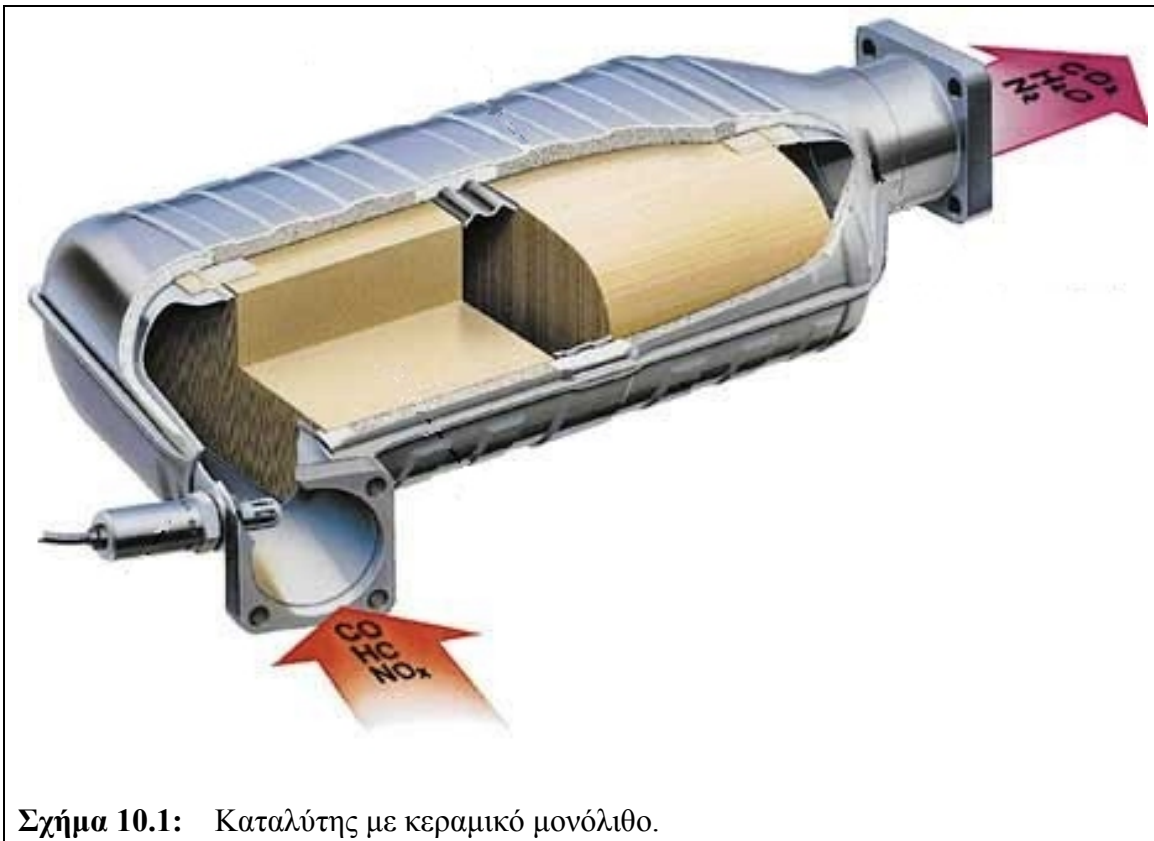


ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

10. ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ	2
10.1 Παράγοντες καλής λειτουργίας και καταστροφής του ΚΜΑ.....	4
10.2 Προβλέψεις εξέλιξης καταλυτικών αυτοκινήτων.....	5
10.3 Λήπτης λάμδα ή λήπτης οξυγόνου.....	5
10.4 Αργή λειτουργία του λήπτη λάμδα.....	6
10.5 Θερμαινόμενος λήπτης λάμδα.....	7
10.6 Λειτουργία λήπτη λάμδα ως κύριο εξάρτημα του κλειστού συστήματος ρύθμισης.....	7
10.7 Κατασκευή λήπτη λάμδα.....	7
10.8 Παράγοντες λειτουργίας καταλυτικών συστημάτων.....	8
10.9 Η «γήρανση» του καταλυτικού μετατροπέα.....	8
10.10 Η «δηλητηρίαση» του καταλυτικού μετατροπέα.....	9
10.11 Η «καταστροφή» του καταλυτικού μετατροπέα.....	9
10.12 Αποτελέσματα απενεργοποίησης.....	10
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	24

10. ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

Ο καταλύτης με κεραμικό μονόλιθο σχήμα 10.1 σήμερα είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος από τους περισσότερους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Ο κεραμικός μονόλιθος, που έχει εξωτερικά κυψελοειδή μορφή, είναι ένα ευαίσθητο σε κραδασμούς, δονήσεις και θερμοκρασιακές καταπονήσεις υλικό. Η κατασκευή του καταλύτη εξωμοιάζει με το καζανάκι εξάτμισης (σιλανσιέ). Στην πραγματικότητα αποτελείται από τρία βασικά μέρη τα οποία είναι σχήμα 10.2:



Σχήμα 10.1: Καταλύτης με κεραμικό μονόλιθο.

Εξωτερικό κέλυφος ή μεταλλικό κάλυμμα.

Το εξωτερικό κέλυφος ή μεταλλικό κάλυμμα περικλείει τον κεραμικό μονόλιθο του καταλύτη. Αποτελείται από δύο μισά μεταλλικά τμήματα κατασκευασμένα συνήθως από ανοξείδωτο χάλυβα για την αποφυγή οξειδώσεων. Τα δύο τμήματα συγκολλούνται μεταξύ τους κάτω από ακριβείς ελεγχόμενες συνθήκες. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένος είναι ανοξείδωτος χρωμιούχος χάλυβας, συνήθως τύπου 409 SS με περιεκτικότητα σε χρώμιο 10 – 12%, έτσι ώστε να αντέχει στις αναπτυσσόμενες υψηλές θερμοκρασίες στο θάλαμο του καταλύτη.

Κεραμικός μονόλιθος ή κεραμικός φορέας.

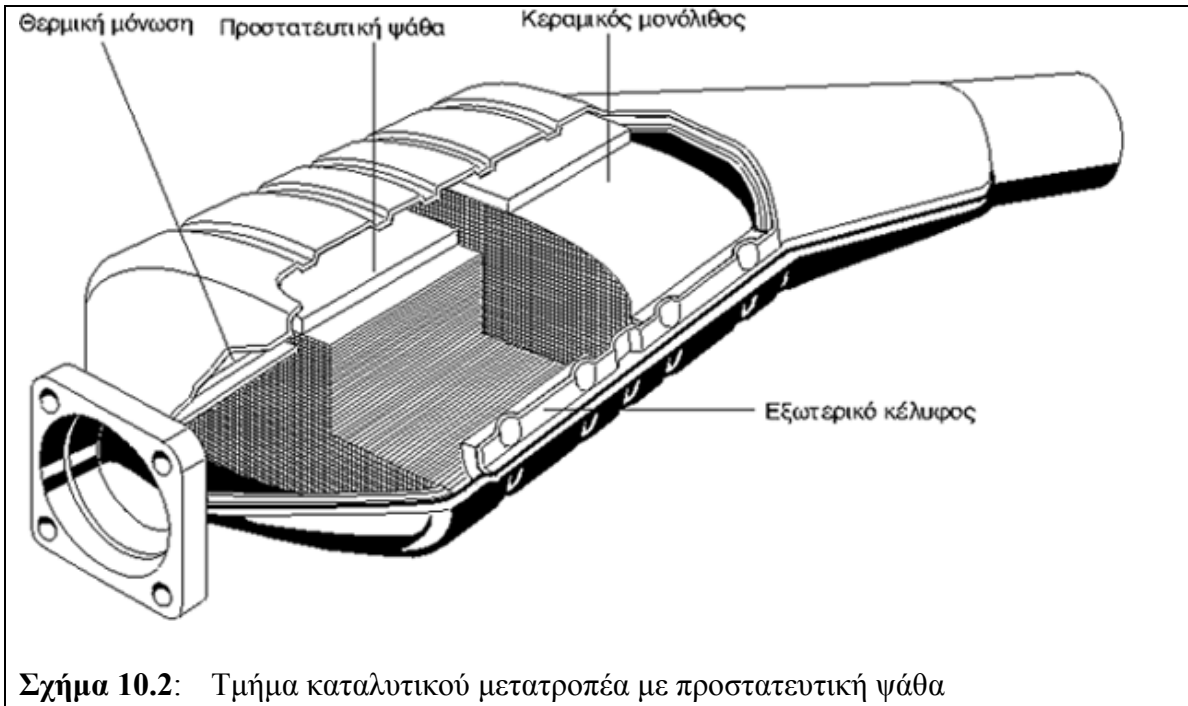
Το βασικό στοιχείο του καταλύτη είναι κεραμικό υλικό που ονομάζεται μονόλιθος και είναι συνήθως κυλινδρικής μορφής. Ο κεραμικός μονόλιθος κατασκευάζεται από Κορδιρίτη (πυριτική ένωση Μαγνησίου - Αργιλίου). Η κατασκευή του μονόλιθου είναι κυψελοειδούς μορφής με διαμήκη κανάλια (περάσματα) παράλληλα προς τη ροή των καυσαερίων σχήμα 10.3. Ο αριθμός αυτών των καναλιών ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες, αφού σε μια τετραγωνική ίντσα υπολογίζεται ότι περιέχονται 240 περίπου τέτοια κανάλια ροής καυσαερίων. Δηλαδή ανά ένα τετραγωνικό χιλιοστό της κυλινδρικής τομής του κεραμικού μονόλιθου αντιστοιχεί ένα περίπου κανάλι. Το πάχος των τοιχωμάτων, τα οποία ως σημειωθεί ότι παλαιότερα είχαν τριγωνικά τοιχώματα, ήταν περίπου 0.25 – 0.30mm. Σήμερα έχουν τετραγωνική μορφή και το πάχος έχει μειωθεί σε 0.15-0.20 mm. για μικρότερη κατάθλιψη των καυσαερίων στον καταλύτη. Το αδρανές κεραμικό υλικό επιστρώνεται επιφανειακά με στρώμα οξειδίου του Αργιλίου (γ - Al_2O_3), με στόχο την αύξηση της ενεργού επιφανείας επαφής με τα καυσαέρια. Το τοίχωμα του κεραμικού μονόλιθου, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.2, αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Το κεραμικό στρώμα του μονόλιθου.
- Την ενδιάμεση επίστρωση (wash coat) που είναι μια βάση του οξειδίου του αλουμινίου (Al_2O_3), εμποτισμένου στην επιφάνεια των καναλιών ροής των καυσαερίων. Η ενδιάμεση επίστρωση, λόγω υψηλής ειδικής επιφάνειας 10-25 m^2/g , αυξάνει κατά πολύ την ενεργό επιφάνεια (10 - 25 φορές), στην οποία γίνονται οι αντιδράσεις. Το πάχος της ενδιάμεσης επίστρωσης κυμαίνεται από 20μ στις εξωτερικές επιφάνειες και γωνίες μέχρι 150μ στις εσωτερικές γωνίες του κυψελωτού κεραμικού μονόλιθου.
- Την επίστρωση του ευγενούς μετάλλου, που τοποθετείται στην ενδιάμεση επίστρωση και που είναι ο κύριος καταλύτης, με τον οποίο έρχονται σε επαφή τα προϊόντα της καύσης. Τα ευγενή μέταλλα, που χρησιμοποιούνται συνήθως στην επίστρωση, είναι πλατίνα (λευκόχρυσος) Pt, για τις αντιδράσεις της οξειδώσεως και το Rh και παλλάδιο Pd για τις αντιδράσεις αναγωγής. Η ιδανική σχέση επικάλυψης των ευγενών μετάλλων της πλατίνας και του ροδίου σε έναν καταλύτη είναι 5:1. Μπορεί όμως ανάλογα με τις απαιτήσεις στην διαδικασία των αντιδράσεων, οι αναλογίες να διαφοροποιηθούν γιατί με την πλατίνα διεξάγονται οι οξειδωτικές αντιδράσεις, ενώ με το ρόδιο οι αναγωγικές.

