

Opdracht menselijke energie

Lees de onderstaande tekst (uit “Energie Survival Gids” van Jo Hermans)

Onder mechanische energie vallen bijvoorbeeld zwaarte-energie, kinetische energie en veerenergie. In de tekst kan voor mechanische energie arbeid gelezen worden.

In de tekst kan voor potentiële energie zwaarte-energie gelezen worden.

Arbeid

Als we ons inspinnen, bijvoorbeeld zware dingen sjoewen of de Tour de France rijden, komt er natuurlijk nog iets bij. We verrichten dan ook ‘uittwendige arbeid’, zoals dat heet. We worden dan een motor met een vooralsnog onbekend vermogen. Die 100 W van daarnet kunnen we beschouwen als het verbruik bij stationair draaien, zoals een auto die met lopende motor stilstaat voor het stoplicht.

Hoeveel is een mens waard als motor? Dat kunnen we gemakkelijk nagaan aan de hand van traplopen. We brengen dan ons eigen lichaam op een grotere hoogte, tegen de zwaartekracht in. De energie die daarvoor nodig is, is gemakkelijk te berekenen, omdat ze gelijk is aan de toename in ‘potentiële energie’ in het zwaartekrachtveld. Het blijkt neer te komen op ongeveer 100 W aan mechanische energie, als we uitgaan van één **tree** per seconde (zie kader Traplopen). De conclusie hieruit is:

Een mens is ook een motor van 100 watt.

Die 100 W is lang vol te houden. Al lijkt traplopen met 1 tree per seconde misschien niet zo veel, het betekent toch in een uur ruim 500 meter hoogte winnen, en dat is een flinke inspanning. Natuurlijk kunnen we veel meer presteren als het maar kort hoeft. We zien dat al aan traplopen. Tijdens een korte krachtexplosie kunnen we wel de trap op hollen met twee treden tegelijk en vier stappen per seconde. Dat is dus acht maal zoveel als ‘duurzaam’ traplopen, en vraagt dus ruwweg 800 W aan mechanische energie. Getrainde wielrenners halen dit soort vermogens routinematig. Het is aardig om ons te realiseren dat dit ongeveer overeenkomt met een paardekracht (1 pk = 735 W). Zo’n paardekracht is dus eigenlijk helemaal geen kracht, maar een **vermogen**, zie het kader **Energie, arbeid, warmte, vermogen** op pagina 16.

Let wel, we hebben het hier over de puur mechanische energie. Het totale energiegebruik ligt een stuk hoger, omdat het spierrendement lang geen 100% is. Er komt dus ook warmte vrij, en wel een veelvoud van die 100 W mechanisch vermogen. Hoe dat precies zit, wordt verderop duidelijk: zie *Hoe houd ik mijn temperatuur constant?*

We kijken dus een motor van zo’n 100 watt te zijn, tenminste als we het lang willen volhouden. Hoeveel – of hoe weinig – dat is, wordt duidelijk als we met een hometrainer elektriciteit willen opwekken. Dat overstappen op elektriciteit maakt voor de getallen weinig verschil: de omzetting van mechanische naar elektrische energie kan immers met een hoog rendement gebeuren, in de praktijk bijvoorbeeld 90%. Voor het gemak stellen we dat op 100%. Als we dan een volle werkdag van 10 uur almaar op de hometrainer elektriciteit opwekken, dan hebben we aan het eind van de dag $100\text{ W} \times 10\text{ h} = 1000\text{ Wh}$ ofwel 1 kWh bij elkaar getraapt. Uit het stopcontact halen we dat voor ongeveer 25 cent.

Conclusie: we mogen elektriciteit misschien duur vinden, maar we moeten er niet aan denken dat we zo’n kilowattuur zelf zouden moeten produceren!

3 | Menselijke energie

Ik een motor?

Puur mechanisch gezien kunnen we onszelf beschouwen als een motor. Alleen kunnen we die motor niet afzetten; hij draait altijd een beetje om het systeem aan de gang te houden. Als hij echt werk moet doen buiten het lichaam zelf, doet hij dat met een zeker rendement: een deel van de energie gaat verloren als warmte. Het is verhelderend om die twee – warmte en arbeid – even apart te bekijken.

