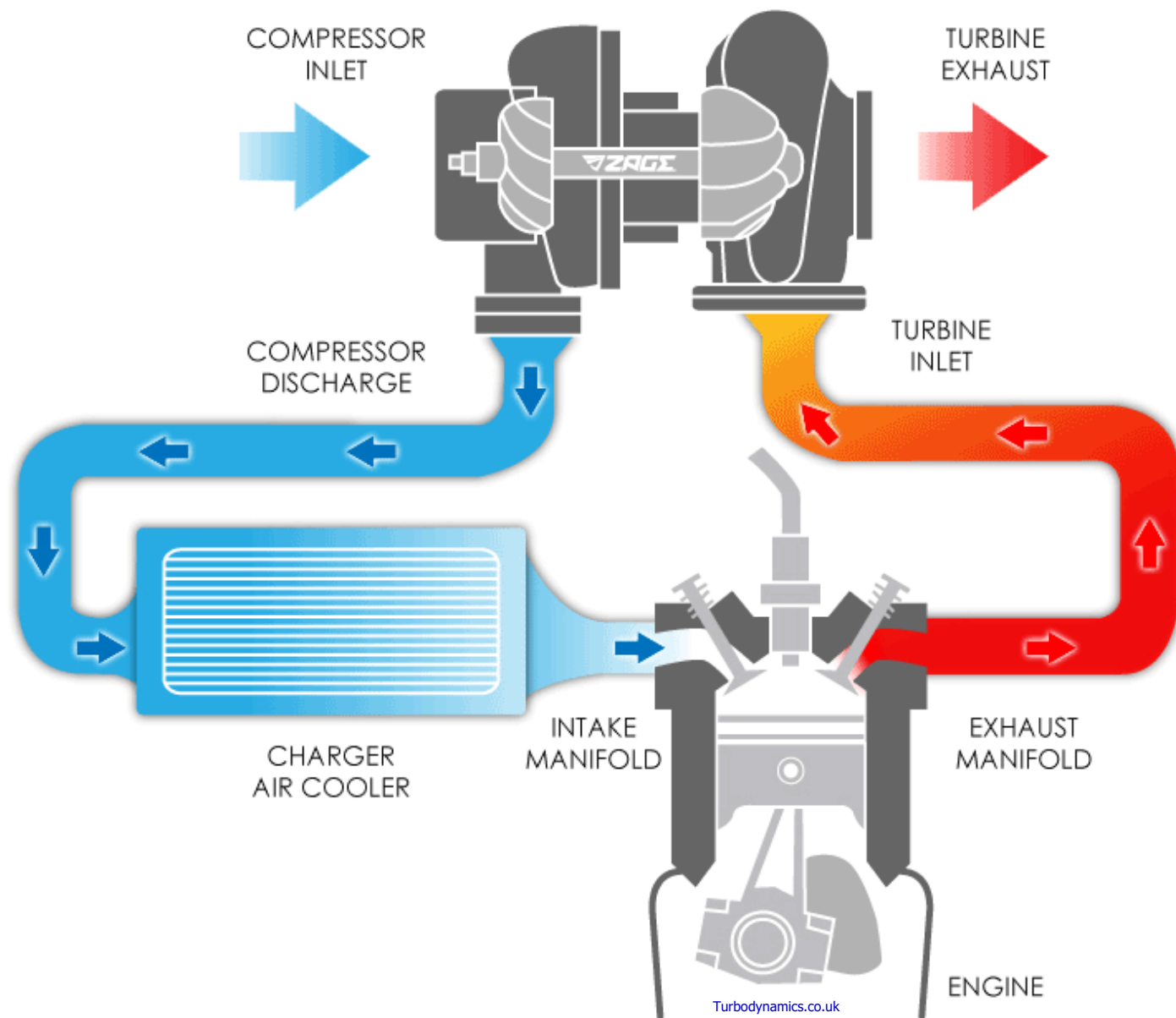


Υπερπλήρωση

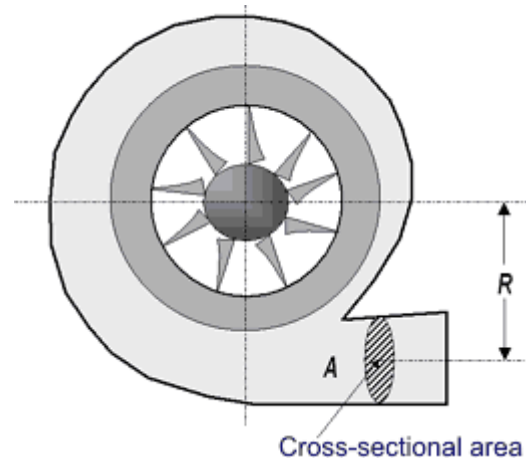
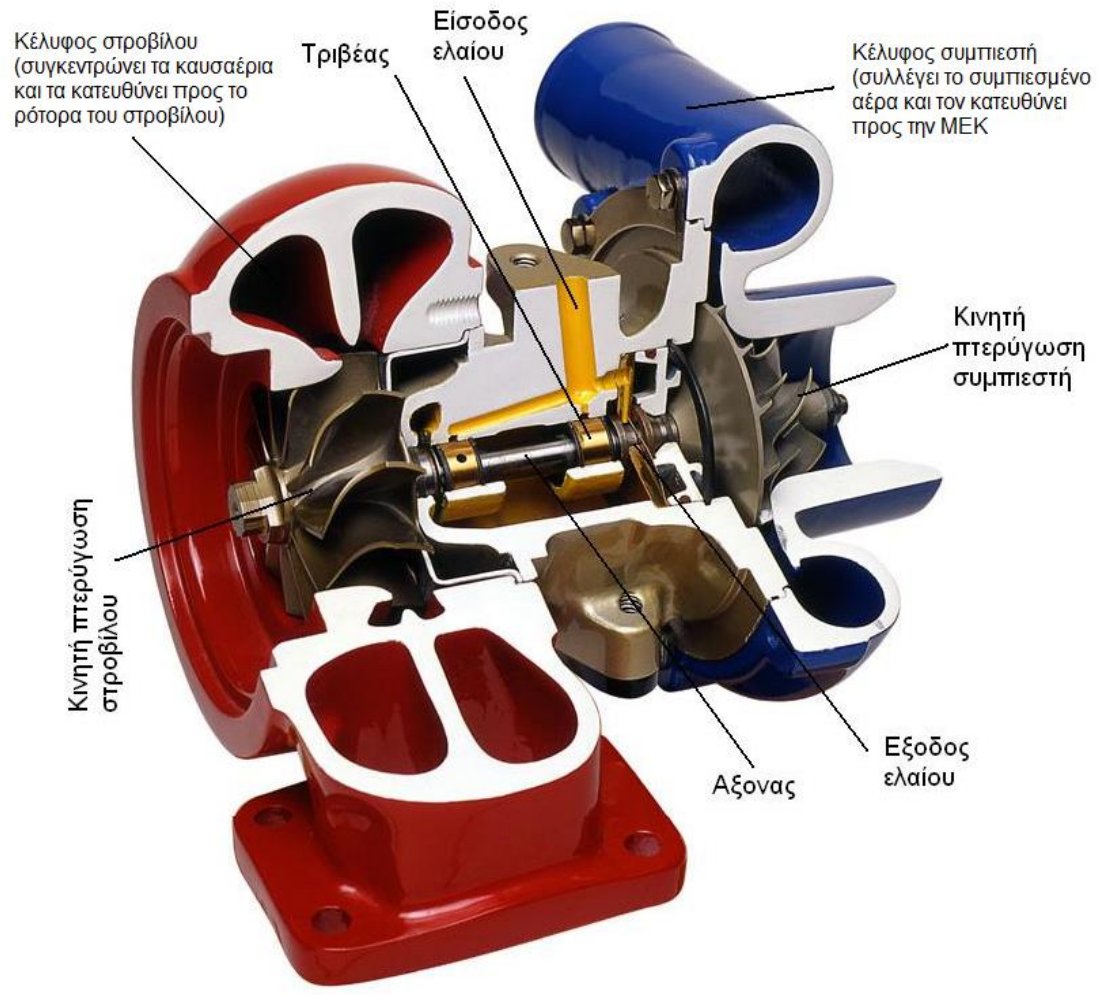
Υπερπλήρωση Μ.Ε.Κ.

