

Auto & Motor
TECHNIEK

© **WWW.AMT.NL** - Dé internetsite voor de Automotive Professional

Euro3 en Euro4 drijfveren achter nieuwe motorconstructies

In dienst van het milieu

Het valt niet mee om de toekomstige emissienormen te eerbiedigen en tegelijkertijd de gebruiker te belonen met een lager brandstofverbruik en gunstiger exploitatiekosten. Milieuvorschriften plaatsen de motorconstructeurs meer dan ooit voor een lastig dilemma. Zo ook bij DAF, waar de Euro3 hobbel al is genomen en experimenten met Euro4 motoren in volle gang zijn.

Met de steeds strenger wordende emissie-eisen en de toenemende concurrentie, zag DAF ruim tien jaar geleden in dat de twee kleppen dieselmotor nog weinig ontwikkelingsruimte bood. De Amerikaanse fabrikanten hadden toen een voor-sprong en produceerden al heavy-duty motoren met vier kleppen per cilinder en een centraal geplaatste verstuiver.

Detroit Diesel gebruikte elektro-nisch geregelde pompverstuivers en een kanaalverloop volgens het cross-flow principe (als bij de DAF tweekleps motoren). Aan weerszijden van de cilinderkop waren de inlaat- en uitlaatpoorten geplaatst, precies zoals we dat gewend zijn bij vrijwel alle vierkleppen otto-motoren. Door deze klepopstelling en dit kanaalverloop was er nauwelijks sprake van turbulentie in de verbrandingskamer. Met als toekomstverwachting beduidend lagere emissieniveaus, gecombineerd met een laag brandstofver-

bruik, besloot het toenmalige constructeursteam de nieuwe DAF-motor op basis van de vierkleps-technologie te bouwen.

Hoge luchtvermaat
Net als bij de VS motoren zorgden de hoge inspuitdruk en de acht verstuivergaatjes voor voldoende bewegingsenergie. Het gaat erom dat

de brandstof zo intensief mogelijk wordt gemengd met de lucht. De gekozen klepopstelling heeft als voordeel dat er bij het binnenstromen van de lucht een veel lagere weerstand wordt ondervonden dan bij een swirl-inlaat het geval is. Deze lage stromingsweerstand leidt ertoe dat er met een hoge luchtvermaat kan worden gewerkt. Veel lucht door de kop betekent: relatief lage temperaturen (geringe NOx-productie) en voldoende lucht voor een volledige verbranding, dus een geringe deeltjesemissie.

Het concept dat in die periode in ontwikkeling was, was voor die tijd heel vooruitstrevend: een cilinderkop uit één stuk met bovenliggende nokkenas, de Unit Injection inspuiting, het trapeziumvormig kleine oog en de thermisch geïsoleerde uitlaatpoorten. Gebleven waren de volaluminium zuigers en de droge cilindervoeringen. Opvallend was verder het centrifugaal



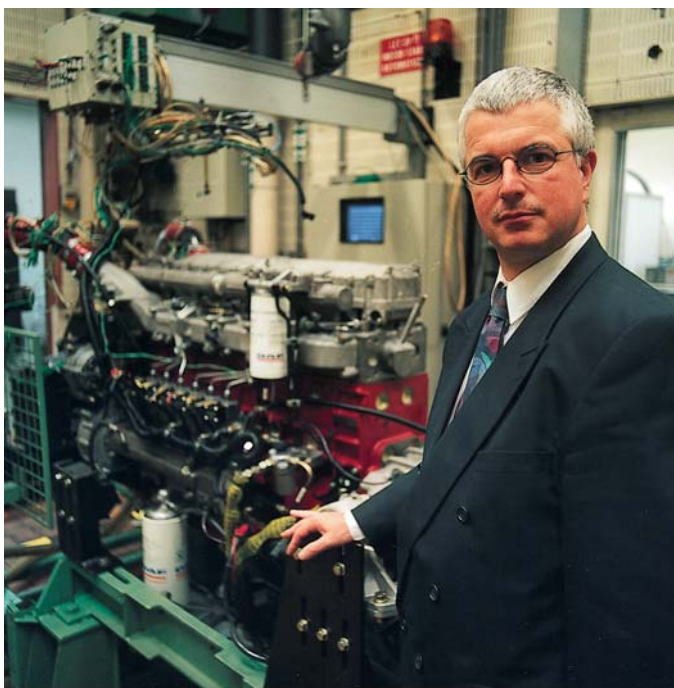
Met de 12,6 liter XF-motor begon voor DAF het vierkleppen tijdperk. Inmiddels is de motor een vertrouwde verschijning. DAF koos voor een behoudende aanpak. Stoterstangen en tuimelaars bedienen de vier kleppen per cilinder. Er zijn twee cilinderkoppen. Er wordt een lijninspuiting gebruikt, ook bij de Euro2 motor. De motor heeft droge cilindervoeringen en volaluminium zuigers. De distributie zit aan het vrije eind van de krukas.