Προστατευτική ψάθα.

Η προστατευτική ψάθα παρεμβάλλεται ανάμεσα στον κεραμικό μονόλιθο και το μεταλλικό κάλυμμα. Παίζει το ρόλο του εξισωτικού στοιχείου και προστατεύει το μονόλιθο κατά τη δόνηση του μέσα στο κέλυφος, και κατά τη συστολοδιαστολική του κίνηση. Ακόμη εμποδίζει τις τυχόν διαρροές αερίων ρύπων θερμότητας προς το περιβάλλον. Μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμές σε παραπάνω από 1000 μίγματα. Η ποσότητα των

ευγενών μετάλλων ανέρχεται σε μερικά μόνο γραμμάρια (1-3 gr) για τις πολύ μεγάλες επιφάνειες του καταλύτη που ξεπερνάνε την επιφάνεια ενός γηπέδου ποδοσφαίρου. Σε σχέση με το βάρος των κεραμικών φορέων, η ποσότητα της πλατίνας είναι της τάξης του 0,15% και του ροδίου 0,03%.



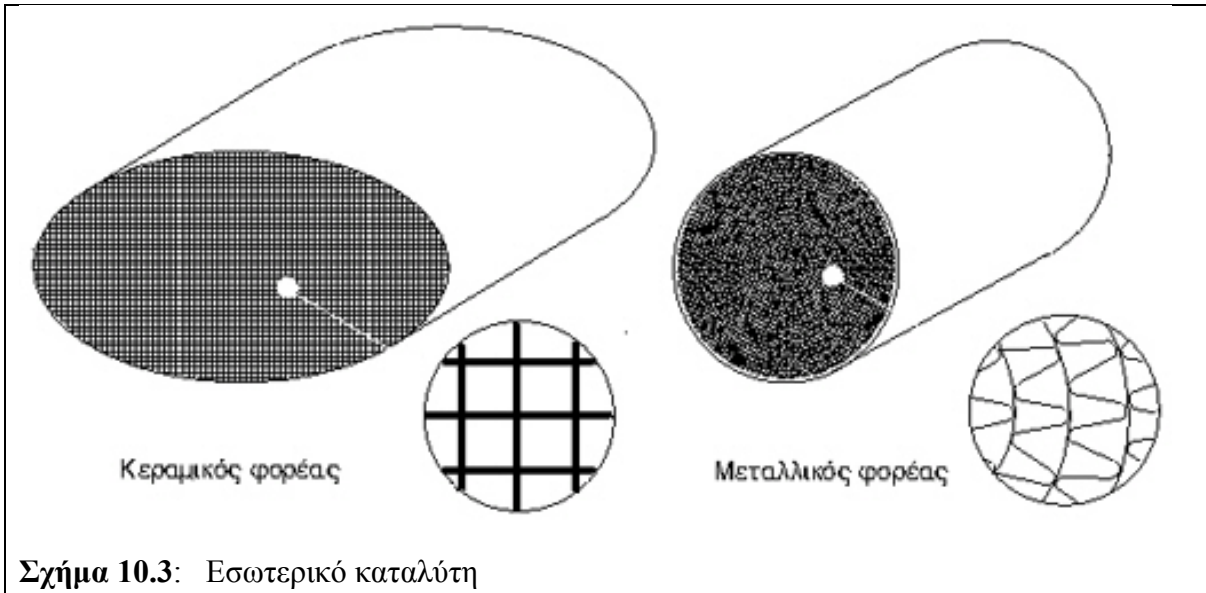
Σχήμα 10.2: Τμήμα καταλυτικού μετατροπέα με προστατευτική ψάθα

10.1 Παράγοντες καλής λειτουργίας και καταστροφής του ΚΜΑ

Η καλή λειτουργία των καταλυτικών συστημάτων (επαρκής μετατροπή των ανεπιθύμητων ενώσεων των καυσαερίων) εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που συντείνουν στην επαρκή επαφή των μορίων του καταλύτη και της προς μετατροπή ένωσης σε συνθήκες (θερμοκρασία, χρόνος, απουσία ή παρουσία άλλων χημικών ενώσεων κλπ) που επιτρέπουν την επιθυμητή χημική μετατροπή. Ο παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο στην μελέτη μας είναι η θερμοκρασία του ΚΜΑ, η οποία σχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία και την παροχή των καυσαερίων του κινητήρα καθώς και το υλικό όσο και το ρυθμό απόρριψης θερμότητας του ΚΜΑ στο περιβάλλον. Αναφερόμενοι στη θερμοκρασία του ΚΜΑ, είναι γνωστό ότι αυτός ενεργοποιείται σε θερμοκρασία 250°C έως 35°C, ενώ η μέγιστη απόδοση του επιτυγχάνεται σε επίπεδα θερμοκρασίας 600°C έως 700°C. Αντίστοιχα για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 800°C και εντονότερα για θερμοκρασίες της τάξης των 1000°C εμφανίζεται το αποκαλούμενο φαινόμενο της θερμικής κόπωσης, που οφείλεται σε αντιδράσεις οξείδωσης των ιδίων των εγγενών μετάλλων που αποτελούν το ενεργό στοιχείο του ΚΜΑ.

Έτσι συνολική ικανότητα μετατροπής («ενεργότητα») ενός καταλυτικού συστήματος εξαρτάται συνοπτικά από τη θερμοκρασία και την πίεση λειτουργίας του, την δυνατότητα

συνεύρεσης των μορίων αντιδρούσας ένωσης και καταλύτη (ενεργό επιφάνεια) και την απουσία ανεπιθύμητων ενώσεων στην περιοχή αυτή που να εμποδίζει στην στιγμιαία σύζευξη των πιο πάνω. Σε γενικές γραμμές οι καταλυτικοί μετατροπείς αποτελούν τεχνολογικά ευαίσθητα συστήματα και σχεδιάζονται για χρήση 100.000 διανυόμενων χιλιομέτρων περίπου, αν και η ενεργότητα τους καταστρέφεται πολύ πιο πριν.



10.2 Προβλέψεις εξέλιξης καταλυτικών αυτοκινήτων.

Οι σύγχρονοι τριοδικοί καταλύτες παρουσιάζουν μια φυσιολογική γήρανση με την αύξηση των διανυόμενων χιλιομέτρων που μπορεί να οδηγήσει στην σταδιακή μείωση της απόδοσης τους και μέχρι την πλήρη απενεργοποίηση αυτών. Λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή ηλικιών του στόλου των καταλυτικών αυτοκινήτων και τη μέση διάλυση 15.000 (οχηματοχιλιομετρων ανά χρόνο για κάθε αυτοκίνητο προκύπτει το σχήμα 10.5 πιθανών αναγκών αντικατάστασης των ΚΜΑ. Το 1997 θα είναι 163.000 αυτοκίνητα τα οποία θα γίνουν περίπου 200.000 το 1998.

10.3 Λήπτης λάμδα ή λήπτης οξυγόνου.

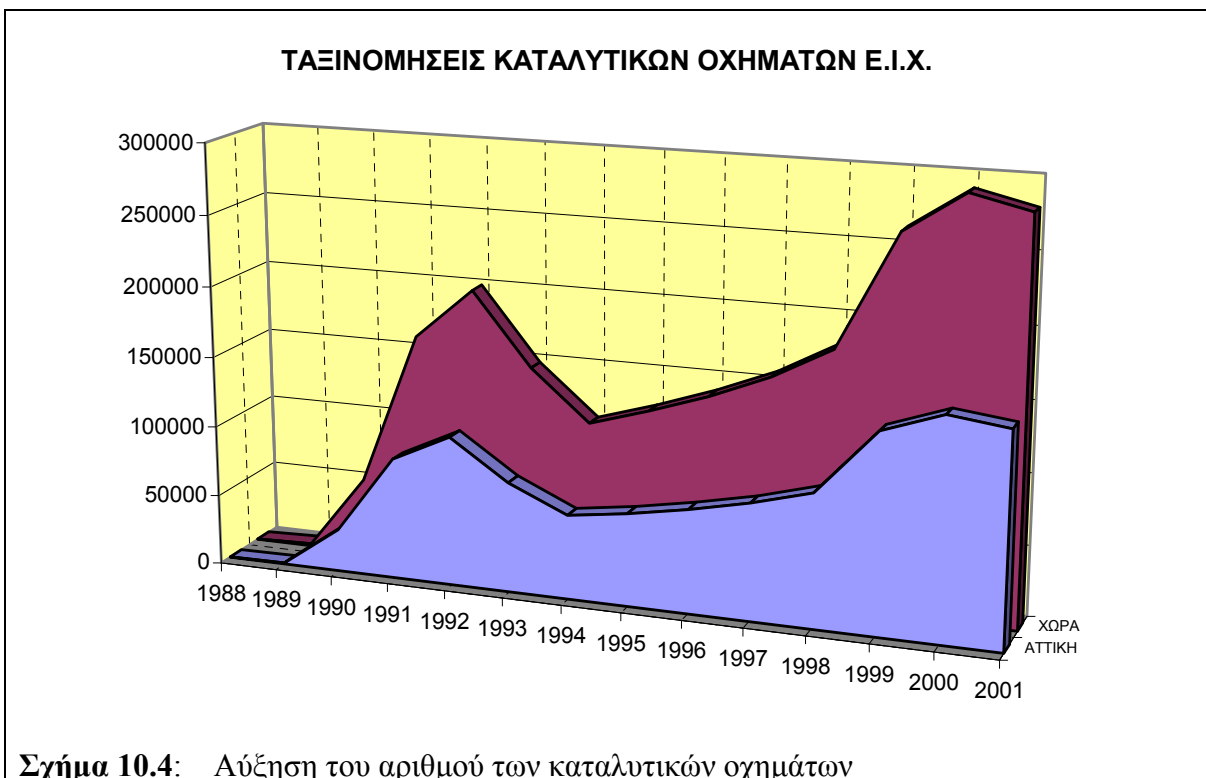
Η λειτουργία του λήπτη λάμδα είναι να μετρά τη συγκέντρωση του οξυγόνου στα καυσαέρια, και να στέλνει τις πληροφορίες στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (εγκέφαλος) που ελέγχει το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου, το οποίο ρυθμίζει συνεχώς την αναλογία αέρα καυσίμου.