- Γιατί υπερπλήρωση (τι είναι η υπερπλήρωση)
- Τύποι/διατάξεις υπερπλήρωσης
- Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα
- Τυπικές εφαρμογές
- Ιδιαιτερότητες Otto/Diesel
- **Αρχές στροβιλο-υπερπλήρωσης**
- Ενδιάμεση ψύξη αέρα υπερπλήρωσης
- Συμπιεστής (χάρτες λειτουργίας)
- Στρόβιλος (χάρτες λειτουργίας)
- Διάφορες παραλλαγές στροβιλο-υπερπλήρωσης
- Διαμόρφωση πολλαπλής εξαγωγής
- Ταίριασμα κινητήρα με στροβιλο-υπερπληρωτή
- Μεταβατική λειτουργία (+ ρύπανση)

Γενικές Αρχές Στροβιλο-Υπερπλήρωσης

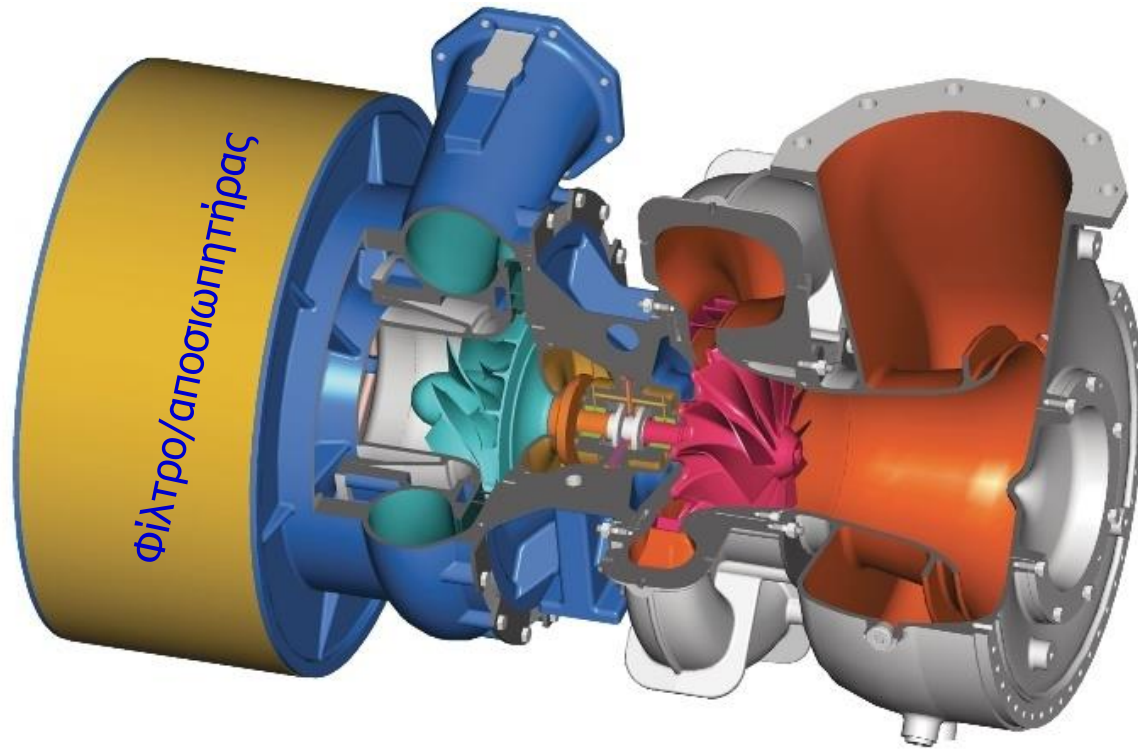


Γενικές Αρχές Στροβιλο-Υπερπλήρωσης



Σύστημα στροβιλο-υπερπλήρωσης με ακτινικό συμπιεστή και ακτινικό στρόβιλο, τυπικό σε εφαρμογές αυτοκίνησης

Μείωση A/R (μεγέθους t/c) αυξάνει τις στροφές



Στροβιλο-υπερπληρωτής ναυτικού κινητήρα
με φίλτρο-αποσιωπητήρα (αριστερά)



(MAN)

Ρότορας ακτινικού συμπιεστή και
αξονικού στροβίλου

1

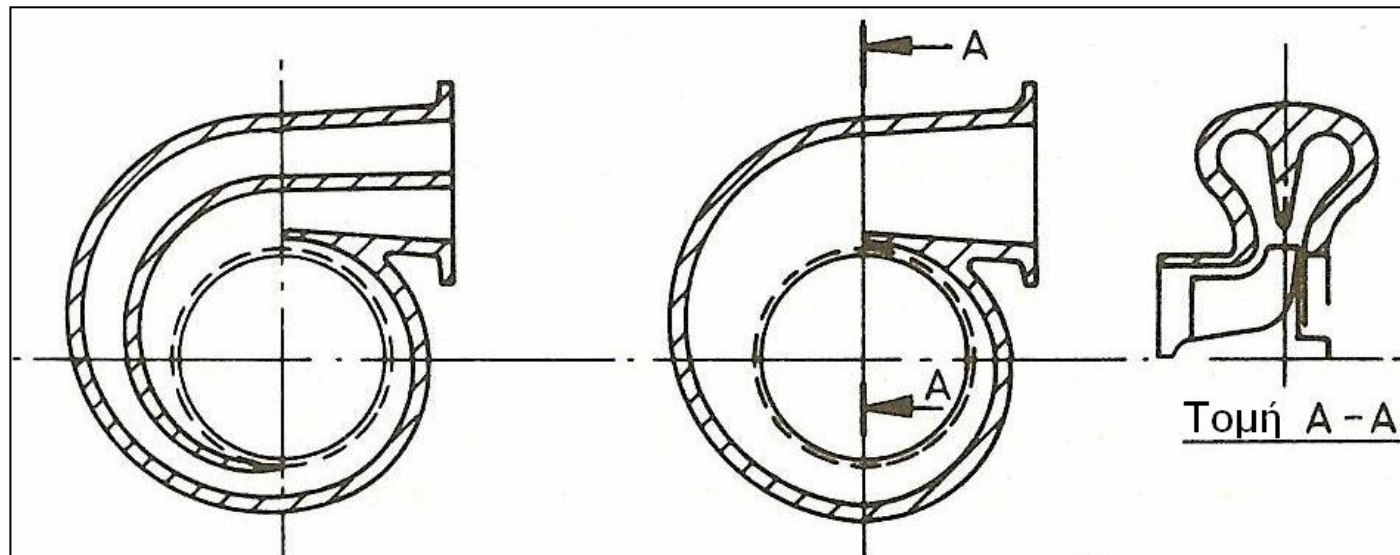
Ακτινικός συμπίεστής («αντοχή» μέχρι 520 m/s, p_c έως 3.5-4:1 → μ. πραγματική πίεση έως ~22bar)

Ρότορας από αλουμίνιο (χύτευση)

Με ρότορες από τιτάνιο (μεγάλοι 2-Χ κινητήρες), επιτυγχάνονται λ. πιέσεων > 5 – θόρυβος λειτουργίας (χρήση αποσιωπητήρα)

2

Ακτινικός ($D < 160$ mm) ή αξονικός στρόβιλος ($D > 300$ mm), μίας ή περισσότερων εισόδων – ακτινικοί με χύτευση, αξονικοί σε δύο κομμάτια



Στρόβιλος δύο εισόδων (twin-entry) εφαρμογής αυτοκινήτου

3

Έχει σχετικά απλή κατασκευή (δεν υπάρχει μηχανική σύνδεση με τον κινητήρα)
Συμπιεστής και στρόβιλος είναι μηχανικά συνδεδεμένοι στην ίδια άτρακτο

4

Έχει δυνατότητα επίτευξης υψηλής συγκέντρωσης ισχύος της Μ.Ε.Κ.

5

Ειδικής κατασκευής τριβείς λόγω πολύ υψηλών ταχυτήτων περιστροφής (ακόμα και > 200.000 rpm)

