 , CO)

Προσδιορισμός V_{200}

$$V_{200} = 8 \frac{\frac{m^3}{s}}{\frac{tn}{h}} = 8 \frac{\frac{m^3}{s}}{\frac{tn}{3600 s}} = 8 * 3600 \frac{m^3}{tn} = 28800 \frac{m^3}{tn}$$

Τα καυσαέρια μεταφέρονται ισοβαρώς (σταθερή πίεση) από το λέβητα ($200\text{ }^{\circ}\text{C}$) στο περιβάλλον ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

$$\frac{V_{20}}{V_{200}} = \frac{T_{20}}{T_{200}} \rightarrow V_{20} = V_{200} * \frac{273 + 20}{273 + 200} = 28800 * \frac{273 + 20}{273 + 200} = 17840 \frac{m^3}{tn}$$

Υπολογισμός συντελεστών εκπομπής (NO_x , SO_2 , CO)

Προσδιορισμός C_{NO} (ppm σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Μετατροπή της συγκέντρωσης των ρυπαντών από ppm σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Πίεση, $P=10^5$ Pa
- Θερμοκρασία, $T=293$ K
- $R=8.314$ (σε μονάδες SI)
- $M_{\text{NO}}=30$ g/mole
- $C_{\text{NO}}=100$ ppm

$$C_{\mu\text{g}/\text{m}^3} = \frac{PM_i}{RT} * C_{\text{ppm}} = \frac{10^5 * 30}{8.314 * 293} * 100 = 123152.6 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$$

Υπολογισμός συντελεστών εκπομπής (NO_x , SO_2 , CO)

Υπολογισμός ρυθμού εκπομπής

Μετατρέπω μg σε kg ($\cdot 10^{-9}$)

Ρύπος

Καύσιμο

$$e_{\text{NO}} = V_{20} * C_{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}} = 123152.6 * 17840 = 2197063360 \frac{\mu\text{g}}{\text{tn}} \cong 2.20 \frac{\text{kg}}{\text{tn}}$$

Υπολογισμός συντελεστών εκπομπής (CO₂)

Υπολογισμός της περιεκτικότητας CO₂ στον όγκο ανά τόνο καυσίμου των καυσαερίων στο περιβάλλον (V_θ), όπου C_{CO2} η κατ' όγκο αναλογία CO₂ στα καυσαέρια.

$$V_{CO2(\theta)} = \frac{C_{CO2}}{100} V_{\theta}$$

Υπολογισμός του γραμμομοριακού όγκου του CO₂ στους θ °C (θεωρούμε ισοβαρή μεταβολή).

$$22,4 \frac{273 + \theta}{273} = V_{mol(\theta)}$$

Υπολογισμός της αναλογίας μάζας/όγκου του 1 mole CO₂ (kg ανά m³) σε θ °C

$$m_{CO2} = \frac{44 \times 1000}{V_{mol(\theta)} \times 1000}$$

Προσδιορισμός εκπομπής ρυπαντών σε kg ανά τόνο κατανάλωσης καυσίμου.

$$e_{CO2} = V_{CO2(\theta)} \times m_{CO2}$$

Υπολογισμός συντελεστών εκπομπής (CO₂)

Υπολογίζουμε τον όγκο του CO₂ στα καυσαέρια

$$V_{CO_2} = V_{20} * C_{CO_2\%} = 17840 * 0.1 = 1784 \frac{m^3}{tn}$$

Υπολογισμός του γραμμομοριακού όγκου του CO₂ στους 20 °C (θεωρούμε ισοβαρή μεταβολή).

$$\frac{V_{mol(20)}}{V_{mol(0)}} = \frac{T_{20}}{T_0} \rightarrow V_{mol(20)} = V_{mol(0)} * \frac{273 + 20}{273} = 22.4 * \frac{293}{273} = 24.04 \text{ l t/m ole}$$

Υπολογισμός συντελεστών εκπομπής (CO₂)

