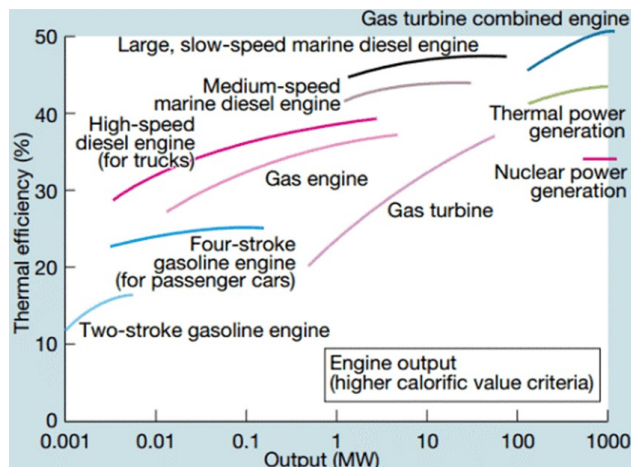


Dieselpcykel för flygmotorer

Av C. Eriksson

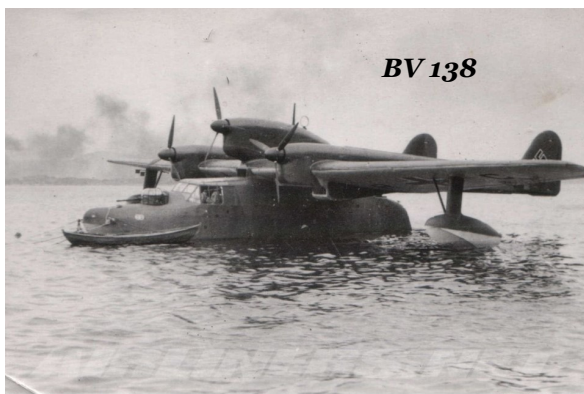
Dieselmotorn har kommit tillbaka som flygplansmotor. Dess höga termiska verkningsgrad på grund av dess mycket höga expansionsförhållande ihop med precisionsstyrd bränsleinsprutning under högt tryck m h a "common rail teknologi" och med piezoelektrisk styrning av insprutningen ihop med turboladdning har förbättrat dagens dieselmotorer. Lågvarvade dieselmotorer (som används i fartyg och andra tillämpningar där den totala motorvikten är relativt oviktig) kan nå verkningsgrader på upp till 55 %.

Dieselmotorns höga verkningsgrad framgår av diagrammet nedan:



Den högsta verkningsgraden får man i en stationär kombi-cykel gasturbin beroende på att man kan använda avgasvärmen för en efterföljande värmemotor. Bl a Siemens STAL-Laval säljer dessa.

Ett antal tillverkare byggde flygplansdieselmotorer redan på 1920- och 1930-talet; Packards luftkylda radialmotor DR-980 blev inte populär pga dess vibrationer och avgaserna, Junkers Jumo 205 var den mest kända av en serie flygplansdieselmotorer. Det var den första, och för mer än ett halvt sekel den enda framgångsrika flygplansdieselmotorn, men visade sig olämplig för strid i andra världskriget. Blohm & Voss BV 138 trimotor flygbåt drevs dock med den mer utvecklade Junkers Jumo 207 motorn och var mer framgångsrik. Jumo 207 gav uppemot 2100 km räckvidd och nästan 300st BV 138 byggdes under andra världskriget.



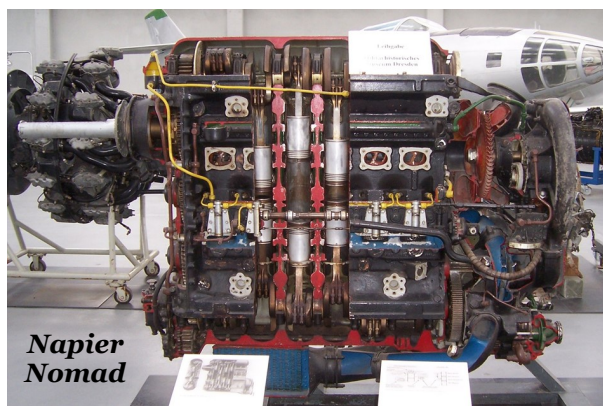
Jumo 207 producerades för Junkers Ju 86P och -R höghöjds spaningsflygplan och sexmotoriga Blohm & Voss BV 222 Wiking flygbåt.



