





Predictive Maintenance Day | 06-11-2024

"I dream that factories operate succesfully within the planetary boundaries."

- Roland van de Kerkhof

Maintenance strategies

SD&CO

Performing maintenance at the right time helps in realizing value from assets and can reduce footprint



Quiz time! (formative)

How many Condition Monitoring technologies exist?



















Quiz time!

What was the first Non-Destructive Testing technology?

And when was it developed?



1920: Industrial radiography 3

Quiz time!

For what percentage of assets is Predictive Maintenance optimal?



Percentage of assets

SD&CO

"In fact, if RCM is correctly applied to typical modern, complex industrial systems, it is not unusual to find that condition monitoring [...] is technically feasible for no more than 20% of failure modes, and worth doing in less than half these cases. This is not meant to imply that condition monitoring should not be used – where it is good, it is very, very good – but we must also remember to develop suitable strategies for managing the other 90% of our failure modes." - John Moubray (1997, p.155) "Op naar 100% voorspelbaar onderhoud." - World Class Maintenance

"Recent advancements in connectivity, data storage and data processing have increased the potential performance of condition monitoring, both in terms of efficiency and accuracy, dramatically expanding the potential scope of CM applications." - McKinsey (2015)



Technical perspective

How do assets degrade and break down?

"One of the key – and most challenging – findings of modern maintenance management is the discovery that very few failure modes are actually age-related."



Degradation often isn't proportional to stress, and stress is rarely constant
 Most systems are complex, in which a combination of subsystems (and interactions between them) lead to a multitude of possible failure modes



Technical perspective

How do assets degrade and break down?



Note: Most systems have multiple failure modes, which makes it harder to assess the current condition and predict time of breakdown (especially if stress is variable)

Quiz time!

Can you predict breakdown?









Detection

> Is there an anomaly?

Diagnosis

- > What is the current state of the asset? (failure mechanisms)
- > What has caused degradation?
- > What maintenance action is desired?

Prognosis

- > What is the expected future state of the asset? (failure mechanisms)
- > When is the asset expected to break down? (failure modes)
- > When is maintenance desired?
- > Can we skip the next (periodically) scheduled maintenance activity?



Type of analysis and prediction horizon affect what action you can take





Accuracy determines how often you take the right action



	Actual condition: positive (failure)	Actual condition: negative (no failure)	For most assets, the current prediction accuracy isn't zero, even if you aren't yet using predictive maintenance	
Predicted condition: positive (failure)	true positive (TP)	false positive (FP) (type I error)		
Predicted condition: negative (no failure)	false negative (FN) (type II error)	true negative (TN)		
	SENSITIVITY:	SPECIFICITY:	ACCURACY:	
	TP	TN	TP + TN TP + TN + FP + FN	
	TP + FN	FP + TN		

SD&CO

Most predictive maintenance applications have one or two dominant value drivers

Effect	How? (mechanism)	Effect	How? (mechanism)
Reduce maintenance costs -10%<>50%	 Reduce frequency maintenance activities: skip periodic maintenance if condition is ok lower failure rate through early repair of wear (detection), better maintenance (better diagnosis, more preparation time) and modifications (from improved understanding degradation) 	Reduce risk 0%<>50%	 Reduce frequency of incidents: > lower failure rate > prevent incidents by performing preventive maintenance and/or adjusting production Reduce consequences per incident: > anticipate earlier (early warnings)
	 Reduce costs per maintenance activity: > performance maintenance preventively (instead of correctively) > perform maintenance targeted/selective > cluster maintenance activities 	Reduce OPEX 0%<>10%	Reduce energy usage: > early detection of (causes of) efficiency losses Reduce material usage
Reduce CAPEX -10%<>50%	 Reduce frequency of investments: skip periodic investment/replacement if condition is ok lower failure rate through early repair of wear, better maintenance and modifications Reduce expenses per investment: reduce overspecification 	Improve OEE 0%<>25%	 Reduce downtime: lower failure rate, preventive (instead of corrective) maintenance, fewer periodic maintenance, clustering maintenance activities Improve performance: fewer slowdowns demonstrate that the asset can be safely operated at higher speed Reduce quality losses:

> early detection of (causes of) quality losses

Ramping up predictive maintenance

Insights from PhD research, asset owner perspective

Initial exploration

Tata Steel and BP in 2014:

- > $\pm 30\%$ of maintenance activities = inspection
- > $\pm 20\%$ of maintenance = condition-based
- > >50 unique Condition-Monitoring (CM) technologies used
 - > $\pm 75\%$ was used before 2000
 - > \pm 70% was used on a small part of applicable assets (0-20%)
 - > ±80% wasn't applied structurally (0-1 times per year per asset)

Research questions

If it is possible technically, interesting economically, and desired by organizations, why is the uptake of Condition-Based Maintenance (CBM) based on advanced CM technologies still so low?