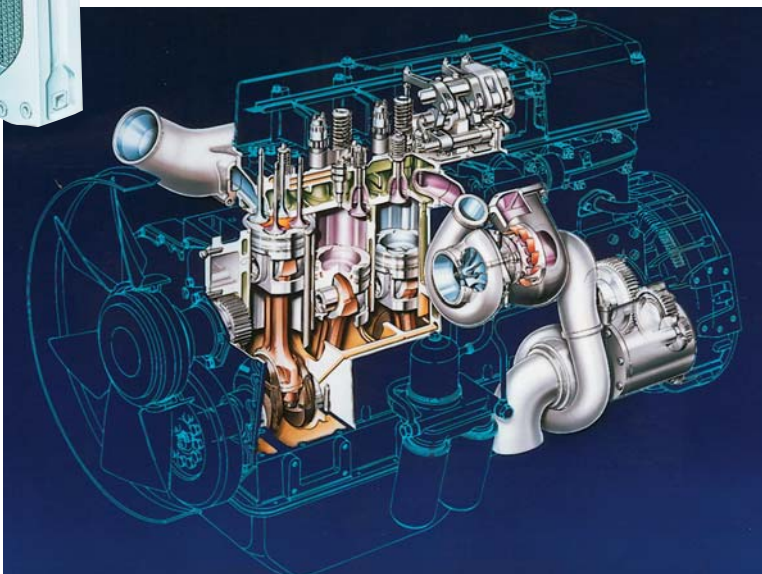
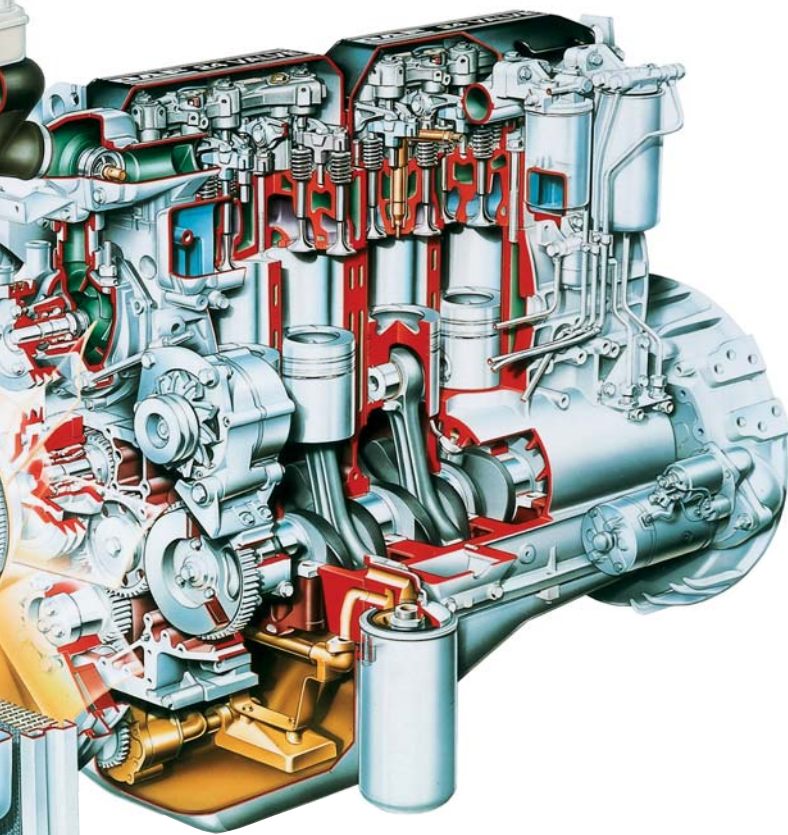
oliefilter dat later op de XF zijn praktische toepassing vond.

