

**Auto & Motor**  
**TECHNIEK**

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

## Verbrandingsverloop elektronisch geregeld

# Common-Rail nadert perfectie

Ford en Delphi hebben de ontwikkeling van de dieselmotor weer een stap verder gebracht. Dankzij een gesloten regelsysteem met een soort klopsensor wordt het verbrandingsverloop nauwkeurig geregeld. De primeur van dit CR inspuitsysteem is voor de Duratorq TDCi motor van de Focus. Ook de Mondeo gaat er op termijn comfortabeler mee diesel en.

TDCi staat voor: Turbo Diesel Common-rail Injection. Ford benadrukt dat het hierbij gaat om de tweede generatie Common-Rail met een elektronische regeling van het verbrandingsverloop.

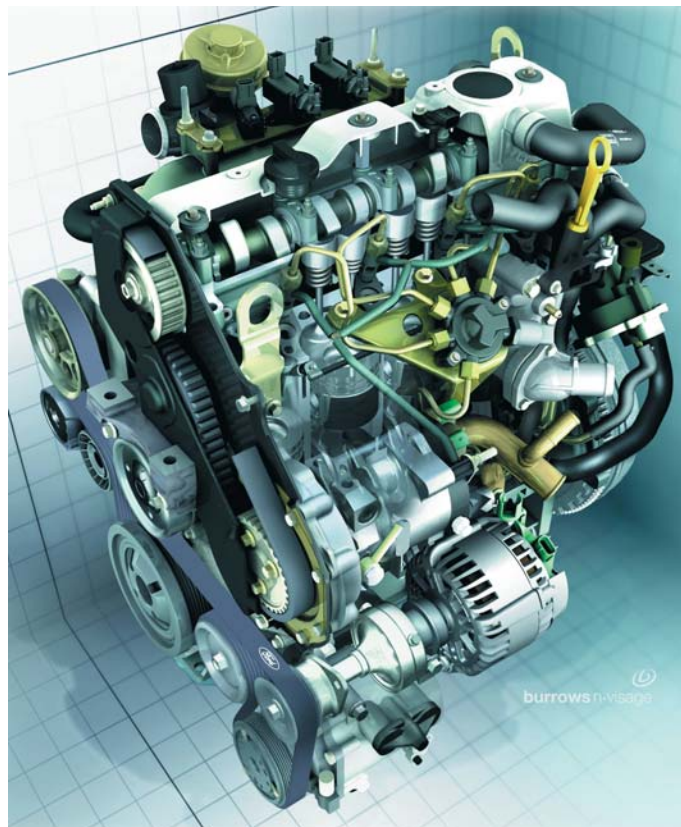
Over het inspuitsysteem straks meer, eerst zullen we de motor zelf bespreken. Sinds de jaren tachtig gebruikt Ford een Klöckner-Humboltz-Deutz (KHD) ontwerp met 1753 cm<sup>3</sup> slagvolume met een boring van 82,5 mm en een slag van 82,0 mm. Dit robuuste IDI ontwerp (eigenlijk een mini bedrijfs-wagenmotor) vormt nog steeds de basis voor de huidige Endura DI en nieuwe Duratorq TDCi motoren.

De Duratorq TDCi motor heeft een gietijzeren blok en cilinderkop en weegt daardoor 173 kg. Geen lichtgewicht dus, maar daar staan wel enkele pluspunten tegenover. Dankzij sterkere hoofd- en drijf-stanglagers, versterkingsribben op het blok en een grotere zuigerpendiameter is er een robuuste motor ontstaan die nu reeds een gemiddelde effectieve druk toelaat van 18,0 bar continu en van 20,5 bar maximaal. Dat betekent dat hoge topdrukken mogelijk zijn, naar onze schatting tot wel 170 bar. Zo'n stevige constructie werkt ook geluiddempend en voorkomt koptakking problemen.