Warmte

We eten voedsel en we produceren – via onze spieren – mechanische energie. Bovendien produceren we warmte om ons lichaam op temperatuur te houden. Hoe werkt dat, energetisch gezien?

Een volwassen mens die zich lichamelijk niet erg inspannt, verbruikt zo’n 8 à 10 MJ per dag aan voedsel (2000 à 3000 kilocalorieën, zoals dat vroeger heette). Energetisch gezien zou dat ook kunnen komen uit ¼ liter olie. Als olie lekker was en goed verteerbaar, zouden we dus kunnen leven op een bierglas olie per dag. Dat is niet veel. Op de autoweg verstoken we dat in 3 minuten.

Die energie zou ook uit reservevet kunnen komen, als we niet eten. Omdat vet niet veel anders is dan dikke olie, betekent dat dus ook ongeveer ¼ kg vet. Als we de verbrandingswaarde van olie of vet erbij halen en die energie uitsmeren over een hele dag, komen we op zo’n 100 J/s ofwel 100 W. Een deel van die energie is nodig voor het functioneren van ons lichaam. Zo heeft bijvoorbeeld het hart van die 100 W al ongeveer 5 W nodig om het bloed rond te pompen, als we het rendement van de hartspier op 25% stellen. Verder gaat een deel naar de hersenen en andere organen. Maar uiteindelijk gaat die hele 100 W over in warmte. De conclusie is dus eenvoudig:

Een mens is een kachel van 100 watt

als hij zich niet lichamelijk inspannt. Dus als er bijvoorbeeld in de bioscoop of de concertzaal 1000 mensen zitten, staat er automatisch een kachel van 100 kW aan. Dan kan de verwarming af, of moet zelfs de koeling aan.

Opgave 1

Stel dat een reclame zegt dat je per week 2 kg afvalt als je vermageringsmiddel X slikt. Dan mag je deze reclame naar het rijk der fabelen verwijzen. Maak dat duidelijk met gegevens uit de tekst.

Opgave 2

In de tekst staat dat een mens een kachel van 100 W is. Dat klopt met andere gegevens die ook in de tekst staan. Laat dat zien.

Opgave 3

In de tekst staat dat een mens een motor van 100 W is. Laat dat zien aan de hand van traplopen. Ga hierbij uit van iemand van 70 kilogram die de trap oploopt in het ritme van één tree per seconde. Neem voor de hoogte van een tree 15 cm.

Opgave 4

Stel dat je 5 uur op je hometrainer elektrische energie opwekt (stel het rendement van de hometrainer op 100 %) met een geleverd vermogen van 150 W. Hoeveel kWh heb je dan bij elkaar getrapt? Hoeveel zou het kosten als je deze energie uit het stopcontact zou halen?

Opgave 5

Als je een lichamelijke inspanning levert, verbruik je meer energie dan bij stil zitten. En kun je dus ook sneller van je vet afkomen. Stel dat je alleen op water leeft en voortdurend 100 W aan arbeid levert. Bereken dan hoeveel kilogram vet je per dag verliest ten gevolge van deze arbeid. Ga hierbij uit van een rendement van je spieren van 25%. Laat het vetverlies dat hoort bij stil zitten buiten beschouwing.

Antwoorden op de opgaven

Opgave 1

Als we alleen op water leven, kan onze energie komen uit de verbranding van een kwart kg vet per dag. Per week zou dat 1,75 kg vet zijn. Dus die 2 kg haal je niet! In werkelijkheid consumeren we wel voedsel. Dan val je dus nog minder af.

Opmerking

Als je niet stil zit maar ook lichamelijke arbeid verricht, is de energiebehoefte van het lichaam groter. Dan zou 2 kg per week afvallen wel mogelijk zijn.

