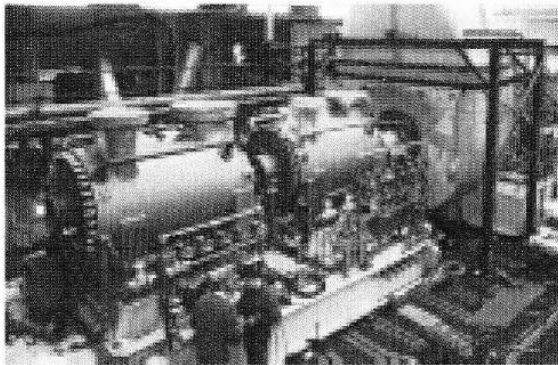




Best Practice Conditie- en prestatiebewaking van roterende apparatuur

1. Inleiding

Ook de chemische industrie is voortdurend bezig methoden te vinden ter vermindering van de energie-, bedrijfs- en onderhoudskosten. Een van de middelen daarbij is de conditie en prestatiebewaking van kapitaalintensieve roterende machines. Het betreft dan in de meeste gevallen centrifugaal compressoren, gasturbines, stoomturbines en grote centrifugaalpomp, zie *figuur 1*.



Figuur 1. Gascompressor aangedreven door een 27 MW gasturbine.

Conditiebewaking is het vroegtijdig waarnemen van zich langzaam ontwikkelende mechanische problemen, voordat zij de ontwerpbedrijfscriteria van de machine in gevaar brengen. Daarbij ligt de nadruk op het ontdekken van de oorzaken van potentiële mechanische problemen van de machine. Het uiteindelijke doel van de conditiebewaking is velerlei.

- Het veilig en economisch bedrijven van productie-eenheden.
- Verlengen van de bedrijfstijd en voorkomen van ongeplande bedrijfsstops.
- Voorkomen van onnodige reparaties.
- Controleren van de kwaliteit van reparaties en apparatuurmontage.
- Het tijdig bepalen van de omvang van de noodzakelijke werkzaamheden in geplande stops.

Prestatiebewaking is het vroegtijdig ontdekken van wijzigingen in het rendement van de machine ten gevolge van vervuiling of slijtage. De prestatiebewaking levert in het bijzonder waardevolle gegevens voor:

- vaststellen van de prestaties van iedere machine;
- verbeteren van de bedrijfsprestaties;
- bepalen van het tijdstip voor de bedrijfsstop als de prestaties verminderen;
- optimaliseren van het procesrendement;
- debottlenecking van het proces.

Het installeren van een duur bewakingsstelsel op zich, lost geen problemen op en voorkomt geen machineschade.

Voordat men een dergelijk stelsel aanschaft, is het aan te raden om na te gaan of in plaats van gecompliceerde innoverende instrumentatietechnieken ook volstaan kan worden met eenvoudiger systemen, bijvoorbeeld temperatuur- of drukmetingen om bepaalde fenomenen waar te nemen. Om deze afweging te kunnen maken, is veelal gedetailleerde kennis noodzakelijk. De meetgegevens afkomstig van een bewakingsstelsel zullen verwerkt en beoordeeld moeten worden door specialisten, waarna pas een actie ondernomen kan worden. In deze best practice zullen de diverse aspecten van de conditie en prestatiebewaking aan de orde komen met de nadruk op prestatiebewaking, want die kan een bijdrage leveren aan het verbeteren van de energie-efficiency.

2. Conditiebewaking

Met conditiebewaking (condition monitoring) kan het correct functioneren van roterende apparatuur vastgesteld worden, met behulp van één of meer van de volgende grootheden:

- trillingen en axiale verplaatsing;
- temperatuur van lagers en proces;
- procesdrukken;
- smeerolieconditie;
- overspeed van turbines.

Welk bewakingsprincipe wordt toegepast, zal afhangen van het type machine.

2.1 Trillingen en axiale verplaatsing

Trillingen en axiale verplaatsing geven een afwijkende mechanische conditie weer, die veroorzaakt kan zijn door:

- *slijtage van een roterend deel*; het energieverbruik kan daardoor toenemen en er zal dus curatiefonderhoud gepland moeten worden;
- *vervuiling van de rotor*; resulterend in toename van het energiegebruik. Dit zal dus leiden tot het plannen van een reiniging of wassing van de rotor;
- *zich ontwikkelende breuk van een roterend machinedeel*. Deze waarneming zal aanleiding zijn om tot directe actie over te gaan.