Εκτός από τη μεγάλη συγκέντρωση του οξυγόνου στα καυσαέρια, η θερμοκρασία του κεραμικού σώματος παίζει σημαντικό ρόλο, αφού αυτή επηρεάζει την αγωγιμότητα των ιόντων οξυγόνου. Έτσι ο χρόνος απόκρισης για θερμοκρασίες του κεραμικού κάτω από

τους 300°C αντιστοιχεί σε μερικά δευτερόλεπτα, ενώ σε φυσιολογικές θερμοκρασίες λειτουργίας 600°C ο χρόνος απόκρισης είναι μικρότερος των 50ms.

Για τους λόγους αυτούς τα κλειστά συστήματα ρύθμισης με λήπτη λάμδα δεν λειτουργούν κάτω από μία ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας 300°C περίπου. Μέχρι το σημείο αυτό ο κινητήρας συμπεριφέρεται ως ανοικτό σύστημα ρύθμισης.

Σημείωση: Οι υπερβολικά μεγάλες θερμοκρασίες μικραίνουν τη διάρκεια ζωής του λήπτη. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να τοποθετείται σε τέτοιο σημείο ώστε η θερμοκρασία να μην υπερβαίνει τους 850°C κατά την λειτουργία του κινητήρα σε μέγιστο φορτίο. Ο λήπτης μπορεί να λειτουργήσει και μέχρι τους 930°C αλλά για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Ακόμη, πολλές κατασκευάστριες εταιρίες προτείνουν η αλλαγή του λήπτη λάμδα να συνοδεύεται με την αλλαγή καταλύτη.



10.4 Αργή λειτουργία του λήπτη λάμδα.

Το κεραμικό υλικό που χρησιμοποιείται για τον αισθητήρα λάμδα αρχίζει να γίνεται αγωγίμο για τα ιόντα του οξυγόνου στους 300°C περίπου αν η συγκέντρωση οξυγόνου διαφέρει από τις δυο πλευρές του. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δυο επιφανειών. Αυτό εξυπηρετεί ως μέτρηση της διαφοράς στη συγκέντρωση του οξυγόνου στις δύο πλευρές του λήπτη. Το περιεχόμενο οξυγόνο που παρέμεινε στα καυσαέρια της εξαγωγής εξαρτάται κυρίως από την αναλογία μίγματος αέρα-καυσίμου.

10.5 Θερμαινόμενος λήπτης λάμδα.

Στο τύπο του θερμαινόμενου λήπτη λάμδα η θερμοκρασία του κεραμικού υλικού καθορίζεται από ηλεκτρικό στοιχείο (αντίσταση) που εξυπηρετεί στις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα με μικρό φορτίο (αποτέλεσμα: χαμηλή θερμοκρασία καυσαερίων). Ακόμα και στην περίπτωση περίσσειας καυσίμου στο μίγμα υπάρχει κάποια ποσότητα οξυγόνου στα καυσαέρια η οποία δεν χρησιμοποιήθηκε. Για παράδειγμα, όταν λέμε $\lambda=0.95$ υπάρχει ακόμη μία ποσότητα 0.2-0.3% κατ'ογκο οξυγόνου. Η σχέση αυτή δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί η συγκέντρωση του οξυγόνου στα καυσαέρια ως μία μέτρηση της αναλογίας του μίγματος αέρα-καυσίμου.

10.6 Λειτουργία λήπτη λάμδα ως κύριο εξάρτημα του κλειστού συστήματος ρύθμισης.

Όπως προαναφέραμε, ο λήπτης λάμδα μετράει περιεχόμενο οξυγόνο στα καυσαέρια με μεγάλη ακρίβεια πάνω και κάτω από το στιχομετρικό σημείο. Ο λήπτης παράγει ένα σήμα στην έξοδο του το οποίο μεταφέρεται στον εγκέφαλο του συστήματος τροφοδοσίας καθοδηγώντας τα μπεκ ψεκασμού σε μία διόρθωση της ψεκαζόμενης ποσότητας. Αυτό συμβαίνει όταν η περιεκτικότητα του οξυγόνου στα μετρούμενα καυσαέρια αυξομειώνεται από επιθυμητό επίπεδο. Όταν ο κινητήρας δουλεύει με φτωχό μίγμα ($\lambda > 1$), το ποσό του οξυγόνου στα καυσαέρια είναι υψηλό. Δεν υπάρχει δηλαδή αρκετό καύσιμο για να χρησιμοποιηθεί το υπόλοιπο ποσό οξυγόνου του μίγματος. Αυτό προξενεί ένα σήμα χαμηλής τάσης από τον λήπτη λάμδα της τάξεως των 100 mV.

Όταν ο κινητήρας δουλεύει με πλούσιο μίγμα ($\lambda < 1$) το ποσό του οξυγόνου στα καυσαέρια είναι χαμηλό. Δεν υπάρχει δηλαδή αρκετό οξυγόνο για να χρησιμοποιηθεί το υπόλοιπο ποσό του καυσίμου. Αυτό προξενεί ένα σήμα υψηλής τάσης από τον λήπτη λάμδα. Όταν η τάση είναι 500 mV περίπου τότε έχουμε $\lambda=1$.

10.7 Κατασκευή λήπτη λάμδα.

Ο λήπτης λάμδα έχει ένα στερεάς κατάστασης ηλεκτρολύτη ο οποίος αποτελείται από ένα αεροστεγές κεραμικό σώμα κλειστό στο ένα άκρο του. Είναι κατασκευασμένο από διοξείδιο του Ζιρκονίου (ZrO_2) και σταθεροποιημένο από τριοξείδιο του Υτρίου (Y_2O_3). Οι επιφάνειες έχουν ηλεκτρόδια και στις δυο πλευρές φτιαγμένα από ένα λεπτό πορώδες στρώμα πλατίνας.

Το ηλεκτρόδιο της πλατίνας εξωτερικά ενεργεί σαν ένας μικρός καταλύτης π.χ. η εξαγωγή υποβάλλεται σε καταλυτική διεργασία (θεραπεία) και έρχεται στην στοιχειομετρική ισορροπία. Στην εκτεθειμένη στα καυσαέρια πλευρά, υπάρχει ένα πορώδες κεραμικό

στρώμα το οποίο εξυπηρετεί ως προστασία κατά της κάθε μόλυνσης. Ένας μεταλλικός σωλήνας με ένα αριθμό αυλακώσεων προστατεύει το κεραμικό σώμα του λήπτη λάμδα στις μηχανές και θερμικές καταπονήσεις (σωματίδια στα καυσαέρια κτλ).

10.8 Παράγοντες λειτουργίας καταλυτικών συστημάτων.

Η καλή λειτουργία των καταλυτικών συστημάτων (επαρκής μετατροπή των ανεπιθύμητων ενώσεων των καυσαερίων) εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που συντείνουν στην επαφή των μορίων του καταλύτη και της προς μετατροπή ένωσης σε συνθήκες (θερμοκρασία, χρόνος, απουσία ή παρουσία άλλων χημικών ενώσεων κλπ) που επιτρέπουν την επιθυμητή χημική μετατροπή. Ο παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο στην μελέτη μας είναι η θερμοκρασία του ΚΜΑ, η οποία σχετίζεται άμεσα με την θερμοκρασία και την παροχή των καυσαερίων του κινητήρα καθώς και το υλικό όσο και το ρυθμό απόρριψης θερμότητας του ΚΜΑ. Είναι γνωστό ότι αυτός ενεργοποιείται σε θερμοκρασία 250°C έως 350°C ενώ η μέγιστη απόδοση του επιτυγχάνεται σε επίπεδα θερμοκρασίας 600°C έως 700°C.

Αντίστοιχα για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 800°C και εντονότερα για θερμοκρασίες της τάξης των 1000 °C εμφανίζεται το αποκαλούμενο φαινόμενο της θερμικής κόπωσης, που οφείλεται σε αντιδράσεις οξειδωσης των ιδίων των ευγενών μετάλλων που αποτελούν το ενεργό στοιχείο του ΚΜΑ.

Έτσι η συνολική ικανότητα μετατροπής («ενεργότητα») ενός καταλυτικού συστήματος εξαρτάται συνοπτικά από τη θερμοκρασία και την πίεση λειτουργίας του, την δυνατότητα συνεύρεσης των μορίων αντιδρούσας ένωσης και καταλύτη (ενεργό επιφάνεια) και την απουσία ανεπιθύμητων ενώσεων στην περιοχή αυτή που να εμποδίζει στην στιγμιαία σύζευξη των πιο πάνω. Σε γενικές γραμμές οι καταλυτικοί μετατροπείς αποτελούν τεχνολογικά ευαίσθητα συστήματα και σχεδιάζονται για χρήση 100.000 διανυόμενων χιλιομέτρων περίπου, αν και η ενεργότητα τους καταστρέφεται πολύ πιο πριν.

10.9 Η «γήρανση» του καταλυτικού μετατροπέα.

Στη σταδιακή μείωση της ενεργότητας των καταλυτών (γήρανση) συμβάλλει κυρίως η θερμική καταπόνηση που υφίστανται λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία τους. Η καταπόνηση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την «διείσδυση» των μορίων των ευγενών μετάλλων στην μάζα του washcoat (από τη μετατροπή του τελευταίου σε υαλώδες $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) με αποτέλεσμα στην δυσκολία επαφής του με τα προς μετατροπή μόρια. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται όταν η θερμοκρασία του καταλυτικού μετατροπέα ξεπεράσει τους 1100 °C. Θερμοκρασίες τέτοιας τάξεως αναπτύσσονται όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε υψηλές φορτίσεις με μικρές ταχύτητες και για μεγάλο χρονικό διάστημα,

όπου έχουμε μεγάλη κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει της αποδιδόμενης ισχύος. Τα συχνά και απότομα ξεκινήματα του αυτοκινήτου θεωρούνται επίσης παράγοντες πρόωρης αχρήστευσης. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι σε συνθήκες συνθήκες ένα οικογενειακό όχημα σπάνια θα αντιμετωπίσει τέτοια χρήση από τον κάτοχο του, αφού αυτή ενδείκνυται σε αυτοκίνητα επιδόσεων. Όμως, στα οχήματα αυτά για να αντιμετωπιστεί το παραπάνω φαινόμενο χρησιμοποιείται καταλύτης με μεταλλικό μονόλιθο όπου έχουμε μεγαλύτερη απαγωγή θερμότητας στο περιβάλλον.

10.10 Η «δηλητηρίαση» του καταλυτικού μετατροπέα.

