

**SINTEF Teknologi og samfunn
Sikkerhet**

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: S P Andersens veg 5
7031 Trondheim
Telefon: 73 59 03 00
Telefaks: 73 59 03 30

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Vedlikehold for aldrende innretninger – en utredning

FORFATTER(E)

Ole Meland, Per Schjølberg og Knut Øien

OPPDRAGSGIVER(E)

Petroleumstilsynet (Ptil)

RAPPORTNR. SINTEF A11701	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Gerhard Ersdal, Hans Spilde og Semsudin Leto	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 978-82-14-04815-5	PROSJEKTNR. 504183	ANTALL SIDER OG BILAG 72 / 2
ELEKTRONISK ARKIVKODE Rapport Vedlikehold for aldrende innretninger – en utredning.doc		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Per Schjølberg <i>Per Schjølberg</i>	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Erik Jersin <i>Erik Jersin</i>
ARKIVKODE	DATO 2008-11-25	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Lars Bodsberg, Forskningssjef <i>Lars Bodsberg</i>	

SAMMENDRAG

Målet med prosjektet har vært å etablere et fundament for hvordan vedlikehold endres når innretningene på norsk sokkel blir eldre. Flere av innretningene vil i løpet av få år nærme seg slutten av sin designlevetid, og for mange av innretningene vil en forlengelse av levetiden være ønskelig.

For å sikre innretningenes integritet i en levetidsforlengelse, vil en forutsetning være at selskapene har en effektiv vedlikeholdsstyring. Rapporten konkluderer med at vedlikeholdsstyringen for designlevetiden må revideres for å kunne videreføres inn i levetidsforlengelsen. Forståelsen for konsekvensene av aldring og aldringsmekanismer blir viktig.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Vedlikehold	Maintenance
GRUPPE 2	Vedlikeholdsstyring	Maintenance management
EGENVALGTE	Aldring	Aging
	Levetidsforlengelse	Life extension
	Offshoreindustrien	Offshore industry

“Aging is not about how old your equipment is; it’s about what you know about its condition and how it is changing over time”

[Petroleumstilsynet, 2008]

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	5
1 Innledning	6
1.1 Bakgrunn.....	6
1.2 Mål	6
1.3 Hypotese	6
1.4 Struktur	6
1.5 Forutsetninger og begrensninger.....	7
1.6 Forkortelser	7
1.7 Terminologi.....	8
2 Levetidsforlengelse	10
2.1 Behovet for levetidsforlengelse på norsk sokkel	10
2.2 Søknad om samtykke til levetidsforlengelse.....	10
2.3 Levetidsforlengelse og levetidsforbedring.....	11
2.4 Fasene i en levetidsforlengelse	12
2.5 Degraderingsmekanismer	15
2.6 Avdekke degraderingsmekanismer	16
2.7 Viktigheten av god vedlikeholdsstyring	18
3 Aldring.....	19
3.1 Aldring av behov.....	19
3.2 Aldring av teknologi	20
3.3 Funksjonell aldring	20
3.4 Konklusjon.....	21
4 Endringer i vedlikeholdsfilosofi og vedlikeholdsstrategi for aldrende innretninger	24
4.1 Inspeksjonsintervaller	24
4.1.1 Observerbar gradvis feilutvikling	25
4.1.2 Observerbar rask feilutvikling	25
4.1.3 Ikke-observerbar feilutvikling.....	26
4.1.4 Sjokkutvikling.....	26
4.2 Forandre inspeksjonsintervallene.....	26
4.3 Vedlikeholdsfilosofi og vedlikeholdsstrategi ved en levetidsforlengelse.....	26
5 Indikatorer for å identifisere utslag av aldring	28
5.1 Indikatorer.....	28
5.2 Presentasjon av indikatorene.....	28
5.3 Proaktive indikatorer.....	29
5.4 Proaktiv anvendelse av indikatorene	30
5.5 Vurderinger og kommentarer.....	32
6 Endringer og tillegg til styringsmodellen for vedlikehold for aldrende innretninger ...	33
6.1 Styringsmodell fra Basisstudien	33
6.2 Modifisert styringsmodell.....	34
6.3 Forbedringsverktøy	34
6.4 Andre modifikasjoner	35
6.5 Konklusjon.....	35
7 Nødvendige revisjoner av vedlikeholdsprogram for aldrende innretninger	36
7.1 1. Evaluere historikk	36
7.2 2. Evaluere nåværende tilstand	36
7.3 3. Evaluere fremtidsutsiktene og eventuell levetidsforlengelse.....	36

7.4	4. Vurdere om levetidsforlengelse er mulig.....	37
7.5	5. Beslutning om levetidsforlengelse	37
8	Kompetanse.....	38
8.1	Forbedre kompetansen i vedlikeholdsorganisasjonen	39
8.2	Definerte kompetansekrav	40
8.3	Riktig kompetanse i alle faser.....	41
8.4	Plassering av kompetanse	41
9	Endringer i klassifisering av aldrende innretninger	42
9.1	Forskriftskrav	42
9.2	Klassifisering	42
9.3	Forutsetninger for klassifisering	43
9.4	Teknisk tilstand.....	44
9.5	Barrieremodell	44
9.6	Endringer i driftsbetingelser	45
10	Avhending og fjerning av innretninger	46
11	Konklusjon	47
	Referanser	48
	Vedlegg A: Requirements of a European Maintenance Specialist	51
	Vedlegg B: Litteraturhenvisninger	70

Sammendrag

Målet med prosjektet har vært å etablere et fundament for hvordan vedlikehold endres når innretningene på norsk sokkel blir eldre. Prognoser viser at dagens ti største innretninger på norsk sokkel også vil være de ti største innretningene om femten år. Innen 2010 vil 33 av totalt 101 samtykker for drift på norsk sokkel være utgått. Påstandene bekrefter behovet for levetidsforlengelse utover designlevetiden.

Designlevetiden defineres ut i fra systemets ulike egenskaper, drift og vedlikehold. Systemer vil som en følge av tid eller bruk utsettes for nedbrytningsprosesser under hele designlevetiden. Nedbrytningsprosessene betegnes som *aldring* og intensiveres mot slutten av designlevetiden og inn i levetidsforlengelsen. Aldring kan deles opp i *aldring av behov*, *aldring av teknologi* og *funksjonell aldring*. Aldring av *behov* oppstår ved at det utvikles krav som ligger utenfor de forutsetningene som systemet ble designet for, *aldring av teknologi* ved at ny teknologi utfordrer den gamle teknologien og *funksjonell aldring* ved at systemets funksjons- og/eller ytelsesevne reduseres.

Under designlevetiden er vedlikeholdets rolle å kontrollere at tilstanden på utstyr er som forventet, eventuelt utføre aktiviteter for å oppnå forventet tilstand. I en levetidsforlengelse vil vedlikeholdet få en mer aktiv og sentral rolle i dokumenteringen av sikkerhet og integritet. Vedlikeholdsfilosofi og vedlikeholdsstrategi for levetidsforlengelsen må gjenspeile disse aspektene. Feilaktig utforming vil kunne føre til overflødige kostnader, økt risiko og flere tap.

Innføringen av proaktive indikatorer er et viktig hjelpemiddel i levetidsforlengelsen. Begrepet proaktiv defineres som det å ta initiativ og gripe inn i igangværende utvikling eller å kunne forutse hva som kan skje. Hensikten med proaktive indikatorer er at de skal kunne gi et tidlig varsel om at en hendelse kan komme til å inntreffe. Den mest anvendte proaktive indikatoren innen vedlikeholdsstyring er etterslep. Høyt etterslep indikerer økt sannsynlighet for at uønskede hendelser kan inntreffe. Bruken av proaktive indikatorer og tilhørende fortolkninger vil avhenge av i hvilken fase av levetidsforlengelsen systemet befinner seg.

For å sikre en effektiv vedlikeholdsstyring i levetidsforlengelsen, må vedlikeholdsprogrammet revideres. Revisjonen tar utgangspunkt i evaluering av historikken til systemene, nåværende tilstand og fremtiden. På bakgrunn av evalueringen skal det fattes en beslutning om en levetidsforlengelse er sikkerhetsmessig forsvarlig. Hvis levetidsforlengelse er mulig, må det utarbeides en plan som beskriver en kontinuerlig forbedringsprosess. Forbedringsprosessen skal sikre integriteten til systemet og bør være gjenspeilet i selskapets vedlikeholdsstyringsmodell.

Rapporten "Vedlikehold som virkemiddel for å forebygge storulykker – Vedlikeholdsstatus og utfordringer", utført av SINTEF i 2008, påpeker flere mangler knyttet til vedlikeholdsstyring hos selskapene som opererer på norsk sokkel. Flere av anmerkningene er relatert til manglende kompetanse og mangelfull klassifisering av systemer og utstyr. Betydningen av riktig kompetanse og kontinuerlig kompetanseøkning vil øke i en levetidsforlengelse. Aldringsfenomenet medfører nye utfordringer knyttet til opptreden av feil og feilutviklinger. Kompetansen vil øke ansattes forståelse for hvordan systemene i selskapet fungerer.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Flere innretninger i norsk petroleumsvirksomhet er eldre enn designlevetiden. Deler av denne infrastrukturen er planlagt å være i drift utover den foreskrevne designlevetiden (jf. Stortingsmelding 34 og 12 kapittel 5.3.3.1 om aldrende innretninger).

Videre drift av eksisterende innretninger på norsk sokkel er god økonomi for samfunn og næring, men det er ikke akseptabelt at videre drift går utover sikkerheten. Til tross for at vi står foran store utfordringer på dette området, gjøres det lite forskning og utvikling i Norge for å se hvilke risikoelementer som er forbundet med levetidsforlengelse og nødvendige tiltak i den forbindelse.

Denne rapporten er ikke ment å presentere endelige løsninger fra SINTEF sin side. Innholdet skal kun belyse sentrale aspekter innenfor hver av de forhåndsdefinerte arbeidspakkene i prosjektavropet og gjøre egne vurderinger for hvordan vedlikehold av aldrende innretninger bør styres.

1.2 Mål

Prosjektets hovedmål er å etablere et fundament for hvordan vedlikehold endres når innretninger blir eldre. I prosjektet skal eksisterende litteratur om vedlikehold av aldrende innretninger vurderes. På grunnlag av litteratur og egen kompetanse skal gjøres vurderinger for hvordan vedlikehold av aldrende innretninger bør styres.

1.3 Hypotese

”En forlengelse av levetiden for innretninger på norsk sokkel kan muliggjøres ved revisjon av vedlikeholdsstyringen.”

1.4 Struktur

Rapporten er delt opp i 13 kapitler. Kapittel 2 beskriver innledningsvis behovet for levetidsforlengelse på norsk sokkel. Videre analyserer kapitlet fenomenet levetidsforlengelse og berører kort ulike degraderingsmekanismer.

Kapittel 3 behandler aldringsfenomenet og innfører begrepet total aldring. Videre beskriver kapittel 4 ulike feilutviklinger og hvordan feilutviklingene bør behandles med hensyn til vedlikeholdsfilosofi og vedlikeholdsstrategi. I kapittel 5 presenteres proaktive indikatorer, og det gies en forklaring for hvordan proaktive indikatorer kan anvendes i de ulike fasene av en levetidsforlengelse.

I kapittel 6 behandles styringsmodeller innenfor vedlikehold. Kapitlet tar utgangspunkt i styringsmodellen fra Basisstudien [Oljedirektoratet, 1998] og foreslår noen endringer, blant annet med hensyn til kontinuerlige forbedringsprosesser. Videre beskriver kapittel 7 hvordan

eksisterende vedlikeholdsprogram må revideres for å kunne opprettholde sin funksjon i en levetidsforlengelse.

Kapittel 8 beskriver behovet for tilstrekkelig kompetanse blant ansatte og hvorfor behovet er særdeles viktig i en levetidsforlengelse. Behovet forsterkes igjennom anmerkninger gjort i revisjoner hos flere selskap som opererer på norsk sokkel. I kapittel 9 beskrives klassifiseringsprosessen og hvordan denne legges til grunn for vedlikeholdsstyringen. Riktig klassifisering er nødvendig hvis vedlikeholdsstyringen skal kunne sikre innretningenes integritet.

I kapittel 10 beskrives aspekter knyttet til avhending av aldrende innretninger og ulike alternativer for gjennomføringen av denne prosessen. Kapittel 12 viser referansene som er brukt i rapporten.

I vedlegg A listes det opp krav til ansatte på ulike nivå i en vedlikeholdsorganisasjon. Kravene er definert av den europeiske vedlikeholdsforeningen European Federation of National Maintenance Societies (EFNMS).

Vedlegg B inneholder resultatene fra et litteratursøk innenfor vedlikehold og levetidsforlengelse. For hver relevant kilde er det lagt inn en lenke og en kort beskrivelse.

1.5 Forutsetninger og begrensninger

Prosjektets hovedmål er å etablere et fundament for hvordan vedlikehold endres når innretninger blir eldre. Det finnes relativt lite litteratur som direkte berører problemstillingen for prosjektet. I tillegg er den økonomiske rammen for prosjektet begrenset.