2.2 Temperatuur

Veel processen kunnen eenvoudig bewaakt worden door temperaturen te meten. Vervuiling in het proces, respectievelijk in een compressor, uit zich door een hogere weerstand, ten gevolge waarvan bij de compressie van een gas meer energie verbruikt wordt, wat resulteert in een stijging van de temperatuur. Bij gassen met een lage ontstekings- of zelfontbrandingstemperatuur kan dit tot gevaarlijke situaties leiden.

Bij glijlagers is een bewaking van de lagertemperatuur nuttig om te kunnen voorkomen dat het lagermateriaal (babbit) gaat vloeien of smelten.

2.3 Procesdrukken

Naast de informatie die de temperatuuropmeters verschaffen over de compressie en expansie van gassen, kunnen met de drukopnemers extra gegevens verkregen worden. Vooral bij vloeistofpompen zullen drukmetingen een betere indicatie geven van de procestoestand dan temperatuurmetingen.

Bij compressoren is vooral van belang om de drukverliezen over filters goed te bewaken daar te hoge drukverliezen voor de compressorinlaat kunnen leiden tot "surge" in de eerste compressortrappen. Ten gevolge van "surge" zal een zeer zware belasting van de schoepvoeten plaatsvinden met kans op breuk.

2.4 Smeerolieconditie

Veelal is het type smeerolie reeds door de fabrikant van de machine vastgesteld en kan door het analyseren van de gebruikte smeerolie informatie verkregen worden over:

- de smeerolieconditie;
- de machineconditie.

Met behulp van de resultaten van deze smeerolie-onderzoeken bereikt men een optimale levensduur van de smeerolie zelf en kan een verstoring in de machineconditie reeds vroeg vastgesteld worden, waarna tijdig ingegrepen wordt om tegen minimale kosten te repareren.

Afhankelijk van het type installatie en de toegepaste smeerolie, worden de vereiste testen vastgesteld. Per type machine moet een testfrequentie worden vastgesteld om de trendmatige verandering van de eigenschappen vast te kunnen stellen. Hierbij zijn de meest toegepaste analysemethoden:

- luisteren en voelen;
- de visuele beoordeling;
- viscositeitsbepaling;
- bepaling watergehalte;
- waterafscheiding;
- vlampuntbepaling;
- gehalte vaste deeltjes bepalen met:
- ferrografie (deeltjes telling en analytische ferrografie, waarbij de herkomst van de deeltjes wordt bepaald);
- 0.8p Filtertest.

Vele van deze tests zijn internationaal gestandaardiseerd. Het resultaat staat of valt echter met het nemen van het smeerolienmonster, let hierbij op:

- een voldoende schone monsterfles;
- de juiste plaats voor de monsternamen in het smeeroliesysteem;
- de bedrijfsconditie van de installatie tijdens de monsternamen.

2.5 Overspeed van turbines

Indien de belasting van een stoomturbine abrupt wegvalt (bijvoorbeeld bij een koppelingsbreuk) zal de reguleerder niet in staat zijn het toerental op de gewenste waarde te controleren. De extreme toerentallen die dan zullen optreden, kunnen tot volledige destructie van de machine leiden.

Bij compressoren kan overspeed bovendien leiden tot surge in de eerste compressortrappen.

Schoepen van turbines (maar ook waaiers van grote turbinegedreven pompen) ondervinden een sterke centripetale kracht die de bevestiging van de schoepvoeten belast. Om te voorkomen dat men de

ontwerpwaarden overschrijdt, is het noodzakelijk om een "overspeed" beveiliging te installeren die in een dergelijk geval de machine zal stoppen.

Volgens de stand van de huidige technologie is een elektronische overspeedbeveiliging te prefereren boven een mechanische. De belangrijkste nadelen van de mechanische beveiliging zijn:

1. het testen kan alleen uitgevoerd worden tijdens het buiten bedrijf zijn van de betreffende machine;
2. de machine moet voor een test daadwerkelijk in een (onveilige) overspeedsituatie gebracht worden.

