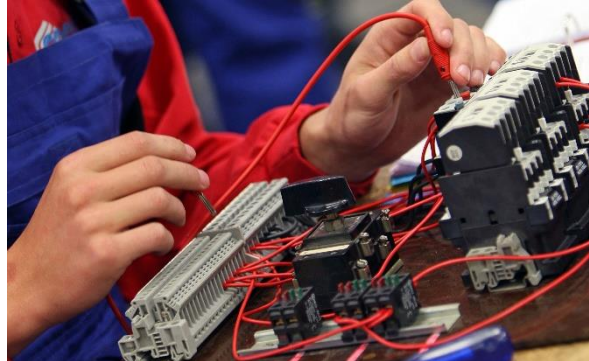


Inleiding tot Conditie Afhankelijk Onderhoud



Europese Unie
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

ROCTILBURG

Elmo Arrias, Docent procestechniek

Condition Based Maintenance (CBM):

Inhoud

Voorwoord.....	4
Doelen:.....	5
1. Inleiding conditie afhankelijk onderhoud/condition based maintenance.	6
1.1. Wat verstaan we onder CBM?	6
1.2. Voordelen van CBM.....	6
2. Maintenance categorieën, onderhoud keuze en consequenties en kosten CBM	8
2.2. Relatie onderhoud en consequenties	9
2.3. Kosten van CBM	12
3. Storingen, balans en belastingen ⁽⁶⁾	13
3.1. Externe systeembelastingen en faalmechanismen ⁽⁶⁾	15
4. Conditie metingen.....	16
4.1. Analogie conditiemetingen bij mens en machine/installatie/asset	18
4.2. Voorbeelden van meetmethoden en wat je kunt monitoren	18
5. Trilling metingen aan machines.....	21
5.1. De 4 meest voorkomende oorzaken van trillingen bij roterende machines	21
6. De basis van machinetrillingen en trilling metingen ^{(9) IC Istec}	25
6.1. Oorzaken van machinetrillingen	25
7. Inleiding tot trilling analyse.....	28
7.1. Wat is een trilling?.....	28
7.2. Trilling vormen.....	28
7.3. Kenmerken van een periodieke harmonische trilling.....	31
7.4. Trillingmeters	32
7.5. Algemene opzet van een trilling meting.....	33
7.6. Trillingsleer in theorie.....	34
7.8. Een trilling kan worden uitgedrukt in trilling snelheid [m/s].....	37
7.9. Een trilling kan worden uitgedrukt in versnelling [m/s ²].	38
7.10. Frequentiemetingen	39
8. Condition Monitoring (conditiebewaking) bij machines ^{(9) IC Istec}	40
8.1. Werkwijze.....	40
8.2. Waarom condition monitoring	42
8.3. Werkwijze bij Condition Monitoring.....	42
9. P-F interval.....	45
10. Internet of things	51

10.1 Slim omgaan met bestaande infrastructuur en sensoriek ⁽¹²⁾	51
11. Onderhoud –en Productie afdelingen	55
11.1. Inspectie tijdens bedrijf.....	55
11.2. Inspectie tijdens productiepauze.....	56
11.3. Inspectiemethoden.....	56
Bronvermelding:	59

Voorwoord

Er is literatuur te vinden over condition based maintenance (conditie afhankelijk onderhoud). Vaak is echter het niveau van deze literatuur hoog.

In dit samengestelde lesmateriaal is getracht op MBO niveau een inleiding te geven op het gebied van conditie afhankelijk onderhoud.

Daarnaast is gezocht naar begrijpelijke en aansprekende voorbeelden van conditie afhankelijk onderhoud.

Hierbij dank aan diegene die materiaal beschikbaar heeft gesteld en een bijdrage heeft geleverd bij het tot stand komen van dit verzamelde werk.

Doelen:

Na deze lessen kun je:

- Aangeven wat er verstaan wordt onder conditie afhankelijk onderhoud
- Wat de voordelen zijn van conditie afhankelijk onderhoud
- In eigen woorden uitleggen welke onderhoud categorieën er zijn en wat de consequenties zijn van de keuze voor een van deze categorieën
- Aangeven hoe de kosten van conditie afhankelijk onderhoud het optimum vormen tussen preventief en correctief onderhoud
- Iets vertellen over storingen, balans, belastingen, externe systeembelastingen en faalmechanismen
- Aangeven waarom conditie metingen belangrijk zijn en wat voor metingen je kunt doen om conditie te monitoren
- Uitleggen waarom trilling metingen gedaan worden aan machines en wat de 4 meest voorkomende oorzaken zijn van trillingen
- Uitleggen hoe trillingen geanalyseerd worden (verplaatsing, snelheid, versnelling)
- Aangeven wat conditiemonitoring inhoud
- Uitleggen wat het P-F interval inhoud
- Iets vertellen over Internet of Things (IoT)

1. Inleiding conditie afhankelijk onderhoud/condition based maintenance.

1.1. Wat verstaan we onder CBM?

Wat is CBM Condition Based Maintenance of CAO Conditie Afhankelijk Onderhoud?

Dat is onderhoud gebaseerd op de conditie van de apparatuur of installatie (ook wel asset genoemd). Condition Based Maintenance (CBM) is een onderhoud filosofie/methodiek gebruikt door de industrie om de gezondheidstoestand van activa/assets/installaties te beheren en om alleen onderhoud uit te voeren wanneer het nodig is en op de meest geschikte manier en op het juiste tijdstip. CBM kan de productie kosten drastisch verminderen en de veiligheid verhogen van de activa/assets/installaties die onderhoud behoeven.

Dus onderhoud gebaseerd op de conditie van de installatie en niet op tijdsbasis.

1.2. Voordelen van CBM

De voordelen van de implementatie van CBM omvatten:

- Hogere systeem/asset beschikbaarheid
- Toenemende systeem/asset betrouwbaarheid
- Toenemende veiligheid van systemen/assets
- Reductie van onderhoudskosten
- Reductie van onderhoudsdelen

Voorbeeld 1:

Een auto gaat normaal gesproken om de 20000 km naar de garage voor een onderhoudsbeurt. Dit noemen we **Gebruikers Afhankelijk Onderhoud** (GAO). Stel je nu voor dat we de parameters kunnen meten die representatief zijn voor de conditie/kwaliteit van de motorolie; dan kunnen we exact aangeven wanneer de motorolie niet meer voldoet aan de specificaties en kunnen we de olie verversen als het nodig is en niet als er 20000 km mee gereden is.

Laten we eens aannemen dat dat gemiddeld bij 28500 km blijkt te zijn en de auto 250000 km rijdt.

Dan heb je bij conditie afhankelijk onderhoud 8 keer olie ververst:

$$\text{Aantal keren olie ververst} = \frac{250000}{28500} = 8,8 \text{ dus } 8 \text{ keer}$$

Bij gebruikers afhankelijk onderhoud zou dat 12 keer geweest zijn:

$$\text{Aantal keren olie ververst} = \frac{250000}{20000} = 12,5 \text{ dus } 12 \text{ keer}$$

Als je dus conditie afhankelijk onderhoud pleegt, dan heb je in dit geval olie en garagewerkplaats uren bespaard. Dit door precies op het juiste moment onderhoud te plegen en niet te vroeg en niet te laat.

De condities van de olie en smeercondities zou je op drie verschillende manieren kunnen monitoren:

1. Slijtage aan
 - Ferro delen
 - Non Ferro delen
2. Vervuiling
 - Stof
 - Water
 - Brandstof
3. Chemisch
 - Olie
 - Toevoegingen (additieven)

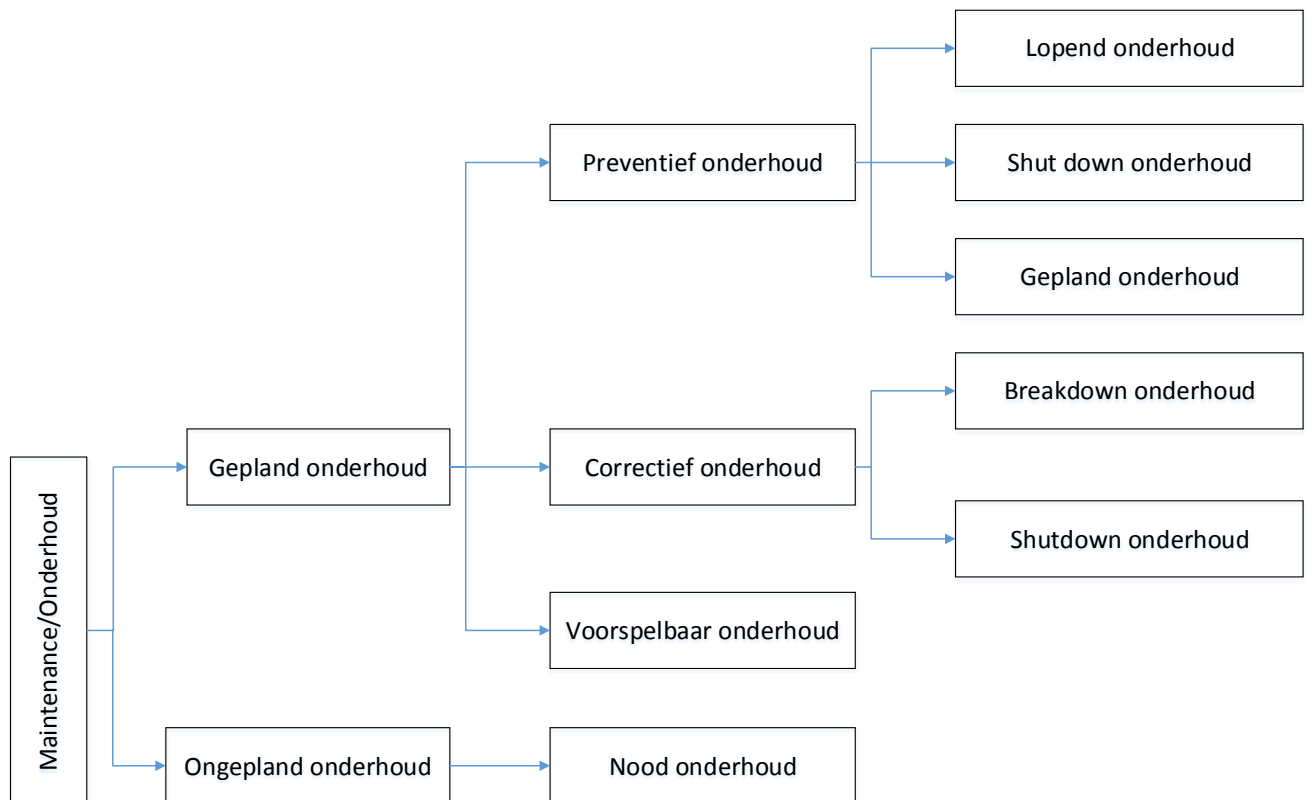
2. Maintenance categorieën, onderhoud keuze en consequenties en kosten CBM

2.1 Maintenance (Onderhoud) classificaties

Onderhoud kan worden onderverdeeld in twee hoofdcategorieën, namelijk:

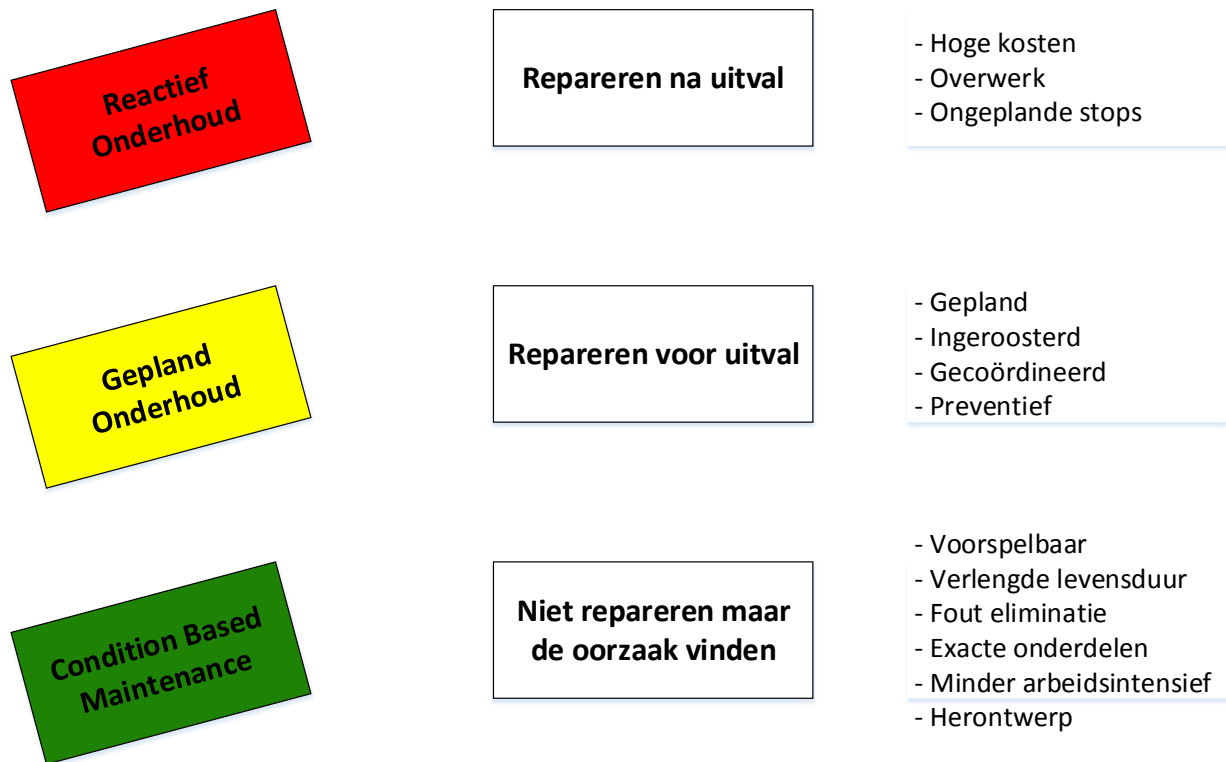
- Gepland Onderhoud en
- Ongepland onderhoud

Deze twee categorieën zijn weer onder te verdelen in subcategorieën, zoals weergegeven in figuur 1.



Figuur 1. Onderverdeling van onderhoud in subcategorieën. ⁽¹⁾

2.2. Relatie onderhoud en consequenties



Ongeplande stops zijn per definitie onveiliger en zijn vaak niet voorzien van een goede RIE (Risico Inventarisatie en Evaluatie)

Figuur 2. Relatie tussen onderhoud en consequenties

Voorbeeld 2:

TPMS

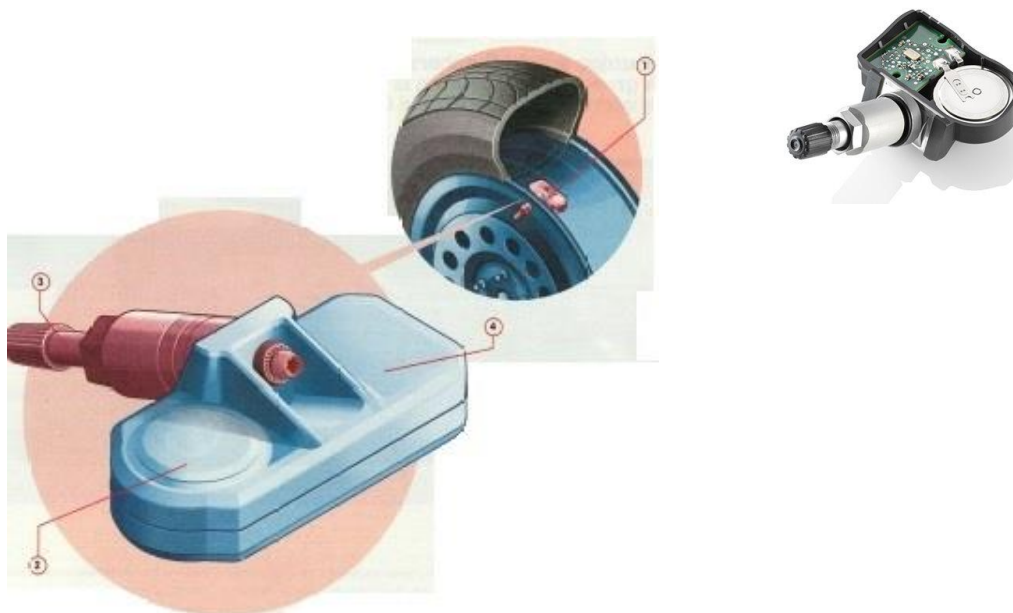
Vanaf 1 november 2014 moet elke nieuwe personenauto in de EU over het TPMS beschikken. Dit heeft de Europese Commissie bepaald. Maar wat is TPMS eigenlijk?

Wat is TPMS?

TPMS staat voor Tyre Pressure Monitoring System. In het Nederlands noemen we dit systeem ook wel BSCS “het bandenspanningscontrolesysteem”. Dit systeem is bedoeld om de bandenspanning te controleren en is een vast onderdeel van auto's uit november 2014 en later. Wanneer de bandenspanning te laag of te hoog is, verschijnt er een waarschuwing in het display van de auto.

Dankzij dit systeem ben je er op tijd bij en rijd je de band niet helemaal aan gort.

Daarnaast weet je ook wanneer je bandenspanning te laag is en de weerstand tussen band en wegdek niet helemaal meer optimaal. Dit heeft invloed op het brandstofverbruik en dus ook op de kosten. Het TPMS systeem bevordert uiteraard ook de duurzaamheid!



1. sensor Bandenspanning
2. Plek voor batterijtje
3. Ventiel
4. Drukopnemer/zendergedeelte

Figuur 3. TPMS bandenspanningscontrolesysteem. ⁽²⁾

Hoe werkt het?

Er zijn twee meetsystemen. De een is een druksensor in het ventiel, die de bandenspanning meet en doorgeeft aan je autocomputer. De ander werkt via de ABS sensor. Als er lucht ontsnapt uit een band is de wielomtrek kleiner en moet een wiel meer omwentelingen maken dan in het geval van een juiste bandenspanning. Dit verschil in wielomtreksnelheid meet de ABS sensor. Deze manier van meten is simpeler en goedkoper, maar heeft als nadeel dat het minder snel en nauwkeuriger is.