Κύριοι παράγοντες πρόωρης αχρήστευσης της αποτελεσματικότητας των καταλυτών είναι η «δηλητηρίαση» τους, δηλαδή η εποίκιση άλλων μορίων στην ενεργό επιφάνεια, με άλλα μέταλλα που περιέχονται στα καυσαέρια, κυρίως μόλυβδο. Η χρήση μολυβδόχου βενζίνης θεωρείται απαγορευτική σε οχήματα καταλυτικής τεχνολογίας εφόσον μερικά εκατόλιτρα αρκούν για την απενεργοποίηση («δηλητηρίαση») του καταλύτη. Βέβαια, ο κίνδυνος της χρήσης της μολυβδόχου βενζίνης έχει εξαιρεθεί με την ειδική διαμόρφωση των στομιών της κάνουλας των πρατηρίων υγρών καυσίμων.

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι «δηλητηρίαση» του καταλυτικού μετατροπέα έχουμε και με έμμεσο τρόπο. Το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο σε περιοχές όπου ο αριθμός των συμβατικών οχημάτων είναι σημαντικά μεγαλύτερος από αυτό των καταλυτικών. Για παράδειγμα, σε δρόμους με πυκνή ροή ή δρόμους με κυκλοφοριακή συμφόρηση, τα συμβατικά οχήματα εκπέμπουν οξειδία του μολύβδου στον αέρα. Όμως κατά την εισαγωγή αέρα στον κινητήρα από την πολλαπλή εισαγωγής συμπαρασύρονται και μόρια οξειδία του μολύβδου τα οποία μετά στην καύση οδηγούνται στην πολλαπλή εξαγωγής και από εκεί στον καταλύτη. Η ποσότητα μολύβδου που επικάθεται με αυτόν τον τρόπο στην ενεργό επιφάνεια είναι σημαντική αν το παραπάνω φαινόμενο είναι συχνό και έντονο.

10.11 Η «καταστροφή» του καταλυτικού μετατροπέα.

Στην περίπτωση της «καταστροφής» έχουμε διάτρηση ή αποκοπή του κεραμικού μονόλιθου από την ανάρτηση του στο μεταλλικό κάνιστρο. Επομένως έχουμε απώλεια βάρους λόγω της παράσυρσης του θρυμματισμένου μονόλιθου με τα έντονα στροβιλιζόμενα καυσαέρια. Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις, όπου σα συνέπεια της μηχανικής βλάβης, το σύνολο του κεραμικού μονόλιθου έχει εξαφανισθεί από το κάνιστρο, δηλαδή έχει διέλθει κοκκοποιημένο μέσω της εξάτμισης στο περιβάλλον. Το φαινόμενο αυτό είναι συχνό στη χώρα μας λόγω της κακής ποιότητας του οδοστρώματος και συγκεκριμένα λόγω των έντονων ανωμαλιών. Πάντως, κατά μέσο όρο και στη διάρκεια ζωής του καταλύτη έχει παρατηρηθεί μια φυσιολογική απώλεια βάρους της τάξης του 10% λόγω παράσυρσης.

10.12 Αποτελέσματα απενεργοποίησης

Ένα καταλυτικό αυτοκίνητο με απενεργοποιημένο ΚΜΑ εκπέμπει περισσότερους κυκλικούς αρωματικούς απ' ό,τι ένα συμβατικό παλαιάς τεχνολογίας. Επομένως η ρύπανση που προκαλεί στο περιβάλλον είναι μεγαλύτερη όχι μοναχά ποσοτικά αλλά και ποιοτικά, αφού οι κυκλικοί υδρογονάνθρακες θεωρούνται άκρως καρκινογόνοι. Αυτό είναι σημαντικό γιατί στην περίπτωση αυτή το συμβατικό όχημα παρουσιάζεται «καθαρότερο» από πλευράς βλαβερών ρύπων, και τα ευνοϊκά αποτελέσματα του καταλυτικού εξαλείφονται.

Ακόμη, όταν ένας καταλύτης είναι απενεργοποιημένος αυξάνει την οπισθόδρομη πίεση στην εξάτμιση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα απώλεια ισχύος και υπερκατανάλωση καυσίμου. Έτσι πλέον η πιθανότητα μηχανικής βλάβης είναι πολύ μεγάλη και υπάρχει κίνδυνος να πληρώσουμε πολύ περισσότερα από την αξία ενός νέου καταλύτη.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑΛΥΤΩΝ ΣΤΗ ΧΩΡΑ ΜΑΣ

Κωνσταντινίδης Π., Καλδέλλης Ι.

Εργ. Ήπιων Μορφών Ενέργειας & Προστασίας Περιβάλλοντος

Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά

Πόντου 58, 16777 Ελληνικό, ΑΘΗΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιβολή της χρήσης των καταλυτών στα νεοεισαγόμενα οχήματα στη χώρα μας θεωρήθηκε σαν μια κίνηση της πολιτείας προς τη σωστή κατεύθυνση. Όμως η προσπάθεια αυτή τίθεται σε αμφισβήτηση, κυρίως τώρα που επανέρχεται πειστικό το της αντικατάστασης των καταλυτών των οχημάτων. Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η ανάλυση σε πρώτη προσέγγιση του θέματος, καταγράφοντας αρχικά τη θετική (και την αρνητική εφόσον υφίσταται) συνεισφορά των καταλυτών στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ακολούθως εξετάζεται το κόστος αγοράς και αντικατάστασης ενός καταλύτη σε συνδυασμό με το μειωμένο κόστος χρήσης αμόλυβδης βενζίνης εκ μέρους των καταναλωτών για το χρονικό διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών αλλαγών καταλύτη. Τέλος διερευνάται η δυνατότητα τελικής διάθεσης των καταλυτών, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής όχλησης όσο και το αντίστοιχο κόστος απόθεσης. Με βάση τα συγκεντρωθέντα στοιχεία εκτιμάται το κόστος χρήσης καταλυτών στα οχήματα τόσο εκ μέρους της πολιτείας όσο και εκ μέρους των ιδιωτών καταναλωτών. Το συνολικό αυτό κόστος συγκρίνεται με το περιβαλλοντικό-κοινωνικό κόστος από την υφιστάμενη ατμοσφαιρική ρύπανση και παρουσιάζονται ορισμένα ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

ENVIRONMENTAL – ECONOMIC ANALYSIS OF THE USE OF CATALYTIC CONVERTERS IN GREECE

Konstantinidis P., Kaldellis J.

Lab of Soft Energy Applications & Environmental Protection

Mechanical Eng. Dept., TEI of Piraeus

Pontou 58, Hellinico 16777, Greece

ABSTRACT

In the present work the impact of the use of the auto cats (catalytic converters of the cars) on the diminution of the air pollutants is analyzed in view of the local conditions. The predicted results are compared with the results of a parallel economic study concerning the break even point of buying a new catalytic converter, based on the fact that the lead free gasoline is cheaper than the so called “super”. Finally, the possibility of recycling spent auto cats is briefly examined, in order to estimate the value of a spent auto cat in the market. Thus the results obtained may help the authorities and the consumers to take their decisions concerning the future of auto cats in Greece.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διογκούμενη ατμοσφαιρική ρύπανση τα τελευταία είκοσι χρόνια έθεσε σε σοβαρό κίνδυνο όχι μόνο της ποιότητας ζωής αλλά και την υγεία των κατοίκων του Λεκανοπεδίου Αττικής, καθώς και των υπόλοιπων μεγαλουπόλεων της χώρας μας. Από δημοσιευμένα <1>, <2> στοιχεία προηγούμενων μελετών προκύπτει η καθοριστική συμμετοχή των μεταφορών στις αυξημένες εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα “CO”, οξειδίων του αζώτου “NO_x” και άκαυστων υδρογονανθράκων “HC”. Στα πλαίσια αυτά η επιβολή της ύπαρξης των καταλυτών στα νεοεισαγόμενα οχήματα στη χώρα μας θεωρήθηκε σαν μια κίνηση της πολιτείας προς τη σωστή κατεύθυνση, στην προσπάθεια για περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα αστικά κυρίως κέντρα.

Ο καταλυτικός μετατροπέας αυτοκινήτων (ΚΜΑ) τοποθετείται στον αγωγό εξόδου των καυσαερίων του κινητήρα προς το περιβάλλον και πριν το σιγαστήρα (σιλανσιέ) της εξάτμισης. Κατασκευαστικά αποτελείται από το μεταλλικό κέλυφος το οποίο προστατεύει το υπόβαθρο (ή το μονόλιθο) και κατασκευάζεται από ανοξείδωτο νικελιούχο χάλυβα. Ο μονόλιθος έχει κυψελοειδή μορφή με διαμήκεις διόδους (σχήμα /1/) παράλληλες προς τη ροή των καυσαερίων και αποτελείται κατά κανόνα από κεραμικό υλικό (πυριτικό αργίλιο) και σπανιότερα (λόγω υψηλότερου κόστους) από ανοξείδωτο χάλυβα χρωμίου-νικελίου. Το πορώδες κεραμικό υλικό έχει κυψελωτή δομή (σχήμα /1/) και περιέχει την καταλυτική επίστρωση (τον καταλύτη με την χημική έννοια του όρου), η οποία καλύπτει το υπόβαθρο και αποτελείται από ευγενή μέταλλα της ομάδας του λευκόχρυσου (Pt), παλλάδιο (Pd) και ρόδιο (Rh). Αναφερόμενοι κυρίως στους λεγόμενους ρυθμιζόμενους τριοδικούς καταλύτες πρέπει να αναφερθούμε και στον αποκαλούμενο αισθητήρα “λ”, ο οποίος ανιχνεύει την ποσότητα οξυγόνου στα καυσαέρια και διορθώνει τις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα, ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη ποιότητα καύσεως. Τέλος για τη βελτίωση της αντοχής και της δραστηριότητας του καταλύτη χρησιμοποιείται ποσότητα οξειδίου του δημητρίου ή του λανθανίου.

Η λειτουργικότητα των καταλυτικών μετατροπέων συνίσταται στην οξείδωση του “CO” και των “HC” σε “CO₂” και “H₂O” με τη βοήθεια της παρουσίας του λευκόχρυσου και του παλλαδίου. Παράλληλα συντελείται η αναγωγή των οξειδίων του αζώτου “NO_x”, με τη βοήθεια του λεπτότατα καταμερισμένου ροδίου, σε “N₂” και “O₂”. Με τον τρόπο αυτό αναμένεται σημαντική μείωση εκπεμπόμενων αέριων ρυπαντών που οφείλονται κύρια στον τομέα των μεταφορών. Από διαθέσιμα στοιχεία <3> των κατασκευαστών αναμένεται περιορισμός των εκπεμπόμενων ποσοτήτων “CO”, “HC” και “NO_x”, που στο ονομαστικό (βέλτιστο) σημείο λειτουργίας του ΚΜΑ κυμαίνονται σε ποσοστά 1:20 έως 1:33 των αντίστοιχων εκπομπών των συμβατικών οχημάτων.