Once a firm has decided to adopt a certain technology, why should it be slow in rolling it out to all potential applications?





Main insights



Observations

SD&CO

- > None of the 12 CM technologies followed the classic Scurve of innovation ramp-up
- > There's a large difference in extent of first adoption (for example, 2 technologies started at 100%)
- > Most technologies are unlikely to reach 100% (10 out of 12)
- > In 54% of years, the CM technology was not ramped up
- > In 3% of years, the CM technology was ramped down



CBM Maturity Model Voor asset owners in de procesindustrie

		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 gebrukt om te anticiperen op storingen	CBM wordt structureel en planmatig gebruikt om de efficiëntie van onderhoud te verhogen	CBM wordt proactief gebruikt om de betrouwboarheid en productiviteit von assets te verhogen (reliability perspectief)	CBM wordt optimaal gebruikt om de behaalde waarde uit assets te verhogen (asset management perspectief)	
	Waarde	Geen waarde	Lagere onderhoudskotten door het voorkomen van storingen	Lagere onderhoudskotten door minder correctief onderhoud en beter voorbereid onderhoud	Hogere onvet uit productie door hogere OEE en idanttevredenheid en lagere onderhoudslosten door hogere betrouwbaarheid	Hagere RDA en lagere TCD daar het verminderen van buffers en het optimaliseren van het gebruik van de assets	
Technologie	CM technologieën	Er worden geen OA technieken gebruikt	Makkelji-te-gebruiken CM technisken worden enkel gebruikt als nader onderzoeis	Mäkkelji-te-leren en mäkkelji-te- gebruiken OM technisisen worden structureel gebruikt (proven technologies)	Er wordt structureel onderzocht wat de optimule (combinate) van CM technieken per aast zijn / Nerzig wordt ook geluperimenteerd met enkale moalijk-te- ontwikkelen en moelijk-te-leren CM technieken	Alle successiolle CM technieken zijn opgeschaald en worden gructureel gebruikt. Er wordt tilgend gebruperimenteerd met nieuwe CM technieken	
	Assets	CBM wordt op geen van de assets toegepaa	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 aserts waarvoor het onderhoud efficienter uitgevoerd kan worden	CBM wordt ook structureell toegepäit op de assets waarvoor de betrouwbaarheid en/of productiviteit verhaogd kan worden	CBM wordt ook structureel toegepist op de assets waarvoor de RDA verhoogd en/of TCD verlaagd kan worden	
	Data	Er worden geen analyses uitgevoerd, dus er worden geen data gebruikt	Voor het uitvoeren van de onderhoudsanaljses werden master data en instrument data gebruikt (huidige meting)	Voor het uitvoeren van de onderhoudsansjass worden ook financiële onderhoudstasen ingevolke en instrument data-uit het verleden gebruikt	Voor het uitvoeren van de reliability- en risko management analyse en het ontwikkelm van CM technisken worden ook proceschita, productista, omgevingschita en faaklista gebruikt	Voor het uitvoeren van de productie-, inkoop-, projecten- en ontwerpaniljees worden ook voorraadste en voorspellingen/toekomstige data van productiegtanning, omgevingecondies en markscensties gebruikt	
	IT-infrastructuur	Er wordt niet gemonitord, dus er is geen IT- infrastructuur benodigd	Monitoring gebeurt met draegbare CM systemen	De IT-infrastructuur maakt het ook mogelijk om de CM data op te skaan en de hukdige meting te vergelijken met historische data	De IT-infrastructuur maaist het ook mogelijk om processista, productista, omgevingsstate en fastista te koppelen, zosel voor het ontelikelien van nieuwe CM teepasingen en voor het structureel ostruiken bievon	De IT-infraztructuur is gestandaardiseerd, aodar het makießij is nieuwe CM teepaasingen herop aan te sluben. De CM systemen zijn gekoppeld aan produckiegtannings, hikoop en procesaanturingssystemen	
Organisate	Strategie & doelstellingen	De organisatie heeft (al dan niet bewust) geen strazegie, doelstellingen en KPIs op het gebied van CBM	De organisatie wil het onderhoud verbeteren, maar heeft hier nog geen oncrete strategie, doelstellingen en KPIs voor	De organisatie heeft de strategie om onderhoud efficienter uit te voeren. Onderhoudskosten is de belangrijkste 171	De organisatie heeft de strategie om de betrouwbaarheid en productietet van de aaste te verhogen en heeft een CM programma opgestat. De CEE, MTBF en onderhoudskoten/geproducet mid de gin de belangrijste (Pls	De organisatie heeft de strategie om de waarde uit de stoets te optimaliseren en commiseer sich aan een CAI portfolio. RDA, TCD en LCC zijn de belangrijste (PIs	
	Beslissingen	Er is geen informatie over de conditie van asets, dus hier worden ook geen beskaingen op genomen	De bevindingen ut het noder onderzoek worden alleen gebruikt voor het plannen van het onderhoudemoment	De periodeke informatie over de condite van asset wordt gebruikt voor (meer) onderhoudsbesksingen	De hooghreguente en gedetallierde informalie over de conditie van assets wordt ook gebruikt voor reliability+ en risko management bedissingen	De breds, hooghrequente en gedstalikerek informatie over die huidige en toekomstige conditie van aaset wordt ook gebruikt in een breed solds aan aaset management bedissingen, inclusief bedisingen omtrent productie, projecten, inkoop en ontwerp van (Heuwei) aasets	
