

De zelfrijdende auto: tips en méér

Analoog aan de zelfrijdende auto kan in principe ook een 'zelfglijdend sleetje' gemaakt worden, maar geen 'zelfvarend bootje' of dito luchtkussenvoertuig, omdat vloeistof- en luchtweerstand geen maximum hebben.

Tips

Goed uitproberen is van het grootste belang bij deze proef. Het verschijnsel is sowieso niet erg spectaculair. Mocht de demonstratietafel niet zuiver horizontaal staan, probeer dan niet 'bergop' te rijden maar maak er handig gebruik van...

Wie de demonstratie nog wil uitbreiden moet zorgen dat hij twee 'ondergronden' heeft: een heel gladde en een 'stroevere'. Dan kun je de asymmetrische slinger eerst laten zien op de gladde ondergrond en vaststellen dat daar nog steeds impulsbehoud geldt. De bewegingen naar links en rechts zijn dan wel verschillend (kortere tijd – grotere versnelling/vertraging – dezelfde verplaatsing).

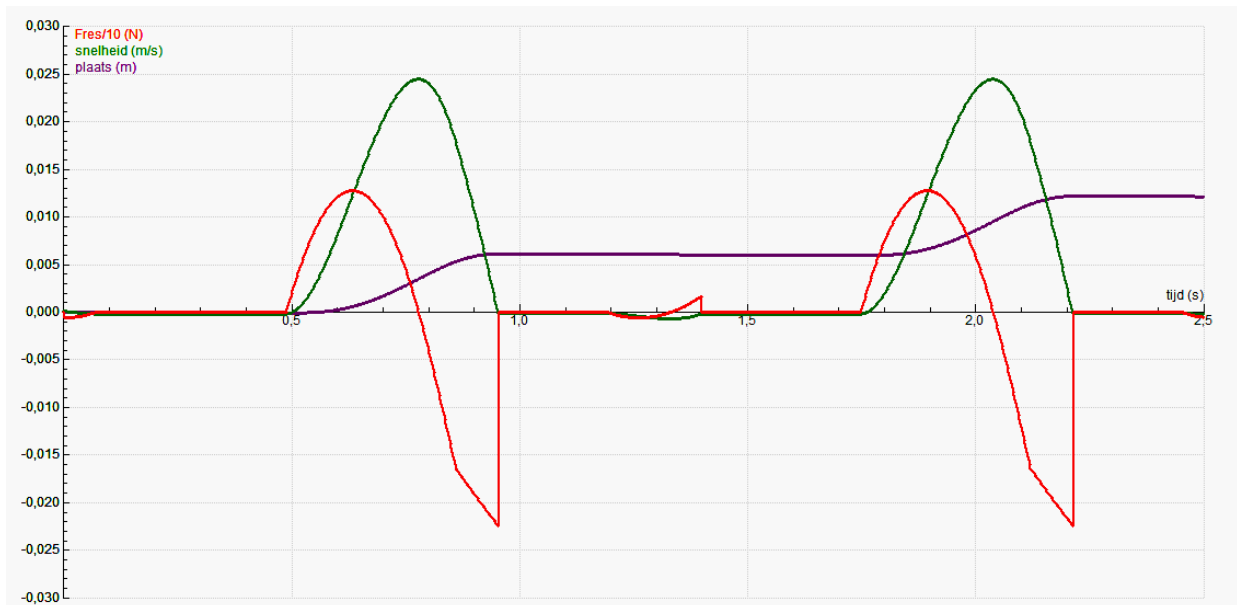
En dan de ondergrond mét weerstand gebruiken...

Dit experiment is ook te gebruiken als ontwerpopdracht: dan moet het karretje gebouwd worden aan de hand van summiere aanwijzingen en vervolgens tot optimaal rijgedrag gebracht worden. Dat lukt alleen als je heel gestructureerd de verschillende variabelen gaat variëren.

