

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧ. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

**Οδηγός του μαθήματος
ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ**

*Εκτενείς σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος
στο 8ο εξάμηνο Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας
με οδηγό βιβλιογραφίας και συλλογή ασκήσεων*

επιμέλεια
Α.Μ. Σταματέλλος
Δρ Μηχανολόγος Μηχανικός

ΒΟΛΟΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1994

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το μάθημα των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης αποτελεί ίσως την καλύτερη ευκαιρία για να συνδυάσει ο φοιτητής - Μηχανολόγος τις γνώσεις του πάνω σε όλα τα κύρια αντικείμενα της ενεργειακής περιοχής (Θερμοδυναμική - Καύση, Ρευστομηχανική και Στροβιλομηχανές Μεταδόση θερμότητας), αλλά και της κατασκευαστικής περιοχής (Στοιχεία Μηχανών Ταλαντώσεις και Δυναμική των Μηχανών, Μηχανισμοί, Υλικά και Κατεργασίες).

Ο συνδυασμός των παραπάνω αντικειμένων ως προαπαιτούμενων για την κατανόηση των μηχανών εσωτερικής καύσης, θα περιμενε κανείς ότι καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την παρακολούθηση του από φοιτητές με κενά στην παρακολούθηση του πρώτου τριετούς κύκλου βασικών σπουδών. Στην πράξη έχει αποδειχθεί ότι η κατάσταση δεν είναι τόσο δύσκολη εξαιτίας της γοητείας που ασκούσε και ασκεί στους φοιτητες μας το συγκεκριμένο μάθημα εξαιτίας της πληθώρας πρακτικών εμπειριών από την καθημερινή ζωή. Αυτές οι τελευταίες αποτελούσαν πάντα αφορμή για εμβάθυνση στα επιμέρους αντικείμενα των Μ.Ε.Κ., με συνέπεια την κάλυψη κάποιων (λίγων ελπίζουμε) κενών στην κατανόηση των βασικών μαθημάτων.

Η πολυετής εμπειρία από την διδασκαλία, έρευνα και ανάπτυξη στην περιοχή των μηχανών εσωτερικής καύσης, αξιοποιείται μέσα από μία εντελώς νέα μεθοδολογία διδασκαλίας των Μ.Ε.Κ. στον ανά χείρας οδηγό, που εφαρμόζεται, για πρώτη φορά στο νεοσύστατο τμήμα Μηχανολογών Μηχανικών Βιομηχανίας. Το συγκεκριμένο σχήμα αξιοποιεί πλήρως τις εξαιρετικές δυνατότητες των προσωπικών μικρουπολογιστών στη μοντελοποίηση των βασικών διεργασιών μέσω των οποίων υλοποιούνται οι θερμοδυναμικοί κύκλοι των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης.

Η παραπάνω φιλοσοφία αντανακλάται στη δομή του παρόντος οδηγού, που αποτελείται από δεκατρείς ενότητες που εντάσσονται στις εξής τέσσερις περιοχές :

- (i) Κατασκευαστική διαμόρφωση και σχεδιασμός των Μ.Ε.Κ. (Ενότητες 1,2,10,11,12)
- (ii) Καύση και ενεργειακή συμπεριφορά των ΜΕΚ (Ενότητες 3,5,6,7,8)
- (iii) Εκπομπές ρύπων και αντιρρύπανση ΜΕΚ (Ενότητες 7,8,9,13)
- (iv) Μοντέλα προυπολογισμού μόνιμης & μεταβατικής λειτουργίας ΜΕΚ (Εν.4,5,6,7,8,9,10)

Η αφομοίωση από τους φοιτητές του Τμήματος Μηχανολογών Μηχανικών Βιομηχανίας ΠΘ της ύλης του συγκεκριμένου μαθήματος σε ένα Ακαδημαϊκό Εξάμηνο, απαιτεί εβδομαδιαία απασχόληση 5 ωρών επι πλέον της 5ωρης διάρκειας των παραδόσεων, για μελέτη της θεωρίας και επεξεργασία των ασκήσεων. Επί πλέον, απαιτεί ένα ελάχιστο 20 ωρών απασχόλησης σε προσωπικό υπολογιστή, και άλλων 20 ωρών στο Εργαστήριο. Η επιτυχής επομένως εξέλιξη του μαθήματος απαιτεί την ενεργό και συνειδητή συμμετοχή και συνεργασία των φοιτητών μας, πράγμα που θεωρώ υποχρέωσή μου να τονίσω για μία ακόμη φορά. Η εμπειρία μου στο ΑΠΘ έχει δείξει ότι κατά τη διδασκαλία και έρευνα στην περιοχή των ΜΕΚ αναδειχθηκαν μεταξύ των φοιτητών οι καλύτεροι συνεργάτες μας.

Ευχαριστώ την σύζυγό μου Ολυμπία Ζώγου, διπλωματούχο Μηχανολόγο Μηχανικό, για την πολλαπλή βοήθεια και συμπαράστασή της στη συγγραφή του παρόντος οδηγού, καθώς και τον συνεργάτη μου στο ΑΠΘ, διπλωματούχο Μηχανολόγο Μηχανικό κ. Κωνσταντίνο Κουγιανό για την επιμέλεια της συλλογής των ασκήσεων.

Βόλος Φεβρουάριος 1994

Α.Μ.Σταματέλλος

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

- (i) Πρόλογος
- (ii) Πίνακας συμβολισμών και συντομογραφιών
- (iii) Βιβλιογραφία

Ενότητα 1	Τύποι εμβολοφόρων ΜΕΚ
Ενότητα 2	Σχεδιασμός και χαρακτηριστικά λειτουργίας των ΜΕΚ
Ενότητα 3	Θερμοχημεία μιγμάτων αέρα καυσίμου - Ιδιότητες
Ενότητα 4	Προυπολογισμός του κύκλου
Ενότητα 5	Διεργασίες εναλλαγής αερίων
Ενότητα 6	Ροή της γόμωσης μέσα στον κύλινδρο
Ενότητα 7	Καύση στο βενζινοκινητήρα
Ενότητα 8	Καύση στο κινητήρα Diesel
Ενότητα 9	Σχηματισμός ρύπων και τεχνολογίες αντιρύπανσης
Ενότητα 10	Ψύξη κινητήρων εσωτερικής καύσης
Ενότητα 11	Τριβές και λίπανση κινητήρων
Ενότητα 12	Υπερπλήρωση ΜΕΚ
Ενότητα 13	Χαρακτηριστικά λειτουργίας ΜΕΚ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I

Συστήματα προπαρασκευής καυσίμου μίγματος βενζινοκινητήρων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Συστήματα έναυσης βενζινοκινητήρων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III

Συστήματα έγχυσης κινητήρων Diesel

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Ταλαντώσεις και Δυναμική ΜΕΚ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V

Θόρυβος ΜΕΚ και αντιμετώπισή του

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI

ΣΥΛΛΟΓΗ 50 ΑΣΚΗΣΕΩΝ

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Heywood, J.B.

Internal Combustion Engine Fundamentals
McGraw-Hill, New York 1988

Mettig, H.

Die Konstruktion schnelllaufender Verbrennungsmotoren
Walter de Gruyter, Berlin 1973

Thomson, W.

Fundamentals of Automotive Engine Balance
Mechanical Engineering Publications, London 1978

Bosch

Automotive Handbook
2nd English edition, Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1986

Taylor, C.F.

The Internal Combustion Engine in Theory and Practice
MIT Press, Cambridge, Mass., 1968

Schmidt, F.A.F.

Verbrennungskraftmaschinen
Springer Verlag Muenchen 1951

Bosch

Technische Unterrichtung (20 τόμοι)
Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1987

Sitkei, G.

Heat Transfer and Thermal Loading in Internal Combustion Engines
Akademiai Kiado, Budapest 1973

Benson, R.S.

The Thermodynamics and Gas Dynamics of Internal Combustion Engines
Clarendon Press, Oxford 1982, vol. I,II

Pflaum, W, K. Mollenhauer

Waermeuebergang in der Verbrennungskraftmaschine
Springer Verlag Wien 1977

Maass, H.

Gestaltung und Hauptabmessungen der Verbrennungskraftmaschine
Springer Verlag Wien 1979

Benson, R.S.

Advanced Engineering Thermodynamics
Pergamon Press, Oxford 1977

Σταματέλλος, Α.Μ.

Συστήματα Προπαρασκευής Καυσίμου Μίγματος Βενζινοκινητήρα (1991)
Εκπαιδευτικά Πακέτα για Μηχανοτεχνίτες και Ηλεκτροτεχνίτες Αυτοκινήτου ΕΕΘ/ΕΟΜΜΕΧ

Σταματέλλος, Α.Μ.
Συστήματα Εναυσης Βενζινοκινητήρα (1991)
Εκπαιδευτικά Πακέτα για Μηχανοτεχνίτες και Ηλεκτροτεχνίτες Αυτοκινήτου ΕΕΘ/ΕΟΜΜΕΧ,

Σταματέλλος, Α.Μ.
Ειδικά Κεφάλαια Μετάδοσης Θερμότητας
Θεσσαλονίκη 1990

Σταματέλλος, Α.Μ.
Οδηγός του μαθήματος Θερμοδυναμική Καθαρών Ουσιών
Βόλος 1991

Σταματέλλος, Α.Μ.
Θεωρητική και Πειραματική Έρευνα της Μόνιμης και Μεταβατικής Λειτουργίας του Κινητήρα Diesel με Στραγγαλισμό της Εξαγωγής. Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη 1988

Edwards, J.B.
Combustion (Formation and Emission of Trace Species)
Ann Arbor Science Publications Inc., Ann Arbor (MI) 1974

Spalding, D.B. and N.H. Afgan (eds)
Heat and Mass Transfer in Gasoline and Diesel Engines
Hemisphere Publishing Corporation 1989

Loehner, K. and H. Mueller
Gemishbildung und Verbrennung im Ottomotor
Die Verbrennungskraftmaschine, Herausgegeben von Prof. Dr. Hans List, Graz
Springer Verlag Wien 1967

Milowiz, L.
Gemishbildung und Verbrennung im Dieselmotor
Die Verbrennungskraftmaschine, (Prof. H. List), Springer Verlag Wien 1969

Spalding, D.B.
Combustion and Mass Transfer
Pergamon Press, Oxford 1979

Autodata:
Technical Data
Carburettor Manual
Electronic Ignition Manual

Brooks
Light Vehicle Technology
Macmillan Motor Vehicle Engineering Series 1972

Graeter
Motortest Praxis
Krafthand Verlag Walter Schultz 1990

Schweizer, W.
Praxis Katalysator Autos
Fachverlag Schweizer Mindelheim 1991

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ, ΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

(Με βάση το δόκιμο σύγγραμμα του καθηγητού John B. Heywood:
Internal Combustion Engine Fundamentals)

ΣΥΜΒΟΛΑ

a	Crank radius Sound speed Specific availability	Ακτίνα στροφάλου Ταχύτητα του ήχου Ειδική εξέργεια
a	Acceleration	Επιτάχυνση
A	Area	Επιφάνεια
A_C	Valve curtain area	Διατομή ροής βαλβίδας
A_{ch}	Cylinder head area	Επιφάνεια κυλινδροκεφαλής
A_e	Exhaust port area	Επιφάνεια καναλιού εξαγωγής
A_E	Effective area of flow restriction	Ενεργός διατομή ροής
A_i	Inlet port area	Επιφάνεια καναλιού εισαγωγής
A_p	Piston crown area	Επιφάνεια κορώνας εμβόλου
B	Cylinder bore Steady-flow availability	Διάμετρος κυλίνδρου Εξέργεια μόνιμης ροής
c	Specific heat	Ειδική θερμοχωρητικότητα
c_p	Specific heat at constant pressure	Ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση
c_s	Soot concentration (mass/volume)	Συγκέντρωση αιθάλης (μάζα/όγκο)
c_v	Specific heat at constant volume	Ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση
C	Absolute gas velocity	Απόλυτη ταχύτητα αερίου
C_s	Swirl coefficient	Συντελεστής στροβιλισμού
C_D	Discharge coefficient Vehicle drag coefficient	Συντελεστής εκροής Συντελεστής αεροδυναμικής αντιστάσεως οχήματος
d	Diameter	Διάμετρος
d_n	Fuel-injection-nozzle orifice diameter	Διάμετρος οπής εγχυτήρα
D	Diameter Diffusion coefficient	Διάμετρος Συντελεστής διάχυσης
D_d	Droplet diameter	Διάμετρος σταγονιδίου
D_{SM}	Sauter mean droplet diameter	Μέση διάμετρος σταγονιδίου κατά Sauter
D_v	Valve diameter	Διάμετρος βαλβίδας
e	Radiative emissive power Specific energy	Θερμορροή λόγω ακτινοβολίας Ειδική ενέργεια
E_A	Activation energy	Ενέργεια ενεργοποίησης
f	Coefficient of friction Fuel mass fraction	Συντελεστής τριβής Κλάσμα μάζας καυσίμου
F	Force	Δύναμη
g	Gravitational acceleration Specific Gibbs free energy	Επιτάχυνση βαρύτητας Ειδική ελεύθερη ενέργεια Gibbs
G	Gibbs free energy	Ελεύθερη ενέργεια Gibbs
h	Clearance height Oil film thickness Specific enthalpy	Χάρις καθ' ύψος Πάχος φίλμ λαδιού Ειδική ενθαλπία
h_c	Heat-transfer coefficient	Συντελεστής μετάδοσης θερμότητας
h_p	Port open height	Ύψος ανοίγματος θυρίδας
h_s	Sensible specific enthalpy	Αισθητή ειδική ενθαλπία
H	Enthalpy	Ενθαλπία
I	Moment of inertia	Ροπή αδρανείας
J	Flux	Ροή
k	Thermal conductivity Turbulent kinetic energy	Θερμική αγωγιμότητα Κινητική ενέργεια τυρβής
k_i^+, k_i^-	Forward, backward, rate constants for i th reaction	σταθερές αντίδρασης υπ' αριθμόν i
K	Constant	Σταθερά
K_c	Equilibrium constant expressed in concentrations	Σταθερά ισορροπίας εκφρασμένη σε συγκεντρώσεις
K_p	Equilibrium constant expressed in partial pressures	Σταθερά ισορροπίας εκφρασμένη σε μερικές πιέσεις
l	Characteristic length scale Connecting rod length	Χαρακτηριστική κλίμακα μήκους Μήκος διωστήρα

l_T	Characteristic length scale of turbulent flame	Χαρακτηριστική κλίμακα μήκους τυρβώδους φλόγας
L	Piston stroke	Διαδρομή εμβόλου
L_n	Fuel-injection-nozzle orifice length	Μήκος οπής εγχυτήρα
L_v	Valve lift	Μέγιστη διαδρομή βαλβίδας
m	Mass	Μάζα
\dot{m}	Mass flow rate	Ροή μάζας
m_r	Mass of residual gas	Μάζα παραμένουτος καυσαερίου
M	Mach number	Αριθμός Mach
	Molecular weight	Μοριακή μάζα
n	Number of moles	Αριθμός γραμμομορίων
	Polytropic exponent	Πολυτροπικός εκθέτης
n_R	Number of crank revolutions per power stroke	Αριθμός περιστροφών στροφαλοφόρου ανά ωφέλιμο εμβολισμό
N	Crankshaft rotational speed	Αριθμός στροφών στροφαλοφόρου
	Soot particle number density	Αριθμός πυκνότητας σωματιδίων αιθάλης
	Turbocharger shaft speed	Αριθμός στροφών στροβιλοσυμπιεστή
p	Cylinder pressure	Πίεση κυλίνδρου
	Pressure	Πίεση
P	Power	Ισχύς
\dot{q}	Heat-transfer rate per unit area	Θερμορροή ανά μονάδα επιφάνειας
	Heat-transfer rate per unit mass of fluid	Θερμορροή ανά μονάδα μάζας ρευστού
Q	Heat transfer	Μεταδιδόμενη θερμότητα
\dot{Q}	Heat-transfer rate	Θερμορροή
Q_{ch}	Fuel chemical energy release or gross heat release	Εκκλυση χημικής ενέργειας καυσίμου
Q_{Hv}	Fuel heating value	Θερμογόνος δύναμη καυσίμου
Q_n	Net heat release	Καθαρή έκλυση θερμότητας
r	Radius	Ακτίνα
r_c	Compression ratio	Σχέση συμπίεσης
R	Connecting rod length/crank radius	Μήκος διωστήρα / ακτίνα στροφάλου
	Gas constant	Σταθερά αερίου
	Radius	Ακτίνα
R^+, R^-	One-way reaction rates	Ρυθμοί αντίδρασης
R_s	Swirl ratio	Σχέση στροβιλισμού
s	Crank axis to piston pin distance	Απόσταση άξονα στροφάλου - εδράνου εμβόλου-διωστήρα
	Specific entropy	Ειδική εντροπία
S	Entropy	Εντροπία
	Spray penetration	Διείσδυση πίδακα καυσίμου
S_b	Turbulent burning speed	Ταχύτητα καύσης τυρβώδους φλόγας
S_L	Laminar flame speed	Ταχύτητα καύσης στρωτής φλόγας
S_p	Piston speed	Ταχύτητα εμβόλου
t	Time	Χρόνος
T	Temperature	Θερμοκρασία
	Torque	Ροπή
u	Specific internal energy	Ειδική εσωτερική ενέργεια
	Velocity	Ταχύτητα
u'	Turbulence intensity	Ένταση τύρβης
u_s	Sensible specific internal energy	Αισθητή ειδική εσωτερική ενέργεια
u_T	Characteristic turbulent velocity	Χαρακτηριστική ταχύτητα τυρβής
U	Compressor/turbine impellor tangential velocity	Εφαπτομενική ταχύτητα ρότορα συμπιεστή ή τουρμπίνας
	Fluid velocity	Ταχύτητα ρευστού
	Internal energy	Εσωτερική ενέργεια
v	Specific volume	Ειδικός όγκος
	Velocity	Ταχύτητα
v	Velocity	Ταχύτητα
v_{ps}	Valve pseudo-flow velocity	Ψευδο-ταχύτητα ροής μέσα από βαλβίδα
v_{sq}	Squish velocity	Ταχύτητα περίσφιξης (αερίου από μπώλ εμβόλου)
V	Cylinder volume	Όγκος κυλίνδρου
	Volume	Όγκος
V_c	Clearance volume	Νεκρός όγκος
V_d	Displaced cylinder volume	Όγκος εμβολισμού κυλίνδρου
w	Relative gas velocity	Σχετική ταχύτητα αερίου
	Soot surface oxidation rate	Επιφανειακός ρυθμός οξειδωσης αιθάλης
W	Work transfer	Παραγωγή έργου
W_c	Work per cycle	Έργο κύκλου
W_p	Pumping work	Έργο άντλησης

x, y, z	Spatial coordinates	Χωρικές συντεταγμένες
x	Mass fraction	Κλάσμα μάζας
\tilde{x}	Mole fraction	Μοριακό κλάσμα
x_b	Burned mass fraction	Κλάσμα καμμένης μάζας
x_r	Residual mass fraction	Κλάσμα μάζας παραμένουτος καυσαερίου
y	H/C ratio of fuel	Λόγος H/C καυσίμου
	Volume fraction	Κλάσμα όγκου
Y_α	Concentration of species α per unit mass	Συγκέντρωση της ουσίας α ανά μονάδα μάζας
Z	Inlet Mach index	Αριθμός Mach εισαγωγής
α	Angle	Γωνία
	Thermal diffusivity $k/(\rho c)$	Θερμική διαχυτότητα ($k/\rho c$)
β	Angle	Γωνία
γ	Specific heat ratio c_p/c_v	Λόγος c_p/c_v
Γ_c	Angular momentum of charge	Στροφορμή γόμωσης
δ	Boundary-layer thickness	Πάχος οριακού στρώματος
δ_L	Laminar flame thickness	Πάχος στρωτής φλόγας
$\Delta \tilde{h}_{f,i}^\circ$	Molal enthalpy of formation of species i	Μοριακή ενθαλπία σχηματισμού ουσίας i
$\Delta \theta_b$	Rapid burning angle	Γωνία ταχείας φάσης καύσης
$\Delta \theta_d$	Flame development angle	Γωνία ανάπτυξης φλόγας
ε	$4/(4 + y)$: $y = \text{H/C ratio of fuel}$	$4/(4 + y)$: $y = \text{λόγος H/C καυσίμου}$
	Turbulent kinetic energy dissipation rate	Ρυθμός σκέδασης κινητικής ενέργειας τυρβής
η_a	Availability conversion efficiency	Εξεργειακός βαθμός απόδοσης
η_c	Combustion efficiency	Βαθμός απόδοσης καύσης
η_c	Compressor isentropic efficiency	Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης συμπίεστη
η_{ch}	Charging efficiency	Βαθμός πλήρωσης
η_f	Fuel conversion efficiency	Βαθμός μετατροπής καυσίμου
η_m	Mechanical efficiency	Μηχανικός βαθμός απόδοσης
η_{sc}	Scavenging efficiency	Βαθμός απόδοσης απόπλυσης
η_t	Thermal conversion efficiency	Θερμικός βαθμός απόδοσης
η_T	Turbine isentropic efficiency	Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης τουρμπίνας
η_{tr}	Trapping efficiency	Βαθμός απόδοσης παγίδευσης γόμωσης
η_v	Volumetric efficiency	Βαθμός πλήρωσης
θ	Crank angle	Γωνία στροφάλου
λ	Relative air/fuel ratio	Λόγος αέρα
Λ	Delivery ratio	Λόγος παροχής
μ	Dynamic viscosity	Δυναμικό ιξώδες
μ_i	Chemical potential of species i	Χημικό δυναμικό ουσίας i
ν	Kinematic viscosity μ/ρ	Κινηματικό ιξώδες
ν_i	Stoichiometric coefficient of species i	Στοιχειομετρικός συντελεστής ουσίας i
ξ	Flow friction coefficient	Συντελεστής τριβών ροής
ρ	Density	Πυκνότητα
$\rho_{a,0}, \rho_{a,i}$	Air density at standard, inlet conditions	Πυκνότητα αέρα σε κανονικές συνθήκες εισαγωγής
σ	Normal stress	Εμφελκυστική τάση
	Standard deviation	Τυπική απόκλιση
	Stefan-Boltzmann constant	Σταθερά Stefan-Boltzmann
	Surface tension	Επιφανειακή τάση
τ	Characteristic time	Χαρακτηριστικός χρόνος
	Induction time	Χρόνος επαγωγής
	Shear stress	Διατμητική τάση
τ_{id}	Ignition delay time	Καθυστέρηση έναυσης
ϕ	Fuel/air equivalence ratio	Λόγος καυσίμου/αέρα (προς στοιχειομετρικό)
Φ	Flow compressibility function	Συνάρτηση συμπίεστικότητας ροής
	Isentropic compression function	Συνάρτηση συμπίεσης ροής
ψ	Molar N/O ratio	Μοριακό κλάσμα N/O
	Throttle plate open angle	Γωνία ανοίγματος πεταλούδας επιταχυντή
Ψ	Isentropic compression function	Συνάρτηση ισεντροπικής συμπίεσης
ω	Angular velocity	Γωνιακή ταχύτητα
	Frequency	Συχνότητα
Δ	Difference	Διαφορά
$-$	Average or mean value	Μέση τιμή
\sim	Value per mole	Τιμή ανά mole
[]	Concentration, moles/vol	Συγκέντρωση, moles/vol
{ }	Mass fraction	Κλάσμα μάζας
$\dot{\quad}$	Rate of change with time	Χρονικός ρυθμός μεταβολής

ΔΕΙΚΤΕΣ

<i>a</i>	Air	Αέρας
<i>b</i>	Burned gas	Καμμένα αέρια
<i>c</i>	Coolant	Ψυκτικό
	Cylinder	Κύλινδρος
<i>C</i>	Compression stroke	Εμβολισμός συμπίεσης
	Compressor	Συμπιεστής
<i>cr</i>	Crevice	Εσοχές
<i>e</i>	Equilibrium	Ισορροπία
	Exhaust	Καυσαέριο
<i>E</i>	Expansion stroke	Εμβολισμός εκτόνωσης
<i>f</i>	Flame	Φλόγα
	Friction	Τριβές
	Fuel	Καύσιμο
<i>g</i>	Gas	Αέριο
<i>i</i>	Indicated	Ενδεικνύμενο
	Intake	Εισαγωγή
	Species <i>i</i>	Ουσία <i>i</i>
<i>ig</i>	Gross indicated	Μικτό ενδεικνύμενο
<i>in</i>	Net indicated	Καθαρό ενδεικνύμενο
<i>l</i>	Liquid	Υγρό
<i>L</i>	Laminar	Στρωτή
<i>p</i>	Piston	Εμβολο
	Port	Κανάλι
<i>P</i>	Prechamber	Προθάλαμος
<i>r, θ, z</i>	<i>r, θ, z</i> components	κυλινδρικές συντεταγμένες
<i>R</i>	Reference value	Τιμή αναφοράς
<i>s</i>	Isentropic	Ισεντροπικός
	Stoichiometric	Στοιχειομετρικός
<i>T</i>	Nozzle or orifice throat	Λαιμός οπής ή ακροφυσίου
	Turbine	Τουρμπίνα
	Turbulent	Τυρβώδης
<i>u</i>	Unburned	Ακαυστο
<i>v</i>	Valve	Βαλβίδα
<i>w</i>	Wall	Τοίχωμα
<i>x, y, z</i>	<i>x, y, z</i> components	Καρτεσιανές συντεταγμένες
<i>0</i>	Reference value	Τιμή αναφοράς
	Stagnation value	Τιμή ανακοπής

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

(<i>A/F</i>)	Air/fuel ratio	Λόγος αέρα/καυσίμου
BC, ABC, BBC	Bottom-center crank position, after BC, before BC	ΚΝΣ, μετά ΚΝΣ, πριν Κάτω Νεκρό Σημείο
CN	Fuel cetane number	Αριθμός κετανίου καυσίμου
Da	Damköhler number τ_T/τ_L	Αριθμός Damkoehler
EGR	Exhaust gas recycle	Ανακύκλωση καυσαερίου
EI	Emission index	Δείκτης εκπομπής
EPC, EPO	Exhaust port closing, opening	Κλείσιμο, άνοιγμα θυρίδας εξαγωγής
EVC, EVO	Exhaust valve closing, opening	Κλείσιμο, άνοιγμα βαλβίδας εξαγωγής
(<i>F/A</i>)	Fuel/air ratio	Λόγος καυσίμου/αέρα
(<i>G/F</i>)	Gas/fuel ratio	Λόγος αερίου/καυσίμου
IPC, IPO	Inlet port closing, opening	Κλείσιμο, άνοιγμα θυρίδας εισαγωγής
IVC, IVO	Inlet valve closing, opening	Κλείσιμο, άνοιγμα βαλβίδας εισαγωγής
<i>mep</i>	Mean effective pressure	Μέση πραγματική πίεση
<i>Nu</i>	Nusselt number $h_c l/k$	Αριθμός Nusselt
ON	Fuel octane number	Αριθμός οκτανίου καυσίμου
Re	Reynolds number $\rho u l/\mu$	Αριθμός Reynolds
<i>sfc</i>	Specific fuel consumption	Ειδική κατανάλωση καυσίμου
TC, ATC, BTC	Top-center crank position, after TC, before TC	ΑΝΣ, μετά ΑΝΣ, πριν Ανω Νεκρό Σημείο
We	Weber number $\rho_1 u^2 D/\sigma$	Αριθμός Weber

Ενότητα 1

Τύποι εμβολοφόρων ΜΕΚ

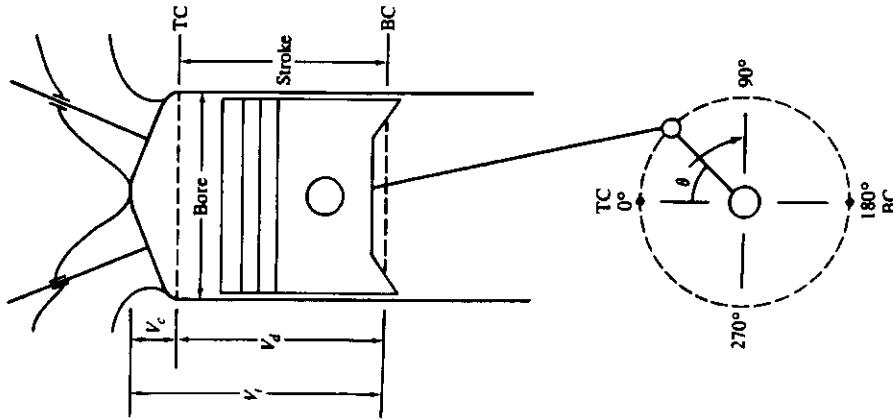
1.1 Ταξινόμηση ΜΕΚ

Τα πολλά και διάφορα είδη ΜΕΚ μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια ενδεικτικώς είναι ο παρακάτω πίνακας.

1	Εφαρμογή	Αυτοκινήτου, φορτηγού, σιδηροδρόμου, μικρού αεροπλάνου, πλοίου, γεννήτριας κ.λ.π.
2	Βασική μεθοδολογία σχεδιασμού	Εμβολοφόρες μηχανές (σε σειρά, V, ακτινικές αντικριστών εμβόλων) Περιστροφικές μηχανές (Wankel, αεριοστρόβιλοι)
3	Κύκλος λειτουργίας	4-χρόνες (φυσικής αναπνοής, υπερπληρούμενες, στροβιλοπληρούμενες) 2-χρόνες (πλήρωση από τον στροφαλοθάλαμο, υπερπληρούμενες, στροβιλοπληρούμενες)
4	Σχεδιασμός και θέση βαλβίδων ή θυρίδων	Βαλβίδες επικεφαλής (Ahead) Βαλβίδες στο σώμα (I-head) Περιστροφικές βαλβίδες Θυρίδες εγκάρσιας απόκλισης Θυρίδες απόκλισης τύπου βρόγχου Θυρίδες και βαλβίδες διαμήκους απόκλισης
5	Καύσιμο	Βενζίνη, πετρέλαιο, φυσικό αέριο (CNG), υγραέριο (LPG), μεθανόλη, υδρογόνο, διπλό καύσιμο (Diesel-αέριο)
6	Μέθοδος προπαρασκευής μίγματος	Εξαεριωτής, ψεκασμός στην πολλαπλή εισαγωγής, ψεκασμός στις βαλβίδες εισαγωγής, έγχυση μέσα στο θάλαμο καύσης
7	Μέθοδος έναυσης	Έναυση με σπινθήρα (με ομοιογενές μίγμα ή στρωματοποιημένο μίγμα), έναυση με συμπίεση (Diesel), έναυση με πιλοτική έγχυση πετρελαίου σε κινητήρες αερίου.
8	Σχεδιασμός θαλάμου καύσης	Ενιαίος θάλαμος (δισκοειδής, σφαιροειδής, ημισφαιρικός με κοιλότητα στο πιστόνι), διαιρεμένου θαλάμου (προθάλαμος, στροβιλοθάλαμος)
9	Μέθοδος ελέγχου ροής	Στραγγαλισμός ομοιογενούς μίγματος αέρα καυσίμου, έλεγχος ροής καυσίμου μόνο, συνδιασμός των δύο.
10	Μέθοδος ψύξης	Υδροψυκτος, αερόψυκτος, χωρίς σύστημα ψύξης (ψύξη με ακτινοβολία και ελεύθερη συναγωγή από το κέλυφος), αδιαβατικός κινητήρας.

1.2 Κύκλοι λειτουργίας εμβολοφόρων ΜΕΚ

Στο Σχ. 1.1 φαίνεται η βασική γεωμετρία μίας εμβολοφόρου μονοκύλινδρης μηχανής.



Στο Σχ.1.2 επεξηγούνται οι 4 χρόνοι λειτουργίας μίας 4-χρονης μηχανής (εισαγωγή, συμπίεση-έναυση, καύση-εκτόνωση, εξαγωγή).

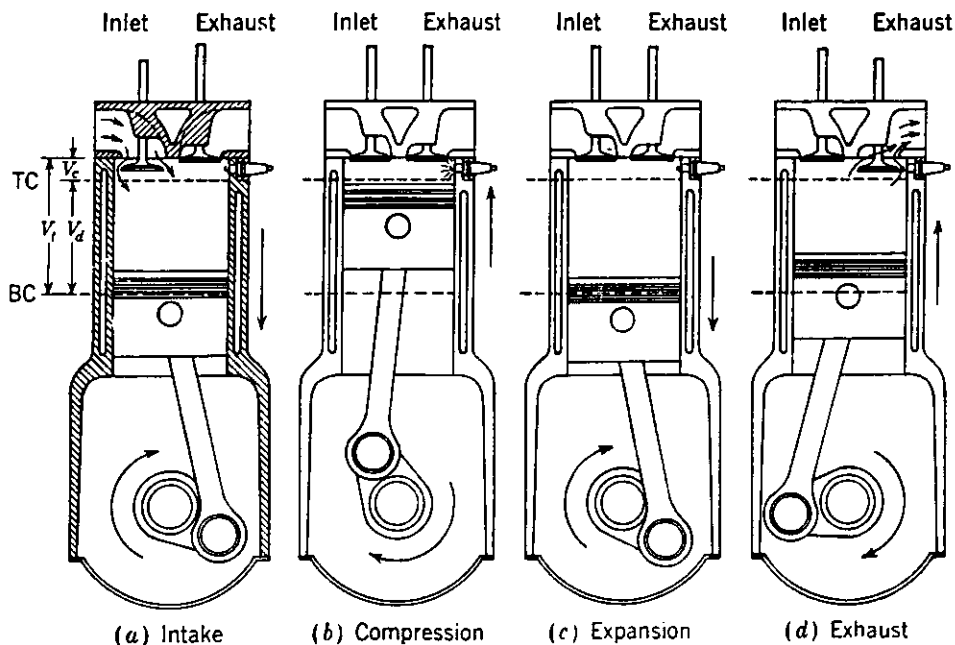


FIGURE 1-2
The four-stroke operating cycle.¹⁰

Η πλειονότητα των εν χρήσει μηχανών ακολουθούν τον 4-χρονο κύκλο. Το πηλίκo των όγκων του θαλάμου καύσης στο κάτω και άνω νεκρό σημείο λέγεται σχέση συμπίεσης. Τυπικές τιμές σχέσης συμπίεσης για βενζινοκινητήρες 8 έως 12 για πετρελαιοκινητήρες 14 έως 22.

Ο τετράχρονος κύκλος απαιτεί 2 περιστροφές του στροφαλοφόρου για να υπάρξει ένας κινητήριος εμβολισμός ανα κύλινδρο. Ο δίχρονος κινητήρας αναπτύχθηκε με στόχο να επιτευχθεί υψηλότερη ισχύς από το ίδιο μέγεθος κινητήρα αφού εδώ έχουμε έναν κινητήριο εμβολισμό ανα περιστροφή (Σχ. 1.3).

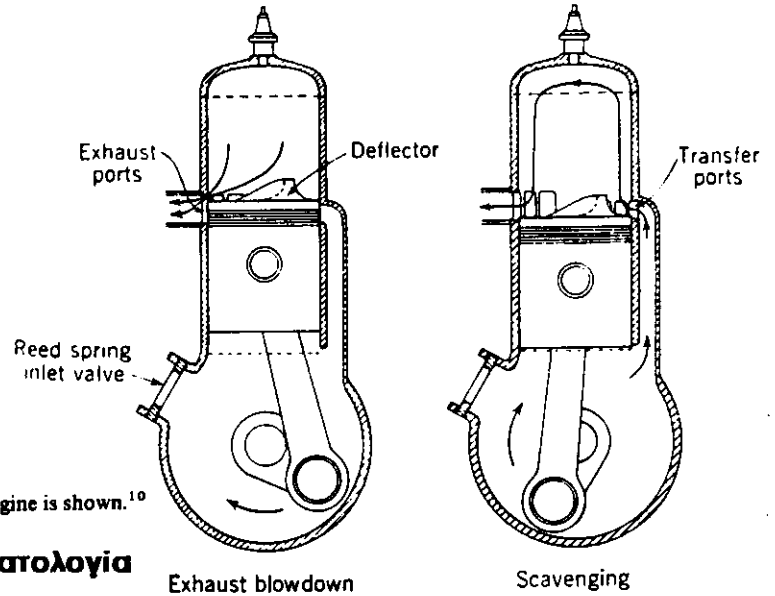


FIGURE 1-3
The two-stroke operating cycle. A crankcase-scavenged engine is shown.¹⁰

1.3 Εξαρτήματα κινητήρων - Ονοματολογία

Στο Σχ. 1.4 παρουσιάζεται μια τομή βενζινοκινητήρα αυτοκινήτου με την ονοματολογία των μερών του.

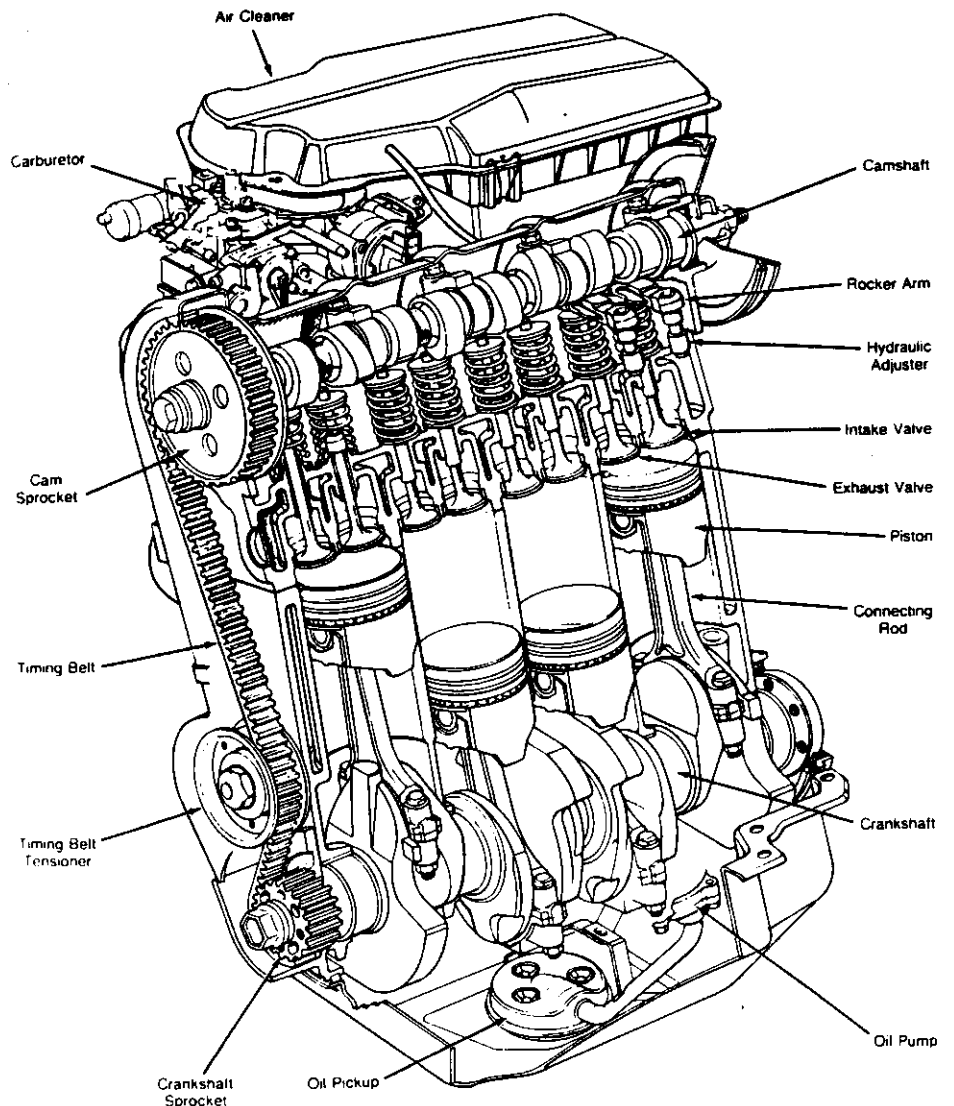


FIGURE 1-4
Cutaway drawing of Chrysler 2.2-liter displacement four-cylinder spark-ignition engine.¹¹ Bore 87.5 mm, stroke 92 mm, compression ratio 8.9, maximum power 65 kW at 5000 rev/min.

Στο Σχ. 1.5 παρουσιάζεται ένας δίχρονος κινητήρας Diesel βαρέως τύπου με την ονοματολογία των μερών του.

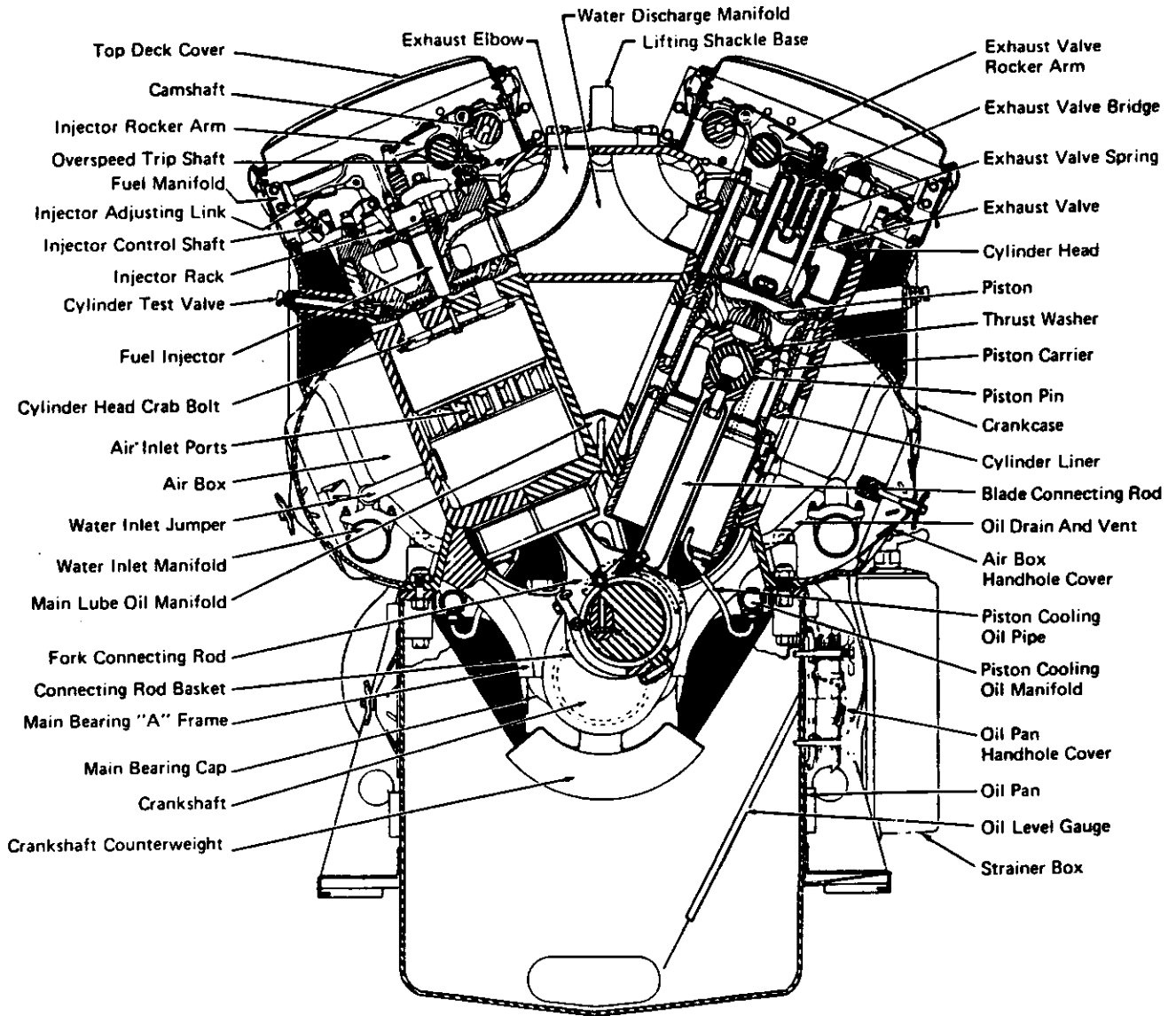


FIGURE 1-5

Cross-section drawing of an Electro-Motive two-stroke cycle diesel engine. This engine uses a uniflow scavenging process with inlet ports in the cylinder liner and four exhaust valves in the cylinder head. Bore 230.2 mm, stroke 254 mm, displaced volume per cylinder 10.57 liters, rated speed 750–900 rev/min. (Courtesy Electro-Motive Division, General Motors Corporation.)