6

Βελτιώνει και την ειδική κατανάλωση καυσίμου (β.α.) του κινητήρα

7

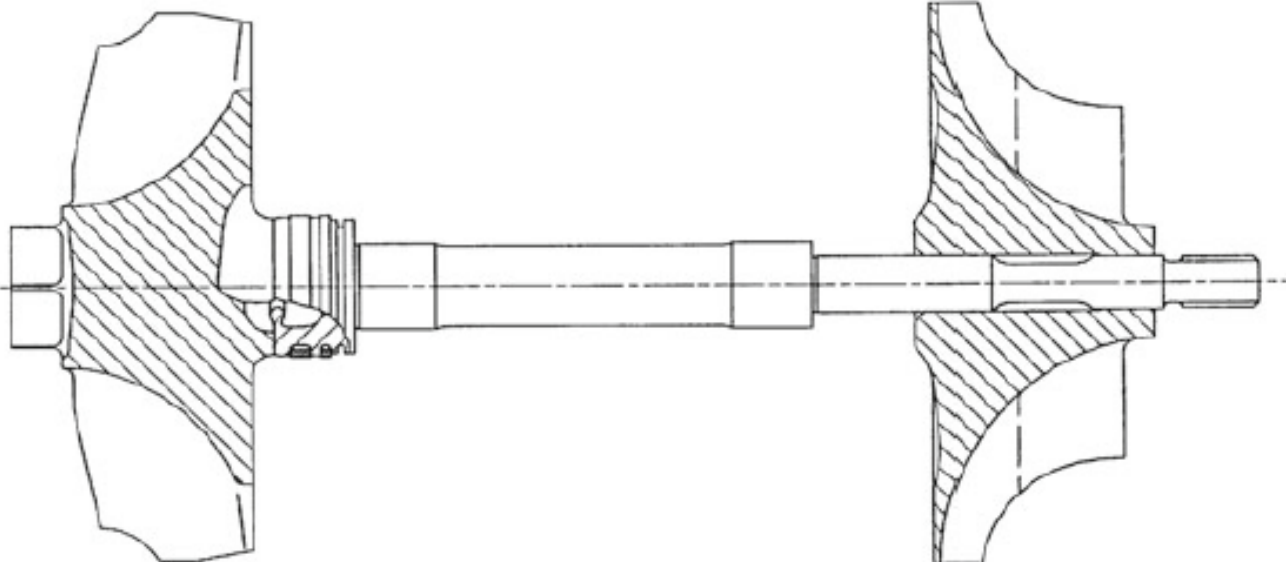
Χειροτερεύει τη μεταβατική λειτουργία

8

Μέγιστη θερμοκρασία καυσαερίου: 4-Χ βενζινοκινητήρας - $T \approx 1000^{\circ}\text{C}$ // Diesel - $T \approx 500^{\circ}\text{C}$

9

Δυσκολίες σάρωσης 2-Χ (χαμηλά φορτία αλλά και λόγω αύξησης πίεσης πολλαπλής εξαγωγής)



Turbine wheel
G-NiCr13MoAl (Inconel 713 C / LC)
73% Ni, 13% Cr (μέχρι 1050°C)

Compressor wheel
G-AlSi5Cu1Mg (C355)
G-AlSi7Mg0,6wa (A357)
G-AlCu4TiMg wa (Alufont 47)
G-AlCu4AgMgTi wa (K0-1)
AlCu2MgNi (AN 40)
TiAl6V4

Κέλυφος στροβίλου

GGGX-SiMo51 (μέχρι 750°C) (Diesel)
GGG NiCr 20 2 (D2) (μέχρι 850°C) (Otto)
GGG NiCr 35 5 2 (D5) (μέχρι 1050°C) (Otto)

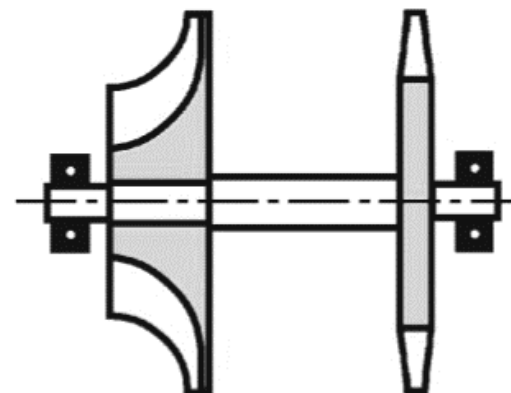
Κέλυφος συμπίεστη από αλουμίνιο ή μαγνήσιο

Τα τοιχώματα των κελύφων είναι τέτοια ώστε αν εκραγεί ο ρότορας να μην διαπεράσει το τοίχωμα

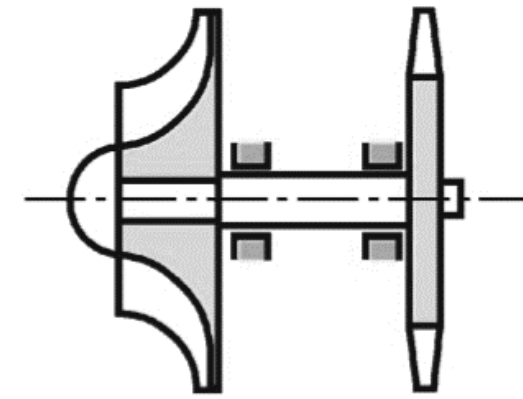
ΈΔΡΑΝΑ

Κινητ. μεγάλου μεγέθους

Μικρού μεγέθους



bearings outside




bearings inside

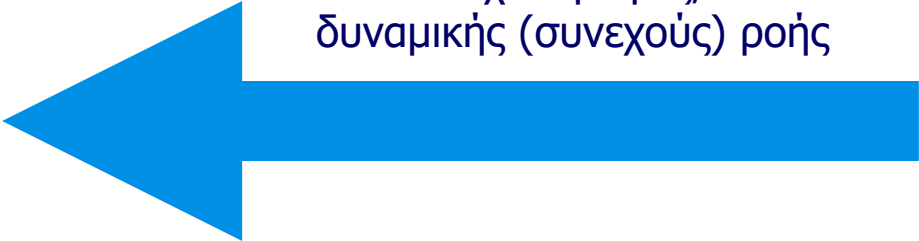
- Ψύξη εδράνων T/C από το κεντρικό κύκλωμα ψυκτικού
- Συχνά υπάρχει θερμική προστασία των εδράνων λόγω πολύ μικρής απόστασης από το στρόβιλο
- Πρόνοια για ψύξη κατά το απότομο σταμάτημα του κινητήρα
- Ξεχωριστό κύκλωμα λίπανσης εδράνων T/C σε κινητήρες μεγάλων διαστάσεων

Γενικές Αρχές Στροβιλο-Υπερπλήρωσης

Ο εμβολοφόρος κινητήρας είναι μία μηχανή:
μεγάλου μεγέθους,
χαμηλών στροφών,
διακοπτόμενης ροής,
θετικής εκτόπισης



Ο στροβιλο-υπερπληρωτής είναι:
μικρού μεγέθους,
ταχύστροφος,
δυναμικής (συνεχούς) ροής



Το θεμελιώδες πρόβλημα/δυσκολία είναι πως θα ταιριάξουμε κινητήρα και στροβιλο-υπερπληρωτή ώστε να συνεργαστούν με τον ιδανικότερο τρόπο δύο συσκευές/μηχανές τελείως διαφορετικής φιλοσοφίας και σχεδίασης

$$\eta_e = \eta_m \eta_i$$

Σημαντική αύξηση κατανάλωσης
με μηχανική υπερπλήρωση

1. Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης του κινητήρα αυξάνεται με την αύξηση της μέσης πραγματικής πίεσης (επειδή οι τριβές δεν αυξάνονται ανάλογα με το φορτίο αλλά με μικρότερο βαθμό),

$$\eta_m = \frac{\bar{p}_e}{\bar{p}_i} = 1 - \frac{\bar{p}_r}{\bar{p}_i}$$

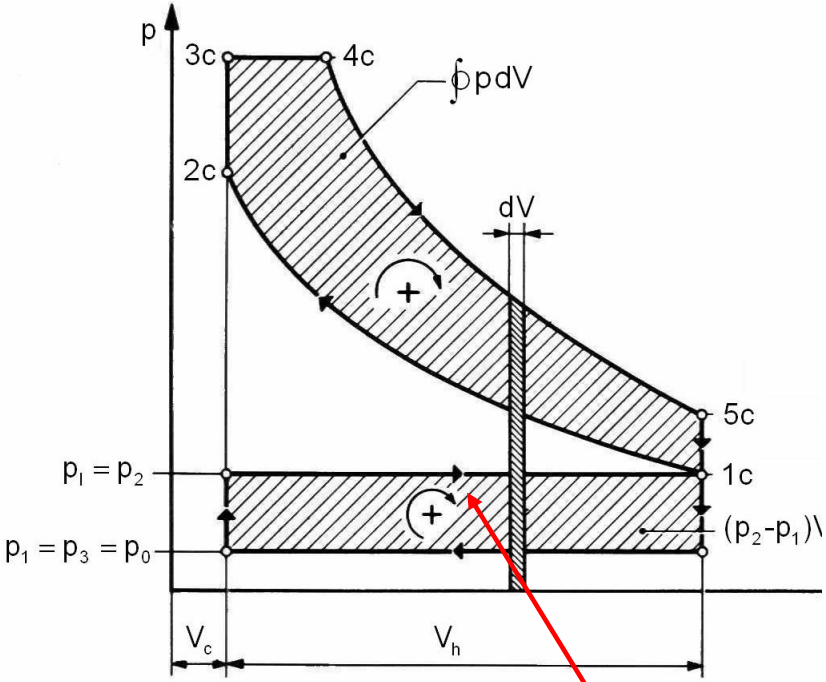
Επίσης, σε υπερπληρωμένους downsized κινητήρες, ο μηχανικός β.α. βελτιώνεται λόγω μικρότερου αριθμού κυλίνδρων και εδράνων

2. Ο ενδεικνύμενος βαθμός απόδοσης, η_i :

