

Reliability Centered Maintenance for vannkraftprodusenten BKK Produksjon

Vebjørn Loen

Produktutvikling og produksjon

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Per Schjølberg, IPK

Medveileder: Åke Madsen, BKK Produksjon

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk

MASTEROPPGAVE
Våren 2014
for stud. techn. Vebjørn Loen

RCM og vedlikehold (RCM and maintenance)

Det er mange bedrifter som har gjennomført RCM analyser. Imidlertid er det en rekke bedrifter som ikke har oppnådd de forventede resultatene.

I denne oppgaven skal kandidaten

- diskutere viktighet av en RCM analyse
- presentere trinnene i en RCM analyse
- presentere og analysere status for RCM analyser i BKK
- skissere et fremtidig RCM konsept til bruk i BKK
- foreta en RCM analyse på et konkret anlegg/system hos BKK
- skissere et fremtidig vedlikeholdskonsept, spesielt med fokus på analyser for BKK

Oppgaveløsningen skal basere seg på eventuelle standarder og praktiske retningslinjer som foreligger og anbefales. Dette skal skje i nært samarbeid med veiledere og fagansvarlig. For øvrig skal det være et aktivt samspill med veiledere.

Innen tre uker etter at oppgaveteksten er utlevert, skal det leveres en forstudierapport som skal inneholde følgende:

- En analyse av oppgavens problemstillinger.
- En beskrivelse av de arbeidsoppgaver som skal gjennomføres for løsning av oppgaven. Denne beskrivelsen skal kunne ut i en klar definisjon av arbeidsoppgavens innhold og omfang.
- En tidsplan for fremdriften av prosjektet. Planen skal utformes som et Gantt-skjema med angivelse av de enkelte arbeidsoppgavens terminer, samt med angivelse av milepæler i arbeidet.

Forstudierapporten er en del av oppgavebesvarelsen og skal innarbeides i denne. Det samme skal senere fremdrifts- og avviksrappporter. Ved bedømmelsen av arbeidet legges det vekt på at gjennomføringen er godt dokumentert.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte og diskuteres utførlig.

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare eller fysisk utstyr er en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bære av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten under arbeidet med oppgaven støter på vanskeligheter, som ikke var forutsett ved oppgavens utforming og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette straks tas opp med instituttet.

Oppgaveteksten skal vedlegges besvarelsen og plasseres umiddelbart etter tittelsiden.

Innleveringsfrist: 10. juni 2014.

Besvarelsen skal innleveres i 1 elektronisk eksemplar (pdf-format) og 2 eksemplarer (innbundet), ref. rutinebeskrivelse i DAIM. Det vises til <http://www.ntnu.no/ivt/master-siv-ing> for ytterligere informasjon om DAIM, uttak, kontrakt, gjennomføring og innlevering.

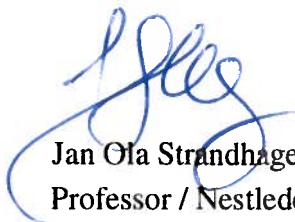
Ansvarlig faglærer / hovedveileder:

Førsteamanuensis Per Schjølberg
E-post: per.schjolberg@ntnu.no
Telefon: 73 59 37 70

Kontaktperson BKK:

Åke Madsen
E-post: aake.madsen@bkk.no
Telefon: 415 11 220

**INSTITUTT FOR PRODUKSJONS-
OG KVALITETSTEKNIKK**



Jan Ola Strandhagen
Professor / Nestleder



Per Schjølberg
Ansvarlig faglærer

Forord

I denne rapporten beskrives resultatet fra en masteroppgave utført innenfor fagfeltet Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) ved Institutt for produksjons og kvalitetsteknikk, NTNU, Trondheim. Masteroppgaven omhandler bruk av Reliability Centred Maintenance på vannkraftverk. Oppgaven er utført i samarbeid med vannkraftprodusenten BKK Produksjon i Bergen og er gjennomført av undertegnede i løpet av våren 2014.

Temaet for oppgaven kommer som en følge av BKK Produksjons fokus på vedlikeholdsanalyser og RCM det siste året. Dette kombinert med undertegnedes ønske om å skrive om vedlikehold innen vannkraft gjorde at det ble utformet en oppgavetekst i samarbeid med veileder Per Schjølberg ved NTNU og Åke Madsen ved Seksjon Vedlikehold i BKK Produksjon.

Det anbefales at leseren har grunnleggende kunnskap om teori og metodikk innen vedlikehold samt en viss kunnskap om vannkraftbransjen og BKK Produksjon.

Trondheim, 10.06.2014



Vebjørn Loen

Annerkjennelser

Jeg vil takke følgende for deres hjelp i perioden mens masteroppgaven har pågått.

Åke Madsen, Rolf Korsrud og flere andre fra Seksjon Vedlikehold og Seksjon Drift Sør i BKK Produksjon takkes for bidrag med informasjon, innspill, lokaler, sin tid og godt vertskap. Håvard Vik fra MainTech takkes for å ha bidratt med informasjon angående MainTechs RCM-analyse på Dale kraftverk samt synspunkter rundt RCM. I tillegg takkes MainTech forøvrig som lot meg delta gratis på deres RCM ekspertforum og MainTech-konferanse. Veileder Per Schjølberg takkes for hjelp og innspill underveis samt evig optimisme på mine vegne. Jeg vil også takke flere andre kilder i fagmiljøet på NTNU og i industrien for deres hjelp og innspill når de ble forespurt.

Til sist vil jeg takke NTNU, studentbyen Trondheim og alle studiekamerater som de siste seks årene har gjort meg vel. Studenttiden vil bli savnet.

V.L.

Sammendrag

Reliability Centered Maintenance (RCM) er en systematisk prosess som har til hensikt å realisere den iboende påliteligheten til en gjenstand ved utvikling av et vedlikeholdsprogram og er i så måte en prosess som kan integreres i vedlikeholdsstyringen. Det finnes også andre prosesser og metoder som kan brukes eller som foreslås brukt til utvikling av vedlikeholdsprogram.

Litteraturen om RCM er omfattende og det finnes mange varierende syn på hvordan en RCM-prosess skal være og brukes. I tillegg finnes det forsøk både på forenklinger og utvidelser av prosessen. Standardene IEC 60300-3-11, SAE JA1011 og SAE JA1012 beskriver imidlertid det som kan beskrives som beste praksis for en generell RCM-prosess. Det blir presentert en modell for RCM-prosessen som disse standardene beskrives i.

Vannkraftprodusenten BKK Produksjon (BKK P) har ikke tatt i bruk RCM-prosessen før nå, men har nå gjennomført en RCM-analyse på ett av sine kraftverk. Redegjørelse for BKK Ps mål, erfaringer og utfordringer i forbindelse med bruk av RCM avslører at det finnes et potensiale i å tilpasse RCM-prosessen for å passe bedre til BKK Ps behov.

Et RCM-konsept med fokus på å supplere det eksisterende vedlikeholdsprogrammet samt bruk av en generisk feilmode-database foreslås. Underveis i utviklingen foretas det en testing av foreløpig RCM-konsept som gir innspill til utviklingsprosessen.

Det gjøres avslutningsvis en vurdering om hvorvidt RCM har mulighet til å imøtekomme BKK Ps nåværende behov samt at det foreslås fokusområder for hva BKK P bør prioritere for å oppnå sine mål.

English summary

Reliability Centered Maintenance (RCM) is a systematic process that aims to realize the inherent reliability of an asset by development of a maintenance program and can in this way be considered a process that can be integrated in the maintenance management. There also exist other processes and methods that can be used or that are often proposed to be used for development of a maintenance program.

The literature on RCM is extensive and there are many varying views on what is included in a RCM process and how it should be used. In addition, there are attempts of both simplifications and extensions of the process. The standards IEC 60300-3-11, SAE JA1011 and SAE JA1012 describe what can be considered best practice for a general RCM process. These standards are explained in a step-by-step framework for the RCM process.

The hydropower company BKK Produksjon (BKK P) has until now not adopted the RCM process, but has now undertaken a RCM analysis at one of its power plants. A study of BKK P's goals, experiences and challenges reveals that there is a potential for adapting the RCM process in such way that it fits better to BKK P's needs.

A RCM concept with focus on supplementing BKK P's existing maintenance program and the use of a generic failure mode database is suggested. In the development of the concept a test of the preliminary version of the RCM concept are undertaken which provides inputs to the development process.

Finally, an assessment of whether RCM is able to meet BKK P's current needs is done, and suggestions for BKK P priorities that will assist the company in achieving its goals are made.

Innhold

Forord	v
Annerkjennelser	vii
Sammendrag	ix
English summary	xi
Innhold	xiii
Liste over figurer	xvi
Liste over forkortelser	xvii
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Målsetning	2
1.3 Omfang	3
1.4 Tilnæringsmåte.....	3
1.5 Rapportstruktur	4
2 Om Reliability Centered Maintenance	5
2.1 Introduksjon til RCM	5
2.2 RCM i vedlikeholdsstyring.....	7
2.3 RCM sammenlignet med alternative metoder	8
2.4 Synspunkter på RCM.....	16
2.5 Forenklinger av RCM-prosessen.....	18
2.6 Tillegg til RCM-prosessen	20
2.7 Innholdet i en RCM-prosess.....	20
2.7.1 Fase 1 – Forberedelse.....	21
2.7.2 Fase 2 – Funksjonsfeilanalyse	27
2.7.3 Fase 3 - Vedlikeholdstype	32
2.7.4 Fase 4 – Bruk.....	38

2.8	Diskusjon.....	40
3	Status for Reliability Centered Maintenance hos BKK Produksjon	41
3.1	Bakgrunn for bruk av RCM hos BKK Produksjon	41
3.2	Tidligere forsøk på bruk av RCM	42
3.3	RCM i BKK Produksjons vedlikeholdsstyring	42
3.4	RCM-analyse på Dale kraftverk	44
3.4.1	Fase 1 - Forberedelse.....	44
3.4.2	Fase 2 – Funksjonsfeilanalyse	48
3.4.3	Fase 3 - Vedlikeholdstype	51
3.4.4	Fase 4 – Bruk.....	53
3.4.5	Erfaringer fra BKK Produksjon.....	53
3.4.6	Utfordringer med RCM-prosessen ved Dale kraftverk.....	54
3.5	Planer for fremtidig bruk av RCM.....	56
3.6	Resultater	56
4	RCM-konsept for BKK Produksjon	59
4.1	Foreslått rolle i BKK Produksjons vedlikeholdsstyring.....	59
4.2	RCM-prosess for BKK	60
4.2.1	Fase 1 – Forberedelse.....	62
4.2.2	Fase 2 – Funksjonsfeilanalyse	70
4.2.3	Fase 3 - Vedlikeholdstype	76
4.2.4	Fase 4 – Bruk.....	84
4.3	Testing av konsept på Fossmark kraftverk.....	86
4.3.1	Gjennomføring.....	86
4.3.2	Erfaringer fra test.....	87
4.4	Diskusjon.....	88
5	Fremtidig fokusområde for vedlikeholdsanalyser hos BKK Produksjon	89
5.1	RCM-prosessen fremtid hos BKK Produksjon	89

5.2	Anbefalinger for vedlikeholdsanalyser hos BKK Produksjon.....	91
6	Oppsummering og anbefalinger for videre arbeid	93
6.1	Oppsummering og konklusjon.....	93
6.2	Anbefalinger for videre arbeid	94
	Vedlegg A – Forstudierapport	97
	Referanser	123
	Curriculum vitae	127

Liste over figurer

Figur 1 - RCM i Petroleumstilsynets modell for vedlikeholdsstyring	7
Figur 2 – En typisk FRACAS-prosess.....	12
Figur 3 – Metoder sett i sammenheng med modell for vedlikeholdsstyring	15
Figur 4 – Modell for RCM-prosessen.....	21
Figur 5 – Nåværende prosess for utvikling av vedlikeholdsprogram hos BKK P.....	43
Figur 6 – Dokumentasjon i ISY JobTechs RCM-modul	45
Figur 7 – Definerer av grenser for analysen	47
Figur 8 – Eksempel på systeminndeling og analysenivå.....	47
Figur 9 – Vindu i ISY JobTech for registrering av funksjonsfeilanalyse	49
Figur 10 – Rullegardinmeny for identifisering av funksjon.....	49
Figur 11 – Rullegardinmeny for identifisering av feilmode.....	50
Figur 12 – Beskrivelse av feileffekt	50
Figur 13 – Risikomatrix for sikkerhet, RCM Dale kraftverk	51
Figur 14 – Beslutningstre for valg av vedlikeholdstype	52
Figur 15 – Beskrivelse av spesifikk vedlikeholdsaktivitet	52
Figur 16 – Foreslått prosess for utvikling av vedlikeholdsprogram hos BKK P	60
Figur 17 – Eksempel på koding av funksjon, funksjonsfeil og feilmode	61
Figur 18 – Tabell for vurdering av behov for RCM.....	65
Figur 19 – Anbefalt risikomatrix for personsikkerhet.....	75
Figur 20 – Kriteria for valg av vedlikeholdstype.....	77
Figur 21 – Beslutningslogikk for valg av vedlikeholdstype	82

Liste over forkortelser

BKK – Bergenhalvøens kommunale kraftselskap

BKK P – BKK Produksjon

CMMS – Computerized Maintenance Management System

HAZOP – Hazard and operability study

HMS – Helse, miljø og sikkerhet

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

FMECA – Failure Mode, Effect and Criticality Analysis

FRACAS – Failure reporting, analysis, and corrective action system

EBL – Energibedriftenes landsforening, nå Energi Norge

RBI – Risk Based Inspection

RBM – Risk Based Maintenance

RCM – Reliability-Centered Maintenance

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Vannkraftbransjen i Norge har lenge holdt seg til en tradisjonell ekspert- og erfaringsbasert tilnærming til etablering av vedlikeholdsprogram. Dette til tross for at både Energi Norge og SINTEF Energi lenge har hatt fokus på bruk Reliability Centered Maintenance (RCM). Norges desidert største vannkraftselskap, Statkraft, har brukt RCM-prosessen i mange år allerede, og nå ser det ut til at flere og flere vannkraftprodusenter også gjør det.

Når det gjelder RCM har BKK Produksjon (BKK P) frem til nå fulgt med på sidelinjen. De har for øvrig i løpet av de siste årene satt i gang et arbeid internt i bedriften for å restrukturere vedlikeholdet sitt. Én del av dette arbeidet går ut på å sikre at valgene gjort i utforming av vedlikeholdsprogrammet kan spores tilbake til en dokumentert analytisk prosess, noe som blant annet har vært etterlyst fra ledelsen. I denne forbindelse har det blitt foretatt et forsøk på RCM-analyse på et viktig kraftverk hos BKK, men det er foreløpig ikke bestemt hvilken rolle RCM vil komme til å ha hos BKK P.

RCM har vært tema for mye teori og er velutprøvd i mange bedrifter. Mange har også utviklet både forsøk på forenkling og forbedring av metoden for å tilpasse den til krav og kritikk fra industrien. Selv om enkelte aktører i vannkraftbransjen i Norge har tatt i bruk metoden har ikke selskaper slik som BKK P et utprøvd tilpasset RCM-konsept som kan brukes direkte i utvikling av deres vedlikeholdsprogram.

Denne masteroppgaven har til hensikt å presentere et RCM-konsept for BKK som er i tråd med gjeldende litteratur for RCM. Samtidig skal det ta hensyn til bedriftens behov for god kostnad-nytte.

Metodikken ble første gang publisert under RCM-navnet av Nowland og Heap (1978) i en omstendelig rapport, bestilt av USAs forsvarsdepartement.

Society of Automotive Engineers har utgitt standarden SAE JA1011 (SAE International, 2009) og påfølgende guide for denne i SAE JA1012 (SAE International, 2011) hvor de etablerer krav til innhold i en RCM-prosesser.

Standarden IEC 60300-3-11 (NEK, 2009) setter retningslinjer for gjennomføring av RCM og kommer med anbefalinger på hvordan analysen bør gjennomføres trinn for trinn.

I tillegg finnes det en amerikansk militærstandard, MIL-STD-3034 (DoD USA, 2010), og en rekke guider som er beregnet for spesifikke applikasjoner. Bland disse nevnes ABS (2003) og NASA (2008). Flere finnes.

En rekke omfattende bøker om metoden har blitt gitt ut. Disse representerer versjoner av hvordan RCM-prosessen bør gjennomføres. Moubray (1997), Smith og Hinchcliffe (2004), Bloom (2006) og Regan (2012) er eksempler på noen av disse.

1.2 Målsetning

Hovedmålsetningen med denne masteroppgaven er å utarbeide et forslag til RCM-konsept for BKK P. Dette innebærer at følgende aktiviteter skal utføres:

1. Diskutere viktighet av en RCM-analyse
2. Presentere trinnene i en RCM-analyse
3. Presentere og analysere status for RCM i BKK
4. Skissere et fremtidig RCM-konsept til bruk i BKK
5. Foreta en RCM-analyse på et konkret anlegg/system hos BKK
6. Skissere et fremtidig vedlikeholdskonsept, spesielt med fokus på analyser for BKK

Merknad: I samråd med veileder er punkt 5. og 6. endret sammenlignet med opprinnelig oppgavetekst. Nye aktiviteter er:

5. Foreta en test av RCM-konsept på et konkret anlegg/system hos BKK
6. Skissere et fremtidig fokusområde innen vedlikeholdsanalyser for BKK

Prioriteringen i denne oppgaven har vært å jobbe med viktige momenter i punkt 1 og 2 samt punkt 4, forslag til RCM-konsept for BKK. Dette er for å få god forståelse for RCM-prosessen og for å kunne utvikle et detaljert konsept for BKK P. RCM-analyse i punkt 5 er derfor gitt mindre prioritet og gjennomført som en test underveis i utviklingen av RCM-konseptet for å få de nødvendige innspillene som behøves. Av samme grunner er også punkt 6 mindre vektlagt i denne oppgaven. Nytt punkt 6 består nå av å foreslå fokusområde for BKK P når det kommer til bruk av vedlikeholdsanalyser.

1.3 Omfang

Denne masteroppgaven omhandler RCM i BKK P. Øvrige selskaper i BKK-konsernet (BKK Nett, Varme osv.) er derfor ikke inkludert.

Oppgaven omhandler bruk av RCM på alle tekniske systemer som BKK P har ansvar for, men hovedfokuset under arbeidet med denne oppgaven har vært kraftverksaggregat. Dermed finnes det muligheter for at enkelte aspekter ved masteroppgaven må tilpasses for å være representativ for øvrige deler av kraftverksanlegg hos BKK P.

Matematiske modeller og formler for optimalisering av vedlikeholdsintervaller i RCM-prosessen vil ikke bli redegjort for på grunn av tidsomfanget på oppgaven samt at det ikke vil bidra til resultatet i nevneverdig grad.

Litteraturen som omfatter RCM er meget omfattende og det finnes varierende erfaringer og meninger mellom ulike forfattere. På grunn av dette er det gjort et bevisst valg på å begrense antall kilder som er brukt i denne masteroppgaven. Dette gjelder i hovedsak når det kommer til presentasjon av RCM-prosessen i kapittel 2.7.

Arbeidet med masteroppgaven, fra og med forstudie til ferdig rapport, foregår i sin helhet over en periode på 20 uker og er utført av én student.

Tilgang på litteratur begrenser seg til det som har blitt gjort tilgjengelig gjennom universitetsbiblioteket ved NTNU, veileder, samarbeidsbedriften BKK P og andre eksterne ressurser.

Kommunikasjon med samarbeidsbedriften er utfordrende på grunn av avstanden mellom bedriften og forfatteren. Kommunikasjonen har bestått av fire studieturer til BKK P i Bergen og på Dale samt kontakt på telefon og e-post.

1.4 Tilnæringsmåte

Følgende tilnæringsmåte er brukt for å utføre aktivitetene i denne masteroppgaven:

Målsetning 1 og 2 – Litteraturstudium og drøfting.

Målsetning 3 – Intervju og diskusjon

Målsetning 4 – Drøfting

Målsetning 5 – Konsepttesting

Målsetning 6 – Kvalitativ evaluering og drøfting

1.5 Rapportstruktur

Resten av masteroppgaven er strukturert på følgende måte:

Kapittel 2 redegjør for resultatene fra litterastudie om RCM. I dette arbeidet brukes en modell for RCM-prosessen som er blitt brukt videre i oppgaven.

Kapittel 3 redegjør og drøfter status for bruk av RCM i BKK P. Dette inkluderer redegjøring av RCM-analyse på Dale kraftverk.

Kapittel 4 redegjør for et forslag til RCM-konsept hos BKK P og beskriver testing av foreløpig konsept som ble gjort underveis i arbeidet.

Kapittel 5 skisserer en anbefaling for fremtidig bruk av vedlikeholdsrelaterte analyser hos BKK P.

Kapittel 6 oppsummerer og konkluderer masteroppgaven samt foreslår videre arbeid.

2 Om Reliability Centered Maintenance

I dette kapittelet redegjøres det for litteraturstudie av RCM. Litteraturstudiet er foretatt for å få innsikt i bruk av RCM-prosessen og for å danne et rammeverk for arbeidet som er gjort for å utvikle et RCM-konsept for BKK P. Litteraturstudiet er basert på litteratur innhentet via NTNUs biblioteker og avtalepartnere. I tillegg er det brukt litteratur som er gjort tilgjengelig via veileder og andre fagressurser både internt på NTNU og i fagmiljøet i forskning og industri.

2.1 Introduksjon til RCM

Reliability-Centered Maintenance er en metodikk som har fokus på å realisere den iboende påliteligheten et utstyr er designet for med minste mulige kostnad (Nowland og Heap, 1978). Metodikken kombinerer flere velkjente analytiske verktøy i en systematisk prosess. Den har til hensikt å identifisere vedlikeholdstypene som må implementeres for å håndtere de feilmodi som kan føre til funksjonsfeil på en fysisk ressurs som opererer i en gitt kontekst (SAE International, 2009).

Vedlikeholdstype: Med vedlikeholdstype menes i denne masteroppgaven hvilken tilnærming man bruker for å vedlikeholde en gitt enhet. Eksempelvis periodisk tilstandsovervåking eller periodisk utskiftning. Ordbruken varierer fra kilde til kilde og kalles blant annet strategi, oppgave, aktivitet eller policy. For å unngå sammenblanding med andre begreper er vedlikeholdstype valgt.

Enhet: Med enhet menes i denne masteroppgaven det som NS-EN 13306 beskriver som «item». Dette vil si del, komponent, innretning, undersystem, funksjonell enhet, utstyr eller system som kan bli individuelt beskrevet og vurdert. Oversatt fra NS-EN 13306 (Standard Norge, 2010).

Vedlikehold: Kombinasjon av alle tekniske, administrative og styringsrelaterte tiltak gjennom livssyklusen til en enhet som har til hensikt å opprettholde enheten i, eller gjenopprette den til, en tilstand hvor den kan utføre sin påkrevde funksjon. Oversatt fra NS-EN 13306 (Standard Norge, 2010). I denne masteroppgaven regnes aktiviteter slik som inspeksjon, tilstandsovervåking og lignende også som vedlikehold.

Funksjonsfeil og feilmodi: Disse begrepene brukes forskjellig i ulike kilder. Dette gjelder blant annet mellom standardene IEC 60812 (NEK, 2006) og IEC 60300-3-11 (NEK, 2009) bruken av ordene funksjonsfeil, feilmodi og feilårsak. I denne masteroppgaven brukes følgende definisjoner og eksemplifisering. En funksjonsfeil defineres tilstand hvor en enhet er ute av stand til å utføre en spesifikk funksjon med et ønsket ytelsesnivå. Oversatt fra SAE JA1012 (SAE International, 2011). Et eksempel kan være «overfører mindre enn 800 l/min». Feilmodi defineres som en enkelt hendelse som forårsaker en funksjonsfeil (SAE International, 2011). Dette kan være for eksempel «innsug delvis blokkert».

De identifiserte vedlikeholdstypene danner grunnlaget for utviklingen av et ferdig vedlikeholdsprogram.

Vedlikeholdsprogram: I denne masteroppgaven defineres vedlikeholdsprogram som en dokumentert oversikt over hvilke vedlikeholdsrelaterte aktiviteter som skal gjøres og ved hvilke intervaller for hver enhet i et teknisk system. Vedlikeholdsprogrammet inneholder også typisk prosedyrer, beskrivelse av tid- og ressursbruk, ansvarsbeskrivelser og så videre (Standard Norge, 2011).

Innholdet i en RCM-prosess er diskutert ytterligere i kapittel 2.7, men kan i grove trekk beskrives som en prosess hvor en analysegruppe, representativ for vedlikeholdsapparatet i bedriften, støttet av teknisk dokumentasjon, feilhistorikk og annen relevant informasjon sammen analyserer hvordan en enhet kan feile i å utføre sin funksjon. Videre analyseres risikoen for de identifiserte funksjonsfeilene og feilmodiene. Basert på risikovurderingen velges en vedlikeholdstype og vedlikeholdsintervaller. Nowland og Heap (1978) setter også fokus at RCM også omhandler implementering og kontinuerlig forbedring av programmet underveis i driftsfase. Et viktig punkt er også at RCM skal være en læringsprosess for organisasjonen.

Proessen ble først beskrevet av Nowlan og Heap og ble publisert i 1978 av USAs forsvarsdepartement for bruk i flyindustrien. Siden har RCM blitt brukt i stort omfang verden over og har vært gjenstand for utallige tolkninger og forbedringsforsøk. Dette har gjort at mange prosesser hevdes å være RCM-prosesser, men skiller seg vesentlig fra det opprinnelige konseptet (SAE International, 2009). Det finnes eksempler på foreslåtte prosesser som kan ha negativ innvirkning på vedlikeholdet eller kan være farlige hvis

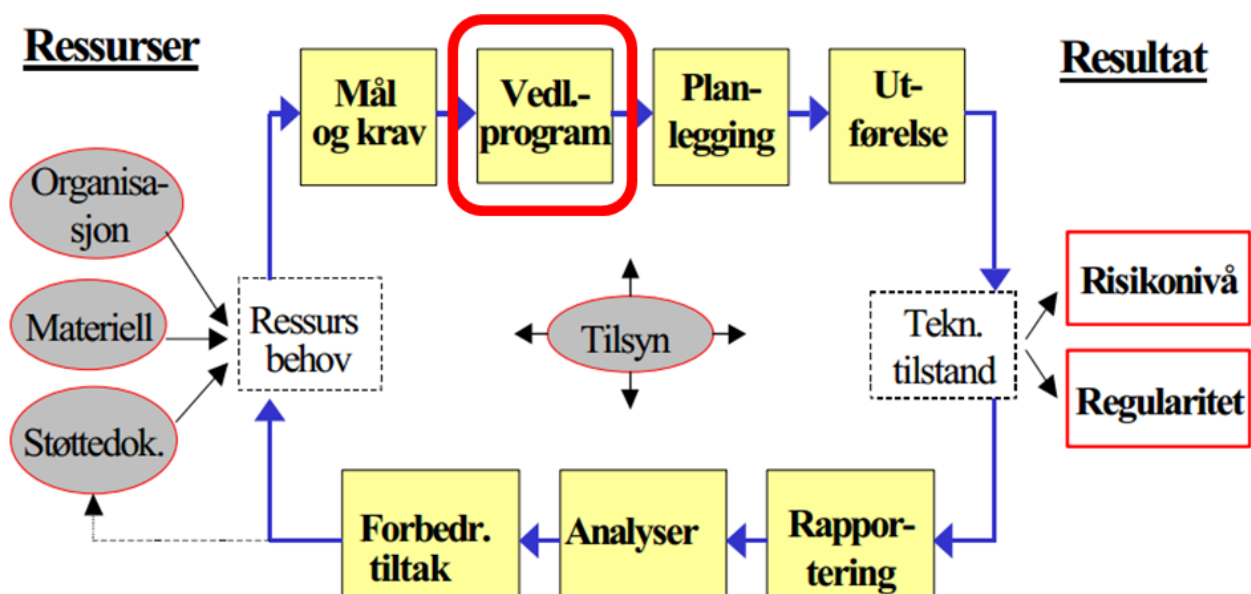
tatt i bruk ukritisk (SAE International, 2009). Dette har gjort at det har blitt etablert internasjonale standarder for hvordan en RCM-prosess skal gjennomføres. Til tross for at det nå eksisterer standarder for prosessen finnes det likevel ulike meninger og praksiser for gjennomføringen av en RCM-analyse.

Resten av kapittel 2 har til hensikt å presentere det som er oppfattet som gjeldende beste praksis for RCM. 2.2 diskuterer kort hvilken rolle RCM har i vedlikeholdsstyring. 2.3 presenterer alternative metoder og diskuterer hva som gjør RCM velegnet sammenlignet med disse. 2.4 omhandler synspunkter på RCM. 2.5 beskriver forslag til forenklinger av RCM-prosessen. 2.6 presenterer tillegg og utvidelser av RCM. 2.7 presenterer stegene i en RCM-prosess i henhold til eksisterende litteratur. 2.8 inneholder til slutt en kort diskusjon resultatet fra kapittelet.

2.2 RCM i vedlikeholdsstyring

For å illustrere hvor RCM hører hjemme innen vedlikeholdsstyring brukes Petroleumstilsynets velkjente vedlikeholdsstyringsmodell (figur 1).

Vedlikeholdsstyring: Alle aktiviteter utført av ledelsen som bestemmer vedlikeholdsmålsetninger, strategier og ansvar samt implementering av disse gjennom vedlikeholdsplanlegging, vedlikeholdskontroll, forbedring av vedlikeholdsaktiviteter og økonomi. Oversatt fra NS-EN 13306 (Standard Norge, 2010)



Figur 1 - RCM i Petroleumstilsynets modell for vedlikeholdsstyring. Tilpasset fra Oljedirektoratet (1998)

Den iboende påliteligheten til et teknisk system er gitt av hvordan systemet er designet og konstruert. I tillegg tilkommer eventuelle degraderinger av denne gjennom faktorer slik som transport og montasje (Murthy, Rausand og Østerås, 2008). Den faktiske, eller opplevde, påliteligheten i driftsfasen er derimot avhengig av blant annet et vedlikehold som kontinuerlig opprettholder de egenskapene systemet har blitt designet og konstruert for.

Figur 1 viser en modell for hvordan vedlikeholdet bør styres for å oppnå denne iboende påliteligheten. Vedlikeholdsstyringen omfatter ressurser inn, arbeidsprosessene som utføres og resultatene man oppnår. Resultatene er blant annet faktisk pålitelighet, tilgjengeligheten og tilstanden til systemet.

En RCM-analyse bidrar i denne sammenheng ved å være en prosess som kan brukes for å etablere enten et førstegangs vedlikeholdsprogram eller for å opprettholde og revidere vedlikeholdsprogram som er i drift (NEK, 2009). Dermed inngår dette i arbeidsprosessen som omfatter utvikling av vedlikeholdsprogram (figur 1). I følge Oljedirektoratet (1998) innebærer dette typisk arbeidsprosesser for utvikling, oppdatering og forbedring av forebyggende vedlikeholdsprogram, inspeksjonsprogram, program for tilstandsmåling, testing og lignende.

2.3 RCM sammenlignet med alternative metoder

RCM er en av flere metoder for å utvikle et vedlikeholdsprogram og bør derfor sammenlignes med mulige alternative metoder. Under følger en oversikt over potensielle alternative metoder. Disse sammenlignes med RCM i en diskusjon etter hver metode har blitt presentert. Det bemerkes at de nevnte metodene også kan forekomme under andre navn.

Vedlikehold etter myndighetenes krav

Med dette menes det vedlikehold som dekker eventuelle minimumskravene gitt av myndighetene.

Karakteristikk

Følger eksternt beskrevne krav til spesifikt vedlikehold, arbeidsprosesser eller lignende.

Diskusjon

Tar ikke hensyn til bedriftsinterne økonomiske krav. Stiller ofte ikke krav til konkrete aktiviteter, men derimot krav til en rasjonell og systematisk prosess for etablering av vedlikehold (Moubray, 1997). Det kan i de tilfeller ikke regnes som et alternativ til RCM. Myndighetenes krav er forøvrig noe man må forholde seg til i en RCM-prosess.

Vedlikehold etter leverandørens spesifikasjoner

Med dette menes det at vedlikeholdet blir utført i henhold til leverandørens spesifikasjoner.

Karakteristikk

Tar i bruk eksternt beskrevne aktiviteter og intervaller.

Diskusjon

Ikke alt utstyr har spesifisert vedlikehold fra leverandør. Tar ikke hensyn til driftskontekst. Anbefaler ofte overdrevet vedlikehold for å sikre leverandørens interesser med hensyn til økonomi, garantibestemmelser og fremtidig arbeid. Ikke et fullgodt alternativ til RCM, men kan regnes som et verdifullt innspill.

Vedlikehold basert på ekspertvurderinger

Med dette menes det at vedlikeholdet blir utført i henhold til kvalitative vurderinger fra personer med kompetanse, erfaring og/eller utdanning på fagområdet. Disse kan finnes både internt og eksternt i bedriften. Erfaring hentes ofte fra lignende tekniske systemer.

Karakteristikk

Baserer seg på konsensus blant personer med erfaring.

