

LESSONS LEARNED

PhD onderzoek

Het implementeren en opschalen van Condition-Based Maintenance

Dr. ir. Roland van de Kerkhof

LESSONS LEARNED

PhD onderzoek

Het implementeren en opschalen van Condition-Based Maintenance

Dr. ir. Roland van de Kerkhof

Auteur:

Dr. ir. Roland van de Kerkhof (Tilburg University)

Onder begeleiding van:

Prof. dr. ir. Henk Akkermans (Tilburg University)

Prof. dr. Niels Noorderhaven (Tilburg University)

Vijay Mohan MBA, MEng (BP)

Ir. Nico van Kessel (Tata Steel)

Datum promotie: 14-10-2020

Vormgeving:

COCO | www.cocojansen.nl

© 2020 Roland Marco van de Kerkhof, Nederland.

Inhoud

Voorwoord	6
Het onderzoek	7
1 De implementatie van CBM	9
2 Het opschalen van een CM techniek	17
3 Richting CBM maturiteit	27
Conclusie	36
Bedankt	38

Voorwoord

In de afgelopen 6 jaar heb ik onderzoek gedaan naar het gebruik van Condition-Based Maintenance (CBM) bij de raffinaderij van BP in Rotterdam en de hoogovens van Tata Steel in IJmuiden. In dit onderzoek heb ik samen met 6 studenten ingezoomd op het implementatie- en opschaalproces van 12 Conditie Monitoring (CM) technieken en een CBM maturiteitsmodel ontwikkeld. Om deze processen goed te kunnen begrijpen hebben wij zowel naar technische en organisatorische aspecten gekeken en vooral heel veel geluisterd. Ruim 400 interviews en een heel aantal koffieautomaatgesprekken verder denk ik dat we een goed beeld hebben opgedaan van de uitdagingen bij de implementatie en het opschalen van CM technieken.

In dit document wil ik graag de lessen uit het onderzoek terugkoppelen. Hierin richt ik me met name op de opgedane **inzichten** (die helpen om deze processen beter te begrijpen) en geef ik enkele **tips** (die helpen om de processen beter uit te voeren). Deze terugkoppeling is in eerste instantie bedoeld voor alle mensen die geholpen hebben in het onderzoek, maar mag ook zeker gelezen worden door CM specialisten, maintenance engineers, CM programma leiders en asset managers die het gebruik van CBM in de komende jaren willen verbeteren!



Onderzoeksvragen



Inzichten



Tips

¹Bij predictive maintenance wordt de onderhoudsbeslissing genomen op basis van de verwachte toekomstige conditie van het asset, dus ook hierbij is de conditie de trigger. Bij correctief wordt het onderhoud altijd reactief uitgevoerd, na functioneel falen. Bij periodiek onderhoud is vooraf bepaald na hoeveel tijd/draaiuren/... het asset onderhoud wordt; hierbij staat de onderhoudsbeslissing los van de conditie..

Het onderzoek

Gedurende het onderzoek ben ik een heel aantal beelden tegen gekomen van *Condition-Based Maintenance* (CBM), dus laat ik beginnen met een definitie. In dit onderzoek bedoel ik met CBM een onderhoudsstrategie waarin de keuze voor wel of geen onderhoud gebaseerd is op de conditie van een asset (bv. een tandwielkast, elektromotor, wals). De informatie over deze conditie kan komen vanuit observaties met menselijke zintuigen (tijdens visuele inspecties bijvoorbeeld), maar ook vanuit een van de vele *Conditie Monitoring* (CM) *technieken*. Daarmee zie ik CBM hetzelfde als predictive maintenance, maar verschillend van correctief onderhoud en periodiek onderhoud.¹

Technisch gezien kan CBM al een tijdje. Industriële radiografie is ontwikkeld in 1920, Eddy current wordt gebruikt sinds 1926 en ultrasoon onderzoek is vormgegeven in 1940. Desalniettemin hebben recente technologische ontwikkelingen, zoals verbeteringen in de opslag- en verwerkingscapaciteit van computers en het gemak waarmee data verzonden kan worden, een boost gegeven aan de ontwikkeling van CM technieken. Als het verzamelen en verwerken van data steeds goedkoper wordt, zal conditie monitoring ook steeds goedkoper (en accurater!) worden en daarmee interessanter voor een groter deel van de assets. Daarom geeft 60% van de organisaties in de survey van PwC en Mainnovation (2018) aan dat ze concrete plannen hebben om met predictive maintenance aan de slag te gaan.

Als we nu kijken naar de huidige situatie bij BP en Tata Steel, zien we dat CBM al sinds lange tijd een gevestigde onderhoudsstrategie is. Beide organisaties maken gebruik van meer dan 50 unieke CM technieken en voeren rond de 20% van het onderhoud conditie-gebaseerd uit. Desondanks zien we dat een groot deel van de conditie-gebaseerde onderhoudsbeslissingen nog genomen wordt op basis van visuele inspecties en eenmalige conditie metingen. Van de CM technieken wordt 70% slechts bij een heel klein deel van de assets gebruikt (0-20% van de assets waarop deze gebruikt zou kunnen worden) en 80% wordt niet structureel gebruikt (0-1 keer per jaar per asset). Het inzicht in de conditie van de assets – en daarmee de kwaliteit van conditie-gebaseerde besluitvorming – kan dus nog sterk verbeterd worden, met name door geavanceerdere CM technieken meer te gebruiken en frequenter te meten.



Als het technisch mogelijk en financieel interessant is, waarom zien we nog niet meer CBM op basis van geavanceerde CM technieken? Waarom gaat de adoptie hiervan langzaam?



1| De implementatie van Condition-Based Maintenance

In het eerste onderzoek heb ik het implementatieproces van een nieuwe trillingsmeettechniek bij Tata Steel gevolgd gedurende 4 jaar. Eind 2013 is een testsysteem geïnstalleerd op de lagers van de eerste converter (Tata Steel heeft 3 converters waarin ijzer omgezet wordt naar staal), eind 2017 is de keuze gemaakt om grotendeels over te stappen op conditie-gebaseerd onderhoud van de lagers van alle drie converters. Twee aspecten maken dit implementatieproces extra interessant. Ten eerste was de CM toepassing nieuw: Tata Steel had nog niet eerder met deze CM techniek gewerkt en de leverancier van de CM techniek had hem nog niet eerder op converters toegepast. Ten tweede is de converter een kritische asset, dus dit creëert een spanning: er valt veel waarde te behalen met goed onderhoud, maar blind vertrouwen op een nieuwe CM techniek kan ook risico introduceren.



Hoe verloopt de implementatie van CBM als de performance van een CM techniek onzeker is?

Wat verwacht je?

De waarde die behaald wordt met CBM is afhankelijk van (a) hoe goed het asset gemonitord wordt en (b) welke beslissingen op basis van het monitoren worden genomen. Als een organisatie zo veel mogelijk winst wilt behalen uit de investering, verwacht je dat de organisatie zo snel mogelijk:

- a) De performance van de CM techniek goed wil krijgen en
- b) Onderhoudsbeslissingen op basis van de CM techniek wil nemen

Wat zagen we?

In de praktijk volgde de implementatie een stapsgewijs proces. In dit stapsgewijze proces heeft het 2 jaar geduurd voordat metingen en analyses structureel werden uitgevoerd en vervolgens nog 2 jaar voordat men de CM techniek voldoende vertrouwde om over te stappen op CBM.

Het stapsgewijze proces volgde op hoofdlijnen 4 stappen:

1. Een testsysteem: de eerste 4 maanden wordt met een testsysteem van de leverancier bekeken of het meetsysteem kan werken op converterlagers

2. Een goed ingericht systeem: de meetsystemen worden aangeschaft (na 4 maanden), gekoppeld aan centrale databases (na 8 maanden) en aangevuld met extra periodieke metingen
3. Structurele metingen en analyses: de knoop wordt doorgehakt, vanaf dit moment worden de periodieke metingen periodiek geïnitieerd door de operators en geanalyseerd door de CM specialisten (na 2 jaar)
4. CBM: het onderhoudsconcept van de converterlagers wordt aangepast (na 4 jaar)

Heeft de organisatie veel waarde behaald uit deze CM techniek? Ja, zeker.
 Heeft de organisatie zo snel mogelijk waarde behaald uit deze CM techniek? Waarschijnlijk niet.

Waarom zagen we dit?

Dat het 4 jaar heeft gekost wordt met name verklaard door twee aspecten: de onzekerheid over de kwaliteit (potentiële performance) van de CM techniek en de benodigde leercurve om de performance van de CM techniek goed te krijgen.

Allereerst, het is lastig om anderen te overtuigen om in een CM techniek te gaan investeren, als je zelf nog niet zeker bent over de kwaliteit van de CM techniek. In het implementatieproces speelt het overtuigen van anderen – buiten het projectteam – een belangrijke rol: de fabriek moet budget beschikbaar stellen voor het aanschaffen van de meetsystemen, productieteams moeten de metingen uit gaan voeren (wat ten koste gaat van productietijd), het trillingsmeetteam moet tijd vrij maken voor het structureel uitvoeren van analyses, de reliability en maintenance engineers moeten aantonen dat het verstandig is af te wijken van het periodieke onderhoudsschema (waardoor de garantie van de fabrikant komt te vervallen), etc.



