

**ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΥΣΗΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΚΠΟΜΠΩΝ**

2008

Στοιχεία της Καύσης

- **Καύσιμο**
- **Στοιχειομετρία καύσης**
- **Λόγος αέρα/καυσίμου**
- **Ισοδύναμος λόγος αέρα (equivalence ratio)**
- **Αέριοι ρύποι από την καύση**

Καύσιμο

● **Αέρια Καύσιμα**

- Φυσικό αέριο
- Αέρια διυλιστηρίου

● **Υγρά Καύσιμα**

- Κηροζίνη
- Βενζίνη
- Αλκοόλη
- Πετρέλαιο

● **Στερεά Καύσιμα**

- Άνθρακας (ανθρακίτης, λιγνίτης, ασφαλτούχος, υποασφαλτούχος)
- Ξύλο

Καύσιμο

● Ιδιότητες Επιλεγμένων Καυσίμων

	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	Άλλοι HC _s	H ₂ S	
Φυσικό αέριο (No.1)	77.7	5.6	2.4	1.8	7.0	Βάρος %

	C	H	N	O	S	
Βενζίνη (No.2)	86.4	12.7	0.1	0.1	0.4-0.7	Βάρος %

	Άνθρακας (%)	Πτητικά συστατικά (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα (%)	Θερμαντική αξία (10 ⁶ J kg ⁻¹)
Ασφαλτούχος (PA)	70.0	20.5	3.3	6.2	33.3
Υποασφαλτούχος (CO)	45.9	30.5	19.6	4.0	23.6
Λιγνίτης (ND)	30.8	28.2	34.8	6.2	16.8

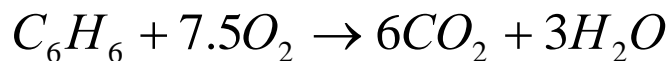
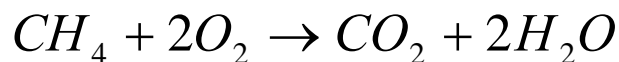
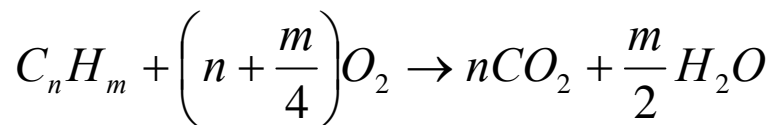
Στοιχειομετρία Καύσης

● Καύση με Οξυγόνο



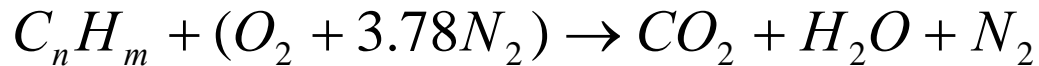
1. Μπορείς να κάνεις το ισοζύγιο της παραπάνω αντίδρασης;
2. Γράψε τις αντιδράσεις καύσης του μεθανίου και του βενζολίου με το οξυγόνο, αντιστοίχως.

● Απάντηση



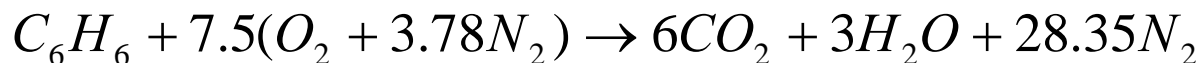
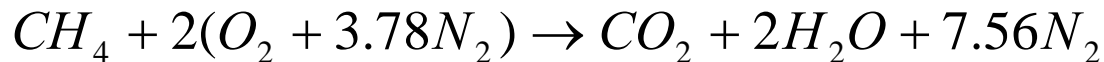
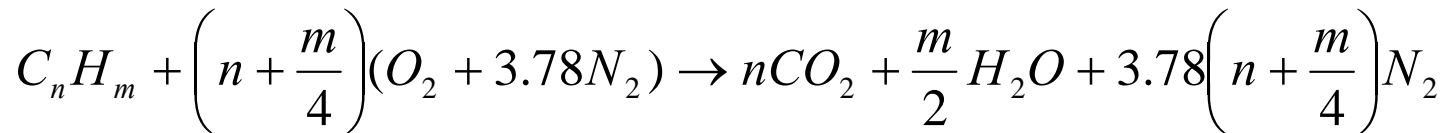
Στοιχειομετρία Καύσης

● Καύση με Αέρα ($O_2=21\%$, $N_2=79\%$)



1. Μπορείς να κάνεις το ισοζύγιο της παραπάνω αντίδρασης;
2. Γράψε τις αντιδράσεις καύσης του μεθανίου και του βενζολίου με τον αέρα, αντιστοίχως.

● Απάντηση



Λόγος Αέρα/Καυσίμου

● Λόγος Αέρα-Καυσίμου (ΑΚ)

$$\mathbf{AK} = m_{\text{αέρας}}/m_{\text{καύσιμο}}$$

Όπου: $m_{\text{αέρας}}$ = μάζα του αέρα στο μίγμα τροφοδοσίας

$m_{\text{καύσιμο}}$ = μάζα του καυσίμου στο μίγμα τροφοδοσίας

Λόγος Καυσίμου-Αέρα: $\mathbf{KA} = m_{\text{καύσιμο}}/m_{\text{αέρας}} = \mathbf{1/AK}$

● Γραμμομοριακός Λόγος Αέρα-Καυσίμου

$$\mathbf{AK}_{\text{mole}} = n_{\text{αέρας}}/n_{\text{καύσιμο}}$$

Όπου : $n_{\text{αέρας}}$ = γραμμομόρια του αέρα στο μίγμα τροφοδοσίας

$n_{\text{καύσιμο}}$ = γραμμομόρια του καυσίμου στο μίγμα τροφοδοσίας



Ποιος είναι ο λόγος Αέρα-Καυσίμου στη στοιχειομετρική καύση του μεθανίου και του βενζολίου, αντιστοίχως;

Λόγος Αέρα / Καυσίμου

● Πλούσιο μίγμα

- περισσότερο καύσιμο απ' ότι είναι απαραίτητο

$$(AK)_{\text{μίγματος}} < (AK)_{\text{στοιχειομετρικό}}$$

● Φτωχό μίγμα

- περισσότερος αέρας απ' ότι είναι απαραίτητο

$$(AK)_{\text{μίγματος}} > (AK)_{\text{στοιχειομετρικό}}$$

Τα περισσότερα συστήματα καύσης δουλεύουν υπό φτωχές συνθήκες. *Γιατί είναι αυτό ευνοϊκότερο;*



Εξετάστε την καύση της μεθανόλης σε ένα κινητήρα. Εάν ο λόγος Αέρα-Καυσίμου στο πραγματικό μίγμα είναι 20, ο κινητήρας δουλεύει υπό πλούσιες ή φτωχές συνθήκες;

Ισοδύναμος Λόγος Αέρα

Ισοδύναμος Λόγος Αέρα: δείχνει την απόκλιση ενός πραγματικού μίγματος από τις στοιχειομετρικές συνθήκες.

$$\phi = \frac{(KA)_{\text{πραγματικό}}}{(KA)_{\text{στοιχειομετρικό}}} = \frac{(AK)_{\text{στοιχειομετρικό}}}{(AK)_{\text{πραγματικό}}}$$



Η καύση του μεθανίου έχει ισοδύναμο λόγο αέρα $\phi=0.8$ σε συγκεκριμένες συνθήκες. Ποιο είναι το ποσοστό επί της εκατό της περίσσειας αέρα (ΠΑ) που χρησιμοποιείται στην καύση;

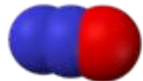
Οξείδια του Αζώτου



Μονοξείδιο του αζώτου, NO



Διοξείδιο του αζώτου, NO₂



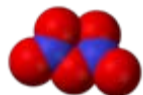
Υποξείδιο του αζώτου, N₂O



Τριοξείδιο του διαζώτου, N₂O₃

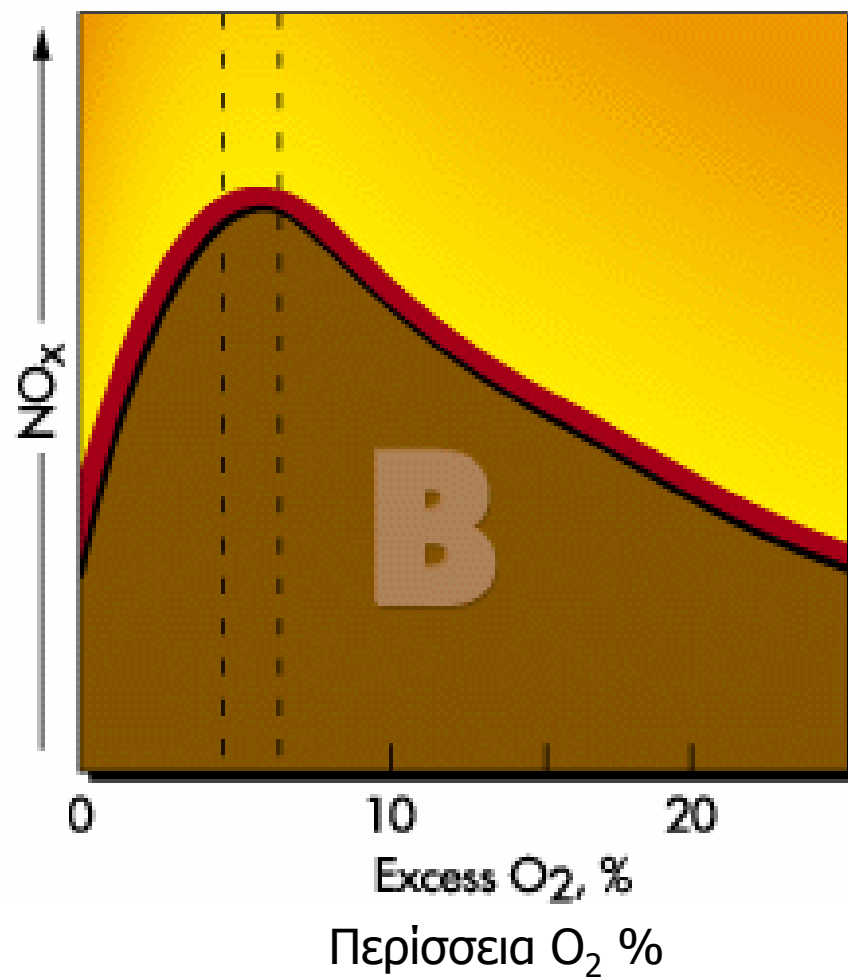
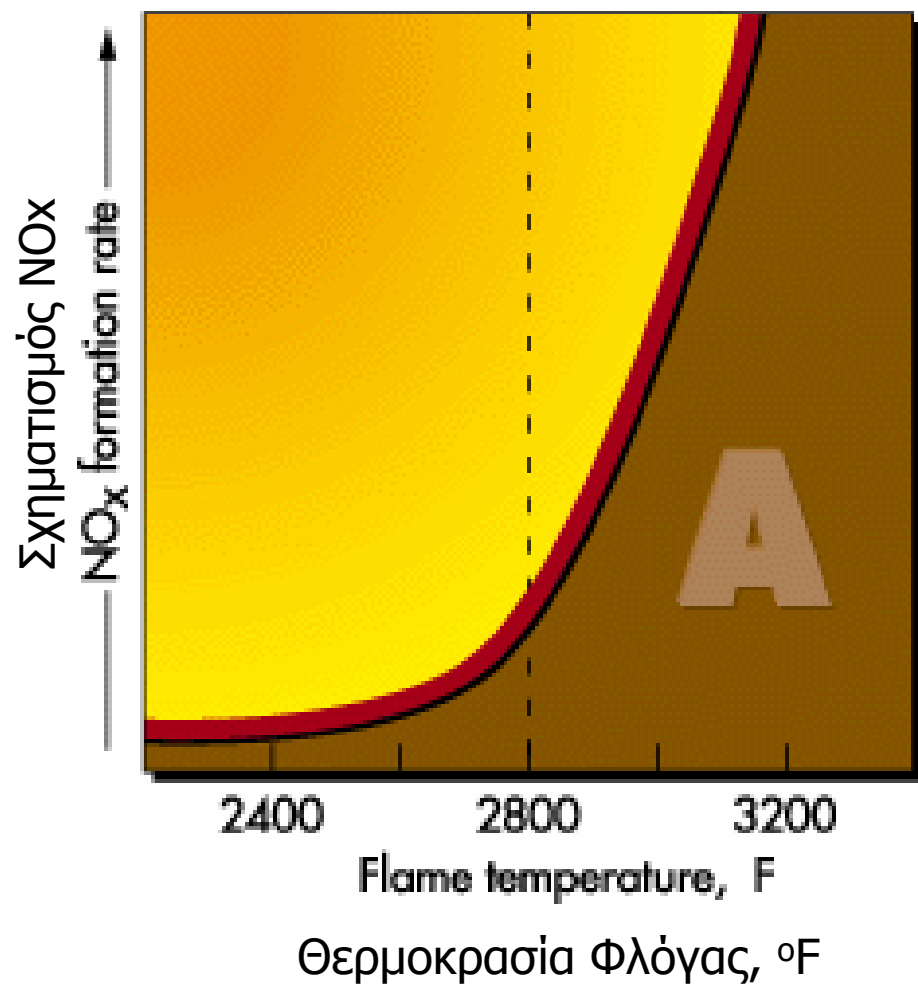


Τετραοξείδιο του διαζώτου, N₂O₄



Πεντοξείδιο του διαζώτου, N₂O₅

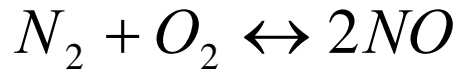
Σχηματισμός NOx



Σχηματισμός των NO_x και του CO κατά την Καύση

● **Θερμικός σχηματισμός (thermal) NO_x**

- Οξείδωση του ατμοσφαιρικού N_2 σε υψηλές θερμοκρασίες



- Ο θερμικός σχηματισμός των NO_x ευνοείται στις υψηλότερες θερμοκρασίες

● **Σχηματισμός NO_x από το καύσιμο (fuel NO_x)**

- Οξείδωση των ενώσεων του αζώτου που περιέχονται στο καύσιμο

● **Σχηματισμός του CO**

- Ατελής καύση
- Διάσπαση του CO_2 σε υψηλές θερμοκρασίες



Σχηματισμός NO_x

(Prompt: αναμενόμενος, άμεσος)

Αυτή η τρίτη πηγή σχηματισμού NO_x αποδίδεται στην αντίδραση του ατμοσφαιρικού αζώτου N_2 , με ρίζες όπως C , CH , και CH_2 τμήματα που προέρχονται από το καύσιμο, όταν ο σχηματισμός δεν μπορεί να εξηγηθεί από τις δύο προαναφερθείσες διαδικασίες. Συμβαίνει στα πρωταρχικά στάδια της καύσης και έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό σταθερών στοιχείων του αζώτου όπως NH , HCN , H_2CN και CN^- που μπορούν να οξειδωθούν σε NO .