Verder onderzoek

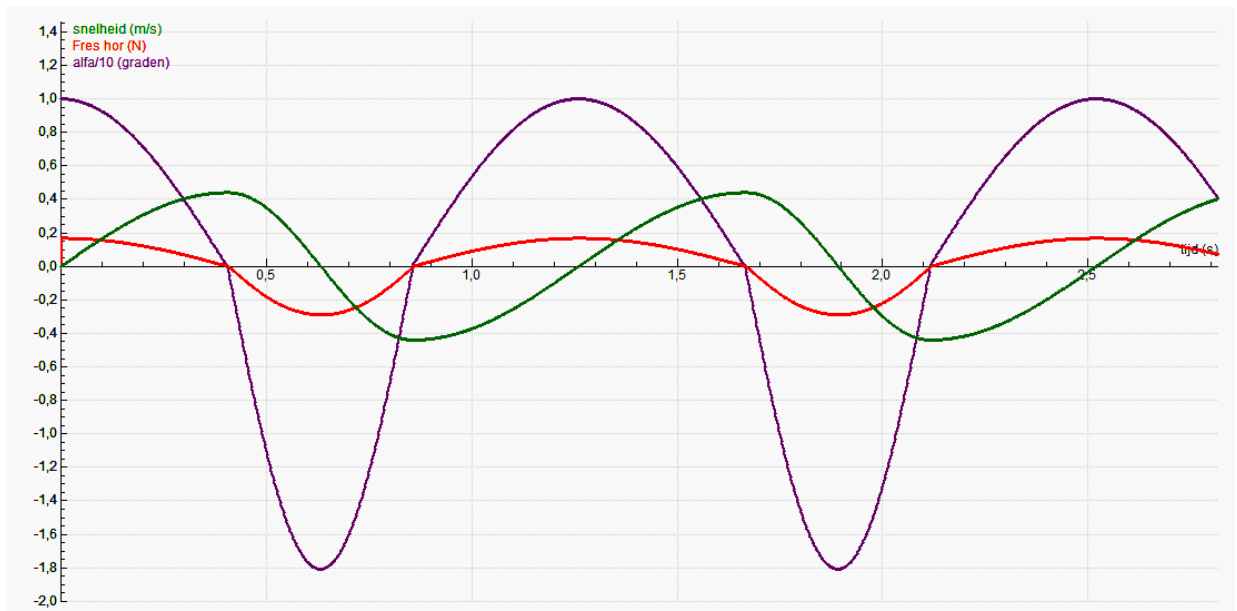
Het hele gebeuren kan aangevuld en verduidelijkt worden door grafieken te maken van het verloop van de krachten en de snelheid met de tijd. Dat gaat het mooist met een rekenmodel van het hele gebeuren. Daarmee zijn alle relevante grootheden gemakkelijk te variëren. Maar dan blijkt ook dat het precieze verloop van de krachten en de daaruit volgende snelheid en plaats ingewikkelder is dan je op eerste intuïtie zou verwachten. Het door ons gemaakte Coach-model begint met het 'realistisch' modelleren van de slinger, dus niet in de gangbare benadering van een harmonische trilling. Alleen dat al was een eye-opener en gaf interessante inzichten in het verschil tussen de 'ideale' en de 'reële' slinger. Dus dat deel van het model is het onderzoeken meer dan waard. Het modelleren van de aandrijving van de kar is lastig omdat de rolweerstand zich bij een bewegend voertuig heel anders gedraagt dan bij stilstand. Dat maakt dat het verloop van de krachten met de tijd onverwachte 'wendingen' vertoont. Tijdens het maken en uitproberen van het model ontstonden telkens opnieuw grafieken met onverwachte vormen die na goed nadenken toch juist bleken te zijn.

Hieronder enkele resultaten van het rekenmodel. Daarin zijn de massa's van slinger en kar en de lengte van de slinger links en rechts ongeveer gelijkgesteld aan die van ons karretje. Als beginuitwijking is een hoek van 10° genomen. Met een rolweerstandcoëfficiënt van ongeveer 0,015 wordt het gedrag van onze kar goed benaderd: hij gaat schoksgewijs vooruit. Zie ook het filmpje bij het artikel op de website