Inzicht 1: Vaak is het bij nieuwe toepassingen van (nieuwe) CM technieken onzeker hoe goed de CM techniek in staat gaat zijn om falen vroegtijdig te detecteren, waardoor het lastiger is om anderen te overtuigen van het nut van de CM techniek en hen mee te krijgen in het implementatieproces.

Om de onzekerheid te verminderen, heeft het projectteam gedurende de eerste 2 jaar 2 vragen beantwoord:

1. Kunnen de data goed verzameld worden?
2. Kunnen de analyses goed uitgevoerd worden?

Het beantwoorden van de eerste vraag was eenvoudig: met het testsysteem werd al vrij snel duidelijk dat de data goed verzameld konden worden. Op basis hiervan is besloten om de meetsystemen zelf aan te schaffen.

Het beantwoorden van de tweede vraag kostte meer tijd. Eerst is besloten om een aanvullende meting in te richten, omdat de analysemogelijkheden met de ingebouwde meting beperkt zijn (en men dit niet voldoende vond om bij een dergelijk kritische toepassing onderhoudsbeslissingen op te nemen). Vervolgens is het projectteam op zoek gegaan naar validatiemomenten. Elke keer als informatie over de daadwerkelijke conditie van het asset bekend werd – via een visuele inspectie van het lager, een olie-analyse en een andere trillingsmeting –, kon het projectteam controleren of de analyse met de CM techniek accuraat was. De analyses waren nog niet perfect, maar men kreeg voldoende vertrouwen dat ze met wat ervaring en meer data wel goed konden worden. Op basis hiervan is besloten om de CM techniek structureel te gaan gebruiken.



Inzicht 2: Er zijn meerdere efficiënte manieren om in te schatten hoe goed een CM techniek kan zijn in het vroegtijdig detecteren van falen, zoals het valideren van de data en analyses met andere CM technieken en het uitvoeren van gerichte experimenten.

De tweede verklaring is dat het tijd kost om de performance van een CM techniek goed te krijgen. Ook hierin kan het onderscheid gemaakt worden tussen de kwaliteit van de data en van de analyses.

Performance aspect CM techniek	Bepaald door
Kwaliteit data	Meetsysteem + frequentie metingen
Kwaliteit analyses	Kwaliteit data + vaardigheden analisten

Bij deze CM techniek kostte het aardig wat tijd om te leren hoe de periodieke, aanvullende metingen ingericht moesten worden en – met name – om ervoor te zorgen dat de metingen structureel uitgevoerd werden (24 maanden). Ook kostte het aardig wat tijd om ervaren te raken met de nieuwe toepassing: om te leren wat afwijkend gedrag is, om te leren hoe erg een afwijking is en om te leren hoe een afwijking verder degradeert (>24 maanden). De snelheid van dit leerproces van de analisten is afhankelijk van de frequenties waarop men de analyse uitvoert en – met name – waarop men feedback krijgt op de analyse. In dit geval heeft er in de 2 jaar weinig degradatie plaatsgevonden (afwijkingen werden veroorzaakt door externe verstoringen), dus heeft het trillingsmeetteam vooral beter in leren schatten wanneer de conditie nog goed is.



Inzicht 3: Bij veel (nieuwe toepassingen van) CM technieken kost het tijd om de data en de analyses goed te krijgen (de technologie goed in te richten en de analisten kundig te maken). Hoeveel tijd dit kost wordt met name bepaald door de frequentie van leermomenten.

Wat leren we hiervan?

Ik heb hier zelf 3 lessen uit gehaald. Allereerst denk ik dat het goed is om het onderscheid te maken tussen het implementatieproces van een CM techniek en van CBM. Bij de implementatie van een CM techniek gaat het om aanschaf- en inrichtingsbeslissingen: gaan we het meetsysteem aanschaffen? Hoe vaak gaan we de metingen uitvoeren en analyseren? Wie gaat de metingen uitvoeren en analyseren? Bij de implementatie van CBM gaat het om de beslissing of onderhoudsbeslissingen wel of niet op basis van CM technieken gebeuren. Het gaat hierbij om de combinatie van CM technieken (in dit voorbeeld dus olie-analyses, trillingsmetingen én de nieuwe CM techniek), niet alleen om de zojuist geïmplementeerde CM techniek. Sterker nog, ook als er geen nieuwe CM techniek geïmplementeerd wordt, kan men ervoor kiezen om de onderhoudsstrategie aan te passen.



Tip 1: Zie de implementatie van CM technieken en de keuze om onderhoud conditie-gebaseerd te doen los van elkaar.

Ten tweede denk ik dat je het implementatieproces van de CM techniek op een verstandige manier kunt versnellen. De projectmanager benadrukte regelmatig "Think big, start small. Zorg ervoor dat je het er altijd nog af kunt halen, dat je minimale impact hebt op het productieproces." Hier sluit ik me bij aan. Het idee dat je de CM techniek pas wilt gebruiken voor onderhoudsbeslissingen als de analyses goed zijn, sluit ik me ook bij aan.

Om het implementatieproces te versnellen, wil je daarom (a) zo snel mogelijk een inschatting hebben van de potentiële performance² van de CM techniek en (b) zo snel mogelijk de performance van de CM techniek goed krijgen. Des te eerder je weet dat het wel (/geen) zin heeft om een CM techniek te gaan gebruiken, des te eerder kun je deze potentiële performance gaan realiseren (/stoppen met investeren). Wees hierbij creatief. De onzekerheid over de

² Potentiële performance = hoe goed deze CM techniek in staat is om het falen van het asset op tijd te detecteren, als de CM techniek goed gebruikt wordt (technisch goed ingericht, metingen en analyses worden gedaan door ervaren mensen, etc.)

potentiële performance kan op veel efficiënte manieren verminderd worden, zoals het lenen van een testsysteem, het vergelijken van de analyses met andere CM technieken, het berekenen welke faalmodes de CM techniek wel en niet kan identificeren (en hoe vaak elke faalmodus voorkomt), het informeren bij interne en externe collega's, etc. Besef hierbij ook dat vrijwel geen enkele CM techniek perfect is (in staat om alle faalmodes van het asset ruim van tevoren aan te zien komen), maar ook niet perfect hoeft te zijn. Het gaat erom dat het een verbetering is ten opzichte van de huidige situatie.



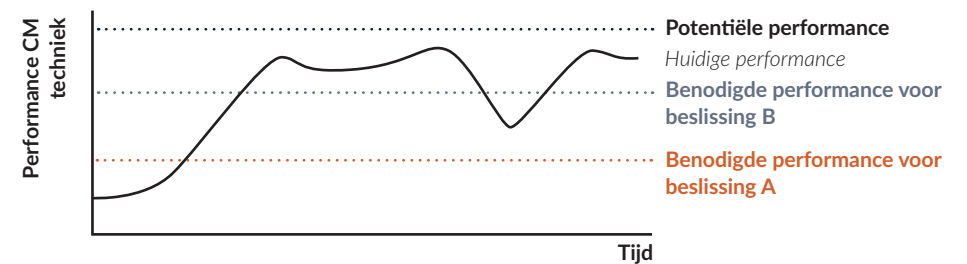
Tip 2: Probeer zo snel mogelijk erachter te komen of een CM techniek waardevol kan zijn en ...

... zo nee, te stoppen met investeren;

... zo ja, de performance van de CM techniek goed te krijgen.

Ten derde denk ik dat je het implementatieproces van CBM op een verstandige manier kunt versnellen door de keuze voor CBM objectief te maken. Ik zie in veel gevallen dat de keuze voor wel of geen CBM met name gebaseerd is op het vertrouwen dat men heeft in de CM techniek. Pas als men het gevoel heeft dat de CM techniek echt betrouwbaar is (proven technology), durft men over te stappen.

Er zijn verschillende typen onderhoudsbeslissingen, zoals: gaan we nu onderhoud uitvoeren? Gaan we een geplande onderhoudsbeurt overslaan? Gaan we het interval van onderhoudsbeurten verlengen? Elk van deze beslissingen heeft een eigen risico: als je de juiste keuze maakt, levert het je X op, maar als je de verkeerde keuze maakt, kost het je Y. Omdat het risico verschilt per beslissing, verschilt ook hoe goed de analyses van de CM techniek moeten zijn. Als het risico klein is, is het bijvoorbeeld al zinvol om de CM techniek te gebruiken als 50% van het falen op tijd gedetecteerd wordt. Als het risico groot is, is het pas zinvol om de CM techniek te gebruiken als 80% van het falen op tijd gedetecteerd wordt.



Figuur 1: Voorbeeld (niet uit de case)

Het berekenen van de benodigde CM performance is zinvol voor twee redenen. Ten eerste kun je hiermee het juiste moment bepalen om de analyses van de CM techniek te gaan gebruiken voor de besluitvorming. Veel CM technieken beginnen met een relatief lage performance. Als men fanatiek gelooft in de mogelijkheden van een CM techniek, bestaat het risico dat de analyses te vroeg gebruikt worden. Als men juist terughoudend is om de CM techniek te gaan gebruiken, kan met deze berekening aangetoond worden dat het verstandig is. Ten tweede kun je op basis hiervan inschatten wat een gewenst performance niveau is. Het gebeurt regelmatig namelijk dat de performance tijdelijk terugvalt, bijvoorbeeld na een modificatie aan het asset of na een wijziging van CM specialist. Hoe erg is dit en wat is een goed streefniveau?



