

Het beheersen van een kilometerslange trein kippen

Het verwerken van slachtkippen gebeurt letterlijk aan de lopende band, met duizenden per uur. Voedselproducenten willen een zo hoog mogelijke bandsnelheid, maar dat verkort de levensduur van de band en maakt storingen waarschijnlijker. Wat is een geschikt model om de controle over een kilometerslange lopende band te verbeteren?

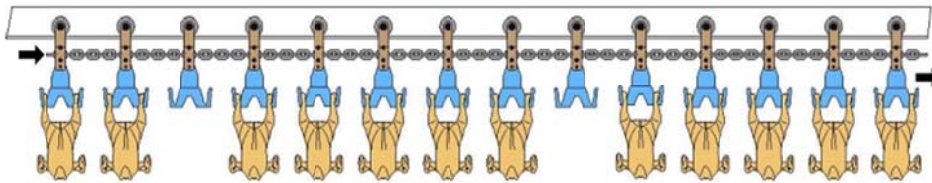
Het probleem dat Patrick Kruysen van Marel dit jaar bij de Studiegroep neerlegt, bleek verrassend complex. Marel levert machines en complete productielijnen voor de verwerking van vis, vlees en pluimvee. In een moderne fabriek die kippen verwerkt tot producten voor de supermarkt, hangen de van verenkleed en ingewanden ontdane kippen aan een in het rond lopende band die tot wel vijftien kilometer lang kan zijn. Die lengte is het gevolg van twee tegenstrijdige eisen: de producent wil veel kippen per uur verwerken, maar de kippen moet ook afgekoeld worden tot een temperatuur waarop ze lang bewaard kunnen worden, en dat duurt twee à drie uur. Daarom moet er kilometers lopende band worden 'opgevouwen' in de koelcel. Als de band vol is, hangt er ruim zestig ton kip aan de band.

Chilling chickens



Om de band in beweging te houden, is ongeveer elke honderd meter een elektromotor op de band aangesloten. Uiteraard moeten alle delen van de band met grote nauwkeurigheid even snel bewegen, anders ontstaan er kinken en kan hij vastlopen, of zelfs breken. En dat is, vanwege het productieverlies, extreem duur: elke minuut stilstand kost rond de 250 euro. Er zit een feedback-systeem op de band om ervoor te zorgen dat alle elektromotoren de juiste

aandrijfkraft leveren en er niet te veel, maar ook niet te weinig spanning op de band staat. Marel heeft echter gemerkt dat dit systeem tegen de grens van zijn mogelijkheden aan zit. Omdat producenten een steeds hogere bandsnelheid willen, moet het feedback-systeem steeds meer spanning op de band zetten, maar hierdoor slijten de schakels sneller en neemt de levensduur van de band als geheel af. De winst door een snellere productie dreigt dan verloren te gaan doordat de band vaker vervangen moet worden. Aan de wiskundigen de vraag, bij monde van Patrick Kruysen: 'Is wat we vandaag doen de slimste manier om de band onder controle te houden?'



Bijschrift: De band bestaat uit over een rail rollende karretjes, die verbonden zijn door een stukje ketting van ongeveer 15 centimeter. Aan elke schakel kan een kip van anderhalf à twee kilo hangen.

Een telkens ingekorte lopende band

Al bij de presentatie, maar ook later in de week, blijkt dit het probleem van de zes waar de wiskundigen het moeilijkst vat op krijgen. De lopende band met kippen is een groot, gecompliceerd systeem met veel verschillende onderdelen, terwijl niet meteen duidelijk is welke onderdelen relevant zijn voor het probleem van Marel. Ook is het voor de wiskundigen lastig om zich het functioneren van zo'n lopende band in de praktijk voor te stellen. Er zijn ook kleine misverstanden: Kruysen vertelt in zijn presentatie, in het Engels, dat de schakels van de lopende band door slijtage langzaam uitrekken. Daarom worden iedere week een paar schakels '*removed*'. Maar op den duur, als de band te veel is uitgerekt, moet hij toch in z'n geheel vervangen worden.