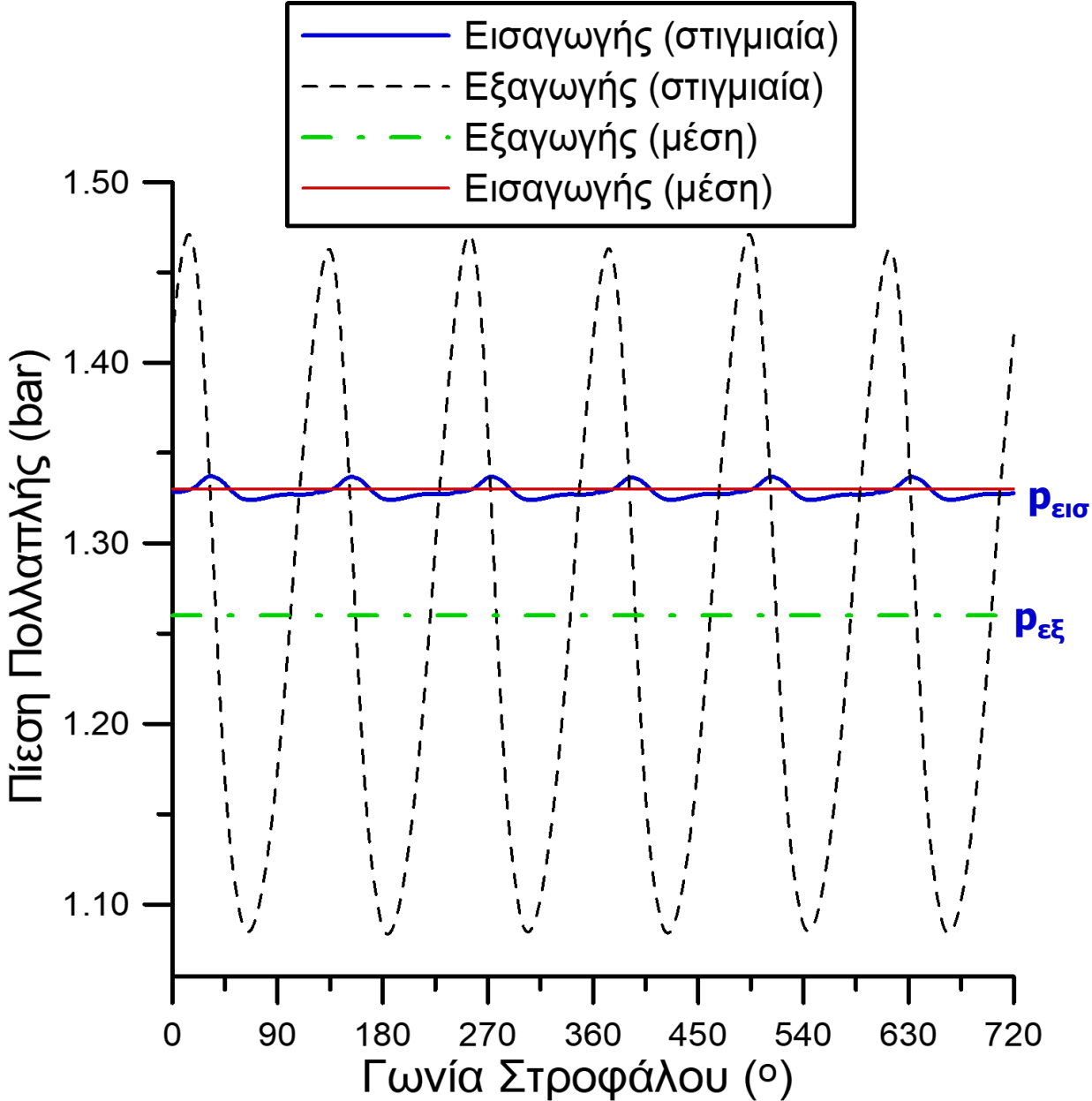
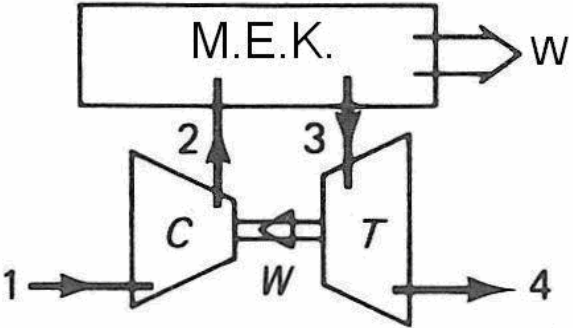
- Σε υπερπλ. κινητήρες **Otto**, συνήθως μειώνεται λόγω μείωσης του βαθμού συμπίεσης (προς αποφυγή κρουστικής καύσης)
- Σε υπερπλ. κινητήρες **Diesel** αυξάνεται λόγω θετικού βρόγχου άντλησης ή εναλλαγής αερίων (επόμενη διαφάνεια)

**Μείωση
κατανάλωσης/CO₂**

Βελτίωση βαθμού απόδοσης λόγω θετικού βρόγχου εναλλαγής αερίων

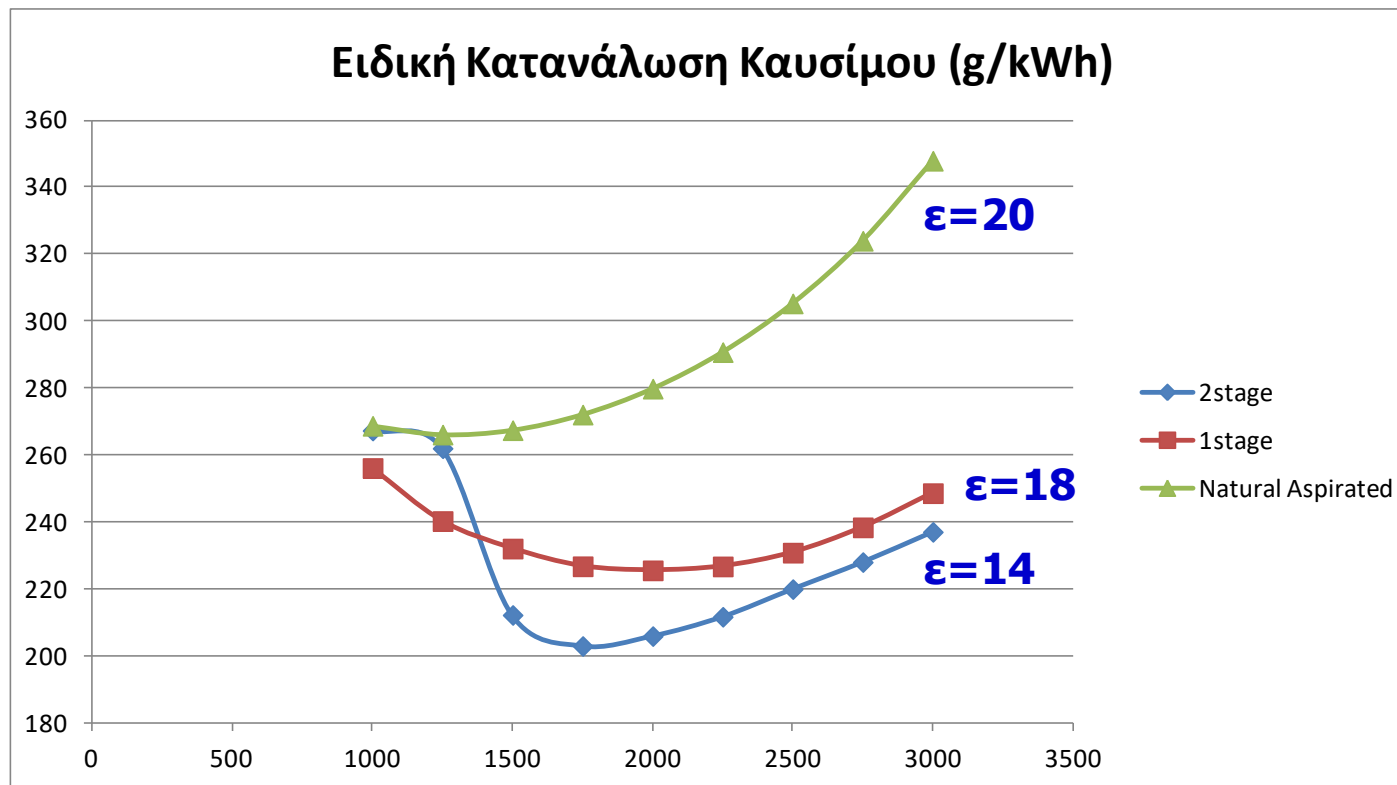
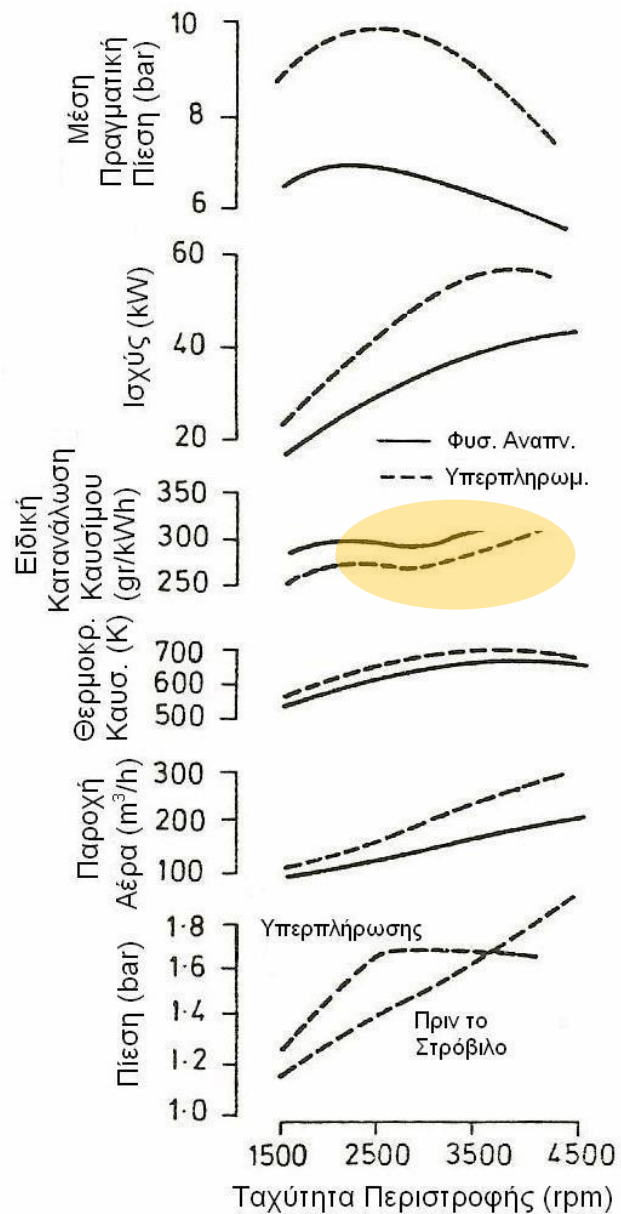