Tip 3: Bereken voor elke (onderhouds)beslissing hoe goed de performance van een CM techniek moet zijn, wil het voordelig zijn om deze te gebruiken voor deze beslissing³.

³ Binnen het SAMEN project van World Class Maintenance zijn we dit als kennisproduct aan het ontwikkelen en wordt het getest bij Tata Steel Tubes Oosterhout. De methode is gebaseerd op twee 2x2 tabellen (zie Confusion matrix op Wikipedia), waarin je de verwachte jaarlijkse kosten berekent volgens (1) de huidige beslissingsmethode en (2) de nieuwe beslissingsmethode. Zelf ben ik voorstander van twee CM performance parameters: de sensitiviteit (= true positive rate = probability of detection = de kans dat je iets op tijd ziet falen) en de specificiteit (= true negative rate = de kans dat je iets correct als 'gezond' identificeert). Als je een van de twee als constante zet, kun je berekenen hoe goed de andere minimaal moet zijn om break-even te draaien.



2| Het opschalen van een CM techniek

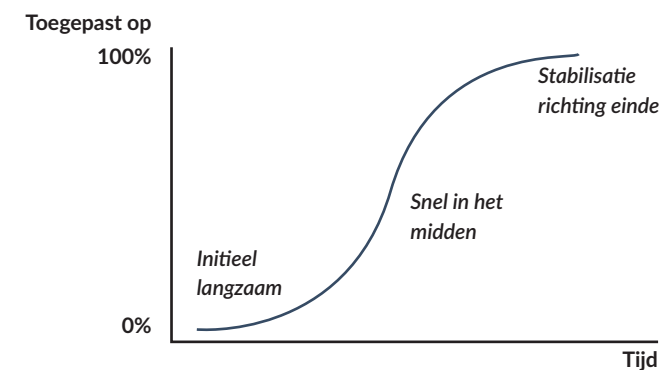
In het tweede onderzoek heb ik het opschaalproces van 12 verschillende CM technieken gevolgd, 6 bij Tata Steel en 6 bij BP. Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in het opschaalproces van CM technieken en – met name – om de snelheid van opschalen van CM technieken te kunnen verklaren. De cases zijn geselecteerd op (a) een verschillend huidig niveau van opschalen, (b) een verschillende gemiddelde snelheid van opschalen en (c) verschillende type CM technieken, zodat de 12 technieken representatief zijn voor de grotere groep aan technieken die gebruikt worden door Tata Steel en BP. Zo bevatten de 12 cases on-line en draagbare technieken, gevestigde en recent (zelf) ontwikkelde technieken, en generieke (NDT, SPC, alarm monitor) en toegespitste technieken (rollenmodel, katalysatormodel, windverhitter programma).



Hoe beïnvloeden technische, economische en organisatorische factoren het opschaalproces van CM technieken?

Wat verwacht je?

Het standaard beeld van opschalen is een proces dat langzaam opstart, versnelt als het momentum krijgt en op het einde langzaam richting de 100% gaat (de laatste loodjes zijn altijd lastig). Talloze studies over diffusie van innovaties tussen individuen en tussen bedrijven laat zien dat innovaties meer geadopteerd worden als ze bekender worden, als de kosten van aanschaf afnemen en als de onzekerheid over het nut van de innovatie vermindert.

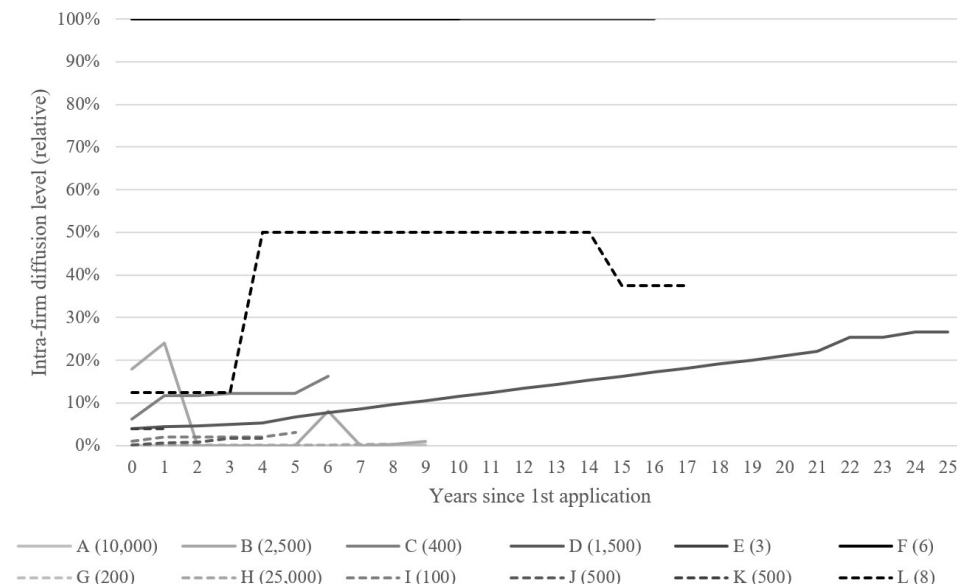


Figuur 2: Standaard beeld van opschalen: S-curve

Hetzelfde proces wordt verwacht binnen organisaties. Sterker nog, de verwachting is dat het sneller gaat binnen organisaties. Als in eerste toepassingen blijkt dat een CM techniek goed functioneert, verwachten we dat een (winst maximaliserende) organisatie gemotiveerd is om deze toepassing zo snel mogelijk op te schalen naar alle toepassingen waar dit de optimale CM techniek voor is. Des te meer de CM techniek gebruikt wordt, des te meer waarde kan de CM techniek opleveren.

Wat zagen we?

In de praktijk zagen we een heel ander beeld. Hieronder in Figuur 3 heb ik weergegeven hoeveel toepassingen elke CM techniek aan het einde van elk kalenderjaar had.



Figuur 3: De 12 opschaalprocessen

Onderin tussen haakjes staat bij elke CM techniek het totale aantal mogelijke toepassingen (100% diffusie voor deze CM techniek).

De belangrijkste observaties zijn:

- Geen van deze 12 CM technieken volgt de klassieke S-curve
- 2 van de 12 CM technieken beginnen meteen op 100% (er is een groot verschil in grootte van eerste adoptie, zowel in absolute als in procentuele zin)

- 10 van de 12 zullen 100% waarschijnlijk nooit halen (volledig opschalen is eerder een uitzondering dan de norm)
- In 54% van de jaren zijn CM technieken niet opgeschaald en in 3% van de jaren is het aantal toepassingen zelfs achteruit gegaan (periodes van opschalen en stagnatie wisselen elkaar af)

Waarom zagen we dit?

Als je de snelheid van opschalen wilt begrijpen, zijn er 4 aspecten die we moeten begrijpen. Ten eerste zijn sommige CM technieken en sommige organisaties *van nature* beter geschikt voor een snelle opschaling dan andere. Bijvoorbeeld, de mate waarin adopties geclusterd kunnen worden (zowel technisch en organisatorisch), de performance van de CM techniek (technisch), de kosten-effectiviteit en aanschafkosten van de techniek (economisch) en de mate waarin de techniek aansluit bij de processen en de vaardigheden van werknemers (organisatorisch) bepalen allemaal de snelheid waarmee een CM techniek opgeschaald gaat worden.



Inzicht 1: Hoe snel een CM techniek opgeschaald wordt, is afhankelijk van technische, economische en organisatorische factoren.