Πράγματι η σημαντική διείσδυση των καταλυτικών οχημάτων στην ελληνική αγορά τα τελευταία πέντε χρόνια (σχήμα /2/) συνδέεται με αξιοσημείωτη καταγεγραμμένη μείωση των εκπομπών “CO”, “NO_x” και “HC” το αντίστοιχο διάστημα για την περιοχή της Αττικής, όπου με βάση τα στοιχεία του σχήματος συγκεντρώνεται τουλάχιστον το 50% των

νέων καταλυτικών οχημάτων. Από τα στοιχεία του σχήματος /3/ καταγράφεται μια κατά 25% μείωση των εκπομπών του “CO” από 4.6 σε 3.4 (mg/m), μια κατά 16% μείωση των εκπομπών HC και μια αντίστοιχη (≈ 17%) μείωση των εκπομπών των “NO_x”. Η παρατηρηθείσα αξιόλογη μείωση των εκπεμπόμενων ρυπαντών περιορίζεται κυρίως μέχρι το έτος 1993, οπότε και συρρικνώνονται τα ευεργετικά αποτελέσματα του μέτρου της απόσυρσης στο ρυθμό ανανέωσης του στόλου των επιβατικών οχημάτων της χώρας μας.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΜΑ

Αν και από τα προαναφερθέντα αποτελέσματα προκύπτει μια αξιόλογη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που αποδίδεται στην αυξανόμενη διείσδυση των καταλυτικών οχημάτων στη διάρθρωση του εγχώριου στόλου, ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις η λειτουργία των καταλυτικών μετατροπέων αυτοκινήτων είναι εκ των πραγμάτων προβληματική, ανεξάρτητα των συνθηκών καλής λειτουργίας του συστήματος κινητήρα-καύσιμο. Αρχικά ορίζεται βαθμός απόδοσης του ΚΜΑ όσον αφορά ένα συγκεκριμένο ρυπαντή

$$n = \frac{\text{Ποσότητα ρυπαντή } i \text{ στην έξοδο του ΚΜΑ}}{\text{Ποσότητα ρυπαντή } i \text{ στην είσοδο του ΚΜΑ}} \quad (1)$$

και την ικανότητα του ΚΜΑ να εξουδετερώνει ένα συγκεκριμένο ρυπαντή, όπως για παράδειγμα το μονοξείδιο του άνθρακα, οι υδρογονάνθρακες και τα οξείδια του αζώτου. Αντίστοιχα, ο συνολικός βαθμός απόδοσης “η” του ΚΜΑ ορίζεται σαν:

$$n = \sum n_i w_i \quad (2)$$

Όπου με “w” συμβολίζεται ο αντίστοιχος του ρυπαντή “i” συντελεστής βαρύτητας, που καθορίζεται από την ποσότητα του περιεχόμενου στα καυσαέρια ρυπαντή “i” αλλά και το βαθμό επιβάρυνσης του περιβάλλοντος-κοινωνίας από τη συγκεκριμένη ποσότητα του αέριου ρυπαντή. Είναι αναμενόμενο ότι με την πάροδο του χρόνου λειτουργίας ενός ΚΜΑ παρατηρείται σταδιακή γήρανση και απενεργοποίηση του καταλύτη, η οποία ανάλογα με την ποιότητα και τον τρόπο χρήσης του εμφανίζεται σταδιακά ή σχετικά απότομα (βλέπε σχήμα /4/). Έτσι ορίζεται ο χρόνος πρακτικής απενεργοποίησης “t₀” του ΚΜΑ ως χρόνος μετά τον οποίον η απόδοση του ΚΜΑ γίνεται μικρότερη από ένα ελάχιστο, περιβαλλοντικά αποδεκτό όριο “η” δηλαδή: για

$$t \geq t_0 \Rightarrow n \leq n_{\min} \quad (3)$$

Οι κυριότεροι λόγοι γήρανσης του καταλύτη είναι τα τυχόν υπολείμματα του μόλυβδου στη βενζίνη καθώς και τα τυχόν πρόσθετα στα λιπαντικά του κινητήρα. Παράλληλα οι

εμφανιζόμενες υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν αντιδράσεις οξείδωσης των ίδιων των ευγενών μετάλλων, μειώνοντας σταδιακά την ενεργή επιφάνεια του καταλύτη. Τέλος η τυχόν διαταραχή της αναλογίας αέρα-καυσίμου και οι κραδασμοί-χτυπήματα, απορυθμίζουν ή καταστρέφουν σταδιακά το κεραμικό υλικό του καταλύτη. Συνεπώς οι πρακτικοί λόγοι αντικατάστασης ενός ΚΜΑ είναι:

- a) Η καταστροφή του περιβλήματος και το σπάσιμο σύνδεσης κεραμικού υλικού-περιβλήματος.
- b) Νομικοί ή περιβαλλοντικοί έλεγχοι, είτε κατά την απόκτηση της Κάρτας Ελέγχου Καυσαερίων (ΚΕΚ), είτε κατά τον έλεγχο του οχήματος σε ΚΤΕΟ, είτε λόγω ελέγχου συνεργείων του ΠΕΡΠΑ.
- c) Συνειδητή αντικατάσταση του ΚΜΑ για καλύτερη απόδοση του κινητήρα, εξοικονόμηση καυσίμου και αναγνώριση της σημασίας του περιβαλλοντικού κόστους λόγω των αυξημένων εκπομπών αέριων ρυπαντών <4>.

Συνεπώς ο πραγματικός χρόνος αντικατάστασης “ t_r ” συχνά είναι διαφορετικός και κατά κανόνα μεγαλύτερος του πραγματικού χρόνου απενεργοποίησης του καταλύτη “ t_0 ” βλέπε σχήμα /4/. Στην περίπτωση αυτή έχουμε σημαντική επιβάρυνση του περιβάλλοντος λόγω της λειτουργίας του ΚΜΑ για χρονικό διάστημα (t_r-t_0) εκτός των ορίων. Στο σημείο αυτό τίθεται ένα σοβαρό ερώτημα που αναμένεται να απασχολήσει όλους τους ιδιοκτήτες καταλυτικών οχημάτων.

Ποιος είναι ο χρόνος κατά τον οποίο θα πρέπει να γίνει αντικατάσταση ενός ΚΜΑ; Στην περίπτωση αυτή οι περισσότεροι τεχνικοί συνιστούν αντικατάσταση του ΚΜΑ μετά από τη συμπλήρωση των 80,000km εκ μέρους του οχήματος. Βέβαια στον καθορισμό του χρόνου αντικατάστασης σημαντικό ρόλο παίζει η ποιότητα του ΚΜΑ (σχήμα /4/) αλλά και ο τρόπος χρήσης του. Στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια να εντοπισθούν οι χρόνοι αντικατάστασης ενός ΚΜΑ από τεχνικής, περιβαλλοντικής αλλά και οικονομικής σκοπιάς.

Από τα διαθέσιμα στοιχεία <5> του ΥΠΕΧΩΔΕ για το 1993 προκύπτει σημαντική μείωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των καταλυτικών οχημάτων σε συνάρτηση με τα διανύμενα km, καθώς με βάση τα αυστηρά όρια για ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλύτη πλέον το 20% των οχημάτων που έχουν διανύσει 45,000 km είναι εκτός προδιαγραφών. Αντίθετα, μετρήσεις που έχουν γίνει στη Γερμανία <6> σε σειρά οχημάτων με ΚΜΑ που έχουν υπερβεί τα 80,000km δείχνουν ότι σε αρκετές περιπτώσεις οι εκπεμπόμενοι ρύποι δεν έχουν υπερβεί τα ισχύοντα όρια, ενώ οι υπερβάσεις γίνονται κυρίως στις εκπομπές του “CO” και σε μικρότερο βαθμό στους “HC”.

Η περιβαλλοντική επιβάρυνση μετά “ t_r ” ώρες λειτουργίας ενός ΚΜΑ λόγω των εκπεμπόμενων ρύπων προσδιορίζεται για κάθε ρυπαντή “ i ” σαν:

$$P_i = \int_0^{t_0} (1-n_i)m_i(t)dt + \int_0^{t_0} (n_i-n_i)m_i(t)dt + \int_0^{t_r} (1-n_i)m_i(t)dt \quad (4)$$

όπου στη θέση του χρόνου “t” λειτουργίας του ΚΜΑ μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα διανυθέντα χιλιόμετρα “x”. Οι όροι της εξίσωσης (4) περιγράφουν αντίστοιχα την ελάχιστη επιτρεπτή εκπομπή του ρυπαντή εφόσον ο καταλύτης λειτουργεί στο βέλτιστο σημείο του την επιπλέον εκπομπή λόγω σχετικής απορρύθμισης του καταλύτη και τέλος το τμήμα εκπομπής που οφείλεται σε λειτουργία του ΚΜΑ αν και αυτός έχει υπερβεί το μέγιστο επιτρεπτό χρονικό διάστημα λειτουργίας του. Ακολούθως το χρονικά μεταβαλλόμενο κοινωνικό-περιβαλλοντικό κόστος προκύπτει αθροίζοντας τις επιμέρους επιβαρύνσεις λόγω εκπεμπόμενων ρύπων βάσει της:

$$c(t) = \sum c_i p_i = (\sum \varepsilon_i p_i) c_0 \quad (5)$$

όπου με “c” συμβολίζουμε το κόστος της μοναδιαίας ρύπανσης και με “ε” το σχετικό κόστος του κάθε ρυπαντή. Για τη συγκεκριμένη περίπτωση των “CO”, “HC” και “NO_x” η εξίσωση (5) γράφεται:

$$c(t) = (\varepsilon_{co} p_{co} + \varepsilon_{Hc} p_{Hc} + \varepsilon_{NO_x} p_{NO_x}) c_0 \quad (6)$$

Καθορίζοντας την τιμή του “c” και το ανεκτό περιβαλλοντικό κόστος <7> που το κοινωνικό σύνολο είναι διατεθειμένο να πληρώσει για κάθε καταλυτικό όχημα, προκύπτει από την εξίσωση (5) ή (6) ο μέγιστος χρόνος “t_{env}” που είναι περιβαλλοντικά-κοινωνικά ανεκτή η λειτουργία ενός ΚΜΑ πριν την αντικατάστασή του. Αντίστοιχα εάν χρησιμοποιήσουμε για παράδειγμα σαν μονάδα αναφοράς το εκπεμπόμενο “CO”, οπότε ε_{co}=1.0 και εκτιμήσουμε τις τιμές των “ε_i” για HC και “NO_x” (π.χ. ε_{HC} =100 και ε_{NO_x} =125) <8> τότε είναι δυνατός ο προσδιορισμός του χρόνου αντικατάστασης με δείκτη τις τιμές (C/c₀) του εκπεμπόμενου “CO”, δηλαδή καθορίζεται ο χρόνος αντικατάστασης “t_{env}” με βάση ένα ανώτατο συνολικό όριο εκπεμπόμενων κιλών ρύπανσης εκφρασμένων σε μονάδες ισοδύναμου “CO”, βλέπε σχήμα /5/.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΗΣΗΣ-ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΜΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

