

# **RCM**

# **Asset maintenance**

## Indholdsfortegnelse

1	Hvad er RCM? (Reliability Centred Maintenance) .....	4
1.1	Kendetegn .....	4
1.1.1	Valg af havaribaseret vedligehold .....	6
1.2	Kost center / profit center .....	7
1.3	"Aktiv strategien - Ledelsesstrategien" .....	9
2	RCM i historisk perspektiv .....	11
2.1	Den første generation.....	11
2.2	Den anden generation .....	12
2.3	Den tredje generation.....	13
2.4	Den fjerde generation .....	15
3	RCM Light.....	15
4	RCM fremgangsmåden.....	16
4.1	Hvor skal man starte .....	16
4.2	RCM fremgangsmåden - de 7 spørgsmål .....	17
4.2.1	Funktionsbeskrivelse .....	20
4.2.2	Funktionsfejl .....	23
4.2.3	Kritikalitetsbestemmelse af fejltilstande: .....	24
4.2.4	Fejlkarateristika .....	27
4.2.4.1	Årsag og årsagskoder.....	27
4.2.4.2	Detektionskode .....	28
4.2.4.3	Fejlkarakteristik .....	28
4.2.4.4	STTF (sikker tid til fejl).....	28
4.2.4.5	P-F intervallet.....	28
4.2.5	Valg af vedligeholdsstrategi (beslutningstræet) .....	29
4.2.6	Intervalfastsættelse .....	30
4.2.6.1	Nett P-F intervallet.....	32
4.2.6.2	Fastsættelse af vh-interval ud fra P-F kurven.....	33
4.2.6.3	Fastsættelse af vh-interval ud fra MTBF (Mean Time Between Failure) 34	
4.2.6.4	Fastsættelse af vh-interval ud fra STTF ( Save Time To Failure)...	36
4.2.7	Ændring af design.....	37
5	Foreløbig kritikalitetsvurdering.....	38
5.1	Sund fornuft .....	38
5.1.1	Funktionsnedbrydning. ....	40
5.2	Flaskehalse og kapacitets beregninger .....	40
5.2.1	Pålidelighed .....	42
5.3	Dataindsamling og vurdering .....	44
5.4	Firmatilpasset kritikalitetsudvælgelse .....	45
5.4.1	Konsekvens af fejl .....	46

5.4.2	Fejlfrekvens .....	48
5.4.3	Redundans.....	49
6	Skjulte fejl .....	50

## 1 Hvad er RCM? (Reliability Centred Maintenance)

Hvis man kortfattet skal sige noget om den mest almindelige praksis, som for tiden danner grundlag for udviklingen af vedligeholdsprogrammer/planer, kan man sige, at denne praksis for det meste er drevet af en altovervejende betragtning, der siger: ”Hvad kan laves?” frem for at betragte det efter: ”Hvad skal laves?” Sagt på en anden måde, kan man sige, at den altovervejende motivation for den nuværende forebyggende vedligeholdspraksis er, at ”sikre anlægsdriften”. Indtil nu har det resulteret i få, hvis nogen i det hele taget, overvejelser om, hvorfor vi udfører bestemte vedligeholdsgaver. Ligeledes har det resulteret i få overvejelser vedrørende prioritering af vedligeholdsressourcerne. Næsten uden undtagelse så starter vedligeholdsplanlægningen direkte ved udstyret, hvor man så hurtigt som muligt søger at specificere de forskellige ting, som man synes er nødvendige for at ”holde det kørende” (somme tider uden hensyntagen til selve funktionen eller til en cost/benefit-beslutning).

RCM, eller "pålidelighedsstyret vedligehold" er ikke bare en anden måde at gøre de gamle ting om igen. Det er meget forskelligt i nogle fundamentale aspekter fra de nuværende normer med hensyn til vedligeholdspraksis, og det kræver derfor en anden tankegang. Som det efterfølgende vil blive beskrevet, så er grundlaget for RCM konceptet egentlig ret simpelt og må karakteriseres som organiseret teknisk fornuftig sans.

Der er fire kendetegn, som definerer og karakteriserer RCM, og som adskiller det fra hvilken som helst anden nuværende form for forebyggende vedligeholdsplanlægning. Hver af disse er defineret og beskrevet i det efterfølgende:

### 1.1 Kendetegn

#### 1. kendetegn - funktioner

Den vigtigste af de fire kendetegn, og måske den sværeste at acceptere fordi den ved første øjekast modsætter sig den indgroede betragtning af at forebyggende vedligehold udføres for at ”sikre anlægsdriften” er, at man med RCM søger at sikre anlæggets funktion(er). Bemærk at dette mål ikke med det samme beskæftiger sig med at ”sikre anlæggets drift”. Vi vil selvfølgelig i den sidste ende ”sikre anlægsdriften” ved at ”sikre anlægsfunktionen”, men ikke som det første skridt i en RCM proces. Ved først at se på systemfunktionen siger vi, at vi vil vide, hvad den forventede output skal være, og det at sikre dette output (funktion), er den primære opgave. Det første kendetegn gør os i stand til, i kommende trin i processen, systematisk at definere præcist hvilke udstyr, der "hører til" hvilken funktion. Man

antager ikke bare, at ”hver del i et anlæg har samme vigtighed” - en tendens som synes at brede sig i den nuværende fremgangsmåde ved vedligeholdelsesplanlægning. Lad os se på nogle simple eksempler, for at illustrere den værdi der er forbundet med at ”sikre funktionen”.

#### Eks. 1

Sammenlign to separate væsketransportsystemer i et procesanlæg, hvor hvert system har redundans. System A har 2 pumper med 100 % kapacitet, og system B har 2 pumper med hver 50 % kapacitet. Som budgetansvarlig får man at vide, at der er midler til at overhale en pumpe i enten A eller B. Hvad skal man gøre? Det er helt klart, at hvis man ikke tænker funktionsmæssigt, er man i et dilemma, idet ens baggrund siger, at det er ens opgave, at alle pumper skal kunne køre. Men hvis man tænker funktionsmæssigt, er det klart, at man må sætte de tildelte ressourcer ind på system B's pumper, da tabet af en enkelt pumpe reducerer kapaciteten med 50 %. Omvendt vil tabet af en pumpe i system A overhovedet ikke reducere kapaciteten, og i de fleste tilfælde vil et tab af en pumpe efterlade tilstrækkelig tid til at få den fejlramte pumpe tilbage i driftstilstand før B-pumpen fejler.

#### Eks. 2

Som et andet eksempel kan vi se nærmere på hvilken funktion en pumpe i virkeligheden har. Standardsvaret er at bevare trykket eller pumpevolumenet hvilket er ganske rigtigt. Men det er en anden og mere spidsfindig funktion at bevare tæthed (en passiv funktion). Til tider kan det være mere vigtigt, at tildele de begrænsede vedligeholdsressourcer til at bevare de passive funktioner, frem for at sikre pumpens drift (f.eks. hvor væsken er giftig eller radioaktiv). Igen, hvis man ikke tænker funktionsmæssigt, kan man komme til at give for lidt opmærksomhed på tæthedsfunktionen.

## 2. kendetegn – funktionsfejl

Siden det primære mål er at opretholde systemets funktion, må det næste der skal overvejes være, hvordan systemet kan fejle i at udføre sin funktion. Funktionsfejl kommer i mange størrelser og udformninger og er ikke altid bare en simpel ”vi har det eller vi har det ikke” - situation. Man må altid nøje undersøge alle mellemsituationer, som kunne opstå, fordi nogle af disse situationer i sidste instans kan være meget vigtige. Tab af væsketæthed kan være et eksempel på en funktionsfejl, som kan illustrere dette. En utæthed kan være 1) en meget lille lækage som ikke udgør en funktionsfejl, da funktionen stadig kan opretholdes, 2) en lækage som kan defineres, som værende så voldsom, at den har en negativ effekt på funktionen (uden helt at miste den), og 3) total lækage hvor man har et så stort

væsketab at der er et fuldt tab af funktion. I dette eksempel viser det sig, at en enkelt funktion (sikre væsketæthed) resulterer i to tydelige funktionsfejl.

Nøgleordene i det andet kendetegn er, at man ser på funktioner og på hvilke måder disse kan fejle.

### 3. kendetegn – prioritering

I RCM processen, hvor det primære mål er at opretholde systemfunktionen, har man på en meget systematisk måde mulighed for at beslutte, præcis hvilken prioritering man vil tillægge de forskellige funktioner ved budgettering og ressourcetildeling. Herved rettes indsatsen hen hvor den giver størst udbytte. Denne prioritering danner således grundlag for hvilke fejl på udstyret der efterfølgende skal behandles. Man ønsker at prioritere vigtigheden af de forskellige funktionsfejl. Dette gøres ved at lade alle fejltilstande gennemgå et simpelt beslutningsforløb, som vil give funktionsfejlen en given kritikalitet, som efterfølgende kan bruges til rationelt at prioritere opgaverne.

### 4. kendetegn – valg af vedligeholdssaktion

Vi kan herefter tage fat i hver fejl ud fra prioritering og finde forebyggende vedligeholdshandlinger, som kan overvejes. Valget af dette vedligehold skal baseres på beskrivelsen af en fejltilstand. En fejltilstand skal forstås som beskrivelsen af forløbet fra udviklingen af en fejl begynder til det punkt hvor fejlen er en realitet med de konsekvenser dette medfører. Og her har RCM igen et unikt kendetegn. Hver potentiel forebyggende vedligeholdssopgave skal vurderes som værende ”anvendelig og effektiv”. Med anvendelig menes, at hvis opgaven udføres, vil det afstedkomme, at en af de to årsager (funktionsfejlene) for at lave forebyggende vedligehold bliver tilgodeset (dvs. forhindre eller minimere chancen for fejl, opdage en fejls opståen eller afdække en skjult fejl). Med effektiv menes, at vi er indforstået med at bruge de nødvendige ressourcer. Generelt vælges den mest omkostningseffektive forebyggende opgave..

#### 1.1.1 Valg af havaribaseret vedligehold

Der kan være flere årsager til at vælge at køre havaribaseret vedligehold.

1. Den potentielle forebyggende vedligeholdssopgave, som er til stede, er for dyr. Det er billigere at reparere når fejlen indtræffer, og der er ikke forbundet nogen sikkerhedsmæssig risiko ved at køre til fejl.
2. Udstyrsfejlen, hvis den skulle opstå, er så lavt prioriteret, at den ikke berettiger opmærksomhed inden for det givne Vh-budget.

2.3. Det kan være resultatet af undersøgelserne omkring anvendelighed og effektivitet.

Ved summering er den fuldstændige RCM metode beskrevet i fire unikke kendetegn:

1. Identificer funktioner
2. Identificer funktionsfejl som kan hindre opretholdelsen af funktionerne
3. Prioriter vigtigheden af funktionerne
4. Vælg kun anvendelige og effektive vedligeholdsopgaver baseret på fejltilstande

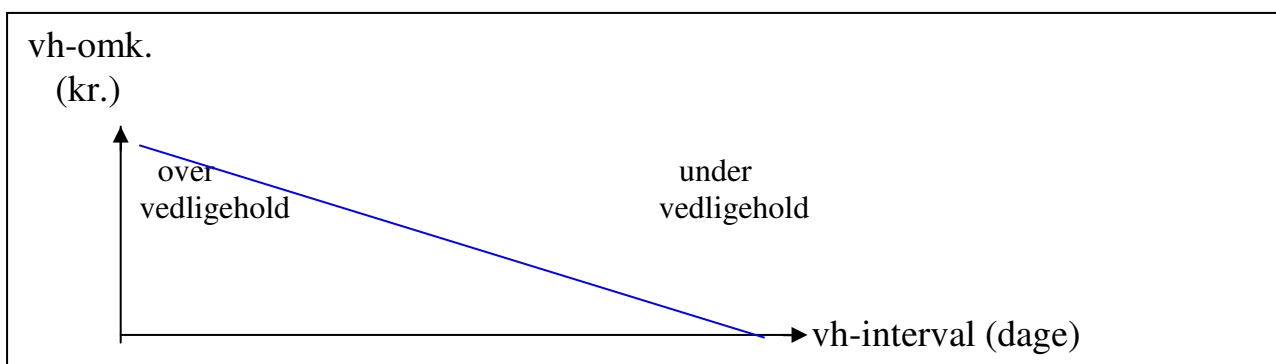
Disse fire kendetegn eller principper kan indføres på en systematisk trinvis måde gennem RCM-metodikken.

## 1.2 Kost center / profit center

Hvis man for en kort stund ser bort fra de rent praktiske metoder hvor RCM adskiller sig fra den hidtidige måde at gøre tingene på, er der nogle økonomiske overvejelser, som gør RCM eller "pålidelighedsstyret vedligehold" til en anderledes måde at anskue tingene på.

### I dag: Vh-afdelingen som et cost-center

I nedenstående diagram haves vh-omkostningerne op ad y-aksen og vh-intervallet ud ad x-aksen. Det giver sig selv at vedligeholdes der med meget små intervaller på et givent udstyr, vil der være risiko for, at vi "over-vedligeholder". Det er dyrt i ressourcer og reservedele. Modsat gælder, at vælges meget lange intervaller, vil vi have en tendens til at "under-vedligeholde" med risiko for nedbrud.



Går vi så ind på grafen for at finde det mest optimale vedligeholdelsesinterval, har vi lidt svært ved at finde optimum. RENT FAKTISK kunne antagelsen være, at det mest optimale var slet ikke at bruge nogen penge (intet vedligehold). Det giver selvfølgelig ingen mening, men er desværre filosofien bag Cost Center i sin bredeste forstand. Så slutningen på det her må være, at hvert års vedligeholdelsesbudget afgøres ud fra hvem af forhandlingsparterne der har det bedste benarbejde og den bedste "lige højre" - med andre ord, det afgøres rent tilfældigt hvor mange penge der skal bruges, for INGEN af parterne kan pege optimum ud og sige: "HER vil vi ud fra beregningerne bruge mindst penge på vedligeholdet det kommende år med størst mulig oppetid".

