

# Hoofdpijndossier resonantie

**Mechanische overbelasting is meestal geen bedreiging voor de bedrijfszekerheid van roterende machines. Het dynamisch gedrag is een ander verhaal; een pompinstallatie kan dan een hoofdpijndossier worden.**

Arie Mol \*

Wanneer onderdelen stuk gaan door dynamische overbelasting, is er vaak sprake van resonantie. De installatie is weliswaar statisch goed, maar dynamisch fout. Mechanische constructies met staal of beton worden gekenmerkt door massa en stijfheid, dus onvermijdelijk ook door resonantiefrequenties. Elke pompopstelling heeft deze frequenties. Wanneer een constructie wordt aangestoten in een resonantiefrequentie, kan het trillingsniveau onacceptabel hoog worden. Schade aan onder meer lageringen, afdichtingen en lassen zal niet uitblijven. Het is daarom van het grootste belang dat het dynamisch gedrag wordt beheerst.

Ontwerpers moeten weten waar de aanstoot- en resonantiefrequenties liggen en die twee zo ver mogelijk uit elkaar houden.

## DEMPING

Het kenmerk van resonantie is dat noch de massa noch de stijfheid van een constructie de aanstootkracht in bedwang kan houden. Alleen damping is dan actief, en juist damping is niet altijd voldoende aanwezig. Vroeger werden vaker gegoten constructies gebruikt; gietwerk heeft interne damping, waardoor resonantieproblemen minder vaak voorkwamen. De huidige algemene toepassing van gelast stalen constructies met

weinig interne damping heeft des te meer problemen op dit gebied. Een voordeel van weinig damping is wel dat een correctieve maatregel die in een relatief kleine verschuiving in resonantiefrequentie resulteert, al een grote verbetering kan opleveren.

## VERSTEMMEN

De opties voor correctieve maatregelen zijn verstemmen of damping aanbrengen. Andere materialen dan staal bieden niet veel soelaas; voor staal, aluminium en kunststoffen als polypropyleen geldt dat de elasticiteitsmodulus per soortelijke massa ongeveer gelijk is. Dit betekent bij gelijke dimensies dezelfde resonantiefrequenties. Verstemmen houdt in dat een constructie stijver of juist elastischer wordt gemaakt. Een modale analyse (de bewegingsvorm van het geheel bepalen met trillingsmetingen) laat zien waar aanpassing zin heeft en waar niet. Vergroting van de damping is soms een optie, te denken valt dan aan sandwichachtige constructies, gelamelde constructies of het gebruik van silent blocks.

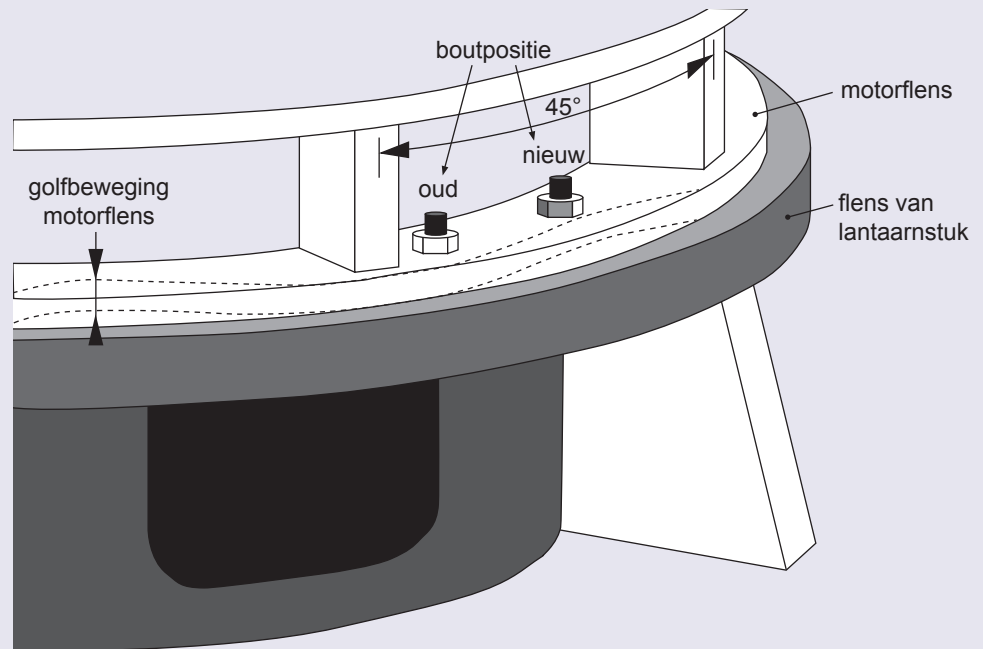
## SAMENVALLLEN

Bij centrifugaalpompen zijn er eigenlijk maar twee aanstootfrequenties waarmee rekening moet worden gehouden: onbalans en schoeppasseerfrequentie. Onbalanskracht kan toenemen wanneer een pompwaaier door slijtage in onbalans komt. Moderne hoogrendementpompen vertonen vaak sterke drukpulsaties in het ritme van toerental maal het aantal schoepen, de schoeppasseerfrequentie. Zuigerpompen hebben