Dessa motorer använde alla en två-taktscykel med tolv kolvar, som delade sex cylindrar i en motsatt kolvkonfiguration. Denna ovanliga konfiguration krävde två vevaxlar, en längst ner på cylinderblocket och den andra i toppen, som var ihopkopplade med drev. Kolvarna rörde sig mot varandra under driftcykeln. Intag och avgasgrenrör duplicerades på båda sidor av blocket. Det fanns två kamdrivna insprutningspumpar per cylinder, var och en matade två munstycken, för 4 munstycken per cylinder totalt.

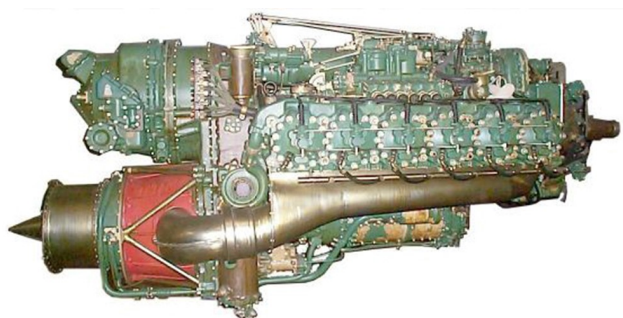
Som är typiskt för tvåtaktare, använde Jumo inga ventiler, utan snarare fast intag och avgasernas portöppningar i cylindern frilades när kolvarna nådde en viss punkt i sitt slag. Normalt har sådana konstruktioner dålig volymetrisk effektivitet eftersom båda portarna öppnar och stängs på samma gång och i allmänhet ligger de mitt emot varandra i cylindern. Detta leder till dålig luftväxling av avgaserna ur cylindern.

Jumo löste detta problem till en mycket stor grad genom en klyftig anordning av portarna. Insugningsporten var belägen under "nedre" kolven, medan avgasporten låg under "övre". Den nedre vevaxeln körde elva grader bakom den övre, vilket innebar att avgasportarna öppnades och, ännu viktigare, stängde först, vilket möjliggjorde korrekt luftväxling. Detta system gjorde att tvåtakts Jumo kunde köras lika rent och nästan lika effektivt som fyrtaktsmotorer, men med betydligt mindre komplexitet.



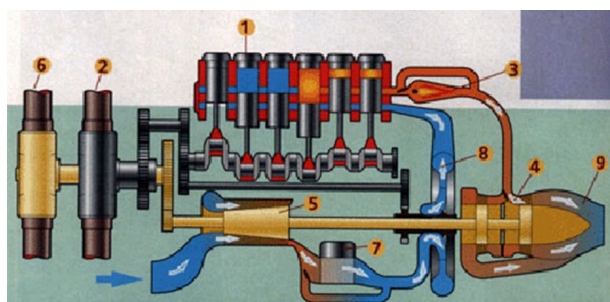
Den mest avancerade flygplansdieselmotorn var Napier Nomad som togs fram av Napier & Sons i England 1949.

Den ursprungliga Nomad design (E.125) eller Nomad 1 var otroligt komplex, nästan två motorer i en. En var en turboöverladdad tvåtakts diesel med vissa likheter med hälften av en Napier Sabre's H-24. Monterade nedanför denna var de roterande delarna av en turbopropmotor baserad på Naiad-designen, som drev den främre propellern av ett kontraroterande par.



Nomad

Kompressor- och turbinaggregaten i Nomad testades under 1948, och den kompletta enheten lanserades i oktober 1949. Prototypen installerades i nosen på ett Avro Lincoln tungt bombplan för provning: det flög först 1950 och dök upp på Farnborough Air Display den 10 september 1951. Totalt gick Nomad drygt 1000 timmar, och visade sig vara ganska temperamentsfull, men den kunde producera 3000 hk (2200 kW) axeleffekt och 320 lbf (1,4 kN) dragkraft från avgaserna. Den hade en specifik bränsleförbrukning (sfc) på 0,36 lb/hp/h (0,22 kg/kWh).