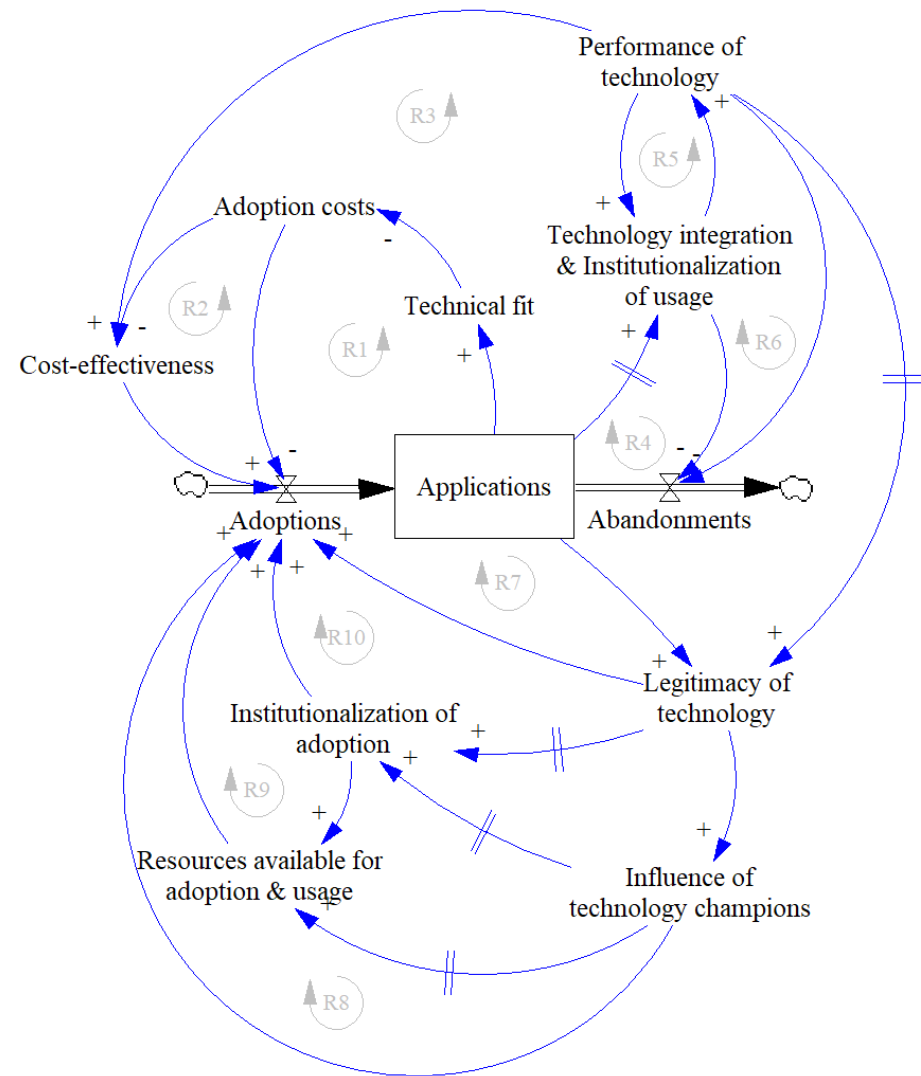
Maar deze factoren verklaren nog niet waarom er in de meerderheid van de jaren geen opschaling was. Dit wordt beter verklaard door de aanwezigheid van bepaalde plafonds. Dus, ten tweede, bij het opschalen loopt men tegen technische, economische en organisatorische plafonds aan. Zo kan het bijvoorbeeld zijn dat een CM techniek slechts de beste CM techniek is voor een deel van de populatie (technisch), dat een CM techniek niet voor de gehele populatie een positieve business case heeft (economisch) en dat met de huidige operationele capaciteit maar een deel van de populatie gemeten kan worden (organisatorisch). Deze plafonds liggen vaak allen op een ander niveau, bijvoorbeeld op 10%, 15% en 35%. Maar de kans is aanwezig dat je na het verhogen van het eerste plafond een ander plafond tegen gaat komen.



Inzicht 2: Vrijwel alle CM technieken lopen gedurende het opschalen tegen een plafond aan.

Gelukkig zagen we in 46% van de jaren ook wél verdere opschaling en in 14% van de gevallen nam de snelheid van opschalen zelfs toe ten opzichte van het vorige jaar. Daarom, ten derde, de factoren en plafonds zijn niet statisch, maar kunnen veranderen in de loop van de tijd door zogeheten diffusie mechanismen.

Een diffusie mechanisme is een mechanisme dat ervoor zorgt dat er in de volgende tijdsperiode (bijvoorbeeld in het volgende jaar) weer een nieuwe adoptie plaatsvindt. In de 12 cases kwamen we 10 van deze mechanismen tegen, weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4: Diffusie mechanismen

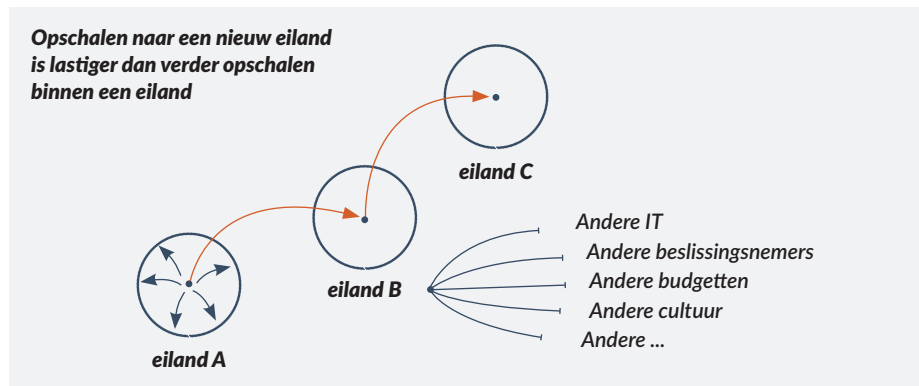
In het kort, als een nieuwe toepassing wordt geïnstalleerd, kan vaak de CM techniek en/of een deel van de aangelegde IT-infrastructuur hergebruikt worden

voor volgende toepassingen, resulterend in lagere aanschafkosten (R1) en een betere business case (R2) voor volgende toepassingen. Doordat nieuwe toepassingen geïntegreerd worden in de organisatie, krijgen de CM specialisten ervaring en komt men kansen tegen om de CM techniek te verbeteren. Hierdoor neemt de performance van de CM techniek toe (R5) en verbetert wederom de business case (R3). Ook verkleinen deze integratie (R4) en toename in performance (R6) de kans dat een toepassing wordt gestopt. Integratie (en institutionalisatie) van een nieuwe toepassing is dus een belangrijke stap. In de loop van de tijd zorgen positieve ervaringen met en succesverhalen over de CM techniek ervoor dat de techniek een 'proven technology' wordt. Dit vermindert weerstand om de techniek te gebruiken en kan er zelfs voor zorgen dat men erom gaat vragen (R7, technology pull). Ook neemt de invloed toe van de aanjagers van de techniek, waardoor het voor hen makkelijker wordt om de techniek toe te passen (R8, technology push). Maar in meerdere cases zagen we dat het opschalen pas echt hard gaat als adoptie geïnstitutionaliseerd wordt (R9) en hier geld en mensen voor beschikbaar komen om dit te realiseren (R10). Institutionalisering van adoptie wil zeggen: dat adoptie verplicht, normaal of gewenst wordt.

Inzicht 3: De factoren en plafonds veranderen in de loop van de tijd door diffusie mechanismen.

Toch weer even terug naar de 54% van de jaren waarin er geen opschaling was. Als we in deze cases 10 verschillende mechanismen vinden die allemaal verdere opschaling mogelijk maken en aanjagen, waarom gaat het opschalen in veel cases dan nog zo langzaam? Ten vierde, veel van deze diffusie mechanismen werken alleen lokaal. Ter illustratie: dat de IT-infrastructuur meteen goed aangelegd wordt bij de eerste nieuwe toepassing in een fabriek is heel fijn voor alle volgende toepassingen in dezelfde fabriek, maar verlaagt de adoptiekosten maar deels voor toepassingen in een andere fabriek. Dat een fabriek in de strategie voor komend jaar heeft opgenomen te investeren in CM technieken en hier budget voor heeft gereserveerd, helpt wederom alleen bij het realiseren van nieuwe toepassingen in die fabriek. Het bereik van deze diffusie mechanismen is dus beperkt; op elk nieuw 'eiland' zal het mechanisme opnieuw in kracht moeten winnen.

Inzicht 4: Veel van deze diffusie mechanismen werken alleen lokaal.



Figuur 5: Opschalen binnen en tussen eilanden

Wat leren we hiervan?

Er valt veel te leren van deze cases, maar laat ik me hier beperken tot de kern: wat kunnen de betrokkenen – de CM specialisten, de managers, de engineers – doen om het opschalen van een CM techniek succesvoller te maken? Allereerst, het begin is belangrijk. Als de eerste toepassingen een succes zijn, vergroot dit de kans dat anderen enthousiast worden en er meer resources vrijkomen om met de CM techniek aan de slag te gaan – dus dat het vliegwiel begint te draaien. Neem daarom de tijd om de CM techniek goed werkend te krijgen bij de eerste toepassingen, om er mee te leren werken en om het in te bedden in de organisatie.



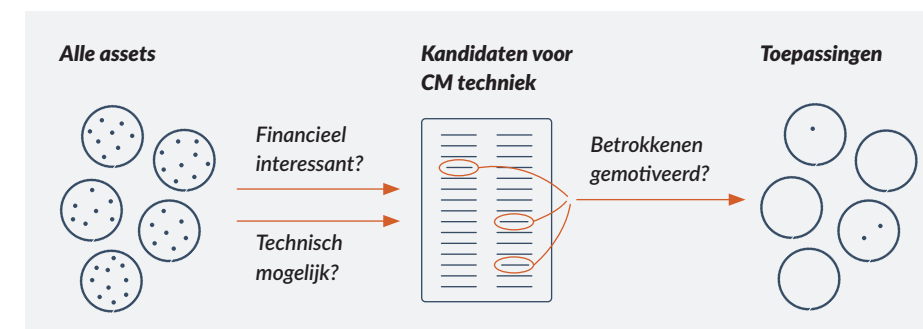
Tip 1: Besteed extra aandacht aan de eerste toepassingen.