Waardoor slijt het systeem?

De druksensoren in het ventiel werken op een batterij. Die kan leegraken en storingen geven. De ventielen van een TPMS zijn van aluminium en kunnen afbreken.

Na een controle of wijziging van de bandenspanning moet vaak in het menu van de auto het bandenspanningscontrole systeem gereset worden.

CBM of CAO dus!

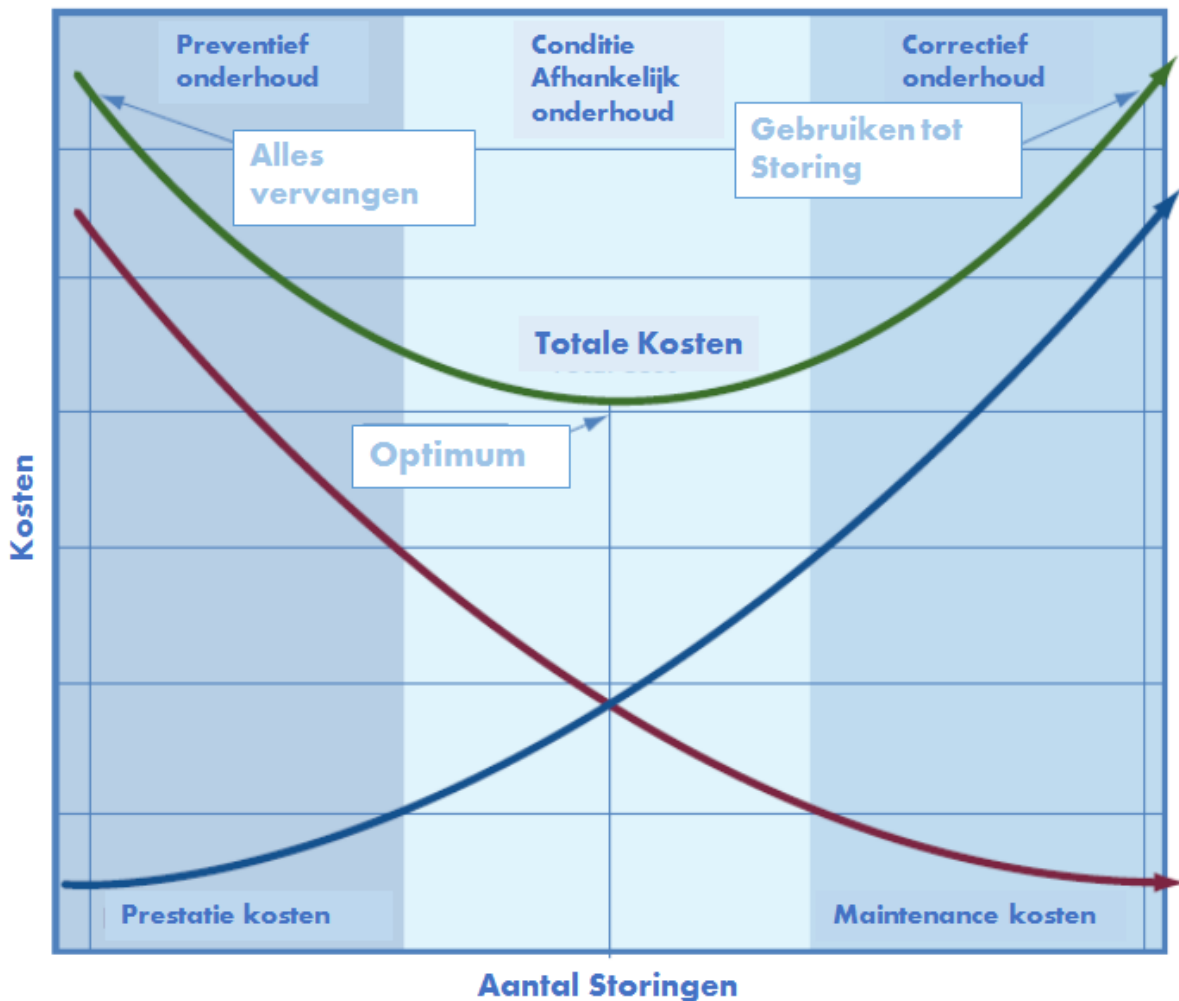
Zo zie je dat dit een vorm is van condition based maintenance in een alledaagse toepassing, met de volgende voordelen:

- **Verbetering van de verkeersveiligheid en minder ongevallen**
Met een te lage bandenspanning wordt de remweg langer, heb je minder grip en kunnen de banden oververhit raken waardoor je een klapband kunt krijgen.
- **Verminderen brandstofverbruik**
Met de juiste bandenspanning verbruik je minder brandstof. Dit is niet alleen beter voor het milieu maar ook voor je portemonnee.
- **Minder bandenslijtage**
Met de juiste bandenspanning slijten je banden minder snel. Dankzij de tijdige waarschuwing van TPMS kun je snel wat aan het spanningsverlies laten doen. Dit is niet alleen goed voor je grip en veiligheid maar ook voor de levensduur van jouw banden en dus voor je portemonnee. Want 30% te lage bandenspanning betekent 50% meer slijtage.
- **Juiste onderhoudsmoment**
Je weet exact wanneer je banden weer op spanning gezet dienen te worden en als je regelmatig meldingen krijgt van het TPMS dan zijn je banden wellicht aan vervanging toe.

2.3. Kosten van CBM

Indien je onderhoud niet te vroeg uitvoert zoals bij planmatig onderhoud en niet te laat zoals bij correctief onderhoud, maar conditie afhankelijk uitvoert, reduceer je, onder andere, de kosten.

Figuur 4 toont de relatie tussen preventief onderhoud, correctief onderhoud en conditie afhankelijk onderhoud.



Figuur 4. CBM optimaliseert de kosten tussen preventief en correctief onderhoud. ⁽⁴⁾

In het licht van verouderde activa/assets/installaties biedt CBM kansen om ook met deze activa/assets/installaties nog steeds rendabel te kunnen produceren.

3. Storingen, balans en belastingen ⁽⁶⁾

Onder een storing of falen verstaan we het bereiken van een dergelijke toestand dat de bedoelde functie van het onderdeel of systeem niet langer kan worden vervuld.

Dit is niet altijd direct (fysiek) zichtbaar dus en betekent niet dat de gehele installatie faalt.

Voorbeeld 3:

Stel dat een pomp ontworpen is om een koelsysteem te kunnen voorzien van 30 m³ koelwater per uur en hij normaal ingesteld staat om 25 m³ koelwater per uur te leveren en hij kan (om welke reden dan ook) nog maar maximaal 26 m³ koelwater per uur leveren dan hoeft dat niet gelijk op te vallen. Waarschijnlijk krijg je pas alarm als de pomp onder de 25 m³ koelwater per uur komt.

Onderscheid dient gemaakt te worden tussen:

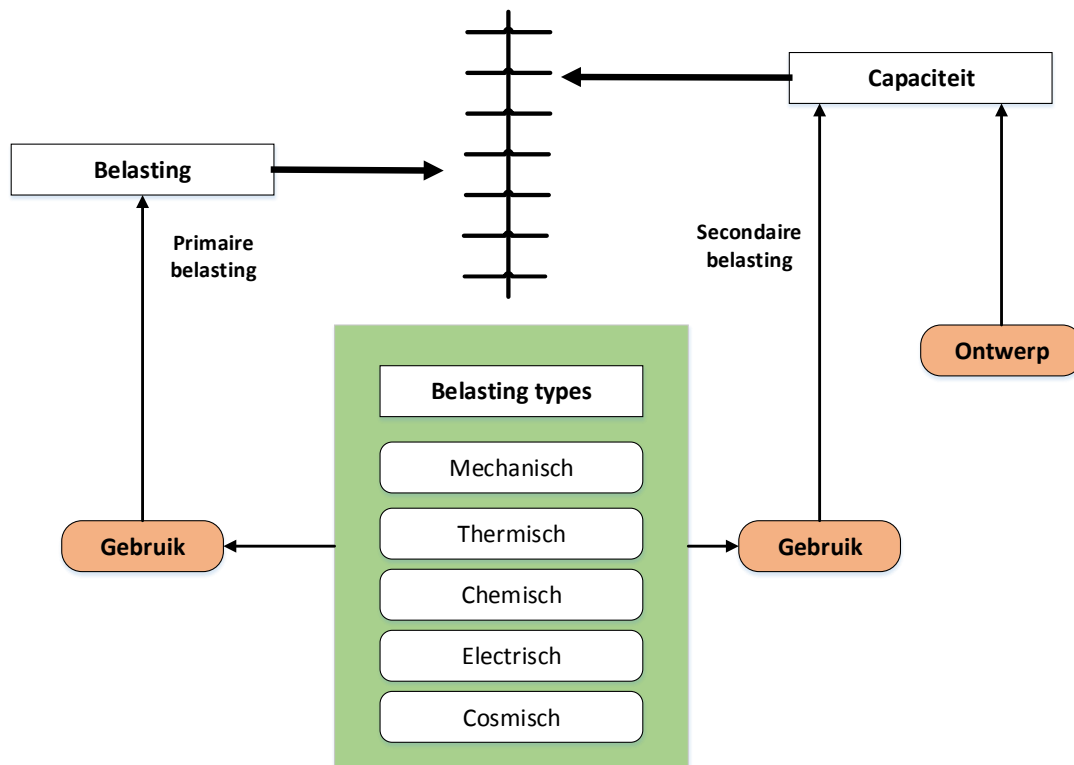
- faal modus en
- faalmechanisme

De faalmodus is de manier waarop een systeem of component functioneel faalt, dat wil zeggen, beschrijven in welke mate een bepaalde functie niet meer kan worden vervuld.

Fysieke storingen, aan de andere kant, zijn te wijten aan een fysisch of chemisch proces of mechanisme dat verslechtering van de component tot gevolg heeft en uiteindelijk tot het fysieke falen leidt. Dit proces wordt het faalmechanisme genoemd.

In algemene zin is een faalproces altijd het gevolg van een onbalans tussen de belasting van een systeem en de belastingcapaciteit van dat systeem. De belasting is de mate waarin een onderdeel of systeem wordt blootgesteld aan externe invloeden. De belastingcapaciteit van een onderdeel of systeem is de mate waarin het bestand is tegen de externe invloeden of bestand is tegen falen.

Als de belasting de belastingcapaciteit van het systeem overstijgt, zal het falen. Dit is schematisch weergegeven in figuur 5.



Figuur 5. Schematische weergave van de relatie tussen belasting en belastingcapaciteit.

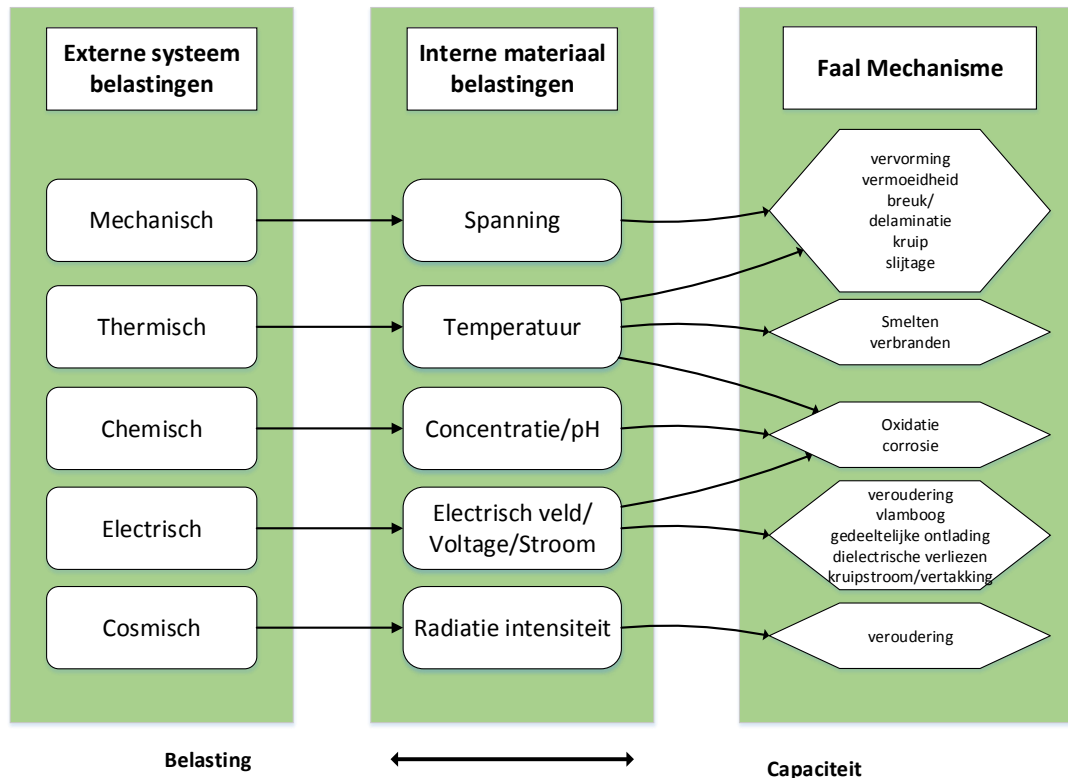
De belastingcapaciteit van een systeem wordt grotendeels bepaald tijdens de ontwerp fase, waar materialen en productiemethoden worden geselecteerd en beslissingen over vorm en afmetingen worden genomen. Eenmaal gebouwd ligt de belastingcapaciteit dus vast.

De belasting van het systeem wordt daarentegen voornamelijk bepaald door de manier waarop het systeem wordt gebruikt. Grootheden zoals rotatiesnelheid, warmteproductie of toegepaste spanning, die het gevolg zijn van een specifiek gebruik, bepalen de belastingen die op of in het systeem optreden. De belastingen op het systeem veroorzaakt door het gebruik noemen we primaire belastingen.

In veel gevallen, beïnvloeden de belastingen ook de belastingcapaciteit. Bijvoorbeeld de sterkte van een materiaal kan afnemen als de temperatuur stijgt (thermische belasting) en de mechanische eigenschappen van een kunststof gaan achteruit na een langdurige blootstelling aan UV straling (stralingsbelasting). Deze vormen van belasting noemen we secundaire belastingen, zij beïnvloeden de balans tussen belasting en belastingcapaciteit op indirecte manier.

3.1. Externe systeembelastingen en faalmechanismen

(6)



Figuur 6. Overzicht van primaire belasting typen en de daaraan gerelateerde faalmechanismen.

We kunnen belastingen onderverdelen in statische en dynamische belastingen. Het verschil tussen statische en dynamische belasting is de variatie van de belasting in de tijd.

De statische belasting van een brug wordt bijvoorbeeld veroorzaakt door de eigen massa van de brug. De dynamische belasting wordt bijvoorbeeld veroorzaakt door het aantal passerende voertuigen dat in tijd varieert en de wind die in tijd, kracht en richting varieert.

4. Conditie metingen.

Conditiebepaling is het zintuiglijk bepalen van de conditie van een onderdeel. (Inspectie) dit is subjectief en is een momentopname.

Conditiebewaking is het meten (natuurkundige grootheden) van het verloop van de conditie over een bepaald tijdvak van een activa/assets/installaties.

Metingen kunnen:

- periodiek bijv. 1 x per maand
voorwaarden: - als conditie niet snel achteruit kan gaan
 - als gevolgschade van falen klein is.

Voorbeeld : remtest bij de APK keuring.

- permanent 24 uur/dag
voorwaarden: - als conditie snel achteruit kan gaan
 - als gevolgschade van falen groot is.

Daarnaast dient ook te worden overwogen hoeveel data punten er verzameld worden per meetpunt per tijdseenheid (bijvoorbeeld per seconde, per minuut, per uur). Systemen die een standaard hoeveelheid data verzamelen en waarbij de data verzameling frequentie verhoogd wordt, bij minimaal gedetecteerde afwijkingen zijn gebruikelijk. Deze systematiek voorkomt het verzamelen en bewaren van veel nutteloze data.

Conditiebewaking is objectief en laat trends zien.

Voorbeeld : Intensive Care of bewaking krachtcentrale.

We voeren Conditiebewaking uit om zich ontwikkelende storingen tijdig aan te zien komen, en tijdig onderhoudsactie in te kunnen plannen, om onverwachte storing te kunnen voorkomen en zodoende menselijke en materiële schade te voorkomen.

De methode voor conditiebewaking ziet er als volgt uit:

1. Je meet een grootheid (temperatuur, snelheid, druk) die je informatie geeft over de conditie van de machine.
2. De meetwaarden vergelijk je met een norm; wat is de normale of standaard waarde
3. Je interpreteert de meetwaarden en bepaald of het verloop normaal of abnormaal is
4. Er wordt actie ondernomen indien noodzakelijk.

Trend.

