

Materiaal mag uitsluitend voor niet-commerciële doeleinden worden gebruikt en indien bronvermelding wordt toegepast. De inhoud van dit rapport is met zorg samengesteld. Colibri Advies BV en de auteur aanvaarden echter geen aansprakelijkheid bij gebruik/toepassing van deze tekst.

Factsheet onderhoud op basis van risicobeheersing

Synoniemen voor onderhoud op basis van risicobeheersing

- RCM - Reliability Centered Maintenance;
- RBM - Risk Based Maintenance;
- ProBo - Probabilistisch beheer en onderhoud.

RCM/RBM

Vrijwel identieke benaderingen. Verschil zit onder andere in de risicobenadering. Bij RCM van oorsprong alleen onderscheid in wel of geen risico. Bij RBM differentiatie in risico's door toepassing van een risicomatrix. Een ander verschil is dat RCM al vroeg in het proces uitgebreid in gaat op de oorzaken van falen van objecten. RBM doet dit pas als objecten kritiek blijken. Dat laatste bespaart tijd. Tegenwoordig is het onderscheid tussen beide methoden in de praktijk echter niet meer aan te wijzen. Beide benaderingen worden als synoniemen gebruikt. Dus ook bij RCM worden risicomatrices toegepast en kun je in een later stadium dieper ingaan op oorzaken van falen.

ProBo

Werknaam van RWS voor onderhoud op basis van risicobeheersing. Vergelijkbaar met een eenvoudige tot uitgebreide aanpak van RCM/RBM. Voor eenvoudige objecten beperkte inspanning; voor complex objecten uitgebreide inspanning (o.a. faalkansanalyses). Onderscheid in:

- ProBo eenvoudig;
- ProBo 1ste orde;
- ProBo volledig.

Keuze voor de ProBo-aanpak volgt uit (zie RWS leidraad ProBo):

- Complexiteit van het systeem (RAMS-kwetsbaarheid; redundantie, innovatieve concepten, veel bewegende delen, enz.);
- Criticaliteit van het systeem (RAMS-invloed; impact bij falen groot of klein).

Terminologie

Benamingen voor onderhoud & beheer op basis van risicobeheersing

- Risicogestuurd onderhoud en beheer
- RCM - Reliability Centered Maintenance
- RBM - Risk Based Maintenance
- ProBo - Probabilistisch beheer en onderhoud

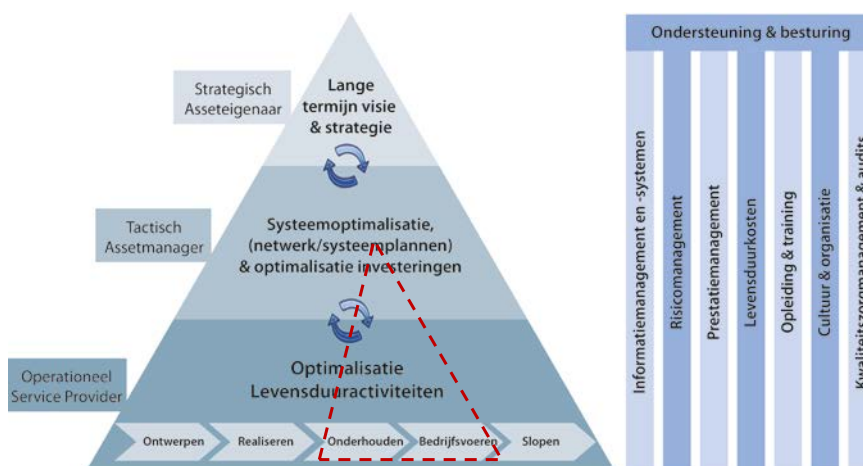
Verwante vakgebieden (maar niet synoniem)

- Infrastructure Asset Management - ISO 55.000/PAS 55
- Systems Engineering
- Engineering Economy

Belangrijkste tools en instrumenten

- RAMS(SHEEP) analyse (verzamelterm)
- FMEA/FMECA - Failure Mode Effect and Criticality Analysis
- Risicomatrix
- Reliability Block Diagram analysis
- FTA - Fault Tree Analysis
- ETA - Event Tree Analysis
- Business case approach
- LCC - Life Cycle Costing
- NPV - Net Present Value calculations for investment and replacement strategies