Στα καύσιμα που περιέχουν άζωτο, η συγκέντρωση των NO_x που σχηματίζονται με τον μηχανισμό αυτό είναι ιδιαίτερα μικρή και γενικά λαμβάνεται υπόψη μόνο για την επίτευξη εκτιμήσεων ακριβείας των εκπομπών NO_x .

Αέριοι Ρύποι από Καύση Συναρτήσεις του Λόγου Αέρα/Καυσίμου

Internal Combustion Engine

97

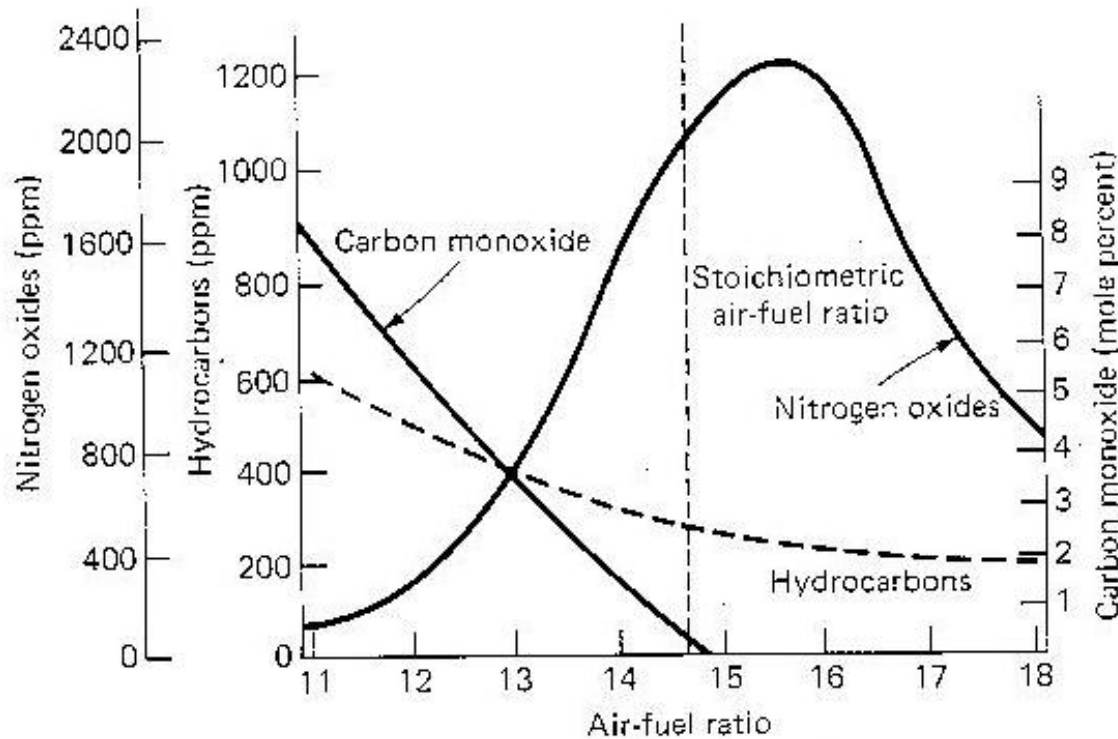
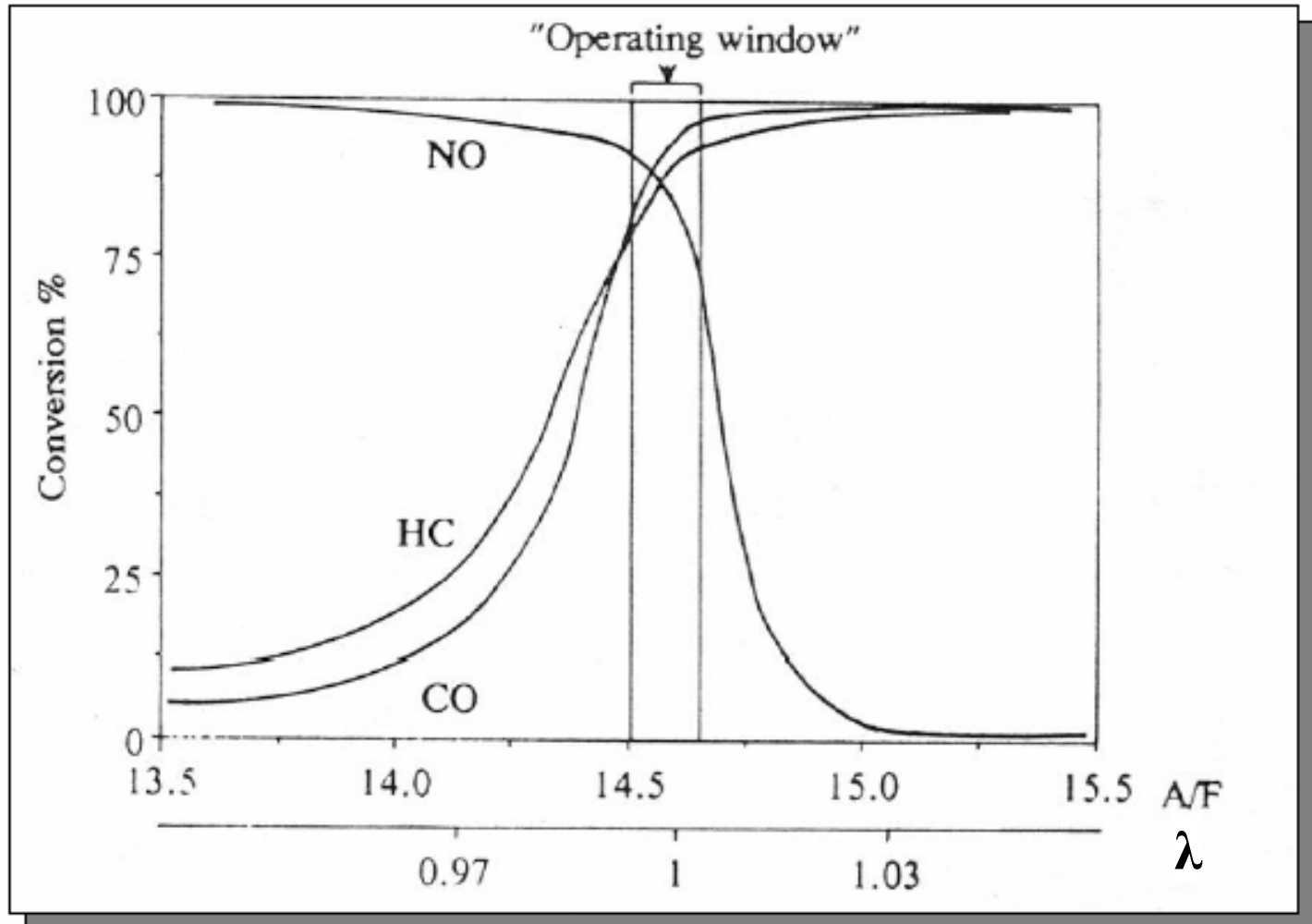


Figure 3.6. Exhaust hydrocarbons, carbon monoxide, and nitric oxide as a function of air-fuel ratio. Πηγή: Seinfeld, J. Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution.



Πως εξηγούνται οι τάσεις των καυσαερίων HCs, CO, και NO_x σε συνάρτηση του λόγου αέρα-καυσίμου;

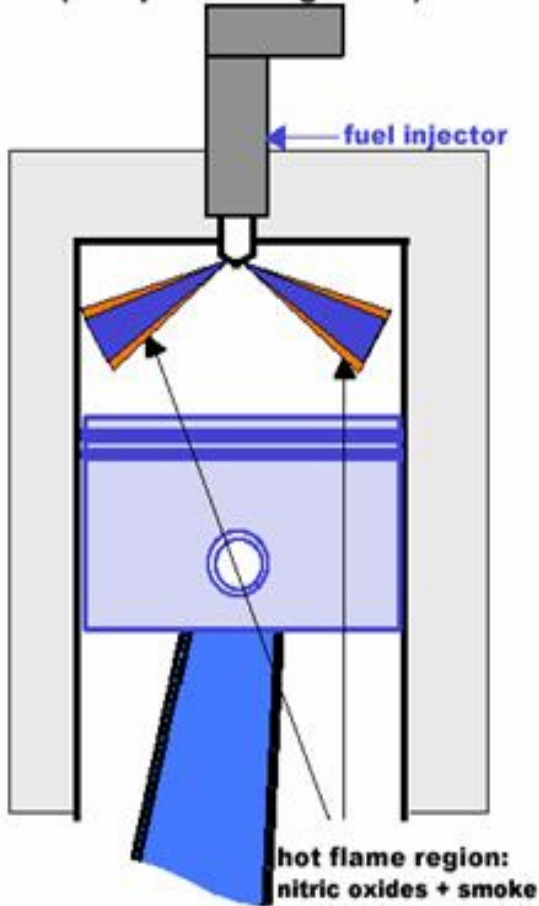
Παράθυρο Λειτουργίας Τριοδικού Καταλυτικού Μετατροπέα Καυσαερίων Αυτοκινήτου



Τύποι Κινητήρων Εσωτερικής Καύσης Με Έμβολο

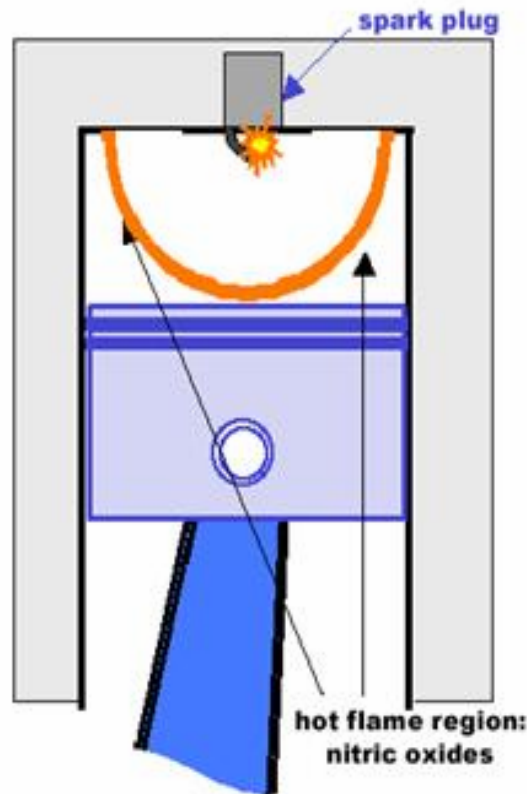
Diesel Engine

(compression ignition)



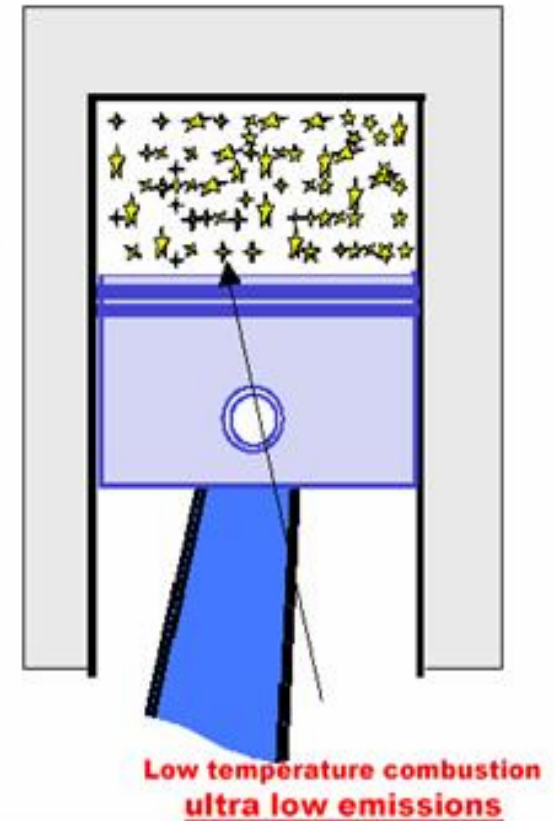
Gasoline Engine

(spark ignited)

