

## Verdere ontwikkelingen in benzine- en dieselmotoren voor personenwagens

© Ir. Koenraad vander Meulen

versie: 29 mei 2018

Ingenieurs van ie-net gingen in maart 2016 op bezoek bij het Europese Distributiecentrum van Mazda in Willebroek. Ze fronsten de wenkbrauwen toen ze van hun gastheren hoorden, dat de ontwerpafdeling van het merk ervan overtuigd is dat het rendement van benzinemotoren nog 20 tot 30 % beter kon, ongeveer zo goed als dat van dieselmotoren. Hoe dat zou gebeuren werd er niet bij verteld. Autofabrikanten hebben zowat alle gekende mogelijkheden al gebruikt om aan de Euro 6 voorwaarden te voldoen door wrijvings- en andere verliezen en de uitstoot van schadelijke stoffen te beperken.

### *De stand van de techniek*

Het wezenlijke verschil tussen een benzinemotor en een dieselmotor voor auto's, is dat in een benzinemotor een gasmengsel van lucht en verdampte benzine in de cilinders wordt gezogen en daarna samengeperst. Een vonk ontsteekt het mengsel net voor de zuiger door het bovenste dode punt gaat. Voorwaarde is dat het mengsel binnen de zgn. explosiegrenzen ligt, dat is een zone rond de verhouding van 1 kg benzinedamp op 14.7 kg lucht, waarbij alle zuurstof uit de lucht tot CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O verbrandt.

Bij benzinemotoren wordt het vermogen aangestuurd via het gaspedaal, dat vroeger via de gasklep in de carburator regelde hoeveel gasmengsel er naar de motor ging. In feite beïnvloedt de gasklep de effectieve druk in de cilinder op het moment van de ontsteking.

Bij een dieselmotor wordt enkel lucht in de cilinders gezogen, samengeperst, en pas dan, op het geschikte moment voor de zuiger door het bovenste dode punt gaat, vernevelt de injector diesel onder hoge druk in de cilinder. In de lucht die door het samenpersen al heter is geworden dan de zelfontbrandingstemperatuur van diesel, verdampen de neveldruppeltjes heel snel, waarna het mengsel verbrandt. Eender welke verhouding van mengsel ontbrandt boven de zelfontbrandingstemperatuur, zonder vonk, zoals de term het zelf zegt.

Benzinemotoren hebben geometrische compressieverhoudingen van 10 tot 12:1, dieselmotoren rond de 16 tot 20:1, waarbij de laagste compressieverhouding in beide categorieën tegenwoordig gelden voor turbo motoren en de hoogste voor motoren met atmosferische aanzuiging.

De lagere verhouding bij benzinemotoren moet voorkomen dat een deel van het mengsel door zelfontbranding zou verbranden, als gevolg van de verhoging van druk- en temperatuur nadat het mengsel vlak bij de bougie werd ontstoken. Gebeurt dat toch, dan noemen we het gevolg pingelen, en dat is slecht voor de levensduur van de motor. Petroleumfirma's mengen anti-klop middelen bij benzine om de juiste klopvastheid te bereiken vb. Euro 95, of de meer klopvaste Euro 98.

Dieselmotoren moeten een grotere compressieverhouding hebben dan die op benzine, om er zeker van te zijn dat de geïnjecteerde diesel snel verbrandt.

Een compressieverhouding hoger dan 20:1 kan als de dieselmotor ervoor gebouwd is. In theorie is het motorrendement hoger naarmate de compressieverhouding hoger is, omdat de maximum temperatuur die in de cilinders wordt bereikt ook hoger is. "In theorie" betekent: zonder rekening te houden met warmte- en wrijvingsverliezen.

### *Waarom was Mazda aan het werken?*

Mazda ontwikkelde de SkyActiv - G 2.0 I atmosferische benzinemotor met een compressieverhouding van 14:1 waarvan de vonk van de bougies de geïnjecteerde benzine doet ontbranden. Op hun website geven ze een aantal aanpassingen aan om pingelen te voorkomen, o.a. kleiner restvolume uitlaatgas in cilinders zodat de begintemperatuur van de cyclus dicht bij de omgevingstemperatuur ligt, minder spoelverliezen via de uitlaatcollectoren, snellere ontbranding door een turbulent en beter gemengd gasmengsel na gefaseerde directe injectie die het mengsel in de cilinder koelt door de verdamping van de benzinenevel.

### *Een benzinemotor die werkt met zelfontbranding?*

De SkyActiv-G is een tussenstap naar de SkyActiv-X, een motor die bij vollast als mengselmotor werkt en bij deellast als HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) op benzine. Mazda wil die in 2019 op de markt brengen onder de benaming SCCI (Spark Controlled Compression Ignition). De motor zou een volumetrische

compressieverhouding van 15:1 hebben, wat hoger is dan bij de SkyActiv-G en zeker in vergelijking met een normale mengselmotor.

Bij vol vermogen ontsteekt de vonk een stoichiometrisch mengsel bij een veel lagere effectieve compressie dan 15:1, zoals bij een klassieke mengselmotor.