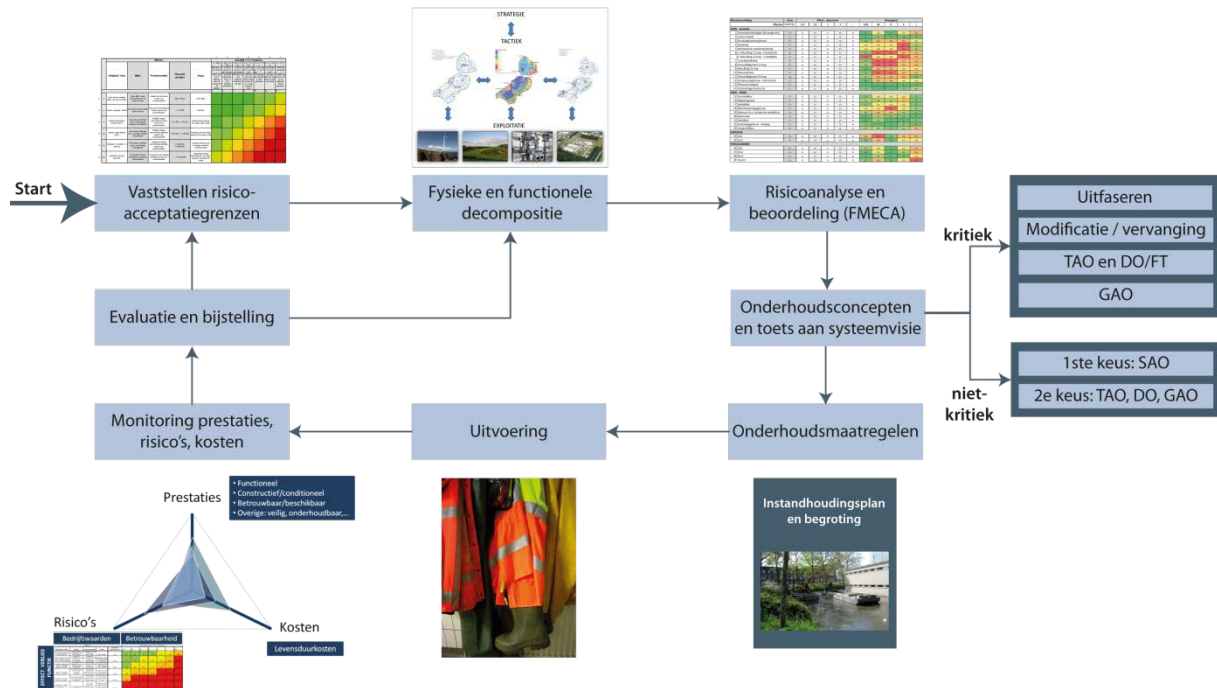
Positie van RCM/RBM/ProBo binnen assetmanagement



Figuur 1 Positie van onderhoud op basis van risicobeheersing binnen assetmanagement

Instandhoudingscyclus

Cyclus onderhoud op basis van risicobeheersing



Figuur 2 Cyclus onderhoud op basis van risicobeheersing

Stap 1: Opstellen risico-acceptatiegrenzen (risicomatrix)

Je stelt met elkaar een risicomatrix op.

- Horizontale as met faalkansen en een schaalverdeling;
- Kolommen met effectcategorieën en een schaalverdeling voor de ernst van het effect;
- Een risiconormering in de vorm van een kleurschaal en/of getallen en/of risicokosten.

Een risicomatrix dient bestuurlijk te worden vastgesteld.

Een voorbeeld is opgenomen in figuur 3.

