

13. ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΜΕΣΗΣ ΕΓΧΥΣΗΣ (GDI)

Στις συμβατικές μηχανές, το καύσιμο και ο αέρας αναμιγνύονται έξω από τον κύλινδρο. Έτσι, μέρος του καυσίμου μένει ανεκμετάλλευτο μεταξύ του σημείου μίξης και του κυλίνδρου. Επίσης, ο συγχρονισμός των εγχύσεων δεν είναι τέλειος. Στη μηχανή άμεσης έγχυσης, **GDI (Gasoline Direct Injection)**, η βενζίνη εγχέεται άμεσα στον κύλινδρο με τον ακριβή συγχρονισμό, εξαλείφοντας τη σπατάλη και τον μη συγχρονισμό των εγχύσεων. Η μηχανή άμεσης έγχυσης GDI λειτουργεί με δυο διαφορετικά προγράμματα ψεκασμού, ανάλογα με τις συνθήκες οδήγησης, το πρόγραμμα φτωχού μίγματος και το πρόγραμμα υψηλής απόδοσης, με αποτέλεσμα υψηλή απόδοση καύσης μαζί με την μεγάλη ισχύ και ροπή. Η αυτοκινητοβιομηχανία Mitsubishi ανέπτυξε επίσης μια πρόσθετη μέθοδο ψεκασμού για την Ευρώπη με την ονομασία “μίξη δύο σταδίων”. Αυτή η μηχανή GDI μεταστρέφει αυτόματα μεταξύ των προγραμμάτων, χωρίς την παραμικρή μείωση στην απόδοση, αφήνοντας στον οδηγό μια ισχυρή οδηγική εμπειρία, και πολύ χαμηλότερους λογαριασμούς καυσίμου.

Με την άμεση έγχυση του καυσίμου επιτυγχάνεται ακριβής έλεγχος της παροχής καυσίμου με αποτέλεσμα την καλύτερη απόδοση της καύσης που υπερβαίνει την απόδοση των μηχανών Diesel.

Αυτό συνεπάγεται :

- Χαμηλή κατανάλωση καυσίμου.
- Μεγαλύτερη ισχύ από της συμβατικές MPI (Multi Point Injection) μηχανές.
- Λιγότερους ρύπους.
- Αποδοτικότερη εισαγωγή και σχετικά υψηλή σχέση συμπίεσης, μοναδικές στη μηχανή GDI, με αποτέλεσμα την υψηλότερη απόδοση που ξεπερνά εκείνη των συμβατικών MPI μηχανών.

13.1 Θεωρητική ανάλυση του μηχανισμού άμεσης έγχυσης

Το σύστημα τροφοδοσίας ενός κινητήρα βενζίνης άμεσου ψεκασμού έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί με δυο διαφορετικά προγράμματα ψεκασμού, ανάλογα με τις συνθήκες οδήγησης.

13.1.1 Πρόγραμμα Φτωχού Μίγματος.

Το πρώτο πρόγραμμα είναι το Πρόγραμμα Φτωχού Μίγματος. Χρησιμοποιείται στο ρελαντί και σε κανονικές συνθήκες οδήγησης, με σταθερή ταχύτητα και χωρίς ξαφνικές επιταχύνσεις. Το καύσιμο ψεκάζεται σε μικρή ποσότητα μέσα στον κύλινδρο, στα τελευταία στάδια του χρόνου συμπίεσης, πριν από την ανάφλεξη. Έτσι, σχηματίζεται πολύ κοντά στο μπουζί ένα ομοιογενές, πολύ φτωχό μίγμα (αναλογία 40:1, όταν το στοιχειομετρικό είναι 14,7:1 – ένας συμβατικός κινητήρας δεν μπορεί να λειτουργήσει με μίγμα φτωχότερο από 22:1), κατάλληλο για καύση. Ειδικές τεχνικές χρησιμοποιούνται για τον καλύτερο σχηματισμό του μίγματος. Έτσι, γίνεται δυνατή η λειτουργία του κινητήρα με πολύ φτωχό μίγμα, επιτυγχάνοντας θερμοδυναμική απόδοση στα επίπεδα υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα ντίζελ. Με αυτόν τον τρόπο, η μηχανή GDI επιτυγχάνει την πλήρη καύση με μία αναλογία αέρα 40 : 1. Συμπερασματικά, η στοιχειομετρική αναλογία κατά βάρος αέρα – καυσίμου εμφανίζεται ως εξής :

Συμβατικές μηχανές 14,7 : 1

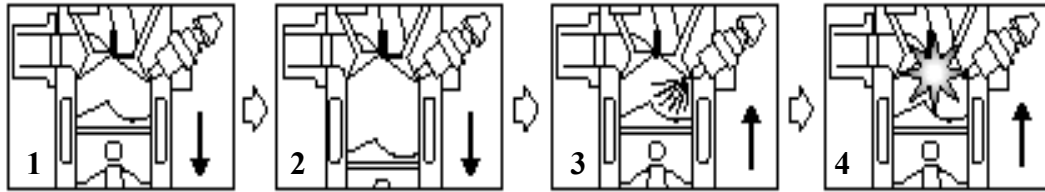
Μηχανή φτωχού μίγματος 22 : 1

Μηχανή GDI 40 : 1

Η αντιστοιχία ανάμεσα στην κατά βάρος αναλογία αέρα – καυσίμου **A/B** και στην περίσσεια αέρα **λ** προκύπτει όπως παρακάτω :

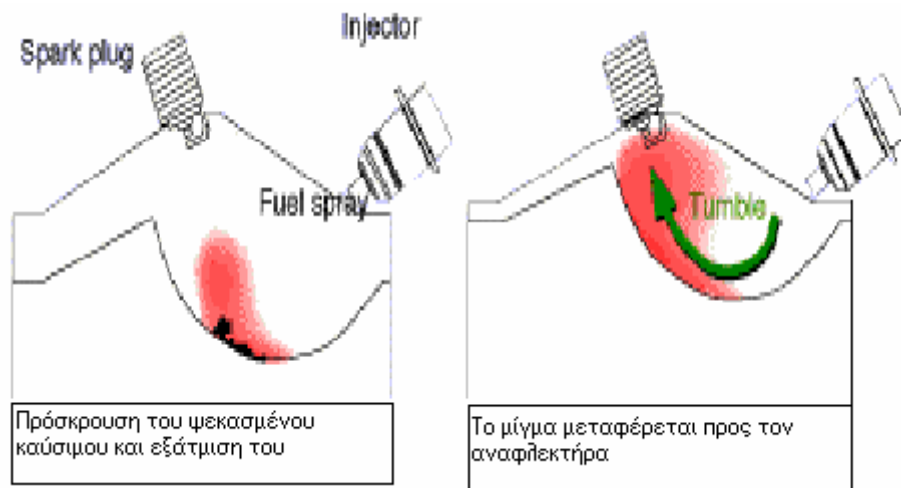
A/B	10:1	12:1	14,7:1	20:1	30:1	40:1	50:1	60:1
λ	0,68	0,82	1	1,36	2	2.72	3,44	4,1

Η συνολική διαδικασία απεικονίζεται στα τέσσερα στάδια που ακολουθούν

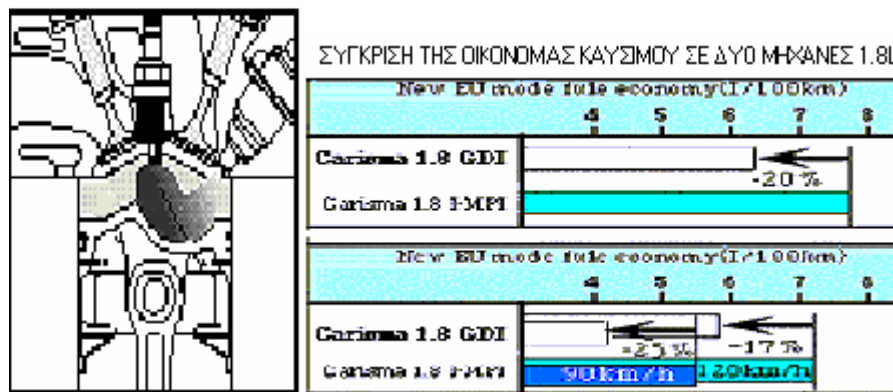


1. Το έμβολο κινείται προς τα κάτω.
2. Το έμβολο φθάνει στο κατώτατο σημείο και αρχίζει ο χρόνος της συμπίεσης.
3. Στα τελευταία στάδια του χρόνου συμπίεσης, ο υψηλής πίεσης εγχυτήρας ψεκάζει το καύσιμο προς την κυρτή κορυφή των εμβόλων, παρά προς τον σπινθηριστή. Η έγχυση του καυσίμου είναι δεξιόστροφη, με τη μορφή ενός σπирάλ στροβίλου. Η εκτροπή του ψεκασμού από το έμβολο και η ροή του αέρα μέσα στον κύλινδρο προκαλούν την εξάτμιση και τον διασκορπισμό του ψεκασμένου καυσίμου, (εικόνα 13.1). Το αεριώδες μίγμα καυσίμου και αέρα που προκύπτει, μεταβαίνει έπειτα προς τον σπινθηριστή για την ανάφλεξη, (εικόνα 13.2). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο της αναλογίας αέρα / καυσίμου κατά τον χρόνο της ανάφλεξης από τον σπινθηριστή, και έτσι επιτυγχάνεται η συγκέντρωση του καυσίμου γύρω από τον αναφλεκτήρα.
4. Ο σπινθηριστής αναφλέγει το μίγμα. Η καύση ελέγχεται από τη σφαιρική κοιλότητα. Δεν υπάρχει σπατάλη καυσίμου.