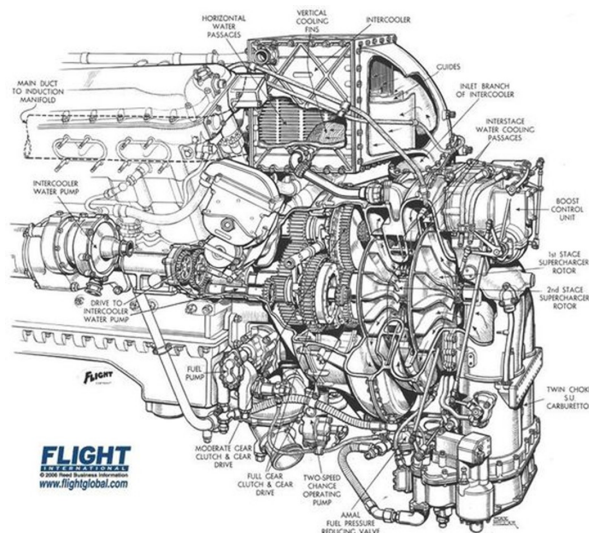


Värt att notera är att den hade en axialkompressor, som kan konstrueras med högre verkningsgrad än en radialkompressor om den överstiger en viss storlek, samt att den främre propellern drevs av en avgasturbin. Den drev även axialkompressorn, som fick extra energi vid T-O av "ebk" i avgas-systemet. Motorn drev radialkompressorn, som höjde insugstrycket ytterligare via en utväxling från motorn efter att insugsluften hade passerat en laddluftkylare. Dess låga specifika bränsleförbrukning slogs först (enligt rykten) av GE90 motorn för Boeing 777. Den ersattes emellertid ganska snabbt med den mindre komplexa Normad II.

Idag hade man konstruerat den annorlunda med de kontraroterande propellrarna drivna av vevaxels reduktionsväxel och den bakre propellern med lite mindre diameter än den främre för att undvika den främres toppvirlar.

Man hade drivit endast axialkompressorn m h a en radialturbin och effektöverskottet hade man fört till vevaxeln liknande det man gjorde med DC-7'ans GE turbo på Wright R3350 motorerna eller som på vissa Scania compound dieslar. Axialkompressorn hade gett ett variabelt övertryck m h a variabla ledskenor upp till 12:1 beroende på atmosfärstryck som sjunker med höjd.

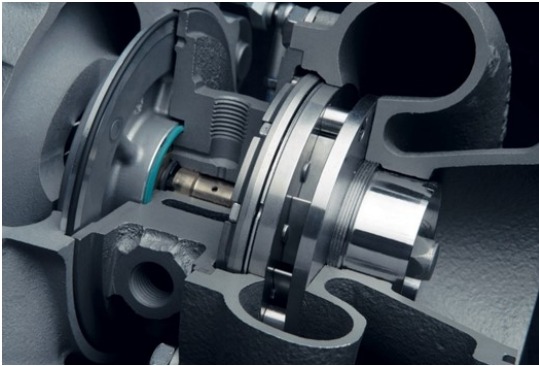
Notera att Sir Stanley Hooker på RR använde en baroswitch på RR Merlin X motorn för att då atmosfärstrycket sjönk tillräckligt på höjd koppla på ett kompressorsteg till på Merlin-motorn, som då fick högre laddtryck och därmed återförd effekt. De konkurrerande motorerna med en kompressor blev då dimensionerade för max laddtryck vid marken och dess effekt sjönk linjärt med flyghöjd.



Det är inte lätt att omvandla en modern dieselmotor konstruerad och tillverkad i stora volymer för personbilar till en certifierad flygplansmotor. Med motorn som utgångspunkt måste en reduktionsväxel tas fram, till denna en lagring som håller för axiallasten och obalanskrafterna, som propellern ger. Propellern och ofta motorns luftintag behöver avisas och man optimerar kamaxel/insprutning för att få maximal verkningsgrad vid önskat konstant driftsvarvtal/belastning. Till detta behövs ofta en propellercontroller för "constant speed" propellrar och dess omställningsmekanism.