1.6 Forkortelser

CEN	Comité Européen de Normalisation (European Committee for Standardization)
EFNMS	European Federation of National Maintenance Societies
FV	Forebyggende vedlikehold
HMS	Helse, miljø og sikkerhet
HSE	Health and Safety Executive
IO	Integrerte operasjoner
KV	Korrigerende vedlikehold
LCC	Life Cycle Cost
LCL	Life Cycle Lost
LCP	Life Cycle Profit
LF	Levetidsforlengelse
NDT	Non-destructive testing (testing uten at testobjektet påføres skade)
NORSOK	Norsk sokkels konkurranseposisjon
OD	Oljedirektoratet

OLF	Oljeindustriens Landsforening
PSV	Pressure Safety Valve
PUD	Plan for Utvikling og Drift
Ptil	Petroleumstilsynet
SDØE	Statens direkte økonomiske engasjement
SINTEF	Stiftelsen for Industriell og Teknisk Forskning
Sm ³	Standardkubikkmeter
TPS	Toyota Production System
WC	Wolfram Carbide

1.7 Terminologi

I rapporten er følgende terminologi benyttet:

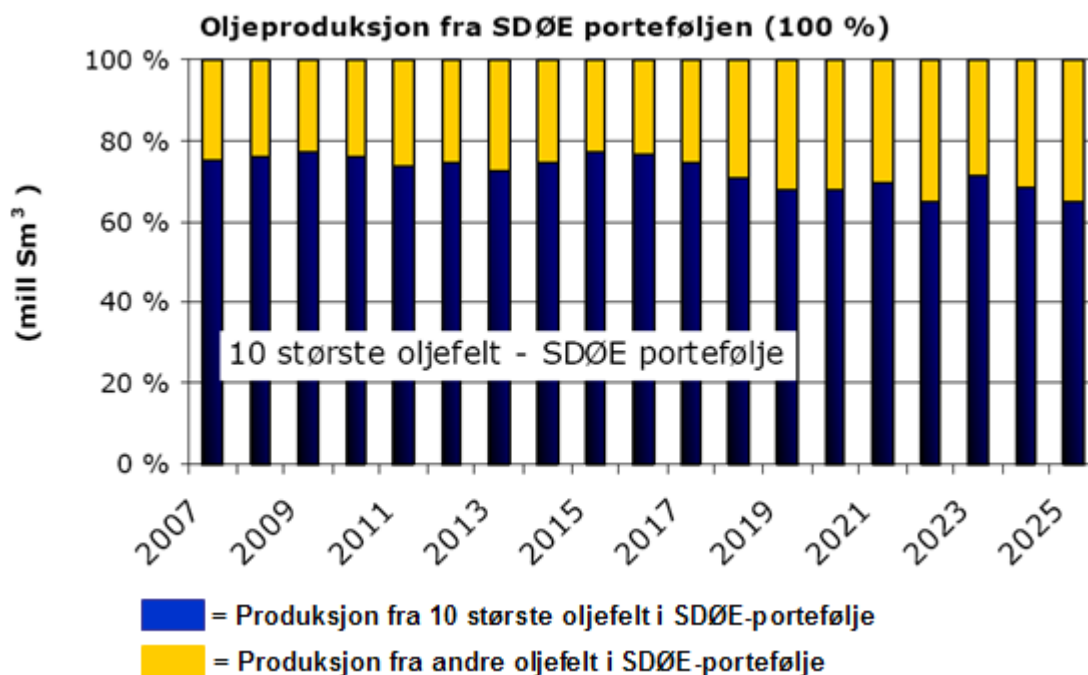
<i>Akutt vedlikehold:</i>	Korrigerende vedlikehold som igangsettes umiddelbart etter at en feil (tilstand) er identifisert. Det vil si at dette i hovedsak er aktiviteter som utføres for å utbedre svikt med høy kritikalitet (store konsekvenser), og som derfor er gitt høy prioritet (arbeidsordren har høy prioritetsklasse) [Schjølberg, 2005].
<i>Aldring:</i>	Prosess hvor egenskapene til et system, en struktur eller en komponent gradvis svekkes som en følge av tid eller bruk [Tilpasset fra Hokstad, 2008].
<i>Degraderingsmekanisme:</i>	Spesifikk prosess som gradvis svekker egenskapene til et system, en struktur eller en komponent over tid eller som en følge av bruk [Tilpasset fra Hokstad, et al., 2008].
<i>Etterslep:</i>	Forebyggende vedlikeholdsaktiviteter som ikke er utført i henhold til planlagt tidspunkt [Schjølberg, 2005].
<i>Forebyggende vedlikehold:</i>	Vedlikehold som utføres etter forutbestemte intervaller eller kriterier og som har til hensikt å redusere sannsynligheten for svikt eller funksjonsnedsetting (degradering) [Schjølberg, 2005].
<i>Klassifisering:</i>	Plassering av et objekt i et sett av kategorier/klasser, basert på egenskaper til objektet [Øien, et al., 2008].
<i>Korrigerende vedlikehold:</i>	Vedlikehold som utføres etter at en feil (tilstand) er oppdaget, og som har til hensikt å bringe en enhet tilbake til en tilstand som gjør det mulig å utføre en krevd funksjon [Schjølberg, 2005].
<i>Levetidsforbedring:</i>	Tiltak for å redusere tap, kostnader og/eller risiko i levetiden for et system, en komponent eller et utstyr [Tilpasset fra Hokstad, et al., 2008].

<i>Levetidsforlengelse:</i>	Tidsrom etter designlevetiden hvor en innretning fortsatt er i drift og opprettholder et akseptabelt nivå av teknisk og operasjonell integritet [Tilpasset fra Hokstad, et al., 2008].
<i>Standardkubikkmeter:</i>	Standardkubikkmeter angir hvor mange kubikkmeter det er av et stoff når stoffet har en temperatur på 15 °C og et trykk lik 1,01325 bar (standard lufttrykk) [Wikipedia, 2008].
<i>Teknisk tilstand:</i>	En eller flere relative verdier som uttrykker et objekts degraderingsgrad i forhold til designtilstand. Verdien varierer mellom 0 og 100, hvor sistnevnte angir designtilstand. [Tilpasset fra Bekkeheien, 2002].
<i>Utestående vedlikehold:</i>	Korrigerende vedlikeholdsaktiviteter som ikke er utført i henhold til planlagt tidspunkt [Schjølberg, 2005].
<i>Utsatt vedlikehold:</i>	Korrigerende vedlikehold som ikke igangsettes umiddelbart etter at en feiltilstand er identifisert, men som er utsatt i henhold til gitte vedlikeholdsregler [Schjølberg, 2005].
<i>Vedlikehold:</i>	En kombinasjon av alle tekniske, administrative og styringsmessige aktiviteter i levetiden til en enhet, som har til hensikt å opprettholde eller gjenopprette den til en tilstand som gjør den i stand til å utføre den krevde funksjonen [Schjølberg, 2005].
<i>Vedlikeholdsstyring:</i>	Alle ledelsesaktiviteter som fastsetter vedlikeholdsmålene, strategiene og ansvar, og implementerer dem gjennom tiltak som vedlikeholdsplanlegging, vedlikeholdskontroll og tilsyn, og forbedring av metoder i selskapet, inkludert økonomiske aspekter [Schjølberg, 2005].

2 Levetidsforlengelse

2.1 Behovet for levetidsforlengelse på norsk sokkel

SDØE er en portefølje bestående av statens egne andeler av produksjonsrettigheter på norsk sokkel. Figur 1 viser oljeproduksjonen fra "Statens direkte økonomiske engasjement" (SDØE).



Figur 1 Oljeproduksjon fra SDØE porteføljen [Tilpasset fra Sløveren, 2008]

Av Figur 1 kommer det frem at de ti største oljefeltene per i dag utgjør en stor andel av oljeproduksjonen på norsk sokkel. Oljefeltene vil beholde andelen i minst 15 år til og har dermed fremdeles et stort produksjonspotensial. Da flere av disse oljefeltene vil overskride sin designlevetid innen de 15 årene, underbygger prognosen behovet for levetidsforlengelse for flere innretninger på norsk sokkel.

Selv om kun ti prosent av innretningene offshore på verdensbasis befinner seg på norsk sokkel, utgjør avhendingskostnadene for disse innretningene seksti prosent av total kostnad på verdensbasis (se kapittel 10). Årsaken er avstand fra kystlinje, tyngde og størrelse på innretningene samt havdybde [HSE, 2001].

2.2 Søknad om samtykke til levetidsforlengelse

For å kunne operere på norsk sokkel kreves det at innretningene har samtykke fra myndighetene. Samtykkene tildeles for en bestemt tidsperiode og har typisk gyldighet på 20-30 år. Etter denne perioden må selskapene søke om samtykke til levetidsforlengelse. Per januar 2009 har 7 innretninger fått innvilget søknad om denne typen samtykke [Selsnes, 2008]. Disse innretningene gjelder Ekofisk, Valhall og Statfjord A.

I søknaden om samtykke til drift legges det spesielt vekt på vurderinger for ivaretagelse av akseptable feilrater. Ivaretagelse av akseptable feilrater er avgjørende både av økonomiske og sikkerhetsmessige hensyn til personell og miljø. Regelverket krever innsending av søknad ett år før den planlagte levetiden utløper. Ifølge Oljeindustriens Landsforening (OLF) behøver selskapene i tillegg vanligvis nærmere ett år for utarbeiding av søknaden.

Den 6. juli 2006 sendte Ptil en forespørsel til OLF med ønske om at det ble utviklet en retningslinje for levetidsforlengelse av bærestrukturer og transportsystemer. Omfanget av retningslinjen ble senere utvidet til også å omfatte

- prosesssystemer,
- undervannssystemer,
- sikkerhetssystemer,
- bore- og brønnsystemer,
- HMS-forhold [Selsnes, 2008].

På grunn av utvidelsen av omfanget har retningslinjen fått betegnelsen "Recommended guidelines for the assessment and documentation of service life extension of facilities" (OLF 122). Hovedintensjonen er å forenkle og effektivisere selskapenes søknadsprosess om samtykke til levetidsforlengelsen.

De forskjellige fagområdene i retningslinjen dekkes av egne retningslinjer og standarder. Alle retningslinjene og standardene skal være ferdigstilt innen utgangen av 2009. Ferdigstilte deler legges kontinuerlig ut på foreningens nettsted.

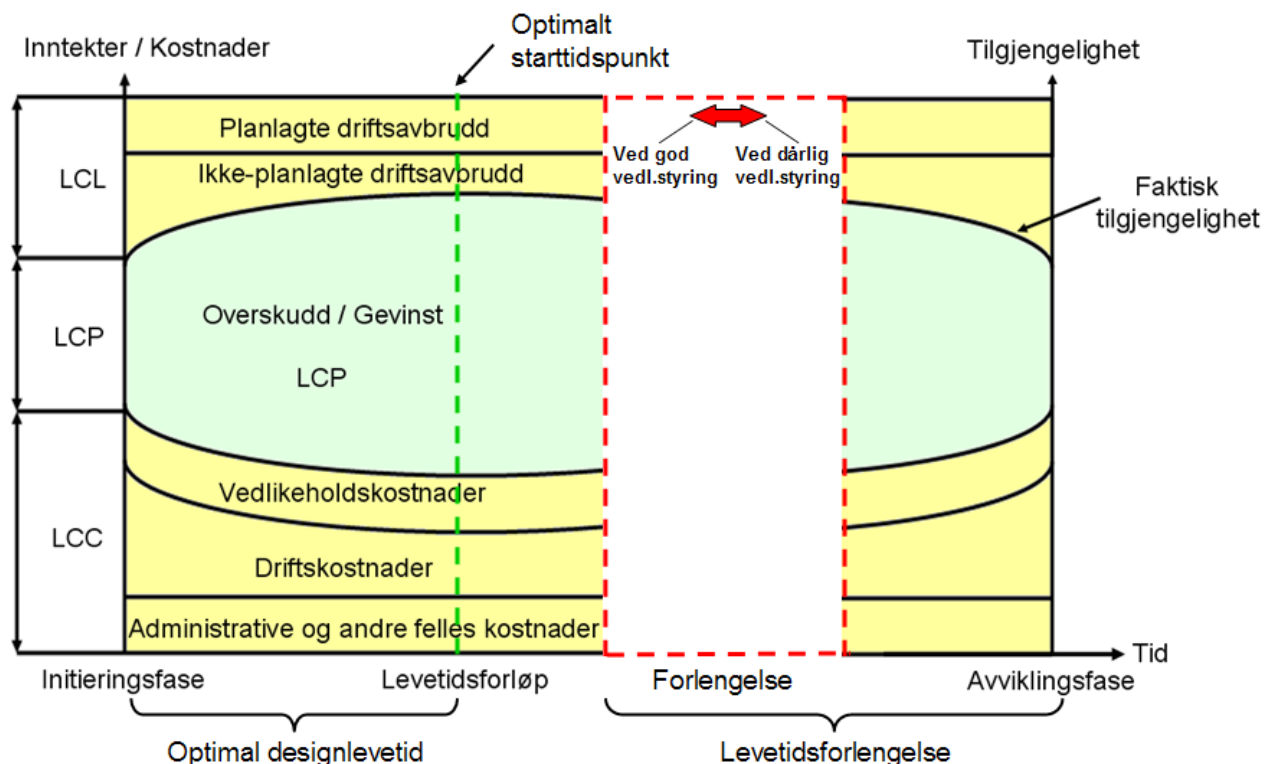
Retningslinjen skal sikre at alle relevante aspekter vurderes, og at det nødvendige forarbeidet gjøres før søknaden leveres inn. Ett viktig aspekt er i hvilken grad det er tatt hensyn til utstyr og deler som ikke lar seg inspisere. Dette kan eksempelvis være rør som er skjult bak passiv brannbeskyttelse. For denne typen utstyr og deler forlanges det at selskapet selv skal være overbevist om at en levetidsforlengelse er sikkerhetsmessig forsvarlig [Selsnes, 2008].

En annen viktig del av søknaden er såkalte "gap-analyser". Da innretningene ble bygd og tatt i bruk, ble prosessen utført etter det regelverket som var gyldig den gangen. En søknad om levetidsforlengelse må derfor kartlegge og vurdere eventuelle forskjeller ("gapene") i forhold til dagens regelverk, jf. kravet om forsvarlig petroleumsvirksomhet til enhver tid.

2.3 Levetidsforlengelse og levetidsforbedring

Life Cycle Profit (LCP) skal formidle inntjeningspotensialet som et system har i designlevetiden. Et kvalitativt bilde av hvordan inntjeningspotensialet fordeler seg over levetiden, er vist i Figur 2.

Life Cycle Costs (LCC) er fordelt på tre kategorier og gir en oversikt over kostnader knyttet til bruk av systemet og hvordan disse fordeler seg over levetiden kvalitativt. På samme måte gir Life Cycle Loss (LCL) en oversikt over hvilke tap det er snakk om. Aspekter knyttet til levetidskostnader behandles videre i kapittel 3.3.