	Structuur	Er is geen structuur ingericht voor CBM	Nader onderzoek gebeurt door lokale onderhoudbaans en externe CM dienstverleners	Structureke monitoring gebaut door een combinatie van biskel CM teams, centrale OM teams en externe specialistische CM dienstverkinners. Die CM teams werken nauw samen met maintenance engineers	Er is ein centraal ingericht CM programma, dat nauw samonwerkt mit die interne CM taams en externe specialistische CM diensbereinens. Die CM saams werken nauw samen met roklability engineers en process engineers	Het CM portfolio wordt centrall gemanaget. De CM tearer worden intensief betrokken bij een reeks aan asset management bedesingen en zijn geintegreeerd in een netwerk van konnelisetuiten, fabrikarten van asset en CM technologieën, specialistache CM dientwelkenes en data scientitis.	
	Budgettering & capaciteit	Er is geen budget & capaciteit beschikbaar gesteld voor CBM	Er is vooraf geen budget & capacheit gereterveerd voor CBM, maar er wardt wei budget & capacheit beschikbaar gesteld wonneer nodig	Er sig jazigise budgeten & capackelen Dechtikbaz geseld voor het ubvoeren van CM, het ubvoeren van CBM en het beheren van CM technologieën	Er is een apart CM programma budget 8. capacitet bosrfebaar gewield voor het ontwikkelen en aanschaffen van nieuwe CM technologieen. De jaarlijke budgeten 8. capaciteiten voor het uitweeren van CM, het uitweeren van CDM en het beheren van CM schrologieen zijn uitgebreid	Er bigt budget 8 capaciteit bescheibbar voor het ontwikkelen en anschultinn van nieuwe Chitechnologieën. De jaarlijke budgetten 8 capaciteiten voor het uitkoeren van Chij het übwoeren van CBM en het beheren van Chi fachnologieën zijn verder uitgebreid	
	Processen & documentatie	Er wordt geen CIM Liggewaerd, das er hoeven ads geen processen en documentale ingericht te worden	tr is geen gederkeerd proces voor nader onderzoek en werk uit trepoetie. Die documentalie begenit zich tot die communicatie van de huidige analyse	Er zijn gedefinierede processen voor het ubeenn van CBU, die geintegerei zijn in die sanzbard onderhoutskerktprocessen, en het beheren van CH technologien, Bekengijke documentalie omwe bandaert inspecielijken en CM rapportagis	Er als och gederfelsende processen voor het onterkloken en ingelsensterenn van nieuwe CM toepasingen, het uitvoeren un relability anglese en modificaties en het eutarien van onderhoutvoeren jut bestraffeld oppengen falle onen jut bestraffeld oppengen falle onen jut onderhoudscorcepten van die aaerts en CM concepten val de plats	Er als ook gederkieren beprozesen voor het continu verbieren van het CM het continu verbieren van het CM ower die contikte van aaste te beslaatingsprozessen omtenet productie, stockt georgen of oordrezen in finlene alstaat georgen of oordrezen in finlene oordrezen of oordrezen ooordrezen oordrezen oordrezen ooordrezen oordrezen oordrezen ooordr	
	Governance	Er is geen governance benodigd voor CBM	Technisch specialisten worden betreikken bij de beoordeling van het nader onderzoek	De CM momenten zijn vadgalegd in een onderhoudsmaagemengsbeern, CM procedures zijn gedefinieerd, CM geodikken zijn geoerzitkoerd en de impediaragonien worden gedegleeurd door geoerzitkoerde inspecteurs	Disign for reliably on disign for maintenance spin on veryficht onderdeel van projecter, er zijn heldere afspraken met itaarne en ekterne partjen over het eigenaarschoe en gebruik van data en waar moeije wordt gebruik gemaakt van technologische en organisatorische gandaarden	Design for monitoring is een verplicht onderdeel van projecten, de organizatie is asset management gecontificeerd en er wordt zu veel mogelijk gebruik gemaakt van technologische en organisatorische standaarden	
Mensen	Kennis & vaardigheden	Er sjin geen kannek & vaardigheden benodigd voor CBM	De onderhoudsteams hebben domehisensis van de assets en zijn in staat om te bepalen of lets 'normaal' is	De onderhoudsteamt zijn oek bekend met de basiepringen van CM technieken, de CM teans beheersen makkelijk-te-keren an makkelijk-te-gebruiken CM technieken	De onderhoudstamer zijn ook bekend met de faalmecharismen van die aaste en in staat om FME As en RCAs alt te vooren, die Oit teams beheersen ook entsele moeilijk- teken OIt sochtrekken en zijn in staat om nieuwe CM teopatelingen te ontwikkelen	De betrokken teams zijn ook bekend met de dragnabatiernechnikeren van de aaeste, de efficien van degnabate op productie en de laatse innovaties op CM technologie gebied. Daarmee zijn zij gezannelijk in staat om het productieproces te optimalieren en buffers te verminderen	
	Cultuur	Er is geen onderhoudsolbur, onderhoud wordt niet als belangrijk gezien	Fr & een brandieencubur, de personen de onvervatien en urgente problemen optosen worden gesten als helden van de dag. Obi is er een ellendencubur, de organisatie bestaat alt veel losse teams, zoals onderhoudsaams, productietams, zoals onderhoudsaams, productietams, projectaams, ers, die ek in eente instatte hun eigen doelen naareven	Er is ein bureaustatiche ouhur, binnen die proderboudingunstate hereit terk die behoefte om procesmatig en planmatig te werken	Er is ein relaktigt ochsur, het verhögen van die relaktigt wordt vanzik verschliende sams omarmå om die productie te verbeteren, die onderhoudikoeten te verminderen en die velikgheid te verhögen. Das is er een panierendie cubuur, de personen betrokken tij het. Of die programma houden van het omskikolen van en experimenteren met nieuwe	Er is ein asset management cultur, isdmenen in die organisatie voet sich godeeld eigenaar von de assets en wil vanuit zijn positie bijdragen aan het ogtimaal gebruiken erver, aoseit op korte als kinge termijk. Ook is er een andigtsche cultur, waarin mein bedulten wil nemen op basie von actuele en accurate informatie, "meten is weten".	