Diesel

Bilmotorer går sällan med konstant hög belastning som en flyg- eller båt-motor, vilket det ger ökad belastning på varma delar som topplock och turboaggregat. Flygplan, som opererar på olika höjd, ställer krav på turboladdningstrycket och man vill då ha moderna turboaggregat med variabla ledskenor till turbinen. En dieselmotor har kallare avgaser, som uppstår pga den högre kompressionen/expansionen i dieselmotorn jämfört med bensinmotorer och därmed är det lättare att få en dieselmotorturbo att överleva jämfört med en bensinmotorturbo. Speciellt om avgasturbon har variabla ledskenor blir det billigare att införa dem på en dieselmotor än på en bensinmotor som har hetare avgaser som i en Porsches turbo. Se nedan bilder.



En VTG turboladdare i lågvarvs läge med ledskenorna stängda.

Detta gör det möjligt för turboaggregatet att "spool up" snabbare, vilket resulterar i förbättrad low-end svar. När boostnivån har nått 1 bar (i 997 Turbo) öppnas ledskenorna via den elektriskt drivna justeringsapparaten inom 100 millisekunder.

Detta skapar en stor area genom vilken avgaserna drivs, förbättrar turbons andning vid höga motorvarvtal och förnekar behovet av en bypass ventil. Detta gör att turboaggregatet kan fortsätta att fungera effektivt, vilket resulterar i turbons berömda platta vridmomentkurva.



En VTG turboladdare i höghastighetsläge med ledskenorna öppna.

Dieselmotorn med sin högre kolvkompression får normalt större slaglängd än motsvarande bensinmotor och får därmed högre kolvhastighet för samma varvtal. Effekten som utvecklas är trycket över kolven gånger kolvens hastighet. Detta omvandlas i vevaxel till vridmoment gånger vevaxelns vinkelhastighet, så en bensinmotor når lättare högre effekter genom att gå upp i varvtal där en diesel med sin större kolvhastighet och kraftigare och kortare förbränningsmoment har svårare att överleva. Den lever därför mera på sitt vridmoment än varvtal för given effekt.

Då man ökar turbotrycket så minskar kraven på kolvkompression och varvtalet kan gå upp för samma kolvhastighet, men man måste ha tillräckligt med kompression för att starta dieselmotorn, även återstart under flygning på höjd då dess kompressionsvärme/tryck tänder bränsleluftblandningen på höjd.

Dieselmotorer tog ett kliv framåt med "Common rail" högttrycksbränslesystemet i kombination med piezoelektrisk styrning av insprutningen, som reagerar snabbt och precist så att man kan få upp till sju insprutningspulser per kolvslag nedåt och därmed kan reglera brännkammарtryck och temperatur precist under kolvens rörelse från övre dödpunkt nedåt. Bosch köpte snabbt detta patent från Fiat då de insåg dess betydelse.

Turbokompressorn har oftast större verkningsgrad för att komprimera luften än vad kolv-cylinder har p.g.a. sina "pumpförluster" och man strävar efter att kyla den heta luften efter turbo-kompressorn för att öka effekten genom ökat massflöde samt ge kolven ett lättare och effektivare kompressionsarbete. Dock är det en energiförlust att kyla bort värme och vissa dieselmotorer värmer bränslet innan det sprutas in för att återföra en del av den värmeenergin.

Mindre kolvmotorers fördel över turboprop är dess konstant-volymförbränning där man kan låta förbränningstrycket öka ordentligt så att en stor del av bränsleförbränningen sker under högt tryck i första delen av kolvens accelererande rörelse nedåt. Därmed fås en hög termodynamisk verkningsgrad (dvs mycket axeleffekt och "kalla" avgaser pga slaglängd). En turboprop är begränsad av sin konstant-trycksförbränning där man alltid är under kompressortrycket.

En dieselmotor behåller det mesta av sin höga verkningsgrad även vid låga effektuttag, vilket hjälper lite vid avdrag från sträckflygning (cruise) till början på inflygning för landning (top of decent).