Figur 2 Plassering av levetidsforlengelse i LCP-figur

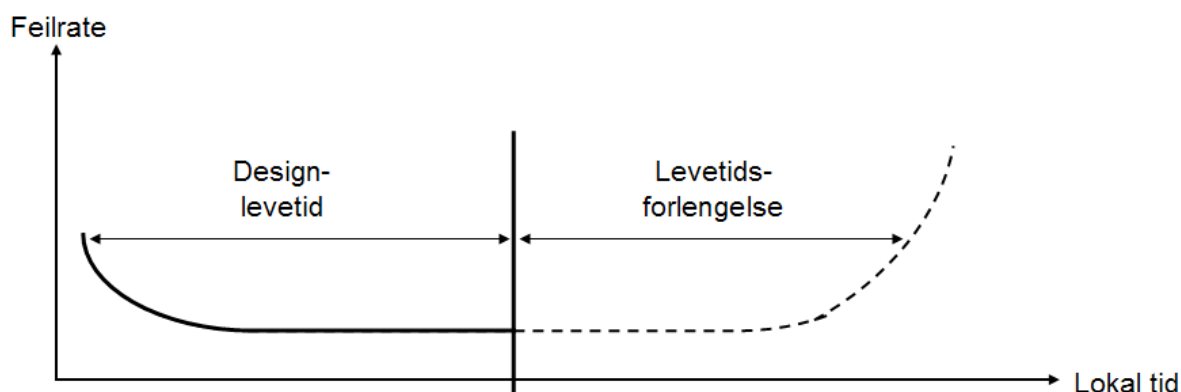
I Figur 2 er det tegnet inn et tidsrom (rød, stiplet firkant) hvor en levetidsforlengelse kan inntreffe. En optimal løsning er at levetidsforlengelsen inntreffer der den stiplede grønne linja er tegnet inn. Selskapene kan oppnå en slik løsning ved å ha god vedlikeholdsstyring. Perioden fra initieringsfase til den grønne linja vil dermed bli selve designlevetiden. I det levetidsforlengelsen inntreffer, vil både tapene og kostnadene være på et minimalt nivå.

Den røde pila i forlengelsen indikerer at forlengelsen også kan inntreffe på andre steder i figuren. Å oppnå en designlevetid som dekker tidsrommet fra initieringsfase til det viste "Optimalt starttidspunkt", er vanskelig, men den beste løsningen ut fra faktorene som går frem av figuren. Opprettholdelse av en høy LCP i *hele* levetiden vil eksempelvis være et element som kommer inn under begrepet levetidsforbedring.

Et viktig aspekt er å unngå at avviklingsfasen inntreffer før levetidsforlengelsen. Avviklingsfasen bør typisk inntreffe ved slutten av levetidsforlengelsen, når systemene skal avhendes. Hvis tidsrommet "Forlengelse" forflyttes helt til høyre på grunn av dårlig vedlikeholdsstyring, vil første del av levetidsforlengelsen være preget av høye kostnader.

2.4 Fasene i en levetidsforlengelse

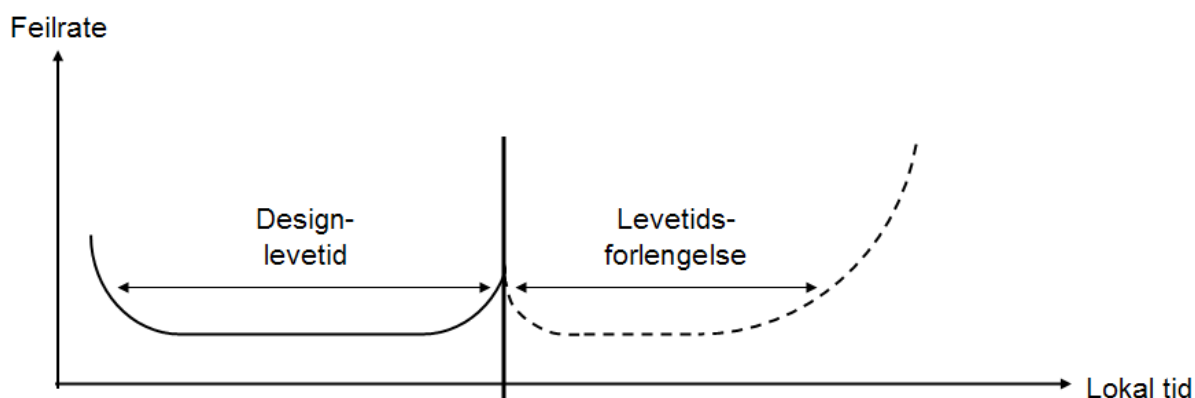
I kapittel 2.3 er det gjort rede for hvor det er optimalt at levetidsforlengelsen inntreffer sett ut ifra et kostnadsperspektiv. En levetidsforlengelse kan inntreffe på flere ulike måter. For å illustrere dette, er det optimale tilfellet og det minst gunstige tilfellet vist i henholdsvis Figur 3 og Figur 4.



Figur 3 Optimal inntreffing av levetidsforlengelse

Optimal inntreffing av levetidsforlengelse forekommer hvis feilraten holdes stabil etter innkjøringsfasen i designlevetiden. Innkjøringsfasen er typisk preget av såkalte ”barnesykdommer”, som typisk oppstår ved installering og tilpasning av systemet.

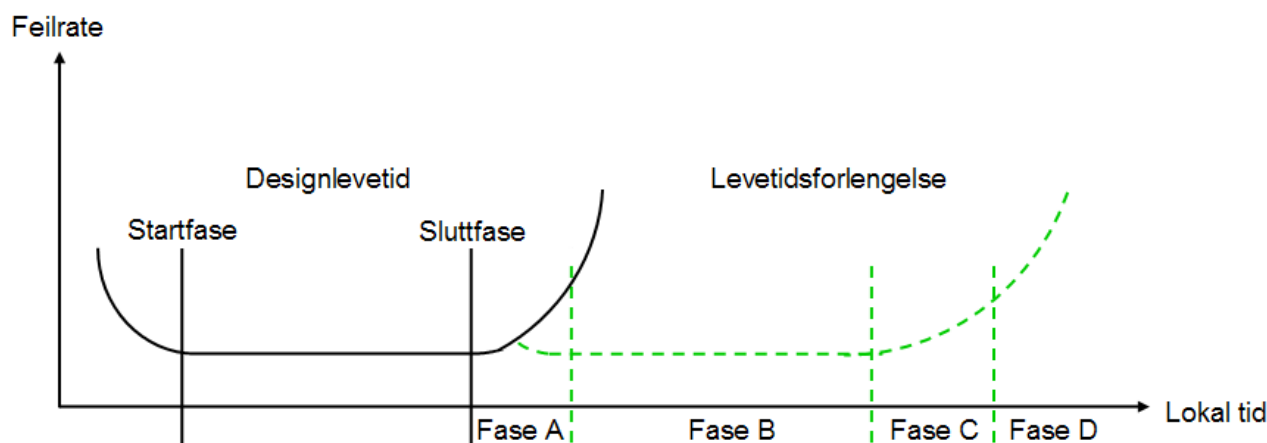
God vedlikeholdsstyring og modifikasjoner fører til at levetidsforlengelsen inntreffer uten at feilraten øker mot slutten av designlevetiden. Videre sikrer god vedlikeholdsstyring og modifikasjoner at feilraten forblir på et lavt nivå helt til slutten av levetidsforlengelsen. Når feilraten øker mot slutten av levetidsforlengelsen, må det enten gjøres modifikasjoner for å få ned feilraten eller systemet må avhendes.



Figur 4 Minst gunstige inntreffing av levetidsforlengelse

Minst gunstige inntreffing av levetidsforlengelse er hvis feilraten først får mulighet til å øke mot slutten av designlevetiden. Dårlig vedlikeholdsstyring og manglende modifikasjoner fører til at feilraten øker. Forbedret vedlikeholdsstyring og modifikasjoner bidrar til at feilraten i levetidsforlengelsen reduseres til et akseptabelt nivå.

I tillegg finnes det flere ulike varianter mellom de to tilfellene som er beskrevet. Ulikhetene mellom optimalt og minst gunstige tilfelle illustrerer viktigheten av god vedlikeholdsstyring og modifikasjoner. Figur 5 gir en mer detaljert beskrivelse av et system hvor feilraten har økt før levetidsforlengelsen inntreffer.



Figur 5 Faseinndeling av feilrate i designlevetid og levetidsforlengelse

Figur 5 illustrerer feilraten i en levetidsforlengelse og overgangen fra designlevetiden for en type system. Mot slutten av designlevetiden viser figuren en økning av feilraten. I løpet av første fase av levetidsforlengelsen reduseres feilraten igjen til et akseptabelt nivå. Levetidsforlengelsen deles opp i fire ulike faser, som et hjelpemiddel til effektiv styring av vedlikeholdet.

Alle systemer vil ha en foreskrevet designlevetid eller en plan for utvikling og drift (PUD) i en begrenset tidsperiode. Når designlevetiden eller PUD utløper, vurderes en søknad om samtykke til levetidsforlengelse. Identifiseringen av tidspunktet for når levetidsforlengelsen inntreffer, vil dermed være forutbestemt. Et viktig aspekt er hva som skjer frem til dette tidspunktet.

En optimal løsning er å unngå en økning av feilraten mot slutten av designlevetiden som vist i Figur 3. Det akseptable nivået for feilrate mellom startfase og slutfase i designlevetiden, kan dermed videreføres i levetidsforlengelsen. Opprettholdelsen av feilraten på et akseptabelt nivå innebærer at fase A kan unngås, og at levetidsforlengelsen initieres med fase B. Fasene beskrives nærmere i påfølgende delkapitler.

Fase A

For et system med feilrate i designlevetiden som vist i Figur 5, vil en levetidsforlengelse typisk være aktuell i fase A. Feilraten i designlevetiden øker når systemet går inn i slutfasen. Økningen kan eksempelvis registreres ved økt nedetid og et høyere antall reparasjoner og modifikasjoner.

Som følge av reparasjonene eller modifikasjonene som gjøres før levetidsforlengelsen initieres, vil feilraten i begynnelsen av levetidsforlengelsen være noe høyere enn normalt. Dette skyldes gjerne mindre innkjøringsproblemer etter endringene som er utført. Mot slutten av fase A nærmer feilraten seg et nivå tilsvarende tiden mellom startfase og slutfase i designlevetiden.

Fase B

I fase B i levetidsforlengelsen vil feilraten være på det laveste nivået og holde seg noenlunde stabil. Følgende kjennetegn er typisk for fase B [Tilpasset fra TWI, 2008]:

- tegn på begynnende lokalisert aldring (overflateskader, ruststeder, blærer etc.),
- utstyret holder seg fortsatt innenfor design- eller ytelsesgrenser,

- oppdaterte databaser med hensyn til rapporter, kunnskap og inspeksjonsdata,
- liten andel etterslep eller utsettelse.

Fase C

I fase C i levetidsforlengelsen øker feilraten mot slutten av fasen. Parallelt får en indikasjon på at den vil øke ytterligere. Det følgende er typisk for fase C [Tilpasset fra TWI, 2008]:

- aldring har fått fotfeste og utgjør et bekymringselement, men den lar seg fremdeles lokalisere (sprekker, korrosjon),
- utstyret er i ferd med ikke å kunne oppfylle design- eller ytelseskrav,
- mangelfulle eller ikke oppdaterte databaser med hensyn til rapporter, kunnskap og inspeksjonsdata,
- betydelig andel etterslep eller utestående for enkelte typer utstyr.

Fase D

I fase D i levetidsforlengelsen fortsetter feilraten å stige. Det følgende er typisk for fase D [Tilpasset fra TWI, 2008]:

- betydelige skader og andre effekter av aldring,
- utstyret oppfyller ikke design- og ytelsesgrenser,
- utstyret er ikke skikket til videre drift,
- områder som ikke lar seg inspisere, er utsatt for effektene av aldring,
- omfattende mangler i databasene med hensyn til rapporter, kunnskap og inspeksjonsdata,
- betydelig og lange utsettelse (utestående) og etterslep av inspeksjoner og vedlikehold.

2.5 Degraderingsmekanismer

En degraderingsmekanisme er en spesifikk prosess som gradvis svekker egenskapene til et system, en struktur eller en komponent over tid eller som en følge av bruk [Tilpasset fra Hokstad, et al., 2008]. Degraderingsmekanismene utgjør en utfordring med tanke på opprettholdelse av ønsket ytelsesnivå og ivaretagelse av sikkerhetsmessige aspekter. Aldrende innretninger skal ikke utsettes for høyere risiko som følge av levetidsforlengelse.

I Figur 6 er det listet opp relevante degraderingsmekanismer for innretninger offshore. For hver degraderingsmekanisme foreslås det forebyggende tiltak samt at de spesifiseres i kolonnen til høyre til en viss grad.

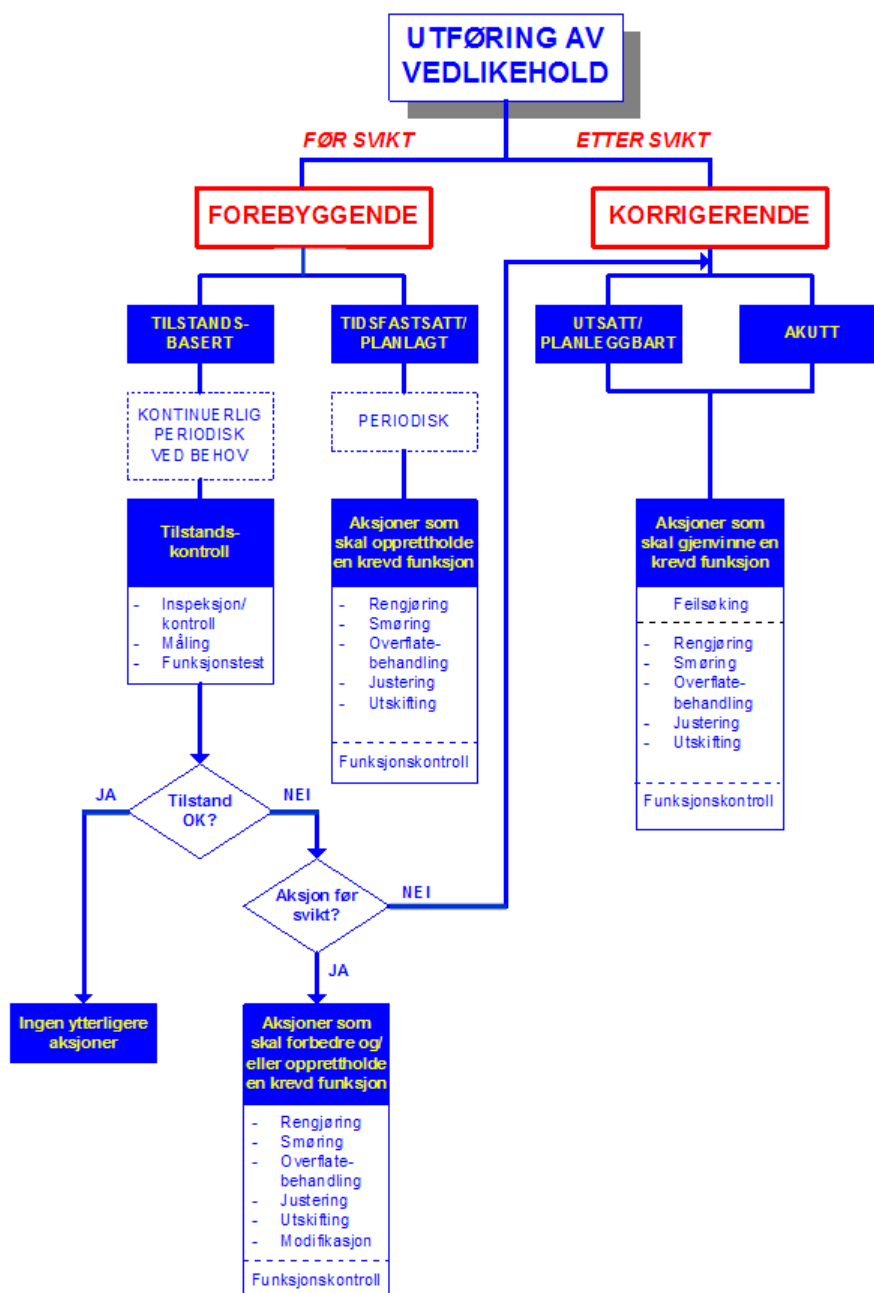
Degradation mechanism	Preventive actions	Comments and examples
A. Blockage	Cleaning Chemical treatment Change process/operation parameters	Higher pressure
B. Corrosion	Coating Chemical treatment Cathodic protection Change process/operation parameters	Remove oxygen
C. Creep	Repair and modification Change process/operation parameters	Reinforcement Temperature
D. Flow induced metal loss	Change process/operation parameters Repair and modification	Pipe angle
E. Fatigue	Material selection Change process/operation parameters Repair and modification	Change of load Necessary support
F. Hydrogen related cracking	Coating Material selection Change process/operation parameters	Loads
G. Material deterioration	Material selection Change process/operation parameters	Temperature
H. Overload	Material selection Change process/operation parameters	Loads
I. Physical damage	Repair and modification Material selection	Protection structure
J. Temp./thermal embrittlement.	Material selection Change process/operation parameters	Temperature
K. Wear (from friction)	Coating Material selection Repair and modification	WC coating Change geometry
L. Temperature expan./contr.	Material selection Repair and modification Change process/operation parameters	
M. Delamination due to quick pressure change	Material selection Repair and modification Change process/operation parameters	
N. Accumulated plastic deformation (Ratcheting)	Material selection Repair and modification Change process/operation parameters	Change cyclic loads

