

Auto & Motor
TECHNIEK

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

Homogene directe benzine-inspuiting

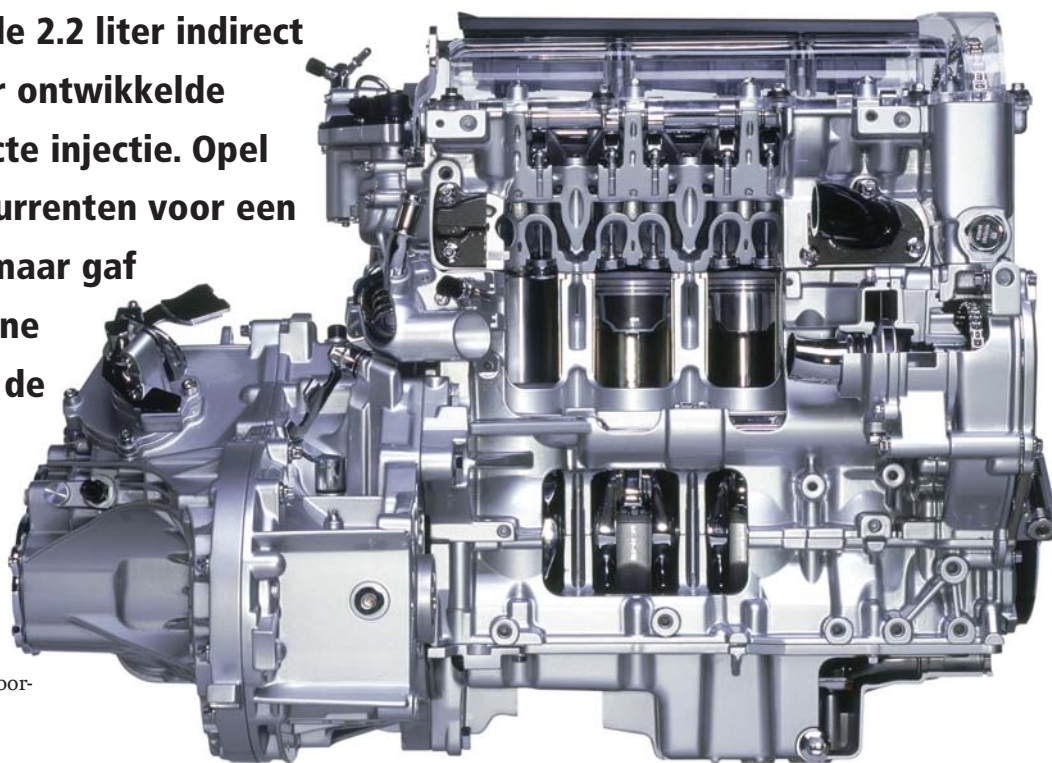
Focus op zuinig

Op basis van de bestaande 2.2 liter indirect ingespoten benzinemotor ontwikkelde Opel een versie met directe injectie. Opel koos niet zoals veel concurrenten voor een armmengsel uitvoering, maar gaf de voorkeur aan homogene verbranding. Daardoor is de motor écht zuinig!

De 2.2 DI-benzinemotor is sinds vorig jaar leverbaar in de Signum en nu ook in de Vectra Stationwagon. Meer modellen zullen volgen en Opel werkt ook aan DI-uitvoeringen van andere motortypen. Bij de overgang naar directe benzine-inspuiting geeft Opel voorrang aan brandstofbesparing, direct gevolgd door een dynamischer rijgedrag.

Tijdens het ontwikkelingsproces heeft Opel zich eerst gebogen over een armmengsel uitvoering. De armmengsel DI-motor leverde 210 Nm in plaats van 203 Nm en haalde 110 kW tegen 108 kW van de bestaande IDI-uitvoering. Belangrijk was dat het verbruik over de Europese rijcyclus weliswaar 10% lager lag, maar dat onder vergelijkbare praktijkomstandigheden deze besparing niet werd gehaald. Het zwavelprobleem, het behouden van inlaatonderdruk voor de rembekrachtiger en de onrustige motorloop deden het ontwerpteam besluiten naar een $\lambda=1$ uitvoering te gaan. Het resultaat is dat er over de rijcyclus slechts 6% brandstof wordt bespaard, maar dat deze besparing óók onder praktijkomstandigheden wordt gehaald. Dat komt omdat de prestaties van de 2.2 liter motor vooral door de veel hogere compressieverhouding van 12,0 in plaats van 10,0 flink zijn toegenomen. Het maximum koppel is gestegen tot 220 Nm en het topvermogen tot 114 kW. Allemaal cijfers waar de Opel-rijder dus echt profijt van heeft.