Meetwaarden van verschillende tijdstippen kunnen in een trend worden uitgezet. Dit geeft een beeld hoe de conditie zich ontwikkelt. Actuele meting vergelijken met nulmeting (conditie optimaal)

Om de conditie van een asset of installatie goed te kunnen monitoren moet je dus over representatieve data beschikken van de activa/assets/installaties. Om dit goed te monitoren kun je denken aan verschillende meetmethodieken, die informatie over de toestand verschaffen. Je kunt dus Natuurkundige grootheden meten, zoals:

- Vibratie -of trilling metingen
- Temperatuur metingen (spot of beeld = thermografie)
- Druk metingen
- Verplaatsingen
- Snelheidsmetingen
- Versnelling
- Olie analyses (samenstelling)
- Analyse van slijtdeeltjes
- Spanning of stroommetingen
- energieverbruik
- Spanning/Rek/Schok
- Positie
- Aantal deeltjes/samenstelling

De metingen dienen aan zeker aan de twee onderstaande criteria te voldoen:

1. betrouwbaar (juiste methode, instrument en omstandigheden)
2. reproduceerbaar (zelfde meetresultaat als collega of ander meetinstrument)

Daarnaast kan er ook gebruik gemaakt worden van data beschikbaar in de besturing systemen en historische data. Denk daarbij bijvoorbeeld aan:

- Klepstanden (Motor Values = MV's) en/of uitgangssignalen van regelaars
- Flowtrends van geautomatiseerde processen
- Temperatuurtrends van geautomatiseerde processen
- Druktrends van geautomatiseerde processen
- Niveautrends van geautomatiseerde processen
- Intervaltijden van aan en uit schakelen van apparatuur
- Data van frequentieregelaars
- Stroom, spanning, vermogen, verbruik

4.1. Analogie conditiemetingen bij mens en machine/installatie/asset

Vergelijking tussen machine/component en mens



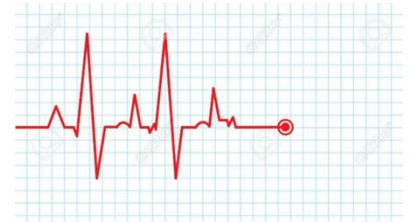
Hartslag beluisteren



Temperatuur meten



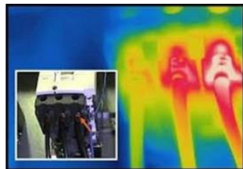
Bloed analyses



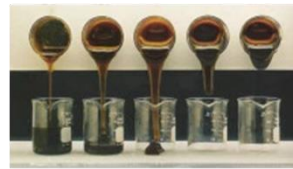
Cardiogram



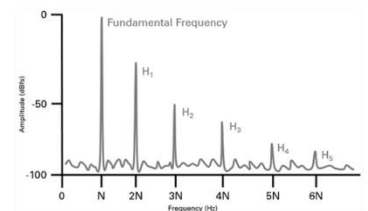
Vibratie meten



Thermografie opname



Olie analyse



FFT kenmerken

Figuur 7. Conditie monitoring machine /component in vergelijking met de mens.

4.2. Voorbeelden van meetmethoden en wat je kunt monitoren

1. Trilling/ vibratie metingen

De onderstaande problemen kun je onder andere monitoren middels trilling/vibratie metingen:

- Onbalans
- Uitlijning
- Lager conditie/slijtage
- Elektrische defecten

Hieronder een aantal voorbeelden van waar je dit toe zou kunnen passen.

- Hijskranen
- Compressor motoren
- Remweerstand / tractie koelventilatoren
- HVAC installaties en apparatuur
- Dynamo's
- Turbo laders
- Tandwielkasten
- Electrische motoren
- Koelsysteem pompen
- Smeeroliepompen
- Brandstofpompen
- Vloeistof (chemische) pompen
- Diesel motoren
- Aandrijfassen

2. Ultrasonic analyses

De onderstaande problemen kun je onder andere monitoren middels ultrasone metingen:

- Luchtlekkages
- Electrische problemen
- Mechanische problemen

Hieronder een aantal voorbeelden van problemen waar je dit toe zou kunnen passen.

- Kleppen en appendages
- Lucht toevoer leidingen
- Flexibele slangen
- Pneumatische systemen
- Druk systemen
- Vacuüm systeem problemen
- Compressoren
- Condenspotten

3. Thermografie

De onderstaande problemen kun je onder andere monitoren middels trilling/vibratie metingen:

- Electriche problemen
- Mechanische problemen
- Piping problemen
- Isolatie problemen

Hieronder een aantal voorbeelden van problemen waar je dit toe zou kunnen passen.

- Electriche problemen
- Hoge weerstand verbindingen
- Gecorrodeerde/ Hete verbindingen
- Aard verbindingen / Hogere belastingen
- Relais problemen
- interne zekering schade
- Interne stroomonderbreker fout
- Beschadigde isolatie
- overbelasting of ongebalanceerde belasting
- Electriche rails fouten
- Koppelingen
- Koel –en verwarmingsmantels

5. Trilling metingen aan machines

(9) IC Istec

Voor machines met roterende onderdelen zoals stoomturbines, gasturbines, generatoren, compressoren is condition monitoring in de vorm van trilling metingen een betrouwbare methode van machine-conditiebewaking. De trillingen op diverse frequenties, en de wijze waarop trillingen toenemen kunnen veel zeggen over de conditie van lagers (zowel wentellagers al glijlagers), de nauwkeurigheid van de machine-uitlijning, onbalans, et cetera.

Specialisten kunnen aan de hand van de data die door trilling sensoren worden gegenereerd bepalen waar zich problemen voordoen, waar problemen aan het ontstaan zijn en wanneer er dus onderhoud nodig zal zijn. Door deze voorspellende werkwijze kan worden bepaald of het onderhoud kan worden gecombineerd met een turn-around die al ingepland staat, of dat er wellicht een stop moet worden ingepland. Hierdoor is condition based maintenance kostenbesparend en wordt de kans op onverwachte stops nihil.

5.1. De 4 meest voorkomende oorzaken van trillingen bij roterende machines

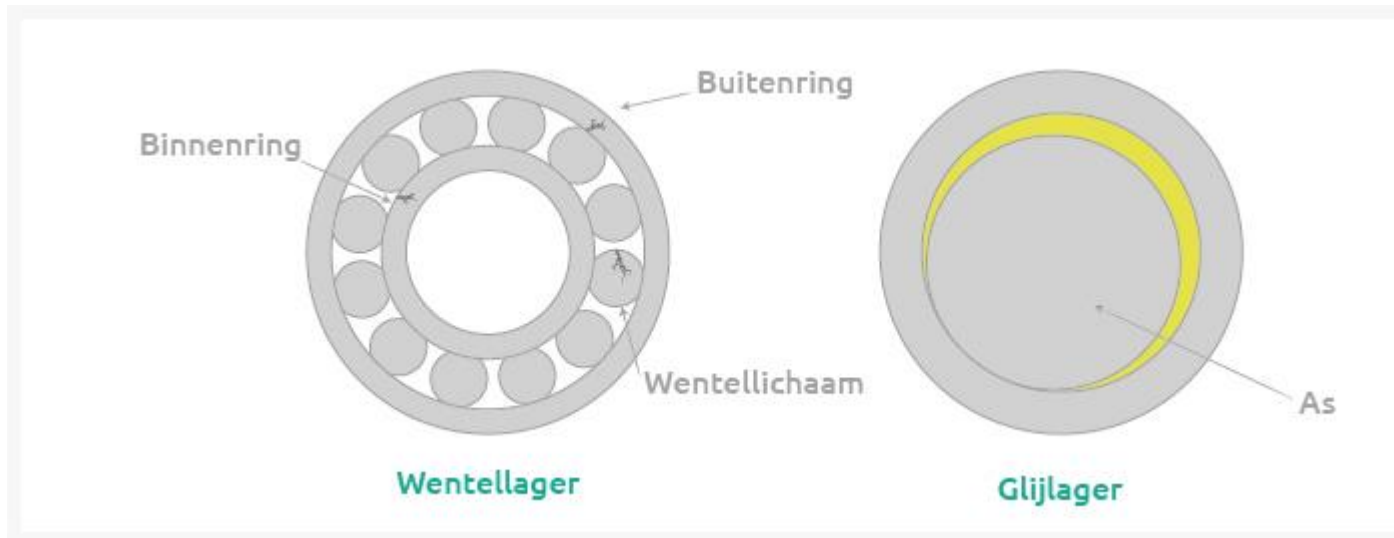
Trillingen bij roterende machines, zoals pompen, motoren, turbines en compressoren zijn bijna altijd een signaal dat de machine niet optimaal functioneert. Een machine die langdurig verhoogde trillingen ondergaat zal niet de verwachte levensduur halen en daarnaast kan het voor (levens)gevaarlijke situaties zorgen. Het is daarom belangrijk om de oorzaak van een trilling te achterhalen door middel van trilling metingen. In dit artikel beschrijven we in het kort de vier meest voorkomende oorzaken van trillingen bij roterende machines.

Oorzaken van trillingen

Trillingen aan een roterende machine kan één of meerdere oorzaken hebben en om de oorzaak/oorzaken van een trilling te vinden maken we gebruik van trilling sensoren. Op basis van vele jaren ervaring en vele trilling analyses komen wij tot deze vier meest voorkomende oorzaken van trillingen aan roterende machines:

- A. Schade aan lagers
- B. Beschadigde of versleten tandwielen
- C. Uitlijningsproblemen
- D. Onbalans

A.Schade aan lagers



Figuur 8. Verschillende types lager schade.

In roterende machines komen we diverse soorten lagers tegen waarbij rollagers en glijlagers de twee hoofdtypen zijn.

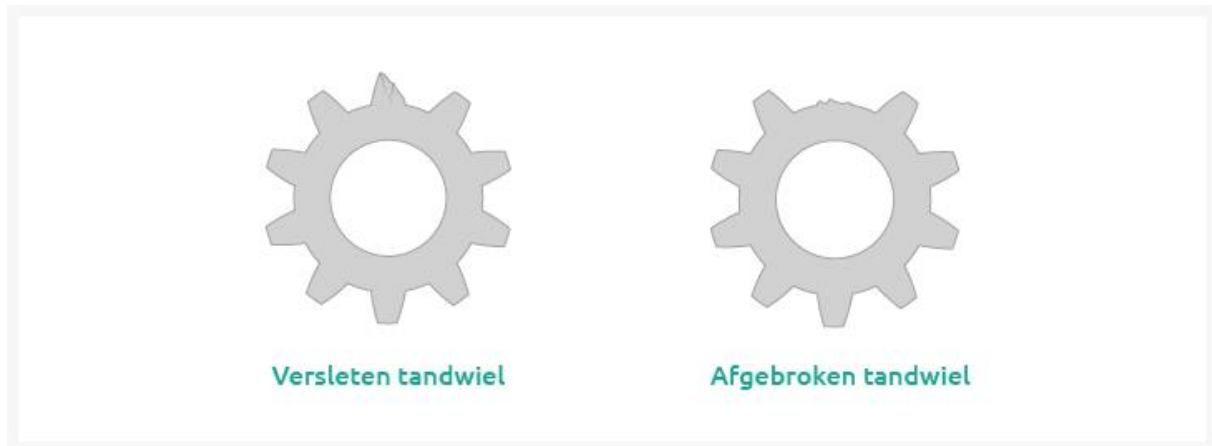
Een rollager kan vier mogelijke schades hebben waar trillingen door ontstaan:

- Schade aan de buitenring
- Schade aan de binnenring
- Schade aan de kooi
- Schade aan het wentellichaam. Denk hierbij aan kogels, cilinders, tonnen, kegels en naalden.

Ieder onderdeel van een rollager heeft een eigen frequentie en door deze frequenties te berekenen is via de trilling analyse te achterhalen dat het om schade aan een rollager gaat. De mogelijke onderliggende oorzaken van lager schade zullen we hier verder niet bespreken want die lopen erg uiteén.

In tegenstelling tot een rollager gebruikt een glijlager geen wentellichamen om de as te laten draaien maar een oliefilm. Trillingen kunnen voortkomen uit onjuistheden in de oliefilm: Wanneer er geen stabiele smeerfilm opgebouwd kan worden zal deze doorbroken worden wat kan resulteren in een oil-whip of oil-wirl. Daarnaast is dit type lager gevoelig voor externe invloeden omdat de positie van de as in het lager niet gefixeerd is zoals bij een rollager.

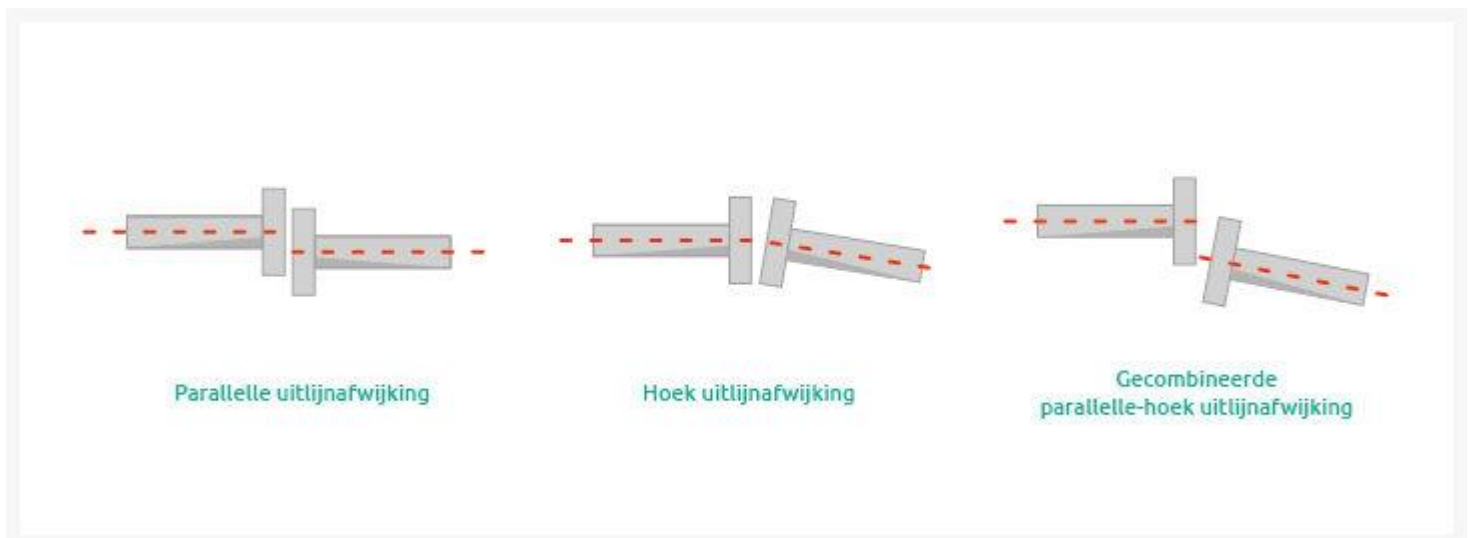
B. Beschadigde of versleten tandwielen



Figuur 9. Tandwiel schade.

In tandwielkasten komt een trilling vaak voort uit een beschadigde of versleten tand van een tandwiel. Op het moment van tandingrijping kan niet dezelfde kracht worden overgebracht als die bij andere tandwielingrijpingen wordt overgebracht. Wanneer er sprake is van een afgebroken tand wordt er op dat tandwiel verminderde kracht overgebracht. Hierdoor ontstaan trillingen bij tandwielkasten.

C. Uitlijningsproblemen



Figuur 10. Uitlijning problemen.

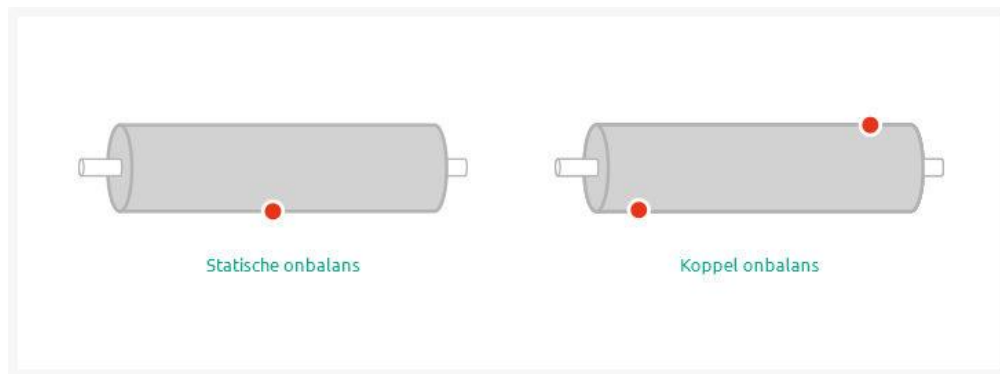
Wanneer twee of meer roterende machines gekoppeld zijn is het belangrijk dat deze goed van elkaar worden uitgelijnd.

Dit houdt in dat de hartlijnen van de as van beide machines precies in elkaars verlengde moeten liggen. Er zijn diverse typen uitlijningsfouten:

- Parallelle uitlijnafwijking: de assen staan niet recht op elkaar. Dit wordt ook wel parallel uitlijnfout genoemd.
- Hoek uitlijnafwijking: de assen staan onder een hoek met elkaar uitgelijnd
- Gecombineerde parallelle-hoek uitlijnafwijking
- Torsietrilling: de as wringt heen en weer

De oorzaken van deze uitlijningsfouten kunnen weer voortkomen uit een ongelijke fundatie, uitzetting door temperatuurfluctuaties, onnauwkeurige montage, et cetera.

D. Onbalans



Figuur 11. Vormen van onbalans.

Machine-onbalans komt voort uit een onderdeel waarbij het zwaartepunt zich niet exact in het midden bevindt. Hierdoor ontstaan trillingen en versnelt de slijtage van het materiaal. Wanneer een machine in onbalans is kan dit voor grote schade zorgen aan de machine zelf, de fundatie, leidingen, et cetera. Er zijn in principe drie vormen van onbalans: statische onbalans, koppel onbalans en dynamische onbalans.

Statische onbalans

Er is sprake van een statische onbalans als de rotor naar beneden draait totdat het zwaarste punt recht naar beneden hangt. Deze vorm van onbalans is visueel waar te nemen wanneer de as niet draait.

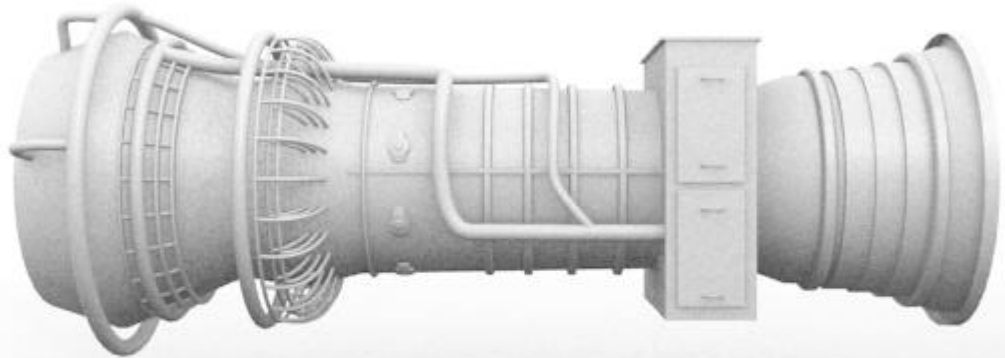
Koppel onbalans

Een koppel onbalans kan niet visueel waargenomen worden tijdens rust. Met een koppel onbalans liggen namelijk twee gelijke gewichten 180° tegenover elkaar waardoor de rotor in balans is tijdens rust. Wanneer de rotor echter zal gaan roteren zullen deze gewichten (krachten) in tegenovergestelde richting gaan bewegen met als gevolg dat de uiteinden van de as in tegenovergestelde richting gaan trillen. Dit is terug te zien in trilling analyses met 180° uit fase trillingen.