Το αποτέλεσμα είναι η μείωση κατά 20% στην κατανάλωση καυσίμου, (εικόνα 13.3).



Εικόνα 13.1 : Διαμόρφωση καυσίμου μίγματος στον κινητήρα GDI



Εικόνα 13.2 : Ανάφλεξη μίγματος στον κινητήρα GDI

Εικόνα 13.3 : Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κινητήρα GDI

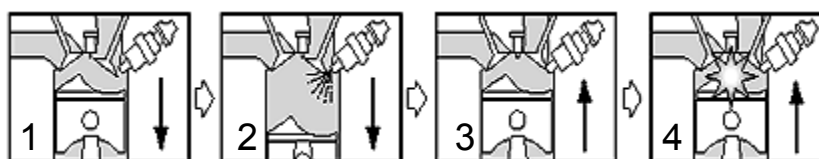
13.1.2 Πρόγραμμα Υψηλής Απόδοσης

Το άλλο πρόγραμμα λειτουργίας του κινητήρα άμεσου ψεκασμού είναι το πρόγραμμα υψηλής απόδοσης. Χρησιμοποιείται κατά την επιτάχυνση και σε συνθήκες πλήρους φορτίου (π.χ. σε ανηφόρα με φορτωμένο αυτοκίνητο ή κατά την οδήγηση με τέρμα γκάζι και ταχύτητα που πλησιάζει την τελική).

Σε αυτό το πρόγραμμα, το καύσιμο εγχέεται στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια του χρόνου εισαγωγής, όταν το έμβολο κινείται ακόμα

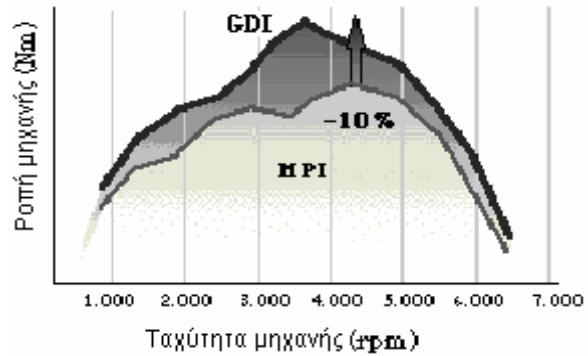
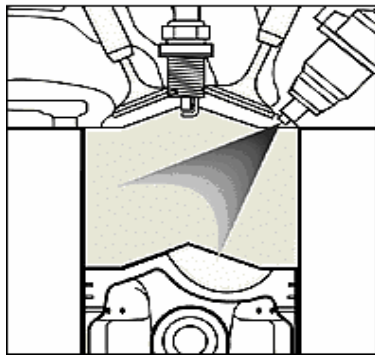
προς τα κάτω όπου αναμιγνύεται με τον αέρα για να σχηματίσει ένα ομοιογενές στοιχειομετρικό ή πλούσιο μίγμα, (εικόνα 13.4).

Το ομοιογενές μίγμα είναι παρόμοιο με αυτό μιας συμβατικής MPI μηχανής, αλλά με τη χρησιμοποίηση των μοναδικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της μηχανής άμεσου ψεκασμού, μπορεί να επιτευχθεί ένα ακόμα υψηλότερο επίπεδο ισχύος από τις συμβατικές μηχανές βενζίνης.



1. Το έμβολο κινείται προς τα κάτω.
2. Σε αυτό το στάδιο το καύσιμο εγχέεται κατά τη διάρκεια του χρόνου εισαγωγής σε έναν μεγάλο κωνικού σχήματος ψεκασμό για να ψύξει τον κύλινδρο μέσω της εξάτμισης. Η ψύξη του αέρα εισαγωγής περιορίζει το φαινόμενο της προανάφλεξης, που μειώνει την απόδοση των συμβατικών κινητήρων και έτσι η μηχανή GDI μπορεί να λειτουργήσει σε μια σχέση συμπίεσης 12,5, με εξαιρετική ισχύ και ροπή. Επιπλέον, η υψηλή ογκομετρική απόδοσή της δημιουργεί μια επίδραση παρόμοια με αυτήν ενός υπερπληρωτή.
3. Το έμβολο κινείται επάνω.
4. Ο αναφλεκτήρας αναφλέγει το μίγμα.

Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε καλύτερη απόδοση και ροπή από έναν συμβατικό κινητήρα (εικόνα 13.5).

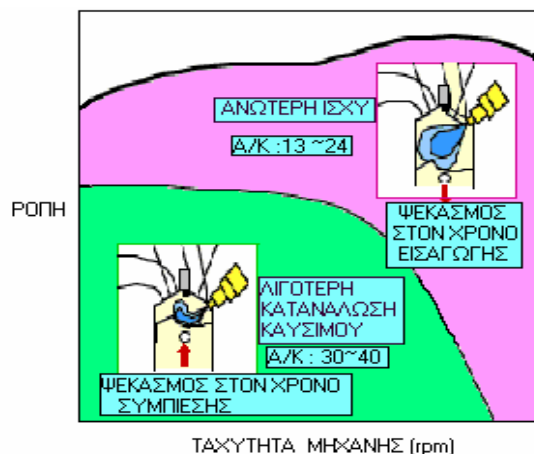


Εικόνα 13.4 : Έγχυση καυσίμου στο πρόγραμμα υψηλής απόδοσης

Εικόνα 13.5 : Αύξηση ροπής με το πρόγραμμα υψηλής απόδοσης στον κινητήρα GDI

13.2 Γενικά για τα δυο προγράμματα άμεσου ψεκασμού.

Με τα δυο προγράμματα άμεσου ψεκασμού έχουμε πετύχει στο μεν πρώτο λιγότερη κατανάλωση καυσίμου ενώ με τη χρήση του δεύτερου καλύτερη ισχύ, (εικόνα 13.6).

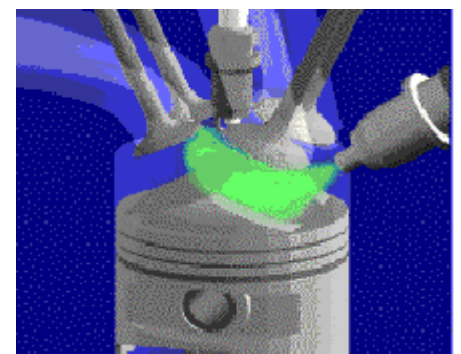
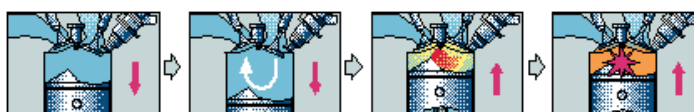


Εικόνα 13.6 : Τα δυο προγράμματα άμεσου ψεκασμού

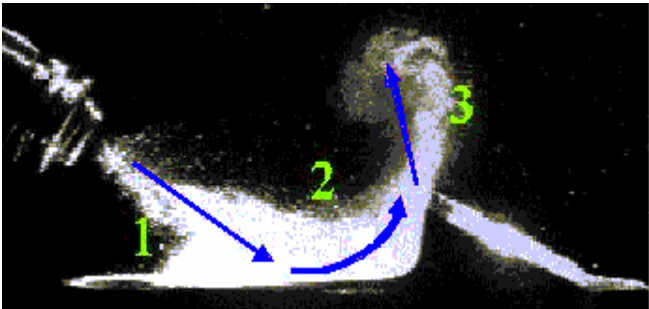
Α) Πρόγραμμα Φτωχού Μίγματος.

