

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΚΟΛΛΑΡΑ Δ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Π. ΜΑΤΖΙΝΟΣ**



**ΘΕΜΑ:  
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΑΤΜΙΣΕΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ</b>	<b>3</b>
1.1 Τι είναι και τι κάνει η εξάτμιση?	3
1.2 Γιατί χρειαζόμαστε μια εξάτμιση?	4
1.3 Επιμέρους εξαρτήματα μιας εξάτμισης	6
Πολλαπλής Εξαγωγής:	7
II. Καταλυτικούς μετατροπείς:	7
III. Σιγαστήρας (καζανάκι):	8
1.4 Προβλήματα που αντιμετωπίζει μια εξάτμιση:	8
I. Θερμοκρασία:	8
II. Κραδασμοί:	9
III. Διάβρωση	10
1.5 Λύσεις στα προβλήματα που αντιμετωπίζει μια εξάτμιση:	11
I. Θερμοασπίδες (Heat Shields)	11
II. Κατασκευή πολλαπλής εξαγωγής από χυτοσίδηρο	13
III. Ανοξείδωτα υλικά	14
1.6 Υλικά κατασκευής	14
<b>2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΜΕΣΑ ΣΕ ΑΥΤΗΝ</b>	<b>15</b>
2.1 Πιέσεις	15
2.2 Ήχος	16
<b>3. ΣΥΝΗΘΕΣΤΕΡΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΑΡΙΘΜΟ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ</b>	<b>17</b>
Τρικύλινδρα μοτέρ	17
Εξακύλινδρα μοτέρ	18
Δωδεκακύλινδρα μοτέρ	18
Πεντακύλινδρα μοτέρ	19
Δεκακύλινδροι	19
Τετρακύλινδρα μοτέρ	20
Οκτακύλινδρα μοτέρ	20
<b>4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ</b>	<b>21</b>
Μήκος σωλήνων χταποδιού σε 4 - 1	21
Εσωτερική διάμετρος πρωτεύοντων σωλήνων σε 4 - 1	22
Μήκος σωλήνων χταποδιού σε 4 - 2 - 1	23
Εύρεση μήκους δευτερευόντων σωλήνων σε 4 - 2 - 1	24
Εσωτερική διάμετρος πρωτεύοντων σωλήνων σε 4 - 2 - 1	24
Εσωτερική διάμετρος δευτερευόντων σωλήνων σε 4 - 2 - 1	25
<b>5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ</b>	<b>26</b>

# 1. Ο Ρόλος της Εξάτμισης

Το σύστημα εξαγωγής είναι ένα από τα καθοριστικότερα, για την απόδοσή του, περιφερειακά συστήματα του κινητήρα. Αυτό που απλοϊκά περιγράφουμε ως "εξάτμιση" είναι πολύ περισσότερα από ένα πακέτο από σωλήνες και καζανάκια. Ας ξεκινήσουμε με ερωτήσεις του τύπου:



## **1.1 Τι είναι και τι κάνει η εξάτμιση?**

Σκοπός της είναι η διαχείριση των καυσαερίων του κινητήρα. Εισάγοντας τον όρο "διαχείριση καυσαερίων" βλέπουμε πως το σύστημα εξαγωγής έχει να επιτελέσει κάμποσες βασικές λειτουργίες. Αν τις πιάσουμε κατά σειρά εμφάνισης, στην ιστορική πορεία του αυτοκινήτου, τότε η εποπτική μας λίστα έχει ως εξής:

1. Να απομακρύνει τα καυσαέρια από το μηχανοστάσιο και από το όχημα
2. Να περιορίζει το θόρυβο εξαγωγής του κινητήρα
3. Να συνεισφέρει στη βελτίωση της απόδοσης του κινητήρα, είτε από μόνο του, είτε ενσωματώνοντας διατάξεις, όπως λ.χ. ένα turbo
4. Να συμπληρώνει την αισθητική του αμαξώματος
5. Να φιλοξενεί τους αισθητήρες του συστήματος διαχείρισης κινητήρα που άπτονται των λειτουργιών προετοιμασίας καυσίμου μίγματος (δηλαδή τους αισθητήρες λάμδα και, ενίοτε, ένα ή περισσότερα πυρόμετρα)
6. Να ενσωματώνει τις διατάξεις καθαρισμού των καυσαερίων (καταλύτες, φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων κ.λπ.)
7. Να φιλοξενεί βοηθητικά συστήματα, όπως βαλβίδες και κυκλώματα ανακύκλωσης καυσαερίων κ.λπ.

## **1.2 Γιατί χρειαζόμαστε μια εξάτμιση?**

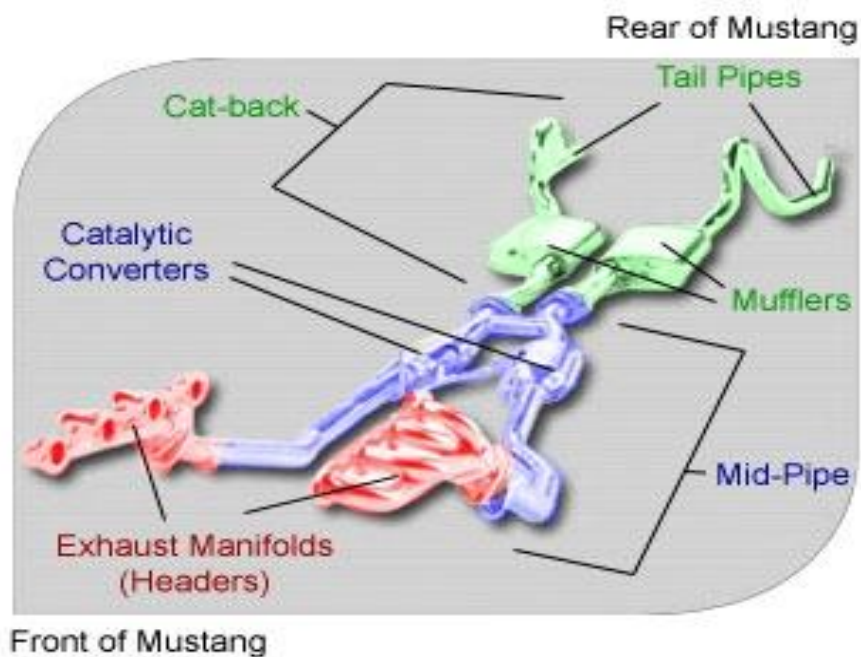
Ο πρώτος και βασικός λόγος είναι ότι, συνήθως, ο οδηγός ή οι επιβάτες του εκάστοτε μηχανοκίνητου βρίσκονται πολύ κοντά στον κινητήρα και, ως εκ τούτου, πρέπει με κάποιον τρόπο να αποτραπεί το ενδεχόμενο να εισπνεύσουν τα βλαβερά και επικίνδυνα καυσαέρια. Τα καυσαέρια ενός βενζινοκινητήρα, πριν περάσουν από το όποιο σύστημα καθαρισμού - εξευγενισμού τους περιέχουν δηλητηριώδες μονοξείδιο του άνθρακα (CO), καρκινογόνους άκαυτους υδρογονάνθρακες (HC), ασφυξιογόνο διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και διάφορες άλλες ενώσεις, σε μικρότερες συγκεντρώσεις, οι οποίες μόνο καλό δεν κάνουν στον άνθρωπο.