Opgave 2

$$P = \frac{E_{\text{CHEMISCH}}}{t} = \frac{9 \text{ MJ}}{24 \cdot 3600 \text{ s}} \approx 100 \text{ W}$$

Opgave 3

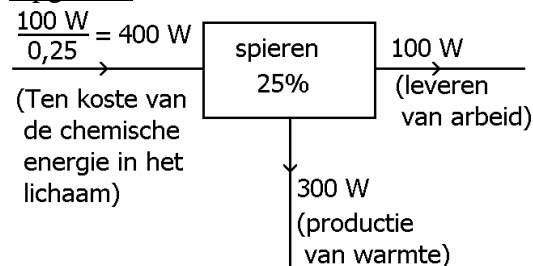
$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{(m \cdot g) \cdot h}{t} = \frac{70 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} \cdot 0,15 \text{ m}}{1 \text{ s}} \approx 100 \text{ W}$$

Opgave 4

$$E = P \cdot t = 150 \text{ W} \cdot 5 \text{ h} = 0,15 \text{ kW} \cdot 5 \text{ h} = 0,75 \text{ kWh}$$

Uit het stopcontact zou dit $0,75 \cdot 25 \text{ cent} = 19 \text{ cent}$ kosten.

Opgave 5



Uit het bovenstaande vermogensschema blijkt dat je 400 W aan chemische energie verbruikt. Dat is vier keer zoveel als bij stilzitten (100 W). Dus val je ook vier keer zo snel af. Dus per dag $4 \times 0,25 \text{ kg} = 1,0 \text{ kg}$.

Opdracht brandstofverbruik auto's

Lees de onderstaande tekst (uit "Energie Survival Gids" van Jo Hermans)

In Nederland hoeven we geen rekening te houden met de energie die een auto nodig heeft in de bergen, om hoogte te winnen. We kijken daarom alleen naar de vlakke weg. Voor het op gang brengen van de auto tot een bepaalde snelheid is natuurlijk energie nodig. Deze is evenredig met de massa van de auto en met het kwadraat van de snelheid (namelijk $\frac{1}{2} mv^2$). Optrekken tot 100 km/h kost dus viermaal zoveel energie als tot 50 km/h. Dat is goed om te weten als het stoplicht verderop toch net op oranje springt: Als we rustig kunnen doorrijden scheelt dat een keer optrekken. Kwestie van anticiperen. Scheelt het eigenlijk veel, zo'n extra stop? Als we het uitrekenen blijkt de hoeveelheid brandstof die we nodig hebben voor één keer stoppen en weer optrekken tot 100 km/h overeen te komen met ongeveer 1 km rijden op de autoweg. Bij een trein is dat overigens heel anders: die kan ongeveer 15 km rijden voor de energie die nodig is om een keer op te trekken. Dat komt doordat een trein relatief zwaar is en bovendien vrij zuinig rijdt als hij eenmaal op snelheid is (zie verderop pagina 55).

Vragen naar aanleiding van de tekst.

Een auto van een bepaald type trekt op van 0 km/h naar 100 km/h (=27,8 m/s). Als we de wrijving (met name de lucht wrijving van de hele auto en rolwrijving van de banden) niet meetellen, kost dit 380 kJ aan motorarbeid. Hiervoor zou 1,6 MJ aan chemische energie in de brandstof nodig zijn.

a.

Bereken het rendement van de motor.

b.

Bereken de massa van de auto.

c.

Bereken hoeveel arbeid de motor moet leveren als de auto optrekt van 50 km/h naar 100 km/h. Laat hierbij de wrijving weer buiten beschouwing.

Na het optrekken (naar 100 km/h) rijdt de auto met een constante snelheid door. De motor moet dan natuurlijk ook arbeid verrichten want in werkelijkheid ondervindt de auto wel wrijving. Uit de tekst zou je kunnen afleiden dat de vereiste motorarbeid per kilometer ook ongeveer 380 kJ is.

d.

Bereken dan de motorkracht.

Antwoorden op de opgaven

a.

$$\eta = \frac{W}{E_{IN}} \cdot 100\% = \frac{380 \text{ kJ}}{1,6 \text{ MJ}} \cdot 100\% = 24\%.$$

b.

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow m = \frac{2 \cdot E_K}{v^2} = \frac{2 \cdot 380000}{27,8^2} = 983 \text{ kg}$$

c.

Van 0 km/h naar 100 km/h kost het 380 kJ.

Van 0 km/h naar 50 km/h kost het $380 / 4 = 95$ kJ.

Dus van 50 km/h naar 100 km/h kost het $380 - 95 = 285$ kJ.

d.

$$F = \frac{W}{s} = \frac{380 \text{ kJ}}{1000 \text{ m}} = 380 \text{ N}$$