Effecten						Standtijd = X (1/ Faalkans)							
Veiligheid / Arbo	Milieu	Productkwaliteit	Financiële gevolgen	Imago	X > 100 jr.	25 jr. ≤ X < 100 jr.	10 jr. ≤ X < 25 jr.	5 jr. ≤ X < 10 jr.	1 jr. ≤ X < 5 jr.	0,1 jr. ≤ X < 1 jr.	X < 0,1 jr.		
					Meer dan 1x per 100 jaar	1x per 25 jaar tot 1x per 100 jaar	1 x per 10 jaar tot 1x per 25 jaar	1x per 5 jaar tot 1x per 10 jaar	1x per jaar tot 1x per 5 jaar	12x per jaar tot 1x per jaar	Vaker dan maandelijks		
					Het is nog nooit gebeurd maar we kunnen het niet uitsluiten	Ik zal het waarschijnlijk 1x in mijn loopbaan meemaken	Als het 2x in mijn loopbaan voorkomt is het veel	Het komt voor maar niet zo vaak. Ik maak dit 4 x in mijn loopbaan mee	Om de paar jaar verwacht ik deze problemen	Een paar keer per jaar ben ik er wel mee bezig	Ik weet nog precies w at er de afgelopen maand gebeurd is		
					1	2	4	8	16	32	64		
E1	1	Geen enkel schadelijk effect, ook niet op termijn	Geen effect / geen overschrijding van de interne normen	Voldaan aan de interne normen voor productkw aliteit	Geen schade	Geen effect							
E2	2	Pleister, ongemak, irritatie	Korte (uren) overschrijding interne normen	Korte (uren) overschrijding interne normen voor productkw aliteit	< €10.000	Klachten							
E3	8	Dokters-behandeling zonder verzuim.	Niet voldoen w ettelijke eisen, zonder directe zichtbare milieueffecten	Tijdelijke (dagen) overschrijding interne normen voor productkw aliteit	€10.000 - €100.000	Geringe aantasting van het imago, geen media							
E4	16	Verzuim, geen blijvend letsel.	Niet voldoen w ettelijke eisen, zichtbare beperkte milieueffecten	Tijdelijke (dagen) overschrijding w ettelijke normen voor productkw aliteit	€100.000 – €1.000.000	Aantasting van het imago, aandacht van lokale media							
E5	32	Handicap of overlijden 1-2 persoon	Niet voldoen w ettelijke eisen, met ernstige milieueffecten	Langdurige (w eken) overschrijding w ettelijke normen voor productkw aliteit	€1.000.000 – €10.000.000	Ernstige aantasting van het imago, aandacht nationale media							
E6	64	Overlijden meerdere personen	Structurele ernstige milieueffecten (langdurig, onherstelbaar)	Structurele overschrijding w ettelijke normen voor productkw aliteit	> €10.000.000	Langdurige ernstige aantasting van het imago, aandacht internationale media							

Figuur 3 Voorbeeld risicomatrix met risico-acceptatiegrenzen

Stap 2: Fysieke en functionele decompositie

Je beschrijft de objecten, hun functies en de samenhang tussen deze objecten en functies:

- Objectenregister (beschrijven wat je hebt);
- Fysieke samenhang (tekeningen, PI&D's, objectenboom, netwerkkaart);
- Prestatie-eisen van de systemen en objecten:
 - Functionele eisen (capaciteit, waterkerende hoogte, zuiveringsrendement, ...);
 - Technische staat;
 - RAMS(SHEEP)-eisen: eisen aan de betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid, veiligheid, ... (*reliability, availability, maintainability, safety, security, health, environment, economics, politics*).
- Functionele samenhang:
 - Doelenboom / line of sight: doorvertalen van KPI's of Service Level Agreements (SLA's) op strategisch niveau naar prestatie-eisen voor (sub)systemen en objecten;
 - Voor het doorvertalen van eisen voor de beschikbaarheid en betrouwbaarheid kun je werken met Reliability Block Diagram analyses of Fault Tree analyses.

Stap 3: FMECA (risicobeoordeling)

- Je voert een Failure Mode Effect & Criticality Analysis (FMECA) van objecten in het systeem uit.
- Je toets hierbij hoe erg het is als een object zijn functie verliest. Ieder object krijgt hiermee een risicoclassificatie (kleur of risicogetal op een effectcategorie).
- Dit toetsen doe je met de risicomatrix die je van te voren hebt opgesteld (figuur 3).