Diskusjon

Er personavhengig og kan gi varierende resultater. Fører gjerne til en lite systematisk prosess og er ofte utilfredsstillende dokumentert. Gir høy eierskapsfølelse blant ekspertene, men inkluderer ofte ikke de som utfører vedlikeholdet. Resulterer gjerne i konservative vurderinger og et for omfattende vedlikeholdsprogram for å kompensere for usikkerhet. Omfanget kan eskalere på grunn av "bedre føre var"-tankegang.

Operatørbasert vedlikehold

Med operatørbasert vedlikehold menes det at operatørene på det tekniske systemet i større grad får eierskap og ansvar for å bestemme og utføre vedlikehold på sine

maskiner. Metoden kalles også autonomt vedlikehold. Er et av de sentrale konseptene i det som blir kalt Total Productive Maintenance (TPM) (Kelly, 2006).

Karakteristikk

Hver operatør har i stor grad ansvar for drift og vedlikehold av sin maskin. Redusert innblanding fra organisasjonen.

Diskusjon

Krever høyere kompetanse hos - og involvering fra operatørene. Kan føre til dårlig rapportering og manglende historikk. Gir høy eierskapsfølelse blant operatørene. Letter arbeidsmengden på vedlikeholdsorganisasjonen. Kan bli personavhengig og gi variasjon i vedlikehold og tilstand mellom ulike systemer. Innføring av operatørbasert vedlikehold er mer en flytting av ansvar enn en metode for utvikling av vedlikeholdsprogram og utelukker ikke bruk av RCM på utstyret.

Risk-Based Inspection (RBI) og Risk-Based Maintenance (RBM)

RBI og RBM eller bare Risk-Based Inspection and Maintenance (RBIM), er en metodikk hvor et program for inspeksjon og vedlikehold blir etablert basert på en kvantitativ risikoanalyse for sikkerhet, miljø og økonomi. RBI er i utgangspunktet tiltenkt statisk utstyr og konstruksjoner.

Karakteristikk

Tar for seg utstyr for utstyr og identifiserer feilscenarioer. Risikoen for disse scenarioene blir vurdert kvantitativt. Intervaller for inspeksjon og vedlikehold tilpasses slik at sannsynligheten, og dermed den kvantifiserbare risikoen, for systemet kommer på et akseptabelt nivå (DNV, 2010; Khan og Haddara, 2003; Arunraj og Maiti, 2006).

Diskusjon

Forutsetter at risikoen kan kvantifiseres. Spesifiserer om inspeksjon og vedlikehold skal gjøres og optimaliserer intervaller basert på akseptabel risiko, men evaluerer ikke hvilken vedlikeholdstype som bør implementeres. I seg selv er ikke metoden et komplett alternativ til RCM, men kan inkluderes som et verktøy i RCM-prosessen.

Preventive Maintenance Optimisation (PMO eller PM Optimisation)

Metoden ligner på RCM, men tar i bruk eksisterende vedlikeholdsprogram og bruker dette som basis for å identifiserer hvilke feilmodi som kan inntreffe. Prosessen kan ses på som et forsøk på å forenkle RCM-prosessen. Dette vil bli diskutert i kapittel 2.5.

Karakteristikk

Tar i bruk eksisterende vedlikeholdsprogram og identifiserer hvilke feilmodi det skal forhindre. Med utgangspunkt i feilmodiene vurderes effekt og konsekvens. Videre velges vedlikeholdstype og intervaller basert på dette (Turner, 2001).

Diskusjon

Ligner mye på RCM bortsett fra prosessen for å identifisere feilmodi. Kan gå glipp av viktige feilmodi. Fokus på å redusere unødvendig vedlikehold ved å eliminere aktiviteter og endre intervaller. Hevder å bruke mindre tid en RCM. Betraktes i denne masteroppgaven som en forenkling av RCM-prosessen og er eventuelt en form for optimalisering en kan utføre på utstyr hvor kostnad ved vanlig RCM er høyere en nytte.

Experience-Centered Maintenance (ECM)

Smith og Hinchcliffe (2004) beskriver det de kaller for ECM. Denne prosessen evaluerer systematisk hvorvidt det eksisterende vedlikeholdet er fornuftig samt hvorvidt det eksisterer noen fornuftige forebyggende aktiviteter som ikke er implementert.

Karakteristikk

Vurder om eksisterende vedlikehold er anvendelig og effektivt. Så vurderes det om utført korrektivt vedlikehold kunne vært unngått. Til slutt vurderes det komponentvis om det kan identifiseres flere feilmoder som ikke er dekt. For hver vurdering foreslås det endringer av forebyggende tiltak.

Diskusjon

Er en veldig enkel revisjonsprosess for eksisterende vedlikeholdsprogram. Er ikke egnet for etablering av vedlikeholdsprogram for nye systemer.

Statistiske og probabilistiske metoder

Statistiske metoder er et begrep som ofte blir nevnt i forbindelse med utvikling av vedlikeholdsprogram. Med statistiske og probabilistiske metoder menes ikke en spesifikk metodikk, men derimot at man tar i bruk verktøy for eksempelvis statistisk modellering og analyse for det aktuelle tekniske systemet og benytter det i etableringen av vedlikeholdsprogrammet. Eksempler er Monte Carlo-simulering, Markov-prosesser, feiltreanalyse, Reliability Block Diagram, Petrinett og så videre.

Karakteristikk

Eksempelvis beregning av for eksempel pålitelighet, tilgjengelighet og feilrater, identifisering av kritiske enheter og kostnadsoptimalisering av intervaller.

Diskusjon

Disse er hva man kan regne for å være enkeltverktøy som ikke i seg selv resulterer i et vedlikeholdsprogram, men i stedet kan inkluderes i og kombineres med flere av de nevnte metodene. Kan brukes i designfase for å øke iboende pålitelighet, i driftsfase for å forbedre et allerede eksisterende vedlikeholdsprogram eller finne fokusområder for forbedringer.

Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System (FRACAS)

FRACAS er hva man kan kalle en reaktiv eller erfaringsbasert metode. I følge den militære standarden MIL-STD-2155(AS) (Department of Defence USA, 1985) er FRACAS en prosess hvor man kontinuerlig forbedrer vedlikeholdet gjennom feilrapporter som blir analysert og som videre utløser endringer for å forhindre at lignende feil skal oppstå senere. De fleste bedrifter har ofte etablerte formelle eller uformelle prosesser for rapportering, analyse og forbedring av vedlikehold som kan sammenlignes med FRACAS. Dette inngår i hva man ofte kaller kontinuerlig forbedring. I slike reaktive prosesser blir verktøy for rotårsaksanalyse (RCA) slik som Ishikawa-diagram (også kalt fiskebeinsdiagram eller årsak-og-effekt-diagram) eller 5-ganger-hvorfor brukt. Figur 2 viser de typiske hovedstegene i en slik prosess.



Figur 2 – En typisk FRACAS-prosess.

Karakteristikk

Tar i bruk erfaringer fra uønskede hendelser for å motvirke disse i fremtiden.

Diskusjon

Er en reaktiv prosess som håndterer feil i etterkant av at de inntreffer. Uegnet til å etablere et førstegangs vedlikeholdsprogram. I RCM-sammenheng kan man se på FRACAS som en prosess for kontinuerlig forbedring av vedlikeholdsprogram som er i drift.

Hazard and Operability Study (HAZOP)

HAZOP blir ofte trukket frem som en av analysemetodene brukt hos BKK og nevnes derfor her. Metoden er beskrevet i NEK IEC 61882 og er en systematisk prosess som skal identifisere potensielle avvik fra det som er planlagt, undersøke de mulige årsakene og vurdere konsekvensene av disse (NEK, 2001). Hensikten er å identifisere mulige tiltak for å unngå faremomenter og driftsforstyrrelser. HAZOP foretas som regel i designfase, på systemnivå og kan ta for seg flere faser av levetidssyklusen til systemet.

Karakteristikk

Systematisk gjennomgang av prosess eller prosedyre. Identifiserer avvik fra ønskede parametere ved hjelp av veiledningsord. Videre evalueres konsekvenser og mulige tiltak.

Diskusjon

Fokuserer i hovedsak på sikkerhet for mennesker og miljø i en prosess eller en prosedyre. Skal identifisere mulige designendringer eller modifikasjoner. Målsetningen for en HAZOP er typisk ulik den man har for en RCM. HAZOP og RCM har derimot en del av den samme tankegangen og resultater fra en HAZOP vil kunne være verdifulle innspill til utvikling av vedlikeholdsprogram. HAZOP er, i likhet med RCM, også en læringsprosess.

Management Overview Risk Tree (MORT)

MORT er en analytisk metode for å stadfeste årsaker og bidragsfaktorer til en hendelse (Ferjencik og Kuracina, 2008). Denne hendelsen er i utgangspunktet skade på eller tap av mennesker og utstyr. Hovedfokuset er rettet mot identifisering av problemer i arbeid eller prosess og mangel på eventuelle barrierer.

Karakteristikk

Identifisering av hovedmomentene i en hendelse. Ved hjelp av et omstendig MORT-diagram (logisk tre som kan minne om et feiltre) og de tilhørende veiledende spørsmålene identifiseres rotårsakene til hendelsen steg for steg.

Diskusjon

En MORT er et metode som oftest blir brukt for å unngå en uønsket hendelse eller ulykke og kan være sammenlignbar med for eksempel HAZOP. MORT er også et vanlig verktøy å bruke i rotårsaksanalyser. Metoden er omfattende og har ikke til formål å

påvirke vedlikeholdet, men kan brukes for å finne forbedringer til et eksisterende vedlikeholdsprogram. Kan være et godt innspill til RCM.

Probabilistic safety assessment (PSA)

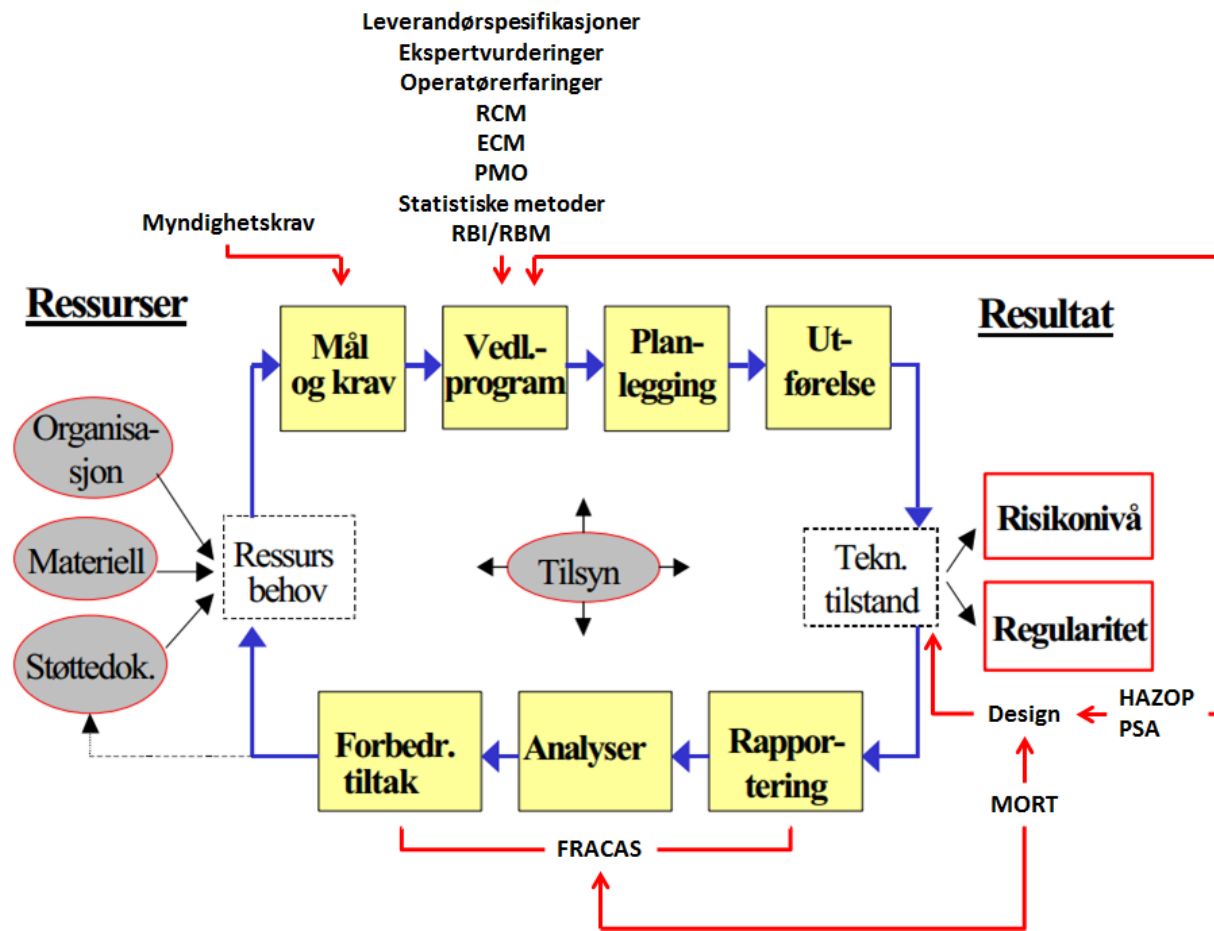
PSA har til hensikt å verifisere en sikkerhetssituasjon, identifisere sårbarheter, analysere innvirkningen av en foreslått endring i design og drift eller som en evaluering av design av nye kraftverk. PSA brukes også gjerne som et aktivt verktøy underveis i drift for å sikre best mulig sikkerhet (IAEA, 2001). Metoden gir en kvantitativ analyse av risiko ved drift av systemet basert på realistiske vurderinger av ytelsen av utstyr og personell. En PSA baseres på flere verktøy deriblant hendelsestre, feiltre og Monte Carlo-teknikker.

Karakteristikk

Identifisering av konsekvensen man ønsker å forebygge eller unngå. Identifisering av initierende hendelse som kan lede til den spesifikke konsekvensen. Estimering av frekvensen som den initierende hendelsen vil forekomme. Basert på antagelsen av at den initierende hendelsen har hendt identifiseres hver kombinasjon av feil som vil lede til det gitte utfallet. Resultatet er sannsynligheten for hendelsen.

Diskusjon

PSA kan brukes til å evaluere hvordan vedlikeholdsaktiviteter påvirker risiko og sikkerhet. Metoden har derimot begrensede muligheter for å evaluere komponentvis hvilken vedlikeholdstype som er best egnet IAEA (2001). Omfanget av PSA overgår ofte det som er nødvendig i industri med lav risiko for miljø- og personsikkerhet. Selv om PSA på grunn av målsetningen ikke erstatter RCM, kan en utført PSA brukes for å fokusere RCM på kritiske deler av et system, identifisere feilmodi samt gi tilgjengelig pålitelighetsdata for komponenter (IAEA, 2001).



Figur 3 – Metoder sett i sammenheng med modell for vedlikeholdsstyring. Tilpasset fra Oljedirektoratet (1998).

For å se hvor de alternative metodene typisk brukes viser figur 3 hvordan de ulike metodene kan relateres til modellen for vedlikeholdsstyring.

Diskusjon av alternative metoder

Noen av metodene som er nevnt over har andre målsetninger enn å etablere et vedlikeholdsprogram. Blant disse finner man blant annet HAZOP, MORT og PSA. På grunn av at de er relativt omstendelige og i seg selv kan bli meget tidkrevende bør de ikke initieres alene på grunn av behov for vedlikeholdsprogram. Når det er sagt så vil disse metodene bringe gode innspill til vedlikeholdsprogrammet gitt at slike analyser allerede eksisterer eller skal gjennomføres som en del av andre arbeidsprosesser.

FRACAS er en reaktiv prosess som skal sørge for kontinuerlig forbedring basert på uventede hendelser gjennom forbedringer i for eksempel design, prosesser og vedlikeholdsprogram. Dermed er dette heller ikke en god metode for etablering av

vedlikeholdsprogram, men en prosess som absolutt bør inkluderes i vedlikeholdsstyringen.

Ved å involvere de riktige menneskene i prosessen tar RCM i bruk kompetanse og erfaring fra operatører og eksperter i organisasjonen. Dette er både for å få nødvendige innspill, men også for å sikre felles forståelse, læring og eierskap til vedlikeholdsprogrammet. Både myndighetskrav og anbefalinger fra leverandører er innspill som anbefales å brukes i RCM-prosessen. Ved å ta i bruk kvantitative risikovurderinger og valg av intervall i RCM vil en RBI/RBM-tilnærming kunne inkluderes. Statistiske og probabilistiske verktøy kan også inkluderes i en RCM-prosess for eksempel for å finne kritiske enheter og feilmoder, utvikle levetidsmodeller for komponenter eller beregne pålitelighetsdata og risiko.

Faktum er at man trenger å ta hånd om alle arbeidsprosesser som utvikling av vedlikeholdsprogram innebærer. For å sikre et godt vedlikehold vil antagelig en kombinasjon av aspekter fra flere metoder være fordelaktig i praksis. Forfatteren mener at RCM, som i sin natur har en grunnleggende rasjonell tilnærming til pålitelighet i et teknisk system, er et godt grunnlag for utvikling av vedlikeholdsprogram. Diskusjonen videre bør derfor i større grad handle om hvilke tilpasninger som bør gjøres og hvilke verktøy som bør inkluderes i prosessen for å passe industrien, systemet og situasjonen hvor den skal anvendes.

2.4 Synspunkter på RCM

Det finnes ulike synspunkter på bruk av RCM og en del aktører ser ut til å være kritisk til metoden.

Plucknette (2014) skriver at prosessen erfaringsmessig har vist seg å være vanskelig å selge inn hos industrien. Han nevner videre at argumentene mot RCM ofte er at prosessen krever mye tid og ressurser, er unødvendig detaljrik og at den sjelden gir gode resultater. Samtidig hevder han også at det er misoppfatninger som fører til slik kritikk og at dette kan unngås ved å skaffe seg en større forståelse for metoden. Han nevner gode fasilitatorer og en erfaren analysegruppe som to av nøkkelfaktorene for en suksessfylt RCM-analyse.

Prabhakar og Raj (2013) nevner også noen problemområder med RCM. Ved identifisering av feilmodi skal man vanligvis kun inkludere de man regner med kan forekomme med rimelig sannsynlighet. Å finne en felles forståelse for hva som regnes som rimelig sannsynlighet har vist seg å kreve mye tid. Videre peker de på at selve identifiseringen av feilmodi er så tidkrevende man ofte ikke har ressurser til å gjennomføre en RCM-analyse.

Tilbakemeldinger fra industrien peker på at flere der sitter med inntrykk av at RCM i mange tilfeller ender opp som et tidssluk som resulterer i lite annet enn et vedlikeholdsprogram som er tilsvarende det som eksisterer fra før av Idhammar (20--). At tids- og ressursbruk er et problem ved RCM blir også hevdet av Tyler (2001) og Eelman og Zaal (2013).

Et annet nevneverdig punkt kan være hvorvidt RCM er egnet til å håndtere avhengige feil slik som fellesfeil og følgefeil samt redundante systemer. Grunnen til dette er at feilmodi i RCM blir identifisert og evaluert enkeltvis og med tanke på at den påvirker én enkelt funksjon og komponent. Ønsker man å studere disse tilfellene nærmere bør man derfor vurdere å ta i bruk probabilistiske risikovurderinger eller lignende for å kunne identifisere enheter som krever spesielt vedlikehold for å redusere risikoen.

Multiple feil: (Eng.: Multiple failures). To eller flere feil som forekommer samtidig.

Avhengige feil: (Eng.: Dependent failures). Feil som er avhengige av hverandre hvor feil i en komponent vil endre tendensen for feil i andre komponenter. Avhengigheten kan være både positiv og negativ. (Rausand og Høyland, 2004)

Fellesfeil: (Eng.: Common cause failures). Multiple feil som oppstår innenfor et kort tidsrom og som er direkte resultat av en felles feilårsak. (Rausand og Høyland, 2004)

Følgefeil: (Eng.: Cascading failures). Dette er kjedereaksjon av multiple feil som er initiert av en initierende feil i systemet. (Rausand og Høyland, 2004)

Forfatteren kjenner igjen flere av disse overnevnte problemstillingene fra uformelle samtaler med norsk industri. Spesielt går dette på forbruk av tid og ressurser sett i forhold til opplevde nytten. At denne typen analyser gjerne ikke er inkludert i de

normale arbeidsprosessene til organisasjonen gjør at en eventuell RCM-analyse kan bli en ekstra belastning i tillegg til de vanlige arbeidsoppgavene.

2.5 Forenklinger av RCM-prosessen

For å redusere forbruket av tid og ressurser har det vært gjort flere forsøk på å utvikle RCM-prosesser som er forenklet sammenlignet med hva mange oppfatter som den konvensjonelle, eller klassiske, RCM-prosessen (Moubray, 2001). Disse forenklede, eller reduserte, versjonene blir gjerne kalt ting som RCM light, Streamlined RCM og RCM Turbo.

Moubray (2001) advarer mot det han kaller Streamlined RCM og argumenterer for at det gir økt risiko for dårlige resultater. Deriblant finnes tilbakevirkende RCM hvor man tar utgangspunkt i eksisterende vedlikehold, bruk av generiske analyser og feilmodi, fjerner elementer fra prosessen og analyse utelukkende av kritiske komponenter, funksjoner eller feilmodi. Han argumenterer for at disse kan føre til alvorlige feil i analysen. Spesielt fokuserer han på vanskeligheter med å identifisere skjulte funksjonsfeil og beskyttende funksjoner. Også Oljedirektoratet (1998) advarer mot forenklede analyser, som de kaller RCM-light, selv om de anerkjenner at det de kaller full RCM kan være for arbeidskrevende sammenlignet med resultatene.

Flere mener derimot at forenklinger av RCM-prosessen er både anvendelig og nødvendig. Deriblant finner man Tyler (2001) som presenterer tidligere nevnte PMO (kap. 2.3) og mener at en god PMO-prosess kan oppnå det samme vedlikeholdsprogrammet som ved RCM, men med et tidsforbruk som er vesentlig lavere. En forkortet versjon av RCM blir også beskrevet av Smith og Hinchcliff (2004) som kaller den Abbreviated RCM. Forkortingen består i stor grad av redusert bruk av verktøy underveis og begrenset dokumentasjon av de logiske prosessene. Det hevdes at prosessen sparer omtrent 20% sammenlignet med en klassisk RCM samtidig som det bevarer hovedmomentene i en RCM. Prabhakar og Raj (2013) presenterer det de kaller Accelerated RCM som skal håndtere kritikken RCM har fått og tilpasse prosessen for petroleumsraffineri. Prosessen baserer seg på antagelse om at alle sannsynlige feil, gitt god feilrapportering, allerede er identifisert i feilhistorikken og at lignende utstyr har lignende feilmodi. FMECA anbefales likevel på kritisk utstyr.

Flere lanserer forslag til metoder hvor man tar i bruk generiske RCM maler. Rausand og Vatn (2008) stiller for eksempel spørsmålstegn ved om det er nødvendig å utføre en helt ny RCM-analyse på hvert lignende system og foreslår at lokal tilpasning av generiske RCM-maler blir tatt i bruk i jernbane. Det samme spørsmålet blir også stilt av Cheng et. al. (2008) når de har utviklet struktur for et datasystem for intelligent bruk av generiske lister i RCM. Plucknette (2014) advarer derimot mot å forsøke å erstatte RCM med generiske analyser. Han mener for eksempel at et bibliotek med feilmodi kan være en god støtte under en RCM, men peker på at det ikke vil kunne avdekke feilmodi forårsaket av miljø, kultur og driftskontekst.

En annen måte for å forenkle RCM-prosessen er analyse utelukkende av kritiske komponenter. Rausand og Vatn (2008) har også tatt i bruk en kritikalitetsvurdering av enheter for å skille ut enhetene hvor det skal gjennomføres analyse. Dette er også beskrevet i Rausand (1998) som presiserer at det finnes uenigheter på dette området og at behovet for å skille ut kritiske enheter må avgjøres i hvert enkelt tilfelle. Bruk av reliability block diagram, feilhistorikk eller paretodiagram blir forslått av Kelly (2006) for å bestemme hvilke utstyr som bør inkluderes i en RCM-analyse. Eelman og Zaal (2013) foreslår også at man skal prioritere ressursene sine på det viktigste utstyret. For å gjøre dette presenterer de en metode for å vurdere hvilke systemer som bør analyseres, og hvordan, ved hjelp av et skjema. Det foreslåtte skjemaet vurderer i hvilken grad man skal bruke vedlikeholdsanalyse basert på vurderingskriteria fra industrien.

Flere av de presenterte metodene baseres en form for kritikalitetsvurdering for å bestemme hvilket utstyr som skal analyseres. Enkelte hevder at RCM skal utføres på så lite som 5 - 20% av et selskaps kritiske utstyr (Plucknette, 2014). Moubrey (2001) mener sortering på kritikalitet fører til unødvendig risiko ved å forhåndsdomme utstyr, funksjoner og feilmoder til å være ikke-kritisk uten å gjøre en grundig analyse. Han peker også på at det i denne prosessen ofte blir brukt metoder for kritikalitetsvurderinger som tar lengre tid og koster mer enn hva en rigid RCM-analyse ville ha gjort.

2.6 Tillegg til RCM-prosessen

Flere tillegg til prosessen er også blitt foreslått. Ofte handler dette om å innføre kvantitative metoder og verktøy inn i RCM-prosessen.

Blant annet introduserer Rausand og Vatn (2008) optimalisering av vedlikeholdsintervaller i RCM ved å foreslå at det defineres et begrenset utvalg av bestemte feileffekter som hver for seg får kalkulert en økonomisk risiko. Videre blir intervallet optimalisert med hensyn til balanse mellom økonomisk risiko og kostnad ved forebyggende vedlikehold. Bruk av levetidsanalyse for å oppnå ønsket risikonivå ved optimalisering av inspeksjonsintervaller blir beskrevet av Jambulingam og Jardine (1985).

Feileffekt: Det som skjer når en feilmode inntreffer (SAE International, 2011).

En probabilistisk tilnærming til valg av vedlikeholdstype blir foreslått av Eisinger og Rakowsky (2001) som tar høyde for at det finnes usikkerheter rundt beslutning av vedlikeholdstyper. Selvik og Aven (2010) peker også på at en av hovedgrunnene til at mange RCM-analyser mislykkes er mangelen på håndtering av usikkerheten i analysen og introduserer usikkerhetsvurdering av valg av vedlikeholdstype og intervall som et eget punkt i FMECA-en.

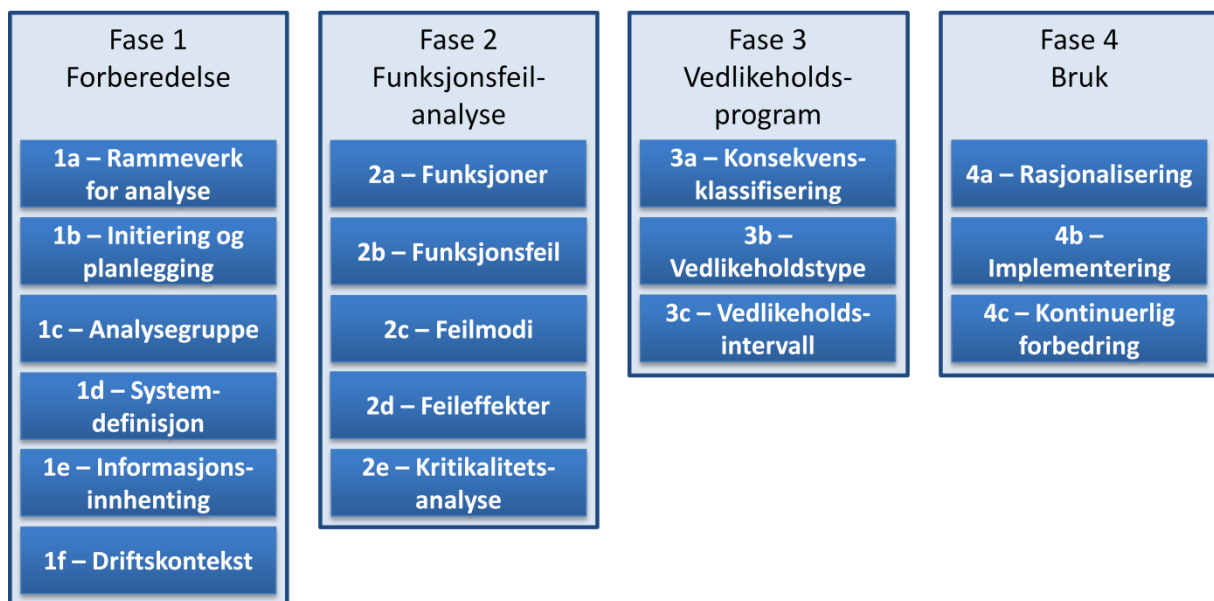
Det finnes også eksempler på bruk av velkjente pålitelighetsverktøy i RCM. Deriblant finnes Li og Gao (2010) som tar i bruk feiltreanalyse (FTA) for å analysere rotårsakene til kritiske feilmoder som fremkommer i en RCM-analyse.

2.7 Innholdet i en RCM-prosess

I dette kapitlet vil innholdet i en RCM-prosess bli beskrevet. Det er en stor mengde med litteratur som omfatter RCM. Tidsbegrensninger gjør at det er nødvendig å ta utgangspunkt i en begrenset mengde litteratur i dette delkapitlet. Standardene IEC 60300-3-11 (NEK,2009), SAE JA1011 (SAE International, 2009) og SAE JA1012 (SAE International, 2011) er derfor lagt til grunn. Disse kildene blir derfor ikke referert til eksplisitt i dette delkapitlet. De nevnte standardene er resultater av grundige arbeids- og vurderingsprosesser utført av ledende institusjoner innen pålitelighet og driftssikkerhet samt at de er basert på anerkjente kilder. Det kan derfor argumenteres

for at disse representerer hva som kan regnes som beste praksis innen RCM. Der hvor det er supplert med øvrige kilder vil dette fremkomme av referanser i teksten.

På grunn av variasjoner mellom de to standardene er det for denne masteroppgaven laget en modell for stegene i prosessen (figur 4). Det gjøres oppmerksom på at denne representerer en av flere måter presentere prosessen på.



Figur 4 – Modell for RCM-prosessen.

2.7.1 Fase 1 – Forberedelse

Denne fasen beskriver de aktivitetene som danner grunnlaget for selve analysedelen av RCM-prosessen.

Merknad: Det finnes ikke noe klart konsensus i litteraturen om hvorvidt denne fasen er en inkludert del av selve RCM-analysen eller ikke. Heller ikke på hvilken rekkefølge de ulike stegene skal utføres. En av grunnene til dette kan være at denne fasen vil variere alt etter hvilken kontekst analysen blir foretatt i. Rekkefølgen på stegene som er presentert her er et forsøk på å komme så nærme en konsensus som mulig.



1a – Definere rammeverk for analyse

Det bør utvikles og dokumenteres retningslinjer og antagelser som fastslår rammeverket for gjennomføring av RCM-analyser slik at analysen blir konsekvent. Disse kan inkludere spesifisering av:

- Definisjon av hva som er normale driftsforhold og vanlig ansvar for operatør.
- Pritoriteringer, mål og krav for sikkerhet, miljø, pålitelighet og så videre organisasjonen har.
- Kilder som skal brukes for informasjon og data.
- Hvilket system for teknisk hierarki som skal brukes.
- Tilnærming til lednings- og rørnett.
- Beskrivelse av analytiske metoder som skal brukes.
- Metode og verdier for kostnad-nyttevurderinger.
- Behandling av menneskelige feil.
- Hvilke verdier som brukes for arbeidstimer og levetid.
- Metode for risikovurderinger og tilhørende akseptkriterier.
- Foretrukne metoder for tilstandsovervåkning og inspeksjon.
- Vurderingskriterier for prioritering av de tekniske systemene til organisasjonen.
- Avklaringer for roller, ansvar og metode med for:
 - Gjennomføring av RCM-prosessen.
 - Evaluering og godkjenning av resultatet.
 - Implementering av resultatet.
- Rutiner rundt oppdatering av resultatene etter at de er tatt i bruk.
- Hvordan prosessen skal dokumenteres. Datasystemer bør anvendes.

1b – Initiere og planlegge analyse

Første steg er å bestemme hvilket system eller utstyr som skal analyseres.

Vurdering av behov

Vurdering av behovet for RCM-analyse bør være en prosess integrert i vedlikeholdsstyringen til organisasjonen og være en del av kontinuerlig forbedring av vedlikeholdet.

Faktorer som bør påvirker et slikt behov er:

- Endring av driftskontekst.
- Uønskede hendelser.
- Ny informasjon.
- Ny teknologi.
- Utilfredsstillende forhold.

RCM-analyser kan også spille en rolle i designfasen som støtte for å gjøre designbeslutninger relatert til vedlikehold og vedlikeholdsstøtte.

RCM bør bare utføres når det med sikkerhet kan sies at det er kostnadseffektivt eller at det er kritisk for å oppfylle krav til sikkerhet, miljø eller organisasjonens øvrige målsetninger.

Prioritering av enheter

De enhetene i systemet som er vurdert til å ha en effekt på organisasjonens mål skal regnes som nødvendige å analysere. Kriteriene er basert på organisasjonens mål og kan være for eksempel effektiviteten til vedlikeholdet, pålitelighetsforbedring og endring av design eller drift.