Dynamische onbalans

In de praktijk zullen onbalansen voortkomen uit een combinatie van de eerder genoemde onbalansen.

6. De basis van machinetrillingen en trilling metingen ⁽⁹⁾ IC Istec



Wat zijn machinetrillingen en waarom zou je ze meten? Onder trillingen wordt verstaan: een regelmatige opeenvolging van afwijking ten opzichte van de rustpositie. In een ideale situatie zou een machine geen trillingen produceren. In de praktijk is dit echter niet het geval; door fabricage fouten, gebruik en slijtage ontstaan er trillingen in de machine.

De machine komt door slijtage in een soort cyclus; de trillingen veroorzaken slijtage, wat weer meer trillingen veroorzaakt. Trillingen in machines geven veel informatie over de staat van de machine, het benodigde toekomstige onderhoud en eventuele schade.

Het is belangrijk om trillingen in een vroeg stadium vast te stellen zodat schade kan worden voorkomen. De gevolgen van trillingen moeten niet worden onderschat. Trillingen in een turbine bijvoorbeeld, kunnen catastrofale gevolgen hebben voor mensen, het milieu en de fabriek. Het vroegtijdig vaststellen van trillingen en de oorzaak ervan zorgt ervoor dat onnodige ongevallen en hoge kosten kunnen worden voorkomen. Vaak zijn hier slechts kleine onderhoudsingrepen of reparaties voor nodig.

6.1. Oorzaken van machinetrillingen

Er zijn veel oorzaken waardoor machinetrillingen kunnen ontstaan. De meest voorkomende worden hieronder uitgelegd.

Repeterende krachten

Repeterende krachten ontstaan door een krachtpatroon dat zich steeds herhaalt. Vaak worden deze krachten in machines veroorzaakt doordat:

1. De machine is ongebalanceerd:
*Het zwaartepunt van een roterend machineonderdeel ligt niet in het midden.
Hierdoor ontstaat een repeterende kracht op de machine.*

2. De machine is verkeerd uitgelijnd:
Machineonderdelen buigen tijdens rotatie waardoor repeterende krachten op de machine ontstaan.
3. Slijtage aan de machine:
Machineonderdelen slijten door het gebruik. Denk hierbij aan bijvoorbeeld lagers en tandwielen. Hierdoor kunnen repeterende krachten ontstaan.
4. Onjuiste werking van de machine:
Een onregelmatige energietoevoer kan zorgen dat repeterende krachten ontstaan.

Resonantie

Er bestaat een zekere natuurlijk vibratie bij elke machine. Elke machine heeft bepaalde resonantiefrequentie (of meerdere). Wanneer deze resonantiefrequentie samenvalt met het toerental ontstaat er resonantie; versterking van de trillingen. Wanneer het gaat om een relatief kleine kracht zal dit niet veel problemen veroorzaken. Grote krachten echter, kunnen catastrofale gevolgen hebben. Dit is dan ook de reden dat militairen niet over een brug marcheren maar de brug overgaan in vrije pas.

Losse onderdelen

Door oorzaken als lagers met te veel speling, losse bouten en corrosie, kan de machine gaan trillen. Door de enorme krachten in de machine kunnen losse onderdelen snel leiden tot schade.

Trilling vormen

Er worden drie soorten trilling vormen onderscheiden:

A-periodieke trillingen

Bij deze trillingen worden de bewegingen niet herhaald met de tijd. Hierdoor kan het gedrag niet voorspeld worden.

Overgangstrillingen

Deze trillingen kunnen slechts gedurende een bepaalde tijd worden waargenomen.

Periodieke trillingen

Dit zijn trillingen die zich herhalen. Dit zijn de meest voorkomende trillingen bij machines.

Wat kun je met trilling metingen voorkomen?

Het (laten) uitvoeren van trilling metingen kost uiteraard geld. Het is dus belangrijk om in te zien wat ermee voorkomen kan worden, ofwel; welke kosten bespaard kunnen worden.

Ernstige machineschade

Wanneer trillingen niet vroegtijdig worden vastgesteld, ontstaat er vaak ernstige schade aan de machine. In de meest extreme gevallen moet de gehele machine worden vervangen. Vroegtijdig vaststellen van de oorzaak van trillingen kan een hoop kosten besparen en komt tevens de veiligheid ten goede.

Hoog energieverbruik

Trillende machines verbruiken meer energie. Er is namelijk extra energie nodig om de trillingen te weerstaan. Door de conditie van de machine te meten kan dit tot een minimum beperkt worden.

Ongeplande stilstand

Wanneer de conditie van een machine niet gemeten wordt kan een machine zomaar defect raken. Een ongeplande stilstand is het gevolg. Omdat veel fabrieken in procesindustrie constant operationeel dienen te zijn, levert dit enorm hoge (onnodige) kosten op. Dit kan in veel gevallen door middel van simpele ingrepen worden voorkomen, maar dan dient de conditie van de machine wel te worden gecontroleerd.

Leveringsproblemen

Veel bedrijven moeten zich houden aan bepaalde leveringsafspraken. Wanneer een machine ongepland stil staat door defecte onderdelen of ernstige schade is de kans groot dat het bedrijf zich niet aan deze afspraken kan houden. Dit zal zorgen voor klantontevredenheid.

Halffabricaten

Wanneer een machine onverwacht tot stilstand komt blijven er halffabricaten in het proces achter. In veel gevallen moeten deze weg worden gegooid in verband met bederf. In ieder geval levert het onnodige kosten op.

Onnodig onderhoud

Vaak worden onderdelen van machines preventief vervangen om zo te zorgen dat de machine ten alle tijden beschikbaar is. Hierdoor kan het voorkomen dat onderdelen onnodig vervangen worden. Door de conditie van de machine(onderdelen) te meten worden reparaties en vervangingen alleen gedaan wanneer dit daadwerkelijk nodig is.

Kwaliteitsproblemen

Voor het blote oog lijkt het in veel gevallen alsof een machine goed functioneert terwijl dit soms niet het geval is. Er zijn metingen nodig om dit vast te stellen. Indien dit niet gebeurt kan de kwaliteit van de producten eronder leiden.

Condition monitoring

Condition monitoring is controleren van de conditie van machines. Er bestaan hier verschillende methoden voor, maar trilling metingen is de meest betrouwbare methode.

7. Inleiding tot trilling analyse

(11) (13)

7.1. Wat is een trilling?

Trillingen en geluid zijn belangrijke graadmeters voor de conditie van een machine / installatie.

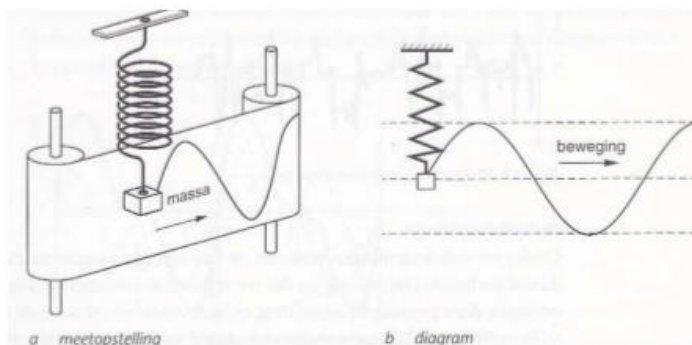
Trilling is het gevolg van periodieke beweging rond evenwichtstoestand.

Trilling = kracht x bewegingsmogelijkheid

In praktijk: speling, onbalans, uitlijnfouten, resonantie.

Een trilling is een heen en weer gaande beweging van een object t.o.v. een ruimtelijke evenwichtspositie, bijvoorbeeld van een glijlager of van het frame van een dieselmotor. Het ritme waarin de heen en weer gaande beweging zich herhaalt is de frequentie van de trilling.

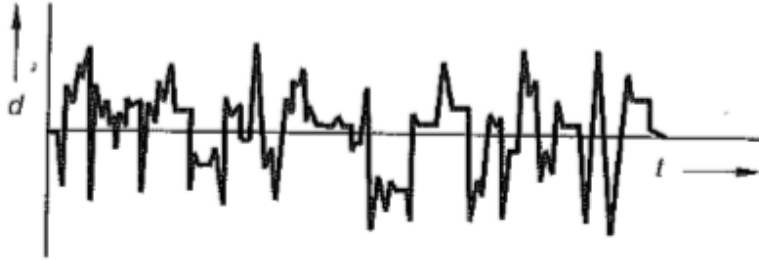
Geluid is het gevolg van trilling (trillend voorwerp → drukgolven in de lucht → trommelvlies vangt drukgolven op → waarnemen van geluid).



Figuur 12. Visualisatie van een trilling

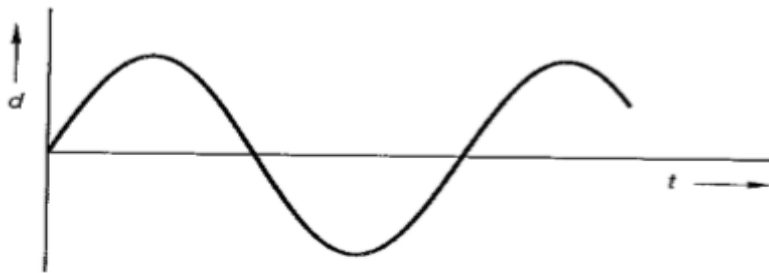
7.2. Trilling vormen

Niet periodiek: willekeurige, onvoorspelbare trilling, die zich niet herhaalt. Is niet te analyseren.



Figuur 13. Niet periodieke trilling

Harmonisch : zuivere (theoretische) sinus. Komt in praktijk niet voor.



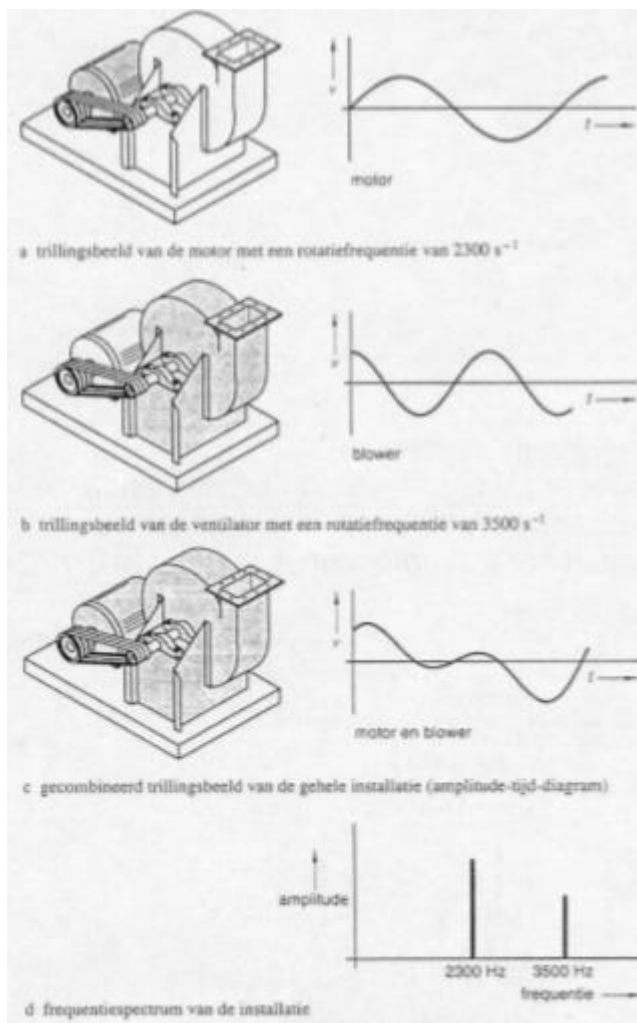
Figuur 14. Harmonische trilling

Periodiek : trilling patroon herhaalt zich om de T seconden. Is vaak samengesteld uit een aantal zuiver harmonische trillingen. Is te analyseren (conditiebewaking)



Figuur 15. Periodieke trilling

Voorbeeld Ventilator = koppeling + waaier + lager



Figuur 16. Opbouw frequentie spectrum van koppeling, waaier en lager van een ventilator

Ontleden van periodieke (samengestelde) trilling in meerdere (enkelvoudige) harmonische gebeurt met de computer door toepassing van FFT (Fast Fourier Analyses) ofwel Fourier Analyse.

7.3. Kenmerken van een periodieke harmonische trilling.

Amplitude d = displacement → intensiteit v.d. trilling

Periodetijd T = time

Frequentie f = frequency → opsporen storingsbron

Met onze apparatuur kunnen we meten: d , f , v en a .

Hiermee hebben we de hele trilling golf in beeld.

We hebben namelijk onze natuurkundige formules.

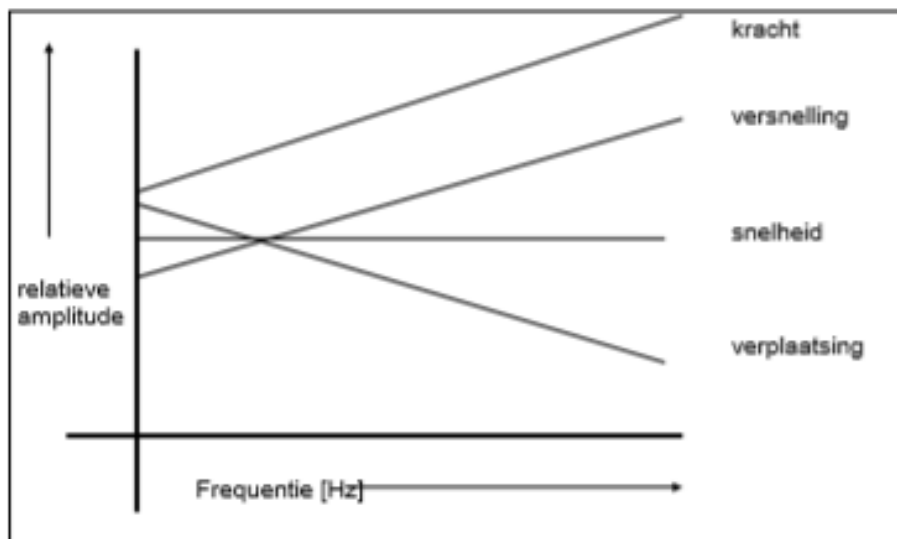
$$f = \frac{1}{T}$$

$$v = d * 2 * \pi * f$$

$$a = v * 2 * \pi * f$$

$$F = m * a$$

De relatie die deze grootheden tot elkaar hebben zijn hieronder weergegeven.



Figuur 17. Relatie tussen de grootheden van een trilling

Al deze (gemeten of berekende) grootheden geven informatie.

7.4. Trillingometers

Menselijk : Gehoor
Technisch : Elektrische opnemer signaal

1.Verplaatsingsopnemers

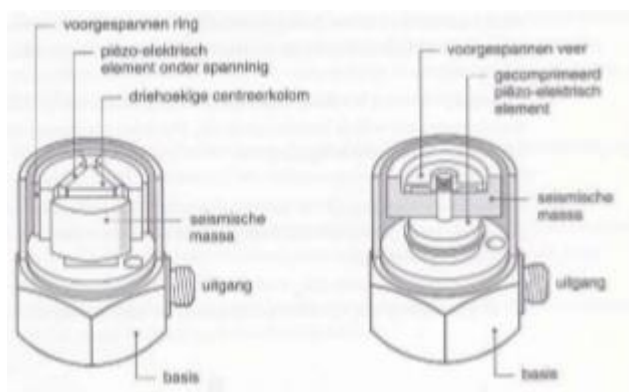
Worden o.a. gebruikt bij de veiligheidsbewaking van kritische glijlagers. De opnemers controleren of de astap in het hart van de lager boring blijft. Hierbij is de smeerfilm tussen lager en astap rondom van gelijke dikte.

2.Snelheidsoptomers

Dit zijn inductieve opnemers. Worden nauwelijks voor trilling analyses gebruikt.

3.Versnellingsopnemers

Dit type opnemer gebruiken we bij trilling analyse. De gemeten versnelling wordt in de computer omgerekend (integreren) naar snelheid en verplaatsing.



Figuur 18. Tekening trilling meting met Piezo-elektrisch element

7.5. Algemene opzet van een trilling meting.

Een trilling wordt gemeten door een trilling opnemer te plaatsen op een object, de opnemer neemt dan de beweging van het object aan. Hoe ziet een trilling meting er in het algemeen uit?



Figuur 19.1: Trilling meting aan gascompressor. Figuur 19.2: Plaatsing trilling opnemer op e-motor.

Een trilling opnemer wordt middels een stevige magneet geplaatst op een machine onderdeel. Bij voorkeur een vlak oppervlak met geen of dunne coating. Op het scherm van het meetinstrument, de 'vibration analyser', kan zichtbaar worden gemaakt:

- a) Het frequentie spectrum van de trilling. Verticaal de amplitude van de trilling en horizontaal het frequentie bereik.
- b) De golfvorm ('tijdbeeld', 'oscilloscoopbeeld'). Verticaal de amplitude van de trilling en horizontaal de tijd.

Moderne analyzers worden gekenmerkt door een grote geheugen opslag capaciteit, diverse specifieke analysefuncties, opties zoals balanceer software, lichtgewicht en batterij gevoed.