Man har tagit fram utvecklingsjetmotorer med "constant volume combustion" där man kan låta brännkamartrycket gå mycket högre än kompressorutloppstrycket genom att leda in luften i smala rör som stängs under förbränningen för att sedan leda ut avgaserna in i turbinen med tex skivor med hål som roterar med motoraxeln så att det blir en kombination av 2-takmotor och jetmotor. Har man då tillräckligt många rör kan flöde från kompressor och in i turbinen bli någorlunda konstant. Dock blir belastningen på motorn mycket hög och det blir extremt dyrt att få en rimlig livslängd på motorn med värme, tryckpulser och akustisk belastning. Dock med det höga brännkamartrycket kan en sådan motor flyga mycket fort och högt och man spekulerar att "Aurora" flygplanet som ger ifrån sig en "doughnuts on a string" avgaser har en sådan motor. Bilden nedan kan ge en idé om avgasernas utseende.



Bränslen

Avgas (flygbensin) är ett flygbränsle som används i flygplan med Otto-förbränningsmotorer. Avgas skiljer sig från konventionell bensin, som används i motorfordon. Till skillnad från bilmotorbensin, som har gjorts sedan 1970-talet för att tillåta användning av platina-innehållande katalysatorer för föroreningsminskning, innehåller de vanligaste kvaliteterna av avgas fortfarande tetraetylbly (TEL), ett giftigt ämne, som används för att förhindra motorknackning (detonation). Det pågår experiment som syftar till att så småningom minska eller eliminera användningen av TEL i flygbensin. Idag köper man Avgas100LL (low lead)

Fotogen-baserat flygbränsle är gjort för att passa kraven på turbinmotorer, som inte har något oktantalsskrav och fungerar över ett mycket bredare flygområde än kolvmotorer. Fotogen används också av de flesta dieselkolvmotorer, som utvecklats för flygbruk, såsom de av SMA Motorer, Austro Engine och Thielert.

Jetmotorbränsle är färglöst till halmfärgat till utseendet. De mest använda bränslena för kommersiell luftfart är Jet A och Jet A-1, som produceras enligt en standardiserad internationell specifikation.

Det enda andra flygbränsle som vanligen används i civil turbinmotordriven luftfart är Jet B, som används för dess förbättrade kallt väderprestanda.

Jetbränsle är en blandning av en mängd olika kolväten.

Eftersom den exakta sammansättningen av flygbränsle varierar kraftigt baserat på petroleumkälla, är det omöjligt att definiera flygbränsle som ett förhållande mellan specifika kolväten. Flygbränsle definieras därför som en prestandaspecifikation snarare än en kemisk förening. Vidare definieras intervallet för molekylmassan mellan kolväten (eller olika kol-nummer) av kraven på produkten, såsom fryspunkten eller rökpunkten. Fotogen-typ jetbränsle (inklusive Jet A och Jet A-1, JP-5, och JP-8) har ett kolnummer fördelning mellan ca 8 och 16 (kolatomer per molekyl); wide-cut eller nafta-typ jetbränsle (inklusive Jet B och JP-4), mellan ca 5 och 15.

Det finns mindre giftig JET-A1 för provbänkar, MIL-PRF 7024F Type II Calibration Fluid. En vanlig är CARCAL 7. Det har också tagits fram jetbränsle från förnybara källor:

- FT-SPK: Syntetisk paraffin fotogen framställd från Fisher-Tropsch process
- ATJ-SPK: Syntetisk paraffin fotogen framställd av alkohol-till-jet-process
- HEFA: Hydrobearbetade estrar och fettsyror

Det är skillnad mellan JET-A och JET-A1.

Jet A används i USA medan större delen av resten av världen använder Jet A-1. Den viktiga skillnaden mellan de två bränslena är att Jet A-1 har en lägre högsta fryspunkt än Jet A

(Jet A: -40°C , Jet A-1: -47°C). Den lägre fryspunkten gör Jet A-1 mer lämplig för långa internationella flygningar, särskilt på polarrutter under vintern.

Den lägre fryspunkten har dock ett pris. När andra variabler är konstanta kan ett raffinaderi producera några procent mer Jet A än Jet A-1 eftersom den högre fryspunkten tillåter införlivandet av mer högre kokande komponenter, vilket i sin tur tillåter användning av en bredare destillation. Valet av Jet A för användning i USA drivs av oro för bränslepris och tillgänglighet.

Länge har 4 och 6 cylindriga flygbensindrivna "Avgas" luftkylda boxermotorer varit dominerande motorer på propellerplan och mindre helikoptrar. De liknar VW Typ 1 och Porsches luftkylda boxermotorer med stora tillverkare som Continental och Lycoming. De har då varit lågvarviga, lätta och ofta turboladdade.