Figur 6 Relevante degraderingsmekanismer for innretninger offshore [Hokstad, et al., 2008]

2.6 Avdekke degraderingsmekanismer

En viktig del av vedlikeholdsstyringen er å avdekke effekten av degraderingsmekanismene før de får mulighet til påvirke sikkerhet eller drift. Vedlikeholdet forebygger på denne måten at feil inntreffer.

Hvis degraderingsmekanismene får mulighet til å påvirke systemene i negativ retning, vil det oppstå behov for korrigerende vedlikehold. Kategoriseringen av vedlikeholdet er vist i Figur 7:



Figur 7 Kategorisering av vedlikehold [Tilpasset fra NS-EN 13306, 2001]

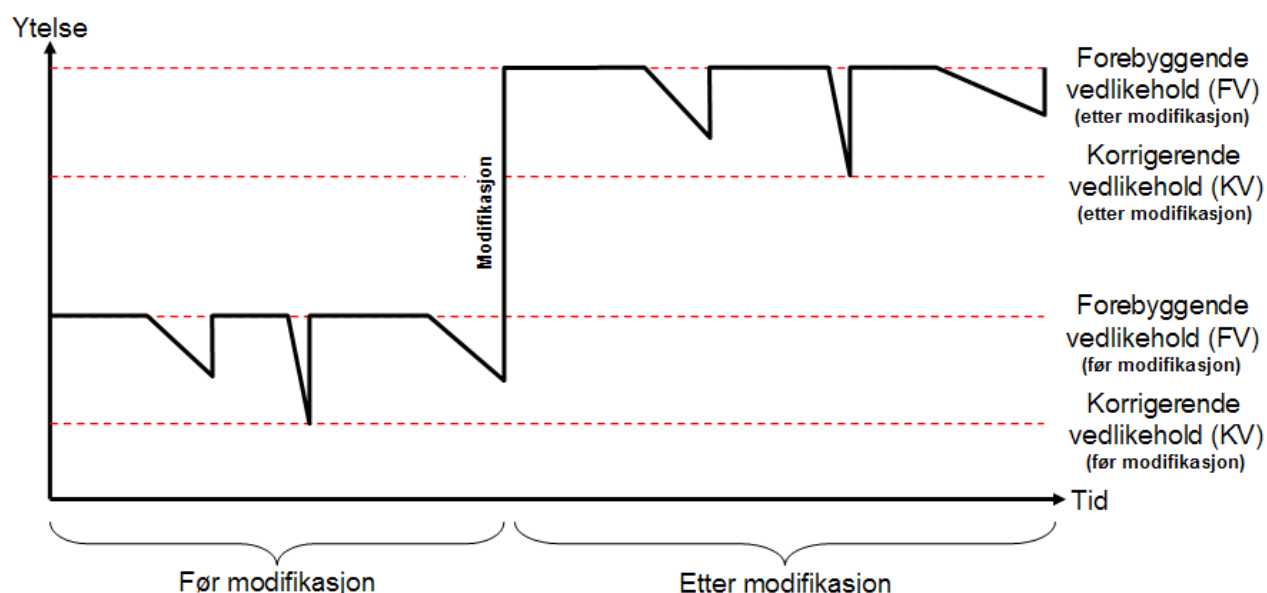
En uunnværlig forutsetning i vedlikeholdsstyring er tilgang til tilstrekkelig erfaring og kunnskap. Disse to elementene øker muligheten for at selskapet oppnår et velfungerende forebyggende vedlikehold. Ved tidsfastsatt/planlagt vedlikehold tas komponenter ofte ut av systemet for eksempelvis å kunne testes i en testbenk. Under testing vil kombinasjonen av riktig kompetanse og erfaring være spesielt viktig. Hvis disse faktorene ikke er til stede, kan sannsynligheten øke for at den tekniske tilstanden forringes gjennom testoperasjonen.

Eksempelvis kan dette skje ved at komponenten utsettes for belastninger utover det den er designet for, eller ved at forurensninger blir værende igjen i komponenten etter testing. Sistnevnte vil eksempelvis forekomme når brannpumper testes med sjøvann som testmedium.

Tilstandsovervåkning kan formidle aktuell teknisk tilstand for utstyret som overvåkes. Utstrakt bruk av tilstandsovervåkning kan imidlertid være opphav til nye feilkilder. Utstyret som benyttes i tilstandsovervåkingen, kan føre til økt feilrate. Behovet for tilstandsovervåkning kan imidlertid være stort på offshoreinnretninger siden deler av utstyret som skal vedlikeholdes, kan være vanskelig tilgjengelig.

2.7 Viktigheten av god vedlikeholdsstyring

Figur 8 gir en kvalitativ fremstilling av vedlikeholdets betydning for å opprettholde ønsket systemytelse. Med systemets ønskede ytelse menes både opprettholdelse av ønsket ytelsesnivå og ivaretagelse av sikkerhetsmessige aspekter.



Figur 8 Vedlikeholdets funksjon for opprettholdelse av ønsket ytelse

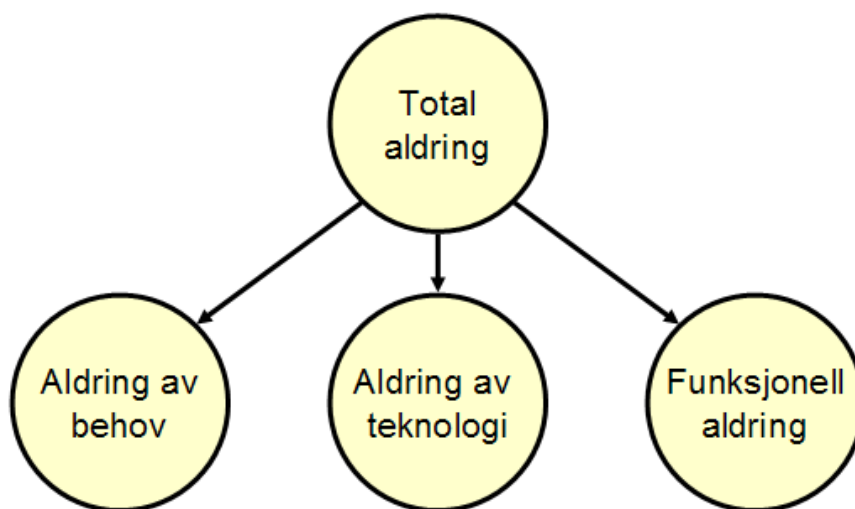
Før modifikasjon i Figur 8 ivaretar forebyggende vedlikehold ønsket ytelse. Når uforutsette hendelser inntreffer, gjennomføres korrigerende vedlikehold for å gjenopprette ønsket ytelse. En modifikasjon fører til at ytelsesnivået øker. Modifikasjonen kan eksempelvis være at en motor med svekket ytelse byttes ut. Etter modifikasjoner ligger dermed ytelsen på et høyere nivå. Forebyggende og korrigerende vedlikehold har fortsatt samme funksjon som før modifikasjonen.

Reduksjonen i ytelse er en konsekvens av at degraderingsmekanismer inntreffer. Utfordringen er å ha god vedlikeholdsstyring, som gjør det mulig å avdekke feilutviklinger på tidlige tidspunkt. På denne måten kan forebyggende tiltak iverksettes, for å bringe systemet tilbake til nivået for ønsket ytelse. Modifikasjoner regnes ikke for å være en del av vedlikeholdsstyringen, men er likevel et viktig ledd i forbedringsarbeidet. I Figur 8 kommer det tydelig frem hvordan modifikasjoner bidrar til å øke ytelsen.

3 Aldring

Designlevetiden for et teknisk system defineres på grunnlag av systemets ulike egenskaper, drift og vedlikehold. Den siste fasen av designlevetiden betegnes som *restlevetid*. Tekniske og økonomiske årsaker gjør det ønskelig å kartlegge hvilke faktorer det er som påvirker systemets restlevetid. Kartleggingen er en sentral beslutningsstøtte i forbindelse med fastsetting av riktige tidspunkt for utskiftning, modifikasjon eller nyanskaffelse.

Tekniske systemer utsettes for degraderingsprosesser over tid. Degraderingsprosessene fører til en endring av systemets egenskaper. Effekten av endringene defineres som *total aldring* [Heien, 1995]. Total aldring er en funksjon av tre faktorer, som vist i Figur 9.



Figur 9 Total aldring er en funksjon av tre faktorer

3.1 Aldring av behov

Aldring av behov inntreffer når selskapet eller myndighetene utvikler andre krav til et teknisk system enn de kravene som var gyldige da systemet ble designet. Nye krav kan eksempelvis oppstå som en følge av at et selskap endrer sin strategi, eller at myndighetene gjør forandringer i regelverket. Eksempelvis kan myndighetene skjerpe utslippskrav i så stor grad at investering i nye system er uunngåelig.

Et virkemiddel for å unngå at eksisterende systemer ikke oppfyller nye krav, er å ha en langsiktig og fremtidsrettet tankegang. Ved å kartlegge endringer i regelverk og oppfatte tidlige indikasjoner på regelverksendringer som kommer til å bli iverksatt, er det mulig for selskapene å forberede seg på endringene.

Selskapene må vurdere om det er mulig å oppgradere eller modifisere eksisterende systemer til å oppfylle de nye kravene. Hvis denne muligheten ikke eksisterer, vil løsningen være at systemene skiftes ut.

Aldring av behov kan ofte oppstå når et felt er i slutfasen. Da vil det oppstå et behov for mer komplekse og krevende brønnløsninger etc. [Tilpasset fra Petroleumstilsynet, 2006-2007]. Eksisterende systemer på innretningene vil ikke ha muligheten til å oppfylle disse behovene.

3.2 Aldring av teknologi

Aldring av teknologi oppstår ved at teknologien endrer seg, og at ny teknologi dermed utfordrer den gamle. Endringene fører til at det teknologiske nivået og ytelsesevnen hos det eksisterende systemet blir foreldet sammenliknet med et oppdatert system.

Denne formen for aldring er ikke direkte knyttet til beslutninger som blir foretatt av selskapet som eier systemet. Eksempelvis kan dette være at ny brønntechnologi gjør det mulig å hente ut olje og gass fra reservoarer som tidligere ble antatt å være utilgjengelige. Utviklingen av ny teknologi fører dermed til at selskapet utvikler nye behov.

Omvendt kan også utvikling av nye behov føre til at ny teknologi utvikles. Økt konkurranse fører til større grad av sammenheng mellom endring av behov og utvikling av teknologi [Heien, 1995]. Et virkemiddel for å redusere konsekvensene av dette aldringsfenomenet er å kartlegge trender og tempo i utviklingen av ny teknologi. At tempoet i teknologisk utvikling gjerne ikke stiger lineært, kan imidlertid gjøre det vanskelig å fastsette.

3.3 Funksjonell aldring

Funksjonell aldring oppstår når systemets funksjons- og ytelsesevne blir degradert som en følge av ulike fysiske degraderingsprosesser i systemets delsystemer og komponenter. Degraderingsprosessene kan eksempelvis være korrosjon, erosjon, utmatting eller slitasje. Funksjonell aldring representerer den tradisjonelle oppfatningen av aldringsbegrepet hvor typisk degradering forekommer.

Konsekvensene av funksjonell aldring kan klassifiseres som

- økte drifts- og vedlikeholdskostnader som følge av økende frekvens av svikt som krever reparasjoner og reservedeler for å kunne utbedres,
- nedsatt tilgjengelighet som følge av økende andel nedetid siden reparasjoner må utføres oftere og kanskje er mer omfattende enn da systemet var nytt,
- nedsatt funksjonell ytelsesevne som følge av at systemet ikke lenger tåler full belastning.

De generelle konsekvensene av funksjonell aldring blir dermed økning i systemets levetidskostnader og reduksjon av systemets systemeffektivitet i forhold til når systemet var nytt. For å kunne redusere omfanget av funksjonell aldring er det viktig å kartlegge hvilke fremtidige kostnader det eksisterende systemet vil utløse for å kunne utføre sine nåværende oppgaver.

Fremtidige kostnader modelleres gjennom betraktninger knyttet til Life Cycle Cost (LCC). For at LCC-betraktningene skal få en høy grad av nøyaktighet, kreves det riktig kompetanse. LCC-betraktningene formidler et bilde av hvordan kostnadene fordeler seg over alle fasene i designlevetiden. En stor andel av kostnadene i restlevetiden til et system er knyttet til økning av vedlikeholdsaktivitetene.