Στη συνέχεια θα εξετασθεί η λειτουργία των κύριων εξαρτημάτων των κινητήρων αυτών και τα υλικά κατασκευής τους.

Όπως θα φανεί στη συνέχεια το κύριο κριτήριο κατάταξης των εμβολοφόρων κινητήρων είναι η μέθοδος έναυσης (βενζινοκινητήρες, πετρελαιοκινητήρες) και αυτό επειδή από τη μέθοδο έναυσης εξαρτώνται το είδος του καυσίμου, η μέθοδος προπαρασκευής μίγματος, η μορφή του θαλάμου καύσης, η μέθοδος ελέγχου της ροπής, λεπτομέρειες της διεργασίας καύσης, εκπομπές ρύπων και χαρακτηριστικά λειτουργίας. Ο κύκλος λειτουργίας της μηχανής (4-χρονος ή 2-χρονος) είναι το αμέσως επόμενο κριτήριο ταξινόμησης.

Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει τις πιο κοινές εφαρμογές εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης τους κυρίαρχους τύπους κινητήρων σε κάθε κατηγορία εφαρμογών και την περιοχή ισχύος των χρησιμοποιούμενων κινητήρων.

TABLE 1.3
Classification of reciprocating engines by application

Class	Service	Approximate engine power range, kW	Predominant type		
			D or SI	Cycle	Cooling
Road vehicles	Motorcycles, scooters	0.75–70	SI	2, 4	A
	Small passenger cars	15–75	SI	4	A, W
	Large passenger cars	75–200	SI	4	W
	Light commercial	35–150	SI, D	4	W
	Heavy (long-distance) commercial	120–400	D	4	W
Off-road vehicles	Light vehicles (factory, airport, etc.)	1.5–15	SI	2, 4	A, W
	Agricultural	3–150	SI, D	2, 4	A, W
	Earth moving	40–750	D	2, 4	W
Railroad	Military	40–2000	D	2, 4	A, W
	Rail cars	150–400	D	2, 4	W
Marine	Locomotives	400–3000	D	2, 4	W
	Outboard	0.4–75	SI	2	W
Airborne vehicles	Inboard motorcrafts	4–750	SI, D	4	W
	Light naval craft	30–2200	D	2, 4	W
	Ships	3500–22,000	D	2, 4	W
	Ships' auxiliaries	75–750	D	4	W
	Airplanes	45–2700	SI	4	A
Home use	Helicopters	45–1500	SI	4	A
	Lawn mowers	0.7–3	SI	2, 4	A
	Snow blowers	2–5	SI	2, 4	A
Stationary	Light tractors	2–8	SI	4	A
	Building service	7–400	D	2, 4	W
	Electric power	35–22,000	D	2, 4	W
	Gas pipeline	750–5000	SI	2, 4	W

SI = spark-ignition; D = diesel; A = air cooled; W = water cooled.

Source: Adapted from Taylor.⁹

1.4 Ο ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Στο Σχ. 1.6 φαίνεται μία τομή ενός σύγχρονου βενζινοκινητήρα. Με τον όρο κινητήρας ΟΤΤΟ (βενζινοκινητήρας), εννοείται ένας εμβολοφόρος κινητήρας που καίει ομογενές μίγμα με εξωτερική έναυση. Το ομογενοποιημένο μίγμα αέρα-καυσίμου, συμπιέζεται στο χρόνο της συμπίεσης (τετράχρονος κινητήρας), σε πίεση 15-25 bar (βαθμός συμπίεσης $\epsilon = 7 \dots 10$). Η θερμοκρασία του μίγματος στο τέλος της συμπίεσης, στην περιοχή 400-600°C, είναι κάτω από τα επίπεδα αυταναφλεξιμότητας του μίγματος. Έτσι, είναι δυνατή η ανάφλεξη του μίγματος στην επιθυμητή χρονική στιγμή μέσω σπινθήρα που προκαλείται στο σπινθηριστή (μπουζί) λίγο πριν από το άνω νεκρό σημείο. Ακολουθεί η καύση του μίγματος, η οποία εξελίσσεται με συγκεκριμένη ταχύτητα διάδοσης του μετώπου της, που εξαρτάται από τις συνθήκες στο θάλαμο καύσης. Η εξέλιξη της καύσης καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την κατανάλωση καυσίμου και την αναπτυσσόμενη ισχύ στο συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας.

Ο τετράχρονος κύκλος

Στον τετράχρονο κινητήρα, Σχ. 1.7 οι χρόνοι ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής ρυθμίζονται από τον εκκεντροφόρο άξονα, ο οποίος παίρνει κίνηση από το στροφαλοφόρο και κινείται με τις μισές στροφές απ'αυτόν (ο τετράχρονος κύκλος ολοκληρώνεται σε 720°, δηλ. σε δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου).

Λίγο πριν το ΚΝΣ (κάτω νεκρό σημείο), ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και μέχρι το ΚΝΣ έχει ήδη διαφύγει το 50% των καυσαερίων του κυλίνδρου, με υπερκρίσιμο λόγο πιέσεων πριν και μετά τη βαλβίδα. Στη συνέχεια το έμβολο, κινούμενο προς το ΑΝΣ (άνω νεκρό σημείο), ολοκληρώνει την απαγωγή του καυσαερίου από το θάλαμο καύσης. Λίγο πριν από το ΑΝΣ, ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής, χωρίς να έχει κλείσει ακόμη η βαλβίδα εξαγωγής (περιοχή επικάλυψης βαλβίδων, που χρησιμεύει για την καλύτερη απόπλυση του χώρου καύσης). Λίγο μετά το ΑΝΣ, κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής και αναρροφάται πλέον ο φρέσκος αέρας στον κύλινδρο. Ο χρόνος της εισαγωγής, διαρκεί μέχρι λίγο μετά το ΚΝΣ. Από εκεί και πέρα, ακολουθεί η συμπίεση, η καύση και η εκτόνωση (όλα με κλειστές τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, Σχ 1.8), οπότε ολοκληρώνονται οι 720° του τετράχρονου κύκλου.

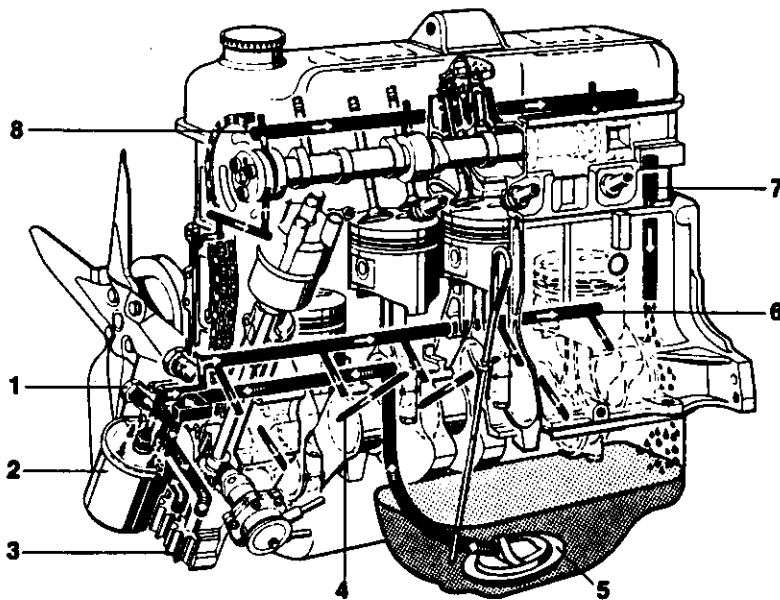
Προπαρασκευή μίγματος

Ο κύριος στόχος του υποσυστήματος προπαρασκευής καυσίμου μίγματος του βενζινοκινητήρα, είναι η παρασκευή ομογενούς μίγματος αέρα-καυσίμου στην επιθυμητή, κατά περίπτωση, αναλογία. Επειδή μόνο μίγμα ατμών-αέρα μπορεί να είναι ομογενές (ίδια φάση), το καύσιμο θα πρέπει να έχει εξατμιστεί πριν από την ανάφλεξη. Εάν δεν έχει εξατμιστεί όλο το καύσιμο, πχ λόγω πρόσκρουσής του σε ψυχρά τοιχώματα κατά την ψυχρή εκκίνηση, τότε θα πρέπει να προσδοθεί περισσότερο καύσιμο, ώστε το τμήμα που θα εξατμιστεί να επαρκεί για τη δημιουργία μίγματος με το σωστό λόγο αέρα (εμπλουτισμός ψυχρής εκκίνησης).

Εκτός από την παρασκευή ομογενούς μίγματος, το υποσύστημα προπαρασκευής μίγματος θα πρέπει να μπορεί να ρυθμίζει και τη ροπή του κινητήρα. Επειδή τα όρια λόγου αέρα (λόγος αέρα-καυσίμου προς το στοιχειομετρικό), μέσα στα οποία είναι αναφλέξιμο το μίγμα αέρα-βενζίνης είναι πολύ στενά, ($0.8 < \lambda < 1.2$), η ρύθμιση της απαιτούμενης ροπής του βενζινοκινητήρα γίνεται με αυξομειώσεις της ποσότητας γόμωσης που εισέρχεται στους κυλίνδρους (στραγγαλίζοντας όσο χρειάζεται με την πεταλούδα του επιταχυντή (Γκάζί)). Επίσης, το ίδιο υποσύστημα θα πρέπει να φροντίζει για την ομοιόμορφη διανομή του μίγματος στους κυλίνδρους, και την αποφυγή σημαντικών αποκλίσεων στο λ μεταξύ διαφορετικών κυλίνδρων (Σχ. 1.9). Στην κατεύθυνση αυτή, ένα σύστημα ψεκασμού πολλαπλών σημείων πλεονεκτεί έναντι ενός συστήματος ψεκασμού ενός σημείου, κι αυτό με τη σειρά του έναντι ενός συμβατικού συστήματος εξαερωτή (καρμπυρατέρ).

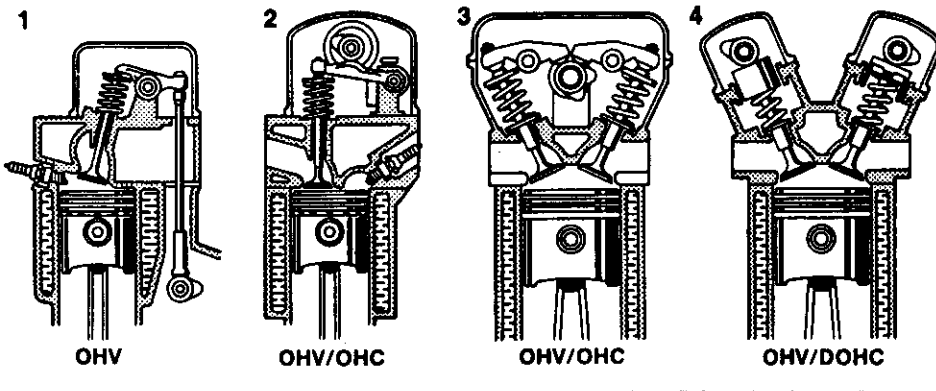
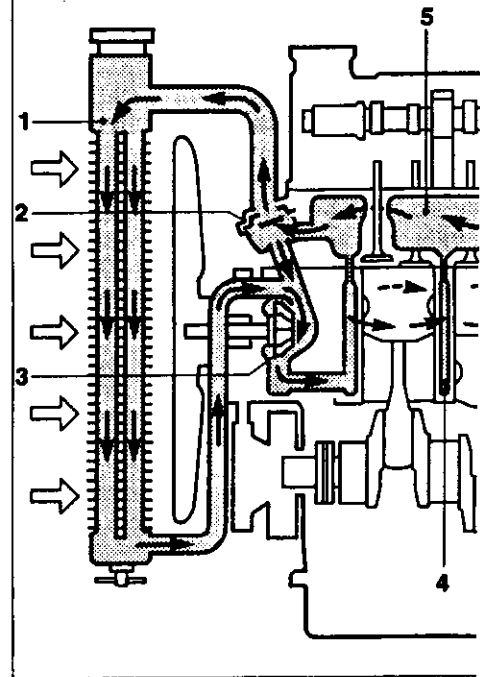
Druckumlaufschmierung.

1 Überdruckventil, 2 Ölfilter, 3 Zahnradpumpe, 4 vom Hauptlager zum Pleuellager, 5 Ansaugglocke mit Sieb, 6 Hauptdruckölleitung zu Pleuellager, 7 Rückfluß vom Steuer- ins Pleuellager, 8 zu Nockenwellenlagern.



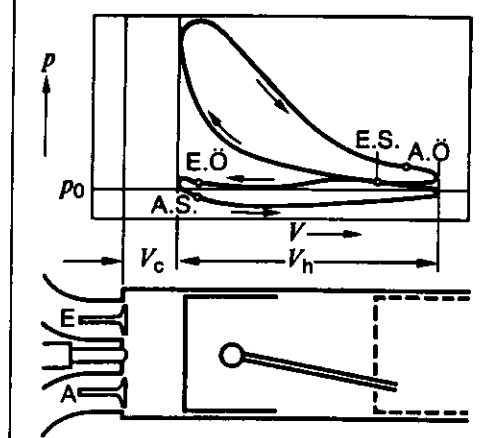
Wasserkühlsystem mit Kühlwasserkreislauf.

1 Kühler, 2 Thermostat, 3 Wasserpumpe, 4 Wasserkanäle im Zylinderblock, 5 Kühlwasserdurchgänge im Zylinderkopf.



Σχήμα 1.6 Τομή ενός σύγχρονου βενζινοκινητήρα

Darstellung des Viertakt-Gaswechselfahrens im p-V-Diagramm.



Σχήμα 1.7 Ο τετράχρονος κύκλος εμβολοφόρου κινητήρα σε διάγραμμα p-V

Σύστημα έναυσης

Το υποσύστημα έναυσης θα πρέπει να μπορεί να αναφλέξει το μίγμα ακόμη και κάτω από ισχυρά μεταβατικές συνθήκες ροής και λόγω αέρα, σε δεδομένη χρονική στιγμή. Η απαιτούμενη ενέργεια του σπινθηρισμού που παράγει ο σπινθηριστής, ποικίλει ανάλογα με το λ του μίγματος. Για την ανάφλεξη στοιχειομετρικού μίγματος αέρα-καυσίμου, ($\lambda=1$), η ενέργεια αυτή είναι ίση με 0.2 mJ. Αντιθέτα, η ανάφλεξη φτωχότερου ή πλουσιότερου μίγματος, απαιτεί μέχρι και 3 mJ ενέργεια σπινθηρισμού (σε κάθε κύκλο).

Καύση

Ο σπινθήρας που παράγεται μεταξύ των ηλεκτροδίων του σπινθηριστή, ιονίζει το μίγμα δημιουργώντας τα λεγόμενα ενεργά κέντρα, όπου τα μόρια του καυσίμου αναφλέγονται, και λόγω του εξώθερμου της αντίδρασης εκλύεται θερμότητα που ανεβάζει τη θερμοκρασία στη γειτονιά των ενεργών κέντρων και διαδίδει την καύση (φάση ανάφλεξης). Η πρώτη αυτή φάση διαρκεί για ένα περίπου σταθερό χρονικό διάστημα, που εξαρτάται από τη σύσταση του μίγματος (λ). Αν όμως μετρήσουμε αυτή τη λεγόμενη καθυστέρηση έναυσης σε γωνία στροφάλου, τότε προφανώς αυτή θα αυξάνει με τις στροφές του κινητήρα (και βέβαια θα μεταβάλλεται με το λ).

Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας από την καύση, εξαρτάται κυρίως από τη μορφή του θαλάμου καύσης και τη θέση του σπινθηριστή. Η ταχύτητα διάδοσης του μετώπου για $\lambda=0.9$ είναι της τάξης των 20-40 m/s. Η ταχύτητα αυτή ρυθμίζεται από διεργασίες διάχυσης στο μέτωπο της φλόγας (που τελευταία μελετώνται με τη θεωρία των fractals), καθώς και από την ένταση της τύρβης και τα επίπεδα θερμοκρασίας στο άκαυστο τμήμα του μίγματος.

Η αύξηση της πίεσης στη διάρκεια της καύσης ασκεί σημαντική επίδραση στην αύξηση της θερμοκρασίας του άκαυστου μίγματος (ενώ αντίθετα η ακτινοβολία και η αγωγή δεν παίζουν σημαντικό ρόλο, λόγω της πολύ μικρής χρονικής διάρκειας του φαινομένου).

Στον κύκλο του βενζινοκινητήρα, η διάρκεια καύσης θα πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή, και η καύση να συμβαίνει 5-10° γωνίας στροφάλου μετά το ΑΝΣ, ώστε να επιτυγχάνεται υψηλή μέση πραγματική πίεση (ροπή) και χαμηλή ειδική κατανάλωση καυσίμου. Για την επιλογή λοιπόν της ορθής προπορείας έναυσης (αβάνς) για κάθε σημείο λειτουργίας λαμβάνονται υπόψη:

- ο λόγος αέρα λ του μίγματος αέρα βενζίνης
- η μέση ένταση της τύρβης στο συγκεκριμένο σημείο (στροφές-παροχή αέρα)
- η χρονική σταθερά εξέλιξης των διεργασιών ανάφλεξης του μίγματος.

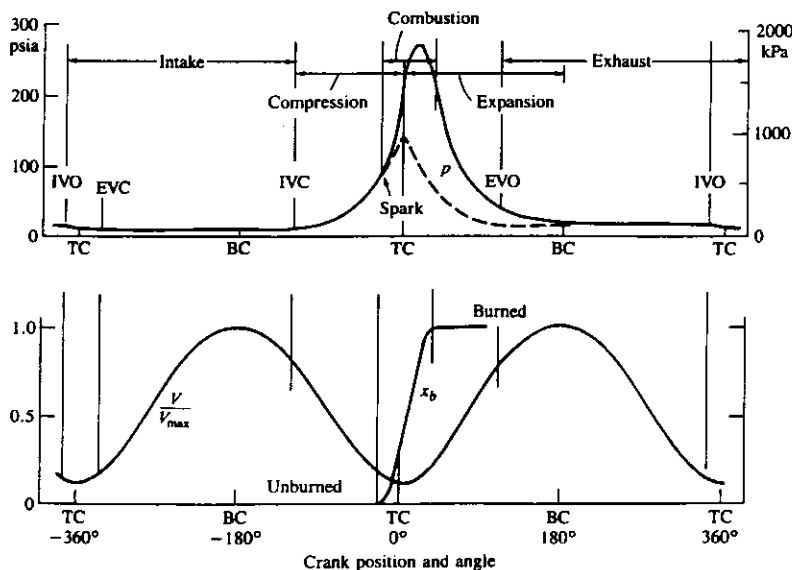
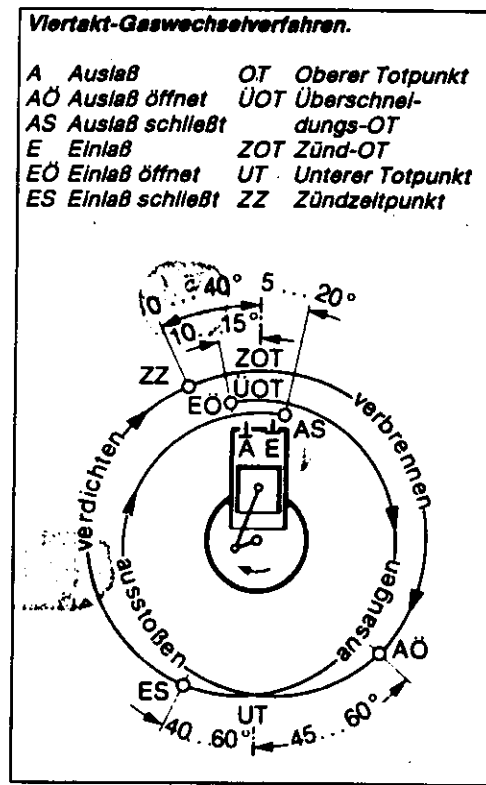
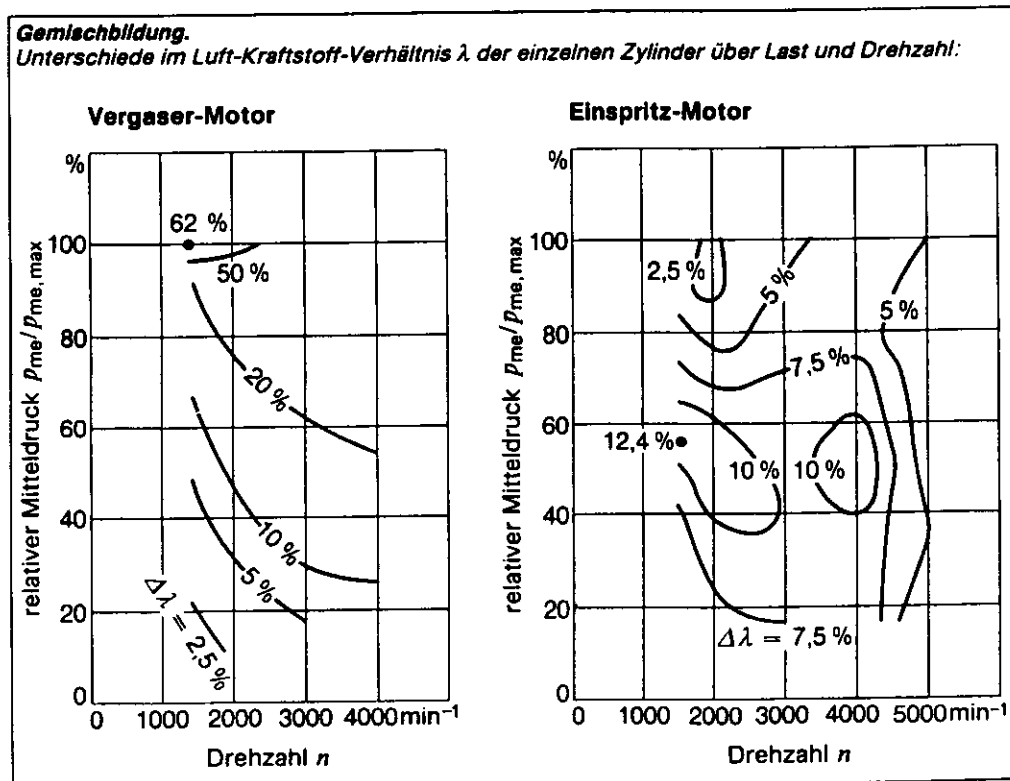


FIGURE 1-8

Sequence of events in four-stroke spark-ignition engine operating cycle. Cylinder pressure p (solid line, firing cycle; dashed line, motored cycle), cylinder volume V/V_{max} , and mass fraction burned x_b , are plotted against crank angle.



Σχήμα 1.8 Χρονισμός βαλβίδων ενός τετράχρονου κινητήρα.



Σχήμα 1.9 Μεταβολές λόγου αέρα-καυσίμου στους επιμέρους κυλίνδρους ενός βενζινοκινητήρα με καρμπυρατέρ, και ενός με ψεκασμό πολλαπλών σημείων.

Προβλήματα και όρια της καύσης

Στην πράξη, η καύση στα καταλυτικά αυτοκίνητα γίνεται με περίπου στοιχειομετρικό λόγο αέρα, (ενώ κατά τις επιταχύνσεις εφαρμόζεται κάποιος εμπλουτισμός, μέχρι $\lambda=0.85$, και στις επιβραδύνσεις με φρενάρισμα διακόπτεται η παροχή βενζίνης- $\lambda \rightarrow \infty$).

Θερμοδυναμικώς είναι επιθυμητό να γίνεται η καύση με το μέγιστο δυνατό λόγο αέρα (φτωχή καύση), για να μειώνεται ο στραγγαλισμός για τη ρύθμιση της ροπής και να βελτιώνεται ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης μέσω της μεταβολής του πολυτροπικού εκθέτη κατά την εκτόνωση. Επίσης, είναι επιθυμητό να μειώνονται οι απώλειες ψύξης και η μέγιστη θερμοκρασία καύσης (αποφυγή διάσπασης των προϊόντων της καύσης).

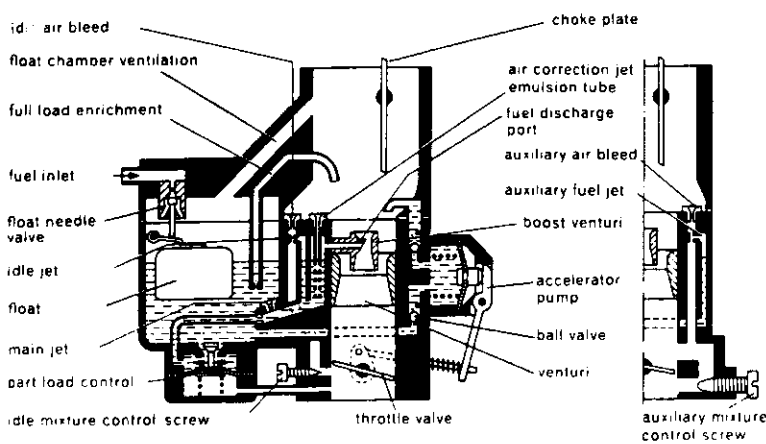
Καύση με υψηλό λόγο αέρα (μέχρι και $\lambda=1.7$), επιτυγχάνεται με δι' αφορες τεχνικές στους λεγόμενους κινητήρες φτωχής καύσης, οι οποίοι αποτελούν εναλλακτική τεχνολογία αντιρρόπησης σε σχέση με τον τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα και στοιχειομετρική καύση. Κάποια μοντέλα κινητήρων φτωχής καύσης έχουν κυκλοφορήσει κατά καιρούς, και ορισμένα είχαν τη δυνατότητα να πληρούν τα όρια US 83, με την προσθήκη οξειδωτικού καταλυτικού μετατροπέα, με καταλύτη εξειδικευμένο στην οξείδωση των υδρογονανθράκων. Δυστυχώς, εδώ δεν υπάρχει η δυνατότητα αναγωγής των NO_x , λόγω του οξειδωτικού περιβάλλοντος, και γι' αυτό η τεχνολογία αυτή δεν είναι ακόμη ώριμη για αυστηρότερες προδιαγραφές.

Όσον αφορά τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης του βενζινοκινητήρα σε μερικό φορτίο (βασικό μειονέκτημα του βενζινοκινητήρα έναντι του diesel), με αύξηση της συμπίεσης, εδώ τίθεται ένα άνω όριο από το λεγόμενο κτύπημα του κινητήρα.

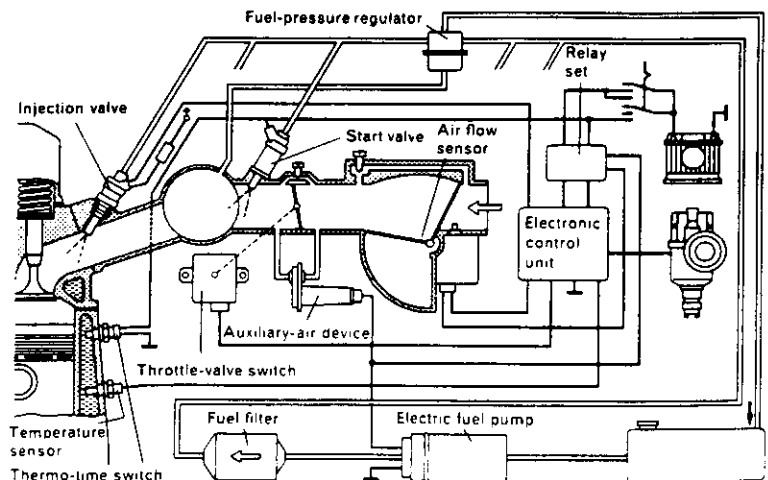
Το κτύπημα εμφανίζεται όταν η ταχύτητα διάδοσης της φλόγας φτάσει την ταχύτητα του ήχου στο αέριο του θαλάμου καύσης. Αυτό μπορεί να συμβεί στο τέλος της καύσης, όταν το εναπομείναν μίγμα συμπιεστεί πολύ και αυξηθεί η θερμοκρασία του στα όρια της αυτανάφλεξης (Σχ. 1.10). Η καύση με κτύπημα προξενεί ζημιά στα στοιχεία του θαλάμου καύσης (έμβολα, ελατήρια και κυλινδροκεφαλή). Τα όρια του κτυπήματος εξαρτώνται όπως είναι γνωστό από το καύσιμο που χρησιμοποιείται. Γενικά, η σχέση συμπίεσης στους σημερινούς κινητήρες που καίνε αμόλυβδη βενζίνη, δεν ξεπερνά το $\varepsilon=9-10$ (Σχ. 1.11).

Αναπτυσσόμενη ισχύς, κατανάλωση καυσίμου

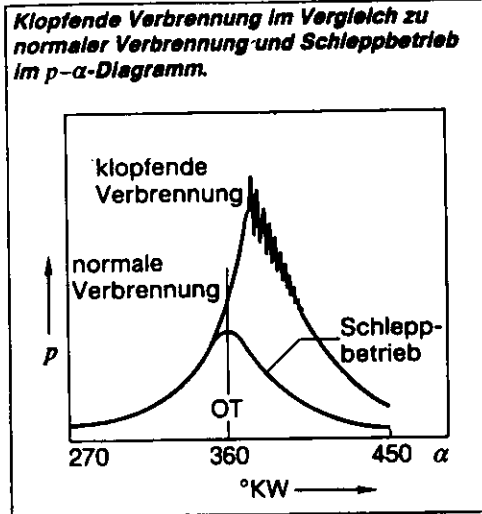
Ο ενδεικνύμενος βαθμός απόδοσης ενός βενζινοκινητήρα (δηλ. αυτός που προκύπτει από το διάγραμμα p-V, χωρίς να ληφθούν υπόψη οι παραπέρα τριβές), πέφτει σημαντικά στα χαμηλά φορτία (Σχ. 1.12), όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Τεχνικές βελτίωσης αυτής της αδυναμίας έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς, αλλά δυστυχώς δεν έχουν ακόμη ενσωματωθεί σε κινητήρες σειράς λόγω υψηλού κόστους (διακοπή τροφοδοσίας σε κάποιους κυλίνδρους, μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων, σταμάτημα ορισμένων κυλίνδρων). Το μόνο μέτρο που μπορεί να εφαρμόζεται (από τον οδηγό), είναι η λειτουργία του κινητήρα κατά το δυνατόν σε χαμηλές στροφές (με κατάλληλη επιλογή της σχέσης μετάδοσης).



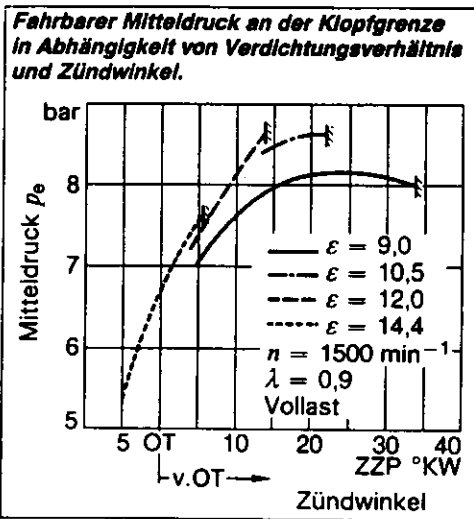
Cross section of single-barrel downdraft carburetor.¹²



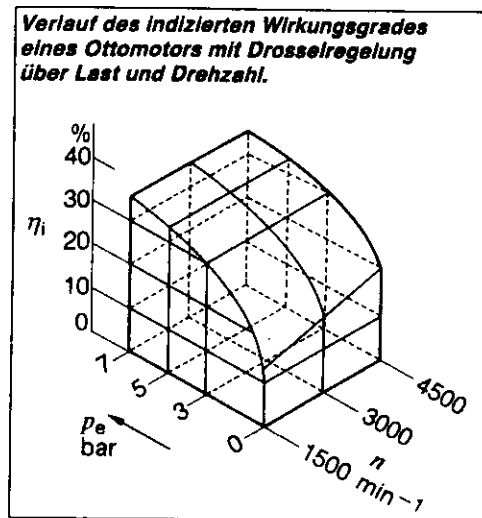
Schematic drawing of L-Jetronic port electronic fuel-injection system.¹² GmbH and SAE.)



Σχήμα 1.10 Καύση με κτύπημα (πειράκια), σε σύγκριση με κανονική καύση, και ρυμούλκηση του κινητήρα χωρίς καύση, σε διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου-γωνίας στροφάλου.



Σχήμα 1.11 Ορια κτυπήματος βενζινοκινητήρα σαν συνάρτηση της προπορείας έναυσης (αβάνς) και του βαθμού συμπίεσης.



Σχήμα 1.12 Διακύμανση του ενδεικνύμενου βαθμού απόδοσης ενός βενζινοκινητήρα στο πεδίο λειτουργίας του.

Παραδείγματα βενζινοκινητήρων

Παρακάτω παρουσιάζονται παραδείγματα από βενζινοκινητήρες παραγωγής. Στο Σχ.1.13 φαίνεται ένας κινητήρας V-6 κατασκευής General Motors.

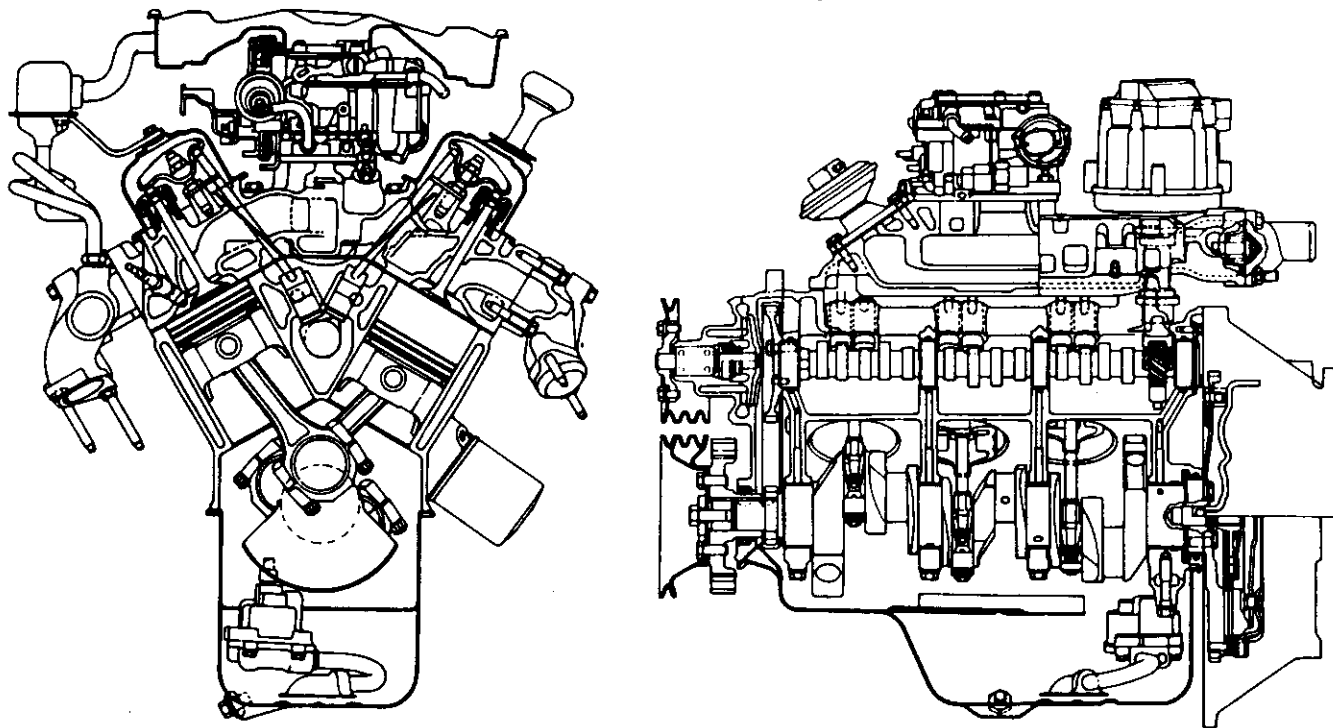
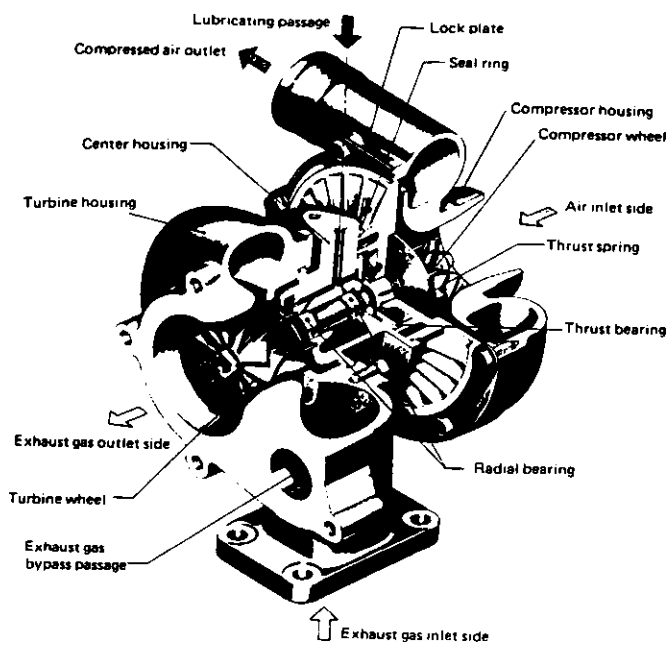


Fig. 1.13 Cross-section drawings of General Motors 60 degree V-6 spark-ignition engine.¹³ Displacement 2.8 liter, bore 89 mm, stroke 76 mm, compression ratio 8.5, maximum power 86 kW at 4800 rev/min.

Σχήμα 1.13

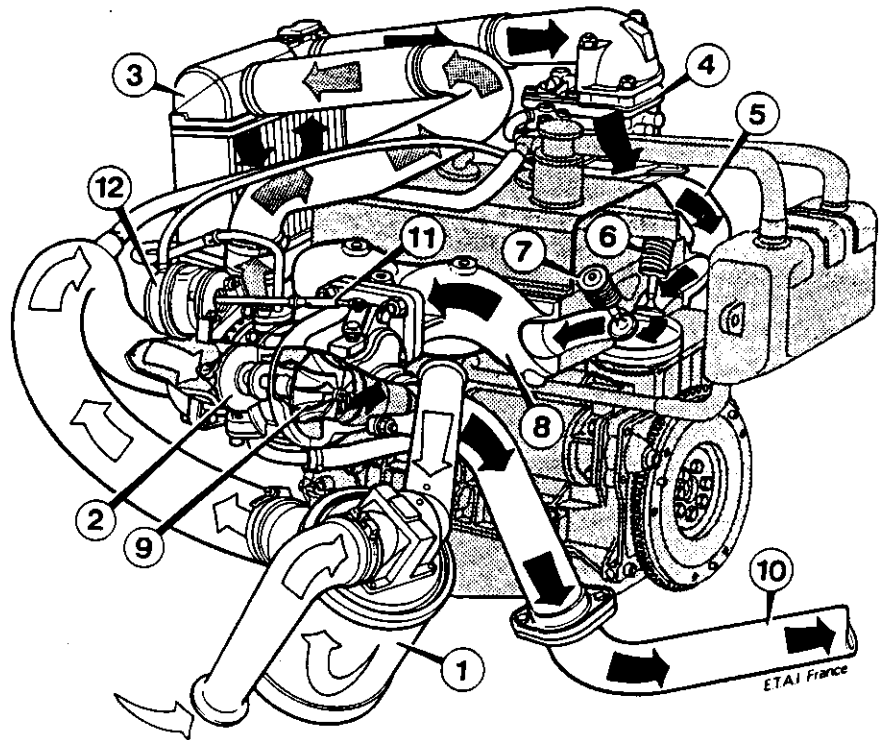
Στο Σχ.1.14 φαίνεται ένας στροβιλοϋπερπληρωτής



Σχήμα 1.14

Cutaway view of small automotive engine turbocharger. (Courtesy Nissan Motor Co., Ltd.)

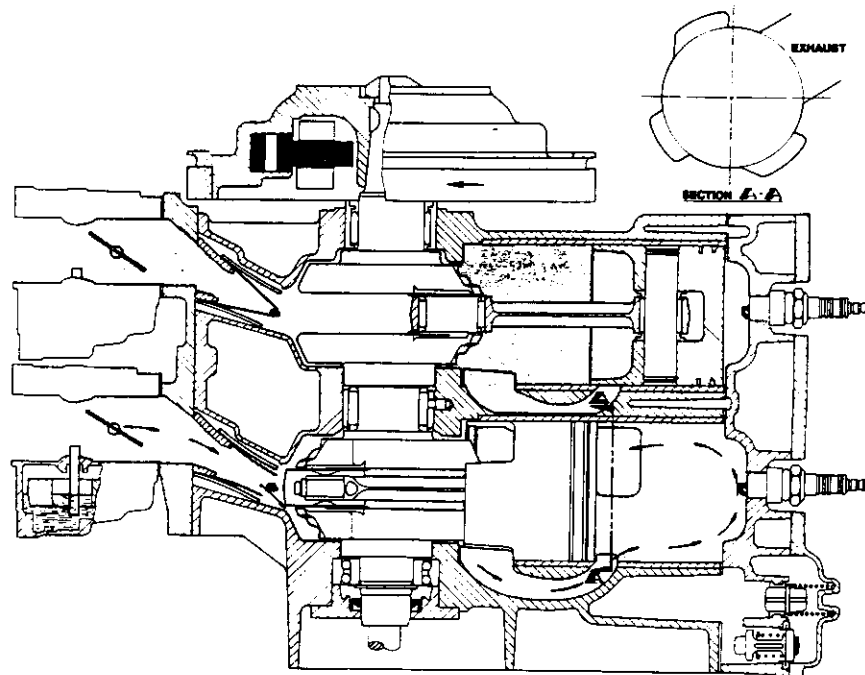
Στο Σχ.1.15 φαίνεται η όδευση αέρα και καυσαερίου σε ένα 4-κύλινδρο στροβιλούπερπληρούμενο κινητήρα αυτοκινήτου.



Σχήμα 1.15

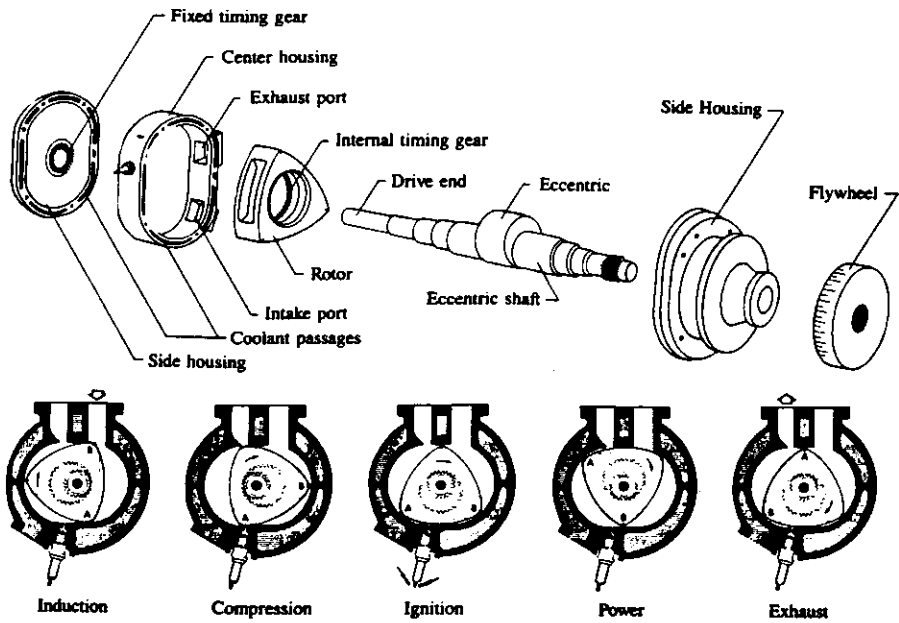
Turbocharged four-cylinder automotive spark-ignition engine. (Courtesy Regie Nationale des Usines.)

Στο Σχ. 1.16 φαίνεται σε τομή ένας δικύλινδρος δίχρονος εξωλέμβιος κινητήρας.