$p_{ΕΙΣ} > p_{ΕΞ} \rightarrow W_{ΕΙΣ} > W_{ΕΞ} \rightarrow$ **Θετικό έργο άντλησης αερίων**

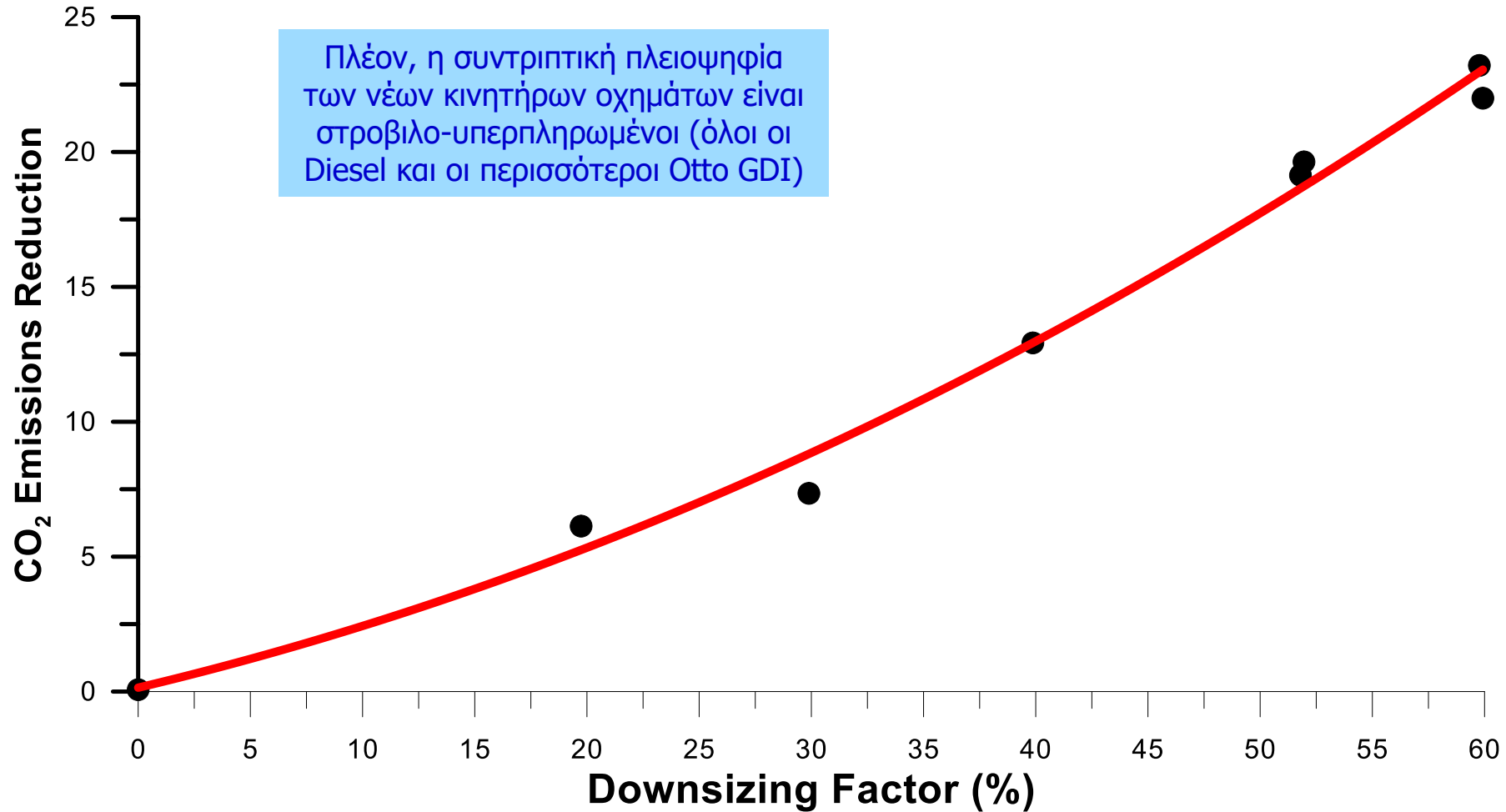


**Μείωση
κατανάλωσης/CO₂**

Γενικές Αρχές Στροβιλο-Υπερπλήρωσης



Ενδεικτικά παραδείγματα αύξησης β.α. λόγω στροβιλο-υπερπλήρωσης



Με τη στροβιλο-υπερπλήρωση μειώνονται οι εκπομπές CO₂

Μείωση
κατανάλωσης/CO₂

Γενικές Αρχές Στροβίλο-Υπερπλήρωσης

ΟΔΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ CO₂ ΣΤΗΝ Ε.Ε. (g/km)

140 g/km μέχρι το 2008/2009
«συμφωνία κυρίων» ανάμεσα σε ΕΕ και ACEA/JAMA/KAMA

130 g/km έως το 2012-2015
(443/2009/ΕΚ) με εσωτερικά μέτρα
+ επιπλέον 10 g/km με χρήση πχ.
βιοκαυσίμων

186 g/km το 1995

95 g/km από το 2021
(πρακτικά σημαίνει κατανάλωση
4L/100km)