En av utfordringene knyttet til funksjonell aldring, er å identifisere når den inntreffer. Innenfor pålitelighetsteori finnes det ulike modeller for beregning av dette. En av de mest anvendte, er "badekarskurven" (se kapittel 2.3) - hvor feilrate presenteres som en funksjon av levetiden. Modellering av feilrate er også et nyttig verktøy i utarbeidingen av vedlikeholdsprogram. Pålitelighetsmodeller kan imidlertid være unøyaktige fordi de kan overse faktorer som kan ha innflytelse på påliteligheten.

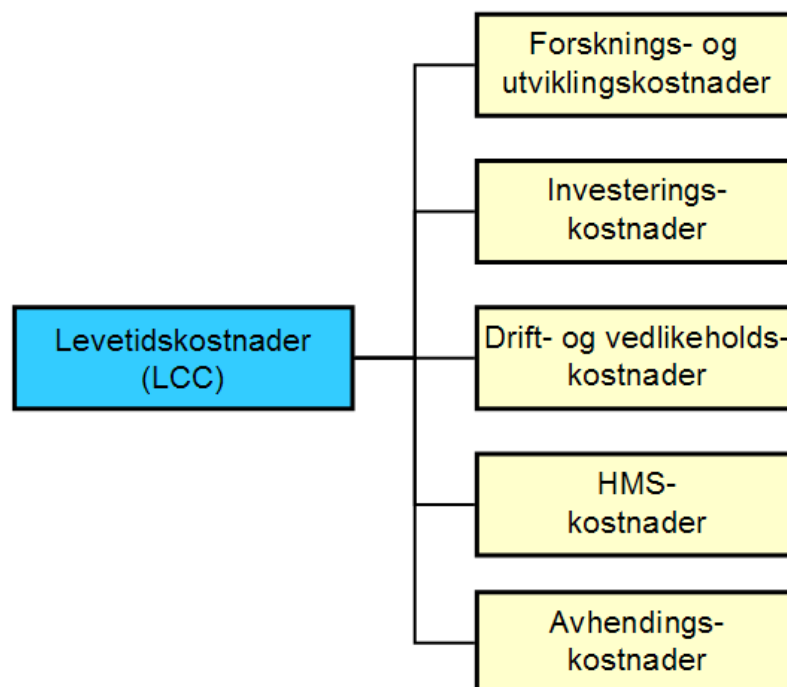
3.4 Konklusjon

Aldring er ikke bare et resultat av det tekniske systemets fysiske egenskaper, men også et resultat av endringer i selskapet som eier systemet og i selskapets omgivelser.

Total aldring blir en kombinasjon av funksjonell aldring, aldring av behov og aldring av teknologi. Siden aldringen settes sammen av flere faktorer, er det behov for modeller og metoder som i større grad tar hensyn til påvirkninger fra omgivelsene.

Utfordringen er hvilke tiltak som skal iverksettes for å håndtere disse faktorene, og på hvilket tidspunkt de skal iverksettes for at selskapet skal unngå større kostnader. Behovet for en god og effektiv vedlikeholdsstyring melder seg.

Effekten av total aldring kan til en viss grad kartlegges ved å betrakte levetidskostnadene til et system. Figur 10 viser hvordan levetidskostnadene kan deles inn i fem hovedgrupper.



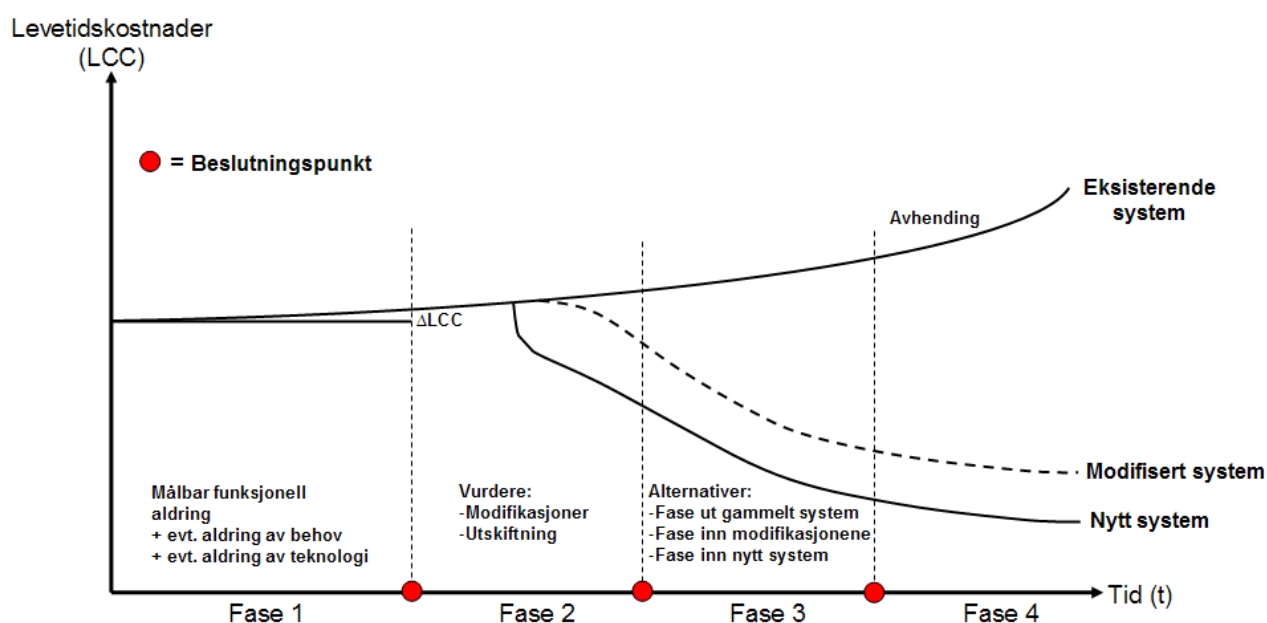
Figur 10 Kategorisering av levetidskostnadene til et teknisk system

I mange tilfeller vil det ikke være levetidskostnadene alene som ligger til grunn for utskiftning eller modifikasjon av et teknisk system. Spesielt for offshoreinnretninger vil sikkerhetsmessige aspekter være mer sentrale enn kostnadsaspektene. Ivaretagelse av sikkerhetsaspektene kan imidlertid gjenspeiles i størrelsen på levetidskostnadene.

Styring av levetidskostnadene kan benyttes aktivt som et hjelpemiddel i en levetidsforlengelse for et teknisk system. Ved å overvåke levetidskostnadene vil det bli enklere å identifisere hvor systemet befinner seg i designlevetiden. På denne måten kan det eksempelvis avgjøres når det er optimalt å revidere et vedlikeholdsprogram for å kunne tilpasse det til en eventuell levetidsforlengelse.

For at levetidsforlengelse skal være lønnsomt, stilles det krav til størrelsen på levetidskostnadene. God vedlikeholdsstyring vil bidra til å holde levetidskostnadene på et akseptabelt nivå. Parallelt vil selskapet fokusere på at vedlikeholdet utføres på en mest mulig kostnadseffektiv måte for å kunne redusere levetidskostnadene ytterligere.

Forandringer i levetidskostnader som en funksjon av tid, er vist i Figur 11. I figuren presenteres sammenhengen mellom levetidskostnader og tid for tre ulike scenarier.



Figur 11 Levetidskostnader som funksjon av tid

Fase 1 i Figur 11 representerer typisk levetidskostnadene i slutfasen av designlevetiden til et teknisk system. I slutfasen vil den funksjonelle aldringen være målbar gjennom en økning av levetidskostnadene. I tillegg kan aldring av behov eller aldring av teknologi forekomme.

I fase 2 stiger levetidskostnadene så mye at det må vurderes om tiltak skal iverksettes. Tiltakene kan være modifikasjoner eller utskiftning av systemet. Ved modifikasjoner vil levetidskostnadene langsomt reduseres etter at modifikasjonene er utført. Reduksjonen er svakere like etter at modifikasjonene er utført, som følge av kostnaden ved å utføre selve modifikasjonen.

Hvis systemet skiftes ut, vil levetidskostnadene på samme måte være høye like etter utskiftning - som følge av investeringskostnaden til det nye systemet. Kort tid etterpå vil de imidlertid avta som følge av god teknisk tilstand og deretter fortsette å falle etter hvert som innkjøringsperioden går mot slutten.

I fase 3 stiger levetidskostnadene ytterligere for et eksisterende system, mens innfasingen av modifikasjonene eller et nytt system resulterer i at levetidskostnadene reduseres ytterligere. I fase

4 er levetidskostnadene for et eksisterende system blitt såpass høye at systemet må avhendes, mens de for det modifiserte og det nye systemet er i ferd med å flate ut og stabilisere seg.

Figur 11 kan være et nyttig prinsipielt hjelpemiddel ved vurdering av levetidsforlengelse. En god løsning er å ha denne typen modeller tilgjengelig for flere typer utstyr. Modellene kan dermed fungere som et viktig beslutningsgrunnlag.

4 Endringer i vedlikeholdsfilosofi og vedlikeholdsstrategi for aldrende innretninger

Hovedmålet ved utforming av vedlikeholdsfilosofi og vedlikeholdsstrategi er å ivareta sikkerhets- og tilgjengelighetsmessige aspekter på en mest mulig kostnadseffektiv måte. Kostnadsbildet er knyttet til kvantitative måltall. Kartleggingen av vedlikeholdsstyringens innvirkning er derfor en sentral oppgave. Oppgaven kan imidlertid bli omfattende da også faktorer som logistikk og reservedelsstyring etc. må vurderes. Valg innenfor disse områdene vil også ha betydning for nedetid og konsekvenser av feil.

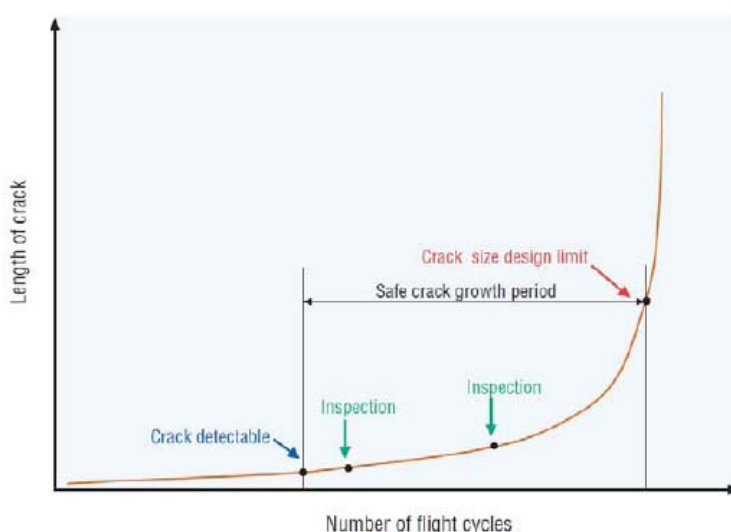
Utfordringen ved utformingen av vedlikeholdsfilosofi og vedlikeholdsstrategi er kartleggingen av deres konkrete *innvirkning* på risikoreduksjon, økt effektivitet, forbedret sikkerhet og økt levetid. Innvirkningen er vanskelig å kvantifisere som følge av mangelen på kvantitativt datamateriale.

Parallelt kan det oppstå konflikter mellom forhold som påvirkes av vedlikeholdsstrategi og vedlikeholdsfilosofi. Eksempelvis kan for høy grad av forebyggende vedlikehold føre til at antall vedlikeholdsintroduserte feil øker betraktelig. Å utforme en optimal vedlikeholdsfilosofi og vedlikeholdsstrategi er vanskelig, og feilaktige beslutninger fører gjerne til unødvendige kostnader, økt risiko og flere tap [Tilpasset fra Woodhouse, 1999].

4.1 Inspeksjonsintervaller

I en levetidsforlengelse er inspeksjonsintervallene et sentralt element i vedlikeholdsstyringen. Hvis vedlikeholdet skal benyttes aktivt til å dokumentere sikring og integritet, er det en forutsetning at vedlikeholdet kan varsle uønskede hendelser som er i ferd med å inntreffe, og aktivt iverksette tiltak for å unngå disse hendelsene.

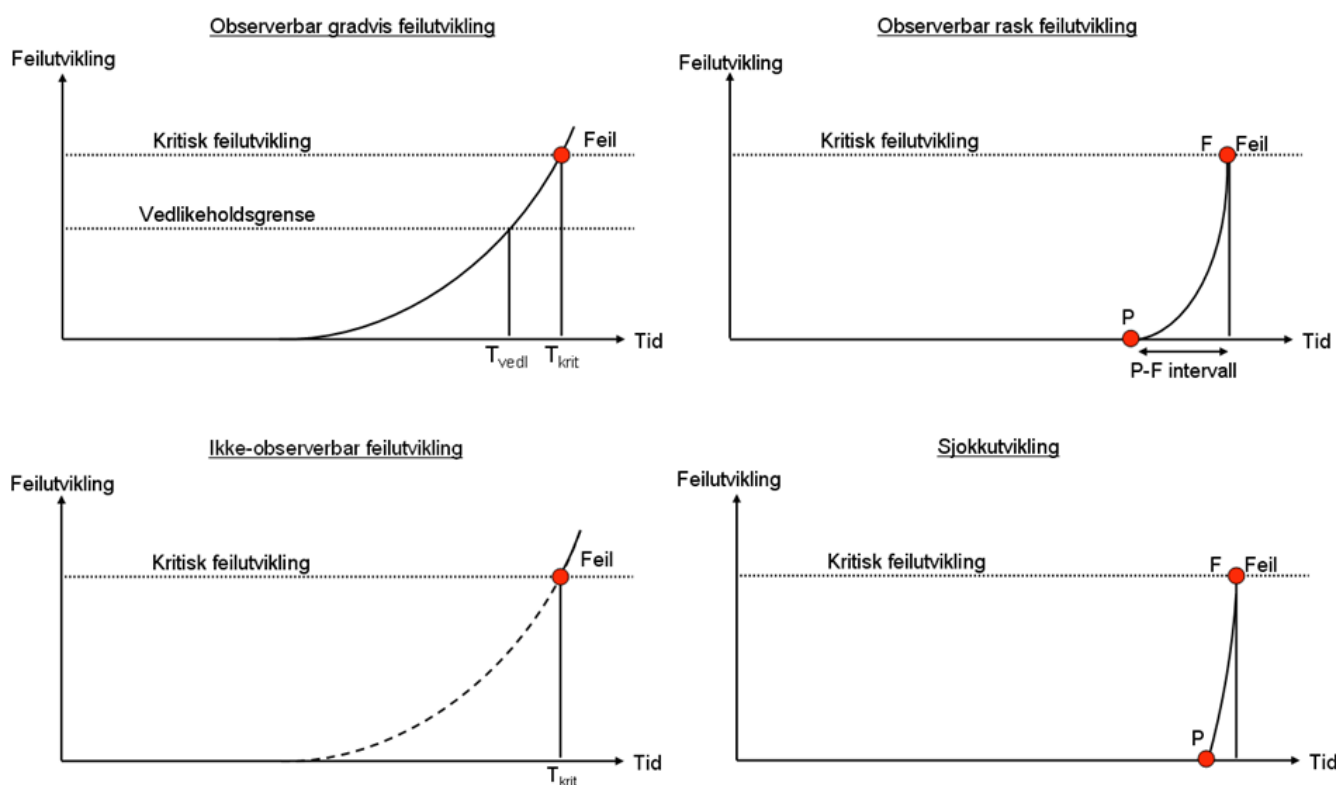
I luftfarten realiseres dette ved at vedlikeholdsfilosofien stiller krav om at vedlikeholdsprogrammet skal inneholde minst to muligheter til å detektere en feil i perioden fra den lar seg detektere til den kan betegnes som kritisk [Tilpasset fra Ersdal, 2008]. Et eksempel på krav av denne typen for utmatting er vist i Figur 12.