Υπολογισμός της αναλογίας μάζας/όγκου του 1 mole CO₂ (kg ανά m³) σε 20 °C

Το 1 mole CO₂ έχει μάζα 44 g και όγκο 24.04 lt στους 20 °C, άρα είναι:

$$m_{co_2} = \frac{m_{mol}}{V_{mol(20)}} = \frac{44}{24.04} = \frac{\frac{44}{1000}}{\frac{24.04}{1000}} = 1.83 \text{ kg/m}^3$$

Μετατροπή σε kg

Μετατροπή σε m³

Προσδιορισμός εκπομπής ρυπαντών σε kg ανά τόνο κατανάλωσης καυσίμου.

$$e_{co_2} = V_{20} * m_{co_2} = 1784 * 1.83 \cong 3264 \text{ kg/t n}$$

Υπολογισμός “Ωφέλιμης” Ενέργειας

Θερμογόνος δύναμη καυσίμου (Q_θ) ονομάζεται η θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση ενός κιλού στερεού ή υγρού καυσίμου ή ενός κυβικού μέτρου αερίου καυσίμου που βρίσκεται σε κανονικές συνθήκες

Θερμογόνος δύναμη πετρελαίου: 10250 kcal/kg

Υπολογίζουμε την ενέργεια που καταναλώνεται μέσω του καυσίμου για 8 ώρες λειτουργίας (t) και ρυθμό παροχής καυσίμου (q) ίσο με 2 kg/h

$$Q = Q_\theta * q * t = 190.6 \text{ kWh}$$

Αν η απώλειες στα καυσαέρια είναι 20%, τότε έχουμε απόδοση 80%, άρα η ενέργεια που μένει στο σύστημα είναι:

$$Q_\lambda = n * Q = 0.8 * 190.6 = 162 \text{ kWh}$$

Υπολογισμός ενεργειακών συντελεστών εκπομπής (e_{ie}) όλων των ρύπων

Για το μονοξείδιο του αζώτου:

$$e_{ie} = \frac{e_{No}}{Q_{\theta}} \frac{\overbrace{1000 \text{ kg}}^{\text{Ρύπος}}}{\underbrace{\text{kWh}}_{\text{Καύσιμο}}} = 1.84 * 10^{-4} \text{ kg/kWh}$$

Για το διοξείδιο του άνθρακα:

$$e_{ie} = \frac{e_{CO_2}}{Q_{\theta}} = 0.274 \text{ kg/kWh}$$

ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΝΕ (μοντέλο 455 GR)



Μέτρηση συγκέντρωσης καυσαερίων-Σύστημα της εταιρείας Brigon



Κανόνας υπολογισμού απόδοσης

Μετρητής CO₂/O₂ FYRITE



Μετρητής Αιθάλης



Άσκηση 3 - Μετρήσεις



A/A	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	Θερμοκρασία καυσαερίων (°C)	Απόδοση (%)
1	5.8	12	150	75	175	92
2	9.5	16	46	55	215	83



A/A	Συγκέντρωση CO ₂ (%)	Αιθάλη (Κλίμακα Bacharach)	Απόδοση (%)
1	5.5	5	91.7
2	9.9	2	82.8

