



DR. KOVÁCS ENDRE

ny. egyetemi adjunktus

KISS CSABA

egyetemi tanársegéd



A vasúti dízelmotorok fejlesztésének irányai

<p><i>Összefoglaló</i></p> <p>A vasúti üzemre tervezett dízelmotorok fajlagos műszaki jellemzői igen jelentős mértékben javultak az elmúlt ötven év fejlesztéseinek eredményeképpen. A közlemény a fejlesztés irányait magyarországi jelentőséggel bíró négyütemű vasúti dízelmotorok néhány típusának adatai alapján tárgyalja.</p>	<p><i>Endre Kovács Dr.</i> Oberassistent i.R.</p> <p><i>Csaba Kiss</i> Assistent</p> <p>Entwicklungstendenzen im Bau von Dieselmotoren für Schienenfahrzeuge</p> <p><i>Zusammenfassung</i> Die spezifischen Parameter der Dieselmotoren für Schienenfahrzeuge haben sich dank der vergangenen fünfzigjährigen Entwicklungen sehr stark gebessert. Im vorliegenden Artikel werden die Entwicklungstendenzen aufgrund der Angaben einiger zurzeit in Ungarn relevanten, Viertakt Dieselmotoren behandelt.</p>	<p><i>Endre Kovács Dr.</i> retired assistant professor</p> <p><i>Csaba Kiss</i> assistant lecturer</p> <p>Development trends of railway diesel engines</p> <p><i>Summary</i> The specific parameters of railway diesel engines have been well improved due to the development during the past fifty years. In this article the development based on the data of some of the recently in Hungary relevant, four-stroke railway diesel engines are discussed.</p>
--	---	---

A vasúti dízelmotorokat gyártó vállalatoknál az elmúlt ötven évben folytatott fejlesztési munkák eredményeképpen a vasútüzemre tervezett dízelmotorok műszaki jellemzői igen jelentős mértékben változtak, javultak. A folyamatok bemutatására néhány olyan négyütemű motortípus 12V-változatát választottuk ki, amelyeknek magyarországi jelentősége is van. A választás önkényes, lehetett volna kétütemű motortípusokat vizsgálni, azonban a vizsgált hazai gyártású típusok kizárólag négyüteműek. Lehetett volna egy-egy motortípus több építési változatát (pl. 8V, 12V, 16V, 18V, 20V) elemezni, azonban ez nem javította volna a világosabb áttekinthetést.

A választott motortípusok közül kettő (12VFE 17/24; 12PA4-185

VG) sorozatgyártása a Ganz-MÁVAG-ban évtizedekig folyt, mára a sorozatgyártás megszűnt, egyedi darabokat gyártanak; a következő kettő és továbbfejlesztett változatai pedig (Caterpillar 3512B, 3512C; MTU 12V4000R41L, 4000R43 stb.) 2012-ben is nagy darabszámban gyártott változat. A vizsgálatba bevontuk a Caterpillar 3512B HD típusú dízelmotorját, mivel ez is viszonylag nagy számban megtalálható egy hazai dízelmozdony típusban.

A motorikus jellemzők összehasonlítása és elemzése alapján bizonyos eredményes fejlesztési irányzatok kirajzolhatók. Az alkalmazott műszaki megoldások kijelölik azokat a részterületeket, amelyeket a korszerű vasúti dízelmotorok tárgyalása során vizsgálni és elemezni célszerű.

Az 1.1 táblázatban a fent említett négyütemű, 12-hengeres vasúti dízelmotorok néhány típusának jellemző adatait foglaltuk össze. A táblázathoz tartozó kiegészítésben értelmeztünk és pontosítottunk egyes adatokat.

A kiválasztott vasúti dízelmotorok egy jól körülhatárolt hengerátmérő ($D = 165-185$ mm) és teljesítmény és a névleges fordulatszám ($P_e = 600-1700$ kW) tartományban vannak. Úgy ítéltük meg, hogy az európai viszonyokra és az összehasonlíthatóságra figyelemmel elsősorban ezeket célszerű elemezni.