Parallel met deze revolutionaire DAF motor draaide de standaard 11,6 liter motor met een vierkleppen kop mee bij de beproeving. Aan deze interessante ontwikkelingen kwam een abrupt einde toen DAF in 1993 in financiële problemen kwam. Bij de herstart van het bedrijf werd de ontwikkeling van deze 13,2 liter ohc-motor geschrapt en de 11,6 liter motor met vier kleppen per cilinder nader bekeken. In tweeënhalve jaar tijd groeide deze motor tot 12,6 l en kwam de 95XF in productie.

Kenmerken 95XF motor
Met een boring van 130 mm en een

Hoofd motorenontwikkeling bij DAF is ir. Peter de Kok. Hij kwam in 1978 bij DAF in dienst en werkte tot 1993 bij de afdeling motorenbeproeving. Onder zijn leiding zijn de vierkleppen motoren met 12,6 liter slagvolume (XF) en de 9,2 liter (CF) tot stand gekomen.





In 1993 moest de ontwikkeling van de 13,2 liter turbocompound motor worden gestaakt. Deze motor was geheel nieuw en geïnspireerd op de Amerikaanse motoren, vooral die van Detroit Diesel. Opvallend zijn de bovenliggende nokkenas, de vier kleppen per cilinder en de elektronisch geregelde pompverstuiver. Een vergelijk met de nieuwe Iveco is op zijn plaats.

slag van 158 mm heeft de 95XF een cilinderinhoud van 12,6 liter. De constructieve kenmerken van de bekende 11,6 liter motor zijn behouden gebleven: zes-in-lijn, droge cilindervoeringen, volaluminium zuigers, twee cilinderkoppen, onderliggende nokkenas met stoterstangen en kleptuimelaars, lijnpomp aan de andere kant van het blok, tandwielverdeling aan het

vrije eind van de krukas. Nieuw zijn de vier kleppen en bijbehorende kanalen.

DAF kiest ervoor de in- en uitlaatkleppen achter elkaar te plaatsen en deze opstelling 20° om de cilinderhartlijn te verdraaien. Op deze wijze ontstaat een ruit- of diamantopstelling.

Bij andere vierkleppen DI-dieselmotoren, zoals die van Scania

Emissie-eisen voor truckmotoren (in g/kWh)

		CO	HC	NOx	Deeltjes
Euro1	01-07-92	4,5	1,1	8,0	0,36
Euro2	01-10-95	4,0	1,1	7,0	0,15
Euro3	2000?	2,0	0,6	5,0	0,10
Euro4	2005?	1,0?	0,3?	2,5?	0,05?

Dat de Euro 3 en 4 emissie-eisen niet kinderachtig zijn, blijkt uit bovenstaande cijfers. Er wordt veel gevraagd van de inventiviteit van de motorconstructeurs, die bovendien de belangen van de vervoerder, zoals lage exploitatiekosten, niet uit het oog mogen verliezen.



Waar het bij een DI-diesel op aan komt, is de instroming van de lucht. Door elke inlaatklep te voorzien van een eigen kanaal lukt dat het best. Door alle kleppen 20° te draaien om de cilinderhartlijn ontstaat de benodigde ruimte voor de kanalen. DAF spreekt van een 20° diamantopstelling

en Mercedes-Benz en Iveco komt ongeveer dezelfde klep/kanaalopstelling voor. Weer anderen, zoals Volvo, verdraaien de kleppen niet, ze staan dus precies achter elkaar. Waar het om draait, is het juiste evenwicht tussen de stromingsweerstand en de mate van turbulentie en dat over het hele belasting- en toereengebied. Eén van de inlaatkanalen zorgt vooral voor de swirl, de andere, meestal die met het langste inlaatkanaal, vooral voor de luchtdoorlaat. Hoewel bij alle vierkleppen motoren de verstuiver centraal is geplaatst, zijn de inspuitdruk, het aantal verstuivergaatjes, de diameter ervan en de inspuithoek ook van belang, evenals de vorm van de kom in de zuigerbodem. Genoeg variabelen om mee te spelen.