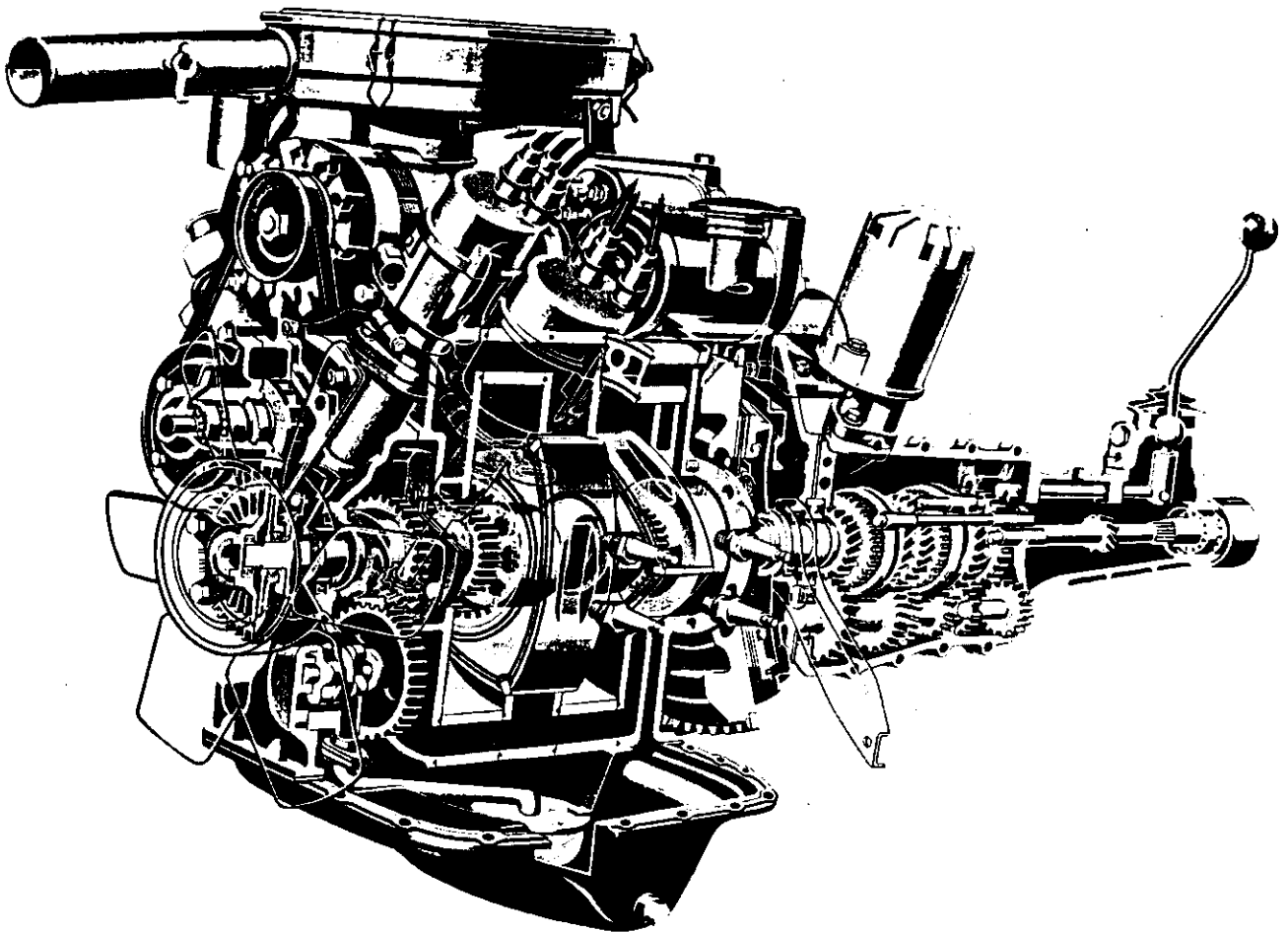
Cutaway drawing of two-cylinder two-stroke cycle loop-scavenged marine spark-ignition engine. Displaced volume 737 cm³, maximum power 41 kW at 5500 rev/min. (Courtesy Outboard Marine Corporation.)

Στο Σχ.1.17 φαίνονται τα κύρια εξαρτήματα και η αρχή λειτουργίας του περιστροφικού κινητήρα Wankel.



(a) Major components of the Wankel rotary engine; (b) induction, compression, power, and exhaust processes of the four-stroke cycle for the chamber defined by rotor surface AB. (From Mobil Technical Bulletin, Rotary Engines, © Mobil Oil Corporation, 1971.)

Σχήμα 1.17



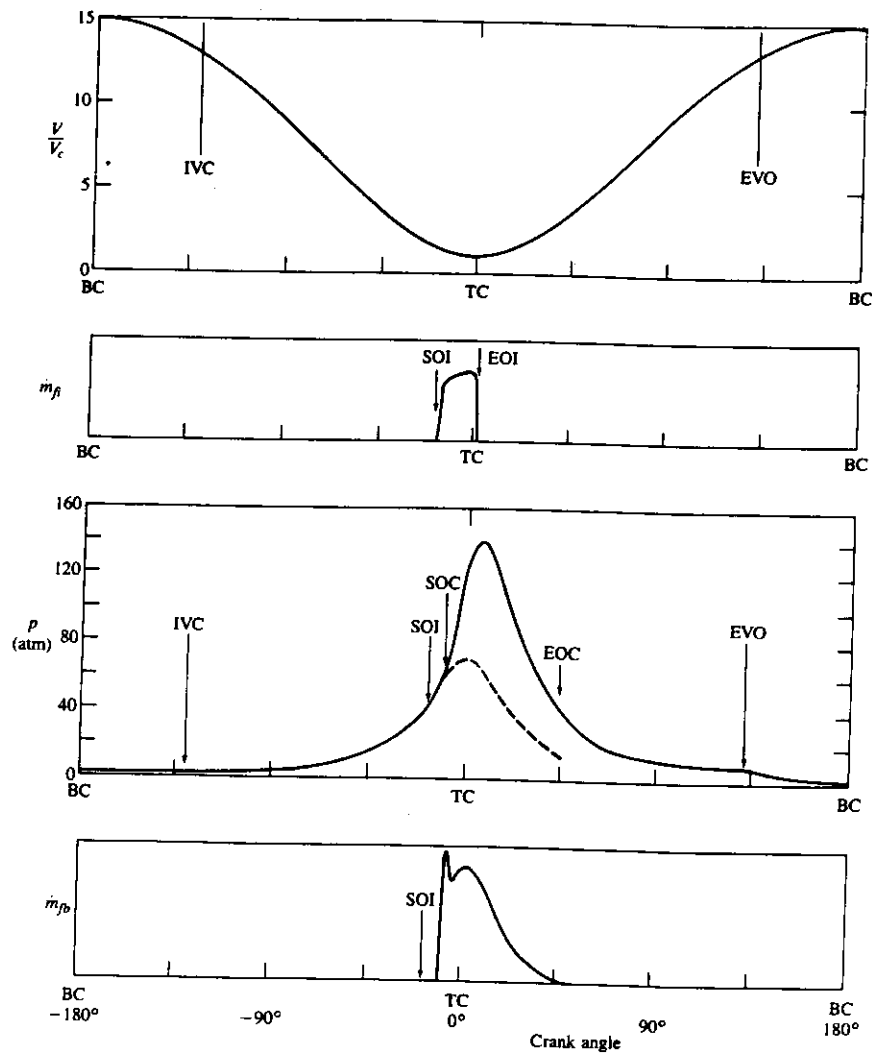
F' Cutaway drawing of two-rotor Wankel spark-ignition engine. Displacement of each working chamber 573 cm³, compression ratio 9.4, maximum

Σχήμα 1.18

1.5. Ο ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ DIESEL

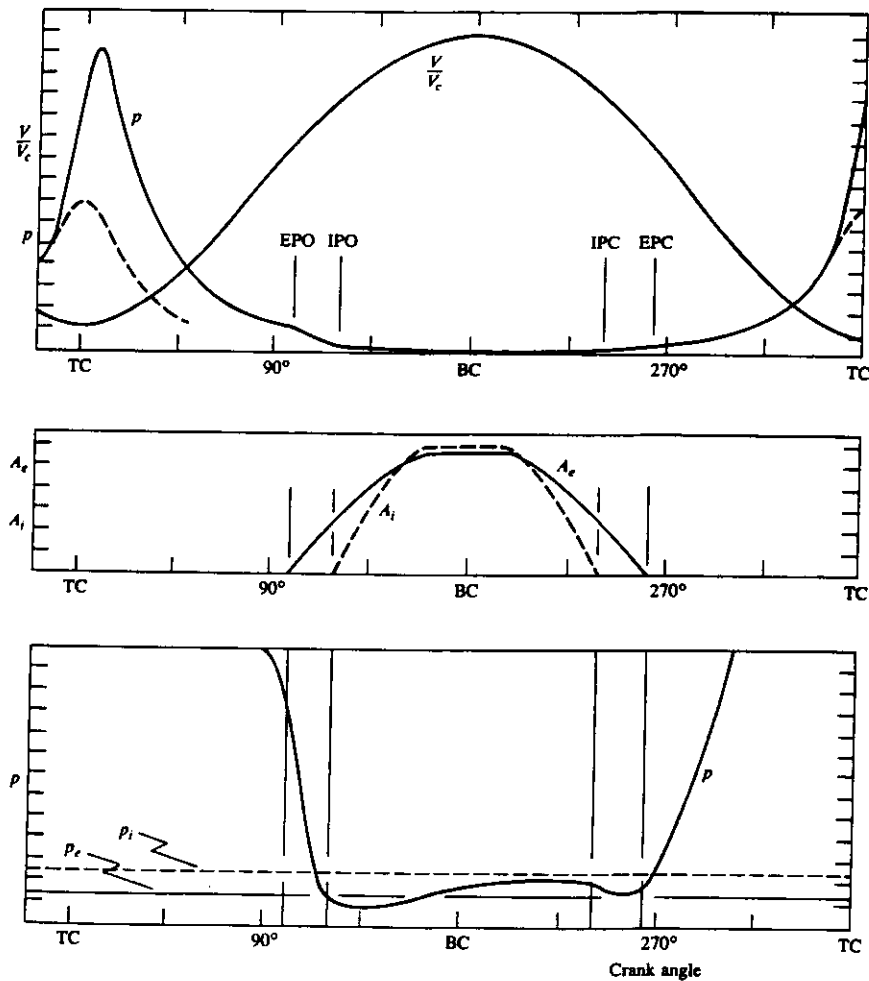
Στον κινητήρα diesel, αναρροφάται από τους κυλίνδρους καθαρός αέρας. Το πετρέλαιο ψεκάζεται απ'ευθείας μέσα στο θάλαμο καύσης λίγο πριν να αρχίσει η καύση. Ο έλεγχος της αναπτυσσόμενης ροπής επιτυγχάνεται με μεταβολή της ποσότητας καυσίμου που ψεκάζεται ανα εμβολισμό. Ο αέρας που εισέρχεται στον κύλινδρο εξαρτάται μόνο από τις στροφές. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία κινητήρων diesel, που χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα, φορτηγά, σιδηροδρόμους, πλοία και μικρά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν diesel φυσικής αναπνοής, που αναπνέουν ατμοσφαιρικό αέρα, και diesel στροβιλούπερπληρούμενοι όπου ο αέρας εισαγωγής συμπιέζεται από κατάλληλο συμπιεστή (που κινείται από τουρμπίνα τοποθετημένη στην εξαγωγή), ώστε να εισέρχεται συμπιεσμένος στον κύλινδρο.

Η λειτουργία ενός τυπικού 4-χρονου κινητήρα diesel φυσικής αναπνοής φαίνεται στο Σχήμα 1.19. Η σχέση συμπίεσης εδώ είναι μεταξύ 12-24 (χαμηλότερες τιμές για υπερπληρούμενους κινητήρες). Στον κινητήρα diesel το καύσιμο ψεκάζεται περί τις 20 μοίρες πριν το ΑΝΣ, σε υψηλή πίεση (100 - 800 bar). Επειδή στη φάση αυτή η θερμοκρασία και η πίεση του αέρα στον κύλινδρο είναι πάνω από τις συνθήκες αυτανάφλεξης του καυσίμου, οι ατμοί του πετρελαίου αυτανάφλεγονται μετά από μία μικρή χρονική περίοδο (καθυστέρηση έναυσης). Στη συνέχεια, όσο καύσιμο ψεκάζεται καίγεται ακαριαία.



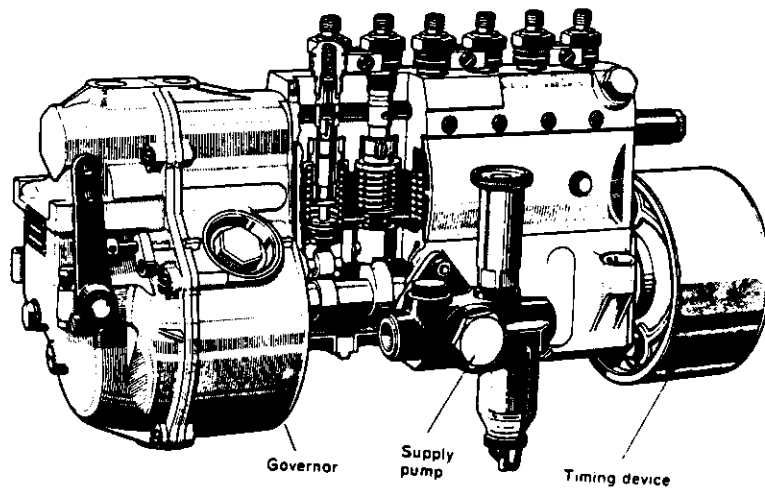
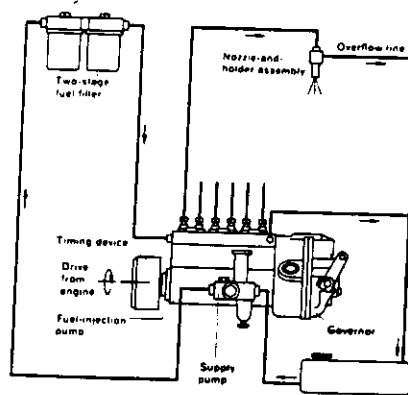
Sequence of events during compression, combustion, and expansion processes of a naturally aspirated compression-ignition engine operating cycle. Cylinder volume/clearance volume V/V_c , rate of fuel injection \dot{m}_f , cylinder pressure p (solid line, firing cycle; dashed line, motored cycle), and rate of fuel burning (or fuel chemical energy release rate) \dot{m}_{fb} are plotted against crank angle.

Στο Σχ.1.20 φαίνεται αντίστοιχα η λειτουργία ενός δίχρονου κινητήρα diesel με απόπλυση τύπου βρόχου. Εδώ οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής βρίσκονται από την ίδια πλευρά του κυλίνδρου, και αποκαλύπτονται από το έμβολο καθώς αυτό πλησιάζει το ΚΝΣ.

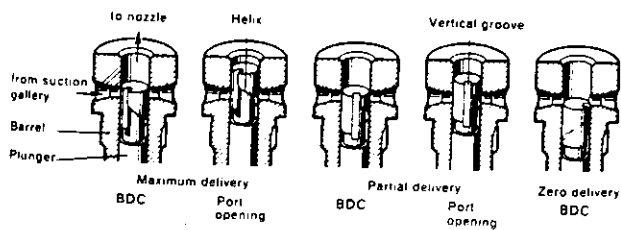
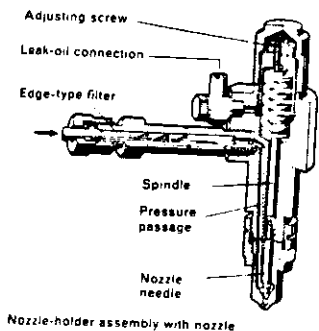
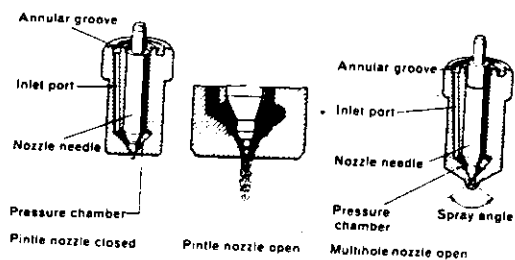


Sequence of events during expansion, gas exchange, and compression processes in a loop-scavenged two-stroke cycle compression-ignition engine. Cylinder volume/clearance volume V/V_c , cylinder pressure p , exhaust port open area A_e , and intake port open area A_i are plotted against crank angle.

Στο Σχήμα 1.21 φαίνεται η λειτουργία της αντλίας πετρελαίου. Η συγκεκριμένη αντλία είναι εν σειρά. Φαίνεται το κύκλωμα του καυσίμου, οι εγχυτήρες και τα τμήματα διαανομής υψηλής πίεσης της αντλίας (ένα για κάθε κύλινδρο



Diesel fuel system with in-line fuel-injection pump (type PE).¹² (Courtesy Robert Bosch GmbH.)

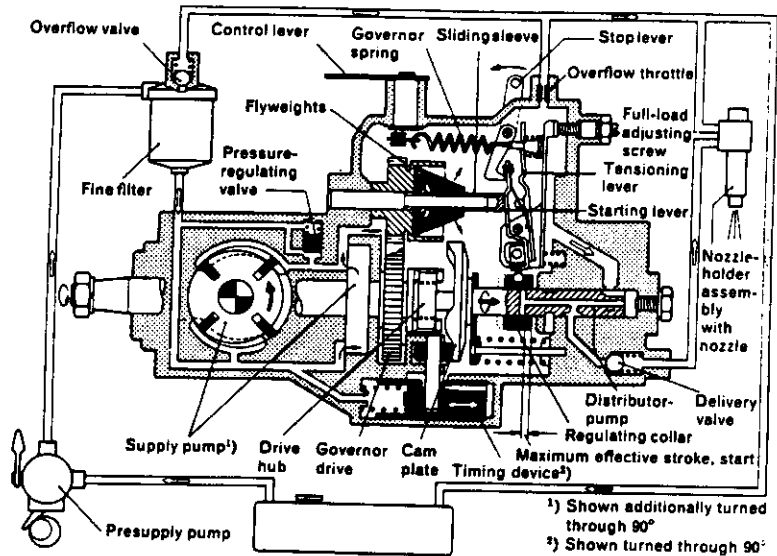


Fuel delivery control (lower helix)

Details of fuel-injection nozzles, nozzle holder assembly and fuel-delivery control.¹² (Courtesy Robert Bosch GmbH.)

Σχήμα 1.21 Αντλία πετρελαίου

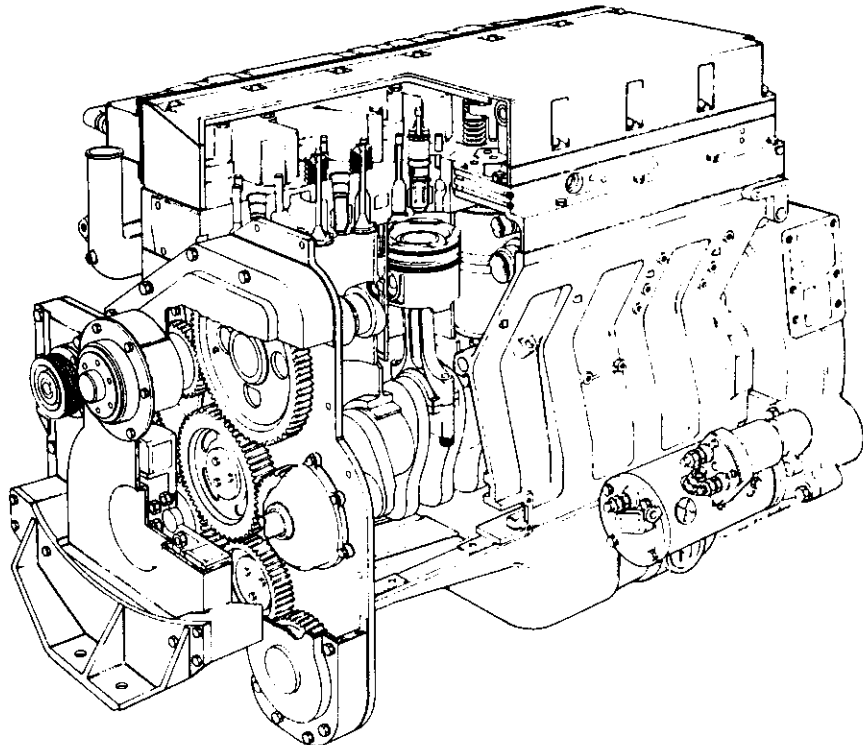
Στο Σχ.1.22 φαίνεται μία αντλία πετρελαίου περιστροφικού τύπου (με ντιστριμπιτέρ, όπως κοινώς αποκαλούνται).



Diesel fuel system with distributor-type fuel-injection pump with mechanical governor.¹² (Courtesy Robert Bosch GmbH.)

Σχήμα 1.22 Περιστροφικού τύπου αντλία πετρελαίου

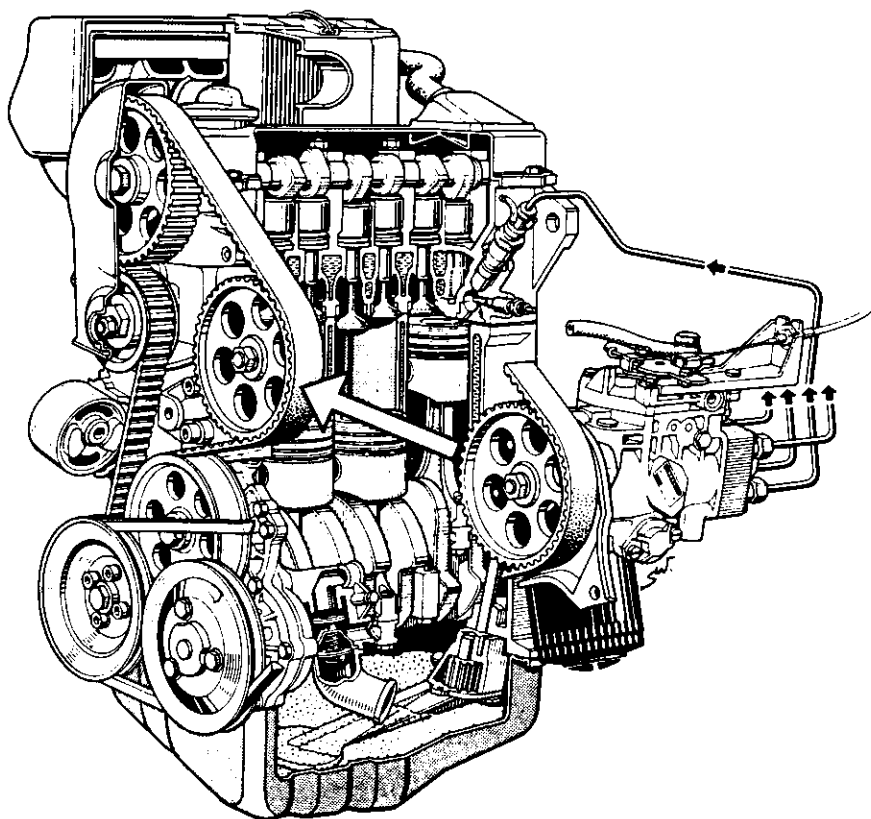
Ολες οι μεγάλες μηχανές diesel είναι στροβιλούπερπληρούμενες (Σχ.1.23) και απ'ευθείας εγχύσεως (έγχυση σε ειδικά διαμορφωμένο κοίλωμα του εμβόλου).



Σχήμα 1.23

Direct-injection four-stroke cycle six-cylinder turbocharged Cummins diesel engine. Displaced volume 10 liters, bore 125 mm, stroke 136 mm, compression ratio 16.3, maximum power 168 to 246 kW at rated speed of 2100 rev/min. (Courtesy Cummins Engine Company, Inc.)

Στο Σχ.1.24 φαίνεται ένας κινητήρας diesel αυτοκινήτου. Οι ταχύστροφοι κινητήρες των αυτοκινήτων ήταν μέχρι πρότινος όλοι με διαιρεμένο θάλαμο, επειδή ο πολύ μικρός διαθέσιμος χρόνος για την καύση του πετρελαίου απαιτεί μεγάλες ταχύτητες ανάμιξης αέρα καυσίμου. Στο τέλος της συμπίεσης εισέρχεται στον προθάλαμο (ή τον στροβιλοθάλαμο) ένα μέρος του αέρα του κυλίνδρου με μεγάλες ταχύτητες και συχνά στροβιλισμό. Το πετρέλαιο ψεκάζεται ακριβώς μέσα στον προθάλαμο, όπου ξεκινά η καύση. Λόγω της απότομης αύξησης της πίεσης, το μίγμα αέρα καυσίμου και προϊόντων της ατελούς καύσης εκτοξεύεται με υψηλό στροβιλισμό από τον προθάλαμο στον κυρίως θάλαμο, όπου ολοκληρώνεται η ανάμιξη και καύση στο διαθέσιμο χρόνο. Αυτοί οι κινητήρες έχουν ιδιαίτερα υψηλή συμπίεση (21-23:1).

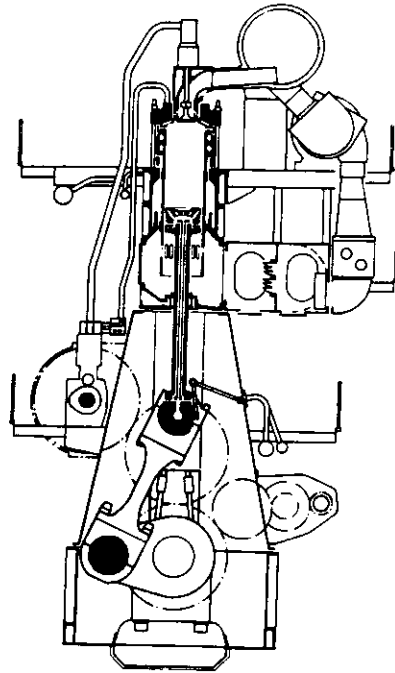


Four-cylinder naturally aspirated indirect-injection automobile Volkswagen diesel engine.¹⁴ Displaced volume 1.47 liters, bore 76.5 mm, stroke 80 mm, maximum power 37 kW at 5000 rev/min.

Σχήμα 1.24 Ντηζελοκινητήρας αυτοκινήτου κατασκευής VW.

Από το 1991 και μετά άρχισαν να εμφανίζονται στην αγορά κινητήρες diesel με απ'ευθείας έγχυση για αυτοκίνητα, όπου η ταχύτερη ανάμιξη επιτυγχάνεται με υψηλή πίεση ψεκασμού (600-800 bar) και ισχυρό στροβιλισμό.

Στο Σχ.1.25 φαίνεται ένας μεγάλος δίχρονος diesel πλοίου, κατασκευής Sulzer.



Σχήμα 1.25

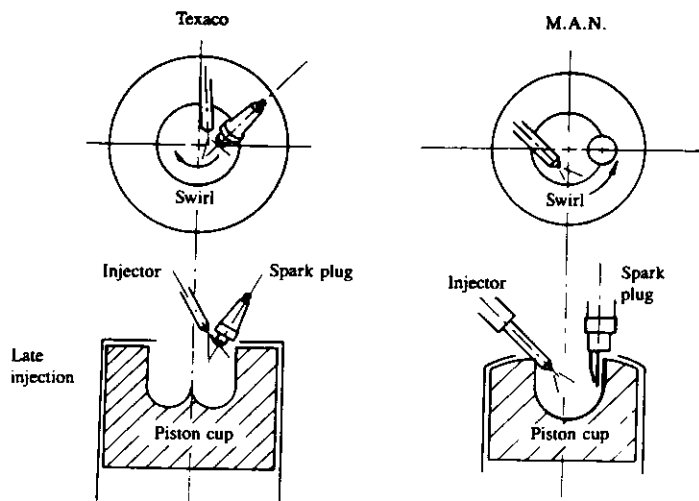
Large Sulzer two-stroke turbocharged marine diesel engine. Bore 840 mm, stroke 2900 mm, rated power 1.9 MW per cylinder at 78 rev/min, 4 to 12 cylinders. (Courtesy Sulzer Brothers Ltd.)

Από τη δεκαετία του 1920, είχαν αρχίσει προσπάθειες για να συνδυαστούν σε ένα τύπο κινητήρα τα πλεονεκτήματα των κινητήρων Otto και Diesel. Οι στόχοι ήταν να λειτουργεί ο κινητήρας αυτός με βέλτιστη σχέση συμπίεσης (12-15:1), με τα παρακάτω μέσα:

- απ'ευθείας ψεκασμό μέσα στον κύλινδρο (αποφυγή κτυπήματος)
- εξωτερική έναυση του καυσίμου καθώς αυτό αναμιγνύεται με τον αέρα μέσω σπινθήρα, ώστε να ελέγχεται η καύση και να μειώνονται οι απαιτήσεις σε συγκεκριμένη ποιότητα καυσίμου (αριθμός κετανίου).
- έλεγχο της αναπτυσσόμενης ισχύος με μεταβολή της ψεκαζόμενης ποσότητας (αποφυγή στραγγαλισμού του αέρα εισαγωγής).

Τέτοιου είδους κινητήρες καλούνται "στρωματοποιημένης γόμωσης" (stratified charge).

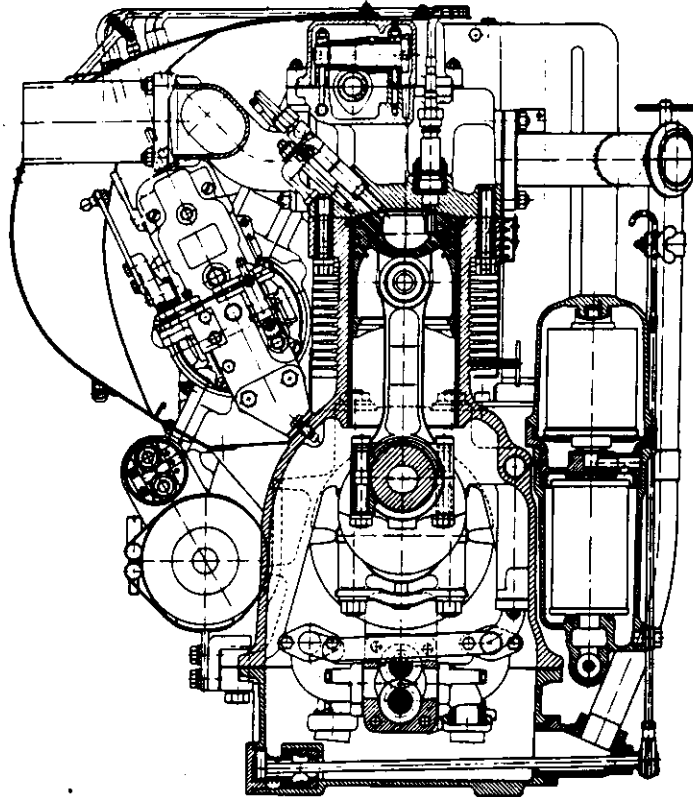
Στο Σχ.1.26 παρουσιάζονται οι θάλαμοι καύσης δύο τέτοιων κινητήρων.



Two multifuel stratified-charge engines which have been used in commercial practice: the Texaco Controlled Combustion System (TCCS)¹⁶ and the M.A.N.-FM System.¹⁷

Σχήμα 1.26 Κινητήρες στρωματοποιημένης γόμωσης

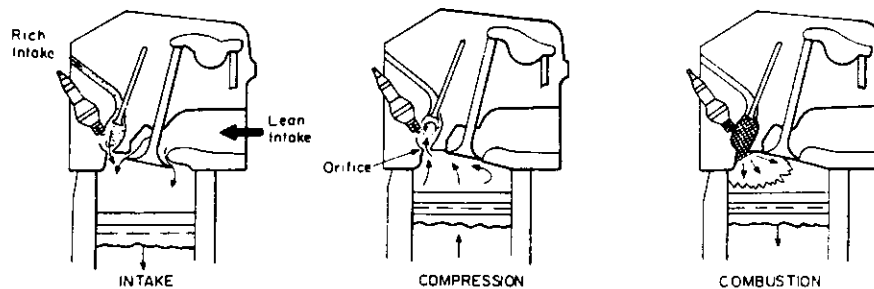
Οι κινητήρες αυτοί, όπως προαναφέρθηκε είναι "multifuel", όπως αυτός που φαίνεται στο Σχ.1.27.



Sectional drawing of M.A.N. high-speed multifuel four-cylinder direct-injection stratified-charge engine. Bore 94.5 mm, stroke 100 mm, displacement 2.65 liters, compression ratio 16.5, rated power 52 kW at 3800 rev/min.¹⁷

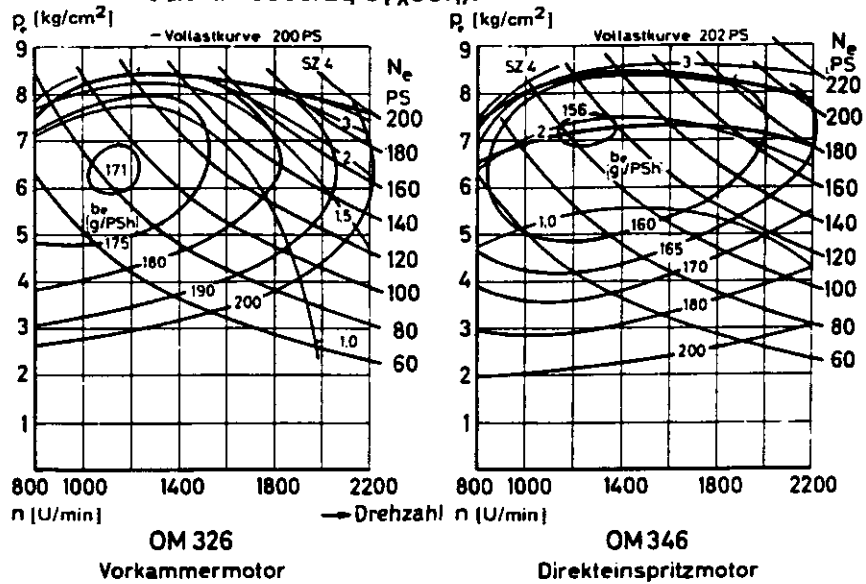
Σχήμα 1.27

Στο Σχήμα 1.28 φαίνεται η αρχή λειτουργίας του συστήματος CVCC της Honda, που βασίζεται σε μία επινόηση της Ricardo στη δεκαετία του 1920, και χρησιμοποιεί ένα μικρό προθάλαμο που τροφοδοτείται κατά την εισαγωγή από ένα βοηθητικό κύκλωμα καυσίμου, ώστε να δημιουργείται ένα εύκολα αναφλέξιμο μίγμα γύρω από το σπινθηριστή, ενώ στη συνέχεια της καύσης καίγεται ολοένα και φτωχότερο μίγμα (μείωση κατανάλωσης).

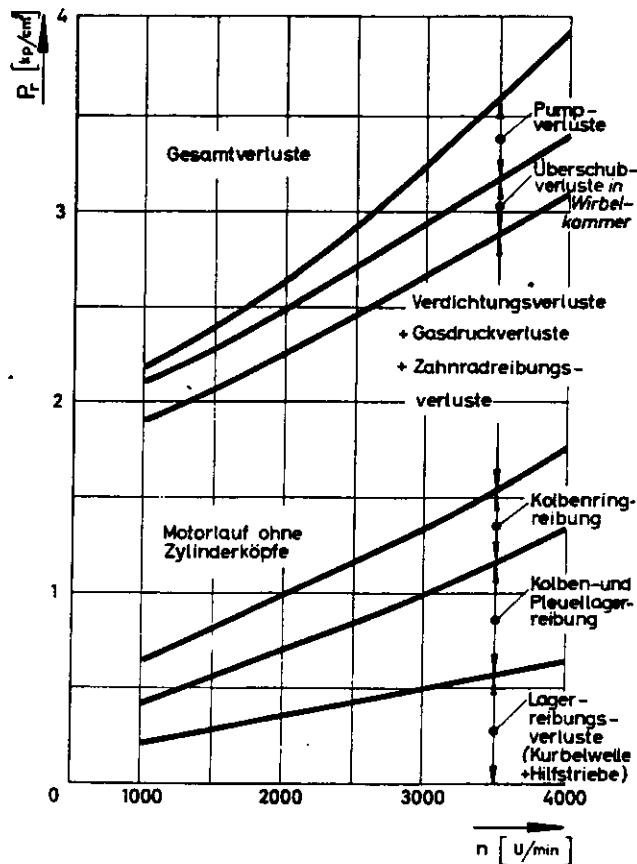


Schematic of three-valve torch-ignition stratified-charge spark-ignition engine.

Στο Σχ.1.29 φαίνονται τα πεδία ειδικής κατανάλωσης δύο κινητήρων diesel. (Ένας με προθάλαμο και ο άλλος με απ'ευθείας έγχυση).

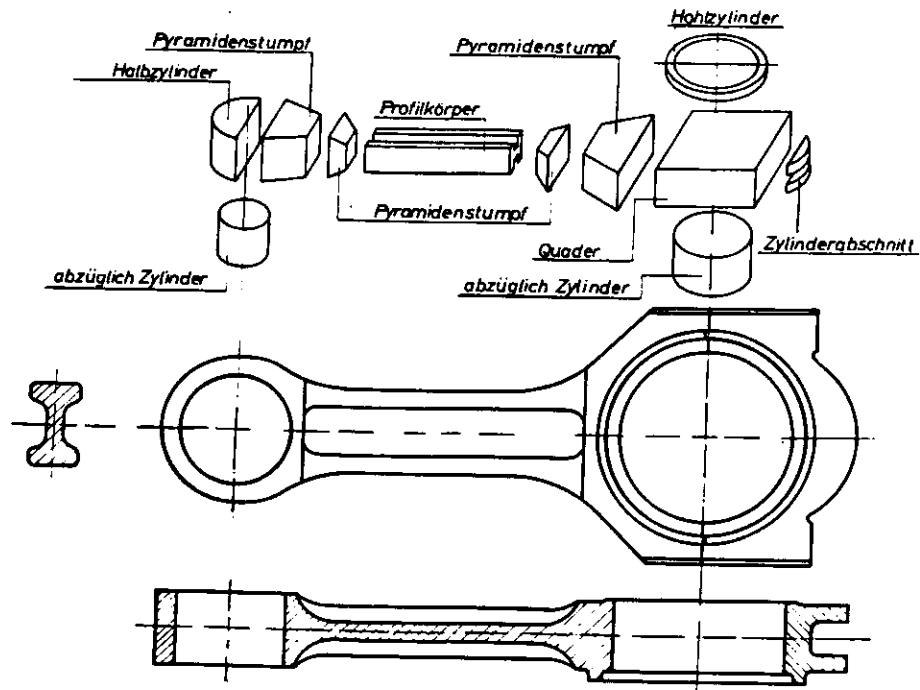


Στο Σχ.1.30 φαίνονται αναλυτικά οι απώλειες τριβών μικρών κινητήρων diesel με στροβιλοθάλαμο.

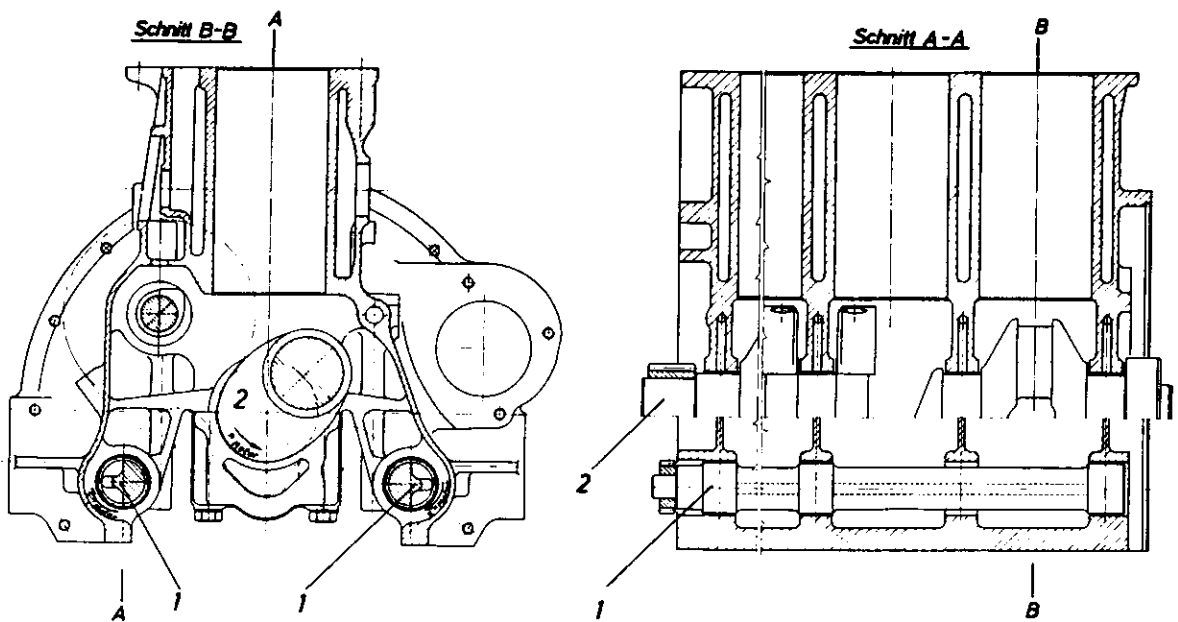


Reibungsverluste kleiner Wirbelkammermotoren (4-Zylindermotoren von 1,5 bis 2,5 l Hubvolumen) (aus Diesel Engineers and Users Association, Public, 505, März 66)

Στο Σχ.1.31 φαίνεται ο διαχωρισμός ενός διωστήρα σε απλά τμήματα, για τον υπολογισμό της αντιστάθμισης



Στο Σχ.1.32 φαίνεται η τοποθέτηση βοηθητικών ατράκτων με αντίβαρα για αντιστάθμιση αδρανειακών δυνάμεων 2ας τάξης σε ένα 4κύλινδρο κινητήρα.

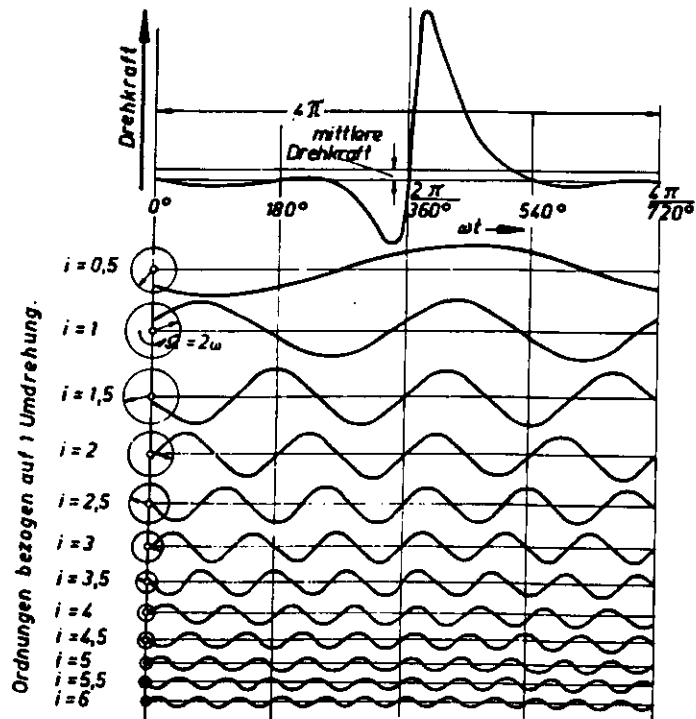


1 Welle mit Gegengewicht (Das Gegengewicht ist über die ganze Motorlänge verteilt)

2 Kurbelwelle

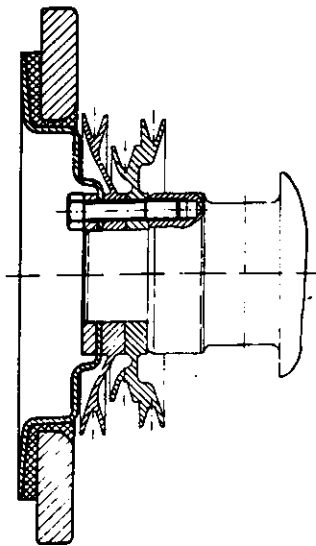
Ausgleichsgetriebe für den Ausgleich der Massenkräfte 2. Ordnung eines Vierzylinderreihenmotors

Στο Σχ.1.33 φαίνεται ο διαχωρισμός της μεταβαλλόμενης ροπής από το εργαζόμενο μέσο μέσω του εμβόλου-διωστήρα στο στροφαλοφόρο, σε αρμονικές.