A táblázatból megállapítható, hogy elsősorban az effektív közepnyomásnak, kisebb mértékben pedig a névleges fordulatszámnak van a fajlagos motorjellemezőkre jelentős hatása. A négyütemű motorok ef-

fektív teljesítménye állandó n (1/s) fordulatszám

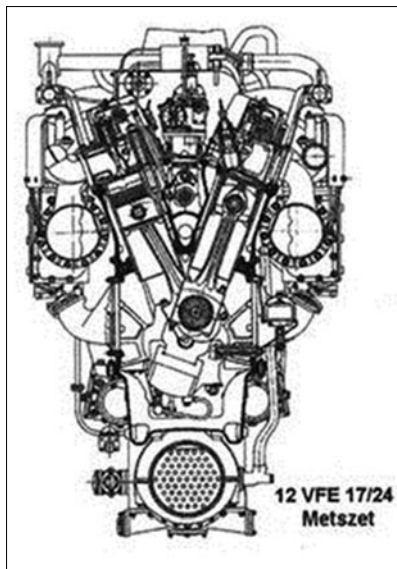
$$P_e = \frac{p_e \cdot V \cdot n}{2} \text{ (kW) és } V = z \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot s$$

ahol

p_e (MPa) a motor effektív középnyomása,
 V (dm³) (liter) a motor összlökettérfogata,
 z a hengerek száma,
 D (dm) a hengerfurat átmérője és
 s (dm) a löket.

A táblázatban szereplő motoroknál a névleges fordulatszám növelése a 12VFE 17/24 típushoz képest 20-49% között van, amit a rövidebb löketek miatt a még megengedhető dugattyú középsebességgel tudtak elérni.

A fordulatszám növelésének korlátozása a dugattyú középsebesség megengedett értékének betartása révén valósul meg. A táblázatban szereplő motoroknál a $c_k = 2s \cdot n$ (m/s) dugattyú középsebesség 10 m/s „hagyományos” értékének 5-18%-os növelése érhető el, a henger, a dugattyú szerkezeti kialakításával, a dugaty-



1. ábra Ganz-MÁVAG 12 VFE 17/24 típusú dízelmotorjának keresztmetszete

Abbildung 1. Querschnitt des Ganz-MÁVAG 12 VFE 17/24 Dieselmotors

Figure 1. Cross-section of the Ganz-MÁVAG 12 VFE 17/24 Diesel-engine

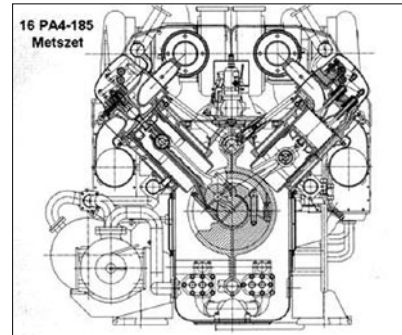
Forrás: Ganz-Motor Kft.

túgyűrűk megfelelő anyagválasztásával, megfelelő kenőanyag alkalmazásával és felületi megmunkálásával.

A turbófeltöltés növelése révén ugyanakkor az effektív középnyomás a kismértékű feltöltéssel biztosítható 0,86 MPa értékről 2,2 MPa értékre, tehát több, mint két és félszeresére növelhető.

A 12VFE 17/24 típus az 1957-től sorozatgyártásba került 12JV 17/24 típusból fokozatos fejlesztési lépések után alakult ki. A feltöltés nélküli változat (12JV 17/24; $P_e = 367$ kW; $p_e = 0,535$ MPa; $n = 1250$ 1/min; 3600 kg) és a turbófeltöltős változat (12JVf 17/24; $P_e = 441$ kW; $p_e = 0,642$ MPa; $n = 1250$ 1/min; 4200 kg) fajlagos mutatói szerények. A teljesítmény növelésének eszköze a turbófeltöltés volt, időközben a motor forgattyúházának és fő szerkezeti egységeinek megerősítése párhuzamosan megtörtént.

A 12VFE 17/24 típusú motor középnyomása az 1963-ban indult sorozatgyártás kezdetén $p_e = 0,789$ MPa volt ($P_e = 537$ kW, a névleges fordulatszám mindvégig 1250 1/min maradt), amit 1973-1977-re sikerült $p_e = 0,8636$ MPa értékre növelni ($P_e = 588$ kW). Az 1.1 táblázatban ezt a változatot tüntettük fel az összehasonlítás érdekében. Bár a motor tömege nem nagy, azonban a teljesítményre és az összlökettérfogatra vonatkoztatott jellemzők (kg/kW; kW/liter; kg/liter) tekintetében jelentősen elmarad az összehasonlításként bemutatott újabb fejlesztésű más típusok értékeitől. A 12VFE 17/24 típusú dízelmotor kis tömegét a forgóváza épített konstrukció követelte meg. A kis tömeg elérésének eszközei voltak: a szokatlanul zárt kis V-szög (40°), a könnyűfém forgattyúház, a villás/közrefogott hajtórúd elrendezés, a szárazkarteres megoldás, amely egyben kis magassági méretet eredményezett. Az összlökettérfogatra vonatkoztatott tömeg (kg/liter) kis értéke azonban nem kellően merev forgattyúházat eredményezett, amely számos hibához vezetett.