Ψεκάζεται κατά τη συμπίεση
□ Καύση φτωχού μίγματος

χαμηλή κατανάλωση
⇒ καύσιμου συγκρινόμενη
σαν μια μηχανή ντίζελ

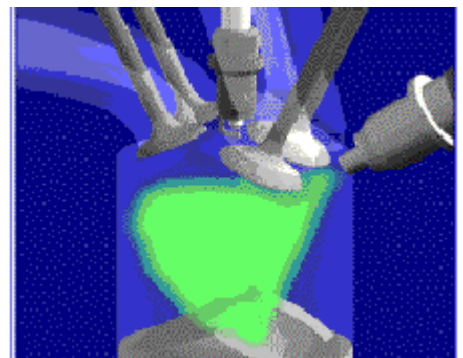
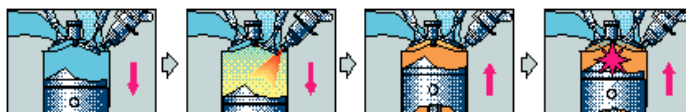


<<Κλειδιά>> παράγοντες για το πρόγραμμα φτωχού μίγματος.

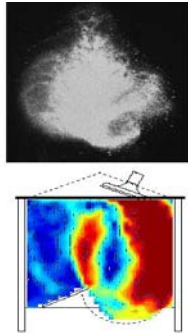
	(1) Παράγοντας 1 - Θέση εγχυτήρων σχετικά με το κοίλο μέρος του εμβόλου. - Τα χαρακτηριστικά του ψεκασμένου καυσίμου. (2) Παράγοντας 2 - Η γεωμετρία του εμβόλου. * Σημείο πρόσκρουσης. * Διάρκεια /διαδρομή ψεκασμού. (3) Παράγοντας 3 - Κίνηση αέρα. * Οριζόντια. * Διεύθυνση. * Ποιότητα.
---	---

B) Πρόγραμμα Υψηλής Απόδοσης.

- | | |
|--|---------------------|
| ☐ Ψεκασμός στον χρόνο εισαγωγής | Καλύτερη απόδοση |
| ☐ Ομοιογενές μίγμα | ⇒ από μια συμβατική |
| ☐ Στοιχειομετρική καύση | βενζινομηχανή |



<Κλειδιά> παράγοντες για το πρόγραμμα υψηλής απόδοσης.



(1) Χαρακτηριστικά του ψεκασμένου καυσίμου.

- Ταχύτητα και μέγεθος σταγονιδίων.
- Η δομή του ψεκασμού.

(2) Κίνηση του αέρα.

- Οι απαιτήσεις εξαρτώνται από τον ψεκασμό /τη γεωμετρία.

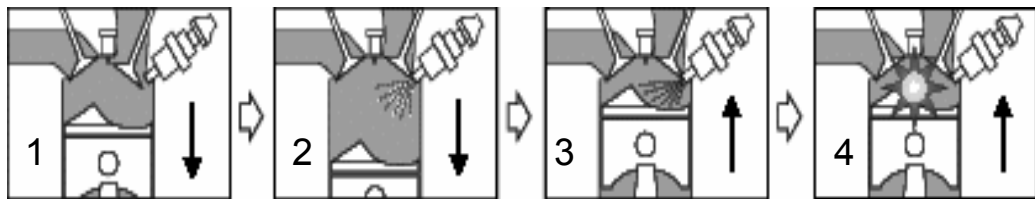
(3) Θέση και προσανατολισμός εγχυτήρων

- Στροβιλώδη κατευθυνόμενη κίνηση.
- Ελαχιστοποίηση διαδρομής / πρόσκρουσης στη βαλβίδα εισαγωγής.
- Παρέχεται ευρύ φάσμα ψεκασμού για να ελαχιστοποιηθεί η πρόσκρουση στο έμβολο.

13.3 Ψεκασμός δυο σταδίων.

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που αυξάνουν την απόδοση σε συνθήκες πλήρους φορτίου είναι ο ψεκασμός σε δυο στάδια. Αυτός ο τρόπος αναπτύχθηκε συγκεκριμένα για ένα κινητήρα που χρησιμοποίησε η Mitsubishi για την ευρωπαϊκή αγορά. Ο κινητήρας ονομάζεται 4G93 GDI.

Εδώ το καύσιμο εγχέεται δύο φορές : ένα μικρό ποσοστό νωρίς κατά τη εισαγωγή, και το υπόλοιπο αργά κατά την συμπίεση. Μόνο το 25% του καυσίμου ψεκάζεται κατά τον χρόνο εισαγωγής, ενώ το υπόλοιπο στα τελευταία στάδια του χρόνου συμπίεσης , όπως συμβαίνει και στο πρόγραμμα Φτωχού Μίγματος. Έτσι, το μίγμα στην αρχή της συμπίεσης είναι πολύ φτωχό και στο τέλος πλούσιο.

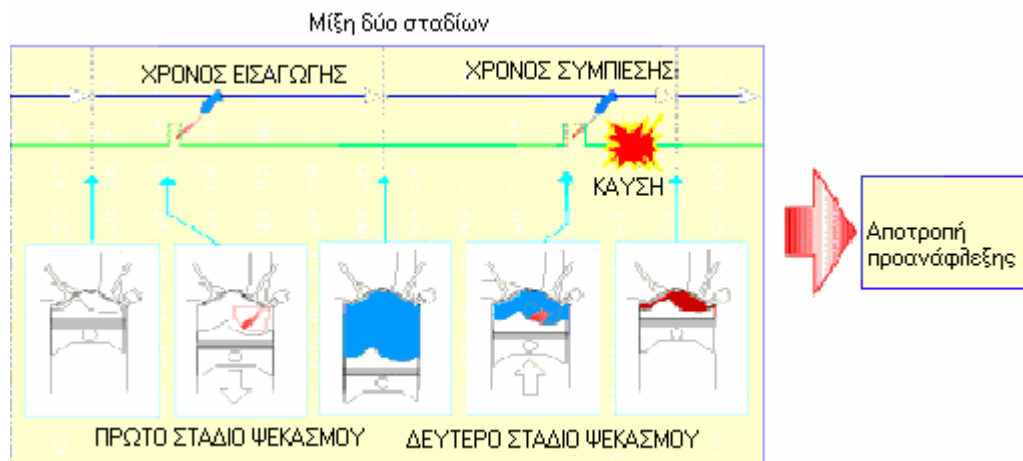


Δύο σταδίων μίξη

- 1 Το έμβολο κινείται προς τα κάτω.
- 2 Το καύσιμο ψεκάζεται απευθείας μέσα στον κύλινδρο κατά το χρόνο εισαγωγής και εξατμίζεται, ψύχοντας έτσι τον εισερχόμενο αέρα. Αυτό έχει ως αποτελέσματα τη συστολή του εισερχόμενου αέρα και τη δημιουργία χώρου για να εισέλθει και άλλος στον κύλινδρο. Έχουμε, δηλαδή, καλύτερη πλήρωση του κυλίνδρου με αέρα.

Η ψύξη του αέρα εισαγωγής περιορίζει, επίσης, το φαινόμενο της προανάφλεξης, που μειώνει την απόδοση των συμβατικών κινητήρων. Στους τελευταίους, μια ακόμα αιτία για το φαινόμενο

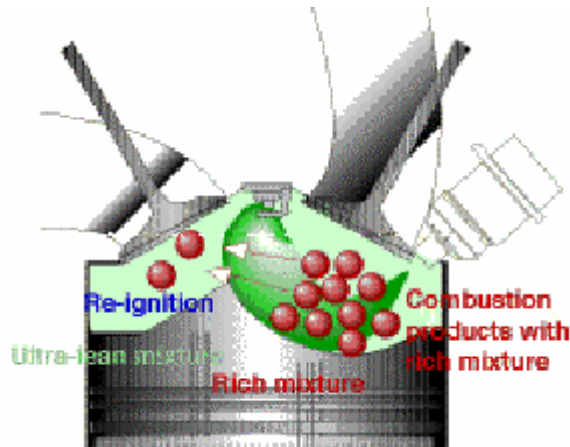
είναι η συγκέντρωση υγρού καυσίμου στα τοιχώματα των θυρίδων εισαγωγής. Κάτι τέτοιο δεν μπορεί να συμβεί στον κινητήρα άμεσου ψεκασμού, αφού το καύσιμο ψεκάζεται απευθείας μέσα στον κύλινδρο, (εικόνα 13.7). Η αναλογία αέρα είναι πλέον εξαιρετικά φτωχή μέχρι 60:1.