Veel sterke troeven
De 95XF motor haalt 355 kW (483 pk) bij 2000 t/min en een gemiddelde effectieve druk van 20,5 bar van 1000 t/min tot 1500 t/min; dat levert een koppel op van 2050 Nm. Het nieuwe motorblok is erg stijf in verband met het beperken van het geluid. De droge cilindervoeringen vervormen weinig tijdens de verbranding en als gevolg van de leibaandruk. Dat zorgt voor een



Van groot belang voor een lage geluidsproductie is de stijfheid van het motorblok. Het XF-blok is voorzien van verstijvingsribben die ook nog steun verlenen aan de 'droge' cilinderbuis. Dat houdt de cilinders rond en het olieverbrijnging laag. De motor heeft 'losse' hoofdagerkappen.

FOTO'S: DAF / JAN LIEFTINK

laag olieverbrijnging; DAF geeft op: 0,08 g/kWh. Als we daar wat mee rekenen, is er bij continu volvermogen een olieverbrijnging van ruim 3 liter per 10.000 km. In de praktijk zal, omdat de 355 kW niet altijd worden gebruikt, het olieverbrijnging ongeveer 1 liter per 10.000 km zijn. Dat is gunstig voor de deeltjesemissie, want ook de smeerolie levert een bijdrage daaraan.

De volaluminium zuigers dragen bij aan een lage zuigerbodemtemperatuur hetgeen gunstig is in verband met de NOx-uitstoot en aan een lage koelolietemperatuur, hetgeen goed is voor de levensduur van de olie. Dankzij een full-flow oliefilter van speciaal papier, een

MOTOREN

Ontwikkeling van vierkleppen motoren bij DAF

olie/water-warmtewisselaar en een centrifugaal oliefilter mag de ACEA E4 smeerolie 100.000 km blijven zitten.

De 95XF motor werkt met 1250 bar inspuitdruk en 8 gats verstuivers. In deze uitvoering voldoet de motor aan de Euro2 emissie-eisen.

Om te weten te komen hoe de toekomstige ontwikkelingen eruit zien, toog AMT naar Eindhoven. Daar vertelde ir. Peter de Kok wat er de komende vijf jaar staat te gebeuren. Van doorslaggevend belang zijn de Euro3 en Euro4 emissie-eisen. Daarnaast mogen het brandstofverbruik en de onderhoudskosten niet toenemen en mag evenmin de levensduur worden verkort. Alsof dat nog niet ingewikkeld genoeg is, is er ook nog een continu streven naar een lager geluidsniveau, terwijl de trend naar hogere vermogens per liter blijvend lijkt te zijn.

Hogere inspuitdrukken

De DAF Euro3 motoren zullen een hoge inspuitdruk en een elektronische regeling van het inspuitstip en de inspuitduur moeten hebben. Daartoe hebben de constructeurs gekozen voor een originele oplossing: Unit Pump, Electronically Controlled kortweg UPEC. Op de plaats van de Bosch P8500 lijnpomp komt een huis met nokkenas en zes aparte plunjerpompen. Deutz en Mercedes-Benz passen ook zo'n systeem toe dat op z'n Duits Pompe Leitung Düse

Ook de 9,2 liter CF-motor is in Euro3 uitvoering voorzien van het UPEC-inspuitstelsel. De inspuitleidingen zijn tamelijk lang, maar hebben wel dezelfde lengte. Zelfs tot drukken boven de 2000 bar ontstaan er geen problemen met het drukverloop bij de verstuivers.