Met een elektronisch systeem (met een 2 uit 3 kanaals-beveiliging) kan tijdens bedrijf in één van de 3 kanalen een overspeed gesimuleerd en het (kunstmatig) trippen van de machine geverifieerd worden.

2.6 Samenvatting conditiebewaking

Conditiebewaking wordt meestal via instrumenten die een bepaalde grootte meten, uitgevoerd. De signalen gaan dan via het Proces Controle Systeem naar de controlekamer, alwaar de resultaten beoordeeld moeten worden. Echter niet alle belangrijke condities zijn afdoende te instrumenteren zonder overdreven hoge kosten te maken. Daarom is het raadzaam om, naast de procesbewaking door monitorsystemen, vanuit de controlekamer operators in te zetten die regelmatig hun rondes lopen en daarbij een aantal controles en/of handelingen verrichten.

Bij roterende apparatuur kunnen storingen (die zich langzaam ontwikkelen) en calamiteiten (die zich instantaan voordoen) optreden die door een juist gekozen bewakingssysteem zichtbaar worden gemaakt. Het mechanisch gedrag van de machine wordt hierdoor voor een belangrijk deel in beeld gebracht.

De meetresultaten van monitorsystemen in combinatie met de waarnemingen door operators, kunnen ook gebruikt worden om een afgewogen onderhoudsschema op te stellen, waardoor roterende procesapparatuur in optimale conditie gehouden kan worden.

3. Prestatiebewaking

Een juiste kennis van de prestaties van iedere roterende machine in de chemische industrie is essentieel voor het succesvol bedrijven van een installatie. Met prestatiebewaking (performance monitoring) beoogt men de eventuele afname van de prestaties in vergelijking met referentie condities van compressoren, turbines of pompen te kunnen waarnemen, opdat een onderhoudsstop tijdig gepland kan worden.

Maar tevens is het mogelijk om met behulp van deze apparatuur de energie-efficiency van het proces te optimaliseren. Het betreft dan meestal het registreren van (in de loop van de tijd) langzaam toenemende lekkages, vervuiling, etc. Het verdient aanbeveling de metingen periodiek uit te voeren.

Prestatiemeting kan op drie verschillende manieren verricht worden:

1. De indirecte energiebalans methode. De diverse procescondities van het procesmedium worden gemeten, evenals de toegevoerde en afgevoerde energie en de toerentallen van aandrijvende en aangedreven machine. Met de daarmee berekende energiebalans is dan te bepalen in welke mate de energie- efficiency afneemt;
2. Met behulp van een Pompmeter. Bij vaste toerental pompen komt het regelmatig voor dat pompen niet in hun optimale werkpunt draaien. Met behulp van een tijdelijke meting kan nagegaan worden of frequentieregeling of een upgrade van de pomp of motor aan te bevelen valt.

3. De directe draaimoment methode. Bij deze meetmethode wordt tussen aandrijvende en aangedreven machine een draaimomentmeter of torsiemeter ingebouwd. Deze meet de hoekverdraaiing tussen twee opnemers op de as waarvan de torsiestijfheid bekend is. De toe- of afname van de hoekverdraaiing is een maat voor de af- of toename van de energie-efficiency.

3.1 Energiebalans methode

Om een correcte energiebalans (of enthalpiebalans) op te kunnen stellen, zijn de volgende metingen aan de *aandrijvende* en *aangedreven* machine vereist:

- inlaat druk en temperatuur;
- inlaat debiet;
- uitlaat druk en temperatuur;
- toerental;
- opgenomen elektrische energie, verbruik stoom of brandstof;
- drukverliezen over filters;
- afgevoerde energie via koelwater of-lucht.

Met behulp van deze gegevens, Ieveranciersinformatie en ijkgegevens van de referentiemetingen kan dan een energiebalans opgesteld worden waarbij ook de verliezen vastgesteld worden. Wijzigingen in de verliezen (nadat is gecorrigeerd naar standaardcondities) vormen een conditieparameter. Het verloop van deze parameter in de tijd wordt geregistreerd. Sterke afwijkingen geven aan dat de wrijving of lekkage is toegenomen.

Om de energie-efficiency van het proces te optimaliseren, kan men procesgrootheden wijzigen of wrijvingsverliezen verminderen en lekkages verhelpen of beperken. Het energetisch rendement kan men berekenen door de theoretische polytropische of isentropische drukwijziging te vergelijken met de werkelijk gemeten waarden.