Figur 12 To muligheter for detektering av feil [Ersdal, 2008]

Utfordringen er genereringen av de to mulighetene for detektering av feil. I designlevetiden er utstyr, komponenter, systemer og konstruksjoner underlagt standarder og retningslinjer hvor det er foreskrevet en levetid der utstyret kan operere trygt med normalt vedlikehold. Når designlevetiden overskrides og levetidsforlengelsen påbegynnes, er ikke standardene og retningslinjene nødvendigvis gyldige. I tillegg foreligger det lite erfaringsdata om levetidsforlengelser.

Hyppigere inspeksjonsintervall kan kompensere for manglende tilgang på data, men inspeksjonsintervallene kan kun avdekke feil som inngår i bestemte feilutviklinger. For utstyr hvor feilutviklingen er sjokkartet, vil det være vanskelig å oppdage feilutviklingen før feilen inntreffer. Figur 13 viser fire ulike feilutviklinger.



Figur 13 Ulike typer feilutviklinger [Vatn, 2004]

4.1.1 Observerbar gradvis feilutvikling

Når et system har en observerbar gradvis feilutvikling, kan feilutviklingen avdekkes ved jevnlig inspeksjoner. I og med den langsomme feilutviklingen, vil inspeksjonene utføres så hyppig at de åpner for at feilutviklingen kan avdekkes flere ganger før feilen inntreffer. Vanlig praksis er imidlertid at forebyggende tiltak iverksettes ved første detektering.

4.1.2 Observerbar rask feilutvikling

Når et system har observerbar rask feilutvikling, er det mer krevende å få et inspeksjonsintervall til å falle mellom begynnelsen av feilutviklingen og inntreffing av feilen. Et mer passende

forebyggende tiltak er kontinuerlig tilstandsovervåkning som umiddelbart vil varsle at en feil er i ferd med å utvikle seg.

4.1.3 Ikke-observerbar feilutvikling

Når et system har en ikke-observerbar feilutvikling, får ikke selskapet indikasjoner på at en feil er i ferd med å inntreffe før den faktisk inntreffer. Selskapet må derfor ha et godt forebyggende vedlikeholdsprogram for å unngå denne typen feilutviklingen.

4.1.4 Sjokkutvikling

Når et system har en feilutvikling som er sjokkartet, får ikke selskapet indikasjoner på at feilen er i ferd med å inntreffe. Denne typen feilutvikling er vanskelig å motvirke med et forebyggende vedlikeholdsprogram.

Løsningen kan eksempelvis være realisering av redundans for å redusere konsekvensene av at denne typen feilutvikling inntreffer. Et godt eksempel på et system med sjokkartet feilutvikling er lysinnretninger med lyspærer. Lyspærene slutter som regel å virke uten noen form for forvarsel.

4.2 Forandre inspeksjonsintervallene

Beskrivelsene i kapittel 4.1 gjør det tydelig at lengde og tidspunkt for inspeksjonsintervallene er avgjørende for å kunne oppdage feilutviklingen på riktig tidspunkt.

For at alle typer feilutviklinger skal kunne oppdages, kan modellene i det foregående kapittelet indikere at inspeksjonene bør utføres så hyppig som mulig for å kunne oppdage alle typer feilutviklinger. En slik strategi vil imidlertid føre til et ineffektivt vedlikehold og unødvendig høye kostnader knyttet til vedlikeholdsstyringen.

God vedlikeholdsstyring innebærer at det fastlegges optimale tidspunkt for inspeksjonene. Hvis inspeksjonsintervallene eksempelvis er månedlige, og det over en lengre periode ikke avdekkes noen feil, vil det oppstå en problemstilling med hensyn til om intervallene skal forlenges eller ikke.

Selv om det har gått bra med månedlige inspeksjonsintervaller, er ikke det grunn nok til at inspeksjonsintervallene uten videre kan forlenges. Hvis intervallene skal forlenges, bør det gjøres på grunnlag av ingeniørmessige vurderinger av systemet samt en grundig gjennomgang av historikken.

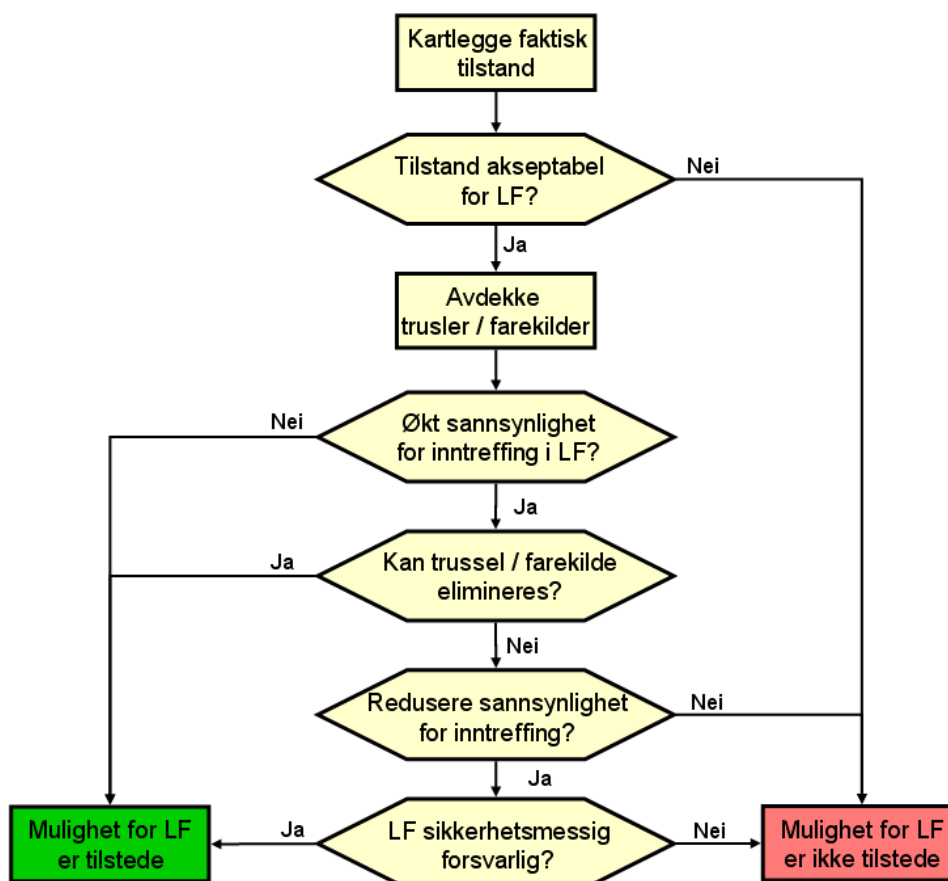
4.3 Vedlikeholdsfilosofi og vedlikeholdsstrategi ved en levetidsforlengelse

Første steg i utviklingen av vedlikeholdsfilosofi og vedlikeholdsstrategi ved en levetidsforlengelse er å kartlegge utstyrets faktiske tilstand. Kartleggingen skal resultere i en avgjørelse om tilstanden er god nok til at levetiden kan forlenges.

Videre bør alle trusler knyttet til utstyret, avdekkes. Selv om det allerede finnes dokumentasjon om dette, bør den kvalitetssikres og oppdateres. Deretter må truslene vurderes for å kunne avgjøre

hvilke av dem som vil ha økt sannsynlighet for å inntreffe når designlevetiden overskrides [Britton, 2008].

Hvorvidt truslene kan elimineres eller sannsynligheten for at de skal inntreffe, reduseres, er avgjørende for om en levetidsforlengelse er sikkerhetsmessig forsvarlig. Stadiene er summert opp i Figur 14, hvor forkortelsen LF er benyttet for levetidsforlengelse.



Figur 14 Elementer i utviklingen av vedlikeholdsfilosofi og -strategi

5 Indikatorer for å identifisere utslag av aldring

5.1 Indikatorer

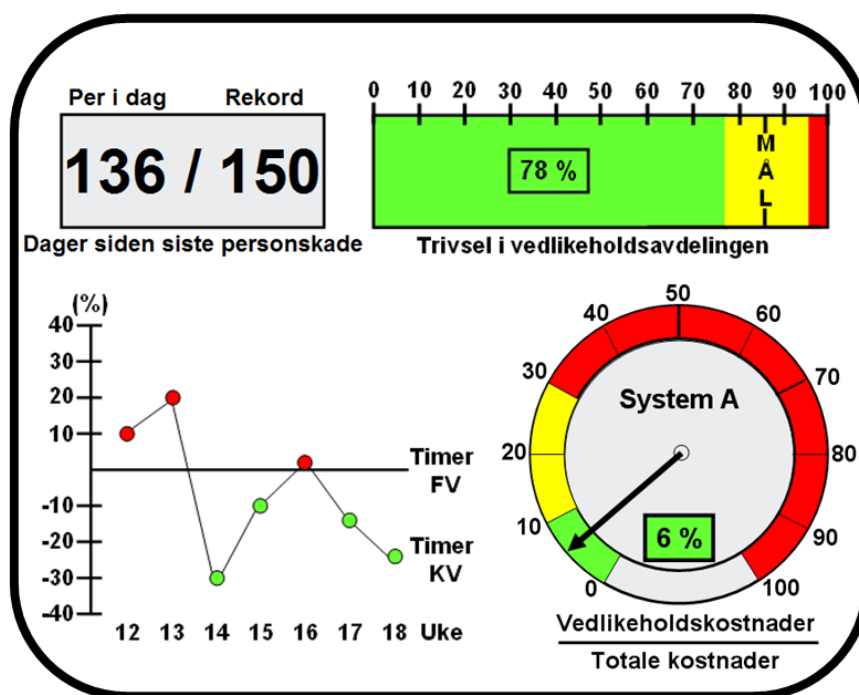
En indikator kan enten være et måltall eller et forholdstall. Indikatorene måler aktiviteter, prosesser, ressurser eller hendelser i henhold til en gitt formel. Hensikten med å bruke indikatorer er å måle det som også kan styres.

Ved å innføre indikatorer, får selskapene mulighet til å evaluere ytelsen på ulike prosesser i selskapet. Indikatorene gjør det enklere å sammenlikne dagens ytelse med tidligere. Sammenlikningen kan indikere progresjon eller tilbakegang. Ved tilbakegang bidrar indikatorene til å synliggjøre behovet for forbedringstiltak.

5.2 Presentasjon av indikatorene

Indikatorene er et viktig element i informasjonsformidling ut til ansatte i selskapene. I tillegg til å gi informasjon raskt til dem som trenger den, kan indikatorene ha en motiverende effekt på ansatte. Effekten oppstår ved at ansatte får se hvordan deres arbeidsoppgaver er med på å forandre verdien på indikatorene. For at ansatte skal få direkte tilgang til indikatorene, bør de presenteres der ansatte oppholder seg. Områdene kan eksempelvis være der arbeidsoppgavene utføres, kantinen eller liknende.

Selve presentasjonen kan gjøres ved hjelp av dashbord som plasseres på hensiktsmessige steder på innretningen. Oppdatering av verdiene på dashbordene kan foregå nærmest kontinuerlig ved hjelp av dagens elektroniske formidling av informasjon. Et typisk dashbord er vist i Figur 15.



Figur 15 Eksempel på dashbord for formidling av informasjon til ansatte

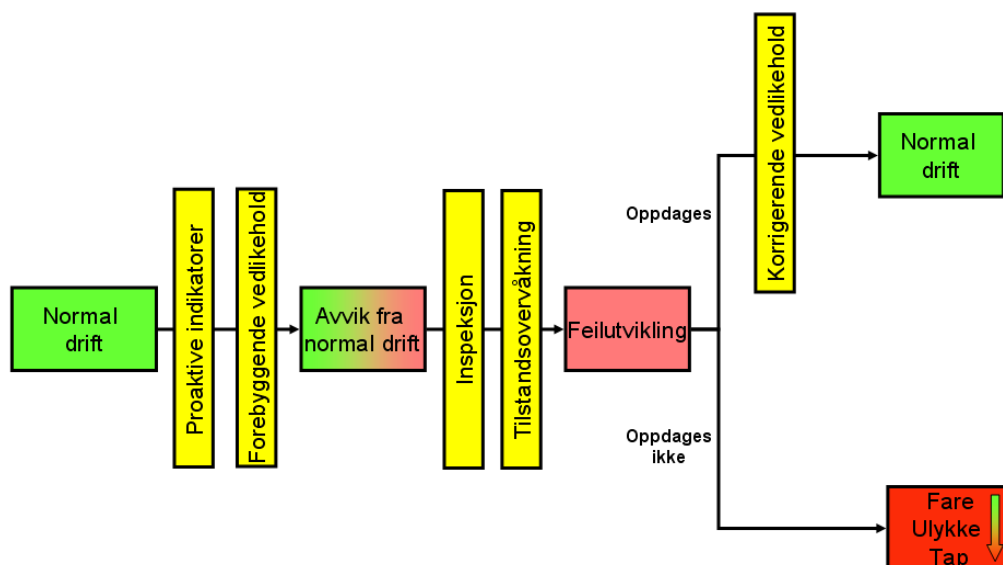
5.3 Proaktive indikatorer

Begrepet *proaktiv* defineres som det å ta initiativ og gripe inn i igangværende utvikling eller å kunne forutse hva som kan skje [Clue, 1997-2008]. Hensikten med proaktive indikatorer er å få et tidlig varsel om at en hendelse kan komme til å inntreffe.