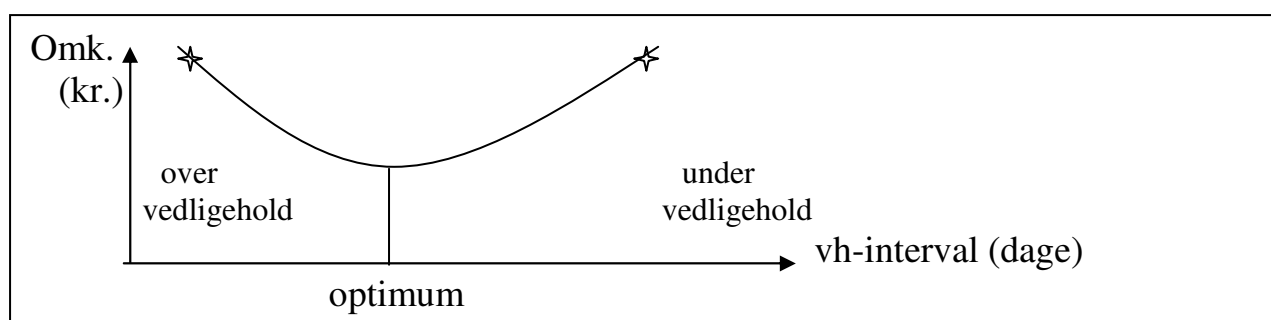
### Vedligeholdelsesafdelingen som et profit center

Nu ser vi samme problematik omkring omkostninger til vedligehold, blot med den altoverskyggende forskel, at vi nu betragter det "relative vedligehold" - altså omkostningerne pr. produceret enhed. Nedenfor vises igen diagrammet fra før. Omkostningerne op ad y-aksen er nu de gennemsnitlige omkostninger pr. produceret enhed.

Der er nogle krav som vedligeholdelsesafdelingen har indflydelse på, og som skal være opfyldt før virksomheden kan opnå en indtjening.

- Produktion til tiden - dvs. minimering af uplanlagte stop.
- Produktionsraten skal opfylde virksomhedens krav (antal stk./time).
- Kvaliteten skal opfylde kravene.
- Omkostningerne skal holdes nede.

Gældende for alle fire punkter, vil den ansvarlige afdeling være vedligeholdelsesafdelingen, hvis disse punkter ikke opfylder de gældende krav.



Muligheden for at over- eller undervedligehold er stadig til stede. Ved overvedligehold bruges foruden ressourcer og materialer også meget maskintid på at vedligeholde og tilgængeligheden på anlægget reduceres. Dette resulterer i, at netto indtjeningen pr. enhed falder.



Modsat kan der også undervedligeholdes med det til følge, at antallet af uplanlagte stop stiger og nedetiden derved forøges. Tilgængeligheden reduceres væsentligt og dermed falder antallet af producerede enheder. Vi får svært ved at producere til tiden, og dertil kan det manglende vedligehold resultere i ringe produktkvalitet - alt sammen forhold, som øger omkostningen pr. produceret enhed.

Ud fra matematiske beregningsmodeller kan det optimale vedligeholdelsesinterval findes og NU er det ikke et spørgsmål om en formodning om hvor stort næste års vedligeholdelsesforbrug vil blive, men et spørgsmål om "hvor bruger vi færrest omkostninger pr. produceret enhed.

Rent filosofisk kunne der spørges: "Hvor mange penge må jeg bruge på vedligehold næste år?" "Jeg er ligeglad, siger den øverste ansvarlige, SÅ LÆNGE du bidrager positivt til organisationen for hver krone du bruger".

### **1.3 "Aktiv strategien - Ledelsesstrategien"**

Som beskrevet i det foregående kapitel, er der er forskel på om man ønsker at udføre en aktiv handling før uheldet har været ude eller om man blot reagerer på de ting, som sker med produktionsudstyret. Man opererer med begrebet "aktiv strategi".

I denne proces må vi ikke glemme mennesket - altså vedligeholdsorganisationen og dennes kvalifikationer.

Derfor vil aktiv-strategien senere blive udbygget med en vedligeholdsledelsesstrategi, hvor sidstnævnte er vejen frem til organisering og kontrol af vedligeholdelsesfunktionen i det hele taget. Disse to strategier går hånd i hånd. Organisering af aktiviteterne og uddannelsen af håndværkerne bør heller ikke forsømmes. Hvis f.eks. vedligeholdslogistikken er mangelfuld, eller hvis job mangler at blive udført eller tager dobbelt så lang tid for at blive fuldendt, så vil gevinsten, som opnås ved et velforberedt aktiv-strategi blive bragt i fare. På den anden side, så er der ingen fordel i at udvikle en første klasses vedligeholdsledelsesstrategi til at udføre de forkerte aktiviteter.

Tiden bruges bedst på aktiv-strategi, hvis der er indsigt i følgende, se fig. 1.

- Viden om virksomhedens og produktionens mål og herudfra det fremtidige behov for udstyr.
- Indsigt i planerne for produktionsudvidelse eller –indskrænkninger samt installationen af nyt udstyr.
- Forståelse for udskiftningsprogrammer og forventet levetider for bestående og fremtidige anlæg.
- Viden om virkningen af de seneste sikkerhedsregulativer og lovbefalede krav.

- En forståelse for den udvikling der finder sted i vedligeholdspraksis indenfor industrien i almindelighed og herfra få en indsigt i, hvad der kan opnås.
- Et indblik i de håndværktøjer og teknikker som er mest fordelagtige som vedligeholdsudstyr; dette har yderligere indvirkning på, hvordan de planlagte vedligeholdsaktiviteter skal udformes.
- En forståelse for formålene med udstyret, f.eks. er det sikkerheds- eller produktionsrelateret?

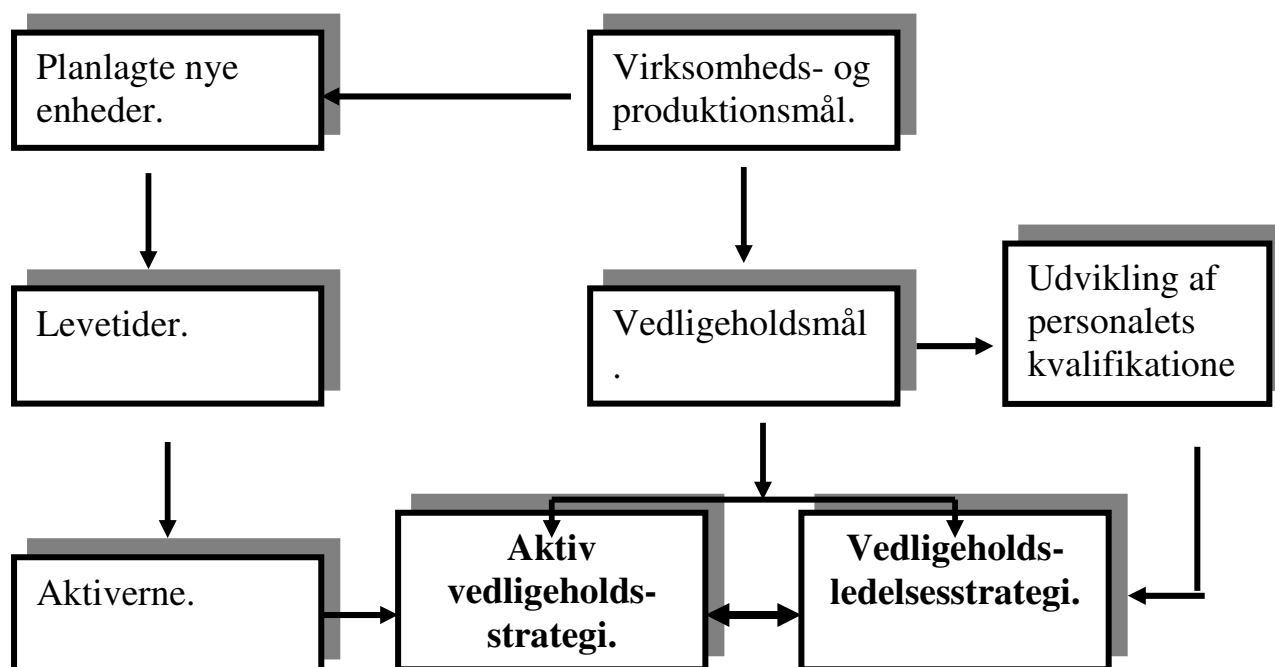


Fig. 1: Strategi udvikling.

## 2 RCM i historisk perspektiv

I de sidste 20 - 30 år er der sket meget på vedligeholdsområdet, måske mere end nogen anden styrings- og ledelsesdisciplin. Man siger at vedligeholdet fra før 2. verdenskrig og frem til i dag har gennemgået 3 udviklingstrin (3 generationer), hvor RCM indgår i den 3. og sidste generation. Ja, rent faktisk taler man om en 4. generation, hvor anskuelsen bygger på vedligeholdsaftdelingen som et profit center.

### 2.1 Den første generation

Den første generation dækker perioden op til 2. verdenskrig. På den tid var industrien generelt ikke så højt på et mekanisk stade at nedetid betød noget videre. Dette betød, at forebyggelsen af udstyrsfejl ikke havde en særlig høj prioritet hos de fleste ledere. Samtidig var udstyret generelt simpelt og for det meste overdimensioneret. Som en følge af dette, var der intet behov for forebyggende vedligehold udover simpel rengøring, service og smørrutiner. Behovet for færdigheder blandt personalet var heller ikke højt.

I kraft af udstyrets sammensætning af solide komponenter og de ovenfor nævnte rutiner omkring udstyret, havde man overordnet set på den tid en ret enkel komponentkarakteristik: Komponenten var holdbar og havde en kendt udslidningskarakteristik i slutningen af sin levetid. Nedenstående diagram viser den tids opfattelse af typiske komponenters udslidningskarakteristik.

I dag viser det sig, at kun ca. 2 % af udstyr, set generelt, fejler på denne måde.

Sandsynlighed  
for fejl

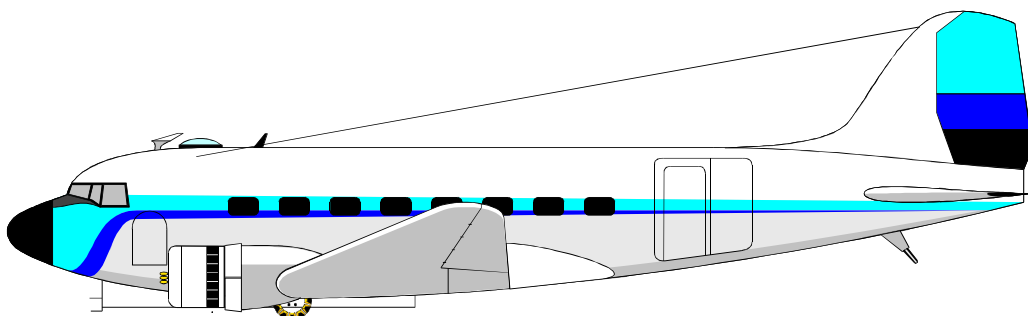


## 2.2 Den anden generation

Omstændighederne skiftede dramatisk under den 2. verdenskrig. Krigen stillede krav til fremstilling af varer af enhver art samtidig med, at arbejdsstyrken faldt brat. Dette førte til øgede krav til mekanisering.

Gennem 50'erne blev maskinerne stadig flere og stadig mere komplekse. Industrien var begyndt at blive afhængig af dem. I takt med den øgede afhængighed blev et begreb som "nedetid" et fokusområde. Dette førte til idéen om at udstyrsfejl kunne og skulle forebygges, hvilket siden førte til "forebyggende vedligeholdelse".

I 60'erne bestod forebyggende vedligehold hovedsagelig af overhaling af udstyr samt udskiftning af komponenter på fast tid. Vedligeholdelseskostningerne begyndte at stige i forhold til andre omkostninger i virksomheden. Det førte til, at vedligeholdsplanlægning og kontrolsystemer blev nye begreber. Planlægning har hjulpet væsentligt i nedbringelse af omkostningerne og er i dag en central del i vedligeholdsorganisationen. Den bundne kapital blev stadig større tillige med omkostningerne til at opretholde produktionen. Det førte til, at man begyndte at søge måder at maksimere maskinparkens levetid.



RCM-historien har sit udspring i denne periode, nærmere bestemt indenfor datidens flyindustri. De gamle DC-9'ere var endnu simple maskiner rent mekanisk. Oplevede piloten et motor-svigt kunne han få sin maskine ned som et svæveplan. De rent maskintekniske fejl havde ikke, som i dag, en katastrofal konsekvens, hvis de svigtede totalt.

I slutningen af 60'erne blev nye flytyper udviklet, som var langt mere teknologiske og komplekse. Ingeniørerne søgte efter en metode, hvor man kunne forudsige fejl og være på forkant med fejludviklingen på komponenterne.

Vedligeholdsbilledet blev lidt mere nuanceret i forhold til første generation. Man blev især opmærksom på det forhold, at fejl også opstod i indkøringsfasen, illustreret med nedenstående diagram. Den procentvise risiko for fejl set over tid er for både første og anden generation ikke høje når man ser på hvor den højeste risiko ellers ligger.

Sandsynlighed  
for fejl



### 2.3 Den tredje generation

Siden starten af 70'erne er der sket store forandringer i industrien. Den teknologiske udvikling har medført at der stilles endog meget høje krav til færdigheder og kunnen blandt vedligeholdspersonalet for at kunne opretholde en sikker produktionsrate på de stadig mere komplekse maskiner. Perioden frem til i dag karakteriserer sig især ved den øgede produktionshastighed, den øgede fokus på sikkerhed og miljø samt det øgede behov for et pålideligt produktionsapparat med en tilgængelighed, som skal sikre en mere stabil drift. Men også parametre som længere levetid for udstyret og større fokus på omkostningerne spiller ind.

Vedligeholdet fik et mere nuanceret syn på fejl og hvilke fejltypen der reelt er de mest forekommende. I dag opererer man med seks forskellige fejlmønstre, vist nedenfor. Årsagen til de forskelligartede fejlmønstre er fremkommet dels gennem mere viden omkring udstyr og vedligehold og dels fordi nutidens komponenter i langt højere grad end tidligere er sammensat af komplekse dele, hvor man ikke umiddelbart kan bestemme levetiden.

Den procentvise fordeling viser, at betragtes udstyr generelt i dag ligger de typiske fejl i karakteristik 2 og 5, som er henholdsvis "svigt i forbindelse med indkøring af nyt udstyr" samt "fejl forekommer tilfældigt over tid".

Dette forklares ved, at i dag anvendes stadig mere komplekst udstyr, som kræver betydelig indjustering og tilpasning. Dertil benyttes der i dag en del elektrisk udstyr, som fejler tilfældigt over tid.

Disse to fejlkarakteristikker, som tilsammen udgør ca. 80 % af alle forekommende fejl giver samtidig et billede af hvilke udfordringer en vedligeholdsorganisation står overfor i dag.