Målsetning for analysen

Det bør etableres en begrunnelse og målsetning for RCM-analysen samt hvilke resultater som forventes. I tillegg bør det defineres hvordan man skal måle at de gitte målsetningene og resultatene er oppnådd. Målsetning og resultater knyttes ofte opp mot designforbedringer, pålitelighet, sikkerhet, miljøpåvirkning, kostnader, kvalitet, teamarbeid, vedlikeholdseffektivitet eller lignende.

Estimere ressursbruk

Det bør estimeres hvor mange arbeidstimer som trengs, hvor lang tid analysen vil ta og hvilke ressurser som behøves.

1c – Etablere analysegruppe

Identifisering av påkrevd kompetanse

Det skal identifiseres hva slags kompetanse som trengs til analysen. Det stilles krav om at analysegruppen skal god kunnskap om:

- Kunnskap og erfaring med RCM-prosessen

- Detaljene til enheten og tilhørende designegenskaper.
- Driftskonteksten til enheten
- Tilstanden til enheten.
- Feilmodi og effekten av dem.
- Regelverk og myndighetskrav.
- Vedlikeholdsteknikker og verktøy.
- Kostnader og kostnadsvurderinger

Sammensetting av analysegruppe

Analysegruppen bør minimum inneholde:

- RCM-fasilitator.
- Teknisk ansvarlige for systemet.
- Operatør.
- Representant fra de som utfører vedlikehold.

I tillegg kan man inkludere representanter fra design eller leverandør hvis dette er nødvendig. Eksterne spesialister kan også inkluderes.

For at man skal oppnå god læring, forståelse og læring er fordelaktig å involvere vedlikeholdspersonell i en RCM-analyse.

Trening og opplæring

Ved mangelfull kunnskap og erfaring bør man sørge for tilstrekkelig opplæring.

Analysegruppen må ha kjennskap til konseptene som blir brukt og opplæringskrav bør være spesifisert. Formell opplæring bør gis til alle som skal delta. Kortere opplæring er tilstrekkelig for de som skal anvende prosessen, være informasjonskilde eller være delaktig i implementeringen. For de som skal lede prosessen, bidra som analytiker eller fasilitatorer bør det gjennomføres mer omfattende opplæring.

1d – Definere systemet som skal analyseres

For å kunne gjøre en effektiv systematisk analyse er man avhengig av å definere klare grenser for systemet og finne passende nivå for analyse. Man kan, men behøver ikke ta utgangspunkt et teknisk hierarki.

Definering av grenser for analyse

Systemets grenser bør defineres tydelig. Når dette gjøres må man være sikker på at ingen «grensekomponenter» utilsiktet faller utenfor analysen. Deler av et system kan utelates fra analysen hvis de er vurdert til å være ubetydelig eller er hvis det vurderes å være hensiktsmessig å gjøre en grundigere analyse separat.

Bestemme nivå for analyse

Det må bestemmes hvilket detaljnivå analysen skal utføres på. Det optimale nivået kan variere fra system til system og påvirkes av blant annet av målsetningen til analysen, om det allerede finnes eksisterende analyser og kompleksiteten til systemet. Nivået bør være slik at man kan identifisere funksjoner som er lette å forstå, at det blir et håndterbart antall feilmodi per funksjon og slik at feileffekten kan bli vurdert uten vanskeligheter.

1e – Innhente informasjon

Teknisk dokumentasjon og relevante data bør være tilgjengelig før og under analysen. Dette kan inkludere blant annet:

- Bruksprofil og driftsprosedyrer.
- Ytelseskrav.
- Driftserfaring.
- Myndighetskrav.
- Pålitelighetsanalyser.
- Sikkerhetsvurderinger.
- Tekniske manualer.
- Produsentens håndbøker.
- Designdokumentasjon.
- Eksisterende vedlikeholdsprosedyrer.
- Vedlikeholdserfaring.
- Systemmodifikasjoner.
- Vedlikeholds- og feilrapportering.
- Rapporter om strukturelle undersøkelser.
- Ulykkesrapporter.
- Reservedelsinformasjon.

- Delelister.

Ved eventuell manglende dokumentasjon bør det kun lages dokumentasjon hvis det vil bidra til å gjøre analysen betydelig mer nøyaktig eller lettere å gjennomføre.

Alle tilgjengelige feildata og vedlikeholdshistorikk bør også innhentes. Dette innebærer blant annet forekomne feil, data om ytelse, vedlikeholdskostnader og driftskostnader, nåværende vedlikehold og ytelsen til denne, annen data om konsekvenser av feil, degradering og så videre. Siden RCM tar utgangspunkt i en antagelse om at det ikke blir foretatt forebyggende vedlikehold må feildata bli brukt med forsiktighet.

1f - Beskrive systemets driftskontekst

Driftskonteksten til enheten skal defineres og dokumenteres da denne har stor innvirkning på enhetens funksjoner, feilmoder, feileffekter og så videre.

Driftskonteksten skal beskrive hvordan systemet er brukt, driftet og operert samt inneholde detaljer rundt ønsket ytelse av systemet med tanke på produksjon, gjennomsnittstid, sikkerhet, miljøintegritet og så videre.

Andre spesifikke forhold som bør adresseres er:

- Produksjonsmønster (hvorvidt det er serieproduksjon, omstilling osv.).
- Kvalitetsstandard.
- Miljøstandard.
- Sikkerhetsstandard.
- Omgivelsene systemet driftes i. Karakteristikken til omgivelsene i form av klima, plassering, tilgjengelighet til deler og arbeidskraft og så videre.
- Intensiteten til driften. Eksempelvis normal driftstid, produksjonsbelastning, døgndrift og andre forhold.
- Redundans.
- Lagermuligheter som gjør at stop i produksjon er mulig uten å påvirke total produksjon.
- Reservedelssituasjon.
- Variasjon og begrensninger med tanke på markedetsbehov og råvaretilgang.

Ved analyse på enheter med redundans kreves det ekstra oppmerksomhet. Det må spesifiseres hvilken type redundans (aktiv/stand-by) det er snakk om og tas hensyn til at dette kan påvirke hvilket vedlikeholds som bør utføres.

Det må spesifiseres om det foregår variasjoner og endringer i driftskontekst i form av miljøskifte, bruksmønster eller lignende.

Ved store komplekse systemer kan det være fordelaktig med et hierarki av driftskontekster. Om nødvendig så starter en med formålet med organisasjonen. Øverst beskrives den fysiske karakteristikken av systemet, hvilken rolle det har, hvilke systemer det inkluderer, behovsprofiler, beskrivelse av miljøet systemet opererer i og hvilken support det har. Nederst i hierarkiet beskrives ytelseskaraktistikken til funksjonen på en presis måte.

2.7.2 Fase 2 – Funksjonsfeilanalyse

I denne fasen skal det utvikles en klar forståelse for enhetens funksjon, feil og konsekvenser satt i sammenheng med organisasjonens målsetninger for drift av enheten.

Måten denne fasen blir dokumentert på skal bestemmes av organisasjonen selv slik at det passer med driften og målsetningen for organisasjonen. Det foreslås at man bruker en FMEA-lignende dokumentering hvis RCM-analysen er strukturert på en passende måte.



Merknad: Noen forfattere er uenige i denne delen av prosessen. Blant annet Bloom (2006) som mener man skal utføre RCM-analysen på komponentnivå og at det derfor ikke er nødvendig å identifisere funksjonsfeil og Rausand og Vatn (2008) forslår et konsept hvor man mellom steg 2b og 2c identifiserer vedlikeholdskritiske enheter som man så identifiserer feilmodiene for.

2a – Identifisere funksjoner

For å kunne identifisere hvordan en enhet kan feile i å utføre dens påkrevde funksjon må man identifisere enhetens funksjoner. Alle funksjonene til enheten skal identifiseres. Dette gjelder alle primærfunksjoner og sekundærfunksjoner inkludert funksjonene til beskyttelsesinnretninger.

Primærfunksjonene er de funksjonene som utgjør hovedgrunnen til at utstyret eller systemet er der. Enkelte enheter kan ha flere primærfunksjoner. Sekundærfunksjonene er andre, og mindre åpenbare, funksjoner som utstyret eller systemet har. Dette kan for eksempel være funksjoner relatert til miljøintegritet, sikkerhet, strukturell integritet, styring, oppbevaring av væsker eller materialer, komfort, utseende, beskyttelse, økonomi, effektivitet og alarmering av operatører. Det kan også finnes overflødige funksjoner. Disse kan som regel fjernes hvis det er kostnadseffektivt, men skal fortsatt identifiseres da de kan introdusere funksjonsfeil i enheten likevel. I tillegg må man være oppmerksom på at enkelte funksjoner kun er relevante for enkelte driftskontekster.

Beskyttende funksjoner er inkludert i enheten for å redusere risiko og krever derfor spesiell oppmerksomhet. Dette gjelder funksjoner relatert avverging, eliminering eller minimering av konsekvenser av en funksjonsfeil. Eksempler er alarmer, nedstengingsmekanismer, avlastningsmekanismer, stand-by-systemer og fysiske hindre.

Alle funksjonsbeskrivelser skal inneholde et verb, et objekt og en ytelsesstandard som fortrinnsvis skal kvantifiseres. Ytelsesstandarden for funksjonen skal beskrives slik ytelsen minimum må være for å oppfylle påkrevd funksjon i den gitte driftskonteksten. Det er viktig at denne defineres tydelig for lett å kunne avgjøre hva som utgjør en funksjonsfeil. For beskyttende funksjoner skal man i tillegg inkludere i beskrivelsen hvilke hendelser eller forhold som aktiverer eller vil påkreve aktivering av den beskyttende funksjonen. Hvis variasjoner i driftskontekst påvirker funksjonen må dette også dokumenteres.

For komplekse enheter kan det være nødvendig å dele funksjonene til enheten, i en iterativ prosess, inn i et funksjonshierarki med mer håndterbare «blokker». Det laveste funksjonsnivået som bør identifiseres er på det nivået hvor en skal bestemme vedlikehold ved hjelp av RCM. Det er forventet at dette er på et lavt systemnivå (slik som bensinsystem eller pumpe), ikke på et komponentnivå (slik som lager).

For å få oversikt over funksjoner og delfunksjoner foreslår Rausand og Vatn (2008) at man kan bruke funksjonsblokkdiagram, pålitelighetsblokkdiagram, feiltre eller lignende verktøy. Moubrey (1997) mener det samme, men at det ikke er nødvendig hvis analysegruppen har kunnskap nok til å forstå sammenhengene mellom de ulike prosessene og funksjonene i enheten.

2b – Identifisere funksjonsfeil

For hver funksjons skal alle funksjonsfeil identifiseres for å kunne vurdere konsekvensen av de ulike måtene en enhet kan feile på. Funksjonsfeil skal referere til en spesifikk funksjon og skal beskrive hvordan enheten feiler i å oppfylle påkrevd funksjon.

Det er viktig å være oppmerksom på at en funksjonsfeil kan være både fullstendig og delvis samt at brudd på både øvre og nedre ytelseskrav også er funksjonsfeil. Disse forskjellige typene funksjonsfeil skal identifiseres separat da korresponderende feilmodi og feileffekter ofte er forskjellige. I tillegg kan funksjonsfeil være blant annet ujevn funksjon eller funksjon når det ikke er påkrevd. Funksjonsfeilene avhengig av karakteristikken til systemet.

2c – Identifisere feilmodi

Feilmodi vil si de spesifikke fysiske forholdene som forårsaker hver funksjonsfeil. Alle feilmodi som med rimelig sannsynlighet kan forårsake hver funksjonsfeil skal derfor identifiseres. Det er viktig at bare de som regnes som rimelig sannsynlig blir identifisert.

Hva som regnes som rimelig sannsynlig kan stadfestes ved at en gruppe av personer som med opplæring i RCM og med inngående kunnskap om systemet og dets driftskontekst er enige om at den spesifikke feilmoden kan forekomme. Hva som regnes som rimelig sannsynlig bør defineres i rammeverket for analysen. Under vurderingen av rimelig sannsynlighet skal man gjøre den antagelsen at ingen aktivitet blir gjort for å forutse, oppdage eller forebygge feilmoden. Den siste instansen for å avgjøre om en feilmode er rimelig sannsynlig vil være den eller de som vil bli holdt ansvarlig for konsekvensen av en eventuell feil eller den faktiske eieren eller brukeren av enheten. Feilmodi med særdeles store konsekvenser bør listes selv om sannsynligheten vurderes til å være liten. Man må sørge for at det identifiseres tilstrekkelig med feilmodi til at man får en god analyse, men at man samtidig unngår å analysere for mange feilmodi slik at analysen tar uforholdsmessig lang tid.

Beskrivelse av feilmode skal inkludere identifisering av den fysiske enheten som har feilet og en beskrivelse av feilmekanismen. Som et minimum skal beskrivelsen inneholde et verb og et substantiv og ha nok detaljer til at det er mulig å velge en passende vedlikeholdstype. Samtidig er det viktig å passe på at man ikke kaster bort tid på å være for detaljert. I beskrivelse av feilmoden bør det unngås å bruke ord slik som «feilet»,

«defekt» eller «fungerer ikke» siden de gir lite indikasjon på hva som kan være en passende håndtering av feilmoden.

Typiske feilmodi som bør identifiseres inkluderer forringelse, designfeil og miljømessige påvirkninger.

- Forringelse (utmattning, korrosjon, skraping, erosjon, fordamping, nedbryting osv.)
- Design og konstruksjon
- Menneskelig feil (ukorrekt drift, ukorrekt montasje, ekstern skade.)
- Miljømessig påvirkning (dyr, fremmedlegemer, klima osv.)

Hvis menneskelige feil adresseres i andre prosesser bør de av dokumentasjonshensyn uansett identifiseres i RCM-analysen, men kan utelates fra resten av analysen.

Kilder til feilmodi kan være:

- Operatører.
- Vedlikeholdspersonell.
- Leverandører.
- Andre brukere av samme type utstyr.
- Identiske eller lignende systemer.
- Historikk over tidligere inntrufne feil.
- Feilmodi som blir forhindret av eksisterende vedlikeholdsprogram.
- Eksterne databanker.

Øvrige sannsynlige feilmodi må identifisere ved hjelp av skjønn fra erfarne personer. Studie av eksisterende vedlikeholdsprogram bør gjennomføres som en sluttsjekk etter at RCM-analysen er gjennomført for å unngå at man blir påvirket av status quo.

Nivået for feilmoden skal reflektere nivået både på analysen og nivået hvor det er effektivt å bestemme en vedlikeholdstype og utføre vedlikehold. Det fortrukne er at feilmoden peker på de enhetene som er på det laveste nivået som vil bli vedlikeholdt og håndtert individuelt. Likevel, hvis en enhet vil bli demontert for å adressere spesifikke interne feilmodi skal disse feilmodiene beskrives. Hvilket nivå som er passende kan variere mellom hver feilmode.

For ventiler, brytere og lignende komponenter bør feilmodiene indikere om tap av funksjon var en årsak av at komponenten feilet i åpen eller lukket posisjon.

2d – Identifisere feileffekter

Effektene av feilmodiene skal identifiseres. Feileffekten skal beskrive hva som skjer hvis hver enkelt feilmode og korresponderende funksjonsfeil forekommer forutsatt at ingen aktivitet blir gjort for å forutse, oppdage eller forebygge feilen. Det er også viktig at feileffekten vurderes som den alvorligste effekten som med rimelig sannsynlighet kan forekomme. Rimelig sannsynlighet skal også her være definert i rammeverket for analysen.

Beskrivelsen skal inneholde nok informasjon til at en god vurdering av konsekvensene kan gjøres. Dette betyr at man skal vurdere effekten på blant annet personell, allmennheten, miljø, økonomi og drift. Først og fremst skal man identifisere effekten på enheten som vurderes, de omsluttende enhetene og den funksjonelle kapabiliteten på det høyeste nivået i systemet enheten er en del av. Dette innebærer refleksjon rundt blant annet:

- Skade på mennesker eller miljø (utslipp av skadelige materialer, brann, eksplosjon osv.)
- Uheldig effekt på produksjon og drift (nedetid, produksjonshastighet, kvalitet osv.)
- Fysisk skade på utstyr.
- Hva som må gjøres for å gjenopprette funksjonen til systemet etter feil.

I tillegg til dette skal det identifiseres hvilket bevis som finnes for at feilen har inntruffet. For skjulte feil skal man identifisere hva som ville skjedd hvis en multippel feil inntraff. Ved håndtering av beskyttende funksjoner skal feileffekten beskrive hva som skjer hvis den beskyttede funksjonen feiler hvis den beskyttende funksjonen har feilet.

2e – Utføre kritikalitetsanalyse

I dette steget skal det vurderes om risikoen for de identifiserte feilmodiene er tolererbar eller ikke for å avgjøre de skal adresseres med forebyggende vedlikehold eller ikke. Dette vurderes med hensyn til konsekvens for sikkerhet, miljø og økonomi. Andre konsekvenskategorier kan inkluderes alt etter hva som er organisasjonens mål og krav. Der hvor risikoen er akseptabel vil man vanligvis ikke gjøre noe for å forhindre

feilmoden, det vil si intet forebyggende vedlikehold, men dette kan avhenge av organisasjonens målsetninger og krav.

En kritikalitetsvurdering ved hjelp av risikomatriser er en vanlig måte å vurdere risikoen på.

Merknad: SAE JA1012 legger ikke opp til kritikalitetsvurdering, men mener at man skal vurdere forebyggende vedlikehold for alle feilmodiene etter gitte kriterier. Hvis feilmoden medfører risiko for sikkerhet og miljø skal man velge et vedlikehold som får risikoen ned til et tolerabelt nivå. For feilmodi med risiko kun for økonomi skal man derimot vurdere kostnaden av forebyggende vedlikehold mot kostnaden av feilmoden. Den utfører likevel noen lunde den samme prosessen, bare mindre systematisk. Derfor er det valgt å beskrive løsningen fra IEC 60300-3-11 her.

For å foreta en kritikalitetsvurdering må det spesifiseres hva som regnes som tolererbar risiko. Tolererbar risiko er den som kan bli tolerert av en hel den berørte befolkningen. Dette kan for eksempel være innad i organisasjonen eller i samfunnet som helhet. Tolererbar risiko kan bli bestemt av en gruppe som representerer:

- Mennesker som har en klar forståelse for feilmekanismer, feileffekter, sannsynlighet for at en feilmode inntreffer og hvilke mulige tiltak som kan bli gjort for å forutse eller forebygge den.
- Mennesker som har et legitimt syn på hvilket nivå av risiko som tolereres. Dette kan inkludere sannsynlige offer og de som må håndtere de faktiske konsekvensene hvis feilmoden inntreffer.

Hvis organisasjonen allerede har etablert tolererbar risiko skal dette tas i bruk.

2.7.3 Fase 3 - Vedlikeholdstype

I denne fasen skal det besluttes hvordan hver feilmode skal håndteres med vedlikehold. Først klassifiseres feilmodiene etter konsekvens for funksjonsfeilen samt at det velges den vedlikeholdstypen som er best egnet for hver feilmode. Videre bestemmes det intervaller for eventuelle periodiske forebyggende aktiviteter. Det er vanlig å utføre de to første stegene i denne fasen med en beslutningslogikk.



Merknad: I litteraturen beskrives det mange forskjellige beslutningslogikker og variasjoner i måter å gjennomføre klassifiseringen og valg av vedlikeholdstype på. Dette ser ut til å avhenge av forfatterens preferanser. I prosessen er likevel stegene som skal utføres de samme, og er lik de som presenteres her.

3a – Klassifisere konsekvens

Konsekvensene fra hver feilmode skal klassifiseres etter to kriterier:

- Om feilen er skjult eller åpenbar
- Om konsekvensen medfører konsekvenser for henholdsvis sikkerhet og miljø eller kun for drift og økonomi.

Merknad: For det siste punktet gjøres det oppmerksom på at andre risikokategorier også kan være aktuelle.

Åpenbar eller skjult feil

Det skal vurderes om funksjonsfeilen er åpenbar eller skjult for operatøren under normale driftsforhold når feilmoden inntreffer alene. Normale driftsforhold skal være definert i rammeverket for analysen. Skillet mellom skjulte og åpenbare feil er viktig for beskyttende funksjoner. Disse er designet inn i systemet for å begrense konsekvensene av en feilmode og vil følgelig kunne føre til store konsekvenser den har en funksjonsfeil når den behøves.

Konsekvens for sikkerhet og miljø eller drift og økonomi.

En funksjonsfeil har konsekvens for sikkerhet og miljø hvis feileffekten skader personell, allmennheten eller miljø. Hvis dette ikke er tilfelle vurderes funksjonsfeilen til å bare ha konsekvens for drift og økonomi. For den førstnevnte klassen vil velge en forebyggende vedlikeholdstype som reduserer risikoen til et tolererbart nivå, mens man for den sistnevnte klassen vil velge den vedlikeholdstypen som er mest mulig økonomisk lønnsomt.

3b – Velge vedlikeholdstype

Vurdering av karakteristikken til hver feilmode skal avgjøre hvilken vedlikeholdstype som skal velges.

Den valgte vedlikeholdstypen skal være anvendbar og effektiv. Med anvendbar menes det at den må være teknisk gjennomførbar og at den må adressere feilmoden på en god

måte. Med effektiv menes at den skal være økonomisk verdt å gjennomføre og skal håndtere konsekvensen av feilen.

Merknad: Enkelte forfattere velger å dele inn vedlikeholdstypene i en mer detaljert grad enn det som blir gjort i IEC 60300-3-11 og SAE JA1012. Rausand og Vatn (2008) skiller mellom kontinuerlig tilstandsovervåking og periodisk tilstandskontroll. Da kontinuerlig og periodisk tilstandskontroll gir vidt forskjellige teknologiske løsninger er det valgt å gjøre dette skillet også her.

Under valg av vedlikeholdstype må det tas høyde for at endringer i omgivelser som kan forekomme (dvs. varierende driftskontekst) kan ha innvirkning på vedlikeholdstypen og at en kombinasjon av flere vedlikeholdstyper kan være nødvendig for å oppnå ønsket pålitelighet. I tillegg må man være oppmerksom på at det anbefales at «normale» vedlikeholdsaktiviteter slik som rengjøring, smøring, justeringer og kalibrering adresseres gjennom en av disse vedlikeholdstypene.

Med hensyn til de overnevnte kravene skal alle av de følgende vedlikeholdstypene vurderes:

Kontinuerlig tilstandsovervåking

Måler kontinuerlig tilstanden til en enhet sammenlignet med en forhåndsbestemt parameter for å overvåke forringelsen av enheten. Krav:

- Degraderingen av tilstanden må være målbar.
- En klar definert grense for potensiell feil må være definert.
- Intervallet fra målbar degradering til funksjonsfeil (P-F-intervallet) må være langt nok til at korrektive tiltak for å forebygge funksjonsfeilen er mulig å gjennomføre.
- P-F-intervallet må være konsistent.

Periodisk tilstandskontroll

Periodisk måling av tilstanden til en enhet som sammenlignes med en forhåndsbestemt parameter for å overvåke forringelsen av enheten. Krav:

- Degraderingen av tilstanden må være målbar.
- En klar definert grense for potensiell feil må være definert.

- Intervallet fra målbar degradering til funksjonsfeil (P-F-intervallet) må være langt nok til at tilstandskontroll og korrektive tiltak for å forebygge funksjonsfeilen er mulig å gjennomføre.
- P-F-intervallet må være konsistent.

Ved flere mulige tilstander som kan kontrolleres skal det velges den eller de som gir lengst tid til funksjonsfeil og samtidig er kostnadseffektiv.

Periodisk overhaling

Periodisk arbeid for å returnere en enhet til en spesifikk standard. Dette kan innebære alt fra rengjøring til utskifting av flere deler tilhørende enheten. Krav:

- Definert konsistent feilmønster.
- Billigere å overhale enn å skifte ut.
- Skal gjenopprette funksjonen til enheten det påkrevde nivået.

Periodisk utskiftning

Periodisk fjerning og erstatning av en enhet. Krav:

- Definert konsistent feilmønster.
- Billigere å skifte ut enn å overhale.

Periodisk feilsøking

Periodisk aktivitet for å fastslå om en enhet er i stand til å utføre sin påkrevde funksjon eller ikke. Dette kan innebære alt fra visuell inspeksjon til kvantitativ sammenligning av en måling mot en spesifikk ytelsesstandard. Krav:

- Behov for å redusere sannsynligheten for en multippel feil relatert til et beskyttelsessystem.
- Spesifikk aktivitet for å detektere funksjonsfeil må eksistere.

Intet forebyggende vedlikehold (også kalt «kjør-til-feil»)

Korrektivt vedlikehold eller intet vedlikehold overhode.

Alternativt tiltak (også kalt «engangsendringer»)

Som et resultat av beslutningslogikken kan man få til resultat at alternativt tiltak bør vurderes. Dette kan inkludere:

- Redesign.
- Modifisering av eksisterende utstyr.
- Endring i driftsprosedyre.
- Endring i vedlikeholdsprosedyre.
- Sjekk før eller etter bruk.
- Modifisering av reservedelsstrategi.
- Ekstra opplæring av operatør eller vedlikeholder.

Ved alternative tiltak skal det skilles mellom feilmodi som har uheldig innvirkning på sikkerhet eller miljø og de som påvirker drift eller økonomi. Førstnevnte krever gjerne hastetiltak mens sistnevnte bør evalueres med en kost/nytte-analyse sammenlignet med intet forebyggende vedlikehold.

Alle vedlikeholdstyper som anbefales skal avveies kostnadmessig mot hvilken pålitelighetsøkning aktiviteten gir og hvis man på dette punktet har valget mellom flere mulige vedlikeholdstyper skal valget baseres på kostnad av gjennomføring av vedlikeholdet samt de driftsmessige konsekvensene den valgte vedlikeholdstypen medfører. For hver valgte forebyggende vedlikeholdstype skal det også spesifiseres hvilken aktivitet som foreslås samt kriterier for intervallbestemmelse.

3c – Beslutte vedlikeholdsintervaller

For å sette et intervall for vedlikehold er det nødvendig å fastslå karakteristikken til feilmoden som gjør det mulig å bestemme et kostnadseffektivt intervall.

For å bestemme karakteristikken til feilmoden og skaffe nødvendige pålitelighetsdata kan man bruke blant annet følgende kilder:

- Erfaring fra identisk eller lignende utstyr hvor en periodisk vedlikeholdstype har gitt gode resultater.
- Test- og pålitelighetsdata fra produsent eller leverandør.
- Pålitelighetsdata og prognoser.
- Antatte feilegenskaper.
- Drift- og vedlikeholdsdata.
- Erfaring fra operatører og vedlikeholdere.
- Levetidsutforskning.

Hvis det ikke er tilstrekkelige pålitelighetsdata, ingen forhåndskunnskap fra lignende utstyr og så videre kan bare intervallet bestemmes ved hjelp av erfaring og ekspertvurdering med støtte fra de driftsdataene man eventuelt har tilgjengelig.

Matematiske modeller kan brukes, men disse er avhengig av passende data.

Merknad: Enkelte forfattere, blant annet Rausand og Vatn (2008) mener at bruk av formaliserte metoder for optimalisering av intervall ikke er innenfor omfanget til en RCM. Matematiske formler er heller ikke diskutert i særlig grad i IEC 60300-3-11 og SAE JA1012.

Intervallene for de periodiske vedlikeholdstypene bestemmes på bakgrunn av følgende karakteristikker:

Periodisk tilstandskontroll

For å bestemme et fornuftig intervall er det nødvendig å fastslå tiden P-F-intervallet til feilmoden. Intervallet for tilstandskontroll må være likt eller kortere enn dette intervallet. Hvor kort kontrollintervallet skal være i forhold til P-F-intervallet bestemmes av hvor stor risiko og kostnad organisasjonen er villig til å akseptere i tillegg til hvor effektiv tilstandskontrollen er. Et vanlig utgangspunkt er et kontrollintervall på halvparten av P-F-intervallet.

Periodisk overhaling eller utskiftning

Intervallet baserer seg på en evaluering av feilmodens sikre levetid eller anvendelige levetid. Levetiden til feilmoden kan for eksempel være definert ved hjelp av den kumulative feildistribusjonen. For feilmodi som har uheldig påvirkning på sikkerhet eller miljø bør det være definert en sikker levetid som gjør at det er veldig lav sannsynlighet for feil hvis enheten overhales eller skiftes ut før denne tiden. For feilmodi som kun har uheldig påvirkning på drift eller økonomi skal man gjøre en kost/nyttevurdering for å etablere intervall.

Periodisk feilsøking

Intervallet skal justeres slik at man reduserer sannsynligheten for multiple feil som medfører konsekvens til et akseptabelt nivå. Dette gjelder hovedsakelig for funksjonsfeil i beskyttende systemer.

2.7.4 Fase 4 – Bruk

I denne fasen beskriver de stegene som er nødvendig for å ta i bruk vedlikeholdsprogrammet som besluttes i fase 3.

4a - Rasjonalisere vedlikeholdsprogram

For å ta i bruk vedlikeholdsprogrammet må man spesifisere detaljene rundt det anbefalte vedlikeholdet samtidig som man samler aktivitetene i utførbare arbeidspakker.

Spesifisering av aktivitetene kan blant annet innebære:

- Arbeidstid.
- Kompetanse- og mannskapskrav.
- Prosedyrer.
- HMS-betraktninger.
- Behandling av skadelige materialer.
- Reservedelsstyring.
- Verktøy og testutstyr.
- Logistikk.

I dette arbeidet kan det være nødvendig å revurdere antagelsene gjort under valg av vedlikeholdstype.

Ved samling av utførbare arbeidspakker skal man først fjerne duplikater. Videre bør man kategorisere aktiviteten etter hvilket fagområde som kreves og på hvilket nivå i organisasjonen vedlikeholdet skal utføres. Neste steg er å justere intervallene til et fornuftig vedlikeholdsprogram. Det er viktig å være observant på at en økning av intervaller vil gi risikoøkning. En innkorting av intervall vil gi kostnadsøkning. Under justering av intervallene skal man ta utgangspunkt i de minst fleksible aktivitetene som er relatert til konsekvenser for sikkerhet og miljø.

Man skal være observant på at rasjonaliseringen kan føre til at vedlikeholdstyper som tidligere har blitt avvist viser seg til å være effektive i sammenheng med andre oppgaver. Spesielt gjelder dette hvis man i utgangspunktet har begrenset tilgang til enheten som skal vedlikeholdes. Under rasjonaliseringen må man også påse at eventuelle lover, reguleringer og kontraktsforpliktelser blir overholdt.



Både de anbefalte og de rasjonaliserte tiltakene bør dokumenteres.

4b - Implementere vedlikeholdsprogram

Det foreslåtte vedlikeholdsprogrammet skal vurderes i en RCM-kontekst og bli formelt godkjent av personen som har teknisk og sikkerhetsmessig ansvar for systemet. Det foreslåtte vedlikeholdsprogrammet kan videre implementeres direkte.

Behandling av alternative tiltak

Foreslåtte alternative tiltak bør gå gjennom en prosess hvor de blei prioritert etter:

- Effekt på sikkerhet
- Effekt på pålitelighet og tilgjengelighet
- Kostnad-nytte
- Sannsynlig suksess i gjennomføring

Eventuelle midlertidige tiltak må vurderes hvis det kommer fram at det finnes tilstander i enheten som er kritiske med tanke på sikkerhet.

4c - Kontinuerlig forbedre vedlikeholdsprogram

For at RCM-analysen skal oppnå målsetningen er man avhengig av videre utvikling etter implementering.

Det bør gjøres gjennom periodisk revisjon av analysen (stegvis for å sjekke at hele prosessen fortsatt er gyldig).

Dette gjøres av følgende grunner:

- Upresis informasjon og data brukt i prosessen vil over tid kunne bli mer presis og gi en bedre analyse. Spesielt gjelder dette hvis det finnes systematiske prosesser for datasamling, bruk av driftshistorikk og lignende.
- Driftskontekst vil kunne endre seg over tid.
- Vedlikeholdsteknologien vil utvikle seg over tid.
- Inkorporering av tilbakemeldinger fra driften.
- Behov for å oppgradere systemet.

Ved modifikasjoner, unike reparasjoner eller konfigurasjoner på systemet som er i drift bør det foretas egne RCM-analyser.

For å kunne ta i bruk erfaringer fra driftsfasen samt måle om vedlikeholdsprogrammet oppnår målsetningene sine forutsetter det at organisasjonen gjør det mulig å samle inn vedlikeholdsdata gjennom levetiden til systemet. Dette inkluderer for eksempel registrering av tid og dato for feil, feilårsaker, vedlikeholdstid, inspeksjonseffektivitet, virkningsgrad og kostnader.

Overvåking av spesifikke komponenter kan brukes for å fastslå forringelsesrater, effektiviteten av en vedlikeholdsaktivitet, kostnad og så videre. Det kan også foretas spesifikk levetidsutforskning for å generere nok data.

2.8 Diskusjon

I kapittel 2.7 er det beskrevet en RCM-prosess basert på standardene IEC 60300-3-11, SAEJA1011 og SAE JA1012. Beskrivelsen tar for seg hele perspektivet av RCM-prosessen steg for steg og kan sees på som en guide til RCM.

