

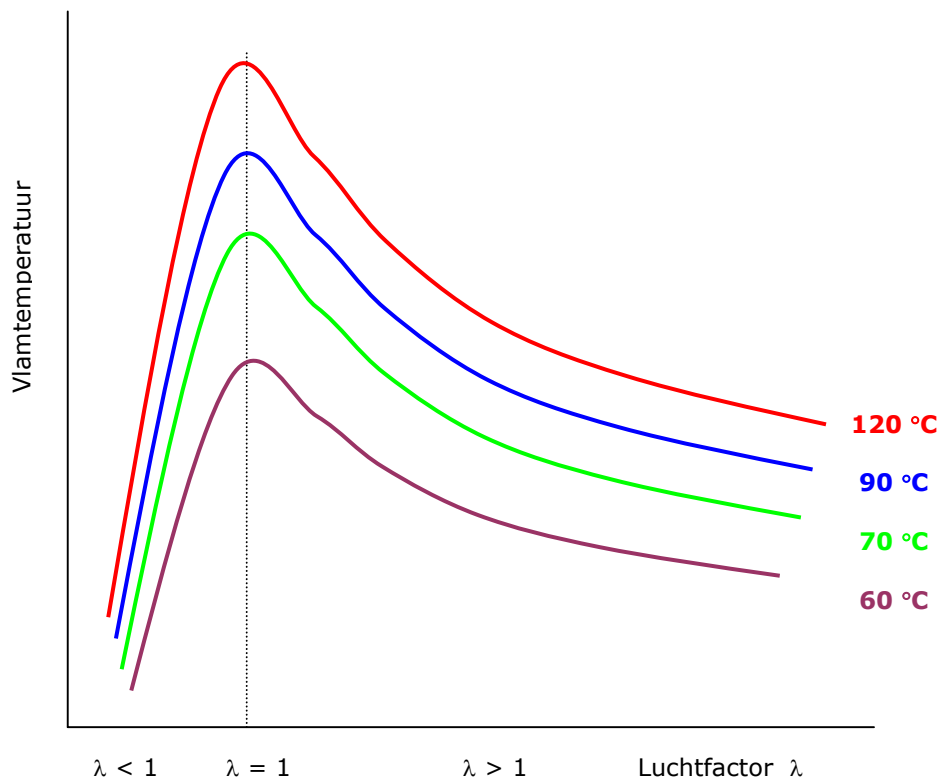
## Opgaven Hoofdstuk 8 Gasmotoren

1. Welke gasmotoren kent u?
2. Wat verstaat u onder een Otto gasmotor?
3. Wat verstaat u onder een diesel-gasmotor?
4. Wat verstaat u onder een stoichiometrische gasmotor?
5. Wat verstaat u onder een arm mengsel gasmotor?
6. Beschrijf de werking van de Otto gasmotor.
7. Uit welke componenten is het gas reduceerstation opgebouwd?
8. Waarvoor dient de zogenaamde waste gate klep?
9. Beschrijf de werking van een dual-fuel motor.
10. Beschrijf een aantal punten met betrekking tot het veilig werken met gasmotoren.
11. Geef een korte omschrijving van de vacuümtest en de 2 fasentest.
12. Om welke reden(en) en waar worden gasmotoren steeds vaker ingezet?