1. Konstant eller svagt stigende, ender i udslidningszone



2. Svingrisiko under indkøring, faldende til konstant niveau



3. "Badekarret", kombination af mønster 1 og 2



4. Øgende med alder



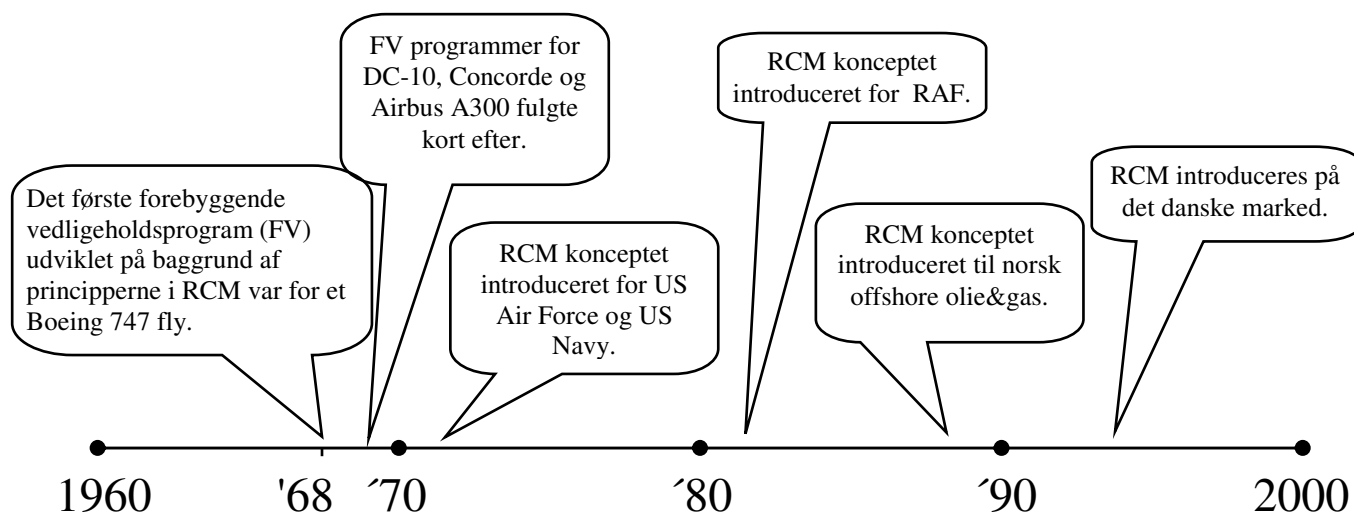
5. Tilfældig over tid



6. Hurtigt stigende efter idriftsættelse til konstant niveau



I RCM sammenhæng blev RCM udbredt i flyindustrien og i militæret. Siden er udviklingen gået stærkt og i dag har tusinder af civile industrier indført "specialiseret vedligehold" efter RCM metoden.



RCM metoden er første gang nedfældet på papir i 1978 af Nowlan og Heap. Siden hen er disse teorier udbygget af John Moubray og beskrevet i hans bog RCM II. RCM blev en stadig mere kendt metode op gennem 90'erne og stadig flere software udbydere hævdede at kunne håndtere RCM metodikken. De ændrede så at sige navnet på deres gamle applikation til noget med RCM. I 1999 blev der så endelig lavet en standard for RCM metodikken "JA1011", som nøje beskriver hele fremgangsmåden. Standarden er siden blevet suppleret med den europæiske norm IEC 60300-3-11.

## 2.4 Den fjerde generation

Ekspertter indenfor vedligehold ser i dag, at en fjerde generation er startet og vil føre til, at vedligeholdsfunktionen får det fokus, som den har sukket efter i årevis. Betragtningen med, at se vedlighedsorganisationen som et profit center vil være fjerde generations kendetegn.

## 3 RCM Light

"RCM Light" er et udtryk som optræder i industrien. Metoden er ikke en fuld RCM analyse men derimod en kritikalitetsanalyse over udstyret. Dermed bliver alt kritisk udstyr bragt frem i lyset - kritisk især med hensyn til sikkerhed. Kritikalitetsanalysen er blot én ud af syv delelementer, som optræder i en RCM analyse. Det centrale punkt

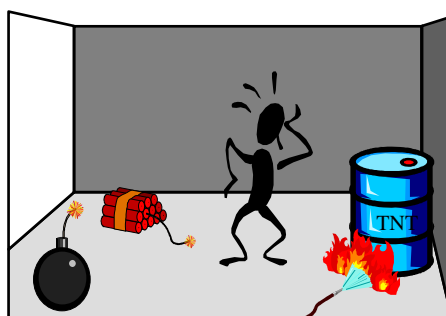
i en RCM analyse, opsætning af et bæredygtigt vedligehold, er ikke belyst i en "RCM Light", hvorfor der heller ikke findes nogen standard for en sådan.

## 4 RCM fremgangsmåden

### 4.1 Hvor skal man starte

Når beslutningen er truffet om at anvende RCM som metode til at få optimeret vedligeholdet og mindske uplanlagte produktionsstop, har man ofte genereret endnu et problem.

Hvor skal jeg starte?



Opgaven kan umiddelbart synes uoverskuelig og dette gælder uanset om man kikker på produktionen som helhed eller på et eventuelt afgrænset område nemlig der, hvor man vil foretage et pilotprojekt.

Det er vigtigt at komme godt fra start og fokusere på de områder, hvor udbyttet af analysearbejdet giver et godt og hurtigt resultat, ikke alene pga. besparelsen til eksempelvis uplanlagte stop, som vil medføre en hurtig tilbagebetalingstid for projektet, men også fordi et hurtigt godt resultat har en positiv og motiverende effekt på de personer, som skal deltage i analyserne; Det bliver pludseligt indholdsrigt.

Der findes mange forskellige metoder til at danne sig et overblik over opgaven så man kommer rigtigt fra start. Frem for alt skal man bruge sin sunde fornuft og anvende de værktøjer, som er tilgængelige.

I kapitel 5 beskrives nogle modeller til en overordnet udvælgelse af de mest kritiske dele af det anlæg man står for at analysere.

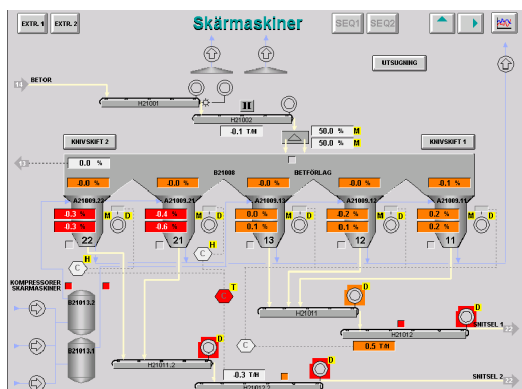
Har virksomheden i forvejen et vedligeholdssystem, ligger anlæggene/proceslinierne i én eller anden form allerede opdelt og det vil være oplagt derfor at tage udgangspunkt i denne opdeling.

På den anden side: Har virksomheden endnu ikke et vedligeholdssystem, vil man gennem RCM-analysens første trin få strukturen på sin opdeling af maskinparken.

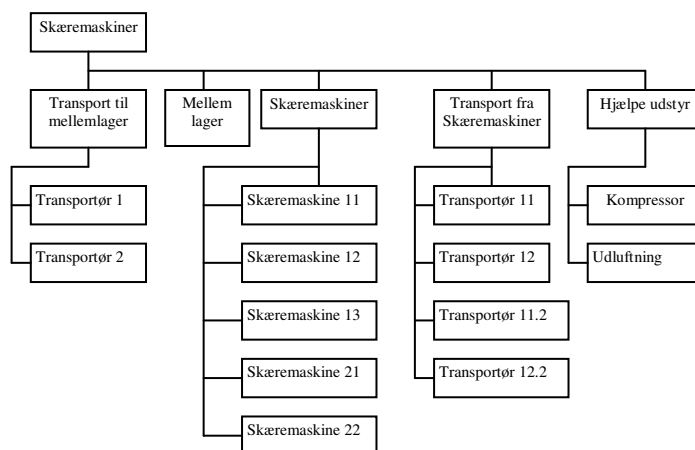


Et funktionshierarki kan med fordel laves i et Excel regneark. Funktionshierarkiet giver et godt overblik over sit anlæg og det kan tjene som vejviser om hvor langt man er i analyseforløbet og hvilke komponenter, som endnu ikke er blevet analyseret.

Nedenfor er vist et eksempel på hvordan man ud fra et flowdiagram har kunnet lave sig et funktionshierarki.



Eks. Skærmdump af forbehandlingsanlæg og transport



Eks. Overordnet funktionshierarki af forbehandlingsanlæg og transport

Det kan være en svær øvelse at omstille sig til at tænke i funktioner, men som tidligere nævnt, så gælder det om at sikre anlægsfunktionen.

Nummereringen i forbindelse med funktionsopdelingen er et vigtigt element i dette tidlige stadie og bør ikke undervurderes. Faktisk viser det sig, at en god og struktureret nummerering siden hen lønner sig i kraft af bevarelse af overblik og systematik. Nummereringen, som dog ikke er illustreret i ovenstående funktionshierarki skal være entydig. Det kan være en hjælp at benytte den samme nummerering som anlægsgodeholderiet benytter sig af.

## 4.2 RCM fremgangsmåden - de 7 spørgsmål

RCM i sin klassiske form, og efter gældende standarder, udspringer af 7 spørgsmål, som samlet danner grundlag for RCM metodikken.

Erfaringer fra industrien viser, at historiske data ikke er let tilgængelige, hvis de overhovedet eksisterer på papir. Dog skal spørgsmålene stadig stilles et eller andet sted til, så de krævede informationer kan indsamles og bearbejdes.

"Et eller andet sted til" viser sig at være "en eller anden" og det er den eller de personer, som sidder med den brugbare viden i form af indgående kendskab og erfaring til det enkelte anlæg, der henvises til.

Det viser sig også, at der ofte er flere personer, som hver især besidder den samme viden ud fra forskellige synsvinkler.

Efterfølgende tages der udgangspunkt i "de 7 spørgsmål", som er grundlaget for en RCM analyse. For hvert af de 7 spørgsmål er der enkeltpersoner eller personalegrupper, som besidder den nødvendige viden og som kan bidrage med brugbare data til projektets gennemførelse.

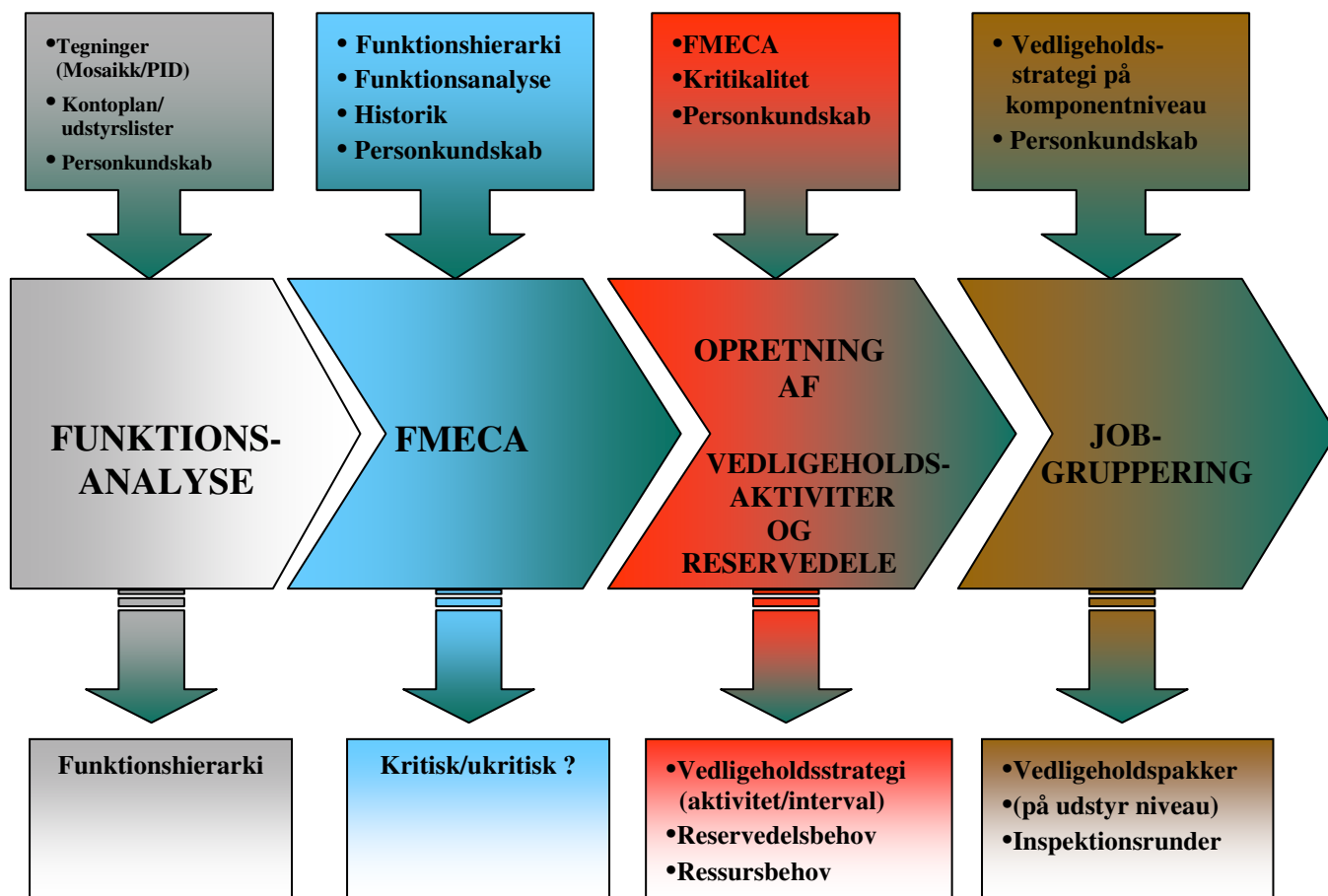
De 7 spørgsmål er:

- 1: "Hvad er udstyrets funktion med tilhørende driftsdata i udstyrets nuværende operative position?"
- 2: "Hvorledes kan funktionen fejle i ikke at udfylde sin funktion?"
- 3: "Hvad skyldes hver enkel udstyrsfejl?"
- 4: "Hvad sker der når hver enkel fejl opstår?"
- 5: "Hvad er konsekvensen af hver enkel fejl?"
- 6: "Hvad kan der gøres for at undgå hver enkel fejl?"
- 7: "Hvad bør der gøres hvis fejlen ikke kan forebygges?"

Metoden kan overordnet set i projektsammenhæng deles op i fire trin som illustreret nedenfor, hvor de syv spørgsmål indgår i løbet af de fire trin.