3.2 Pompmeter

Pompen die niet geregeld worden door middel van een frequentieregelaar zijn afhankelijk van de systeemdruk en de gevraagde flow. Het komt regelmatig voor dat pompen niet altijd in hun optimale werkpunt opereren.

Voor de analyse wordt een pompmeter aangesloten en gedurende een representatieve periode het belastingsprofiel gemeten, bestaande uit de drukken en het toerental. Dit wordt vergeleken met de pompcurve voor verdere analyse.

Mocht blijken dat de pomp grote delen van de tijd niet in zijn optimale bedrijfspunt opereert, kan gekozen worden voor het toepassen van frequentieregeling. Alternatief kan gedacht worden aan het afdraaien van de waaier tijdens een grote onderhoudsbeurt of het vernieuwen van de elektromotor.

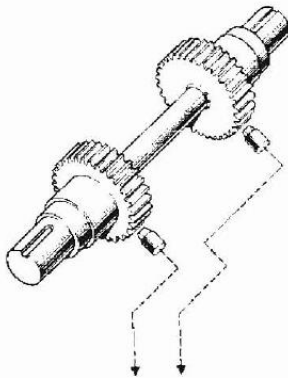
3.3 Draaimoment- of torsiemetmethode

De laatste jaren heeft vooral de (petro)chemische industrie reeds vele torsiemeters geïnstalleerd met het oog op optimaliseren van de proces-efficiency, debottlenecking en vaststellen van de individuele prestaties van machines. De torsiemeter functioneert door middel van het meten van de verdraaiing van de meetas die een deel vormt van de flexibele koppeling. De koppeling kan zijn:

- een flexibele disc of membraankoppeling;
- een diafragmakoppeling;

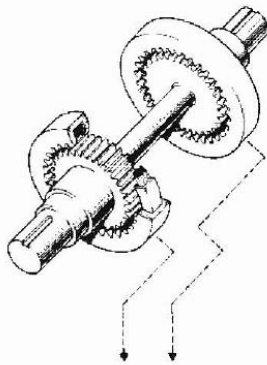
- een tandkoppeling.

De conventionele methode voor het meten van de torsie wordt in *figuur 2* aangegeven. Indien er een torsiemoment op de roterende as wordt uitgeoefend, zal er een faseverschuiving tussen de twee opnemers ontstaan. Het daardoor gegenereerde signaal wordt verwerkt in een fasemeter. Er is echter kans op grote onnauwkeurigheden indien er door welke oorzaak dan ook relatieve radiale of axiale bewegingen mogelijk zijn tussen as en opnemers.



Figuur 2 Conventionele meting van de torsie.

Bij de nieuwste methode zijn de bezwaren van het conventionele systeem opgevangen door het gebruik van een paar multipolige opnemers in de vorm van inwendig getande ringen die elke relatieve beweging tussen as en stator compenseren. Zie *figuur 3*.



Figuur 3 Verbeterd systeem voor torsiemeting.

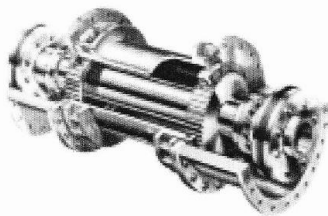
Om beide roterende ringen is, in plaats van de gebruikelijke koppelingbeschermer, een stator aangebracht waarin zich magneetspoelen bevinden. Als de magneetspoelen bekrachtigd worden, zal de magnetische flux telkens beïnvloed worden door de vertanding van de ronddraaiende meetas. Hierdoor ontstaat een sinusvormig signaal in de stationaire spoelen. Omdat er twee series meetspoelen zijn, zullen er ook twee signalen zijn.

Deze signalen worden vergeleken en bij een bepaald draaimoment in de overbrenging is het faseverschil een nauwkeurige maat voor het overgebrachte moment waarmee samen met het toerental het vermogen te berekenen is. De meetas dient vóór montage reeds statisch en dynamisch geijkt te zijn.

