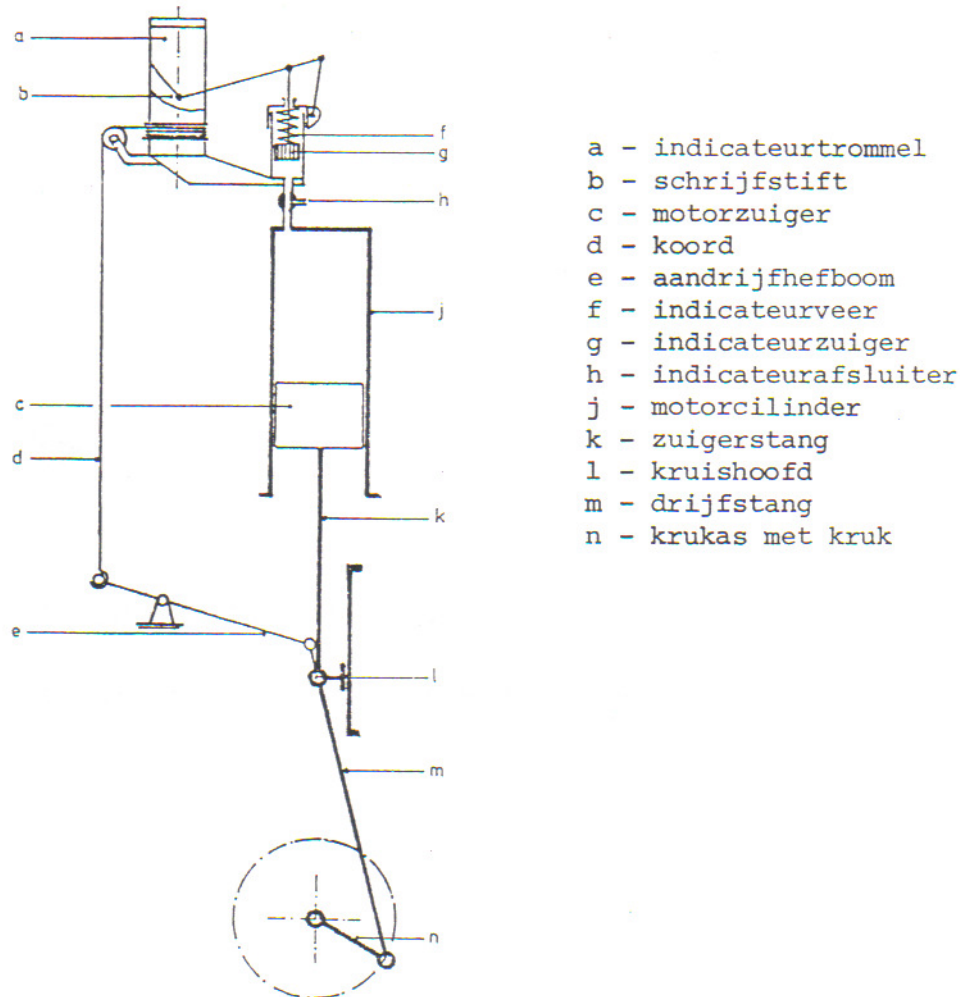


**Hoofdstuk 3****Motorvermogen, verliezen en rendementen**1) Het indicatordiagram

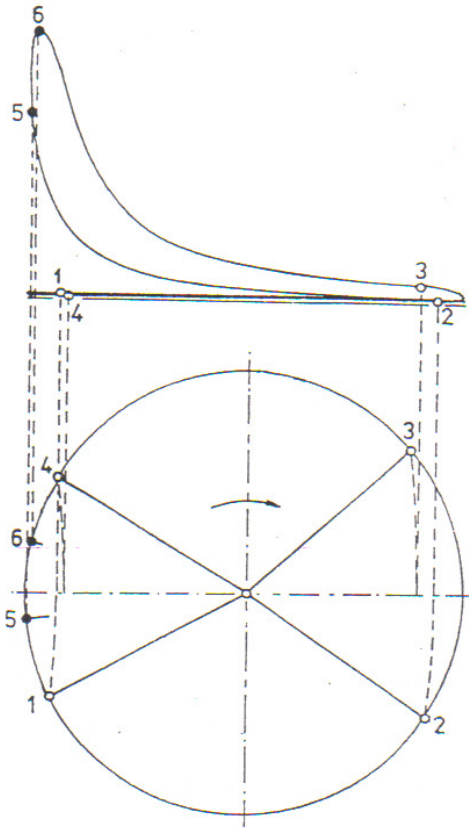
In het vorige hoofdstuk werd een pV diagram opgesteld van de cyclus die doorlopen werd. Dit diagram beschrijft eigenlijk het arbeidsproces dat doorlopen wordt gedurende de cyclus. Dergelijk pV diagram kan door de motor zelf worden opgetekend met behulp van een indicatorstoestel. Een dergelijk diagram noemt men dan ook een indicatordiagram.



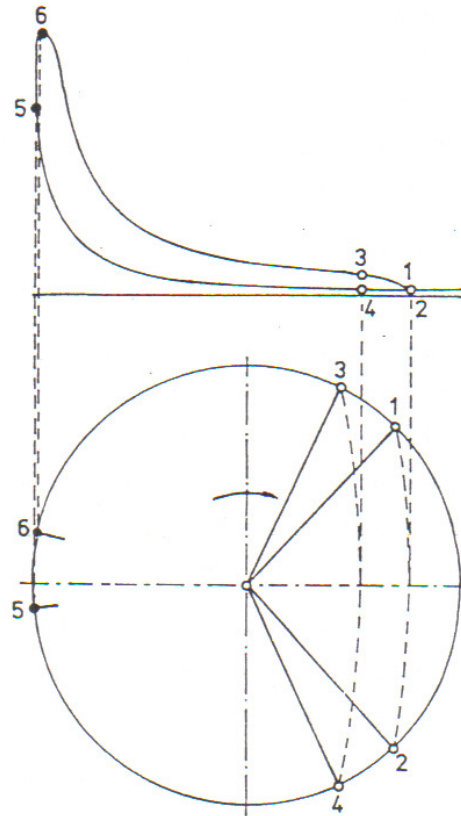
*Indicatorstoestel met aandrijving*

Het bestaat uit een cilinder die met behulp van een schroefwattelp kan worden bevestigd op een indicatorafsluiter. Deze afsluiter is meestal gemonteerd op het cilinderdeksel, en dient ervoor om de indicatorcilinder te verbinden met de motorcilinder, zodat het drukverloop in beide hetzelfde is. In de indicatorcilinder zit een zuigertje dat door de gasdruk tegen de kracht van de schroefveer in omhoog wordt bewogen. Via een hefboommechanisme is de indicatorzuiger verbonden met een schrijfstift, die tegen de trommel kan worden gedrukt. De uitslag van d stift is evenredig met de sterkte van de gekozen veer. De verdraaiing van de trommel wordt bekomen met behulp van een niet rekbaar koord dat enkele malen om

de onderzijde van de trommel is gewonden. Het uiteinde van de koord wordt bevestigd op de aandrijfinrichting van de motor, meestal een stift met rol aangebracht op de nokkenas. Dus de combinatie van drukverandering en zuigerbeweging geeft het indicatorgram.