2. ábra A 2 turbófeltöltős (RR-töltős) 16 PA4-185 típusú dízelmotor keresztmetszete

Abbildung 2. Querschnitt des mit zwei Turbolader ausgerüsteten 16 PA4-185 Dieselmotors

Figure 2. Cross-section of the 16 PA4-185 Diesel-engine equipped with two turbochargers

Forrás: Ganz-Motor Kft.

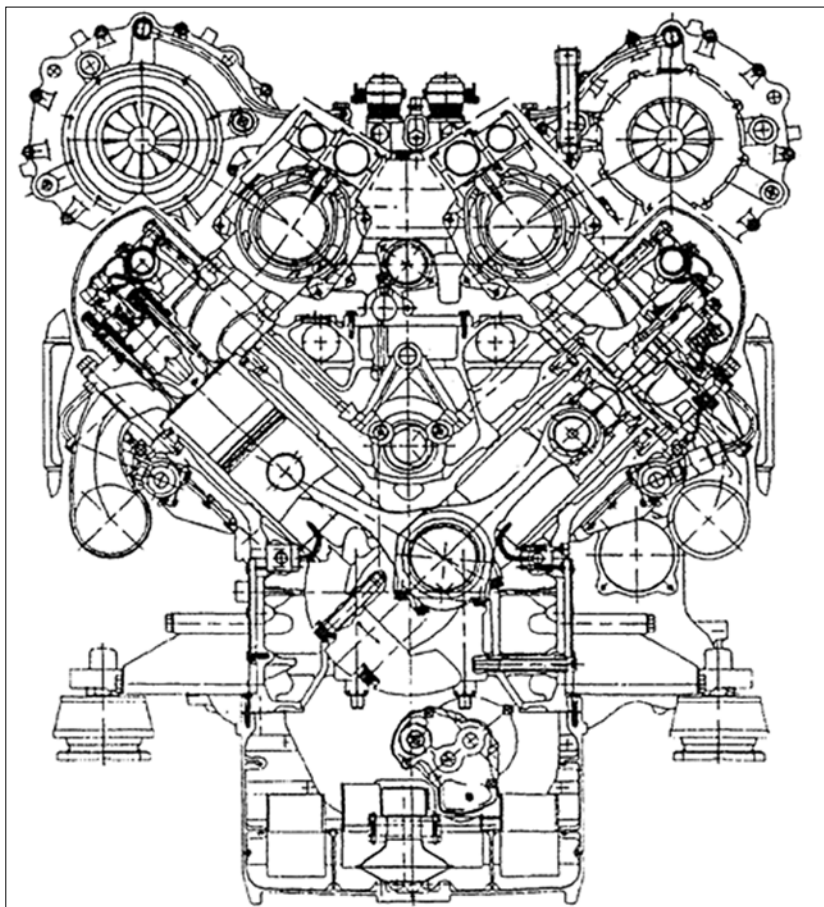
A többi összehasonlított motor nagyobb összlökettérfogatra vonatkoztatott tömege (kg/liter) merevebb motorszerkezetet eredményezett: a 12PA4-185 VG típus alagútkartere eleve szilárd vázát alkot; a Caterpillar 3512B típusnak 79%-kal, az MTU 12V4000R41L típusnak pedig 88%-kal nagyobb a fajlagos tömege.

Meg kell jegyezni, hogy az MTU típus a motor tetején elhelyezett négy feltöltő és négy levegő visszahűtő miatt rendkívül „zsúfolt” kialakítású, amely a hengerfejen elhelyezett szerkezeti elemekhez a bontást, valamint a vízszivárgás és a kifúvás esetén a hozzáférést megnehezíti.

A teljesítményre vonatkoztatott tömeg értékei korszerű gyorsjárású motoroknál a 3,8-4,2 kg/kW tartományban vannak, ezen jellemző további csökkentése csak jelentős fejlesztési munkával érhető el.