Om van de bestaande 2.2 liter IDI-motor een DI-uitvoering te maken, zijn diverse onderdelen



De opengewerkte Opel 2.2 Direct Ecotec gezien vanaf de uitlaatkant dus in de rijrichting. Linksboven zit de hogedrukpomp met wat lager het thermostaathuis. Rechts zien we de waterpomp. De ketting drijft ook één van de twee balansassen aan die vlak onder de waterpomp te zien is.

ingrijpend gewijzigd, zoals de cilinderkop, zuiger, drijfstangen, inlaatsysteem, inspuitpomp, verstuivers en de ECU. Kleinere wijzigingen betreffen de bougies met eigen bobines, het kleppendecksel, de EGR-klep, de startmotor, de carterontluchting, de distributie en de positie van de nokkenassen. De uitlaatgasnabehandeling is dezelfde gebleven, veel eenvoudiger dus dan bij de meeste DI-benzinemotoren die op armmengsel draaien. Gebleven is ook de wijze van inbouwen met het inlaatsysteem bij de radiator, dus de uitlaat voor het schutbord.

Klep regelt luchttoevoer

Het materiaal van de cilinderkop is warmtebestendiger. Dat is nodig omdat de DI-motor

meer warmte ontwikkelt en een hogere topdruk haalt. Er zijn twee volledig gescheiden inlaatkanalen, daarvan is er één met een klep afsluitbaar. Deze klep is continu regelbaar om de wervelintensiteit in de cilinder binnen nauwe grenzen te kunnen regelen. Bij vollast loopt de DI-motor met een koprolwervel. Bij deellast kan er dan meer uitlaatgas worden teruggevoerd. Bij vollast ligt de nadruk vooral op een snelle verbranding. De regelklep wordt door een eigen kenveld aangestuurd. Tussen de beide inlaatkleppen zit de hogedrukverstuiver onder een hoek van 47° ten opzichte van het bovenvlak van het blok.

Eenvoudige zuiger

De afbeelding elders op deze pagina's laat de verschillen zien tussen de zuigers van de armmengsel DI en homogene ($\lambda=1$) DI-motor. Bij de armmengselmotor is er een merkwaardig gevormde kam op de zuigerbodem, terwijl de zuiger van de homogene uitvoering vlak is. Dat laatste is vooral bij hoge belastingen veel gun-

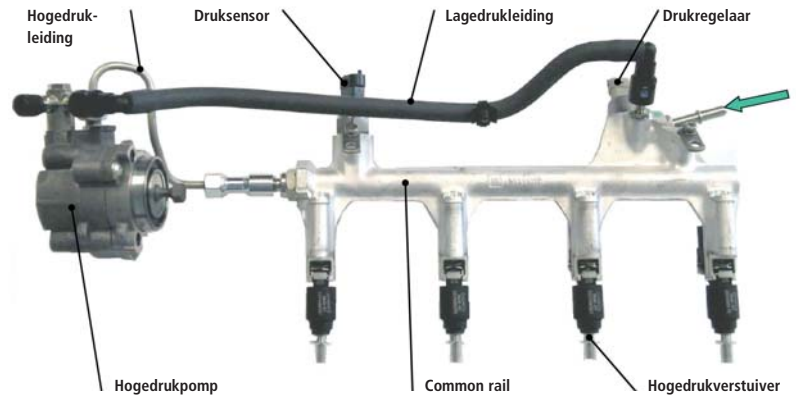
stiger voor een optimaal verbrandingsverloop. Het kleine oog van de drijfstaaf is uitgevoerd zoals we dat van dieselmotoren gewend zijn. Ook bij deze motor is de topdruk zo hoog dat er voldoende oppervlak moet zijn in de zuigerpenen, vandaar de trapezium vorm. Extra pluspunt is de kortere, dus buigstijvere, zuigerpenen. Om de warmte in de bovenste veergroef laag te houden, is de vuurdam van 3 tot 4 mm vergroot. Die millimeter wordt door een kortere drijfstaaf gecompenseerd.