Voorlopig blijft de Endura DI motor met Bosch verdelerpomp in

productie. Deze levert uiteraard afhankelijk van de uitvoering 55 kW tot 66 kW, de nieuwe Duratorq uitvoering komt op 85 kW. Het motorkoppel is van maximaal 200 Nm gestegen tot 250 Nm met een 'overboost' tot 285 Nm. De inlaatoverdruk loopt daarbij op van 1,0 tot 1,2 bar.

Ook de verbrandingskamer is aangepast. Met een compressieverhouding van 18,5:1, inlaatpoorten met minder swirl en een ondiepere



De Ford Focus TDCi diesel heeft één bovenliggende nokkenas die de acht kleppen door middel van stoters bedient. De drukkamer van het Common-Rail systeem met de stervormig geplaatste leidingen is op deze foto duidelijk te zien. Let op de tandriem met de kleine poelies, de 1 op 2 overbrenging naar de hogedrukpomp vindt plaats via een ketting.

FOTO'S/ TEKENINGEN: FORD

De in- en uitlaatspruitstukken zitten aan dezelfde kant. Een watergekoelde uitlaatgasrecirculatie met een elektronisch geregelde klep zorgt voor lagere NO<sub>x</sub> emissies. Het uitlaatspruitstuk vormt tevens het turbinehuis voor de turbocompressor.

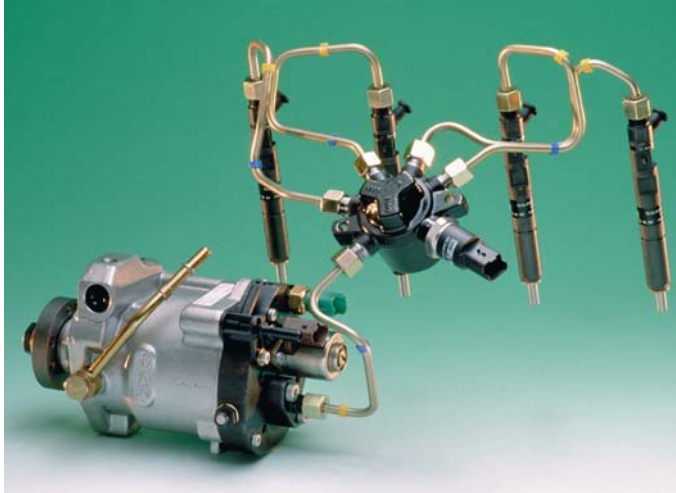
zuigerkom met grotere diameter is de tweeklepper 'up to date' gebracht. De distributie verloopt in twee stappen. Eerst een 1:2 ketting-overbrenging naar de hogedruk-pomp en vervolgens een 1:1 tand-riemoverbrenging naar de enkele bovenliggende nokkenas. Daardoor blijft de poeliediameter klein, dus bouwt de motor laag.

Net als de Volkswagen en Fiat motoren werkt ook Ford nog met twee kleppen per cilinder. Reken overigens maar dat motoren met vier kleppen per cilinder met een centraal geplaatste verstuiver al draaien op de proefstand. Voorlopig vinden de hiervoor genoemde fabrikanten blijkbaar dat 'Euro 3-motoren' prima kunnen werken met twee kleppen per cilinder.

Delphi Multec CR-systeem Ford heeft vooral geïnvesteerd in een nieuwe generatie van de Common-Rail inspuiting. Hoe functioneert dit Delphi Multec DCR 1400 systeem? Een speciale hogedruk-pomp met een tweetraps schotten-pomp brengt de brandstof uit de tank op een maximale druk van 1.400 bar. De pomp is voorzien van een bijzondere brandstoftoevoer-klep die ervoor zorgt dat alleen de benodigde hoeveelheid brandstof op de gewenste druk wordt gebracht. Daardoor is het benodigd pompvermogen lager en is het niet nodig de brandstof te koelen. De onder druk gebrachte brandstof gaat naar de Common-Rail (de gemeenschappelijke drukleiding) die in dit geval de vorm heeft van een ronde drukkamer.