(PLD) wordt genoemd. Het verschil zit hierin dat bij DAF alle elementen in één huis Zitten en bij de PLD systemen van Deutz en DB zitten de elementen op de gewone nokkenas. De inspuitdruk stijgt van 1250 naar 1500 bar. Dat betekent dat er minder bewegingsenergie uit de binnenstromende lucht nodig is. Met andere woorden: de inlaatkanalen en de zuigerbodem zijn anders gevormd dan bij de huidige Euro2 motor. De Euro3 emissie-eisen worden gehaald, alle andere eisen en wensen worden momenteel in de praktijk getest.

Veel werk aan Euro4

Als met name de NOx én de deeltjesemissie tegelijk met 50 procent omlaag moeten, is het verhogen van de inspuitdruk en het verlaten van het inspuitmoment niet de oplossing. Dat gaat onherroepelijk ten koste van het brandstofverbruik en dus wordt ook de CO₂-emissie hoger. Wat dan wel? Allereerst moet de verbranding worden geoptimaliseerd. Dus gaat de inspuitdruk nog verder omhoog naar 1800 tot 2000 bar. Weer worden de inlaatkanalen en de zuigerbodems aangepast en alles zo goed mogelijk op elkaar afgestemd.

Als er vervolgens wordt gekozen voor een nabehandeling van het uitlaatgas, krijgen we de situatie als bij de ottomotoren. DAF heeft al Euro4 motoren lopen, ook op de weg, waarbij een ammoniak (NH₃) houdende vloeistof in de uitlaat gespoten wordt. Het gaat om ureum dat in verhouding 3:1 met water is gemengd. Een speciale katalysator zorgt er vervolgens voor dat er een reductie van de NOx plaatsvindt met 70 procent. Niet alleen dat, de HC-emissie daalt met 90 procent en de deeltjesemissie met 10 procent. Dit systeem wordt toegepast bij statio-



Dat er voor hoge drukken stevige onderdelen nodig zijn, blijkt als we één van de pompelementen van dichtbij bekijken. De elektromagnetische klep regelt het moment van inspuiten en de inspuitduur. Bosch spreekt van een Pompe Leitung Düse (PLD) systeem.

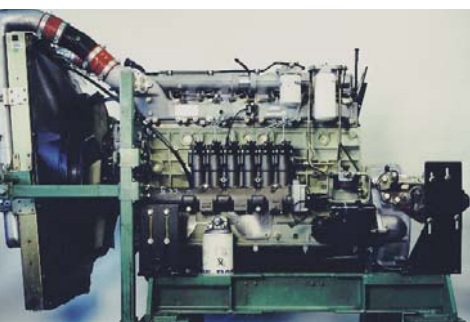
naire motoren, het is de vraag hoe het zich houdt in de praktijk van een bedrijfsauto. De regeling van de ureuminspuiting wordt veel ingewikkelder en dat maakt het systeem kwetsbaar. Er is ook een extra tank nodig, het ureumverbruik bedraagt ongeveer 50 liter op 1000 liter dieselolie.

DAF zet niet alles op één kaart, er wordt ook proefgedraaid met uitlaatgasrecirculatie (EGR). Het hete uitlaatgas wordt voor de turbine afgetakt, afgekoeld door het koelwater en dan na de inlaatlucht-koeler in het inlaatspruitstuk toegelaten via een venturi. EGR geeft echter ook de nodige kopzorgen,

zoals motorvervuiling en kans op cilinder- en zuigerslijtage.

Andere inspuitssystemen

Wat te denken van het Common-Rail (CR) inspuitstelsel? Het is lichter en makkelijker te monteren op een bestaand motorconcept. Alleen maar voordelen? Nee, want de manier van inspuiten is anders dan we gewend zijn. Gebruikelijk bij alle inspuitssystemen met een plunjer is dat de brandstof met een zekere snelheid tot de maximale druk komt. Er ontstaat dus een driehoekig snelheidsdrukdiagram. Bij een CR-systeem staat de volle druk meteen op de verstuiver en dat