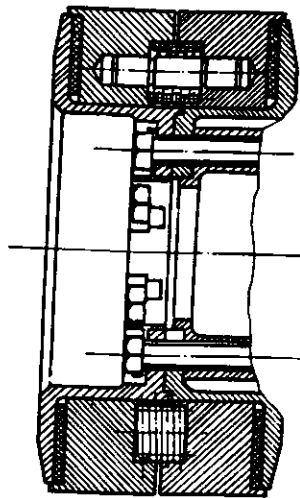


Zerlegung der Gasdrehkraft eines Viertaktmotors in die Harmonischen Schwingungen der Ordnungen $i = 0,5$ bis $i = 6$

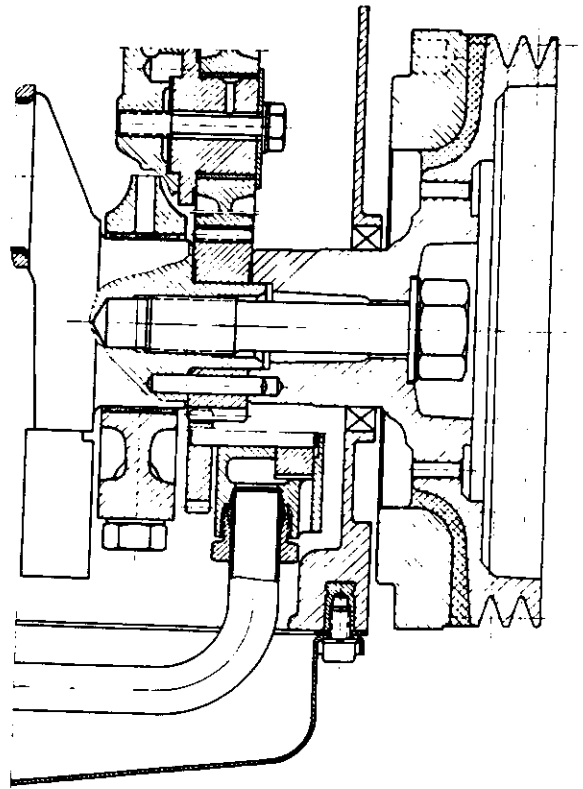
Στο Σχ.1.34 φαίνονται δύο αποσβεστήρες στρεπτικών ταλαντώσεων



Gummischwingungsdämpfer

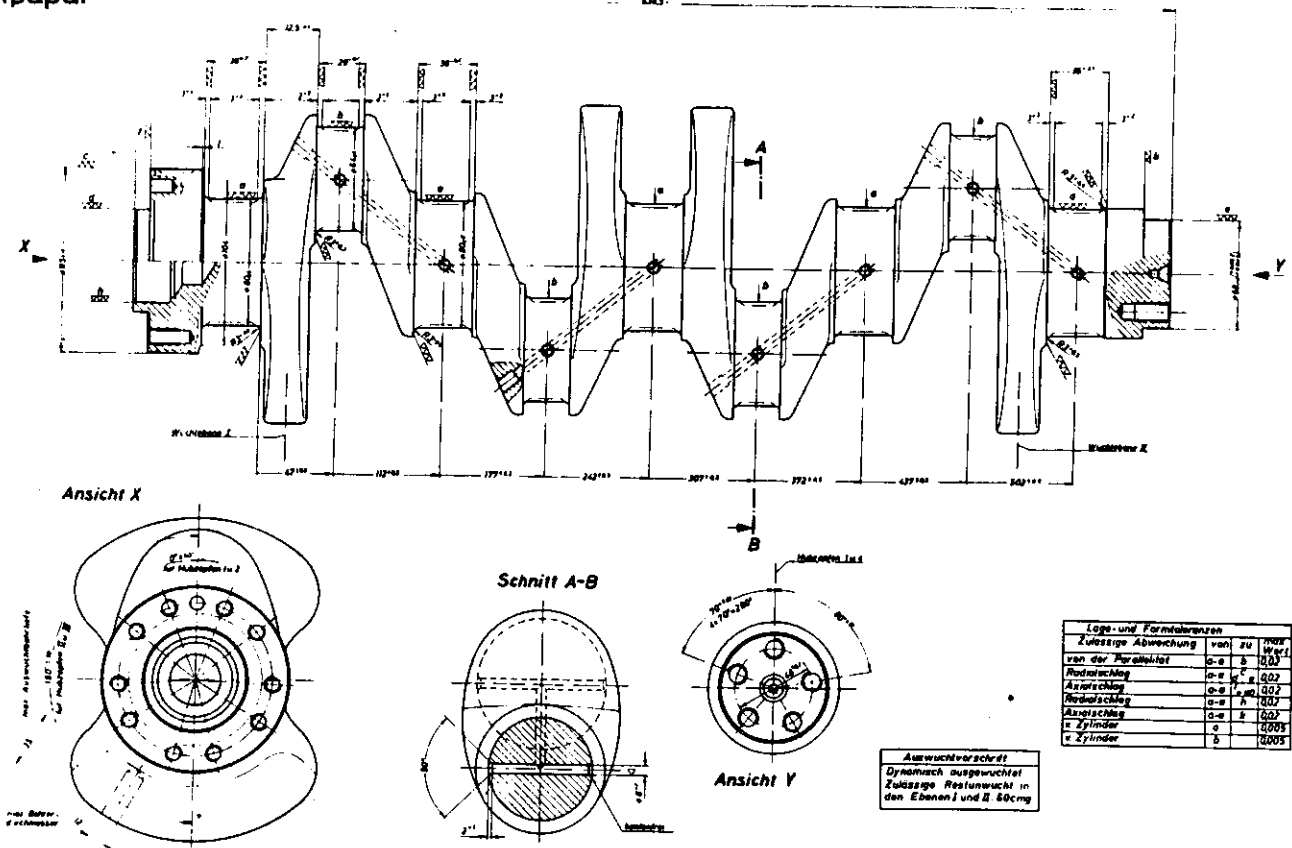


Reibungsschwingungsdämpfer



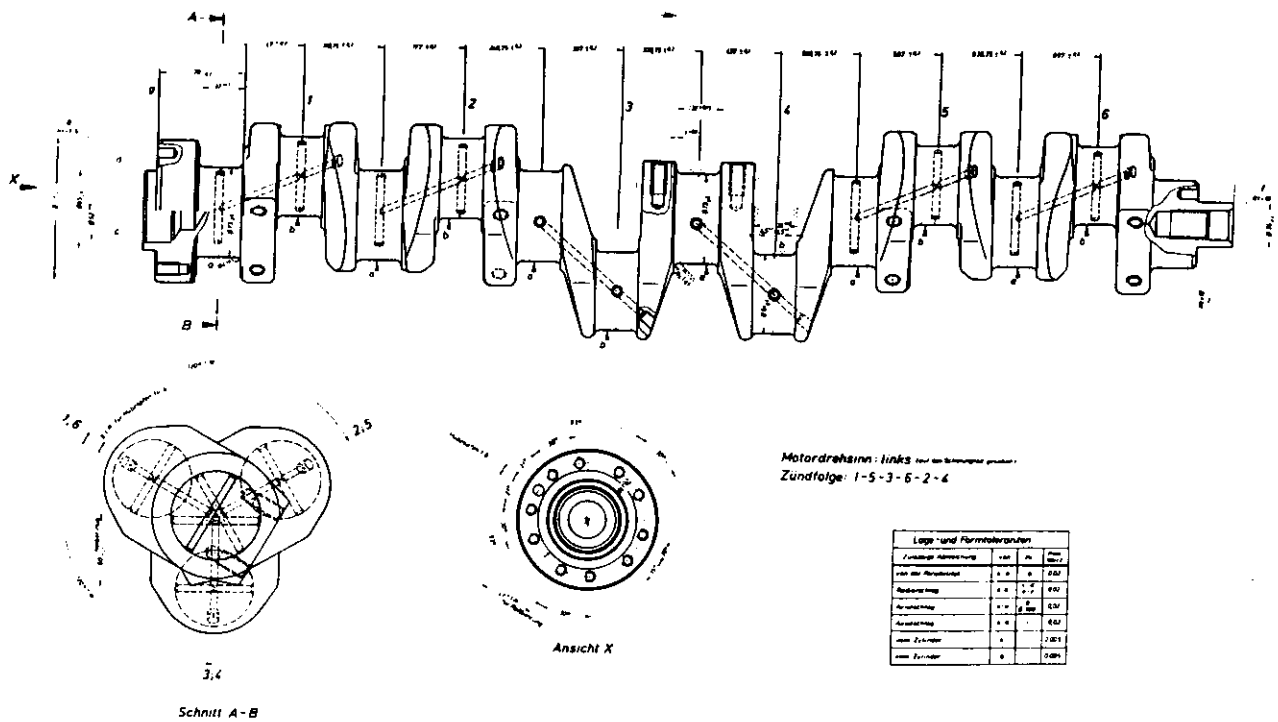
Gummischwingungsdämpfer kombiniert mit Keilriemenscheibe

Στο Σχ.1.35 φαίνεται ο στροφαλοφόρος ενός 4-κύλινδρου κινητήρα diesel με σφυρήλατα αντίβαρα.



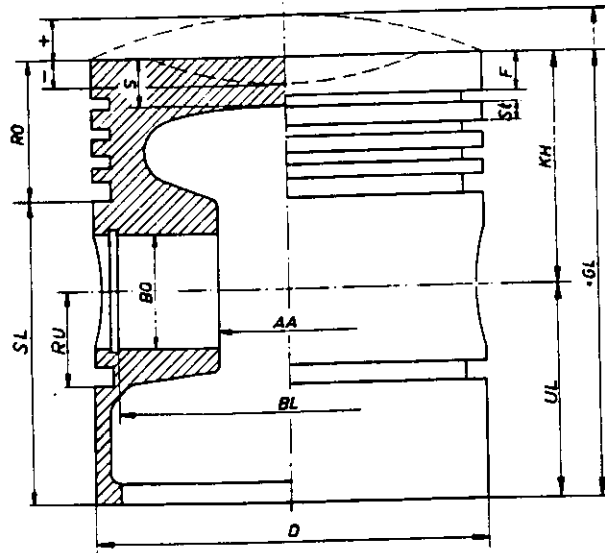
Κurbelwelle eines 4-Zylinder-Dieselmotors mit angeschmiedeten Gegengewichten (Reihenmotor)

Στο Σχ. 1.36 φαίνεται ο στροφαλοφόρος ενός 6-κύλινδρου κινητήρα με αντίβαρα στερεωμένα με κοχλίες.



Κurbelwelle eines 6-Zylinder-Dieselmotors mit unbearbeiteten Wangen und angeschraubten Gegengewichten (Reihenmotor)

Στο Σχ. 1.37 φαίνονται οι κύριες διαστάσεις ενός εμβόλου, καθώς και τα κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται σε έμβολα.



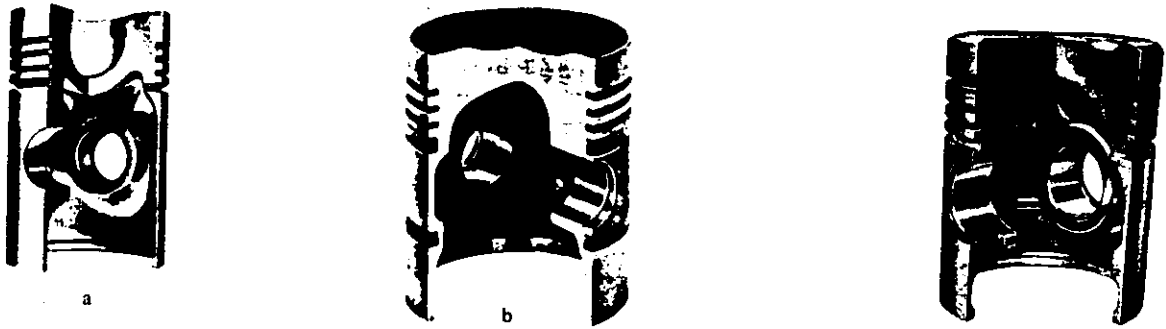
- D = Durchmesser (Zylinderdurchmesser)
- KH = Kompressionshöhe
(zusätzlich + für Überhöhung oder Nase,
- für Vertiefung)
- GL = Ganze Länge (einschließlich Überhöhung)
- AA = Augenabstand
- F = Feuersteghöhe
- RO = Ringlage oben
- RU = Ringlage unten
- S = Bodenstärke
- ST = Ringsteghöhe
- SL = Schaftlänge
- BO = Bolzendurchmesser
- BL = Bolzenlänge
- UL = Untere Länge

1. Zusammensetzung, Festigkeitsrichtwerte und physikalische Eigenschaften der Kolbenlegierungen (aus Aluminium-Taschenbuch)

Zusammensetzung von Kolbenlegierungen

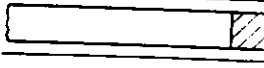
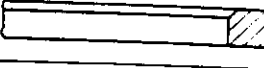
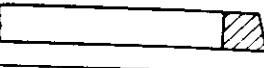
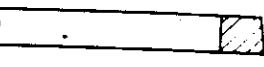
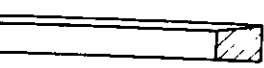
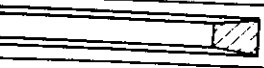

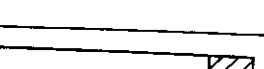
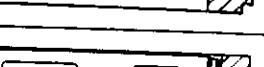
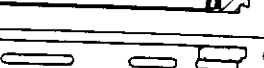
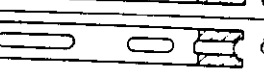
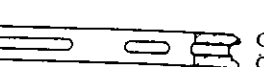
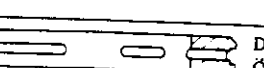
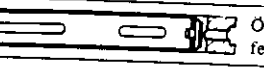

Kurzzeichen und Werksbezeichnung	Legierungsbestandteile in %					in () zul. Beimengungen in %				
	Cu	Mg	Mn	Si	Ni	Cr	Co	Fe	Ti	Zn
<i>AlSi 12 CuNi</i>										
KS 1275	0,8-1,5	0,8-1,3	(0,2)	11-13	0,8-1,3	-	-	(0,7)	(0,2)	(0,2)
MAHLE 124										
NÜRAL 3210										
<i>AlSi CuNi</i>										
KS 281.1	0,8-1,5	0,8-1,3	(0,2)	17-19	0,8-1,3	-	-	(0,7)	(0,2)	(0,2)
MAHLE 138										
NÜRAL 1761										
<i>AlSi 21 CuNi</i>										
KS 280	1,4-1,8	0,4-0,6	0,6-0,8	20-22	1,4-1,6	-	(0,7)	(0,7)	(0,2)	(0,2)
<i>AlSi 25 CuNi</i>										
KS 282	0,8-1,5	0,8-1,3	(0,2)	23-26	0,8-1,3	-	(0,5)	(0,7)	(0,2)	(0,2)
MAHLE 244										
NÜRAL 2361										

Στο Σχ.1.38 φαίνονται κάποιες διαμορφώσεις σε έμβολα.

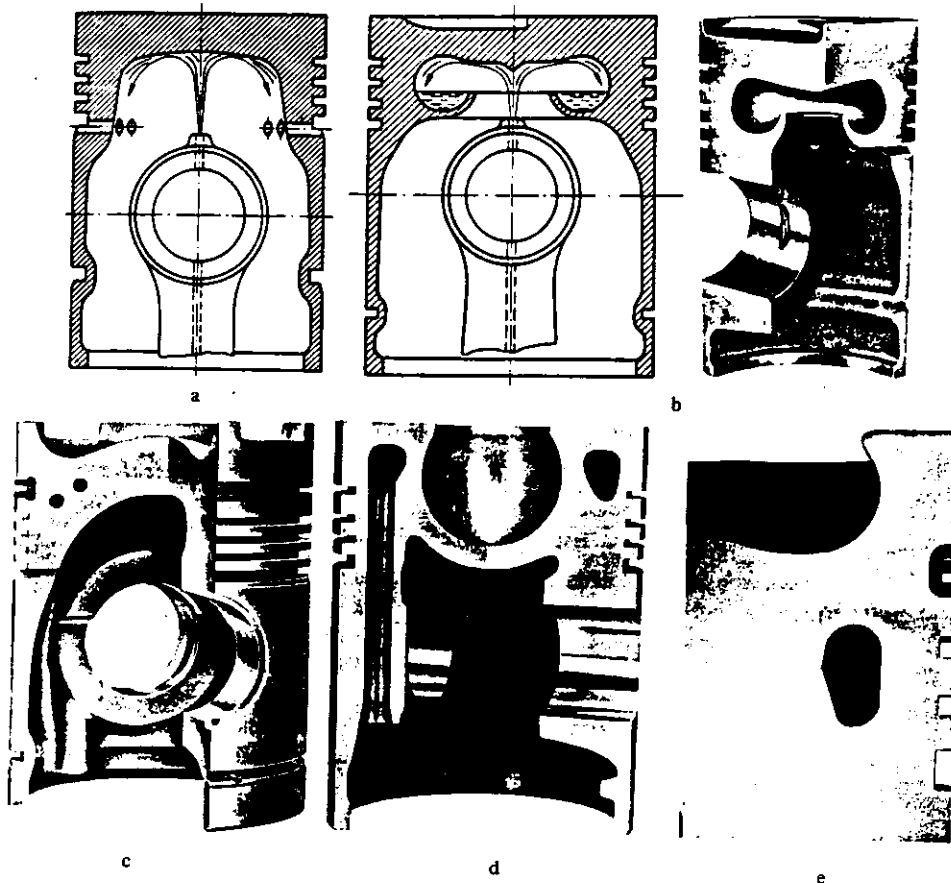


Abstützung des Kolbenbolzenauges durch Rippen (a) und Blockabstützung (b) Ringträgerkolben [90]

Στο Σχ.1.39 φαίνονται διάφορα είδη ελατηρίων για έμβολα.

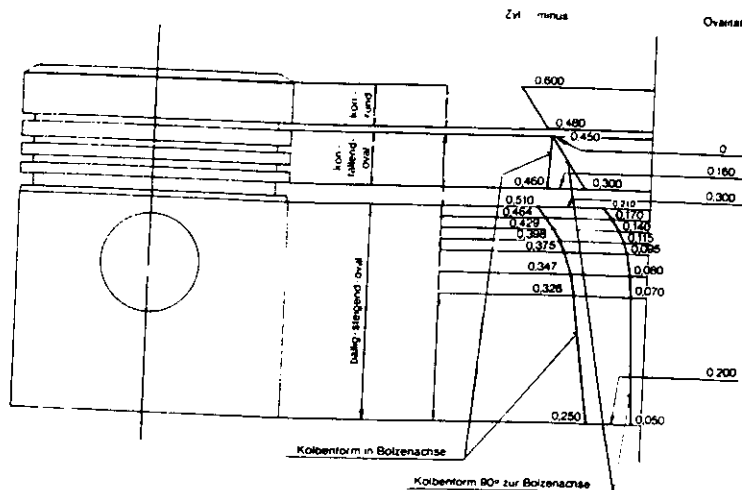
Kolbenringformen	Kurzzeichen	Einbauvorschrift
 Rechteckring (Kompressionsring)	R	Kann in beiden Richtungen eingebaut werden
 Rechteckring mit Innenfase (Innenfasenring)	IF	Die Fase liegt in Richtung Kolbenboden
 Minutenring	M	Die mit „TOP“ bezeichnete Ringflanke liegt in Richtung Kolbenboden
 Schwachminutenring	SM	Die mit „TOP 2“ bezeichnete Ringflanke liegt in Richtung Kolbenboden
 Trapezring (einseitig)	Tr	Die konische Ringflanke liegt in Richtung Kolbenboden
 Trapezring (doppelseitig)	Tr	Kann in beiden Richtungen eingebaut werden
 Lamellenringe	La	Oberster Ring muß mit der hohlen Seite nach unten und unterster Ring mit der hohlen Seite nach oben montiert werden
 Nasenring	N	Der ausgedrehte Winkel liegt in Richtung offenes Schaftende
 Nasenring mit Expanderfeder	N/Exp.	Der ausgedrehte Winkel liegt in Richtung offenes Schaftende
 Ölschlitzring (normal)	O	Kann in beiden Richtungen eingebaut werden
 Ölbreitschlitzring	BS	Kann in beiden Richtungen eingebaut werden
 Gleichfasen-Ölschlitzring	GF	Die Fase an den beiden Laufflächen und das Topzeichen liegen in Richtung Kolbenboden
 Dachfasen-Ölschlitzring	DF	Kann in beiden Richtungen eingebaut werden
 Ötring mit Expanderfeder	O/Exp.	Kann in beiden Richtungen eingebaut werden
 Schlauchfeder-Ölschlitzring	S	Schlauchfeder-Ölschlitzringe gibt es in den Ausführungen Normal, BS, GF und DF

Στο Σχ.1.40 φαίνονται διάφοροι τύποι εμβόλων, και στο Σχ.1.41 ένα παράδειγμα προφίλ κατεργασίας εμβόλου.



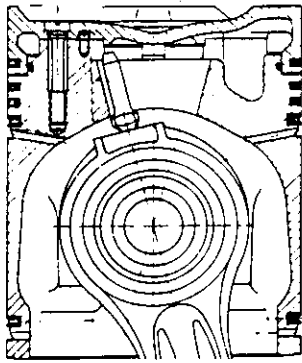
Ausführungsformen der Kolbenkühlung (nach Unterlagen der Firma Mahle KG und [50; 66])

- a) Spritzkühlung
- b) Shakerkühlung
- c) Kühlschlangenkolben
- d) Kolben mit eingegossenem Kühlkanal
- e) Elektronenstrahlgeschweißter Kühlkanalkolben

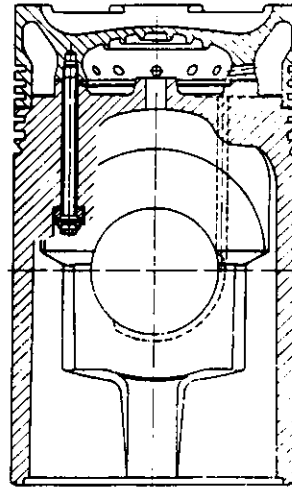
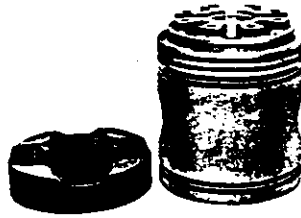


Beispiel eines Kolbenbearbeitungsprofils [90]

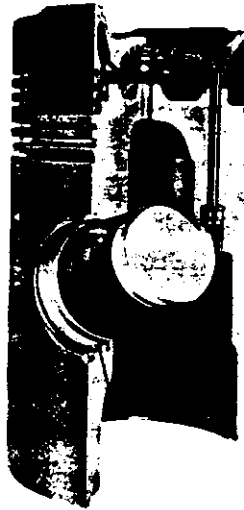
Στο Σχ.1.42 φαίνονται σύνθετα έμβολα.



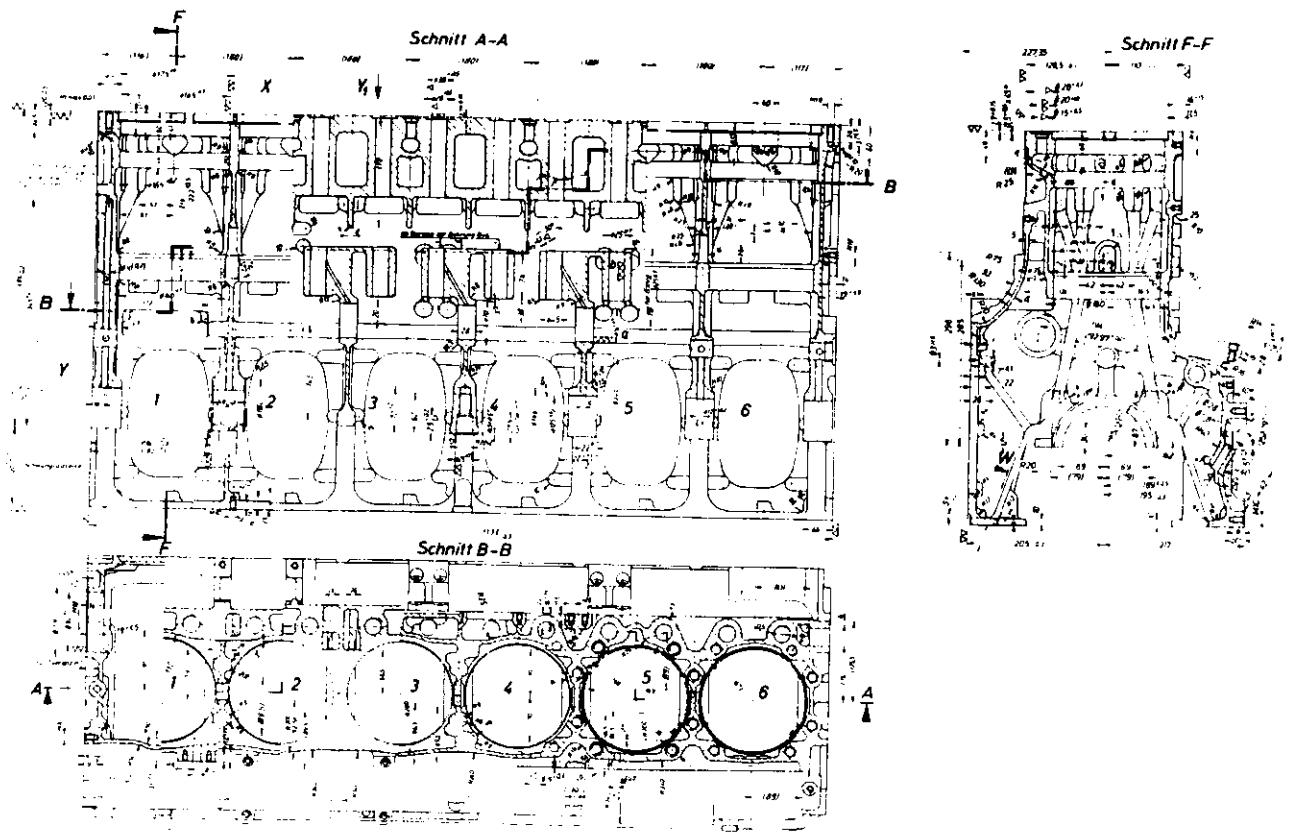
Gebauter gekühlter Kolben mit Verschraubung des Bodens von außen



Gebauter gekühlter Kolben mit Verschraubung des Bodens von innen

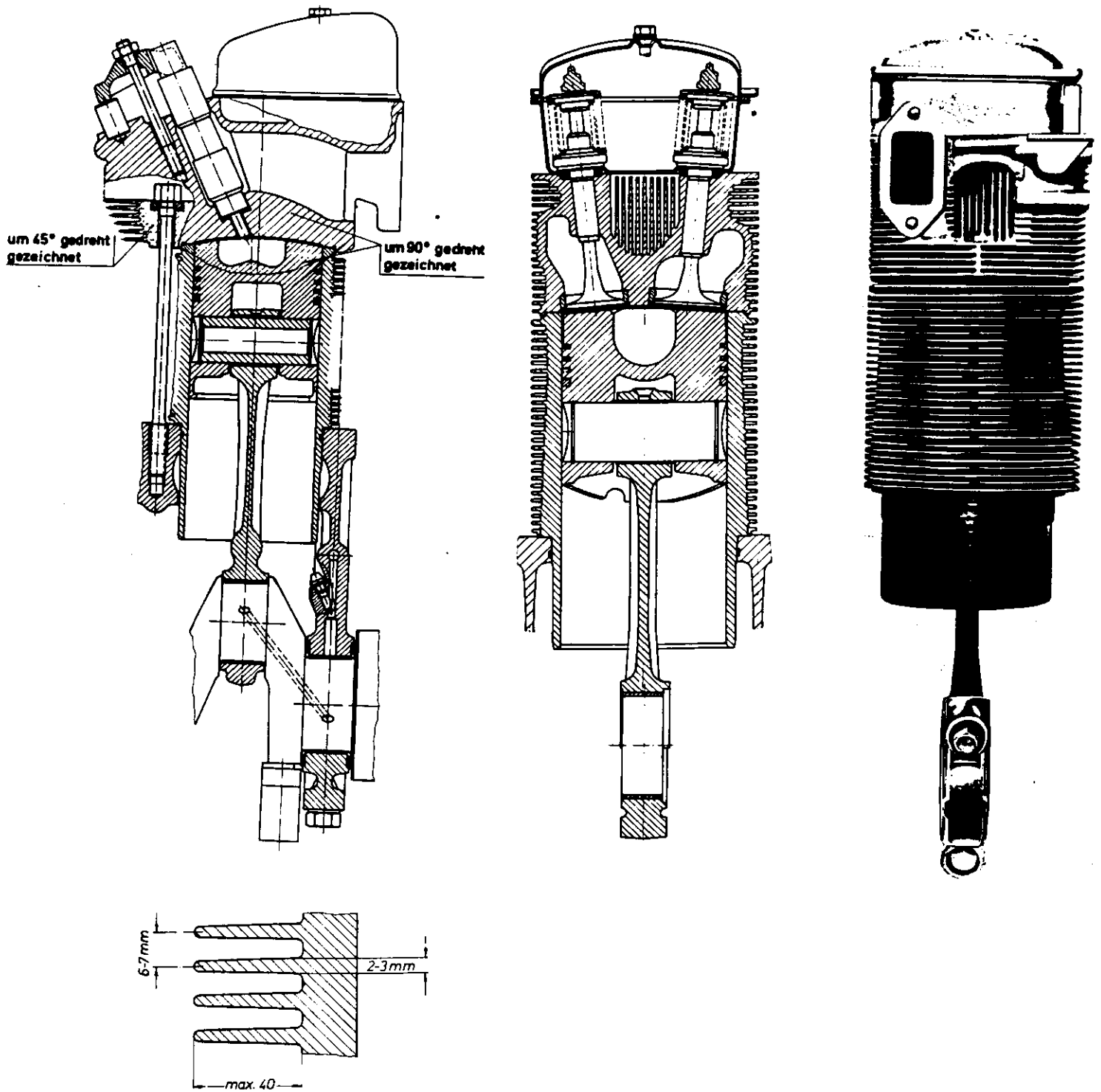


Στο Σχ.1.43 φαίνεται το σώμα μίας θκύλινδρης μηχανής με υγρά κυλινδροχιτώνια.



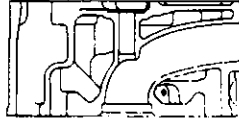
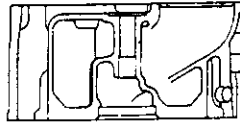
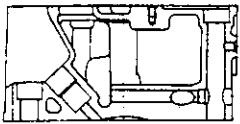
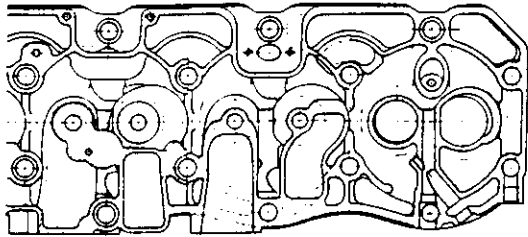
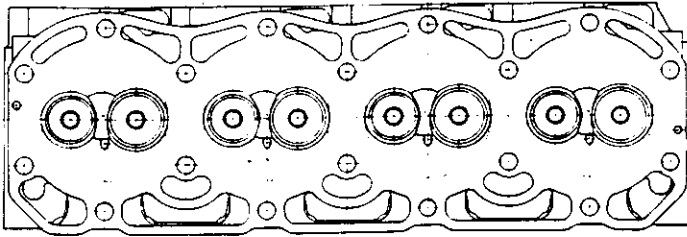
Kurbelgehäuse eines wassergekühlten Reihenmotors ($V_{hZyl} = 2,53 \text{ l}$) mit nassen Zylinderbüchsen

Στο Σχ.1.44 φαίνεται ο τρόπος κατασκευής ενός αερόψικτου κινητήρα με χρήση modul κυλίνδρων.

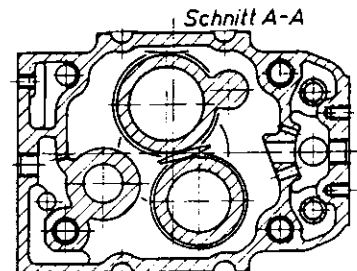
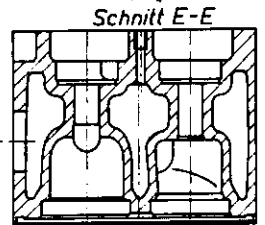
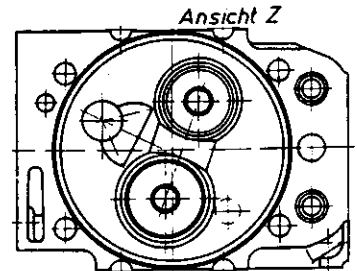
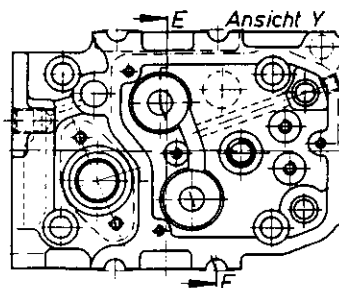
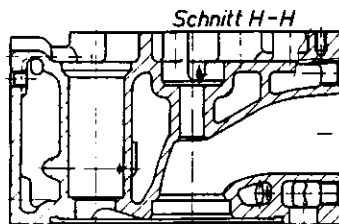
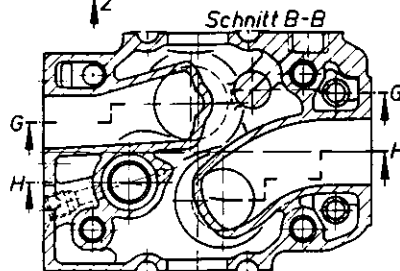
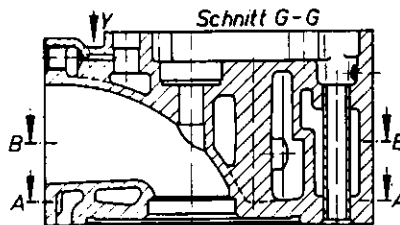


Ausbildung der Kühlrippen eines luftgekühlten Zylinders aus Guß Eisen

Στο Σχήμα 1.45 φαίνονται δύο κυλινδροκεφαλές.

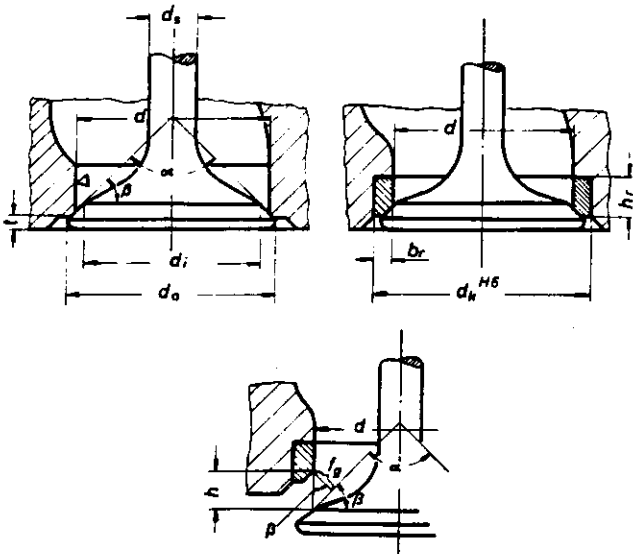


Blockzylinderkopf für einen wassergekühlten Motor

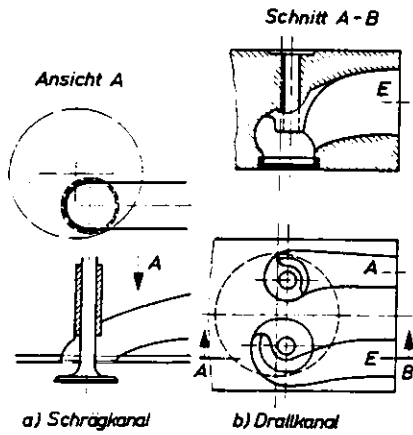


Wassergekühlter Einzelzylinderkopf eines Vorkammermotors

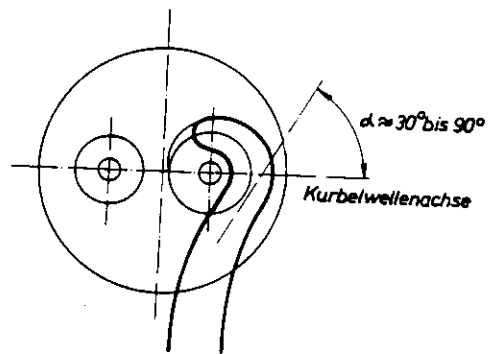
Στο Σχ.1.46 φαίνονται διαμορφώσεις σε βαλβίδες και έδρες τους.



Ausbildung der Ventilsitzpartie im Zylinderkopf

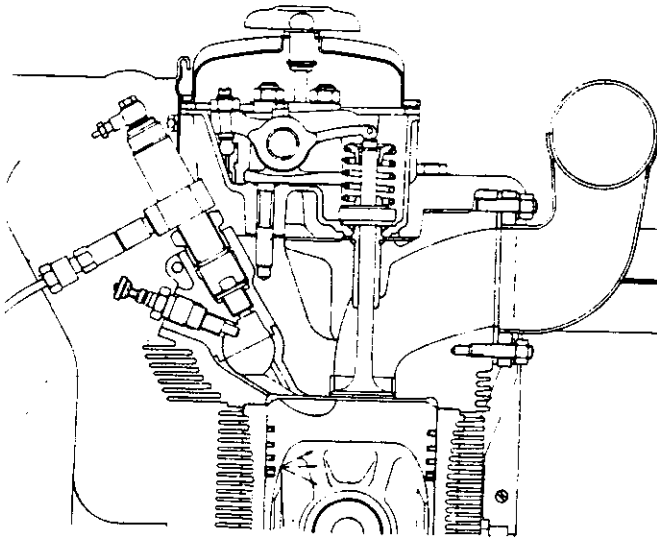


Schematische Darstellung von Einlaßkanälen, die eine Drehung der Verbrennungsluft bewirken

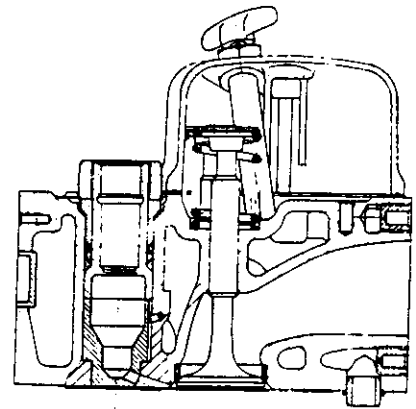


Lage des Drallkanals zur Kurbelwellenachse

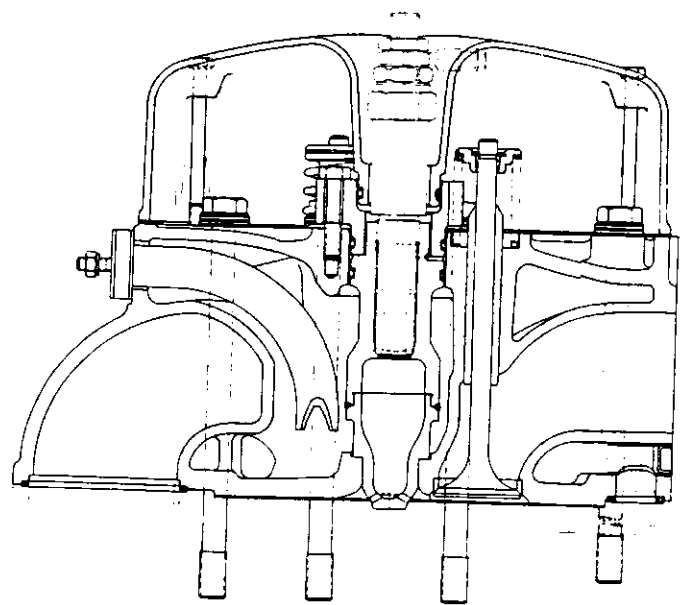
Στο Σχ. 1.47 φαίνεται ένας αερόψυκτος κινητήρας diesel με στροβιλοθάλαμο.



Schnitt durch die Zylindereinheit eines luftgekühlten Wirbelkammermotors



a

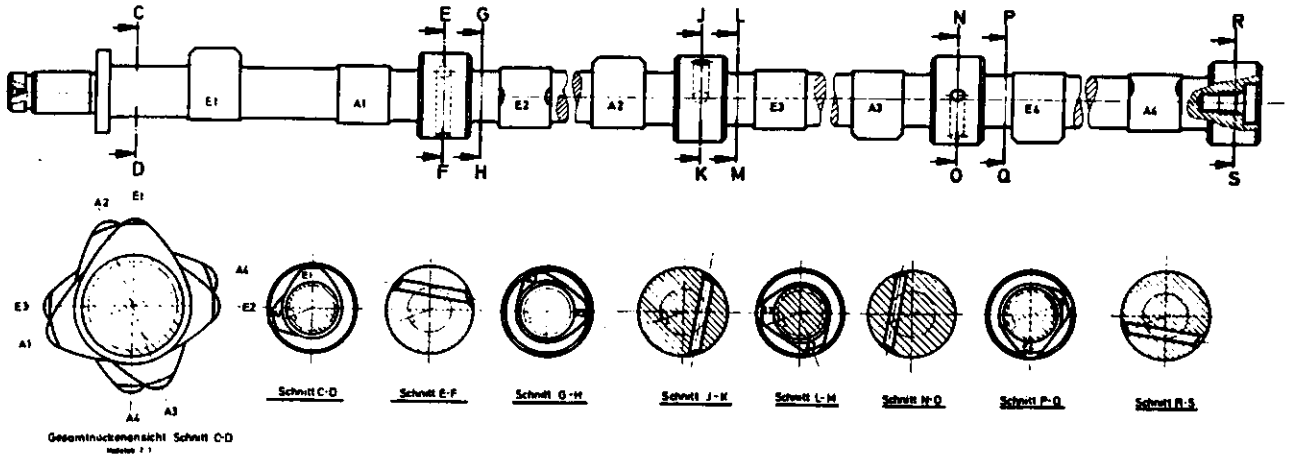


b

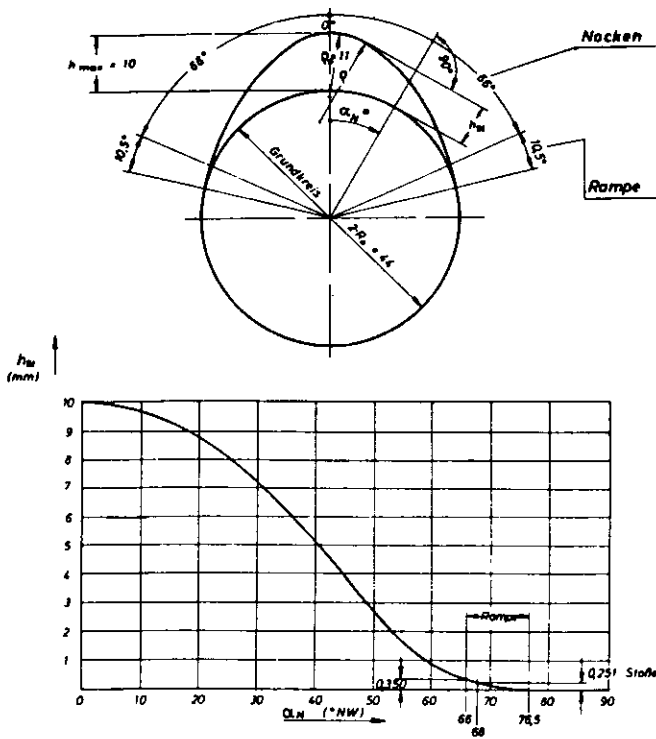
Vorkammerausführungen schnelllaufender Dieselmotoren

- a) Vorkammer eines Dieselmotors mit einem Zylinderhubvolumen von 2,3 l.
n = 2000 U/min (2-Ventilkopf)
- b) Vorkammer eines Dieselmotors mit einem Zylinderhubvolumen von 6 l.
n = 1500 U/min (4-Ventilkopf)

Στο Σχ. 1.48 φαίνεται ένας εκκεντροφόρος για 4-κύλινδρο κινητήρα, καθώς και ένας πίνακας για την καταργασία ενός εκκέντρου.