Een druksensor geeft de brandstofdruk in de CR door aan de elektronische regeleenheid, ECU naar het Engels. De inspuitleidingen hebben een buitendiameter van 6,0 mm en een inwendige diameter van 2,4 mm. Door de dikke wand is er nauwelijks vervorming tengevolge van drukpulsaties. De verstuivers hebben een diameter van slechts 17 mm en zijn oorspronkelijk een ontwikkeling van Lucas. Delphi heeft enige tijd geleden Lucas Diesel overgenomen, vandaar deze sprong vooruit in inspuitechniek.

De zes gaatjes in de verstuivertip zorgen voor een optimale straalvor-



**De Delphi Multec DCR 1400 Common-Rail inspuiting gebruikt slanke verstuivers die van een kleine, snel werkende elektromagnetische klep zijn voorzien. De extra aansluiting op de drukkamer is bestemd voor een drukopnemer. De hogedruk inspuitingpomp kan een druk van 1.400 bar leveren en is voorzien van een tweetraps schottenpomp met een bijzondere drukregeling.**



**Het gietijzeren uitlaatspruitstuk en het turbinehuis vormen één gietstuk. Dat geeft een gewichtsbeparing en voorkomt lekkage via de flens die er nu niet is.**

ming en druppelgrootte. Omdat de bewegende onderdelen in de verstuiver zo klein zijn, zijn ze ook licht. Daardoor kan de elektromagnetische klep in 0,3 milliseconde worden geopend. Bij 3.900 t/min betekent dit dat twee inspuitingen 7 krukgraden na elkaar komen. Elke verstuiver heeft een eigen testprotocol en wordt daarna voorzien van een codering. Deze codering wordt tijdens de montage 'gescanned' opdat de ECU de betreffende verstuiver herkent en precies aanstuurt.

Het brandstoffilter heeft een eigen regelklep die de terugvoer naar de tank sluit als het koud is. Daardoor warmt de brandstof op en wordt wasvorming voorkomen.

Twaalf sensoren melden aan het Ford EEC-V motormanagement-

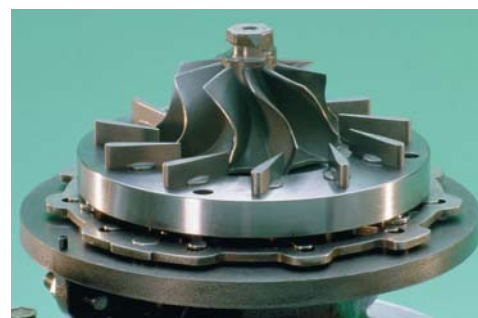


**De versnellingsopnemer signaleert te snelle drukstijgingen per krukgraad en vormt een deel van een gesloten regelkring die het inspuitmoment en de inspuithoeveelheid aanpast. De werking is vergelijkbaar met die van een klopsensor bij een ottomotor.**

systeem wat er gebeurt met de nokkenasstand, de brandstofdruk, brandstoftemperatuur, de krukasstand, inlaattemperatuur en -druk, de cilinderkoptemperatuur, buitenluchtdruk, de aangezogen luchthoeveelheid, de stand van het gaspedaal, koppelingspedaal en het rempedaal. Maar het meest fraaie stukje elektronica is wel de rege-



**Het inlaatspruitstuk is voorzien van een klep die dicht gaat zodra de motor wordt afgezet. Het resultaat hiervan is dat de compressie-einddruk afneemt en de motor niet meer schudt.**



**Het turbijnwiel met de bijzonder gevormde schoepen en de verstelbare leidschoepen die de uitlaatgassen naar de voeten van de schoepen richten. Er is geen 'was-gate' nodig.**



**Het watergekoelde huis van het uitlaatgasrecirculatiesysteem (EGR) zorgt voor een fikse verlaging van de uitlaatgastemperatuur zodat er meer uitlaatgas in de cilinder terecht komt.**

ling van het drukverloop in de cilinder: Accelerometer Pilot Control, kortweg APC genoemd.