## Uitwerkingen opgaven Hoofdstuk 8

1. De Otto gasmotor  
De dieselmotor of Dual fuel motor
2. Bij de Otto gasmotor wordt een lucht/gasmengsel in de verbrandingskamer door een elektrische vonk van een bougie tot ontbranding gebracht. We kennen een aantal uitvoeringen:
  - De motor met zuigvulling, de motor zuigt tijdens de inlaatslag zelf zijn lucht/gasmengsel aan, dit is over het algemeen een arm mengsel, er is erg veel lucht aanwezig ten opzichte van het gas.
  - De motor met drukvulling, hier krijgt de motor het lucht/gasmengsel gecomprimeerd aangeleverd. Ook hier weer een arm mengsel.
  - Motoren met voorkamerverbranding, deze verbranding vindt plaats met motoren die op een ultra arm mengsel draaien dat niet meer met behulp van een bougie te ontsteken is.
3. Bij dit principe komt het lucht/gasmengsel in de cilinder tot ontbranding door de zelfontbranding van de ingespoten diesel in de voorkamer. De dieselolie die in de voorkamer ingespoten wordt is ongeveer 10% van de totale brandstoftoevoer.
4. Bij een verbranding waarbij exact de hoeveelheid lucht wordt toegevoerd voor een volledige chemische verbranding noemen we een stoichiometrische verbranding. Gasmotoren die werken met een luchtfactor 1, noemen we dan ook stoichiometrische gasmotoren.
5. Als er meer lucht wordt toegevoegd dan nodig voor een volledige verbranding, dan is er sprake van een arm mengsel. Deze gasmotoren worden dan ook arm mengsel gasmotoren genoemd. We kennen ze beter onder de benaming lean burn.

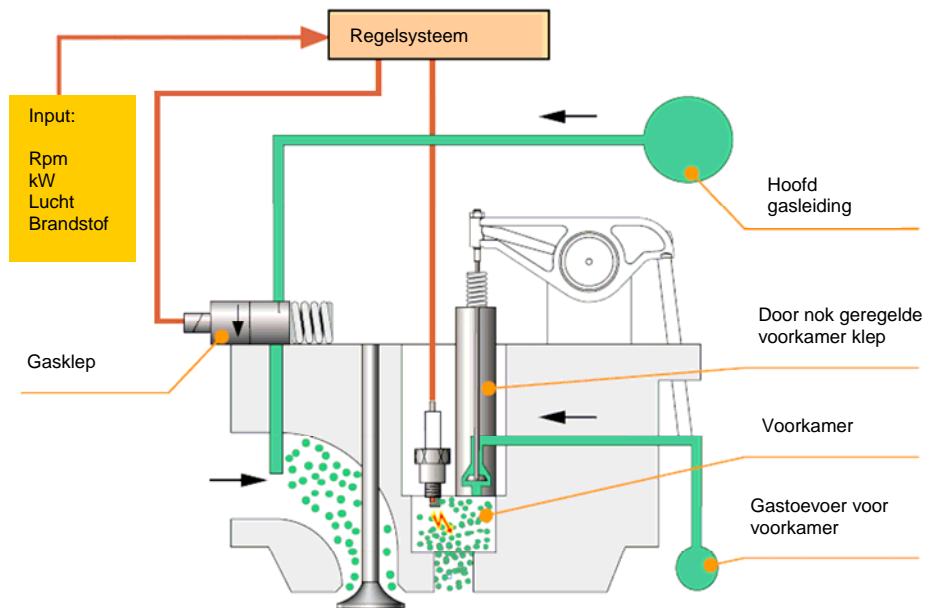
6. Werking principe Otto gasmotor:  
 Bij een zogenaamde lean burn gasmotor is het lucht/gasmengsel arm. Dit wil zeggen dat er veel meer lucht dan nodig in de cilinder aanwezig is voor een volledige verbranding. Op afbeelding 2 is te zien dat bij een toename van de luchtfactor de vlamtemperatuur gereduceerd wordt. Met het oog op het milieu is dit zeer gunstig voor een verminderde  $\text{NO}_x$  uitstoot. Hoe hoger de verbrandingstemperatuur is des te meer  $\text{NO}_x$  wordt er geproduceerd. De temperaturen rechts in het diagram geven aan wat de vlamtemperatuur doet bij wijzigende luchttemperaturen.



Afbeelding 2. De vlamtemperatuur als functie van de luchtfactor.