Beskrivelsen gitt i kapittel 2.7 er ikke direkte og spesifikk nok til at den kan betraktes som en ferdig RCM-prosess som kan tas i bruk direkte, og den er heller ikke ment å være det. Beskrivelsen skal brukes som et grunnlag for å foreslå et RCM-konsept for BKK P. Blant annet er det mangel på spesifisering av hvordan ulike metoder i prosessen skal brukes i praksis. RCM-prosessen krever også at den tilpasses organisasjonen den skal anvendes i med tanke på behov, kunnskapsnivå, støttesystemer, mål, krav og så videre. Til sist må man også vurdere hvorvidt man skal ta i bruk eventuelle forenklinger, tillegg eller lignende som er beskrevet i dette kapittelet.

3 Status for Reliability Centered Maintenance hos BKK Produksjon

I dette kapittelet kartlegges status for bruk av RCM hos BKK P for å se på hvordan RCM blir brukt i BKK P i dag og hvilke utfordringer som eksisterer relatert til dette. Resultatet fra dette kapittelet er brukt som innspill til utformingen av RCM-konsept for BKK P.

Statuskartleggingen er gjort ved hjelp av intervju av sentrale personer hos BKK P i perioden 3. til 7. mars 2014, deltakelse på deler av RCM-analyse på Dale kraftverk 19. til 21. november 2013. I tillegg er det holdt uformelle samtaler med fasilitator for RCM-analyse på Dale kraftverk samt enkeltpersoner i Seksjon Vedlikehold gjennom hele perioden for masteroppgaven.

3.1 Bakgrunn for bruk av RCM hos BKK Produksjon

Vannkraftbransjen tar i bruk RCM i stadig større omfang (Solvang, Istad og Heggset, 2011) og prosessen er diskutert med jevne mellomrom blant annet i Energi Norges regi. BKK P har registrert trenden, men har ikke tidligere tatt i bruk RCM som verktøy.

Som nevnt i innledningen på masteroppgaven har BKK P i løpet av 2013 satt i gang et arbeid internt i bedriften for å strukturere vedlikeholdet sitt. Som et steg i denne struktureringen har man valgt å forsøke å ta i bruk RCM for å utvikle et vedlikeholdsprogram. I følge Seksjon Vedlikehold er det flere grunner til at strukturingsarbeidet har blitt igangsatt (BKK P, 2014):

- Man har i stadig økende grad blitt observante på at man er blitt veldig avhengig av spesifikke nøkkelpersoner i organisasjonen for å sikre godt vedlikehold og at det derfor kan være fordelaktig å systematisere utviklingen av vedlikeholdsprogram for kraftverkene.
- Utilfredsstillende tilbakemeldinger på tilstand og utført arbeid i BKK Ps databaserte vedlikeholdsstyringssystem (CMMS), ISY JobTech, som gjorde det vanskelig å holde oversikt over tilstanden på kraftverkene.
- Behov for å halvere tidsforbruket på rutinekontroller for å kunne prioritere et økende behov for rehabilitering samtidig som man holder ønsker å holde tilgjengeligheten høy.

- Ønske fra ledelsen om sporbarhet og bruk av analyser i vedlikeholdsarbeidet for å kunne vurdere og prioritere vedlikeholdstiltak på en god måte.

En internrevisjon som ble gjort i 2012 ga ytterligere motivasjon for bruk av blant annet RCM da den blant annet pekte på at systematiske analyser og tilhørende dokumentasjon i liten grad var tatt i bruk til utarbeiding av vedlikeholdsprogram (Brevik et. al. 2013).

Som en respons på det overnevnte ble det i løpet av 2013 blant annet gjennomført en RCM-analyse på Dale kraftverk for å teste prosessen. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 3.4.

3.2 Tidligere forsøk på bruk av RCM

BKK P har tidligere gjort seg enkelterfaringer med RCM. På midten av nittitallet utførte Statkraft et prosjekt hvor man brukte RCM-prosessen for å etablere vedlikeholdsprogram for Lio-kraftverket. Dette resulterte i en meget detaljert prosess som av mange, deriblant BKK P, ble oppfattet som for tidkrevende og detaljert til å implementeres (BKK P, 2014). I 2005 ble det gjennomført en masteroppgave i samarbeid med en student fra NTNU (Federici, 2005) hvor det ble utviklet en prosedyre for RCM-analyse for BKK. I tillegg ble deler av Myster kraftverk analysert. Resultatene fra denne har heller ikke vært implementert, men det er uklart hvorfor dette ikke har skjedd. Det har også blitt nevnt en RCM-analyse på Grønsdal som ble foretatt cirka 2004 (BKK P, 2014), men det har ikke vært tid til å finne mer informasjon om denne.

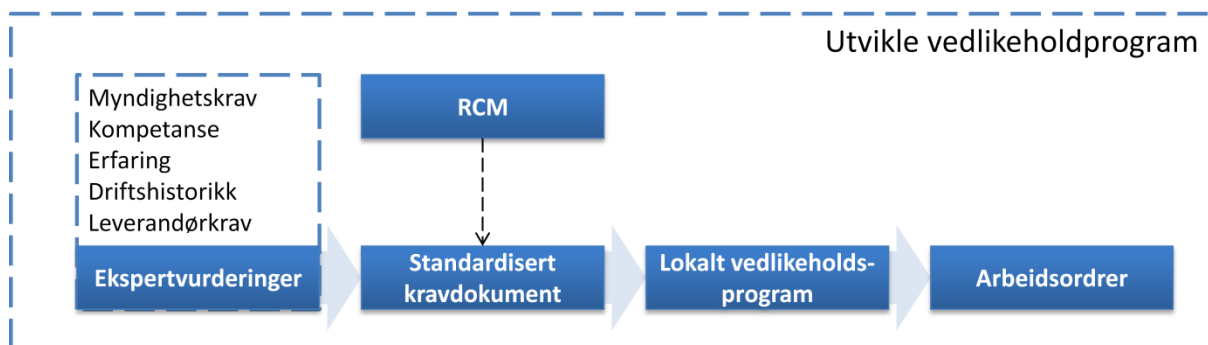
3.3 RCM i BKK Produksjons vedlikeholdsstyring

I BKK P er man nå i gang med å forbedre vedlikeholdsprogrammet for sine kraftverksaggregat (BKK P, 2014). Arbeidet baserer seg i stor grad på opprydding og standardisering av arbeidsordrer i JobTech. Det forbedrede vedlikeholdsprogrammet baserer seg på hva BKK P internt kaller kravdokumenter som spesifiserer hvilket vedlikehold og hvilke intervaller som skal brukes. Her skilles det mellom henholdsvis store (viktige) og små (mindre viktige) kraftverk der store kraftverk har hyppigere vedlikeholdsintervaller enn de små. I tillegg legges det opp til at alt rutinemessig vedlikehold skal grupperes i hovedintervaller på ett, to eller fire år. Disse danner grunnlaget for lokalt tilpassede arbeidsordrer for hvert kraftverk. Kravdokumentene er utviklet av BKK Ps fagansvarlige og basert på lang erfaring innen drift og vedlikehold av

kraftverksanleggene. I denne sammenheng blir RCM nevnt som ett av flere tiltak for å systematisere prosessen rundt valg av vedlikehold og for å systematisere kunnskapen om anleggene.

Vedlikeholdsstrategien til BKK P (BKK P, 2013a) slår fast at RCM-analyser skal benyttes som grunnlag for å bestemme vedlikeholdsmetode og for å utarbeide nye arbeidsordrer. I tillegg står det at alle kraftstasjoner i BKK skal ha sporbar dokumentasjon for valg av vedlikeholdsmetoder i RCM-modulen til JobTech innen 2017.

Til tross for denne uttalte strategien er det ikke ennå avgjort hvorvidt RCM-prosessen vil bli tatt i bruk eller ikke hos BKK P på tidspunktet da denne masteroppgaven er gjennomført (BKK P, 2014). Inntrykket er at de tidligere nevnte kravdokumentene har blitt toneangivende for vedlikeholdsprogrammet hos BKK P og at systematiske analyser, slik som RCM, virker dermed å være nedprioritert til fordel for et vedlikeholdsprogram basert på ekspertvurderinger og erfaringer fra organisasjonen. Dette må ses i sammenheng med at inntrykket fra RCM-analysen på Dale kraftverk er at de foreløpige resultatene er en bekreftelse på at det eksisterende vedlikeholdsprogrammet håndterer behovet på en riktig måte (BKK P, 2014). De endelige resultatene fra RCM-analysen på Dale kraftverk som skal foreligge i løpet av 2014 vil vise om dette er tilfelle.



Figur 5 – Nåværende prosess for utvikling av vedlikeholdsprogram hos BKK P.

I følge Seksjon Vedlikehold (BKK P, 2014) er det sannsynlig at det vil bli gjort ytterligere RCM-analyser for å dekke eksempelvis småkraftverk og kritiske komponenter, men at på nåværende tidspunkt ikke sannsynlig at RCM vil bli tatt i bruk på samtlige kraftverk. Inntrykket til forfatteren er derfor at resultatene fra Dale, og fremtidige RCM-analyser, vil fungere som et innspill til de standardiserte kravdokumentene istedenfor at de blir sett på som analyser for konkrete anlegg (figur 5).

3.4 RCM-analyse på Dale kraftverk

BKK P har utført et pilotprosjekt for RCM i samarbeid med konsulenter fra MainTech. RCM-analysen ble foretatt på Dale kraftverk, et av de største kraftverkene til BKK. Dette er en av få forsøk på RCM-analyse BKK P har gjennomført og er derfor et naturlig utgangspunkt for å si noe om status for RCM hos BKK. Forberedelsene til analysen begynte sommer og høst 2013 og resultatene ser ut til å være ferdig i løpet av våren 2014. Analysene ble foretatt høsten 2013 og i forbindelse med dette prosjektet ble tre av analysedagene, og totalt 47 analyser, observert. I hovedsak var dette analyser av turbin- og generator-relatert utstyr.

I dette kapitlet er RCM-prosessen som ble brukt på Dale kraftverk presentert. Modellen presentert i kapittel 2.7 er brukt som mal. Det fokuseres på hvordan prosessen er utført. Detaljer rundt resultater og lignende er derfor ikke beskrevet.

3.4.1 Fase 1 - Forberedelse

1a - Definere rammeverk for analyse

RCM-prosedyre

Et utkast til RCM-prosedyre (retningslinjer for gjennomføringen) ble utviklet av MainTech med innspill fra BKK. Denne lå til grunn for analysen på Dale kraftverk. Prosedyren er regnet som veiledende og det forekom endringer på denne underveis i analysen. En ferdig RCM-prosedyre vil bli utviklet ferdig på sikt.

Kostnadsvurderinger

En anslått nedetidskostnad for kraftverket ble beregnet ved å dele salgsværdien av en gjennomsnittlig årsproduksjon på antall timer i et helt år. Øvrige kostnadsvurderinger ble gjort kvalitativt av analysegruppen underveis i analysen.

Dokumentasjon

RCM-modulen i ISY JobTech ble brukt for å dokumentere RCM-prosessen. JobTech er brukt som CMMS hos BKK P og RCM-modulen til JobTech er en integrert del av dette systemet. Modulen ble satt opp av MainTech. Figur 6 viser hvordan RCM-modulen ser ut i praksis.

The screenshot displays the 'RCM analyse' window in the ISY JobTechs software. It contains several sections for data entry and analysis results.

Metadata:

- Område: 12112 - DALE KRAFTSTASJON
- Gruppe: 461 - Hovedtransformatorer
- Enhet: 001 - 300T1 HOVEDTRANSFORMATOR
- Levetid (år):

Comments:

1 analysen inngår:
 - 1 stk. trefase hovedtransformatorer fra 1990
 - 300 kV
 - 27 tonn olje
 - Terkeapparat (Silicagel)
 - Viking, isolerolje og trafokasse
 - Oljefylte gjennomføringer på lavspent

Analysis Parameters:

- Funksjon: 1032 - Transformere spenning
- Funksjonsfeil: 1000 - Totalt bortfall av funksjon
- Felmode: 3000 - Elektrisk feil
- Felårsak: 4100 - Teknisk utstyr - Aldring
- Skjult funksjonsfeil: Nei
- MTBF: 30 År
- Nedetid gjelder for: Produksjon...
- Levetidsforløp: U - Uforutsigbar tid til økning i sviktintensitet

Risk Matrix:

Risikoparameter	Kons.	Sanns.	Risiko
Sikkerhet	1	1	0
Miljø og myndighetskrav	2	1	1
Tilgjengelighet	3	1	2
Kostnader	3	1	2

Summary:

- Høyeste risiko: 2 - Tilgjengelighet, 2 - Kostnader
- Svært Sannsynlig (< 1 år)
- Liten fare for personskade (2)
- Fare for personskade (4)
- Fare for død eller uføret (5)

Figur 6 – Dokumentasjon i ISY JobTechs RCM-modul. Hentet fra JobTechs RCM-modul.

I tillegg til dokumentasjonen av analysen i JobTech skal det i ettertid utvikles en oversikt over det foreslåtte vedlikeholdsprogrammet. En sluttrapport for analysen skal også lages. Denne skal beskrive kraftverket og utstyret som er analysert, viktige observasjoner, resultatstatistikk, jobbpakking og oppfølging.

Ansvarsavklaring

Vedlikeholdssjef, som prosjektansvarlig, samt prosjekt- og oppdragsleder i Seksjon Vedlikehold har hatt ansvar for forberedelse, gjennomføring og implementering av RCM-analysen.

1b – Initiere og planlegge analyse

Vurdering av behov

RCM-analysen ble gjennomført på bakgrunn av behov for å teste ut bruk av RCM hos BKK. Dale kraftverk ble vurdert som et godt analyseobjekt i denne sammenheng. Behovsvurdering er gjort kvalitativt av Seksjon Vedlikehold.

Prioritering av systemer og delsystemer

En grovanalyse ble utført for å velge ut de delene av kraftverket som regnes som mest kritiske. Grovanalysen baserer seg på en kvalitativ vurdering av hvorvidt funksjonsfeil i anlegget kan føre til en uønsket konsekvens. Her ble det valgt å fokusere i all hovedsak på aggregatet og utstyret som direkte hører til dette.

Målsetning for analysen

Analysen hadde følgende målsetninger:

- Gi grunnlag for å vurdere hvorvidt BKK P skal ta i bruk RCM-prosessen.
- Gi et grunnlag til sammenligning med eksisterende erfaringsbaserte vedlikehold.

Estimering av tids- og ressursbruk

I forkant av analysen utformet MainTech et estimat for tidsbruk og ressursbruk for analysen. Det ble også laget en konkret aktivitetsplan som beskrev hvilke enheter som skulle analyseres dag for dag.

1c – Etablere analysegruppe

Identifisering av påkrevd kompetanse

RCM-prosedyren for analysen beskrev hvilken kompetanse analysegruppen skulle besitte (MainTech, 2013a):

- Lang erfaring med drift av anlegget
- Kjennskap til oppbygningen av anlegget, dets systemer og virkemåte
- Kjennskap til feil som oppstår, hvor ofte de oppstår og konsekvens
- Kunnskap om feilkarakteristikk (tilfeldig - aldringsutvikling)
- Kunnskap om vedlikeholdsopplegg (prosedyrer og sjekklister)
- Kunnskap om ressursbehov (personell og reservedeler) ved vedlikehold
- Kjennskap til sikkerhetsforskrifter og krav fra myndigheter
- Kjennskap til denne prosedyren og metoden for gjennomføringen
- Alle deltagere skal ha gjennomført en introduksjon i RCM-metodikk

Sammensetting av analysegruppe

I tillegg til fasilitatorer fra MainTech ble det satt sammen en analysegruppe som bestod av totalt tolv personer. Flere av disse var kun til stede under analysene av enheter som var relevant til deres arbeid og basert litt på hvor mye tid hver enkelt hadde til rådighet. Blant disse var det representanter både fra Seksjon Vedlikehold, kraftverksentreprenør samt stasjonsansvarlig. De fleste i denne gruppen kjenner driftskonteksten og historikken til kraftverket meget godt. Noen av gruppemedlemmene hadde erfaring fra enkelte RCM-analyser gjennomført tidligere, men de fleste hadde liten eller ingen erfaring med RCM i forkant av analysearbeidet.

Trening og opplæring

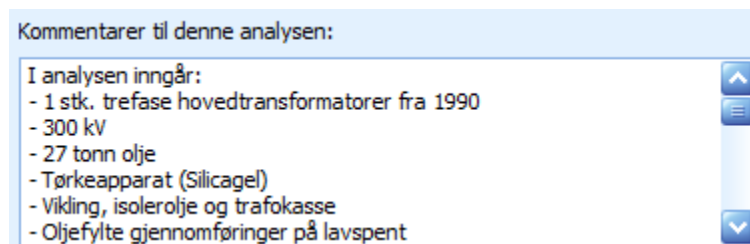
En kort introduksjon til RCM ble gitt i forkant av analysen.

1d – Definere systemet som skal analyseres

RCM-analysen tok utgangspunkt i BKK Ps anleggsstruktur i JobTech. Denne er basert på en standardisert kodeplan for vannkraftverk. Det ble gjort noen endringer i denne i forkant av analysen for at det skulle passe nivået til analysen bedre. Se figur 7 for eksempel.

Definering av grenser for analyse

Grensene for analyse på hver enhet ble definert av analysegruppen ved å liste opp hvilke komponenter som inngikk i analysen. Denne er dokumentert som en kommentar på hver analyserte enhet. Se figur 7 for ett eksempel.



Figur 7 – Definering av grenser for analysen. Hentet fra JobTechs RCM-modul.

Bestemme nivå for analyse

Nivået for analysen tar utgangspunkt i anleggsstrukturen i JobTech. Strukturen og nivået ble tilpasset i forkant og underveis i analysen for å passe til enheten som ble analysert. Se figur 8 for ett eksempel på inndeling.

414 Turbinregulator		
Mekanisk hydraulisk rusevern	414.001.060090	Ny
Servomotor	414.001.101	
Hydraulikkaggregat	414.001.210	
Akkumulator	414.001.211	
Hydraulisk styrepult	414.001.	Ny
Elektronisk regulator	414.001.500	
Styring og overvåking	414.001.900	

Figur 8 – Eksempel på systeminndeling og analysenivå. Hentet fra aktivitetsplan for RCM-analysen (MainTech, 2013b).

1e – Innhente informasjon

Analysegruppen fikk beskjed om å bringe med seg teknisk dokumentasjon, driftsdokumentasjon og annen relevant dokumentasjon til analysen. Dette ble tatt i bruk

under analysen hvis det oppstod tvil eller usikkerhet om faktiske forhold. Ved tvilstilfeller som ikke kunne avklares på stedet ble dette notert til senere oppfølging.

Deriblant ble det brukt BKKs driftslogg som dokumenterer uregelmessige hendelser og så videre. Teknisk dokumentasjon, feil- og vedlikeholdshistorikk eksisterer i stor grad i BKKs datasystemer. Den fagansvarlige for JobTech hadde ansvar for å ta i bruk dette under analysen. Dokumentasjon på reguleringer og myndighetskrav var derimot ikke til stede under analysen.

MainTech hadde på forhånd dokumentert alle enhetene som skulle analyseres med bilder som ble brukt under analysen. I tillegg tok RCM-fasilitator i bruk MainTechs database med RCM-analyser fra vannkraftindustrien.

Det ble ikke gjort tiltak på forhånd for å bearbeide informasjonen før analysen ble foretatt.

1f – Beskrive systemets driftskontekst

Driftskonteksten til kraftverket ble ikke formelt identifisert og beskrevet, men ble tatt i betraktning i løpet av analysen der hvor det var naturlig. Analysegruppens kompetanse og erfaring gjorde at dette ikke ble betraktet som spesielt nødvendig å identifisere driftskonteksten formelt.

3.4.2 Fase 2 – Funksjonsfeilanalyse

Fase 2 ble dokumentert i RCM-modulen (figur 9). Identifisering av funksjoner, funksjonsfeil og feilmodi ble basert på et kodesystem utviklet av SINTEF for Energi Norge. Feilårsak, altså årsaken til at feilmoden forekommer, ble også her identifisert etter det samme kodesystemet.

I utgangspunktet ble det foretatt én analyse per enhet. Det vil si at det ble registrert én funksjon, én funksjonsfeil og én feilmode per analyse. I tilfeller der det ikke ble oppfattet som tilfredsstillende ble det foretatt flere analyser på samme enhet eller at man gikk ned et analysenivå.

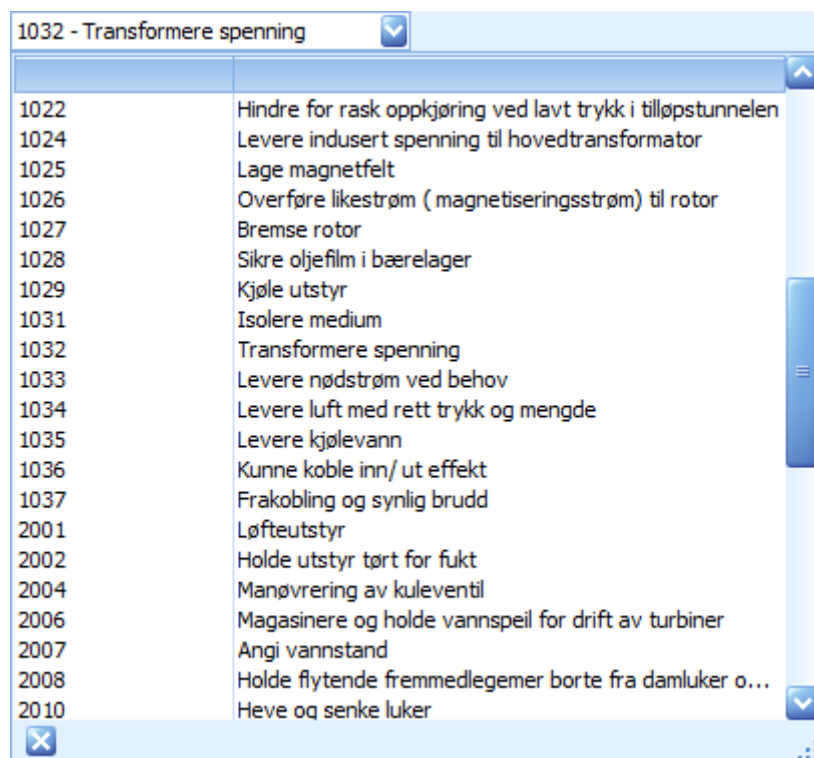
The screenshot shows a registration form for a functional failure analysis. The fields are as follows:

Funksjon:	1032 - Transformere spenning	Skjult funksjonsfeil:	Nei	Deteksjon:		Konsekvens av feilen:	- Stans av aggregat
Funksjonsfeil:	1000 - Totalt bortfall av funksjon	MTBF:	30 År	MDT:			
Feilmode:	3000 - Elektrisk feil	Nedetid gjelder for:	Produksjon...	Driftstid:			
Feilårsak:	4100 - Teknisk utstyr - Aldring	Levetidsforløp:	U - Uforutsigbar tid til økning i sviktintensitet				

Figur 9 – Vindu i ISY JobTech for registrering av funksjonsfeilanalyse. Hentet fra JobTechs RCM-modul.

2a – Identifisere funksjoner

Funksjonene ble identifisert blant en ferdig definert liste. Eksempel vises i figur 10.



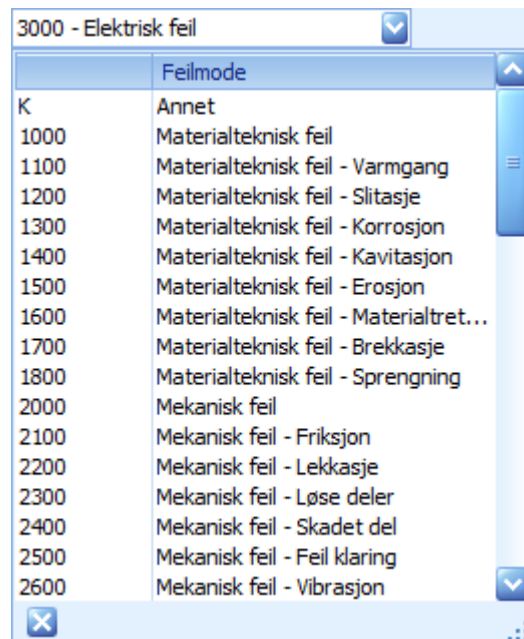
Figur 10 – Rullegardinmeny for identifisering av funksjon. Hentet fra JobTechs RCM-modul.

2b – Identifisere funksjonsfeil

Funksjonsfeil ble identifisert fra en ferdig definert liste. Her var "totalt bortfall av funksjon" det eneste mulige valget.

2c – Identifisere feilmodi

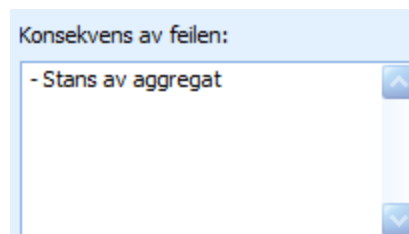
Feilmode ble identifisert fra en ferdig definert liste. Valgte feilmode representerer den som ansees som mest kritisk med hensyn til både sannsynlighet og konsekvens. Øvrige feilmodi blir kort beskrevet i kommentarfeltet for analysen (figur 11).



Figur 11 – Rullegardinmeny for identifisering av feilmode. Hentet fra JobTechs RCM-modul.

2d – Identifisere feileffekter

Feileffekten ble beskrevet med fritekst slik det fremkommer i ruten «konsekvens av feilen» i figur 12.



Figur 12 – Beskrivelse av feileffekt. Hentet fra JobTechs RCM-modul.

2e – Utføre kritikalitetsanalyse

Valg av risikokategorier og metode

For å kritikalitetsvurdere feilmodi ble det utarbeidet risikomatriser for de følgende kriteriene:

- Sikkerhet (personskade)
- Miljø og myndighetskrav (utslipp og brudd på krav)
- Tilgjengelighet (stans av produksjon)
- Kostnader (hvorvidt korrektivt vedlikehold er billigere eller dyrere enn forebyggende vedlikehold)

Figur 13 viser ett eksempel på risikomatrixene som ble brukt.

	Liten fare for personskade	Fare for personskade	Fare for død eller uførhet
Svært Sannsynlig (< 1 år)	2	4	5
Sannsynlig (1 - 10 år)	2	3	4
Mindre sannsynlig (11 - 25 år)	1	2	3
Lite sannsynlig (>26 år)	0	1	3

Figur 13 – Risikomatrixe for sikkerhet, RCM Dale kraftverk. Hentet fra JobTechs RCM-modul.

Kostnadsmatrisen er brukt for å vurdere hvorvidt en forebyggende vedlikeholdstype er mer kostnadseffektivt enn korrektivt vedlikehold i de tilfeller hvor risikoen i de øvrige kategoriene er tolererbare (se figur 14 for å se dette i beslutningstreet).

Definere tolererbar risiko

Matrisene og tilhørende toleransekrav ble utviklet av MainTech med innspill fra Seksjon Vedlikehold og BKKs Produksjonssentral.

3.4.3 Fase 3 - Vedlikeholdstype

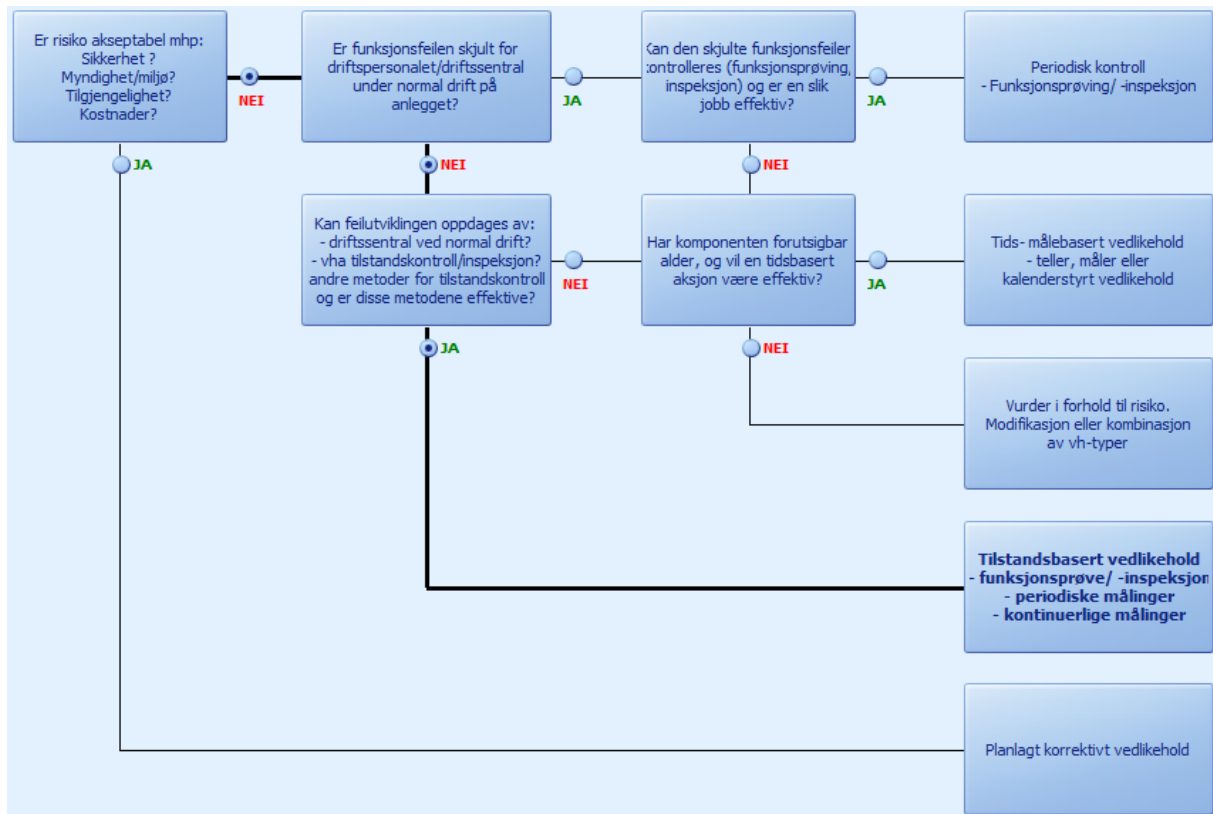
3a – Klassifisere konsekvens

Ble gjort som en integrert del av beslutningstreet for valg av vedlikeholdstype. Se neste steg.

3b – Beslutte vedlikeholdstype

For å beslutte vedlikeholdstype brukes et beslutningstre i RCM-modulen i JobTech (figur 14). Man kunne velge mellom følgende vedlikeholdstyper:

- Planlagt korrektivt vedlikehold
- Tilstandsbasert vedlikehold
- Modifikasjon eller kombinasjon av vedlikeholdstyper
- Tids- eller målebasert vedlikehold
- Periodisk kontroll



Figur 14 – Beslutningstre for valg av vedlikeholdstype, RCM Dale kraftverk. Hentet fra JobTechs RCM-modul.

Basert på beslutningstreet blir det videre opprettet en vedlikeholdsaktivitet i RCM-modulen. Her spesifiseres den konkrete aktiviteten nærmere (figur 15). I samme rute blir intervall (steg 3c) og øvrige detaljer for aktiviteten (steg 4a) også beskrevet. Øvrige feilmodi som har blitt beskrevet i kommentaren til analysen (steg 2c) får her besluttet en vedlikeholdstype hvis det vurderes som nødvendig.

Post [1 av 3]

Type:	Valgt fra beslutningstre
Vedlikeholdstype:	TK - Tilstandskontroll
Intervall:	1
Enhet:	År
Nedetid:	
Enhet:	
Avdeling:	520 - Kraftverksentreprenør
Omstendighet:	A1 - Aggregat nr. 1 står
Beskrivelse av tiltaket:	

- Visuell inspeksjon
 - Skifte silicagel (hyppigere ved behov)

Figur 15 – Beskrivelse av spesifikk vedlikeholdsaktivitet. Hentet fra JobTechs RCM-modul.

3c – Beslutte vedlikeholdsintervaller

Anbefalte intervall var basert på analysegruppens kvalitative vurdering. I enkelte tilfeller ble feilhistorikk i JobTech undersøkt for å finne ut omtrentlig hvor lenge enheter hadde vært i drift, når den hadde feilet og så videre.

3.4.4 Fase 4 – Bruk

Denne fasen er, på tidspunktet hvor denne masteroppgaven blir skrevet, ikke ferdig gjennomført. Følgende beskrivelser gir derfor kun et inntrykk av hvordan det vil foregå.

4a – Rasjonalisere vedlikeholdsprogram

Jobbpakking skal bli gjort i samarbeid mellom RCM-fasilitator fra MainTech samt fagansvarlig JobTech og vedlikeholdsplanlegger fra BKK P. Anbefalt og eksisterende vedlikeholdsprogram vil bli sammenlignet og man vil prøve å tilpasse intervaller slik at det anbefalte vedlikeholdsprogrammet passer inn i de forhåndsdefinerte intervallene til BKK.

4b – Implementere vedlikeholdsprogram

Det legges opp til at det anbefalte vedlikeholdsprogrammet skal fullstendig erstatte det eksisterende vedlikeholdsprogrammet.

4c – Kontinuerlig forbedre vedlikeholdsprogram

Det foreligger uformaliserte planer om å foreta revisjoner av RCM-analysen med jevne mellomrom. Revisjon blir også aktuelt hvis det forekommer endringer i driftssituasjonen eller erfaringene i etterkant av implementeringen tilsier at analysen bør revideres.

