

Resonantie blijkt oorzaak hevige trillingen

Knikkende knieën in de stuurhut

Na een dag op de splinternieuwe zandzuiger heeft kapitein Marcus genoeg van de trillingen in zijn benen. De stuurhut vibreert zo hevig dat de ramen rinkelen. Om de arbeid op het schip enigszins draagbaar te maken, kan er natuurlijk op halve kracht worden gedraaid. Maar daarvoor is de zandzuiger niet aangeschaft. Gemiddeld moet deze boot zo'n achthonderd m³ zand per uur kunnen verwerken. Minder zuigen is geen optie. Het zoeken naar de oorzaak van de hinderlijke trillingen wel.

Wim ten Have

Zo komt het dat auteur op een zonnige zomerochtend met zijn trillingmeetapparatuur in een motorbootje op weg is naar de zandzuiger. Deze ligt te dobberen in het midden van een Limburgs meertje, in de buurt van de rivier de Maas. Schipper Marcus die de hele dag alleen op de zandzuiger zit, ontvangt ons met koffie. Alleen wat melk graag. Een lepeltje blijkt niet nodig te zijn. Het roeren in de koffie doet de boot zelf wel.

Oorsprong

Zand komt van oorsprong uit de bergen. Het wordt al eeuwenlang door de rivieren meegevoerd naar lager gelegen gebieden

als bijvoorbeeld Nederland. De bronnen van de rivier de Maas liggen in het hogere Noord-Frankrijk op het plateau van Langres. Na de ijstijd nam de regenrivier die toen veel breder was dan nu, massa's grind mee dat ze had uitgesleten van de bergen in de Ardennen. Stenen rolden mee en werden door slijtage steeds kleiner. Zo klein dat er uiteindelijk slechts zandkorrels overbleven. Stroomopwaarts ligt er dus steeds minder zand maar liggen er meer kiezels en stenen. Zandwingebieden of afgravingen zijn daarom op ons continent vooral bij de grote rivieruitlopen in Nederland te vinden.

Werking

De nieuwe zandzuiger heeft op het dek een centrifugaal pomp staan. Deze wordt aangedreven door een vierpolige, frequentiegestuurde ABB motor van 500 Kw. Tussen de pomp en de motor zit een ééntraps tandwielkast van Stiebel. De overbrengingsverhouding is 2,36:1. De zandzuiger heeft in het midden van de boot, in de lengterichting, een ladder die aan staalkabels op en neer kan worden bewogen. Zo kan er in het meer op verschillende dieptes worden gewerkt. De ladder scharniert aan het schip en heeft een lengte van 18,5 meter. Aan het einde van

MTD is gespecialiseerd in werktuigbouwkundig onderhoud. Sinds 1995 is MTD ook actief op het gebied van conditiebewaking via trillingsanalyse. Medio 2008 is MTD in Nederland als eerste bedrijf ISO- en ASNT.2 gecertificeerd, volgens trillingsnorm 18436.

de trap zit eenzelfde centrifugaal pomp als op het dek, met tandwielkast en motor, maar dan van 400 Kw. De zandpomp op de ladder blaast het opgezogen waterzandmengsel via een flexibele slang naar de pomp op het dek. Deze pomp heeft 2/10de meer capaciteit dan de zandpomp op de ladder onder water en werkt zo als boosterpomp. De zandpomp aan het einde van de, in diepte variërende trap, zuigt het zand met water van de bodem. Dit is een zaak van fingerspitzengeful. Door de zuigmond iets te diep in het zand te steken zal de zand-waterverhouding opschuiven naar meer zand. En dan is de kans groot dat de zandpomp smooit. Gezagvoerder Marcus is dan een paar uur bezig om de leidingen weer open te krijgen. Verschuift de verhouding zand-water naar meer water, dan wordt de opbrengst van 800 m³ per uur niet gehaald. Operator zijn op een

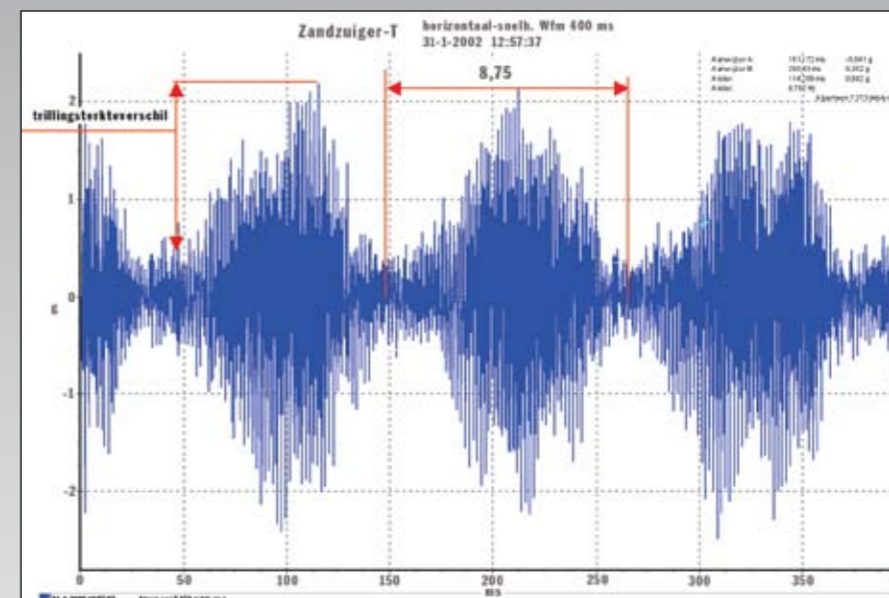
zandzuiger is daarom niet uit een boekje te leren. De boot tast de bodem af via het GPS-systeem. Een computer berekent met behulp van coördinaten precies waar, wat en hoeveel zand er wordt weggezogen. De pomp op het dek blaast op zijn beurt het waterige zand via een flexibele slang op de wal. De slang hangt aan oranje drijvers in een sliert over het meer. Op de wal staat een installatie die de opbrengst van de zandzuiger scheidt in stenen van diverse maten en zand. Het wordt gescheiden van grof naar steeds fijnkoreliger. De verschillende suppleties worden na het zeven ontwaterd en opgeslagen in silo's bestemd voor de verkoop. Stenen worden gebruikt voor beschoeiing, kiezels voor verharding, grof zand voor de weg- en waterbouw en industriezand voor beton-, metsel- en ophoogwerk. Er zijn massa's toepassingen.