Το σύστημα εξάτμισης, λοιπόν, καταρχάς ενσωματώθηκε στα αυτοκίνητα για να προστατεύει τον οδηγό και τους επιβάτες, και σήμερα πλέον προστατεύει όλους μας από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, ενσωματώνοντας όλα όσα χρειάζονται για τον “εξαγνισμό” των καυσαερίων και τη μετατροπή τους σε "αβλαβή" για τον άνθρωπο αέρια. Για την ακρίβεια, με τη χρήση καταλυτικών μετατροπέων τα καυσαέρια μπορεί μεν να μετατρέπονται σε άμεσα "αβλαβή" (δηλαδή όχι τοξικά στην εισπνοή), ωστόσο παραμένουν έμμεσα επιβλαβή, αφού όπως και να έχει το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι από τα μεγαλύτερα προβλήματα της σύγχρονης ανθρωπότητας.

Η άλλη όψη της ατομικής και δημόσιας υγείας έχει να κάνει και με τον θόρυβο. Ακόμη και ο μικρότερος κινητήρας εσωτερικής καύσης, λ.χ. ακόμα και εκείνος ενός τηλεκατευθυνόμενου μοντέλου, μπορεί να προκαλέσει πολύ εκκωφαντικό θόρυβο, εάν δεν διαθέτει ένα αποτελεσματικό, από την πλευρά της κατασίγασης, σύστημα εξάτμισης. Υπό αυτό το πρίσμα, σκοπός της εξάτμισης είναι να "τιθασεύσει" την ηχητική ενέργεια των καυσαερίων, και να επαναφέρει τον θόρυβο του κινητήρα σε ένα, κατά βάση, ανεκτό επίπεδο. Το "ανεκτό", βεβαίως, είναι πολύ σχετικός προσδιορισμός, τον οποίο έχουν αναλάβει να στανταροποιήσουν οι διάφορες εν ισχύ σχετικές νομοθεσίες, όπως λ.χ. οι Κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης που διέπουν τα κριτήρια για τη χορήγηση Έγκρισης Τύπου των πάσης φύσης οχημάτων που φέρουν κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Πέρα όμως από την υγεία μας, ατομική και δημόσια, το σύστημα εξάτμισης εξυπηρετεί πρωτίστως και τις ανάγκες του ίδιου του κινητήρα. Σε έναν τυπικό βενζινοκινητήρα, το 35-40% της ενέργειας που περιέχεται στο καύσιμο πάει "χαμένο" στην εξάτμιση, υπό μορφή θερμικής, κινητικής και ηχητικής ενέργειας. Το σύστημα εξάτμισης φροντίζει είτε να αξιοποιεί μέρος αυτής της ενέργειας προς όφελος της απόδοσης του κινητήρα, αυξάνοντας την ογκομετρική απόδοση μέσω της βελτίωσης του ποσοστού πλήρωσης των κυλίνδρων. Αυτό γίνεται είτε μέσω της σχεδίασης της ίδιας της εξάτμισης και δη του πρώτου τμήματός της, της γνωστής πολλαπλής εξαγωγής ώστε να εκμεταλλεύεται την κυματική φύση των καυσαερίων (το βασικότερο σχεδιαστικό χαρακτηριστικό μιας εξάτμισης, από πλευρά απόδοσης), είτε αξιοποιώντας τα καυσαέρια για την κίνηση ενός turbo.

### 1.3 Επιμέρους εξαρτήματα μιας εξάτμισης



1) Exhaust Manifolds = Πολλαπλή Εξαγωγή

2) Catalytic converters = Καταλυτικούς μετατροπείς

3) Mufflers = Σιγαστήρες

## Πολλαπλή Εξαγωγή:



Αποσκοπεί στην απαγωγή των καυσαερίων από τους κυλίνδρους της ΜΕΚ στους καταλυτικούς μετατροπείς και στην συνέχεια μέσω του σιγαστήρα στο περιβάλλον. Κατασκευάζεται από χυτοχάλυβα με προσμίξεις νικελίου και χρωμίου, ώστε να προστατεύεται από τη διαβρωτική δράση των καυσαερίων.

## II. Καταλυτικούς μετατροπείς:



Είναι υπεύθυνος για την εξουδετέρωση των αέριων ρυπαντών ( $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$ ) που οφείλεται στη δράση των πολύτιμων μετάλλων πλατίνας, παλαδίου και ραδίου, και το εξωτερικό κάλυμμα του αποτελείται από ανοξείδωτο χάλυβα, ώστε να αποφεύγονται οι οξειδώσεις, καθώς και θερμομονωτικό υλικό, το οποίο προστατεύει, ταυτόχρονα, και τα ευπαθή καταλυτικά υλικά από κραδασμούς.

### **III. Σιγαστήρας (καζανάκι):**



Το τυπικό "καζανάκι" που θα δούμε στα περισσότερα αυτοκίνητα παραγωγής, ιδίως στα τελικά τμήματα των εξατμίσεων, είναι ένα δοχείο γεμάτο τοιχώματα, συνήθως κάθετα προς τη ροή των καυσαερίων, που δημιουργούν ένα λαβύρινθο μέσα από τον οποίο θα πρέπει να ελιχθούν τα καυσαέρια προκειμένου να φτάσουν στην ατμόσφαιρα. Πάνω σ' αυτά τα τοιχώματα από λαμαρίνα προσκρούουν τα καυσαέρια, με αποτέλεσμα να εκτρέπεται η ροή τους. Για να περάσουν τα καυσαέρια απαιτείται ενέργεια, η οποία αποτελεί μέρος της κινητικής ενέργειας με την οποία ξεκίνησαν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να "φρενάρει" την ροή τους αρα και τον τελικό ήχο κατά την έξοδο τους. Υλικά όπως υαλοβάμβακας (fiberglass) χρησιμοποιείται για την απορρόφηση των ηχων απο τα καυσαέρια.