Golfvorm analyse (TWF analyse, Time Wave Form) en frequentie spectrum analyse (FFT analyse, Fast FourierTransform analyse) zijn de meest gebruikte analyse methoden. Golfvorm kenmerken en frequentie spectrum kenmerken vertellen de trilling analist waar gezocht moet worden naar de oorzaak van een trilling probleem en waar niet.

7.6. Trillingsleer in theorie.

Een trilling kan in drie grootheden worden uitgedrukt, in verplaatsing (displacement), in snelheid (velocity) en in versnelling (acceleration). De twee belangrijke meetwaarden zijn de amplitude (de grootte van de verplaatsing, snelheid of versnelling) van de trilling en de frequentie van de trilling. De frequentie van de trilling wordt uitgedrukt in [Hz].



Figuur 19.3 Meting op lager van een ventilator.



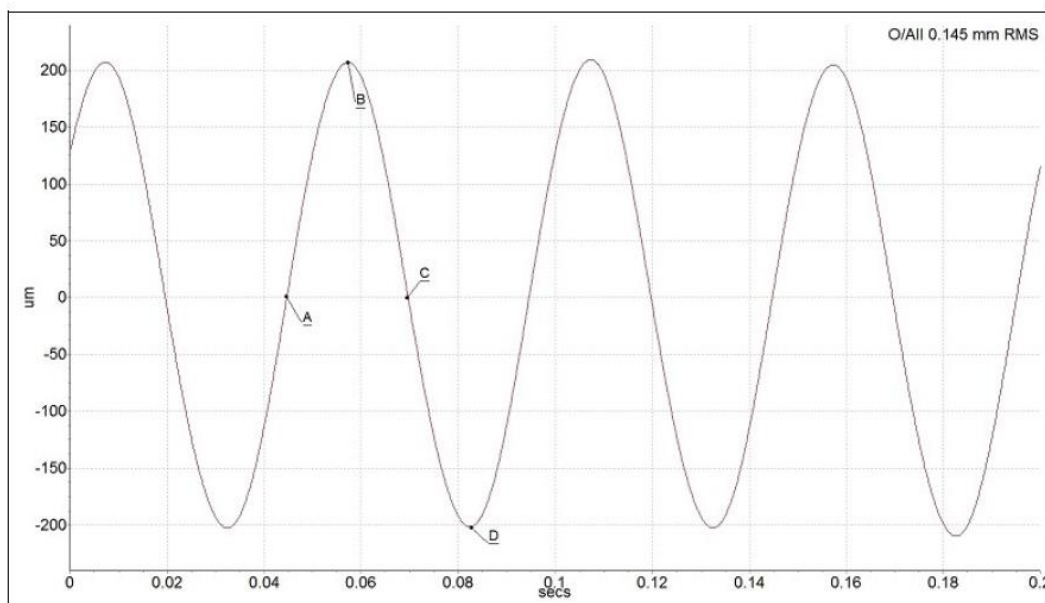
Figuur 19.4 Opnemer verticaal op lager.

Ter toelichting wordt als voorbeeld genomen een ventilator met veel onbalans. Het trillingsniveau wordt dan gedomineerd door één frequentie component, de zgn. onbalans frequentie. Het toerental is 1200 r/min. dit komt overeen met $1200 / 60 = 20$ r/sec. De onbalans trilling heeft een frequentie van 20 Hz. De periode tijd (het ritme) is 50 msec. De trilling opnemer is middels een aangekoppelde magneet stevig op het ventilator lager aan waaierzijde geplaatst, gemeten wordt in verticale bewegingsrichting.

7.7. Een trilling kan worden uitgedrukt in een verplaatsing [m].

De amplitude van de trilling is dan de afgelegde weg of verplaatsing van een object tussen de positie met maximale positieve waarde (uitwijking) en de positie met maximale negatieve waarde. Een praktische meetwaarde is de micron (1 micron = 1/1000 millimeter).

Figuur 20 is een voorbeeld van een verplaatsing, een heen en weer gaande beweging rondom een evenwichtspositie.



Figuur 20. Verplaatsing: heen en weer gaande beweging rondom een evenwichtspositie

In dit voorbeeld is er dus sprake van één frequentie.

De bewegingsvorm is dan een zogenaamde sinusvormige beweging als functie van de tijd. In punt A bevindt het object zich in de evenwichtspositie, tussen A en B neemt verplaatsing in de ene (positieve) richting toe, bij B wordt de maximale (positieve) verplaatsing van $+ 206 \mu\text{m}$ bereikt.

Vervolgens bevindt het object zich weer even in de evenwichtspositie bij punt C, waarna bij D de maximale (negatieve) verplaatsing van $- 206 \mu\text{m}$ wordt bereikt.

Men meet dan: de amplitude van de trilling verplaatsing of het trillingsniveau van het lager is $412 \mu\text{m}$ pk-pk (piek-piek of peak-to-peak).

De frequentie van de trilling is 20 hz. De periodetijd is dan 50 msec. Er passen dus vier sinussen in de tijdbasis van 200 msec van fig 20.

In de punten B en D is de momentele waarde van de verplaatsing maximaal en is de momentele snelheid van het

object op dat moment nul. Het object staat als het ware een ogenblik stil. Tussen B en C neemt de snelheid van

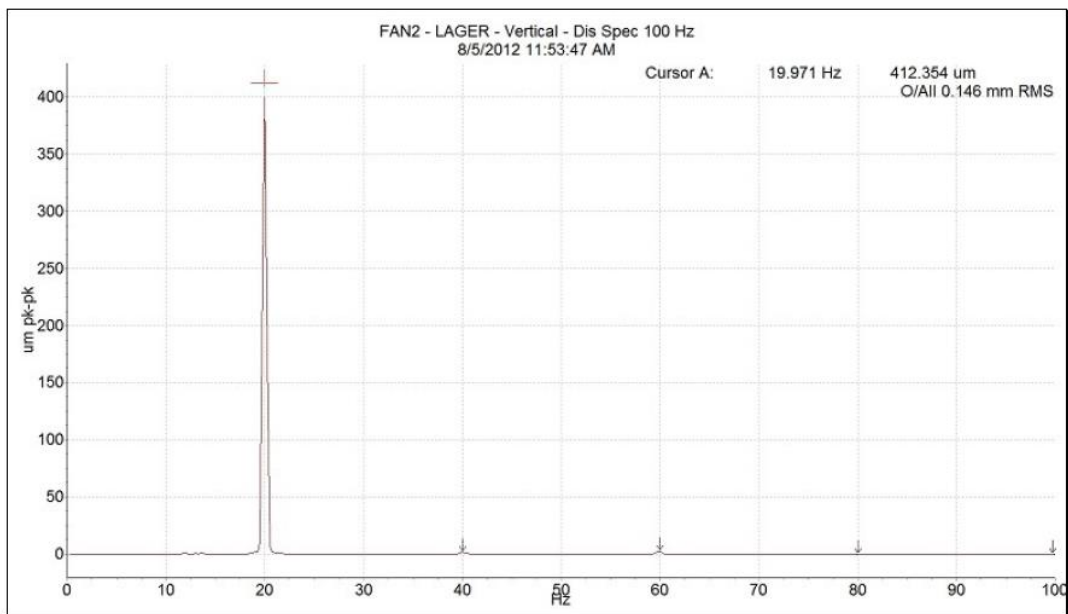
het object toe en tussen de punten C en D weer af. In de punten A en C bevindt het object zich in de ruimtelijke

evenwichtspositie en is de verplaatsing nul maar is de momentele snelheid van het object juist maximaal. Het

object heeft een snelheid welke ook sinusvormig varieert. De trilling kan dus ook in een snelheid worden

uitgedrukt.

Figuur 21 toont het frequentie spectrum van de trilling uitgedrukt in verplaatsing. Bij een sinusvormige golfvorm past één frequentie, en andersom.



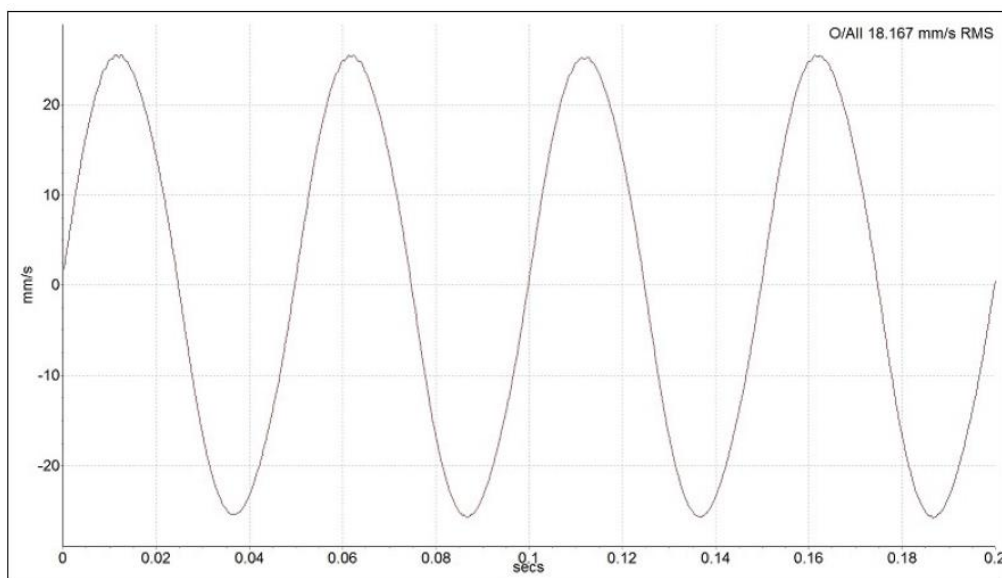
Figuur 21. Frequentie spectrum trilling uitgedrukt in verplaatsing. Bij sinusvormige golf past één Frequentie, en andersom

7.8. Een trilling kan worden uitgedrukt in trilling snelheid [m/s].

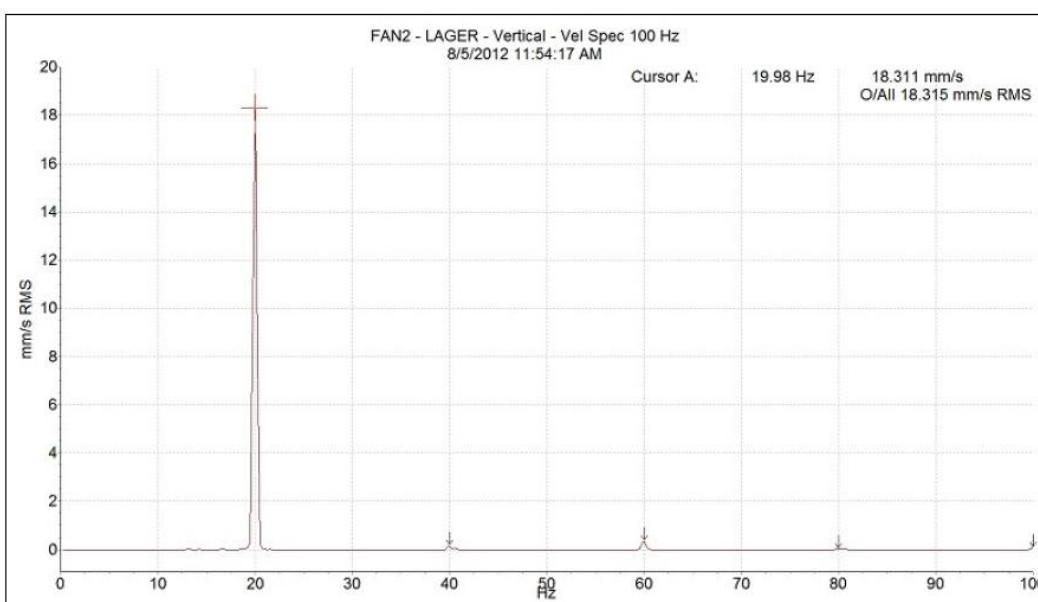
Dezelfde trilling kan ook worden uitgedrukt in trilling snelheid [m/s]. Een verplaatsing tussen een maximale positieve en negatieve waarde zal in een bepaalde tijd plaats vinden. De verplaatsing per tijdseenheid is dan de trilling snelheid. Een praktische meetwaarde is millimeter per seconde [mm/s].

Vindt een verplaatsing met eenzelfde amplitude twee keer zo snel plaats dan is de frequentie twee maal hoger en ook de trilling snelheid is dan twee maal hoger.

Figuur 22 toont de golfvorm en figuur 23 het frequentie spectrum van zelfde onbalans trilling maar dan uitgedrukt in trilling snelheid. Men kan dan bijvoorbeeld meten: de amplitude van de trilling snelheid of het trillingsniveau van het lager is 18.2 mm/s.



Figuur 22. Golfvorm (in trillingssnelheid)



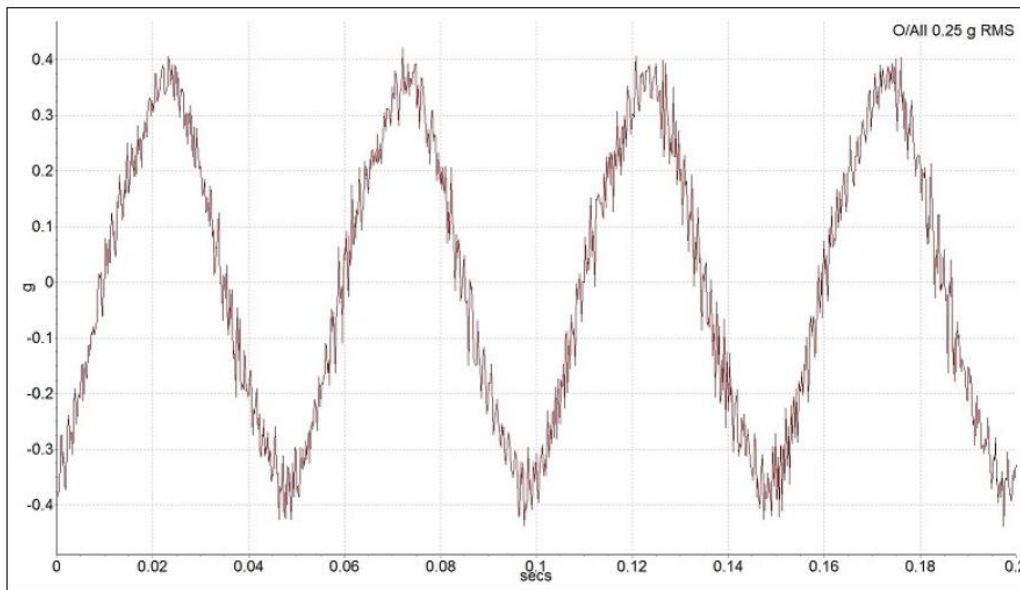
Figuur 23. Frequentie spectrum (in trilling snelheid)

7.9. Een trilling kan worden uitgedrukt in versnelling [m/s^2].

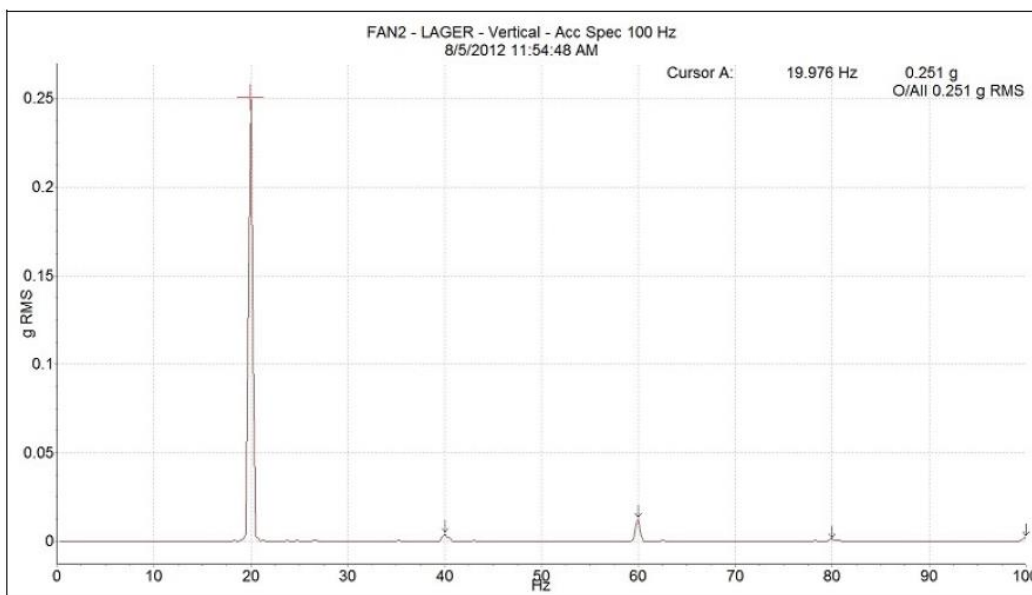
Dezelfde trilling kan ook worden uitgedrukt in versnelling [m/s^2] of meestal [g] waarbij $1 \text{ g} = 9.81 \text{ m/s}^2$.

Zoals de variatie van verplaatsing per tijdseenheid snelheid betekent, zo betekent de variatie van snelheid per tijdseenheid versnelling.

Figuur 24 toont de golfvorm en figuur 25 toont het frequentie spectrum van zelfde onbalans trilling maar dan uitgedrukt in versnelling. Men kan dan bijvoorbeeld meten: de amplitude van de versnelling of het trillingsniveau van het lager is 2.50 m/s^2 of 0.25 g (g is de versnelling van de zwaartekracht, $1 \text{ g} = 9.81 \text{ m/s}^2$).



Figuur 24. Golfvorm (in trilling versnelling)



Figuur 25. Frequentie spectrum (in trilling versnelling)

De golfvorm van figuur 19 laat niet alleen de 20 hz onbalans zien maar kennelijk zitten er ook hogere frequenties in het golfvorm signaal. Relatief lage frequentie componenten zijn goed zichtbaar in een verplaatsing signaal en niet in een versnelling signaal. Evenzo zijn relatief hoge frequentie componenten goed zichtbaar in een versnelling signaal en weer niet in een verplaatsing signaal. Een snelheid signaal is een aardig compromis. Een van de redenen waarom meting van trilling snelheid populair is.