Εικόνα 13.7 : Ψεκασμός καυσίμου στο πρόγραμμα « δυο σταδίων μίξη »

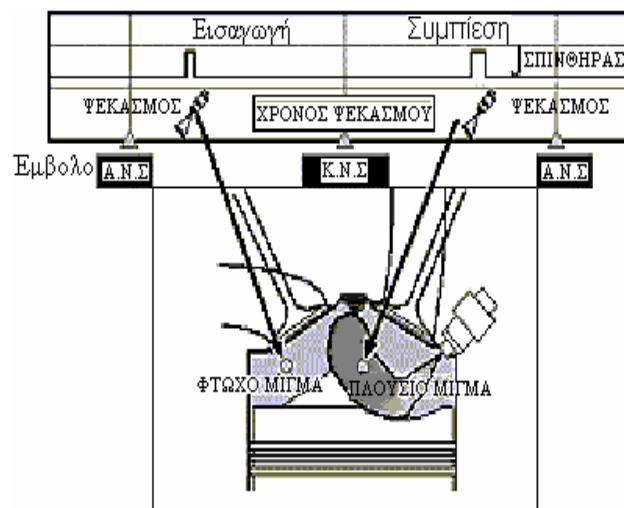
- 3 Το καύσιμο εγχέεται πάλι στα τελευταία στάδια του χρόνου συμπίεσης, όπως συμβαίνει και στο πρόγραμμα Φτωχού Μίγματος. Η προανάφλεξη εμφανίζεται συνήθως με στοιχειομετρικό μίγμα. Στο τελευταίο στάδιο της συμπίεσης, ο θάλαμος καύσης είναι χωρισμένος σε δυο μέρη, λόγω της ειδικής διαμόρφωσης της κεφαλής του εμβόλου. Στη μια πλευρά, βρίσκεται το πολύ φτωχό μίγμα που σχηματίστηκε κατά το χρόνο εισαγωγής και στην άλλη το πλούσιο μίγμα που σχηματίστηκε στο τελευταίο στάδιο της συμπίεσης. Όταν εγχέεται το υπόλοιπο του καυσίμου, το μίγμα αέρα/ καυσίμου γίνεται πολύ πλούσιο - περίπου 12:1.
- 4 Ο σπινθηριστής αναφλέγει το μίγμα. Το φτωχό μίγμα δεν μπορεί να αναφλεγεί, ενώ το πλούσιο δεν μπορεί να καεί πλήρως λόγω έλλειψης αέρα. Όμως, λόγω της εξέλιξης της καύσης στην πλευρά του πλούσιου μίγματος, το άκαυστο καύσιμο εκτοπίζεται προς την

πλευρά του φτωχού, το οποίο έτσι εμπλουτίζεται και αναφλέγεται, (εικόνα 13.8). Το αποτέλεσμα είναι η πλήρης καύση του μίγματος, η αύξηση της απόδοσης και η μείωση των εκπομπών άκαυστων υδρογονανθράκων.



Εικόνα 13.8 : Επίδραση της κατασκευαστικής διαμόρφωσης του εμβόλου στην πορεία της καύσης στο πρόγραμμα «δυο σταδίων μίξη»

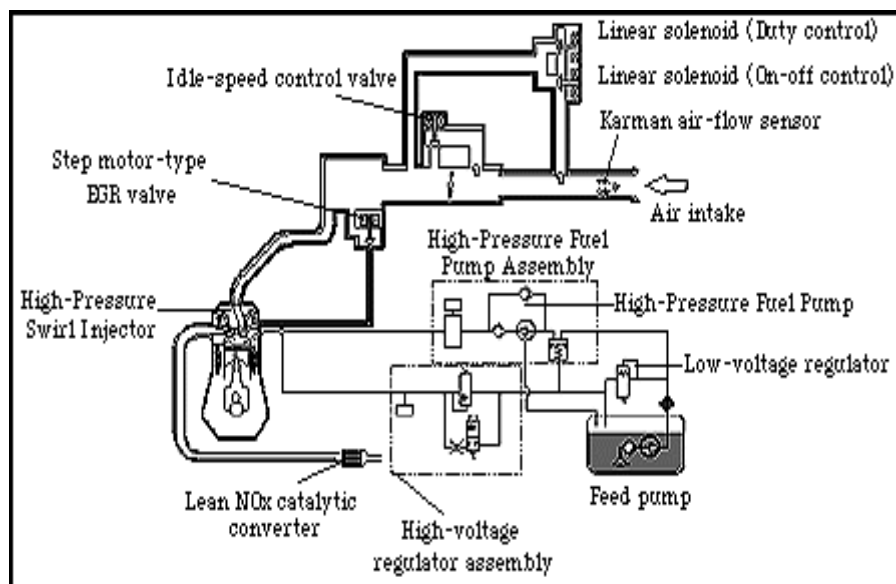
Ακολουθεί διάγραμμα με τους χρόνους από τον ψεκασμό στο πρόγραμμα δυο σταδίων (εικόνα 13.9).



Εικόνα 13.9 : Διάγραμμα των χρόνων ψεκασμού στο πρόγραμμα « δυο σταδίων μίξη »

13.4 Κατασκευαστική διαμόρφωση της μηχανής GDI.

Το lay – out της μηχανής GDI φαίνεται στην εικόνα 13.10



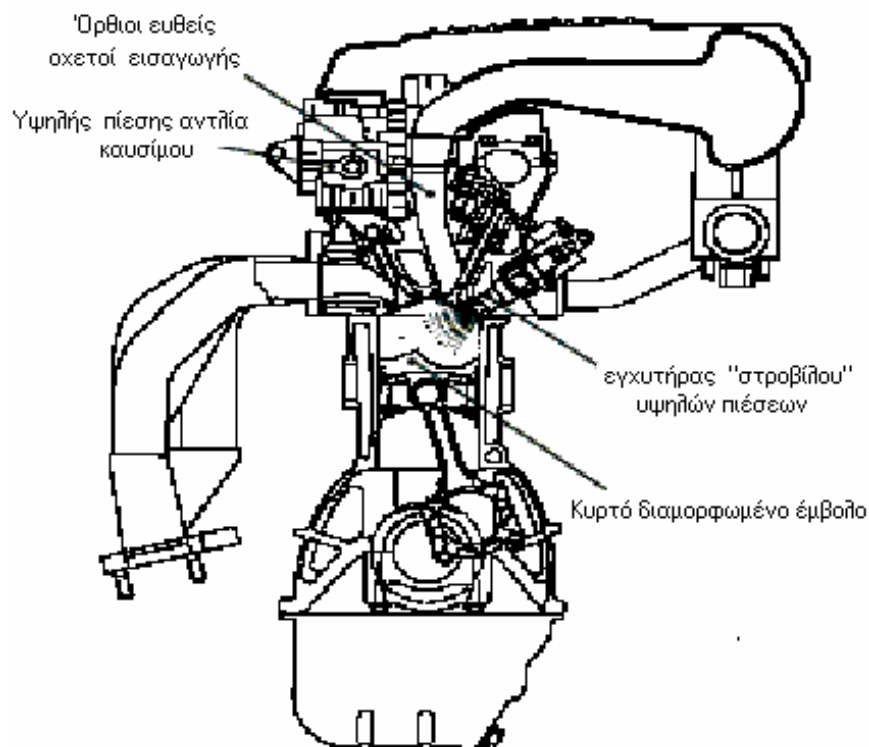
Εικόνα 13.10 : Lay – out της μηχανής GDI

Στην εικόνα 13.11 φαίνονται τα τέσσερα ιδιαίτερα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής GDI.

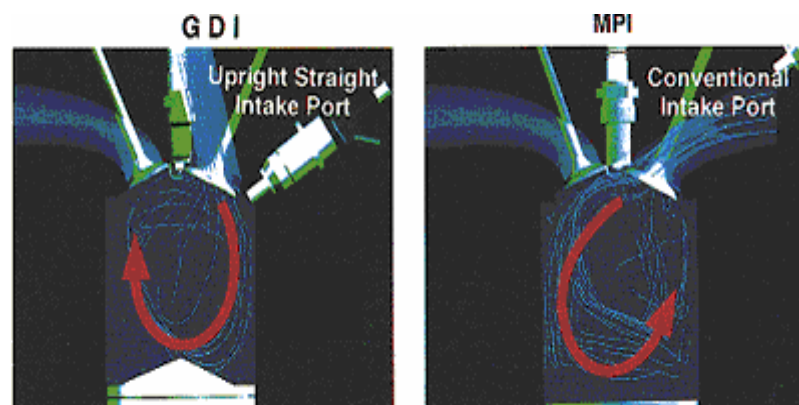
Αυτά τα νέα τεχνικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα είναι :

1. Όρθιοι ευθείς οχετοί εισαγωγής για τον βέλτιστο έλεγχο της ροής του αέρα στον κύλινδρο.

Οι όρθιοι ευθείς οχετοί εισαγωγής κατευθύνουν αποτελεσματικά τη ροή αέρα κάτω στο κυρτό διαμορφωμένο έμβολο, το οποίο επαναπροσανατολίζει τη ροή αέρα με μια ισχυρή αντίστροφη ροή για τη βέλτιστη ανάμιξη με το καύσιμο και την προώθηση του μίγματος προς τον αναφλεκτήρα (εικόνα 13.12).



Εικόνα 13.11 : Τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής GDI



Εικόνα 13.12 : Φορά ροής αέρα εισαγωγής και θέση εγχυτήρα στη μηχανή GDI και στο κλασσικό injection – MPI

2. Κυρτό διαμορφωμένο έμβολο για την καλύτερη καύση.