Ten tweede, het selecteren van toepassingen is belangrijk, zeker als resources beperkt zijn. Mijn advies hierbij is om je niet puur te laten leiden door de business case – welke toepassing levert het meeste geld op? – maar met name door de vraag: waar willen de betrokkenen het liefst met deze CM techniek aan de slag? Innovatie is mensenwerk. Om een toepassing goed in te richten in de organisatie is overtuigingskracht nodig. Plus, bij nieuwe toepassingen zie je vaak dat men tegen onverwachte problemen/uitdagingen aanloopt. Het succes van de toepassing wordt daardoor bepaald door de mate waarin mensen zich extra in willen spannen om deze problemen/uitdagingen op te lossen. Zie een positieve business case als een noodzaak, als een instapcriterium. Net als dat het technisch mogelijk moet zijn om de CM techniek toe te passen en hiermee falen vroegtijdig aan te zien komen. Op basis van deze twee criteria kun je ideaal een lijst maken van assets die in aanmerking komen voor de CM

techniek. Bij Tata Steel hebben ze in dit proces bijvoorbeeld input gevraagd van de maintenance engineers van de fabrieken: welke installaties uit jouw fabriek komen in aanmerking voor een geavanceerd trillingsmeetsysteem en leveren bij een onverwachte stilstand minimaal X euro aan verlies op? De tweede stap in dit proces is om het te prioriteren, waar gaan we nu beginnen? Spreek hiervoor met de latere betrokkenen in het implementatie- en uitvoeringsproces – de maintenance engineer(s), de CM specialist(en), de manager(s), etc. – en baseer de prioritering op waar men het meeste energie en tijd heeft om met de CM techniek aan de slag te gaan. Daar is de kans van slagen het grootst.



Tip 2: Gebruik bij het selecteren van assets 2 instapcriteria (a. er valt met goed monitoren op jaarbasis X euro te verdienen en b. het is technisch mogelijk om het asset goed te monitoren) en 1 criterium om te prioriteren (waar willen de betrokkenen het liefst met deze CM techniek aan de slag?).



Figuur 6: Het selectieproces

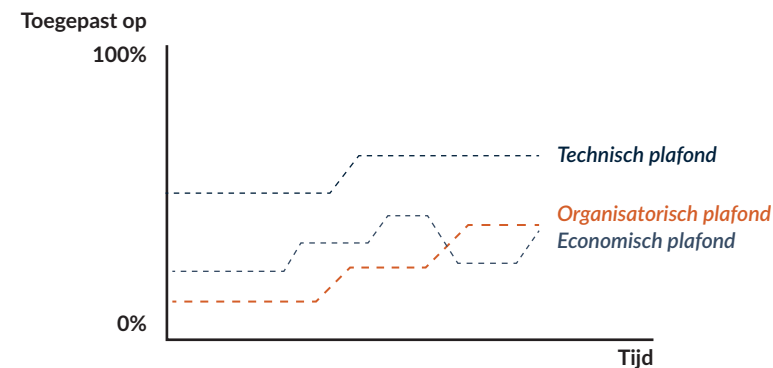
Ten derde, als je tip 2 gevolgd hebt en een lijst hebt met assets die in aanmerking komen voor de CM techniek, is mijn advies om op dat moment ook na te denken over hoe het opschaalproces eruit gaat zien. Dit is sterk afhankelijk van eigenschappen van de CM techniek (on-line/off-line, implementatie- en operationele kosten, complexiteit van gebruik, etc.) en je populatie aan toepassingen. Twee belangrijke vragen hierin zijn:

- Tegen welke technische, economische en organisatorische plafonds verwacht je (als eerste) op te lopen? (inzicht 2)
- In welke mate zijn de assets en de betrokkenen verspreid over technische, economische en organisatorische eilanden, die de werking van de diffusiemechanismen beperken? (inzicht 4, denk bijvoorbeeld aan andere IT, andere budgetten, andere betrokkenen, etc.)

Omdat het verhogen van sommige plafonds lang kan duren (het kost bijvoorbeeld tijd om de monitoring capaciteit uit te bouwen), is het verstandig om hier tijdig over na te denken. Het antwoord op beide vragen bepaalt gezamenlijk welke organisatiestructuur en welke opschaalstrategie het meest geschikt is. Ter illustratie, als de assets verspreid zijn over verschillende fabrieken en data verzameling geautomatiseerd is, kun je denken aan een centraal CM team. Als goed monitoren veel lokale kennis en/of handelingen nodig heeft, kun je denken aan een centraal trainingsteam voor lokale CM specialisten. Als de implementatie van de CM techniek complex en duur is, kun je als management overwegen een centraal implementatieteam in te richten met een eigen budget voor de aanschaf van de systemen. Als veel onafhankelijke individuen overtuigd moeten worden van adoptie van de CM techniek, kun je als management overwegen het gebruik van de CM techniek verplicht te maken. En zo verder.



Tip 3: Analyseer vooraf tegen welke technische, economische en organisatorische plafonds je verwacht aan te lopen in het opschaalproces. Bij het selecteren van de strategieën om de plafonds te verhogen, houdt rekening met het lokale karakter van diffusiemechanismen.



Figuur 7: Als het verhogen van een plafond resources kost, wil je dit (alleen) doen als het nodig is

In de cases hebben we verschillende strategieën voor opschalen geobserveerd:

- The lone wolf: de CM techniek wordt (vaak lokaal) door een CM specialist toegepast die in zijn/haar omgeving op zoek is naar nieuwe toepassingen
- The higher power: er wordt van buitenaf en/of bovenaf opgelegd dat het gebruik van de CM techniek verplicht is
- The program: er wordt een centraal programma opgericht dat als doel heeft om de CM techniek op te schalen

Elk van deze strategieën heeft zijn voor- en nadelen. Over het algemeen is de lone wolf het goedkoopst (en loopt dit het eerst tegen plafonds op), de higher power het snelst (en levert dit het meeste frustratie op) en heeft de program het grootste bereik (maar komt hier veel overleg en overhead bij kijken). Geen van deze strategieën is optimaal onder alle omstandigheden. Daarom zijn we nu in vervolgonderzoek bij verschillende asset owners aan het kijken naar wanneer welke strategie en organisatiestructuur gewenst is.



3| Richting CBM maturiteit

In het derde en laatste onderzoek heb ik samen met Nico van Kessel de inzichten uit de eerste twee onderzoeken en de bestaande literatuur vertaald naar een CBM maturiteitsmodel. Het doel van dit onderzoek is om een model te ontwikkelen dat mensen in de praktijk in staat stelt om (a) een visie te vormen van hoe het eruit ziet als een fabriek optimaal gebruik maakt van CBM en (b) de huidige maturiteit te onderzoeken, met name om mogelijke verbeteringen te identificeren en te prioriteren.

Het maturiteitsmodel is ontwikkeld volgens de design science methode, een stapsgewijze aanpak waarin je op basis van testen probeert het ontwerp steeds verder te verbeteren. De eerste versie van het model is ontwikkeld vanuit de literatuur en de kennis die we in het eerste en tweede onderzoek opgedaan hadden. Deze versie is getest in 12 workshops met in totaal 39 kennisdragers van Tata Steel, BP en daarbuiten. De feedback uit deze sessies is verwerkt in de tweede versie van het model. In een survey is vervolgens getest of het model compleet, accuraat en relevant is. Tot slot is het model gebruikt voor een assessment van een onderhoudsteam bij Tata Steel.



Wat is CBM maturiteit voor een asset owner en wat zijn logische stappen in het pad naar maturiteit?

Het CBM maturiteitsmodel staat achterin dit boekje weergegeven en kan opgevraagd worden. Hier wil ik met name stilstaan bij de lessen die wij hebben geleerd tijdens het ontwikkelen van het maturiteitsmodel en jullie meenemen in het maturiteitsdenken.

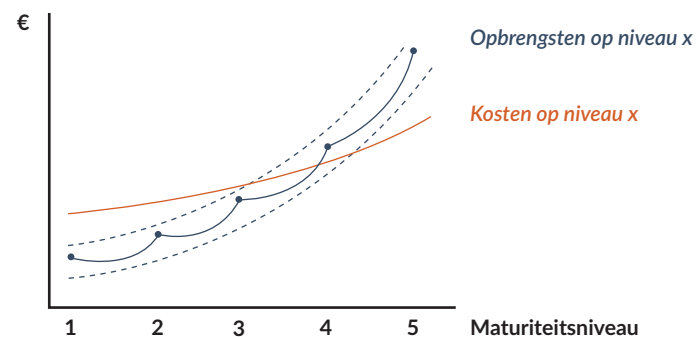
Maturiteitsdenken

Maturiteit betekent een staat van volwassenheid, van compleetheid. Maturiteitsmodellen zijn gebaseerd op de aanname dat het mogelijk is om deze staat van compleetheid te definiëren en dat organisaties zich kunnen ontwikkelen om deze staat te bereiken. De kern van het maturiteitsdenken is:

- Er zijn verschillende niveaus van maturiteit
- Elk niveau is een logisch niveau, waarbij de elementen goed op elkaar zijn afgestemd
- Hogere niveaus van maturiteit gaan gepaard met hogere benefits, maar deze worden vaak pas volledig gerealiseerd als alle elementen dat niveau hebben bereikt

- Om een hoger maturiteitsniveau te behalen, zijn eenmalige én structurele investeringen benodigd
- Het hoogste niveau van maturiteit is niet per definitie optimaal voor alle organisaties; voor veel organisaties wegen de extra benefits niet op tegen de hogere kosten om dit niveau te bereiken

Organisaties doen er dus goed aan om te identificeren wat hun gewenste maturiteitsniveau is en om alle elementen op dat maturiteitsniveau te krijgen (een element op een lager niveau vermindert de waarde die behaald wordt, een element op een hoger niveau kost vaak meer dan het oplevert).



Figuur 8: Een voorbeeld van de opbrengsten en kosten van een organisatie op verschillende maturiteitsniveaus

CBM maturiteit

Als een asset owner CBM maturiteit heeft bereikt, behaalt die asset owner de maximale waarde uit de CM technieken die er op dat moment in de tijd beschikbaar zijn. Dat wil zeggen, de asset owner (a) past de optimale combinatie van CM technieken goed toe op (b) alle assets die profijt hebben van CBM en (c) gebruikt de conditie informatie in alle relevante beslissingen.