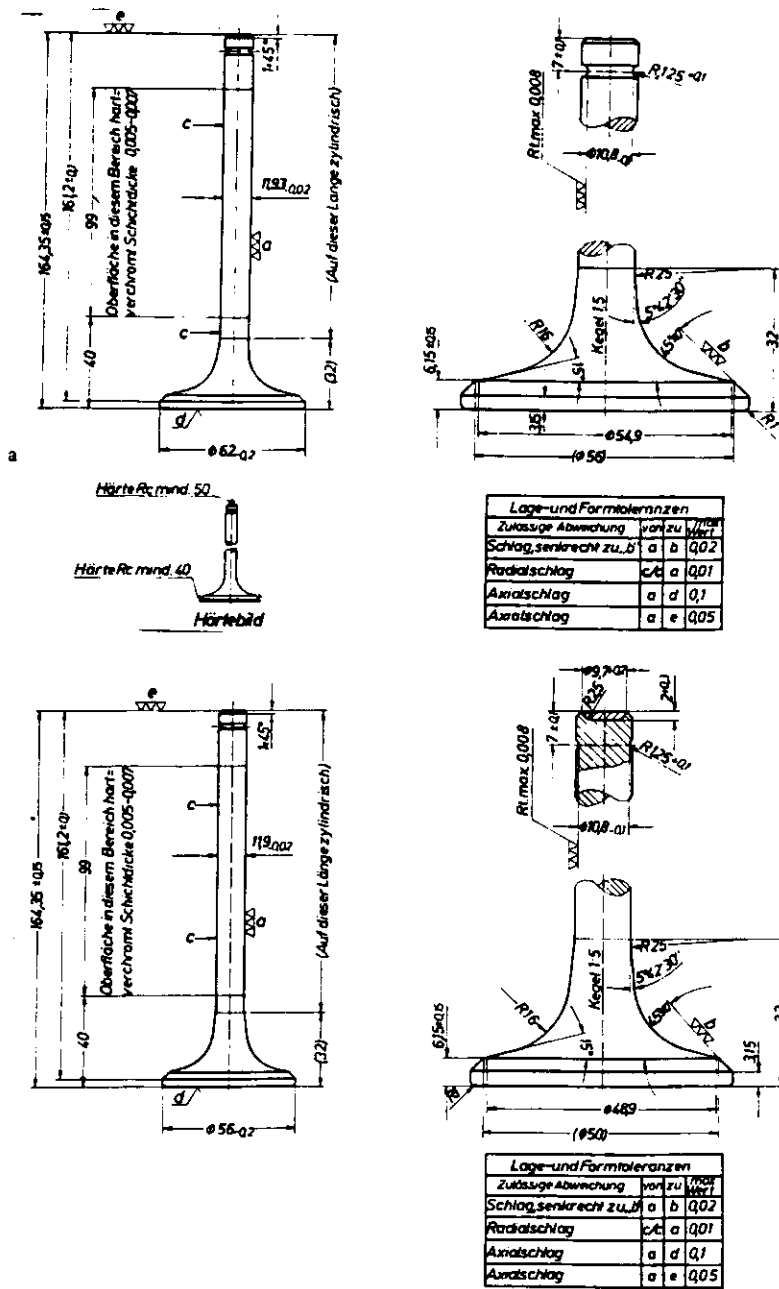
Zeichnung der Nockenwelle für einen 4-Zylindermotor



α_N	h_{m1}	\dot{Q}	α_N	h_{m2}	\dot{Q}	α_N	h_{m3}	\dot{Q}
0.00	10.000	11.00	30.50	7.095	11.25	61.00	4.684	76.45
0.50	9.999	11.00	31.00	7.002	11.39	61.50	4.645	76.40
1.00	9.993	11.00	31.50	6.907	11.54	62.00	4.600	76.33
1.50	9.993	11.00	32.00	6.810	11.70	62.50	4.560	76.24
2.00	9.991	11.00	32.50	6.713	11.86	63.00	4.522	76.14
2.50	9.980	11.00	33.00	6.614	12.03	63.50	4.488	76.03
3.00	9.971	11.00	33.50	6.514	12.22	64.00	4.457	75.91
3.50	9.961	11.00	34.00	6.412	12.42	64.50	4.428	75.78
4.00	9.949	11.00	34.50	6.310	12.64	65.00	4.401	75.64
4.50	9.935	11.00	35.00	6.206	12.87	65.50	4.375	75.49
5.00	9.920	11.00	35.50	6.100	13.12	66.00	4.350	75.33
5.50	9.903	11.00	36.00	5.994	13.39	66.50	4.325	75.16
6.00	9.885	11.00	36.50	5.886	13.68	67.00	4.300	74.98
6.50	9.865	11.00	37.00	5.777	14.00	67.50	4.276	74.79
7.00	9.843	11.00	37.50	5.668	14.34	68.00	4.251	74.59
7.50	9.820	11.00	38.00	5.558	14.70	68.50	4.227	74.38
8.00	9.796	11.00	38.50	5.444	15.08	69.00	4.204	74.16
8.50	9.769	11.00	39.00	5.325	15.49	69.50	4.181	73.93
9.00	9.741	11.00	39.50	5.211	15.93	70.00	4.160	73.68
9.50	9.712	11.00	40.00	5.102	16.40	70.50	4.139	73.42
10.00	9.681	11.00	40.50	4.988	16.90	71.00	4.119	73.15
10.50	9.648	11.00	41.00	4.868	17.43	71.50	4.100	72.87
11.00	9.614	11.00	41.50	4.750	18.00	72.00	4.083	72.58
11.50	9.578	11.00	42.00	4.632	18.60	72.50	4.067	72.28
12.00	9.541	11.00	42.50	4.512	19.23	73.00	4.052	71.97
12.50	9.502	11.00	43.00	4.392	19.89	73.50	4.039	71.65
13.00	9.462	11.00	43.50	4.271	20.59	74.00	4.027	71.32
13.50	9.420	11.00	44.00	4.150	21.33	74.50	4.018	70.98
14.00	9.376	11.00	44.50	4.029	22.11	75.00	4.010	70.63
14.50	9.331	11.00	45.00	3.907	22.93	75.50	4.005	70.27
15.00	9.284	11.00	45.50	3.784	23.80	76.00	4.001	69.90
15.50	9.236	11.00	46.00	3.662	24.72	76.50	4.000	69.52
16.00	9.187	11.00	46.50	3.540	25.68			
16.50	9.135	11.00	47.00	3.417	26.68			
17.00	9.082	11.00	47.50	3.295	27.71			
17.50	9.026	11.00	48.00	3.173	28.77			
18.00	8.972	11.00	48.50	3.052	29.87			
18.50	8.915	11.00	49.00	2.931	31.00			
19.00	8.856	11.01	49.50	2.811	32.16			
19.50	8.796	11.01	50.00	2.692	33.34			
20.00	8.734	11.01	50.50	2.574	34.55			
20.50	8.670	11.01	51.00	2.458	35.78			
21.00	8.605	11.01	51.50	2.343	37.04			
21.50	8.539	11.02	52.00	2.229	38.32			
22.00	8.471	11.02	52.50	2.118	39.62			
22.50	8.402	11.02	53.00	2.008	40.94			
23.00	8.331	11.02	53.50	1.901	42.28			
23.50	8.258	11.03	54.00	1.796	43.64			
24.00	8.185	11.03	54.50	1.694	45.01			
24.50	8.109	11.04	55.00	1.595	46.40			
25.00	8.033	11.04	55.50	1.499	47.80			
25.50	7.955	11.05	56.00	1.407	49.21			
26.00	7.875	11.06	56.50	1.318	50.64			
26.50	7.794	11.07	57.00	1.232	52.08			
27.00	7.712	11.08	57.50	1.150	53.54			
27.50	7.628	11.10	58.00	1.073	55.01			
28.00	7.542	11.11	58.50	0.999	56.49			
28.50	7.456	11.13	59.00	0.929	58.00			
29.00	7.368	11.15	59.50	0.864	59.52			
29.50	7.278	11.18	60.00	0.803	61.06			
30.00	7.187	11.21	60.50	0.746	62.62			

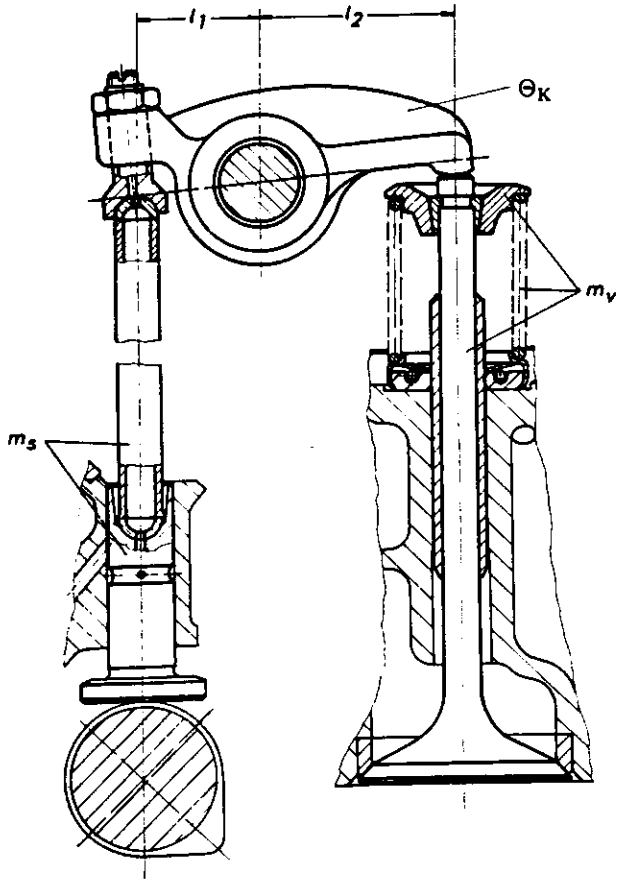
Zeichnung der Nockenform für einen schnelllaufenden Dieselmotor mit einem Zylinderhubvolumen von 6 l ($n_{mot} = 1500$ U/min)

Στο Σχ. 1.49 φαίνονται τα σχέδια βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής.

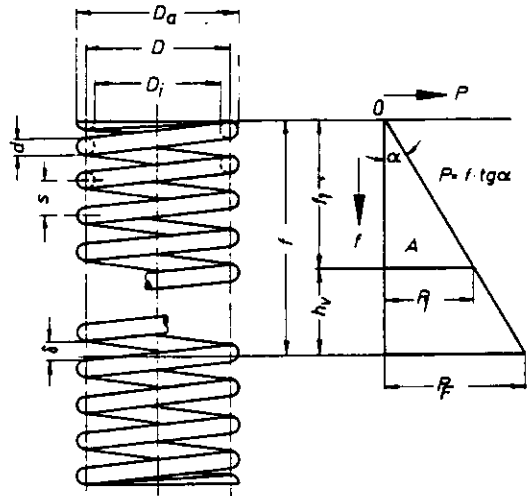


Zeichnung eines Einlaßventils (a) und eines Auslaßventils (b)

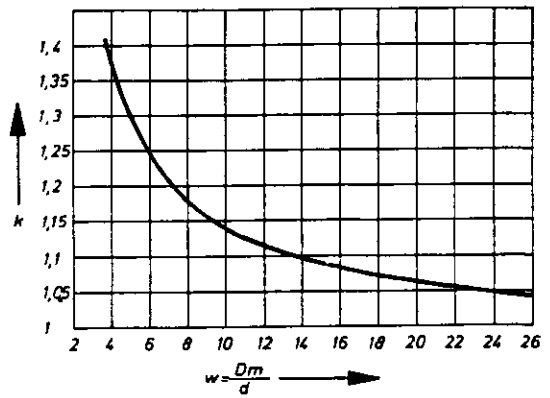
Στο Σχ. 1.50 δίνονται στοιχεία υπολογισμού των ελατηρίων της βαλβίδας.



Zur Berechnung der auf das Ventil bezogenen Masse m_v des Ventiltriebs



Zur Berechnung der Ventilfeeder



Korrekturfaktor k für Torsionsbeanspruchung gekrümmter Stäbe (nach Scherdel-Federfibel)

Στο Σχ. 1.51 δίνονται στοιχεία για τα υλικά κατασκευής βαλβίδων.

Die gebräuchlichsten Ventilwerkstoffe
(nach Unterlagen der Firma ATE -
Teves, Thompson & Co. GmbH)

Werkstoff-Nr. nach DIN 17 007 Bl. 2 Kurzname nach DIN 17 006 Kurzbezeichnung	1.4718 X 45 Cr Si 9 Cr Si Stahl	1.4748 X 85 Cr Mo V 182 Cromo 193	1.4873 X 45 Cr Ni W 189 aust. Cr Ni Stahl	1.4871 X 50 Cr Mn Ni 229 21-4N	1.4875 X 55 Cr Mn Ni 208 21-2	1.4971 X 12 Cr Co Ni 2120 [ATS 105]	1.4631 Ni Cr 20 Ti Al [ATS 240] [Nimonic 80 A]
---	---------------------------------------	---	---	--------------------------------------	-------------------------------------	---	---

Anwendungsgebiet

Einlaßventil und Auslaßventil niedriger Beanspruchung	Einlaßventil höherer Beanspruchung und Auslaßventil bei guter Zunder- beständigkeit, Verschleißfestig- keit und Gleiteigenschaft	Auslaßventil höherer Beanspruchung (hohe Warm- festigkeit)	Auslaßventil sehr hoher Beanspruchung und hoher Warmfestigkeit bei gleichzeitiger Korrosionsbeständigkeit	Auslaßventil höchster Beanspruchung
--	---	--	---	-------------------------------------

Analyse

C	0,48	0,85	0,45	0,50	0,55	0,12	0,07
Si	3,10	-	2,50	max. 0,25	max. 1,00	-	-
Mn	0,45	1,25	1,20	9,00	8,25	-	-
Cr	9,00	17,50	18,00	21,00	20,00	21,00	20,00
Ni	-	-	9,00	3,30	2,00	20,00	72,00
Mo	-	2,35	-	-	-	3,20	-
W	-	-	1,00	-	-	2,50	-
V	-	0,50	-	-	-	-	-
N	-	-	-	0,50	0,30	0,15	-
Co	-	-	-	-	-	20,00	-
Nb	-	-	-	-	-	1,00	-
Al	-	-	-	-	-	-	1,40
Ti	-	-	-	-	-	-	2,40

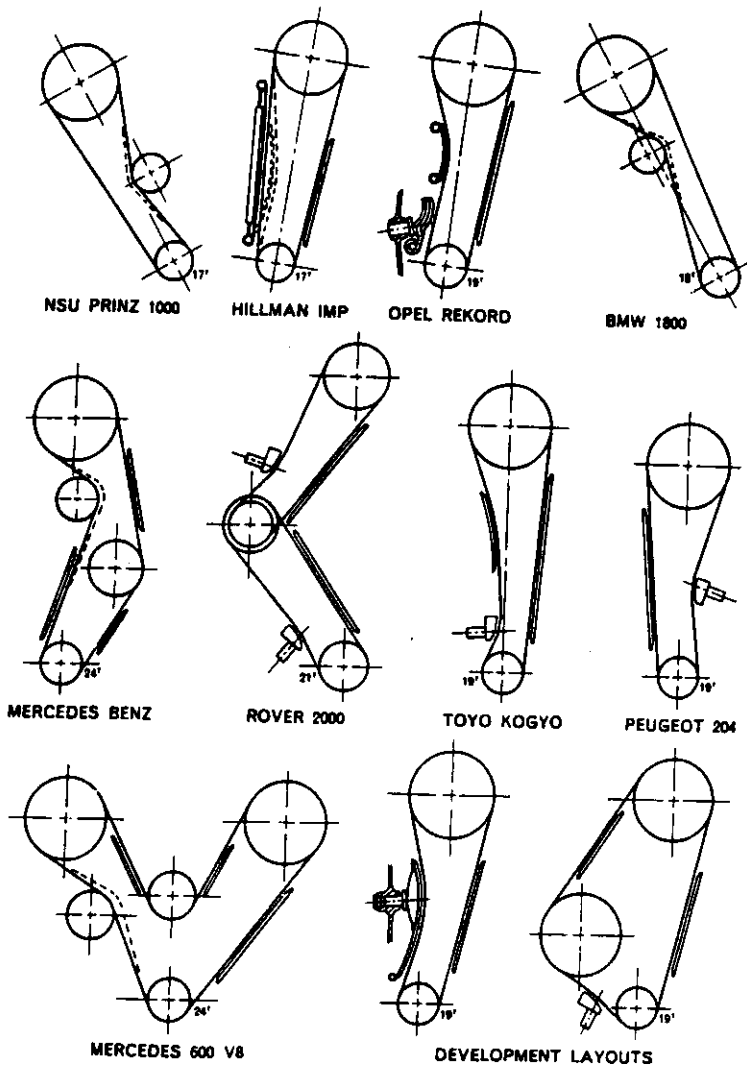
Festigkeitseigenschaften

Zugfestigkeit	90 - 105 kp/mm ²	100 - 120 kp/mm ²	mind. 80 kp/mm ²	mind. 100 kp/mm ²	70 - 95 kp/mm ²	mind. 100 kp/mm ²
Streckgrenze (kalt)	75 kp/mm ²	90 kp/mm ²	45 kp/mm ²	70 kp/mm ²	mind. 35 kp/mm ²	60 kp/mm ²
Bruchdehnung L = 5 d	12%	10%	35%	10%	20%	20%
Warmstreck- grenze						
500° C	46 kp/mm ²	50 kp/mm ²	30 kp/mm ²	35 kp/mm ²	25 kp/mm ²	55 kp/mm ²
600° C	24 kp/mm ²	28 kp/mm ²	28 kp/mm ²	30 kp/mm ²	24 kp/mm ²	55 kp/mm ²
760° C	10 kp/mm ²	12 kp/mm ²	20 kp/mm ²	25 kp/mm ²	22 kp/mm ²	54 kp/mm ²
Härtannahme Rc am Schaltende	mind. 55	mind. 50	nicht härbar	nach Ausscheidungshärtung	800° C 16 kp/mm ² 900° C 10 kp/mm ²	800° C 43 kp/mm ² 900° C 20 kp/mm ²
am Sitz	mind. 42	mind. 42		mind. 32 Rc	nicht härbar	
am Einstich Rc 62,5 kp	mind. 71	mind. 71				

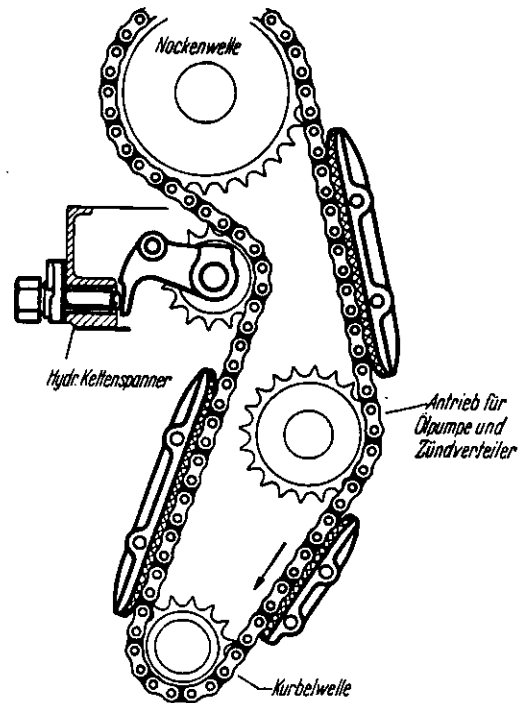
Physikalische Eigenschaften

Spez. Gewicht	7,6 g/cm ³	7,8 g/cm ³	8,0 g/cm ³	7,8 g/cm ³	7,8 g/cm ³	8,25 g/cm ³	8,17 g/cm ³
Wärme- leitfähigkeit	0,05 cal/cm sec °C	0,05 cal/cm sec °C	0,035 cal/cm sec °C	0,035 cal/cm sec °C	0,035 cal/cm sec °C	0,03 cal/cm sec °C	0,029 cal/cm sec °C
Mittlerer Wärme- ausdehnungs- koeffizient 20-800° C	13 x 10 ⁻⁶	12 x 10 ⁻⁶	19 x 10 ⁻⁶	18,5 x 10 ⁻⁶	18,5 x 10 ⁻⁶	17,6 x 10 ⁻⁶	15,1 x 10 ⁻⁶

Στο Σχ. 1.52 φαίνονται διάφορες διατάξεις οδήγησης επικεφαλής εκκεντροφόρων.

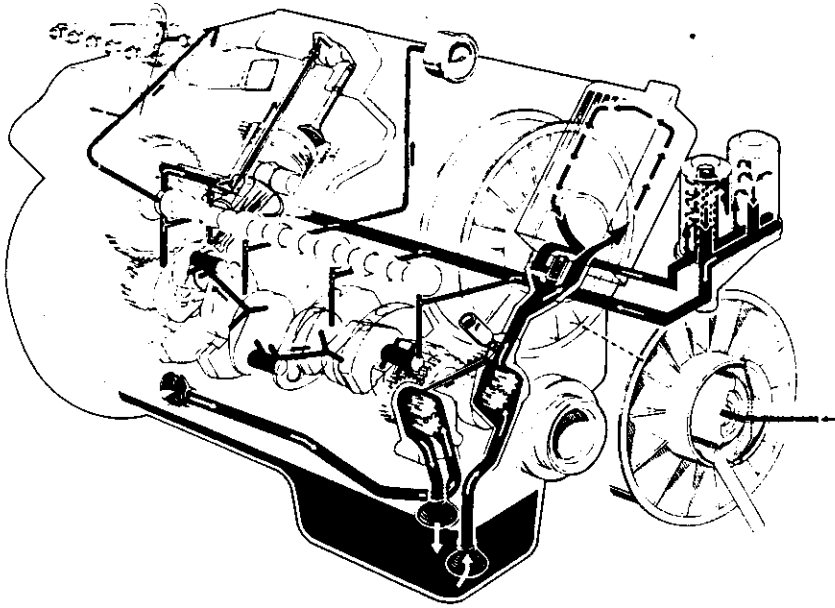


Σchematische Anordnung von Kettentrieben einiger Ottomotoren mit obenliegender Nockenwelle [159]



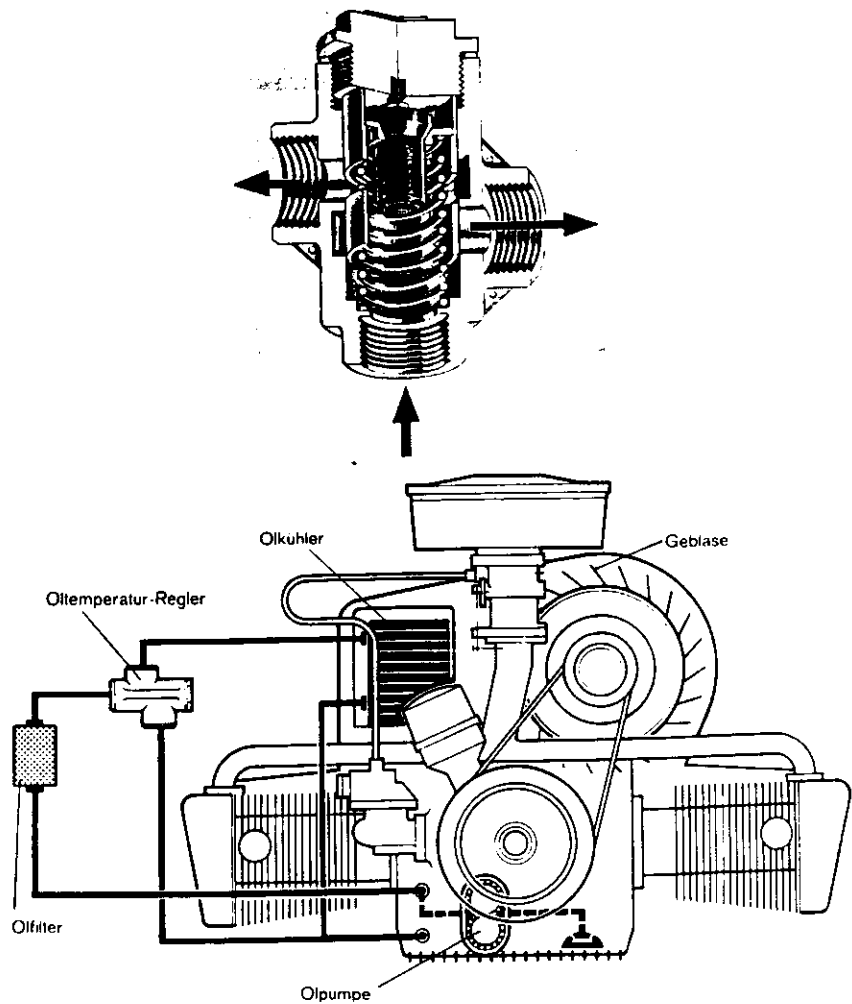
Kettentrieb für einen PKW-Motor [148]

Στο Σχ. 1.53 φαίνεται το κύκλωμα λίπανσης ενός αερόψυκτου κινητήρα V.



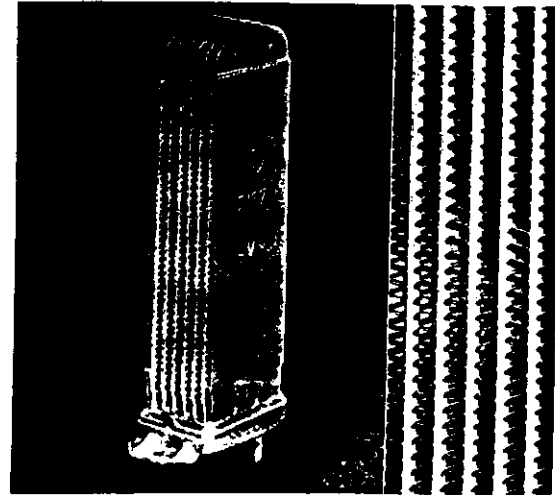
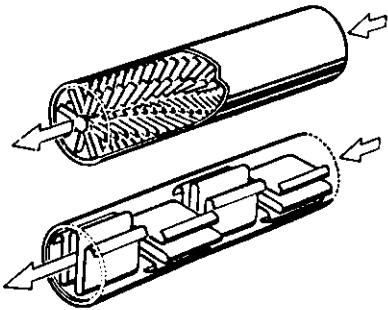
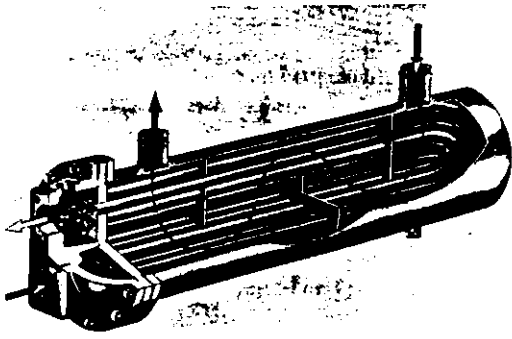
Schmierölkreislauf eines luftgekühlten V-Motors

Στο Σχ. 1.54 φαίνεται ένα σύστημα θερμοστατικού ελέγχου της θερμοκρασίας λαδιού.



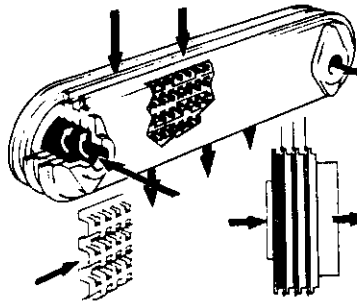
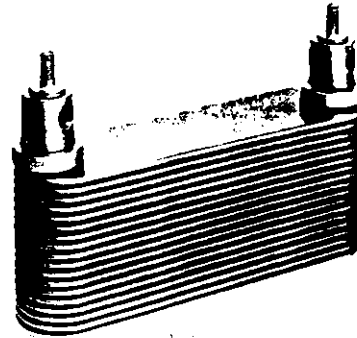
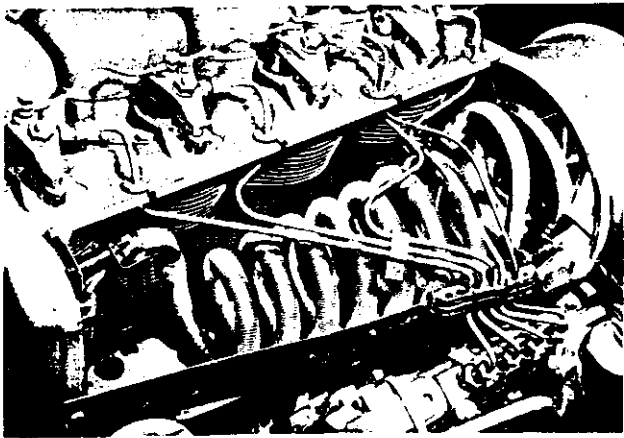
Behr-Thomson-Dehnstoffregler zur thermostatischen Regelung der Schmieröltemperatur (und Schaltbild des zugehörigen Schmierölkreislaufs)

Στο Σχ. 1.55 φαίνονται διάφοροι τύποι ψυγείων λαδιού.



Luftgekühlter Ölkühler (Werkfoto Kühlerfabrik Längerer & Reich, Stuttgart)

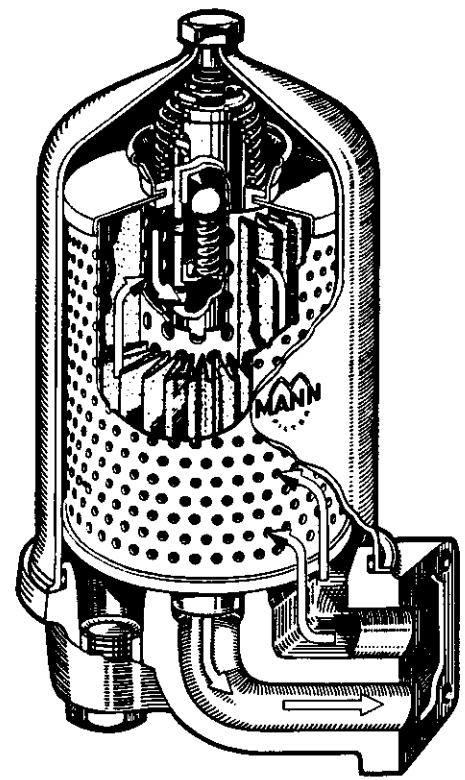
Rohrbündelwärmetauscher und Turbulenzeinlagen (unten) (Süddeutsche Kühlerfabrik Julius Fr. Behr)



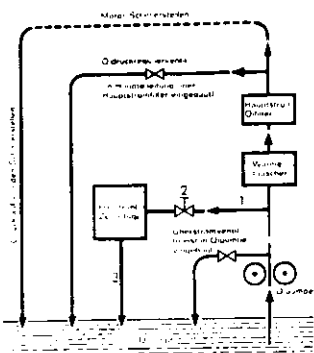
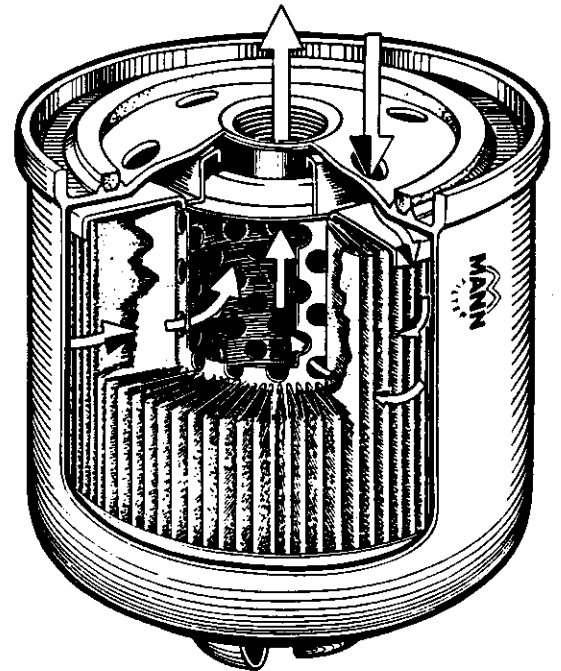
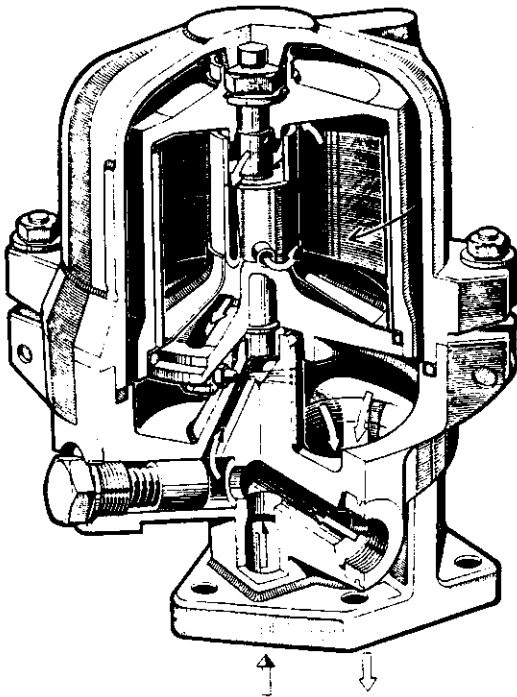
Plattenölkühler (Scheidenkühler) und Aufbau eines Scheidenelements. Öleintritt durch die Verschraubungen, Wasserdurchtritt durch die Platten. (Süddeutsche Kühlerfabrik Julius Fr. Behr)

Schmierölkühler für einen luftgekühlten Motor in Form eines Spiralarippenrohres

Στο Σχ. 1.56 φαίνονται διάφοροι τύποι φίλτρων λαδιού.

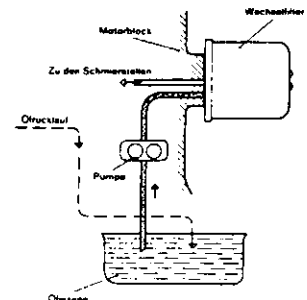


Schmieröl-Hauptstromfilter mit Papiereinsatz (Werkfoto Filterwerk Mann & Hummel GmbH, Ludwigsburg)



Schaltenschema für Anbau von Freistrahlfenitruigen

- 1 = Ölzuleitung zur Freistrahlfenitruige möglichst dicht hinter Ölpumpe abzweigen, um hohen Öldruck für den Zentrifugenantrieb ausnutzen zu können, lichte Weite = 10 . . . 12 mm ϕ .
- 2 = Absperrhahn: nur bei Dauerlaufbetrieb erforderlich, um zwischenzeitige Zentrifugenreinigung durchführen zu können.
- 3 = Ölrücklauf zwischen Freistrahlfenitruige und Ölsumpf drucklos und staufrei auszuführen; lichte Weite nicht kleiner als Ölaustrittsbohrung an den Zentrifugen (26 bzw. 50 ϕ) !

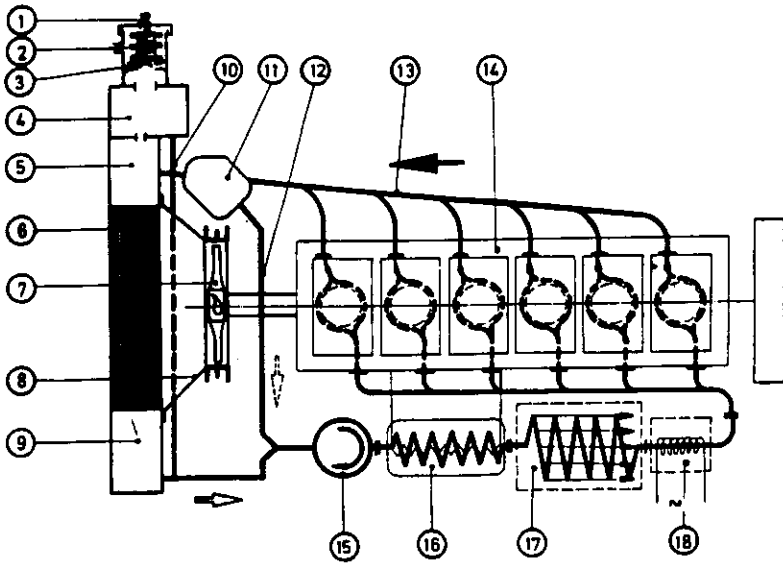


Schematische Darstellung eines Schmierölkreislaufes mit dazwischengeschaltetem MANN Wechselhahnfilter (Hauptstrom).

Freistrahlfenitruige zur Schmierölreinigung mit entsprechendem Schaltenschema (Werkfoto Filterwerk Mann & Hummel GmbH, Ludwigsburg)

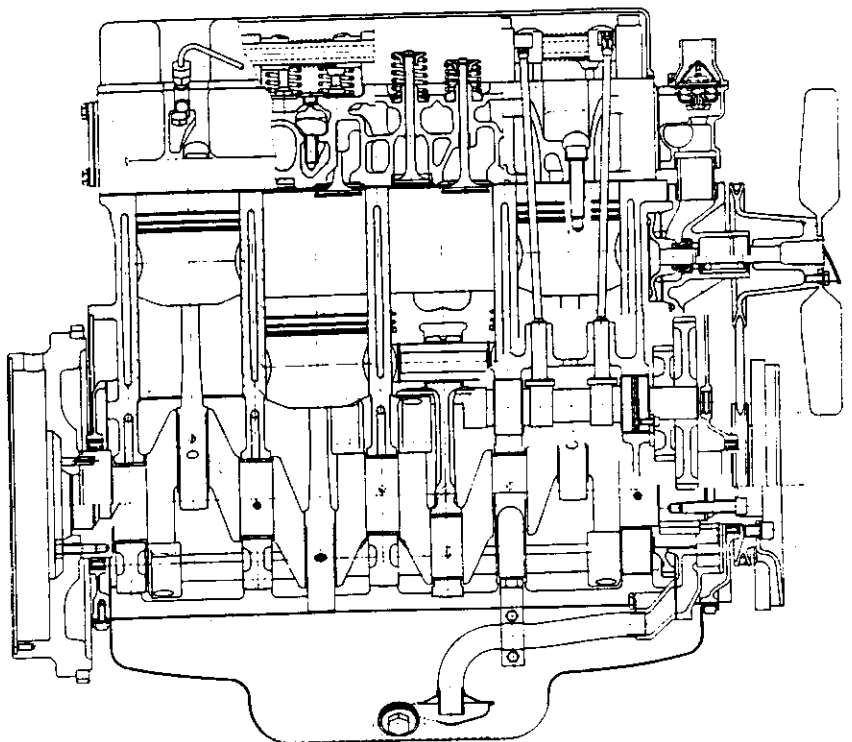
Schmierölwechselhahnfilter mit Anbauschema (Werkfoto Filterwerk Mann & Hummel GmbH, Ludwigsburg)

Στο Σχ. 1.57 φαίνεται σχηματικά το κύκλωμα ψύξης ενός κινητήρα.



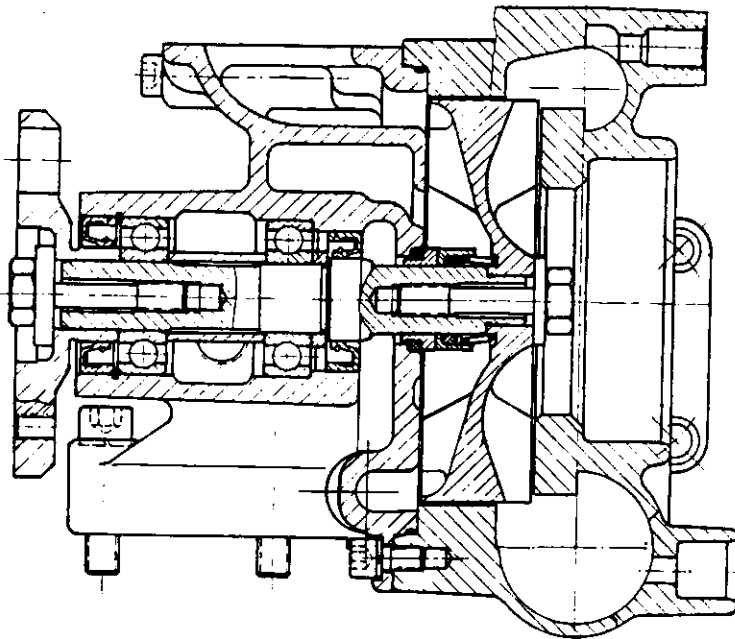
Schema des Kühlwasserkreislaufes eines Dieselmotors mit Aufladung und Ladeluftkühlung (im Motorkühlwasser) bei Rückkühlung durch Ventilator und Wabenkühler

- 1 Unterdruckventil
- 2 Überlauf
- 3 Überdruckventil
- 4 Ausgleichsbehälter
- 5 oberer Wasserkasten
- 6 Wabenkühler
- 7 Ventilator
- 8 Kühlluftlutze
- 9 Unterer Wasserkasten
- 10 Verbindungsleitung vom Ausgleichsbehälter zur Saugseite der Kühlwasserpumpe
- 11 Thermostat
- 12 Kurzschlußleitung
- 13 Überströmleitung vom Zylinderkopf zum Kühler
- 14 Motor
- 15 Kühlwasserpumpe
- 16 Schmierölkühler
- 17 Ladeluftkühler
- 18 elektrische Kühlwasservorwärmung



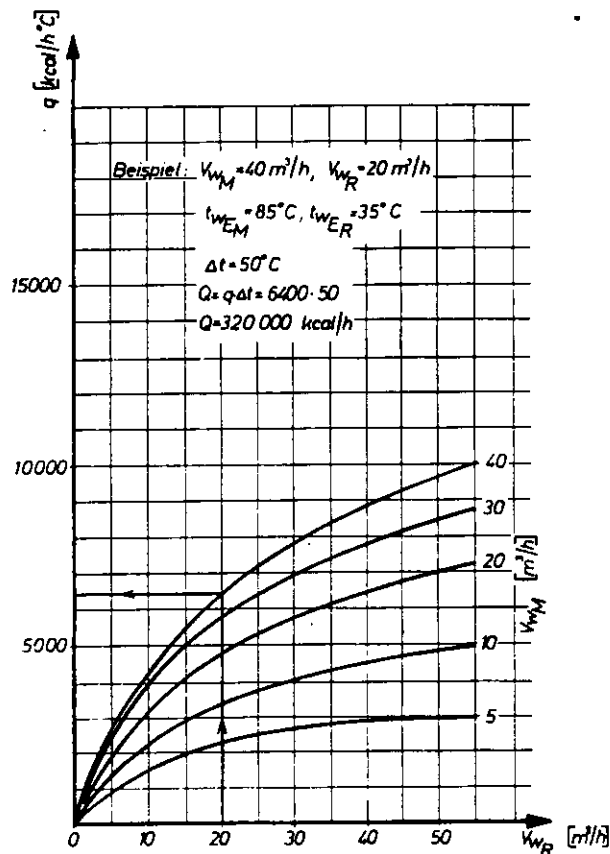
· Längsschnitt durch einen 4-Zylinder-Reihenmotor

Στο Σχ. 1.58 φαίνεται μία διπλή αντλία που εξυπηρετεί συγχρόνως τα κυκλώματα ψυγείου νερού και ψυγείου λαδιού.



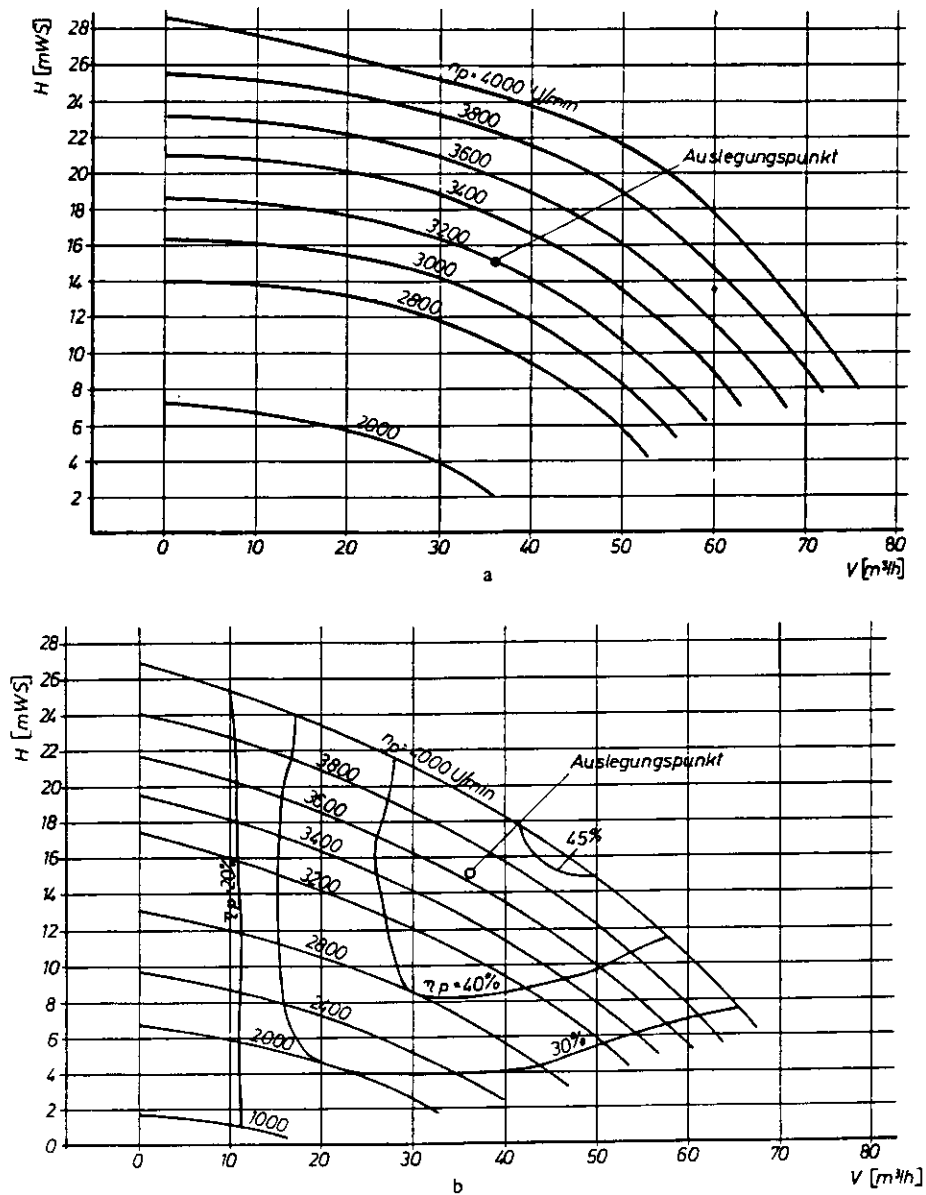
Kühlwasserdoppelpumpe zur getrennten Versorgung von Motorkühlwasserkreislauf und Ladeluftkühlkreislauf

Στο Σχ. 1.59 φαίνεται διάγραμμα υπολογισμού ψυγείου.