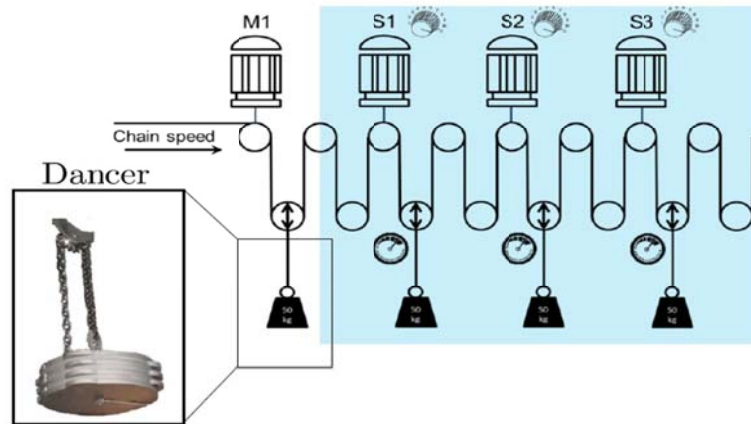
Wat heeft het voor zin om telkens een paar schakels te vervangen, vragen diverse mensen in de zaal zich af, daarmee voorkom je toch niet dat de band uitrekt? Het duurt even voordat men helder heeft, dat '*removed*' niet betekent 'vervangen', maar 'weggehaald'. De band wordt dus iedere week met een paar schakels ingekort om het uitrekken te compenseren.

Bij de eerste besprekingen van de groep – met slechts drie wiskundigen de kleinste van de zes – blijft het tasten en zoeken. Dat is niet ongebruikelijk bij deze werkgroepen; in het begin is het vooral zaak, de vraag duidelijker te krijgen. De vertegenwoordigers van Marel tekenen opnieuw een schema van het controlesysteem van de band op het whiteboard, en gaan verder in op de details.

Het feedback-systeem om de band strak te houden maakt gebruik van *dancers*. Een dancer is een grote katrol waar de lopende band in een lus omheen loopt. De dancer kan langs een geleiderail horizontaal bewegen, en zo de lus langer of korter maken, ter compensatie als de elektromotor iets te snel, respectievelijk te langzaam nieuwe kippen aanvoert.

De dancer houdt een constante spanning op de band doordat er – via een kleine katrol – een gewicht aan hangt, zodat de lus in principe altijd strak blijft. De positie van de dancer regelt ook de snelheid van de motor: als de lus langer wordt, moet de motor minder snel draaien, wordt de lus korter, dan moet hij juist sneller.

Met het opvoeren van de bandsnelheid steeg in de praktijk het benodigde gewicht om de danser in het gareel te houden van 50 naar 80 kilo. Dat extra gewicht is nodig om de hogere pieken in de kracht op de band op te vangen. Zulke piekkrachten zijn moeilijk te vermijden in een kilometers lange band waar tonnen slingerende kippen aan hangen. Maar door die hogere piekkrachten slijt de band sneller.



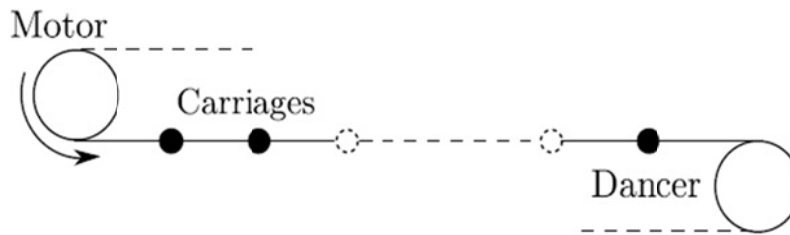
Bijchrift: schema van de lopende band met kippen, een master motor (M1) die de bandsnelheid bepaalt, een aantal 'slaaf'-motoren (S1, S2,S3) die de band verder doorvoeren, en na elke motor een *dancer*.