Inzicht 1: Waarde uit CBM = kwaliteit monitoren x assets gemonitord x acties ondernomen.

Hoe dit er precies uitziet – welke CM technieken er toegepast worden op welke assets en welke beslissingen hierop genomen worden – verschilt van asset owner tot asset owner en verandert in de loop van de tijd. Een asset owner met veel mechanische assets zal meer profijt hebben van trillingsmetingen. Een asset owner met zware (en dure) consequenties van onverwachte stilstanden

zal een groter aantal assets conditie-gebaseerd willen onderhouden. Een asset owner met productiefaciliteiten zal kijken naar hoe degradatie van assets de efficiëntie en kwaliteit van het productieproces beïnvloed, een asset owner met infrastructurele assets (zoals bruggen, dijken) zal met name de degradatie willen monitoren om de veiligheid te waarborgen en de technische levensduur optimaal te benutten. Welke waarde er te behalen valt met conditie monitoring en welke CM technieken hier het beste voor ingezet kunnen worden, verschilt dus van asset owner tot asset owner.

Daarnaast zien we dat de technologische mogelijkheden nog flink aan het toenemen zijn. Elk jaar worden er nieuwe CM technieken ontwikkeld en vindt er verdere ontwikkeling plaats van bestaande CM technieken, met als gevolg dat er (a) meer degradatiemechanismen (accurater) gemonitord kunnen worden en (b) dat het monitoren van deze degradatiemechanismen relatief goedkoper wordt. Om natuur te blijven, moet een asset owner dus op de hoogte blijven van veranderingen in de eigen asset base (veranderen risico's, veranderen degradatiemechanismen?) en innovaties in CM technieken en op basis hiervan het portfolio aan CM technieken die gebruikt worden up-to-date houden.



Inzicht 2: Hoe CBM maturiteit er precies uitziet verschilt van asset owner tot asset owner en verandert in de loop van de tijd.

Alhoewel de precieze invulling van asset owner tot asset owner verschilt, zagen wij grote gemene delers in het pad naar CBM maturiteit, zowel qua logische stappen als qua transitie die plaats vinden. Grofweg zagen wij 5 niveaus:

1. *Geen CBM* – CBM wordt niet gebruikt.
2. *Reactief CBM* – Conditie monitoring vindt alleen plaats op verzoek; wanneer iemand een afwijking tegenkomt, wordt een CM techniek gebruikt om de conditie beter te onderzoeken.
3. *Gepland CBM* – CBM ligt volledig bij de onderhoudsafdeling en wordt structureel gebruikt om de efficiëntie van het onderhoud te verhogen. Makkelijk-te-leren en makkelijk-te-gebruiken CM technieken worden periodiek gebruikt, werk uit inspectie wordt via het standaard onderhoudswerkproces uitgevoerd.
4. *Proactief CBM* – De organisatie is aan het onderzoeken wat de optimale (combinatie van) CM technieken zijn voor elk asset en experimenteert met nieuwe en moeilijker-te-implementeren CM technieken. CM specialisten werken intensief samen met reliability- en procesengineers om de betrouwbaarheid en productiviteit van assets te verhogen.

5. *World Class CBM* – De conditie informatie en CM specialisten hebben een centrale rol in de organisatie gekregen en worden gebruikt in allerlei asset management beslissingen, zoals beslissingen omtrent productieplanning, projectenprioritering en inkoop. De CM technieken zijn opgeschaald en het portfolio aan CM technieken wordt continu up-to-date gehouden.

In het pad naar CBM maturiteit maakt de organisatie meerdere transitie door. Enkele belangrijke hiervan zijn:

- Er wordt meer en beter gemonitord: met meer (geavanceerdere) CM technieken, op meer assets en met hogere frequentie (meer on-line metingen)
- Er wordt meer met de conditie data gedaan: de data worden niet alleen gebruikt voor onderhoudsbepalingen, maar ook om te onderzoeken welk effect productie op degradatie heeft en andersom (en hoe deze samen geoptimaliseerd kunnen worden), om te bepalen welke CAPEX projecten prioriteit moeten krijgen (welke assets lopen het grootste risico), om de kwaliteit van het onderhoud te verbeteren (samen met onderhoudsleveranciers kan gekeken worden of het onderhoud daadwerkelijk de conditie heeft verbeterd), etc.
- CM specialisten krijgen een centralere rol in de organisatie: men overlegt niet alleen met de onderhoudsafdeling, maar ook met productieplanners, reliability engineers, project managers, etc., er komt een centraal CM programma en het CM portfolio wordt centraal gemanaged
- Er wordt meer gewerkt vanuit een integrale Asset Management benadering: de organisatie functioneert steeds minder in eilanden met eigen, tegenstrijdige doelstellingen (maximaliseren productie, minimaliseren onderhoudskosten), maar kijkt meer naar het gezamenlijke belang: het maximaliseren van de waarde die behaald wordt uit de assets
- De organisatie gaat actiever samenwerken in een netwerk met OEMs, CM dienstverleners en kennisinstellingen om op de hoogte te komen en blijven van de technologische mogelijkheden



Inzicht 3: Het pad naar CBM maturiteit ziet er op hoofdlijnen hetzelfde uit voor veel asset owners en vereist technische én organisatorische innovatie.

Wat leren we hiervan?

Tot slot wil ik graag nog enkele adviezen meegeven voor organisaties die het pad naar CBM maturiteit af willen gaan leggen – of al op weg zijn.

Allereerst, ga met elkaar in gesprek, visualiseer hoe CBM maturiteit er voor jullie situatie uitziet en bespreek wat een gewenst maturiteitsniveau is. In verschillende sessies heb ik gezien dat mensen vanuit het verleden een ander beeld hebben van wat Condition-Based Maintenance⁴ is, welke CM technieken er beschikbaar zijn en wat de organisatie zou kunnen met betere informatie over de conditie van assets. Om deze discussie goed te voeren, adviseer ik niet alleen onderhoudstechnici in de discussie te betrekken, maar juist ook managers en reliability engineers, productie/proces engineers, productie planners, project managers, inkopers, etc. – gebruikers van de conditie data.

Twee vragen wil je gezamenlijk een antwoord op vinden:

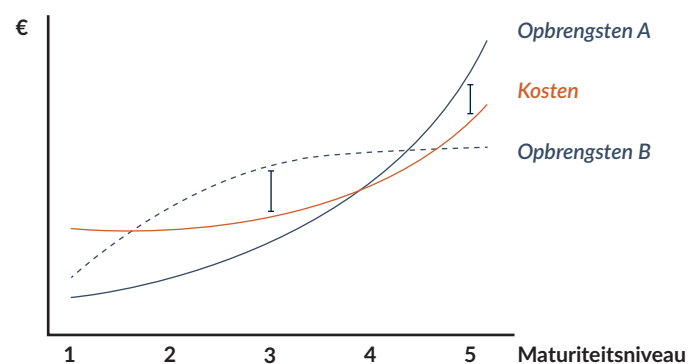
- a) Hoe ziet CBM maturiteit er voor ons uit? (denk hierbij bijvoorbeeld aan: Welke CM technieken gebruiken wij? Welke assets monitoren wij? In welke beslissingen nemen wij de conditie van assets mee? Voeren wij al het monitoren zelf uit of doen we dit samen met partners? Etc.)
- b) Op welk maturiteitsniveau willen wij zitten?

Het is niet voor alle asset owners optimaal om op maturiteitsniveau 5 te zitten. Het kost tijd, energie en geld om naar een hoger maturiteitsniveau te gaan, dus het is volledig de vraag hoeveel waarde je als asset owner kunt behalen uit beter monitoren. Als je hier meer over wilt weten, in een whitepaper heb ik samen met Semiotic Labs een methode uitgeschreven hoe je deze waarde kunt berekenen (de 3e methode).



Tip 1: Vorm gezamenlijk een visie met alle belanghebbenden van betere conditie data: wat kunnen wij hiermee? Hoeveel levert ons dit op?

⁴ Veel noemen het bijvoorbeeld "Condition-Based Monitoring", wat technisch gezien betekent dat er alleen gemonitord wordt als de conditie aangeeft dat er gemonitord hoeft te worden (dit bestaat als Risk-Based Inspection), of zijn het oneens over of visuele inspecties wel/niet tot CBM horen (als je op basis van een visuele inspectie besluit om onderhoud te doen: wel)



Figuur 9: Voor organisatie A is niveau 5 optimaal, voor organisatie B niveau 3.

Ten tweede helpt het maturiteitsdenken in het prioriteren van verbeterinitiatieven. Als de resources beperkt zijn (en dat zijn ze vrijwel altijd), waar kunnen wij dan het beste eerst in investeren? Wat loopt nog achter ten opzichte van het maturiteitsniveau waar wij als organisatie op willen zitten? En waar investeren wij nu eigenlijk te veel in? Veel maturiteitsmodellen zijn omgezet in assessments, waarmee de gebruikers in kunnen schatten hoe zij scoren op elk van de categorieën uit het maturiteitsmodel. Door het uitvoeren van een (self-) assessment elk jaar, of om het jaar, voordat de beleidsplannen voor het nieuwe jaar gemaakt worden, kunnen de verbeterinitiatieven met de hoogste prioriteit hier meteen in verwerkt worden.



