

Hoofdstuk 4 Luchtvoorziening

4TAKTMOTOR

1) Zelfaanzuigende 4taktmotor

Voordat de cilinder kan worden gevuld met verbrandingslucht moeten de verbrandingsgassen worden geëvacueerd uit de cilinder. Daartoe wordt reeds voor het einde van de arbeidslag de uitlaatklep geopend, opdat bij het begin van de uitlaatslag al een klepdoortocht, die voldoende is, beschikbaar is en om ervoor te zorgen dat voor het einde van de arbeidslag al een groot gedeelte van de verbrandingsgassen de cilinder heeft verlaten.

Een te vroege opening heeft echter vermogensverlies tot gevolg als gevolg van de vermindering van expansiearbeid, een te late opening veroorzaakt een te hoge gasdruk in de cilinder tijdens het begin van de uitlaatslag, waardoor teveel negatieve arbeid gedurende de uitlaatslag wordt geleverd.

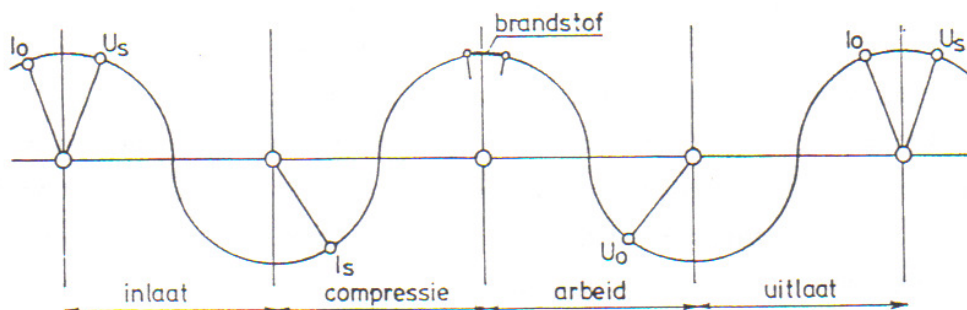
De inlaatkleppen worden voor het einde van de uitlaatslag geopend om bij het begin van de inlaatslag reeds een voldoende grote inlaatdoortocht beschikbaar te hebben voor de binnenstromende verbrandingslucht. De uitlaatkleppen moeten tot het einde van de uitlaatslag geopend blijven en zullen daarom pas aan het begin van de inlaatslag worden geopend.

De in- en uitlaatperiode zullen elkaar dus overlappen!

Deze overlapping wordt uitgedrukt in graden krukhoek en is bij zelfaanzuigende 4taktmotoren ongeveer 20 tot 60 graden krukhoek.

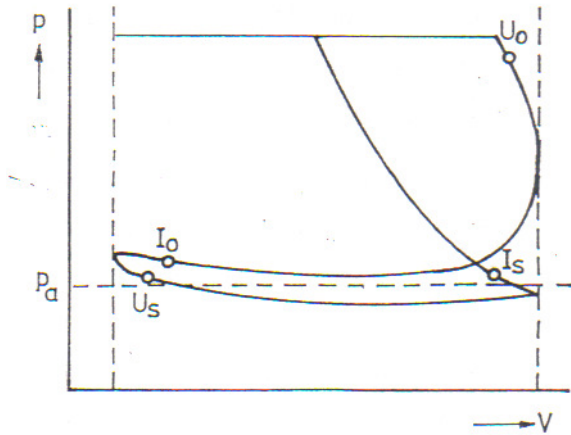
Inlaatkleppen open van 10° - 30° voor BDP tot 25° - 40° na ODP

Uitlaatkleppen open van 30° - 50° voor ODP tot 10° - 30° na BDP



Doorlopend krukwegdiagram 4-slag dieselmotor

Het pV diagram dat hierbij hoort geeft duidelijk weer dat de luchttoevoer niet ideaal verloopt zoals in vorig hoofdstuk werd weergegeven. De atmosferische druk wordt aangegeven door p_a . De uitlaatdruk ligt gemiddeld boven de atmosferische en de inlaatdruk gemiddeld er onder. Het proces dat hier doorlopen wordt, wordt in tegenwijzerzin doorlopen en vraagt dus energie van het proces. Met andere woorden dit is een bijkomend verlies.(3 à 5%).