A beépítési motortérfogatra vonatkoztatott teljesítmény, a teljesítménykoncentráció korszerű motoroknál a 200-250 kW/m³ tartományban van.

A motor felépítését (pl. V-szög) alapvetően a vasúti járműbe történő beépítés módja határozza meg. A szélességi méret 1310-1450 mm, a magassági méret 1800-1850 mm között van. Az MTU 12V4000R41L motortípus esetében az igen kedvező motorikus jellemzők elérése több évtizedes, összehangolt, példaértékű



3. ábra MTU/DDC 4000 típusú dízelmotor (két turbófeltöltős) keresztmetszete

Abbildung 3. Querschnitt des MTU/DDC 4000 Dieselmotors

Figure 3. Cross-section of the MTU/DDC 4000 Diesel-engine

Forrás: B. J. Challen, R. Baranescu: Diesel Engine Reference Book

fejlesztések eredménye. A fejlesztéseket kiemelten a következő részterületeken végezték:

- a keverékképzés és az égéslefordulás vezérlése; ezzel összefüggésben:
 - a common rail befecskendező rendszer alkalmazása;
 - elektronikus motorvezérlő rendszer alkalmazása;
 - kétfokozatú turbófeltöltés;
 - a hőterhelések mechanikai uralása, a mechanikai és a hőigénybevételek együttes figyelembevétele a méretezésnél;
 - az emissziós előírások betartása érdekében szükséges beavatkozások;
 - zajcsillapító motor alátámasz-

tások alkalmazása a jármű-komfort javítása érdekében.

A működés megbízhatósága különös fontossággal bír a vasúti dízelmotorok esetében. Ezért vizsgálni kell [7] alapján a dízelmotorokkal szemben támasztott következő követelményeket:

- megbízhatóság: annak valószínűsége, hogy a termék előírt funkcióját adott feltételek között (t_1 , t_2) időszakban ellátja;
- üzemképesség: a motornak az a tulajdonsága, hogy adott körülmények között, adott időtartományon belül meghatározott feladatát teljesíti a megkövetelt külső források rendelkezésre állása esetén;
- karbantarthatóság: annak való-

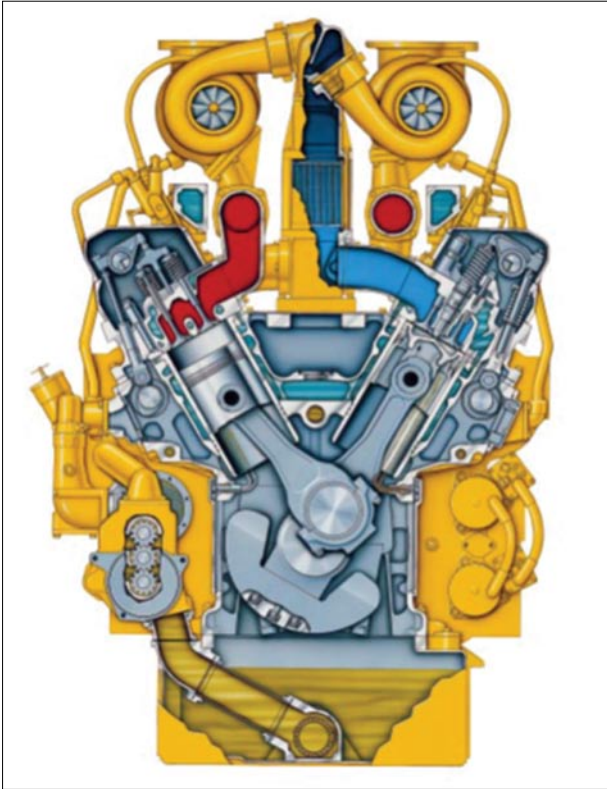
színűsége, hogy megadott alkalmazási feltételekkel üzemelő egységen lebonyolított aktív karbantartási művelet meghatározott időszakon belül elvégezhető, ha a karbantartási művelet megadott feltételek mellett zajlik le, illetve meghatározott eljárásokat alkalmaz és meghatározott erőforrásokat használ fel;

- biztonság: az elfogadhatatlan károsodási kockázatoktól való mentesség;
- tartósság: a vasúti dízelmotor a dízelvontatójármű egyik legfontosabb alrendszere, mely a vontatójármű megbízhatóságát alapvetően meghatározza.

Megítélésünk szerint a korszerű vasúti dízelmotorok tárgyalása során a felsorolt részterületeket indokolt elemezni.