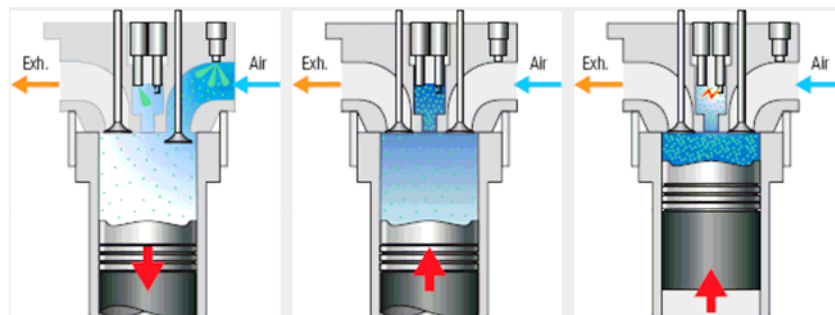
De ontsteking van de brandstof bij een lean burn motor wordt ingeleid door een bougie, die in een zogenaamde voorkamer gemonteerd is. Om een zo hoog mogelijk rendement van de motor te waarborgen en om de uitstoot van schadelijke stoffen, zoals  $\text{NO}_x$ , zo veel mogelijk te beperken, wordt dit geheel, met behulp van elektronica, per cilinder geregeld.

Het principe van de voorkamer ontsteking bij de gasmotor is weergegeven op afbeelding 3.



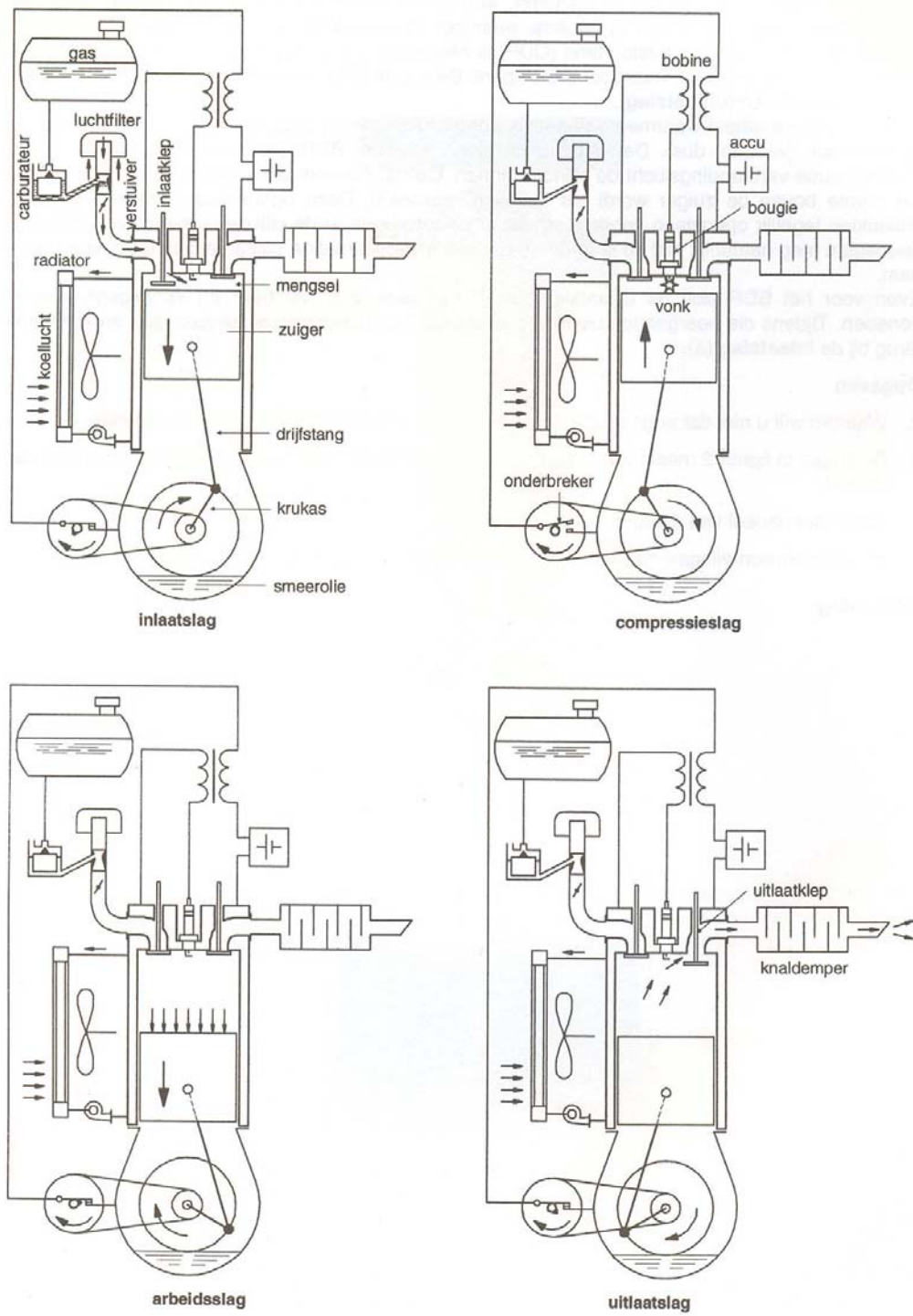
Afbeelding 3. Lean burn gasmotor met vorkamer. Bron Wärtsilä.