Άσκηση 3 - Μετρήσεις



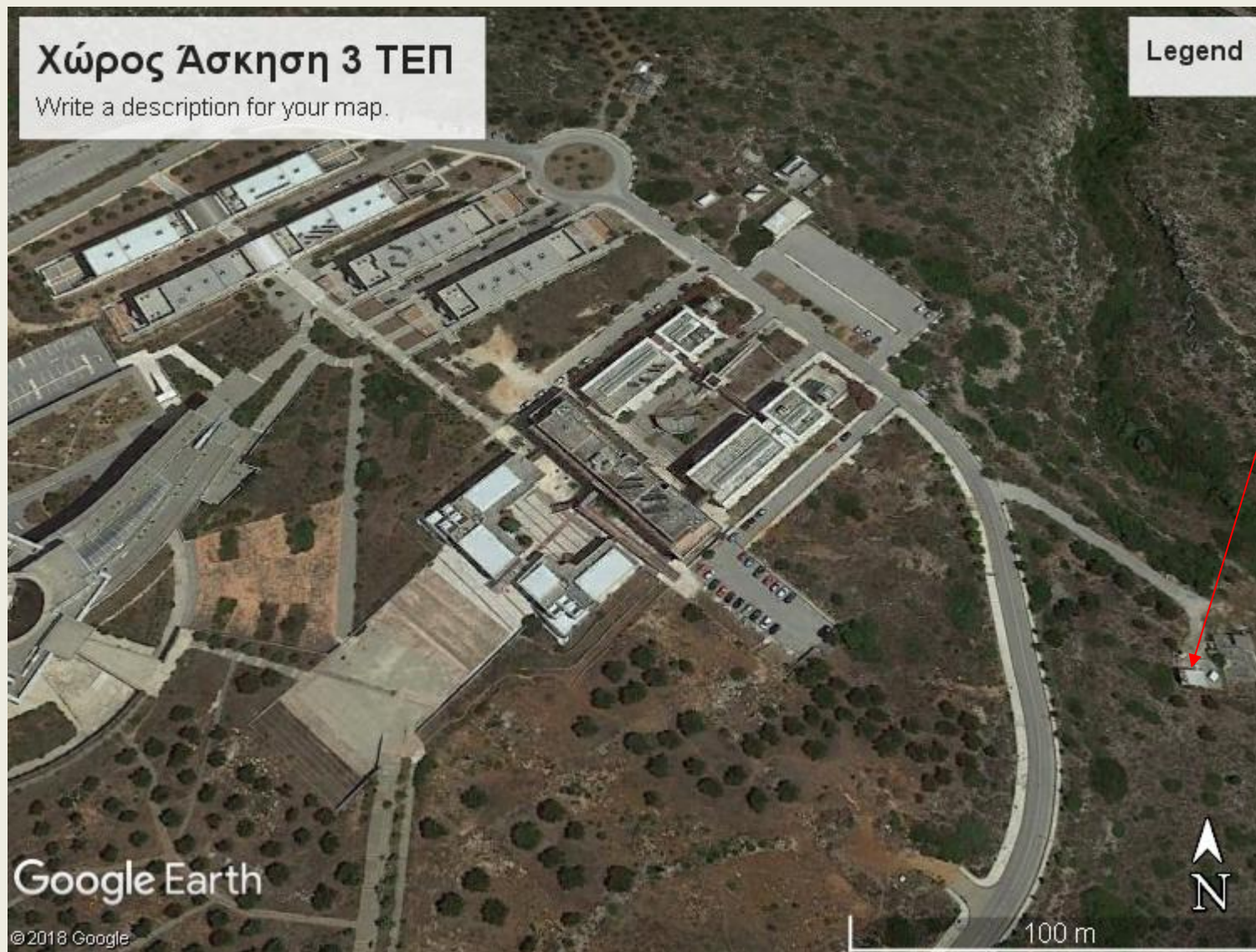
A/A	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	Θερμοκρασία καυσαερίων (°C)	Απόδοση (%)
1	5.8	12	150	75	175	92
2	9.5	16	46	55	215	83

<100 ppm



A/A	Συγκέντρωση CO ₂ (%)	Αιθάλη (Κλίμακα Bacharach)	Απόδοση (%)
1	5.5	5	91.7
2	9.9	2	82.8

Χώρος Εργαστηριακής Άσκησης 3



Εγκατάσταση
Λέβητα

Άσκηση 3 ΤΕΠ

**Ερχόμαστε στην ώρα μας (ΧΧ:00, όχι ΧΧ:15)
και προετοιμασμένοι
(διαβασμένοι + φύλλο εργασίας)!!!!**