#### **1.4 Προβλήματα που αντιμετωπίζει μια εξάτμιση:**

##### **I. Θερμοκρασία:**



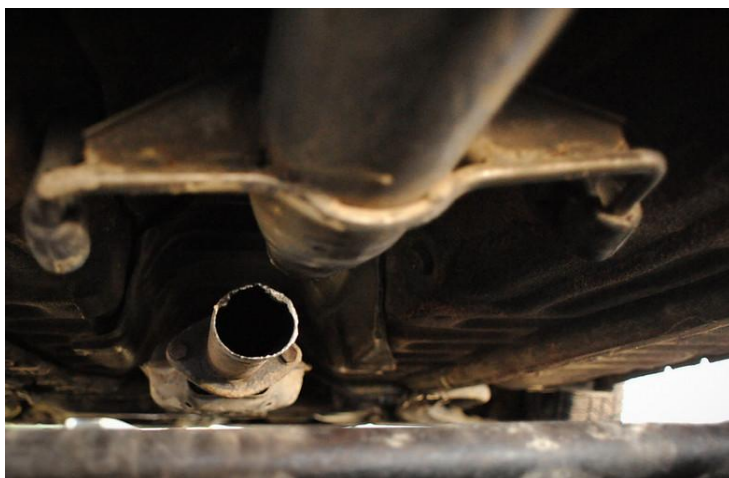


Ξεκινώντας από τη θερμοκρασία, πρέπει να εξετάσουμε δυο παραμέτρους:

1. Τη μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να επιτύχει ένας κινητήρας, η οποία σε ότι αφορά τους υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες άμεσου ψεκασμού με προδιαγραφές ρύπων Euro 5 ανέρχεται έως και τους 1.000 °C.

2. Τις αλληπάλληλες αυξομειώσεις θερμοκρασίας καυσαερίων: Για παράδειγμα από το ξεκίνημα στο φανάρι μέχρι το σταμάτημα στο επόμενο φανάρι μπορεί η θερμοκρασία ξεκινώντας από τους 400 °C να φτάσει και να ξεπεράσει τους 750 °C. Είναι πολύ απλό: όσο πιο πολύ γκάζι πατάς, τόσο περισσότερη βενζίνη καις και, ως εκ τούτου, τόσο περισσότερη θερμότητα στέλνεις στην εξάτμιση. Ακόμα χειρότερο είναι η καταπόνηση της ψυχρής εκκίνησης. Με τις νέες προδιαγραφές εκπομπής καυσαερίων να απαιτούν από τον καταλύτη να βρίσκεται σε θερμοκρασία λειτουργίας (400 °C) σε λιγότερο από ένα λεπτό από την εκκίνηση του μοτέρ, τα συστήματα διαχείρισης χρησιμοποιούν πολύ επιθετικές στρατηγικές προκειμένου να "καθαλίσουν" την εξάτμιση. Γίνεται επομένως, κατανοητός, ο υπέρογκος βαθμός της θερμικής καταπόνησης, τόσο από πλευρά τιμής της θερμοκρασίας όσο και από πλευρά ρυθμού μεταβολής της. Όλες αυτές οι μεταβολές θερμοκρασίας προκαλούν σημαντικές διαστολές / συστολές στην εξάτμιση, και επιπλέον δυσχεραίνουν την αντοχή του μετάλλου, αφού ως γνωστόν, οι μηχανικές ιδιότητες οποιουδήποτε μετάλλου φθίνουν όσο αυξάνει η θερμοκρασία του.

## II. Κραδασμοί:



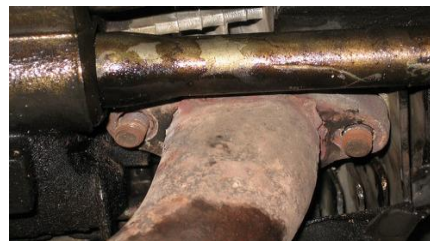
Πέρα από τις "αυτογενείς" ταλαντώσεις του κινητήρα, όπως λ.χ. αυτές που βλέπουμε με το μάτι όταν το μοτέρ δουλεύει στο ρελαντί ή αυτές που νιώθουμε στο αμάξωμα, ιδίως σε αυτοκίνητα με σχετικά σκληρές βάσεις κινητήρα, έχουμε και τις "εξωγενείς" ταλαντώσεις, αυτές που προκαλούνται από την κίνηση του αυτοκινήτου. Το μοτέρ λοιπόν, κινείται πάνω στις ελαστικές του βάσεις εξαιτίας των ανωμαλιών του δρόμου, εξαιτίας της επιτάχυνσης/ επιβράδυνσης/ στροφής του αυτοκινήτου και φυσικά λόγω της σχέσης δράσης - αντίδρασης μεταξύ κινητηρίου συγκροτήματος και τροχών. Με άλλα λόγια, όταν πατάμε ή αφήνουμε γκάζι, οι ελαστικές βάσεις συγκρατούν τον κινητήρα, ώστε να περιστρέφονται οι ρόδες και όχι το μοτέρ μαζί με το σασμάν. Παρ' όλα αυτά, ο κινητήρας δεν είναι πακτωμένος στο αμάξωμα, και ως εκ τούτου η εξάτμιση, που είναι σταθερά συνδεδεμένη με τον κινητήρα, τον ακολουθεί σε αυτόν τον δύσκολο χορό. Ωστόσο, η εξάτμιση είναι "μπαλαντέρ" ανάμεσα σε δυο συστήματα: τον κινητήρα, που διαθέτει μια σχετική ελευθερία κίνησης, και το ακίνητο αμάξωμα, το οποίο τη φέρει και τη στηρίζει. Προκειμένου η εξάτμιση να μην κοπεί στα δυο, πρέπει να διαθέτει ελαστικά τμήματα και ελαστικές βάσεις.

### III. Διάβρωση



Ένα από τα κυριότερα προβλήματα μίας εξάτμισης είναι η διάβρωση από χημικές ουσίες στην εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια της εξάτμισης. Τα καυσαέρια περιέχουν οξειδωτικές χημικές ενώσεις, ενώ και η λειτουργία του

καταλύτη παράγει σεβαστές ποσότητες νερού. Όλα αυτά, σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες, δημιουργούν ένα μίγμα, που διαβρώνει τα μέταλλα της εξάτμισης, ιδίως όταν αυτή δεν είναι κατασκευασμένη από ανοξείδωτα υλικά. Επιπλέον, η έκθεσή της στο δρόμο σημαίνει ότι πάνω της καταλήγουν πάσης φύσης νερά και λάσπες και αντιπαγωτικά άλατα σε περιοχές με χιονοπτώσεις.