Meting

Wim ten Have start met het meten van de trillingen in de stuurhut. Allereerst de vraag aan de kapitein van welke trillingen hij het meeste last heeft? Dit blijkt 8,75 Hertz te zijn. Wordt dat getal vermenigvuldigd met zestig dan draait en trilt er iets van 525 toeren per minuut. De trilling wordt het hevigst als de opbrengst van de pomp het hoogst is. Op het dek meten we de snelheid van de motor. Die draait 1239 omwentelingen per minuut. Het ingaande tandwiel van de tandwielkast heeft 25 tanden, het uitgaande tandwiel 59. De uitgaande as van de tandwielkast drijft via een omegakoppeling de centrifugaal-pomp aan. De toeren van deze pomp zijn: motortoeren maal 25 tanden gedeeld door 59 tanden is, jawel 525 keer rond in een minuut. Anders gezegd, de unit roert de koffie in de stuurhut met 8,75 Hz.

Ladder

Als de pomp aan het ladderuiteinde even boven water wordt gehesen, worden ongeveer dezelfde waarden gemeten. Terug in de stuurhut is duidelijk te zien dat de trillingsterkte toeneemt als de installatie weer gaat werken. De ladder is dan onder water. Maar naarmate de ladder verder zakt, wordt de trilling sterker. De trilling is het krachtigst als de beweegbare ladder net boven de bodem van het meer hangt en de pomp op volle capaciteit draait. In die situatie maakt de ladder ten opzichte van het schip een hoek van ongeveer



Figuur 1. Resonantiespectrum van de uitgaande as van de tandwielen van de zandzuiger

45 graden. Op het dek wordt dan op het scharnierpunt gemeten. Deze bevindt zich immers boven water. In de lengterichting van de ladder is de trillingsterkte het hoogst. De trilling komt van de pomptoeren aan het uiteinde van de ladder, eveneens ongeveer 8,75 Hz. Langzaam wordt duidelijk wat het probleem is. Zowel de zandpomp als de boosterpomp draaien met 2/10de verschil vrijwel op dezelfde snelheid. Als de ladder boven water is, in de lengterichting van het schip, dan is de hoek ladder-schip nul graden. De trillingssterkte op de kopse kant van de ladder is dan minder, omdat de massa van het schip meer dempt. Zakt de ladder naar de bodem dan ontstaat er een hoek van ongeveer 45 graden en verplaatst de trilling zich via de ladder onder de fundatie van de pompunit op het dek. De trillingen van de zandpomp komen dan op de ladder, bovenop de trillingen uit de boosterpomp. Vandaar dus de toename van de trillingsterkte in vol bedrijf.

Resonantie

Twee trillingen die elkaar versterken, worden in de trillingsleer resonantie genoemd. Op deze zandzuiger zijn de trillingen afkomstig uit de toeren van de beide zandpompen. Er is dus sprake van onbalans. Lang niet altijd kan onbalans worden vermeden. Zand is behoorlijk abrasief, dus de schoepen van de centrifugaalpompen zijn aan onregelmatige slijtage onderhevig. In de regel dienen beide onbalans-trillingen ongeveer tien procent uit elkaar te liggen wil resonantie worden voorko-

men. Ongeveer tien procent omdat dit per stijfheid van een constructie verschilt. Een andere mogelijkheid is om de trilweg te onderbreken. Dit kan bijvoorbeeld met rubber. De scharnieren van de ladder aan het schip dienen natuurlijk wel hun sterkte te behouden. Maar de bevestiging van de



Een detailopname van het scharnierpunt van de ladder aan het schip.

scharnierpunten aan de zandzuiger kunnen wel met rubber worden ondervuld. De scharnierpunten zitten in een U-vormige kamer vast met bouten. Het is betrekkelijk eenvoudig om beide draaipunten aan drie zijden te voorzien van een harde rubber-soort. Het advies is inmiddels overgenomen en uitgevoerd. Sinds die tijd moeten Marcus en zijn eventuele gasten voortaan zelf hun koffie roeren. ■

www.mtd.nl

Voorbeeld van een zandzuiger.



Wim ten Have is directeur van MTD.