Op afbeelding 4 is het vierslag proces weergegeven van een gasmotor met vorkamerontsteking.



Afbeelding 4. Het vierslag proces van de gasmotor.

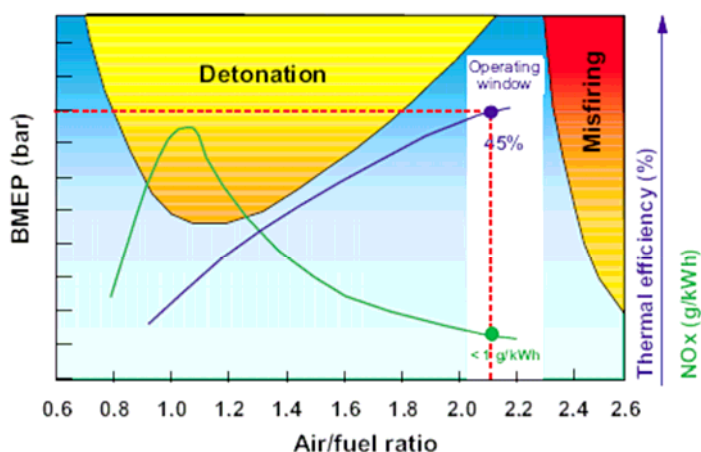
Tijdens de inlaatslag wordt er gas toegelaten aan de cilinder en aan de vorkamer, dit is weergegeven op de linker afbeelding. Daarna wordt het lucht/gasmengsel gecomprimeerd, op het juiste moment wordt aan het eind van de compressie het lucht/gasmengsel in de vorkamer met behulp van de bougie ontstoken, hierdoor wordt de verbranding ingeleid, dit is te zien op het rechter plaatje. Op afbeelding 5 is het vierslag proces nog eens heel schematisch weergegeven.



Afbeelding 5. Het uitgebreide vierslag proces.

Het regelsysteem van de motor meet continu het toerental, vermogen, hoeveelheid lucht, brandstof en onder andere de hoeveelheid geproduceerde  $\text{NO}_x$ . Met deze gegevens wordt, zoals reeds eerder vermeld, per cilinder de exacte hoeveelheid gas en lucht en het moment van ontsteken geregeld.

De luchtfactor wordt in verband met de productie van  $\text{NO}_x$  erg hoog gehouden, circa 2,1. Bij hogere luchtfactoren is het proces tevens beter te regelen en onder controle te houden. Bij een lage luchtfactor, dus bij een rijk mengsel, bestaat de kans dat het mengsel van lucht en gas te snel ontsteekt, dus te vroeg voor Bovenste Dode Punt. Hierdoor stijgt de druk voor Top te snel en wil de zuiger "voor Top al terug naar beneden". Dit kan gepaard gaan met luide metaalachtige geluiden, die men in vakjargon detonatie of diesel-knock noemt. Om dit verschijnsel te voorkomen wordt met een grote luchtfactor gewerkt. Het verband tussen de luchtfactor (air/fuel ratio), gemiddelde effectieve druk (BMEP),  $\text{NO}_x$  productie en het thermisch rendement (Thermal efficiency) is weergegeven op afbeelding 6. Op afbeelding 6 is tevens het gebied weergegeven waarop detonatie optreedt.