Συγκεκριμένη ψυκτική απόδοση q ενός ψυκτικού στοιχείου (σπείρωμα ψυκτικού) σύμφωνα με το Βλ. 220, ανάλογα με την ποσότητα της ακατέργαστου νερού V_{W_R} για διαφορετικές, κινούμενες ποσότητες νερού ψυκτικού V_{W_M} , αναφορικά με την εισαγωγική θερμοκρασιακή διαφορά $\Delta t = t_{W_{E_M}} - t_{W_{E_R}}$
 (Από έγγραφα της εταιρείας Süddeutsche Kühlerfabrik Julius Fr. Behr, Stuttgart-Feuerbach)

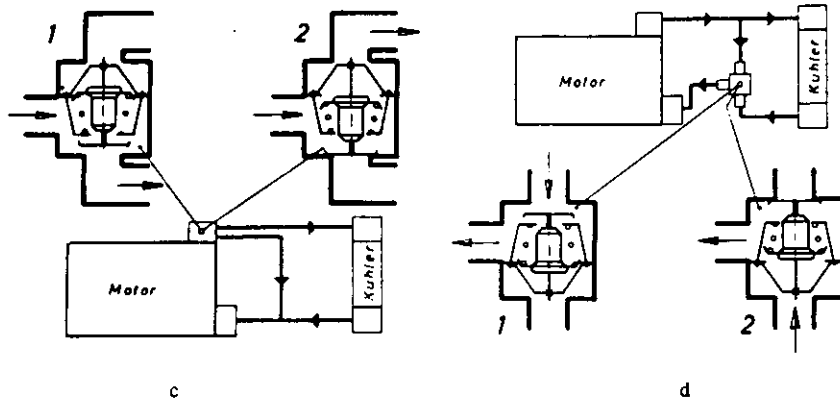
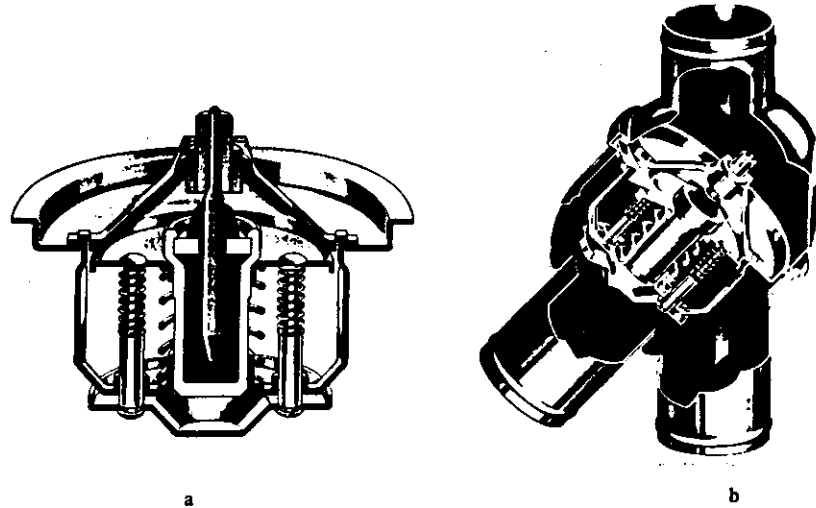
Στο Σχ. 1.60 φαίνεται η μεταβολή της χαρακτηριστικής μιάς αντλίας νερού ψύξης όταν μεταβληθεί το διάκενο μεταξύ ρότορα και κελύφους.



Kennfeld der Kühlwasserpumpe nach Bild 215

- a) Spalt zwischen Pumpenrad und Gehäuse saugseitig 0,3 mm
 b) desgl. 1,3 mm

Στο Σχ. 1.61 φαίνεται ένας θερμοστάτης.

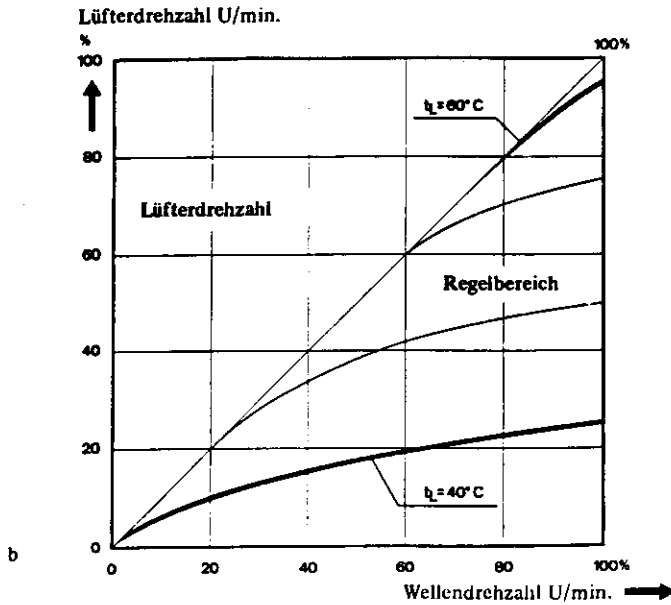
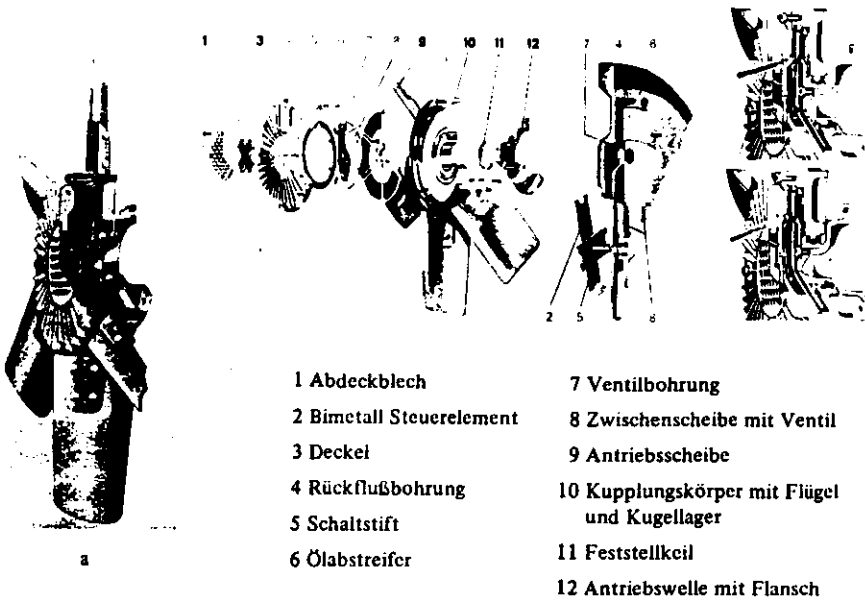


Arbeitsweise eines kurzschlußsteuernden Kühlwasserreglers am Motoraustritt.
 1 Kühlwasserregler geschlossen;
 2 geöffnet

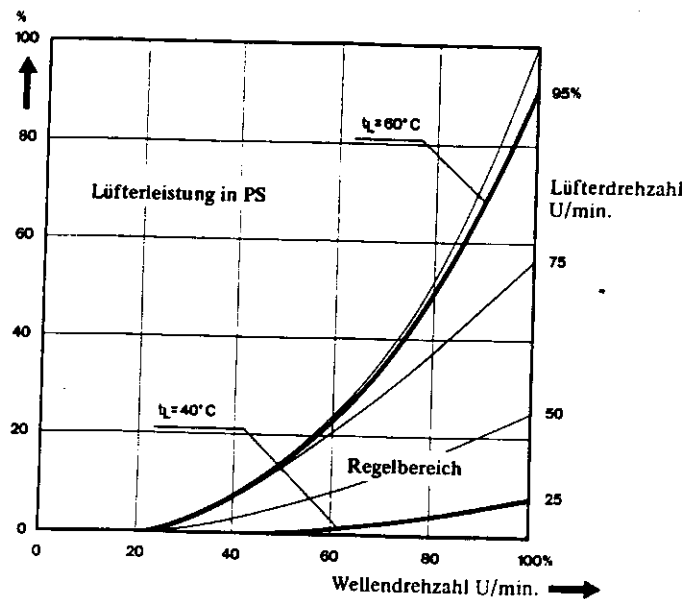
Arbeitsweise eines kurzschlußsteuernden Kühlwasserreglers am Motoreintritt.
 1 Kühlwasserregler geschlossen;
 2 geöffnet

- Kühlwasserthermostat mit Behr-Thomson-Dehnstoffregler
- a) Aufbau
 - b) Einbau in Blechgehäuse
 - c) Schaltbilder und Arbeitsweise bei verschiedenen
 - d) Einbauten

Στο Σχ. 1.62 φαίνεται ένα σύστημα visco-σύμπλεξης φερωτής ψυγείου.



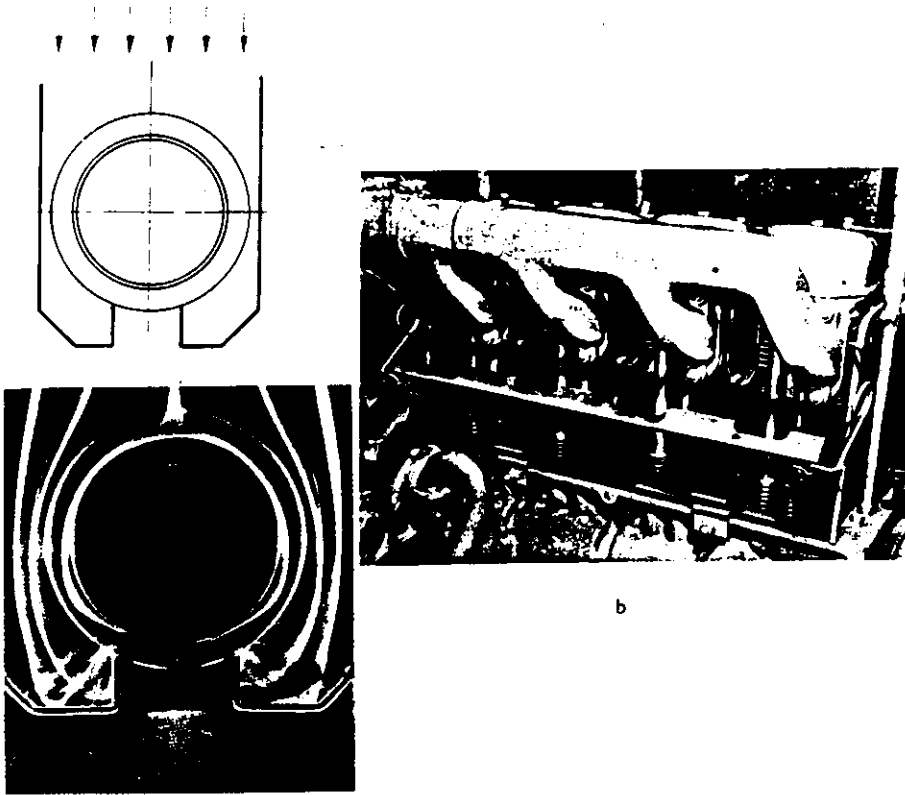
Behr-Viscolüfterkupplung
a) Aufbau,
b) Lüfterdrehzahl = f (Wellendrehzahl)



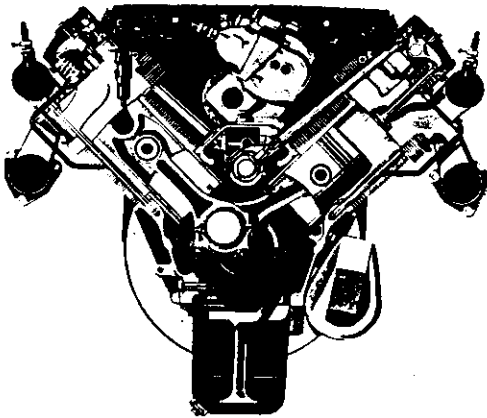
t_L °C = Lufttemperatur hinter Kühler

Behr-Viscolüfterkupplung
c) Lüfterleistung = f (Wellendrehzahl)

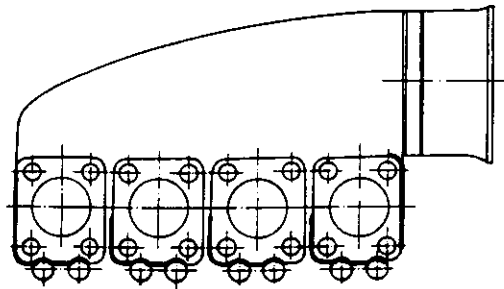
Στο Σχ. 1.63 φαίνονται λεπτομέρειες σχεδιασμού αερόψυκτων κινητήρων.



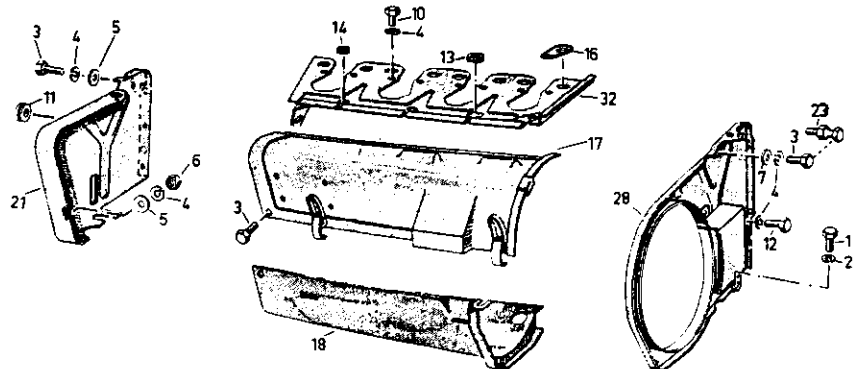
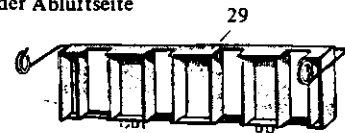
a) Argusverkleidung und Luftströmungsverlauf [204]
 b) Ausgeführte Argusverkleidung an einem luftgekühlten Reihenmotor der Klöckner-Humboldt-Deutz AG



Abdeckung des Kühlluftaufnahmerraumes bei luftgekühlten V-Motoren der Klöckner-Humboldt-Deutz AG



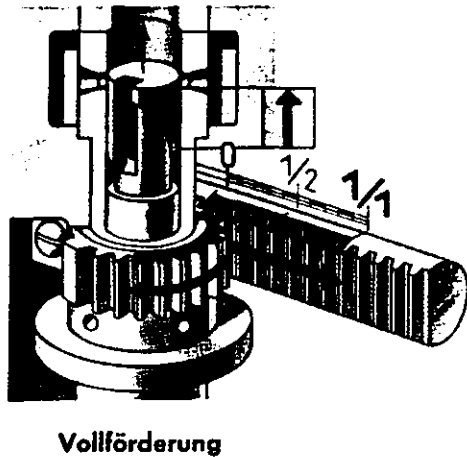
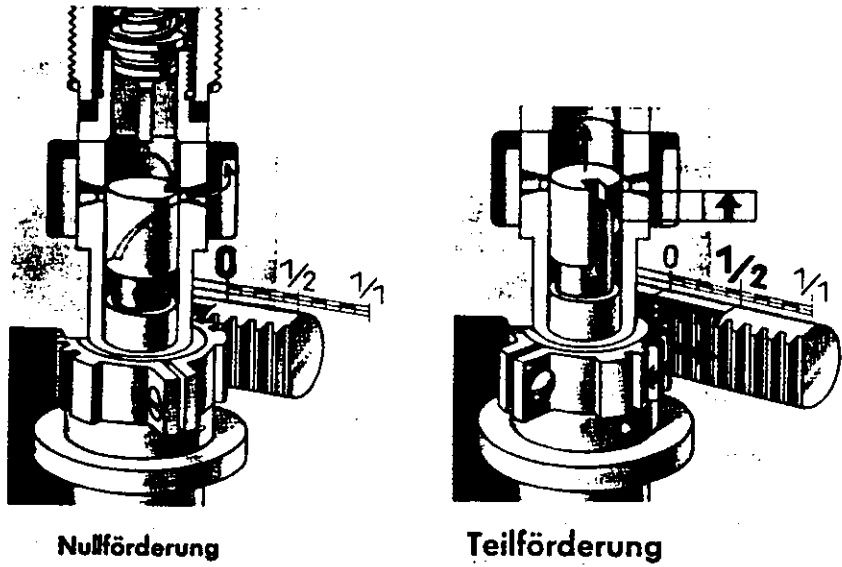
Kühlluftführung auf der Abluftseite



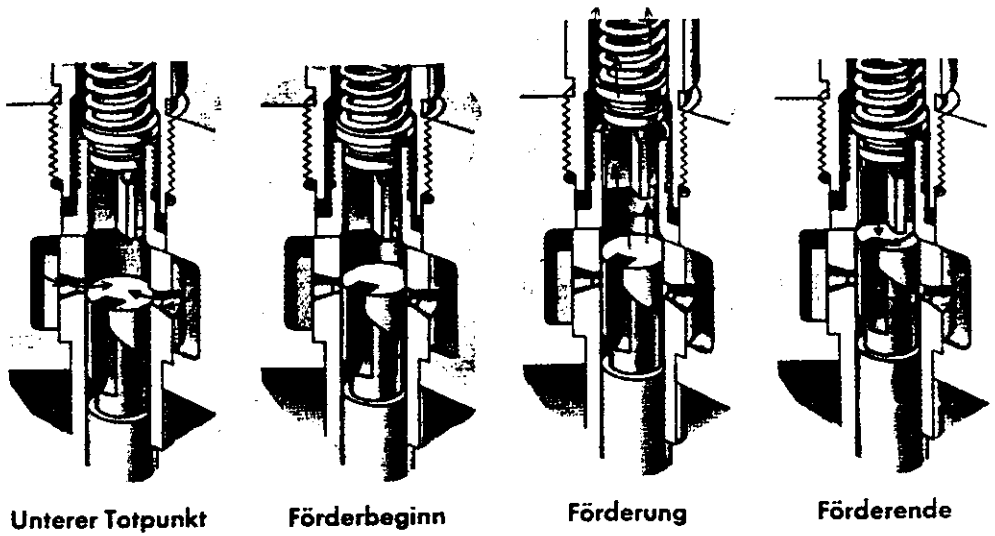
Bestandteile der Kühlluftführung für einen luftgekühlten Motor der Klöckner-Humboldt-Deutz AG

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| 17 Kühlluftaufnehmer-Oberteil | 28 Vorderes Standblech |
| 18 Kühlluftaufnehmer-Unterteil | 29 Standblech auf der Abluftseite |
| 21 Hinteres Standblech | 32 Abdeckblech für Zylinderkopf |

Στο Σχ. 1.64 εξηγείται η λειτουργία της αντλίας πετρελαίου Bosch.

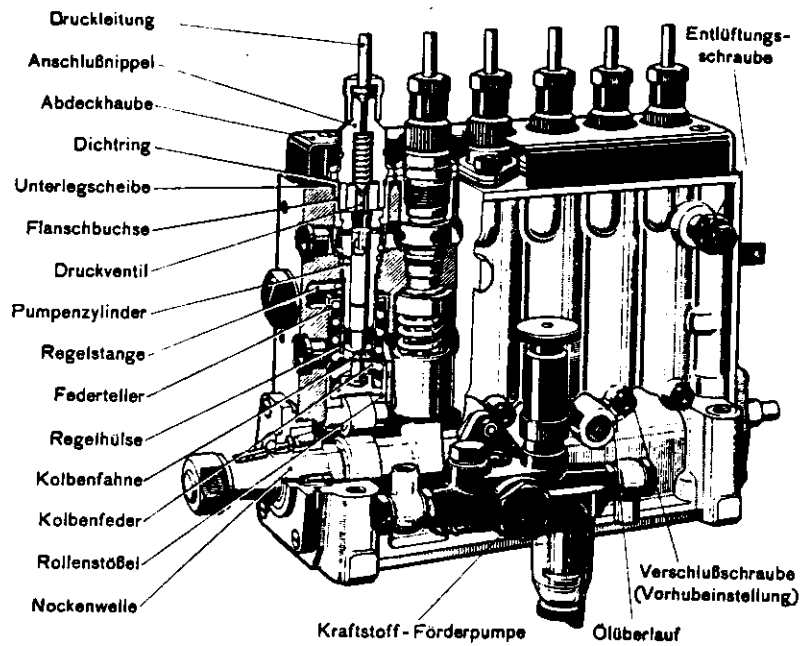


Fördermengenregelung einer Einspritzpumpe (Nach Unterlagen der Firma Robert Bosch GmbH)

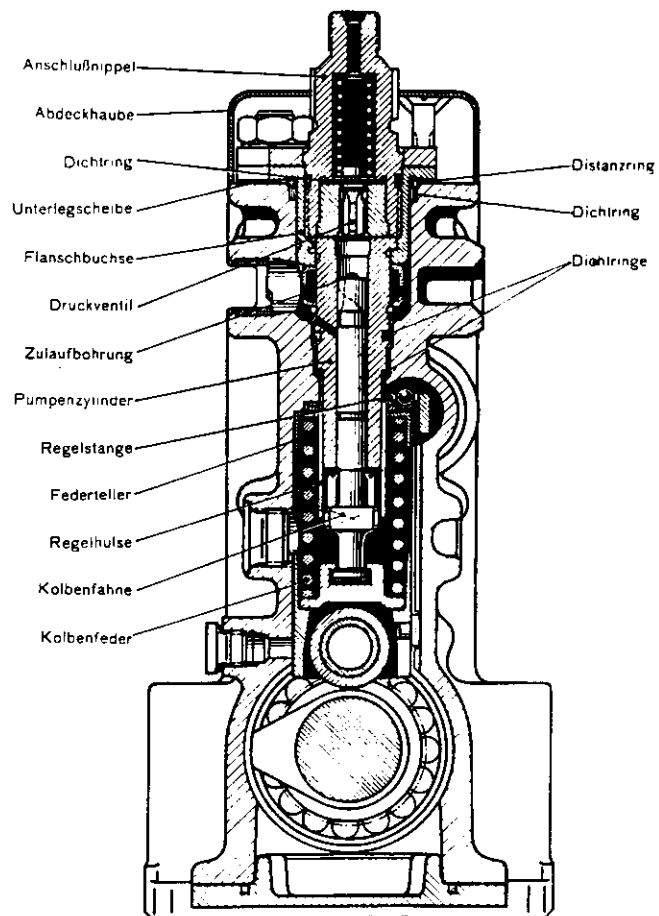


Fördervorgang der Einspritzpumpe bei Vollförderung (Nach Unterlagen der Firma Robert Bosch GmbH)

Στο Σχ. 1.65 παρουσιάζεται η αντλία πετρελαίου PE6P της Bosch.

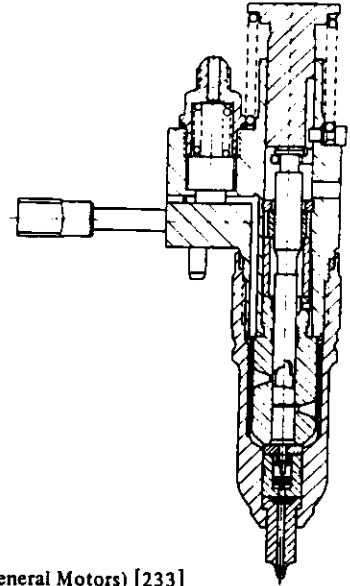


a) Ansicht und Längsschnitt einer Bosch-Einspritzpumpe PE6P



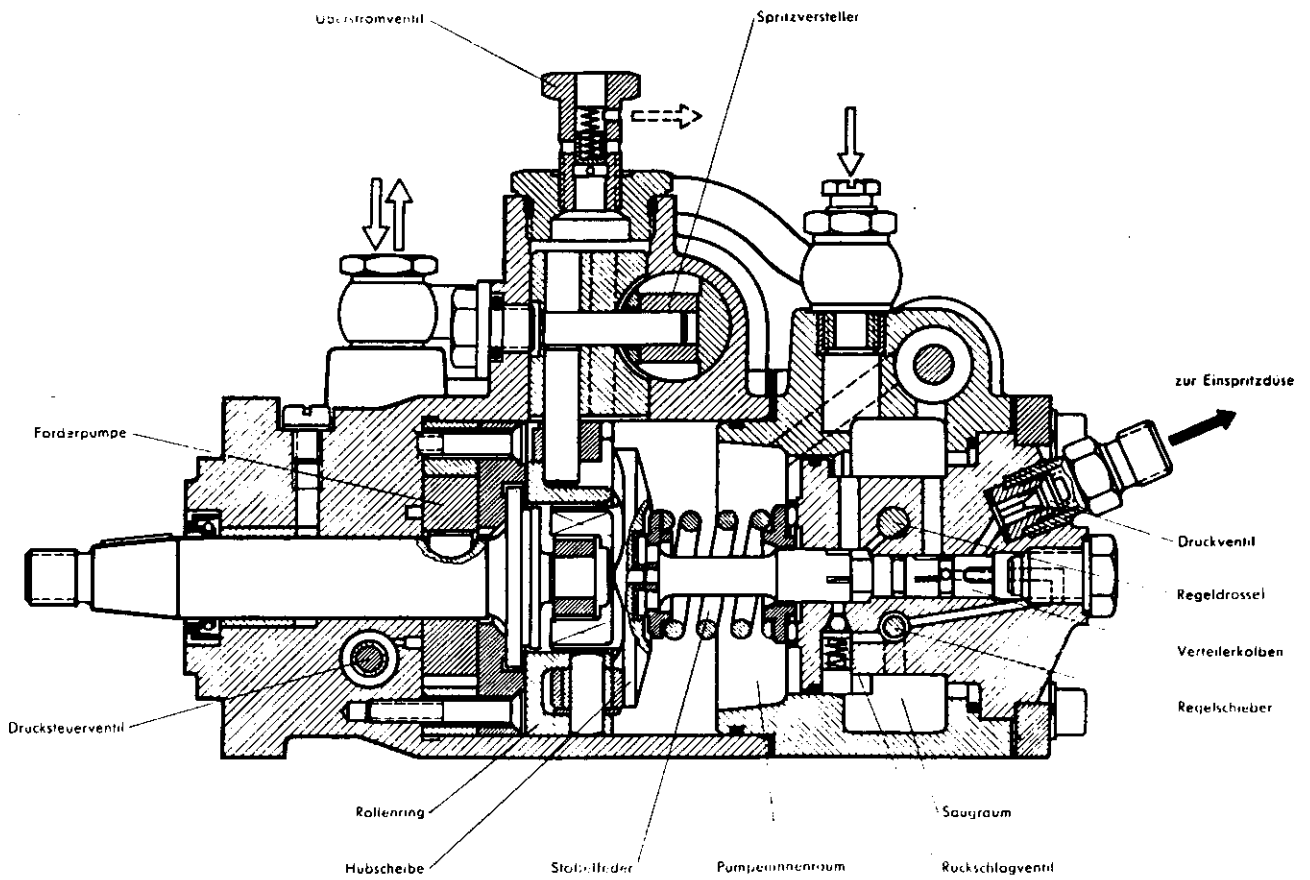
b) Querschnitt einer Bosch-Einspritzpumpe PE6P

Στο Σχ. 1.66 φαίνεται ένας Unit Injector (Pumpe Düese)



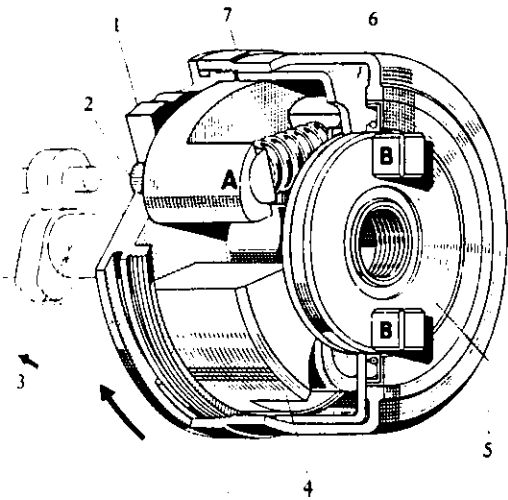
Pumpe-Düse (General Motors) [233]

Στο Σχ. 1.67 φαίνεται μία αντλία περιστροφικού τύπου.



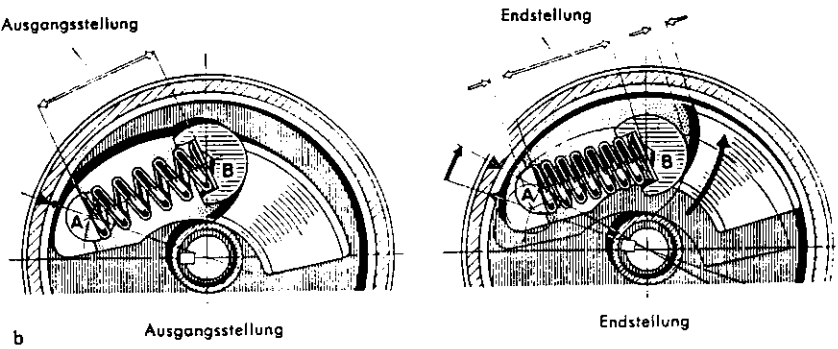
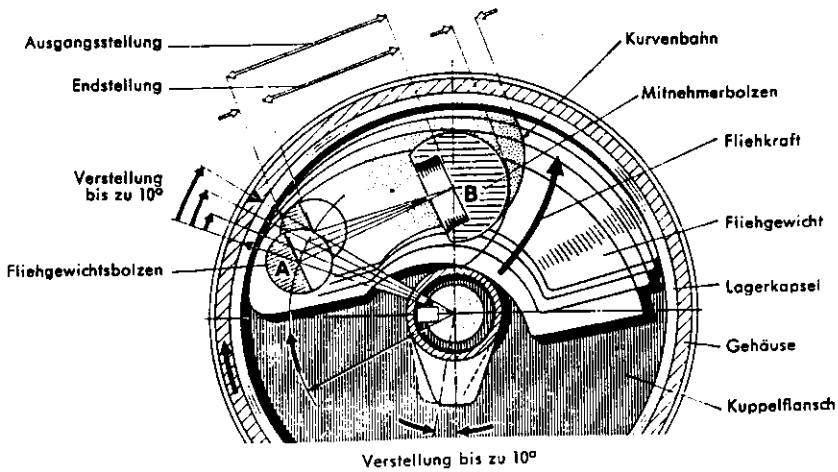
Bosch-Verteilereinspritzpumpe
a) Schnittbild

Στο Σχ. 1.68 φαίνεται ένας φυγοκεντρικός ρυθμιστής αβάνς αντλίας πετρελαίου.

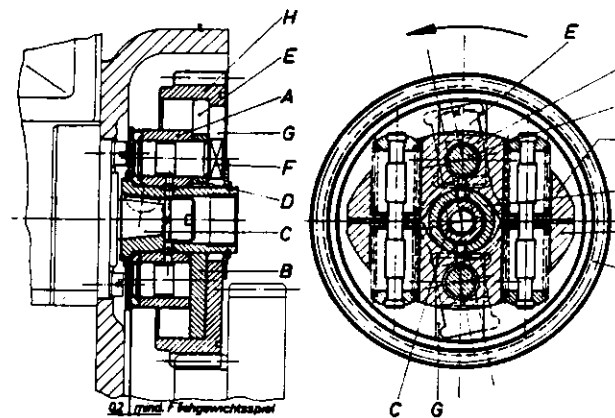


- 1 Kupplungsflansch
- 2 Fliehgewichtsbolzen
- 3 Verstellung der Nockenwelle
- 4 Fliehgewicht
- 5 Antriebsflansch
- 6 Lagerkapsel
- 7 Gehäuse

a) Aufbau eines automatischen Spritzverstellers der Firma Robert Bosch GmbH

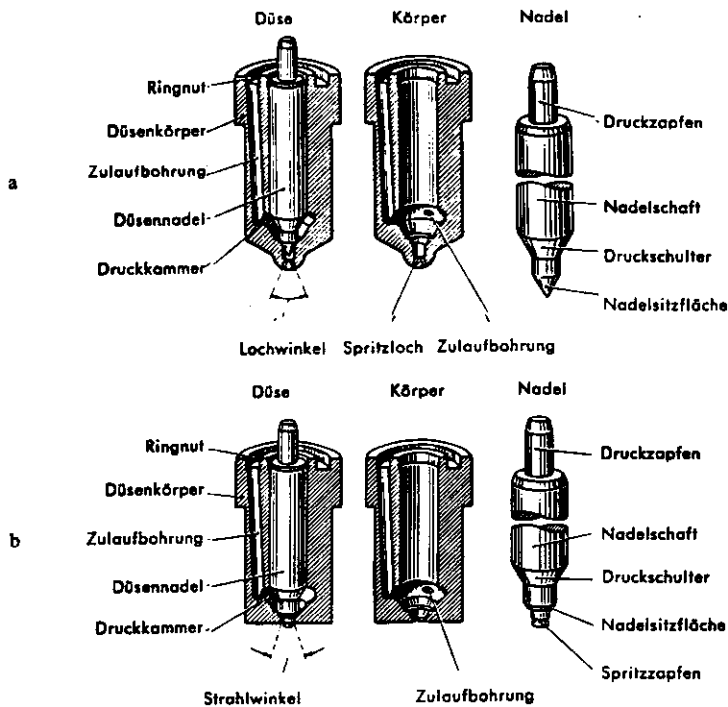


b) Wirkungsweise eines automatischen Spritzverstellers der Firma Robert Bosch GmbH

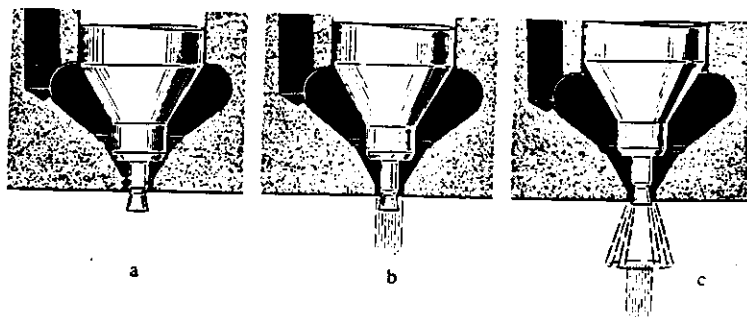


Automatischer Spritzversteller der Klöckner-Humboldt-Deutz AG

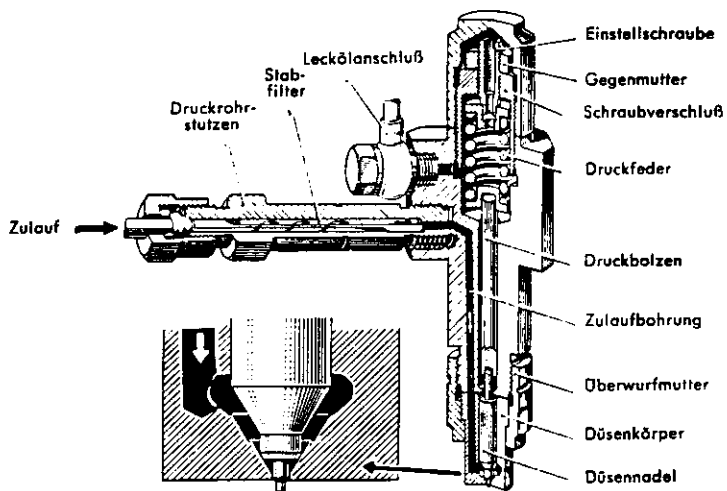
Στό Σχ. 1.69 φαίνονται διάφοροι εγχυτήρες (μπέκ).



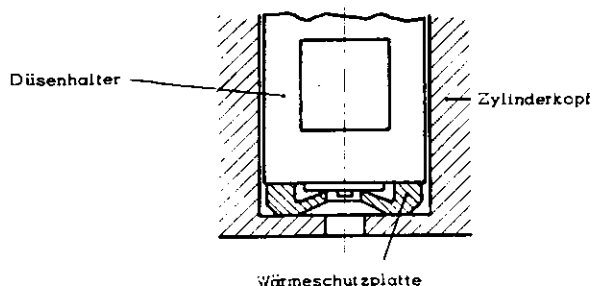
Einspritzdüsen (nach Unterlagen der Firma Robert Bosch GmbH)
a) Lochdüse
b) Zapfendüse



Drosselzapfendüse (Voreinspritzung)
a) geschlossen
b) wenig geöffnet (Vorstrahl)
c) voll geöffnet (Hauptstrahl)
(Nach Unterlagen der Firma Robert Bosch GmbH)

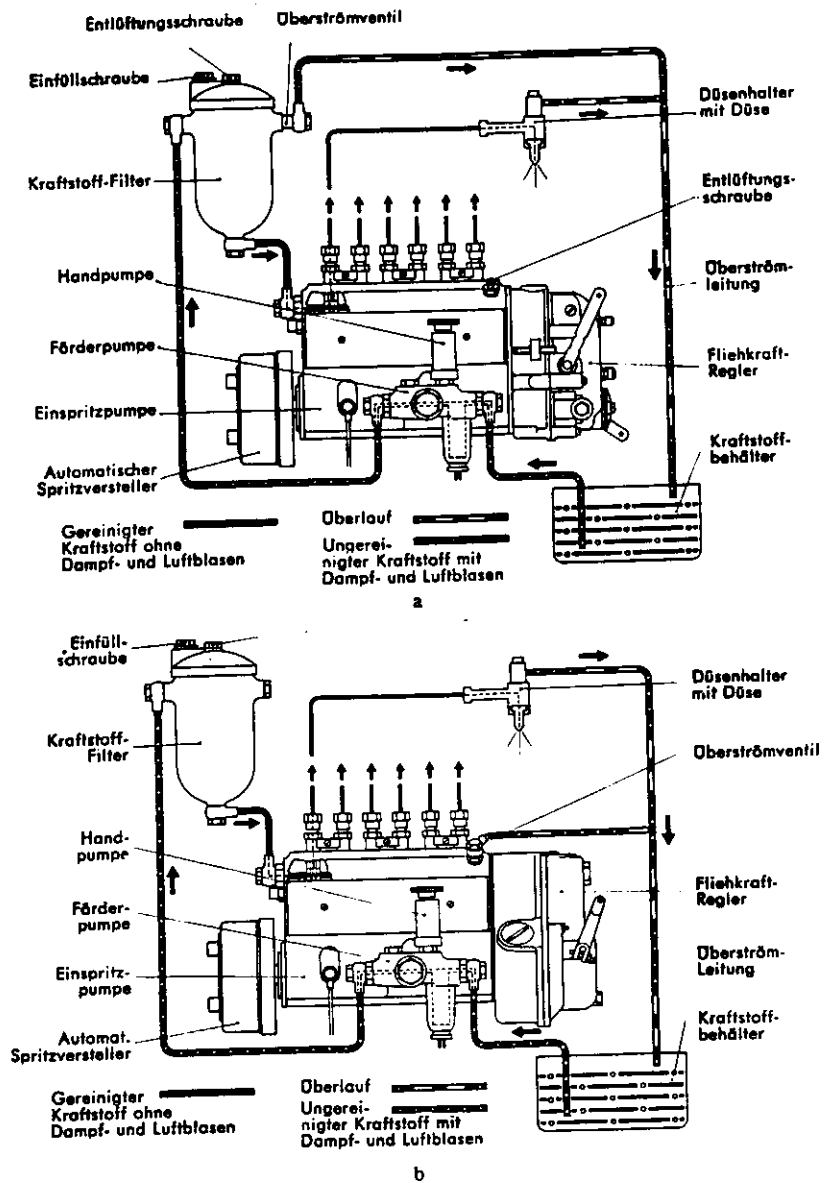


Bosch Einspritzventil mit Zapfendüse



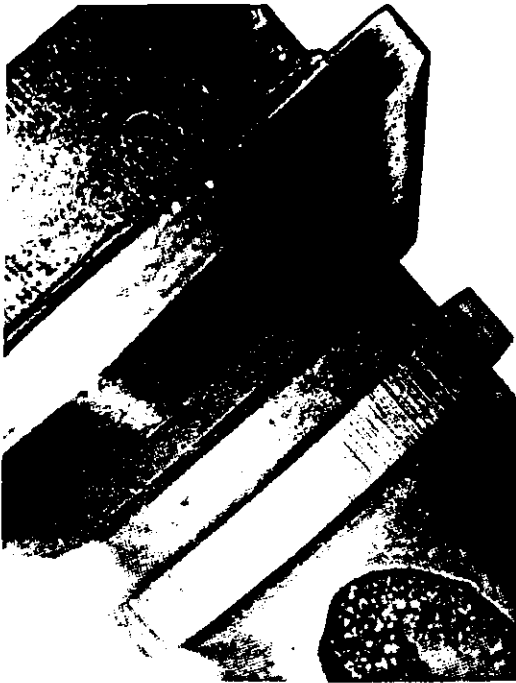
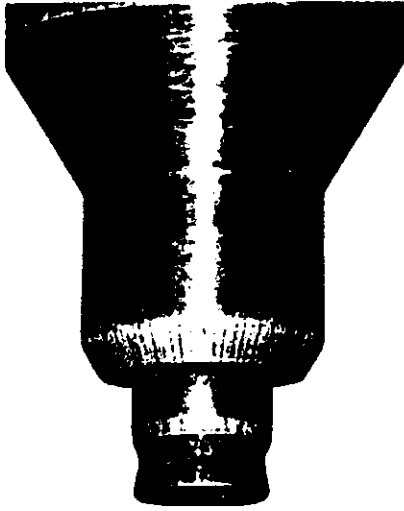
Drosselzapfendüse mit Wärmeschutzplatte

Στο Σχ. 1.70 φαίνεται σχηματικά ένα πλήρες σύστημα έγχυσης πετρελαίου.

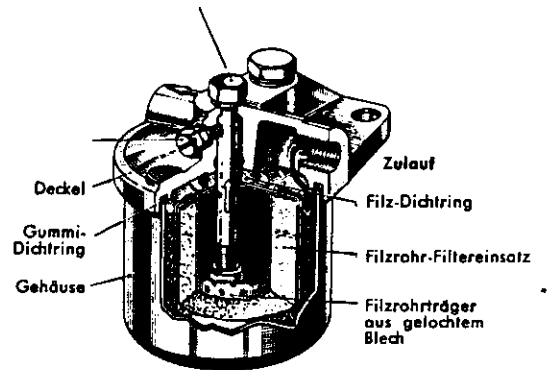


Schema einer Einspritzanlage (nach Unterlagen der Firma Robert Bosch GmbH)
 a) ohne Saugraumdurchspülung
 b) mit Saugraumdurchspülung

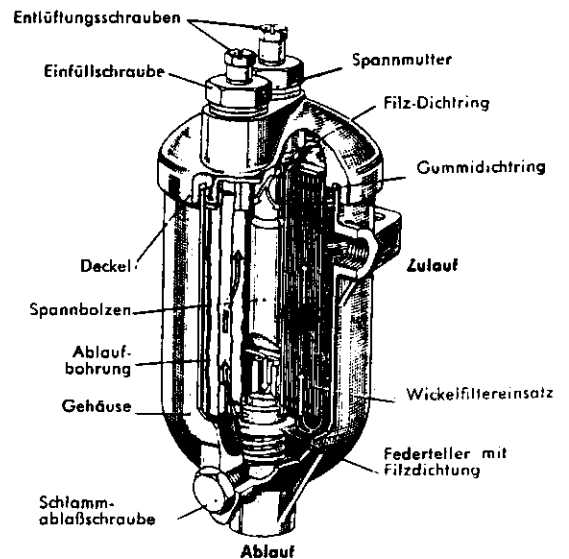
Στο Σχ. 1.71 φαίνεται η φθορά στη βελόνα του μπέκ και στη βαλβίδα εκτόνωσης από άσχημα φιλτραρισμένο καύσιμο (ακάθαρτα φίλτρα!). Δίπλα φαίνονται δύο τύποι φίλτρων.



