

Opgave 1: De Diesel cyclus.

In deze opgave beschouwen we een thermodynamische motor die werkt volgens de *Diesel cyclus*. In deze cyclus maakt een ideaal gas in een zuiger de volgende vier stappen door:

A: Adiabatische compressie: het gas wordt door adiabatische arbeid W_A samengeperst; het volume neemt af van V_1 naar V_2 , de druk neemt toe van P_1 naar P_2 ;

B: Isobarische expansie: de druk van het gas wordt constant gehouden; de Nulde Hoofdwet laat het gas warmte Q_H opnemen uit de omgeving zodanig dat het volume verhoogt van V_2 naar V_3 ;

C: Adiabatische expansie: de hoge druk van het gas stuwt de zuiger omhoog door middel van de adiabatische arbeid W_C . Het volume neemt daardoor toe van V_3 naar V_4 , en de druk neemt af van P_3 naar P_4 ;

D: Isochorische drukverlaging: de zuiger wordt extern op zijn plek gehouden zodat het volume van het gas constant blijft; de Nulde Hoofdwet laat warmte Q_L uit het gas wegstromen naar de omgeving zodanig dat de druk verlaagt van P_4 naar P_1 .

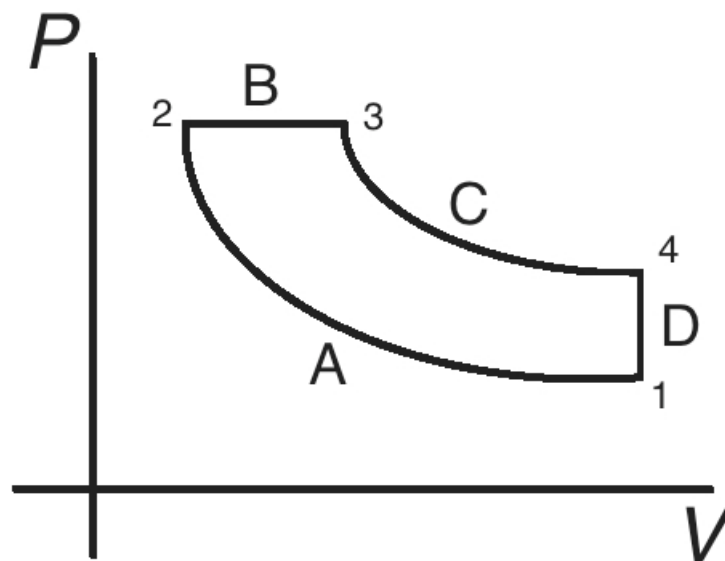


Figure 1: Het PV diagram van de Diesel cyclus. Het is een serie van vier deelprocessen A, B, C, D die een ideaal gas een serie van toestanden $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ laat doorgaan.

Deze stappen zijn weergegeven in het PV diagram van Figuur 1. Zoals is te zien ondergaat het gas een serie toestandsveranderingen en dan zodanig, dat het na afloop dezelfde toestand (P_1, V_1) heeft als op het begin.

a) Gebruik de Eerste Hoofdwet van de Thermodynamica en de formules voor een ideaal gas

om aan te tonen dat de efficiëntie van de Diesel cyclus wordt gegeven door

$$\eta_{\text{Diesel}} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}, \quad (1)$$

waarin γ de polytropische exponent is van het ideale gas.

b) Laat zien dat de efficiëntie herschreven kan worden als

$$\eta_{\text{Diesel}} = 1 - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{r_e^{-\gamma} - r_c^{-\gamma}}{r_e^{-1} - r_c^{-1}} \right) \quad (2)$$

waarin $r_e \equiv V_1/V_3$ de *expansieratio* heet, en $r_c \equiv V_1/V_2$ de *compressieratio*.

Opgave 2: Is het mogelijk om een boot te bouwen die warmte afneemt van zeewater, en deze gebruikt om zichzelf voort te stuwten? Breekt de motor van deze boot de Eerste Hoofdwet? Breekt de motor de Tweede Hoofdwet?

Opgave 3: In deze opgave beschouwen we een cilinder waarvan het volume is verdeeld in twee gelijke helften, die van elkaar zijn gescheiden door een wand. In een van de twee helften bevindt zich een ideaal gas; de andere helft van de cilinder is leeg. We halen nu de wand weg, en merken op dat het gas zich evenlijk verspreidt over de twee helften.

a) Gebruik de Tweede Hoofdwet om te bewijzen dat deze toestandsverandering van het gas irreversibel is.

b) Aangezien het proces irreversibel is, dient er te gelden dat de entropie van het systeem en die van de omgeving is toegenomen tijdens het proces. Gebruik de definitie van entropie en de Eerste Hoofdwet om te schrijven

$$\begin{aligned} dU &= -P dV + T dS \\ &= 0. \end{aligned}$$

Gebruik vervolgens de toestandsvergelijking van het ideale gas om te laten zien dat de entropie-stijging gegeven wordt door

$$\Delta S = nR \ln(2).$$

Dit is een positief getal, zodat we expliciet hebben aangetoond dat dit irreversibele proces de entropie heeft doen toenemen.

Opgave 4: De frequentieverdeling $f(u)$ voor windsnelheden u wordt veelal gegeven door een Rayleighverdeling,

$$f(u) = \frac{2u}{c^2} e^{-(u/c)^2}, \quad (3)$$

met $c = 2 \langle u \rangle / \sqrt{\pi}$ en $\langle u \rangle$ de gemiddelde windsnelheid. Verder hangt de windsnelheid af van de hoogte z en hiervoor schrijven we

$$u(z) = u_S \left(\frac{z}{z_S} \right)^{\alpha_S}, \quad (4)$$

waarbij z_S de hoogte is waarop u de waarde u_S heeft (typisch 10 m), en α_S de zogenaamde wind shear coëfficiënt. Voor deze laatste kunnen we een empirische parametrisatie gebruiken die afhangt van een oppervlakte ruwheidsfactor z_0 . Er geldt

$$\alpha_s = \frac{1}{2} \left(\frac{z_0}{10} \right)^{-0.2}. \quad (5)$$

Maak een schatting van het vermogen van een windpark dat bestaat uit 25 turbines (met vaste pitch en snelheid) van 1 MW. De hoogte van de "hub" is 85 m en de diameter is 55 m. De wind heeft een gemiddelde snelheid van $u = 7$ m/s op een hoogte van 10 m. Het land wordt gekarakteriseerd door een oppervlakte ruwheidsparameter $z_0 = 0.001$. Hoe groot zou het park moeten zijn om 10% van de Nederlandse elektriciteit te produceren?

Opgave 5: Maak een energietransitiemodel, waarbij je duurzame energie zoveel mogelijk probeert in te zetten. Ga naar <http://www.energietransitiemodel.nl/pro> en maak een uitdraai van je model, en email me dat (maak je filosofie duidelijk).