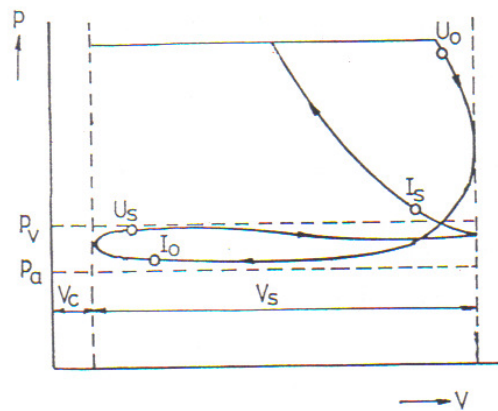
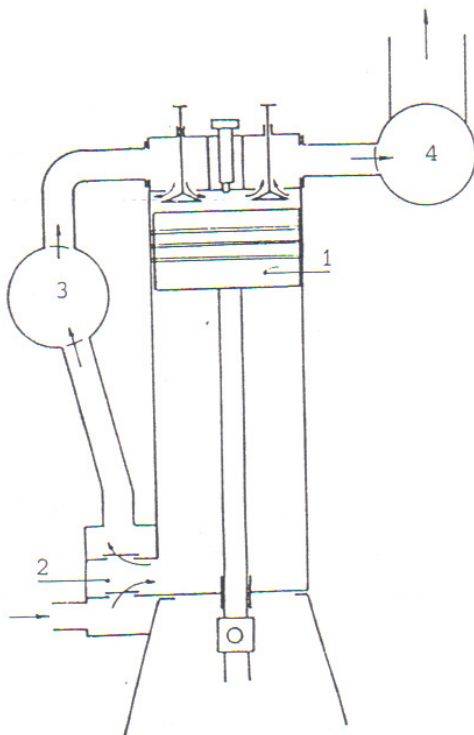
Zwakveerdiagram
4-slag dieselmotor

2) Drukvvulling bij 4taktmotoren

De hoeveelheid arbeid die door de motor per cilinder en per proces kan worden geleverd hangt af van de hoeveelheid brandstof die per proces in de cilinder kan worden verbrand. Wil men dus meer brandstof verbranden zal men meer lucht moeten toevoeren in de cilinder Dit is mogelijk door de verbrandingslucht naar de cilinders voordat ze naar de cilinders stroomt samen te persen en zo de dichtheid ervan te vergroten. Dit noemt men drukvvulling en heeft enkel zin als het totale rendement van de motor er niet wordt door verlaagd.

Er bestaan twee systemen van drukvvulling:

A) *Mechanische drukvvulling:*



Zwakveerdiagram
Werkspoor drukvvulling

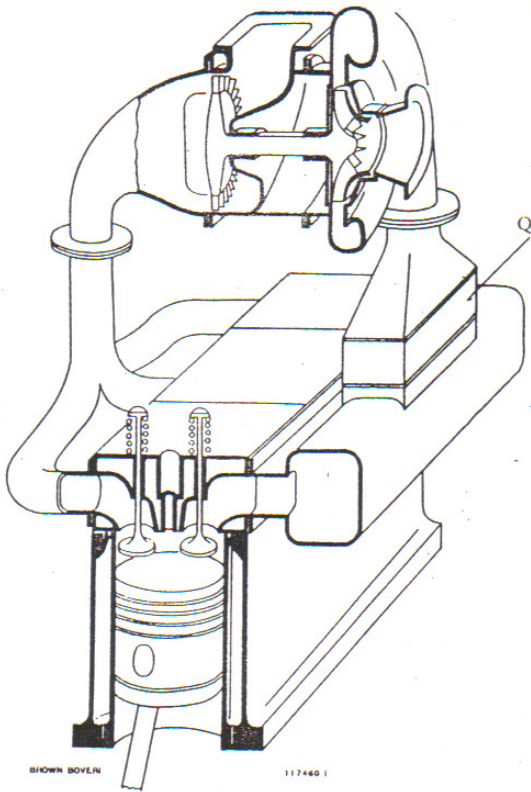
Werkspoor drukvvulling

Er wordt schijnbaar 100% extra lucht naar de cilinders gevoerd omdat de pomp twee persslagen per arbeidsproces doorvoert maar dit is niet juist. In werkelijkheid ligt het rendement een pak lager doordat :

- a) Het slagvolume van de pomp door de doorsnede van de zuigerstang kleiner is dan het slagvolume van de arbeidszuiger
 - b) Leveringsgraad van de pomp lager is dan 100%
 - c) Een aanzienlijk deel van de toegevoerde lucht wordt gebruikt voor spoeling en koeling
- In dit geval ligt inlaatlijn boven uitlaatlijn. Dit komt doordat tijdens de inlaatslag als gevolg van de verhoogde druk van de binnenstromende lucht meer arbeid geleverd dan tijdens de uitlaatslag verloren gaat.