De fire trin indeholder overordnet set følgende:

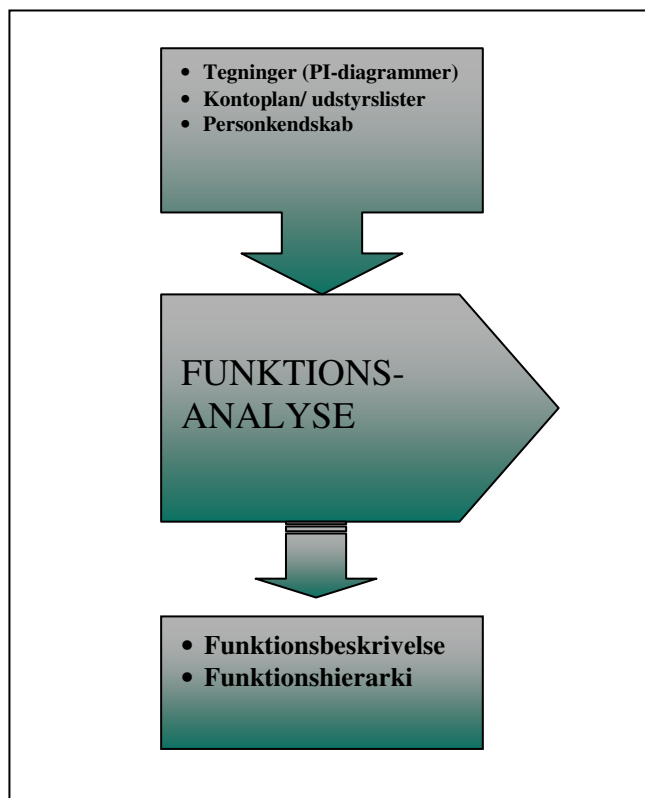
- Første trin: Anlægget deles op i funktioner, hvor hver funktion beskrives i et funktionshierarki.
- Andet trin: "FMECA" (Failure Mode Efficiency & Criticality Analysis). De komponenter, som vil indgå i en funktion bliver kritikalitetsvurderet (kritisk/ukritisk).
- Tredje trin: Ud fra kritikaliteten bestemmes vedligeholdet for hver komponent.
- Fjerde trin: De enkelte vedligeholdelsesjobs pakkes på udstyrsniveau.



# 1: "Hvad er udstyrets funktion med tilhørende driftsdata i udstyrets nuværende operative position?"

*Kritisk udvælgelse på funktionsniveau*

1. TRIN



## 4.2.1 Funktionsbeskrivelse

Selve øvelsen i at formulere hvilken funktion et udstyr har, kan godt umiddelbart synes som svær til at starte med. Nedenstående skema, som også er at finde under fanebladet "skemaer" kan være en hjælp i den forbindelse. Erfaringen er, at man ret hurtigt får "tunet" sig ind på tankegangen. Brugere af RCM kan efter en kort periode slet ikke LADE VÆRE med at tænke i funktioner.

Aktion	Medie	Til og fra	Krav
Spørgsmål ? Hvad er funktionens opgave.	Spørgsmål ? Hvad er det som bliver pumpet, lagret, overført.	Spørgsmål ? Hvor kommer og hvor ender aktionen.	Spørgsmål ? Hvad er det for krav der stilles til udstyret.
Eksempel: Overføre kræfter	Eksempel: - luft	Eksempel: - fra lænkeled - til bremseklods	Eksempel: - min tryk 4,8 bar - max tryk 6,0 bar
Nøgleord: - overføre - transportere - støtte - holde - beskytte - sikre - alarmere - etc.	Nøgleord: - luft - hydraulik - kræfter - olie - etc.	Nøgleord: - fra kompressor K01 til lufttørre T02 - fra luftkobling LK01 til bremsecylinder - etc.	Nøgleord: - bar - m <sup>3</sup> /h - Nm - Volt - Amp - etc.

En funktionsbeskrivelse skal indeholde elementer fra alle ovenstående kolonner.

F.eks. er det ikke nok at skrive: "Køletørrer" men derimod: "Køling af trykluft fra kompressorafgang til hovedstopventil, arbejdstryk Max. 8,0 bar ata, min. 6,0 bar ata".

"Til og fra-kolonnen" viser sig at være endnu et kendetegn for RCM metodikken. Ved at have opdelt sit anlæg i funktioner og beskrevet hvorfra og hvortil en funktion er gældende, sikrer man sig ikke at analysere på fejlmuligheder og dermed lave vedligehold på et udstyr mere end én gang.

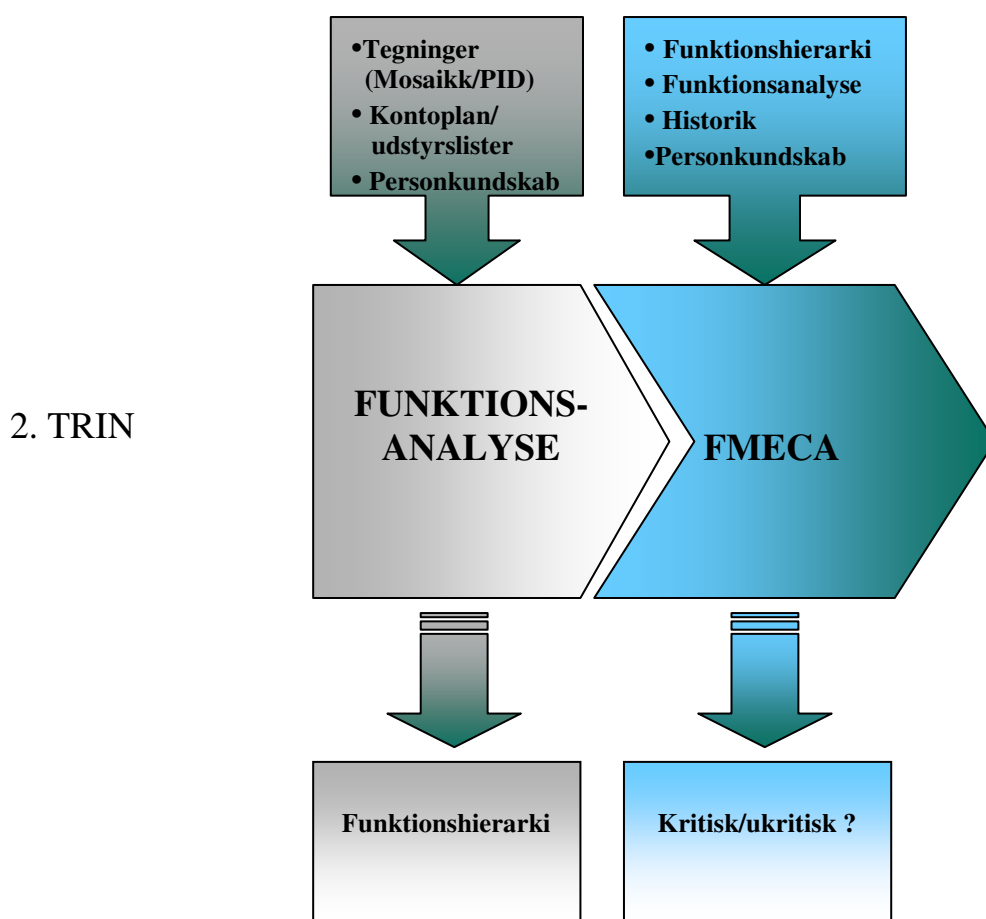
Som eksempel kan nævnes en luftcylinder. Cylinderen kan køre træt eller slet ikke køre. Via funktionsbeskrivelsen har vi afgrænset udstyret og dermed også de fejlmuligheder, som ligger til udstyret. Det går derfor ikke at beskrive en fejlmulighed som hedder: "luftkompressoren giver ikke trykluft nok". Fejlmuligheden er reel nok, men den fejlmulighed skal først beskrives, når vi skal til at analysere på kompressoren (når vi skal sikre *anlægsfunktionen af kompressoren*). Læren i denne proces er, at vi ved at begrænse opgaven til kun at omfatte udstyr x og y, ikke kommer til at miste overblikket ved også at analysere på udstyr z, æ, ø og å.

Hver funktion består af noget udstyr, som kan vedligeholdes. Dette udstyr har igen måske nogle komponenter (reservedele), som skal skiftes ud i forbindelse med vedligeholdet. Som et eksempel kan gives en pumpestation, hvor funktionen er: "*pumpning af vand til tank*". Pumpestationen består af en pumpe, en motor, nogle ventiler osv. Disse udgør udstyret. En pumpe har igen nogle reservedele så som lejer, aksel, skovlhjul, pakninger osv. Disse udgør "komponenterne" eller "delene".

Udstyret og delen/delene i forbindelse med funktionen skrives ind i FMECA skemaet i kolonnerne "Udstyr" og "Del".

I princippet har vi blot niveaudelt vores maskineri i funktioner, udstyr og komponenter - altså tre niveauer. Funktionshierarkiet og et eventuelt hierarki i vedligeholdelsesprogrammet skulle nu have samme struktur.

Nu har vi fået lavet et funktionshierarki og vores maskineri er dermed opdelt i funktioner. Men vi har stadig ikke fundet ud af hvilket udstyr det bedst kan svare sig at lave vedligehold på. Hvor det bedst kan svare sig er der, hvor udstyret er mest kritisk - kritikaliteten er høj. Derfor bliver vi nødt til at udvælge vores maskineri ud fra hvor kritiske de enkelte anlæg/maskiner/proceslinier er.



Til dette arbejde benyttes et hjælpeskema - et såkaldt FMECA-skema (Failure Mode Efficiency and Criticality Analysis).

## 4.2.2 Funktionsfejl

### 2: "Hvorledes kan funktionen fejle i at udfylde sin funktion?"

Funktionsfejlene skal nu findes og der tages udgangspunkt i funktionsskemaet hvor alle funktioner er listet op. I FMECA skemaet (kolonne "udstyrsfejl") skal der gives en kort og præcis beskrivelse af fejlen på udstyret.

Det skal noteres at **en funktionsfejl ikke er** "et ødelagt leje i en pumpe" men derimod "*dårlig pumpning af vand til tank*" eller "*ingen pumpning af vand til tank*". FMECA skemaet findes som bilag i mappens faneblad 4.

At få et overblik over (et katalog over) de fejlmuligheder, som findes på anlægget er én af kongstankerne i RCM metodikken. Netop ved at kende til fejlmuligheder på udstyret kan vi eliminere eller vedligeholde os ud af, at fejlen i det hele taget får lov til at opstå.

### 3: "Hvad skyldes hver enkel udstyrsfejl?"

Hvad er den dybere årsag til fejlen? Det er ikke nok at skrive "*defekt leje i pumpe*" da man dermed ikke kommer til bunds i den reelle årsag. Vedligeholdet vil se vidt forskelligt ud om årsagen er "manglende opretning" eller - smøring". Teksten kunne se ud som følger: "*Tiltagende slidtage af kugler pga. manglende smøring, som høres ved en skurende lyd i NDE-lejet af pumpemotoren*"

### 4: "Hvad sker der når hver enkel fejl opstår?"

Beskriv hvad der sker med udstyret. Teksten kunne være: "*Lejet står af og motoren stopper*", men det kunne også være en procesbeskrivelse - en kædereaktion af hændelser, som bør noteres ned.

### 5: "Hvad er konsekvensen af hver enkel fejl?"

Hvad er effekten på udstyret og på opretholdelsen af funktionen? Ved at beskrive effekten af en fejl er det muligt senere at sætte tal på hvad fejlen vil "koste" og dermed hvilket vedligehold der kan betale sig.

Hvis vi tager pumpen fra før som eksempel, kan teksten se således ud: "*Produktionsstop pga. manglende vand til tank*". Men konsekvensen kunne også omhandle f.eks. miljø-spild, kvalitetsforringelse eller måske personskaade.

Den samlede tekst i kolonnefeltet "funktionsfejl" (spørgsmål 2, 3, 4 og 5) ser herefter således ud: "*Ingen pumpning af vand til tank. Tiltagende slidtage af kugler pga. manglende smøring, som høres ved en skurende lyd i NDE-lejet af pumpemotoren. Lejet står af og motoren stopper. Produktionsstop pga. manglende vand til tank.*"

Fejlbeskrivelsen er et centralt punkt i en RCM analyse, hvilket viser sig ved, at 4 af RCM metodens 7 spørgsmål omhandler netop dette ene punkt.

Der skal også tages stilling til, om fejlen er "skjult" eller ej. Se afsnittet "skjult fejl".

### 4.2.3 Kritikalitetsbestemmelse af fejltilstande:

Kritikalitet er defineret som: konsekvens x hyppighed.

Da en høj kritikalitet på et givent udstyr bør resultere i vedligehold, skal man først have gjort sig nogle overvejelser omkring konsekvens og hyppighed. Som et eksempel kan nævnes strømudfaldet i Østdanmark i september 2003. Argumenter for og imod at etablere en forbindelse mellem Øst- og Vestdanmark går på dels de store produktionstab, dels på den lave frekvens, hvormed det statistisk kan forventes at ske igen indenfor en overkommelig fremtid.

Man holder så at sige konsekvensen op imod hvor tit fejl opstår - hvilket siger noget om kritikaliteten.

Inden for industrien kan der gives et eksempel på kategorier, som anvendes:

	<b>Kategori</b>	<b>Beskrivelse</b>
<b>D</b>	Driftsikkerhed	Driftstab, nettopåvirkninger på hele fabrikken
<b>O</b>	Omkostninger	Omkostninger nettopåvirkninger, vedligehold
<b>S</b>	Sikkerhed	Påvirkninger på arbejdsmiljø, Sikkerhed/indre miljø
<b>K</b>	Kvalitet	Påvirkninger på produktionskvaliteten
<b>M</b>	Miljø	Påvirkningen på udslip til luft, vand, ydre miljø
<b>L</b>	Leverance sik.	Påvirkninger på leverance til kunden



Hver kategori indeles i grader af konsekvens og beskrives med ord så konkret som muligt fra ingen konsekvens til maksimal konsekvens som i nedenstående eksempel.

	Konsekvens				
	Ingen påvirkning	Marginal påvirkning	Påvirkning	Kritisk	Ekstrem kritisk
Driftsikkerhed (D)	Ingen påvirkning på driften	Driftreducering/ driftstop/driftstab mindre end kr. 1000	Driftreducering/ driftstop/driftstab Modsvarende kr.1000 - kr.10.000	Driftreducering/ driftstop/driftstab modsvarende kr.10.000 -kr.100.000	Driftreducering/ driftstop/driftstab over kr. 100.000
Omkostninger (O)	Ingen påvirkning på omkostninger	Mindre end kr. 1000	kr.1000 – kr.10.000	kr.10.000- kr.100.000	Over kr. 100.000
Sikkerhed (S)	Ingen skaderisiko	Minimal risiko for personskade	Nogen personskade	Alvorlig skadesrisiko	Dødsfald
Miljø (M)	Ingen miljøpåvirkninger	Nogen påvirkning, dog klarer vi alle miljøkrav	Risiko for at vi ikke klarer miljøkrav på længere sigt	Risiko for overskridelse af grænseværdier	Overskridelse af grænseværdier
Kvalitet (K)	Ingen kvalitetspåvirkninger	Marginal påvirkning da omfordeling klarer leverancerne	Overskridelse af normværdier. På sigt påvirkes leverancekvalitet.	Risiko for overskridelse af specifikation for volumenkrav	Overskridelse af specifikation for volumenkrav
Leverance-sikkerhed (L)	Ingen påvirkning på leverancer	Marginal påvirkning da omfordeling klarer leverancerne	Omfordeling og pri-oritering som kræver store ressourcer i flere døgn for at klare leverancerne, meromkostning kr. 1000 – kr. 10000	Leverancerne kan ikke klares i.h.t. leverancevilkår. Risiko for juridisk efterspil.	Manglende leverance med fører juridisk efterspil og tab af kunde

For hver kategori opstilles en risikomatrix. Denne matrix sammenholder de beskrevne konsekvenser med en tilsvarende frekvensinddeling. Hver kombination af konsekvens og frekvens gives en talværdi for kritikalitet. Se nedenstående figur.