Trillingen onderdrukt Tussen cilinders 2 en 3 zit een trillingsopnemer, nauwkeuriger gezegd: een versnellingsopnemer. Door de verbranding ontstaan er trillingen die door de sensor worden geregistreerd. De Injector Driver Module (IDM) is de computer

die de inspuiting regelt, uiteraard werkt deze computer samen met het Ford EEC-V motormanagement. Als de voorinspuiting niet goed verloopt, zorgt de IDM er voor dat de ingespoten hoeveelheid brandstof wordt gewijzigd tot de trillingen weer acceptabel zijn. Het karakteristieke dieselgeluid (het nagelen) wordt door dit systeem onderdrukt evenals andere geluiden die het gevolg zijn van een te snelle drukstijging per krukgraad.

Het verbrandingsverloop is door het APC rustiger en de Duratorq motor is dus stiller dan gebruikelijk. Een tweede voordeel van dit systeem is dat het werkt over de gehele levensduur, dus ook als de verstuivers niet meer nieuw zijn. De voorinspuiting vindt tweemaal kort na elkaar plaats met een nauwkeurigheid van 1 mm<sup>3</sup> per inspuiting.

Al met al een bijzonder systeem dat terecht de tweede generatie Common-Rail mag heten. Maar het Multi Jet systeem van Fiat mag wat ons betreft dan zeker als de derde generatie Common-Rail worden bestempeld, want daarbij wordt het verbrandingsverloop nog nauwkeuriger geregeld. Dit systeem is in AMT 9/2000 beschreven.

Grote stap vooruit  
De TDCi motor heeft nog meer bijzonderheden, die we kort opsommen. Een tweemassa vlieg wiel en een torsietrillingsdemper voor op de krukassen maken balansassen overbodig. Een speciale klep in de inlaat sluit de luchttoevoer af bij het afzetten van de motor. Omdat de eindcompressiedruk laag is, schudt de motor niet als hij wordt stilgezet. Zowel inlaatlucht als de motorolie worden goed gekoeld om het prestatieniveau hoog en de motor thermisch gezond te houden. Met een oxydatiekatalysator in de uitlaat voldoet de motor aan de Euro 3 emissie-eisen.

Al met al is het een belangrijke stap vooruit op diesele gebied. Vandaar dat Ford ook de Mondeo Duratorq motor gaat voorzien van het Delphi Multec DCR 1400 systeem. Deze motor haalt dan 96 kW uit 2 liter slagvolume.

Paul Klaver

## Mondeo ontbeert nog Common-Rail

De nieuwe Mondeo heeft ook een nieuwe DI dieselmotor gekregen als opvolger van de 1.8 liter IDI. Deze Duratorq-DI is een moderne vierkleppen turbodieselmotor met extra hoog acceleratiekoppel. De in vele details aangepaste Transit-motor heeft nog geen Common-Rail.

De nieuwe Mondeo 2.0 liter dieselmotor wordt in twee uitvoeringen geleverd. Bij 4.000 t/min haalt de sterkste uitvoering 84 kW, de andere komt op 66 kW. Het maximum koppel is respectievelijk 280 en 245 Nm en wordt al bij 1.900 t/min geleverd. Tijdens accelereren is kortstondig een 11 tot 14% hoger koppel mogelijk.

De aluminium cilinderkop is voorzien van twee inlaatkleppen en twee uitlaatkleppen per cilinder. Tussen de kleppen zit de verstuiver die dus centraal inspuist. De kleptuimelaars zijn voorzien van naaldgelagerde rollen en hydraulische stelpluniers. De lichtgewicht nokkassen bestaan uit een 4 mm dikke inductiegeharte stalen buis waarop de losse nokken zijn geperst.

Voor het motorblok is gietijzer gekozen om een zo stijf mogelijke constructie te verkrijgen. Bovendien dempt gietijzer verbrandingsgeluiden beter dan aluminium. Alle hulpapparatuur is rechtstreeks aan het motorblok bevestigd. Dat spaart gewicht en verhoogt de stijfheid.