Op kruissnelheid op een vlakke autostrade werkt de motor in deellast, en zou een arm mengsel met weinig benzine voldoende moeten zijn. Maar hoe armer het mengsel, hoe dichterbij de onderste ontploffingsgrens en hoe slechter het met een vonk te ontsteken is. Dat lukt wel met zelfontbranding, zoals in een diesel. Mazda lost dat op door een geïnjecteerde wolkje benzine vlakbij de bougie te ontsteken met een vonk, wanneer het mengsel samengeperst is tot net onder de zelfontbrandingstemperatuur. De druk- en temperatuurverhoging die de eerste ontbranding veroorzaakt, ontsteekt de rest van het mengsel door zelfontbranding.

Bij HCCI is het probleem ervoor te zorgen dat het mengsel iets onder de zelfontbrandingstemperatuur blijft voor de bougie vonkt, ondanks dat die verandert in functie van het toerental en de belasting.

Mazda gebruikt ongeveer alles wat een performant motormanagement kan aansturen, om in alle omstandigheden aan die voorwaarde te voldoen. Het merk gebruikt de gemakkelijker te regelen Rootes blazer en geen uitlaatturbo, en elektronische sturing van inlaat en uitlaatkleppen om via de effectieve druk de temperatuur in de cilinder te regelen.

### *Waarom werkt de onderzoeksgroep Vervoerstechniek van de UGent?*

De onderzoeksgroep Vervoerstechniek van de vakgroep "Mechanica van stroming, warmte en verbranding" van de UGent zoekt het elders. In een artikel van prof. dr. ir. Sebastian Verhelst (AIG-nieuws 2016/2 pag. 6 en 7) wordt verwezen naar hun onderzoek naar hernieuwbare brandstoffen voor ontploffingsmotoren o.a. methanol en waterstof, die minder schadelijke uitlaatgassen produceren.

Bij het destilleren van drinkalcohol (ethanol) is methanol of brandalcohol de lichtere fractie die het snelste verdampt. Het snelle verdampen van methanol verlaagt de inlaattemperatuur van het

mengsel in de cilinder. De hoge vlamsnelheid vermindert de kans op pingelen. Methanol is veel klopvaster dan benzine, en daarom geschikt voor motoren met een hogere compressieverhouding. Redenen genoeg om daarnaar onderzoek te doen.



Het is mogelijk met bio-methanol in een daarvoor omgebouwde dieselmotor hogere rendementen te halen dan die van dieselmotoren. Prof. Verhelst heeft me verduidelijkt dat die resultaten gemeten werden op een omgebouwde VW TDI 1.9 liter dieselmotor met turbo, met compressieverhouding (19.5:1). Maar er werd een mengselmotor van gemaakt door de dieselinjectoren te vervangen door bougies en poortinjectie met methanol in te bouwen. Resultaat: een hoger rendement dan de originele dieselmotor, geen roet, en NOx emissies die nauwelijks meetbaar waren (ppm). Wel emissie van CO en koolwaterstoffen, maar die kunnen makkelijk verkleind worden met een oxidatiekatalysator.

### *Elektrische aandrijving*

Alhoewel dit artikel over ontploffingsmotoren gaat, is het nuttig om kort in te gaan op elektrische aandrijving.

(foto: Net van FastNed snellaadstations in maart 2018  
Bron: FastNed jaarrapport over 2017)

Er is uiteraard het probleem met het bereik: de fabrikant geeft het aantal km bij 15°C, met een nieuwe accu, zonder dat verlichting, ruitenwissers, verwarming of airco stroom afnemen. Recente testen door Test Aankoop wijzen uit dat in de praktijk soms maar 60 % van het opgegeven bereik gehaald wordt.

De ontwikkeling van batterijen met een hogere energie inhoud per kg en per l, gaat niet zo snel als gehoopt.

Een mogelijke oplossing is een net van snellaadstations, vooral langs autostrades, zoals FastNed in Nederland pioniert. Het net moet voldoende dicht zijn, om alle merken van elektrische wagens snel (minder dan 15 tot 20 minuten) bij te laden om tot aan het volgende laadstation, of thuis te geraken.

In grote steden, waarin meer dan de helft van de autogebruikers geen eigen garage heeft, kunnen er nooit voldoende parkeerplaatsen met trage laadpalen op de openbare weg voorzien worden wanneer elektrische auto's een succes worden: die ruimte is er gewoon niet.

## *Besluit*

Het is geen uitgemaakte zaak welke ontwikkelingen zich zullen doorzetten. Na de ontwikkeling van de technologie, moet in de praktijk blijken wat verbruik, rijkarakteristieken, onderhoud en kostprijs zijn, in vergelijking met andere alternatieven. De fiscale politiek van het land kan een break even punt sterk beïnvloeden. Dit artikel probeert onrealistische verwachtingen van de automobilist te voorkomen.

De configuratiemodules op de websites van autofabrikanten doen de keuze van de aandrijving af met: kies het vermogen, diesel of benzine, en handgeschakelde of automatische versnellingsbak. Bij de meeste merken staan in de technische specificaties geen gegevens over de uitstoot aan NOx en roetdeeltjes. En de motorkap blijft gesloten voor de technologie die eronder zit, waarmee die

resultaten behaald worden. Denken de klassieke autofabrikanten dat het de meeste van hun klanten niet uitmaakt of die resultaten echt zijn of fake?

De auteur bedankt Prof. dr. ir. Sebastian Verhelst voor zijn opbouwende suggesties bij het schrijven van dit artikel.