Όπως προαναφέρθηκε η αντικατάσταση ενός ΚΜΑ είναι εκ των πραγμάτων επιβεβλημένη μετά την πάροδο ορισμένου χρόνου λειτουργίας του, που συνδέεται άμεσα και με τα διανυθέντα χιλιόμετρα εκ μέρους του οχήματος. Στην περίπτωση αυτή ενδιαφέρον παρουσιάζει το κόστος αγοράς και αντικατάστασης ενός ΚΜΑ σε σημερινές τιμές. Στο σχήμα /6/ παρουσιάζεται εξέλιξη του μέσου κόστους αγοράς και αντικατάστασης ενός

ΚΜΑ για τις πλέον διαδεδομένες μάρκες οχημάτων σε συνάρτηση του κυβισμού του οχήματος, ενώ στο ίδιο σχήμα δίνονται και οι μέγιστες αποκλίσεις (μέγιστη και ελάχιστη τιμή αντικατάστασης). Από τα διαθέσιμα στοιχεία <9> προκύπτει ότι η τιμή αντικατάστασης ενός ΚΜΑ κυμαίνεται από 150,000δρχ για οχήματα κυβισμού (έως 1050 cm³) έως 300,000δρχ για οχήματα έως 2000cm.³

Δεδομένης της παντελούς έλλειψης κριτηρίων τυποποίησης και κανόνων που να καθορίζουν τις προδιαγραφές των ΚΜΑ στην ελληνική αγορά, διατίθενται από παράλληλους εισαγωγείς αρκετά προϊόντα με αμφίβολα λειτουργικά χαρακτηριστικά (βλέπε για παράδειγμα καμπύλη II του σχήματος /4/). Στην περίπτωση αυτή η τιμή διάθεσης συνήθως υπολείπεται έως και 100% της αντίστοιχης εργοστασιακής, είναι όμως πιθανή η μέτρια απόδοση του ΚΜΑ (χαμηλό “η”) και η ταχύτερη και εντονότερη γήρανσή του.

Από την άλλη πλευρά ο χρήστης ενός καταλυτικού οχήματος χρησιμοποιεί αμόλυβδη βενζίνη της οποίας η τιμή (δρχ/lt) υπολείπεται της βενζίνης τύπου “super” κατά ένα ποσό “Δc”. Συνεπώς, ο κάτοχος ενός καταλυτικού οχήματος απολαμβάνει μια έστω περιορισμένη (της τάξης του 5-7%) έκπτωση στη τιμή του καυσίμου που χρησιμοποιεί και η οποία προέρχεται κύρια από τη διαφοροποίηση στη φορολογία εκ μέρους της πολιτείας, της αμόλυβδης βενζίνης σε σχέση με τη “super”, καθώς το κόστος παραγωγής της πρώτης είναι το ίδιο ή και ελαφρώς υψηλότερο από αυτό της δεύτερης. Συνεπώς μετά την πάροδο –η χρονικών περιόδων με μέση πραγματική κατανάλωση καυσίμου “ω” και εάν τα αντίστοιχα διανυθέντα χιλιόμετρα είναι “Δx”, τα εξοικονομούμενα χρήματα δίδονται σαν:

$$R_n = \bar{\omega} \Delta \chi_1 \Delta c_1 (1-i)^{n-1} + \bar{\omega}_2 \Delta \chi_2 \Delta c_2 (1+i)^{n-2} + \bar{\omega}_n \Delta \chi_n \Delta c_n (1+i/2) \quad (7)$$

όπου “i” το μέσο κόστος του χρήματος στην υπό μελέτη περίοδο. Μετά από ορισμένες απλοποιήσεις (βλέπε και <10>) προκύπτει:

$$R_n = \bar{\omega} \Delta \bar{\chi} \Delta \bar{c} (1+i/2) \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (8)$$

Τέλος, στην περίπτωση που αναφερθούμε στα πρώτα καταλυτικά οχήματα τα οποία αγοράστηκαν με το μέτρο της απόσυρσης, πρέπει να συμπεριληφθούν και τα πρόσθετα έσοδα από την απαλλαγή των τελών κυκλοφορίας για τα πρώτα πέντε έτη κυκλοφορίας του οχήματος. Χρησιμοποιώντας συνεπώς μία ενδεικτική τιμή της πραγματικής κατανάλωσης του οχήματος (βλέπε πίνακα /I/) και των διανυθέντων km στην υπό μελέτη χρονική περίοδο είναι δυνατόν, με την επίλυση της εξίσωσης (9), να προσδιοριστεί ο χρόνος λειτουργίας “t” του ΚΜΑ μέσα στον οποίον ο καταναλωτής έχει εξοικονομήσει βάση των φορολογικών ρυθμίσεων το κόστος αγοράς του νέου καταλύτη. Πράγματι θα πρέπει να ισχύει:

$$R_n(t') = C_k(t') - \delta C(t') \quad (9)$$

όπου με “ $C_k(t)$ ” συμβολίζουμε την τιμή αντικατάστασης του ΚΜΑ τη χρονική στιγμή “ t ” και με “ $\delta C(t)$ ” συμβολίζουμε την πιθανή τιμή-αξία διάθεσης του απαξιωμένου ΚΜΑ.

Να σημειωθεί ότι το “ $\delta C(t)$ ” μπορεί να είναι αρνητικό εάν ο καταναλωτής πρέπει να πληρώσει για τη διάθεση του παλιού ΚΜΑ ή θετικό εάν υπάρχει ο αγοραστής του ΚΜΑ, με σκοπό την αξιοποίηση και επανάκτηση των υπαρχόντων ευγενών μετάλλων, που περιέχει κάθε ΚΜΑ.

Συνοψίζοντας είναι δυνατός ο υπολογισμός του χρόνου “ t ” κατά τον οποίο ο ιδιώτης κάτοχος του ΚΜΑ έχει συγκεντρώσει, από την ευνοϊκή τιμολόγηση των καυσίμων, τα απαραίτητα για την αγορά και αντικατάσταση του ΚΜΑ του οχήματός του. Στην περίπτωση που $t > t_{env}$ ο απαιτούμενος χρόνος επαναγοράς του ΚΜΑ είναι μεγαλύτερος από το χρόνο που τα περιβαλλοντικά όρια επιβάλλουν και συνεπώς ο ιδιώτης καταναλωτής θα έχει την πρόθεση για καθυστέρηση της αντικατάστασης του ΚΜΑ, γεγονός που θα επιβαρύνει το κοινωνικό σύνολο, με επιπλέον αέριους ρυπαντές. Αντίθετα στην περίπτωση που $t < t_{env}$ ο καταναλωτής θα εξοικονομήσει τουλάχιστον τα χρήματα επαναγοράς του ΚΜΑ, προτού οι πιθανοί περιβαλλοντικοί περιορισμοί να επιβάλλουν την αντικατάσταση του ΚΜΑ, ώστε να περιοριστούν οι εκπεμπόμενοι αέριοι ρύποι.

ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΙΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΑΞΙΩΜΕΝΩΝ ΚΜΑ

Η ιδέα της αξιοποίησης των απαξιωμένων ΚΜΑ ξεκινά από το γεγονός ότι αυτοί περιέχουν ορισμένες ποσότητες σπάνιων μετάλλων (ευγενών μετάλλων) όπως ο λευκόχρυσος (Pt), το παλλάδιο (Pd) και το ρόδιο (Rh). Από συγκεντρωθέντα δε στοιχεία το 39% της παγκόσμιας παραγωγής Pt καταναλώνεται ετησίως στους ΚΜΑ καθώς και το 17% της παραγωγής του Pd. Πιο εντυπωσιακό είναι το γεγονός ότι σχεδόν το 91% της παγκόσμιας παραγωγής Rh χρησιμοποιείται στην κατασκευή των ΚΜΑ, ενώ οι ολοένα και αυστηρότεροι περιβαλλοντικοί περιορισμοί θα απαιτούν διαρκώς μεγαλύτερες ποσότητες ευγενών μετάλλων για τη μείωση των επικίνδυνων αέριων ρυπαντών. Τα παραπάνω στοιχεία καθώς και το γεγονός ότι δύο μόνο χώρες (η Ρωσία και η Νότιος Αφρική) προμηθεύουν το 90% των ετησίως καταναλισκόμενων παγκοσμίως ποσοτήτων ευγενών μετάλλων καθιστούν ενδιαφέρονσα (και κατά κανόνα ανταγωνιστική) την ιδέα-προσπάθεια ανακύκλωσης των πολύτιμων μετάλλων του ΚΜΑ.

Από τα διαθέσιμα στοιχεία <11> ένας ΚΜΑ περιέχει 1.5-5.0 gr λευκόχρυσου και παλλάδιου καθώς και 0.4-1.5 gr Rh ανάλογα με το είδος του οχήματος. Από τα υπάρχοντα στοιχεία ο επιτυγχανόμενος μέχρι σήμερα βαθμός ανάκτησης των πολύτιμων μετάλλων ξεκινάει από το 60% με προοπτικές να φθάσει με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στα επίπεδα του 90%. Αντίστοιχα τιμές του Pt στη διεθνή αγορά κυμαίνονται περί τα 500\$/oz, ενώ οι τιμές του Rh είναι υψηλότερες (περίπου οι διπλάσιες). Τα στοιχεία αυτά σε

συνδυασμό με το σχετικά υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης (3 έως 7 εκατ. \$) και το σημαντικό κόστος συγκέντρωσης των παλαιών ΚΜΑ δεν επιτρέπουν σημαντικά περιθώρια στις τιμές αγοράς των απαξιωμένων ΚΜΑ. Φυσικά η βιωσιμότητα ενός παρόμοιου εγχειρήματος βασίζεται και στον όγκο των ανακυκλούμενων ΚΜΑ. Από τα στοιχεία του Ο.Δ.Δ.Υ. <12> (πίνακας /II/) ο αναμενόμενος αριθμός των προς αντικατάσταση ΚΜΑ τα επόμενα χρόνια δύσκολα θα υπερβεί τα 150,000 τεμάχια ετησίως. Βασιζόμενοι και στον πιθανό αριθμό συγκέντρωσης των εν λόγω παλαιών καταλυτών, δύσκολα στη χώρα μας θα επιβιώσει αντίστοιχη εγχώρια μονάδα ανακύκλωσης παλαιών ΚΜΑ. Αντίθετα η επικρατούσα άποψη <11> είναι ότι στη χώρα μας είναι δυνατή η ίδρυση εθνικού δικτύου συλλογής και συγκέντρωσης απαξιωμένων ΚΜΑ, οι οποίοι αφού υποστούν μια πρώτη επεξεργασία για συμπίεση του κόστους μεταφοράς θα πρέπει να διατίθενται σε υφιστάμενες κεντρικές μονάδες της ΒΔ Ευρώπης.

Στην περίπτωση αυτή η τιμή αγοράς ενός απαξιωμένου καταλύτη μπορεί να κυμανθεί στην περιοχή των 3000-8000 δρχ. ανάλογα την περίπτωση και τον όγκο των συγκεντρωμένων ΚΜΑ και κυρίως ανάλογα με την διακύμανση της τιμής των εγγενών μετάλλων στη διεθνή αγορά. Η προαναφερόμενη τιμή αγοράς είναι συγκρίσιμη με τα περίπου 20\$/ΚΜΑ της αμερικανικής αγοράς και τα περίπου 3DM/ΚΜΑ της γερμανικής αγοράς, ενώ αντιστοιχεί στο 25% περίπου της αξίας των δυναμένων να ανακτηθούν πολύτιμων μετάλλων ενός τυπικού ΚΜΑ.