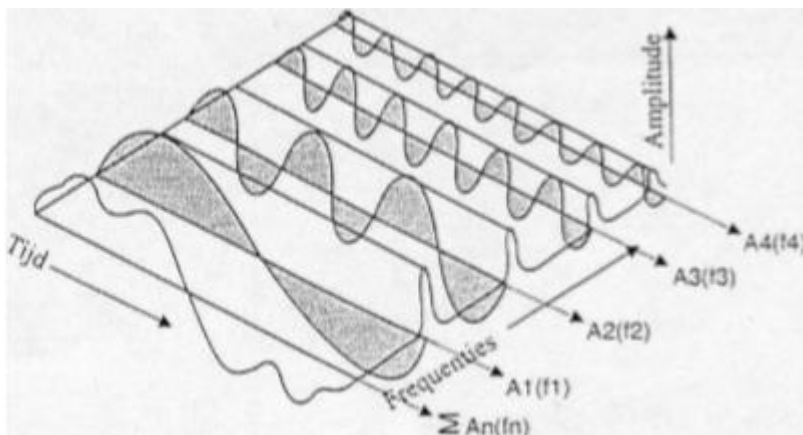
7.10. Frequentiemetingen

Een gemeten trilling beeld is de som van een aantal losse sinusvormige trillingen, die ieder van een bepaalde bron (onderdeel) afkomstig zijn. De computer kan het totale trilling beeld ontleden (FFT). Het vereist wel ervaring om een bepaalde sinus aan het juiste onderdeel toe te wijzen. Je moet de frequentie weten waarop het onderdeel trilt. Hoe kun je trillingen grafisch zichtbaar maken?

Het amplitude-tijd-diagram.

Het totale trilling beeld is zichtbaar gemaakt. Amplitude (uitwijking) als functie van de tijd. Dit diagram geeft ons echter niet de benodigde informatie.

Door de Fast Fourier Transformatie) ontstaat het Frequentieamplitude-diagram



Figuur 26. Frequentie amplitude diagram

Frequentie-amplitude-diagram. (spectrum)

Hier is de amplitude uitgezet als functie van de verschillende frequenties. Iedere frequentie hoort bij een bepaald onderdeel (bron). Wordt de amplitude op een bepaalde frequentie te hoog, dan is de storingsbron vindbaar.

8. Condition Monitoring (conditiebewaking) bij machines ^{(9) IC Istec}

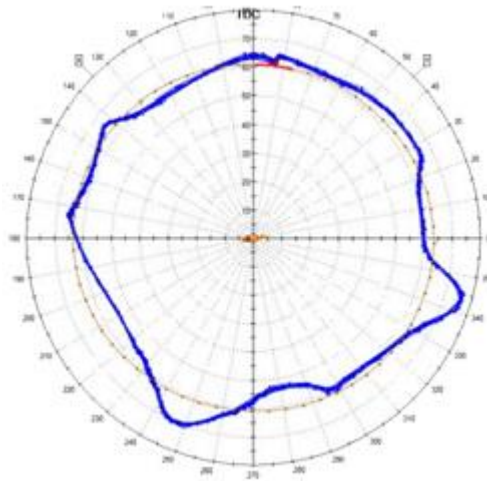


Het bewaken van de toestand van een machine, ook wel condition monitoring of machine-conditiebewaking genoemd, is het monitoren van roterende machines tijdens bedrijf door middel van trilling metingen. Denk hierbij aan turbines, pompen, compressoren, turbo-chargers, motoren, tandwielkasten, blowers, rollen, mixers, et cetera. Maar ook van niet roterende delen zoals bijvoorbeeld filters, pijpleidingen, et cetera. Met behulp van de data die met de metingen wordt gegenereerd kan worden bepaald wanneer onderhoud nodig is. Dit wordt ook wel predictief onderhoud of voorspellend onderhoud genoemd.

Deze aanpak is goedkoper én veiliger dan preventief onderhoud waarbij op voorhand onderdelen worden vervangen zonder te weten of dit wel al nodig is. Het bewaken en monitoren van de conditie van een machine geeft inzicht in slijtage, beschadiging en mechanische risico's van machineonderdelen. Dit voorkomt onnodige en ongeplande stilstand omdat aan de hand van trendanalyses kan worden bepaald of onderdelen al aan vervanging toe zijn.

8.1. Werkwijze

De werkwijze van bijvoorbeeld Istec International is opgebouwd vanuit haar expertise op het gebied van trilling metingen aan roterende machines (zie hiervoor hoofdstuk 5 en 6) . De eerste stap is de installatie van een meetsysteem waarmee periodiek meetgegevens



Figuur 27.

verzameld worden. Uit deze gegevens worden een spectrumanalyse en een trendanalyse gemaakt. Met deze twee analyses krijgt een trilling specialist inzicht in de machine en kan er een beeld worden gevormd of er excessieve schades, slijtages of andere afwijkingen zijn. Het analyseren en interpreteren van de meetgegevens is specialistisch werk, waarbij ervaring en kennis een belangrijke rol spelen.

Er zijn meerdere werkwijzen mogelijk om kritische machines te monitoren. Dit kan gaan in de vorm van continu-metingen, periodieke metingen of metingen op afstand.

A. Continu-meting / Online

Met online metingen bedoelen we het continu monitoren van een machine of productieproces. Het online analyse-systeem zal data genereren op de momenten die het meest kritisch zijn voor de machine. Tijdens de opstart en uitloop van de installatie wordt data verzameld over bijvoorbeeld kritische toerentallen en veranderingen van as-posities.

B. Periodieke metingen

Het periodiek meten van een machine geeft inzicht in de verandering van trilling gedrag van installaties. Door met een vast interval trilling metingen uit te voeren kan er een trend worden opgebouwd. Uit de trend en data analyse zal vervolgens blijken wat de oorzaak is van deze verandering en kunnen er correctieve maatregelen geadviseerd worden.

C. Analyse op afstand / Remote

Met de remote-aanpak wordt het mogelijk om op afstand gegevens te analyseren. Door het remote uitlezen van de meetgegevens kunnen metingen en analyses plaatsvinden zonder uw organisatie te belasten en zonder onnodige reizen.

8.2. Waaron condition monitoring

Condition monitoring in de vorm van trilling metingen heeft vele voordelen, zowel financieel als op het gebied van veiligheid. Naast het in kaart brengen van de schade of slijtage, is het ook mogelijk om verder vooruit te kijken waarmee veel onnodige kosten bespaard kunnen blijven. Zo kan machine-conditiebewaking zorgen voor het optimaal benutten van bijvoorbeeld een turbine of gearbox. Door deze aanpak is precies duidelijk wat de levensduur van een turbine is, of wanneer een tandwielkast een reparatie nodig heeft. Deze inzichten zijn essentieel om alles goed draaiende te houden en de machines optimaal te benutten. Enkele veel voorkomende problemen die naar voor kunnen komen zijn lager schade (zowel wentellagers als glijlagers), machine-onbalans, problemen met de fundatie, tandwiel-slijtage, foutieve koppelingen. Dit zijn echter slechts enkele problemen die met trilling metingen aan het licht kunnen komen.

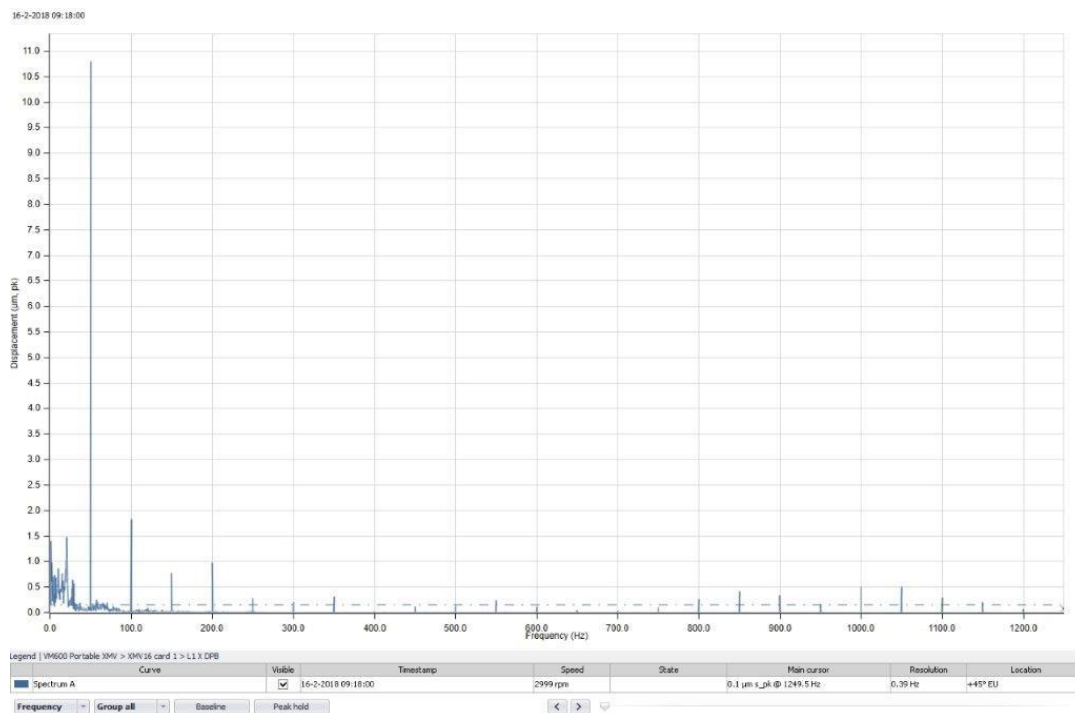
Predictief onderhoud

Zoals eerder vermeld is het met het bewaken en monitoren van de conditie van een machine mogelijk om aan predictief onderhoud te doen. Dit houdt in dat kan worden ingepland wanneer een machines of onderdelen aan vervanging toe zijn. Het voordeel hiervan is dat de levensduur van een machine optimaal benut wordt en dat er niet onnodig bepaalde onderdelen worden vervangen. Ten opzichte van preventief onderhoud is dit zeker belangrijk, omdat er met predictief onderhoud niet onnodig kostbare machines vervangen worden en er geen productiecapaciteit verloren gaat.

8.3. Werkwijze bij Condition Monitoring

Na installatie van de meetsystemen op de machines, kan middels vaste procedures periodiek meetgegevens verzameld worden. Met deze meetgegevens wordt een spectrumanalyse en een trendanalyse uitgevoerd. De spectrumanalyse geeft de frequenties aan waarvoor de basis-overall waarde van een machine stijgt of daalt. Deze kunnen, afhankelijk van het waargenomen beeld, worden gezien als machinefouten.

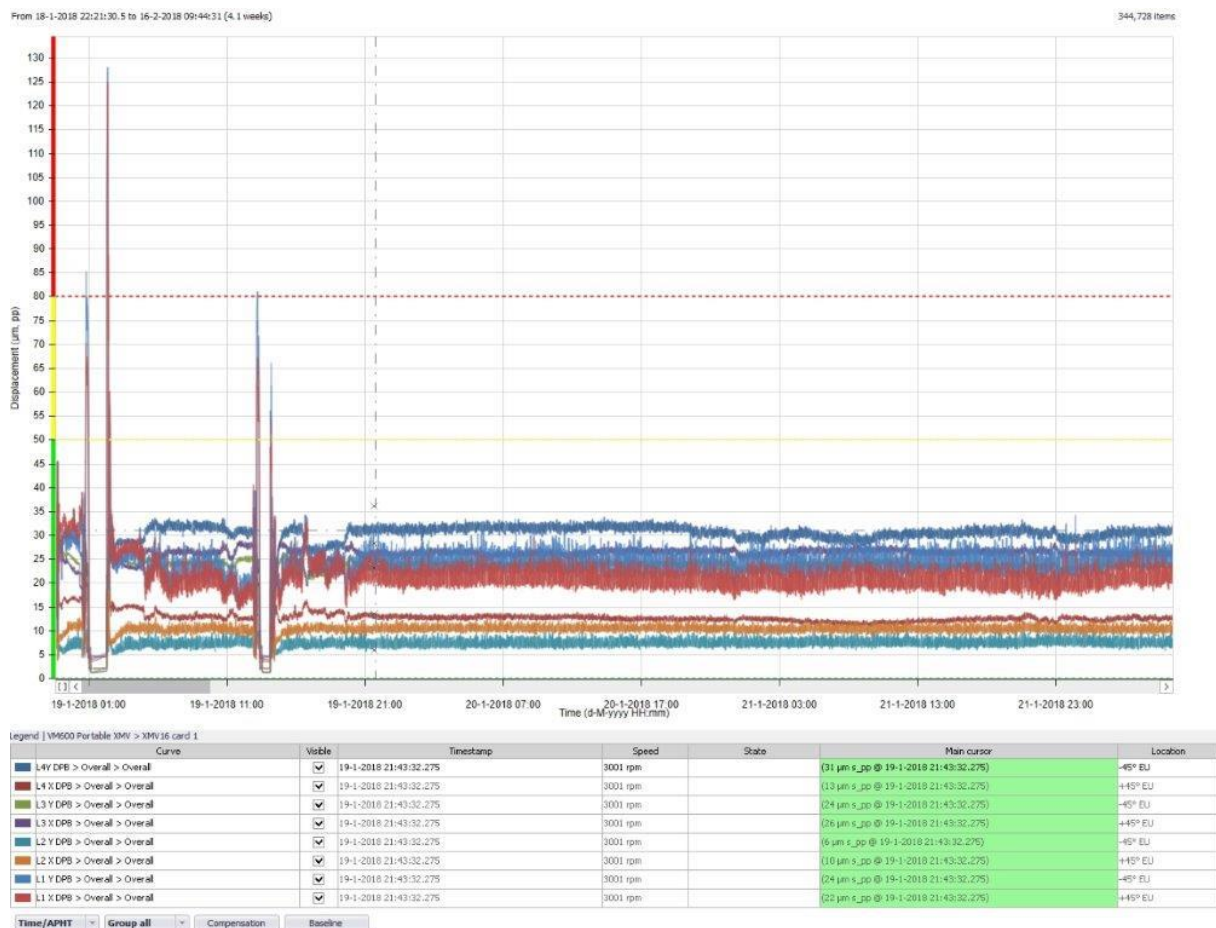
Spectrumanalyse



Figuur 28. Voorbeeld spectrum analyse

De spectrumanalyse speelt een belangrijke rol voor het uiteindelijke advies voor een machine. Er zijn diverse afwijkingen in machinegedrag bekend waarbij geen enkele norm overschreden wordt maar er toch een risico voor de bedrijfszekerheid bestaat. Met de spectrumanalyse kan uiteindelijk de oorzaak achterhaald worden en een correctieve maatregel geadviseerd worden. Dit kan een smeeradvis zijn, maar ook een controle van de uitlijning of het vervangen van bepaalde machineonderdelen zoals lagers.

Trendanalyse



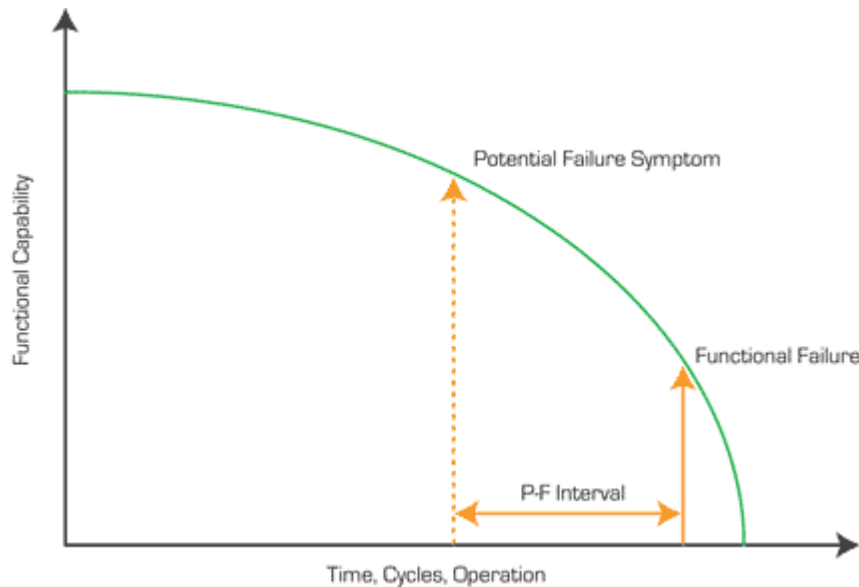
Figuur 29. Voorbeeld van een trendanalyse

De trendanalyse laat in een oogopslag zien of er sprake is van verandering in machinegedrag. De gemiddelde waarde over een vooraf ingesteld frequentiebereik; de trendwaarde, geeft een indicatie wanneer er verandering optreedt in het machinegedrag. de veranderingen kunnen met behulp van een spectrum analyse geanalyseerd worden. Dit draagt bij aan het advies dat onze specialisten uiteindelijk geven.

Bij Istec wordt gebruik gemaakt van de geldende ISO normeringen. Aangezien de ISO normering alleen basis overall waardes hanteert zal deze nooit als leidend worden aangenomen. Gebruikmakend van de spectrumanalyse en trendanalyse stellen de specialisten van Istec een rapport op, waarin een helder beeld van de staat van de installatie wordt gevormd. Tevens wordt een duidelijk advies gegeven met betrekking tot voorspellend onderhoud.

9. P-F interval

Het tijdstip waarop een falen kan worden gedetecteerd, wordt P genoemd, terwijl het punt van de werkelijke falen F, wordt genoemd. Dat wil zeggen dat de tijdsperiode tussen deze twee punten, is beschikbaar om het systeem te repareren of te vervangen om het falen te voorkomen.



Figuur 30. P_F interval: relatie tussen de observatie van een potentiële storing (P) en de actuele storing (F)

Het potentieel-naar-functionele faalinterval (P-F-interval) is een van de belangrijkste concepten als het gaat om het uitvoeren van Reliability-Centered Maintenance (RCM). Opmerkelijk genoeg is het P-F-interval ook een van de meest verkeerd begrepen RCM-concepten. De foutmodusanalyse wordt zelfs nog gecompliceerder wanneer u te maken hebt met verschillende P-F-intervallen voor één foutmodus.