Το κυρτό διαμορφωμένο έμβολο ελέγχει τη ροή του αέρα μέσα στον θάλαμο καύσης και διατηρεί συμπαγές το μίγμα καυσίμου – αέρα.

Το καύσιμο που εγχέεται αργά κατά το χρόνο της συμπίεσης, αναμιγνύεται με τον αέρα και οδηγείται προς τον σπινθηριστή χωρίς να διασκορπίζεται σε ολόκληρο τον θάλαμο καύσης.

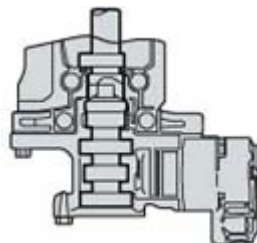


Προηγμένες τεχνικές παρατήρησης κυλίνδρων συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων με λέιζερ χρησιμοποιήθηκαν για να καθορίσουν τη βέλτιστη μορφή του εμβόλου.



3. Αντλία καυσίμου υψηλής πίεσης

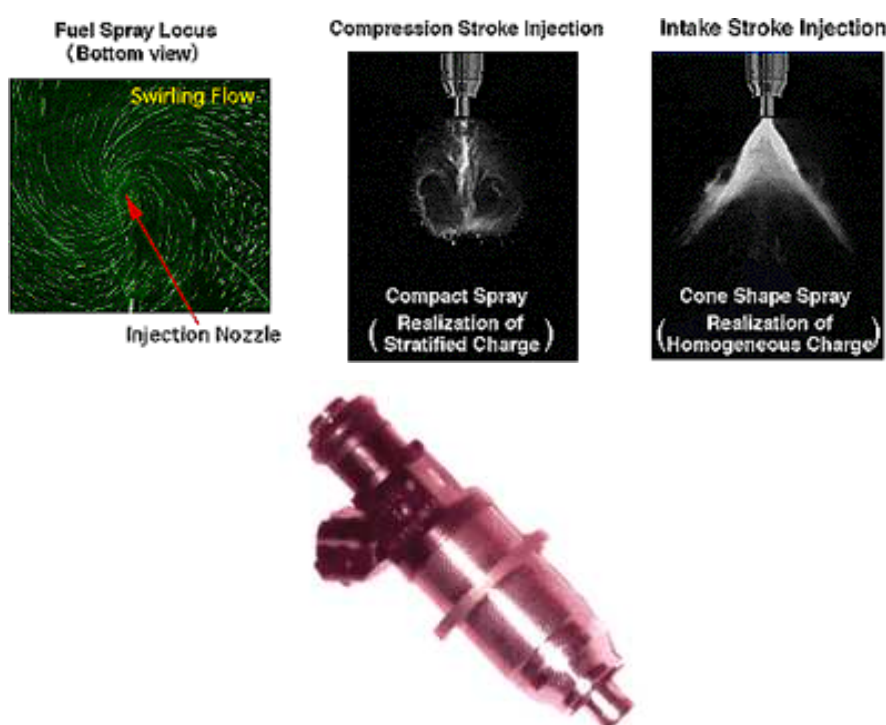
Το μυστικό αυτής της τεχνολογίας βρίσκεται στον ψεκασμό του καυσίμου απευθείας μέσα στον κύλινδρο, δηλαδή μετά τις βαλβίδες εισαγωγής. Για να γίνει αυτό, απαιτείται αυξημένη πίεση της τροφοδοσίας της βενζίνης. Γι'αυτό φροντίζει μια μηχανική αντλία μονού εμβόλου (εικόνα 13.13), η οποία κινείται από τον εκκεντροφόρο και τροφοδοτεί τον συλλέκτη καυσίμου με βενζίνη υπό μεγάλη πίεση. Η βενζίνη φτάνει από το ρεζερβουάρ στην αντλία αυτή με τη βοήθεια της γνωστής ηλεκτρικής αντλίας χαμηλής πίεσης, που είναι εμβαπτισμένη στο ρεζερβουάρ.



Εικόνα 13.13 : Μηχανική αντλία υψηλής πίεσης μονού εμβόλου

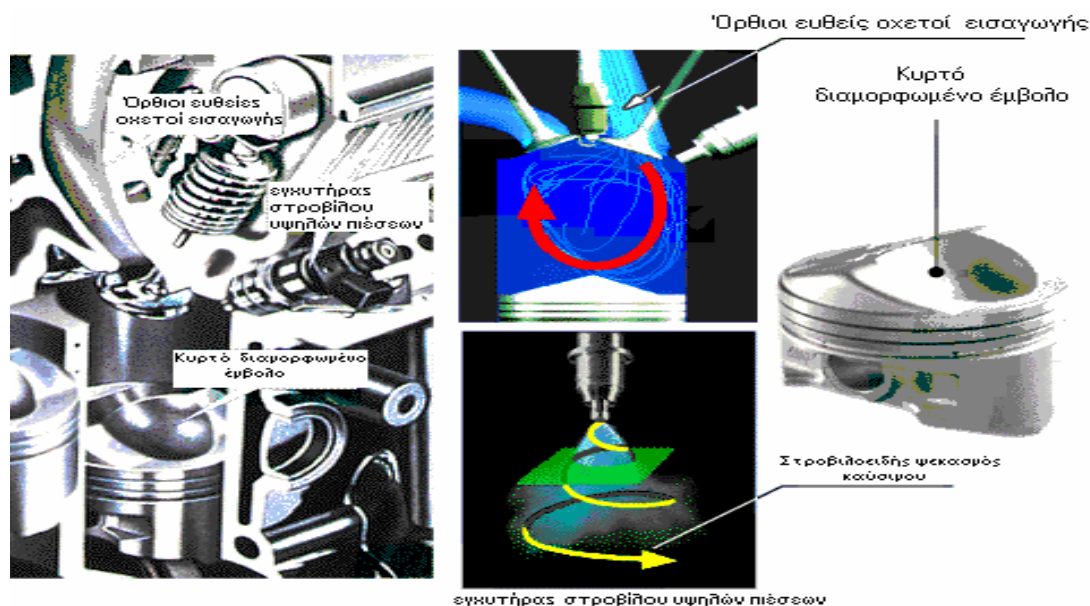
4. Εγχυτήρας “στροβίλου” υψηλών πιέσεων

Οι πρόσφατα αναπτυγμένοι εγχυτήρες “στροβίλου” υψηλών πιέσεων εξασφαλίζουν τον ιδανικό ψεκασμό και την ικανοποιητική ατμοποίηση του καυσίμου που είναι υποχρεωτική για τη μηχανή GDI ακόμα και σε μια σχετικά χαμηλή πίεση καυσίμου 50 bar (50kg/cm^2). Οι υψηλής πίεσης εγχυτήρες “στροβίλου” ψεκάζουν και στροβιλίζουν το καύσιμο άμεσα στη ροή του αέρα στον κύλινδρο, ακριβώς πριν από την ανάφλεξη (εικόνα 13.14).



Εικόνα 13.14 : Εγχυτήρας υψηλής πίεσης και στροβιλισμός καυσίμου στη μηχανή GDI

Αυτή η περιστροφική κίνηση κατά τον ψεκασμό του καυσίμου καθιστά δυνατό τον συμπαγή και ταυτόχρονα λεπτό καταμερισμό του καυσίμου στον περιβάλλοντα αέρα. Το ψεκασμένο καύσιμο δεν βρέχει εύκολα τον τοίχο των κυλίνδρων ή την κεφαλή των εμβόλων, αλλά προσκρούει στο κυρτό διαμορφωμένο έμβολο και κατευθύνεται προς τον αναφλεκτήρα. Στην εικόνα 13.15 φαίνονται οι κατασκευαστικές καινοτομίες της μηχανής GDI.



