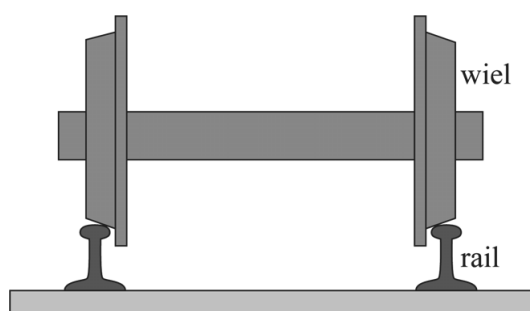


Treinwielen

Een trein blijft nooit precies in het midden van het spoor rijden. Er is ruimte tussen de wielen en het spoor waardoor de trein enigszins heen en weer kan slingeren. Om te voorkomen dat treinen ontsporen zijn de wielen als volgt ontworpen:

- 1 Beide wielen zitten vast aan dezelfde as. De wielen en de as vormen een star geheel.
- 2 Beide wielen hebben een conische vorm: de diameter van het wiel is aan de binnenkant groter dan aan de buitenkant. Zie figuur 1.

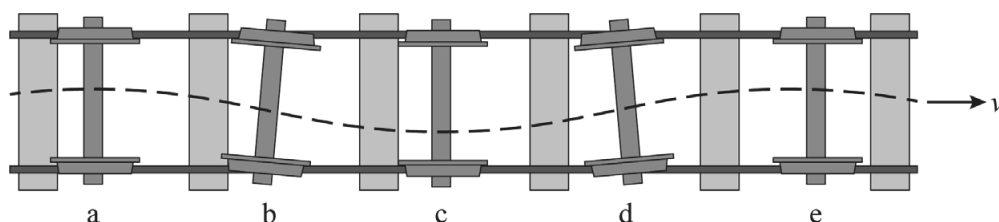
figuur 1



Een as die zich niet precies in het midden van het spoor bevindt zal door deze constructie van de wielen tijdens het rijden vanzelf terug naar het midden bewegen.

In figuur 2 is een schematisch bovenaanzicht van de treinwielen weergegeven op verschillende tijdstippen (a t/m e). Op tijdstip a staat de as uit het midden. Even later is de as enigszins geroteerd en beweegt richting het midden van het spoor. Zie tijdstip b. Vervolgens schiet de as een stukje door, zie tijdstip c, waarna aan de andere kant hetzelfde effect optreedt. De trein gaat dus een slingerende zijwaartse beweging uitvoeren. Hij “waggelt” een beetje over het spoor. Men noemt deze golfbeweging de sinusloop.

figuur 2



- 3p 13 Leg uit hoe de ontwerpkenmerken 1 en 2 er samen voor zorgen dat een rijdende trein de sinusloop van figuur 2 zal uitvoeren.

Voor de golflengte λ van de sinusloop geldt de formule van Klingel:

$$\lambda = 2\pi \sqrt{\frac{d r_0}{2\gamma}}$$

Hierin is:

- d de afstand tussen de twee spoorrails in m
- r_0 de gemiddelde straal van het wiel in m, dus gemeten in het midden van het loopvlak
- γ de wielbandconiciteit

De wielbandconiciteit is een maat voor het verschil tussen binnen- en buitendiameter van een wiel.

2p 14 Toon aan dat de wielbandconiciteit geen eenheid heeft.

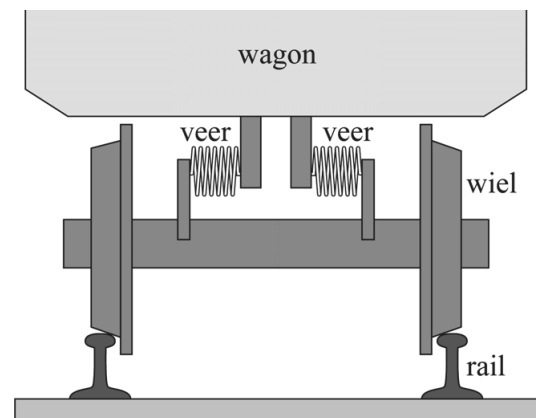
In Nederland gelden de volgende gegevens:

Treinen rijden meestal met een snelheid van 140 km/h. De afstand tussen twee spoorrails is 1435 mm. De waarde van de wielbandconiciteit is 0,050. De gemiddelde diameter van een treinwiel is 95 cm.