Het P-F interval is dus de beschikbare tijd om het systeem te repareren of vervangen, om te voorkomen dat de storing op gaat treden.

Voorbeeld 4 *Simpel = Effectief* → *Effectief = Simpel* deel I:

(8)

De treinstellen van de Nederlandse Spoorwegen (NS) verzamelen meetgegevens en sturen deze draadloos naar het data analyse centrum van de NS dit is 1 locatie waar de data geanalyseerd wordt, om zodoende een uitspraak te kunnen doen over de conditie van de treinstellen en de daarin aanwezige onderdelen.



Figuur 31. Data verzameling van treinstellen bij de NS

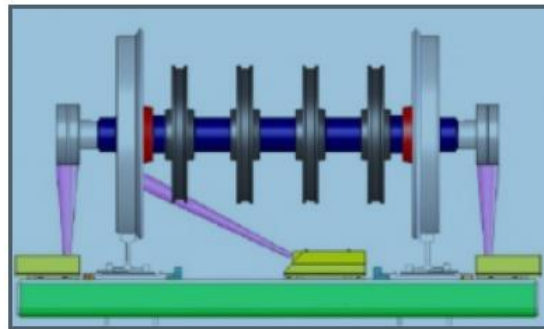
Hieronder volgt een mooi voorbeeld hoe je, op eenvoudige wijze, (zonder ingewikkeld algoritmes en analyse) toch uitspraken kunt doen over bijvoorbeeld de lager conditie van treinstellen.

Zoals je wellicht begrijpt zijn de wiellagers van treinstellen van groot belang voor het goed rijden van de treinen. Bij defecten treedt extra slijtage op en/of vallen de treinen stil/uit (= verliezen) en in het ergste geval kan het voor onveilige situaties zorgen.

Op diverse plaatsen in het spoorwegnet in Nederland worden de temperaturen van de lagers gemeten en verzonden naar het data analyse centrum van de NS gemonitord en opgeslagen. Mocht de temperatuur van een lager boven de 115 °C komen, dan wordt het treinstel direct uit dienst genomen.



Figuur 32a. Treinstel en lager positie



32b. Meetopstelling temperatuurmetingen

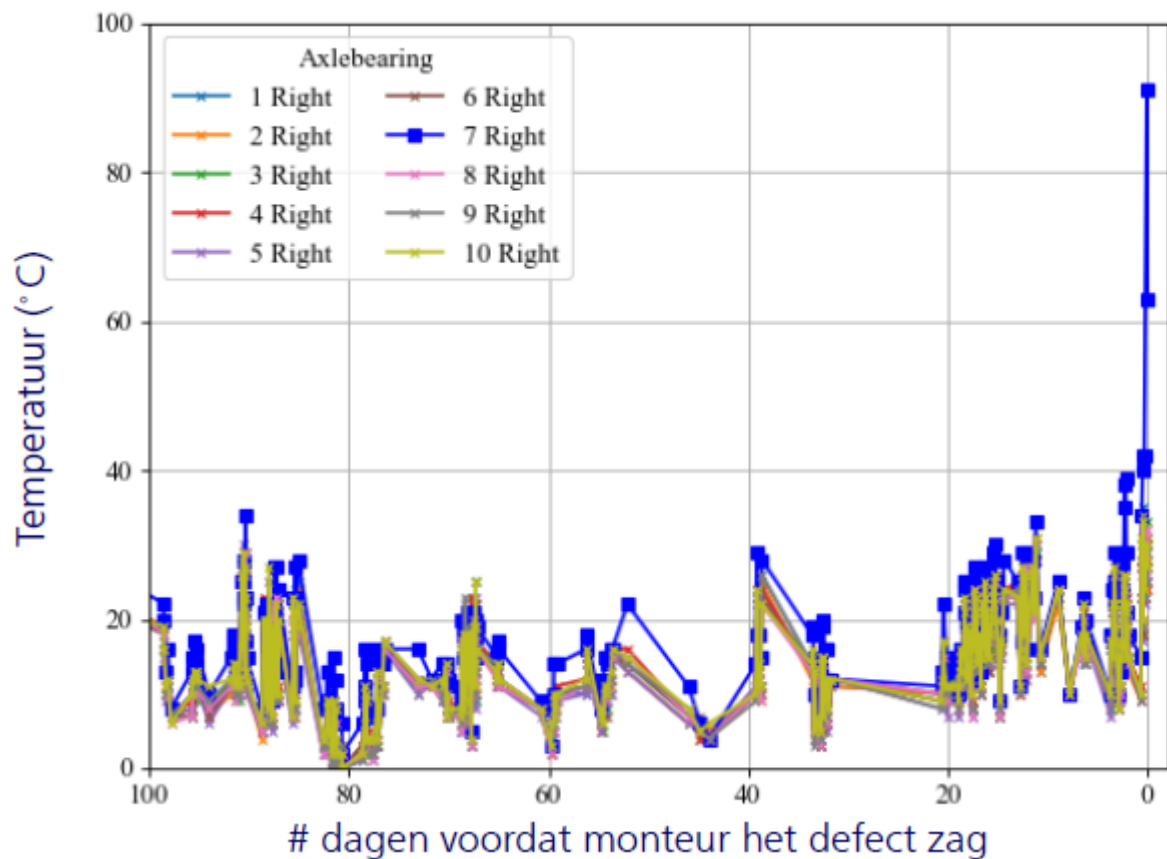


32c. Ongewenste situatie

De treinstellen worden uiteraard regelmatig gecontroleerd.

Op dag nul (0) verklaarde de monteur het lager ongeschikt voor verder gebruik en is het uitgewisseld.

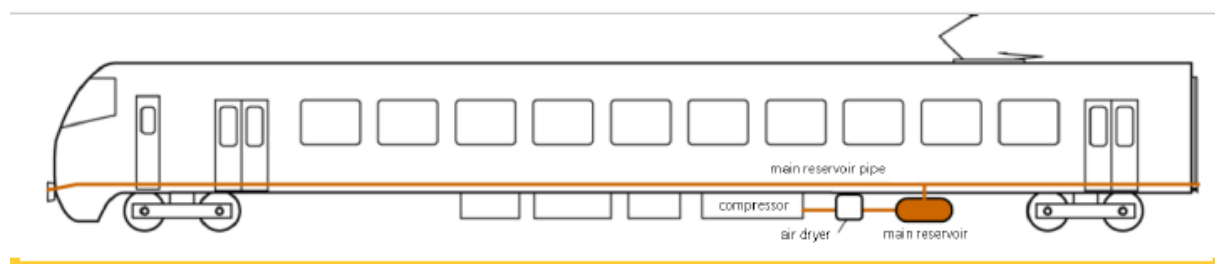
Als we de historische data van het betreffende lager in figuur 25 bestuderen en vergelijken met de overige lagers, dan zien we dat lager 7 right al 100 dagen van te voren een hogere temperatuur aangeeft dan de andere 9 lagers van het treinstel, wat erop duidt dat het euvel voorspelbaar is en dat we veel eerder dan vroeger op de hoogte zijn van een mogelijke storing.



Figuur 33. Historische data lager temperaturen. $\text{Temperatuur} = f(\text{dagen voordat de monteur het defect zag})$.

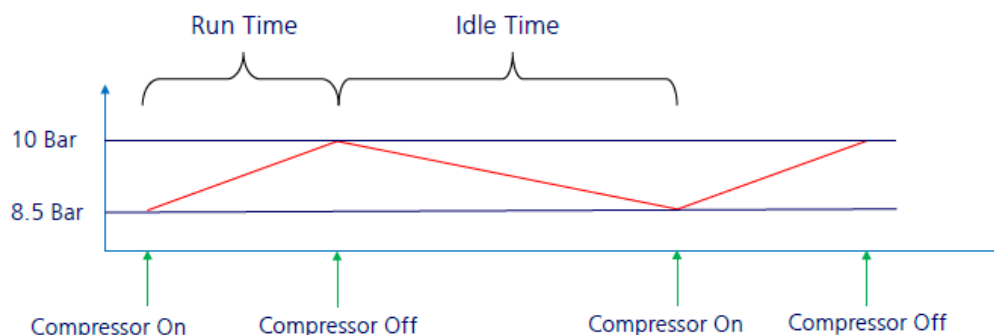
In treinstellen wordt veelvuldig gebruik gemaakt van pneumatiek om onder andere onderdelen te bedienen. Denk bijvoorbeeld aan het openen en sluiten van de deuren middels lucht. Mocht er een lekkage optreden in het luchtcircuit dan wordt de werking minder of faalt zelfs helemaal. Dan zou je bijvoorbeeld de deuren van een treinstel niet meer kunnen openen.

Om lucht beschikbaar te hebben, voor het pneumatisch gedeelte, bezit een treinstel over een compressor die de lucht samendrukt en opslaat in een reservoir, zoals weergegeven in figuur 34. Vanuit het reservoir gaat de lucht naar de diverse bedieningselementen.



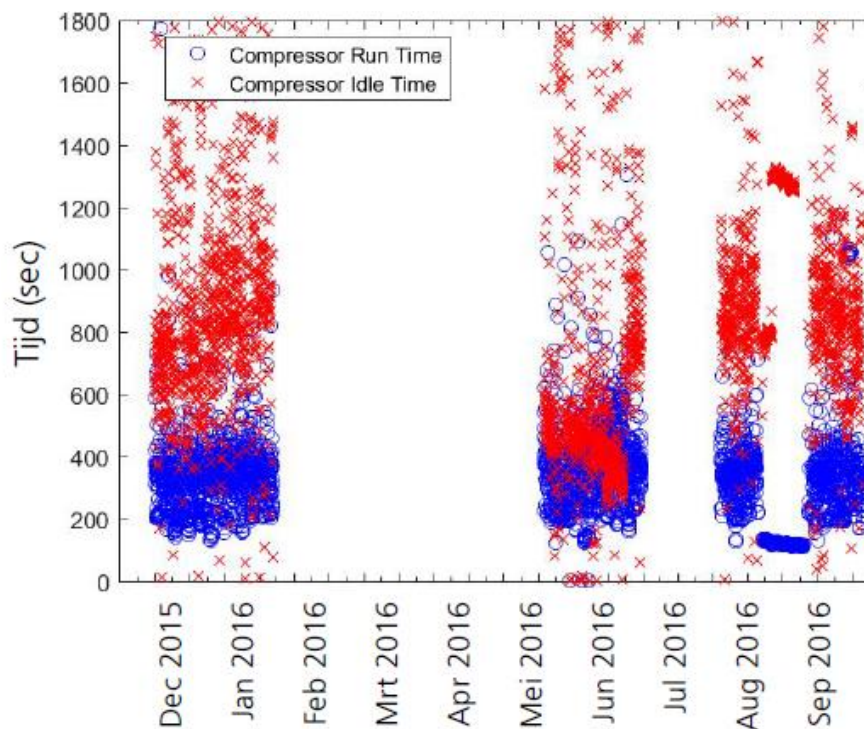
Figuur 34. Pneumatisch systeem treinstel.

Bekijken we het functioneren van de compressor in het pneumatisch gedeelte zoals weergegeven in figuur 35, dan zien we dat de compressor een bepaalde tijd in bedrijf is, totdat het systeem op de ingestelde druk (10 bar) is en dan weer uitschakelt. De tijd dat het systeem op druk gebracht wordt door de compressor noemen we de run time. Daarna volgt een periode waarin lucht verbruikt wordt door de diverse pneumatische systemen. Op het moment dat de druk onder een bepaalde waarde komt (8,5 bar) dan slaat de compressor weer automatisch aan. De tijd dat de compressor niet in bedrijf is noemen we de idle time.

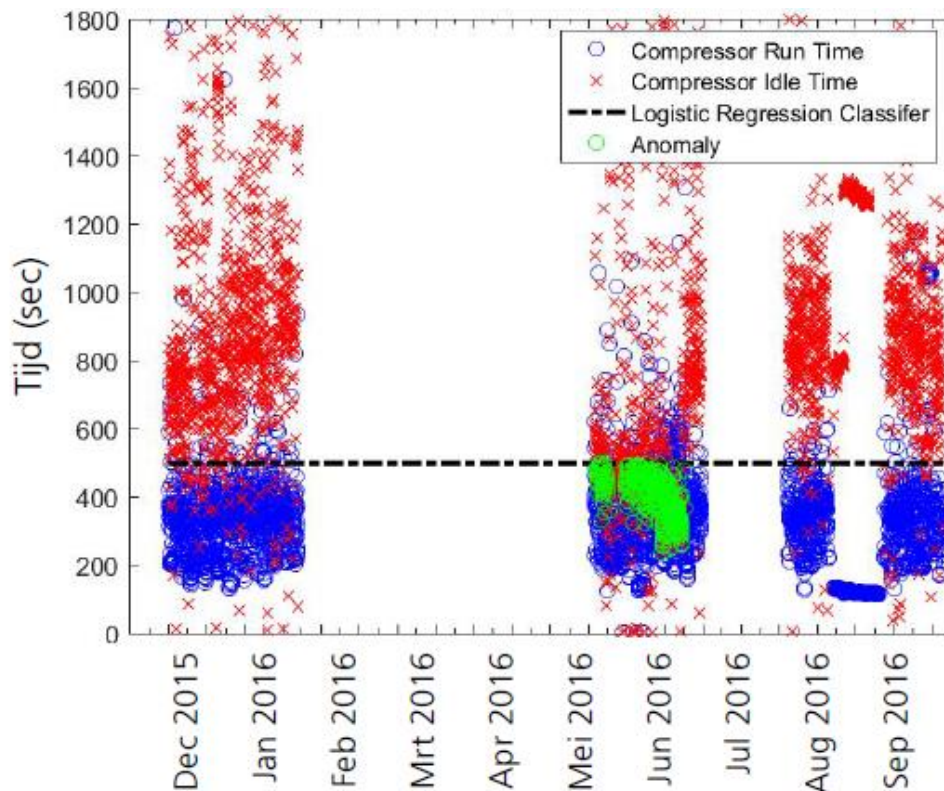


Figuur 35. Schematisch overzicht Run/Idle time compressor pneumatisch systeem treinstel.

Intuïtief werd er bedacht dat, in geval van lekkage, de idle time steeds korter zou moeten worden. De lucht wordt immers sneller opgebruikt in het geval van lekkages. Daar zijn ze bij de NS dan ook specifiek naar op zoek gegaan en hebben dat gevonden in de data. Verzameling, bestudering en analyse van de data van de run/idle time van een treinstel leverde onderstaande grafiek, van figuur 36 a. Als we de data van Dec 2015/Jan 2016 vergelijken met die van Mei/Juni 2016, dan zien we de idle time (rood) duidelijk teruglopen hetgeen duidt op een afwijking, zoals weergegeven groen in de grafiek van figuur 36 b.



Figuur 36a. Run/Idle time compressor pneumatisch systeem treinstel. Run/Idle tijd = $f(\text{datum})$



Figuur 36 b. Run/Idle time compressor pneumatisch systeem treinstel afwijking (groen)

De afwijking is veroorzaakt door lekkage in het leidingwerk van het pneumatische systeem. Na juni 2016 is de lekkage gezocht, gevonden en gerepareerd en gaat de idle time in de grafiek, van figuur 28 a/b weer terug naar het niveau van voorheen.

Op deze manier kan een lekkage 1 tot 3 weken eerder worden vastgesteld dan voorheen door de monteur gedetecteerd (op gehoor).

10. Internet of things ⁽¹⁰⁾

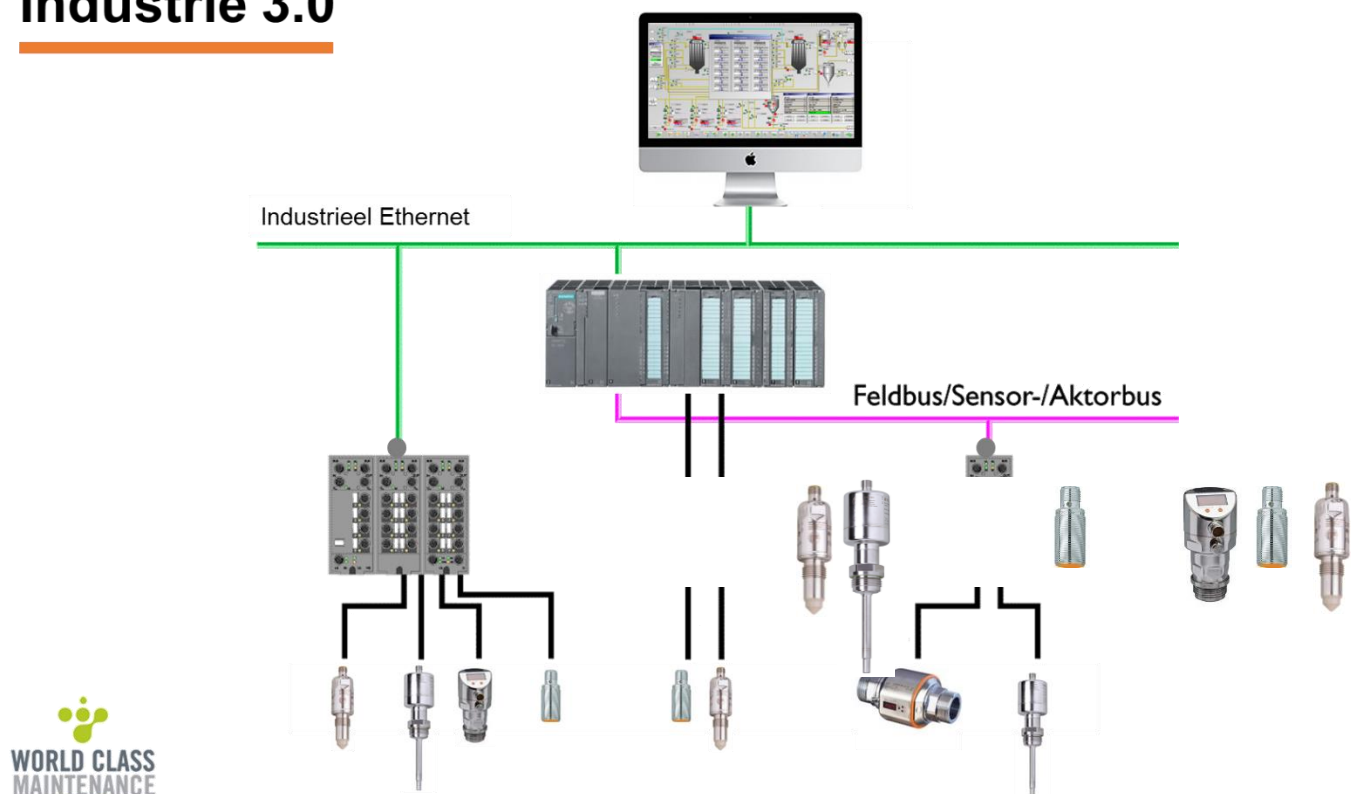
Internet of things (IoT) omvat het verbinden van apparaten die onderling informatie delen en hierop nieuwe toepassingen ontwikkelen. Alles met een stekker kan in principe worden verbonden met elkaar. Dus ook alle (moderne) machines en apparaten in een productieketen. Dit laatste wordt ook Industrial Internet of Things genoemd.