### ***1.5 Λύσεις στα προβλήματα που αντιμετωπίζει μια εξάτμιση:***

#### **I. Θερμοασπίδες (Heat Shields)**



Η πρώτη γραμμή άμυνας απέναντι στη θερμότητα είναι η θερμομόνωση τόσο της ίδιας της εξάτμισης όσο και των ευαίσθητων εξαρτημάτων, καλύπτοντάς τα με μεταλλικές ή επιμεταλλωμένες θερμοασπίδες, που έχουν ως σκοπό την αντανάκλαση της θερμικής ακτινοβολίας και την παρεμπόδιση αγωγής της θερμότητας μέσω του περιβάλλοντος αέρα. Η μαζική παραγωγή ενός συστήματος εξάτμισης επιφέρει

σημαντικούς συμβιβασμούς στην ποιότητα και αποτελεσματικότητα των θερμομονωτικών ασπίδων, που στην πλειονότητά τους κρίνονται απλώς και μόνο επαρκείς. Το να καλύψεις ένα ευαίσθητο εξάρτημα με φύλλα χρυσού, όπως λ.χ. έκανε ο Gordon Murray όταν σχεδίασε την περιβόητη McLaren F1, αποτελεί μια λειτουργικά άριστη λύση που ωστόσο θα μείνει στην ιστορία ως άλλη μια τεχνική Extravaganza της βρετανικής σχολής των Supercars. Τα καθημερινά αυτοκίνητα αποτελούνται από χαλύβδινες ή αλουμινένιες θερμοασπίδες. Πολλά βελτιωμένα μοτέρ αντιμετωπίζουν σοβαρότατα προβλήματα θερμοκρασίας λαδιού, τα οποία λύνονται αποτελεσματικά μόνο με καλή θερμομόνωση της εξάτμισης, και σε πολλές περιπτώσεις, ακόμη και με μετατόπιση του φίλτρου λαδιού

Αρα, από την πλευρά της λειτουργικότητας, το πρώτο πράγμα που πρέπει να κάνει κανείς είναι να εξασφαλίσει την κατά το δυνατό βέλτιστη θερμομόνωση των πρώτων (και θερμότερων) τμημάτων της εξάτμισης, ώστε η θερμότητα να μην προκαλεί προβλήματα σε άλλους τομείς, πέρα από τον άμεσο αντίκτυπο της θερμοκρασίας στα επιμέρους εξαρτήματα του μηχανοστασίου. Αυτό είναι βασική ανάγκη όταν αναζητά κανείς τη βέλτιστη απόδοση, αφού οι υψηλές θερμοκρασίες μηχανοστασίου επιβαρύνουν αφενός μεν το σύστημα ψύξης, αφετέρου δε το σύστημα εισαγωγής αέρα.

Η "υπερβολική" θερμομόνωση της εξάτμισης μπορεί να επιφέρει άλλου είδους παρενέργειες, με συνηθέστερη την πρόκληση ρωγμών στην πολλαπλή εισαγωγή. Όπως εξηγήσαμε, η μηχανική αντοχή των μετάλλων φθίνει σε συνάρτηση με την άνοδο της θερμοκρασίας λειτουργίας. Η υπερβολική θερμομόνωση αυξάνει τη θερμική καταπόνηση των μετάλλων της εξάτμισης, με αποτέλεσμα την πρόωρη γήρανση και κόπωσή τους. Αυτός είναι και ο λόγος που κανένα εξάρτημα εξάτμισης δεν διατηρεί την εγγύησή του, σε περίπτωση που έχει τυλιχθεί με θερμομονωτικά υλικά.



(Θερμοασπίδες σε πολλαπλή εξαγωγής)



(Θερμοασπίδες σε καταλύτες)

## II. Κατασκευή πολλαπλής εξαγωγής από χυτοσίδηρο



Ο χυτοσίδηρος έχει κάποια πολύτιμα, για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, προτερήματα, με προεξάρχοντα το σχετικά χαμηλό συντελεστή γραμμικής διαστολής, σε σχέση με τους χάλυβες και το αλουμίνιο, τη μεγάλη θερμοχωρητικότητά του, τη σεβαστή μηχανική αντοχή, την ευκολία χύτευσης και το χαμηλό κόστος, αναλογικά με άλλα υλικά όπως λ.χ. ο ανοξείδωτος χάλυβας.

Ξεκινώντας από το χαμηλό συντελεστή διαστολής του χυτοσιδήρου, αυτός είναι απαραίτητος προκειμένου να εξασφαλίζεται καλή συνεργασία με την κυλινδροκεφαλή: οι αλουμινένιες κυλινδροκεφαλές ναι μεν διαστέλλονται σχεδόν δυο φορές περισσότερο από το μαντέμι, ωστόσο έχουν το πλεονέκτημα της ψύξης και έτσι οι μέγιστες θερμοκρασίες τους σπάνια υπερβαίνουν το 15% της μέγιστης θερμοκρασίας της πολλαπλής εξαγωγής. Αυτή η τεράστια θερμική ανισότητα προκαλεί εντονότατα προβλήματα στεγανοποίησης στη σύνδεση κυλινδροκεφαλής / πολλαπλής εξαγωγής, με συνηθέστερο σύμπτωμα την παραμόρφωση ("πετσικάρισμα") της επιφάνειας του χταποδιού που συνδέεται πάνω στην κυλινδροκεφαλή.

Όσο αυξάνεται ο συντελεστής διαστολής του χταποδιού, τόσο αυξάνεται και το κόστος για την κατασκευή ενός χταποδιού που δεν θα παραμορφωθεί ή ραγίσει, λόγω της ανομοιομορφίας στη διαστολική συμπεριφορά μεταξύ αυτού και της κεφαλής. αυτός είναι και ο λόγος που τα περισσότερα σωληνωτά χταπόδια είναι πολύ χοντρά στο σημείο που βιδώνουν πάνω στην κυλινδροκεφαλή και, επιπλέον, χρησιμοποιούν τεχνικές λύσεις όπως οβάλ ή σκισμένες τρύπες για τις βίδες ή τα μπουζόνια τους.

Εκτός αυτού, το χταπόδι πρέπει να στριμωχτεί μέσα σε ένα μηχανοστάσιο. Αυτό απαιτεί σε πολλές περιπτώσεις τη σχεδίαση με απότομες και αρκετά μικρής ακτίνας καμπύλες, που όχι μόνο διαμορφώνονται δύσκολα σε έναν απλό σωλήνα, αλλά πολλαπλασιάζουν και την πιθανότητα εκδήλωσης ρωγμών κατά τη χρήση, λόγω της μηχανικής καταπόνησης που έχει δεχθεί ο σωλήνας κατά την καμπύλωσή του. Η κατασκευή ενός χυτού εξαρτήματος είναι πολύ πιο εύκολη και οικονομική λύση, και σ' αυτήν την περίπτωση το μαντέμι είναι -δικαίως- ο επικρατέστερος υποψήφιος για τη δουλειά.

Εκεί που υστερεί τα μάλα είναι στην αναλογία όγκου - βάρους, σε σχέση με ένα αντίστοιχο "bolt-on" σωληνωτό χταπόδι. Ενώ το σωληνωτό συνήθως χρησιμοποιεί σωλήνα με πάχος τοιχώματος 1,5-2,25mm, το μαντέμι στο ίδιο σημείο έχει σχεδόν διπλάσιο, αν όχι και υπερδιπλάσιο, ορισμένες φορές, πάχος.