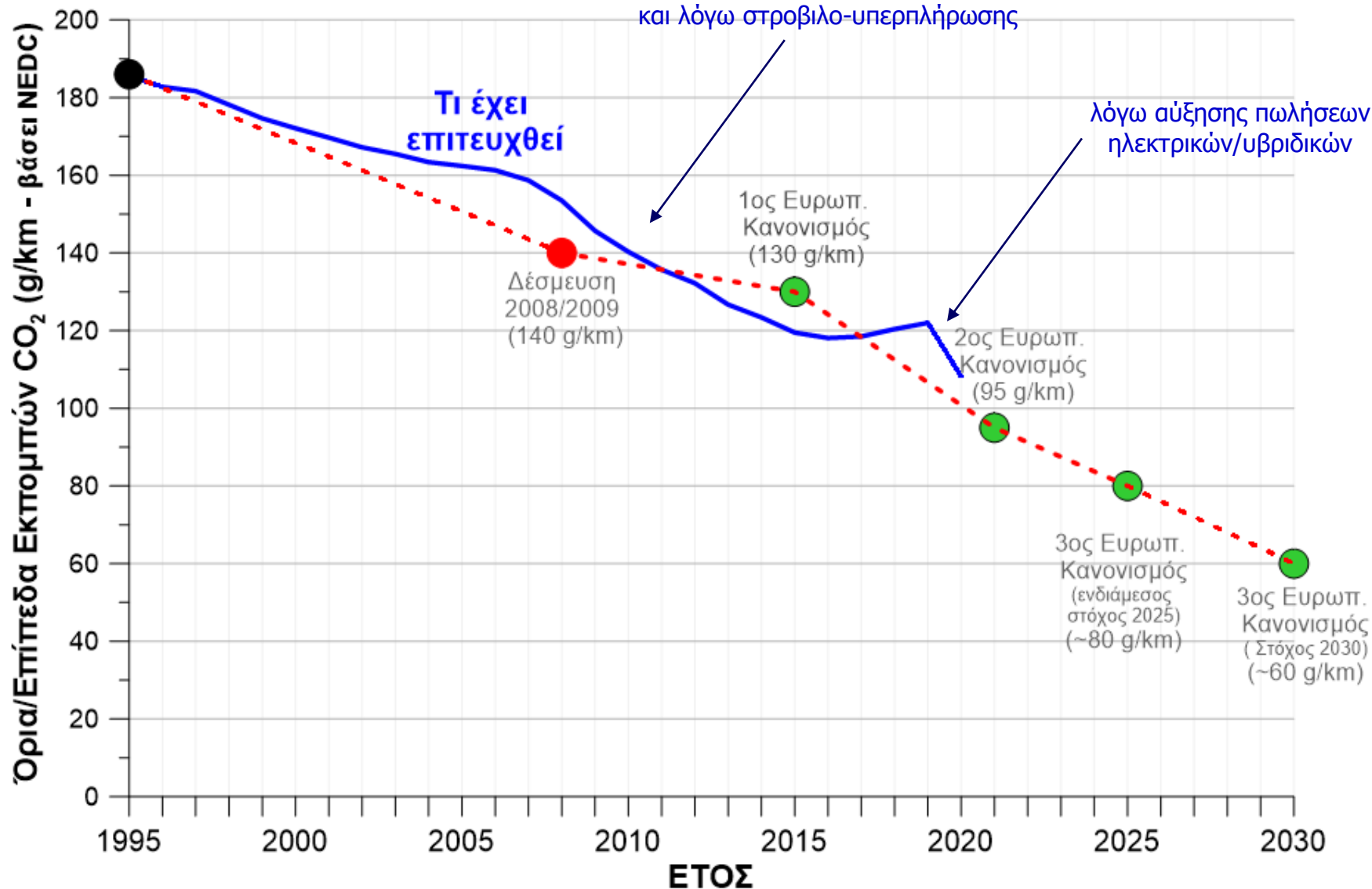
Τιμές όχι ανά όχημα αλλά
μ.ο. ετήσιου στόλου
πωλούμενων αυτοκινήτων

-37,5% από το 2030 για ΙΧ
(-15% από το 2025)

Για τα ελαφρά φορτηγά: -31% και -15%
(2019/631/ΕΕ)

**-55% (!) από το 2030
και -100% από το 2035!**

Εννοείται ότι οι πραγματικές εκπομπές στο δρόμο
(θα) είναι μεγαλύτερες, ενώ προφανώς δεν μπορεί
να ληφθεί υπόψιν πόση χρήση κάνει ο καθένας



**Ιστορική εξέλιξη εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση για
επιβατικά οχήματα (Κατηγορία M1)**

Γενικές Αρχές Στροβιλο-Υπερπλήρωσης

$$\uparrow \frac{p_2}{p_1} \Rightarrow \uparrow p_2, \uparrow T_2 \Rightarrow \uparrow p_o, \uparrow \rho_o = \frac{p_o \approx p_2}{RT_o} \Rightarrow \uparrow \eta_\lambda \Rightarrow \uparrow \bar{p}_e, \uparrow M_\sigma, \uparrow P_e \Rightarrow \uparrow p_{\max}$$

Μερικές τυπικές τιμές	$\rho_{\text{υπερπλ.}}$ (bar)	\bar{p}_e (bar)	p_{\max} (bar)	p_{\max}/\bar{p}_e
Φυσικής αναπνοής (Otto)	-	6	55	9,2
Ελαφρά υπερπληρωμένος (Diesel / Otto)	1,5	10	80 / 55	8,0
Υπερπληρωμένος (Diesel) με ενδιάμεση ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης	2,2	15	130	8,7
	2,8	18	155	8,6
	3,0	20	190	9,5
	5,0	25	230	9,2

Σε 4-Χ κινητήρες turbo, έχουμε μεγάλη περίοδο επικάλυψης βαλβίδων (συχνά > 100°) ώστε η νέα γόμωση να ψύξει το καυσαέριο, με αποτέλεσμα μείωση του θερμικού φορτίου σε βαλβίδες και στρόβιλο

Διβάθμια στροβιλο-υπερπλήρωση, άρα $p_o > 4 \text{ bar}$ ($p_{\max} > 180 \text{ bar}$), σε 4-Χ μεσόστροφους κινητήρες Η/Π ή ναυτικούς, καθώς και σε ταχύστροφους heavy-duty

Σε 2-Χ μεγάλων διαστάσεων, περιορισμός p_{\max} μέχρι 130 bar για αποφυγή υπερβολικών καταπονήσεων, άρα μονοβάθμιες διατάξεις

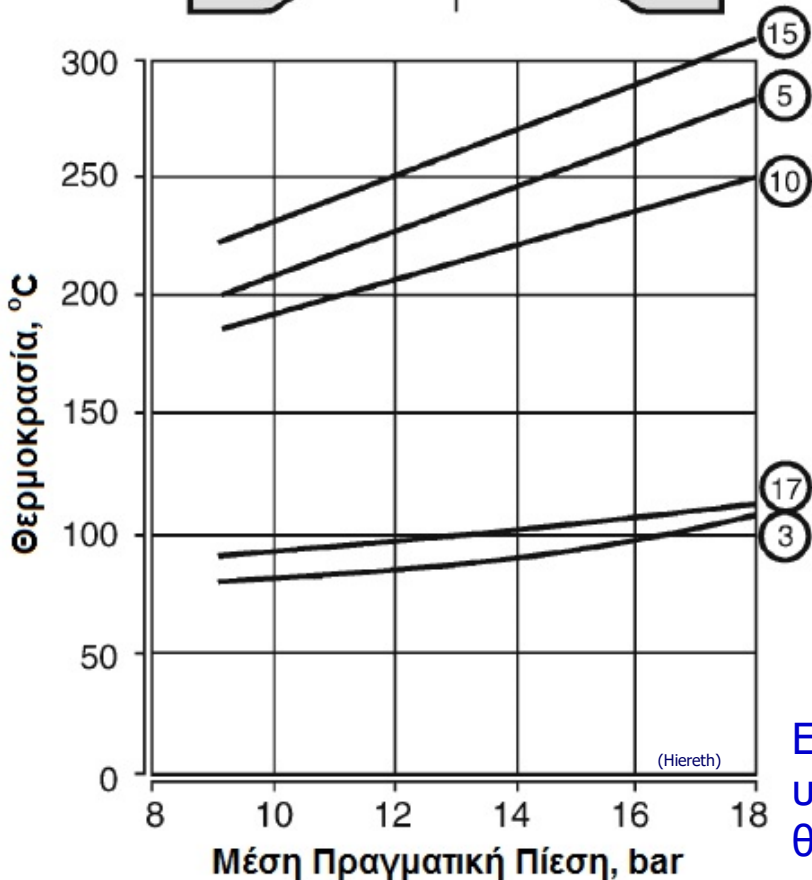
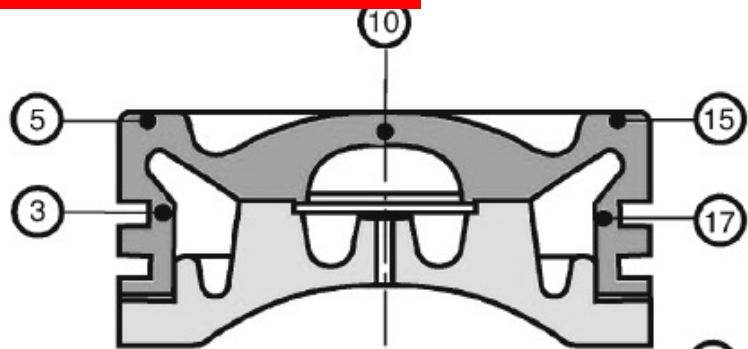
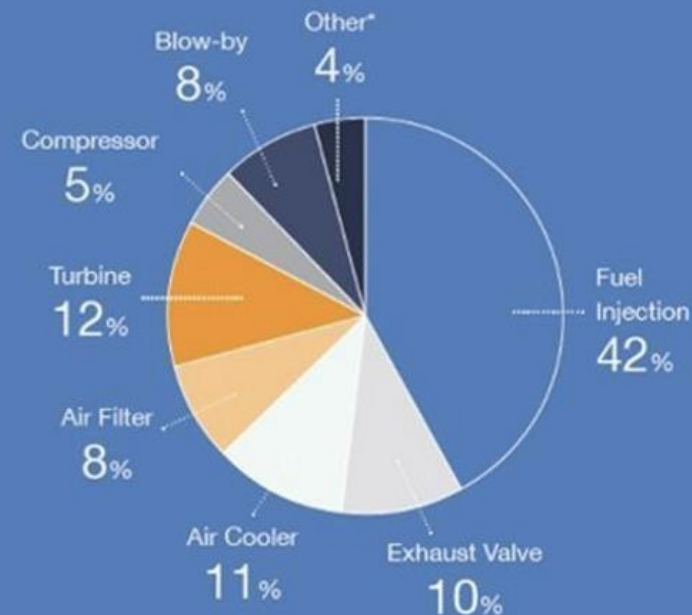
Οι καταπονήσεις εντός του κινηματικού μηχανισμού «ξεκινούν» με τη δύναμη που ασκείται από τα αέρια, η οποία είναι ανάλογη με την επιφάνεια του εμβόλου