Tip 2: Voer elk jaar, of om het jaar, een snelle check uit met elkaar om te kijken welke aspecten nog achter lopen (of juist voor lopen) op het gewenste maturiteitsniveau.

Tot slot, als je grondig wilt onderzoeken hoe matuur de organisatie is, adviseer ik om een combinatie van assessment methodieken te gebruiken. Waarom een combinatie? Omdat we tijdens het maken van het maturiteitsmodel erachter kwamen dat verschillende afdelingen, teams en netwerken bij het behalen van CBM maturiteit betrokken zijn. Het behalen van CBM maturiteit vereist technologische én organisatorische innovatie van de centrale organisatie (verantwoordelijk voor R&D, IT, Projecten, etc.), de fabrieken (lokale asset management organisaties; verantwoordelijk voor het onderhoud, productie, etc.) en de CM organisaties (verantwoordelijk voor het toepassen van een CM techniek). Elk van deze groepen heeft een deel van de sleutel in handen, geen van de groepen heeft invloed op alles. Als je zinnige verbeteracties uit

een assessment wil halen, kun je daarom het beste (met name) de dingen onderzoeken waar die groep invloed op heeft.

Denk bijvoorbeeld aan:

- Een assessment op asset owner niveau: in welke mate zijn de centrale afdelingen (zoals R&D, IT, Projecten, Inkoop, etc.) aangesloten op de gewenste CBM maturiteit? Is de IT plug-and-play voor nieuwe CM toepassingen, is er een centraal CM programma, wordt bij projecten standaard gekeken of CM een optie is, etc.
- Een assessment per asset cluster (bijvoorbeeld op fabrieksniveau): in welke mate zijn de lokale afdelingen (zoals de Onderhoudsteams, Productieteams, lokale IT, etc.) aangesloten op de gewenste CBM maturiteit? Welk gedeelte van de assets wordt conditie-gebaseerd onderhouden, is er budget om bij indicatie onderhoud conditie-gebaseerd uit te voeren, zijn de beslissingsprocessen ingericht op het gebruik van conditie informatie, etc.
- Een assessment per CM techniek: in welke mate is de CM techniek opgeschaald en wordt de gewenste performance behaald?



Tip 3: Combineer assessments om concrete verbeterinitiatieven te herleiden (en om het efficiënt te houden).

CBM Maturity Model

Voor asset owners in de procesindustrie

versie 2.3 (25-03-2020)

	1 Geen CBM	2 Reactief CBM	3 Gepland CBM	4 Proactief CBM	5 World Class CBM
Omschrijving	CBM wordt niet gebruikt	CBM wordt ad hoc gebruikt om te anticiperen op storingen	CBM wordt structureel en planmatig gebruikt om de efficiëntie van onderhoud te verhogen	CBM wordt proactief gebruikt om de betrouwbaarheid en productiviteit van assets te verhogen (reliability perspectief)	CBM wordt optimaal gebruikt om de behaalde waarde uit assets te verhogen (asset management perspectief)
Waarde	Geen waarde	Lagere onderhoudskosten door het voorkomen van storingen	Lagere onderhoudskosten door minder correctief onderhoud en beter voorbereid onderhoud	Hogere omzet uit productie door hogere OEE en klanttevredenheid en lagere onderhoudskosten door hogere betrouwbaarheid	Hogere ROA en lagere TCO door het verminderen van buffers en het optimaliseren van het gebruik van de assets
Technologie					
CM technologieën	Er worden geen CM technieken gebruikt	Makkelijk-te-gebruiken CM technieken worden enkel gebruikt als nader onderzoek	Makkelijk-te-leren en makkelijk-te-gebruiken CM technieken worden structureel gebruikt (proven technologies)	Er wordt structureel onderzocht wat de optimale (combinatie) van CM technieken per asset zijn. Hierbij wordt ook geëxperimenteerd met enkele moeilijk-te-ontwikkelen en moeilijk-te-leren CM technieken	Alle succesvolle CM technieken zijn opgeschaald en worden structureel gebruikt. Er wordt blijvend geëxperimenteerd met nieuwe CM technieken
Assets	CBM wordt op geen van de assets toegepast	Enkel de assets die vanwege andere redenen geobserveerd worden, maken kans op een verzoek tot nader onderzoek en CBM	CBM wordt structureel toegepast op de assets waarvoor het onderhoud efficiënter uitgevoerd kan worden	CBM wordt ook structureel toegepast op de assets waarvoor de betrouwbaarheid en/of productiviteit verhoogd kan worden	CBM wordt ook structureel toegepast op de assets waarvoor de ROA verhoogd en/of TCO verlaagd kan worden
Data	Er worden geen analyses uitgevoerd, dus er worden geen data gebruikt	Voor het uitvoeren van de onderhoudsanalyses worden master data en instrument data gebruikt (huidige meting)	Voor het uitvoeren van de onderhoudsanalyses worden ook financiële onderhoudsdata en inspectie- en instrument data uit het verleden gebruikt	Voor het uitvoeren van de reliability- en risico management analyses en het ontwikkelen van CM technieken worden ook procesdata, productdata, omgevingsdata en faaldata gebruikt	Voor het uitvoeren van de productie-, inkoop-, projecten- en ontwerp analyses worden ook voorraaddata en voorspellingen/toekomstige data van productieplanning, omgevingscondities en marktcondities gebruikt
IT-infrastructuur	Er wordt niet gemonitord, dus er is geen IT infrastructuur benodigd	Monitoring gebeurt met draagbare CM systemen	De IT-infrastructuur maakt het ook mogelijk om de CM data op te slaan en de huidige meting te vergelijken met historische data	De IT-infrastructuur maakt het ook mogelijk om procesdata, productdata, omgevingsdata en faaldata te koppelen, zowel voor het ontwikkelen van nieuwe CM toepassingen en voor het structureel gebruiken hiervan	De IT-infrastructuur is gestandaardiseerd, zodat het makkelijk is nieuwe CM toepassingen hierop aan te sluiten. De CM systemen zijn gekoppeld aan productieplanning-, inkoop en procesaansturingssystemen
Organisatie					
Strategie & doelstellingen	De organisatie heeft (al dan niet bewust) geen strategie, doelstellingen en KPI's op het gebied van CBM	De organisatie wil het onderhoud verbeteren, maar heeft hier nog geen concrete strategie, doelstellingen en KPI's voor	De organisatie heeft de strategie om onderhoud efficiënter uit te voeren. Onderhoudskosten is de belangrijkste KPI voor	De organisatie heeft de strategie om de betrouwbaarheid en productiviteit van de assets te verhogen en heeft een CM programma opgestart. De OEE, MTBF en onderhoudskosten/geproduceerd product zijn de belangrijkste KPI's	De organisatie heeft de strategie om de waarde uit de assets te optimaliseren en committeert zich aan een CM portfolio. ROA, TCO en LCC zijn de belangrijkste KPI's
Beslissingen	Er is geen informatie over de conditie van assets, dus hier worden ook geen beslissingen op genomen	De bevindingen uit het nader onderzoek worden alleen gebruikt voor het plannen van het onderhoudsmoment	De periodieke informatie over de conditie van assets wordt gebruikt voor (meer) onderhoudsbepalingen	De hoogfrequente en gedetailleerde informatie over de conditie van assets wordt ook gebruikt voor reliability- en risico management beslissingen	De brede, hoogfrequente en gedetailleerde informatie over de huidige en toekomstige conditie van assets wordt ook gebruikt in een breed scala aan asset management beslissingen, inclusief beslissingen omtrent productie, projecten, inkoop en ontwerp van (nieuwe) assets
Structuur	Er is geen structuur ingericht voor CBM	Nader onderzoek gebeurt door lokale onderhoudsteams en externe CM dienstverleners	Structurele monitoring gebeurt door een combinatie van lokale CM teams, centrale CM teams en externe specialische CM dienstverleners. De CM teams werken nauw samen met maintenance engineers	Er is een centraal ingericht CM programma dat nauw samenwerkt met de interne CM teams en externe specialische CM dienstverleners. De CM teams werken nauw samen met reliability engineers en process engineers	Het CM portfolio wordt centraal gemanaged. De CM teams worden intensief betrokken bij een reeks aan asset management beslissingen en zijn geïntegreerd in een netwerk van kennisinstellingen, fabriekanten van assets en CM technologieën, specialische CM dienstverleners en data scientists
Budgettering & capaciteit	Er is geen budget & capaciteit beschikbaar gesteld voor CBM	Er is vooraf geen budget & capaciteit gereserveerd voor CBM, maar er wordt wel budget & capaciteit beschikbaar gesteld wanneer nodig	Er zijn jaarlijkse budgetten & capaciteiten beschikbaar gesteld voor het uitvoeren van CM, het uitvoeren van CBM en het beheren van CM technologieën	Er is een apart CM programma budget & capaciteit beschikbaar gesteld voor het ontwikkelen en aanschaffen van nieuwe CM technologieën. De jaarlijkse budgetten & capaciteiten voor het uitvoeren van CM, het uitvoeren van CBM en het beheren van CM technologieën zijn uitgebreid	Er blijft budget & capaciteit beschikbaar voor het ontwikkelen en aanschaffen van nieuwe CM technologieën. De jaarlijkse budgetten & capaciteiten voor het uitvoeren van CM, het uitvoeren van CBM en het beheren van CM technologieën zijn verder uitgebreid
Processen & documentatie	Er wordt geen CBM uitgevoerd, dus er hoeven ook geen processen en documentatie ingericht te worden	Er is geen gedefinieerd proces voor nader onderzoek en werk uit inspectie. De documentatie ingericht te worden de communicatie van de huidige analyse	Er zijn gedefinieerde processen voor het uitvoeren van CBM, die geïntegreerd zijn in de standaard onderhoudswerkprocessen, en het beheren van CM technologieën. Belangrijke documentatie omvat (standaard) inspectielijsten en CM rapportages	Er zijn ook gedefinieerde processen voor het ontwikkelen en implementeren van nieuwe CM toepassingen, het uitvoeren van reliability analyses en modificaties en het evalueren van onderhouds-concepten. Belangrijke documentatie omvat een lijst met kritische assets, FMEAs en onderhoudsconcepten van die assets en CM concepten uit de pilots	Er zijn ook gedefinieerde processen voor het continu verbeteren van het CM portfolio en het gebruiken van informatie over de conditie van assets in beslissingsprocessen omtrent productie, inkoop, projecten en ontwerp van (nieuwe) assets. Belangrijke documentatie omvat een actueel overzicht van de CM technieken die bij elk asset gebruikt worden, een actuele lijst met kandidaten voor CBM en een CM concept per type asset
Governance	Er is geen governance benodigd voor CBM	Techisch specialisten worden betrokken bij de beoordeling van het nader onderzoek	De CM momenten zijn vastgelegd in een onderhoudsmanagementsysteem. CM procedures zijn gedefinieerd. CM specialisten zijn gecertificeerd en de inspectierapporten worden goedgekeurd door gecertificeerde inspecteurs	Design for reliability en design for maintenance zijn een verplicht onderdeel van projecten, er zijn heldere afspraken met interne en externe partijen over het eigenaarschap en gebruik van data en waar mogelijk wordt gebruik gemaakt van technologische en organisatorische standaarden	Design for monitoring is een verplicht onderdeel van projecten, de organisatie is asset management gecertificeerd en er wordt zo veel mogelijk gebruik gemaakt van technologische en organisatorische standaarden
Mensen					
Kennis & vaardigheden	Er zijn geen kennis & vaardigheden benodigd voor CBM	De onderhoudsteams hebben domeinkennis van de assets en zijn in staat om te bepalen of iets 'normaal' is	De onderhoudsteams zijn ook bekend met de basisprincipes van CM technieken, de CM teams beheersen makkelijk-te-leren en makkelijk-te-gebruiken CM technieken	De onderhoudsteams zijn ook bekend met de faalmechanismen van de assets en in staat om FMEAs en RCAs uit te voeren, de CM teams beheersen ook enkele moeilijk-te-leren CM technieken en zijn in staat om nieuwe CM toepassingen te ontwikkelen	De betrokken teams zijn ook bekend met de dragadramemechanismen van de assets, de effecten van degradatie op productie en de laatste innovaties op CM technologie gebied. Daarmee zijn zij gezamenlijk in staat om het productieproces te optimaliseren en buffers te verminderen
Cultuur	Er is geen onderhoudscultuur, onderhoud wordt niet als belangrijk gezien	Er is een brandweercultuur, de personen die onverwachte en urgente problemen oplossen worden gezien als helden van de dag. Ook is er een eilandcultuur, de organisatie bestaat uit veel losse teams, zoals onderhoudsteams, productieteams, projectteams, etc., die elk in eerste instantie hun eigen doelen nastreven	Er is een bureaucratische cultuur, binnen de (onderhouds)organisatie heerst sterk de behoefte om procesmatig en planmatig te werken	Er is een reliability cultuur, het verhogen van de reliability wordt vanuit verschillende teams omarmd om de productie te verbeteren, de onderhoudskosten te verminderen en de veiligheid te verhogen. Ook is er een pionerende cultuur, de personen betrokken bij het CM programma houden van het ontwikkelen van en experimenteren met nieuwe technologieën	Er is een asset management cultuur, iedereen in de organisatie voelt zich gedeeld eigenaar van de assets en wil vanuit zijn positie bijdragen aan het optimaal gebruiken ervan, zowel op korte als lange termijn. Ook is er een analytische cultuur, waarin men besluiten wil nemen op basis van actuele en accurate informatie, "mieten is weten"