3.4.5 Erfaringer fra BKK Produksjon

Etter samtaler med åtte av deltakerne fra analysegruppen for Dale kraftverk (BKK P, 2014) kommer følgende funn frem:

- Det er en generell tilfredshet med gjennomføringen av analysen.
- Bilder av komponentene i anlegget, gode ledende spørsmål fra fasilitatorene og evne til å skape gode diskusjoner til riktig tid trekkes frem som positive faktorer.
- Analysegruppen som ble brukt blir ansett for å være en meget komplett gruppe med mye erfaring og kunnskap om anlegget.

- Ga et godt forum for diskusjon rundt problemer og erfaringer for det gitte anlegget.
- Ingen følte at analysen førte til store omveltninger i tankesett eller vedlikeholdstiltak, derimot mer som en bekreftelse på at BKK P allerede har et rimelig fornuftig vedlikeholdsprogram. Om noe, så var inntrykket at noen av intervallene kunne økes.
- Det er knyttet en viss spenning opp mot resultatene i den kommende sluttrapporten fra MainTech. Spesielt gjelder dette de intervallene som ble forlenget.
- Et viktig resultat er at man får dokumentert en systematisk gjennomgang av kritiske komponenter og valg av vedlikeholdstiltak.
- Det nevnes at analysen kunne vært grundigere på kritiske komponenter og det har i etterkant vært diskutert om man senere skal gå mer i dybden på kritiske komponenter slik som kontrollanlegg og turbinregulator.
- De fleste gruppedeltakerne ser RCM-analysen i sammenheng med den pågående opprydningen av vedlikeholdsprogram og arbeidsordrene som har foregått den siste tiden.

3.4.6 utfordringer med RCM-prosessen ved Dale kraftverk

Følgende utfordringer er observert relatert til prosessen gjennomført på Dale kraftverk:

- Driftskontekst ble i liten grad behandlet i analysen. Den ble trukket inn i noen tilfeller gjennom erfaringer fra analysegruppen, men ble ikke formelt beskrevet slik den bør være.
- Informasjon fra HAZOP-analyser, feilhistorikk og lignende ble i liten grad forberedt for brukt til analysen.
- En mer systematisk tilnærming til identifisering av mulige feilmodi, feileffekter osv. hadde vært fordelaktig.
- Analysen legger opp til fullstendig analyse på bare én funksjon, én funksjonsfeil og én feilmode per enhet. Dette gjør at man ikke identifiserer og dokumenterer alle sannsynlige feilmodi i god nok grad. Dette forbedret seg utover i analysen ved at det ble foretatt flere analyser på samme enhet eller gått ned et analysenivå.

- Feilmodi og tilhørende feilårsak/feilmekanisme ble ikke beskrevet i tilfredsstillende grad.
- Bruk av levetidsdata til eksempelvis sannsynlighetsvurdering og optimalisering av intervaller var begrenset, noe som kan gi et upresist analyseresultat.
- Beslutningstreet for valg av vedlikeholdstype fremstår som litt uoversiktlig, noe som gjør det vanskelig å spore bakgrunnen for beslutningene i dokumentasjonen i etterkant.
- I beskrivelsen av den konkrete vedlikeholdsaktiviteten ble det i noen tilfeller blandet inn elementer av andre typer vedlikehold. For eksempel så ble det under en aktivitet for periodisk tilstandskontroll beskrevet en aktivitet som man vil karakterisere som en periodisk utskiftning (se figur 15).
- I samme tilfelle ble det noen ganger skrevet «hyppigere ved behov» som en kommentar til valgt intervall for en periodisk vedlikeholdstype (se figur 15). Dette kan føre til at oppdatering av intervallene i vedlikeholdsprogrammet i løpet av driftsfasen blir oversett og at man videre ender opp med “uformelle” vedlikeholdsintervaller.
- Bestemmelse av vedlikeholdsintervall manglet en systematisk tilnærming. Man kan dog argumentere for at dette faller utenfor RCM-analysens formål.
- Besluttede vedlikeholdsintervall ble muligens blitt påvirket av tankegangen om at alle tiltak skal passe inn i de intervallene som er forhåndsdefinert i BKK Ps kravdokumenter.
- Det ble noen ganger brukt beskrivelser slik som «fiks ved behov» for en valgt tilstandsbasert vedlikeholdstype. Dette kan føre til at utførte vedlikeholdsaktiviteter ikke blir registrert som bestilt og utført i JobTech og bør unngås.
- Det stilles spørsmål om anleggsstrukturen til BKK er det mest hensiktsmessige utgangspunktet for RCM-analyse. Blant annet er det i noen tilfeller behov for å analysere på et lavere nivå en strukturen tillater. Noen ganger er vidt forskjellige enheter inkludert i samme mappe. I tillegg fører dette til at enheter slik som “styring og overvåking” blir analysert separat selv om det muligens kan være mest hensiktsmessig å analysere sammen med det systemet som styres og overvåkes.

- Stasjonsansvarlige, og andre, foretar en mengde uformelle vedlikeholdsrelaterte aktiviteter som regnes som “normale aktiviteter” og ikke er dokumentert og heller ikke ble adressert i analysen. Dette kan gjøre det vanskelig å få god og korrekt informasjon for analysebruk.

3.5 Planer for fremtidig bruk av RCM

Det er planlagt at det skal foretas en RCM-analyse på kraftverket Matre M i løpet av høsten 2014. Samtidig er det også uttalt at det vurderes om det også skal foretas grundigere RCM-analyser på de mest kritiske systemene i et kraftverk samt om man også skal foreta en analyse på et småkraftverk.

I løpet av 2016 skal et nytt kraftverk igangsettes hos BKK P. Det er planlagt at nye anlegg skal ha etablert vedlikeholdsplan i JobTech før oppstart (BKK P, 2014). I følge BKK P vil vedlikeholdsplanen for dette kraftverket mest sannsynlig baseres på lokal tilpasning av de tidligere nevnte kravdokumentene. På bakgrunn av dette er det ennå usikkert om en RCM-analyse på det nye kraftverket vil bli foretatt.

3.6 Resultater

Som det fremkommer i dette kapittelet så ønsker BKK P en systematisk prosess for utvikling av vedlikeholdsprogram samtidig som at vedlikeholdsprogrammet skal være analysebasert og sporbart. I tillegg ønskes det en halvering av tidsforbruket for rutinekontroller. Som det fremkommer i kapittel 2 så er RCM en omfattende prosess som potensielt kan håndtere disse ønskene.

Imidlertid så er det en rekke forhold må tas i betraktning for å utvikle et RCM-konsept som er tilpasset BKK P:

- RCM-prosessen har blitt opplevd som for tidkrevende og detaljert til å bli vurdert som kostnadsnyttig. Tidligere forsøk på å bruke RCM har ikke ført til at metoden har blitt tatt i bruk.
- Det er begrenset med formell kompetanse om RCM og øvrige vedlikeholdsanalyser i organisasjonen.
- Det finnes erfaringer og informasjon i form av HAZOP-analyser, feilhistorikk og lignende som er lite brukt i sammenheng med vedlikeholdsprogram.

- Uformelle vedlikeholdsrelaterte aktiviteter, som regnes som “normale aktiviteter”, gjør at man har en udokumentert side av vedlikeholdet.
- Det ønskes grundigere analyser av enkelte kritiske komponenter

I tillegg må man ta erfaringene fra RCM-analysen på Dale kraftverk til etterretning. Disse peker på at de viktigste resultatene fra RCM-analysen så langt har vært:

- Skaper forum for diskusjoner rundt vedlikehold.
- Man får ønsket vedlikeholdsdokumentasjon i JobTech.
- Systematisk gjennomgang av utstyr gir læring i organisasjonen.
- Bekreftelse på at det allerede er et fornuftig vedlikehold
- Noen vedlikeholdsintervaller kan forlenges.

Blant disse resultatene blir ikke endring av vedlikeholdsaktiviteter (nye eller fjerning av gamle) nevnt. Tvert i mot er erfaringen at det eksisterende vedlikeholdet er bekreftet som godt. Dette bør også tas i betraktning ved utvikling av RCM-konsept for BKK P.

I tillegg tilkommer de utfordringene som er identifisert for RCM-prosessen som ble benyttet på Dale kraftverk. Disse er nevnt i kapittel 3.4.6.

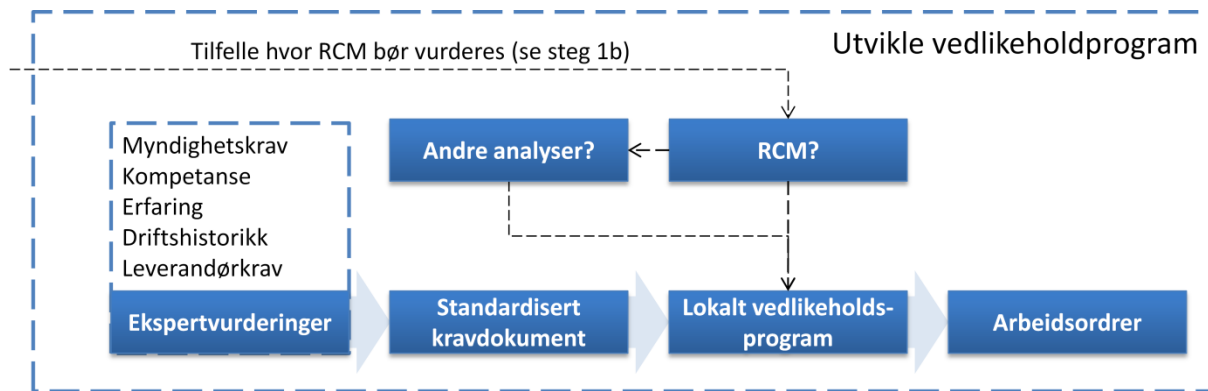
4 RCM-konsept for BKK Produksjon

I dette kapittelet er det foreslått et RCM-konsept som er forsøkt tilpasset BKK Ps situasjon og behov slik det er beskrevet i kapittel 3. Dette er gjort ved først å beskrive hvordan RCM foreslås brukt i vedlikeholdsstyringen. Deretter er foreslått RCM-prosess for bruk på kraftverkene til BKK P beskrevet steg for steg. Videre er det beskrevet en test av foreløpig konsept som ble gjort på Fossmark kraftverk. Til sist i kapittelet er det også en diskusjon som drøfter hvordan det foreslåtte RCM-konseptet møter behovene til BKK P.

4.1 Foreslått rolle i BKK Produksjons vedlikeholdsstyring

Foreslått arbeidsprosess for utvikling av vedlikeholdsprogram er basert på det nåværende, men med noen endringer. Det foreslås at det vanlige vedlikeholdet, som oppfattes som godt nok i de fleste tilfeller, fortsatt skal baseres på lokal tilpassing av det standardiserte kravdokumentet, men at RCM får en støttende rolle.

Det foreslås at RCM-prosessen kun tas i bruk ved tilfeller hvor det vurderes at man behøver et bedre tilpasset vedlikehold enn det man får gjennom bruk av kravdokumentene. Dette betyr at man i spesielle tilfeller som angår konkrete kraftverk eller systemer skal gjøre en behovsvurdering som fastslår om man skal utføre en vedlikeholdsanalyse og hvilken vedlikeholdsanalyse som skal brukes. Med spesielle tilfeller menes hendelser, utilfredsstillende forhold eller lignende, eksempelvis en ulykke, dårlig pålitelighet eller høy vedlikeholdskostnad. Avhengig av alvorlighetsgraden til tilfellet og hvilket behov bør RCM og eventuelle andre analysemetoder vurderes. Resultatene fra en eventuell RCM-analyse vil bli implementert direkte i vedlikeholdet for det kraftverket eller systemet det gjelder istedenfor at RCM blir brukt som et innspill til et generelt kravdokument. Hvordan vurderingen skal foregå diskuteres nærmere i kapittel 4.2.1. Se figur 16 for en illustrasjon over prosessen.



Figur 16 – Foreslått prosess for utvikling av vedlikeholdsprogram hos BKK P.

4.2 RCM-prosess for BKK

Kjernen i det foreslåtte konseptet er bruk av generiske FMEA i fase 2 av prosessen. Dette er både på grunn av hensyn til tid- og ressursbruk, men også fordi at det er meningsløst å identifisere samme informasjon på nytt for hver analyse. Det er ikke redegjort for FMEA i denne masteroppgaven da den regnes som velkjent innen vedlikeholdsteorien. For utvidet innsikt i FMEA refereres det til standarden IEC 60812 (NEK, 2006). Rausand og Vatn (2008) mener at man kan bruke generiske RCM-maler som tilpasses på hvert lignende system. I deres beskrivelser omtales systemer som teknisk sett er så godt som identiske, noe kraftverk ikke er, men det kan likevel hevdes at karakteristikken til vannkraftverk er slik at en viss grad av generiske maler kan benyttes. Dette begrunnes med:

- Kraftanlegg som teknisk sett er relativt like gjør at man kan kategorisere hovedsystemene i et kraftverk i ulike klasser som FMEA-ene kan baseres på.
- Lite teknologisk innovasjon og systemer med lang levetid gjør at man kan utvikle generiske FMEA-er over lang tid.
- Godt etablerte og fungerende vedlikeholdsprogrammer gjør at man allerede mest sannsynlig har en solid base med FMEA-relatert informasjon som kan benyttes.
- Alle de overnevnte egenskapene gjør også at sannsynligheten for å overse kritiske feilmodi regnes som liten.

For å gjennomføre dette foreslås det at det lages en sentral database med feilmoder for de ulike "klassene" av kraftverkskomponenter som gradvis utvikles etter hvert som flere og flere analyser blir gjennomført. Denne kan baseres på et FMEA-lignende arbeidsark (se figur 17 for et utsnitt av et slikt arbeidark).

Det antas at det finnes et begrenset antall sannsynlige feilmodi som ikke endrer seg vesentlig over tid. Derfor foreslås det i tillegg at det innføres et nummereringssystem for registrering av feilmodi som brukes i de generiske FMEA-ene og til både feilregistrering og vedlikeholdsanalyse (figur 17). Nummereringssystemet kan baseres på nummereringen som blir brukt i eksempler i SAE JA1012 (SAE International, 2011), Moubray (1997) og Cheng et. al. (2008). Om mulig kan man benytte kodesystemet for funksjon, funksjonsfeil, feilmodi og feilårsaker som SINTEFs har utviklet for innsamling av driftsrelatert informasjon (Eggen og Heggset, 1999).

I grove trekk vil det fungere slik at hovedsystemene og undersystemene i hvert kraftverksanlegg plasseres i generiske utstyrsklasser. Hver klasse må videre deles inn i systemer og delsystemer til et passende analysenivå. For hver enhet på analysenivået identifiseres og nummereres funksjoner, funksjonsfeil og feilmodi (se figur 17).

Funksjon	Funksjonsfeil	Feilmode
1 Generere oljetrykk på xx bar	B Oljetrykk for lavt	4 Defekt motor i oljepumpe

Figur 17 – Eksempel på koding av funksjon, funksjonsfeil og feilmode

Utstyrsklassene og inndelingen videre nedover i nivåene bør nummereres slik at man sammen med nummeret vist i figur 17 får en nummerering av hver unike feilmode. Nummereringen vil for eksempel kunne bli [kraftverknnummer – hovedsystemnummer – undersystemnummer - 1B4]. Når dette systemet er på plass vil man ved analyse på en enhet ta utgangspunkt i feilmodedatabasen og ved hjelp av utstyrsklassene sette sammen en FMEA for analyseenheten og videre utfører lokale tilpasninger.

De to overnevnte forslagene vil kreve arbeid som går utenfor omfanget til denne masteroppgaven og vil derfor ikke bli i diskutert i detalj. Den anbefalte RCM-prosessen er basert på at et slikt system er på plass, men er ikke avhengig av det.

Resten av kapittelet beskriver anbefalt RCM-prosess for BKK P og det er tatt utgangspunkt i prosessen som er presentert i kapittel 2.7. Der hvor det er tatt i bruk andre kilder er dette referert i teksten.

I denne prosessen må det tas spesielle hensyn til enkelte typer enheter underveis. Der det er aktuelt vil dette fremkomme av teksten Enhetene det gjelder er følgende:

- Ventiler, brytere og lignende
 - Enheter som kan feile i forskjellige posisjoner (åpen, lukket osv.)
- Beskyttende funksjoner
 - Alarmer, varselys og indikatorer som varsler operatør
 - Kun alarmer og målere som skal utløse en skadebegrensende manuell prosedyre hos operatør.
 - Automatiske sikkerhetssystemer (sikkerhetsinstrumenterte systemer, strømsikringer, forrigling, avlastningssystemer, sprinkelsystemer osv.)
 - Forebyggende systemer (skilting, fysiske sperringer osv. som skal forebygge menneskelige feil.)
- Redundante enheter
 - Aktiv redundans (ekstra enheter som driftes parallelt men som kan oppfylle påkrevd ytelse selv om funksjonsfeil inntreffer i en eller flere av enhetene)
 - Passiv redundans (ekstra enheter som står i stand-by-modus og igangsettes automatisk hvis funksjonsfeil inntreffer i «hovedenheten»)

4.2.1 Fase 1 – Forberedelse

1a – Definere rammeverk for analyse

Følgende generelle retningslinjer og antagelser skal være dokumentert og godkjent av ledelsen i forkant av RCM-prosessen. I hvert steg i prosessen vil det også bli spesifisert øvrige retningslinjer og antagelser der hvor disse behøves. Disse skal også foreligge før en RCM-analyse igangsettes. Det anbefales at det samme rammeverket gjelder for alle RCM-prosesser som blir gjennomført hos BKK P.

RCM-prosedyre

Det skal utarbeides en beskrivelse av hvordan gjennomføringen av RCM-prosessen skal gjøres.



Normale driftsforhold

Det skal fastslås hva som regnes som normale driftsforhold. Følgende foreslås:

Produksjonssentralen regnes som operatører av kraftverket. Normale driftsforhold er når kraftverket fjernstyres fra produksjonssentral og det er ingen personer til stede i, eller i nær tilknytning til, kraftverket. Man må likevel anta at det kan befinne seg mennesker på områder som er åpne for offentligheten, for eksempel området nedstrøms dam eller utenfor kraftverksstasjon.

Merknad: For å ta høyde for at mennesker kan være i områder med potensiell risiko kan man beregne en verdi for gjennomsnittlig menneskelig eksponeringstid per år som kan brukes når det identifiseres feileffekter og risiko.

Følgende driftsforhold er regnet som normale:

- Stanset og “klar for start”
- I oppstartsprosedyre
- Stabil drift
- I stansprosedyre

Beregning av nedetidskostnad

Ved driftsstans beregner man ingen nedetidskostnad til eventuelt magasin er fylt opp. For å regne ut hvor lang tid det tar brukes:

$$\frac{\text{årlig gjennomsnittlig restkapasitet i magasin}}{\text{årlig gjennomsnittlig tilsig}}$$

Ved driftsstans utover dette beregnes nedetidskostnad som:

$$\text{Nedetid} \times \frac{\text{årlig gjennomsnittsproduksjon} \times \text{gjennomsnittlig strømpris}}{\text{total tid i et år}}$$

I hvert tilfelle må det også tas hensyn om nedetidskostnaden blir større eller mindre på grunn av for eksempel flere aggregat i kraftverket eller at nedetid påvirker andre kraftverk i vassdraget.

Beregning av arbeidstidskostnad

Arbeidstidskostnad settes lik en gjennomsnittlig kostnad per arbeidstime for kraftverksentreprenør.

Beregning av reparasjonskostnad

En liste over omtrentlig utskiftning- eller overhalingskostnad (uten arbeidstid) skal utarbeides i forkant av hver analyse. Listen skal angi kostnaden på komponenter i enheten som analyseres. Denne baseres på kvalitative vurderinger gjort i samarbeid med relevante personer innad i BKK eller hos leverandører.

Menneskelige feil

Vil ikke bli håndtert i analysen. For å analysere menneskelige feil anbefales det bruk av separate analyser. Sannsynlige feilmodi som skyldes menneskelige feil skal likevel identifiseres og dokumenteres for å få et realistisk risikobilde.

Ansvar og roller

Det skal avklares hvem som har ansvar for forberedelse, gjennomføring, godkjenning, implementering og revurdering av RCM-prosessen.

Antagelser for prosessen

Som forutsetninger for RCM-prosessen skal følgende antagelser gjelde:

- Det antas at det i utgangspunktet ikke gjøres noe som helst for å forutse, oppdage eller forebygge feil på enheten som analyseres. Dette inkluderer tilsynsrunder i kraftstasjonen og eventuelle andre "daglige" gjøremål som blir foretatt av stasjonsansvarlig eller andre.
- Det antas at BKK P ikke har reservedeler på lager. Reservedelsbehov vil bli vurdert i sammenheng med valg av vedlikeholdstype og intervall i steg 3b og 3c.

1b – Initiere og planlegge analyse

Vurdering av behov

Før man igangsetter en RCM-analyse skal det vurderes om det finnes et reelt behov. Behovet skal vurderes i minimum disse tilfellene:

- Design eller idriftsetting av nytt kraftverk.
- Modifikasjon på kraftverk.

- Endring av driftskontekst.
- Ny eller ukjent teknologi tas i bruk.
- Utilfredsstillende pålitelighet.
- Utilfredsstillende kostnadsnivå.
- Uønskede hendelser.

I de overnevnte tilfellene skal det opprettes en prosjektgruppe som skal vurdere behovet. Gruppen skal bestå av minimum en person med kompetanse på RCM samt en person med relevant fagteknisk ingeniørkompetanse.

Det tas i bruk en tilpasset versjon av Eelman og Zaals (2013) tabell for vurdering av behov for RCM. Ved en poengsum høyere enn 28 skal det gjennomføres RCM. Ved lavere poengsummer skal eventuelle andre analyser eller tiltak vurderes. Tabellen kan sees i figur 18. Man må være observant på at høy HMS-risiko bør være tungtveiende i en behovsvurdering (Eelman og Zaal, 2013). I tillegg skal det vektlegges at hvis det er økonomiske motiver bak behovet så skal RCM kun gjennomføres hvis man er sikker på at det er kostnadseffektivt i et levetidsperspektiv for det gjeldende kraftverket.

Kriteria	Utdypning	1	2	3	4	Total
		1 = lav, 4 = høy				
Kraftverkets viktighet	Risikonivå for oppfyllelse av BKK Ps målsetninger hvis kraftverket ikke er tilgjengelig for produksjon.					
Risiko HMS	Faremomenter som innebærer ved drift og vedlikehold av kraftverket for ansatte, mennesker i samfunnet rundt og					
Risiko økonomi	Risikonivå for økonomiske tap på grunn av korrektivt vedlikehold, omdømme, bøter og så videre.					
Vedlikeholdsbudsjett	Årlig forventet vedlikeholdsbudsjett.					
Teknisk kompleksitet	Kompleksiteten til den tekniske oppbygningen av kraftverket.					
Vedlikeholdsmessig kompleksitet	Kompleksiteten til vedlikeholdsaktivitetene på kraftverket.					
Involvering av tredjeparter	Avhengigheten mellom organisasjonen og eventuelle tredjeparter.					
Gjenværende levetid	Den forventede gjenværende levetiden av kraftverket.					
Lover og reguleringer	Forpliktelser satt av lovgivningen.					

Figur 18 – Tabell for vurdering av behov for RCM. Tilpasset fra Eelman og Zaal (2013).

Hvis det blir besluttet å gjennomføre en RCM-prosess skal prosjektgruppen håndtere de videre forberedelsene av prosessen.

Prioritering av enheter

Det skal fokuseres på de enhetene i kraftverket som vurderes som problemområder eller bidragsyttere til de forholdene som har utløst behov for analyse. Til dette bør man ved konkrete hendelser ta i bruk rotårsaksanalyser. Hvis det eksisterer feilhistorikk anbefales det å visualisere pålitelighetsdata fra denne i for eksempel paretdiagram. I tillegg kan for eksempel eksisterende HAZOP-analyser brukes som innspill i HMS-relaterte situasjoner. For tilfeller hvor det ikke finnes data eller øvrige analyser å støtte seg på skal man gjøre en konservativ kvalitativ vurdering.

Målsetning for analysen

En konkret og målbar målsetning for analysen skal utarbeides og dokumenteres. Denne kan for eksempel relateres til mulige designforbedringer, pålitelighetsøkning, reduksjon av kostnad, sikkerhetsforbedring, kvalitet, læring eller andre relevante målsetninger.

Estimere ressursbruk

Det skal også utarbeides en oversikt over ressursbruk som kreves for å gjennomføre analysen. Dette innebærer minimum:

- Tidsplan over analysen
- Oversikt over behov for mannskap og andre ressurser
- Kostnadsvurdering for gjennomføring av analyse

Beslutning

Basert på målsetning og kostnadsvurdering for analysen skal den som har beslutningsansvar bestemme om analysen skal gjennomføres.

1c – Etablere analysegruppe

Deltakere

Analysegruppen skal minimum bestå av følgende

- RCM-fasilitator.
- Fagansvarlig for aktuell fagretning.
- Ansvarlig for vedlikeholdsanalyse og vedlikeholdsmetodikk.
- Stasjonsansvarlig for aktuelle kraftstasjon.
- Representant for aktuell fagretning hos kraftverksentreprenør.

Utover dette anbefales det at størrelsen på analysegruppen holdes på et relativt lavt nivå for å sikre at prosessen blir effektiv. Det anbefales også at det rulleres på hvilke deltakere som er med for å sikre at læringsutbyttet blir fordelt jevnt utover i organisasjonen.

Opplæring og trening

Gruppen skal ha kunnskap om:

- RCM-prosessen.
- Detalj-kunnskap om analyseenhetene.
- Enhetens driftskontekst.
- Tilstanden til analyseenhetene.
- Feilmodi og deres effekt.
- Gjeldende lover, reguleringer og myndighetskrav.
- Vedlikeholdsteknikker og verktøy.
- Kostnadsaspekter i konstruksjon, drift og vedlikehold av vannkraftverk.

Hvis dette ikke tilfredsstilles må man sikre nødvendig opplæring. I tillegg skal deltakerne i analysegruppen ha gjennomgått grunnleggende kursing i vedlikeholdsteori og bruk av RCM før analysen igangsettes. Det skal også forsikres om at RCM-fasilitator har tilstrekkelig kompetanse og erfaring til å lede analysen på en god og effektiv måte. Samtidig må man også sikre at analysegruppen har kunnskap og forståelse for BKK Ps strategi, mål og krav samt myndighetskrav som påvirker BKK P.

1d – Definere systemet som skal analyseres

Bestemme nivå for analyse

Optimalt nivå for analyse varierer etter kompleksiteten til enheten og hva målsetningen for analysen er. Utgangspunktet er at man skal foreta analyse på nivået under hovedsystemene i kraftverket og at man øker detaljnivået på de enhetene hvor det er nødvendig. Hovedsystemene regnes her for å være det øverste nivået i EBLs kodeplan (turbin, generator, kjølesystem, hovedstengeorgan, dam osv.). Øvrig inndeling i lavere kan ta utgangspunkt i EBLs kodeplan, men bør ikke begrenses av den. Et mer detaljert nivå vil være for eksempel være nødvendig på komplekse enheter slik som turbinregulator, kontrollanlegg og generator. Nivået skal være slik at man ender opp med et håndterlig antall feilmodi. Moubray (1997) anslår at dette antallet bør være

mellom 6-10 rimelig sannsynlige feilmodi per funksjon. Samtidig bør nivået være slik at man ser en klar sammenheng mellom identifisert feilmode og korresponderende funksjon. Se steg 2a og 2c for nærmere beskrivelse av identifisering av funksjoner og feilmodi. Ved bruk av generiske FMEA vil nivået være definert på forhånd, men skal like vel vurderes. Ved endringer på nivå må man sørge for at den generiske FMEA-databasen også endres tilsvarende.

Definering av grenser for analyse

Det skal defineres og dokumenteres hvilke enheter som skal inngå i analysen. Dette gjøres ved å liste opp hvilke komponenter som inngår i den enheten som analyseres, hvilke input og output som finnes for enheten og definere hvor grenseflatene mot andre enheter er. Man må være oppmerksom på at ingen "grensekomponenter" utilsiktet faller utenfor analyse. Man inkluderer det som virker hensiktsmessig uavhengig av kraftverksstrukturen i JobTech. Sikkerhetssystemer, alarmer og lignende beskyttende systemer skal fortrinnsvis inkluderes i de enhetene de er konstruert for å beskytte.

1e - Innhente informasjon

Teknisk dokumentasjon

All teknisk informasjon for enheten som skal analyseres bør være lett tilgjengelig for å kunne støtte analysegruppen der hvor kunnskapen mangler. Det er sterkt fordelaktig om denne på forhånd er tilgjengelig og lett søkbar, for eksempel i datasystemet. Hvis informasjon ikke eksisterer skal man ikke produsere ny hvis det ikke er antatt at det vil føre til drastisk forbedring av analysen. Teknisk dokumentasjon kan for øvrig være nødvendig for å bestemme nivå og grenser for analyse i steg 1f.

Driftshistorikk

Driftshistorikk for enheten som skal analyseres skal innhentes og bearbeides på forhånd. Dette inkluderer alle registrerte feil som har inntruffet og alle registrerte korrigerende feiljobber som er utført på systemet. Spesielt fokus skal rettes mot å avdekke funksjonsfeil, feilmodi og feileffekter og relatert informasjon. For hver identifiserte hendelse bør det, om det finnes tilstrekkelige data, uthentes og bearbeides data som kan brukes i analysen. Dette inkluderer nedetider, kostnader, tid, dato og så videre. Driftshistorikk for identiske eller lignende kraftverk skal også brukes om dette er tilgjengelig.

Eksisterende vedlikeholdsprogram

Eksisterende vedlikeholdsprogram for enheten som skal analyseres skal gjennomgås for å identifisere mulige feilmodi, korresponderende vedlikeholdstype og intervall. Alt "uformelt" vedlikehold må også dokumenteres og gjennomgås på samme måte. Dette brukes, i likhet med driftshistorikken, som innspill i analysen. Informasjonen fra eksisterende vedlikeholdsprogram må utarbeides og presenteres på en slik måte at nåsituasjonen ikke påvirker analysen. Eksisterende vedlikeholdsprogram for identiske eller lignende kraftverk skal også brukes om dette er tilgjengelig.

Lover og myndighetskrav

Aktuelle lover og myndighetskrav skal være lett tilgjengelig under analysen og brukes der det er nødvendig. Det anbefales at en av analysegruppedeltakerne har god oversikt over disse.

Annen informasjon

Om det finnes informasjon om bruksprofil, HAZOP-analyser, ulykkesrapporter, kostnadsvurderinger og så videre skal dette også gjøres tilgjengelig for RCM-analysen. I tillegg bør også informasjon fra eksterne (pålitelighetsdatabaser, andre selskaper e.l.) innhentes hvis mulig. På forhånd skal det også undersøkes om produsent eller leverandør har informasjon og data utover det man besitter internt i organisasjonen.

1f - Beskrive systemets driftskontekst

Driftskonteksten for enhetene som skal analyseres skal dokumenteres. I tillegg skal man også dokumentere driftskonteksten til det tilhørende kraftverket. Det anbefales at dette gjøres i separate beskrivelser og at det utføres før analysen igangsettes. Beskrivelsene av driftskonteksten skal også gjennomgås av analysegruppen før analysen gjennomføres. Minimum følgende skal dokumenteres:

- Typisk bruksmønster for enheten/kraftverket.
- Tilgjengelighet til enheten/kraftverket for vedlikeholdspersonell.
- Kritikaliteten til enheten og kraftverket sett i sammenheng med ledningsnett, andre kraftverk, vassdrag og så videre.
- Miljøet systemet driftes i. Dette inkluderer for eksempel klima og vannkvalitet.
- Eventuell magasinkapasitet og påvirkning dette har.

- Hvorvidt det kraftverket har innebygget aktiv eller passiv redundans. For eksempel flere aggregat som kan produsere uavhengig av hverandre.
- Konesjonskrav.
- Andre spesielle forhold. For eksempel naturvernsbestemmelser.

4.2.2 Fase 2 – Funksjonsfeilanalyse

Denne fasen baserer seg på systemet for generiske FMEA som ble beskrevet tidligere i kapittelet. I praksis vil man i denne fasen utføre følgende punkter:

- Identifisere hvilke utstyrsklasser som inngår i analysen.
- Sette sammen generisk FMEA for analyseheten, hvis dette eksisterer i FMEA-databasen.
- Gjennomføre lokal tilpassing av funksjoner, funksjonsfeil og feilmodi basert på driftskontekst.
- Identifisere mulige nye funksjoner, funksjonsfeil og feilmodi.
- Identifisere feileffekt.
- Utføre kritikalitetsanalyse.



De følgende stegene representerer derfor de grunnleggende kravene for denne fasen. Ved bruk av generiske FMEA-er må man tilse at disse overholdes. Stegene brukes også både ved analyse av enheter hvor det ikke eksisterer generiske FMEA samt ved identifisering av eventuelle nye funksjoner, funksjonsfeil og feilmodi som legges til den generiske FMEA-en.

2a – Identifisere funksjoner

For hver enhet på det gitte analysenivået skal funksjonene identifiseres og dokumenteres med en beskrivelse bestående av minimum et verb og et objekt. Beskrivelsen skal være på en slik måte at funksjonene kommer tydelig frem. Samtidig skal påkrevd ytelse for funksjonen også beskrives der dette er mulig, fortrinnsvis i kvantifisert form. I den generiske FMEA-en vil ytelseskravet være uspesifisert for så å bli spesifisert i den lokale analysen.