Από την άλλη, το μαντέμι είναι λιγότερο ελαστικό από τον σωλήνα που είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο ή ακόμη και από μαλακό χάλυβα. Αυτό μπορεί να είναι είτε πλεονέκτημα είτε μειονέκτημα, αναλόγως της εφαρμογής,

Η αυξημένη συνολική θερμοχωρητικότητα του μαντεμένιου εξαρτήματος, που οφείλεται ως επί το πλείστο στην αυξημένη μάζα του, είναι πλεονέκτημα επειδή μετριάζει το ρυθμό μεταβολής θερμοκρασίας του χταποδιού (δηλαδή ζεσταίνεται και κρυώνει με πιο αργό ρυθμό), κι έτσι μειώνει το βαθμό θερμικής και μηχανικής καταπόνησης λόγω απότομων διαστολών - συστολών. Αυτό σημαίνει αξιοπιστία και μακροζωία για το εξάρτημα, και σε ρεαλιστικές συνθήκες.

### **III. Ανοξείδωτα υλικά**

Κατασκευή απο Ανοξείδωτα υλικά για αποφυγή διάβρωσης με τριών ειδών κράμματα δυο φερριτικούς ανοξείδωτους χάλυβες (AISI τύπος 409 και 441) και μαλακού αλουμινίου επιφέρουν αντίσταση κατά τις οξειδωτικές και χημικές αντιδράσεις.

#### **1.6 Υλικά κατασκευής**

##### **Ανοξείδωτο ατσάλι:**

Το πιο γνωστό κράμα σιδήρου-άνθρακα. Η διαφορά του με τα υπόλοιπα κράματα ατσαλιού είναι η περιεκτικότητά του σε χρώμιο (περίπου 10,5 με 11% της μάζας του) που το κάνει εξαιρετικά ανθεκτικό στη διάβρωση και τη σκουριά. Ανάλογα βέβαια με την επεξεργασία που έχει δεχτεί παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή στις καταπονήσεις και τις υψηλές θερμοκρασίες για αυτό είναι και τόσο διαδεδομένο ως υλικό για την κατασκευή εξατμίσεων, τελικών ή ολόκληρων συστημάτων.

##### **Αλουμίνιο:**

Το επίσης πασίγνωστο αλουμίνιο και τα κράματά του είναι το σημαντικότερο βιομηχανικό μέταλλο μετά το σίδηρο και τον χάλυβα. Ξεχωρίζει φυσικά χάρη στο ιδιαίτερα χαμηλό του βάρος που βρίσκεται περίπου στο 1/3 σε σχέση με το ανοξείδωτο ατσάλι αλλά και για την ιδιότητά του να απάγει γρήγορα τη θερμότητα. Πολύ καλή είναι και η αντίστασή του στη διάβρωση. Χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή τελικών.

## **Τιτάνιο:**

Το τιτάνιο είναι ένα υλικό που βρίσκεται παντού στη φύση ακόμη και στον ανθρώπινο οργανισμό! Τα κράματα τιτανίου που χρησιμοποιούνται στις εξατμίσεις έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με το ανοξείδωτο ατσάλι που σημαίνει εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση και τις καταπονήσεις. Ωστόσο, αυτό το πετυχαίνουν με σημαντικά μικρότερο βάρος που μπορεί να φτάσει ακόμη και το 40-45% σε σχέση με το ατσάλι. Τέλος, το τιτάνιο διακρίνεται και για την πολύ γρήγορη απαγωγή θερμότητας.

## **Ανθρακονήματα:**

Έντες άνθρακα πλεγμένες μεταξύ τους και «βουτηγμένες» σε εποξική ρητίνη δημιούργησαν ένα από τα πιο ποθητά συνθετικά υλικά στο χώρο των δύο τροχών. Ανάλογα με την «ύφανσή», των αριθμό των φύλλων, τα πρόσθετά στη ρητίνη αλλά και το «ψήσιμο», ο κατασκευαστής μπορεί να ρυθμίσει την αντοχή και την ελαστικότητα του υλικού. Με βάρος έως και 8 φορές μικρότερο από αυτό του ατσαλιού τα ανθρακονήματα χρησιμοποιούνται συνήθως στα τελικά των εξατμίσεων.

## **2. Περιγραφή λειτουργίας μίας εξάτμισης και τα φαινόμενα που δημιουργούνται μέσα σε αυτήν**

Η κίνηση των καυσαερίων μέσα σε μια εξάτμιση είναι ένα πολυσύνθετο ρευστομηχανικό πρόβλημα, αρκετά επίφοβο στην εκλαΐκευσή του.

### **2.1 Πιέσεις**

Αρχίζοντας από τα βασικά, μέρος των καυσαερίων ξεκινάει από διαφορετική βαλβίδα εξαγωγής και αρχίζουν να κατευθύνονται προς το τέλος της εξάτμισης. Στην πορεία, θα περάσουν από τις σωληνώσεις της πολλαπλής εξαγωγής και θα συναντήσουν τα προπορευόμενα καυσαέρια και να αποτελέσουν όλα μαζί μια μάζα.

Η πίεση των αερίων μέσα στο σύστημα εξάτμισης δεν είναι σταθερή και αυξομειώνεται συνέχεια, ανάλογα με τη θέση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο και ανάλογα με το τι συμβαίνει στην εκάστοτε θέση του. Η πίεση είναι η κατεξοχήν κινητήριος δύναμη της ροής, αλλά όχι και η μόνη. Κάθε φορά που ανοίγει η βαλβίδα

εξαγωγής, απελευθερώνεται η τεράστια πίεση που έστειλε το πιστόνι προς το ΚΝΣ, παρέχοντας κινητική ενέργεια στο στρόφαλο. Ωστόσο τα καυσαέρια έχουν ακόμη πολλή ενέργεια, μέρος της οποίας θα αναλώσουν για να κινηθούν μέσα στην εξάτμιση. Τα καυσαέρια, λοιπόν, βγαίνουν από τον κύλινδρο με πίεση και, όπως ξέρουμε, η ροή είναι συνάρτηση πίεσης και ταχύτητας. Όσο αυξάνει η πίεση αυξάνει και η ταχύτητα, και έτσι τα καυσαέρια ξεκινάνε με την μέγιστη ταχύτητα τους και συναντάνε τα προηγούμενα καυσαέρια και μοιράζονται μαζί την κινητική τους ενέργεια, βοηθώντας τα να προχωρήσουν προς την έξοδο.