Levensecht model van een slachtkip

De eerste dag doet de groep een poging de band met kippen te modelleren als een lange keten van gekoppelde veren. Elke schakel bestaat uit diverse spiraalveren (omdat daarvoor een simpel verband tussen uitrekking en trekkracht geldt) en tussen elke twee schakels zit ook een veer. Maar de volgende ochtend wordt dit model weer verlaten, omdat het tot zeer ingewikkelde berekeningen blijkt te leiden, waarvan de relevantie ook niet meteen duidelijk is. Wat nu?

Gelukkig hebben de vertegenwoordigers van Marel vandaag een 1:1 schaalmodel meegenomen van een schakel van de ketting, inclusief een levensechte, plastic slachtkip. Nu ze het basiselement van de lopende band letterlijk in handen hebben, krijgen de wiskundigen opeens meer gevoel voor wat het probleem is.

De tweede dag wordt men het snel eens over een nieuw model: elke schakel met kip is als het ware een treinwagonnetje (*carriage*) dat over een rails rijdt, met een ketting naar zijn voorganger en achterligger. Als een ketting strak staat, is de kracht aan beide kanten hetzelfde, als de ketting slap hangt is die kracht (vrijwel) nul.



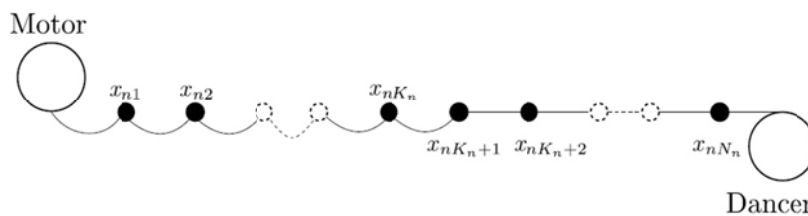
Bijschrift: het model bekijkt in eerste instantie één motor met bijbehorende dancer.

De groep besluit om eerst één sectie van de band te modelleren, die loopt van een motor tot aan een dancer. Inmiddels is men er ook van overtuigd, dat het op den duur uitrekken van de ketting tussen de schakels een belangrijke oorzaak van de instabiliteit van de band is. Daardoor komt er namelijk speling in de ketting als de schakels door het tandrad van de elektromotor worden opgepikt en doorgevoerd. Deze speling moet door de dancer voortdurend uit de ketting getrokken worden om de band strak te houden.

Lastige vertaalslag

Na de valse start met het verenmodel, is dit inzicht een doorbraak bij het bouwen van een goed model. Dat het bij deze groep langer duurde dan bij de anderen, komt waarschijnlijk doordat dit het meest 'grofstoffelijke' probleem is. Welke wiskunde moet je toepassen op een lopende band met duizenden tegen elkaar aan rammelende onderdelen? Die vertaalslag is een stuk lastiger dan, bijvoorbeeld, bij een financieel model om de rentestand te voorspellen, dat al bijna pure wiskunde is.

Vivi Rottschäfer van de universiteit Leiden, die al vaker aan de Studiegroep Wiskunde en Industrie heeft meegedaan: 'We hebben alledrie ook een natuurkunde-achtergrond, dus aan ons technisch inzicht zal het niet aan gelegen hebben. Overigens is het bij deze Studiegroepen heel normaal dat je in het begin moeilijk grip krijgt op een probleem.'