Door tal van maatregelen is het oliegebruik gereduceerd tot minder dan 0,15 g/kWh bij vollast. In de praktijk hoeft de berijder tijdens de verversingsperiodes van 20.000 km dan ook niet bij te vullen.

De Garret-AiResearch turbo compressor is opgenomen in het uitlaatspruitstuk. Door het ontbreken van een aansluitflens (minder warmteverlies en een kortere leiding) bereikt meer energie het turbiniel. Het rendement van de turbine neemt toe en de turbo volgt de belastingwisselingen sneller. Bij de sterkere variant heeft de turbo verstelbare leidschoppen die vooral bij lage toerentallen

**De nieuwe Ford Duratorq-DI motor is compact opgebouwd. Let op de plaats van de verdelerinspuitpomp. Alle hulpapparatuur is rechtstreeks op het blok gebouwd.**

voor een betere werking van de turbo zorgen. Als de inlaatdruk te hoog oploopt, treedt de onderdruk gestuurde bypassklep in werking. De 'overboost' functie zorgt er voor dat het maximum koppel van 280 naar 310 Nm wordt verhoogd in de vierde en vijfde versnelling. Zodra de temperatuur te hoog wordt, wordt de extra hoge vuldruk tot een normale waarde teruggebracht. Een inlaatluchtcoeler zorgt er voor dat de samengeperste lucht van maximaal 160°C tot 60°C wordt afgekoeld.

Het inlaatspruitstuk is van glasvezel versterkt Nylon 4.6. Dankzij EGR wordt de NOx uitwerp sterk vermindert. Een onderdruk bekrachtigde klep wordt door het motormanagement via een elektromagnetische klep geopend of gesloten. Bij de 84 kW motor koelt een warmtewisselaar het uitlaatgas maximaal 200°C af. Door de afkoeling kan er meer uitlaatgas worden teruggevoerd (tot 50%) en werkt het systeem dus efficiënter.

Bij de 66 kW motor wordt een Bosch VP30, bij de 84 kW motor een Bosch VP44 verdeler inspuitspruitstuk gebruikt. De voorinspuiting wordt bij deze verdelerpomp over het hele motorkenvel elektronisch geregeld met als doel de verbranding 'zacht' te doen verlopen en niet alleen bij de koude start. Aan de pomp bedraagt de hoogste druk 1.300 bar, bij de verstuivers is de druk tot 1.900 bar opgelopen. Het voorinspuiten brengt een drukpulsatie op gang die opgestuwd wordt op het moment dat de 'echte' inspuiting gaat beginnen. De inspuiteduur wordt niet via het lichten van de verstuivernaald gecontroleerd, maar op de volgende manier. In de pomp zit een hoekverdraaiingsensor. Deze sensor krijgt als ingangssignaal vanuit de ECU het signaal van de krukstands sensor. Dit signaal wordt omgezet in een openingstijd van de magneetklep in de pomp en is op deze manier bepalend voor de inspuiteduur. De verstuivers



**Voor de sterkste motor wordt een Bosch VP44 verdelerpomp gebruikt met een volledige elektronische regeling van het inspuitemoment en de inspuiteduur. De voorinspuiting werkt in het hele werkgebied.**



**De Garret-AiResearch turbocompressor is geïntegreerd in het uitlaatspruitstuk. De RVS leiding dient voor de EGR.**

hebben zes gaatjes en zijn voorzien van twee veren. Het vooropenen van de naald zorgt voor een geringe drukstijging per krukgraad en heeft een gunstige invloed op het verlagen van de NOx uitwerp.

De prestaties van de nieuwe Mondeo met de nieuwe Duratorq-DI motor stegen met 21 procent als de acceleratie van 0 tot 100 km/h als maatstaf wordt gebruikt. In de vierde versnelling trekt de nieuwe motor van 50-100 km/h 40 procent sneller op dan de oude motor. Dat zijn mooie cijfers!