Ολοκληρώνοντας αναφέρουμε ότι είναι εφικτός με αρκετή ακρίβεια ο υπολογισμός της τιμής διάθεσης «δC» ενός απαξιωμένου ΚΜΑ και συνεπώς είναι πλέον δυνατή η επίλυση της εξίσωσης (9) για τον προσδιορισμό του χρόνου απόσβεσης της αγοράς ενός ΚΜΑ.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Έχοντας αφενός παρουσιάσει ένα ολοκληρωμένο υπολογιστικό πλαίσιο αξιολόγησης της λειτουργίας ΚΜΑ στη χώρα μας και αφετέρου συγκεντρώσει τα απαραίτητα στοιχεία είναι δυνατή η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής της παρούσας ανάλυσης για τυπικά παραδείγματα οχημάτων. Συνεπώς χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (8) και (9) και τα στοιχεία του σχήματος (8) προκύπτει ότι ο χρόνος απόσβεσης ενός ΚΜΑ για τα περισσότερα μικρομεσαία οχήματα (1400cm³) είναι μεταξύ των 5.4 και 7.1 ετών ή ισοδύναμα με την κάλυψη 81.000km έως 106.000km. στην περίπτωση αυτή το τελικό μέσο κόστος αντικατάστασης του ΚΜΑ ελήφθη 200.000δρχ και η μέση πραγματική κατανάλωση ίση με 11lt/100km. Αντίστοιχα στην περίπτωση οχημάτων μεγαλύτερου (και έως 2000cm³) ο χρόνος απόσβεσης του ΚΜΑ εκτιμάται μεταξύ 6.4 και 8.3 ετών, αποτέλεσμα που μεταφράζεται σε 96.500 και 124.500km. Και για την περίπτωση αυτή όπως και την προηγούμενη το μέσο κόστος του χρήματος ελήφθη ίσο με 15% και η μέση απόσταση ίση με 15.000km. τέλος ο μέγιστος και ο ελάχιστος χρόνος (απόσταση)

απόσβεσης του ΚΜΑ αντιστοιχεί σε διαφορά της τιμής στη χρησιμοποιούμενη αμόλυβδη βενζίνη (σε σχέση με την super) ίση με 10 ή 15δρχ/lt αντίστοιχα, στοιχεία που επαληθεύονται πλήρως από την πράξη.

Αντίστοιχα και σύμφωνα με δημοσιευμένα στοιχεία οι εκπεμπόμενες ποσότητες ρύπων ετησίως αντιστοιχούν σε 1560kg ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (74.9kg “CO”, 7.1kg “HC”, 6.3kg “NO”) για καταλυτικά οχήματα έως 1400 cm³ και σε 1850kg ισοδύναμου μονοξειδίου του άνθρακα για οχήματα 2000cm³. από ανάλογη εργασία προέκυψε ότι μια καταναλισκομένη kWh ενέργεια στη χώρα μας συνοδεύεται από 1.2kg ισοδύναμου “CO”. Συγκρίνοντας τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι ενώ για ένα μέσο καταλυτικό αυτοκίνητο είναι υπεύθυνο για την επιβάρυνση του περιβάλλοντος με λιγότερα από 2000kg “CO”, η ηλεκτρική θερμική ενέργεια που κατά κανόνα καταναλώνεται από την ίδια την οικογένεια είναι υπεύθυνη για τριπλάσια ρύπανση του περιβάλλοντος. Σε κάθε περίπτωση όμως είναι στην κρίση του κοινωνικού συνόλου να επιβάλλει συγκεκριμένα περιβαλλοντολογικά κριτήρια για την αντικατάσταση των απαρχαιωμένων ΚΜΑ ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός περιβαλλοντικής προστασίας. Στην περίπτωση που τα όρια κυμανθούν μεταξύ των 8500kg και 11000kg “CO” ο χρόνος οικονομικής απόσβεσης και περιβαλλοντικής απαξίωσης δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες διαφορές με αποτέλεσμα να μην αναμένονται σημαντικά προβλήματα. Σε κάθε άλλη περίπτωση αναμένονται αντιδράσεις είτε εκ μέρους των κατοχών καταλυτικών είτε από τους υπερασπιστές του περιβάλλοντος.

Συμπερασματικά, η καθιέρωση των ΚΜΑ και στη χώρα μας περιόρισε σε κάποιο βαθμό την ατμοσφαιρική ρύπανση των αστικών κέντρων, αν και η συμπεριφορά των εν χρήσει ΚΜΑ δεν ήταν ιδανική στις ειδικές κυκλοφοριακές συνθήκες της χώρας μας. Επιπλέον σήμερα παρουσιάζεται πειστικό το πρόβλημα της αντικατάστασης των παλαιών ΚΜΑ κυρίως λόγω τεχνολογικής των απαξίωσης. Στην περίπτωση αυτή η τυχόν μη έγκαιρη αντικατάσταση των παλαιών ΚΜΑ είναι περιβαλλοντικά επιζήμια και οικονομικά αδικαιολόγητη, εφόσον ληφθούν υπόψη τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν. Επιπλέον η τυχόν εισαγωγή μεταχειρισμένων καταλυτικών οχημάτων θα επιβαρύνει στο εγγύς μέλλον οικονομικά τους νέους των κατόχους, οι οποίοι μην έχοντας εξασφαλίσει τα οικονομικά ανταλλάγματα από τη χρήση της αμόλυβδης βενζίνης θα αντιδράσουν στην υποχρέωση τους για αλλαγή των απαξιωμένων ΚΜΑ των οχημάτων τους, ώστε να προστατευθεί το περιβάλλον. Εάν δε τελικά επιτύχουν στην προσπάθειά τους αυτή ο μεγάλος χαμένος θα είναι αρχικά το περιβάλλον και στη συνέχεια το κοινωνικό σύνολο. Η ιδέα της εισαγωγής μεν μεταχειρισμένων καταλυτικών οχημάτων αλλά με νέο εργοστασιακά εγγυημένο ΚΜΑ ίσως να αποτελεί κάποια λύση στο διαφαινόμενο πρόβλημα.

Τέλος η μελλοντική αλλαγή των παλαιών των παλαιών ΚΜΑ αναμένεται τα επόμενα χρόνια να δημιουργήσει μια νέα αγορά συλλογής και επεξεργασίας απαξιωμένων ΚΜΑ με στόχο την ανακύκλωση των ευγενών μετάλλων των ΚΜΑ. Στην περίπτωση αυτή το αναμενόμενο μέγεθος της ελληνικής αγοράς και ο απαιτούμενος κεφαλαιουχικός εξοπλισμός (βάσει της υφιστάμενης τεχνογνωσίας) δεν εγγυώνται τη βιωσιμότητα μιας

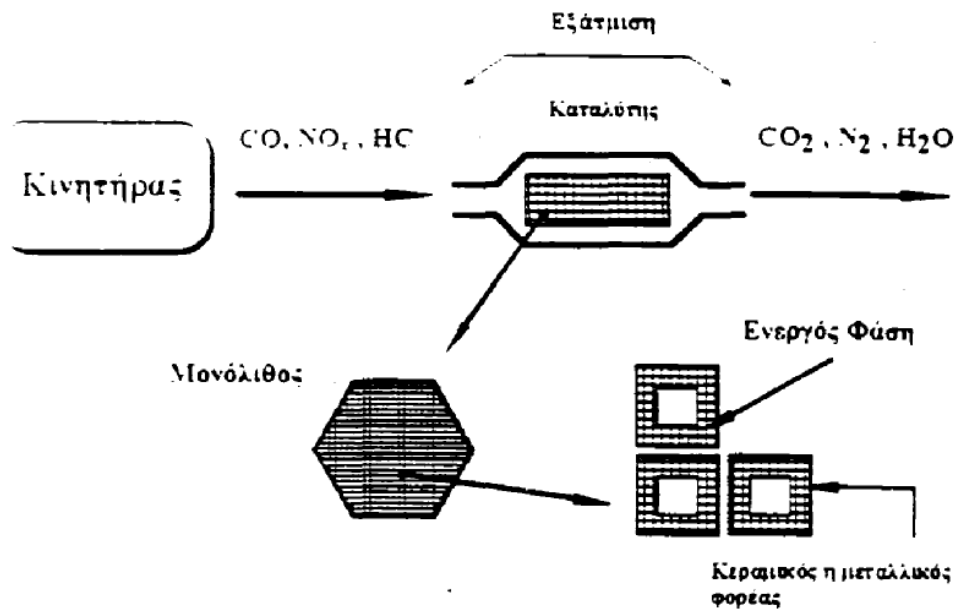
αμιγώς εγχώριας προσπάθειας, με βάση πάντοτε τις ισχύουσες τιμές πολύτιμων μετάλλων στη διεθνή αγορά. Ολοκληρώνοντας πιστεύουμε ότι για το σύνολο των θεμάτων που σχετίζονται με τους ΚΜΑ οι αναμενόμενες αποφάσεις της πολιτείας πρέπει και μπορούν να βασισθούν όχι μόνο στα τεχνικά και οικονομικά δεδομένα αλλά και στα προαναφερθέντα στοιχεία κοινωνικού και περιβαλλοντικού κόστους χρήσης των ΚΜΑ στη χώρα μας.