Aanpak FMECA

1. Segmentatie
2. Functies
3. Verlies van functie / faalvormen
4. Faalkansen
5. Effecten van falen
6. Risicobeoordeling (Criticaliteitsbepaling)

Toelichting aanpak:

1. Segmentatie: omdat je objecten moet beoordelen en er vele objecten zijn, kijk je eerste welke systemen meer kritiek zijn dan anderen. Vervolgens kijk je op welk niveau je objecten in dat systeem gaat beoordelen.
2. Van ieder object benoem je de functies (dit heb je als het goed is in de voorgaande stap van de functionele decompositie al gedaan).
3. Van ieder object benoem je welke faalvormen maken dat het object zijn functie(s) verliest.
4. Vervolgens schat je de faalkansen in van deze faalvormen. Hierbij ga je er vanuit dat je geen onderhoud meer zou uitvoeren. Je kunt ook de faalkansen inschatten als je wel het huidige onderhoud blijft uitvoeren. In dat geval evalueer je het huidige onderhoud. Voor de eerste 4 stappen van een FMECA: zie figuur 4. Faalkansen inschatten is best lastig. Je kunt gebruik maken van eigen registraties, expert judgement, faalkanstabellen uit de literatuur en analysemethoden zoals FTA (foutenboomanalyse).
5. Je schat de effecten in die optreden als een object zijn functie verliest (faalt). Deze effecten heb je in de risicomatrix al benoemd.
6. Je stelt met behulp van de risicomatrix de risicokleur/getal/risicokosten van het object vast op iedere effectcategorie. Een voorbeeld van dit resultaat is opgenomen in figuur 5.

ID	Beschrijving	Functie		Verlies van functie	Evident of verborgen?	Faaloorzaken		MTBF	
PAB xxx.A	Centrifugaal-pomp	Hoofdpomp	1	Verpompen van water met een debiet tussen 50 en 100 m ³ /h gedurende 24 uur per dag	Pomp kan niet of niet voldoende pompen	evident	1.1	pomp trilt; pomp raakt in onbalans	10 jaar
							1.2	waaier loopt vast	10 jaar
							1.3	lagers zijn versleten	5 jaar
							1.4	waaier is versleten	
							1.5	waaier corrodeert	20 jaar
							1.6	stopbuspakking verbrandt	20 jaar
							1.7	pomphuis is gecorrodeerd	20 jaar
							1.8	pomp valt uit door stroomstoring > 10 min	5 jaar
							1.9	zuigleiding verstopt	3 jaar
							1.10	...	...
							1.11	...	...
		2	....	....	....	....	....	....

Figuur 4 Voorbeeld FMECA (begin)