Den blyhaltiga flygbensinen AVGAS ofta i klassen 100 oktan Low Lead är dyr och i många delar av världen hårt beskattad och svår att köpa, JET A1 jetmotorbränsle finns mera tillgängligt och har annan eller ingen beskattning och alla idag tillverkade flygplans-dieselmotorer är anpassade till den.

Emmanuel Davidson, global marknads- och kommunikationschef för Continental Motors Group, säger att det finns "regioner i världen där du inte ens kan hitta 100LL till något pris." Med EU-medlemmen Grekland som exempel säger han: "Landet har förmodligen 60 till 70 flygplatser. Du skulle ha tur att hitta 100LL på 10 av dem." I Europa är Jet-A dock tillgängligt överallt, och till en brädel av priset på avgas. Davidson säger att Continental, ett företag som byggde sin första flygplansmotor 1906, redan har levererat mer än 5750 Jet-A-drivna motorer runt om i världen sedan 2002, främst utanför USA, där han säger att marknaden är ganska stark. Även om hans perspektiv kan verka lite partiskt, tillägger han att en dieselmotor "börjar bli vettig för vissa operatörer i Nordamerika."

Diesel

Moderna Dieselmotor som tillverkas idag:

Thielert Centurion är en serie av dieselcykel flygplansmotorer för allmänflyg ursprungligen byggd av Thielert, som köptes av Aviation Industry Corporation of China. AVIC Technify Motors, som för närvarande marknadsförs av Continental Motors, bygger på kraftigt modifierade Mercedes-Benz Dieselmotorer.

Alla Centurion motorer är vattenkylda, turboladdade, och har en enda gasspak (SLPC) ihop med ett Full Authority Digital Engine Control system (FADEC). Detta förenklar motorhanteringen för piloten samt förbättrar tillförlitligheten eftersom det förhindrar att motorn drivs felaktigt. På en "gammal" flygkolvmotor kan man även styra blandningen och "magra ut" motorn så den går mera stökiometriskt och hetare. Motorerna höga kompressionsförhållande i kombination med det digitalt styrda fuel injection bränslesprutningssystemet speglar dagens fordonsteknik.

Motorer i Centurion-serien är alltid försedda med propellrar med konstant varvtal, som gör att motorn kan manövreras med optimal dragkraft hela tiden. Den normala driftshastigheten är dock för hög för någon lämplig propeller och därför drivs propellern genom en reduceringsväxel-låda. Propellern med konstant hastighet och reduktionsväxel resulterar i en propellerspets-hastighet, som är 10–15 % lägre än jämförbara konventionella avgasmotorer, vilket minskar propellerljudet.

Dieselmotorerna höga kompression ger bättre bränsleeffektivitet och Centurionens högre varvtal gör att högre effekt kan utvecklas från en mindre cylindervolym i jämförelse med konventionella flygplansmotorer.

En Centurion-motor komplett med CSU, reduktionsväxellåda, turboaggregat och FADEC är betydligt tyngre än de mer konventionella Continental och Lycoming motorer som den konkurrerar med, men denna viktnackdel kompenseras av Centurions lägre bränsleförbrukning.



Thielert byggd på Mercedes 4 cyl dieselmotor

Mercedes Benz OM640 är grunden för Thielert Centurion 2.0 flygplansmotor. Den används också som grund för Austro Engine AE-300/330 flygplansmotor i Diamond DA-42 och DA-62 flygplan.

Thielert fick tidigt problem med sin första 1.7L motor. Till slut gick Thielert i konkurs och köptes upp av AVIC från Kina. De har sedan satsat på att lyfta upp Thielert och anpassa dem till att ersätta Continental motorer, som de också äger.

Thielert har introducerat den nya och förbättrade varianten av Centurion, 2.0, som korrigerar 1.7 motorernas brister och erbjuder en utökad TBR "Tid mellan reparationer" till 2400 timmar.

Austro Engine E4 (marknadsförd som AE 300) är en vätskekyld, inline, fyrcylindrig, fyrtakts, flygplansdieselmotor. Motorn är tillverkad av Austro Engine, ett österrikiskt-baserat företag och dotterbolag till Diamond Aircraft Industries. (ej att förväxla med Austro Daimler from 1899-1934).