De voordelen van deze methode zijn:

- geschikt voor toerentallen tot 150.000 omw/min;
- het systeem is intrinsiek veilig;
- omdat er geen elektronica in de transducer zit, is het systeem geschikt voor temperaturen tot 150 °C;
- een lange levensduur, ook omdat in het roterende deel geen kwetsbare componenten zijn verwerkt;
- voor bedrijfssituaties is de nauwkeurigheid beter dan 1% van de volle schaal;
- kan ook bij bestaande installaties worden ingebouwd omdat gebruik gemaakt wordt van de normale koppelingen.

De kosten van een torsiemeter, werkend volgens bovenstaand principe, zijn minder dan 1% van de jaarlijkse energiekosten voor een 20 MW gasturbine. Voor de uitvoering van een koppeling met geïntegreerde torsiemeter zie *figuur 4*.



Figuur 4 Koppeling met geïntegreerde torsiemeter.

3.4 Pomp (energie)monitoring

Er bestaan vele oplossingen voor energiemonitoring. Enkele systemen kunnen tevens gebruikt worden voor het bewaken van de (energie)prestatie van pompen en compressoren.

De meest recente ontwikkeling van monitoringstools bevinden zich in het combineren van alle beschikbare data in een fabrieksomgeving, zoals drukken, flow, temperatuur en bijvoorbeeld tijd van de dag. Door het koppelen van deze data aan elektriciteitsmeters en door het vergelijken met meetdata uit het verleden kan inzicht worden verkregen in de prestatie van de roterende machines.

4. Referenties

Dit is een publicatie van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl).

In de periode 2000 - 2002 heeft de VNCI een reeks brochures uitgebracht onder de verzamelnaam "Leidraad voor energie-efficiency". In de reeks worden dertig verschillende bestaande praktische toepassingen beschreven van energiebeheer in chemische bedrijven. Deze publicatie, 'Best Practice Conditie- en prestatiebewaking van roterende apparatuur' is een actualisering van het document 'Leidraad voor energie efficiency, Conditie- en procesbewaking van rotende apparatuur'.

De huidige actualisering van de Best Practice is tot stand gekomen in het kader van meerjarenafspraken energie-efficiëntie MJA3 en MEE. Als onderdeel van de samenwerking met de VNCI is besloten het merendeel van deze Best Practices geactualiseerd opnieuw te publiceren. Deze Best Practice Conditie- en

prestatiebewaking van roterende apparatuur is geactualiseerd met medewerking van Tebodin (www.tebodin.nl) .

De meerjarenaafspraken energie-efficiëntie MJA3 en MEE zijn overeenkomsten tussen de overheid en bedrijven, instellingen en gemeenten. Het ministerie van Economische Zaken (EZ) het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koningsrijkrelaties (BZK) en het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) stimuleren met deze afspraken het effectiever en efficiënter inzetten van energie. De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) is verantwoordelijk voor de uitvoering van de meerjarenaafspraken.

Waar geen bronvermelding is aangegeven bij de figuren is gebruik gemaakt van het oorspronkelijke document (zie hierboven).

Voor deze brochure is naast het oorspronkelijke document gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

1. <http://www.pem-mag.com/generation/maximizing-steam-turbine/compressor-performance-with-precise-torque-monitoring-at-the-coupling>
2. http://www.ksb.com/ksb-nl/Nieuws/Persberichten/2503028/effizienz-und-verfuegbarkeit-von-pumpen-steigern_NL.html
3. http://www.turbinetechnologies.com/portals/0/pdfs/gas_turbine_tech_sheets/ryersonuniversity.pdf
4. <http://www.energq.com/grootzakelijk>
5. Phase shift torque meters for gasturbine development and monitoring, ASME doc nr 91-GI-189, 1991.
6. Torque measuring for improved efficiency of gasturbine compressors, Diesel & Gas turbine Worldwide, March 1992.
7. Lubrication, Electronic overspeed detection, reprints from Orbit, 2nd, 3rd and 4th quarter 1999.

Colofon

Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Prinses Beatrixlaan 2 | 2595 AL Den Haag
Postbus 93144 | 2509 AC Den Haag
T +31 (0) 88 042 42 42
F +31 (0) 88 602 90 23
E info@rvo.nl
www.rvo.nl

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Economische Zaken (EZ) het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koningsrijkrelaties (BZK) en het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M)

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | juli 2015

Publicatienummer: RVO-121-1501/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis

en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO.nl is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken.

Hoewel deze publicatie met de grootst mogelijke zorg is samengesteld kan RVO.nl geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele fouten.