De Euro3 uitvoering van de XF-motor heet XE. Deze motor is voorzien van een Unit Pump Electronically Controlled (UPEC) die bestaat uit zes aparte pompelementen die elektronisch geregeld zijn. Het pomphuis zit op de plaats van de gewone lijnpomp

zorgt voor een blokvormig drukdiagram. De grote hoeveelheid brandstof, die meteen wordt ingespoten, veroorzaakt een grote drukstijging per krukgraad. Vandaar dat er een kleine hoeveelheid vooraf wordt ingespoten, deze 'pilot-injektion' zorgt er voor dat de verbranding niet zo 'ruw' verloopt. Een tweede nadeel is dat de hogedruk pomp zeer snel druk moet kunnen opbouwen. Als er bij lage toerentallen en belastingen bijvoorbeeld met 600 bar wordt ingespoten moet de pomp in drie omwentelingen (zes krukasomwentelingen) een druk van 1400 bar kunnen opbouwen om de verbranding juist te laten verlopen bij vollast.

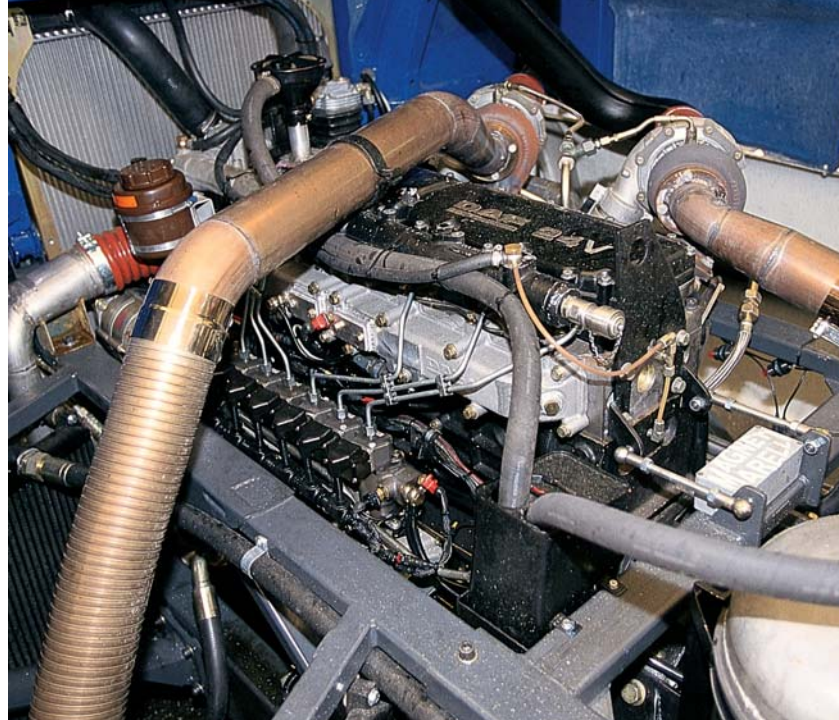
Praktijktests moeten uitwijzen of de verstuiers echt dicht blijven, nadruppelen wordt naspuiten als de afdichting het laat afweten. Peter de Kok ziet de CR-ontwikkeling vanuit de personenauto's gaan naar bedrijfsauto's met 1 liter/

DAF experimenteert ook met Common-Rail (CR) inspuiting bij de 9,2 liter motor in Euro4 uitvoering. Op de plaats van de lijnpomp zit nu een hogedruk pomp die de brandstof onder een druk van 1400 bar naar een gemeenschappelijke leiding (Common-Rail) perst. Het openen en sluiten van de verstuiers wordt geregeld door elektromagneten.

cilinder slagvolume. Dan via 1,5 liter/cilinder naar 2 liter/cilinder en groter. Hij sluit niet uit dat de hogedruk inspuitssystemen met hydraulische drukversterking, zoals van Caterpillar, ook nog een goede kans maken. Zo kijkt Scania naar het Cummins-systeem. Zie AMT 10/1997 voor een beschrijving van deze systemen.