Hver fejltilstand vurderes nu med hensyn til konsekvens og frekvens for hver kategori. På denne måde findes dens kritikalitet, som herefter skrives ind i FMECA skemaet. Der tages udgangspunkt i en konsekvensmatrix, som findes under fanebladet "skemaer".

I risikomatrixen er de røde felter ensbetydende med, at fejlen er kritisk og at der derfor skal tages aktion på problemet. Dette er ikke ensbetydende med, at de grønne felter er ligegyldige. Udstyret kan stadig være af betydning men blot med 2. prioritet i opsætningen af vedligeholdet.

Risikomatrice					
<b>Driftsikkerhed, Omkostninger, Miljø, Kvalitet Leverancesikkerhed</b>	Ingen	Marginal			
	Påvirkning	påvirkning	Påvirkning	Kritisk	Katastrofal
Meget ofte	1	3	4	4	4
Ofte	1	2	3	3	4
Af og til	0	1	2	2	3
Sjældent	0	0	1	2	2
Usandsynligt	0	0	0	1	1

Ofte vil værdierne i matricerne for de forskellige kategorier bortset fra sikkerhed være ens. Det skyldes at personsikkerhed skal (bør) sættes over alt andet. Vedligeholdsaktiviteterne afspejler, at konsekvensen er skade på person.

Risikomatrice					
<b>Sikkerhed</b>	Ingen	Marginal			
	påvirkning	påvirkning	Påvirkning	Kritisk	Katastrofal
Meget ofte	0	3	4	4	4
Ofte	0	2	3	3	4
Af og til	0	2	2	3	3
Sjældent	0	1	2	2	2
Usandsynligt	0	0	1	1	1

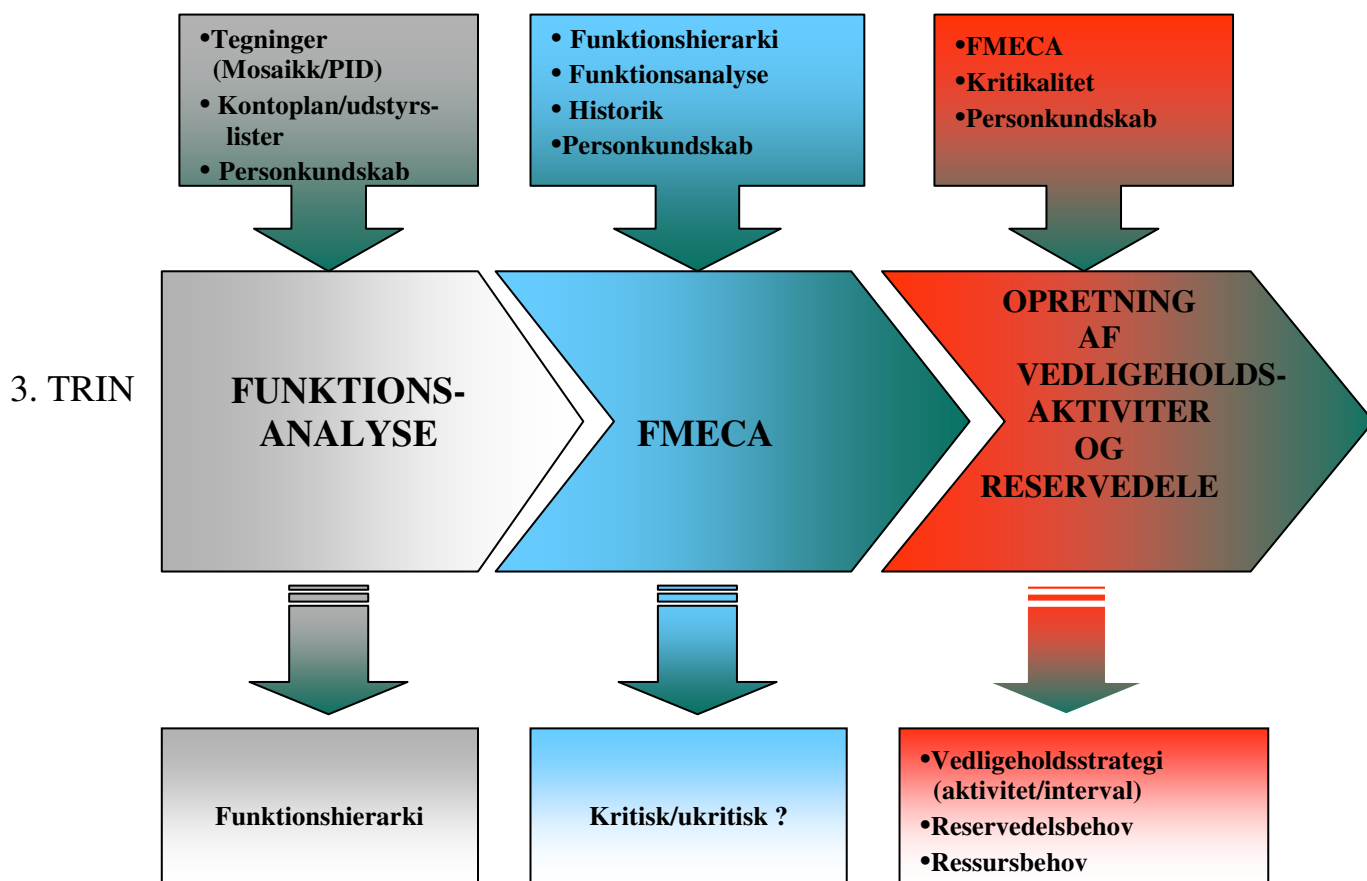
*Eks. på sikkerhedsmatrice*

Ordlyden i matricerne firmatilpasses så alle kan forstå meningen.

I afsnittet "Foreløbig kritikalitetsvurdering" kan man læse om, hvordan man, ved hjælp af en anden metode kan udvælge sig det kritiske udstyr samt hvilke betragtninger man i øvrigt skal gøre sig.

Når der i matricerne nævnes "hyppighed" fremkommer dette ud fra de betragtninger, som man har gjort sig i FMECA skemaet omkring MTBF (Mean Time Between Failure) eller "middeltid mellem fejl". Emnet er beskrevet i afsnittet "Fastsettelse af vh-interval ud fra MTBF", hvor der går i dybden med dette emne.

## 6: "Hvad kan der gøres for at undgå hver enkel fejl?"



Gennem det 6. og næstsidste spørgsmål skal vedligeholdet sættes op med vedligeholdsstrategi, jobbeskrivelse, reservevedele samt interval for vedligeholdet. Dertil benyttes hjælpeskemaet "Vedligeholdelsesaktiviteter og reservedelsklassificering".

### 4.2.4 Fejlkarateristika

Til at understøtte valget af vedligeholdsstrategi beskrives en række karakteristika ved udstyrsfejlen.

#### 4.2.4.1 Årsag og årsagskoder

"Udstyr", "del" og "udstyrsfejl" er de tre oplysninger, som skal overføres fra det foregående FMECA-skema. Hertil skal der gives en årsag til fejlen. Her benyttes

skemaet over årsagskoder i mappens faneblad 4 som udgangspunkt. Årsagskoder kan variere en smule fra virksomhed til virksomhed, men overordnet set bør der ikke være mere end ca. 20 standardkoder. Har man flere og mere specifikke årsagskoder, er risikoen for, at miste overblik og fokus stor. Der vil ligeledes være en stor risiko for at brugerne af årsagskoderne (reparatører og operatører) opfinder lette løsninger frem for at lede efter den rette årsagskode. Det skal gøres så simpelt som muligt.

Dertil kommer, at den vedligeholdsansvarlige har en mulighed for, i den daglige store papirmængde, hurtigt gennem kun ca. 20 årsagskoder at søge sig ind på problemet. Dermed låser vedligeholdsorganisationen sig heller ikke fast på årsagskoder til specifikt udstyr, men derimod i et bredere perspektiv. Det giver mulighed for at fokusere på generelle metoder til fjernelse af fejl, som har en given årsagskode.

Som eksempel kan nævnes en fejlkode: "*Manglende opretning*". Denne årsag kan give anledning til, generelt på virksomheden, at checke for manglende opretning på kritisk udstyr. Andre eksempler på generelle årsagskoder kunne være: "*Manglende smøring*" og "*tilsmudsning*", hvor der iværksættes generelle procedurer som omfatter alt produktionsudstyret.

#### **4.2.4.2 Detektionskode**

Det skal gennem en kode i skemaet beskrives hvordan man mener at fejlen kan detekteres. I fanebladet "skemaer" findes et eksempel på nogle koder.

#### **4.2.4.3 Fejlkarakteristik**

For siden at kunne sætte den rigtige vedligeholdsstrategi op for at undgå fejlen, er det vigtigt for os at vide, hvilken karakteristisk komponenten har. De 6 karakteristikker findes under fanebladet "skemaer". Det har især betydning for starttidspunktet for den første vedligeholdsopgave på en ny komponent om fejlen kommer i indkøringsfasen og/eller i udslidningsfasen.

#### **4.2.4.4 STTF (sikker tid til fejl)**

"Sikker tid til fejl" hænger nøje sammen med fejlkarakteristikken. Hvornår forekommer den første fejl? Ofte er det svært fordi der mangler historisk materiale på komponenten. Derfor må det bero på et kvalificeret skøn, som eventuelt kan understøttes af leverandøroplysninger.

Se i øvrigt kapitlet "Intervalfastsættelse".

#### **4.2.4.5 P-F intervallet**

Alle fejl har et udslidningsmønster. Udslidningen kan strække sig fra over måneder og år til blot at forløbe i et splitsekund. I analyseskemaet skal det vurderes hvor lang

tid udslidningen strækker sig over. Uden gode data fra tilstandskontrol, må P-F intervallet fastsættes ud fra et kvalificeret skøn. Ofte er dette skøn nok til, at et fornuftigt vedligeholdelsesinterval kan sættes.

I kapitlet "Intervalfastsættelse" er P-F kurven beskrevet nøjere.

#### **4.2.5 Valg af vedligeholdelsesstrategi (beslutningstræet)**

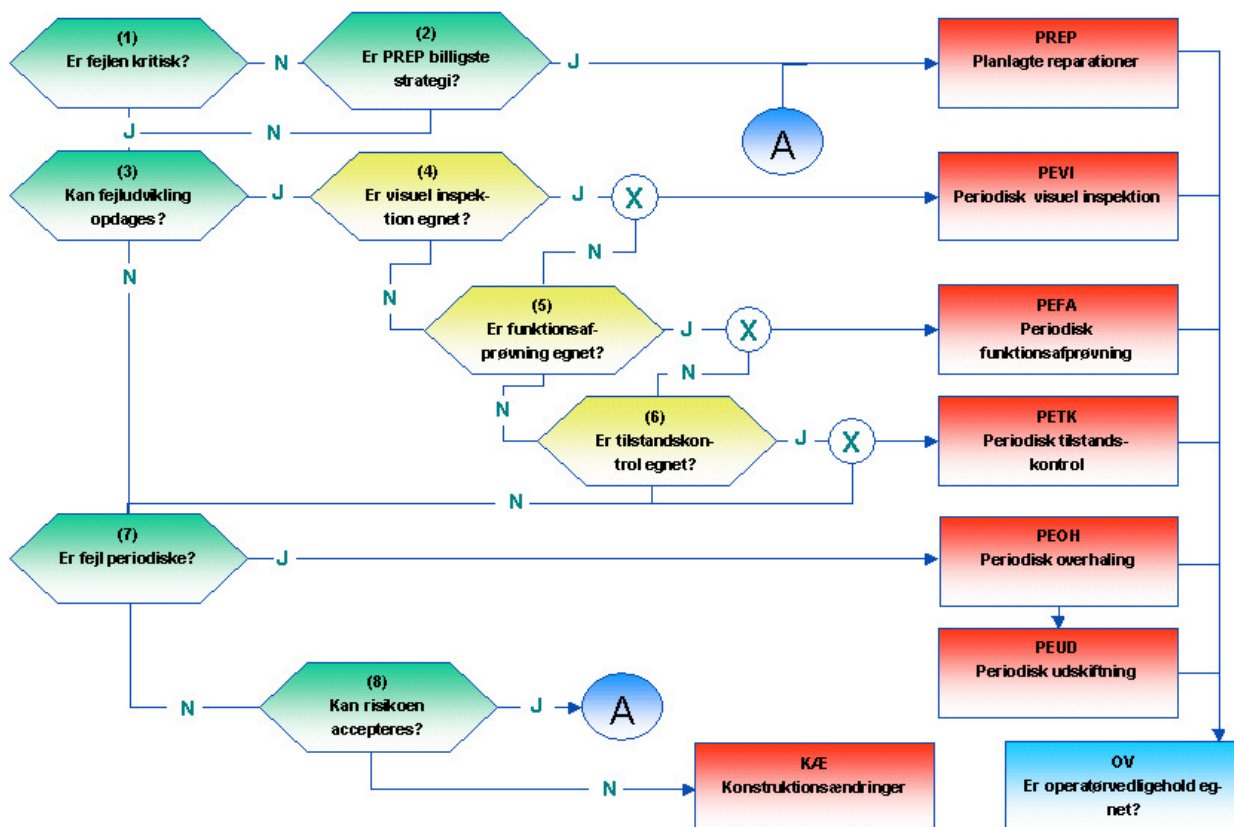
Et af de karakteristiske træk i den "klassiske RCM" er beslutningstræet.

Beslutningstræet bruges til at kunne spore sig ind på den rette strategi med baggrund i de data, som allerede ligger i hjælpekemaerne.

Afhængig af om man svarer "Ja" eller "Nej" til spørgsmålene bevæger man sig fra spørgsmål 1 ned i skemaet, indtil man havner blandt én af vedligeholdelsesstrategierne i højre side. Efterhånden som man svarer på spørgsmålene, noteres et "J" for Ja og et "N" for nej i hjælpekemaet.

Det viser sig at være gavnligt hvis der siden hen bliver behov for at revurdere strategien. Hvad der ligger til baggrund for beslutningen og hvordan man er kommet til den endelige strategi for en fejltilstand, vil fremgå af skemaet.

