

## Hyperloop

Een hyperloop is een toekomstontwerp voor snel transport over lange afstanden. Hierbij reizen passagiers in een zogenaamde ‘pod’ met hoge snelheid door een buis. Zie figuur 1.

figuur 1

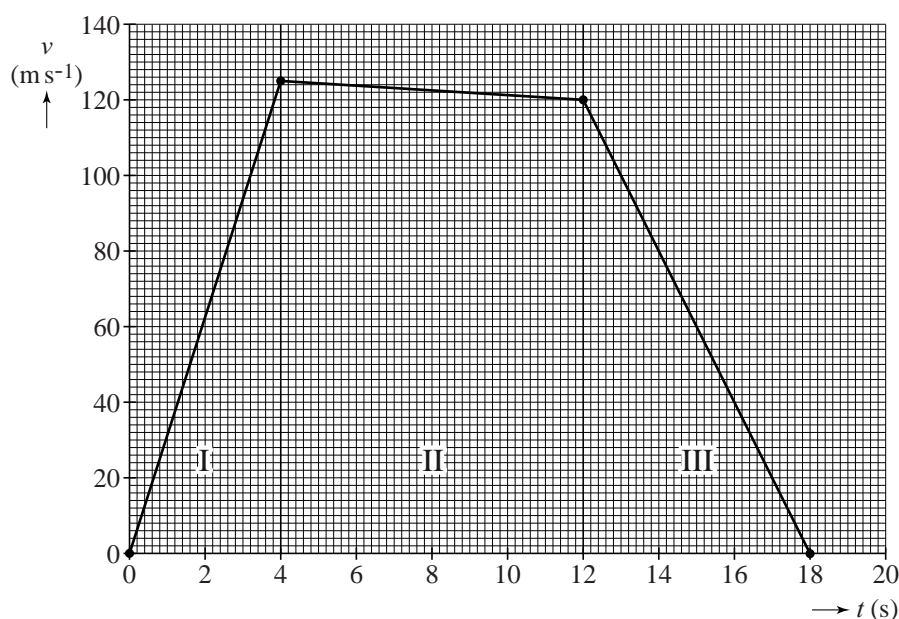


Om de ontwikkeling van de hyperloop te stimuleren is er een ontwerpwedstrijd uitgeschreven voor bedrijven en universiteiten.

Voor deze wedstrijd zijn veel deelontwerpen bedacht en getest om diverse deelproblemen van de hyperloop op te lossen.

Een deel van de testen is eerst gemodelleerd. Zo is van een pod die getest moet worden met een vereenvoudigd model een  $(v,t)$ -diagram gemaakt. Zie figuur 2.

figuur 2



In deel I wordt de pod met een motor versneld, in deel II is de motor uitgeschakeld en in deel III wordt de pod door de motor afgeremd.

- 2p **13** Leg met behulp van figuur 2 uit of in het model rekening is gehouden met wrijving.

Om pod-ontwerpen te testen is een testtraject gebouwd. Dat testtraject is 1,7 km lang.

- 3p **14** Toon met behulp van figuur 2 aan of het traject lang genoeg is voor de test met de pod uit het model.

Voor de luchtweerstandskracht geldt:

$$F_w = k \cdot \rho \cdot v^2$$

Hierin is:

- $k$  een constante;
- $\rho$  de dichtheid van de lucht;
- $v$  de snelheid van de pod.

En voor het gebruikte motorvermogen:

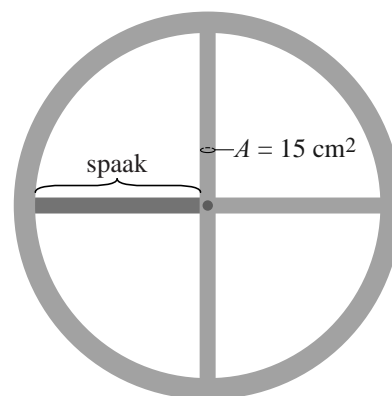
$$P_{\text{motor}} = F_w \cdot v$$

De pod moet aangedreven gaan worden door een motor met hetzelfde motorvermogen als een gewone treinmotor. Een trein haalt daarmee een snelheid van  $1,2 \cdot 10^2 \text{ km h}^{-1}$ . De pod moet een snelheid halen van  $1,2 \cdot 10^3 \text{ km h}^{-1}$ . Dit kan door de dichtheid van de lucht in de buis aan te passen. Constante  $k$  wordt gelijk beschouwd voor trein en pod.