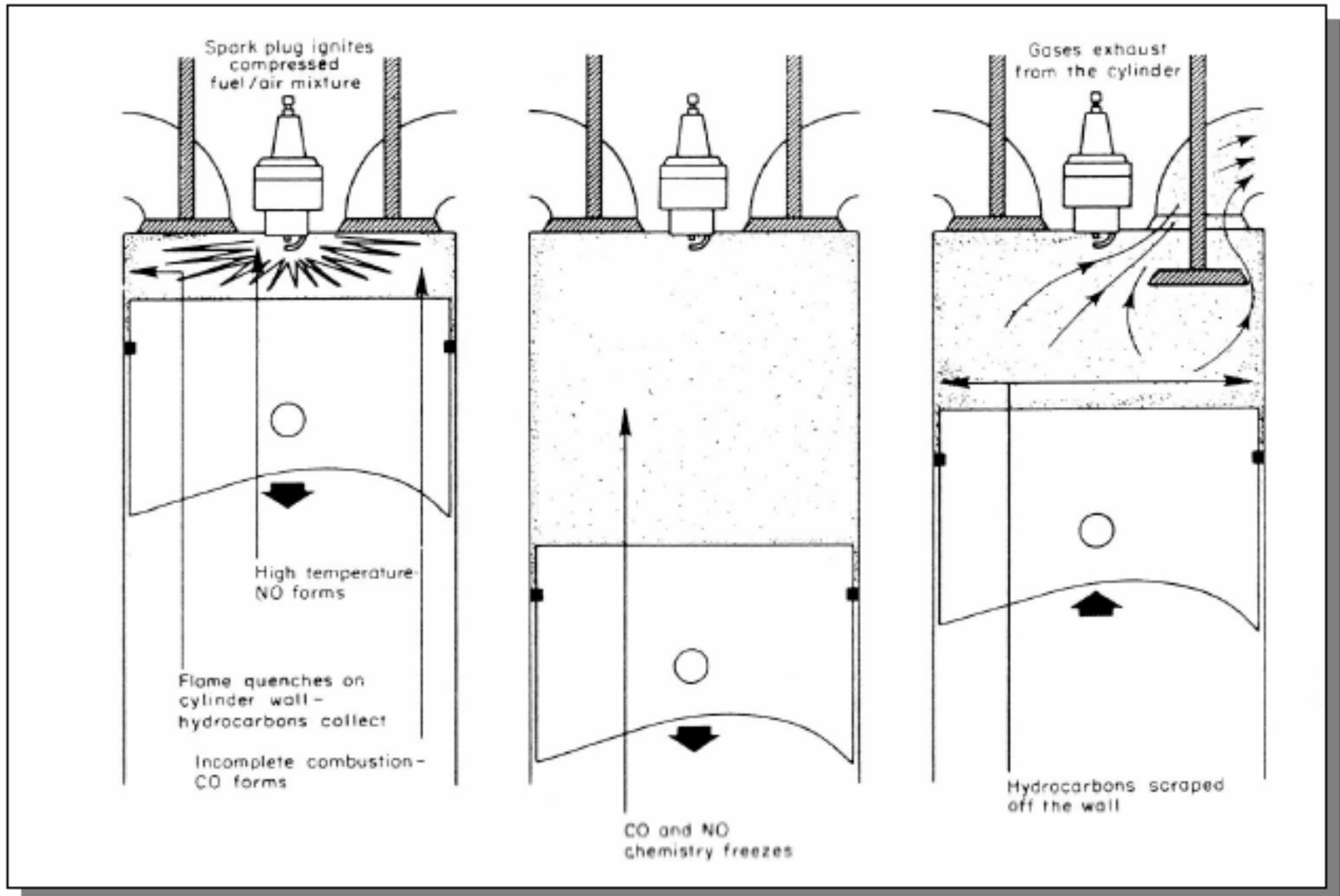


HCCI Engine

(Homogeneous Charge
Compression Ignition)



Σχηματισμός NO, CO και C_xH_y ρύπων σε κινητήρα με ανάφλεξη σπινθήρα



Σχηματισμός CO σε Κινητήρες

- Ο σχηματισμός του CO είναι απαραίτητο ενδιάμεσο στάδιο για τη διαδικασία οξειδωσης των HC
- Όλο το CO δεν μετατρέπεται σε CO₂
- Παράγοντες
 - Όσο πιο κρύα είναι μια μηχανή, τόσο περισσότερη ποσότητα CO θα σχηματιστεί
 - Ο λόγος Αέρα-Καύσιμου είναι παράγοντας «κλειδί»
 - Περισσότερα CO σχηματίζονται εάν το όχημα είναι στο ρελαντί ή κινείται αργά

Εκπομπές άκαυστων ΗC σε Κινητήρες

● Τρεις τρόποι

- Από εξαέρωση
- Στο στροφαλοθάλαμο
- Στην εξατμηση

● Λόγω της επίδρασης της ανομοιογένειας του μίγματος

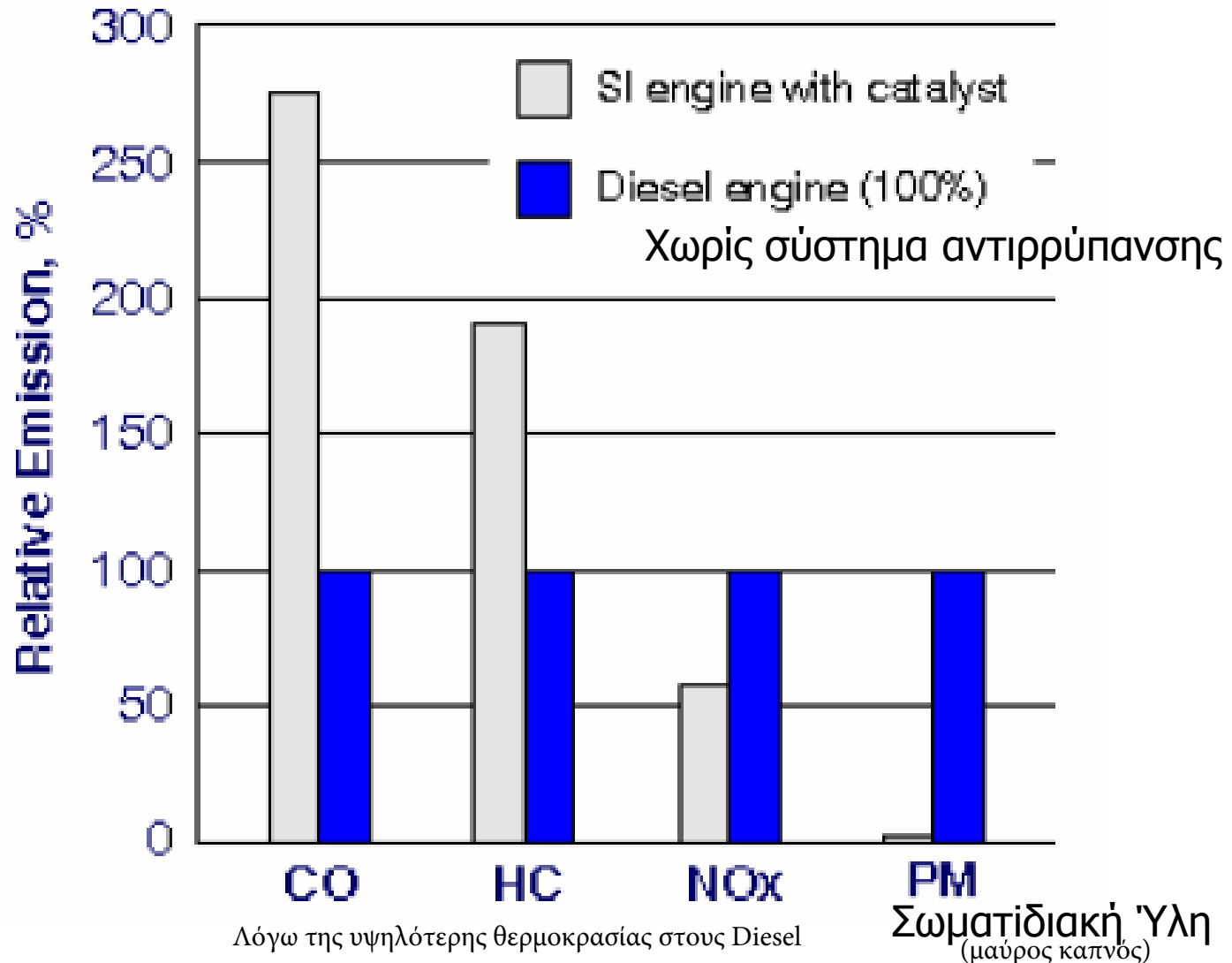
● Σε σημεία χαμηλών θερμοκρασιών

- Κοντά στα τοιχώματα του κινητήρα

● Λόγω ποικιλομορφίας των πτητικών οργανικών ενώσεων

- Οι ΗC δεν αποτελούνται από μία μόνο ένωση
- Παραφίνες (33% όλων των ΗC)
- Ολεφίνες (27%)
- Ακετυλένιο (8%)
- Αρωματικά (32%)

Σύγκριση Εκπομπών Ρύπων Κινητήρες Ανάφλεξης Σπινθήρα και Diesel

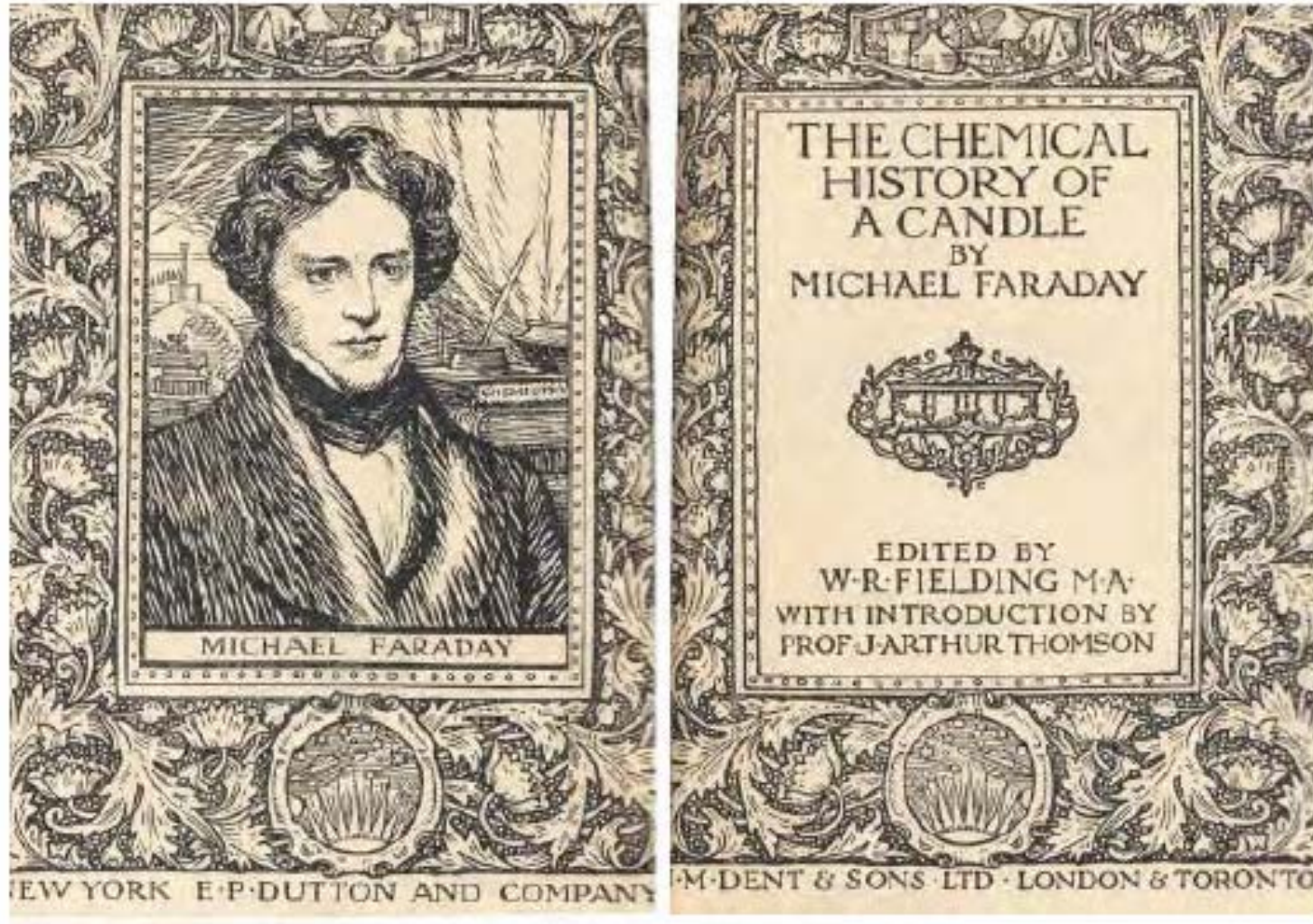


Σωματιδιακή Ύλη (Particulate Matter)

- **Είναι μίγμα από:**
 - Στερεά (αιθάλη, μέταλλα, τέφρα, μεταλλικά άλατα)
 - Υγρά (υδρογονάνθρακες, θειικό οξύ, νερό)
- **Μεταβλητής σύνθεσης**
- **Ελάχιστα δραστική**

Η ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΕΝΟΣ ΚΕΡΙΟΥ

Πρώτη συζήτηση για το σχηματισμό της αιθάλης.
Διαλέξεις του Faraday γύρω στο 1850
(έκδοση του 1920)



Σχηματισμός Σωματιδίων

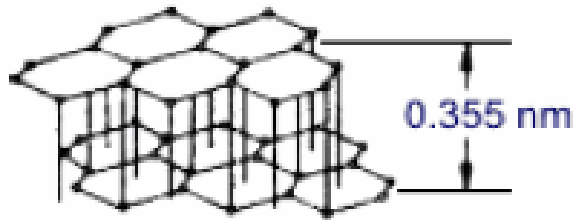
● Κινητήρες ανάφλεξης σπινθήρα

- Μόλυβδος από βενζίνη με μόλυβδο
- Θεικές ενώσεις από το θείο των καυσίμων
 - - δημιουργία στους οξειδωτικούς καταλύτες
 - - $S+O_2=SO_2$, με καταλύτη $SO_3 \rightarrow H_2SO_4$
- Αιθάλη (ύλη πλούσια σε άνθρακα)

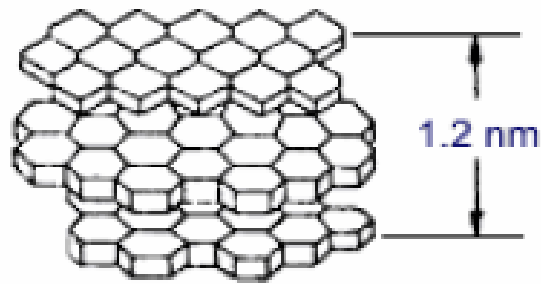
● Κινητήρες Diesel

- Η αιθάλη είναι μεγαλύτερο και πιο σύνθετο πρόβλημα απ' ότι στους κινητήρες ανάφλεξης σπινθήρα
- Θεικές ενώσεις από το θείο των καυσίμων
 - - δημιουργία στους οξειδωτικούς καταλύτες
 - - $S+O_2=SO_2$, με καταλύτη $SO_3 \rightarrow H_2SO_4$