Voor vragen over het CBM Maturity Model of het uitvoeren van een CBM Maturity Assessment, kun u contact opnemen met:
Roland van de Kerckhof
r.van.de.kerckhof@bp.nl

Het CBM Maturity Model is mede ontwikkeld door: Nico van Kessel (Tata Steel), Vijay Mohan (BP), Niels Noordervaren (UvT) & Henk Akkermans (UvT, WCM)

Afkortingen
CBM: Condition-Based Maintenance
CM: Condition Monitoring
OEE: Overall Equipment Effectiveness
ROA: Return On Assets
TCO: Total Cost of Ownership
LCC: Life Cycle Costs

Conclusie

Dus, als het technisch en economisch interessant is, waarom zien we nog niet meer CBM op basis van geavanceerde CM technieken? Gedurende het onderzoek zijn we verschillende onderdelen van de puzzel tegen gekomen:

1. De introductie van CBM en geavanceerde CM technieken kan veel tijd en energie kosten, zeker als het onbekend is wat de kwaliteit van de nieuwe, geavanceerde CM techniek is en meerdere betrokkenen overtuigd moeten worden van het nut. Pas als de data goed worden verzameld en de analyses goed worden uitgevoerd, heeft het zin om het onderhoud conditie-gebaseerd uit te voeren. Maar hier gaat een traject aan vooraf: (a) belangrijke beslissingen in het integratieproces van de CM techniek – zoals het aanschaffen van meetsystemen en het structureel inrichten van dataverzameling en analyses in de organisatie – worden pas genomen als men voldoende vertrouwen heeft in de potentiële kwaliteit van de CM techniek, en (b) het kost tijd om ervaring op te bouwen (via trial-en-error) met het verzamelen van de data (verzamen we de juiste data, verzamelen we de data juist?) en het uitvoeren van de analyses (hoe erg is een afwijking?).
2. Het opschalen van geavanceerde CM technieken kan lastig zijn, zeker als de CM techniek complex en kostbaar is en wanneer het gebruik van de CM techniek veranderingen vraagt van de bestaande organisatie. Veel CM technieken lopen in het opschalen tegen technische, economische en/of organisatorische plafonds aan. Alhoewel deze via diffusiemechanismen verhoogd kunnen worden, zien we dat veel van deze mechanismen alleen lokaal werken. Met als gevolg: des te meer de assets en betrokkenen gefragmenteerd zijn over verschillende eilanden, des te meer tijd, energie en geld is er benodigd om de CM techniek op te schalen. Binnen elk eiland kost het tijd om het gebruik van de CM techniek in te richten, om de techniek geaccepteerd te krijgen (proven technology), om resources beschikbaar te krijgen voor adoptie en gebruik, en om het verder adopteren van de techniek te institutionaliseren.
3. De transitie(s) die asset owners af moeten leggen op het pad naar CBM maturiteit zijn divers en uitgebreid. Fabrieken moeten identificeren welke assets geschikt zijn voor CBM, de IT-infrastructuur moet makkelijk toegankelijk zijn voor nieuwe CM technieken (plug-and-play), maintenance engineers moeten goed in contact komen met interne en externe CM specialisten, er moet uitgezocht en geleerd worden hoe conditie informatie

kan ondersteunen in verschillende beslissingen, etc. Al deze processen kosten tijd.

Omdat veel geavanceerde CM technieken pas recent zijn ontwikkeld en het vakgebied nog volop in ontwikkeling is, verwachten wij een evolutie in het gebruik van CBM te zien. Een evolutie waarin CM technieken geleidelijk accurater, goedkoper en makkelijker te adopteren worden, waarin asset owners experimenteren met een toenemend aantal CM technieken en de CM technieken verder opschalen, en waarin conditie informatie gebruikt wordt in een toenemend aantal beslissingen. De snelheid van deze evolutie kan verhoogd worden met de juiste inspanningen van leveranciers, dienstverleners, kennisinstellingen, management, CM specialisten en engineers. Dus laten we aan de slag gaan!

Bedankt

Aan iedereen die mij in de afgelopen jaren geholpen heeft met het onderzoek, bedankt! De afgelopen 6 jaar ben ik het onderhoudsvakgebied steeds meer gaan waarderen en heb ik – door jullie – veel geleerd over de waarde van goed onderhoud. Alhoewel sommige CM technieken sneller opgeschaald zijn dan anderen, zie ik potentie in vrijwel alle onderzochte CM technieken en in de mensen die hiermee werken. Nu hoop ik dat ik met de resultaten van het onderzoek jullie ook weer een stap verder kan helpen. Ik wens BP, Tata Steel en jullie het beste. Succes met opschalen!

Als dit document nieuwe vragen oproept, maak ik graag tijd om hier samen over na te denken. Stuur me gerust een mailtje met je vraag, dan plannen we snel een moment om het er verder over te hebben!



Roland van de Kerkhof

r.m.vdkerkhof@tilburguniversity.edu