CF: kleinere broer van XF
Een jaar geleden bracht DAF een 9,2 liter versie uit van de 12,6 liter XF, CF genoemd. Deze motor haalt een gemiddelde effectieve druk van 17,5 bar van 1400-1700 t/min, resulterend in een koppel van 1275 Nm. Het vermogen bedraagt 235 kW ofwel 320 pk bij 2000-2300 t/min. Ook deze motor zal in Euro3 uitvoering worden voorzien van het UPEC-systeem. Overeenkomstig de visie van Peter de Kok draait de Euro4 versie van de CF proef met een CR-inspuit-systeem. Of deze Common-Rail inspuiting echt nodig en nuttig is, zal de toekomst leren.

Toekomst kent grenzen
Pratend over de constructieve grenzen wilde de Kok wel wat kwijt, maar niet zo veel. Ondanks de stevige krukas van de XF vormen de torsie- en buigtrillingen in de toekomst de beperking. Nu bedraagt de topdruk nog 150 bar, bij 200 bar ziet hij een grens. Als het



De racemotor is grotendeels gebaseerd op de XE-motor en levert mede dankzij twee turbocompressoren ruim 900 kW. De gemiddelde effectieve druk kan oplopen tot meer dan 45 bar.

lukt om met een inlaatdruk van 4 bar te werken, kan de gemiddelde effectieve druk tot 24 bar stijgen. Dat betekent een koppel van 2400 Nm uit de 12,6 liter motor.

De hoge inlaatdruk moet uit één turbocompressor komen, twee stuks, zoals op de racemotor (zie AMT 12/1998), hebben een lager rendement. Er is ook nog de keuze tussen de turbo met verstelbare turbine leidschoepen (Garrett) of die met een verschuifbare ring (Holset, zoals bij Iveco zie AMT 12 1998). Omdat ongeveer 30 procent van alle mechanische verliezen uit zuigerwrijving bestaat, blijft DAF bij volaluminium zuigers die in dunwandige droge voeringen van centrifugaal gegoten perlitisch gietijzer lopen. De bij de XF toegepaste rolstoters en de lichte, buigstijve holle stoterstangen zorgen, in combinatie met een geoptimaliseerde nokvorm, voor 1,5 procent reductie van het brandstofverbruik. Een bovenliggende nokkenas is niet nodig, met stoterstangen en een gedeelde kop is de constructie veel eenvoudiger. Bovendien blijft de motor laag en hoeft de cabine dus niet omhoog.

DAF test de motoren ook in races. Waartoe zo'n verkleinde XF (12,0 liter in plaats van 12,6 liter) in staat is, staat in AMT 12/1998. De UPEC blijkt tot 2300 bar te

kunnen gaan, de topdruk in de cilinders tot meer dan 300 bar. De gemiddelde effectieve drukken schommelen tussen de 46 en 51 bar! De vuldruk bedraagt 5 bar en er worden twee turbo's toegepast. Deze waarden zijn vanzelfsprekend niet gedurende meer dan een miljoen kilometer te handhaven.

Interessant is het dat de racemotor een lucht/brandstofverhouding heeft van 0,9 tot 1,1 dus als die van een ottomotor! Er is een roetfilter dat continu regenereert met behulp van een koperhoudende vloeistof die met de brandstof wordt gemengd. Zo ontstaat een zeer hoog vermogen en blijft de roet toch onzichtbaar. Het systeem is niet geschikt voor serietoepassing. Bij de gebruikelijke lucht/brandstofverhouding van 2 tot 2,5 en de verfijnde verbranding ontstaan er heel kleine roetdeeltjes die andere eisen stellen aan het filter. De levensduur van het roetfilter staat ook ter discussie.

Tot slot nog iets simpels. Als u leest dat de Euro3 uitvoering van de Euro2 XF, XE heet, dan is dat geen vergissing. DAF ontwikkelde eerst de XE om er later achter te komen dat het zonder UPEC en elektronica een Euro2 motor kon maken. Die kreeg dus de letters XF. Tja, waarom moeilijk doen als het makkelijk kan. Voor de Euro4 eisen ziet de zaak er niet zo eenvoudig uit, maar de heren DAF constructeurs hebben aangetoond dat ze niet voor één (emissie)gat te vangen zijn.

Paul Klaver