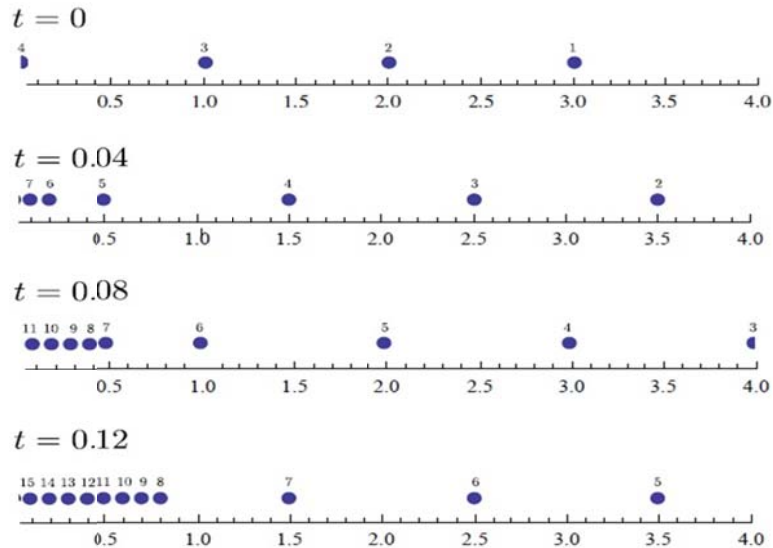
Bijschrift: een belangrijk concept bleek 'speling' (*slack*) in de band. De ketting rekt door slijtage op den duur een klein beetje uit, waardoor die niet meer strak van het tandrad van de elektromotor af komt.

Het treintjesmodel

Het model van treinwagonnetjes verbonden door kettingen is relatief simpel in wiskundige vergelijkingen te vatten. Voor elk wagonnetje afzonderlijk - en voor een treintje van wagons met strakke ketting ertussen - gelden de bekende bewegingswetten van Newton die ook op de middelbare school behandeld worden. De oplossingen daarvan in deze situatie zijn allang bekend. Wat de zaak compliceert, is dat er tussen de motor en de dancer telkens 'gebeurtenissen' plaatsvinden waardoor de vergelijkingen veranderen: er komt een wagon bij, er gaat een wagon af, de ketting tussen elk paar wagons kan van strak in slap veranderen of

omgekeerd, en twee wagons kunnen botsen (dat is een faalmoment waarop de hele trein wordt stopgezet). Dat vergt een nauwkeurige administratie van alle mogelijkheden op elk moment, maar dat is voor een computersimulatie in principe geen probleem.

Niettemin, het moet nog wel als correct werkende numerieke code worden opgeschreven. Bij het diner op woensdag zit ik toevallig naast Thomas de Jong, die hieraan werkt. Telkens als het gesprek even stopt, gaat zijn blik op oneindig: hij zit in zijn hoofd code te tikken voor het model van de kippen-express. 'Gisteravond heb ik tot laat in de avond doorgewerkt,' zegt hij. 'Als ik aan een wiskundig probleem bezig ben, vind ik het moeilijk om die knop om te draaien. Dan ben ik er in mijn hoofd voortdurend mee bezig.'



Bijschrift: Simulatie van het gedrag van een stuk band tussen een motor en een dancer. Zo is het minimale gewicht te bepalen dat aan de dancer moet hangen om de band strak te houden. Hier is dat gewicht onvoldoende; er ontstaat links een file van karretjes waartussen de ketting slap hangt.

De simulatie van de kippentrein

Eind van de week kan de groep een simulatie van de kippentrein presenteren die laat zien wat er gebeurt als de dancer te weinig trekkracht levert: dan ontstaat er na de motor een file van wagons waartussen de ketting slap hangt, die steeds langer wordt. Door die trekkracht stapje voor stapje te vergroten en de simulatie opnieuw te draaien, kun je uitvinden welk gewicht er minimaal aan de dancer moet hangen om de kippentrein strak te houden.

De eerste reactie van Patrick Kruysen van Marel is positief: 'De simulatie vertoont inderdaad het gedrag dat we ook in de praktijk zien.'

Voor een realistische simulatie van de hele lopende band is nog meer onderzoek nodig. In deze simulatie zijn belangrijke fysische parameters, zoals hoeveel wrijving de karretjes ondervinden, nog geschat. Ook moet nog onderzocht worden, in hoeverre het gedrag verandert als meerdere secties van een motor met dancer achter elkaar gezet worden.

Terugkijkend op de week concludeert Rottschäfer: 'We hebben een mooie eerste stap gezet, waarmee Marel zeker verder gaat.'

Inmiddels zijn deelnemers aan deze werkgroep opnieuw bij Marel langs geweest, en men is al aan een vervolgproject begonnen.