Explanations

- > The speed of ramp-up is dependent upon technical, economic and organisational factors
- > Almost all technologies encounter "ceilings" in their rampup trajectories, which can be technical, economic or organisational in nature
- > The factors and ceilings change over time through diffusion mechanisms (see picture above)
- > Most of these diffusion mechanisms work locally only

Towards maturity

- > What level of CBM maturity is optimal, differs from organisation to organisation and can differ over time
- The path towards CBM maturity looks similar for many asset owners and requires both technical and organisational innovation (WCM SAMEN kennisproduct 3)
- AOs are dependent upon CM service providers for developing, applying and ramping up CM technologies at multiple levels of maturity

WCM Fieldlab SAMEN

KP3: Predictive maintenance roadmap

- Technical and economical perspectives are relevant, but select based on motivation of the people involved (innovation: uncertain, requires effort and convincing)
- Pay additional attention to first applications of new predictive maintenance technologies

(try to get the data collection, analysis and decision-making processes in place and the performance at the desired level)

> Do it together

SD&CO

(even the largest asset owners greatly benefit from utilizing the knowledge and innovative capability of their service providers and OEMs)



https://www.wcmvector.com/kennisproduct/stappenplan-predictive-maintenance; https://www.wcmvector.com/





"We are system dynamics specialists, domain experts and dreamers. Together we model complex systems and accomplish smart decisions."