B) Turbodrukvulling:

Bij dit systeem wordt de verbrandingslucht gebruikt om een gasturbine aan te drijven. Op dezelfde as van de turbine staat een compressor die de verse lucht zal comprimeren. Het grote voordeel is dat de compressiearbeid zo wordt verkregen uit de expansiearbeid van de verbrandingsgassen, wat een recuperatie is van de warmte die nog in die verbrandingsgassen aanwezig is. De motor levert dus geen pomparbeid. De aangezogen lucht wordt gekoeld in de intercooler omdat zo de dichtheid nog zal toenemen en de lagere compressietemperatuur zal aanleiding geven tot lagere verbrandingstemperatuur, waardoor de thermische belasting van de motoronderdelen verlaagt.



Schema turbodrukvulling

4-slag dieselmotor

De openingstijden van motoren met drukvulling liggen aanzienlijk hoger dan bij atmosferische gevulde motoren. Dit om thermisch hoog belaste delen te kunnen koelen. (Meer verbranding = meer thermische belasting)

Inlaatkleppen open van 70° voor BDP tot 25° na ODP

Uitlaatkleppen open van 52° voor ODP tot 43° na BDP

Dus de krukhoekopening wordt in dit geval $43^\circ + 70^\circ = 113^\circ$

Afvoer van verbrandingsgassen

Twee systemen:

Gelijke druk systeem:

De uitlaatgassen van alle cilinders worden afgevoerd naar een gemeenschappelijke en ruime uitgassenleiding. De gasdrukstoten worden hierin afgevlakt zodat de druk in de leiding nagenoeg constant is. Kenmerkend voor dit systeem is, dat bij lage motorbelastingen de druk in de uitgassenleiding hoger kan worden dan in de spoelluchtleiding, waardoor tijdens de spoelperiode een deel van de gassen kunnen terugstromen.

Stootsysteem:

Hier wordt het terugblazen van de gassen voorkomen. De cilinders worden dan aangesloten op korte en relatief nauwe uitgassenleidingen waarin direct na het openen van de uitlaatkleppen van een cilinder een drukgolf ontstaat. De drukgolf wordt gevolgd door een drukdal, dat door een juiste keuze van de klepopeningstijden samenvalt met de opening van de in- en uitlaatkleppen van een cilinder, dus met een spoelperiode.

Het resultaat: *minder expansieverlies bij het uitstromen van de gassen uit de cilinders
*gedurende de spoeling een grotere spoeloverdruk over de cilinder
*spoeloverdruk blijft ook bij lagere belastingen positief

Teneinde het drukverloop tijdens de spoeling in de cilinder niet te verstoren, moeten de ontstekingsafstanden van de op dezelfde uitlaatgassenleiding aangesloten cilinders voldoende groot zijn.