Selve vedligeholdelsesinstruktionen noteres ligeledes i hjælpekemaet.

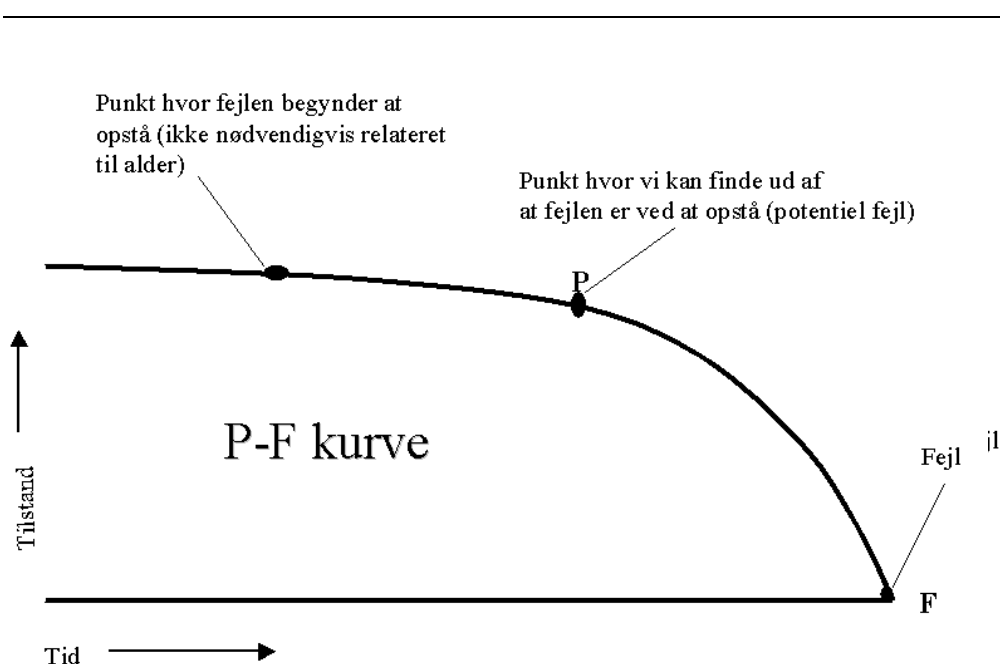


Sidste punkt i spørgsmål 6 er intervalfastsættelsen.

#### 4.2.6 Intervalfastsættelse

Der er ofte en lille eller slet ingen sammenhæng mellem hvor lang tid et anlæg har kørt og hvornår en fejl indtræder. Selvom mange fejl ikke er aldersbestemt, giver mange af dem en forvarsel. Det kan være i form af temperaturstigning, rystelser, partikler i gear-olien eller faldende ydeevne for blot at nævne nogle.

Nedenstående figur viser hvad der sker i den sidste fase inden fejl opstår.



Som det ses vil tilstanden i den umiddelbare tid op til fejlen opstår forringes med accelererende hastighed. Punktet hvor det er muligt at finde ud af om fejlen er ved at opstå kaldes *Potentiel fejl*.

Hvis en potentiel fejl opdages mellem punkt P og F er det stadig muligt at forebygge en fejl gennem en forebyggende handling; afhængig af accelerationen i den dalende tilstand. Som eksempel på et ekstremt hurtigt forløb mellem P og F er en sikring. Enten virker den eller ikke. Tiden mellem P og F kaldes *P-F intervallet*. Hvis vi tilnærmelsesvis kender dette interval har vi også inspektionsintervallet mens anlægget kører.

En tommelfingerregel siger at man bør vælge sit kontrolinterval med 0,50 til 0,75, hvis P-F intervallet er 1.

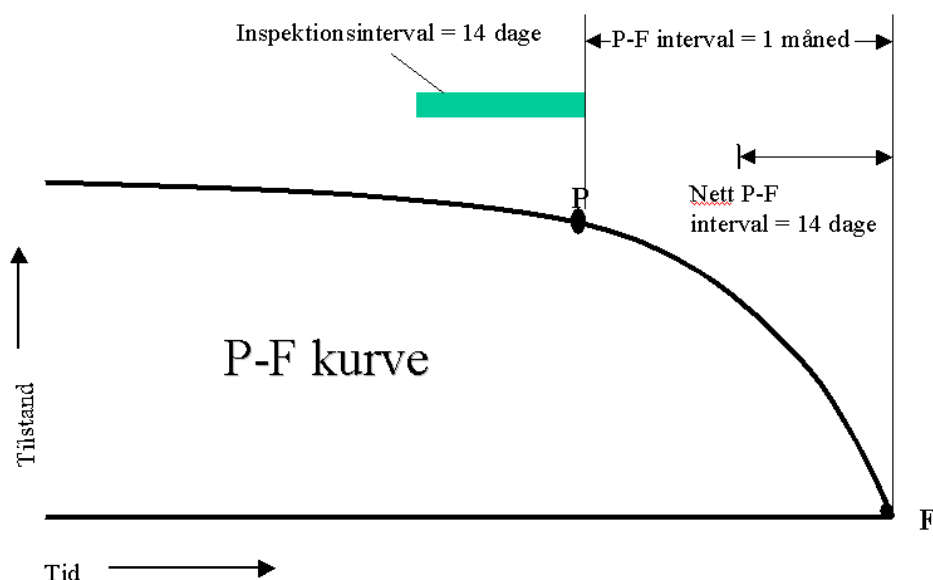
Da vi aldrig kan være sikre på, at fejlen er aldersbestemt, vil kontrolintervallet sikre, at vi altid vil ramme et sted mellem P og F.

### 4.2.6.1 Nett P-F intervallet

Men hvordan kan vi være sikre på, at fejlen opstår lige før en inspektion? Det kan vi heller ikke.

Hvis P-F intervallet er eksempelvis 1 måned og kontrolintervallet er 14 dage, kan fejlen godt opstå lige efter en kontrol. Da vi først kontrollerer igen om 14 dage, vil der nu kun være yderligere 14 dage til at udføre en forebyggende handling inden fejlen er en realitet.

Den resterende tid inden fejl kaldes *Nett P-F intervallet*.



Men nett P-F intervallet kan også blive så kort at der ikke er tid til at tage forholdsregler. Det være sig ved anlæg hvor planlagt stop kun er muligt én gang i måneden eller én til to gange om året.

Den driftssituation kan kun ændres ved en konstruktionsændring i form af f.eks. et bedre materialevalg eller paralleldrift. Hvorfor bruge mandetimer på tilstandsbaseret vedligehold hvis der ikke kan tages forbehold for nedbræk?

Man kan også komme i den situation, at P-F intervallet er så kort, at det kun er et spørgsmål om få timer før fejlen er en realitet. I de tilfælde kan sensorer være en løsning. F.eks. kan en indikation på ubalance i en ventilator via en vibrations censor resultere i en alarm, men det kunne også være driftsparametre såsom temperatur eller flow.



Det viser sig her, at fejlkarakteristikken for en given komponent er en værdifuld viden at have når man skal fastlægge sit vedligeholdelsesinterval.

#### 4.2.6.2 Fastsættelse af vh-interval ud fra P-F kurven

Sammenfattet kan vi ud fra ovenstående sige som udgangspunkt, at det forebyggende vedligehold på en komponent bestemmes som:

$$0,5-0,75 \times \text{P-F intervallet}$$

I hvert tilfælde bør der laves en beregning på omkostningerne ved det forebyggende vedligehold ud fra hele komponentens levetid set i forhold til omkostningerne ved brake down. Dette gøres for at undgå overvedligehold.

eks.: Et langsomt roterende leje vil typisk have et langt P-F interval strækkende sig over måneder, hvorimod et hurtigt roterende leje kan have et P-F interval på få dage eller timer. For det langsomt roterende leje kan en tilstandskontrol/smøring hvert halve år være tilstrækkeligt på kritiske anlæg. På sekundære anlæg kunne korrektivt vedligehold foretrækkes.

For det hurtigt roterende leje vil P-F intervallet kunne komme ned på dage eller timer.

*Et leje koster kr. 500,- i indkøb.*

*Lejets levetid forventes at være 4 år (8000 timer/år)*

*Et "brake down" koster kr. 18.000/time i tabt produktion*

*En vedligeholder koster kr. 300/time*

*Tilstandskontrollen tager 10 minutter*

*Lejeskift + opstart tager ca. 1 time (planlagt)*

*P-F intervallet sættes til 7 dage  $\Rightarrow$  vedligeholdelsesinterval = 4 dage*

*På 4 år er omkostningerne på vedligeholdet:*

$$\frac{10}{60} \times 300 \times \frac{365}{4} \times 4 = \text{kr. } 18.250,-$$

Fordelen med tilstandskontrollen vil være man kan vente til at skifte lejet til lige før det fejler.

Et korrektivt vedligehold i dette tilfælde bør dog overvejes, da vedligeholdelseskostningerne overskrider omkostningen ved tabt produktion. Der er dog visse overvejelser:

- ◆ Forvolder lejevarene følgeskader?
- ◆ Vil lejeskiftet + opstart tage længere tid end den ene time hvis det var uplanlagt?

I tilfældet "følgeskader" kunne man vælge *tidsbaseret vedligehold* hvor lejet konsekvent blev skiftet efter eksempelvis 3 ½ års drift; eksempelvis i forbindelse med et større planlagt shut down.

Var P-F intervallet derimod 6 måneder ville vedligeholdelsesintervallet være 3 - 4 måneder, og regnestykket ville så blive:

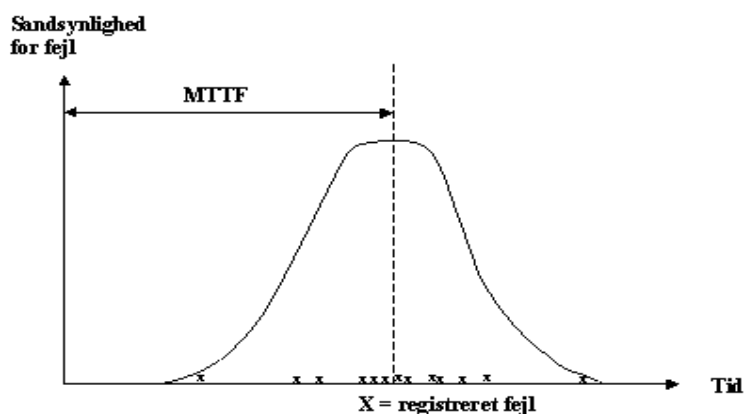
$$\frac{10}{60} \times 300 \times \frac{12}{3} \times 4 = \text{kr. } 800,- \text{ over } 4 \text{ år}$$

Her er fordelene med et tilstandsbaseret vedligehold umiddelbar. Der er mulighed for udskydelse af udskiftningstidspunktet udover de 4 år.

#### 4.2.6.3 Fastsættelse af vh-interval ud fra MTBF (Mean Time Between Failure)

Vi har i det foregående afsnit fastsat vedligeholdelsesintervallet ud fra P-F intervallet. Når et leje købes hjem og monteres, har vi så nødig at starte med et vedligeholdelsesinterval på 14 dage - eller kan "overvedligehold" undgås?

*MTBF (Mean Time Between Failure)* er en tidsenhed, som dels kan oplyses af fabrikanten, dels kan den stamme fra tidligere erfaringer med tilsvarende udstyr på virksomheden.



MTBF bruges på de komponenttyper, hvor den gennemsnitlige levetid er kendt. Det gælder især for roterende udstyr eller maskineri. Da det kun er en gennemsnitlig levetid, vil der være afvigelser til begge sider.

Ved tidsbaseret forebyggende vedligehold, hvor komponenten konsekvent bliver udskiftet efter et fast interval, vil komponenten i nogle tilfælde fejle før udskiftningen. I andre tilfælde vil komponenten have yderligere en vis drifttid før fejl.

Risikoen for driftsstop ved at følge leverandørens oplysning på gennemsnitlig levetid er ca. 50 %. Det vægter meget, hvis der er tale om en komponent med høj kritikalitet og vil være en stor risiko at løbe.

Ved sekundære anlæg med lav kritikalitet vil udskiftning før en potentiel fejl vise sig at være overvedligehold.

Ved tilstandsbaseret vedligehold vil muligheden for at detektere en potentiel fejl, både før og efter den oplyste gennemsnitlige levetid, være tilstede.

Som det ses i diagrammet ovenfor, vil der opstå fejl på et meget tidligt tidspunkt. Er konklusionen på RCM analysen, at den pågældende komponent skal have foretaget tilstandsbaseret vedligehold, skal vedligeholdet påbegyndes før den første fejl statistisk vil indtræffe.

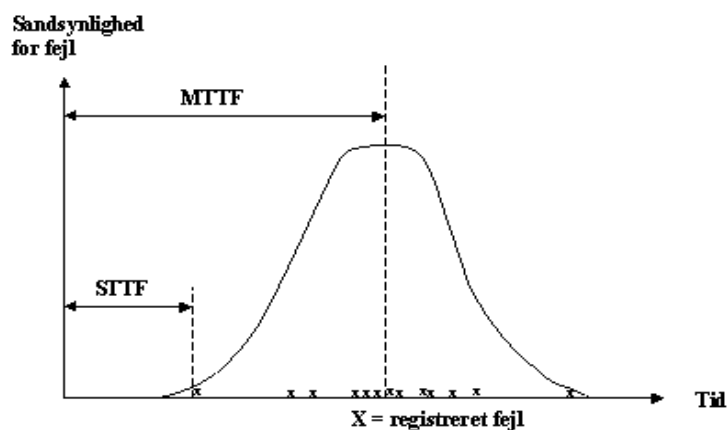
Tidsintervallet fra montage til at første fejl statistisk vil indtræffe kaldes *STTF Save Time To Failure*.

#### 4.2.6.4 Fastsættelse af vh-interval ud fra STTF ( Save Time To Failure)

Som diagrammet antyder, er der et tidsmæssigt spænd fra den første fejl til den sidste. Spændet udspringer fra punktet med de statistisk fleste hændelser (MTBF). Save Time To Failure fastsættes som en sikker margin op til MTBF.

Typisk tillader man en risiko på 5 % for at der indtræffer en fejl indenfor STTF-intervallet. Det er en risiko, som man gerne vil løbe set i forhold til de omkostninger der følger med et tilstands- eller tidsbaseret vedligehold. Dette dog under forudsætning af, at fejlen ikke medfører så store konsekvenser, at 5 % risiko heller ikke kan tillades. Konsekvenserne kunne være vedrørende "personlig sikkerhed", "miljø" eller "store produktionstab".

Viser det sig, at konsekvenserne er for store, har vi med udstyr af høj kritikalitet at gøre.