Kiegészítések az 1.1. táblázathoz

1. A Ganz-MÁVAG Mozdony-, Vagon- és Gépgyár, Budapest.
2. Ganz Holding, Ganz-Motor Kft.
3. Caterpillar Engine Center, Lafayette, Indiana, USA
4. MTU:Motor-Turbinen Union Friedrichshafen GmbH, Németország.
5. A Ganz-MÁVAG által fejlesztett és gyártott motortípus.
6. A Ganz-MÁVAG-ban az 1969-ben megvásárolt licenc alapján gyártott motortípus. A licencadó (Chantiers de L'Atlantique, Engines Department, S.E.M.T.-Pielstick Diesel Engines, 93. Saint-Denis, Franciaország) ezt megelőzően fejlesztette és gyártotta a motortípust. A motor gyártási licencét Magyarországon kívül számos más országnak is eladták.
7. A Ganz-Motor Kft. által a 12 PA4-185 VG típusra támaszkodva, továbbfejlesztett motortípus.
8. A gyártási időszak vége a motortípus, vasúti üzem céljára gyártott, 12V-változata sorozatgyártásának kifizetését jelzi. Nem vasúti üzem céljára, illetve tartalékként a vál-



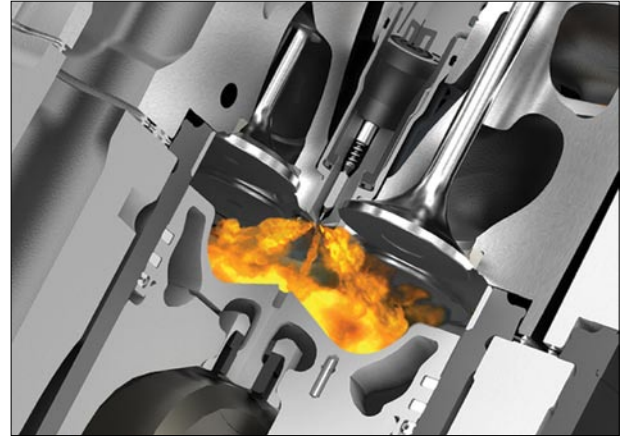
4. ábra CAT 3512B dízelmotor keresztmetszete

Abbildung 4. Querschnitt des CAT 3512B Dieselmotors

Figure 4. Cross-section of the CAT 3512B Diesel-engine

lalat ezt követően is gyártotta, kis példányszámban, a megjelölt motortípus 12V-változatát.

9. Az 1963-1990. közötti időszakban összesen 2430 motort gyártottak ebből a változathoz, amiből 2207 motort szállított a vállalat a Szovjet Államvasutak részére a 4-részi, 537 kW teljesítményű, hidromechanikus erőátvitellel épített motorkocsikhoz, illetve tartalékotként.
10. Az 1973-1984. közötti időszakban összesen 162 motort gyártott a vállalat ebből a változathoz, vasútüzemi célra 150 motort szállítottak.
11. Nem rendelkezünk pontos információkkal a sorozatgyártás megkezdésének időpontjáról.
12. A motortípus sorozatgyártása (1996) óta a 16V-változattal több, mint 5000 dízelmotort építettek.



5. ábra Keverékképzés és égés

Abbildung 5. Gemischbildung und Verbrennung

Figure 5. Mixing formation and burning

Forrás: www.tognum.com

A 12V-változatot is folyamatosan gyártották, 2012-ben továbbfejlesztették (típusjele: 12V4000RX4).

13. A motor tömege szárazon, a hűtővíz és a kenőolaj nélkül értendő.
14. H × Sz × M: Hossz × Szélesség × Magasság.
15. Az ún. szárazteknős kivitelnél a dízelmotor magassági mérete: 1540 mm.

Felhasznált irodalom

- [1] Kovács E.: Dízel vontatójárművek I., Vasúti dízelmotorok. Egyetemi jegyzet. BME, Budapest, 2012.
- [2] Ganz-MÁVAG Budapest, gyártmányismertető kiadványok, kezelési utasítások.
- [3] MTU Report. MTU Friedrichshafen GmbH, Vol. 1/2008.
- [4] Series 4000 diesel engines for rail vehicles. MTU Friedrichshafen GmbH.
- [5] Clean and powerful: MTU Series 4000 rail diesel engine for EU Stage III B. European Railway Review. Vol. 18, Issue 3. 2012.
- [6] A dízelmotorokat gyártó vállalatok honlapján található információk.
- [7] MSZ EN 50206-1 szabvány: Vasúti alkalmazások. A megbízhatóság, a rendelkezésre állás, a karbantarthatóság, a biztonság (RAMS) előírás és bizonyítása

HÍREK

A Knorr-Bremse új gyárat nyitott meg Braziliában

A Knorr-Bremse új gyártósort nyitott Itupevában, Sao Paulo városban, Braziliában, április közepén, közel 56 millió dollárt fektetve be.