*Resonantie in de pomp kan zich voortzetten in andere onderdelen van het systeem*



Afbeelding 1. (Nog) minder stijfheid van motorflens lost het resonantieprobleem op



een drukpulsatieaanstoting met een frequentie die een veelvoud is van de toerental frequentie. Het impulsachtige karakter van het trillingsgedrag van zuigerpompen genereert een veelheid aan aanstootfrequenties.

## RESONANTIEFREQUENTIES

Centrifugaalpompen in verticale en horizontale bouwvorm kunnen een resonantiefrequentie hebben die in de buurt komt van de aanstootfrequenties, in de richting van de persleiding of juist haaks daarop. Waar vroeger robuust en zwaar werd gebouwd, wordt nu veel lichter geconstrueerd om de kW/kg verhouding concurrerend te houden. In dit verband wordt ook het toerental vaak hoger gekozen. Dit betekent dat de afstand tussen aanstootfrequenties en resonantiefrequenties kleiner wordt, en daarmee de kans op een dynamisch probleem groter. De terugkoppeling naar de ontwerpfabrics van actuele dynamische gegevens zoals resonantiefrequenties schiet er nogal eens bij in. Menig pompontwerper heeft geen idee van het dynamische gedrag. Het blindvaren op 'oneindige' elementenberekeningen heeft menig fabrikant veel leergeld gekost. Een remedie kan zijn de e-motor van een verticale pomp tegen de muur af te steunen, of een van de voetbouten van de e-motor lossen. Dit verdient geen schoonheidsprijs maar is wel effectief. Ook de resonantiefrequentie van de pomprotor, bepaald door de massa van de (overhangende) waaier en de stijfheid van de in de lagering ingeklemde as en de lagerondersteuning (kritisch toe-

rental), is een punt van aandacht. Een aanstootmogelijkheid is soms onbalans, vaker is er sprake van drukpulsatie met schoeppasseerfrequentie.

## HYDRAULISCH

Parallel seriebedrijf van meerdere pompen en lange leidingen kunnen aanleiding geven tot laagfrequent 'hydraulische' resonantieproblemen. In sommige gevallen, zeker bij zuigerpompen, zouden de pompen dan iso-synchroon moeten draaien. Dit is alleen mogelijk met synchrone aandrijfmotorteknik. Soms draait een installatie jarenlang probleemloos. Totdat beton-'grouting' loslaat van de profielstalen balken van de fundatie. De resonantiefrequentie kan dan aanzienlijk dalen, tot in de buurt van toerental frequentie. Bij dieselmotoraangedreven stromingsmachines kunnen torsieresonantietrillingen problemen opleveren. Schoepen, (elastische) koppelingen, assen en zovoorts kunnen plotseling sneuvelen zonder dat conventionele trillingsopnemers iets opmerken. Omdat het hier om wisselende hoeksnelheid gaat, wordt frequentiedemodulatietechniek ingezet om torsietrillingsgedrag te analyseren. Zuigermachines vormen tot slot een bron van resonantie in leidingwerk. Het moge duidelijk zijn dat frequentieregelaars de kans op

een resonantieprobleem vergroten.

## CASE HISTORY

Een welhaast klassiek probleemgeval is resonantie bij een verticale pompopstelling. Direct na inbedrijfstelling bleek bij een bedrijf het trillingsniveau van een 1000 kW e-motor in een verticale pompopstelling veel te hoog. Een uitloopprouf toonde aan dat er sprake was van een resonantiefrequentie van 23 Hz, vlakbij de toerental frequentie van 24.7 Hz (1480 r/min). Een modale analyse toonde aan dat de bepalende elasticiteit zich bevond in de flens van de e-motor. Deze te dunne flens maakte een golvende beweging, zoals te zien in afbeelding 1. Een onorthodoxe oplossing werd gevonden in het verplaatsen van de flensboutgaten over ongeveer 20 graden. De stijfheid nam af, de resonantiefrequentie daalde naar 19 Hz en de e-motor kwam zonder problemen door de afnametest. Gelukkig kon de 10 kV kabel de hoekverdraaiing van de motor meevolgen...

\* Arie Mol is zelfstandig adviseur en als Mol Rotating Equipment Consultant (Molrec) al meer dan 30 jaar actief betrokken bij ontwerp en trouble-shooting van industriële roterende machines.