

REMMEN

THE PRESSURE IS ON: HOGE SNELHEDEN, KRACHTIGE REMMEN...

INLEIDING

Tijdens wedstrijden in het buitenland rijdt de zonnwagen aan snelheden tot meer dan 100 kilometer per uur tussen het andere verkeer. Dat wil zeggen dat ook de zonnwagen soms moet vertragen of stoppen voor verkeerslichten, tegenliggers of op afdalingen. Maar hoe doet die dat, en hoeveel energie kost het om te vertragen?

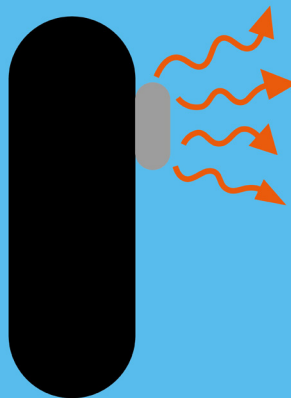
TWEE REMSYSTEMEN

Regeneratief remmen

Herinner je je dat de zonnwagen een elektromotor heeft? Die motor kan de zonnwagen helpen versnellen, maar ook helpen vertragen! Een elektromotor kan namelijk omgeschakeld worden tot een generator. Daarbij zal de kinetische energie of bewegingsenergie van de zonnwagen worden omgezet in elektrische energie. Omdat er dus een vermindering is van de hoeveelheid kinetische energie, vertraagt de zonnwagen. De elektrische energie wordt naar het batterijpakket geleid en daar opgeslagen in de vorm van chemische energie. Dat is voordelig, want die energie kan vervolgens opnieuw gebruikt worden om te versnellen, bijvoorbeeld wanneer een rood licht weer op groen springt.

Mechanisch remmen

Naast regeneratief remmen heeft de zonnwagen een tweede remsysteem. Dat is hetzelfde systeem dat ook op je fiets of auto gebruikt wordt: een mechanische rem. Daarbij wordt een remblokje tegen de band, velg of remschijf gedrukt en wordt het wiel door middel van wrijving afgeremd. Daarbij wordt de kinetische energie van de wagen omgezet in warmte. Er is dus geen recuperatie van kinetische energie: de warmte wordt afgegeven aan de buitenlucht en gaat zo eigenlijk verloren.



DE MECHANISCHE REM VAN DICTBIJ

Remschijf

De zonnwagen maakt gebruik van een remschijf. Dit is een aparte schijf die verbonden is met de velg van het wiel. Rond die schijf zit de remklauw, of de remblokjes. Wanneer er geremd wordt, worden die remblokjes door een hydraulisch systeem tegen de remschijf gedruwd. Dat hydraulisch systeem is een reeks leidingen met remolie in en cilinders, die door middel van de vloeistofdruk van de olie de remblokjes kunnen dichtknijpen wanneer er op het rempedaal gedruwd wordt. Wanneer de piloot daarop drukt, zal de olie zich door de leidingen verplaatsen en tegen de remblokjes beginnen duwen. Er treedt uitslag van de remblokjes op, ze verplaatsen zich met andere woorden samen met de olie en worden zo tegen de remschijf gedrukt. De wrijving die de remblokjes veroorzaken wanneer ze tegen de remschijf worden gedrukt, zorgt ervoor dat de remschijf en dus het wiel vertraagt en uiteindelijk tot stilstand komt. De remblokjes zitten dus niet rechtstreeks op het wiel, zoals dat wel het geval is bij een fiets!



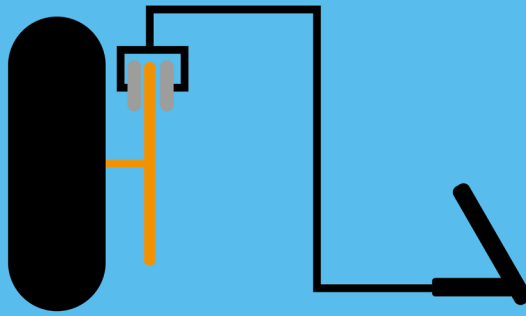
Hydraulica

Hydraulica is alles wat over druk en vloeistoffen gaat en beschrijft hoe we bijvoorbeeld bij een bepaalde kracht de druk kunnen bepalen. Er is één heel belangrijke formule die we voor deze les nodig hebben: de druk (P) is gelijk aan de kracht (F) gedeeld door de oppervlakte waarop de kracht werkt (A), of ook:

$$P = F / A$$

Hoe wordt deze formule nu toegepast op de wagen? De piloot kan een kracht uitoefenen op het rempedaal. Die kracht wordt overgedragen op een cilinder bij het rempedaal. Die cilinder noemen we de master cilinder en bevat een zuiger met daarachter remolie. De zuiger in de cilinder heeft een bepaalde oppervlakte. Er is dus een kracht verdeeld over een bepaalde oppervlakte: de formule van daarnet zegt ons dat er ook druk ontstaat in de remolie.