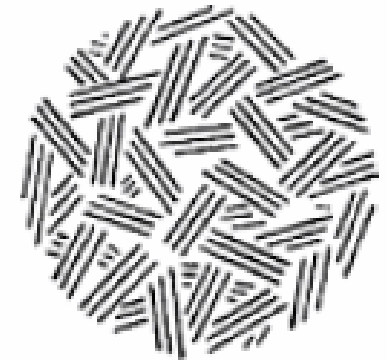
Μικροδομή Σωματιδίων Αιθάλης



Platelet

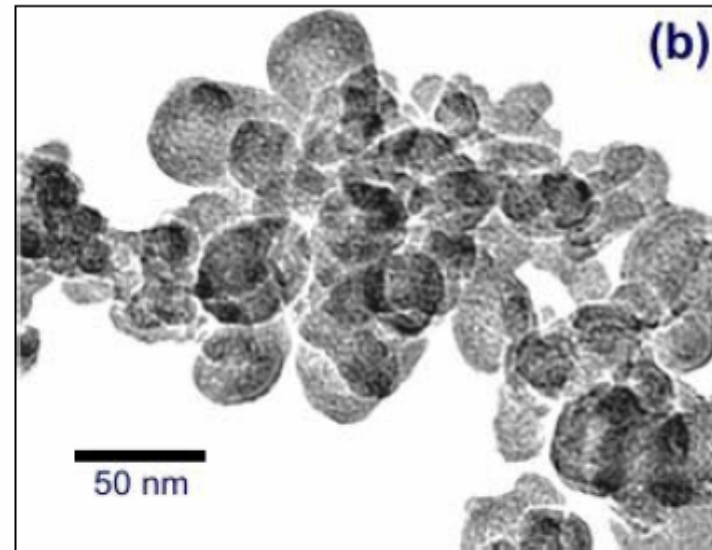
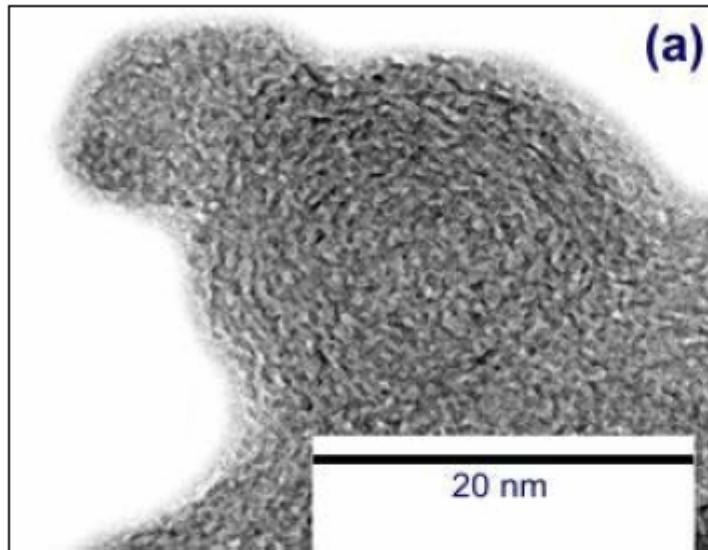


Platelets



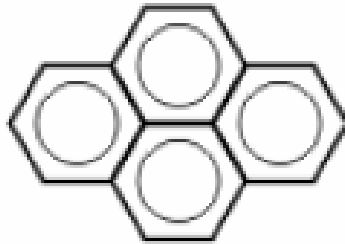
Particle

Δομή πρωτογενούς σωματιδίου άνθρακα/αιθάλης

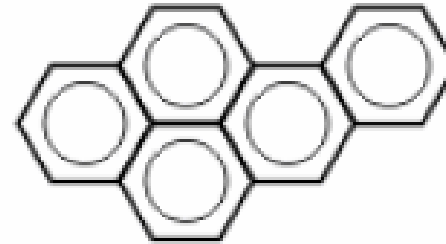


Εικόνες Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου συσσωματώσεων αιθάλης

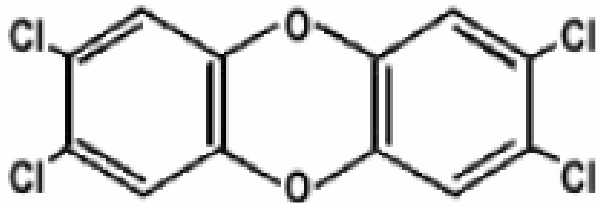
pyrene



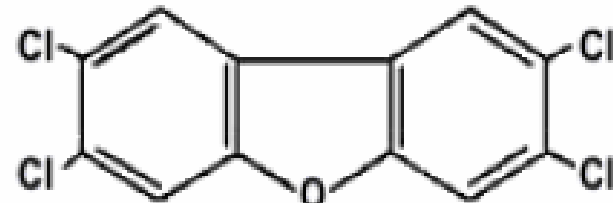
benzo(a)pyrene



**Παράδειγμα Πολυπυρηνικών
Υδρογονανθράκων (PAH)**



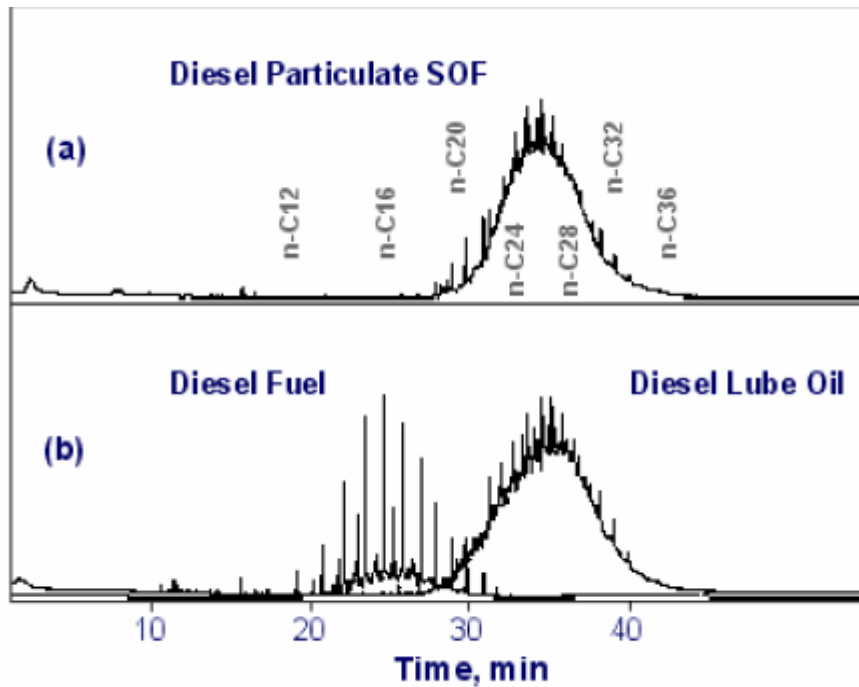
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin



2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofuran

Παράδειγμα ενώσεων διοξινών: TCDD και TCDF

Προσδιορισμένα PAHs σε εκχύλισμα σωματιδίων Diesel [Mills 1983]

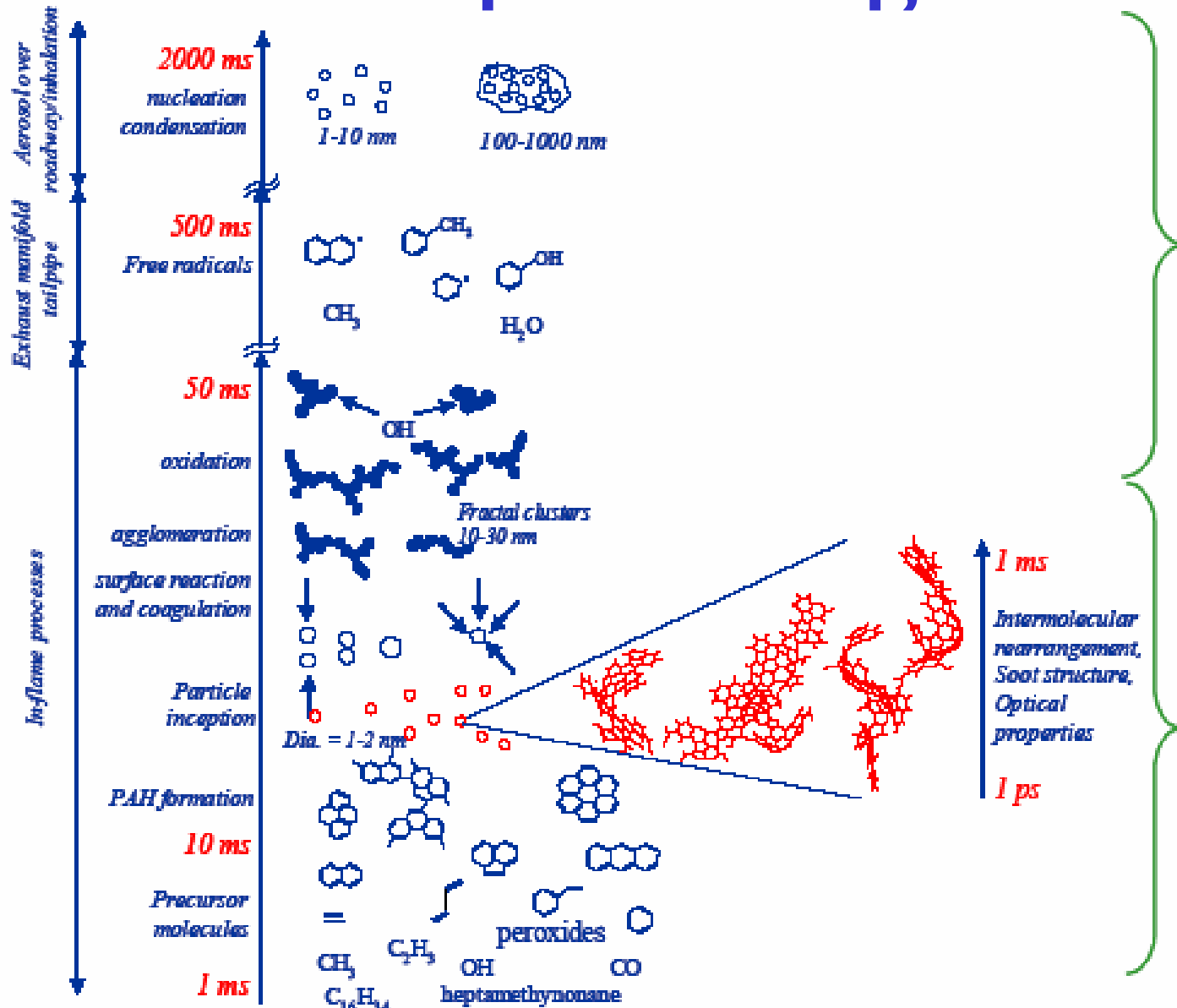


Ανάλυση Διαλυτού Κλάσματος σωματιδίων Diesel

Compound	M*	Compound	M*
Acenaphthylene	152	Pyrene	202
Dibenzofuran	168	Ethylmethylphenanthrene	220
Fluorene	166	Methylfluoranthene	216
Methylfluorene	180	Ethylmethylphenanthrene	220
Methyldibenzofuran	182	Benzo(a)fluorene	216
Dibenzothiophene	184	Methylpyrene	216
Phenanthrene	178	Naphtobenzothiophene	234
Anthracene	178	Ethylpyrene	230
Benzo(h)quinoline	179	Benzo(g,h,i)fluoranthene	228
Acridine	179	Benzo(a)anthracene	228
Dimethylfluorene	194	Chrysene	228
Methyldibenzothiophene	198	Methylnaphtobenzothiophene	248
Dimethylfluorene	190	Methylchrysene	242
Methyldibenzothiophene	198	Binaphtyl	254
Methylphenanthrene	192	Benzo(a)fluoranthene	252
4h-Cyclopenta(d,e,f)phenanthrene	190	Benzo(e)pyrene	252
Ethyldibenzothiophene	212	Benzo(a)pyrene	252
Ethylphenanthrene	206	Dibenz(a,h)anthracene	278
Fluoranthene	202	Benzo(b)chrysene	278
Benzacenaphthylene	202	Benzo(g,h,i)perylene	276
Benzo(d,e,f)dibenzothiophene	208	Coronene	380