Afbeelding 6. Luchtfactor, druk  $\text{NO}_x$ , en thermisch rendement.

De gasklep, zie ook afbeelding 3, is een elektrische klep, die door het regelsysteem wordt aangestuurd. De gasklep zit vlak voor de inlaatklep en zorgt ervoor dat de juiste hoeveelheid gas aan de cilinder wordt toegelaten, de gasklep werkt overigens onafhankelijk van de inlaatklep.

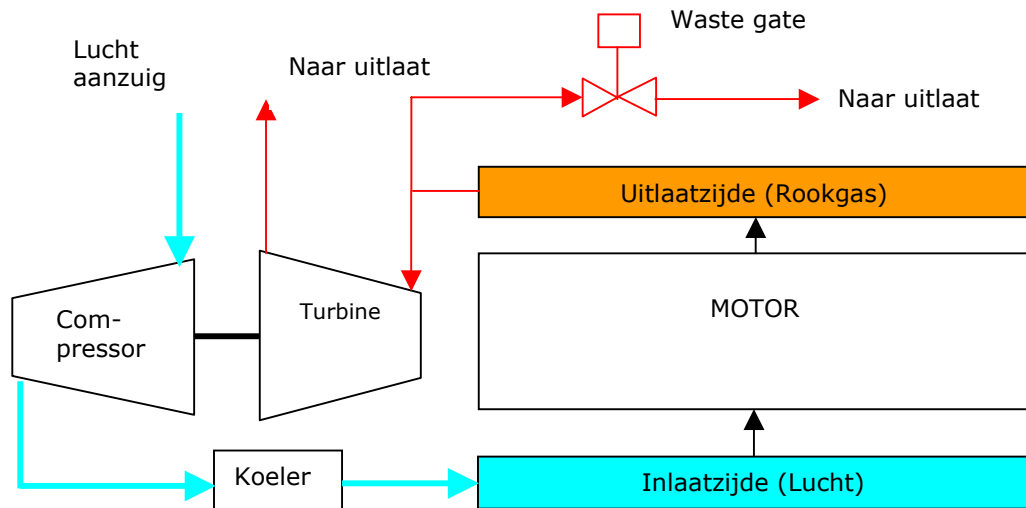
De hoeveelheid gas die aan de cilinder wordt toegelaten, hangt af van een aantal parameters, waaronder:

- Belasting van de motor.
- Aantal omwentelingen.
- Uitlaatgassen temperatuur.
- $\text{NO}_x$  emissie.

Door de hoeveelheid gas onafhankelijk van de inlaatklep te sturen kunnen we de motor optimaliseren, te denken valt hierbij aan:

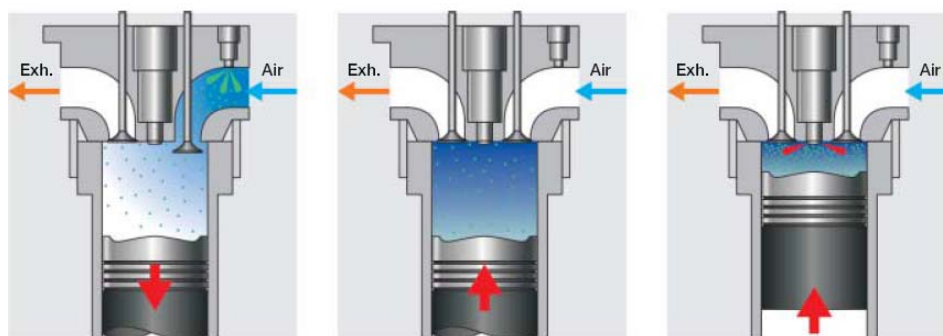
- Hoog rendement.
- Lagere thermische belasting van de diverse onderdelen.
- Geen gevaar voor ontploffing in de inlaat luchtleiding.