Εικόνα 13.15 : Κατασκευαστική διαμόρφωση μηχανής GDI

Παρακάτω φαίνονται τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά δύο κινητήρων τεχνολογίας GDI και MPI αντίστοιχα

ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	4G93 GDI	4G93 ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ MPI
Διάμετρος x διαδρομή (mm)	81,0 x 89,0	⇐
Κυβισμός (cc)	1834	⇐
Κύλινδροι	4 σε σειρά	⇐
Βαλβίδες ανά κύλινδρο	Εισαγωγή: 2 Εξαγωγή: 2	⇐
Συμπίεση	12,0	10,5
Διαμόρφωση εμβόλου	Κυρτό διαμορφωμένο έμβολο	Επίπεδο έμβολο
Οχετός εισαγωγής	Όρθιοι ευθείς οχετοί εισαγωγής	οριζόντιους οχετούς εισαγωγής
Τροφοδοσία	Μέσα στον θάλαμο	Έξω από τον θάλαμο
Πίεση (Bar)	50	3,3

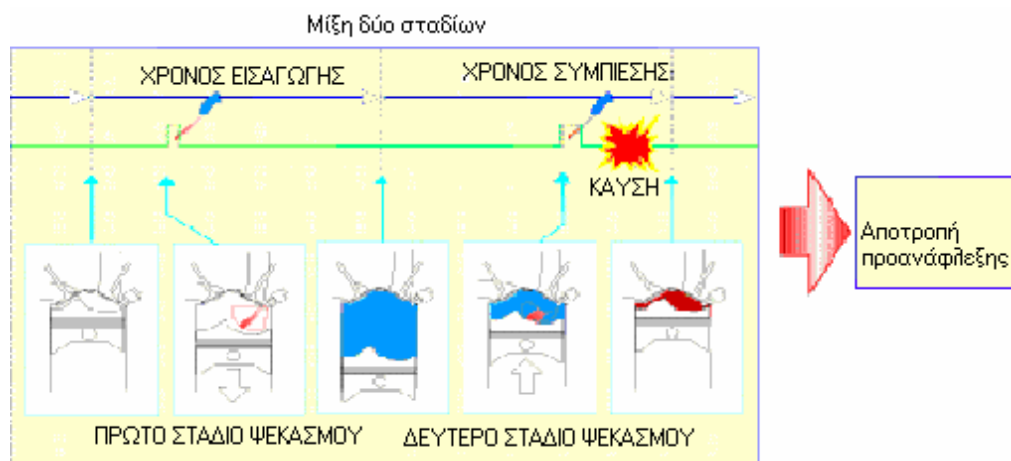
13.5 Πλεονεκτήματα του κινητήρα GDI

Η μηχανή GDI έχει εξαιρετικά υψηλή σχέση συμπίεσης 12,5 : 1, που αποτελεί ρεκόρ για βενζινοκινητήρα σε παραγωγή. Το αποτέλεσμα είναι υψηλότερη ισχύς ενώ αποτρέπεται και η προανάφλεξη, επειδή κατά τη διάρκεια της συμπίεσης ο θερμαινόμενος αέρας δροσίζεται από τον ψεκασμό καυσίμου. Στο πλήρες φορτίο, διαμορφώνεται ένα ομοιογενές μίγμα. Όταν απαιτείται πρόσθετη ισχύς, η μηχανή GDI μεταστρέφεται αυτόματα στο πρόγραμμα υψηλής απόδοσης, δηλαδή λειτουργεί όπως μια μηχανή MPI. Στην πράξη, η μηχανή GDI επιτυγχάνει υψηλότερη ισχύ από μια συμβατική μηχανή MPI. Τούτο οφείλεται στην άμεση έγχυση του καυσίμου με λεπτότατο καταμερισμό στον κύλινδρο, όπου εξατμίζεται αμέσως στη ροή του αέρα. Αυτό προκαλεί την ψύξη και συστολή του αέρα, επιτρέποντας σε πρόσθετο αέρα να εισαχθεί μέσα στον κύλινδρο, οπότε βελτιώνεται η ογκομετρική απόδοση. Η ψύξη του αέρα εισαγωγής αποτρέπει την προανάφλεξη και οδηγεί στην υψηλότερη ισχύ.

Αντίθετα, στις συμβατικές MPI μηχανές η προανάφλεξη εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης από τη βενζίνη που παραμένει κοντά στις βαλβίδες εισαγωγής. Τα στοιχεία χαμηλού αριθμού οκτανίου του καυσίμου οδηγούνται στον κύλινδρο αμέσως μετά την επιτάχυνση, όπου αναμιγνύονται με τον αέρα και αναφλέγονται, προκαλώντας την προανάφλεξη. Με τη μηχανή GDI, το καύσιμο εγχέεται άμεσα στον κύλινδρο και καίγεται εντελώς, οπότε επιτυγχάνεται άμεση καταστολή της προανάφλεξης. Τούτο σημαίνει υψηλότερη ισχύ από τα πρώτα στάδια της επιτάχυνσης.

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα της τεχνολογίας μηχανών με άμεση έγχυση βενζίνης είναι ο ακριβής έλεγχος του σχηματισμού του μίγματος αέρα / καυσίμου. Οι κατασκευαστές έχουν κεφαλαιοποιήσει αυτό το επίτευγμα για να αναπτύξουν μια καινοτόμο τεχνολογία αντί – προανάφλεξης, αποκαλούμενη « **δυο σταδίων μίξη**». Στη μίξη δυο σταδίων το ¼ περίπου του συνολικού όγκου του καυσίμου εγχέεται κατά τη διάρκεια του χρόνου εισαγωγής. Αυτό

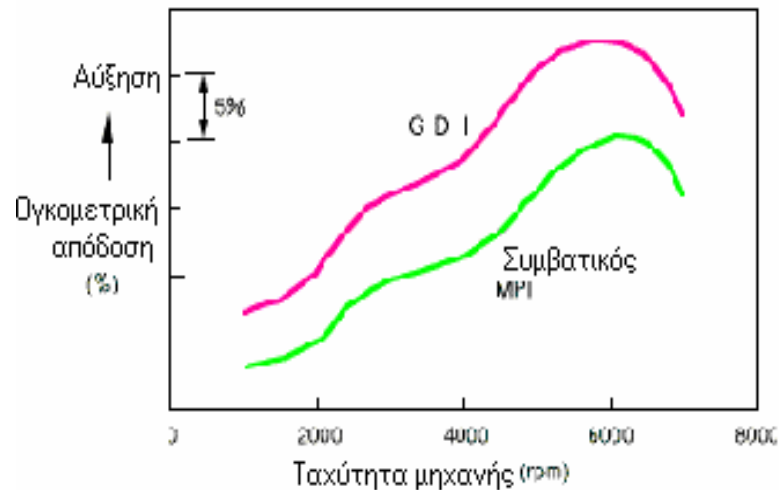
διαμορφώνει ένα εξαιρετικά φτωχό μίγμα καυσίμου που είναι αδύνατο να καεί κάτω από κανονικές συνθήκες. Το υπόλοιπο καύσιμο εγχέεται κατά τη διάρκεια των τελευταίων σταδίων του χρόνου συμπίεσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι το μίγμα αέρα – καυσίμου διαιρείται λόγω και της μορφής του εμβόλου σε ένα πολύ φτωχό μίγμα αέρα – καυσίμου και σε ένα πλούσιο μίγμα αέρα – καυσίμου. Η προανάφλεξη εμφανίζεται συχνά σε ένα στοιχειομετρικό μίγμα, αλλά είναι λιγότερο πιθανό να εμφανιστεί όταν το μίγμα γίνεται πιο φτωχό ή πλουσιότερο. Επειδή το πλούσιο μίγμα διαμορφώνεται αμέσως πριν από την ανάφλεξη, δεν υπάρχει χρόνος για εμφάνιση προανάφλεξης (εικόνα 13.16).



Εικόνα 13.16 : Μίξη δυο σταδίων

13.5.1 Βελτίωση του βαθμού πλήρωσης

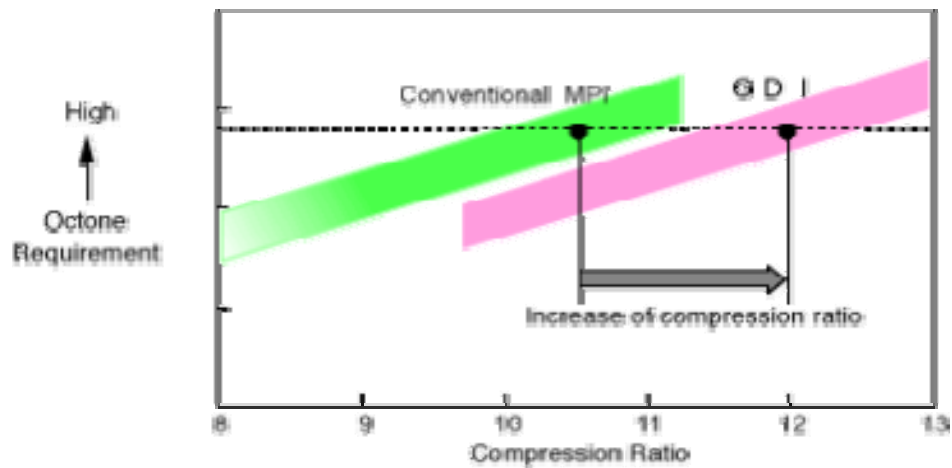
Συγκρινόμενη με τις συμβατικές μηχανές, η μηχανή GDI παρέχει καλύτερη ογκομετρική απόδοση. Οι όρθιοι ευθείς οχετοί εισαγωγής επιτρέπουν την ομαλότερη εισαγωγή του αέρα. Επίσης, η εξάτμιση του καυσίμου, δροσίζει τον αέρα, οπότε αυξάνει ο βαθμός πλήρωσης (εικόνα 13.17).