Knap spuitstuk

Voor de DI-motor heeft Opel gekozen voor een Siemens Simtec 81 ECU in plaats van de Delphi HSF1-2.2 ECU. Interessant is de plaats van dit kwetsbare stuk elektronica: op het kunststof inlaatspruitstuk, naast het gasklephuis. Dat betekent dat de ECU tegen versnellingen van 30g en temperaturen tot 110°C bestand moet zijn. Bovendien moeten de inbouwmaten, vooral de hoogte, beperkt blijven.

Het inlaatspruitstuk zelf moet bestand zijn tegen maar liefst 170°C omdat het teruggevoerde uitlaatgas erg heet is. Er werd daarom voor een glasvezelversterkt type nylon gekozen. Omdat de gietkern bij een lagere temperatuur smelt ontstaat er een nauwkeurig gevormde en gladde binnenkant. Alle inlaatbuizen hebben een gelijke lengte per cilinder en zijn voor een hoge vullingsgraad in het lage toerengebied ontworpen. De wervelregelkleppen kunnen

De onderdelen van het hogedruk-brandstof-systeem. Het werkt met een inspuitedruk van 40 tot 120 bar. De gewenste druk wordt door de drukregelaar, die informatie krijgt van de druksensor, ingesteld.



binnen 100 ms van 0 naar 90° versteld worden en komen dan met een nauwkeurigheid van $\pm 3^\circ$ in dezelfde stand terug.

Er is ook veel aandacht besteed aan het gelijkmatig over de cilinders verdelen van de teruggevoerde uitlaatgassen, de carterdampen en de tankontluchtinggassen. Er is rekening gehouden met een barstdruk die hoog genoeg ligt om bij een terugslag het spuitstuk heel te houden. Door het trillen en door temperatuursinvloeden ontstaan er hoge materiaalspanningen en geluiden. Ook daarmee moet rekening worden gehouden bij het ontwerp van het spuitstuk.

Hogedruk brandstofsysteem

De brandstof wordt zonder retourleiding onder 4,2 bar druk naar de hogedrukpomp geperst. De hoge druk is nodig om problemen met dampbellen te voorkomen die bij een start met hete motor ontstaan. Het hogedruksysteem werkt met een inspuitedruk van 40 tot 120 bar. De gewenste druk wordt door een drukregelaar, die informatie krijgt van een druksensor, ingesteld. De hogedrukpomp is een tuimelschijfpomp met drie axiaal geplaatste plunjers en wordt door de inlaatnokkenas aangedreven. De plunjers brengen membranen in beweging die op hun beurt de brandstof in de 'common-rail' persen. De brandstof wordt door middel van terugslagkleppen in de toe- en afvoerleiding verpompt. De drukregelaar bepaalt aan de hand van een kenvelde met welke druk de benzine wordt toegevoerd. De hogedrukpomp verpompt 0,58 cm³ brandstof per omwenteling. Deze hoeveelheid is afgestemd op extreme condities zoals bij de koude start en bij volgas optreden.

De verstuivers zijn nauwkeurig afgestemd op de eisen die aan de motor worden gesteld. De kegelhoek van de straal bedraagt 52°, de maximale brandstofhoeveelheid 8,86 g/s en de gemiddelde druppelgrootte 16 µm. Met deze waarden is tevens de afstand bepaald waarover de brandstofstraal in de cilinder spuit. Omdat de constructie van de hogedrukverstuivers anders is dan die van de meergats lage-drukverstuivers is de tolerantie groter. Dat levert per cilinder verschillende hoeveelheden ingespoten brandstof op. Dankzij de breedband lambdasensor in de uitlaat kan dit verschil worden vastgesteld en door de ECU worden gecorrigeerd.