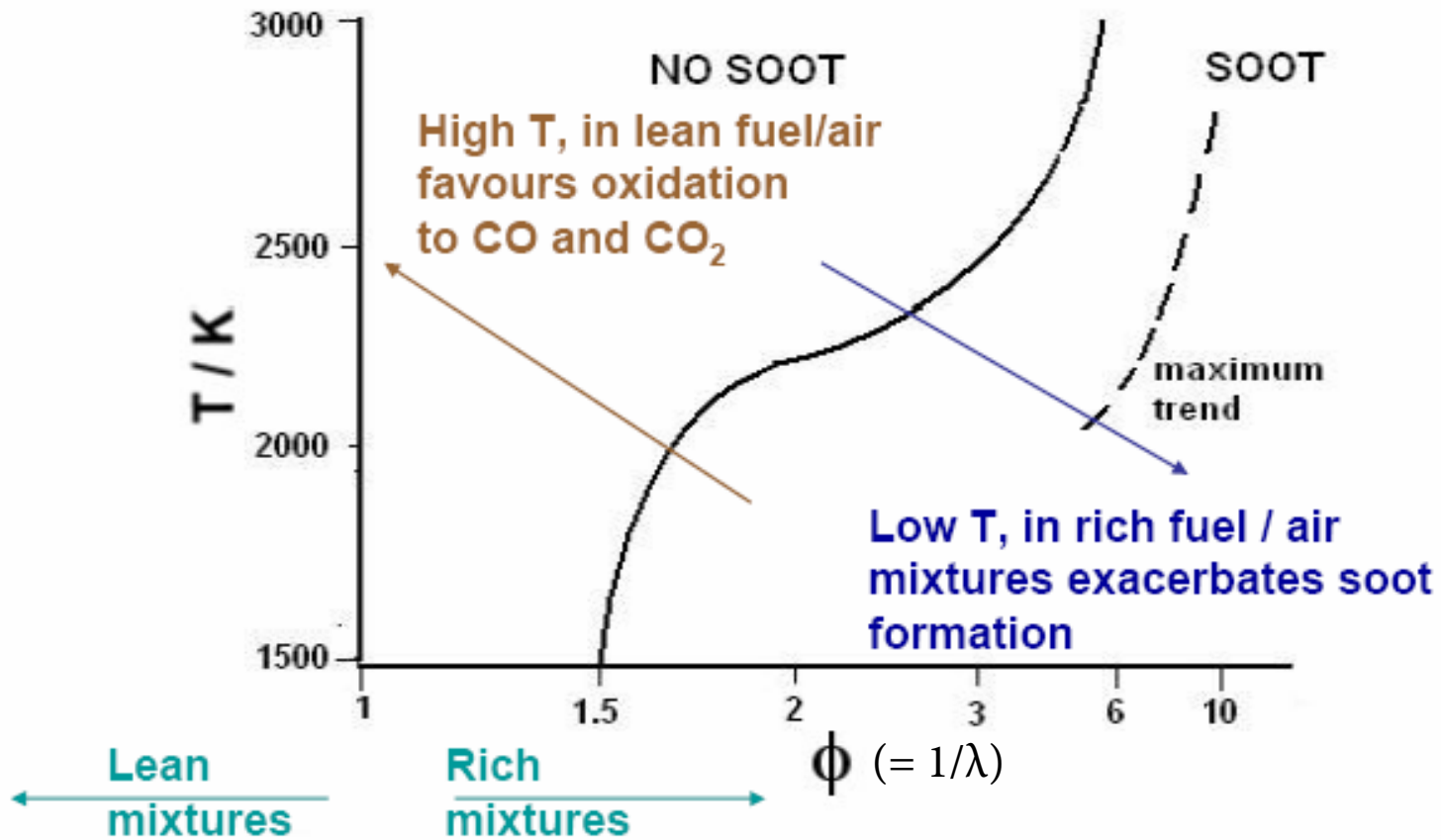
* M - Molecular Mass

Μηχανισμός Σχηματισμού Σωματιδιακών Εκπομπών Αιθάλης

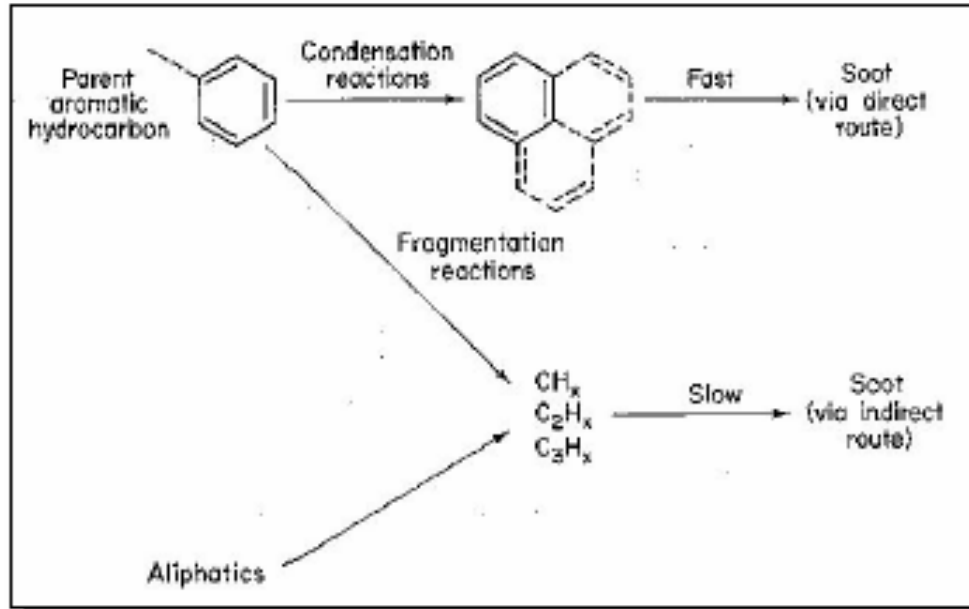


Σχηματισμός Αιθάλης σε Προαναμεμιγμένες Φλόγες

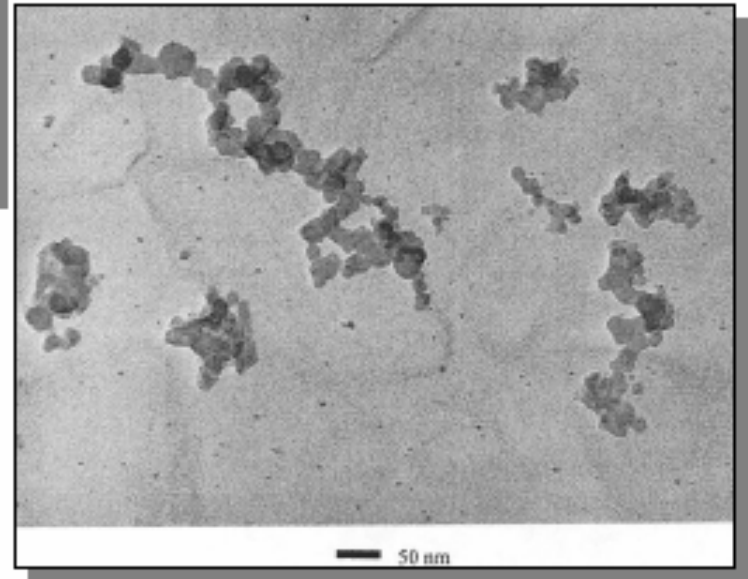
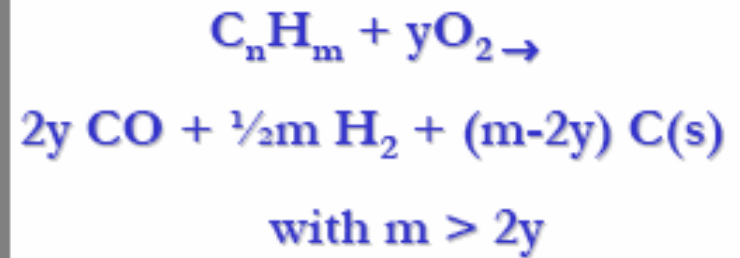
Μέθοδοι σχηματισμού αιθάλης σε συνθήκες προανάμιξης
(after Homann, Comb. Sci. Tech., 33, 1, 1983)



Σχηματισμός Σωματιδίων Αιθάλης



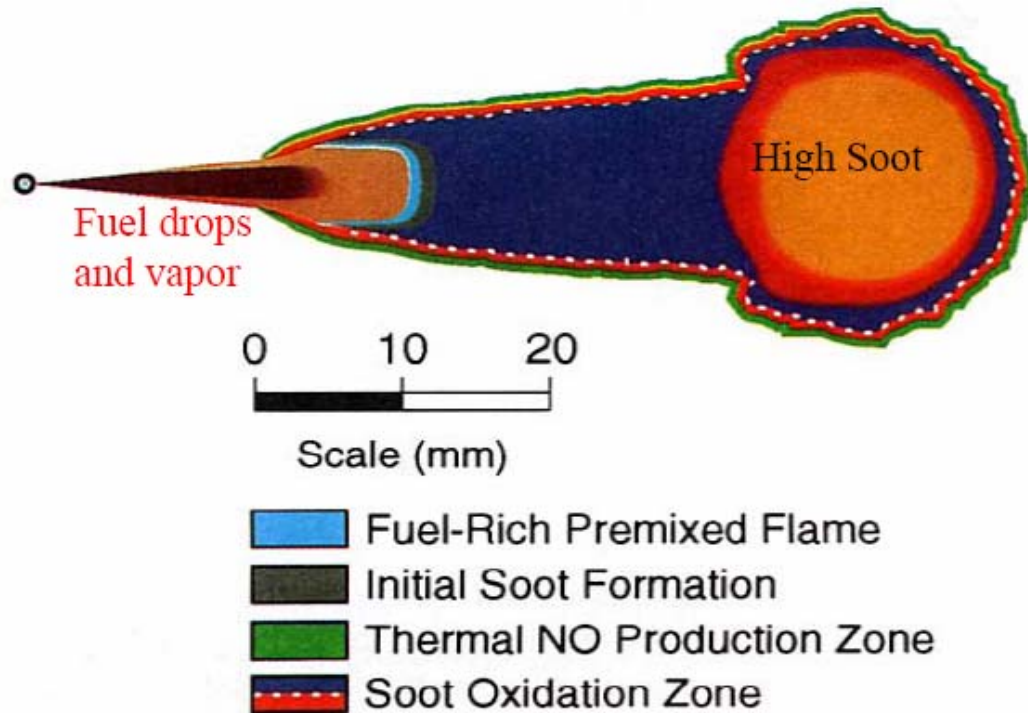
Αιθάλη



↑ Δρόμοι σχηματισμού αιθάλης

Αιθάλη από καυσαέρια κινητήρα Diesel →

Σχηματισμός Σωματιδίων Αιθάλης Diesel

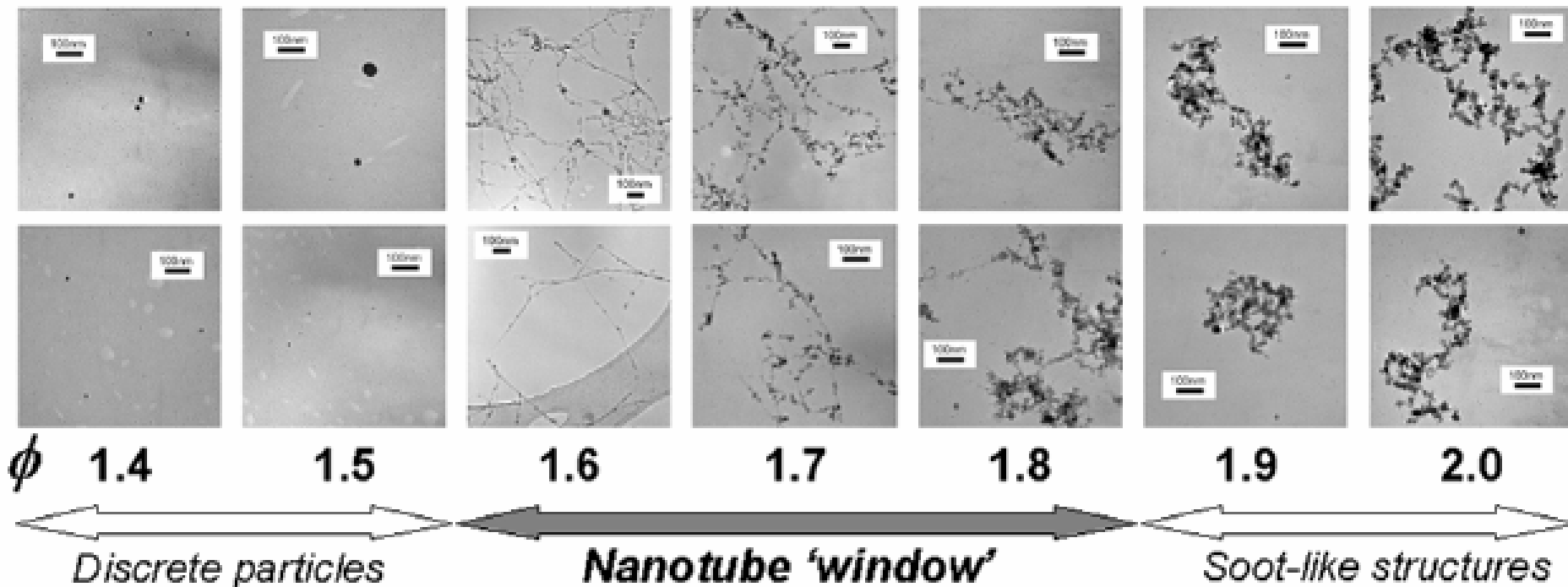


[1] "A Conceptual Model of DI Diesel Combustion Based on Laser-Sheet Imaging", John E. Dec, SAE 970873.

Η μορφή μιας φλόγας που προέρχεται από καύσιμο diesel είναι πολύπλοκη. Στον πυρήνα του **πίδακα (jet)**, υπάρχει περισσότερο καύσιμο από αυτό που μπορεί να οξειδωθεί από το διαθέσιμο αέρα (περιοχή πλούσια σε καύσιμο). Γύρω από την εξωτερική περιοχή (λευκή) υπάρχει σχεδόν καθόλου καύσιμο. Το μεγαλύτερο μέρος των αντιδράσεων γίνεται στα όρια.

Μεταβολή του Λόγου Καύσιμο-Αέρας σε Δεδομένη Απόσταση ή Χρόνο μέσα στη Φλόγα

70 mm ή 53 ms



Height et al., Carbon 42 (2004) 2295-2307

Πρότυπες Μέθοδοι για Ρύπους

Ρύποι	Πρότυπη Μέθοδος
SO ₂	Φασματοφωτομετρία
NO ₂	Χημειοφωταύγεια αέριας φάσης
CO	Φωτομετρία μη διαχεόμενων υπερύθρων
O ₃	Χημειοφωταύγεια
NMHCs	Αέρια χρωματογραφία- FID (flame ionization detection)
PM ₁₀	Περισσότερες από μία πιστοποιημένες μέθοδοι
PM _{2.5}	Περισσότερες από μία πιστοποιημένες μέθοδοι

Τεχνικές Μέτρησης Εκπομπών Καυσαερίων

Τεχνικές Μέτρησης

- Τεχνικές για μέτρηση ρύπων στα απαέρια εξάτμισης κινητήρα
- Δυνατότητα εφαρμογής των τεχνικών για ανάλυση σε Κύκλο Οδήγησης (Driving Cycle)
- Τεχνικές μέτρησης εκπομπών αιθάλης (καπνού)

Τεχνικές Μέτρησης της Αιθάλης: Μετρητές Αιθάλης Τύπου Φίλτρου

- Στην εν λόγω τεχνική, η αιθάλη συγκρατείται πάνω σε κάποιο φίλτρο, το οποίο εν συνεχεία αναλύεται με ανάκλαση φωτός από το «βαμμένο» με αιθάλη φίλτρο.
- Μια τυπική μονάδα αποτελείται από μια αντλία δειγματοληψίας (κινητή-πηγή) που αντλεί σταθερούς όγκους καυσαερίου με σταθερό ρυθμό μέσα από ένα χάρτινο φίλτρο.
- Ο βαθμός φωτοσκίασης αυτού το φίλτρου στη συνέχεια εκτιμάται φωτο-ηλεκτρικά και αποτελεί μια ένδειξη για την πυκνότητα της αιθάλης.
- Αυτού του τύπου οι μετρητές παρέχουν μια «σημειακή» μέτρηση της πυκνότητας της αιθάλης.