Εικόνα 13.17 : Αύξηση του βαθμού πλήρωσης στη μηχανή GDI

13.5.2 Αύξηση της σχέσης συμπίεσης

Η ψύξη του αέρα μέσα στον κύλινδρο από την εξάτμιση του καυσίμου έχει και ένα άλλο όφελος, την ελαχιστοποίηση της προανάφλεξης. Αυτό επιτρέπει υψηλή σχέση συμπίεσης (ως 12,5 :1), με αποτέλεσμα τη βελτιωμένη απόδοση της καύσης (εικόνα 13.18) .

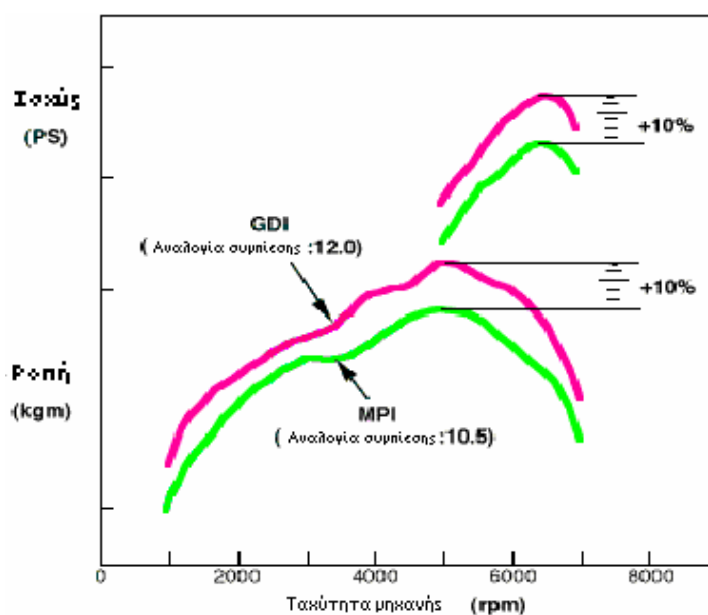


Εικόνα 13.18 : Αύξηση της σχέσης συμπίεσης στη μηχανή GDI

13.5.3 Ισχύς και ροπή

Συγκρινόμενη με τις συμβατικές MPI μηχανές ενός ίδιου

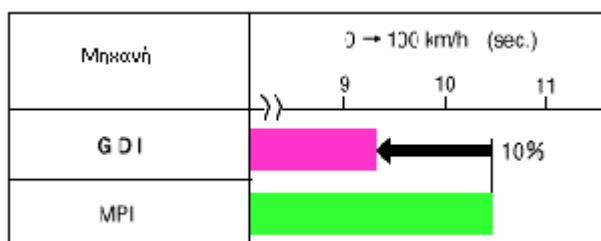
συγκρίσιμου μεγέθους, η μηχανή GDI παρέχει τη μεγαλύτερη ισχύ και ροπή, περίπου 10% , σε όλες τις στροφές (εικόνα 13.19).



Εικόνα 13.19 : Αύξηση της ισχύος και της ροπής στη μηχανή GDI

13.5.4 Επιτάχυνση αυτοκίνητου.

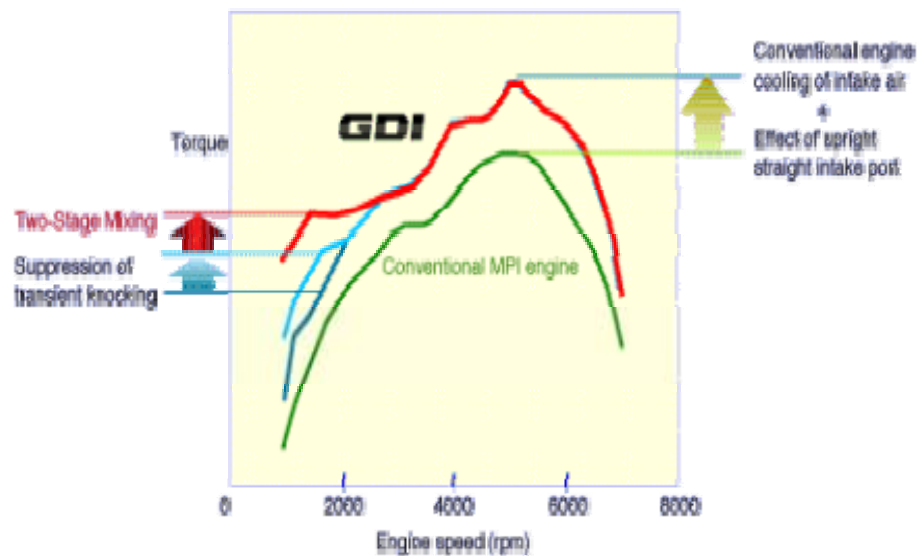
Σε συνθήκες υψηλής απόδοσης , η μηχανή GDI παρέχει σημαντική επιτάχυνση. Το ακόλουθο διάγραμμα συγκρίνει την απόδοση της μηχανής GDI με μια συμβατική MPI μηχανή (εικόνα 13.20).



Εικόνα 13.20 : Βελτίωση της επιτάχυνσης στη μηχανή GDI

Το διάγραμμα παρακάτω συγκρίνει τη ροπή της μηχανής GDI με αυτήν μιας συμβατικής MPI μηχανής σε ολόκληρο το φάσμα στροφών.

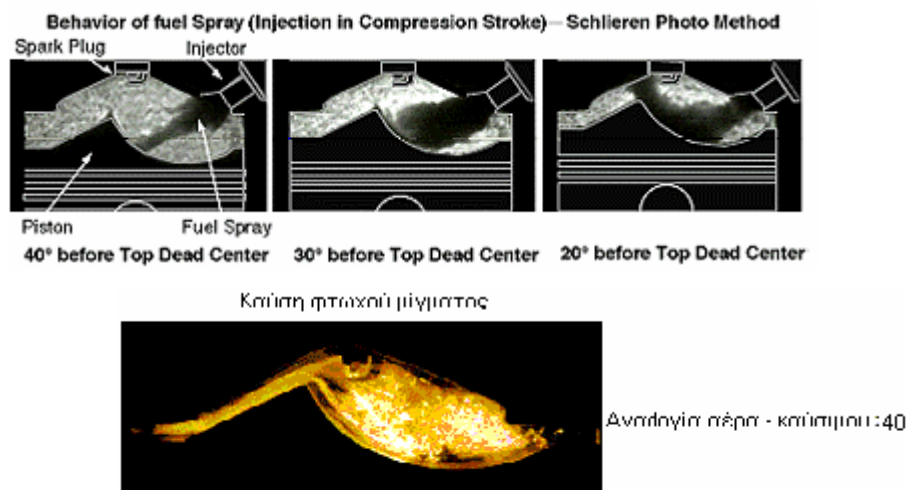
Με τη μηχανή GDI, η επίδραση της χρήσης του προγράμματος «δύο σταδίων μίξης» και η κατασταλμένη προανάφλεξη ευνοεί τη μεγιστοποίηση της ροπής στις χαμηλές στροφές, απαραίτητη για την επιτάχυνση. Επιπλέον, η επίδραση της ψύξης του αέρα εισαγωγής και η ομαλή πορεία του αέρα εισαγωγής μέσω των όρθιων ευθέων οχετών εισαγωγής, επιτρέπουν μεγαλύτερη ισχύ στις μέσες και μεγάλες στροφές (εικόνα 13.21).



Εικόνα 13.21 : Επίδραση των πλεονεκτημάτων της μηχανής GDI στην αύξηση της ροπής στις διάφορες στροφές

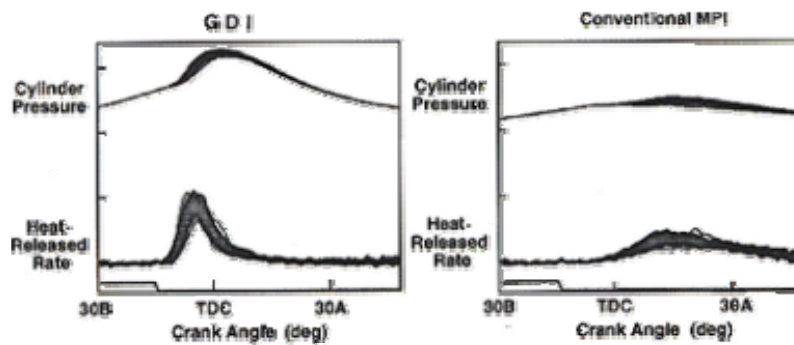
13.5.5 Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου

Στη μηχανή GDI επιτυγχάνεται πολύ χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, επειδή η ιδανική στρωματοποίηση του καυσίμου, που εγχέεται αργά στο χρόνο της συμπίεσης, διαμορφώνει ένα εξαιρετικά φτωχό μίγμα αέρα – καυσίμου. Σε μηχανή που κατασκευάστηκε για την ανάλυση της καύσης, αποδεικνύεται ότι το μίγμα αέρα – καυσίμου συλλέγεται γύρω από τον αναφλεκτήρα με τη βέλτιστη πυκνότητα σε μια στρωματοποιημένη γόμωση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εξαιρετικά σταθερή καύση του φτωχού μίγματος με μία αναλογία αέρα – καυσίμου 40 : 1 (εικόνα 13.22).