Proaktive indikatorer utvikles ofte på grunnlag av erfaringer fra tidligere hendelser. På samme måte benyttes erfaringer fra tidligere hendelser til utforming av nye regelverkskrav og retningslinjer.

En proaktiv indikator kan ikke garantere for at en hendelse ikke kommer til å inntreffe. Verdien av indikatoren er mer ment å kunne opplyse om det på det aktuelle tidspunktet er økt sannsynlighet for at hendelsen *kan* inntreffe. På denne måten vil selskapet få mulighet til å iverksette tiltak for å forhindre at hendelsen inntreffer eller for å redusere konsekvensene av at hendelsen inntreffer.

I Figur 16 presenteres et overordnet forløp med barrierer på ulike nivå. Proaktive indikatorer skal gi indikasjoner på avvik fra normal drift før de oppstår. I tillegg skal forebyggende vedlikehold hindre at avvikene oppstår.



Figur 16 Plassering av barrierer i en feilutvikling

Sannsynligheten for at en hendelse inntreffer, øker gjerne som følge av at aktiviteter ikke utføres. Økt sannsynlighet for inntreffing fører igjen til en økning av verdien på den proaktive indikatoren. I petroleumsvirksomheten kan proaktive indikatorer benyttes til å identifisere svakheter eller svikt i barrierene. Svakheter eller svikt fører til økt sannsynlighet for at en hendelse kommer til å inntreffe.

Reaktive indikatorer har motsatt funksjon av proaktive indikatorer. Reaktive indikatorer vil imidlertid også varsle om svikt eller svakheter i barrierer, men først etter at hendelsen er inntruffet.

En fremgangsmåte for utforming av proaktive indikatorer er å ta utgangspunkt i ulykkesgranskninger. Ved å studere ulykkesgranskningene er det mulig å avdekke årsaken til at barrierene sviktet, slik at ulykken kunne inntreffe. Ut fra informasjon om barrierene kan det lages sjekkpunkter for å kontrollere om barrierene opprettholder sine krevde funksjoner. Overvåkingen av sjekkpunktene vil danne grunnlaget for utformingen av proaktive indikatorer for tidlig varsling.

I vedlikeholdssammenheng benyttes gjerne *etterslep* som en proaktiv indikator. *Etterslep* er forebyggende vedlikeholdsaktiviteter som ikke utføres i henhold til planlagt tidspunkt. For korrigerende vedlikehold defineres denne typen vedlikeholdsaktiviteter som *utestående*. Høyt etterslep eller utestående vedlikehold kan gi selskapene indikasjoner på at det er økt sannsynlighet for at uønskede hendelser kan inntreffe. *Etterslep* indikerer imidlertid ikke om en komponent har nådd sin aldringsfase eller ikke.

Bortsett fra kalendertid og faktisk driftstid er det ingen indikatorer som kan gi direkte informasjon om inntreffing av levetidsforlengelse. Av Figur 17 går det frem at økende feilrate i designlevetiden kan være en indikasjon på at levetidsforlengelsen inntreffer. Økningen må imidlertid ses i forhold til kalendertid eller driftstid for å avgjøre om designlevetiden faktisk nærmer seg slutten.

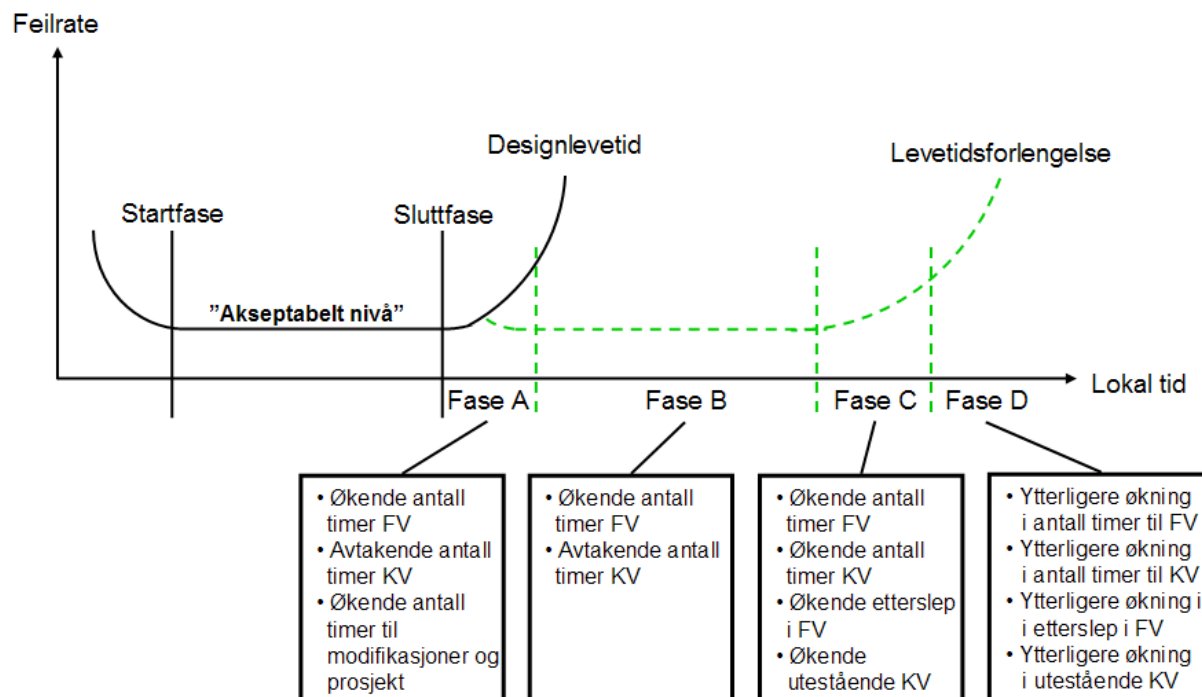
Økende feilrate er en faktor som kan gi utslag på forskjellige indikatorer. Indikatorene kan eksempelvis være [Tilpasset fra Øien, et al., 2008]:

- antall timer til forebyggende vedlikehold,
- antall timer til korrigerende vedlikehold,
- antall timer til modifikasjoner og prosjekt,
- antall timer til revisjonsstans,
- etterslep i forebyggende vedlikehold,
- utestående korrigerende vedlikehold.

5.4 Proaktiv anvendelse av indikatorene

Proaktiv anvendelse av disse indikatorene er avhengig av hvilken type feilutvikling komponenten har, og hvor komponenten befinner seg på badekarskurven. Badekarskurven er vist i Figur 17, hvor feilraten i levetidsforlengelsen er skissert med en stiplet, grønn linje.

Hvis det antas at en komponent vil følge den skisserte badekarskurven både for designlevetiden og for levetidsforlengelsen, kan følgende scenario skisseres med hensyn til en proaktiv funksjon for de foreslåtte indikatorene. Vurderingene som gjennomføres for verdiene av indikatorene i scenariet, gjøres på et overordnet nivå og er ment å illustrere hvordan dette kan gjøres.



Figur 17 Identifisering av fasene i en levetidsforlengelse

Fase A

Levetidsforlengelsen inntreffer i slutfasen av designlevetiden. Slutfasen kjennetegnes ved at feilraten øker kraftig. For å redusere feilraten til et akseptabelt nivå i levetidsforlengelsen, er det nødvendig å øke antall timer til forebyggende vedlikehold.

Flere timer til modifikasjoner er et virkemiddel for å redusere feilraten parallelt med økende antall timer til forebyggende vedlikehold. Da feilraten først reduseres til et akseptabelt nivå mot slutten av fase A, vil fasen også kjennetegnes ved korrigerende vedlikehold. Antall timer til korrigerende vedlikehold reduseres imidlertid fra begynnelsen til slutten av fasen.

Fase B

Optimal løsning ved levetidsforlengelse, er å gå rett fra slutfase og inn i fase B. En slik overgang er mulig hvis selskapet har et godt vedlikeholdsprogram og gode rutiner for intern revisjon av vedlikeholdsprogrammet. Den foreløpig begrensede mengde data tilgjengelig for aldringsfasen gjør det imidlertid vanskelig å unngå en økning i andelen korrigerende vedlikehold.

Da utstyret befinner seg i en levetidsforlengelse (høyere grad av aldring), kan det være behov for et større antall timer til forebyggende vedlikehold for å holde feilraten på et akseptabelt nivå. Eksempelvis kan dette være hyppigere inspeksjonsintervaller. Som følge av flere timer til forebyggende vedlikehold, vil antall timer til korrigerende vedlikehold avta.

Fase C

Fase C kjennetegnes ved at feilraten øker. Som en konsekvens av at feilraten øker, øker antall timer til forebyggende vedlikehold og antall timer til korrigerende vedlikehold i et forsøk på å redusere feilraten til et akseptabelt nivå. Økingen av feilraten i fase C kan komme som en

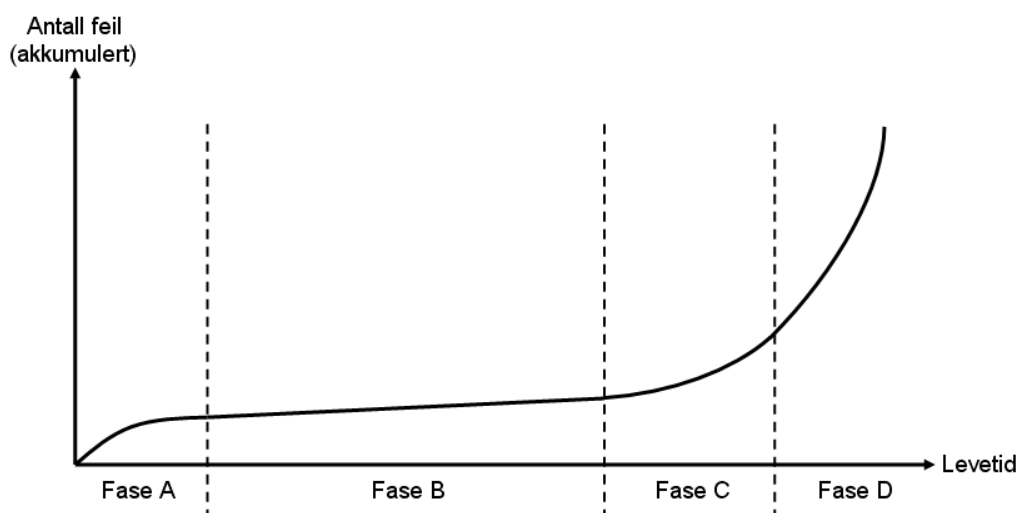
konsekvens av høyt etterslep for forebyggende vedlikehold eller mye utestående korrigerende vedlikehold.

Fase D

I denne fasen av levetidsforlengelsen øker feilraten hurtig. Fase D vil typisk kunne utgjøre sluttfasen i en levetidsforlengelse. I denne fasen må det vurderes om det fortsatt skal utføres reparasjoner og modifikasjoner for å få feilraten på et akseptabelt nivå, eller om utstyret skal avhendes.

Kjennetegnene for fase D er de samme som for fase C, men utslaget er sterkere. Fenomenet blir synlig i Figur 18, som viser hvordan akkumulert antall feil fordeler seg i levetiden for komponenten.

Ved å foreta samme antakelse som i Figur 17, dvs. at feilraten også følger badekarskurven i levetidsforlengelsen, kan Figur 18 også være et uttrykk for akkumulert antall feil i levetidsforlengelsen. Det kan argumenteres for at akkumulert antall feil vil ligge noe høyere i levetidsforlengelsen som følge av høyere alder på komponentene.



Figur 18 Akkumulerte feil i levetiden til en komponent [TWI, 2008]

5.5 Vurderinger og kommentarer

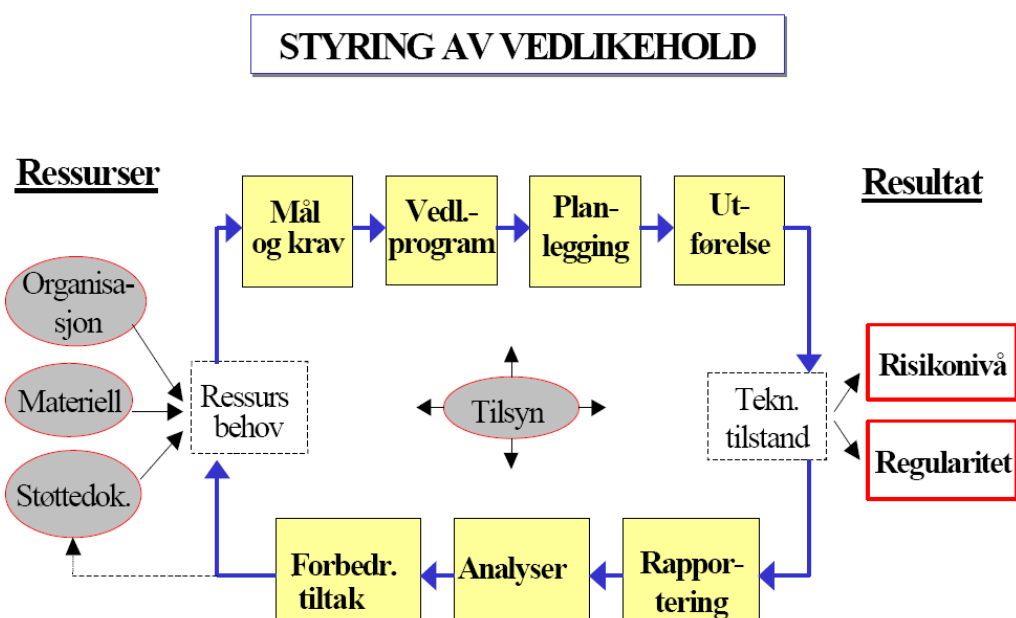
Fasene beskrives på et overordnet nivå. Indikatorene som nevnes i hver beskrivelse, er ment som et hjelpemiddel for å kunne identifisere hvor utstyret befinner seg i levetidsforlengelsen. Ved å benytte indikatorene proaktivt vil de kunne fungere som et hjelpemiddel for en bedre og mer effektiv styring av vedlikeholdet ved at de varsler om økt sannsynlighet for at uønskede hendelser kan inntreffe. Momentene som nevnes i modellen og i beskrivelsen av fasene, er ikke ment som en endelig løsning, men som et grunnlag for diskusjon.