7. Het reduceerstation bestaat uit:
- een toevoerafsluitter
  - een filter
  - diverse reduceren
  - diverse veiligheidsventielen
  - elektrische drukmetingen
8. Om er zeker van te zijn dat er altijd de juiste lucht/gas verhouding aan de motor toegevoerd wordt, zijn deze motoren vaak uitgevoerd met een zogenaamde waste gate. Dit is een speciale klep, die door het regelsysteem van de motor wordt aangestuurd en die er voor zorgt dat in bepaalde omstandigheden, een deel van de uitlaatgassen niet door de turbine geleid wordt maar, via een bypass, direct naar de schoorsteen wordt afgevoerd. Dit is schematisch weergegeven op afbeelding 9.



Afbeelding 9. De gasmotor met waste gate.

9. Bij het dual fuel systeem, overigens ook lean burn, wordt de verbranding niet ingeleid door middel van een bougie. Bij het dual fuel systeem wordt de verbranding ingeleid door het inspuiten van een kleine hoeveelheid dieselolie of zware olie. Tevens is het mogelijk om bij deze motoren een keuze te maken tussen, enerzijds het draaien op gas met voorontsteking van vloeibare brandstof en anderzijds volledig op vloeibare brandstof te draaien. Vandaar de benaming dual fuel. Op afbeelding 14 is een schema weergegeven van een motor met het zogenaamde dual fuel systeem.



Afbeelding 14. Dual fuel systeem. Bron Wärtsilä.

De regeling van de gastoevoer is gelijk aan de Otto motor. De verstuivers worden met behulp van een hoge druk brandstofpomp van dieselolie of zware olie voorzien. Bij dit systeem maakt men, voor de ontsteking met vloeibare brandstof tijdens gasbedrijf, gebruik van het zogenaamde common rail systeem. De verstuivers staan bij dit systeem allemaal constant onder druk en worden elektronisch geopend, dit wordt weer geregeld door het regelsysteem van de motor. De verstuivers van dit soort motoren zijn van het zogenaamde twin-needle principe. Dit houdt in dat in een huis twee verstuivertips gemonteerd zijn. De ene tip is zogenaamde pilot fuel, dit is de verstuiver die de verbranding inleidt tijdens het draaien op gas. De andere tip wordt gebruikt tijdens het draaien op dieselolie of zware olie. Op afbeelding 15 is een dergelijke verstuiver te zien.

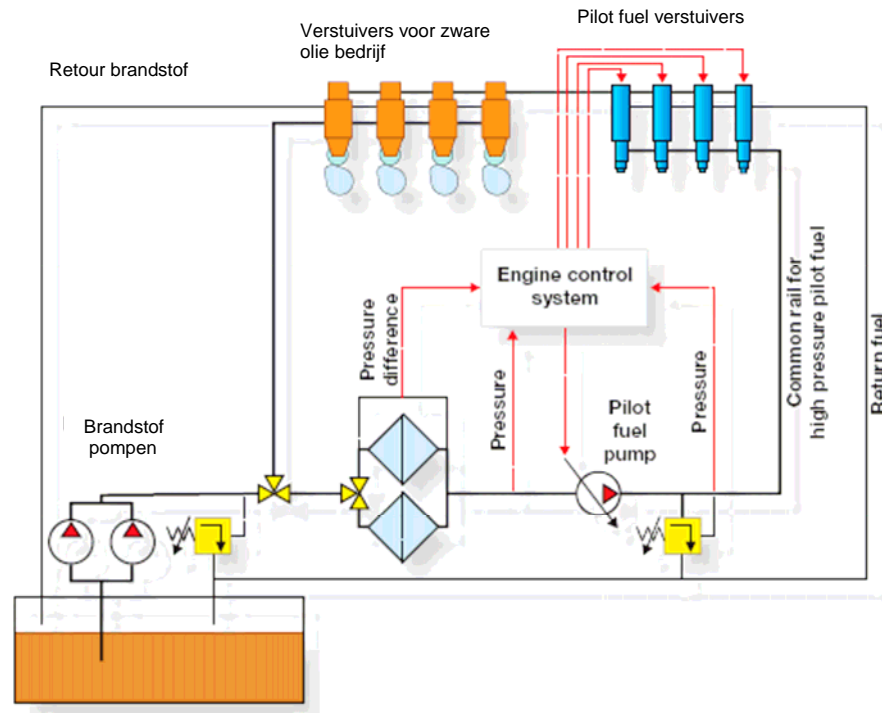


Afbeelding 15. De twin-needle verstuiver. Bron Wärtsilä.