Πίνακας Ι : Μέση Κατανάλωση Οχημάτων ανά Κατηγορία Κυβισμού

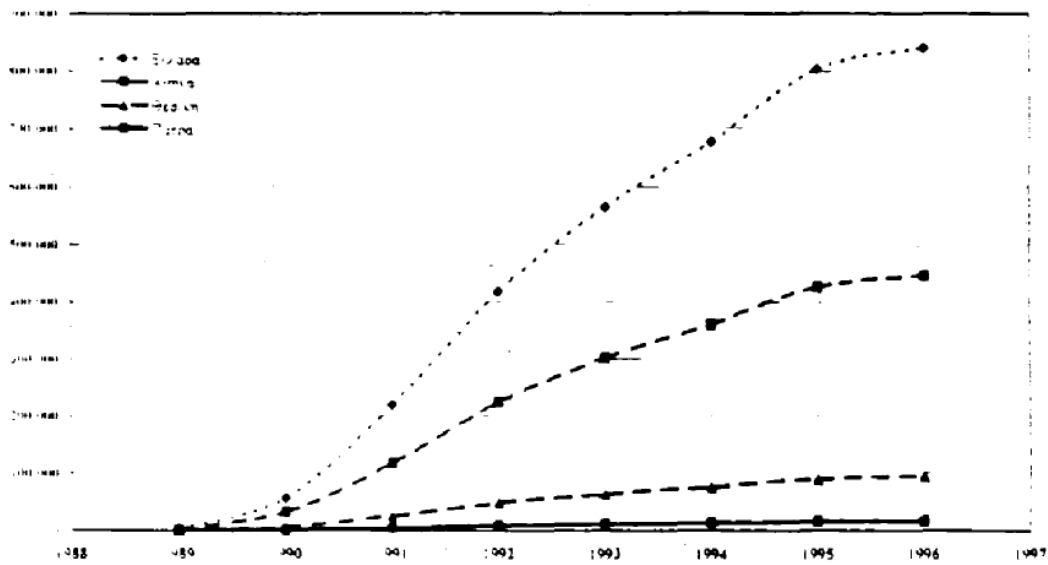
Κατηγορία Κυβισμού (cm³)	Μέση Τιμή (lt/100km)	Μέγιστη Τιμή (lt/100km)	Ελάχιστη Τιμή (lt/100km)
543-1071	7.7	8,1	7,1
1072-1357	8.9	12	7,5
1358-1642	10.0	13,8	8,7
1643-2071	13.5	19	10,5
>2071	17.0	21,8	12,8

Πίνακας ΙΙ : Προβλεπόμενος Ρυθμός Αντικατάστασης ΚΜΑ

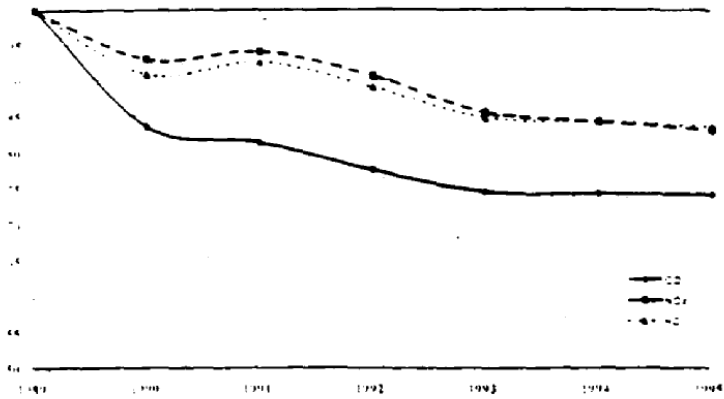
Έτος	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2005	2010
ΚΜΑ	10000	15000	90000	150000	170000	200000	230000	250000



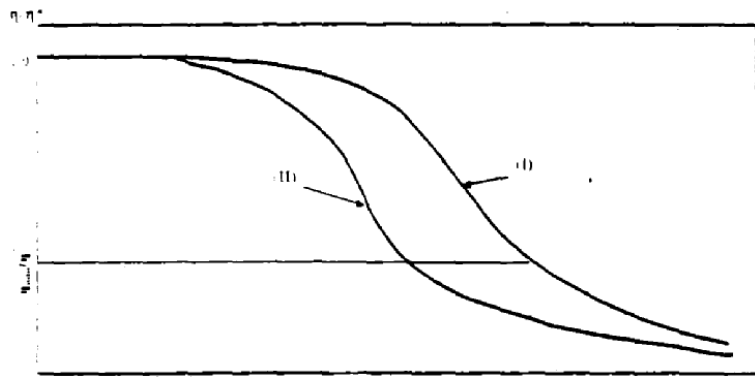
Σχήμα 1: Σχηματική Απεικόνιση Τριωδικού Καταλύτη.



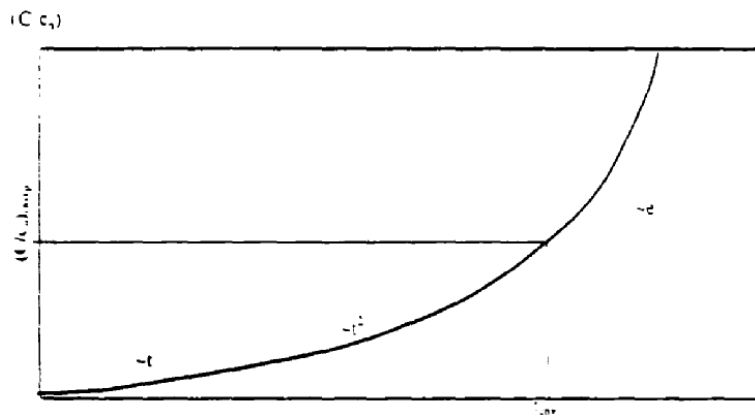
Σχήμα 2: Διαχρονική Μεταβολή του Αριθμού των Καταλυτικών Οχημάτων.



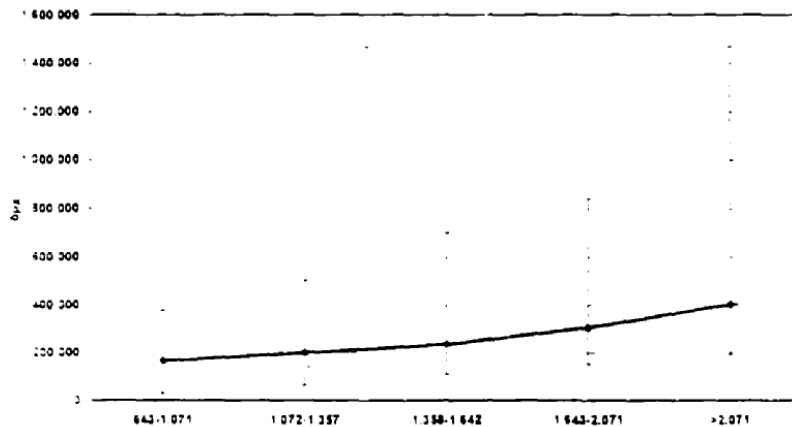
Σχήμα 3: Ποσοστιαία Μείωση Ατμοσφαιρικών Ρύπων στην Αθήνα.



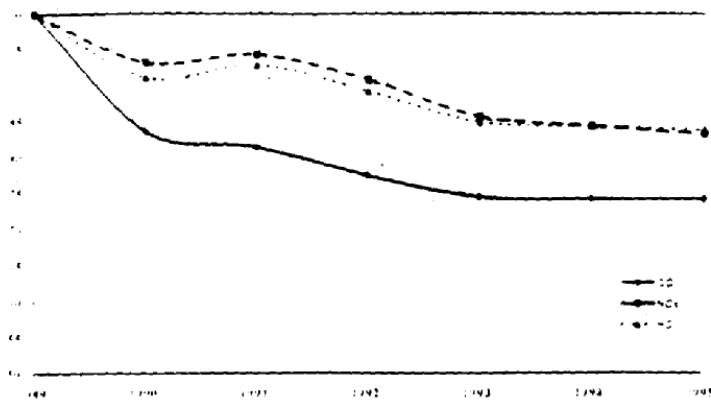
Σχήμα 4: Μεταβολή Βαθμού Αποδοσης ΚΜΑ με το Χρονο Λειτουργίας.



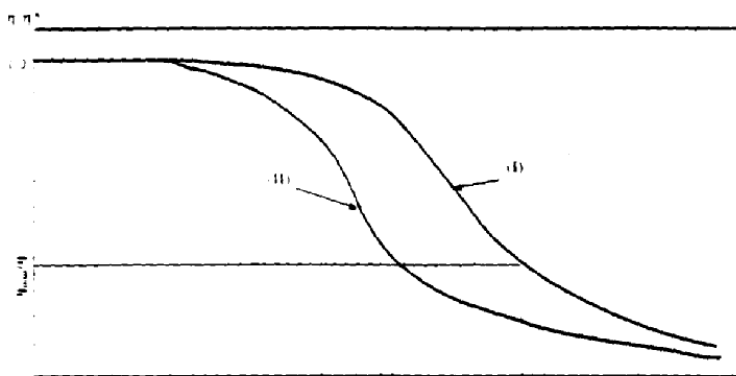
Σχήμα 5: Καθορισμός Περιβαλλοντικού Ορίου Αντικατάστασης ενός ΚΜΑ



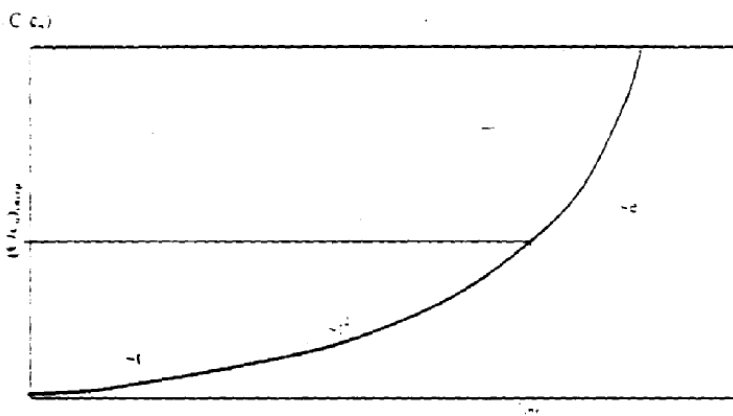
Σχήμα 6: Μέσο Κόστος Αντικατάστασης ενός ΚΜΑ ανά Κατηγορία Κυβισμού.



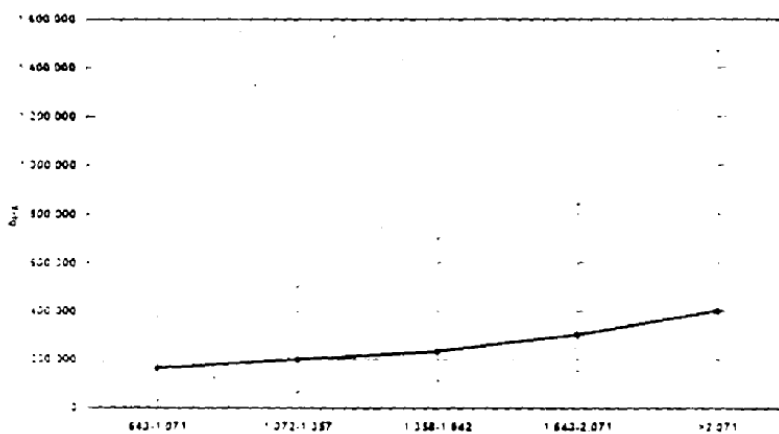
Σχήμα 3: Ποσοστιαία Μείωση Ατμοσφαιρικών Ρυπανών στην Αθήνα.



Σχήμα 4: Μεταβολή Βαθμού Αποδόσης ΚΜΑ με το Χρόνο Λειτουργίας.



Σχήμα 5: Καθορισμός Περιβαλλοντικού Ορίου Αντικατάστασης για ΚΜΑ.



Σχήμα 6: Μέσο Κόστος Αντικατάστασης για ΚΜΑ ανά Κατηγορία Κυβίσκου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- «Ομοσπονδία Βιομηχανικών Εργατοϋπαλληλικών Σωματείων», Πρόγραμμα ADAPT “Automotivation 2000”, Καταλύτες των αυτοκινήτων.
<http://www.thalys.gr>
- «ΑΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ 1994 - 2001», Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος Διεύθυνση Ελέγχου, Ατμοσφαιρικής ρύπανσης και θορύβου (Δ.Ε.Α.Ρ.Θ.), τμήμα αυτοκινήτων και εξωτερικών καύσεων.