Vroeger ontsteken

Het is niet mogelijk om het brandstofverbruik bij stationair draaien zo laag mogelijk in te stel-

De Opel 2.2 Ecotec is een moderne motor die volledig van aluminium is. De distributie en de balansassen maken gebruik van een rollenketting. Het kunststof inlaatspruitstuk zit achter de radiator. Let op de poly-V-snaar met automatische spanrol.



MOTOREN

Opel 2.2 Direct Ecotec

len. Door het in- en uitschakelen van apparatuur zoals de aircó, zou de motor namelijk afslaan. Er is daarom gekozen voor een relatief laat ontstekingstijdstip zodat door het snel instellen van een vroeg tijdstip onmiddellijk een hoog koppel beschikbaar is. Dat betekent dat er geen verbranding mag wegvallen, dus mag het mengsel niet te arm zijn. Het ene inlaatkanaal is gesloten om een stabiele verbranding te krijgen, dankzij de inlaatwervel worden de benzine en de lucht goed genoeg gemengd.

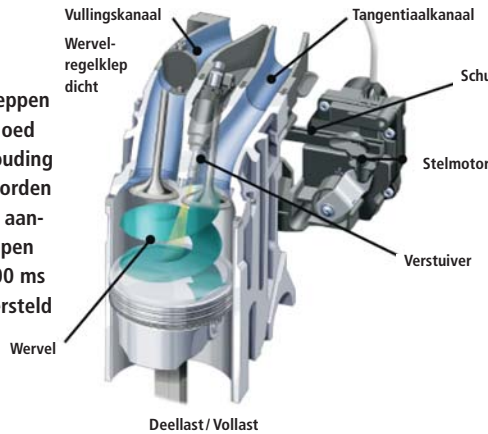
Vergeleken met de IDI-motor komt de vonk toch ongeveer 5° vroeger en daalt het brandstofver-

bruik van 0,66 kg/h naar 0,53 kg/h ofwel met 20%. Deze aanzienlijke verbetering komt voor 4,5% door de hogere compressieverhouding, voor 7,5% door de verbeterde verbranding en voor 8% door het vroegere ontstekingstijdstip. Als we bedenken dat 8 tot 10% van het totale verbruik over de Europese rijcyclus tijdens stationair draaien wordt verbruikt, is het niet verrassend dat genoemde 20% besparing zo'n 1,5 tot 2% verlaging van het totale verbruik over de rijcyclus betekent.

Bij deellast werkt de verhoging van de compressieverhouding het sterkst door. Het thermisch rendement neemt met 4,5% toe. Er is door vele, zo niet alle, fabrikanten besloten om als referentiepunt voor deellast 2000 t/min en een gemiddelde effectieve druk van 2,0 bar te gebruiken. Het verbruik van de DI-motor ligt bij dit werkpunt 4% lager dan dat van de IDI-motor als alle condities gelijk zijn. Er kan echter 10% uitlaatgas meer worden gerecirculeerd, dus kan de gasklep verder open en werkt de motor niet zo sterk als vacuumpomp. Dat scheelt nog eens 2% in het verbruik. Al met al haalt de 2.2 liter DI-Ecotec bij het genoemde werkpunt een specifiek brandstofverbruik van 352 g/kWh en dat is, vergeleken met andere motoren, zeer laag.

Bij deellast werkt de verhoging van de compressieverhouding het sterkst door. Het thermisch rendement neemt met 4,5% toe. Er is door vele, zo niet alle, fabrikanten besloten om als referentiepunt voor deellast 2000 t/min en een gemiddelde effectieve druk van 2,0 bar te gebruiken. Het verbruik van de DI-motor ligt bij dit werkpunt 4% lager dan dat van de IDI-motor als alle condities gelijk zijn. Er kan echter 10% uitlaatgas meer worden gerecirculeerd, dus kan de gasklep verder open en werkt de motor niet zo sterk als vacuumpomp. Dat scheelt nog eens 2% in het verbruik. Al met al haalt de 2.2 liter DI-Ecotec bij het genoemde werkpunt een specifiek brandstofverbruik van 352 g/kWh en dat is, vergeleken met andere motoren, zeer laag.