$$P_g = p_g(\varphi) \frac{\pi D^2}{4}$$



Most Frequent Main Engine Faults

Propulsion Analytics



Επίδραση
υπερπλήρωσης στη
θερμική φόρτιση του
εμβόλου

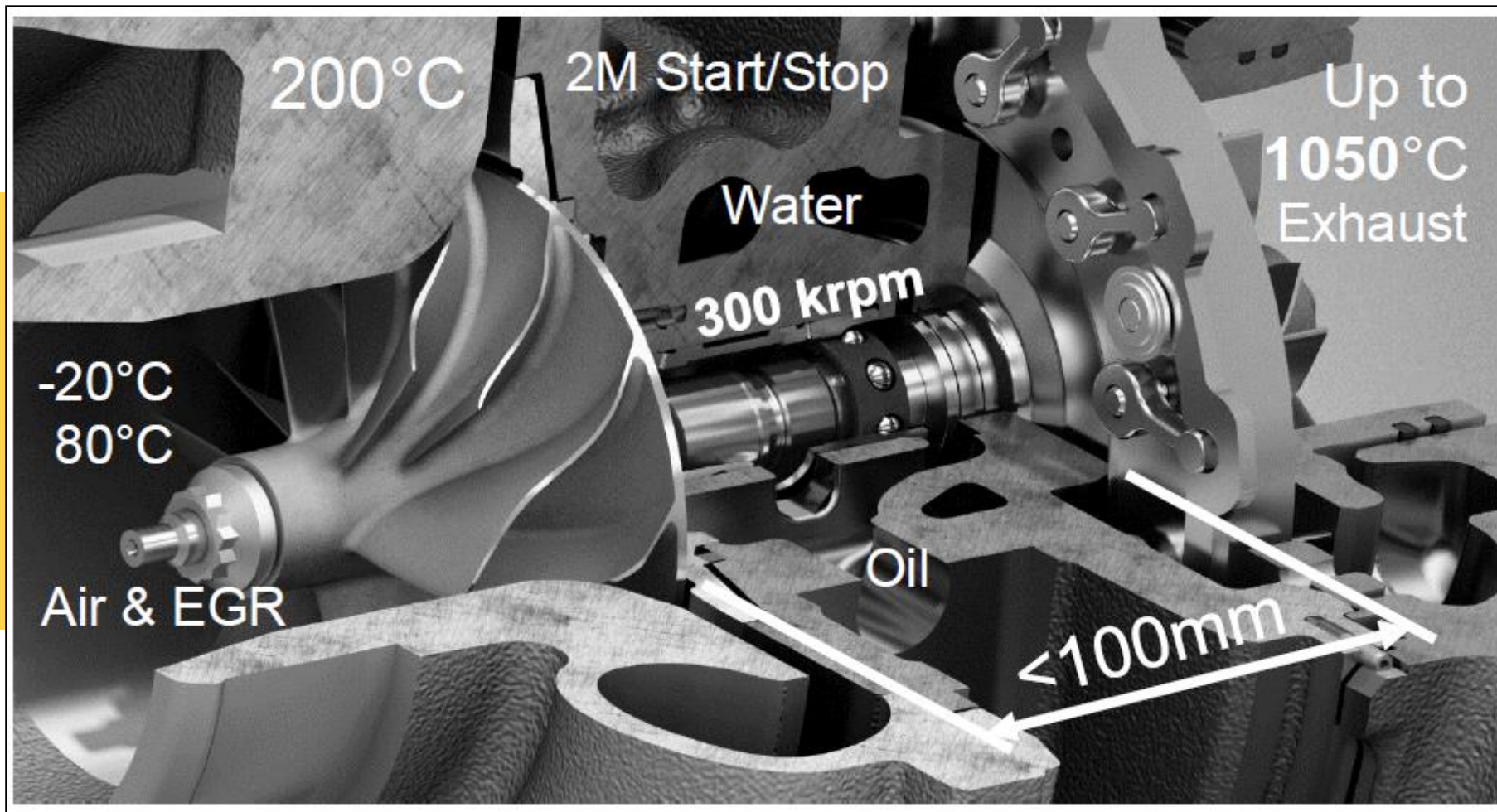


Βρόμισμα πτερυγίων συμπιεστή
(π.χ. από ακαθαρσίες στον αέρα εισαγωγής ή από το λιπαντικό)



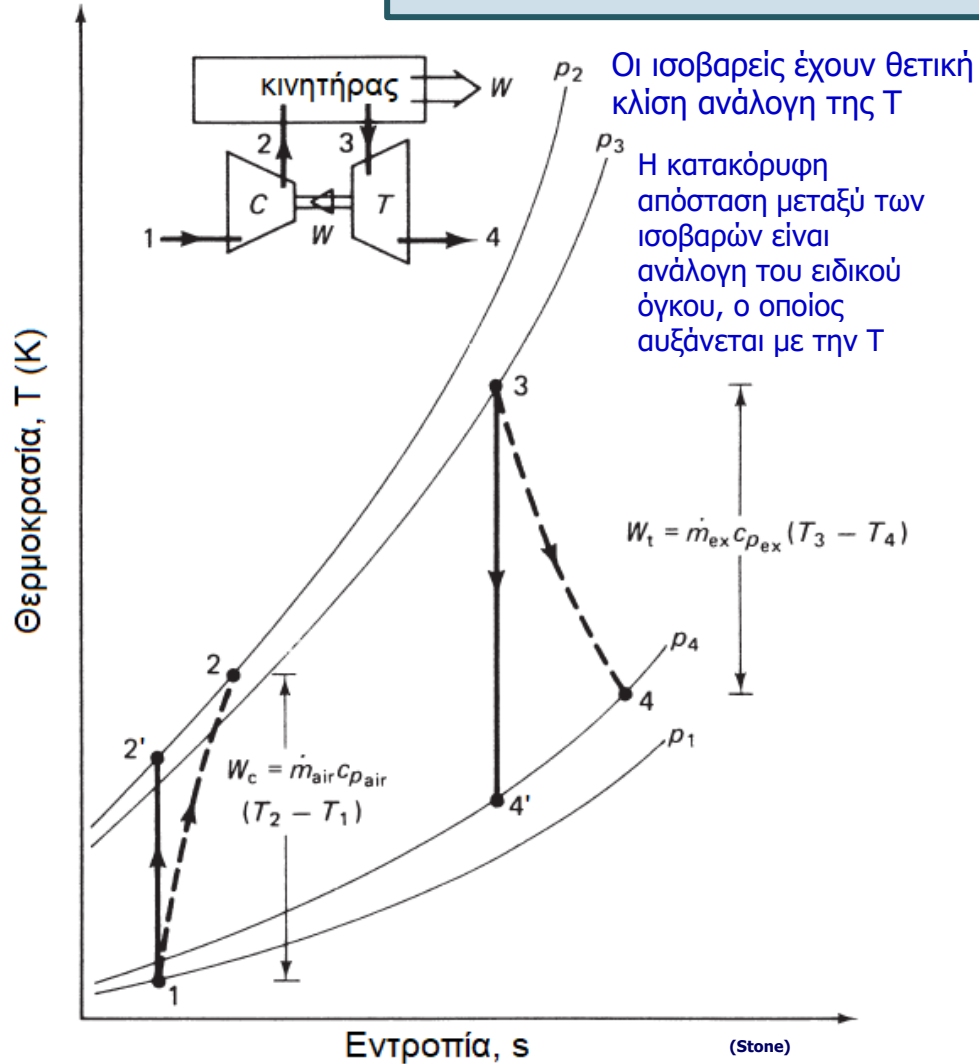
Βρόμισμα πτερυγίων στροβίλου
(κυρίως από συστατικά καυσαερίου, κυρίως βαρύτερων κλασμάτων πετρελαίου)