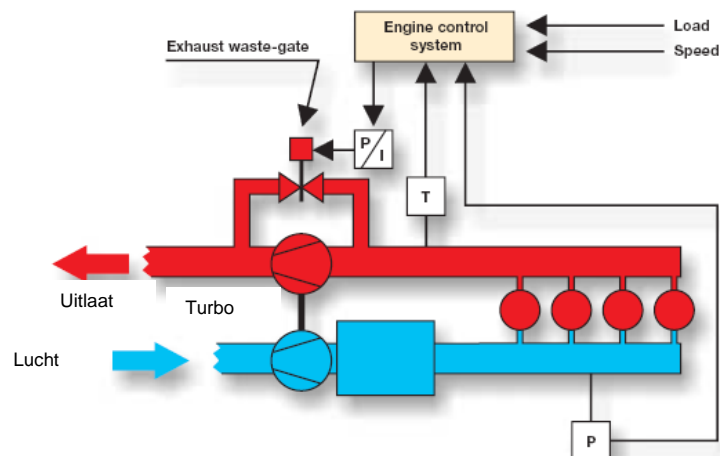
Op de afbeelding zijn duidelijk de twee brandstofopening te zien, de kleine opening is voor de zogenaamde pilot fuel, de grote wordt gebruikt tijdens zware olie bedrijf.

Het gassysteem is gelijk aan dat van de Otto motor dat afgebeeld is op afbeelding 7. Het systeem voor de vloeibare brandstof is weergegeven op afbeelding 16.



Afbeelding 16. Vloeibare brandstofsysteem. Bron Wärtsilä.

De luchtregeling, lees de luchtfactor, wordt ook hier op dezelfde manier geregeld als bij de Otto motor. Ten overvloede is op afbeelding 17 nog eens een waste gate systeem weergegeven. Dit is vergelijkbaar met afbeelding 9.



Afbeelding 17. Waste gate systeem. Bron Wärtsilä.

Het enige dat wezenlijk anders is bij deze motoren is de uitvoering van de zuiger. Hier wordt het materiaal mee bedoeld waar de zuiger van gemaakt is.

De zuigerkroon is weer gemaakt van gietstaal, het zuigerhemd is hier van nodulair gietijzer vervaardigd. Dit is beter bestand tegen de zwaardere bedrijfscondities tijdens zware olie bedrijf.

Op afbeelding 18 is een dergelijke zuiger weergegeven.



*Afbeelding 18. Zuiger met veren, de kroon is van gietstaal, het hemd van nodulair gietijzer.*

10. Bij het werken met gasmotoren is veiligheid een zeer belangrijk aspect, zowel voor de omgeving als voor de mens zelf. Een van de veiligheidsonderdelen is de controle op de dichtheid van de installatie. In het algemeen kunnen we stellen dat een dichtheidscontrole de volgende resultaten op kan leveren:
- de installatie is dicht
  - de installatie bevat een lek zonder gevaar
  - de installatie bevat een lek met direct gevaar voor de omgeving

Een gasinstallatie is in het algemeen gasdicht te beschouwen als de drukkaling, na het sluiten van de "hoofdkraan", niet meer dan 1 mbar bedraagt. De proef wordt uitgevoerd bij een normale werkdruk van de installatie en met de aanvoerafsluiters geopend en de toevoerafsluiter vlak bij de gasmotor gesloten.

Lektesten bij gasmotoren worden gedaan met lucht, de installatie wordt met lucht onder een druk van 125 millibar gezet. Als nu na drie minuten de druk niet meer is gedaald dan drie millibar, dan is de installatie als gasdicht te beschouwen. Een gaslek groter dan vijf liter per uur is te beschouwen als een direct gevaar voor de omgeving. Een lek kleiner dan vijf liter