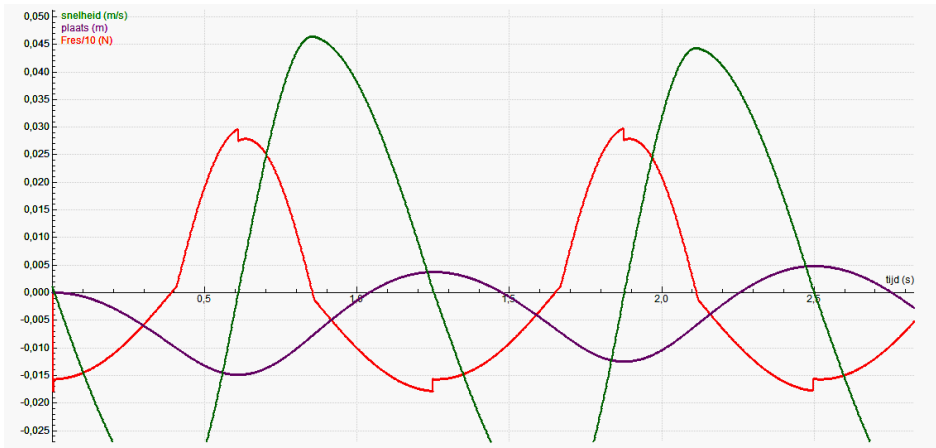
Hierin is Fres de netto kracht op het karretje: een samenspel van de kracht van de slinger (zie hieronder) en de rolweerstand. Als de snelheid nul wordt klapt de rolweerstand om waardoor de netto kracht een sprong maakt.

Hierbij horen de volgende grafieken van de slinger:



De kracht Fres hor is de horizontale component van de netto kracht op het slingerende voorwerp. Volgens de derde wet van Newton is dat de tegenhanger van de kracht die het karretje aandrijft. Duidelijk is te zien dat deze afwisselend kortstondig groot is en langduriger klein.

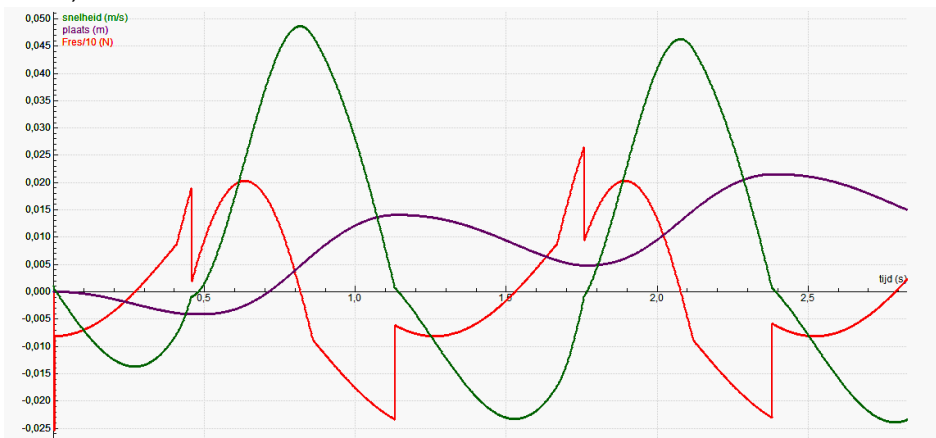
Het verloop van de krachten wordt ingewikkelder als het karretje – door te weinig weerstand – heen en weer gaat bewegen. Dat moge blijken uit onderstaande grafieken waarin de rolweerstandcoëfficiënt in stappen is opgevoerd van 0 naar 0,012