Vælges vedligeholdet gennem en RCM analyse til at være tilstandsbaseret, behøver man ikke foretage nogen nævneværdige tilstandsvurderinger før STTF intervallet er nået.

Der kan i STTF intervallet stadig være opgaver, såsom smøring og efterfyldning.

Igen, har vi med udstyr af høj kritikalitet at gøre, vil der være tilstandsbaserede opgaver i STTF intervallet. Det kunne være afprøvning af elektrisk nødstop f.eks..

Men hvad med leverandørens anbefalinger eller krav, når der er tale om garanti?

På roterende udstyr og maskiner består anbefalingerne gerne af smøreskemaer samt en liste med et estimat på komponenternes gennemsnitlige levetid og/eller en driftstid indtil udskiftning.

Smørintervallerne kan godt være pr. dag, pr. uge eller pr. måned, men leverandøren har ikke udstyrets faktiske kritikalitet med i billedet, og tager derfor udgangspunkt i "worst case".

Har udstyret imidlertid en høj kritikalitet, kan der købes meget automatisk smøresystem for den tid det tager en vedligeholder at smøre udstyret igennem på dags- eller ugebasis, set over udstyrets levetid.

Leverandørens liste over komponenternes optimale holdbarhed og forslag til efterfølgende udskiftning tager også udgangspunkt i "worst case". Men leverandørens anbefalinger er ofte ud fra driftsbetingelser, som godt kan afvige fra de faktiske. Ekstreme driftsbetingelser for udstyret er ikke altid leverandørens afsæt til en vedligeholdplan.

Efter STTF punktet er nået, intensiveres vedligeholdet for tilslut at ende op med et interval svarende til ca. 50 - 75 % af P-F intervallet.

#### 4.2.7 Ændring af design

Vi kan desværre komme i den situation, at det synes som om vi ikke kan vedligeholde os ud af de fejl, som har været og de fejl, som VIL komme. Som beskrevet i indledningen, så er nutidens maskiner blevet stadig mere komplekse og især præget af en del elektriske komponenter. Det kan være meget svært for ikke at sige umuligt at beregne sig frem til MTBF (Mean Time Between Failure) for slet ikke at snakke om komponentens udslidningsmønster (P-F intervallet). En elektrisk komponent er karakteriseret ved at kunne fejle efter få timers drift eller ved slet ikke at fejle i maskinens levetid. Det er med andre ord fuldkommen tilfældigt hvornår den vil fejle.

Der foreligger kun én mulighed tilbage for at forebygge en fejl og det er ved *konstruktionsændring*. En ændring i designet kan være gennemgribende, men kan også blot bestå af en simpel udskiftning til en mere driftsikker komponent eller ved at lave et parallelt system.

Det kan virke lidt bagvendt, at man gennem en RCM analyse først til sidst bliver konfronteret med muligheden for en konstruktionsændring. Det bør anbefales at dette spørgsmål 7 bliver rykket op som spørgsmål 3, da man indenfor den nyeste teori på dette område netop starter med at spørge sig selv: "Kan vi eliminere fejlen - hvis Ja, så lad os endelig gøre det, så vi ikke behøver at udføre vedligehold på komponenten ud fra DEN fejl".

## 5 Foreløbig kritikalitetsvurdering

Der findes flere metoder til at kunne danne sig et indtryk af, hvor kritisk udstyret er i en produktion eller proces.

Ifølge RCM standarden findes kritikaliteten gennem vurderinger i risiko matricer.

Men det kan være en langsommelig proces at skulle alle fejltilstande igennem for blot at konstatere, at udstyret ikke er kritisk og derfor måske ikke har behov for vedligehold.

Tit gælder det om at kunne danne sig et overordnet view for at bestemme sig til, hvor i produktionen RCM arbejdet gavner mest. Driftsfolk vil generelt mene, hvor skoen trykker, men det kan være farligt at bygge sine antagelser på gætterier - har man overvejet om der findes redundante systemer og hvad med flaskehalse? Nedenfor er givet nogle eksempler til udvælgelse af det kritiske udstyr.

1. **Sund fornuft**
2. **Flaskehalse og kapacitets beregninger**
3. **Data indsamling og vurdering**
4. **Firma tilpasset kritikalitetsudvælgelse.**

### 5.1 Sund fornuft

Ved anvendelse af den erfaring man har med anlægget, samt erfaringen fra operatører og vedligeholdere kan man ofte ved at bruge denne "rygmarvs viden" danne sig et overblik over hvilke funktioner, der er kritiske.

Ved kritikalitetsbestemmelsen bør man stille spørgsmål til funktionen ud fra kategorier som:

- **P** Produktionstab, hvis funktionen ophører med at fungere, hvor kritisk er dette for produktionen? Er det forbundet med store tab?
- **O** Omkostninger til vedligehold, er der ofte fejl på funktionen?, er funktionen omkostnings tung m.h.t. vedligeholdsomkostninger?
- **S** Sikkerheds risici, hvis funktionen svigter, har dette betydning for personalets sikkerhed?

Andre eller flere kategorier kan anvendes ved bestemmelsen.

Hver kategori skal vægtes efter hvor kritiske de er, dette kan gøres ud fra en talværdi: 1- 2 - 3 - osv. eller ved at påføre hierarkiet en grøn, gul eller rød farve, hvor rød er kritisk og grøn er ukritisk.

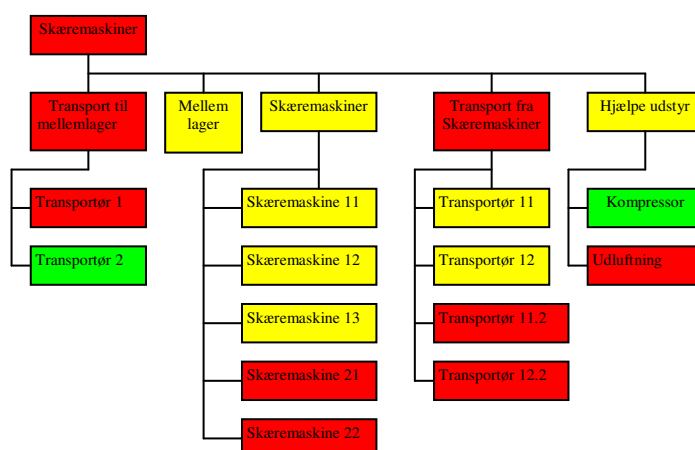
Hvis vi tager eksemplet med forbehandlingsanlægget fra tidligere kunne kritikalitetsbestemmelsen se således ud:

**Transport til mellemlager:** Får karakteren rød pga. **P** Produktionstab, da dette vil give materialestop til alle snittere og dermed stop i produktionen.

**Transportør 1:** Får karakteren rød på **O** da stop ofte skyldes tekniske fejl.

**Transportør 2:** Får karakteren grøn da der sjældent er registreret nogle hændelser

...og så fremdeles. Hierarkiet (funktionsopdelingen) får nu følgende udseende:



*Eks. Overordnet funktionshierarki af forbehandlingsanlæg og transport*

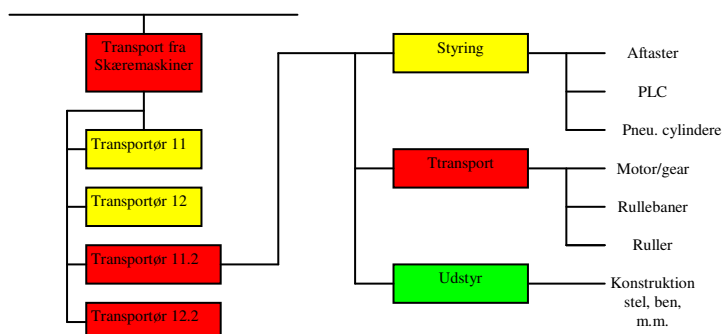


Det er en god ide at man til kritikalitets bestemmelsen, inddrager det personale, som har den fornødne viden om anlægget, og som siden hen skal deltage i opdelingen af det overordnede funktionshierarki.

### 5.1.1 Funktionsnedbrydning.

Efter den overordnede kritikalitetsbestemmelse er sket kan funktionsnedbrydningen af de kritiske funktioner påbegyndes.

Nedbrydningen bør ske til et niveau hvor der på nederste niveau højst befinder sig 5-10 komponenter eller udstyr, hvor der typisk udføres vedligehold på.



Eks. Nedbrudt funktionshierarki med komponenter

Ved at notere sig komponenterne under det enkelte udstyr, fås et overblik over analysens omfang, da det er disse komponenter, som danner grundlag for den kommende vedligeholdsmængde. Det er disse komponenter, som skal analyseres.

Sund fornuft og "rygmarvsviden" er i langt de fleste tilfælde tilstrækkeligt for at danne sig et overblik, men undertiden er de indlysende kritikalitetsbestemmelser ikke altid så simple som de umiddelbart ser ud til.

Specielt kan redundante systemer eller en kombination af parallelle og serielle systemer være komplicerede og virkeligheden en anden end den man umiddelbart skulle tro. Her kan flaskehalse og kapacitets beregninger være et godt værktøj til at finde de "røde" funktioner i produktionen.

## 5.2 Flaskehalse og kapacitets beregninger

Hvis man ønsker at beregne flaskehalse og kapaciteter i piloten, for dermed at kunne udpege de kritiske funktioner hvad angår produktionstab, er data omkring de enkelte produktionsenheder nødvendige.

Disse data er ofte tilgængelige fra produktionen eller fra operatører.

De data der skal indhentes og vurderes er:

1. Maskinkapaciteter:
  - hvad er maskinen designet til at kunne yde, flow, m<sup>3</sup>/h, tons/h, tryk, etc.?



## 2. Driftsbetingelser:

- hvorledes udnyttes design kapacitet under normal drift, 50%, 75%, 100% ?
- er det muligt at øge kadencen ved break down på andet lignende udstyr?

## 3. Omstilling:

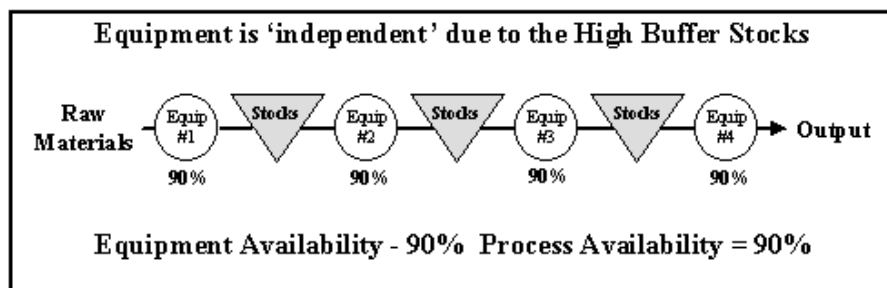
- findes der redundant udstyr, som kan overtage funktionen?
- kan funktionen by-passes ved simpel omskiftning? Eksempelvis ved break-down af en transportør, kan en mobil transportør hurtigt opstilles og overtage funktionen.



Det er en god ide at når ovenstående punkter er vurderet, at lave en simpel skitse af produktions flowet med enheder, for at danne sig et overblik før beregningerne.

Når der tales tilgængelighed, viser det sig, at flaskehalse er vigtige at have med i sine overvejelser. I nedenstående er det illustreret hvorledes buffere kan have stor betydning for tilgængeligheden.

Tilgængeligheden for udstyret i serie ligger på 90 % på grund af de store buffere.



Betragter vi det samme udstyr uden de samme muligheder for buffere, skal udstyr #1, #2, #3 og #4 multipliceres med hinanden, hvorefter den **samlede** tilgængelighed bliver 66 %. Som det ses, har det altså stor

betydning hvorvidt man har buffere (mellemvarelagre) eller ej. Fjernes bufferne kræver en forsat pålidelighed på udstyret mere af vedligeholdelsesafdelingen. For at bevare et produktionsflow som hidtil, kræver det, at tilgængeligheden på alle 4 udstyr nu skal være på 97 % uden buffere. Dermed er der lagt op til følgende umiddelbare fordele:

- Kortere leveringstid
- Produktkvalitet
- Hurtigere sporbarhed ved fejl
- Lavere lageromkostninger

### 5.2.1 Pålidelighed

Ved beregning af flaskehalse og udstyrskapaciteter indgår også pålidelighed. Et udstyrs pålidelighed er bestemt af mange forskellige forhold. Af disse forhold kan nævnes udstyrets design, kvaliteten af produktet, vedligeholdelsesvenlighed, forskelle i produktionsmiljøet omkring udstyret, ydermere kan et udstyr fungere fint til opfyldelse af et formål, men ikke være tilstrækkeligt til opfyldelse af et andet. For eksempel kan en microchip være tilstrækkelig i en radio, men helt ubrugelig til styringsmodulet i et fly.

På baggrund af dette kan vi definere pålidelighed til:

*Sandsynligheden for at et udstyr vil være funktionsdygtig indenfor de specificerede grænser for en given periode under givne ydre forhold.*

Estimater for et udstyrs pålidelighed opnås normalt fra udstyrshistorik eller statistiske levetidsafprøvninger. Er disse først kendt er beregning af pålidelighed på produktionssystemer med flere udstyr, ganske simpel.

De systemer fleste kan siges at være serielle eller parallelle systemer, eller en kombination af begge. Et serielt system er karakteriseret ved at udstyrene er forbundet således at hele systemet fejler hvis bare ét af udstyrene fejler. I et parallelt system vil systemet kun fejle hvis alle udstyr fejler.

Hvis vi antager at have et system med  $n$  udstyr forbundet serielt og at pålideligheden af de enkelte udstyr ikke afhængige af hinanden, vil formlen for beregning af den samlede pålidelighed se således ud:

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i$$

$$i=1$$

hvor  $R_i$  er pålideligheden af  $i$ 'te udstyr og  $R_s$  er den samlede pålidelighed.

Eksempel:

Et system med 5 udstyr i serie, hver med en pålidelighed på 97 % vil få en samlet pålidelighed på:

$$(0,97)^5 = 85,9 \%$$

Har vi 10 ens udstyr i serie vil regnestykket komme til at se således ud:

$$(0,97)^{10} = 73,8 \%$$

Det ses af denne regel om multiplicering, at øget kompleksitet har stor betydning for den samlede pålidelighed.

Vender vi regnestykket om vil vi se at hvert af de 10 udstyr skal have en pålidelighed på 98,5 % for at den samlede pålidelighed skal svare den for systemet med 5 udstyrs.