Alle primær- og sekundærfunksjonene til hver enhet skal beskrives. Primærfunksjonene er de funksjonene som utgjør hovedgrunnen til at utstyret eller systemet er der. Sekundærfunksjoner vil typisk bestå av oppbevaring av væsker, strukturell integritet eller beskyttende funksjoner slik som alarmer og sikkerhetssystemer.

Eksempel på funksjonsbeskrivelser:

- Generere oljetrykk på mellom 40 og 52 bar.
- Stenge vanntilførsel hvis trykk i tank overstiger 10 bar.

Hvis det identifiseres funksjoner som ikke er inkludert og nummerert i den generiske FMEA-databasen skal disse få nummerkode "NY" inntil den blir nummerert og lagt til i den generiske FMEA-databasen.

Spesielle hensyn

For beskyttende funksjoner skal det defineres hva som vil aktivere eller påkrevne aktivering av funksjonen. Eksempelvis kan en beskyttende funksjon skrives som «sende stoppsignal til kontrollanlegg hvis vibrasjonsforskyvning overgår 0,5 mm».

Hvis en enhet har redundans på det systemnivået hvor funksjonen identifiseres bør dette markeres. Her må det skilles mellom enheter med aktiv og passiv redundans siden hovedenheten og stand-by-enheten vil ha forskjellig funksjon i passiv redundans.

2b – Identifisere funksjonsfeil

For hver identifiserte funksjon skal det identifiseres og dokumenteres de funksjonsfeilene som sannsynligvis kan forekomme. Her må man huske antagelsen om at det i utgangspunktet ikke gjøres noe som helst for å forutse, oppdage eller forebygge feilen. Beskrivelsen av funksjonsfeilen skal relatere til en spesifikk funksjon og skal beskrive hvordan enheten feiler i å oppfylle de definerte funksjonene og ytelseskravene. Det skal også defineres en grense, fortrinnsvis kvantifisert, for når en funksjon har feilet slik at det er lett å fastslå når en funksjonsfeil har inntruffet.

Under identifisering av funksjonsfeil skal det gjøres forskjell på fullstendig og delvis bortfall av funksjon og funksjonsfeil som er over og under påkrevd ytelse. Dette vil si at de skal beskrives separat. Andre sannsynlige funksjonsfeil skal også identifiseres. Dette kan være feilaktig funksjon (enheten gjør noe annet enn den skal), omvendt funksjon, ujevn funksjon og så videre.

Eksempel på beskrivelse av funksjonsfeil:

- Gjennomløpstid lengre enn 3 minutter.
- Pumpe leverer mer enn 40 bar trykk.
- Sender stoppsignal til kontrollanlegg uten at aktivering er påkrevd.

Hvis det identifiseres nye funksjonsfeil som ikke er inkludert og nummerert i den generiske FMEA-databasen skal disse få kode "NY" inntil den blir nummerert og lagt til i den generiske FMEA-databasen.

2c – Identifisere feilmodi

Det skal identifiseres og dokumenteres alle feilmodi som analysegruppen vurderer som rimelig sannsynlige når det antas at det ikke blir gjort noen aktiviteter for å forutse, oppdage eller forebygge feilmoden. I tillegg er det viktig å vurdere om eventuelle feilmodi med ekstra store konsekvenser for personsikkerhet eller miljøpåvirkning skal listes selv om de er regnet som mindre sannsynlige enn øvrige feilmodi. Sannsynlige feilmodi som er relatert til design og konstruksjon eller menneskelige feil skal identifiseres, men bør adresseres i andre analyser og skal derfor utelates fra resten av analysen.

Beskrivelsen av feilmoden skal inkludere identifisering av den fysiske enheten som har feilet, hvordan den har feilet. I tillegg bør det være en beskrivelse av årsaken til feilen, det vil si feilårsaken eller feilmekanismen, som også bør inkluderes i FMEA-databasen.

Feilmoden skal fortrinnsvis peke på det nivået i en enhet hvor det er effektivt å bestemme en vedlikeholdstype og utføre vedlikehold. Hvilket nivå som er passende kan variere mellom hver enhet og feilmode. Hvis man i løpet av dette steget finner ut at nivået for analyse (identifisering av funksjon og funksjonsfeil) ikke er passende, bør dette justeres både i analysen og i den generiske FMEA-databasen.

Kilder til identifisering av feilmodi bør være forarbeidet slik at feilmodiene lett kan identifiseres under analysen. Kilder som bør brukes er:

- Stasjonsansvarlig.
- Fagansvarlig.
- Kraftverksentreprenør.

- Dokumentasjon fra leverandøren.
- Feilhistorikk.
- Vedlikeholdshistorikk.
- Eksisterende vedlikeholdsprogram.

Eksempel på beskrivelse av feilmodi:

- Oljeslange sprukket på grunn av materialtrøtthet.
- Strømtilførsel kortsluttet på grunn av skade fra dyr.
- Avlastningsventil fast i åpen stilling på grunn av korrosjon.

Hvis det identifiseres nye feilmodi som ikke er inkludert og nummerert i den generiske FMEA-databasen skal disse få kode "NY" inntil den blir nummerert og lagt til i den generiske FMEA-databasen.

Spesielle hensyn

For ventiler, brytere og lignende enheter skal feilmodiene indikere om tap av funksjon var en årsak av at enheten feilet i åpen eller lukket posisjon.

Hvis enheter som blir adressert i den identifiserte feilmoden har innebygget redundans (aktiv eller passiv) skal den enheten likevel vurderes som én enhet. Det man gjør er da å regne redundans som en designegenskap som reduserer sannsynlighet for at feilmoden skal inntreffe. Eksempelvis skal to parallelle oljefilter på dette nivået betraktes sammen slik at feilmodi "oljefilter tett" ikke inntreffer før begge filtrene er tette.

2d – Identifisere feileffekter

Rekkevidden for den generiske FMEA-en stopper før dette steget slik at fra og med identifisering av feileffekter vil RCM-analysen utføres som normalt. For hver feilmode skal det identifiseres og dokumenteres den feileffekten som sannsynligvis vil forekomme hvis feilmoden og dens korresponderende funksjonsfeil inntreffer. Det antas at det ikke blir gjort noen aktiviteter for å forutse, oppdage eller forebygge feileffekten og at feileffekten forekommer i verst tenkelige normale driftssituasjon. Samtidig skal det også antas at reservedeler ikke er tilgjengelig innad i organisasjonen og dermed må skaffes på normalt vis. Behov for reservedeler vil adresseres i steg 3b og 3c.

Beskrivelsen skal inneholde nok informasjon til at man i de neste stegene kan vurdere konsekvensen av feilen på en riktig måte. Det betyr at man minimum må vurdere effekten feilen har på mennesker, natur og økonomi i tillegg til eventuelle myndighetskrav. Det kan reflekteres rundt følgende for å identifisere feileffekten:

- Hvordan feilen kan detekteres.
- Effekt på analyseenheten
- Effekt på enhetene rundt og enhetene oppover i systemnivået.
- Hva som må gjøres for å gjenopprette funksjon.
- Hvor lang er nedetiden.
- Om feilmoden har innvirkning på andre funksjoner.
- Hva som skjer lokalt.
- Hva som skjer globalt.

Det skal også fastslås om funksjonsfeilen er skjult eller åpenbar for operatøren under normale driftsforhold. Dette vil si om operatøren blir oppmerksom på funksjonsfeilen uten å utføre en ekstra aktivitet eller blir varslet gjennom tredjepart eller lignende.

Spesielle hensyn

For funksjonsfeil i beskyttede enheter skal feileffekten beskrives med den antagelsen at den beskyttende funksjonen fungerer som den skal. For funksjonsfeil i beskyttende enheter skal feileffekten beskrives med den antagelsen at den beskyttede funksjonen feiler mens den beskyttende funksjonen har funksjonsfeil.

2e - Utføre kritikalitetsanalyse

Kritikaliteten for hver identifiserte feilmode skal vurderes ved å beregne risikoen for feileffekten. Risikoen er produktet av sannsynlighet og konsekvens og skal vurderes for følgende kategorier:

- Myndighetskrav - Risiko for brudd på myndighetskrav
- Personsikkerhet - Risiko for skade eller død for mennesker.
- Miljøpåvirkning - Risiko for negativ påvirkning på natur og miljø.
- Økonomi - Risiko for nedetidskostnad, erstatningskostnad, arbeidstid og så videre.

Brudd på myndighetskrav besvares med ja eller nei. For de øvrige kategoriene brukes separate risikomatriser for hver kategori. Risikomatrissene skal være standardisert for alle RCM-analyser for å sikre kontinuitet i hva som regnes som tolererbar risiko og baseres på de som foreslås i standarden IEC 60300-3-11. Risikovurderingen har som resultat at hver feilmode blir kategorisert i en av følgende tre kategorier (figur 19):

- Utolererbar – Én eller flere risikokategorier vurderes som utolererbar.
- Tolererbar – Én eller flere risikokategorier vurderes som tolererbar mens de eventuelle øvrige vurderes som ubetydelig.
- Ubetydelig – Alle risikokategoriene vurderes som ubetydelig.

For myndighetskrav gjenspeiles risikoen i skillet mellom ja (utolererbar) og nei (ubetydelig), mens for de øvrige gjenspeiles risikoen i måten risikomatrissene er utformet. Tolererbar risiko skal defineres av den eller de som er teknisk og sikkerhetsmessig ansvarlig for kraftverkene og godkjennes av ledelsen. Figur 19 viser en versjon av risikomatrixe for personsikkerhet som er justert i henhold til matriser brukt i RCM-analysen på Dale kraftverk (kapittel 3.4). I vurderingen av tolererbar risiko må man ta hensyn til at risikoen for hver feilmode som ikke forebygges vil aggregeres til en total risiko for hvert kraftverk, som igjen aggregeres til total risiko for hele BKK P. For personsikkerhet og miljøpåvirkning er det derfor viktig å ta utgangspunkt i akseptabel risiko for hele selskapet og allokere denne risikoen ned til hvert kraftverk og eventuelt ned på et lavere nivå.

Sannsynlighet	Kategori	Konsekvens			
		Katastrofal 1	Vesentlig 2	Marginal 3	Liten 4
Hyppig	A	1	1	1	2
Sannsynlig	B	1	1	2	3
Mulig	C	1	1	2	3
Usannsynlig	D	1	2	3	3
Ubetydelig	E	1	2	3	3

Kritikalitetsnivå
1 Utolererbar
2 Tolererbar
3 Ubetydelig
Sannsynlighet
A < 1 år
B 1 - 10 år
C 10 - 50 år
D 50 - 100 år
E > 100 år
Konsekvens
1 Død eller uførhet.
2 Lengre sykehusopphold og fravær eller muligheter for uførhet.
3 Legebehandling eller kortere fravær.
4 Mindre skader som kan behandles på stedet eller med normal

Figur 19 – Anbefalt risikomatrixe for personsikkerhet.

Feilmodi som kategoriseres som ubetydelig kan adresseres med en kjør-til-feil vedlikeholdstype. De feilmodi som blir vurdert til å være tolererbar, men samtidig innebærer en viss usikkerhet bør håndteres konservativt. Disse tas derfor med videre i analysen og kan eventuelt få en mer detaljert vurdering på et senere tidspunkt hvis nødvendig.

Sannsynlighet og konsekvens kan, og bør, kvantifiseres. Dette avhenger av at det eksisterer tilstrekkelig med data og at disse bearbeides på riktig måte. Dette inkluderer for eksempel kostnadsvurderinger, feilhistorikk og ulykkesrapporter. Eksempler på hvordan dette kan gjøres er:

- Definere et begrenset antall med topphendelser hvor konsekvensen kvantifiseres (Rausand og Vatn, 2008). Dette innebærer at man må gjøre visse antagelser om hvor mange som vil bli drept/skadet, hvordan miljøet vil bli påvirket, hvor lang nedetid man vil få og så videre.
- Man kan lage et system for kvantifisering av bidrag til konsekvens ved forskjellige funksjonsfeil og aggregere disse til total konsekvens for hver feilmode.
- Sannsynligheten for at en feilmode inntreffer kan anslås og modelleres ved hjelp av feildata. Ett enkelt kraftverk eller én enkelt vannkraftprodusent besitter ofte for lite feildata til at det kan utvikles gode feilmodeller. Dette gjør at man bør undersøke mulighetene for å innhente feildata også fra eksterne kilder.

Ved bruk av kvantifiserte verdier i risikovurderingen må risikomatrixene tilpasses for å samsvare med dette. Det er også viktig å huske på at dataene som brukes må ta høyde for antagelsen om at det i utgangspunktet ikke gjøres noe som helst for å forutse, oppdage eller forebygge feil på enheten som analyseres.

4.2.3 Fase 3 - Vedlikeholdstype

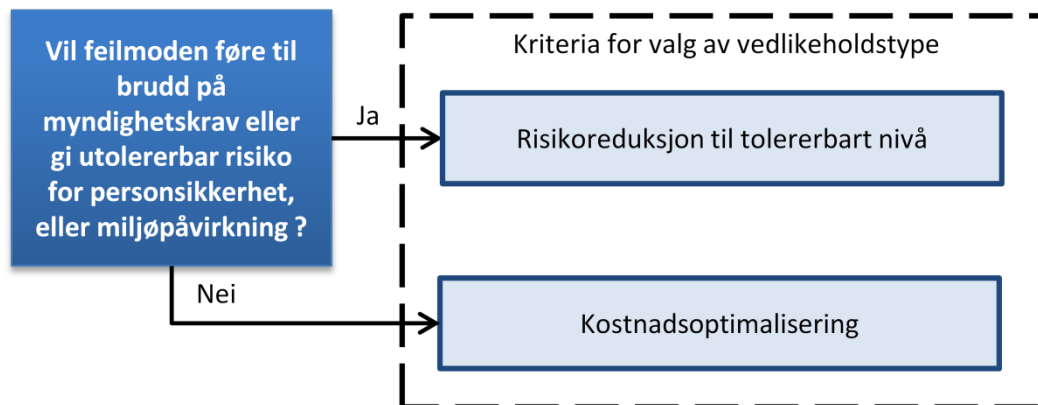
3a - Klassifisere konsekvens

Klassifisering av konsekvens gjøres i en beslutningslogikk samtidig som man velger vedlikeholdstype.

I disse stegene (3a og 3b) er det viktig å være oppmerksom på at hver feilmode vil få forskjellig behandling alt etter om den utgjør



en risiko for myndighetskrav, personsikkerhet og miljøpåvirkning eller kun for økonomi. Risiko for myndighetskrav, personsikkerhet og miljøpåvirkning er vanskelig å kvantifisere på en måte som gjør de sammenlignbar med hverandre og med økonomisk risiko. Derfor vil man i valg av vedlikehold og intervall prioritere å redusere risikoen for hver av disse til det organisasjonen definerer som et tolererbart nivå. Den økonomiske risikoen kan derimot lettere la seg kvantifisere og sammenlignes med kostnaden som forebyggende vedlikehold medfører. I disse tilfellene vil man forsøke minimere total kostnad. Forskjellen ligger dermed i hvorvidt vedlikehold skal brukes for å redusere risiko eller om vedlikehold skal brukes for å optimalisere kostnad. Forskjellen er illustrert i figur 20.



Figur 20 – Kriteria for valg av vedlikeholdstype.

I tillegg er det forskjell på behandling av feilmodi etter om de er skjult eller åpenbar. For valg av vedlikeholdstype har dette innvirkning når det gjelder to tilfeller:

- Hvis det har inntruffet en skjult funksjonsfeil må det gjøres feilsøk for å kunne fastslå om den har feilet eller ikke. Hvis man ikke finner en forebyggende vedlikeholdstype må man dette foretas periodisk for å begrense konsekvenser som kan oppstå over tid som følge av funksjonsfeilen.
- Hvis en skjult funksjonsfeil kan inntreffe i en beskyttende funksjon og det ikke er identifisert en anvendbar og effektiv forebyggende vedlikeholdstype er det avgjørende at man utfører periodisk feilsøking for å senke sannsynligheten for at den beskyttende funksjonen har feilet når den trengs.

3b – Velge vedlikeholdstype

Med utgangspunkt i klassifiseringen gjort i steg 3a skal alle forebyggende vedlikeholdstyper vurderes. Kravet for valg av vedlikeholdstype er at den skal være anvendbar og effektiv.

- Anvendbar – Vedlikeholdstypen må være teknisk gjennomførbar og den må adressere feilmoden på en god måte.
- Effektiv – Vedlikeholdstypen skal være økonomisk verdt å gjennomføre og skal håndtere risikoen for feilen.

Hvis det er mulig å velge mellom flere vedlikeholdstyper som tilfredsstillende kravene skal man velge den som er mest kostnadseffektiv. Under følger beskrivelse av krav for at hver enkelt vedlikeholdstype skal regnes som anvendbar og effektiv samt punktvis trinn for hva som må gjennomføres hvis typen blir valgt.

Kontinuerlig tilstandsovervåking

Kontinuerlig måling av indikatorer, som representerer tilstanden til enheten, og sammenligning mot en forhåndsbestemt parameter. Målingen kan være alt fra signal- og vibrasjonsmåling til måling av støy og varme.

Krav for å være anvendbar og effektiv:

- Det må eksistere en eller flere målbare indikatorer for degraderingen av enheten.
- En klar definert grense for potensiell feil må være definert.
- Intervallet fra målbar potensiell feil til funksjonsfeil (P-F-intervallet) må være langt nok til at korrektive tiltak for å forebygge funksjonsfeilen er mulig å gjennomføre før funksjonsfeil inntreffer.
- P-F-intervallet må være konsistent.

Må gjennomføres:

- Identifiser og beslutt beste egnede målbare eller identifiserbare indikatorer.
- Definer grenseverdi for potensiell feil.
- Identifiser P-F-intervall.
- Vurder reservedelsbehov hvis P-F-intervall er for kort.

Periodisk tilstandskontroll

Periodisk måling eller inspeksjon av indikatorer, som representerer tilstanden til enheten, og sammenligning mot en forhåndsbestemt parameter. Målingen eller inspeksjonen kan bestå av alt fra signal- og vibrasjonsmåling til måling av støy og varme.

Krav for å være anvendbar og effektiv:

- Det må eksistere en eller flere målbare eller identifiserbare indikatorer for degraderingen av enheten.
- En klar definert grense for potensiell feil må være definert.
- Intervallet fra målbar degradering til funksjonsfeil (P-F-intervallet) må være langt nok til at tilstandskontroll og korrektive tiltak for å forebygge funksjonsfeilen er mulig å gjennomføre før funksjonsfeilen inntreffer.
- P-F-intervallet må være konsistent.

Må gjennomføres:

- Identifiser og beslutt beste egnede målbare eller identifiserbare indikatorer.
- Definer grenseverdi eller for potensiell feil.
- Identifiser P-F-intervall.
- Vurder reservedelsbehov hvis P-F-intervall er for kort.

Periodisk overhaling

Periodisk overhaling av enheten hvor feilmøden inntreffer. Dette kan innebære alt fra rengjøring til utskifting av flere deler tilhørende enheten.

Krav for å være anvendbar og effektiv:

- Definert konsistent feilmønster med stigende feilrate (Rausand og Vatn, 2008).
- Billigere å overhale enn å skifte ut.
- Må kunne gjenopprette funksjonen til enheten på en slik måte at ytelseskravene er innfridd.

Må gjennomføres:

- Beslutte på hvilken måte overhalingen skal foregå.
- Identifiser levetidsforløp.

- Beslutt reservedelsstrategi.

Periodisk utskiftning

Periodisk fjerning og erstatning av enheten hvor feilmoden inntreffer.

Krav for å være anvendbar og effektiv:

- Definert konsistent feilmønster med stigende feilrate (Rausand og Vatn, 2008).
- Billigere å skifte ut enn å overhale.

Må gjennomføres:

- Identifiser levetidsforløp.
- Beslutt reservedelsstrategi.

Periodisk feilsøking

Periodisk inspeksjon for å fastslå om en enhet er i stand til å utføre sin påkrevde funksjon eller ikke.

Krav for å være anvendbar og effektiv:

- Behov for å redusere sannsynligheten for en multippel feil relatert til et beskyttelsessystem.
- Spesifikk aktivitet for å detektere funksjonsfeil må eksistere.

Må gjennomføres:

- Identifiser feilsøkingaktivitet.
- Identifiser feilrate for beskyttet og beskyttende system.
- Vurder reservedelsbehov.

Alternativt tiltak

Krav for å være anvendbar og effektiv:

- Ingen annen anvendbar og effektiv vedlikeholdstype identifisert, men risikoen er utolerbar.

Må gjennomføres:

- Beslutt hvilket alternativ tiltak som skal gjennomføres.

- Vurder kostnad-nytte.
- Sett tidsfrist for gjennomføring.
- Vurder eventuelle nødvendige midlertidige tiltak.

Kjør-til-feil

Korrektivt vedlikehold når funksjonsfeil oppstår

Krav for å være anvendbar og effektiv:

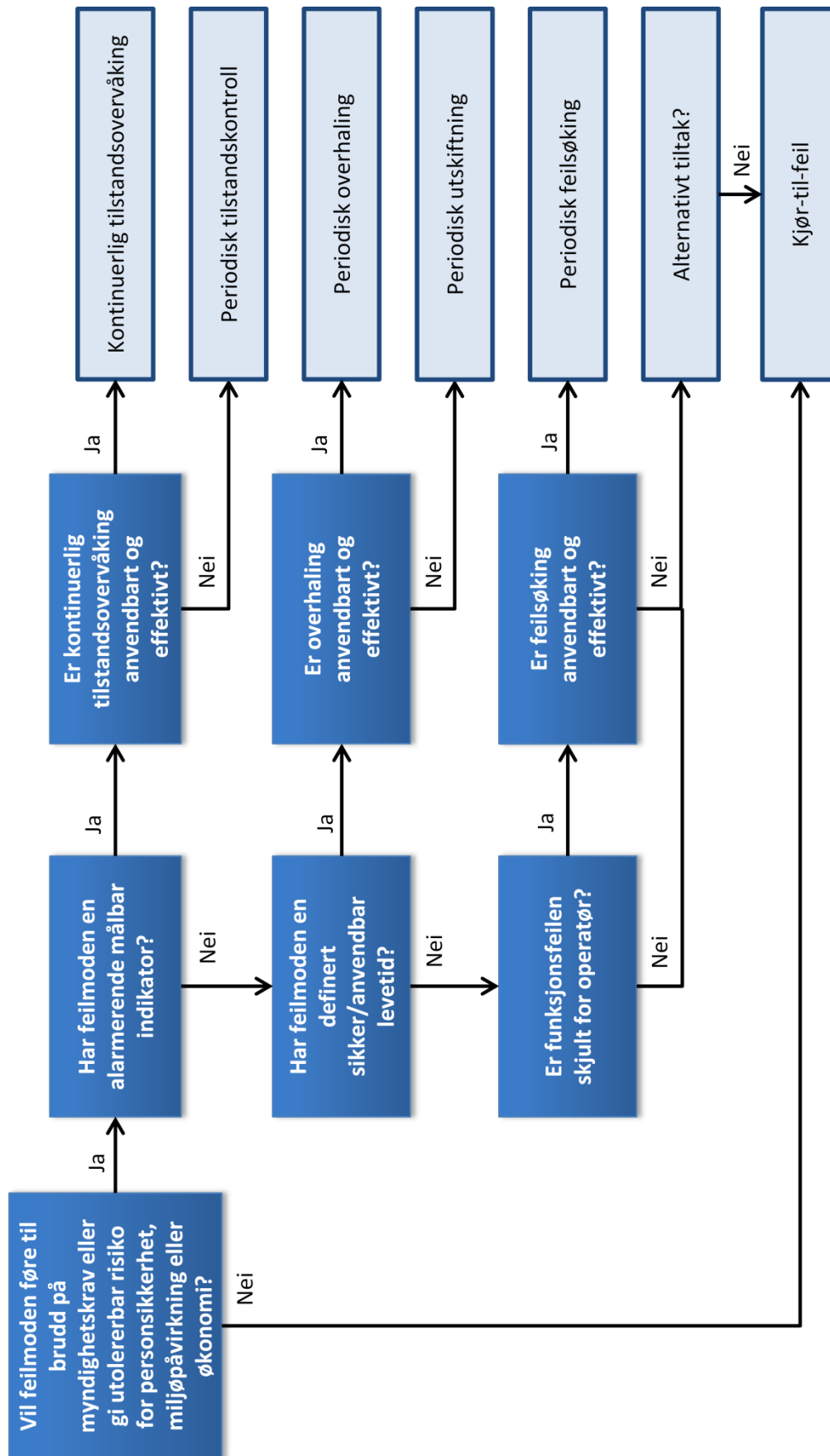
- Ubetydelig risiko
- Ingen annen anvendbar og effektiv vedlikeholdstype

Må gjennomføres:

- Identifiser korrektiv vedlikeholdsaktivitet
- Vurder reservedelsbehov.

I noen tilfeller kan det hende at man må bruke en kombinasjon av vedlikeholdstyper for å redusere risikoen til et tolererbart nivå.

For å beslutte vedlikeholdstype brukes en beslutningslogikk basert på Rausand og Vatn (2008), denne kan ses i figur 21. Det er viktig å være oppmerksom på at man ikke uten videre kan følge beslutningstreet slavisk, men at det for hver vedlikeholdstype som velges må vurderes om den er egnet til å forebygge risikoen for feilmoden og hvorvidt den er kostnadseffektiv å gjennomføre.



Figur 21 – Beslutningslogikk for valg av vedlikeholdstype. Tilpasset fra Rausand og Vatn (2008).

3c – Beslutte vedlikeholdsintervaller

Som nevnt i steg 3a er det to mål for forebygging av feilmodi. Disse målene påvirker hvilke vedlikeholdsintervall man bør velge. Den første er å senke risiko for utolererbare feilmodi. Den andre er å minimere den kombinerte kostnaden av forebyggende vedlikehold og kostnaden av feilmodi som inntreffer. Ved risiko for brudd på myndighetskrav, personsikkerhet og miljøpåvirkning, skal første prioritet være å velge intervaller som senker risikoen til et tolererbart nivå. Deretter skal man kostnadsoptimalisere intervallene så langt det er mulig. Ved risiko for økonomi skal man derimot kun kostnadsoptimalisere intervallene, noe som gjøres ved å sette et intervall som minimerer summen av levetidskostnaden av inntrufne feilmodi og levetidskostnaden av vedlikehold.

For hver periodiske vedlikeholdstype gjelder følgende:

Intervall for periodisk tilstandskontroll

For å bestemme et fornuftig intervall er det nødvendig å fastslå lengden på P-F-intervallet til feilmoden. Dette gjøres ved å fastslå grenseverdi eller «grensetilstand» for potensiell feil og funksjonsfeil for så å estimere den antatte tiden mellom disse to verdiene eller tilstandene. Basert på tiden det tar å skaffe reservedeler og initiere reparasjonsarbeidet samt kontrollens sannsynlighet for å identifisere potensiell feil settes intervallet slik at man skal rekke å oppdage potensiell feil samt igangsette reparasjon før funksjonsfeil inntreffer.

Intervall for periodisk overhaling eller utskifting

For å bestemme et fornuftig intervall for periodisk overhaling/utskifting er det her nødvendig å fastslå sannsynligheten for feil gitt som funksjonen av tid (den kumulative feilfordelingen) for enheten. Som nevnt i steg 3b må det samtidig være en stigende feilrate for enheten for at denne vedlikeholdstypen skal være anvendelig. Denne kan brukes til å beregne et intervall som enten gir ønsket risiko (sikker levetid) eller til å minimere den totale kostnaden av vedlikehold og funksjonsfeil.

Intervall for periodisk feilsøking

For å bestemme et fornuftig intervall for periodisk feilsøking på beskyttende funksjoner er det nødvendig å fastslå feilraten for feilmodi på både den beskyttende og den beskyttede funksjonen. Intervallet skal justeres slik at man reduserer sannsynligheten

for at den beskyttende funksjonen har feilet når det oppstår et behov for den. Det finnes en rekke formler som kan estimere dette. Disse vil ikke bli diskutert her da det er utenfor omfanget i denne masteroppgaven.

Den nødvendige informasjonen for å beregne intervaller kan anskaffes ved å bruke blant annet følgende kilder:

- Erfaring fra identisk eller lignende utstyr hvor en periodisk vedlikeholdstype har gitt gode resultater.
- Test- og pålitelighetsdata fra produsent eller leverandør.
- Pålitelighetsdata og prognoser.
- Antatte feilegenskaper.
- Drift- og vedlikeholdsdata.
- Erfaring fra operatører og vedlikeholdere.
- Levetidsutforskning.

Hvis det ikke er tilstrekkelige pålitelighetsdata, ingen forhåndskunnskap fra lignende utstyr og så videre kan bare intervallet bestemmes ved hjelp av erfaring og ekspertvurdering med støtte fra de pålitelighetsdataene man eventuelt har tilgjengelig.

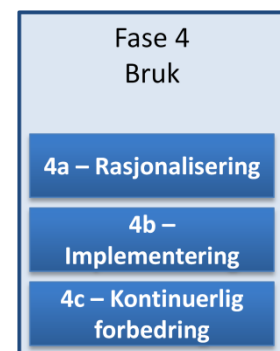
4.2.4 Fase 4 – Bruk

4a – Rasjonalisere vedlikeholdsprogram

I dette steget skal man bearbeide anbefalingene fra forrige fase slik at det kan utarbeides et fornuftig vedlikeholdsprogram. Dette vil si:

- Fjerne dupliserte vedlikeholdsaktiviteter.
- Spesifiser hvem som skal utføre vedlikeholdsaktiviteten.
- Spesifiser hvilken driftsmodus anlegget må ha for å gjennomføre.
- Spesifiser hvilke andre enheter som blir berørt av vedlikeholdet.
- Gruppering og justering av intervaller.

I justering av intervaller skal man ta utgangspunkt i de feilmodi som har risiko for personsikkerhet og miljøpåvirkning. Intervallene på disse må minimum overholdes for å sørge for tolererbar risiko for mennesker og natur. For feilmodi som kun har økonomisk



risiko skal man justere intervallene slik at man kan danne fornuftige grupper med vedlikeholdsaktiviteter som kan overholde på mest mulig kostnadseffektivt vis.

Når grupperingen er gjort må man kontrollere om lover, reguleringer og konsesjoner er overholdt. Hvis dette ikke er tilfelle må man korrigere vedlikeholdsprogrammet slik at det samsvarer med regelverket.

4b – Implementere vedlikeholdsprogram

Det foreslåtte vedlikeholdsprogrammet bør vurderes av relevante fagansvarlige i samråd med den teknisk ansvarlige og ved godkjenning implementeres som nye arbeidsordrer i JobTech. Det må også sørges for at den generiske feilmodi-databasen blir oppdatert på korrekt måte og at nye funksjoner, funksjonsfeil og feilmodi får tildelt korrekte nummerkoder.

I forkant av implementeringen bør det kartlegges hvilken ny kompetanse som eventuelt kreves for å utføre det foreslåtte vedlikeholdsprogrammet slik at man kan sette i gang passende opplæring. Samtidig må man også kartlegge hvilke nye verktøy som eventuelt behøves slik at dette kan anskaffes før arbeidsordrene implementeres.

Eventuelle alternative tiltak som er foreslått under analysen må kostnad-nytte-vurderes før de implementeres og strakstiltak må vurderes for tilfeller hvor risikoen tilsier at dette er nødvendig.

4c – Kontinuerlig forbedre vedlikeholdsprogram

I og med at det legges opp til at behovet for RCM-analyse skal vurderes kontinuerlig vil det ikke bli lagt opp til periodisk revisjon av utførte RCM-analyser uten videre. Behov for ny analyse eller eventuelt revisjon av en eksisterende analyse vil vurderes slik det er beskrevet i steg 1b. Imidlertid foreslås det at man periodisk revurderer datagrunnlaget for hver utførte analyse slik at man identifiserer mulig potensiale for å raffinere analysen etter hvert som datagrunnlaget forbedres.

Det foreslås imidlertid at det innføres en arbeidsprosess for feilrapportering, analyse og forbedring som gjør at eventuelle nye feilmodi inkluderes i den generiske feilmodi-databasen med kode "NY" når de forekommer. Ved mulighet for rapportering som er kompatibel med feilmodi-databasen og vedlikeholdsanalyser kan man også samle pålitelighetsdata til raffinering av RCM-analysene i driftsfasen med enkelhet.

4.3 Testing av konsept på Fossmark kraftverk

Underveis i utviklingen av RCM-konseptet ble det foreslåtte RCM-konseptet testet på ett av BKK Ps kraftverk. Testingen ble gjort på et tidspunkt hvor RCM-konseptet ikke var ferdig utviklet. Dette kapittelet beskriver derfor kun kort gjennomføringen av testingen samt hvilke tilbakemelding dette ga til det endelige RCM-konseptet.

4.3.1 Gjennomføring

Valg av kraftverk ble gjort av Seksjon Vedlikehold og er i tråd med deres ønsker om å utføre en RCM-analyse på et småkraftverk. På grunn av begrensninger i tid ble det valgt å fokusere på kun deler av et kraftverk. I samråd med Seksjon Vedlikehold ble det valgt å analysere turbinregulator, turbin og kuleventil på Fossmark kraftverk.