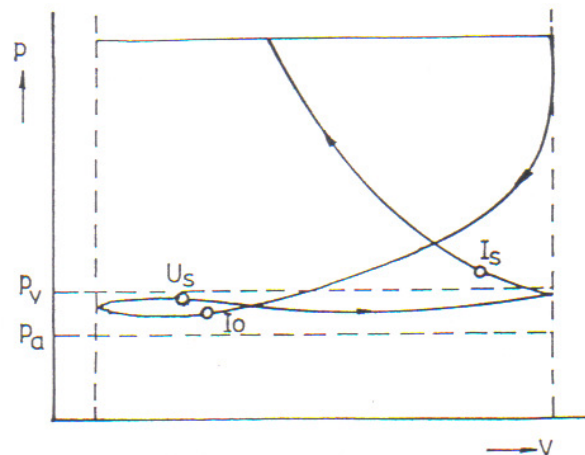
Voorbeeld

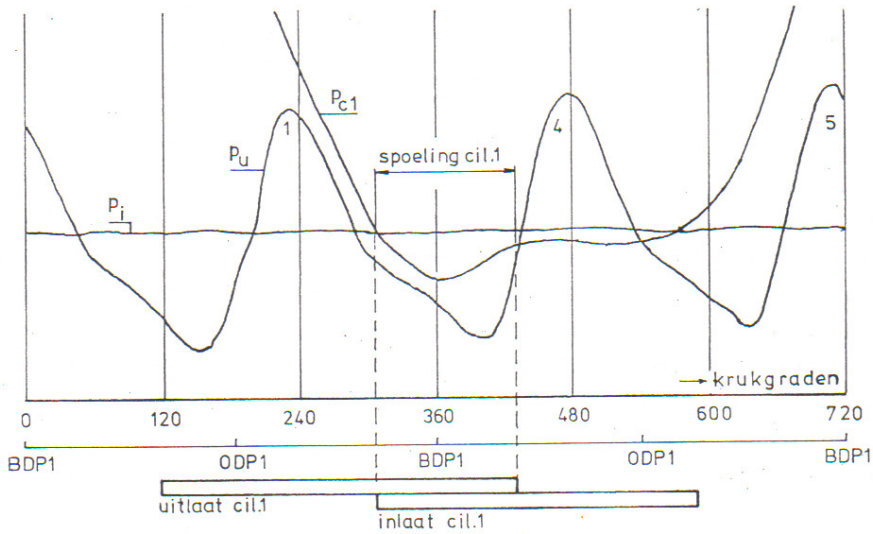
6 cilindermotor, 2 uitgassenleidingen, op elke leiding 3 cilinders aangesloten waarvan ontstekingsafstanden onderling gelijk zijn.

4taktproces = 720 krukgraden $\rightarrow 720^\circ/3=240^\circ$

De uitlaatdrukstoten volgen elkaar nu ook 240° na mekaar op en er is dus tijd genoeg om de verbrandingsruimten met een positieve spoeloverdruk te spoelen.

*Zwakveerdiagram
4-slag dieselmotor met turbo-
drukstelling*





Spoeling verbrandingsruimte bij 4-slag dieselmotor met turbodrukverhoging

p_i = konstante druk inlaatcollector

p_u = variabele druk uitlaatcollector

p_{c1} = druk boven zuiger cilinder 1

De verse lucht moet van inlaatcollector naar cilinder stromen en van cilinder naar uitlaatcollector, dus $p_i > p_{c1} > p_u$

Voordelen 'gelijke druk' t.o.v. 'stoot'-systeem

- Aantal turbogroepen en uitlaatgassenleidingen is niet afhankelijk van het aantal cilinders
- Gemiddelde druk in uitlaatleiding is tijdens uitlaatslag lager dan bij stootsysteem, daarom wordt minder uitlaatarbeid verricht, hetgeen resulteert in hoger motorrendement
- Turbinerendement is hoog door gelijkmatige aanstroming van schoepen door de gassen.

Nadelen 'gelijke druk' t.o.v. 'stoot'-systeem

- Bij deelbelasting kan de spoeloverdruk negatief worden, waardoor terugstroming kan optreden en bij langdurig gebruik kan dit vervuiling tot gevolg hebben
- Bij vollast is de spoeloverdruk kleiner dan bij stootsysteem omdat tijdens de spoeling de druk van de gassen in de uitlaatleiding niet beneden de gemiddelde waarde daalt zoals bij stootsysteem
- Gedurende versnelling van de motor kan tijdelijk een onvolledige verbranding van de ingespoten brandstof ontstaan, omdat door het grote volume van de uitgassenleiding de turbine vertraagd reageert op verhoging van de motorbelasting.

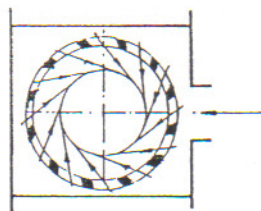
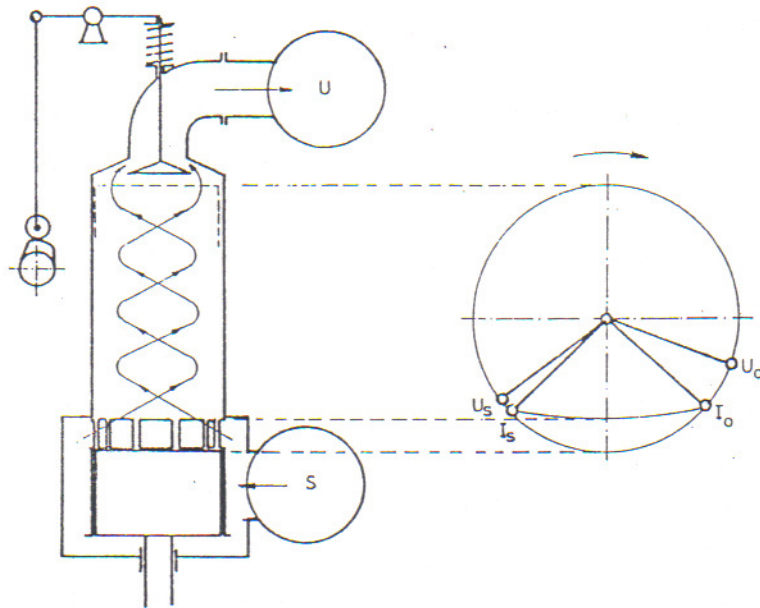
2TAKTMOTOR