Τεχνικές Μέτρησης της Αιθάλης: Τύπου Απορρόφησης Φωτός

- Στην εν λόγω τεχνική, μια πηγή φωτός και ένα φωτοκύτταρο είναι ευθυγραμμισμένες κατά μήκος ενός διάκενου στον χώρο του οποίου είναι παρόν αέριο μίγμα εξάτμισης. Η διαφορά στην ένταση φωτός, όπως αυτή καταγράφεται από το φωτοκύτταρο, όταν στο διάκενο εισέρχονται αέριο εξάτμισης και καθαρός αέρας αντίστοιχα, αποτελεί καταγραφή της πυκνότητας του καπνού
- Μια τυπική μονάδα αποτελείται από μια πηγή φωτός και ένα φωτοκύτταρο, ευθυγραμμισμένα κατά μήκος του πλουμιού στην έξοδο της εξάτμισης. Στα προβλήματα των μετρητών αυτού του τύπου συγκαταλέγεται το θόλωμα των φακών λόγω της εναπόθεσης και της συμπύκνωσης της αιθάλης
- Στην ίδια κατηγορία ανήκουν οι μετρητές τύπου Hartridge. Αυτοί αντλούν δείγμα από το ρεύμα της εξάτμισης μέσα στο οπτικό μονοπάτι ενός συστήματος λάμπας-φωτοκυττάρου. Το φως από μια πηγή, διέρχεται μέσω ενός σωλήνα καθορισμένου μήκους, που περιέχει το αέριο δείγμα της εξάτμισης ενώ στο άλλο άκρο του το διερχόμενο φως μετράται από κατάλληλη συσκευή

Τεχνικές Μέτρησης της Αιθάλης: Τύπου Απορρόφησης Φωτός

Το κλάσμα φωτός που διέρχεται μέσω της αιθάλης, (T) και το μήκος της διαδρομής του φωτός (LI) συνδέονται με τον νόμο Beer-Lambert:

$$T = e^{-K_{ac}LI}$$

Όπου

- $K_{ac} = nA_{\theta}$ και ο K_{ac} είναι ο συντελεστής οπτικής απορρόφησης του σκουρόχρωμου σώματος ανά μονάδα μήκους
- n , είναι το πλήθος των σωματιδίων αιθάλης ανά μονάδα όγκου, A , η μέση προβαλλόμενη επιφάνεια του κάθε σωματιδίου και θ , η ειδική απορρόφηση ανά σωματίδιο

Η συμπύκνωση και η απόθεση αιθάλης στην πηγή φωτός και στο φωτοκύτταρο αποτελούν πηγές σφαλμάτων

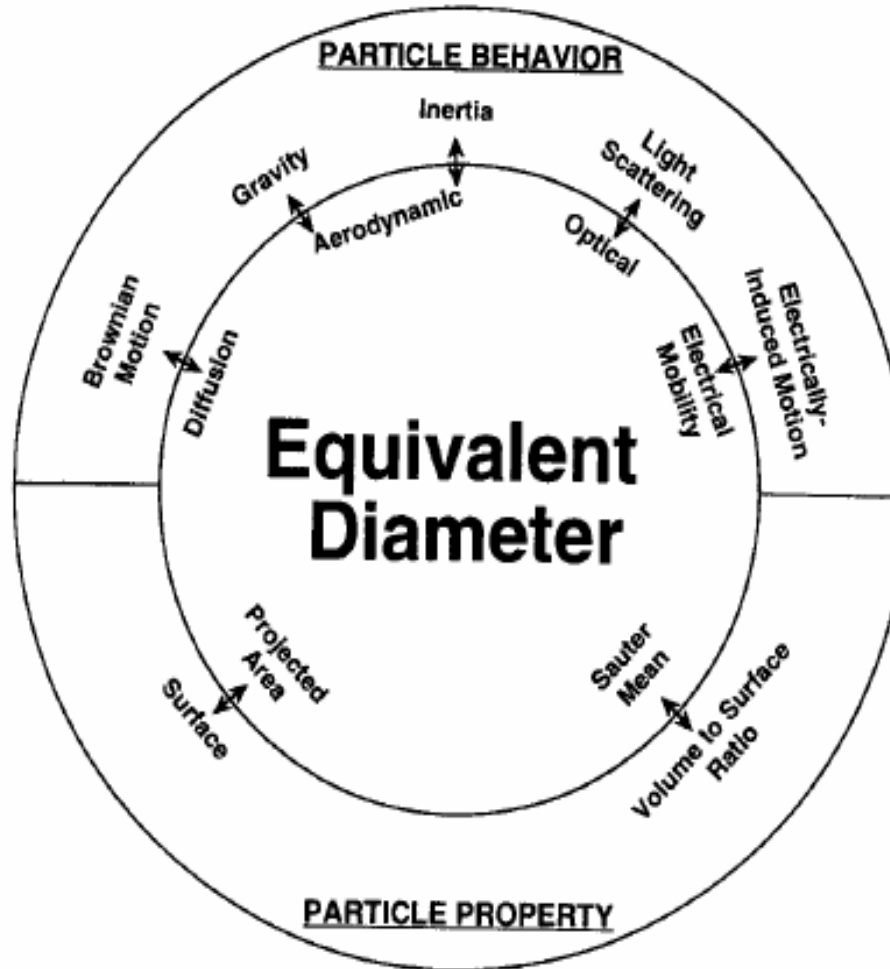
Εξελιγμένες συσκευές του ίδιου τύπου χρησιμοποιούν για αναφορά ένα ζεύγος πηγής-φωτοκυττάρου με τον ενδιάμεσο χώρο πληρωμένο από καθαρό αέρα

Τεχνικές Μέτρησης της Αιθάλης: Τύπου Διασποράς Φωτός

- Τα όργανα αυτά μετράνε την κυανόλευκη αιθάλη, και αυτό γιατί μετράνε το φώς που ανακλάται από τα σωματίδια των αερολυμάτων.
- Μια τυπική μονάδα αποτελείται από μια δέσμη φωτός που διέρχεται διαμέσου του πλουμιού/του καπνού της εξατμίσης, με το φωτοκύτταρο να βρίσκεται υπό ορθή γωνία με την ακτίνα.
- Το φώς που προσλαμβάνεται από το φωτοκύτταρο αποτελεί την ανάκλαση των κυανόλευκων σωματιδίων της αιθάλης.

«Μέγεθος» Σωματιδίων

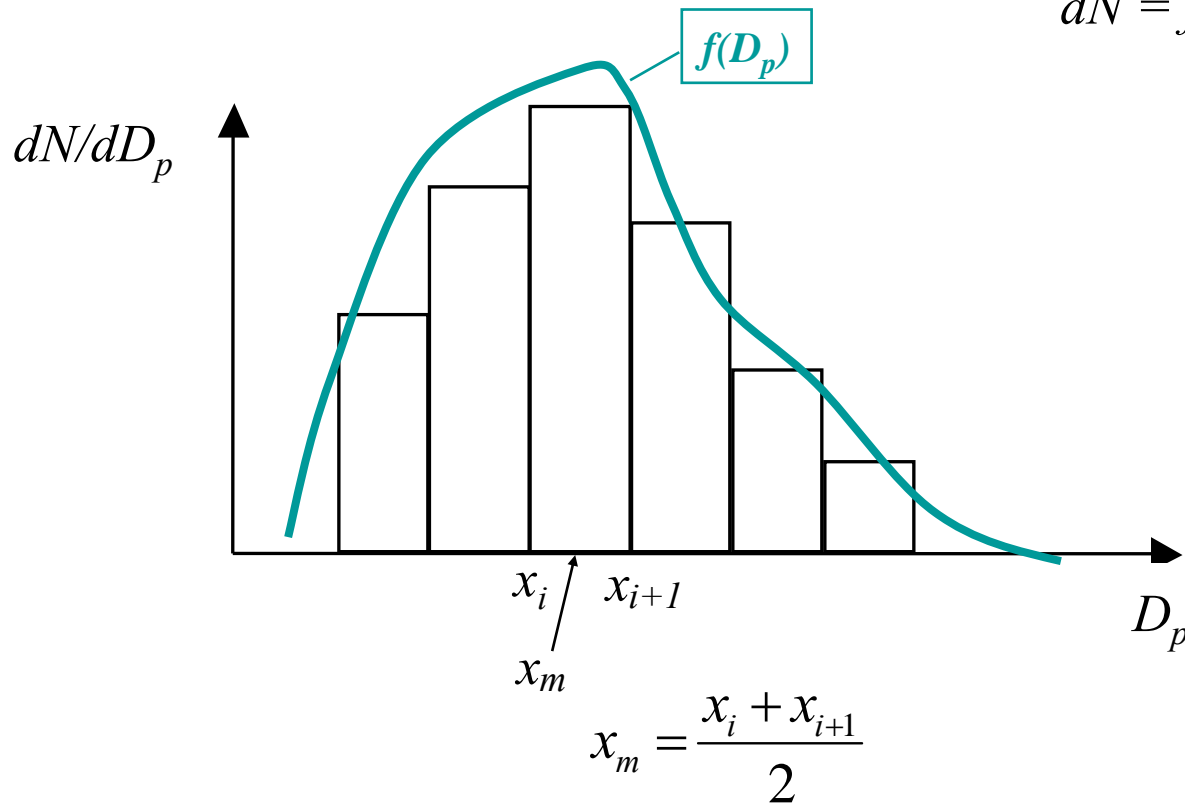
Μια ιδιότητα που ορίζεται «λειτουργικά» (με βάση τη μέθοδο μέτρησης)



Κατανομή «Μεγέθους» Σωματιδίων: Συνεχής Κατανομή Πυκνότητας Πιθανότητας

Probability Density Function
(has same units as histogram but not same value)

$$dN = f(D_p) dD_p$$

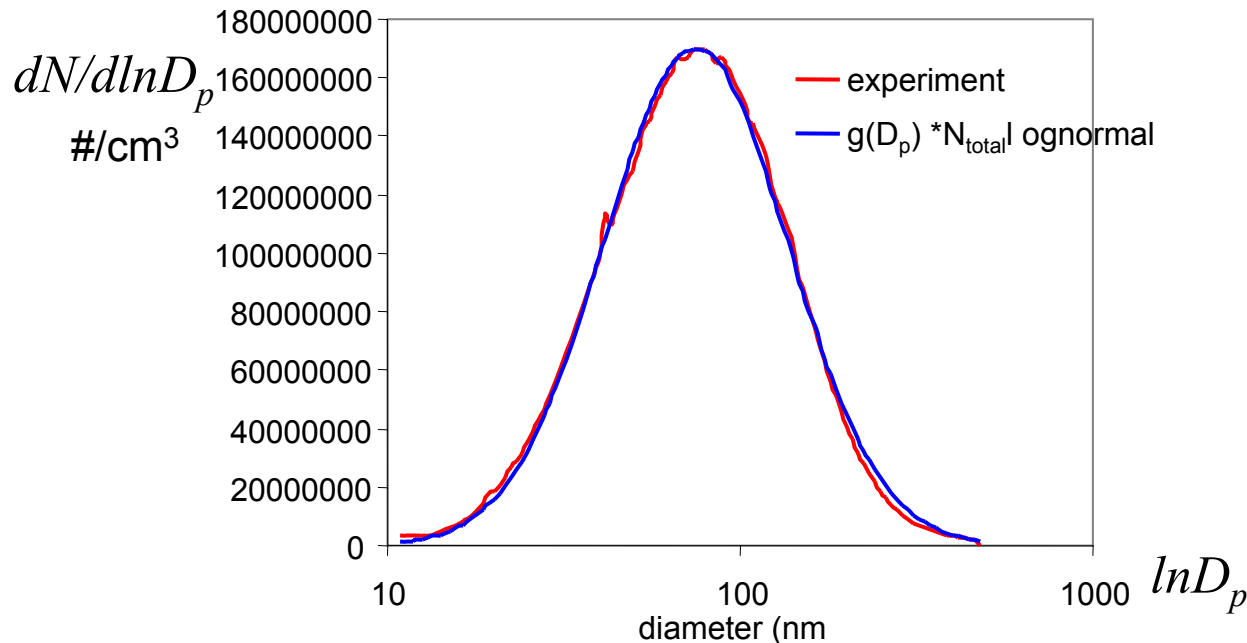


Where **N**: number could be **S**: area, **V**: volume, **M**: mass

Κατανομή «Μεγέθους» Σωματιδίων: Λογαριθμοκανονική Κατανομή

Lognormal distributions approximate coagulation-aged aerosol populations!

$$dN = g(D_p) d \ln D_p \quad g(D_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \ln \sigma_g}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln D_p - \ln D_g}{\ln \sigma_g} \right)^2 \right]$$



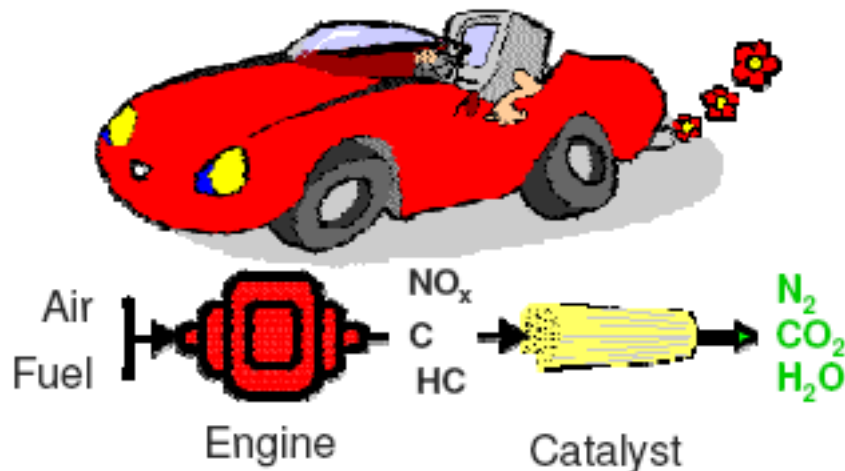
Where **N**: number could be **S**: area, **V**: volume, **M**: mass

Συστήματα Αντιρρύπανσης Οχημάτων

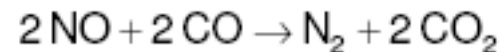
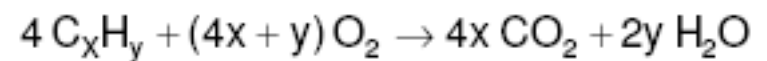
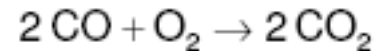
Καταλυτικός Μετατροπέας

Catalytic converter

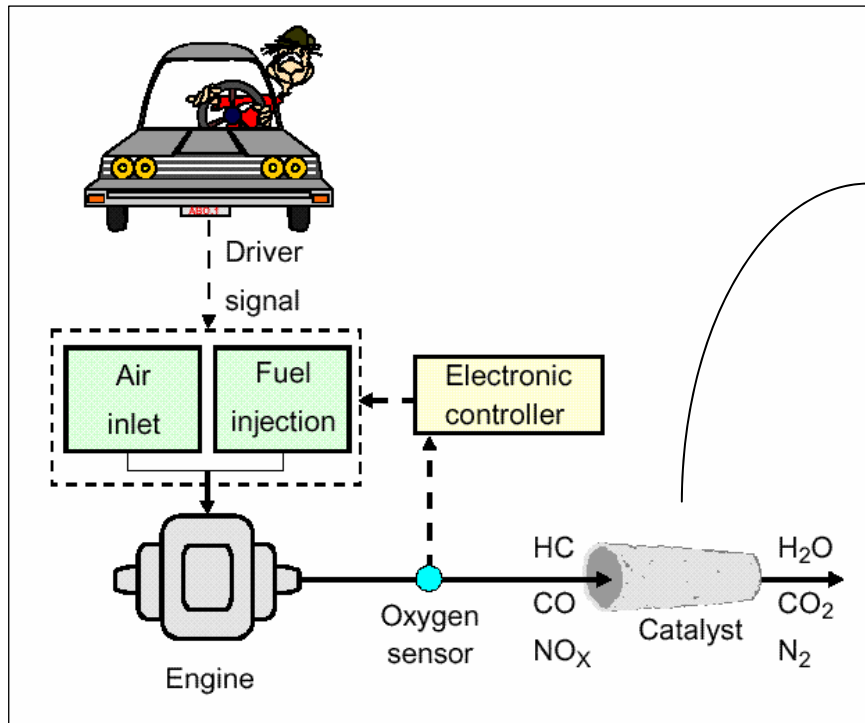
A Catalytic converter removes pollutants in the exhaust gas to less harmful products.