Motorn är baserad på Mercedes-Benz OM640 bildieselmotor, som såldes mellan (2004–2012) i MB-bilar. Mercedes-Benz OM640 var en fyrcylindrig turbo-dieselmotor, som utvecklades för framhjulsdreven i W169 A-klass och W245 B-klass. Med en kapacitet på 1991 cc hade OM640 dieselmotorn 83,0 mm-borring och en 92,0 mm-slaglängd, ett gjutjärnsblock, ett alu-legeringstopplock, "common rail" direktinsprutning (som arbetar vid 1600 bar), en laddluftkylare, dubbla överliggande kamaxlar (kedjedrivna), fyra ventiler per cylinder och ett kompressionsförhållande på 18,0:1.

Medan 60 kW och 80 kW OM640 motorer (för A 160 CDI, A 180 CDI och B 180 CDI) var monterade med IHI: s RHF4H turboladdare, hade 103 kW motorn (för A 200 CDI och B 200 CDI) ett Borg Warner BV43 turboaggregat. Enligt Diamond's "General Aviation Single Point of Contact" strategi, började Austro Engine utforma en ny motor för användning på Diamond produkter under 2005. Den fick sitt typcertifikat i januari 2009.

Diesel

SMA SR305-230 är en Fransk luft/oljekylad boxermotor, fyrcylindrig, fyrtakts dieselflygplansmotor. Motorn tillverkas av SMA Engines och är för närvarande den enda produkten hos detta franska företag. Motorn erbjuds för konvertering av Cessna 182. Från och med juli 2012 meddelade Cessna att det kommer att erbjuda Cessna 182 med denna motor. Cessna uppgav också att SMA motorn kommer att ersätta den nuvarande avgasmotorn.

Motorn flög först i en Socata TB-20 i mars 1998 och introducerades officiellt på Paris Air Show i juni 1999. Franska DGAC-godkännandet uppnåddes i juli 2001 med FAA-certifiering ett år senare. Mellan 17 och 25 juli 2006 flög en ombyggd Cessna 182 (registrering F-GJET) från Le Bourget till Oshkosh, Wisconsin. Motorn är också vald av Airbus för deras obemannade lätta helikopter VSR700 byggd på Guimbal Cabri G2. Den är speciellt användbar för små missilbåtar som då inte behöver drivas upp i hastigheter över 38-45kn utan drönarhelikoptern lättar och gör uppdrag som att spana, länka info, skjuta med Gatling minigun, Hellfire och vinscha upp 1-2 nödställda.



SMA SR305-230

Certified fuels: Jet-A1
 Displacement: 2987 cm 182.3 in³³
 Power: 221 kW 296.4 HP
 Torque: 918 Nm 677 ft./lb
 Maximum Propeller RPM 2300 RPM
 Bore x Stroke 83 x 92 mm 3.26 x 3.62 in
 Compression ratio 15.5:1
 Height 695 mm 27.4 in; Width 770 mm 30.3 in Length 980 mm 38.6 in
 Dry Weight 248.5 kg 548 lbs
 Cruise Fuel Consumption 34.9 l/hr 9.2 gal/hr
 Time Between Replacement (TBR) TBR 1200 hrs, projected 2000 hrs.



Airbus VSR700

En Jet-A dieselmotor kan inte fungera för magert. Själv-tändning innebär ingen fara för detonation, eftersom bränsle inte införs förrän det optimala förbränningsögonblicket.

Continental CD-300 är en vätskekylad och turboladdad motor byggd på Mercedes Benz OM-642 motorn. Pilotens arbetsbelastning minskar med en enda spak för effektkontroll, som justerar dragkraft och propellervarvtal automatiskt. Den är en 4-ventils, 6-cylindrig Dieselmotor i V-konfiguration med Common Rail Direct Injection. Motorn är Twin-Turbo, Vätskekylad och innehåller en Wet Oil Sump samt ett Dual Redundant FADEC-system, Integrerad växellåda och propellerguvernör. Maxeffekt är 300 HP @ 2300 RPM. EASA-certifierad, FAA-validering väntar.



CD 300