Verschleiß an der Düsenadel und an einem Entlastungsventil durch schlecht gefilterten Kraftstoff
(Nach Unterlagen der Firma Robert Bosch GmbH)



a



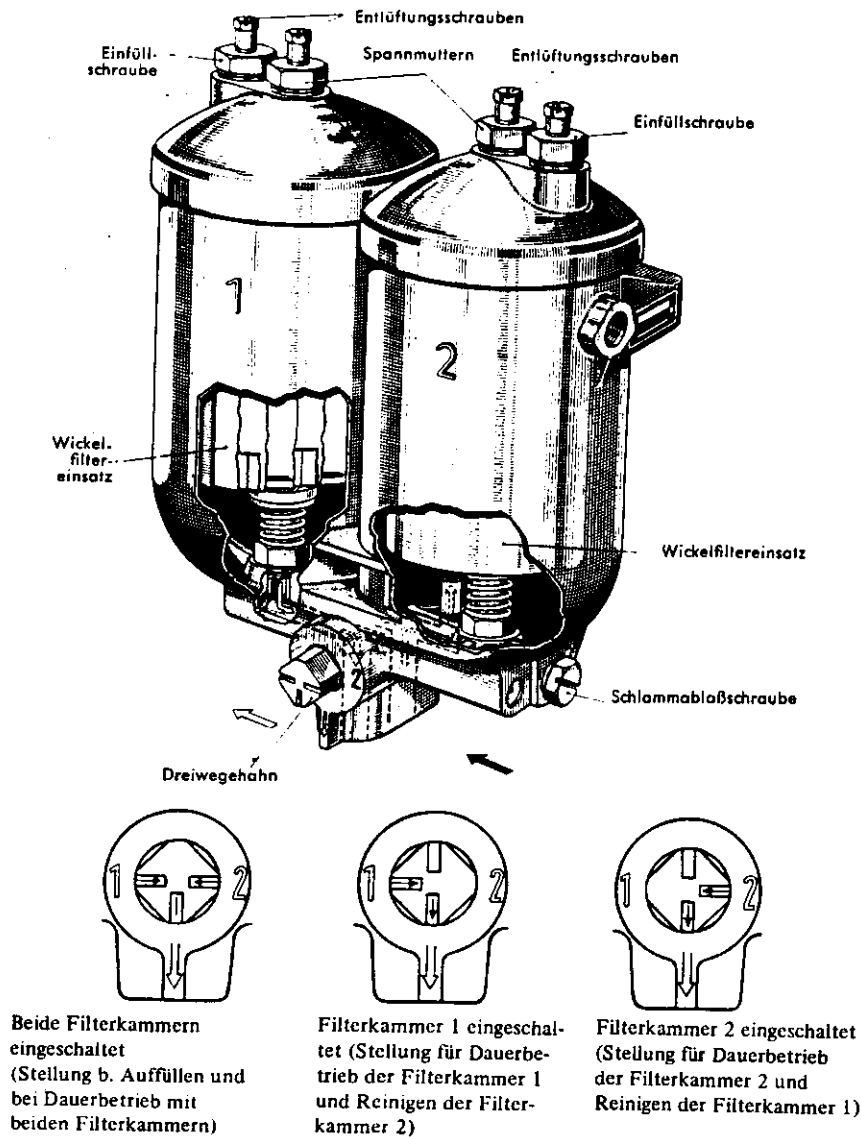
b

Kraftstofffilter (nach Unterlagen der Firma Robert Bosch GmbH)

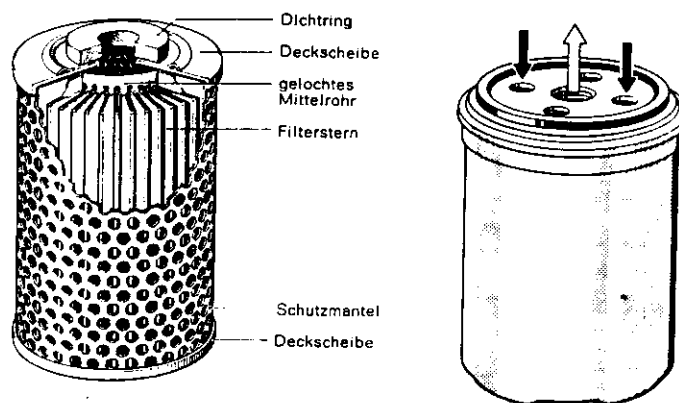
a) Filzrohrfilter

b) Filter mit Wickelfiltereinsatz aus Papier

Στο Σχ. 1.72 φαίνονται φίλτρα πετρελαίου.

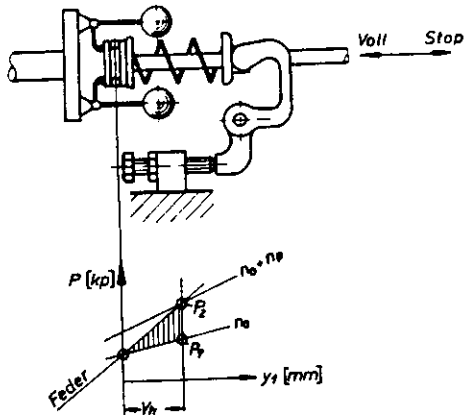


1. Bosch-Kraftstoff-Umschaltfilter mit Stellungen des Dreivegehahns

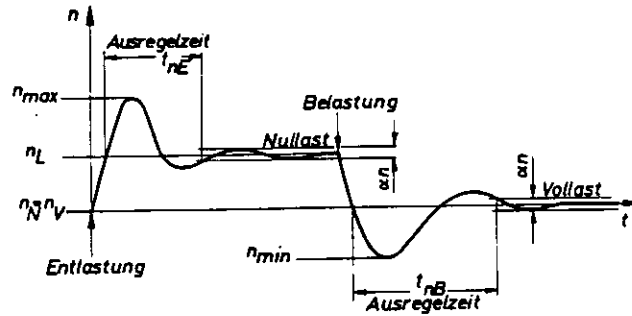


Kraftstofffilterbox mit Sternfiltereinsatz (Robert Bosch GmbH)

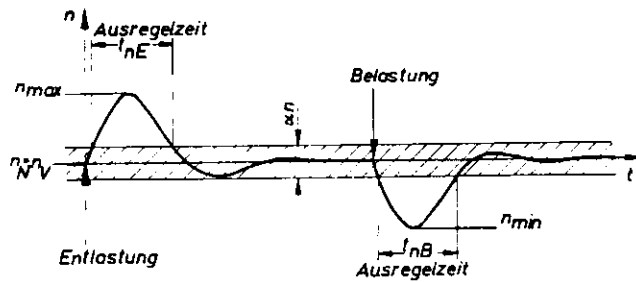
Στο Σχ. 1.73 φαίνεται η αρχή λειτουργίας του φυγοκεντρικού ρυθμιστή.



Schema eines mechanischen Drehzahlreglers

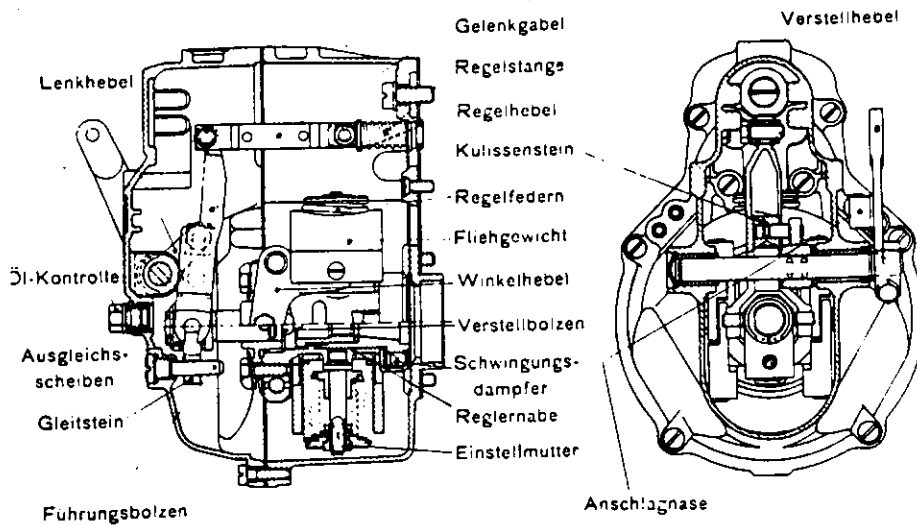


Drehzahlübergang (Ent- und Belastung) bei einem Diesel-Elektroaggregat mit P-Regler

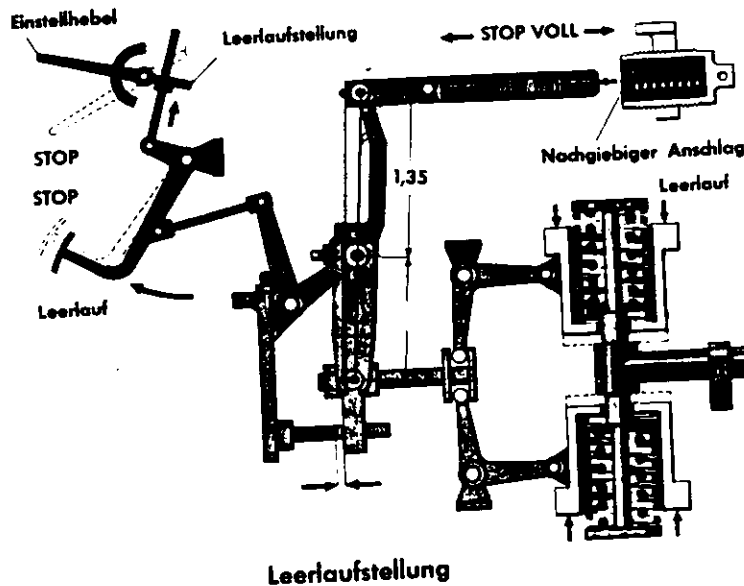


Drehzahlübergang (Ent- und Belastung) bei einem Diesel-Elektroaggregat mit P-J-Regler

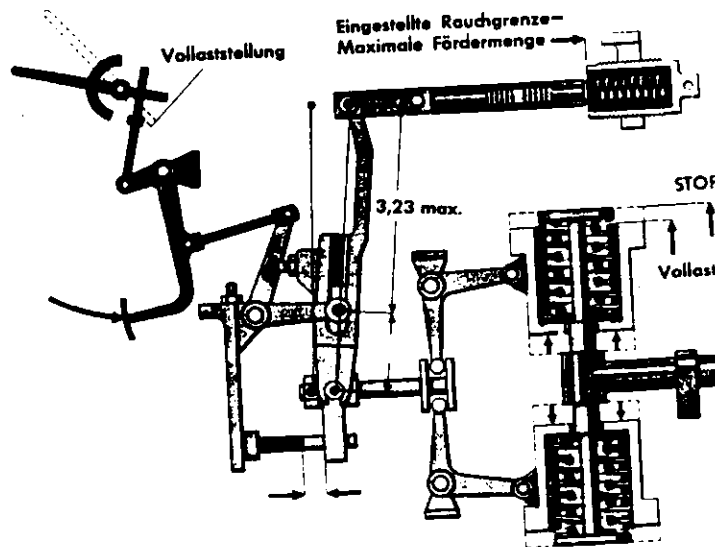
Στο Σχ. 1.74 φαίνεται η λειτουργία του ρυθμιστή τύπου RQ



Schnittbild des Bosch-RQ-Reglers



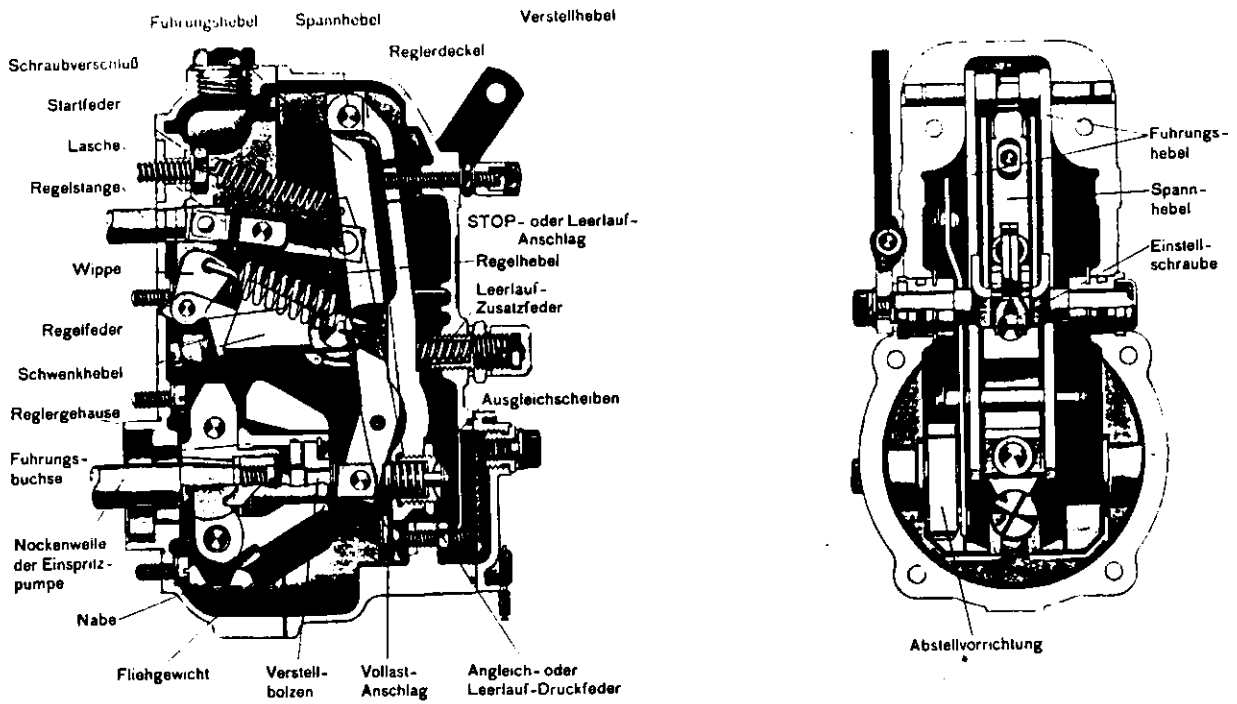
Leerlaufstellung



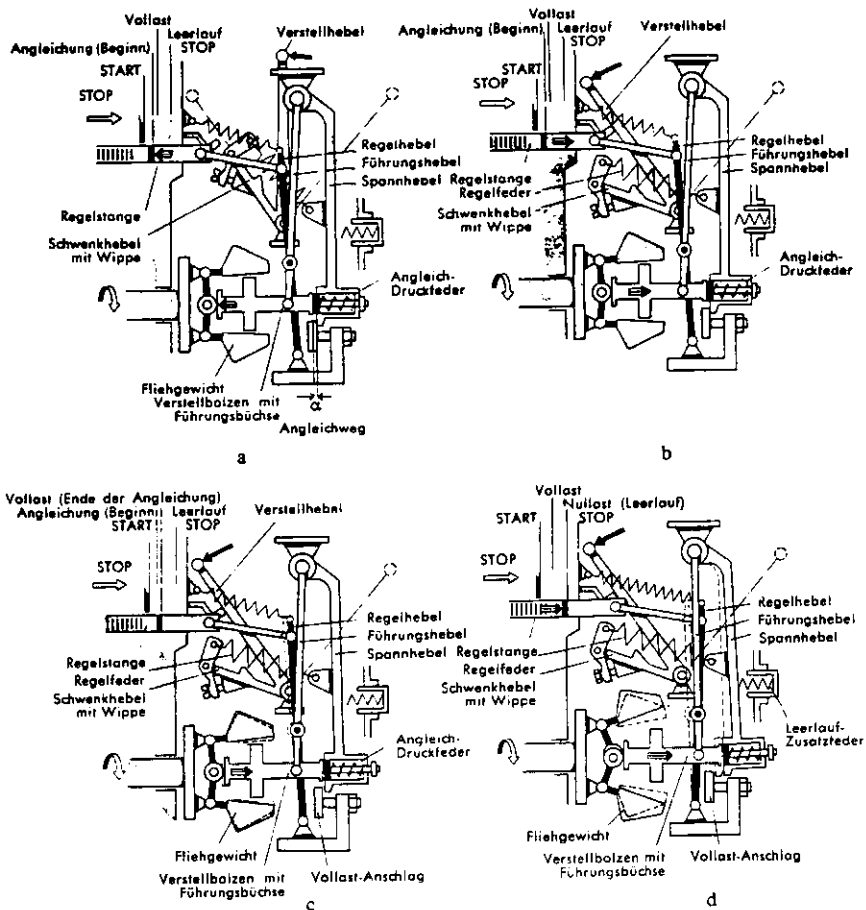
Vollaststellung

Wirkungsweise des RQ-Reglers der Firma Robert Bosch GmbH

Στο Σχ. 1.75 φαίνεται η αρχή λειτουργίας του ρυθμιστή EP/RSV

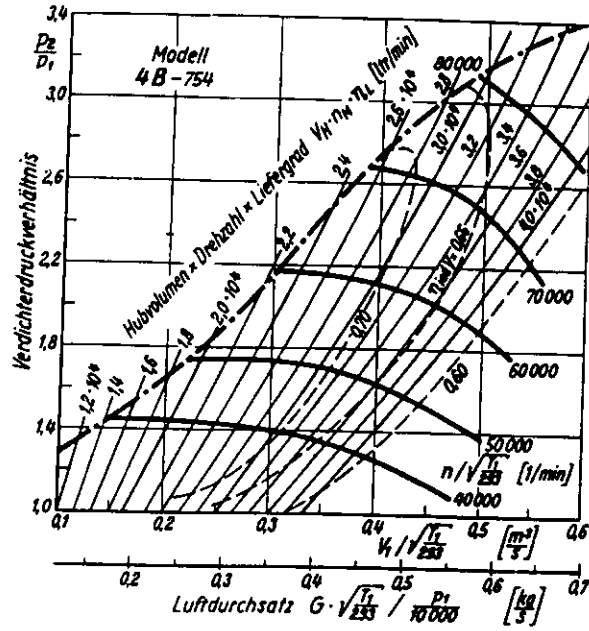


Schnittbild des Bosch-EP/RSV-Reglers

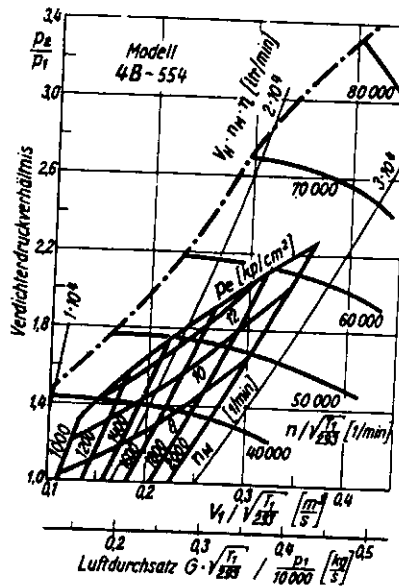


Wirkungsweise des Bosch-RSV-Reglers

Στο Σχ. 1.76 φαίνεται ένα πεδίο στροβιλούπερπληρωτή, καθώς και πεδία κινητήρα και υπερπληρωτή σε υπέρθεση.

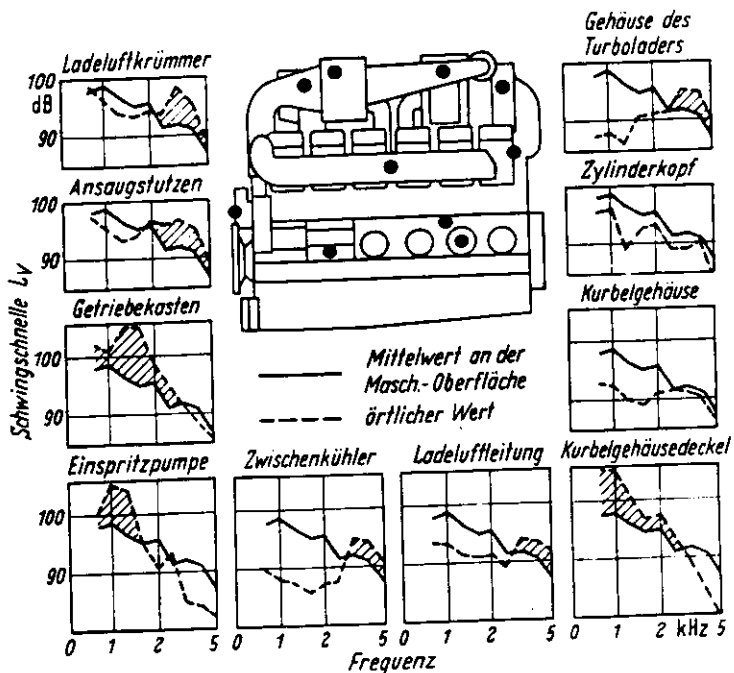


Verdichterkennfeld eines Abgasturboladers (Modell 4B-734 der Aktiengesellschaft Kühnle, Kopp und Kausch) [277]

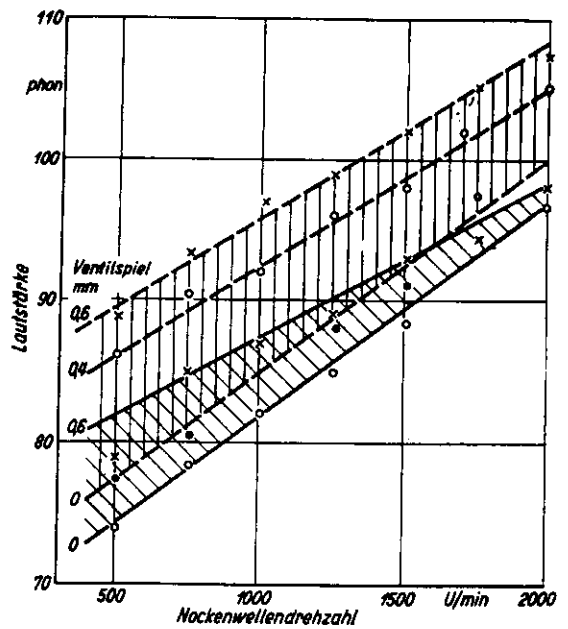


Betriebslinien eines 15 l-Fahrzeugdieselmotors im Verdichterkennfeld eines Abgasturboladers (Abgasturbolader der Aktiengesellschaft Kühnle, Kopp und Kausch, Type 4B-554) [277]

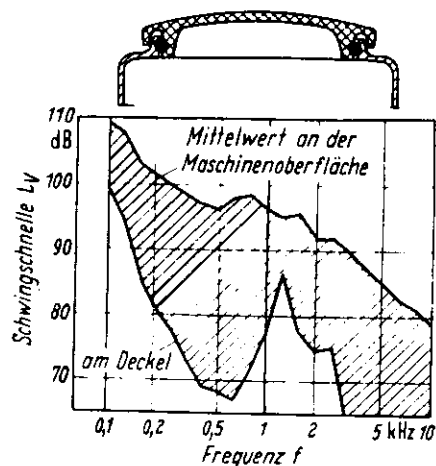
Στο Σχ. 1.77 φαίνονται καταγραφές θορύβου σε διάφορα σημεία μιάς μηχανής.



Geräuschverteilung an einem schnellaufenden Dieselmotor mit Aufladung und Ladelftkühlung [8]

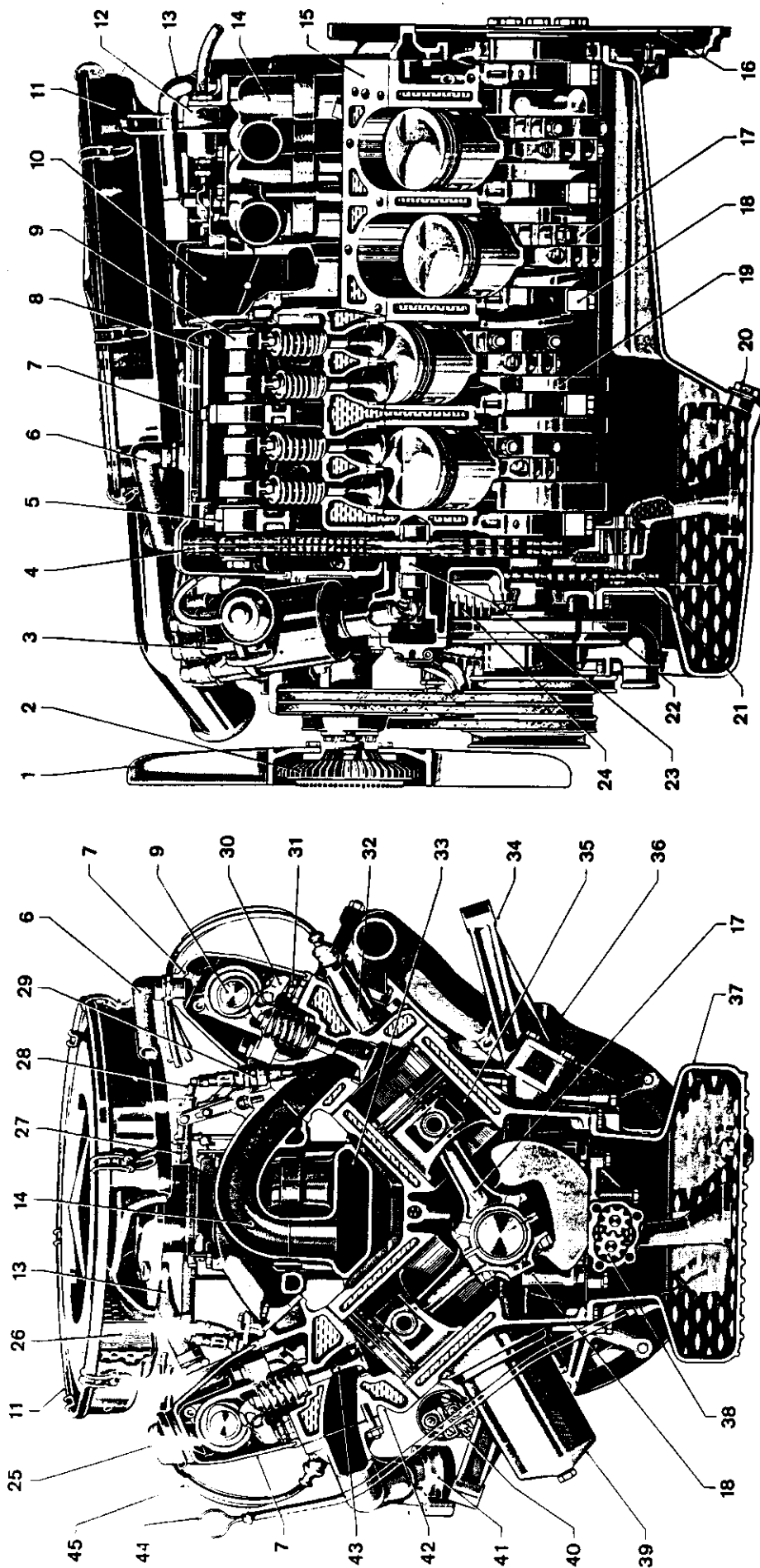


Gemessene Lautstärke des Ventiltriebs in 1 m Abstand an einem Deutz-Vierzylinder-Dieselmotor F4L 712. Nockenwelle und Ventiltrieb mit sämtlichen Ventilen elektrisch angetrieben [166]
 — Rampe 18° NW mit anschließendem ruckfreien Nocken
 — Rampe 12° NW mit anschließendem Kreisbogennocken



Wirkung eines Kunststoffdeckels über dem Ventiltriebsraum [8]

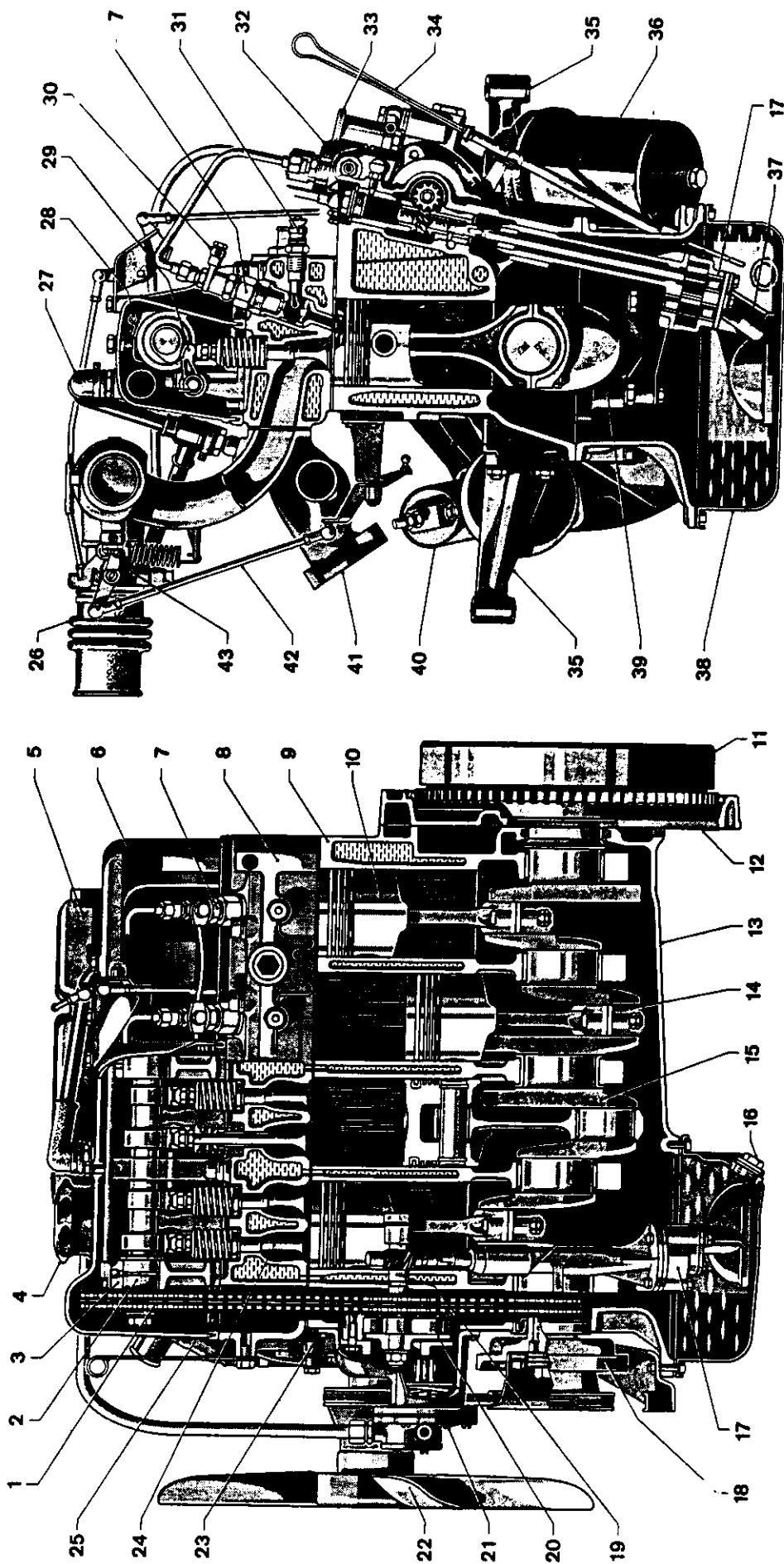
Στο Σχ. 1.78 φαίνεται σε τομή ένας οκτακύλινδρος κινητήρας.



8-Zylinder-V-Motor (Ottomotor) M 116 der Daimler-Benz AG

- | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 1 Lüfter | 19 Kurbelwelle | 37 Ölwanne |
| 2 Viskose-Lüfterkupplung | 20 Ölablassschraube | 38 Ölpumpe |
| 3 Zündverteiler | 21 Rollenkette (Ölpumpenantrieb) | 39 ÖlfILTER |
| 4 Zweifach-Rollenkette | 22 Schwingungs-dämpfer | 40 Anlasser |
| 5 Nockenwellenlager | 23 Antriebswelle (Zündverteiler) | 41 Auspuffkrümmer |
| 6 Entlüftungsleitung | 24 Luftpresser | 42 Zylinderkopf |
| 7 Zylinderkopfhaube | 25 Öleinfüllstutzen | 43 Auslassventil |
| 8 Ölrohr (Nockenwellenschmierung) | 26 Füllereinsatz | 44 Ölmeßstab |
| 9 Nockenwelle | 27 Reguliergestänge | 45 Zündleitungen |
| 10 Klappenstutzen | 28 Kraftstoff-Ringleitung | |
| 11 Saugerausdämpfer | 29 Einspritzventil | |
| 12 Kraftstoff-Druckregler | 30 Schwinghebel | |
| 13 Entlüftungsleitung | 31 Schwinghebellagerung | |
| 14 Saugrohr-Oberteil | 32 Zündkerze mit Entzörstecker | |
| 15 Zylinderkurbelgehäuse | 33 Saugrohr-Unterteil | |
| 16 Mitnehmerscheibe | 34 Motorträger | |
| 17 Pleuelstange | 35 Kolben | |
| 18 Kurbelwellenlagerdeckel | 36 Zwischenflansch | |

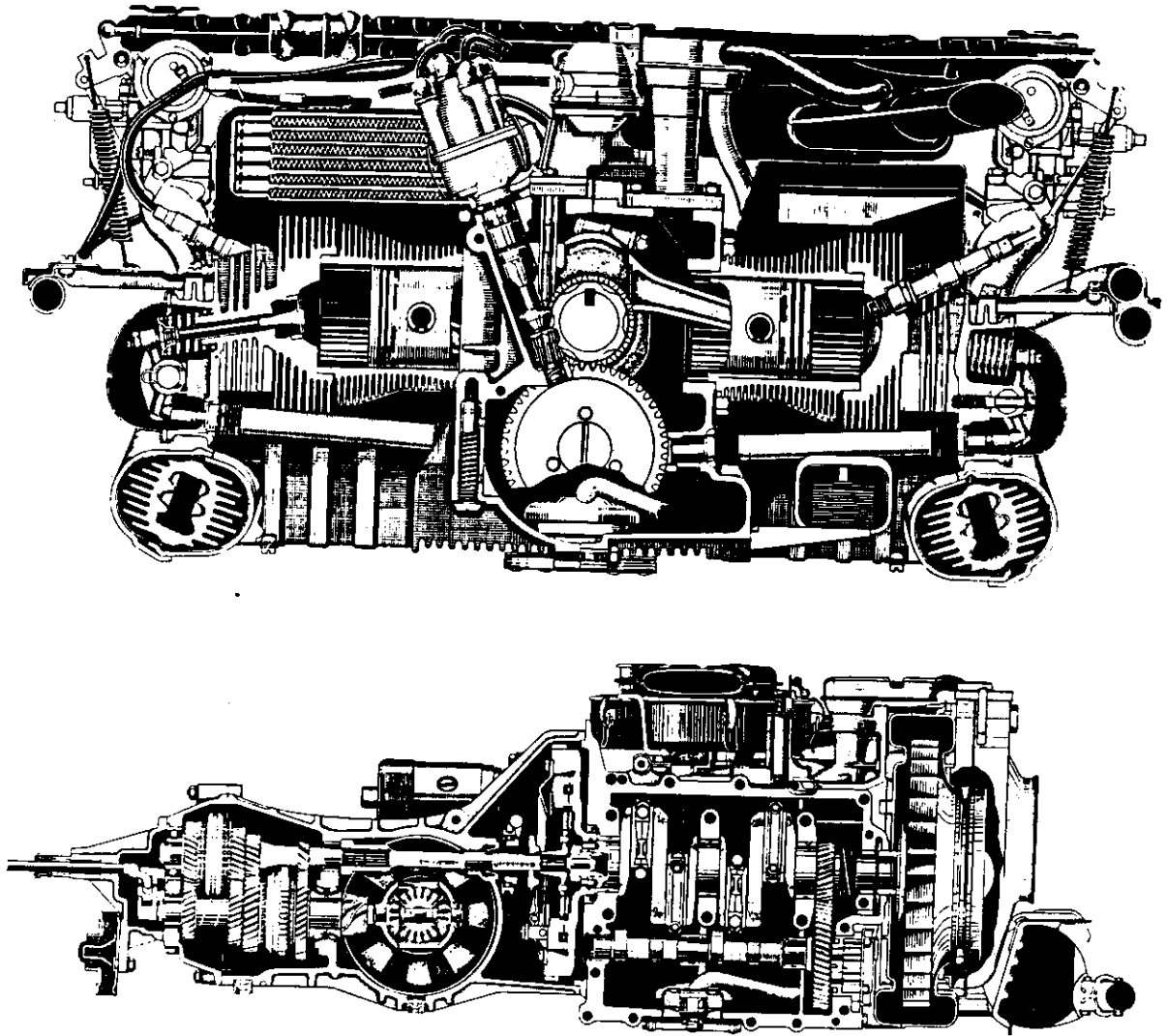
Στο Σχ. 1.79 φαίνεται σε τομή ένας τετρακύλινδρος κινητήρας diesel.



4-Ζύλινδρος-Ρεινήνκινοτ ΟΜ 615 (Dieselκινοτ) της Daimler-Benz AG

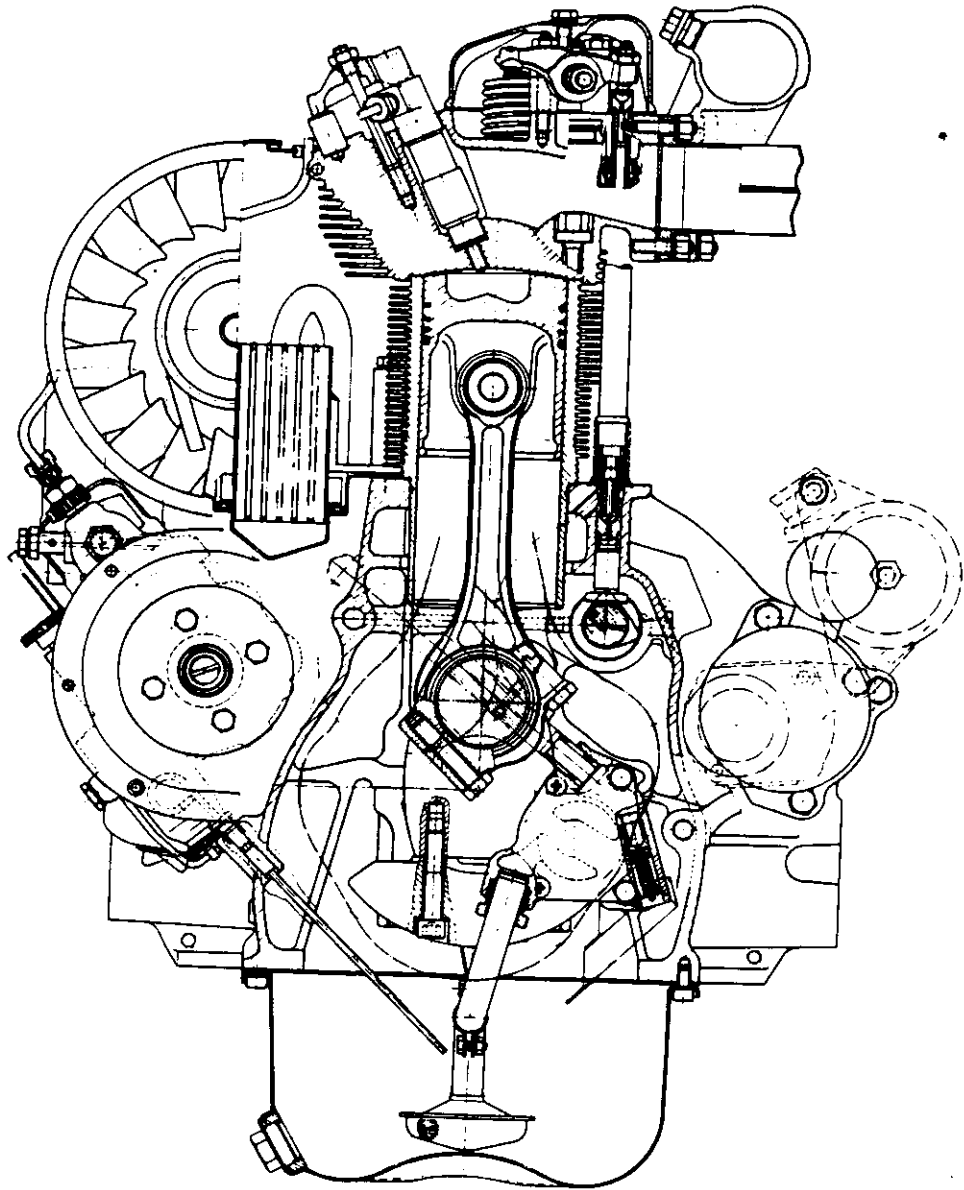
- | | | | | | | | | | |
|---|------------------|----|--------|----|--------------------|----|-----------|----|----------|
| 1 | Ζωiefαα-Ηυλίκκιε | 10 | Κόλιβν | 19 | Αντρίβκιε | 27 | Εντλυλκιε | 35 | Μοτρίκιε |
| 2 | Νοοκνκν | 11 | Κωίβν | 20 | (Είςπρίκιε-Όπυμπε) | 28 | Όίροη | 36 | Όίλφίλτ |
| 3 | Νοοκνκν | 12 | Ζωίβν | 21 | Σπρίκιε | 29 | (Νοοκνκν) | 37 | Σαυγκόβ |
| 4 | Όίλκν | 13 | Όίβν | 22 | Λυλφίλτ | 30 | Κράκιε | 38 | Όίβν |
| 5 | Όίλκν | 14 | Όίβν | 23 | Όίβν | 31 | Όίβν | 39 | Κόβν |
| 6 | Όίβν | 15 | Όίβν | 24 | Όίβν | 32 | Είςπρίκιε | 40 | Ανλίκκιε |
| 7 | Όίβν | 16 | Όίβν | 25 | Όίβν | 33 | Κράκιε | 41 | Ανλίκκιε |
| 8 | Όίβν | 17 | Όίβν | 26 | Όίβν | 34 | Όίβν | 42 | Όίβν |
| 9 | Όίβν | 18 | Όίβν | | | | | 43 | Όίβν |

Στο Σχ. 1.80 φαίνεται ο κλασικός βενζινοκινητήρας τύπου Boxer της VW.



Quer- und Längsschnitt des Volkswagenmotors 3/1500

Στο Σχ. 1.81 φαίνεται σε τομή ένας αερόψυκτος κινητήρας KHD.



· Luftgekühlter 4-Zylinder-Reihenmotor (Dieselmotor) F4L 912 der Klöckner-Humboldt-Deutz AG
b) Querschnitt

Ενότητα 2

Σχεδιασμός και χαρακτηριστικά λειτουργίας

2.1 Χαρακτηριστικά του κινητήρα

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθούν οι πιο σημαντικές σχέσεις που εκφράζουν τη γεωμετρία του κινητήρα, καθώς και οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό της λειτουργίας του κινητήρα. Οι παρακάτω παράγοντες είναι σημαντικοί για τον χρήστη της μηχανής :

- η απόδοση της μηχανής στο πεδίο λειτουργίας της
- η κατανάλωση καυσίμου της μηχανής στο πεδίο λειτουργίας της, καθώς και το κόστος του συγκεκριμένου καυσίμου που καίει
- οι εκπομπές ρύπων του καυσαερίου και ο θόρυβος της μηχανής στο πεδίο λειτουργίας της
- το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης της μηχανής
- η αξιοπιστία και η διάρκεια ζωής της μηχανής, οι απαιτήσεις συντήρησης καθώς και ο τρόπος που επηρεάζουν αυτά τη διαθεσιμότητα και το κόστος λειτουργίας της μηχανής

Η απόδοση της μηχανής καθορίζεται ακριβέστερα από :

- τη μέγιστη ροπή που είναι διαθέσιμη σαν συνάρτηση του αριθμού στροφών της μηχανής. (Καμπύλη μέγιστης ροπής ή περιβάλλουσα του κινητήρα)

Η παρακάτω δείκτες απόδοσης χρησιμοποιούνται συνήθως :

- *Μέγιστη ισχύς* : η υψηλότερη ισχύς που επιτρέπεται να αναπτύξει η μηχανή (για μικρά χρονικά διαστήματα)
- *Ονομαστική ισχύς* : η μέγιστη ισχύς που επιτρέπεται να αναπτύξει η μηχανή σε συνεχή λειτουργία.
- *Μέγιστες στροφές* : ο αριθμός στροφών στον οποίο επιτυγχάνεται η ονομαστική ισχύς.