The most important reactions in gasoline aftertreatment:

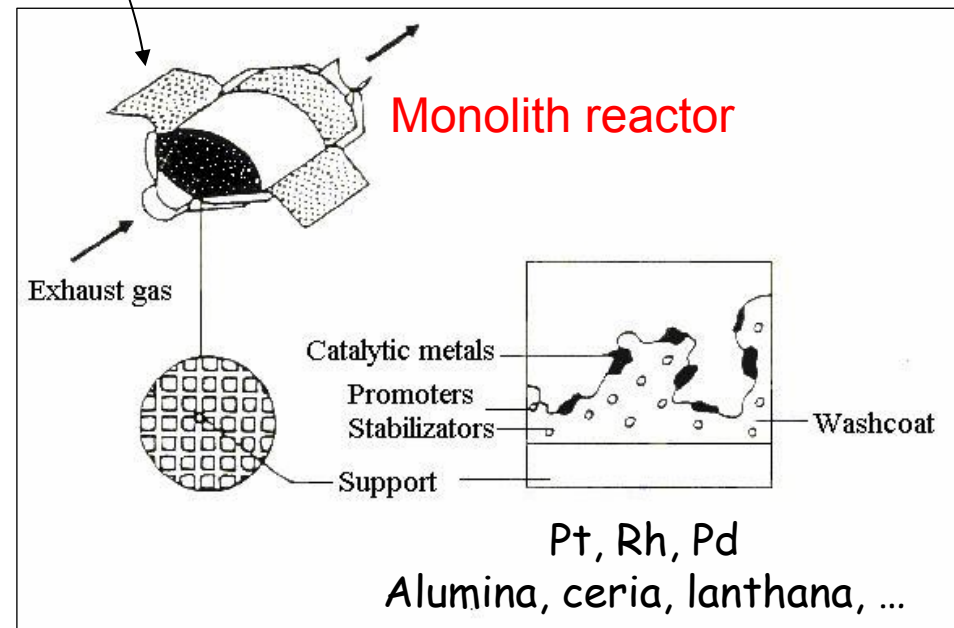
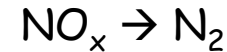


Τριοδικός καταλυτικός μετατροπέας (Three-way catalytic converter, TWC)

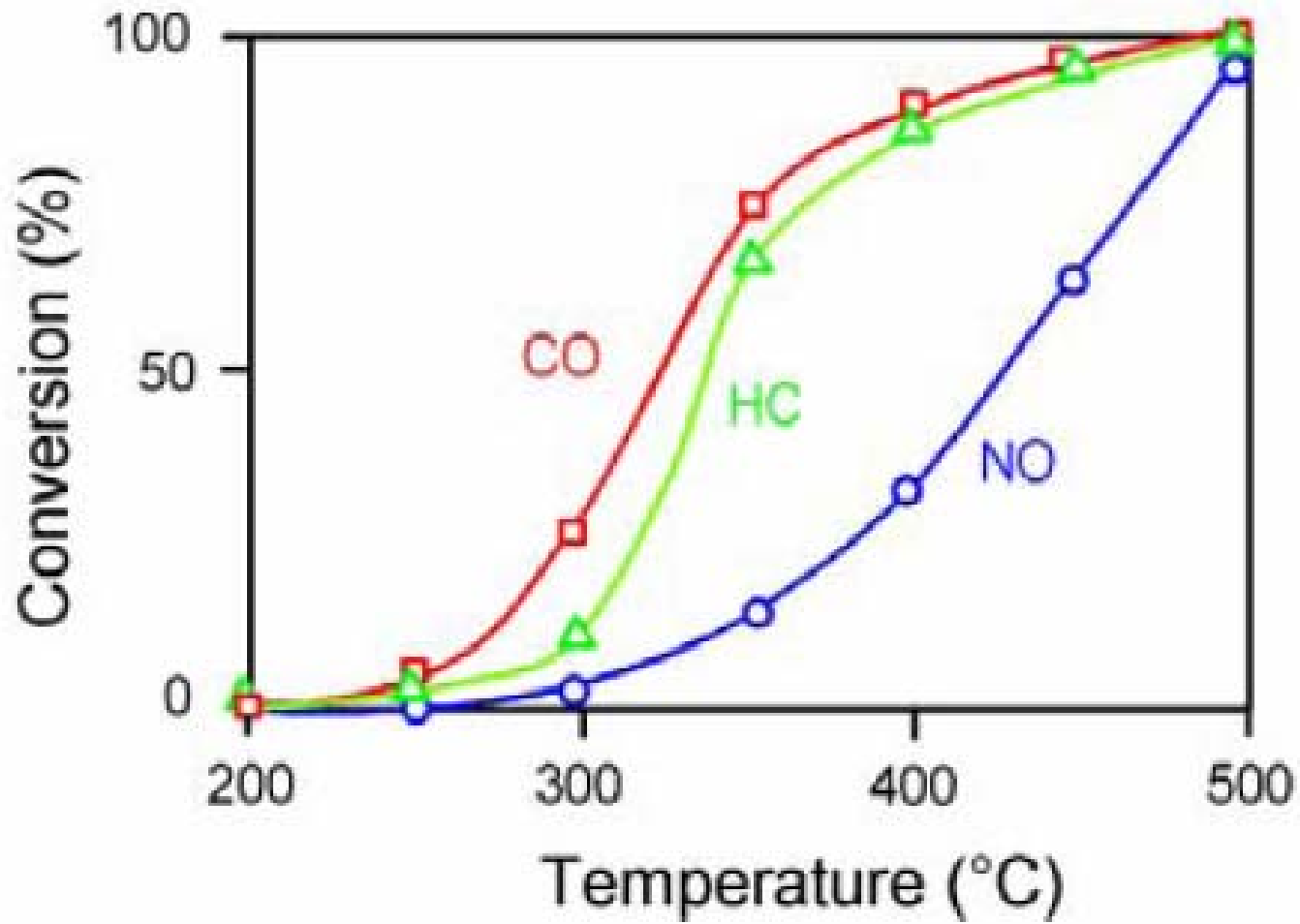


Most widely deployed heterogeneous catalyst in the world – you probably own one!

"Three-way" Catalyst



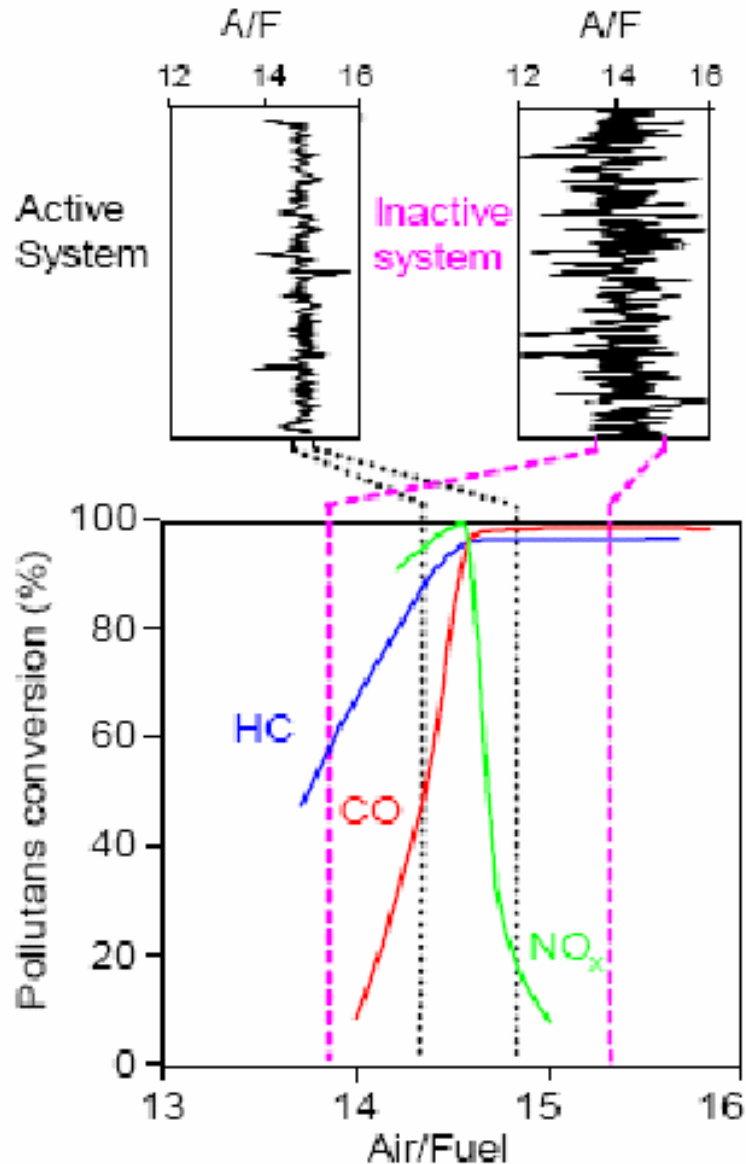
Τυπική καμπύλη light-off για ένα TWC



Ιδιότητες ενός ιδανικού καταλύτη (έτος 2005)

- **Ισχυρά δραστικός**
 - Ταχύτητα χώρου (GHSV)=50.000-150.000 h⁻¹
20-50 λίτρα εξάτμισης για μετατροπή (>98%) σε 1 sec ανά λίτρο καταλύτη
- **Ισχυρά επιλεκτικό**
 - Μόνο H₂O, CO₂ και N₂ ως προϊόντα
- **Θερμικά σταθερό**
 - Θερμοκρασίες λειτουργίας 300-1100°C
- **Μεγάλη διάρκεια ζωής**
 - 180.000 km/ On-board diagnostics (OBD)

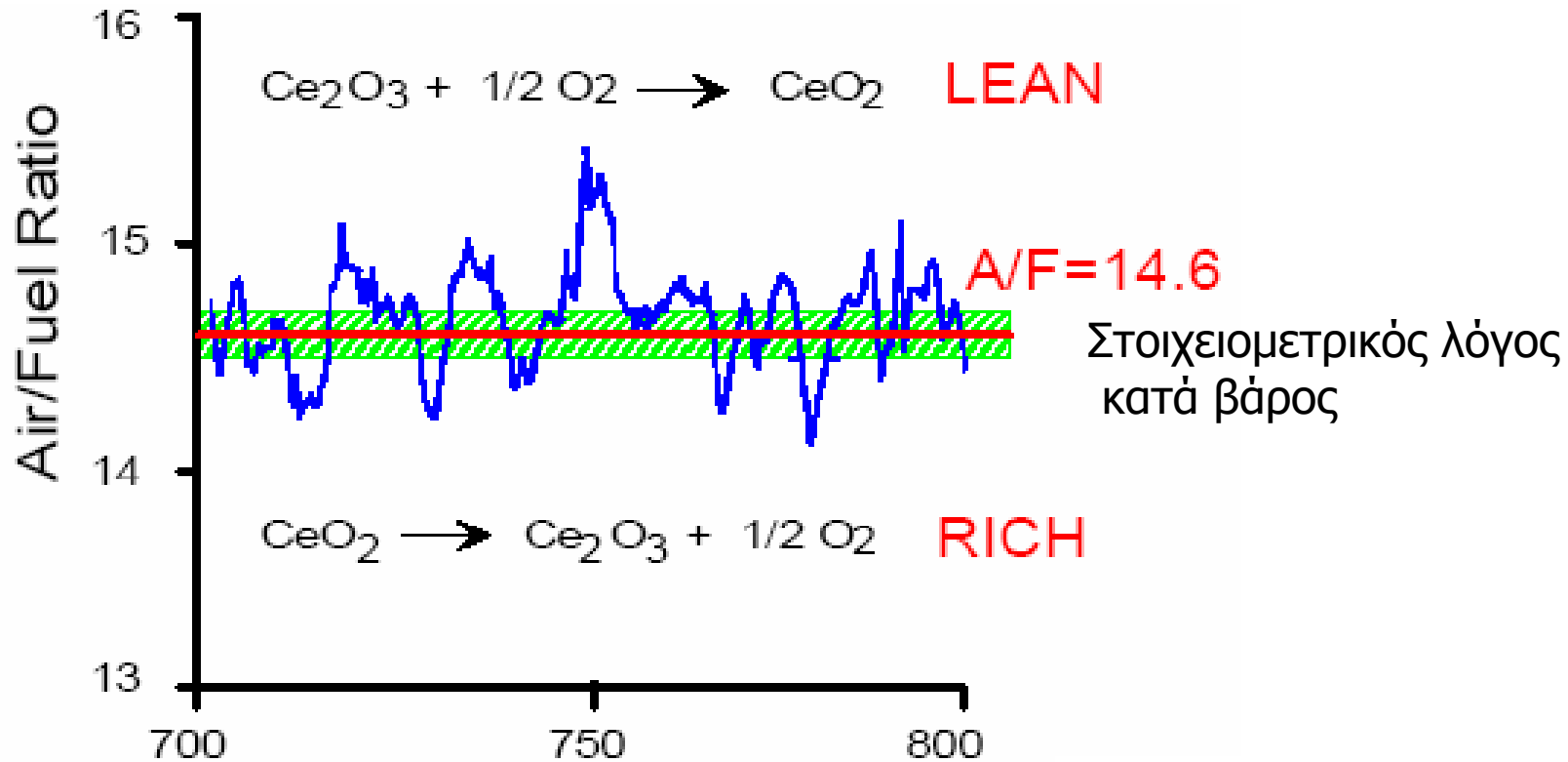
Η σημασία του λόγου Αέρα/Κάυσιμο, A/F



- Το A/F διαφοροποιείται στη μηχανή, γεγονός που επηρεάζει τις μετατροπές
- Καλύτερος έλεγχος του A/F = μεγάλη μετατροπή ρύπων
- Το CeO₂ λειτουργεί ως μέσω αποθήκευσης του οξυγόνου χάρη στη διπλή οξειδωτική του κατάσταση Ce⁴⁺/Ce³⁺ (Oxygen Storage Compound OSC)