En måde at øge pålideligheden i et system, er at parallelforbinde noget udstyr. Antager vi igen at have et system med  $n$  udstyr, denne gang forbundet parallelt, vil sandsynligheden for fejl være hvis der er fejl på *alle* udstyr. Dvs. hvis  $F_i = 1 - R_i$  er "upålideligheden" af det  $i$ 'te udstyr, vil reglen om multiplicering betyde at:

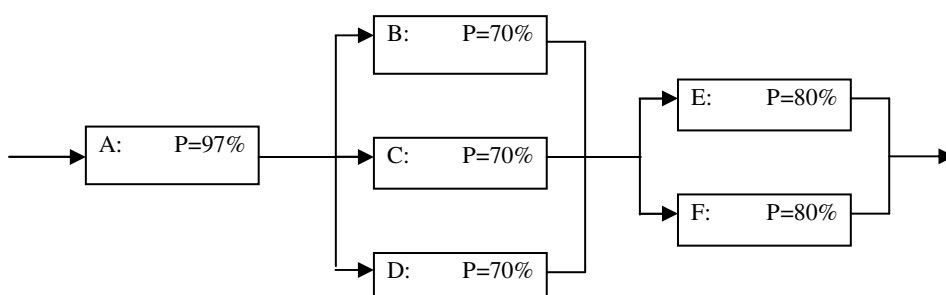
$$F_p = \prod_{i=1}^n F_i$$

hvor  $F_i$  er upålideligheden af det parallelle system og  $R_p = 1 - F_p$  er pålideligheden. Deraf følger at:

$$R_p = \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

*Eksempel:*

Et system med 6 udstyr i forbundet i serie og parallelt, med pålidelighed (P) som angivet i nedenstående figur:



Samlet pålidelighed for de 3 parallelle udstyr (B, C, D) giver:

$$1-(1-70\%)^3 = 97,3\%$$

Samlet pålidelighed for de 2 sidste parallelle udstyr (E, F) giver:

$$1-(1-80\%)^2 = 96\%$$

Disse værdier kan nu sammen med udstyr A, betragtes som 3 udstyr i serie så den samlede pålidelighed bliver på:

$$97\% * 97,3\% * 96\% = 90,6\%$$

Sammenholdt med produktionskapaciteten er det så muligt at beregne et gennemsnitligt produktionstab.

### **5.3 Dataindsamling og vurdering**

Hvis "sund fornuft" ikke er tilstrækkelig til at kunne drage nogle brugbare konklusioner, må man gøre brug af indsamlede data.

Hvilke data kan være af interesse før en RCM analyse går i gang? Da pilotprojektet skal startes op der hvor fordelene er umiddelbar (hurtigt resultat/god indtjening), skal det kritiske anlæg først findes.

Det kan eksempelvis afgøres ud fra følgende data:

1. Hvor mange penge bruges på vedligeholdet på de enkelte anlæg?
2. Hvor mange driftsstop er registreret på anlæggene?
3. Hvor mange personer er kommet til skade?
4. Hvor meget miljømæssigt spild er registreret?

ad. 1:

En fordel er det hvis alle anlæg har sit anlægsnummer, som er det samme som kontonummeret på omkostningskontoen. Hver gang der købes en reservedel hjem til anlægget; hver gang der forbruges tid på anlægget til vedligehold, kan udgiften konteres til det pågældende anlæg.

Ulempen er mere administration, men fordelene ligger i et overblik over, hvor der bruges flest penge, hvilket i den sidste ende vil vise sig at overgå administrationsomkostningerne. Dette forbrug kunne være et udvælgelseskræterier før en analyse.

ad. 2:

En anden mulighed er registrering af stoptid. Da reparationstiden ofte er ligefrem proportional med vedligeholdelsesudgifterne, hænger dette punkt sammen med det forrige.

Der er flere muligheder for at registrere driftsstop. Det kan ske manuelt i en logbog eller det kan ske via et dataregistreringsprogram, som der i dag findes mange løsninger på.

Da stoptid er mange ting, skal interessenterne forinden have defineret hvilke typer driftsstop, som er brugbare i denne sammenhæng. Der kan gives nogle eksempler:

- Udstyrsfejl
- Materialemangel
- Dårlig råvarekvalitet
- Naturlige pauser
- Omstilling
- Planlagt vedligeholdelsesarbejde
- Ydre påvirkninger (f.eks. strømsvigt)

Ikke alle driftsstop er lige interessante, når man skal danne sig et overblik over de mest kritiske anlæg. Derfor er stopkoder meget vigtige, så den driftsansvarlige hurtigt kan sortere i relevante og ikke relevante driftsstop.

Hvad der kan være urelevante data i dag, kan i morgen blive særdeles relevante.

ad. 3:

Den personlige sikkerhed skal altid sættes højt, men kun historiske data kan afgøre, om antallet af registrerede personskader kan danne tilstrækkelig grundlag for en udvælgelse.

ad. 4:

De stadig øgede miljøkrav har medført at stadig flere virksomheder har en interesse i at holde spild til omgivelserne på et minimum. Spild kan medføre store følgeomkostninger og derfor kan antallet af spild være et kriterie før en analyse.

#### **5.4 Firmatilpasset kritikalitetsudvælgelse**

En virksomheds produktion kan deles i adskillige hovedanlæg. Disse hovedanlæg kan igen deles i delanlæg, og hvis det er nødvendigt, atter deles i mindre dele, men som en hovedregel bør funktionsopdelingen/anlægsstrukturen tilstræbes kun at være på højst 3 niveauer.

Ifølge RCM proceduren skal analysen laves i det laveste niveau, som man kommer frem til; altså det udstyr, som skal vedligeholdes på. Hele fabrikken består af adskillige funktioner og hele arbejdet med fastsættelse af kritikalitetsniveauet for de enkelte funktioner kræver en del arbejde.

For at kunne danne sig et hurtigt overblik over hvor det er mest hensigtsmæssigt at starte, er det ved analysens start en mulighed at lave en "*midlertidig kritikalitets vurdering*" på "A-funktionsniveau, hvor A-funktionsniveauet oversigten over hovedanlæggene. Udfra den midlertidige vurdering vælges de funktioner, som er mest kritiske.

Vurderingen består af tre hovedgrupper:

- 1. Konsekvens af fejl**
- 2. Fejl frekvens**
- 3. Redundans**

#### **5.4.1 Konsekvens af fejl**

Konsekvensen på en funktionsfejl er relateret til:

- 1.1. Personskade/død og skadelig forurening til omgivelserne
- 1.2. Forbrugt tid samt metode til reparation af fejlen
- 1.3. Reparationsomkostninger

Niveauet for konsekvensen indenfor hver gruppe skal være udfra værste tilfælde. I det følgende skal niveauet på konsekvenserne kun tages som en vejledning. Sund fornuft bør råde i hvert tilfælde.

- 1.1 Personskade/død og skadelig forurening til omgivelserne

I RCM analysen har "personskade" og "miljø" hver sine kriterier, men da dette kun er en midlertidig (og hurtig) analyse, er de slået sammen.

Kode	Kriterie "c1"
5	Tab af menneskeliv eller omfattende forurening til omgivelserne
4	Alvorlig personskade, som kræver indlæggelse eller bekostelig forurening til omgivelserne.
3	Personskade som kræver ambulans behandling eller forurening hvor oprensning kræver ekstern assistance.
2	Personskade som kan behandles på stedet eller forurening hvor oprensning foretages af eget personel.
1	Ingen personskade eller forurening

## 1.2 Forbrugt tid samt metode til reparation af fejlen

Denne kategori vil give en indikation af både den tid, som går indtil ekstern assistance er fremme samt selve reparationstiden af funktionsfejlen. For at finde graden af kritikaliteten, skal koderne, som vises i skemaet, kun bruges som en vejledning.

Kode	Kriterie "c2"
5	Anlægget kan ikke producere. Øjeblikkelig ekstern hjælp er nødvendig. Lang nedetid.
4	Anlægget kan ikke producere uden brug af by-pass anlæg. Ekstern hjælp er nødvendig.
3	Systemfunktion kan ikke fungere uden brug af by-pass. Ekstern hjælp er nødvendig.
2	Anlægget kan producere midlertidigt, men funktionen skal repareres, om muligt, af eget personale hurtigst muligt uden tab af operationel tid.
1	Fejlen har ingen operationel konsekvens og kan vente med at blive udbedret til næste planlagte vedligehold.

## 1.3 Reparationsomkostninger

Ofte er reparationsomkostningerne proportional med reparationstiden og hvilken form for assistance, der skal bruges, som beskrevet i skemaet ovenfor. Skalaen for omkostningerne er individuel fra virksomhed til virksomhed.

Kode	Kriterie "c3"
5	100.000 DDK <
4	20.000 DDK - 100.000 DDK
3	5.000 DDK - 20.000 DDK
2	1.000 DDK - 5.000 DDK
1	< 1.000 DDK

#### 5.4.2 Fejlfrekvens

Den indikerede fejlfrekvens skal baseres på erfaringer fra udstyret, hvis det kun har fået et minimum af vedligehold eller slet intet vedligehold.

Fejl koderne skal relateres til fejl, som har konsekvens for:

1. Forbrugt tid og metode til udbedring af fejlen.
2. Reparationsomkostningerne

Koden og kriteriet i nedenstående tabel skal indikere frekvensen.

Fejlfrekvensen er defineret ud fra STTF (Save Time To Failure), tiden fra udstyret begynder at operere efter montage til fejlen opstår.

Kode	Kriterie "a"
2	0 år < STTF < 1 år
1,75	1 år < STTF < 5 år
1,5	5 år < STTF < 10 år
1,25	10 år < STTF < 15 år
1	15 år < STTF



### 5.4.3 Redundans

Koderne i nedenstående tabel skal bruges til at vise niveauet af redundans for udstyret.

100 % redundans betyder, at systemfunktionen kan operere efter en systemfejl uden at der skal tilkaldes nogen autoriseret person. Dette betyder, at et komplet standby system eksisterer.

Er det ikke tilfældet er redundansen relateret til den mest kritiske funktion på niveauet lige under.

Kode	Kriterie "b"
6/3	Ingen redundans
5/3	Nogen redundans (< 100 %) for det mest kritiske udstyr på anlægget
4/3	100 % (eller højere) redundans for det mest kritiske udstyr på anlægget.
3/3	100 % redundans for anlægget (standby anlæg)

Den totale kritikalitet for en funktion

Der skal udføres en udregning for at få den totale kritikalitet for en funktion. Udregningen udføres efter følgende formel:

$$C = f_1(c_1 \times a \times b) + f_2(c_2 \times a \times b) + f_3(c_3 \times a \times b)$$

Faktorerne  $f_1$ ,  $f_2$  og  $f_3$  som benyttes i nedenstående skema og som skal sættes ind i formlen, skal illustrere hvor meget hver enkel faktor vægter i forhold til de andre. Faktorerne skal have en talværdi mellem 1 og 2. Dvs. hvis man synes, at omkostningerne vægter 50 % mere end sikkerheden, skal  $f_2$  f.eks. have værdien 1,5 og  $f_1$  have værdien 1. Hvis man f.eks. synes, at alle faktorer vægter ligeligt, får alle tre faktorer ( $f_1$ ,  $f_2$  og  $f_3$ ) værdien "1".

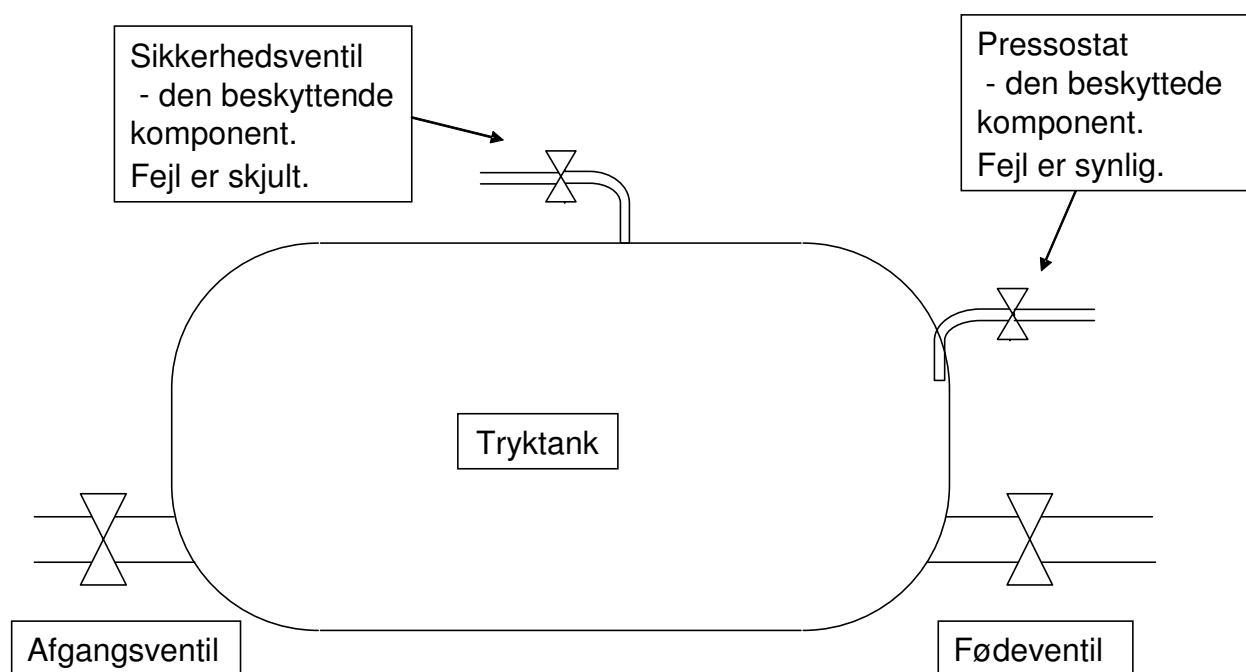
Fastsættelsen af faktorer skal ske inden analysens start.

De kritikaliteter, som man får som et resultat af beregningerne er kun relative. Dvs. de kan kun bruges ved at holde tallene op imod hinanden og dermed få et billede af hvilke anlæg, der er de mest kritiske.

## 6 Skjulte fejl

Skjulte fejl er den type fejl, hvor den manglende funktion ikke er synlig ved normal driftsforløb. Skjulte fejl viser sig normalt efter en anden uafhængig fejl.

Man er ofte fristet til at betragte en fejl som skjult, alene fordi den manglende funktion først bliver synlig nogen tid efter at fejlen er opstået. Dette er forkert. Hvis den manglende funktion bliver synlig og er en direkte følge af fejlen, er fejlen synlig uanset hvor lang tid der er gået mellem fejlens opståen og følgevirkningen.



Eksempel på skjult fejl på tryktank.

Ved normal drift vil fejl på eksempelvis pressostat vise sig ved, at sikkerhedsventilen aktiveres når trykket bliver for stort - fejlen er *synlig*.

Ved normal drift vil sikkerhedsventilen ikke aktiveres og en eventuel fejl vil derfor ikke vise sig - fejlen er *skjult*.

Fejlen vil først vise sig i det øjeblik en synlig fejl opstår (i dette eksempel trykvagten, der ikke stopper kompressoren) og sikkerhedsventilen ikke aktiveres som den skal