Risicobeoordeling	Effecten	Kans kolomnr.	Effect - rijnummer					Risikogetal				
			V/A	M	P	F	I	V/A	M	P	F	I
AWZI - waterlijn												
1 Aanvoerpersleidingen (bovengronds)	F4	E1	E4	E1	E4	E5	8	128	8	128	256	
2 Instroomwerk	F1	E1	E5	E1	E4	E4	1	32	1	16	16	
3 Roostergoedverwijderaar	F5	E2	E4	E4	E4	E3	32	256	256	256	128	
4 Zandvang	F7	E2	E2	E2	E3	E1	128	128	128	512	64	
5 Mechanische zandverwijdering	F7	E2	E2	E2	E3	E1	128	128	128	512	64	
6 a. Beluchting 1e trap - mechanisch	F6	E1	E4	E4	E3	E3	32	512	512	256	256	
b. Beluchting 1e trap - E-installatie	F5	E5	E3	E3	E5	E4	512	128	128	512	256	
7 Tussenbezinktank	F6	E1	E4	E4	E3	E3	32	512	512	256	256	
8 Retourslibgemaal 1e trap	F6	E2	E4	E4	E3	E3	64	512	512	256	256	
9 Beluchting 2e trap	F5	E1	E4	E4	E3	E3	16	256	256	128	128	
10 Nabezinktanks	F6	E1	E4	E4	E3	E3	32	512	512	256	256	
11 Retourslibgemaal 2e trap	F6	E2	E3	E3	E3	E1	64	256	256	256	32	
12 Kompressorgebouw - traforuimte	F5	E1	E4	E4	E3	E3	16	256	256	128	128	
13 Effluent meetgoot	F1	E1	E1	E1	E3	E3	1	1	1	8	8	
14 Uitstromingsconstructie	F1	E5	E1	E1	E5	E6	32	1	1	32	64	
AWZI - sliblijn												
15 Voorindikker	F5	E2	E3	E3	E3	E2	32	128	128	128	32	
16 Slibgistingstank	F6	E2	E2	E2	E3	E1	64	64	64	256	32	
17 Naindikker	F5	E2	E3	E3	E3	E2	32	128	128	128	32	
18 Slibontwateringsgebouw	F7	E2	E2	E3	E2	E1	128	128	512	128	64	
19 Gebouw t.b.v. technische installaties	F6	E2	E3	E3	E2	E1	64	256	256	64	32	
20 Gashouder	F3	E2	E4	E3	E3	E2	8	64	32	32	8	
21 Gasfakkel	F3	E2	E4	E2	E2	E3	8	64	8	8	32	
22 Bedieningsgebouw - berging	F1	E5	E1	E1	E5	E4	32	1	1	32	16	
23 Kompostfilters	F6	E2	E2	E1	E2	E3	64	64	32	64	256	
GEMALEN												
24 Zuid	F6	E3	E4	E1	E3	E3	256	512	32	256	256	
25 Oost	F5	E2	E4	E1	E3	E3	32	256	16	128	128	
PERSLEIDINGEN												
26 Zuid	F4	E3	E4	E1	E4	E5	64	128	8	128	256	
27 Oost	F4	E2	E4	E1	E3	E5	16	128	8	64	256	
28 West	F4	E1	E3	E1	E2	E4	8	64	8	16	128	
29 Noord	F5	E2	E4	E1	E3	E5	32	256	16	128	512	

Figuur 5 Voorbeeld resultaat FMECA: risicokaart of risicoregister voor de objecten

Stap 4: Onderhoudsconcepten opstellen

Risico's mogen niet onacceptabel (rood) zijn. Met maatregelen moet het risico worden teruggebracht tot een aanvaardbaar niveau. De mogelijkheden zijn:

Onacceptabel risico

- TAO (toestandsafhankelijk onderhoud = toestandsinspectie + preventief onderhoud als dat nodig is);
- GAO (gebruiksduur of tijdsgebonden onderhoud);
- DO/FT (Detectief onderhoud / Functioneel testen = inspectie bij verborgen faalvormen + reparatie als dat nodig is);
- Modifieren (ontwerp oplossing);
- Vervangen;
- Effectbeperkende maatregel.