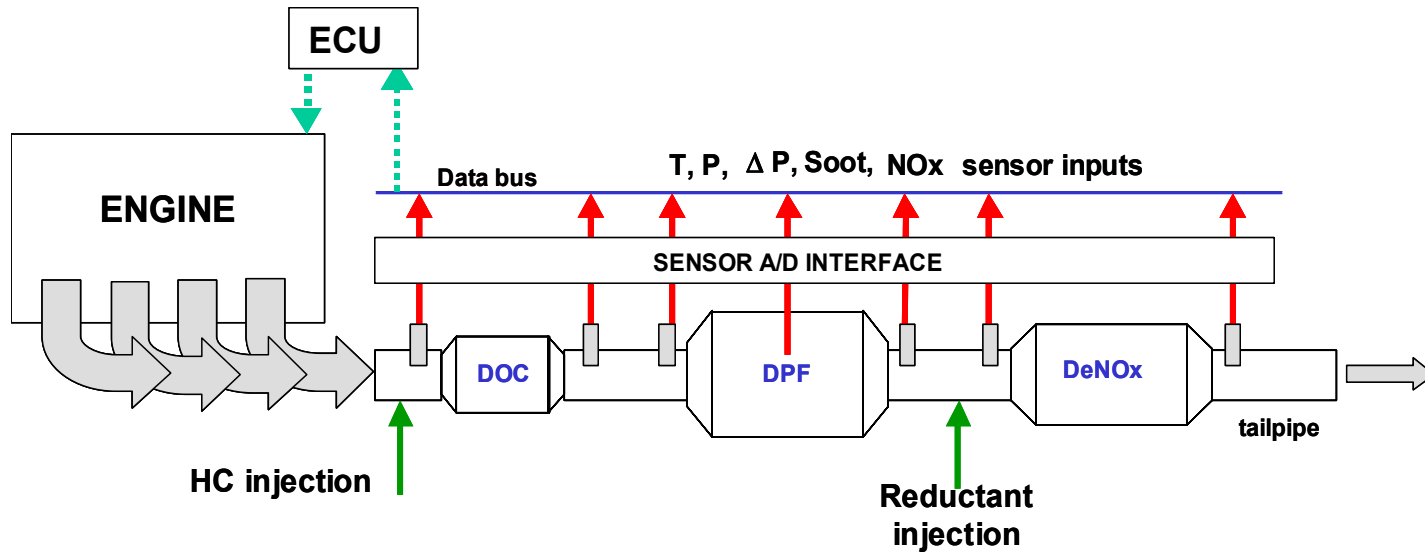
TWC: Ρόλος του CeO_2

- Αποθήκευση Οξυγόνου
- Σταθεροποίηση των μεταλλικών σωματιδίων Pt, Pd, Rh
- Αντίδραση μετατόπισης υδρατμών (Water gas shift)
- Αναμόρφωση ατμού (Steam reforming)

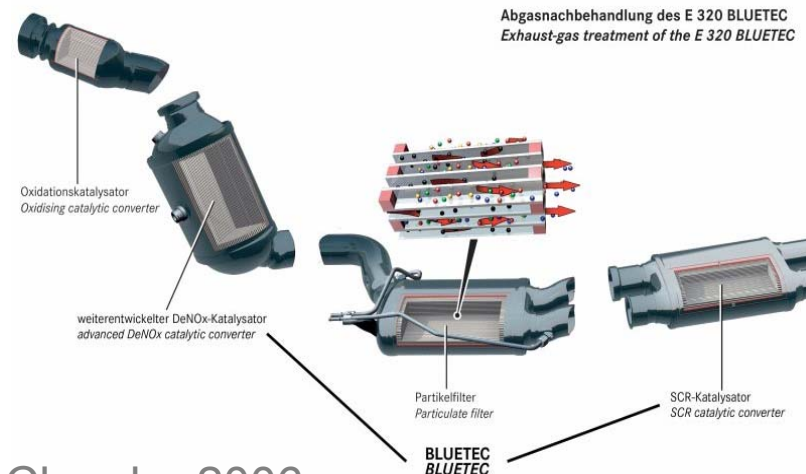
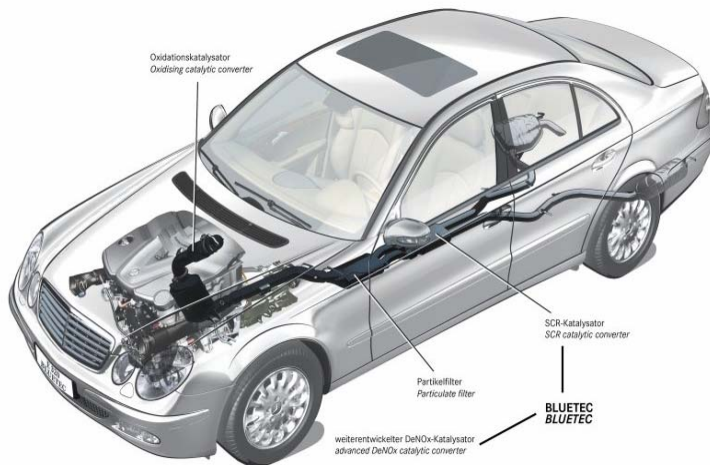


Το CeO_2 αποτελεί μια αποθήκη οξυγόνου

Σύγχρονο Σύστημα Ελέγχου Εκπομπών Κινητήρα Diesel



Konstandopoulos, et al. 2001



Φίλτρα Σωματιδίων Αιθάλης

Cordierite



© Corning

SiC



© Ibiden

SiN



© Asahi Glass

Sintered metal



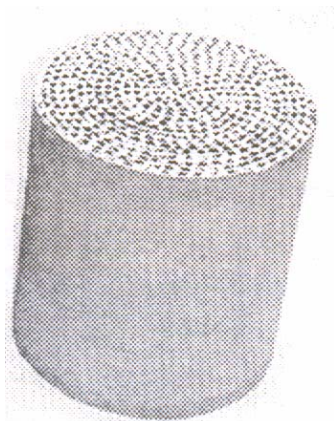
© Purem

Si-SiC



© NGK

Fibrous ceramic



© 3M, FGN



PM = Particulate matter

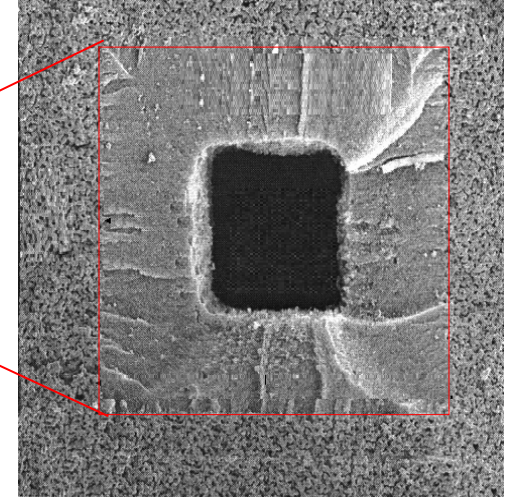
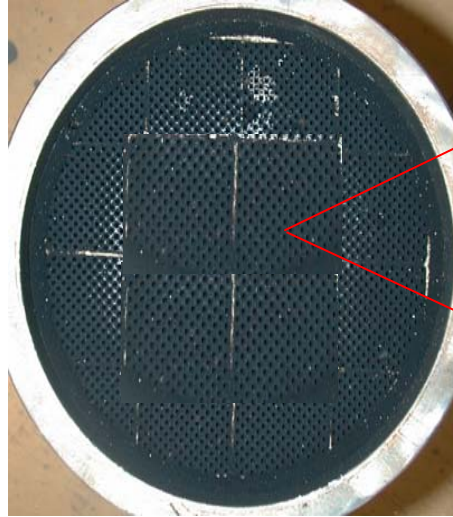
© BOSCH



© Bekaert

Οι διάφορες «προσωπικότητες» των φίλτρων αιθάλης Diesel

LOADING: The DPF as a Particle Separator (hours to days)

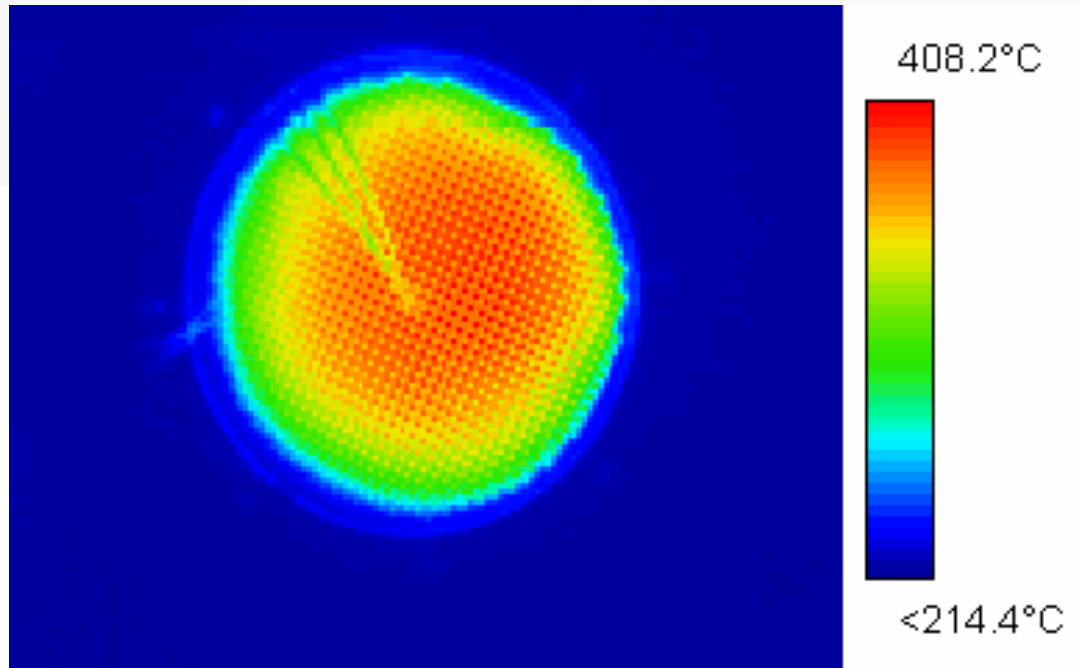


Εναπόθεση αιθάλης στο φίλτρο

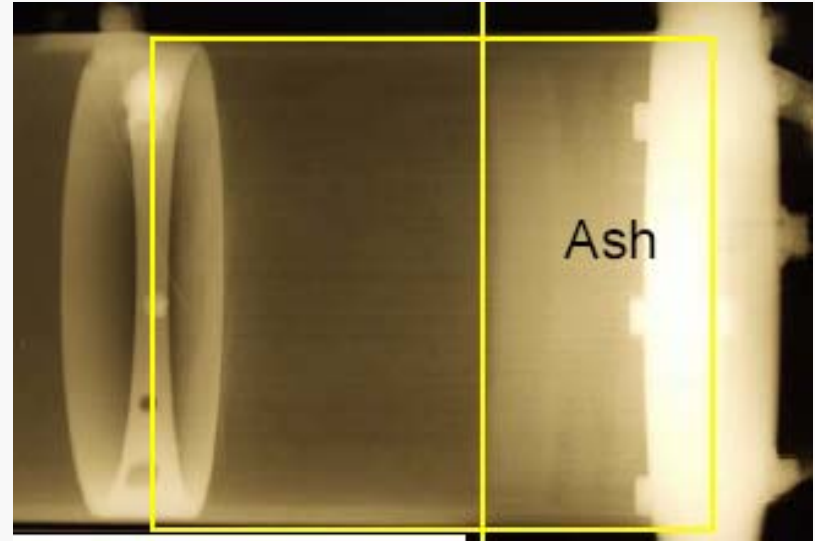
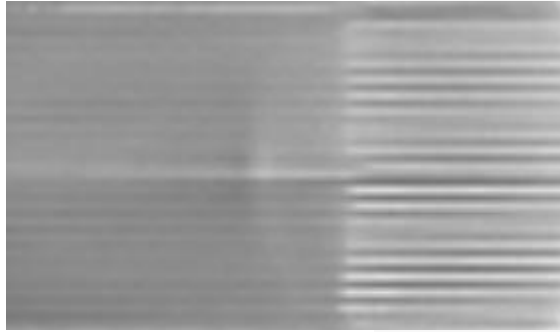
Οι διάφορες «προσωπικότητες» των φίλτρων αιθάλης Diesel

REGENERATION: The DPF as a Reactor (minutes)

Περιοδική καύση αιθάλης
για αναγέννηση του
φίλτρου



Οι διάφορες «προσωπικότητες» των φίλτρων αιθάλης Diesel



AGING: The DPF as an Ash Accumulator (months to years)

Η τέφρα δεν καίγεται και σταδιακά καταστρέφει (βοθλώνει) το φίλτρο