Målsetningen var å klare å analysere disse i løpet av én arbeidsdag. Forarbeidet og fasiliteringen skulle da gjøres av forfatteren, mens analysegruppen skulle bidra med informasjon og representere BKK P i analysen. Planlagt analysegruppe skulle i utgangspunktet bestå av RCM-fasilitator, fagansvarlig for turbin, systemansvarlig for vedlikeholdssystemet JobTech, stasjonsansvarlig samt en representant fra kraftverksentreprenøren (utførende enhet). På grunn av frafall ble den endelige analysegruppen bestående av:

- RCM-fasilitator (forfatteren)
- Stasjonsansvarlig for Fossmark kraftstasjon, BKK
- Fagarbeider mekanisk hos kraftverksentreprenør, BKK
- Arbeidsleder mekanisk hos kraftverksentreprenør, BKK

Alle fra BKK hadde god erfaring med praktisk arbeid på turbin, turbinregulator og ventilsystem samt god kjennskap til driftskonteksten til Fossmark kraftverk. Analysegruppen hadde derimot begrenset med kunnskap om prosjektering, kostnadsberegninger, vedlikeholdsteori og andre ingeniørmessige perspektiver. Kun fasilitator og én av de andre i gruppen hadde erfaring fra en tidligere RCM-prosess, samt at ingen hadde formell kursing i RCM-prosessen.

På forhånd ble det satt opp et utkast til generisk FMEA for de enhetene som skulle analyseres. Denne FMEA-en inneholdt foreslåtte funksjoner, funksjonsfeil og feilmodi. Analysegruppens arbeid bestod da i følgende:

- Definere driftskontekst
- Lokal tilpassing av generisk tabell
- Identifisere feileffekt
- Utføre kritikalitetsvurdering
- Beslutte vedlikeholdstype
- Bestemme intervall

Merknad: De nevnte forholdene rundt gjennomføringen gjør at det er knyttet usikkerhet til hvorvidt resultatet for testingen er representabelt for RCM hos BKK P.

4.3.2 Erfaringer fra test

Følgende erfaringer ble gjort under testen:

- Korrekt kompetanse og erfaring i analysegruppe og hos fasilitator er ekstremt viktig for å få de riktige resultatene og for å drive prosessen fremover.
- Analysen tok vesentlig lengre tid enn det hadde blitt regnet med på forhånd, noe som trolig skyldes overnevnte punkt.
- Det var i utgangspunktet tenkt å ta i bruk funksjonsblokkdiagram for å visualisere funksjonene i anlegget. Dette behøves trolig ikke da analysegruppen har god kontroll på systemer og funksjoner i kraftverkene.
- Uklarhet rundt behandling av blant annet redundante systemer og beskyttende systemer i analysen gjorde at analysen stoppet opp. Dette må utdypes ytterligere i konseptet.
- Det var utfordrende å definere funksjoner, funksjonsfeil og feilmodi på en entydig og god måte. Dette må utdypes ytterligere i konseptet.
- Valg av intervaller krever god forståelse for feiltyper, feilutvikling og så videre.
- Det bør eksistere en klar definisjon på hva som er skjulte feil og presiseres når skjulte feil har betydning.
- Det må defineres hvorvidt reservedeler skal regnes som tilgjengelig eller ikke.

Resultatene ble tatt med som innspill til utviklingen av RCM-konseptet som er presentert i kapittel 4.2.

4.4 Diskusjon

I utviklingen av RCM-konsept er det forsøkt å tilpasse RCM-prosessen til BKK Ps mål, ønsker og vedlikeholdsstyring. I dette arbeidet er hovedfokuset lagt på:

- Mål om dokumenterte analytiske prosesser som underlag for utvikling av vedlikeholdsprogram på alle kraftverkene.
- Forsøk på å holde tids- og ressursbruk nede for å sikre at konseptet blir brukt.
- Ta i bruk eksisterende vedlikeholdsprogram som oppfattes som fornuftig.
- Sikre kompetanseøkning for bruk av RCM og vedlikeholdsteori for å sikre gode analyser og et varig læringsresultat i organisasjonen.

Det er forsøkt å håndtere disse punktene ved å:

- Anbefale en større grad av opplæring av analysegruppen i forkant av analysen for å heve kompetansenivået.
- Anbefale en grundig forberedelsesfase med fokus på innsamling og bearbeiding av informasjon i for å skape et godt informasjonsgrunnlag for analyse.
- Foreslå å bruke RCM kun som et supplement til kravdokumentene i tilfeller der det behøves. Dette vil sikre at det eksisterer en analytisk sporbar prosess bak vedlikeholdet på kraftverk og enheter som underpresterer med tanke på pålitelighet, risiko, kostnad, tidsforbruk og så videre. Samtidig vil det eksisterende vedlikeholdsprogrammet bli benyttet på kraftverk og enheter som presterer bra.
- Foreslå å ta i bruk generiske FMEA og feilmodi-database for å redusere tid og ressursbruk på gjentakende arbeid og for å sikre at vedlikeholdsprogrammet er i kontinuerlig forbedring.

Testing av konseptet ble gjort underveis i oppgaven, men ble gjennomført på et stadium hvor det ikke var ferdig utviklet. Det er derfor knyttet usikkerhet til hvorvidt det foreslåtte RCM-konseptet er egnet til å håndtere de utfordringene som ble diskutert i kapittel 3.6. For å få en bedre oversikt er det derfor nødvendig at konseptet testes mer, hvor man legger spesiell fokus på å adressere de erfaringene som framkom fra testen i kapittel 4.3.

5 Fremtidig fokusområde for vedlikeholdsanalyser hos BKK Produksjon

Kapitlene tidligere i denne masteroppgaven er basert på forutsetningen om at RCM skal tas i bruk hos BKK P i en eller annen form. Det er en forutsetning som ikke nødvendigvis trenger å være berettiget. I dette kapitlet er det derfor tatt et steg tilbake for å se om RCM er det som trengs i den situasjonen BKK P er i. Dette blir brukt for å foreslå hvor BKK P bør prioritere sin tid og sine ressurser. Kapitlet baseres på hva som er presentert i kapittel 2, 3 og 4 og drøfter først fremtiden for RCM hos BKK P før det skisserer hovedlinjene for et foreslått fokusområde innen vedlikeholdsanalyser.

5.1 RCM-prosessens fremtid hos BKK Produksjon

I følge BKK Ps vedlikeholdsstrategi skal RCM brukes på alle kraftverkene til BKK (BKK P, 2013a) og i arbeidet med realisere den iboende påliteligheten til BKKs kraftverk kan RCM-prosessen utvilsomt være et nyttig verktøy som kan brukes både til å etablere vedlikeholdsprogram så vel som å holde dem oppdatert. Samtidig er RCM en omfattende prosess som mer eller mindre starter på blanke ark og krever mye tid og ressurser uavhengig om det allerede finnes et eksisterende vedlikeholdsprogram eller ikke. Basert på dette utgangspunktet bør det vurderes om RCM er det BKK P trenger på nåværende tidspunkt. For å finne ut hva som vil være riktig fokusområde for BKK P må man se på behovet som finnes i organisasjonen.

I selskapsstrategien til BKK P er effektivt og optimalt vedlikehold prioritert (BKK P, 2012). Vedlikeholdsfilosofien til BKK P sier: “vedlikeholdsfunksjonen skal stille til rådighet funksjonsdyktige anlegg med avtalt tilgjengelighet, til lavest mulig kostnad” (BKK P, 2013b). Hvis man ser bort fra BKK Ps tidligere nevnte vedlikeholdsstrategi, som beskriver RCM mer som et mål enn en metode, så finner man følgende mål:

- Effektivt og optimalt vedlikehold.
- Avtalt tilgjengelighet.
- Lav kostnad.

Det har vært uttrykt et ønske fra ledelsen om å redusere fremtidige vedlikeholdskostnader (BKK P, 2014), noe som tillegger det siste punktet ekstra vekt. I tillegg må vi se tilbake på de ønskene som ble avdekket i kapittel 3.1:

- Systematisering av utviklingen av vedlikeholdsprogram for kraftverkene.
- Ønske om å halvere tidsforbruket på rutinekontroller for å kunne utføre rehabiliteringsarbeid.
- Ønske fra ledelsen om sporbarhet og bruk av analyser i vedlikeholdsarbeidet.

Resultatene fra kapittel 3 viser at Seksjon Vedlikehold har den oppfatning at de allerede har et godt vedlikeholdsprogram som er basert på lang erfaring og som i forebygger feil på en vellykket måte (BKK P, 2014). Dette reflekteres i høy tilgjengelighet på kraftverksaggregatene. De foreløpige resultatene fra RCM-analysen på Dale kraftverk har også pekt i retning at man har et fornuftig vedlikehold ved at det tilsynelatende ble foreslått få endringer i vedlikeholdsaktiviteter (BKK P, 2014). I tillegg ga analysen et inntrykk av at BKK P har et potensiale innen optimalisering av vedlikeholdsintervall, da gjerne med det resultat at man kan ha lengre intervaller.

Spørsmålet man kan stille seg er om BKK P skal prioritere utvikling av nytt vedlikeholdsprogram når behovene tyder på at man bør jobbe med å optimalisere eksisterende vedlikeholdsprogram samt dokumentere de vurderingene som ligger til grunn.

En annen vurdering er hvorvidt BKK P har tilstrekkelig kompetanse, data og støtteprosesser til at bruk av RCM er fornuftig. Eksempelvis sliter BKK P med ufullstendig rapportering i datasystemene, noe som gjør det vanskelig å ta i bruk feil- og vedlikeholdshistorikk. Det foretas også en del vedlikehold som ikke er bestilt, beskrevet eller blir dokumentert og som dermed ikke inngår i det formelle vedlikeholdet til BKK P og igjen bidrar til en ufullstendig feil- og vedlikeholdshistorikk. Vedlikeholdsmetodikk og -analyse er heller ikke integrert i vedlikeholdsstyringen som en normal arbeidsprosess, noe som kan føre til "skippertaksarbeid" med tilhørende ekstra arbeidsbelastning. Et siste punkt er mangel på bruk av prestasjonsmålinger av kraftverkene og enhetene innen hvert kraftverk som verktøy for å målstyre optimaliseringsarbeid.

RCM er en god prosess for å identifisere kritiske feilmodi og adressere hvilken vedlikeholdstype som bør anvendes. For BKK P som i utgangspunktet har god kontroll på vedlikeholdet kan det derimot hende at andre, og muligens mindre tid- og ressurskrevende metoder, bør tas i bruk på generell basis og at RCM bør blir brukt som et supplement der hvor forholdene er ekstra kritisk eller utfordrende.

5.2 Anbefalinger for vedlikeholdsanalyser hos BKK Produksjon

Målet er å beholde det som allerede oppfattes som et fornuftig vedlikehold, men samtidig innføre den dokumentasjon og analyse som BKK P ønsker seg ved hjelp av metoder som er mer rettet mot det BKK P trenger.

I likhet med det foreslåtte konseptet i kapittel 4 anbefales det at vedlikeholdet i BKK P baserer seg på en systematikk hvor identifisering og forebygging av feilmodi er i sentrum. Følgende punkt foreslås, og er utdypet under:

- Evaluering av eksisterende vedlikeholdsprogram.
- Etablering av feilmodi-database.
- Etablering av en systematisk prosess for rapportering og feilanalyse.
- Bruk av prestasjonsmåling og kvantitativ analyse for utvelgelse av underpresterende enheter.
- Datasamling, analyse og optimalisering av intervall på utvalgte enheter.

Evaluere eksisterende vedlikeholdsprogram

Med utgangspunkt i kravdokument og eventuelle lokale forskjeller i arbeidsordrer evalueres eksisterende vedlikeholdsprogram med den hensikt å identifisere de funksjonsfeil og feilmodi som blir forebygget samt dokumentere grunnlaget for beslutningene som er tatt rundt valg av vedlikehold.

Feilmodi-database

Det foreslås at det opprettes et feilmodidatabase basert på en generisk FMEA og et kodesystem tilsvarende det som blir foreslått i kapittel 4.2. Dette skal lette arbeidet med rapportering, datasamling og vedlikeholdsanalyser.

Feilanalyseprosess

Det bør inkluderes en formell systematisk prosess for feilanalyse som et ledd av kontinuerlige forbedring av vedlikehold og vedlikeholdsstyring. En prosess tilsvarende FRACAS vil være et godt utgangspunkt. FRACAS er diskutert kort i kapittel 2.3.

Underpresterende enheter

Det anbefales at det etableres en arbeidsprosess som måler og analyserer pålitelighets- og kostnadsdata for kraftverkene med den hensikt å identifisere enheter som presterer både over og under gjennomsnittet. Denne prosessen kan baseres på enkle og velkjente kvantitative verktøy og har til hensikt å gjøre underpresterende enheter til gjenstand for analyse og høyt presterende enheter til gjenstand for læring.

Optimalisering av intervall

Det bør settes i gang en arbeidsprosess hvor man samler inn og analyserer pålitelighetsdata på kritiske enheter med formål å optimalisere vedlikeholdsintervaller. Når et rapporteringssystem, feilanalyseprosess og prestasjonsmåling er på plass vil samling av nødvendige data bli vesentlig lettere enn det er i utgangspunktet.

I arbeidet som er nevnt over anbefales det at det tar utgangspunkt i internasjonale standarder for å sikre at man benytter seg av beste praksiser innen fagområdet.

6 Oppsummering og anbefalinger for videre arbeid

6.1 Oppsummering og konklusjon

Reliability Centered Maintenance er en systematisk prosess som har til hensikt å realisere den iboende påliteligheten til en gjenstand ved utvikling av et vedlikeholdsprogram. Første målsetning i denne masteren er å diskutere viktigheten av en RCM-analyse. Dette er gjort i kapittel 2 gjennom å redegjøre for RCM-prosessens relasjon til vedlikeholdsstyring, sammenligne prosessen med andre alternative metoder, redegjøre for synspunkter på prosessen samt redegjørelse for forsøk på forenklinger og utvidelser av prosessen, hvor det sistnevnte er gjort for å synliggjøre diversiteten og fleksibiliteten i RCM.

Andre målsetning er å presentere trinnene i en RCM-analyse. Dette er gjort i kapittel 2 ved å redegjøre for hvordan RCM-prosessen skal utføres i henhold til standardene IEC 60300-3-11, SAE JA1011 og SAE JA1012. Det er også bragt inn innspill fra andre kilder der det finnes uenigheter eller variasjoner i prosessen. I dette arbeidet ble det utviklet en grafisk modell som deler prosessen inn i fire faser for å lette det videre arbeidet.

I kapittel 3 blir statusen for RCM hos BKK P presentert og analysert. Dette er målsetning nummer tre i masteroppgaven og er gjort ved intervju og observasjon av BKK P. Her er bakgrunnen for bruk av RCM i BKK P presentert, tidligere forsøk på bruk av RCM-prosessen er også kartlagt. Videre diskuteres det hvordan RCM-prosessen blir brukt i BKK Ps vedlikeholdsstyring på nåværende tidspunkt. Deretter redegjøres det for RCM-analysen som ble gjennomført på Dale kraftverk ved at denne blir satt inn i modellen for RCM-prosessen som er utviklet i kapittel 2. Det redegjøres så kort for fremtidige planer for bruk av RCM hos BKK P før resultatene fra kapittelet presenteres i form av utfordringer og noen betraktninger rundt hvordan dette kan brukes i det videre arbeidet.

Målsetning nummer fire og fem er å henholdsvis skissere et fremtidig RCM-konsept til bruk i BKK P og foreta en test av RCM-konsept på et system hos BKK P. Dette er gjort i kapittel 4 hvor det først foreslås en rolle for RCM-prosessen i BKK Ps vedlikeholdsstyring. Deretter brukes redegjørelsen og modellen fra kapittel 2 samt

resultatene fra kapittel 3 til å foreslå en RCM-prosess for bruk hos BKK P. På det tidspunktet testing skulle foregå var ikke konseptet ferdig utviklet slik at denne ble gjennomført som en test av foreløpig konsept som også er beskrevet sammen med erfaringene som ble gjort. Avslutningsvis er det redegjort for og diskutert på hvilken måte konseptet adresserer resultatene fra kapittel 2 og 3.

Den siste målsetningen i masteroppgaven er å skissere et fremtidig fokusområde innen vedlikeholdsanalyser for BKK P. Dette er gjort i kapittel 5 hvor man tar et steg tilbake, ser på det grunnleggende behovet til BKK P og diskuterer hvorvidt RCM er en prosess som imøtekommer de mål, krav og utfordringene som BKK P har. Basert på denne diskusjonen samt de øvrige kapitlene i masteroppgaven gis det anbefalinger for fokusområde for BKK.

BKK P har uttalt i strategien sin at RCM skal brukes for å etablere vedlikeholdsprogram for alle sine kraftverk. BKK Ps mål, ønsker og erfaringer, slik de kommer frem i denne masteroppgaven, viser imidlertid at dette kanskje ikke er ideelt for BKK P. Derfor legges det opp til et RCM-konsept basert på en generisk FMEA og som kun blir brukt i tilfeller hvor dagens vedlikeholdsprogram viser seg å være mangelfullt. I videre diskusjoner argumenteres det for at RCM ikke er den prosessen som BKK P trenger for øyeblikket, men at man må fokusere på å bygge opp støtteprosessene i vedlikeholdsstyringen og optimalisere det vedlikeholdsprogrammet som allerede eksisterer.

6.2 Anbefalinger for videre arbeid

Basert på arbeidet utført i denne masteroppgaven gis det følgende anbefalinger for videre arbeid:

- Testing av det foreslått RCM-konseptet på et kraftverk hos BKK P, forbedring og utarbeiding av RCM-prosedyre for BKK P.
- Utvikle et FRACAS for bruk i vedlikeholdsstyringen til BKK P som tilrettelegger for systematisk og kontinuerlig forbedring av vedlikeholdsprogram på deres kraftverk.
- Intervalloptimalisering av BKK Ps vedlikehold ved hjelp av datasamling og kvantitative metoder.
- Utvikle system for datafangst og måling av vedlikeholdsindikatorer på BKK Ps kraftverk.

Vedlegg A – Forstudierappport

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk



NTNU – Trondheim
Norwegian University of
Science and Technology

Forstudierappport

For masteroppgave:

RCM og vedlikehold

Versjon 2

Stud. techn. Vebjørn Loen

Våren 2014

Forord

Dette er en forstudierapport som skal danne grunnlaget en masteroppgave ved Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk ved NTNU våren 2014. Forstudierapporten skal gi oversikt over det kommende prosjektets problemstilling, en fullstendig plan over arbeidet som skal utføres og skal generelt fungere som et styringsdokument for arbeidet.

Trondheim, 2. februar 2014

Vebjørn Loen

Innholdsfortegnelse

Forord	98
Innholdsfortegnelse.....	99
1 Innledning.....	100
2 Prosjektbeskrivelse.....	101
2.1 Problemstilling.....	101
2.2 Hovedinteressenter i prosjektet.....	101
2.3 Prosjekt mål.....	102
2.4 Omfang	102
2.5 Prosjektbegrensninger	103
3 Prosjektplan.....	104
3.1 Prosjektoversikterklæring.....	104
3.2 Aktivitetsplan.....	105
3.3 Kostnad, tid og ressursanalyse.....	110
Vedlegg A - Work Breakdown Structure (WBS).....	120
Vedlegg B - GANTT-diagram	121

1 Innledning

Det siste semesteret i den 5-årige masterutdanningen ved NTNU skal en skrive en masteroppgave som teller 30 av de påkrevde 30 studiepoengene for semesteret. Temaet for den forestående masteroppgaven er Reliability Centered Maintenance (RCM) for vannkraftverk hos BKK Produksjon. Oppgaven er formulert av veileder Per Schjøllberg i samråd med samarbeidsbedriften BKK Produksjon.

I forkant av prosjektet stiller veileder følgende krav til forstudierapport:

«Innen ti uker etter at oppgaveteksten er utlevert, skal det leveres en forstudierapport som skal inneholde følgende:

- *En analyse av oppgavens problemstillinger.*
- *En beskrivelse av de arbeidsoppgaver som skal gjennomføres for løsning av oppgaven. Denne beskrivelsen skal munne ut i en klar definisjon av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.*
- *En tidsplan for fremdriften av prosjektet. Planen skal utformes som et Gantt-skjema med angivelse av de enkelte arbeidsoppgavenes terminer, samt med angivelse av milepæler i arbeidet.*

Forstudierapporten er en del av oppgavebesvarelsen og skal innarbeides i denne.»

Den følgende rapporten vil først gi en beskrivelse av bakgrunn, problemstilling, mål, interessenter, begrensninger og krav for prosjektet. Etterfulgt kommer en plan for prosjektarbeidet med prosjektoversikterklæring, aktivitetsplan og kost, tid og ressursanalyse. Vedlagt ligger også en work breakdown structure og et Gantt-diagram for arbeidet. Det tas forbehold om at prosjektbeskrivelse og prosjektplan kan endres underveis i prosjekttiden. Eventuelle endringer vil bli beskrevet i avviksrapporter underveis.

2 Prosjektbeskrivelse

2.1 Problemstilling

Masteroppgaven, slik den er formulert av veileder, lyder:

«I denne oppgaven skal kandidaten

- diskutere viktighet av en RCM analyse*
- presentere trinnene i en RCM analyse*
- presentere og analysere status for RCM analyser i BKK*
- skissere et fremtidig RCM konsept til bruk i BKK*
- foreta en RCM analyse på et konkret anlegg/system hos BKK*
- skissere et fremtidig vedlikeholdskonsept, spesielt med fokus på analyser for BKK*

Oppgaveløsningen skal basere seg på eventuelle standarder og praktiske retningslinjer som foreligger og anbefales. Dette skal skje i nært samarbeid med veiledere og fagansvarlig. For øvrig skal det være et aktivt samspill med veiledere.»

Masteroppgaven skal derfor drøfte innholdet i en RCM-prosess og diskutere viktigheten av å utføre RCM-analyser. Videre vil oppgaven ta for seg status for RCM i BKK Produksjon og se dette i lys av moderne teori innen RCM. Videre skal det utvikles forslag til konsept for bruk av RCM-prosessen på vannkraftverkene til BKK Produksjon som så skal testes på et, eller deler av et, vannkraftanlegg hos BKK. På bakgrunn av erfaringene gjort fra RCM-analysen skal det utformes en skisse for bruk av analyser i vedlikeholdet til BKK Produksjon.

2.2 Hovedinteressenter i prosjektet

2.2.1 NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet har ansvar for den høyere teknologiske utdanningen i Norge og er dermed Norges fremste tekniske universitet. Universitetet er også et av Norges største med totalt over 22000 studenter, hvorav cirka halvparten er teknologistudenter.

Denne oppgaven veiledes av førsteamanuensis Per Schjølberg ved Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk (IPK). Instituttet bedriver forskning, formidling og utdanning innen fagområdene produksjonssystemer, produksjonsledelse, prosjekt- og kvalitetsledelse og sikkerhet, pålitelighet og vedlikehold (RAMS).

Det er inngått en masterkontrakt med universitetet.

2.2.2 Student

Prosjektet er gjennomført av stud. techn. Vebjørn Loen som studerer 5-årig MSc Produktutvikling og produksjon med valgt spesialisering innen RAMS.

2.2.3 BKK Produksjon

BKK Produksjon er det strømproduserende selskapet i BKK-konsernet og drifter 31 vannkraftverk med totalt 42 aggregater. Selskapet står for cirka 5% (6,7 TWh) av Norges totale energiproduksjon hvert år. Konsernet eies av Statkraft, Bergen kommune og 16 andre landkommuner i området.

Dette prosjektet er utført i samarbeid med vedlikeholdssjef Åke Madsen i Divisjon Drift og forvaltning hos BKK produksjon. Det er inngått en standardavtale med samarbeidsbedrift etter mal fra NTNU.

2.3 Prosjektmål

Masteroppgaven skal dokumentere studentens forståelse, refleksjon, analytisk evne og selvstendighet som er ervervet gjennom studiet samt at den skal bidra til at en skaffer seg erfaring innen planlegging og gjennomføring av et akademisk prosjekt.

I tillegg er det et mål at masteroppgaven skal utgjøre et bidrag innen fagfeltet. Et mål er derfor at masteroppgaven skal bli et verdsatt forslag til RCM-konsept for BKK Produksjon som de kan bruke i sitt arbeid.

Prosjektrapporten for masteroppgaven skal innleveres i henhold til reglement gitt fra Digital arkivering og innlevering av masteroppgaver (DAIM) innen 10. juni 2014. Videre vil samarbeidsbedriften få oversendt ett innbundet eksemplar og ett elektronisk eksemplar innen rimelig tid etter innlevering.

2.4 Omfang

Omfanget av dette prosjektet begrenser seg til bruk av RCM-metodikk på vannkraftverk hos BKK Produksjon. Øvrige selskap i BKK-konsernet er ikke regnet med i dette prosjektet. Kun kraftstasjonene vil være i fokus. Øvrige ansvarsområder for seksjon vedlikehold hos BKK (vassdragsanlegg, måling og kontrollanlegg og driftssentralteknikk) vil ikke bli omfattet, men kan fortsatt relateres til prosjektet.

2.5 Prosjektbegrensninger

2.5.1 Tidsbruk

Masteroppgaven tilsvarer 30 av 30 studiepoeng for vårsemesteret 2014. Arbeidsmengden for 30 studiepoeng skal tilsvare rundt 48 timers arbeid per uke. Prosjektet, inkludert forstudierapport skal foregå mellom utdeling av oppgave 14. januar 2014 og prosjektinnlevering den 10. juni 2014 og gir en prosjektperiode 21 uker minus én uke påskeferie. I timeantall tilsvarer det cirka 960 arbeidstimer.

2.5.2 Ressurstilgang

Studenten har tilgang på litteratur via Universitetsbiblioteket i Trondheim og deres abonnementer og kilder. I tillegg er både BKK og ressurser på NTNU i stor grad tilgjengelige for innhenting av annen informasjon. Med tanke på BKKs tilknytning til MainTech i Trondheim har også en kilde her stilt seg disponibel til enkelte konsultasjoner. Reise til og opphold i Bergen er avtalt dekket av samarbeidsbedriften. NTNU stiller med studentlokaler for arbeidet som blir gjort i Trondheim.

2.5.3 Kommunikasjon

Student og veileder holder til daglig til ved NTNU i Trondheim. Samarbeidsbedriften holder til i Bergen. Det legges opp til at studenten vil utføre arbeidet hovedsakelig i Trondheim, men at deler av prosjektet vil foregå i Bergen. Veileder vil ha jevnlig møter med studenten i prosjektperioden. Perioder i Bergen vil tilbringes ved BKKs lokaler. Øvrig kommunikasjon vil foregå via telefon og e-post.

2.5.4 Kompetanse

Studenten har liten praktisk erfaring med RCM i forkant av prosjektet. Det eksisterer også begrenset med erfaring fra og kunnskap om akademiske og vitenskapelige prosjekter.

3 Prosjektplan

3.1 Prosjektoversikterklæring

Prosjektoversiktserklæring			
Prosjekt	RCM og vedlikehold		
Ansvarlig person	Vebjørn Loen	Revisjonsdato	02.02.2014
Oppgave/problemstilling			
<p>Drøfte innholdet i en RCM-prosess og diskutere viktigheten av å utføre RCM-analyser. Drøfte status for RCM i BKK Produksjon sammenlignet med moderne teori innen RCM. Utvikling av forslag til konsept for bruk av RCM hos BKK Produksjon. Testing av konseptforslaget på et vannkraftanlegg hos BKK. Utforme skisse for bruk av analyser i vedlikeholdet til BKK Produksjon.</p>			
Mål			
Kartlegging av teori, konsept og metode bak RCM, sette denne i sammenheng med vedlikehold av vannkraftverk hos BKK og benytte denne lærdommen for å utvikle et RCM-konsept for bruk hos BKK.			
Delmål/milepæler			
<ul style="list-style-type: none"> - Levere inn forstudierapport innen fristen 4. februar - Ferdig beskrivelse og analyse av status for RCM - Ferdig forslag til RCM-konsept - Gjennomføre RCM-analyse - Leverer inn prosjektrapport innen fristen 10. juni 			
Suksessfaktorer			
<ul style="list-style-type: none"> - Aktive samarbeidspartnere - God veiledning og oppfølging fra veileder - Tilgjengelig litteratur og informasjon - Arbeidsro og motivasjon 			
Resultat			
Fullstendig prosjektrapport som skal leveres inn i henhold til DAIM-reglement innen 10. juni samt som skal gjøres tilgjengelig for samarbeidsbedriften.			
Antagelser			
<ul style="list-style-type: none"> - Veiledere er tilgjengelig for diskusjon og veiledning - God kommunikasjon mellom student og andre interessenter - Godt samarbeid med samarbeidsbedrift - Tilgang på nødvendig informasjon og litteratur 			
Potensielle risikofaktorer og hindringer			
<ul style="list-style-type: none"> - Tap av data - Frivillig i Ingeniører uten grenser tar for mye tid - Undervurdering av påkrevd arbeidsmengde 			

3.2 Aktivitetsplan

Aktivitetene i prosjektet er delt inn i to grupper. Gruppe A er kjerneaktiviteter som skal bidra mot å løse problemstillingen. Gruppe B er støtteaktiviteter som kreves for at prosjekt og resultat skal bli som forventet. Aktivitetsplanen er den mest detaljerte oversikten over hva som skal gjøres. Det tas forbehold om at underpunktene i denne mest sannsynlig vil bli modifisert underveis. For hierarkisk strukturert fremstilling av aktivitetsplanen, se vedlegg A – Work Breakdown Structure. For fremdriftsplan for aktivitetene, se vedlegg B – Gantt-skjema.