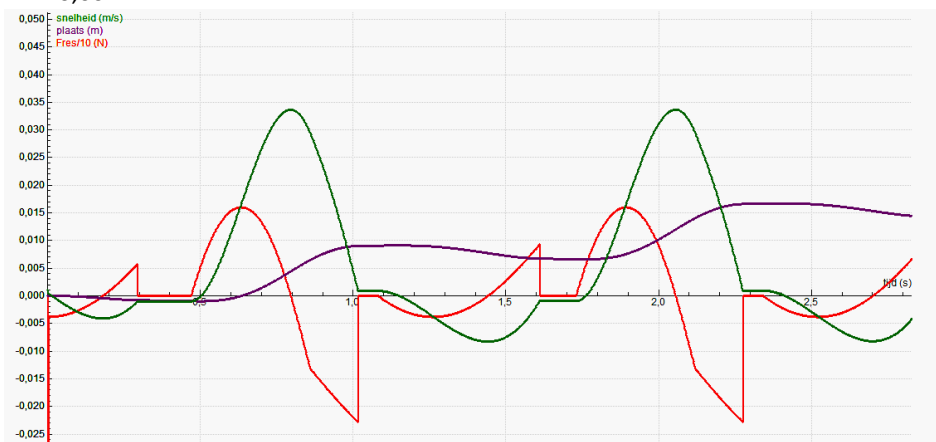
$rw = 0,001$



$rw = 0,003$



$rw = 0,007$



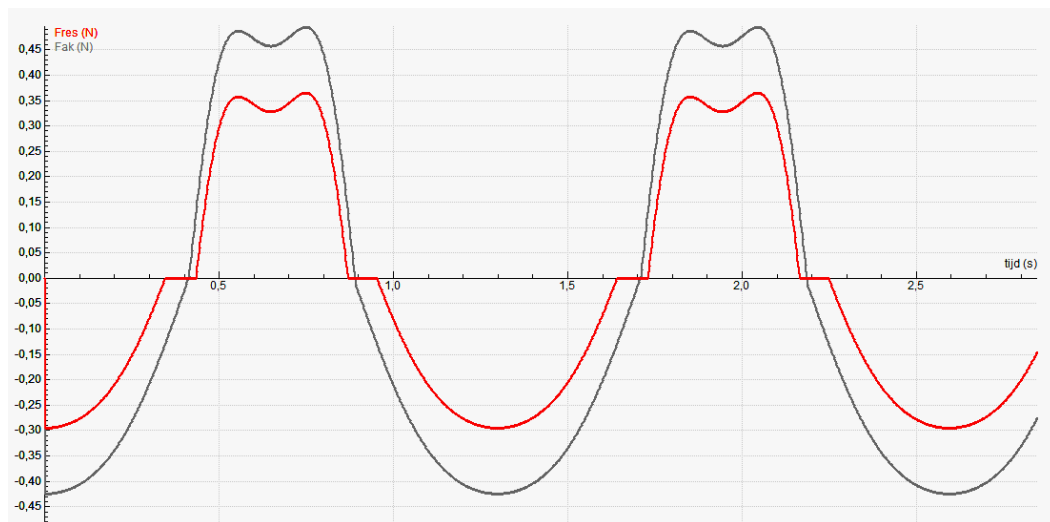
$rw = 0,012$

Het is duidelijk dat dit een ingewikkeld verhaal is. Een aanzienlijke versimpeling is het om alleen het krachtverloop te laten zien bij een stilstaande kar:



Hierin is duidelijk te zien dat van de aandrijvende kracht F_{ak} alleen de toppen overblijven dankzij de rolweerstand, en dat de resulterende kracht die overblijft de ene kant op veel groter is dan de andere kant op.

Met deze grafieken is ook goed te zien dat bij een grotere amplitude van de slinger de aandrijving een stuk minder efficiënt wordt. Hierboven was de beginuitwijking 10° , hieronder 30° :



De krachten zijn nu een stuk groter, maar het verschil links-rechts is veel minder. De oorzaak daarvan is dat bij een grotere hoek de kracht veel verticaler gericht is waardoor de horizontale component (die de aandrijving verzorgt) kleiner is. Dat speelt het meest aan de 'korte kant' van de slinger omdat daar de uitwijkingshoek veel groter is.

Met het bijgevoegde Coachmodel in het artikel kan natuurlijk nog veel meer onderzocht worden.

Veel gemakkelijker – dus ook voor leerlingen te doen – is het filmen van de beweging van het karretje en de massa aan de slinger, en het analyseren daarvan, bijvoorbeeld met videometen. In principe moeten daarmee vergelijkbare grafieken gemaakt kunnen worden, maar of de meetnauwkeurigheid dat toelaat???

Bij de symmetrische slinger zonder weerstand kunnen met behulp van de filmpjes de amplitudes van slinger en kar gemeten worden en vergeleken met de verhouding van hun massa's.