- 2p 15 Op de uitwerkbijlage staan twee tabellen. Omcirkel in iedere tabel het juiste antwoord.

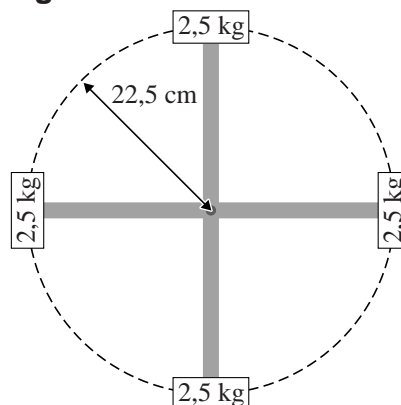
Sommige ontwerpers gaan uit van een pod op wielen. Bij hoge snelheid breken wielen als de middelpuntzoekende kracht in het wiel te groot wordt. De ontwerpers gebruiken een model van een wiel om in een simulatie te testen of hun wielontwerp sterk genoeg is. In het model wordt het wiel voorgesteld als een ring van 10 kg met 4 spaken. Iedere spaak is van aluminium en heeft een doorsnede met een oppervlakte van  $15 \text{ cm}^2$ . Zie figuur 3.

**figuur 3**



In de simulatie is aan iedere spaak een kwart van de totale massa van de ring bevestigd. Zie schematisch in figuur 4. Deze massa's krijgen een baansnelheid van  $1,2 \cdot 10^3 \text{ km h}^{-1}$  en beschrijven een cirkelbaan met een straal van 22,5 cm. De zwaartekracht wordt verwaarloosd.

**figuur 4**



- 4p 16 Voer de volgende opdrachten uit:
- Toon aan dat bij  $1,2 \cdot 10^3 \text{ km h}^{-1}$  de middelpuntzoekende kracht op één massa gelijk is aan  $1,2 \cdot 10^6 \text{ N}$ .
  - Toon aan of de spaak sterk genoeg is.

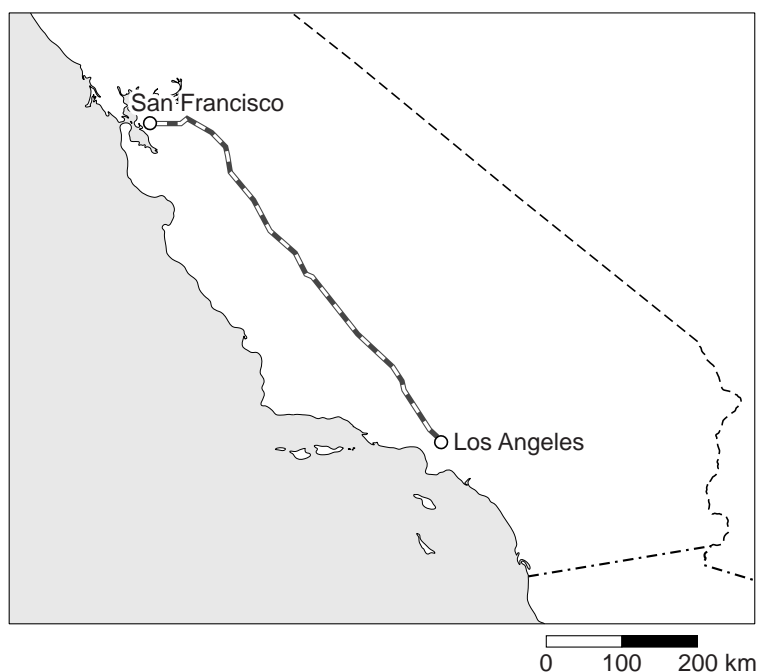
Andere ontwerpers hebben niet voor wielen gekozen, maar voor magneten die de pod boven de rails laten zweven en kleine schokken opvangen. Dit systeem met magneten werkt als een soort veer met veerconstante  $C$ .