#	A-aktiviteter
A1	Litteraturstudium
A1.1	Innhenting av litteratur <ul style="list-style-type: none">- Bibliotek- Nettbaserte databaser- Standarder- Veileder- BKK- MainTech- Oppdatere låneperiode på lånte bøker
A1.2	Lesing og gjennomgang av litteratur <ul style="list-style-type: none">- Stikkordsføring og referanser- Legg inn referanser i referanseliste
A2	Utreddelse av RCM
A2.1	Introduksjon av RCM som konsept
A2.2	Diskuter fordeler og ulemper ved RCM <ul style="list-style-type: none">- Evt. antagelser og forenklinger ved bruk av RCM- Beskriv det optimale resultatet av en RCM- Kartlegg grunnene til potensielt dårlige resultat av en RCM- Diskuter streamlining av RCM
A2.3	Kost-nytte-vurdering av RCM
A2.4	Diskuter alternativer til RCM
A2.5	Beskrive hvilke trinn en RCM består av Presenter trinnene med en utdypet forklaring. Baser det på standard JA1011 og - JA1012
A3	Status for RCM i BKK
A3.1	Kartlegg motivasjon og forventninger for bruk av RCM i BKK
A3.2	Kartlegg og evaluer analyse og erfaringer fra RCM ved Dale kraftverk <ul style="list-style-type: none">- Samle erfaringer fra vedlikeholdsseksjonen- Samle erfaringer fra vedlikeholdspersonell ute i anleggene
A3.3	Evaluer hvorvidt resultat fra RCM-analyse har blitt tatt i bruk
A3.4	Beskriv fremtidige planer

A3.5 Presenter status, utfordringer og muligheter innen RCM for BKK

A4 Foreslå RCM-konsept for BKK

- A4.1 Foreslå hvilken rolle RCM-analyser bør ha hos BKK
- Lag en modell for hvordan vedlikeholdet av anleggene skal bestemmes ved RCM
 - Foreslå prosedyre for oppsett av vedlikeholdsprogram
- A4.2 Foreslå hvordan RCM kan tilpasses til bruk på vannkraftanlegg hos BKK
- Kartlegg og kategoriser de ulike vannkraftanleggene
 - Diskuter standardisering av FMECA
- A4.3 Etabler en RCM-prosedyre for BKK
- A4.4 Diskuter nytte og kostnad av det foreslåtte konseptet
- A4.5 Foreslå hvordan implementering av analyse og resultater bør foregå

A5 Foreta RCM-analyse hos BKK

- A5.1 Beskriv ressursbehov og prosedyre for analyse
- A5.2 Planlegg gjennomføring med BKK
- A5.3 Gjennomføre analyse på et BKK-kraftverk
- A5.4 Presenter resultat og evaluer hvorvidt resultatet ble som ønsket

A6 Skissere et fremtidig vedlikeholds-/analysekonsept for BKK

- A6.1 Diskuter hvorvidt RCM er den beste løsningen for BKK
- A6.2 Forslå hvordan analyser bør bli implementert i BKKs vedlikehold
- A6.3 Foreslå prioriteringsområder for BKK

B-aktiviteter**B1 Forstudierapport**

- B1.1 Utforming av prosjektbeskrivelse
- Presentasjon av problemstilling og interessenter
 - Formulere prosjektmål
 - Beskrive omfanget av prosjektet
 - Beskrive prosjektbegrensninger
- B1.2 Konstruksjon av prosjektplan.
- Prosjektoversikterklæring
 - Aktivitetsliste
 - Kostnad-, tid- og ressursanalyse
 - Work Breakdown Structure
 - GANTT-diagram

B2 Disposisjon

- B2.1 Oppsett av foreløpig disposisjon av prosjektrapport

B3 Produksjon og ferdistilling av prosjektrapport

B3.1 Produksjon av rapportformalia

- Innholdsfortegnelse, figur- og tabelliste.
- Liste over forkortelser
- Sammendrag på engelsk og norsk
- Forord
- Konklusjon
- Referanseliste
- Vedlegg

B3.2 Korrekturlesing

- Egen gjennomlesing
- Gruppelesing
- Retting, formatering og omformulering

B3.3 Innlevering

- Lag PDF
- Tilpasse forside, tittelside og forsidebilde
- DAIM-innlevering
- Innleveringsskjema
- Distribuer rapport til samarbeidsbedrift og evt. andre interessenter

B4 Prosjektstyring

B4.1 Møtekoordinasjon

B4.2 Status- og avvikrappotertering

B4.3 Håndtering av kontrakter og avtaler

B3 Produksjon og ferdistilling av prosjektrapport

B3.1 Produksjon av rapportformalia

- Innholdsfortegnelse, figur- og tabelliste.
- Liste over forkortelser
- Sammendrag på engelsk og norsk
- Forord
- Konklusjon
- Referanseliste
- Vedlegg

B3.2 Korrekturlesing

- Egen gjennomlesing
- Gruppelesing
- Retting, formatering og omformulering

B3.3 Innlevering

- Lag PDF
- Tilpasse forside, tittelside og forsidebilde
- DAIM-innlevering
- Innleveringsskjema
- Distribuer rapport til samarbeidsbedrift og evt. andre interessenter

B4 Prosjektstyring

B4.1 Møtekoordinasjon

B4.2 Status- og avviksrapportering

B4.3 Håndtering av kontrakter og avtaler

3.3 Kostnad, tid og ressursanalyse

3.3.1 Forstudierapport

Kostnad, tid og ressurser			
Prosjekt			Rev.dato
RCM og vedlikehold			02.02.2014
Arbeidspakkenr.	Arbeidspakke		Ansvarlig
B1	Forstudierapport		Vebjørn Loen
Arbeidsoppgaver			
B1.1 Utforming av prosjektbeskrivelse B1.2 Konstruksjon av prosjektplan.			
Mål			
Skaffe oversikt over og definere omfanget av prosjektet. Plan for hvordan prosjektet skal utføres.			
Beskrivelse av innhold og arbeidsomfang			
Analysere problemstillinger gitt fra instituttet, dele opp arbeidet i arbeidspakker og en konkret aktivitetsplan. Utvikling av en prosjektplan med fremdriftsplan, hierarkisk strukturert aktivitetsplan, ressursoversikt og milepæler.			
Litteratur og ressurser			
- Oppgaveteksten - Erfaring og notater fra faget «Prosjektplanlegging og styring» - Programvare: Microsoft Office			
Arbeidsmetode			
- Kvalitativ vurdering - Samtale - Bruk av metodikk og programvare			
Utfordringer			
- Riktig forståelse for oppgaven - Beregne og allokere riktig tid på arbeidspakker			
Resultat			
En oversiktlig rapport som overleveres til veileder og samarbeidsbedrift elektronisk 04.02.2014. Denne skal innehold en fullstendig oversikt over prosjekt og prosjektplan.			
Anslått tids- og ressursforbruk			
Planlagt start	Planlagt slutt	Arbeidstimer	Varighet
14.01.2014	04.02.2014	70	

3.3.2 Disposisjon

Kostnad, tid og ressurser			
Prosjekt			Rev.dato
RCM og vedlikehold			02.02.2014
Arbeidspakkenr.	Arbeidspakke		Ansvarlig
B2	Disposisjon		Vebjørn Loen
Arbeidsoppgaver			
B2.1 Oppsett av foreløpig disposisjon av prosjektrapport			
Mål			
Lettfattelig oppstilling av prosjektrapport som gjør det enkelt å dokumentere resultatene underveis.			
Beskrivelse av innhold og arbeidsomfang			
Skaffe oversikt over formalia påkrevd i rapporten. Sette opp en foreløpig disposisjon i Microsoft Word.			
Litteratur og ressurser			
<ul style="list-style-type: none"> - Retningslinjer fra NTNU - Notater fra rapportskrivingskurs - Programvare: Microsoft Office 			
Arbeidsmetode			
- Arbeid i tekstbehandlingsprogram			
Utfordringer			
- Få oversikt over krav til rapporten kan være en utfordring			
Resultat			
Foreløpig disposisjon i henhold til retningslinjer gitt fra NTNU og veileder.			
Anslått tids- og ressursforbruk			
Planlagt start	Planlagt slutt	Arbeidstimer	Varighet
27.01.2014	04.02.2014	10	

3.3.3 Litteraturstudium

Kostnad, tid og ressurser			
Prosjekt			Rev.dato
RCM og vedlikehold			02.02.2014
Arbeidspakkenr.	Arbeidspakke		Ansvarlig
A1	Litteraturstudium		Vebjørn Loen
Arbeidsoppgaver			
A1.1 Innhenting av litteratur A1.2 Lesing og gjennomgang av litteratur			
Mål			
Å få oversikt over litteraturressurser som kan brukes som basis for prosjektoppgaven.			
Beskrivelse av innhold og arbeidsomfang			
Innhente litteratur som er relevant for prosjektets tema samt sortere og kvalitetssjekke denne slik at litteraturen blir enkel å finne frem i og referere til.			
Litteratur og ressurser			
<ul style="list-style-type: none"> - Litteratursøkekurs - Universitetsbibliotekets ressurser - Veileder - Samarbeidsbedrift 			
Arbeidsmetode			
<ul style="list-style-type: none"> - Litteratursøk - Samtale - Litteraturgjennomgang - Informasjonshåndtering 			
Utfordringer			
<ul style="list-style-type: none"> - Valg av gode kilder til informasjon. - Potensielt mye litteratur å sette seg inn i - Dårlig og irrelevant litteratur 			
Resultat			
Liste med relevant litteratur og kunnskap om hva denne litteraturen omfatter.			
Anslått tids- og ressursforbruk			
Planlagt start	Planlagt slutt	Arbeidstimer	Varighet
14.01.2014	30.03.2014	150	

3.3.4 Utredelse av RCM

Kostnad, tid og ressurser			
Prosjekt			Rev.dato
RCM og vedlikehold			02.02.2014
Arbeidspakkenr.	Arbeidspakke		Ansvarlig
A2	Utredelse av RCM		Vebjørn Loen
Arbeidsoppgaver			
A2.1 Introduksjon av RCM som konsept			
A2.2 Diskutere fordeler og ulemper ved RCM			
A2.3 Kost-nytte-vurdering av RCM			
A2.4 Diskutere alternativer til RCM			
A2.5 Beskrive hvilke trinn en RCM består av			
Mål			
Forklare viktigheten av RCM-analyser, inkl. diskusjon om kost-nytte av RCM-analyse. Presentasjon av trinnene i en RCM-analyse. Få en forståelse for og oversikt over hva RCM er, hva en RCM-analyse består av, hvilke krav som stilles til en RCM og hvilke fordeler og ulemper som finnes.			
Beskrivelse av innhold og arbeidsomfang			
Sette seg inn i det som eksisterer av litteratur, vitenskap og erfaring om emnet samt forfatte en utredning av dette.			
Litteratur og ressurser			
- Resurser fra litteraturstudiet - Veileder - Fagpersoner i vedlikeholdsmiljøet			
Arbeidsmetode			
- Informasjonsbearbeiding - Samtale - Diskusjon			
Utfordringer			
- Innsamlet litteratur kan være mangelfull - Det finnes forskjellige praksiser på hvordan RCM-analyser gjennomføres - RCM er et godt etablert begrep og mange har meninger om emnet			
Resultat			
En komplett oversikt over det man trenger å vite om RCM for dette prosjektet.			
Anslått tids- og ressursforbruk			
Planlagt start	Planlagt slutt	Arbeidstimer	Varighet
05.02.2014	30.03.2014	100	

3.3.5 Status for RCM hos BKK

Kostnad, tid og ressurser			
Prosjekt			Rev.dato
RCM og vedlikehold			02.02.2014
Arbeidspakkenr.	Arbeidspakke		Ansvarlig
A3	Status for RCM hos BKK		Vebjørn Loen
Arbeidsoppgaver			
A3.1 Kartlegg motivasjon og forventninger for bruk av RCM i BKK			
A3.2 Kartlegg og evaluer analyse og erfaringer fra RCM ved Dale kraftverk			
A3.3 Evaluer hvorvidt resultat fra RCM-analyse har blitt tatt i bruk			
A3.4 Beskriv fremtidige planer			
A3.5 Presenter status, utfordringer og muligheter innen RCM for BKK			
Mål			
Presentere og analysere status for RCM hos BKK Produksjon.			
Beskrivelse av innhold og arbeidsomfang			
Sette seg inn i hvordan BKK ligger an i sin implementering av RCM, hvilke utfordringer som eksisterer og hvilke planer de har for videre arbeid. Basert på dette skal det foretas en objektiv vurdering av hvordan status for RCM er hos BKK.			
Litteratur og ressurser			
- Samarbeidsbedrift			
- Veileder			
- Konsulenter som gjennomførte analyse hos BKK (MainTech)			
Arbeidsmetode			
- Litteraturstudie			
- Intervju			
- Diskusjon			
- Drøfting og argumentasjon			
- Grafisk fremstilling			
Utfordringer			
- Få tilgang på nødvendige ressurser hos BKK og MainTech			
- Å holde presentasjonen av status på et lettfattelig nivå			
- Vanskelig tilgang på nødvendig informasjon			
Resultat			
Komplett oversikt over status for RCM hos BKK.			
Anslått tids- og ressursforbruk			
Planlagt start	Planlagt slutt	Arbeidstimer	Varighet
17.02.2014	09.03.2014	70	

3.3.6 Foreslå RCM-konsept for BKK

Kostnad, tid og ressurser			
Prosjekt			Rev.dato
RCM og vedlikehold			02.02.2014
Arbeidspakkenr.	Arbeidspakke		Ansvarlig
A4	Foreslå RCM-konsept for BKK		Vebjørn Loen
Arbeidsoppgaver			
A4.1 Foreslå hvilken rolle RCM-analyser bør ha hos BKK			
A4.2 Foreslå hvordan RCM kan tilpasses til bruk på vannkraftanlegg hos BKK			
A4.3 Etabler en RCM-prosedyre for BKK			
A4.4 Diskuter nytte og kostnad av det foreslåtte konseptet			
A4.5 Foreslå hvordan implementering av analyse og resultater bør foregå			
Mål			
Foreslå et RCM-konsept for bruk på BKKs vannkraftstasjoner.			
Beskrivelse av innhold og arbeidsomfang			
Bruke utredning av RCM og statusvurdering og ved hjelp av dette foreslå et konsept for BKK. Vurdere nytte mot kostnad av et slikt konsept og hvordan resultat kan implementeres.			
Litteratur og ressurser			
- Resultater fra arbeidspakke A2 og A3			
- Veileder			
- Tilgjengelig litteratur			
- Fagpersoner i vedlikeholdsmiljøet			
Arbeidsmetode			
- Drøfting og argumentasjon			
- Diskusjon			
- Grafisk fremstilling			
Utfordringer			
- Sørge for at konseptet er så optimalt og realistisk som mulig			
- Manglende innsikt i BKKs vedlikehold			
Resultat			
Et konsept som BKK kan forsøke å implementere.			
Anslått tids- og ressursforbruk			
Planlagt start	Planlagt slutt	Arbeidstimer	Varighet
10.03.2014	13.04.2014	180	

3.3.7 Foreta RCM-analyse hos BKK

Kostnad, tid og ressurser			
Prosjekt			Rev.dato
RCM og vedlikehold			02.02.2014
Arbeidspakkenr.	Arbeidspakke		Ansvarlig
A5	Foreta RCM-analyse hos BKK		Vebjørn Loen
Arbeidsoppgaver			
A5.1 Beskriv ressursbehov og prosedyre for analyse.			
A5.2 Planlegg gjennomføring med BKK			
A5.3 Gjennomføre analyse på et BKK-kraftverk			
A5.4 Presenter resultat og evaluer hvorvidt resultatet ble som ønsket			
Mål			
Gjennomføre en RCM-analyse hos BKK for å se om det foreslåtte konseptet er tilfredsstillende.			
Beskrivelse av innhold og arbeidsomfang			
Planlegging av RCM-analyse, gjennomføring i samarbeid med BKK samt evaluering av resultatene.			
Litteratur og ressurser			
- Resultat fra arbeidspakke A4			
- Veileder			
- BKKs vedlikeholdspersonell			
- Oversikter og tegninger over kraftverket			
Arbeidsmetode			
- Analyse av arbeidsmengde, nødvendige ressurser og tidsforbruk			
- Lage en gjennomføringsplan			
- Gjennomgang og diskusjon i plenum			
- Kvalitativ evaluering av resultat			
Utfordringer			
- Studenten har aldri gjennomført en analyse før			
- Få BKK til å sette av nødvendige ressurser			
- Holde en effektiv gjennomføring av analyse			
Resultat			
En ferdig RCM-analyse og erfaringer fra gjennomføring. God basis for å evaluere om konseptet holder mål.			
Anslått tids- og ressursforbruk			
Planlagt start	Planlagt slutt	Arbeidstimer	Varighet
22.04.2014	11.05.2014	180	

3.3.8 Skissere fremtidig konsept for BKK

Kostnad, tid og ressurser			
Prosjekt			Rev.dato
RCM og vedlikehold			02.02.2014
Arbeidspakkenr.	Arbeidspakke		Ansvarlig
A6	Skissere fremtidig konsept for BKK		Vebjørn Loen
Arbeidsoppgaver			
A6.1 Diskuter hvorvidt RCM er den beste løsningen for BKK			
A6.2 Foreslå hvordan analyser bør bli implementert i BKKs vedlikehold			
A6.3 Foreslå prioriteringsområder for BKK			
Mål			
Ta i bruk resultatene fra prosjektet for å diskutere og foreslå fremtidig satsningsområde for vedlikeholdet i BKK			
Beskrivelse av innhold og arbeidsomfang			
Diskutere, på bakgrunn av prosjektresultatene, hvorvidt RCM er den beste løsningen for BKK. Foreslå hvilke vedlikeholdsanalyser som kan brukes hos BKK. Skissere et forslag til hvilke prioriteringer innen vedlikehold BKK bør ha fremover.			
Litteratur og ressurser			
- Resultater fra tidligere arbeidspakker			
- Veileder			
- Samarbeidsbedrift			
Arbeidsmetode			
- Diskusjon med aktuelle kilder			
- Drøfting og argumentasjon			
Utfordringer			
- Holde forslaget ambisiøst, men samtidig realistisk			
Resultat			
En grov skisse over et fremtidig konsept for vedlikeholdsanalyser i BKK			
Anslått tids- og ressursforbruk			
Planlagt start	Planlagt slutt	Arbeidstimer	Varighet
12.05.2014	25.05.2014	90	

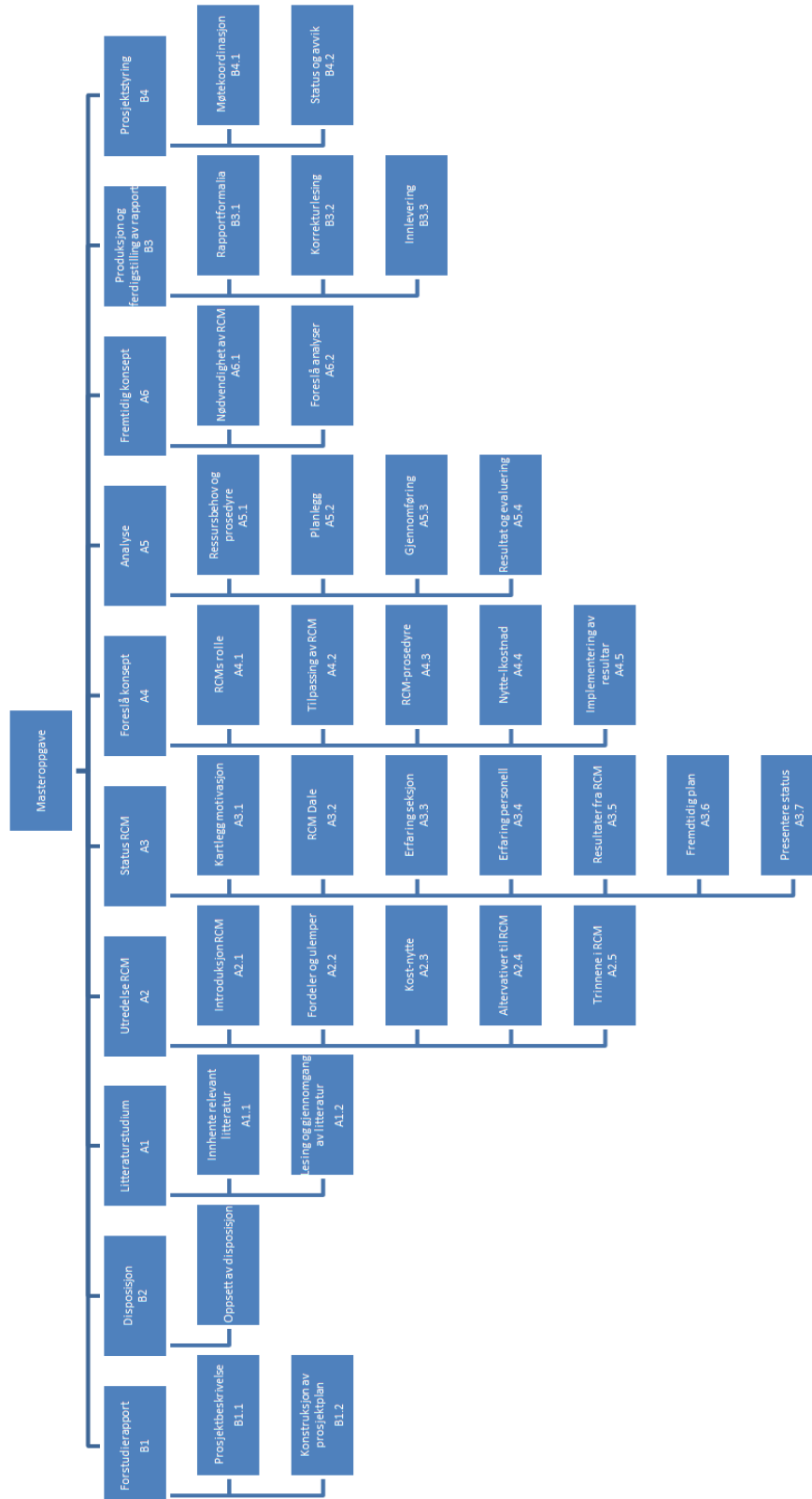
3.3.9 Produksjon og ferdigstilling av rapport

Kostnad, tid og ressurser			
Prosjekt			Rev.dato
RCM og vedlikehold			02.02.2014
Arbeidspakkenr.	Arbeidspakke		Ansvarlig
B3	Produksjon og ferdigstilling av rapport		Vebjørn Loen
Arbeidsoppgaver			
B3.1 Produksjon av rapportformalia B3.2 Korrekturlesing B3.3 Innlevering			
Mål			
Prosjektrapport i henhold til krav for forskningsrapporter. Oversiktlig, lettlest og lettfattelig prosjektrapport uten skrivefeil. Innlevering etter reglementet.			
Beskrivelse av innhold og arbeidsomfang			
Formatering av den tekstlige rapporten. Skrivning av rapportformalia slik som forord, sammendrag, konklusjon, figurlister osv. Korrekturlesing og ferdigstilling av rapport. Innlevering av rapport gjennom DAIM.			
Litteratur og ressurser			
<ul style="list-style-type: none"> - Kurs om skrivning av vitenskapelige rapporter. - Evt. tilgjengelige krav til forskningsrapporter. - Veileder. 			
Arbeidsmetode			
<ul style="list-style-type: none"> - Arbeid i tekstbehandlingsprogram - Diskusjon med veileder - Korrekturlesing i kollokvie 			
Utfordringer			
<ul style="list-style-type: none"> - Unngå å bli pirkete med smådetaljer - Unngå småfeil som trekker ned helhetsinntrykket av rapporten - Ikke la tekstproduksjonen overskygge arbeidet med resultatene. 			
Resultat			
Ferdig prosjektrapport i elektronisk utgave levert inn via DAIM og til samarbeidsbedrift.			
Anslått tids- og ressursforbruk			
Planlagt start	Planlagt slutt	Arbeidstimer	Varighet
26.05.2014	10.06.2014	90	

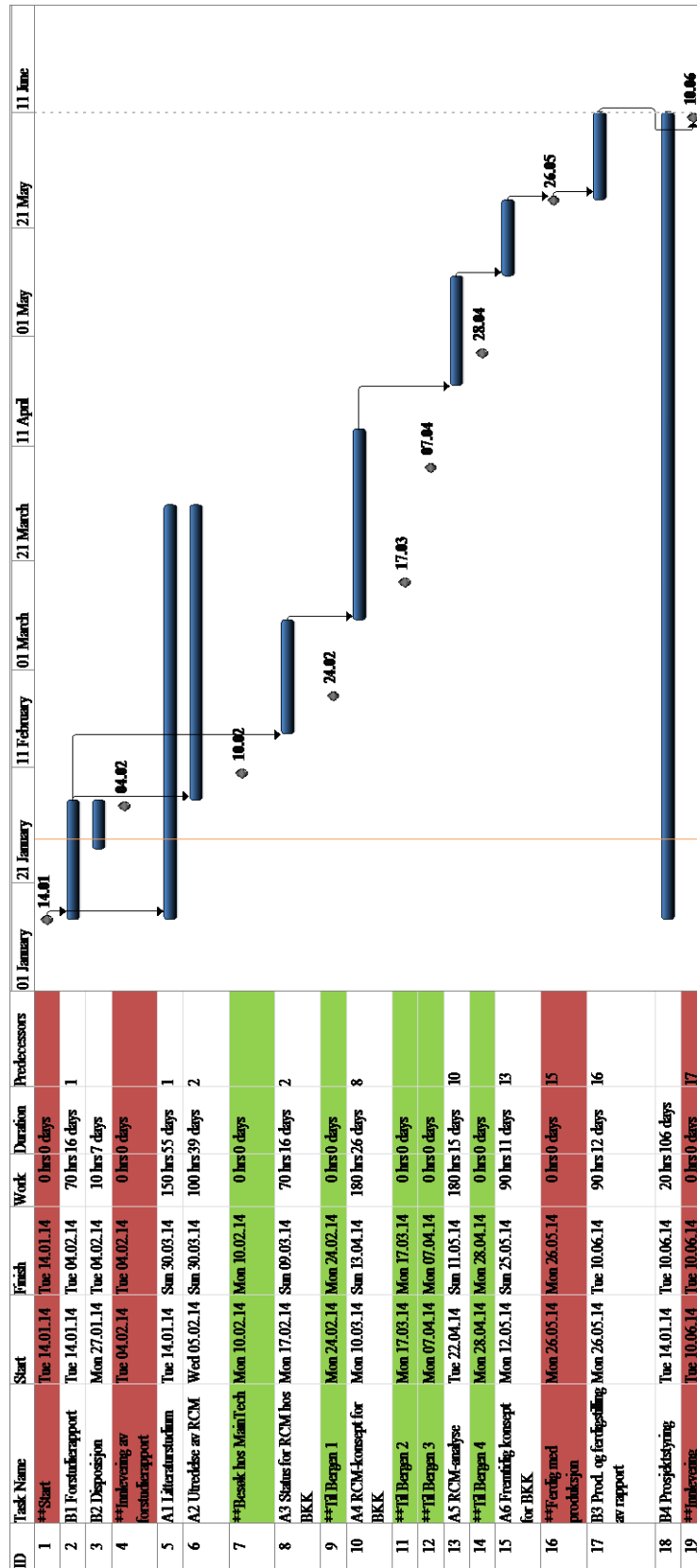
3.3.10 Prosjektstyring

Kostnad, tid og ressurser			
Prosjekt			Rev.dato
RCM og vedlikehold			02.02.2014
Arbeidspakkenr.	Arbeidspakke		Ansvarlig
B4	Prosjektstyring		Vebjørn Loen
Arbeidsoppgaver			
B4.1 Møtekoordinasjon B4.2 Status- og avviksrapportering B4.3 Håndtering av kontrakter og avtaler			
Mål			
Et prosjekt som går etter planen og med godt dokumentert gjennomføring. God kommunikasjon med samarbeidspartnere og veileder.			
Beskrivelse av innhold og arbeidsomfang			
Planlegging og gjennomføring av nødvendige møter med interessenter. Jevnlig vurdering av progresjon i henhold til prosjektplanen. Rapportering av endringer og avvik.			
Litteratur og ressurser			
- Oppgaveteksten - Forstudierapport - Erfaring fra faget «Prosjektplanlegging og styring»			
Arbeidsmetode			
- Kommunikasjon via telefon, epost og møte. - Rapportering i tekstlig form.			
Utfordringer			
- Bruk av prosjektplan og oppdatering av denne kan føles «unødvendig». - Oppdatering hos interessenter kan bli nedprioritert.			
Resultat			
Et prosjekt som følger planen. Interessenter som er fornøyde med kommunikasjonen i prosjektperioden.			
Anslått tids- og ressursforbruk			
Planlagt start	Planlagt slutt	Arbeidstimer	Varighet
14.01.2014	10.06.2014	20	

Vedlegg A - Work Breakdown Structure (WBS)



Vedlegg B - GANTT-diagram



Referanser

- ABS (2003) *Guide for Survey Based on Reliability-Centered Maintenance*. American Bureau of Shipping.
- Arunraj, N.S., Maiti, J. (2006) *Risk-based maintenance – Techniques and applications*. Journal of Hazardous Materials, vol. 142, s. 653-661
- BKK P (2012) *Strategiplan BKK Produksjon AS 2013-2020* [internt dokument] BKK Produksjon
- BKK P (2013a) *Vedlikeholdsmål og strategier I BKK Produksjon AS 2012 – 2017* [internt dokument] BKK Produksjon
- BKK P (2013b) *Vedlikeholdsfilosofi* [internt dokument] BKK Produksjon
- BKK P (2014) *Samtale med nøkkelpersoner i Seksjon Vedlikehold og Kraftverksentreprenød*. [personlig kommunikasjon] BKK Produksjon.
- Bloom, N. B. (2006) *Reliability Centered Maintenance. Implementation made simple*. USA: McGraw-Hill
- Brevik, T., Schjølberg, P., Storvestre, M. D. og Fjørtoft, L. D., (2013) *Internrevisjon - Revisjonsprosjekt nr. 6/12: Vedlikehold vannkraftverk*.
- Cheng et. al. (2008) *A framework for intelligent reliability centered maintenance analysis*. Reliability Engineering and System Safety, vol. 93, utg. 6, s. 806-814
- DoD USA (1985) *Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System*. MIL-STD-2155(AS). Department of Defence United States of America
- DoD USA (2010) *Reliability-Centered Maintenance (RCM) Process*. MIL-STD-3034. Department of Defence United States of America
- DNV (2010) *Risk Based Inspection of Offshore Topsides Static Mechanical Equipment*. Recommended Practice DNV-RP-G101. Det Norske Veritas.

- Eelman, L., Zaal, T. (2013) *How reliability centered maintenance can be implemented successfully*. Asset Management & Maintenance Journal, vol. 26, utg. 4, s. 25-26
- Eggen, A. O. og Heggset, J. (1999) *Etablering av nasjonal database med driftsrelatert informasjon for vedlikeholdsformål TRA4966*, Trondheim, SINTEF Energi
- Eisinger, S., Rakowsky, U. K. (2001) *Modeling og uncertainties in reliability centered maintenance – a probabilistic approach*. Reliability Engineering and System Safety, vol. 71, utg. 2, s. 159-164
- Federici, A. (2005) *Vedlikeholdsanalyse av Myster kraftverk*. [masteroppgave] Institutt for produktutvikling og materialer, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
- Ferjencik, M. Kuracina, R. (2008) *MORT WorkSheet or how to make MORT analysis easy*. Journal of Hazardous Materials, vol. 151, utg. 1, s. 143-154
- IAEA (2001) *Applications of probabilistic safety assessment (PSA) for nuclear power plants*. IAEA-TECDOC-1200. International Atomic Energy Agency
- Idhammar, C. (20--) *Can you really Justify Realiability Centered Maintenance (RCM)* [nettside] Tilgjengelig fra: <http://www.idcon.com/resource-library/articles/reliability-centered-maintenance/459-can-you-really-justify-rcm-1.html> (Hentet: 23. Mai 2014)
- Jambulingam, Jardine, (1985) *Life Cycle Costing Considerations in Reliability Centered Maintenance: An Application to Maritime Equipment*. Reliability Engineering, vol. 15, utg. 4, s. 307-317
- Kelly, A. (2006) *Managing Maintenance Resources*. kap. 8 og 13, 1. utg. Oxford: Butterworth-Heinemann
- Khan, F.I., Haddara, M.M. (2003) *Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 16, utg. 6, s. 561-573
- Li, D., Gao, J. (2010) *Study and application of Reliability-centered Maintenance considering Radical Maintenance*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 23, utg. 5, s. 622-629

- MainTech (2013a) *Utkast RCM prosedyre for BKK Produksjon AS* [internt dokument]
- MainTech (2013b) *Aktivitetsplan RCM-analyse Dale kraftverk* [internt dokument]
- Moubray, J. (1997) *Reliability-centered Maintenance*. 2. utg. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Moubray, J. (2001) *Is Streamlined RCM Worth the Risk?* *Maintenance Technology*, vol. 14, utg. 1. Tilgjengelig fra: <http://www.maintenancetechnology.com/2001/01/is-streamlined-rcm-worth-the-risk/> (Hentet: 16. januar 2014)
- Murthy, D. N. P., Rausand, M., Østerås, T. (2008) *Product Reliability. Specification and Performance*. London, Springer-Verlag
- NASA (2008) *Reliability-Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment*. National Aeronautics and Space Administration
- NEK (2001) *Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide*. NEK IEC 61882. Norsk elektroteknisk komite
- NEK (2006) *Analysis techniques for system reliability. Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*. NEK IEC 60812. Norsk elektroteknisk komite
- NEK (2009) *Dependability management Part 3-11: Application guide Reliability centered maintenance*. NEK IEC 60300-3-11 Norsk elektroteknisk komite
- Nowland, F. S. og Heap, H. F. (1978) *Reliability-Centered Maintenance*. Dolby Access Press
- Oljedirektoratet, (1998). *Basisstudie vedlikeholdsstyring: Metode for egenvurdering av vedlikeholdsstyring*. Tilgjengelig fra <http://www.ptil.no/nyheter/basisstudie-vedlikeholdsstyring-article715-702.html>. (Hentet: 18.11.2013)
- Plucknette, D. (2014) *Why Are People Afraid of RCM?* *Maintworld*, vol. 6, utg. 2.
- Prabhakar, P. D. og Raj, V. P. J. (2013) *A New Model For Reliability Centered maintenance in Petroleum Refineries*. *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 2, utg. 5

Rausand, M. og Høyland, A. (2004) *System Reliability Theory. Models, Statistical Methods and Applications*. 2. utg. New Jersey, John Wiley & Sons

Rausand, M., Vatn, J. (2008) *Reliability Centered Maintenance*, I: Kobbacy, K. A. H., Murthy, D. *Complex systems maintenance handbook*. Springer, London.

Regan, N. (2012) *The RCM Solution – A Practical Guide to Starting and Maintaining a Successful RCM Program*. New York: Industrial Press

SAE International (2009) *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*. SAE JA1011, Society of Automotive Engineers.

SAE International (2011) *A Guide to the Reliability-Centered maintenance (RCM) Standard*. SAE JA1012, Society of Automotive Engineers.

Selvik, J. T. og Aven, T. (2011) *A framework for reliability and risk centered maintenance*. Reliability Engineering and System safety, vol. 96, utg. 2, s. 324-331

Smith, A. M. og Hinchcliffe, G. R. (2004) *RCM – Gateway to World Class Maintenance*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann

Solvang, E., Istad, M. og Heggset, J., (2011) *Vedlikeholdsstyring innen vannkraft: Status og beste praksis*. Trondheim, SINTEF Energi AS

Standard Norge (2010). *NS-EN 13306:2010 Vedlikeholdsterminologi*. Brussels, CEN.

Standard Norge (2011) *Z-008 Risk based maintenance and consequence classification*. Lysaker, Standard Norge

Turner, S. (2001) *PM Optimisation. Maintenance Analysis of the Future*. ICOMS Annual Conference Melbourne. 2001.

Tilgjengelig fra:

http://www.reliabilityweb.com/excerpts/excerpts/pm_optimization.htm (Hentet 15. mai 2014)

Curriculum vitae

Navn: Vebjørn Loen
Fødselsdato: 18.04.1988
Adresse: Øvre Allé 11, 7030 Trondheim
E-post (NTNU): vebjorl@stud.ntnu.no
E-post (privat): vebjorn.loen@gmail.com
Telefon: +47 415 64 560



Språk

Norsk Morsmål
Engelsk Flytende

Utdanning

2008 – 2014 **Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet**
Master of Science, Produktutvikling og produksjon
Fagområde: Produksjons- og kvalitetsteknikk
Spesialisering: RAMS

2004 – 2008 **Romsdal videregående skole**
Tekniske og allmenne fag (TAF) - byggfag