Wervelregelklep dicht



Wervelregelklep open



Zuigers voor armengselmotor



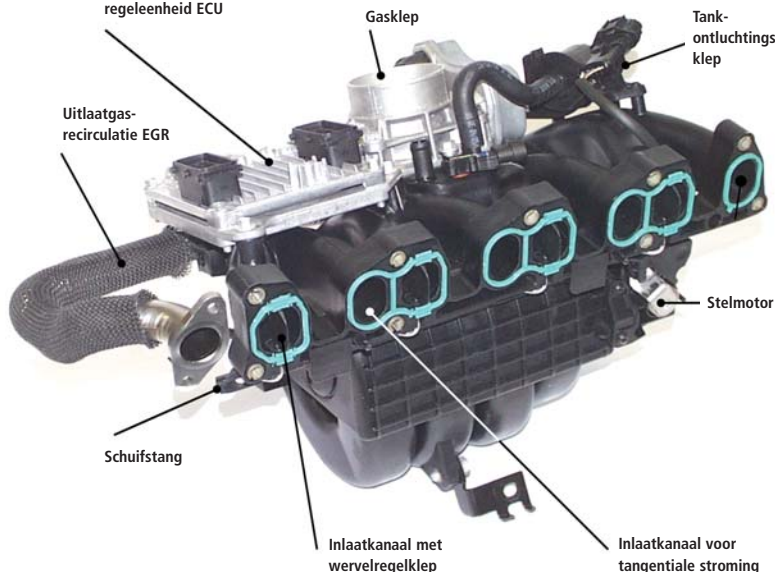
Zuigers voor homogene, λ=1, motor



De verschillen tussen de zuigers en kleine drijfstangogen van de DI-armengsel- en DI-homogeenmotor zijn opvallend. Eenvoudig siet de uiteindelijk gekozen DI-lambda=1-motor.

Het kunststof inlaatsysteem is een knap staaltje techniek en bestand tegen extreme temperaturen. De ECU zit er bovenop.

Elektronische regelenheid ECU



toe. Dit gunstige effect gaat vooral op bij lage toerentallen, want bij hogere toerentallen komt ook bij een IDI-motor steeds meer vloeibare benzine in de cilinder terecht. Het resultaat is een 10% hoger koppel 'onderin', een 8% toename in het middengebied en 6% meer topvermogen. Bij het hoogste koppel bedraagt de gemiddelde effectieve druk 12,6 bar. Dat is een hoge waarde die door weinig standaardmotoren wordt gehaald.

Zuinig in praktijk

Over de Europese rijcyclus bespaart de DI-motor 6% brandstof ten opzichte van de IDI-motor. Dit resultaat is te danken aan de hogere compressieverhouding en de grotere hoeveelheid gerecirculeerd uitlaatgas. Beide hebben een sterke invloed bij stationair draaien en rijden bij constante snelheid. Tijdens het opwarmen van de katalysator kan de motor draaien met een armengsel en als er op de motor wordt afgeremd, wordt er geen brandstof van de wanden van het inlaatspruitstuk 'afgezogen'. Met hetzelfde uitlaatspruitstuk, dus ook dezelfde geregelde driewegkatalysator, als die van de IDI-motor voldoet de DI-motor ook aan de Euro4 emissie-eisen.

Anders dan bij Ford (zie AMT 6/2003) heeft Opel gelijke transmissies gebruikt om de IDI en DI-motoren met elkaar te vergelijken. Onder drie praktijkomstandigheden werd er gereden. Eén waarbij vooral in de stad en op de buitenweg werd gereden tot 100 km/h, één waarbij op de buitenweg en de snelweg werd gereden tot 140 km/h en één die zo snel mogelijk op de snelweg werd gereden. De verbruiksbesparingen bedroegen 6,8%, 5,3% en 1,2%. Bij dat laatste cijfer moet bedacht worden dat er driftig gebruik gemaakt is van de betere prestaties die de DI-motor levert.

Al met al zijn de Opel-technici tevreden, want de resultaten zijn naar wens. Vandaar dat er wordt gewerkt aan andere DI-uitvoeringen van bestaande motoren, vanzelfsprekend in homogene, dus $\lambda=1$, uitvoering.

Paul Klaver