Daar komt het interessante aspect van druk boven: de druk blijft constant doorheen alle leidingen en cilinders met remolie, zolang die verbonden zijn met elkaar. Dat wil zeggen dat er een even grote druk aanwezig is aan de cilinders bij de remblokjes! We weten de oppervlakte van het remblokje, en we weten wat de druk er is. Met de formule van hierboven kunnen we dus bepalen dat er een kracht werkt op het remblokje én hoe groot die is. Het is deze kracht die het remblokje tegen de remschijf duwt: we spreken over remkracht. Ten slotte kunnen we met deze gegevens ook bepalen hoeveel kracht de piloot zou moeten gebruiken om tot stilstand te komen.



REMMEN IN DE PRAKTIJK BIJ DE ZONNEWAGEN

Zoals in deze les werd besproken, heeft de zonnwagen twee manieren om te vertragen: regeneratief remmen en mechanisch remmen. Dat eerste laat ons toe om kinetische energie om te zetten in chemische energie in de batterij, die we dan opnieuw kunnen gebruiken. Daarnaast zijn er de mechanische remmen. Die zijn er voornamelijk voor de veiligheid, wanneer de piloot plots krachtig moet remmen of wanneer de batterij vol zit en er dus geen energie meer bij kan. In dat geval kan de motor niet meer als generator werken en de wagen dus niet meer vertragen. De mechanische remmen zijn dus vooral een back-up systeem dat altijd garantie biedt dat de wagen kan stoppen.

Een van de wedstrijden die het Solar Team onlangs heeft gereden ging door in Marokko. Het landschap is daar erg bergachtig, met steile hellingen. Het batterijpakket van de zonnwagen heeft maar een fractie van de capaciteit van dat van een gewone elektrische wagen. Daardoor is het best moeilijk om ermee een berg op te rijden. Zelfs in combinatie met het zonnepaneel zorgen hellingen voor een piek in energieverbruik en dat zorgt ervoor dat het batterijpakket, althans voor een deel, leeg getrokken wordt.

Dat is waar regeneratief remmen belangrijk wordt! Het laat namelijk toe om een deel van de energie die nodig was om boven te geraken, opnieuw te recupereren en dat bij het afdalen na de klim. Op een afdaling zou de zonnwagen almaar versnellen als de piloot niet ingrijpt. Er gelden echter nog steeds snelheidsbeperkingen waar ook de zonnwagen zich aan moet houden! De piloot zal dus regeneratief remmen om zo onder de snelheidslimiet te blijven. Hij vermijdt daarbij zo veel mogelijk gebruik van de mechanische rem, tenzij het noodzakelijk is voor de veiligheid, om maximaal energie te recupereren.

Laat ons nog even de energiebalans analyseren. Bij het omhoog rijden wordt chemische en elektrische energie van het zonnepaneel en de batterij omgezet in kinetische energie, maar ook een stuk in potentiële energie: de wagen komt hoger te staan en moet daarbij zwaartekracht overwinnen. De kinetische energie behoudt de wagen eenmaal over de top: dat zorgt ervoor dat ze blijft verder rijden aan dezelfde snelheid. Daarnaast neemt de potentiële energie af bij het afdalen: de zwaartekracht werkt mee met die afdaling. Zonder remmen zou die potentiële energie omgezet worden in kinetische energie en zou de wagen dus steeds sneller gaan rijden. Dankzij regeneratief remmen recupereert de piloot de potentiële energie en wordt die omgezet in chemische energie in de batterij, in plaats van in kinetische energie.

OEFENINGEN

1. Welke stellingen zijn correct?
 - a. Bij regeneratief remmen gaat alle energie verloren.
 - b. Mechanisch remmen in de zonnewagen maakt gebruik van hydraulica.
 - c. Hoe groter de druk, hoe kleiner de remkracht.
 - d. Hoe groter de druk, hoe groter de remkracht.
2. Je hebt een remsysteem dat bestaat uit een rempedaal, gekoppeld aan cilinder A en een remblokje, gekoppeld aan cilinder B. Cilinder A en B zijn verbonden door middel van een remleiding met remolie. Cilinder A aan het rempedaal heeft een oppervlakte van 10 cm^2 . Pilote Elly oefent een kracht uit van 10 N op het rempedaal. Aan de andere kant, bij het remblokje, heeft cilinder B een oppervlakte van 5 cm^2 .
 - a. Teken een schema van dit remsysteem
 - b. Hoe groot is de kracht op het remblokje? Schrijf je formules en berekeningen uit.
3. Je hebt hetzelfde systeem uit vraag 2. Je merkt dat de wagen niet snel genoeg stilstaat wanneer je mechanisch remt. Welke van deze oplossingen zijn correct?
 - a. Je vergroot de oppervlakte van cilinder A
 - b. Je vergroot de oppervlakte van cilinder B
 - c. Je vervangt de remolie door water
 - d. Je remt tegelijk mechanisch en regeneratief
 - e. Je zorgt dat de pilote harder op haar rempedaal drukt.