Εικόνα 13.22 : Εξέλιξη του spray πριν την ανάφλεξη στη μηχανή GDI

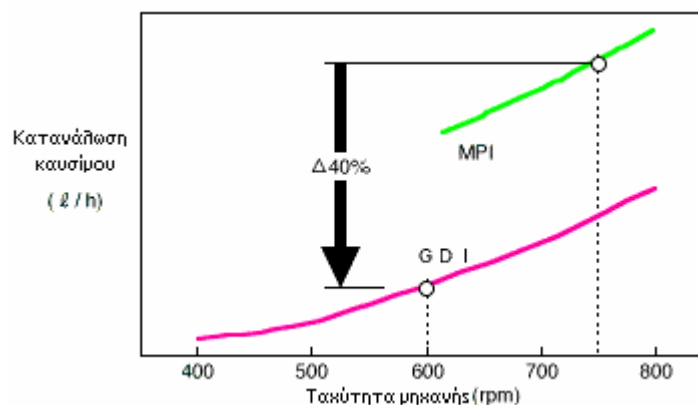
Στις συμβατικές MPI μηχανές υπήρξαν όρια για τα φτωχότερα μίγματα, πράγμα το οποίο οφείλεται στις μεγάλες αλλαγές στα χαρακτηριστικά της καύσης. Εντούτοις, το στρωματοποιημένο μίγμα του GDI επιτρέπει κατά πολύ τη μείωση της αναλογίας αέρα – καυσίμου χωρίς να οδηγηθούμε σε φτωχότερη καύση. Παραδείγματος χάριν, κατά τη διάρκεια του ρελαντί, όταν η καύση είναι πιο ανενεργή και ασταθής, η μηχανή GDI διατηρεί σταθερή και γρήγορη καύση ακόμα και με ένα εξαιρετικά φτωχό μίγμα με αναλογία αέρα – καυσίμου 40 : 1 (εικόνα 13.23).



Εικόνα 13.23 : Πίεση και ποσοστό θερμότητας που εκλύεται στο ρελαντί σε μηχανή GDI και σε συμβατική MPI μηχανή

13.5.5.1 Κατανάλωση καυσίμου στο ρελαντί

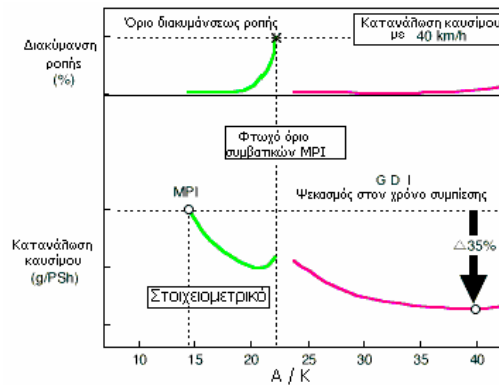
Η μηχανή GDI διατηρεί σταθερή καύση και προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία ακόμα και στις χαμηλές στροφές. Συγκρινόμενη με τις συμβατικές μηχανές, η κατανάλωση καυσίμου κατά τη διάρκεια του ρελαντί είναι 40% μικρότερη (εικόνα 13.24).



Εικόνα 13.24 : Μείωση της κατανάλωσης στο ρελαντί σε μηχανή GDI

13.5.5.2 Κατανάλωση καυσίμου στο μερικό φορτίο

Σε 40km/h, παραδείγματος χάριν, η μηχανή GDI χρησιμοποιεί 35% λιγότερο καύσιμο από μια ανάλογα ίδια συμβατική μηχανή, (εικόνα 13.25).



Εικόνα 13.25 : Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου στο μερικό φορτίο σε μηχανή GDI

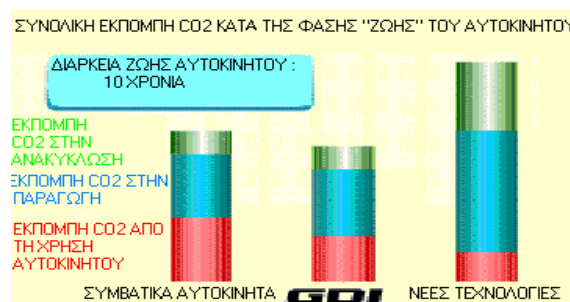
13.5.5.3 Κατανάλωση καυσίμου σε αστικές συνθήκες

Στον ιαπωνικό κύκλο οδήγησης, 10-15 mode driving cycle, που αντιπροσωπεύει της χαρακτηριστικές αστικές συνθήκες οδήγησης, η μηχανή GDI κατανάλωσε 35% λιγότερο καύσιμο από τις ανάλογες συμβατικές μηχανές βενζίνης. Επιπλέον, αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μηχανή GDI χρησιμοποιεί λιγότερο καύσιμο ακόμα και από τις μηχανές ντίζελ, (εικόνα 13.26).

Μηχανή		10-15 Mode Fuel Economy - MT (km/L)
1.8L	G D I	35%
	Συμβατικές	
2.0L I/C T/C Diesel		

Εικόνα 13.26 : Οικονομία καυσίμου της μηχανής GDI σε σχέση με τη συμβατική MPI μηχανή και τον πετρελαιοκινητήρα

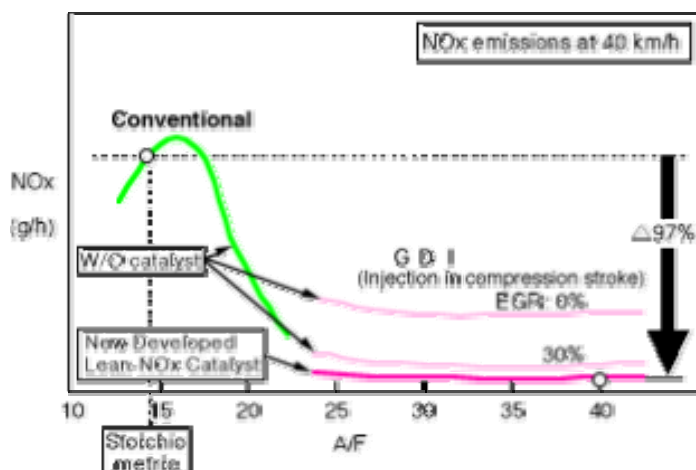
13.5.6 Καυσάεριο της μηχανής GDI



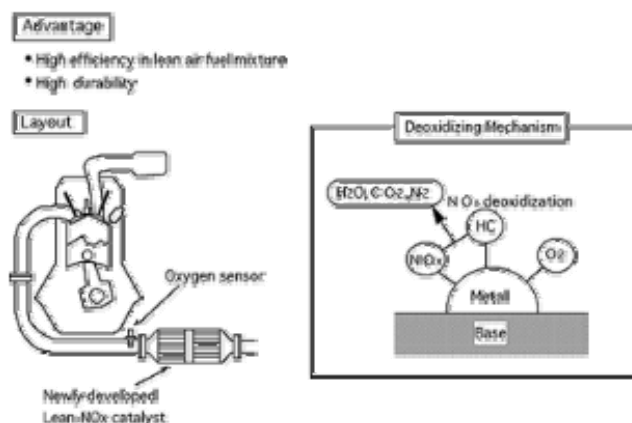
Εικόνα 13.27 : Εκπομπή CO₂ της μηχανής GDI στη διάρκεια ζωής της

Στην εικόνα 13.27 φαίνεται η εκπομπή CO_2 στη διάρκεια ζωής της μηχανής GDI σε σύγκριση με μηχανές διαφορετικών τεχνολογιών

Σε ότι αφορά στην εκπομπή NO_x , έχει ήδη διαπιστωθεί ότι αυτή εμφανίζει αυξητική τάση κατά την καύση φτωχών μιγμάτων. Στην περίπτωση της μηχανής GDI όμως, η μείωση των NO_x κατά 97% επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση υψηλού ποσοστού EGR (ως 30%). Τούτο επιτρέπεται λόγω της πολύ σταθερής καύσης στο GDI (εικόνα 13.28) καθώς επίσης και με τη χρήση ενός πρόσφατα αναπτυγμένου καταλύτη φτωχού – NO_x (εικόνα 13.29).



Εικόνα 13.28 : Μείωση της εκπομπής NO_x με χρήση 30% EGR και καταλύτη φτωχού – NO_x στη μηχανή GDI



Εικόνα 13.29 : Νέος καταλύτης φτωχού – NO_x στις μηχανές GDI