Γενικές Αρχές Στροβιλο-Υπερπλήρωσης



Honeywell

**Μερικές τυπικές τιμές
για εφαρμογές
αυτοκινήτων**



ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ

$$\eta_{ic} = \frac{\text{ισεντροπικό έργο}}{\text{πραγματικό έργο}} = \frac{h_{02'} - h_{01}}{h_{02} - h_{01}} \approx \frac{T_{02'} - T_{01}}{T_{02} - T_{01}}$$

Θερμοκρασία εξόδου αέρα από το συμπιεστή

$$T_2 = T_1 \left[1 + \frac{\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\eta_{ic}} \right]$$

Λόγος πιέσεων p_2/p_1	Θερμοκρασία T_2 (°C) ($\eta_{isc}=0,70$)
1,5	80
2	121
3	185
4	235
5	260

Γενικές Αρχές Στροβιλο-Υπερπλήρωσης

ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Οι βαθμοί απόδοσης στροβίλων και συμπιεστών εξαρτώνται από τον τύπο τους (αξονικής ή ακτινικής ροής) και το μέγεθός τους

Ο βαθμός απόδοσης αυξάνεται με το μέγεθος διότι οι απώλειες που σχετίζονται με τα διάκενα γύρω από τα πτερύγια γίνονται λιγότερο σημαντικές στις μεγάλες μηχανές

Η παραπάνω επίδραση είναι λιγότερο σημαντική στις μηχανές ακτινικής ροής, και έτσι παρόλο που είναι εγγενώς λιγότερο αποδοτικές από τις αξονικές, ο βαθμός απόδοσής τους είναι αναλογικά καλύτερος σε μικρότερα μεγέθη

ΜΕΡΙΚΑ ΤΥΠΙΚΑ ΝΟΥΜΕΡΑ

≈ 75%

μέγιστες τιμές **ισεντροπικών**
β.α. στροβιλομηχανών μικρών
εφαρμογών

> 80%

μέγιστες τιμές **ισεντροπικών**
β.α. στροβιλομηχανών
μεγάλων εφαρμογών

90-95 %

τυπικές τιμές **μηχανικών**
β.α. στροβιλομηχανών

Με την υπερπλήρωση, αυξάνεται συνολικά το επίπεδο των πιέσεων εντός του κυλίνδρου άρα, σε (κλασικούς) κινητήρες **Otto**, αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης της κρουστικής καύσης



Αποτέλεσμα αυτού είναι:

- η μικρότερη ένταση υπερπλήρωσης κινητήρων Otto (έναντι Diesel),
- η μείωση του βαθμού συμπίεσης έναντι των αντίστοιχων κινητήρων φυσικής αναπνοής,
- η μετακίνηση της έναυσης πιο κοντά στο ANΣ
- η χρήση βαλβίδας παράκαμψης καυσαερίου

Μείωση πιέσεων

Αντιθέτως σε κινητήρες **Diesel**, η αύξηση των πιέσεων αυξάνει την πυκνότητα του αέρα κατά τη στιγμή της έγχυσης καυσίμου (άρα βελτιώνει τη σταγονοποίηση του καυσίμου και συνεπώς την εξατμισή του) ενώ βοηθητικά επιδρούν και οι (συνήθως) αυξημένες θερμοκρασίες εισόδου του αέρα στον κύλινδρο

Παρομοίως και σε κινητήρες **Otto άμεσου ψεκασμού**, λόγω της στρωματικής καύσης, σε χαμηλά φορτία και στροφές υπάρχει μικρότερη πιθανότητα εμφάνισης κρουστικής καύσης, άρα μεγαλύτερη «άνεση» αύξησης πιέσεων εντός του κυλίνδρου, άρα πιο ευχερής χρήση υπερπλήρωσης

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΟΤΤΟ

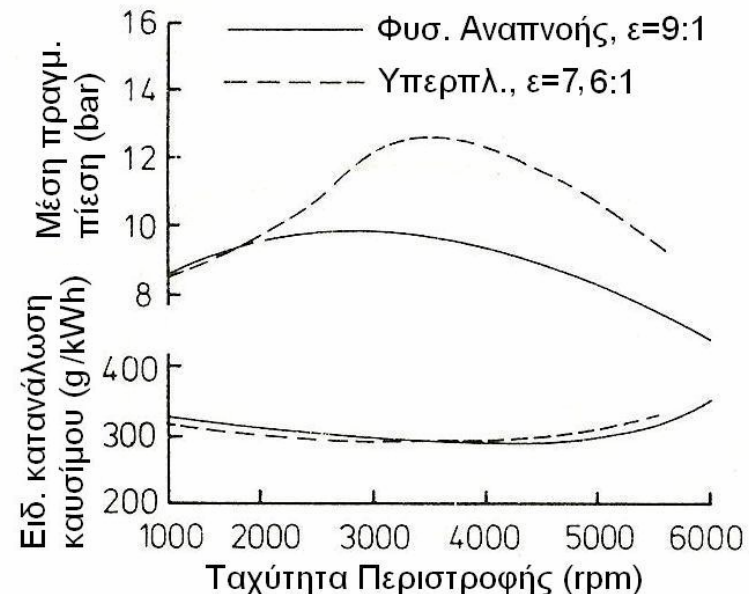
α) Λειτουργία του κινητήρα σε ευρύ πεδίο στροφών

β) Αναγκαιότητα διατήρησης της αναλογίας αέρα-καυσίμου σε στοιχειομετρικά επίπεδα, λόγω της χρήσης τριοδικών καταλυτών (κλασικός Otto, καθώς και GDI σε μεσο-υψηλά φορτία/στροφές)

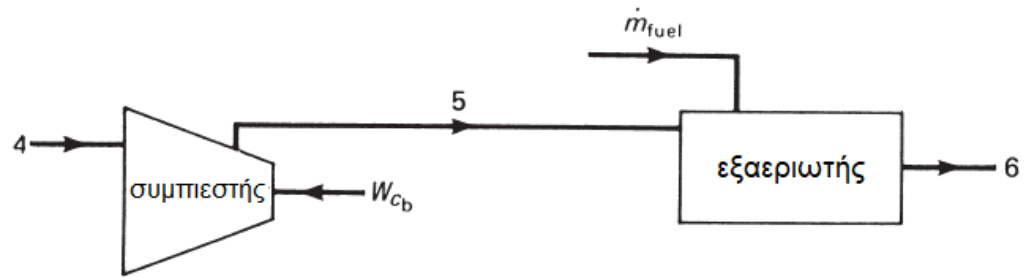
γ) Η πίεση υπερπλήρωσης πρέπει να περιοριστεί για την αποφυγή εμφάνισης κρουστικής καύσης

δ) Υψηλότερες θερμοκρασίες καυσαερίου – θερμική καταπόνηση στροβίλου

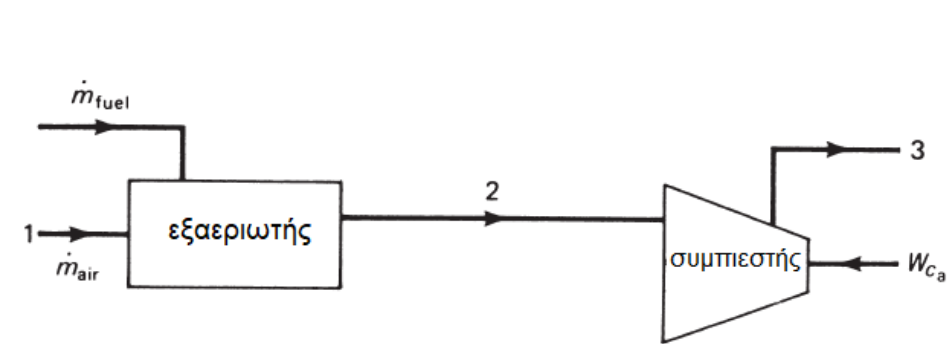
Επίδραση της υπερπλήρωσης
Στις επιδόσεις κινητήρα Otto



ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ-ΕΞΑΕΡΙΩΤΗ (ή συστήματος έγχυσης μονού σημείου)



👉 Πάλμωση κατά το απότομο κλείσιμο της ρυθμιστικής δικλείδας (χρήση βαλβίδας blow-off)



- 👉 Ο εξαεριωτής λειτουργεί υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες,
- 👉 Υπάρχει μειωμένη θερμοκρασία γόμωσης,
- 👉 Το Σ.Λ. του συμπιεστή απομακρύνεται περισσότερο από τη γραμμή πάλμωσης
- 👉 Το μίγμα που εισέρχεται στους κυλίνδρους είναι περισσότερο ομογενές
- 👉 Καλύτερη μεταβατική λειτουργία
- 👉 Πίεση εισόδου (ή και εξόδου ακόμα) στο συμπιεστή χαμηλότερη της ατμοσφαιρικής στα μερικά φορτία → αύξηση στροφών, πιέσεων, θερμοκρασίας