Όμως, οι βαλβίδες εξαγωγής θα ξανακλείσουν και μέχρι να ανοίξουν οι βαλβίδες του επόμενου, κατά σειρά ανάφλεξης, κυλίνδρου δημιουργείται υποπίεση, η οποία απορροφά τα τελευταία καυσαέρια έξω από τον κύλινδρο, στη φάση που το πιστόνι έχει φτάσει στο ΑΝΣ και δεν παρέχει πλέον, μηχανικά, κινητική ενέργεια στα καυσαέρια. Αυτό είναι και το λεγόμενο “overlap” δηλαδή το φαινόμενο όπου, κατά την παραμονή του εμβόλου στο ΑΝΣ κατά την ολοκλήρωση του κύκλου λειτουργίας (δηλαδή τη μετάβαση από το τέλος του τέταρτου χρόνου στην αρχή του πρώτου) αμφότερες οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι εν μέρει ανοιχτές

## 2.2 Ήχος

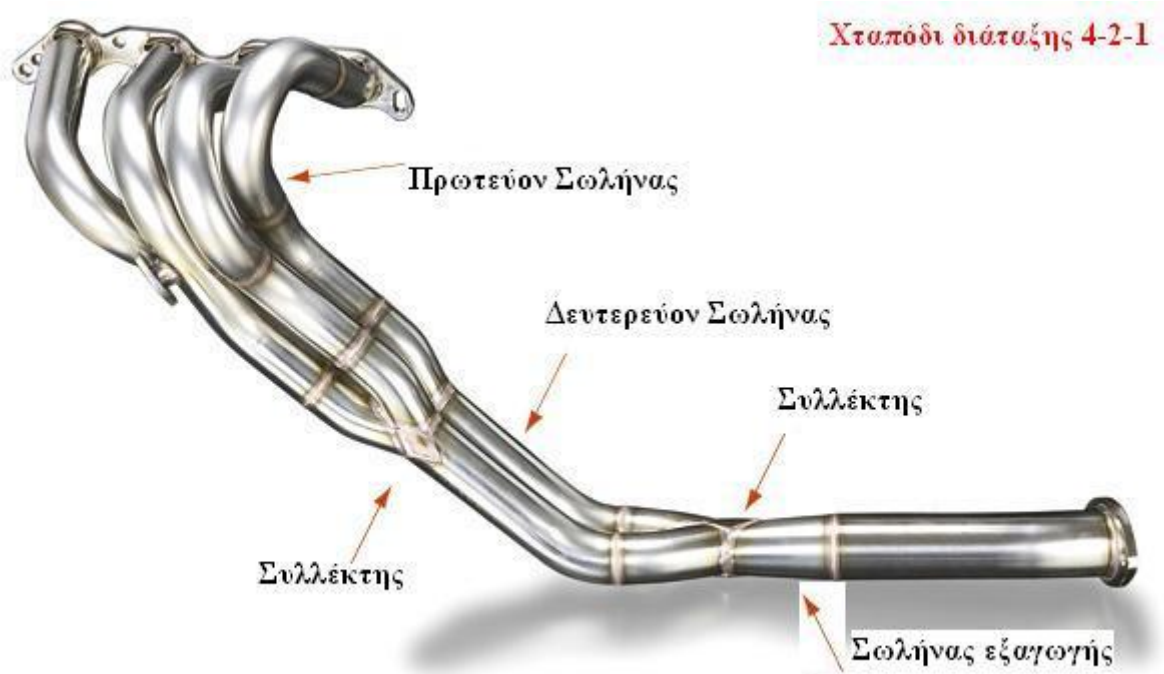
Ωστόσο, πέρα από τα καυσαέρια που κινούνται μέσα στην εξάτμιση, και τα οποία ουσιαστικά είναι οι παλμοί που παράγει ο κάθε κύλινδρος, υπάρχει θερμότητα, αλλά και ήχος. Ο ήχος είναι ο δεύτερος λόγος κίνησης των καυσαερίων. Ο ήχος στην εξάτμιση συνδυάζεται με το ωστικό κύμα που προκαλεί η εκτόνωση των καυσαερίων, κάθε φορά που ανοίγουν οι βαλβίδες εξαγωγής. Συγκεκριμένα, το κύμα όταν βγει από τον κύλινδρο προσπερνάει τα καυσαέρια και πηγαίνει προς την ατμόσφαιρα, δηλ στην άλλη άκρη της εξάτμισης.

Το κύμα, ωστικό γαρ, δημιουργεί και αυτό με τη σειρά περιοχές υψηλής πίεσης μπροστά του και χαμηλής πίσω του. Προσπερνώντας τα καυσαέρια που μόλις βγήκαν από τον κύλινδρο, η υψηλή πίεση που δημιουργεί το μέτωπο του κύματος σπρώχνει τα προπορευόμενα καυσαέρια, έτσι ώστε να μην δαπανήσουν πολύ από την κινητική τους ενέργεια. Παράλληλα, η χαμηλή πίεση που αφήνει πίσω του το κύμα δίνει μια βοήθεια στο επόμενο που ακολουθεί, τραβώντας το προς την άκρη της εξάτμισης.

Το κύμα έχει και μια άλλη ιδιότητα, αυτή της αντανάκλασης. Έτσι, όταν φτάσει στον “τοίχο” της ατμόσφαιρας, στην άκρη της εξάτμισης, θα επιστρέψει πίσω λόγω της διαφοράς των πιέσεων προς τις βαλβίδες. Κατα την επιστροφή, προσπαθεί να “φρενάρει” την ροή των καυσαερίων όμως επειδή έχει χάσει μέρος της ενέργειάς του δεν το επηρεάζει καταλυτικά.



### 3. Συνηθέστεροι τρόποι σύνδεσης πολλαπλής εξαγωγής ανά αριθμό κυλίνδρων



(Ονομασίες μελών που απαρτίζουν ένα χταπόδι)

#### Τρικόλινδρα μοτέρ



Συνδέουμε και τους 3 πρώτευοντες σωλήνες σε έναν συλλέκτη, από τον οποίο θα συνεχίσει ο σωλήνας εξαγωγής αλλιώς ένα συντομία 3-1.

## Εξακύλινδρα μοτέρ



(Διάταξη 6-2-1)



(Διάταξη V6)

Εχουμε περιπτώσεις 6-1 αλλα η πλέον κοινώς αποδεκτή και αποδοτικότερη είναι να “χωρίσουμε” το μοτέρ στη μέση και να το αντιμετωπίσουμε ως δυο τρικύλινδρα συνδέοντας μεταξύ τους τους κυλίνδρους 1-2-3 και τους κυλίνδρους 4-5-6.

## Δωδεκακύλινδρα μοτέρ



Εξορισμού V, τα οποία αντιμετωπίζουν την κάθε μεριά κυλίνδρων ως ένα εξακύλινδρο μοτέρ σε σειρά, για να καταλήξουν με τέσσερα, συνολικά, χταπόδια λογικής 3-1.

## Πεντακύλινδρα μοτέρ



Συνδέουμε όλους τους πρωτεύοντες μεταξύ τους, σχηματίζοντας διάταξη 5-1. Κατά κάποιους έχουν δοκιμαστεί διατάξεις που συνδέουμε τους κυλίνδρους 1-3-5 και 2-4 δηλ διάταξη 5-2 αυξάνοντας την πολυπλοκότητα της κατασκευής αλλά όχι και την απόδοση του μοτέρ.

## Δεκακύλινδροι



Τους αντιμετωπίζουμε ως δυο ξεχωριστούς πεντακύλινδρους με ένα χταπόδι 5-1 για κάθε σειρά κυλίνδρων.