Az új 153 000 négyzetméteres gyár kiegészíti Braziliában, Sao Paulo város Santo Amaro kerületében már

üzemelő gyáregységet, amely vezetői véleménye szerint kapacitás-hiányos volt. A Knorr-Bremse brazil elnöke kijelentette, az új berendezések a társaság gyártókapacitását 40 százalékkal fogja emelni Braziliában. A Knorr-Bremse a braziliai fék piacból a CAF, a Bombardier és a Progress Rail berendezéseket gyártókkal közösen 70 százalékos részesedésű.

Négyütemű, 12-hengeres vasúti dízelmotorok néhány típusának jellemző adatai

Gyártó vállalat	Ganz-MÁVAG ¹	Ganz-MÁVAG	Ganz-Motor Kft. ²	Caterpillar ³	Caterpillar	MTU ⁴
Motortípus	12VFE 17/24 ⁵	12PA4-185 VG ⁶	12GM185 V-VG-CR ⁷	3512B	3512B HD	12V4000R41L
Sorozatgyártás kezdete – a gyártási időszak vége ⁸	1963–1990 ⁹	1973–1984 ¹⁰	2013–	1996– ¹¹	1998– ¹¹	1996– ¹²
Névleges teljesítmény (kW)	588	1324	1500	1500	1560	1650
Névleges fordulatszám (l/min)	1250	1500	1500	1800	1800	1860
Névleges fordulatszám (1/s)	20,83	25	25	30	30	31
Dugattyú középsebesség (m/s)	10	10,5	10,5	11,4	12,9	11,78
Hengerszám, elrendezés	12V (40°)	12V (90°)	12V (90°)	12V (60°)	12V (60°)	12V (90°)
Furat/lökét (mm)	170/240	185/210	185/210	170/190	170/215	165/190
Összlökettérfogat (liter)	65,376	67,8	67,8	51,7252	58,56	48,73
Effektív középnyomás (MPa)	0,864	1,562	1,77	1,875	1,78	2,18
Égéstér típusa	előkamrás	előkamrás	előkamrás	közvetlen befecskendezésű	közvetlen befecskendezésű	közvetlen befecskendezésű
Befecskendező rendszer	Ganz-Jendrassik	forgódugattyús	common rail	egybeépített szivattyú és porlasztó	egybeépített szivattyú és porlasztó	common rail
Hengerenkénti szelepek száma (db)	2	4	4	4	4	4
Hajtórúd elrendezés	villás/közrefogott	egymás melletti	egymás melletti	egymás melletti	egymás melletti	egymás melletti
Turbótöltő(k) száma (db)	1	1	2	2	2	4
Levegő visszahúzó(k) száma (db)	2	2	2	1	1	4
Fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás (g/kWh)	228+8%	231+5%	208+5%	205-210	210	206+
Dugattyúfelületre vonatkoztatott teljesítmény (kW/cm ²)	0,216	0,411	0,465	0,551	0,573	0,643
Dugattyúfelület (cm ²)	226,865	268,666	268,666	226,865	226,865	213,716
Motortömeg, szárazon ¹³ (kg)	4400	5620	5620	6240	7150	6190
Teljesítményre vonatkoztatott tömeg (kg/kW)	7,483	4,244	3,74	4,16	4,583	3,75
Literteljesítmény (kW/liter)	8,994	19,528	22,12	29	26,65	33,86
Összlökettérfogatra vonatkoztatott tömeg (kg/liter)	67,3	82,89	82,89	120,64	122,16	127,03
Motorméretek (mm) ¹⁴ hosszúság szélesség magasság	3015 1313 1540 ¹⁵	2328 1450 1846	2328 1450 1846	2592,9 1528,6 1721,7	2708,9 1506,6 1762,2	2405 1390 1795
Motortérfogat (m ³)	6,0974	6,231	6,231	6,824	7,192	6
Teljesítmény-koncentráció (kW/m ³)	96,43	212,48	240,73	219,81	216,91	275