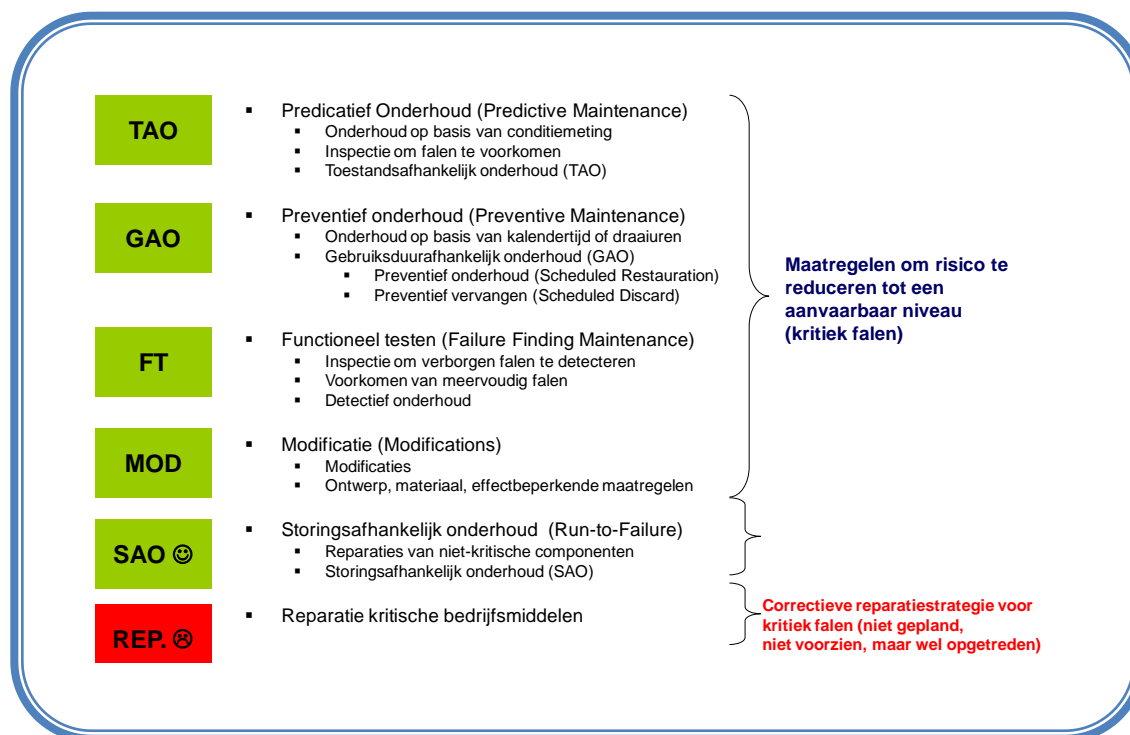
Acceptabel risico

- SAO - storingsafhankelijk onderhoud - run-to-failure maintenance - reparatie bij falen;
- TAO, GAO, FT/DO uit economische overwegingen of verplichtingen (garantie, verzekering).

De keuze van onderhoudsconcepten is een afweging tussen:

- Geconstateerde risico's;
- Technische mogelijkheden (kun je de toestandsdegradatie meten/voorspellen?);
- Financiële haalbaarheid (ook als een object niet kritiek is kan preventief onderhoud goedkoper zijn dan correctief);
- Verplichtingen (verzekeringen, garantie).

Daarnaast moeten maatregelen, gericht op het in stand houden van de functionaliteit van objecten, getoetst worden aan een bovenliggende middellange termijn systeemvisie. Dit speelt met name bij vervangingen, renovaties en grote modificaties. Het is heel goed mogelijk dat vanuit een visie op de ontwikkeling van het systeem, een bepaald object niet vervangen hoeft te worden maar wordt uitgefaseerd.



Figuur 6 Gangbare onderhoudsconcepten

Stap 5: Onderhoudsmaatregelen en risicogestuurde instandhoudingsplan

Je werkt onderhoudsconcepten uit naar concrete onderhoudsmaatregelen voor de objecten. Je bepaalt de intervallen/frequenties, interventieniveaus en de feitelijke ingrepen. Dit kan op basis van expert judgement. In een aantal gevallen kan hier ook aan worden gerekend (als de beschikbaarheid een functionele eis is, kun je rekenen aan de beïnvloedbare verhoudingen tussen reparatietijden, testintervallen en testduren).

Een maatregel moet:

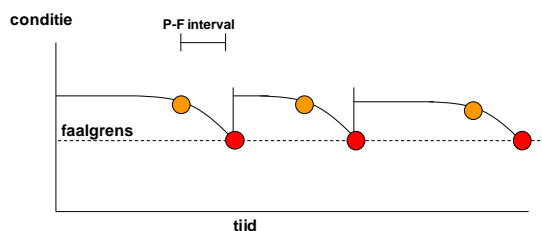
- Het risico reduceren tot een aanvaardbaar niveau;
- Technisch haalbaar zijn;
- Economisch rendabel zijn.

Je toetst met de risicomatrix of de benoemde (onderhouds)maatregelen het risico terugbrengen tot een aanvaardbaar niveau. Je kunt de kosten van een maatregel uitzetten tegen de te behalen risicoreductie en zo bijvoorbeeld een uitspraak doen over de effectiviteit van een maatregel.

Onderhoudsmaatregelen worden opgenomen in een onderhoudsplan en vormen de basis voor de exploitatiebegroting. Voorstellen voor vervangingen of renovaties worden onderbouwd neergelegd bij de afdeling die zorg draagt voor de overkoepelende investeringsplanning.