## Τετρακύλινδρα μοτέρ



(Διάταξη 4-2-1)



(Διάταξη 4-1)

Εδω διακρίνουμε δύο περιπτώσεις διάταξη 4-2-1 και 4-1. Η 4-2-1 είναι ιδανική στις χαμηλομεσαίες στροφές ενώ η 4-1 σε υψηλές στροφές

## Οκτακύλινδρα μοτέρ



(Χταπόδι απο Formoula 1)



(Χταπόδι V8 4-1)

Ενα V8 με περιεχόμενη γωνία 90 μοιρών δεν μπορούμε να τον θεωρήσουμε ως ένα ζεύγος ξεχωριστών τετρακύλινδρων κινητήρων όπως τους V6 και V12 αντίστοιχα. Καθώς διακρίνουμε δυο ειδών V8 κινητήρων: με στρόφαλο “ενός επιπέδου”(single-plane crankshaft) δηλ με τα κομβία μπιελών διατεταγμένα ανα 180 μοίρες και με στρόφαλο “δύο επιπέδων”(dual-plane crankshaft) με τα κομβία μπιελών διατεταγμένα ανα 90 μοίρες. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε απλούστερη σχεδίαση χταποδιών δηλ ενα χταπόδι 4-1 για κάθε σειρά κυλίνδρων αλλά συναντάται σπανιότερα, καθώς εμφανίζει πολύ έντονους κραδασμούς. Στη δεύτερη περίπτωση είναι πιο σύνθετο αφού χρειαζόμαστε δύο χταπόδια 4-1 που να εξυπηρετούν και απο τις δύο πλευρές των V. Για μαζική παραγωγή μια τέτοια διάταξη είναι ανέφικτη και συναντάται σε κάποια μονοθέσια της Formoula 1.

## 4. Σχεδιασμός ενός συστήματος εξαγωγής



### I. Μήκος σωλήνων χταποδιού σε 4 - 1

Για περιπτώσεις χταποδιών τύπου 3-1,4-1,6-1 τότε το μήκος του πρωτεύοντος σωλήνα σε ίντσες είναι:

$$MΣ = (850 * ΔΕ / rpm) - 3 \quad (1)$$

Οπου:

**MΣ**, το μήκος του πρωτεύοντος σωλήνα

**ΔΕ**, η διάρκεια ανοίγματος της βαλβίδας εξαγωγής, υπολογισμένη ως 180 μοίρες συν τις μοίρες ανοίγματος της βαλβίδας πριν το ΚΝΣ

**rpm**, οι στροφές της μέγιστης απόδοσης του κινητήρα

**Παράδειγμα:**

Εστω ότι χρησιμοποιούμε έναν εκκεντροφόρο που αρχίζει να ανοίγει τη βαλβίδα εξαγωγής στις 40 μοίρες ΠΚΝΖ, και θέλουμε να συντονίσουμε το χταπόδι μας στις 6000rpm τότε έχουμε:

$$ΜΣ = (850 * 220 / 6000) - 3 = 28,17 \text{in}$$

Τέλος μετατρέπουμε τις in σε cm πολλαπλασιάζοντας επί 2,54, οπότε το μήκος των πρωτεύοντων μας μεταφράζεται σε 71,5cm

**Εσωτερική διάμετρος πρωτεύοντων σωλήνων σε 4 - 1**

$$ΕΔ = \text{sqrt} (cc / ((ΜΣ + 3) * 25)) * 2,1$$

Οπου:

ΕΔ, η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα σε in  
sqrt, τετραγωνική ρίζα

cc, η χωρητικότητα του κάθε κυλίνδρου του κινητήρα σε cc

ΜΣ, το μήκος του πρωτεύοντος σωλήνα από την σχέση ( 1 )

Για να μετατρέψουμε τις in σε mm πολλαπλασιάζουμε επί 25,4

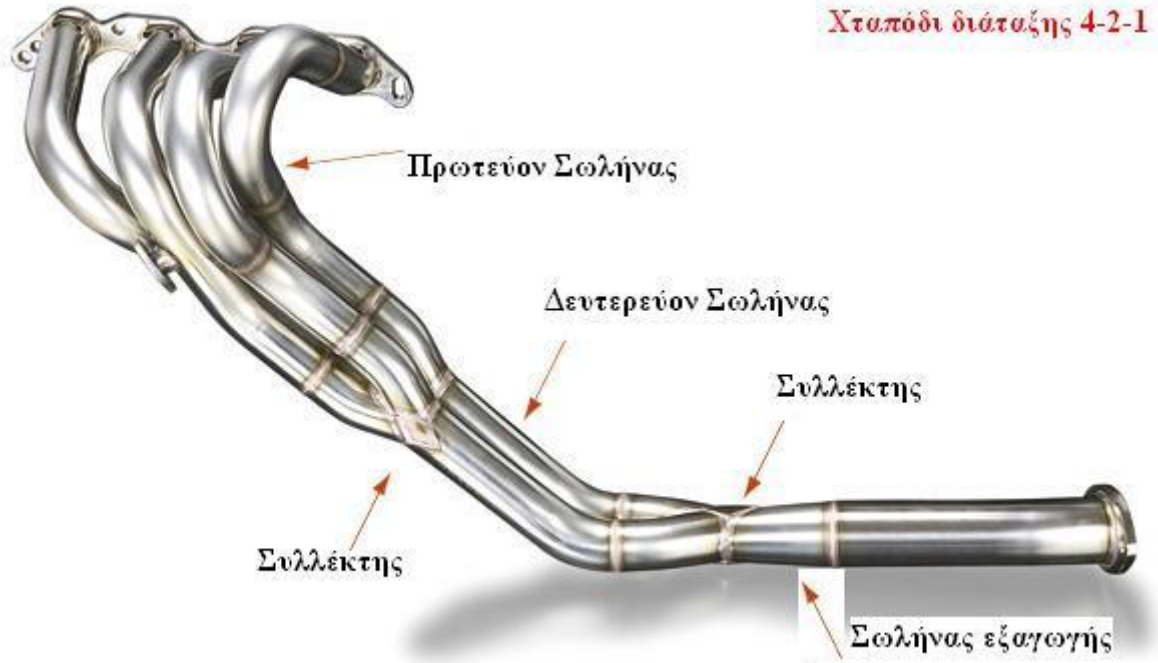
**Παράδειγμα:**

Εστω ότι έχουμε 2000cc μοτέρ τετρακύλινδρο δηλαδή ο κάθε κύλινδρος έχει χωρητικότητα 500cc. Οι πρωτεύοντες σωλήνες του χταποδιού θα έχουν διάμετρο:

$$ΕΔ = \text{sqrt} (500 / ((28,17 + 3) * 25)) * 2,1 = 1,68 \text{in} \quad ( 2 )$$

Τέλος μετατρέπουμε τις in σε mm πολλαπλασιάζοντας επί 25,4, οπότε το μήκος των πρωτεύοντων μας μεταφράζεται σε 42,7mm

### Χταπόδι διάταξης 4-2-1



### Μήκος σωλήνων χταποδιού σε 4 – 2 – 1

Για περιπτώσεις χταποδιών τύπου 4-2-1 τότε το συνολικό μήκος του σωλήνα αποτελείται από ένα πρωτεύον αλλά και ένα δευτερεύον σωλήνα, οπότε σε ίντσες είναι:

$$ΜΣ = (850 * ΔΕ / \text{rpm}) - 3 \quad (1)$$

Όπου:

**ΜΣ**, το συνολικό μήκος του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος σωλήνα  
**ΔΕ**, η διάρκεια ανοίγματος της βαλβίδας εξαγωγής, υπολογισμένη ως 180 μοίρες συν τις μοίρες ανοίγματος της βαλβίδας πριν το ΚΝΣ  
**rpm**, οι στροφές της μέγιστης απόδοσης του κινητήρα

### Παράδειγμα:

Εστω ότι χρησιμοποιούμε έναν εκκεντροφόρο που αρχίζει να ανοίγει τη βαλβίδα εξαγωγής στις 40 μοίρες ΠΚΝΖ, και θέλουμε να συντονίσουμε το χταπόδι μας στις 6000rpm τότε έχουμε:

$$ΜΣ = (850 * 220 / 6000) - 3 = 28,17 \text{ in}$$

Τέλος μετατρέπουμε τις in σε cm πολλαπλασιάζοντας επί 2,54, οπότε το μήκος των πρωτεύοντων μας μεταφράζεται σε 71,5cm

## **Εύρεση μήκους δευτερευόντων σωλήνων σε 4 – 2 – 1**

Η πράξη έχει δείξει ότι για μοτέρ που λειτουργούν μέχρι τις 9000rpm, όπου και έχει νόημα η χρήση χταποδιού 4-2-1. το μήκος των πρωτεύοντων σωλήνων (ΜΣ1) πρέπει να είναι τουλάχιστον 38-40cm με βάση τυποποιήσεων στην αγορά ( βλέπε πίνακα 1) οπότε εύκολα προκύπτει το μήκος του δευτερευόντων σωλήνων:

$$\mathbf{ΜΣ2 = ΜΣ - ΜΣ1}$$

και στην δικιά μας περίπτωση έχουμε:

$$\mathbf{ΜΣ2 = 71,5 - 40 = 31,5cm}$$

## **Εσωτερική διάμετρος πρωτεύοντων σωλήνων σε 4 – 2 – 1**

$$\mathbf{ΕΔ = \sqrt{cc/((ΜΣ+3)*25)} * 2,1}$$

Όπου:

ΕΔ, η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα σε in

$\sqrt{\phantom{x}}$ , τετραγωνική ρίζα

cc, η χωρητικότητα του κάθε κυλίνδρου του κινητήρα σε cc

ΜΣ, το μήκος του πρωτεύοντος σωλήνα από την σχέση ( 1 )

Για να μετατρέψουμε τις in σε mm πολλαπλασιάζουμε επί 25,4

### **Παράδειγμα:**

Εστω ότι έχουμε 2000cc μοτέρ τετρακύλινδρο δηλαδή ο κάθε κύλινδρος έχει χωρητικότητα 500cc. Οι πρωτεύοντες σωλήνες του χταποδιού θα έχουν διάμετρο:

$$\mathbf{ΕΔ = \sqrt{500/((28,17+3)*25)} * 2,1 = 1,68in} \quad ( 2 )$$

Τέλος μετατρέπουμε τις in σε mm πολλαπλασιάζοντας επί 25,4 , οπότε το μήκος των πρωτεύοντων μας μεταφράζεται σε 42,7mm



## Εσωτερική διάμετρος δευτερέοντων σωλήνων σε 4 – 2 – 1

$$E\Delta\delta = \text{sqrt}(E\Delta*2) * 0,93$$

EΔδ, η εσωτερική διάμετρος του δευτερέοντα σωλήνα σε in

EΔ, η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα σε in ( 2 )

sqrt, τετραγωνική ρίζα

Στην αγορά υπάρχουν τυποποιήσεις για μήκη πρωτεύοντος και δευτερέοντος σωλήνων σε διατάξεις 4-2-1 και 4-1.

**Πίνακας 1**

Κυβισμός Κυλίνδρου (cc)	Πρωτεύων Σωλήνας σε 4-2-1(mm)	Δευτερέων Σωλήνας σε 4-2-1	Πρωτεύων Σωλήνας σε 4-1(mm)
250	32-35	38-42	64-70
325	35-38	42-45	70-76
400	38-42	45-48	76-84
500	42-45	48-51	84-90
600	45-48	48-54	84-90
700	48-51	51-54	90-96
800	48-51	51-54	90-96
900	48-54	51-57	96-102
1000	48-54	51-57	96-102

## 5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ

Το κατασκευαστικό κομμάτι της εξάτμισης δεν είναι τόσο απλό όσο ίσως να φαίνεται. Ένα σύνολο πρεσών κουρμπαδόρων και μηχανών CNC συνεργάζονται για να μετατρέψουν τα παραλληλόγραμμα ελάσματα σε μια πολύπλοκη κατασκευή όπως είναι η εξάτμιση. Αρχικά, ένα έλασμα κόβεται και λυγίζεται για να δημιουργήσει το εξωτερικό μέρος του καζανακίου της εξάτμισης.



Μία σειρά από σωλήνες κόβεται στα κατάλληλα μήκη και μερικές από αυτές επιδέχονται κάποιες συγκεκριμένες τρύπες ώστε να αποτελέσουν μέρος του σιλανσιέ.



Το υπόλοιπο μέρος της εξάτμισης αποτελείται και αυτό από σωληνώσεις κομμένες σε πιο μεγάλα μήκη αυτή τη φορά τα οποία κουρμπάρονται ώστε να προσαρμόζεται το σχήμα τους στο πάτωμα του οχήματος.



Τα κομμάτια όμως αυτά συνδέονται μεταξύ τους με ειδικά διαμορφωμένες άκρες (πατούρες) για καλύτερη εφαρμογή προς αποφυγή απώλειας θορύβου και καυσαερίων.



Τελικά, συγκολλούνται κάποια ειδικά λαμάκια πάνω στο σώμα της εξάτμισης, τα οποία είναι απαραίτητα για την κατάλληλη στήριξη αυτής πάνω στο σασί του οχήματος.



## **Βιβλιογραφία**

**Χασιώτης Γ. Περικλής, (2007). *Μηχανές Εσωτερικής Καύσης Ι*. Αθήνα, Εκδόσεις ΙΩΝ.**

**Ματζίνο, Παναγιώτης. *Τεχνολογία Υλικών Οχημάτων. Σημειώσεις μαθήματος τεχνολογίας υλικού***

## **Ηλεκτρονικές Πηγές**

- <http://dinamik.20.forumer.com/viewtopic.php?t=2715>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Exhaust\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Exhaust_system)
- [http://www.epi-eng.com/piston\\_engine\\_technology/exhaust\\_system\\_technology.htm](http://www.epi-eng.com/piston_engine_technology/exhaust_system_technology.htm)
- <http://www.nsxprime.com/FAQ/Miscellaneous/exhausttheory.htm>