3p 15 Toon aan dat de periode van de sinusloop bij deze snelheid 0,42 s is.

Om in de wagon geen last te hebben van oneffenheden op het spoor zijn er veren geplaatst tussen de wagon en de wielen. We kunnen het geheel benaderen als een massa-veersysteem. Zie figuur 3.

figuur 3



Bij een bepaalde snelheid gaat het massa-veersysteem resoneren met de sinusloop. Om comfortabel te rijden bij een snelheid van 140 km/h wordt de totale veerconstante van de veren zo gekozen dat het massaveersysteem een eigentrilling heeft die sterk afwijkt van 0,42 s.

Voor het massaveersysteem van de wagon met wielen geldt:

$$m_{\text{wagon}} = 21,5 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

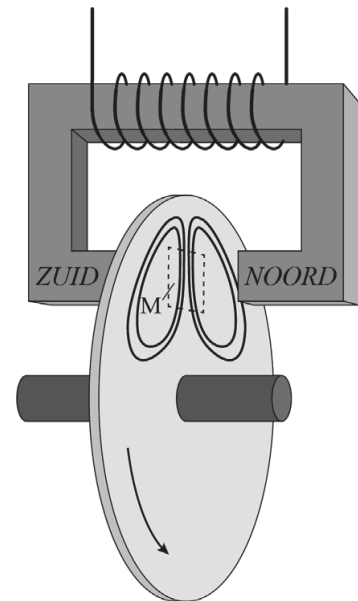
$$C_{\text{totaal}} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-1}$$

3p 16 Bereken de snelheid waarbij resonantie optreedt.

Wervelstroomrem

Voor het remmen zijn sommige treinen uitgerust met wervelstroomremmen. Hierin wordt een draaiende metalen schijf afgeremd met behulp van een magneetveld. In figuur 4 is een wervelstroomrem geschetst. De metalen schijf zit vast aan de as en draait mee met de wielen. Met een elektromagneet wordt een magneetveld loodrecht op de draaiende schijf opgewekt. De elektromagneet bestaat uit een weekijzeren kern die gemagnetiseerd wordt door het magnetisch veld van een spoel die eromheen gewikkeld is. Zie figuur 4. Deze figuur staat vergroot op de uitwerkbijlage.

figuur 4



- 1p 17 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de stroomrichting in punt K weer.

Door het draaien van de schijf, beweegt steeds een gedeelte van de schijf het magneetveld in. De elektronen in de schijf ondervinden dan een lorentzkracht waardoor de elektronen in de schijf gaan bewegen. Op deze manier ontstaan zogenaamde wervelstromen in de metalen schijf. Vier voorbeelden van deze stromen zijn schematisch weergegeven in figuur 4.

De wervelstromen zorgen op hun beurt weer voor een lorentzkracht die de schijf, en daarmee ook het wiel, afremt. Figuur 4 staat nogmaals op de uitwerkbijlage met daarnaast een vooraanzicht van de schijf. Hierin is de lorentzkracht op het schijfdeel M weergegeven.

- 1p 18 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de richting aan van de wervelstromen in de punten P en Q.

De snelheid van de trein heeft invloed op de remkracht van de wervelstroomrem. Om bij elke snelheid toch dezelfde remkracht te krijgen kan de magneetveldsterkte worden aangepast.

- 3p 19 Leg uit of de magneetveldsterkte bij lage snelheid groter of kleiner moet zijn dan bij hoge snelheid.