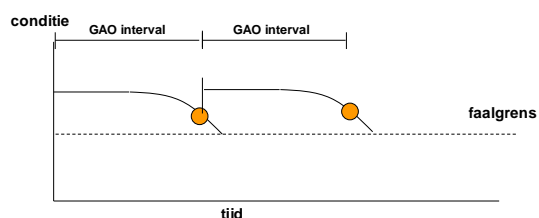
TAO

- Er moet een meetbare indicatie zijn die aangeeft dat falen binnen een bepaalde tijd gaat gebeuren
- Geschikt voor random-falen
- P-F interval
- Inspectie-interval is $\frac{1}{2} \times$ (P-F interval) tot $0,9 \times$ (P-F interval)



GAO (incl. kleine vervangingen)

- Er moet een relatie bestaan tussen draaiuren of kalendertijd en het optreden van falen
- Het falen is 'voorspelbaar'
- GAO intervallen kunnen in de tijd kleiner worden (a.g.v. veroudering asset)
- GAO interval in kalendertijd of draaiuren



Functioneel testen /detectief onderhoud (verborgen falen)

- Inspectie-interval wordt berekend op basis van de gewenste beschikbaarheid of betrouwbaarheid.
- Denk aan brandmelders, noodafsluiters, drukmeters, inbraakalarm, standby pompen.

Preventief modificeren of grote vervangingen

- Object voldoet niet meer aan zijn functies en/of risico's zijn onvoldoende beheersbaar.

Stap 6 en 7: Uitvoering en monitoring

Uitvoering vindt plaats conform het instandhoudingsplan. Tijdens de uitvoering vindt monitoring plaats. In de voorgaande stappen zijn risico's vooraf ingeschat. Tijdens de uitvoering checkt de monteur of de feitelijk aangetroffen situatie overeen komt met de vooraf ingeschatte risico's. Een monteur kan bijvoorbeeld een beoordeling geven over het inspectie of onderhoudsinterval (te vroeg, goed, net op tijd, eigenlijk te laat). Ook kan een monteur een inschatting geven over de impact wanneer falen optreedt want hij observeert de situatie ter plekke. Met andere woorden: de monteur geeft een oordeel over de effectiviteit van de onderhoudsmaatregel en daarvoor gebruikt hij de risicomatrix. Je wilt immers dat het onderhoud het risico op een aanvaardbaar niveau houdt.

Daarnaast worden alle vormen van downtime bijgehouden waaronder:

- Storingen;
- Reparatie tijden;
- Testduren;
- Preventief onderhoud;
- Procesgerelateerde downtime.

En ook (indicatief, niet volledig):

- Functionele prestaties (bijv. waterdoorlatendheid, effluentkwaliteit, hoogte, erosiebestendigheid);
- Technische staat;
- RAMS(SHEEP) prestaties (waaronder storingen, niet-beschikbaarheid, onderhoudbaarheid, veiligheid);
- Effecten bij opgetreden storingen en de ernst (inschaling volgens risicomatrix);
- Uren gerelateerd aan type onderhoud;
- Uitgaven.

Stap 8: Evaluatie en bijstelling

Evaluatie (RAMS-SHEEP analyses):

- Functionele prestaties t.o.v. de eisen;
- RAMS(SHEEP) prestaties t.o.v. de eisen;
- Opgetreden risico's in relatie tot de risiconorm in de risicomatrix;
- Uitgaven t.o.v. het vastgestelde budget.

Bijstelling bij afwijkingen:

- Prestatie-eisen bijstellen en/of
- Risiconormen bijstellen en/of
- (Onderhouds)maatregelen bijstellen en/of
- Begroting bijstellen.

Er zijn verschillende tools en instrumenten om dergelijke analyses te maken. Als voorbeeld worden beschikbaarheidsanalyses genoemd. Als je weet wat de beschikbaarheid van de objecten is geweest kun je de systeembeschikbaarheid uitrekenen en toetsen aan de norm. Vervolgens kun je onderhoudsconcepten voor de objecten aanpassen en opnieuw berekenen of dit tot de gewenste systeembeschikbaarheid leidt.