2.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά εμβολοφόρων μηχανών

Οι παρακάτω παράμετροι ορίζουν τη βασική γεωμετρία μιάς εμβολοφόρου μηχανής (Σχ. 2.1):
Σχέση συμπίεσης

$$r_c = \frac{\text{maximum cylinder volume}}{\text{minimum cylinder volume}} = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (2.1)$$

όπου V_d είναι ο όγκος εμβολισμού και V_c είναι ο ελάχιστος όγκος του θαλάμου καύσης.
Σχέση διαμέτρου κυλίνδρου προς διαδρομή εμβόλου :

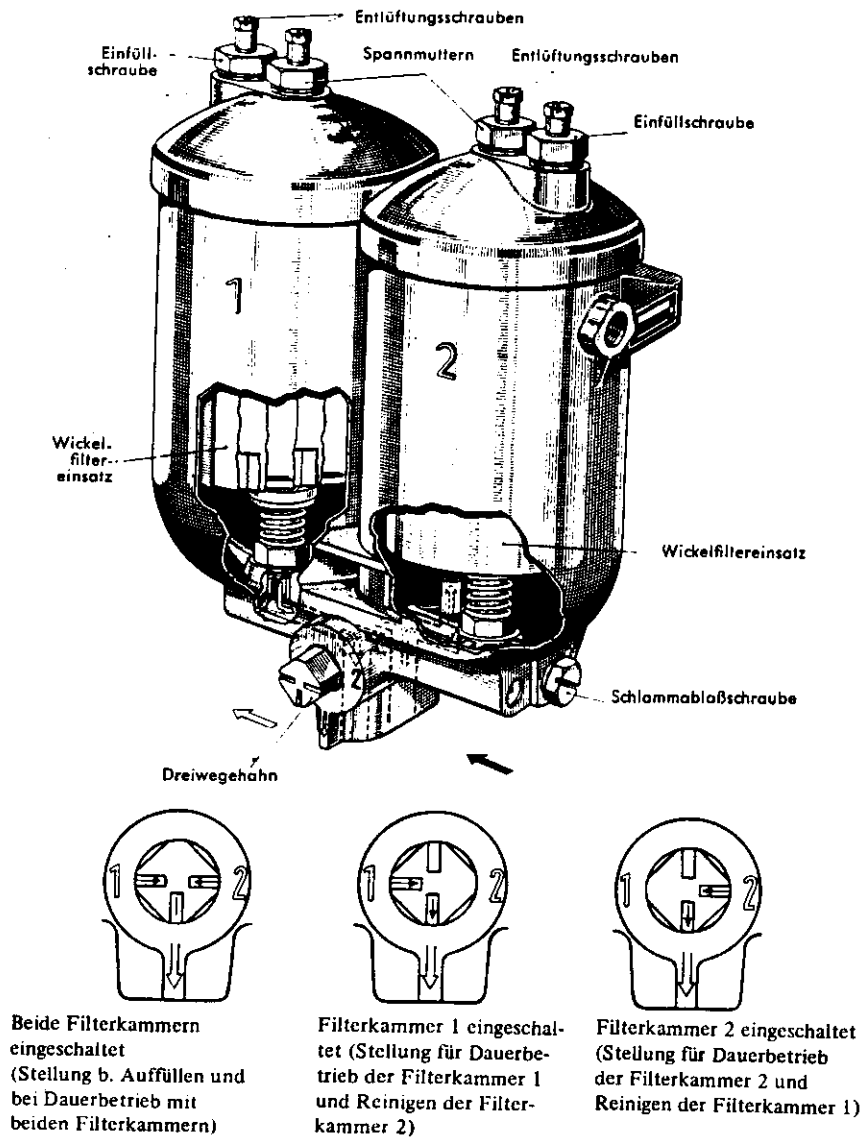
$$R_{bs} = \frac{B}{L} \quad (2.2)$$

Σχέση μήκους διωστήρα προς ακτίνα στροφάλου :

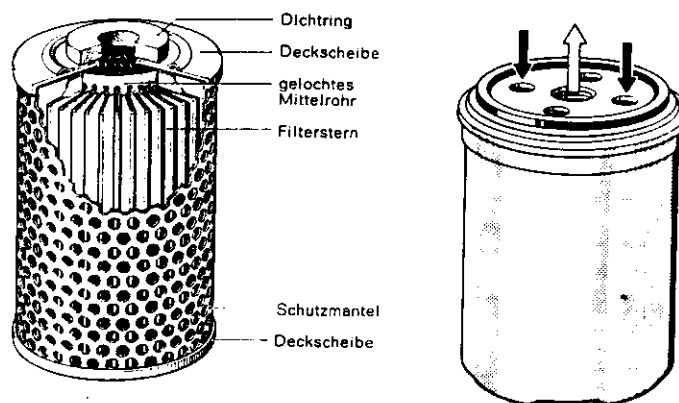
$$R = \frac{l}{a} \quad (2.3)$$

Φυσικά η διαδρομή του εμβόλου είναι διπλάσια της ακτίνας του στροφάλου.

Στο Σχ. 1.72 φαίνονται φίλτρα πετρελαίου.

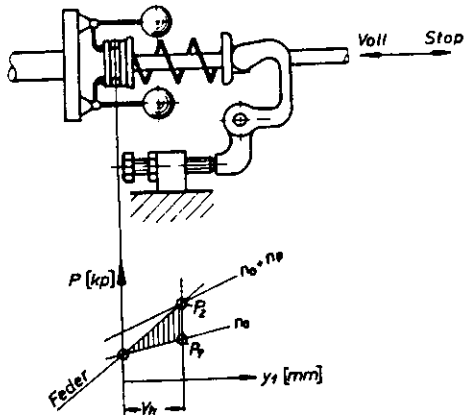


1. Bosch-Kraftstoff-Umschaltfilter mit Stellungen des Dreivegehahns

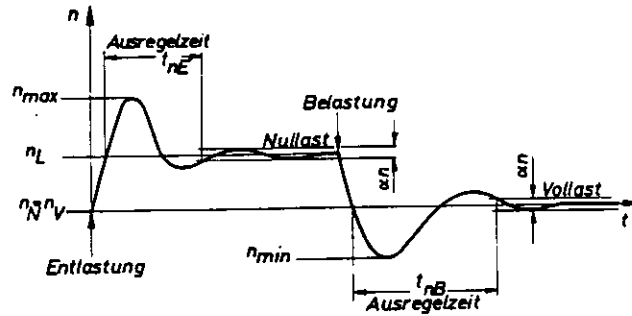


Kraftstofffilterbox mit Sternfiltereinsatz (Robert Bosch GmbH)

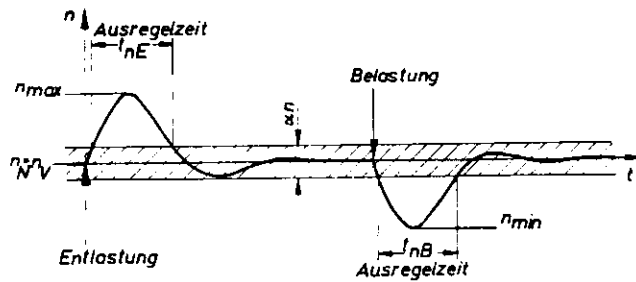
Στο Σχ. 1.73 φαίνεται η αρχή λειτουργίας του φυγοκεντρικού ρυθμιστή.



Schema eines mechanischen Drehzahlreglers

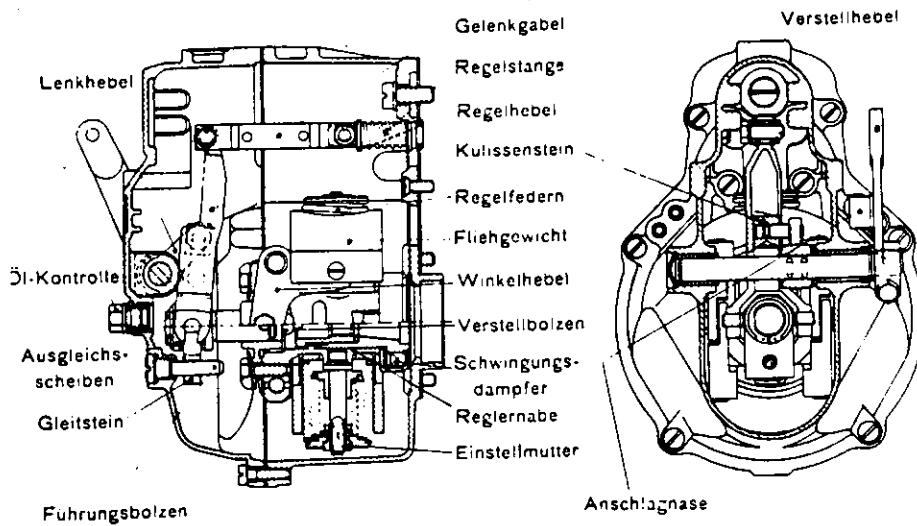


Drehzahlübergang (Ent- und Belastung) bei einem Diesel-Elektroaggregat mit P-Regler

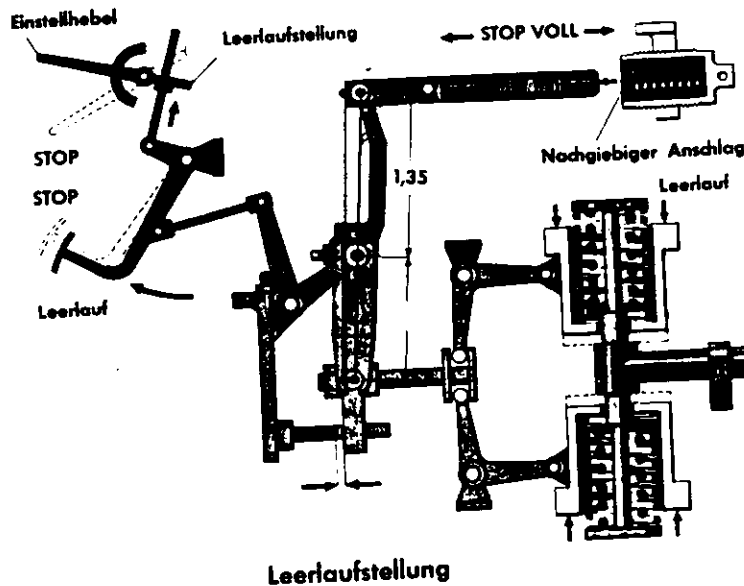


Drehzahlübergang (Ent- und Belastung) bei einem Diesel-Elektroaggregat mit P-J-Regler

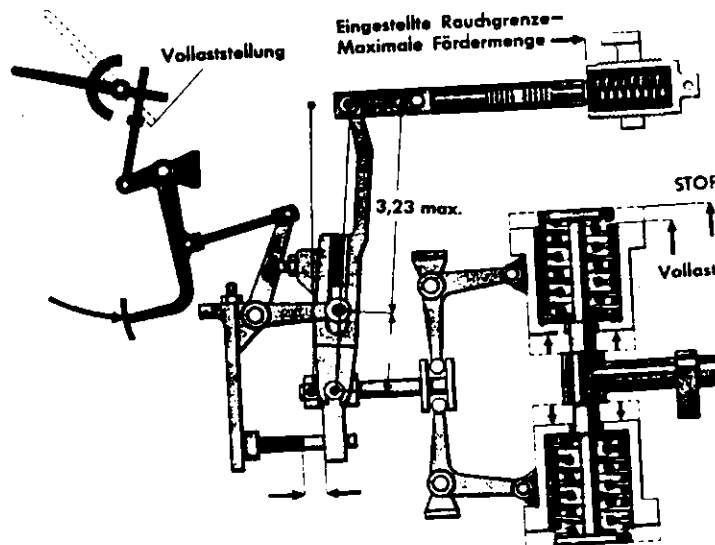
Στο Σχ. 1.74 φαίνεται η λειτουργία του ρυθμιστή τύπου RQ



Schnittbild des Bosch-RQ-Reglers



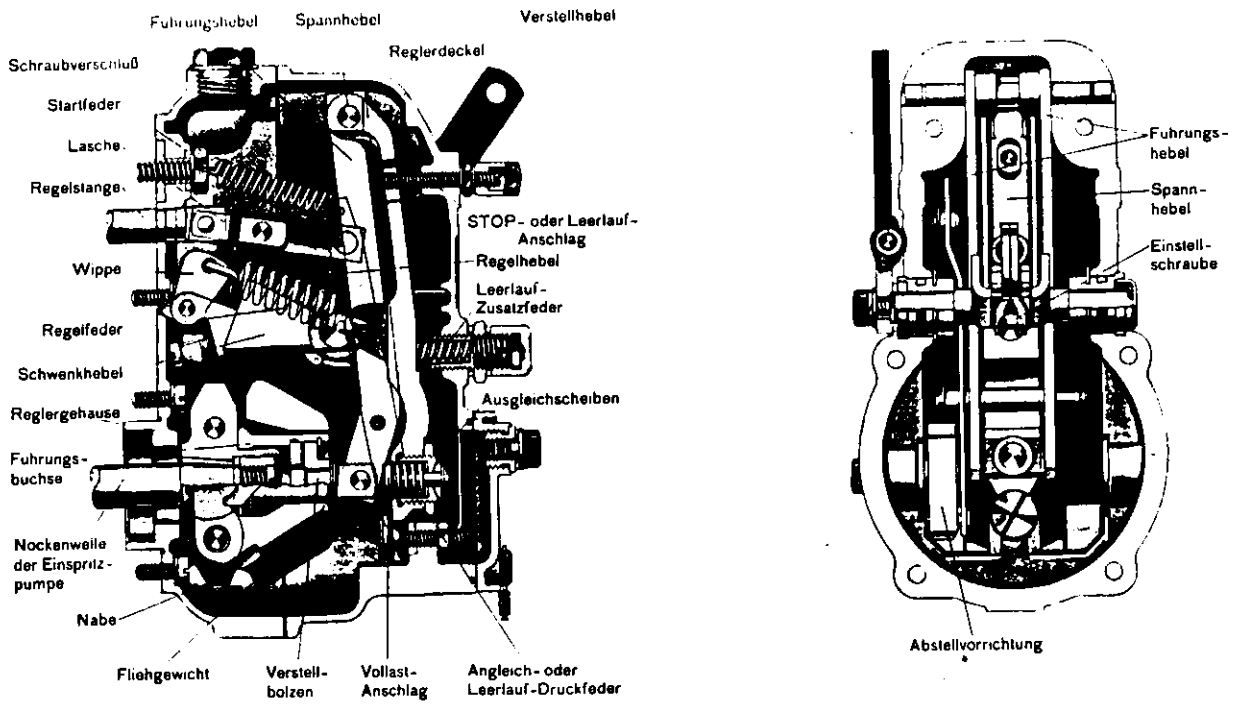
Leerlaufstellung



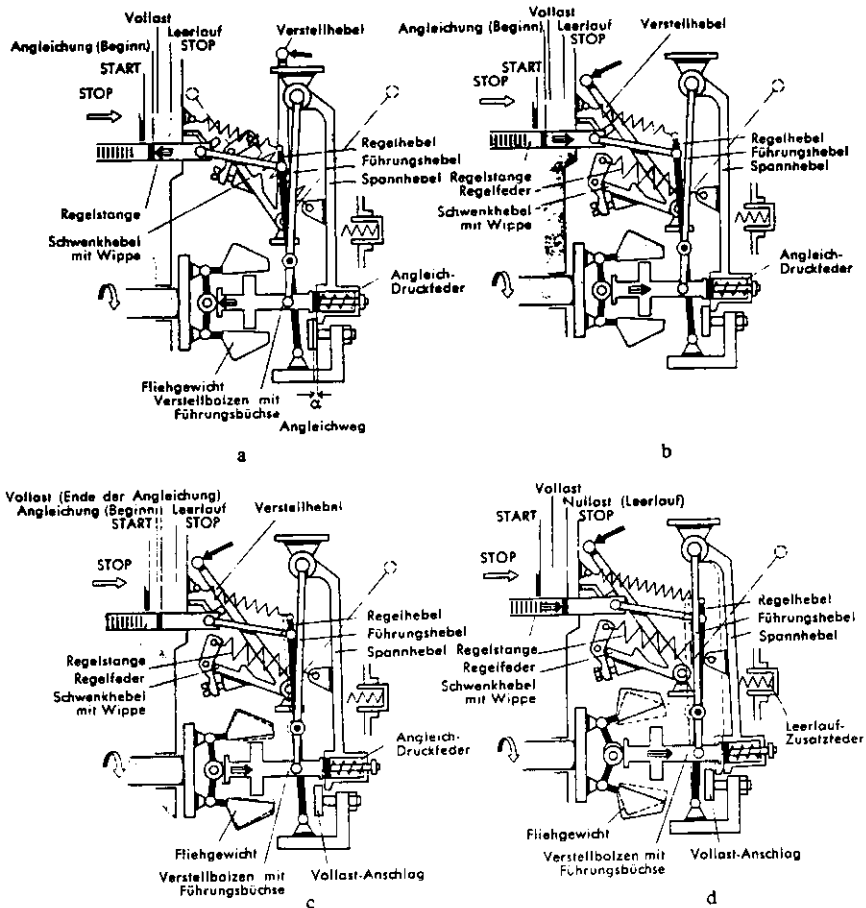
Vollaststellung

Wirkungsweise des RQ-Reglers der Firma Robert Bosch GmbH

Στο Σχ. 1.75 φαίνεται η αρχή λειτουργίας του ρυθμιστή EP/RSV

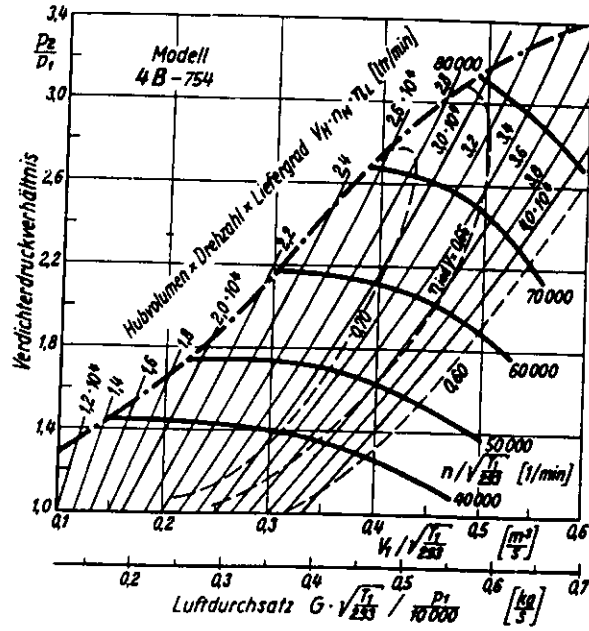


Schnittbild des Bosch-EP/RSV-Reglers

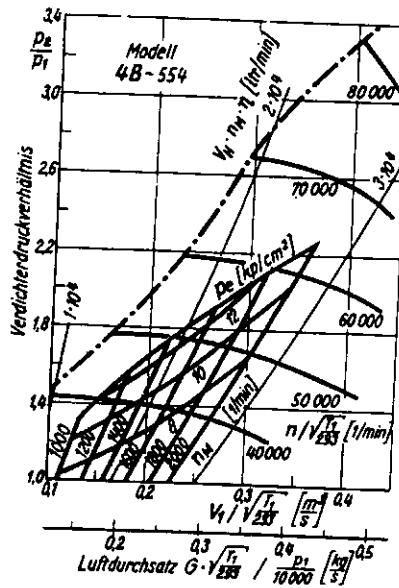


Wirkungsweise des Bosch-RSV-Reglers

Στο Σχ. 1.76 φαίνεται ένα πεδίο στροβιλούπερπληρωτή, καθώς και πεδία κινητήρα και υπερπληρωτή σε υπέρθεση.

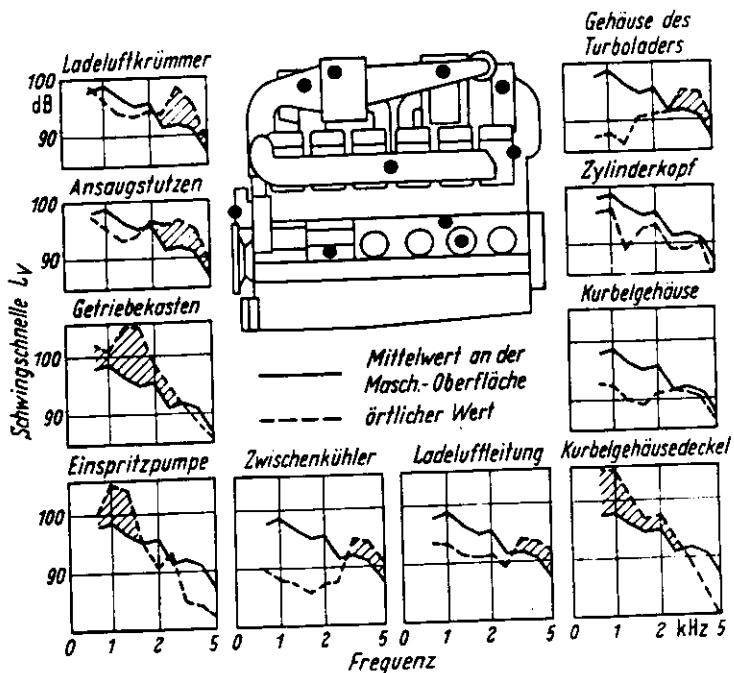


Verdichterkennfeld eines Abgasturboladers (Modell 4B-734 der Aktiengesellschaft Kühnle, Kopp und Kausch) [277]

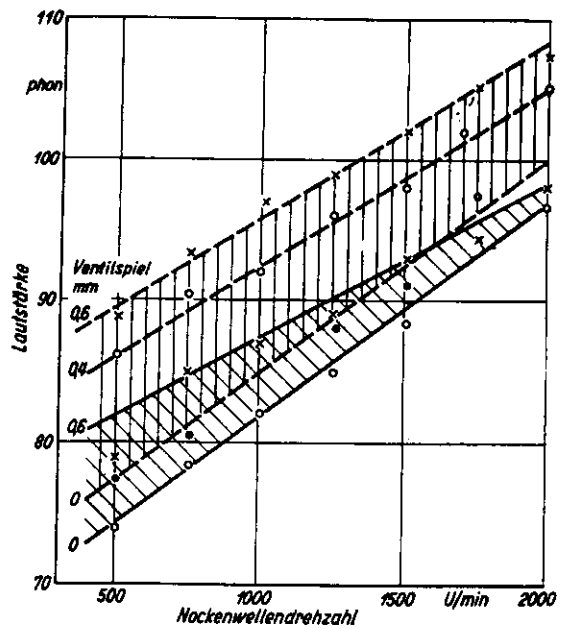


Betriebslinien eines 15 l-Fahrzeugdieselmotors im Verdichterkennfeld eines Abgasturboladers (Abgasturbolader der Aktiengesellschaft Kühnle, Kopp und Kausch, Type 4B-554) [277]

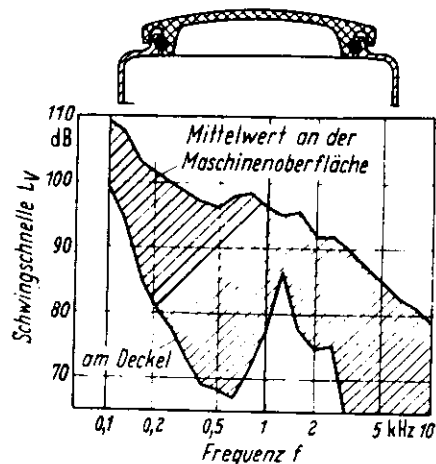
Στο Σχ. 1.77 φαίνονται καταγραφές θορύβου σε διάφορα σημεία μιάς μηχανής.



Geräuschverteilung an einem schnellaufenden Dieselmotor mit Aufladung und Ladelftkühlung [8]

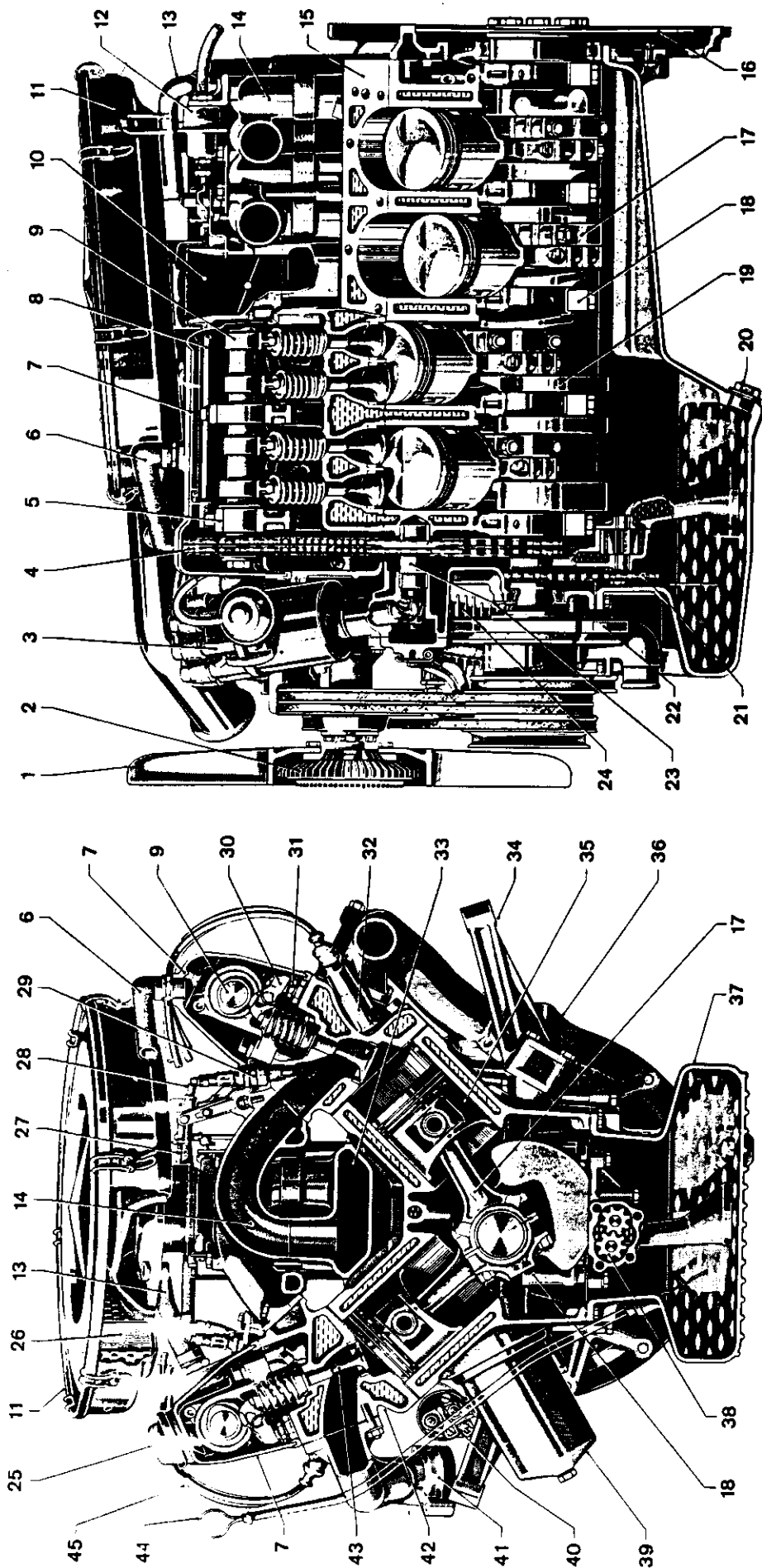


Gemessene Lautstärke des Ventiltriebs in 1 m Abstand an einem Deutz-Vierzylinder-Dieselmotor F4L 712. Nockenwelle und Ventiltrieb mit sämtlichen Ventilen elektrisch angetrieben [166]
 — Rampe 18° NW mit anschließendem ruckfreien Nocken
 — Rampe 12° NW mit anschließendem Kreisbogenocken



Wirkung eines Kunststoffdeckels über dem Ventiltriebsraum [8]

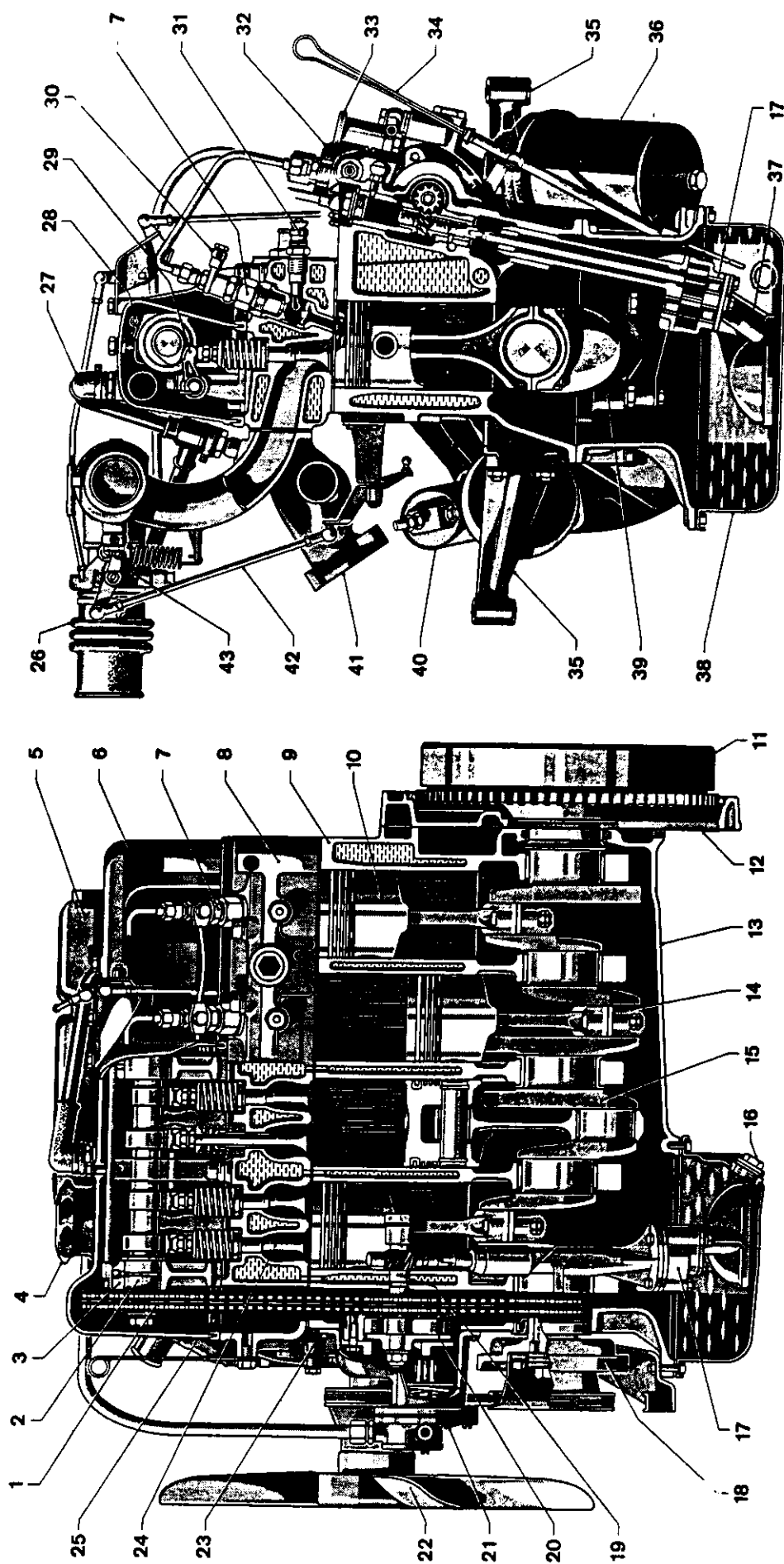
Στο Σχ. 1.78 φαίνεται σε τομή ένας οκτακύλινδρος κινητήρας.



8-Zylinder-V-Motor (Ottomotor) M 116 der Daimler-Benz AG

- | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 1 Lüfter | 19 Kurbelwelle | 37 Ölwanne |
| 2 Viskose-Lüfterkupplung | 20 Ölablaßschraube | 38 Ölpumpe |
| 3 Zündverteiler | 21 Rollenkette (Ölpumpenantrieb) | 39 ÖlfILTER |
| 4 Zweifach-Rollenkette | 22 Schwingungs-dämpfer | 40 Anlasser |
| 5 Nockenwellenlager | 23 Antriebswelle (Zündverteiler) | 41 Auspuffkrümmer |
| 6 Entlüftungsleitung | 24 Luftpresser | 42 Zylinderkopf |
| 7 Zylinderkopfhaube | 25 Öleinfüllstutzen | 43 Auslaßventil |
| 8 Ölrohr (Nockenwellenschmierung) | 26 Füllereinsatz | 44 Ölmeßstab |
| 9 Nockenwelle | 27 Reguliergestänge | 45 Zündleitungen |
| 10 Klappenstutzen | 28 Kraftstoff-Ringleitung | |
| 11 Saugerausdämpfer | 29 Einspritzventil | |
| 12 Kraftstoff-Druckregler | 30 Schwinghebel | |
| 13 Entlüftungsleitung | 31 Schwinghebellagerung | |
| 14 Saugrohr-Oberteil | 32 Zündkerze mit Entzörstecker | |
| 15 Zylinderkurbelgehäuse | 33 Saugrohr-Unterteil | |
| 16 Mitnehmerscheibe | 34 Motorträger | |
| 17 Pleuelstange | 35 Kolben | |
| 18 Kurbelwellenlagerdeckel | 36 Zwischenflansch | |

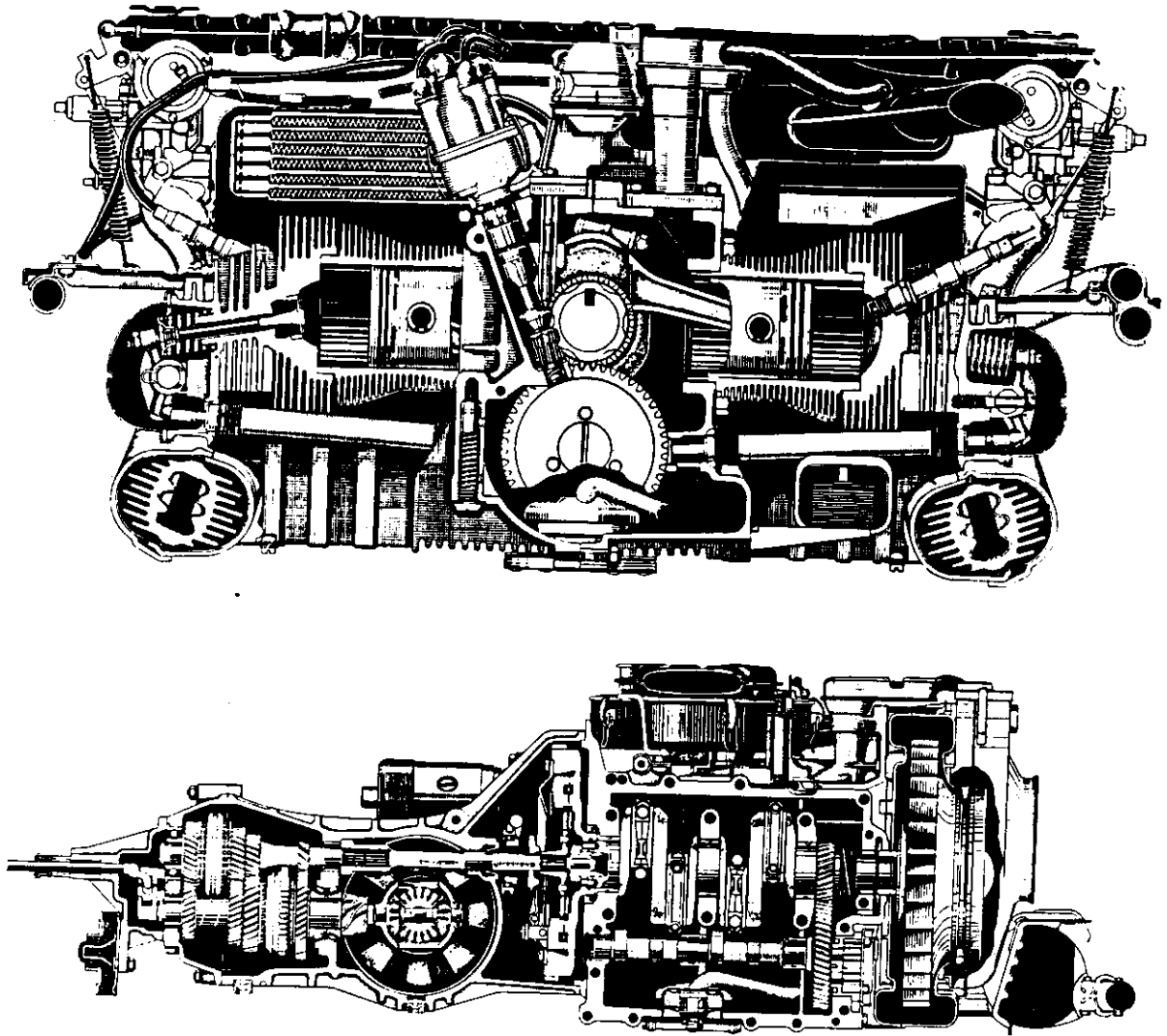
Στο Σχ. 1.79 φαίνεται σε τομή ένας τετρακύλινδρος κινητήρας diesel.



4-Ζύλινδρος-Ρεινήντορ OM 615 (Dieselmotor) der Daimler-Benz AG

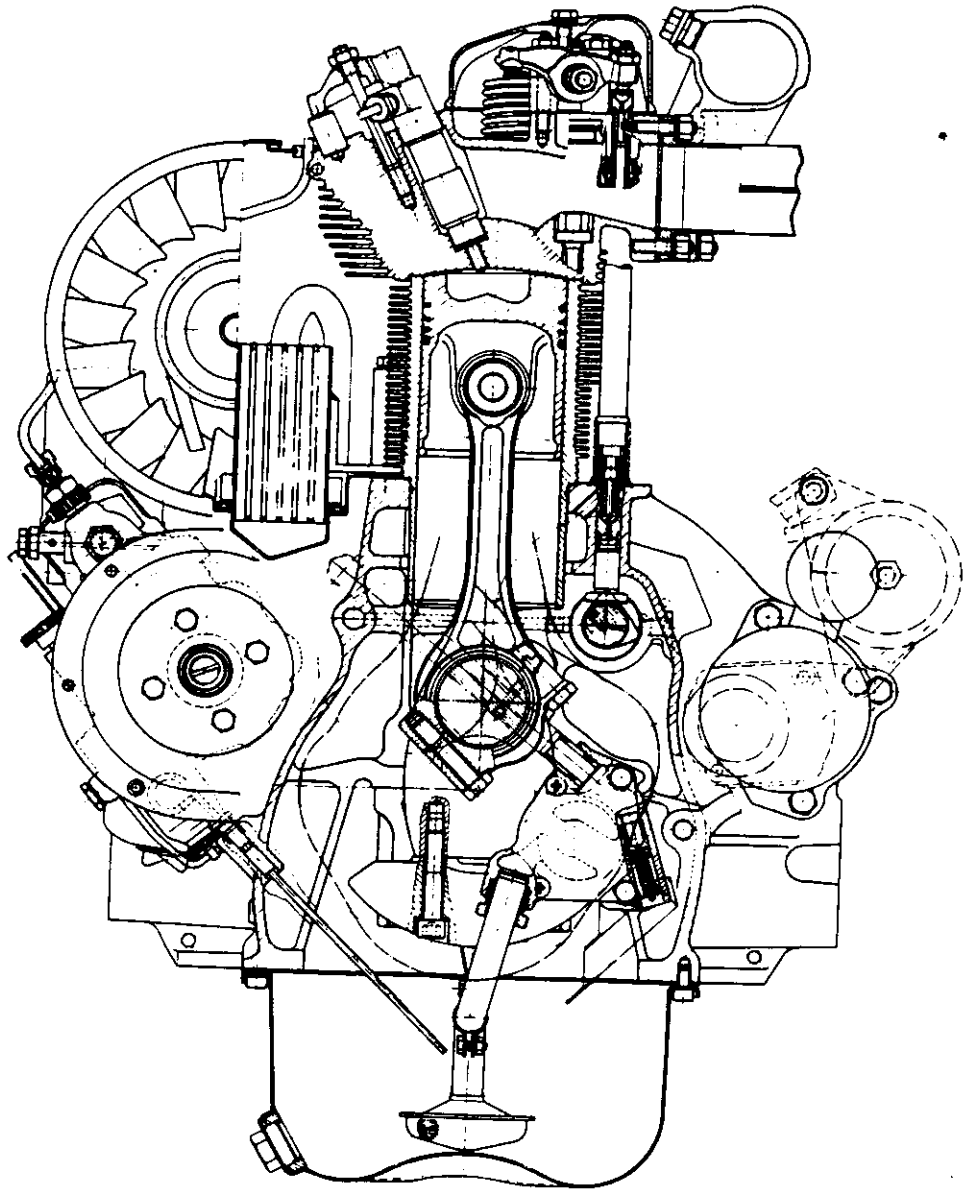
- | | | | | | | | | | |
|---|------------------|----|------------------|----|-------------------------|----|---------------------|----|-------------------|
| 1 | Ζωφάχ-Ηύλσκηττή | 10 | Κόλβιν | 19 | Αντρίβσώλλ | 27 | Εντλήφύσλγύτ | 35 | Μοττόρτράγ |
| 2 | Νόκκινώλλ | 11 | Σώβινγρ | 20 | (Είंसπρίττπύμπε-Óπύμπε) | 28 | Óλφίλτ | 36 | Óλφίλτ |
| 3 | Νόκκινώλλνλάγ | 12 | Ζώβινσώλλνλάγ | 21 | Σπρίττβέστέλλ | 29 | (Νόκκινώλλνσώμνίε) | 37 | Σαύγκόρβ |
| 4 | Óλείνφύλττύτ | 13 | Óλβάννε Óβέρτέιλ | 22 | Úντέρδρýκπύμπε | 30 | Σώβινγώβελ | 38 | Óλβάννε Úντέρτέιλ |
| 5 | Σώβινγσάυγρ | 14 | Πλέυελστάνγ | 23 | Λύφτ | 31 | Κράφτστέφ-Λέκκλέίτ | 39 | Κύρβέλλννλάγ |
| 6 | Ζύλινδκόπφσάυβε | 15 | Κύρβέλλ | 24 | ΰσσερπύμπε | 32 | Óλείε | 40 | Κύρβέλλννλάγ |
| 7 | Είंसπρίττδύσε | 16 | Óλείε | 25 | Αύσλάβέντíλ | 33 | Είंसπρίττπύμπε | 41 | Ανλάσσερ |
| 8 | Ζύλινδκόπφ | 17 | Óπύμπε | 26 | Κύλβáσσερ-Θέρμóστ | 34 | Κράφτστέφ-Ηάνδπύμπε | 42 | Ρεγύλέργέστάνγ |
| 9 | Ζύλινδκόρβέγέύσε | 18 | Γέγγινγέύτ | | | | | 43 | Κλάππενρέγ |

Στο Σχ. 1.80 φαίνεται ο κλασικός βενζινοκινητήρας τύπου Boxer της VW.



Quer- und Längsschnitt des Volkswagenmotors 3/1500

Στο Σχ. 1.81 φαίνεται σε τομή ένας αερόψυκτος κινητήρας KHD.



· Luftgekühlter 4-Zylinder-Reihenmotor (Dieselmotor) F4L 912 der Klöckner-Humboldt-Deutz AG
b) Querschnitt