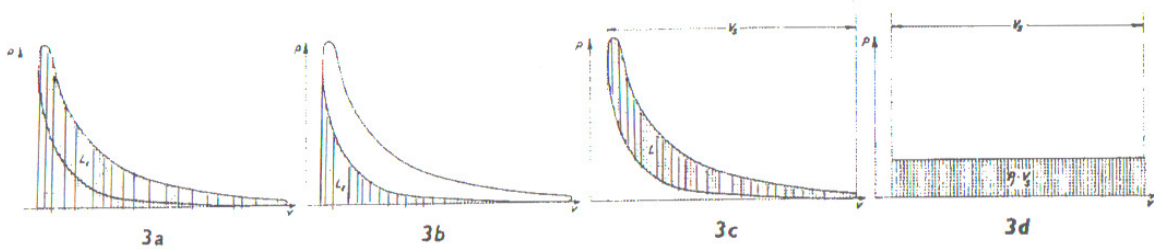
*Indicateurdiagram 4-slag proces*



*Indicateurdiagram 2-slag proces*

## 2) Bepalen van de indicatorarbeid en geïndiceerde druk

De arbeid is evenredig met de oppervlakte onder de respectievelijke curve die het proces beschrijft in het pV diagram.



**Figuur 3a:** De expansiearbeid is de oppervlakte onder de expansiecurve. De curve wordt in wijzerzin doorlopen dus de arbeid is **positief**.

**Figuur 3b:** De compressiearbeid is de oppervlakte onder de compressiecurve. Deze curve wordt in tegenwijzerzin doorlopen dus de arbeid is **negatief**.

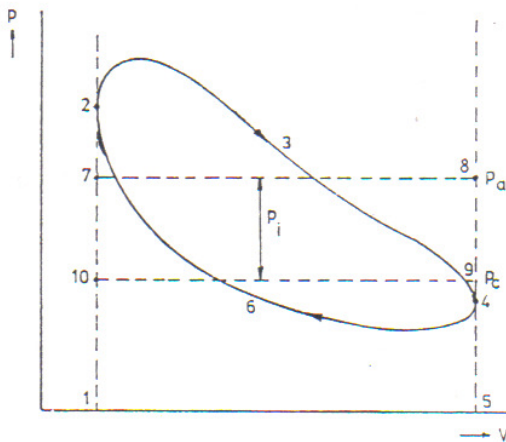
**Figuur 3c:** Dit is de oppervlakte omsloten door het pV diagram en is de arbeid geleverd door de cyclus of de geïndiceerde arbeid  $W_i$ .

**Figuur 3d:** Dit is de gemiddelde geïndiceerde druk. Hoe bekomt men dit. Men vervangt de oppervlakte van de geïndiceerde arbeid (fig.3c) door een rechthoek waarvan de lengte de slaglengte  $s$  is. De hoogte is dan de gemiddelde geïndiceerde druk. (Beter zou zijn dat men dit gemiddeld geïndiceerd drukverschil zou noemen.)

Tijdens de arbeidsslag is de gemiddelde druk  $p_a$ .  $\rightarrow W_{ia} = p_a A_z s$

Tijdens de compressieslag is deze gemiddelde druk  $p_c$ .  $\rightarrow W_{ic} = - p_c A_z s$

De volledige cyclus levert dus een arbeid:  $W_i = (p_a - p_c) A_z s$  waarmee  $p_a - p_c = p_i$



*Bepaling geïndiceerde gemiddelde druk uit indicateurdiagram.*

Voor een motor met  $Z$  cilinders wordt de formule :  $W_i = Z p_i s A_z$

### 3) Rendementen

#### a) het geïndiceerde thermische rendement

Het vermogen in de cilinder wordt opgewekt door de verbranding van brandstof. Per kilogram brandstof wordt  $H_0$  kJ warmte toegevoerd.  $H_0$  noemt men de stookwaarde van de brandstof.

Dieseloil (DO) :  $H_0 = 40000 \text{ kJ/kg}$

Heavy Fuel Oil (HFO):  $H_0 = 42000 \text{ kJ/kg}$

Het geïndiceerd vermogen  $P_i$  is het vermogen ontwikkeld in de cilinder tussen de zuiger en het kopstuk ten gevolge van de druk  $p$  van de verbrandingsgassen. Er gaat echter een deel van de energie verloren ten gevolge van warmteverliezen door koeling en straling.