Een beladen pod ( $m = 1,30 \cdot 10^3 \text{ kg}$ ) zweeft 4,0 cm boven de rail. Een lege pod ( $m = 8,0 \cdot 10^2 \text{ kg}$ ) zweeft 7,0 cm boven de rail.

3p 17 Bereken de veerconstante van dit systeem.

Uiteindelijk kan de hyperloop worden ingezet om grote steden met elkaar te verbinden. In figuur 5 is op een kaart een voorgesteld traject van San Francisco naar Los Angeles weergegeven.

**figuur 5**



De hyperloop moet met een gemiddelde snelheid van  $1,2 \cdot 10^3 \text{ km h}^{-1}$  gaan reizen. Nu duurt een treinreis tussen deze steden nog 6,0 uur. Figuur 5 staat ook op de uitwerkbijlage.

3p 18 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de verwachte tijdwinst.

## uitwerkbijlage

15 Omcirkel in iedere tabel het juiste antwoord.

- Bij gelijke dichtheid van de lucht in de buis en buiten de buis zou de luchtweerstand op de pod (met  $v = 1,2 \cdot 10^3 \text{ kmh}^{-1}$ ) ten opzichte van de luchtweerstand op de trein (met  $v = 1,2 \cdot 10^2 \text{ kmh}^{-1}$ ):

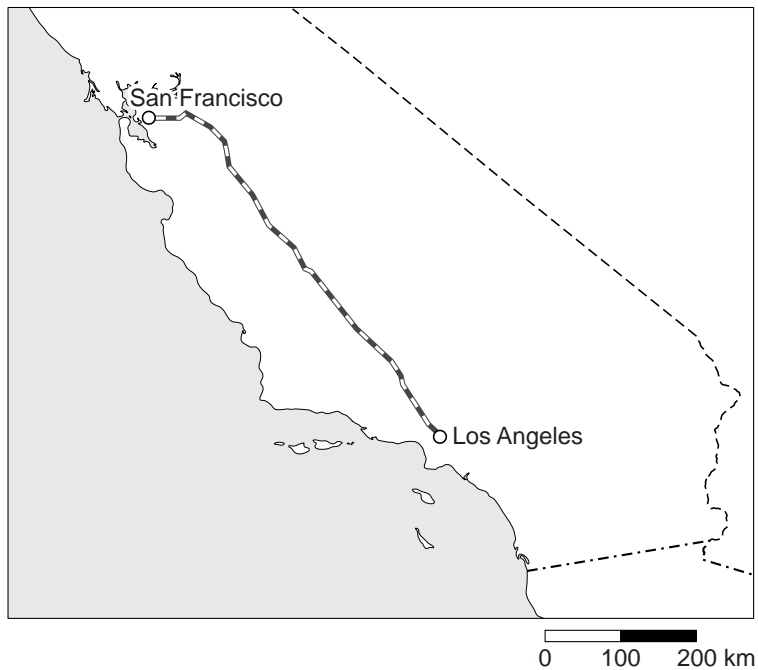
$1 \cdot 10^3$  keer zo klein zijn  
 $1 \cdot 10^2$  keer zo klein zijn  
 $1 \cdot 10^1$  keer zo klein zijn  
gelijk blijven  
 $1 \cdot 10^1$  keer zo groot zijn  
 $1 \cdot 10^2$  keer zo groot zijn  
 $1 \cdot 10^3$  keer zo groot zijn

- Als de pod (met  $v = 1,2 \cdot 10^3 \text{ kmh}^{-1}$ ) en de trein (met  $v = 1,2 \cdot 10^2 \text{ kmh}^{-1}$ ) met gelijk motorvermogen moeten worden aangedreven, moet de dichtheid van de lucht in de buis vergeleken met de buitenlucht:

$1 \cdot 10^3$  keer zo klein zijn  
 $1 \cdot 10^2$  keer zo klein zijn  
 $1 \cdot 10^1$  keer zo klein zijn  
gelijk blijven  
 $1 \cdot 10^1$  keer zo groot zijn  
 $1 \cdot 10^2$  keer zo groot zijn  
 $1 \cdot 10^3$  keer zo groot zijn

uitwerkbijlage

18



Bepaling: .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....