In Nederland spreekt men ook vaak over “Smart Industry” terwijl Duitsland het “Industrie 4.0” noemt.

10.1 Slim omgaan met bestaande infrastructuur en sensoriek ⁽¹²⁾

Figuur 37a toont de infrastructuur van een typische procesinstallatie ala Industrie 3.0.

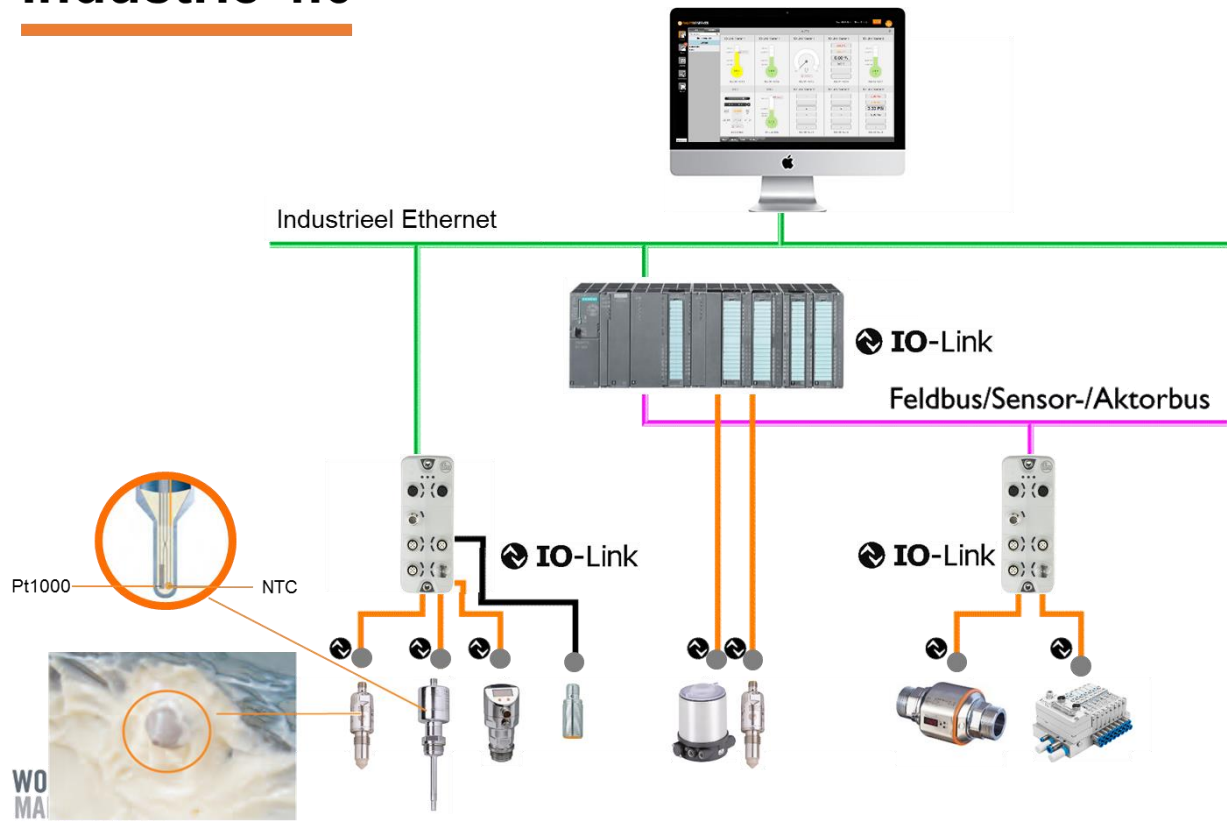
Industrie 3.0



Figuur 37 a. Proces infrastructuur Industrie 3.0

Samen met andere leveranciers heeft sensor leverancier IFM de I/O Link ontwikkeld ten behoeve van Industrie 4.0; zie figuur 37b.

Industrie 4.0



Figuur 37 b. Proces infrastructuur Industrie 4.0

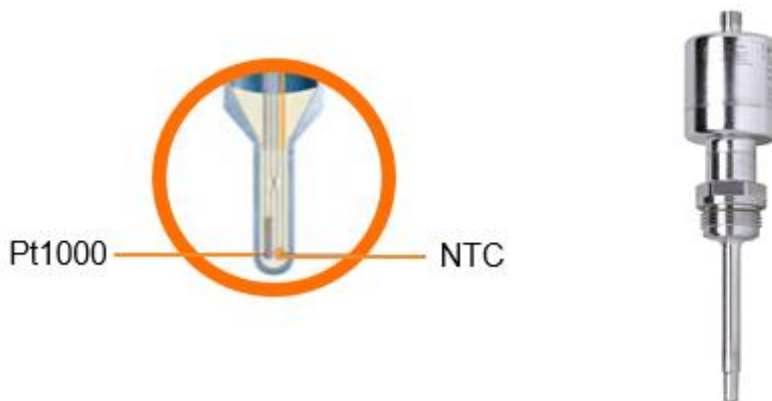
Het voordeel hiervan is dat je met de bestaande sensoriek extra informatie kunt verzamelen.

Voorbeeld 6 Aangroeidetectie:

Standaard niveaumelders van het type LMT worden vanuit de fabriek geleverd met de instelling schakelen op olie of schakelen op water. Het betreft dezelfde hardware alleen stellen wij de sensor anders in. Sluit je de sensor aan op een IO-Link poort dan krijg je geen 'ja of nee' binnen maar geeft de sensor de werkelijk gemeten waarde door. Hierdoor is bijvoorbeeld het verschil te zien tussen ketchup en mayonaise, melk en water (denk aan een CIP-proces) of is aangroei te detecteren. In plaats van alleen maar een melding te geven wanneer het niveau de sensor heeft bereikt kun je een installatie dus ideaal laten werken bij verschillende batches, verklein je omsteltijd of kun je een operator waarschuwen dat de tank niet volledig schoon is.

Voorbeeld 7 Drift meting:

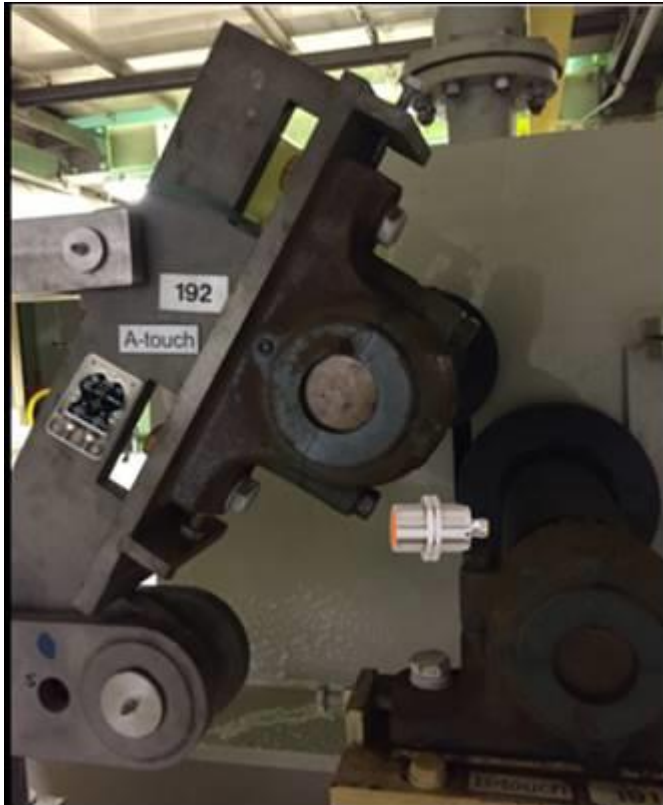
In de levensmiddelenindustrie worden temperatuursensoren vaak halfjaarlijks uit de installatie gehaald en gekalibreerd. Een kalibratie duurt gemiddeld een uur en kent een aantal nadelen, namelijk: productiestilstand, kosten, geen inzicht in hoe lang de sensor al gekalibreerd had moeten worden, open leiding waardoor een CIP-proces noodzakelijk is. Temperatuuropnemers van het type TAD (figuur 38) hebben al meerdere jaren twee verschillende meetelementen in dezelfde tip zitten. Een NTC en een Pt1000 kennen twee compleet verschillende karakteristieken. Wanneer wij het snijpunt van de karakteristieken in de gaten houden kan worden gezegd dat de kans op een zelfde afwijking in beide karakteristieken nihil is. Vindt er een afwijking (drift) plaats dan kan de sensor een melding geven. Door de sensor aan te sluiten op een IO-Link poort krijg je twee temperaturen en een gemiddelde temperatuur te zien. Je kunt instellen vanaf welke drift je een waarschuwing wilt krijgen. Tot dat deze waarschuwing komt hoeft de sensor dus niet gekalibreerd te worden. Komt de waarschuwing dan heb je voldoende tijd om onderhoud in te plannen. Een ander voordeel is dat de gegevens per batch kunnen worden geregistreerd waardoor bij audits altijd is aan te tonen bij welke (gekalibreerde) temperatuur producten zijn geproduceerd.



Figuur 38. TAD Temperaturopnemer met een NTC en een Pt1000.

Voorbeeld 8 Hellingssensor:

Met een helling sensor is te zien of rollen zijn aangedrukt (kanteling door aanduwen middels cilinders). Wanneer de sensoren echter via IO-Link worden aangesloten geeft de sensor geen digitale uitgang maar een nauwkeurige hoekmeting. Bewaak je deze meting en genereer je een melding bij een afwijking dan zegt dit wellicht iets over de slijtage van een cilinder of het scheef aandrukken van de rol waardoor tevens slijtage ontstaat.



Figuur 39. Helling sensor gebruikt om uitlijning te monitoren.

11. Onderhoud –en Productie afdelingen

Uiteraard speelt, in het kader van predictive maintenance en monitoring van systemen, onderhoud –en productiepersoneel een zeer belangrijke rol.

Onderhoudsmonteurs komen bij storingen en kunnen bijvoorbeeld uitspraak doen over mogelijke oorzaken, herhalingen, ernst et cetera van de storingen.

Productiepersoneel hoort, ziet, ruikt vaak of hun proces en installatie normaal functioneert of dat er sprake is van afwijkingen die mogelijkerwijs uit (gaan) monden in storingen.

Uiteraard zijn hier tegenwoordig allerlei (digitale) hulpmiddelen voor, van simpele registratiesystemen tot zeer geavanceerd information management systemen op gebied van onderhoud.

Ter voorkoming van onverwachte stilstand door een storing kan er periodiek geïnspecteerd worden.

De inspectie maakt deel uit van het Preventief Onderhoud.

Stappen: 1. Vaststellen conditie machine(onderdeel) 2. Beoordelen van de conditie (goed, voldoende, onvoldoende) 3. Beslissen, plannen - periodiek onderhoud - modificaties / verbeteringen - opheffen onveilige situaties - optimaliseren van het onderhoudsplan.

11.1. Inspectie tijdens bedrijf.

In eerste instantie gebeurt de inspectie door de operator. Ieder verdacht verschijnsel (geluid, trilling, stank of afwijkend product) wordt door hem opgemerkt.

Hij kan dan zelf de bron opzoeken en oplossen (eerste lijns onderhoud) of opschalen en de onderhoudsdienst en andere betrokkenen inschakelen.

In tweede instantie inspectie door onderhoudsmonteur.

Hierbij wordt de storingsbron opgespoord, opgelost en volgt er rapportage in de daarvoor gebruikte systemen.

Welke preventieve inspecties kunnen tijdens bedrijf worden toegepast? (en kunnen tot actie leiden)

- verloop van productkwaliteit.
- trilling metingen (resultaten in trend uitzetten),
- metingen van onbalans,

- meten temperatuursveranderingen,
 - meten materiaalverbruik (procesindustrie)
 - meten energieverbruik ($P = U \cdot I$)
-

11.2. Inspectie tijdens productiepauze.

Het is oneconomisch om de machine voor een inspectie stop te zetten. Zo mogelijk moet de inspectie tijdens een geplande pauze plaatsvinden.

Tijdens stilstand kunnen hoofdzakelijk statische defecten worden ontdekt. Tijdens een test run ook dynamische defecten.

Voorbeelden statische defecten:

- slijtage / scheurvorming
- speling
- oliepeil / olievervuiling

11.3. Inspectiemethoden.

1. Zintuiglijke inspectie (indien mogelijk m.b.v. checklist)
2. Niet Destructief Onderzoek
3. Destructief onderzoek. (alleen tijdens research)

11.3.1 Zintuiglijke inspectie

Niet alleen kijken (slijtage, oliepeil, etc) maar ook, Luisteren: trillingen, cavitatie, wrijving, gasstroom, Voelen: trillingen, warmte, schokgolven in slangen, Ruiken: gaslekken, bedorven olie, schroeilucht, Proeven: voedingsmiddelen.

11.3.2. Niet Destructief Onderzoek

Deze methoden zijn bekend uit de materiaalkunde en worden vaak n.a.v. een zintuiglijke inspectie uitgevoerd om een duidelijk en objectief beeld van de storing te krijgen.

Trilling meting

Trillingen en het bijbehorende geluid kunnen belangrijke informatie verschaffen over de conditie van een machine(deel).



- Overall niveaumetingen:

Gaat / is er iets stuk? Geven een beeld van machineconditie. Een belangrijke verandering van het trilling beeld kan aanleiding geven tot een analysemeting. Voorbeeld: trilling van een lagerhuis.

- Analysemetingen:

Wat gaat / is er precies stuk? Hier wordt het trilling beeld verder onderzocht en wordt de veroorzaker opgespoord. Voorbeeld: trilling in een wentellager. Wie is de veroorzaker? De binnenring, de buitenring, de kooi of de wentellichamen?

Temperatuurmeting

Temperatuurmeting



Uitvoering: periodiek of continu meten.

Thermografie

Zichtbaar maken van plaatselijke warmteontwikkeling m.b.v. infraroodcamera.

Toepassing: opsporen energieverliezen in installaties.

Endoscopie (kijkoperatie)

Inwendige visuele inspectie van een machine / installatie.

Magnetisch onderzoek

Opsporen van oppervlaktescheuren bij magnetiseerbare materialen.

Penetrant Onderzoek

Opsporen van haarscheuren in het oppervlak van een product.

Stethoscopie

Luisteren naar geluiden die in een machine worden voortgebracht. Ontdekken en analyseren van afwijkende geluiden vereist ervaring.

Voorbeelden stethoscopie: arts: hart / long onderzoek dierenarts:

onderzoek spijsvertering bij een paard,

- borrelend geluid is goede spijsvertering,
- piepend geluid duidt op krampen en evt. koli

Ultrasoon onderzoek

Ultrasone geluidsgolven kunnen materiaalfouten in een metaal aan het licht brengen.

Voorbeelden:

- gasinsluitingen in lassen,
- dubbelingen in wals producten,
- slinkholten in gietproducten.

Lekdetectie

Het detecteren van ontsnapte gevaarlijke gassen in leidingen, met behulp van

- testvloeistoffen (zeepsop) of testgas,
- hoogfrequent – apparatuur (geluidsmeting)
- gas sensoren

Smeerolie – analyse

Onderzoek naar de deugdelijkheid van smeerolie doormiddel van

- opsporen slijtagedeeltjes (filteren / microscopisch onderzoek)
- meten zuurgraad,
- vaststellen veroudering en bacteriëngroei
- vaststellen samenstelling (aandeel additieven)

Naar aanleiding van het onderzoek kan worden besloten om de olie te ververset (dit wordt steeds meer vermeden). Een steeds meer gebruikte methode is om de olie te regenereren (opknappen) door filtering, water afscheiden en aanvullen van opgebruikte additieven (dopes).

Bronvermelding:

- (1) Presentation from Priyesh Nair Asst. Planning Manager at McNally Bharat Engineering Company limited
- (2) Auto Kampioen nummer 12 december 2017: techniek in beeld.
- (3) <https://www.swri.org/sites/default/files/brochures/condition-based-maintenance.pdf>
- (4) Larry Toms, Machinery Oil Analysis: Methods, Automation and Benefits, 1995.
- (5) Informatiefolder Fieldlab Campione World Class Maintenance
- (6) T.Tinga, principles of Loads and Failure Mechanisms, Springer Series in Reliability Engineering, DOI: 10.1007/978-1-4471-0_1, Springer-Verlag London 2013.
- (7) Mens versus machine: Presentation from Priyesh Nair Asst. Planning Manager at McNally Bharat Engineering Company limited
- (8) WCM Jaarcongres 2017 presentatie Margot Peters Nederlandse Spoorwegen
- (9) Istec International B.V. website
- (10) VAM (Vakblad Asset Management) no 1 2018.
- (11) MOL Rotating Equipment Consultant leerboek trillingsanalyse revisie 08
- (12) IFM electronic BV, Ruben Boom (projectmanager Smart Industry)
- (13) Conditie bewaking ROC van Twente internet