Het geïndiceerd thermisch rendement is de verhouding tussen beide.

$$\eta_i = \frac{\text{geïndiceerd motorvermogen}}{\text{met brandstof toegevoerd vermogen}} = \frac{P_i}{B H_0}$$

De thermische verliezen kunnen opgedeeld worden in drie groepen:

- Warmte afgevoerd met uitlaatgassen (30%)
- Warmte afgevoerd door koeling (20%) : 1/3 zuigerkoeling, 2/3 cilinderkoeling
- Warmte afgevoerd door straling (1%)

b) het mechanisch rendement

Het door de verbrandingsgassen afgegeven vermogen komt niet volledig ter beschikking aan de uitgaande as van de motor.

Er zijn wrijvingsverliezen zoals

- Wrijving zuigersegmenten en voering
- Wrijving verbinding kruk-drijfstang
- Wrijving zuiger-drijfstang
- Wrijving krukas in lagers
- Wrijving kruishoofd-leislof

Als de motor goed wordt gesmeerd zijn deze verliezen beperkt.

Ook worden een aantal onderdelen door de motor zelf aangedreven wat bijkomend energie opslorpt .

- brandstofpomp
- smeerpomp
- koelwaterpomp
- in en uitlaatkleppen

Het totale mechanische verlies bedraagt ongeveer 10%.

Het mechanische rendement is de verhouding tussen het effectief vermogen en het geïndiceerd vermogen.

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

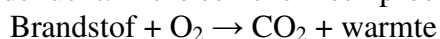
Hieruit volgt ook de gemiddelde effectieve druk:  $p_e = \eta_m p_i$

Het totale rendement is het produkt van beide :  $\eta_t = \eta_m \eta_i$

$\eta_t = 1/(B/P_e) H_0$  met  $B/P_e =$  specifiek brandstofverbruik of brandstofverbruik per vermogenseenheid

4) Verbrandingsluchtfactor en specifiek luchtverbruik

De verbranding van dieselbrandstof is een chemisch proces waarbij de koolwaterstoffen en de zich in de brandstof bevindende verontreinigingen zich binden met de zuurstof uit de lucht. Dit is een chemisch proces dat men kan voorstellen met een reactievergelijking.



Deze reactievergelijkingen treden altijd op onder behoud van massa waardoor de reagentia en reactieproducten altijd in een bepaalde verhouding zullen reageren. Dit theoretische begrip noemt men de stoechiometrische verhouding

### DOCH

1) Voor de verbranding van 1 kg brandstof is 14 kg lucht nodig. Dus hier is de stoechiometrische verhouding 14. In praktijk echter gebeurt **de reactie onvolledig** zodat er steeds een overmaat lucht nodig is om de reactie zo volledig mogelijk te laten verlopen en dus zoveel mogelijk brandstof te laten verbranden. Gemiddeld stelt dat de praktische hoeveelheid brandstof tweemaal de theoretische (stoechiometrische) hoeveelheid.

2) Bovendien wordt er nog eens een extra hoeveelheid lucht gevraagd **voor de spoeling**. Om de cilinder te spoelen en al de verbrandingsgassen zoveel mogelijk te evacueren uit de cilinder heeft men een extra hoeveelheid lucht nodig, die dus niet zal deelnemen aan de verbranding. Deze spoelovermaat zal echter de temperaturen doen dalen in de cilinder en dus tot een lager rendement aanleiding geven.

De totale luchtfactor  $\lambda_t$  is de verhouding tussen de totale luchthoeveelheid toegevoerd aan de motor en de theoretische hoeveelheid lucht nodig.  $\lambda_t = L_t / L_{th}$

Het specifiek luchtverbruik  $I_s$  is de massa lucht die per eenheid van vermogen aan de motor wordt toegevoerd.

$$I_s = \lambda_t L_{th} b_e$$