1) Zelfaanzuigende 2taktmotor

Bij tweetaktmotoren is er geen afzonderlijke aanzuigslag. Omdat die aanzuigslag ontbreekt moet niet enkel de verbrandingsruimte maar de gehele cilinder worden schoongespoeld., terwijl tegelijkertijd de cilinder wordt gevuld met verse verbrandingslucht. Het gaswisselingsproces gebeurt in zeer korte tijd wanneer de zuiger zich rond het ODP bevindt.

a) langspoeling of gelijkstroomspoeling

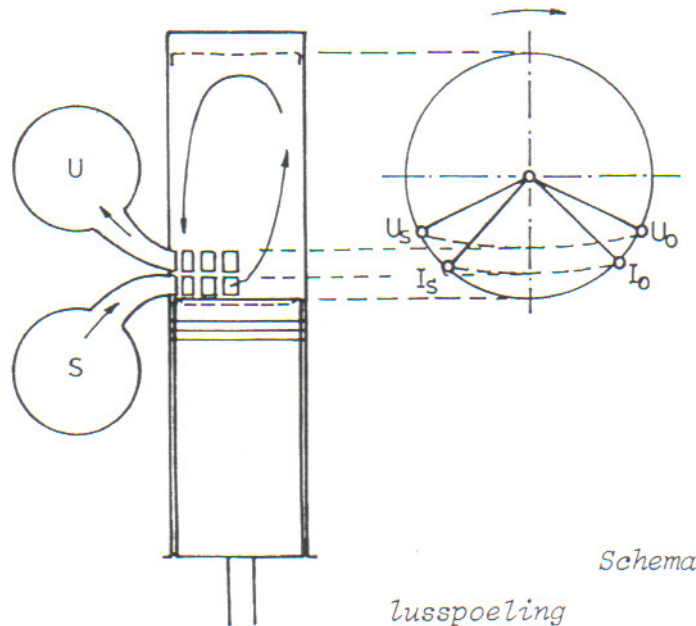
De gas- of luchtspoeling is in hoofdzaak langs de langsas van de cilinder gericht. De spoellucht wordt via poorten in de cilinderwand toegevoerd en de verbrandingsgassen via kleppen in het cilinderdeksel afgevoerd.



Schema langspoeling

b) lusspoeling of omkeerspoeling

In dit systeem is de gas-en luchtstroming dwars op de langsas van de cilinder gericht. Zowel luchttoevoer als gasafvoer gebeurt via poorten in de cilinderwand.



Voor beide methoden is het van belang dat een zo hoog mogelijk spoeeffekt wordt verkregen, d.w.z. dat er zo weinig mogelijk resten van verbrandingsgassen achterblijven en zo veel mogelijk met verse lucht gevuld wordt. Dit spoeeffekt is afhankelijk van de methode van spoelen maar ook van de spoelratio R

$$R = \frac{\text{volume lucht per proces en per cilinder toegevoerd}}{\text{slagvolume cilinder}}$$

Vergelijking spoelsystemen

- Langsspoelen geeft minste vermenging tussen verbrandingsgas en spoellucht dus met kleine hoeveelheid spoellucht bekomt men een hoog spoeeffekt
- Bij lusspoeling is de vermenging groter maar er is meer kans op achterblijven van restgassen in dode hoeken. Het spoeeffekt is daarom kleiner maar de spoelratio is wel groter.
- Door het toepassen van de juiste vorm en plaatsing van de spoelpoorten in de cilinderwand verkrijgt men een goede spoeling.

2) 2takt met drukvulling

Mechanische drukvulling is nooit toegepast op 2takt omdat de pompvermogens hiertoe onaanvaardbaar hoog zouden zijn en de rendementen dus veel te laag. Turbodrukvulling daarentegen wel en men vindt dezelfde systemen als bij de 4takt terug. Echter moet men letten op de vuldruk. Bij matige vuldruk zal met behulp van het stootsysteem een groter turbinevermogen bekomen worden dan bij het gelijke druksysteem. Bij lage belasting zal het gelijke druk systeem ongunstige resultaten opleveren. Langzaam lopende tweetakt werkt momenteel met gelijke druksysteem.