6 Endringer og tillegg til styringsmodellen for vedlikehold for aldrende innretninger

6.1 Styringsmodell fra Basisstudien

Ved utforming av styringsmodellen i Figur 19 har Oljedirektoratet lagt kvalitetssystemlogikken til grunn. Dette innebærer bl.a. følgende [Oljedirektoratet, 1998]:

- styringssystemer som skal bidra til kontinuerlig forbedring av selskapets aktiviteter, produkter og tjenester,
- styringssystemer som skal sikre at problemer kontinuerlig blir identifisert og løst, og at gode løsninger blir standardisert. Problemhåndteringen bør være
 - rettet mot forbedring av arbeidsprosesser,
 - integrert på tvers av organisatoriske skillelinjer,
 - proaktiv,
- de ulike delene av vedlikeholdsfunksjonen bør ivaretas av et spesifikt sett av arbeidsprosesser (dokumentert i prosedyrer, flytdiagrammer osv.),
- arbeidsprosesser bør være designet som komplette kvalitetssløyfer og inneholde alle fasene i en problemløsningsprosess.

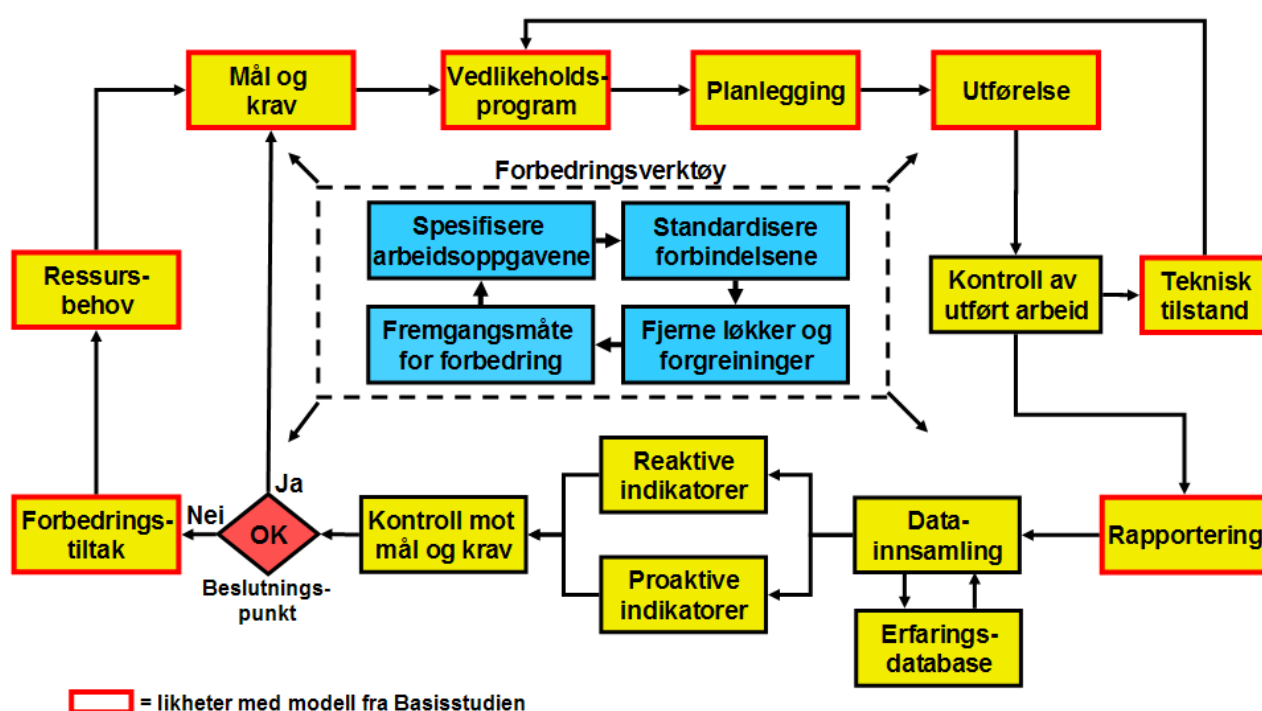


Figur 19 Styringsmodell fra Basisstudien om vedlikeholdsstyring [Oljedirektoratet, 1998]

6.2 Modifisert styringsmodell

Figur 20 viser et forslag til en modifisert utgave av styringsmodellen fra Basisstudien [Oljedirektoratet, 1998]. Likhetene med den opprinnelige modellen er markert med rød ramme. Det gjøres oppmerksom på at forslaget til modifisert utgave av styringsmodellen ikke er ment som et alternativ til eksisterende styringsmodell i Basisstudien. Forslaget er kun ment å presentere ideer knyttet til en eventuell utvidelse av styringsmodellen og representerer på ingen måte noen endelig versjon.

I tillegg til Oljedirektoratets styringsmodell inneholder Basisstudien en utdypning av hvert enkelt element. Styringsmodellen i Figur 20 vil derfor kun utdypes med hensyn til hva som er forskjellig fra styringsmodellen i Basisstudien.



Figur 20 Forslag til modifisert styringsmodell

6.3 Forbedringsverktøy

Et forbedringsverktøy er sentralt plassert i den modifiserte styringsmodellen. Forbedringsverktøyet er utviklet på grunnlag av prinsippene i det japanske konseptet Toyota Production System (TPS) [Spear, et al., 1999]. TPS bygger på fire grunnregler som kan implementeres i samtlige elementer i styringsmodellen.

Første regel sier at arbeidsoppgavene skal være spesifisert med hensyn til innhold, rekkefølge, tidspunkt og resultat. Hvis alle arbeidsoppgavene spesifiseres med hensyn til disse faktorene, øker sannsynligheten for at arbeidsoppgaven resulterer i forventet resultat.

Andre regel sier at samtlige sammenkoblinger i selskapet skal være standardiserte og direkte. Hvis en person støter på et problem, skal personen vite hvem han skal henvende seg til for å få hjelp til

å finne en løsning. Andre regel henger til en viss grad sammen med tredje regel, som sier at kontakten mellom disse personene skal være mest mulig direkte, slik at tidkrevende mellomledd unngås.

Fjerde regel sier at ansatte i selskapet skal kjenne sin rolle i selskapets kontinuerlige forbedringsprosess. Hvis de avdekker områder hvor det kan gjennomføres forbedringstiltak, skal de vite hvem de skal henvende seg til og hvordan de kan arbeide for at forbedringsforslaget kan implementeres.

6.4 Andre modifikasjoner

I den modifiserte utgaven av styringsmodellen fra Basisstudien er det gjort følgende endringer:

- **Teknisk tilstand:** En sentral del av vedlikeholdsprogrammet er overvåkingen av teknisk tilstand. I en levetidsforlengelse vil hyppighetene på intervallene for gjennomføring av inspeksjoner og klassifisering av utstyr måtte intensiveres.
- **Datainnsamling:** Datainnsamlingen innføres som en mer omfattende aktivitet i forhold til "Analyser." Endringen gjøres fordi en sentral del av datainnsamlingen nå er generering av datagrunnlag til indikatorene.
- **Erfaringsdatabase:** Genereringen av en erfaringsdatabase som oppdateres etter hvert som nye data samles inn, vil være et viktig forbedringsverktøy i styringsmodellen. Erfaringsdata vil eksempelvis kunne benyttes under planlegging og utførelse av vedlikeholdsaktivitetene.
- **Proaktive og reaktive indikatorer:** Indikatorene beregnes ut fra datagrunnlaget som er generert i aktiviteten "Datainnsamling". Proaktive indikatorer (se kapittel 5.3) vil utøve en "tidlig varsel" - funksjon på en slik måte at tiltak kan iverksettes for å unngå at en varslet hendelse inntreffer. Reaktive indikatorer gir informasjon om hendelser som allerede har skjedd.
- **Kontroll mot mål og krav:** I aktiviteten "Kontroll mot mål og krav" kontrolleres reaktive og proaktive indikatorer mot mål og krav i selskapet. Kontrollen avdekker eventuelle forbedringsbehov.
- **Beslutningspunkt:** Beslutningspunktet kommer inn under aktiviteten "Kontroll mot mål og krav." Hvis verdien av indikatorene ligger innenfor de målene og kravene som selskapet har satt, er det ikke nødvendig å sette i verk forbedringstiltak.

6.5 Konklusjon

Styringsmodellen i Figur 20 er ikke ment å være en ferdig modell som selskapene kan implementere direkte, men mer en veiledning for hvordan styringsmodellen kan utformes. I en levetidsforlengelse er proaktive indikatorer det viktigste elementet, da de varsler om hendelser som er i ferd med å inntreffe. Tiltak kan dermed iverksettes for å unngå at hendelsen inntreffer.

7 Nødvendige revisjoner av vedlikeholdsprogram for aldrende innretninger

Revisjon av vedlikeholdsprogram i en levetidsforlengelse vil fortrinnsvis være en aktivitet som gjennomføres for å ivareta sikkerhetsmessige aspekter. Sentrale elementer i revisjonen er avgjørelsen knyttet til hvor lang levetidsforlengelsen faktisk kan være, og hvor store deler av den opprinnelige vedlikeholdsstyringen som kan videreføres i levetidsforlengelsen.

En fremgangsmåte for revisjon av vedlikeholdsprogrammet er vist nedenfor [Tilpasset fra Ersdal, et al., 2008].

7.1 1. Evaluere historikk

Evalueringen av historikken omfatter en gjennomgang av degraderingshistorikken til enheten og tilhørende komponenter. Gjennomgangen skal kartlegge om degraderingen har foregått langsomt over tid eller om den har økt kraftig i det siste.

I tillegg er det aktuelt å studere eventuelle hendelser knyttet til enheten. En viktig del av arbeidet er å kartlegge i hvilken grad hendelsene forplanter seg til andre enheter eller kan påvirke innretningens integritet.

7.2 2. Evaluere nåværende tilstand

Evalueringen av nåværende tilstand er på samme måte som første aktivitet avhengig av at historikken er godt dokumentert. Under evalueringen av nåværende tilstand må det også kartlegges om all dokumentasjon av enheten er oppdatert i forhold til opprinnelig design.

Kartleggingen kan eksempelvis bestå i å kontrollere at alle modifikasjoner av enheten er merket av på tegningene, og at endringer i ytre miljø er tatt med i eventuelle simuleringer som er gjennomført.

7.3 3. Evaluere fremtidsutsiktene og eventuell levetidsforlengelse

Evalueringen av fremtiden for den aldrende enheten og en eventuell levetidsforlengelse skal behandle aldringsaspekter som kan gi redusert sikkerhet. En viktig del av arbeidet er å identifisere feilmoder som kan påvirke enheten.

I tillegg skal det identifiseres sikkerhetsbarrierer og aldringsmekanismer som kan føre til at barrierene ikke oppfyller sine tiltenkte funksjoner. En viktig del av levetidsforlengelsen er overvåkning og vedlikehold av barrierene, for å sikre at disse fungerer til enhver tid. Eksempelvis er det viktig å ta hensyn til planlagte forandringer og modifikasjoner av barrierene.

Store deler av de utfordringene en levetidsforlengelse representerer, kan reduseres gjennom tekniske eller driftsmessige forandringer i prosessen eller på selve enheten. Andre tiltak er mer intensivt vedlikehold, forsterkninger osv..

7.4 4. Vurdere om levetidsforlengelse er mulig

På grunnlag av historikken, nåværende tilstand og fremtidsutsiktene for enheten må enhetens integritet vurderes i en eventuell levetidsforlengelse.

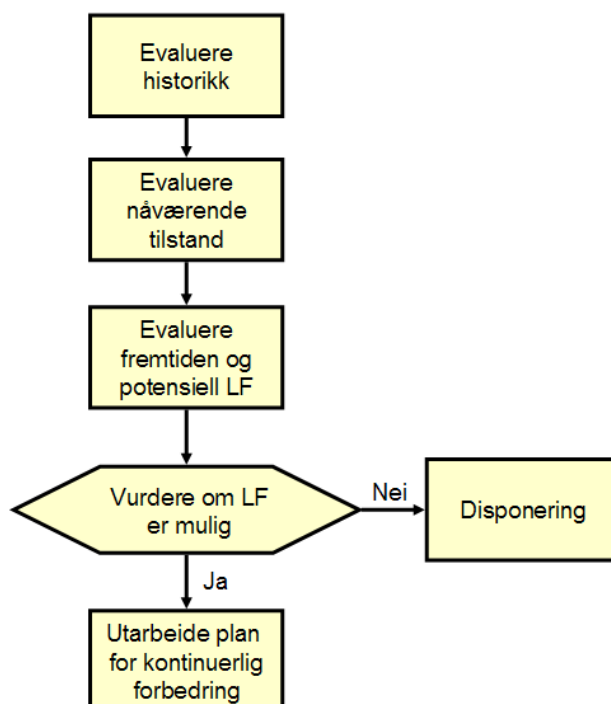
Vurderingen skal resultere i en avgjørelse om en levetidsforlengelse er mulig, eller om enheten må/bør tas ut av drift og avhendes. Avgjørelsen vil i stor grad være avhengig av om enhetens integritet er ivaretatt på en slik måte at den oppfyller gjeldende (dagens) sikkerhetskrav [Pettersen, et al., 2006].

7.5 5. Beslutning om levetidsforlengelse

Hvis det besluttes at levetidsforlengelse er mulig, må det planlegges kontinuerlige forbedrings tiltak der hensikten er å redusere utfordringene/risikoen knyttet til levetidsforlengelsen. Planen må inneholde følgende aspekter [Ersdal, et al., 2008]:

- konstruksjonens tekniske og operasjonelle integritet,
- tekniske og operasjonelle tiltak og modifikasjoner som skal sikre tilstrekkelig integritet i fremtiden,
- vedlikeholdsstyring som sikrer tilstrekkelig integritet, inkludert metoder for å overvåke og identifisere degradering og aldring. I tillegg må styringen omfatte konkrete tiltak mot degradering og aldring og sikre at reservedeler er tilgjengelige,
- sikring av tilstrekkelig kompetanse og ekspertise for drift og vedlikehold.

Stadiene i revisjonsprosessen er summert opp i Figur 21.



Figur 21 Fremgangsmåte for revisjon av vedlikeholdsprogrammet i en levetidsforlengelse

8 Kompetanse

I en levetidsforlengelse må det fokuseres på kompetansen til ansatte på alle nivå i selskapet, spesielt ansatte i vedlikeholdsorganisasjonen. Årsaken er at aldringsfenomenet innfører flere nye utfordringer som må håndteres. En av utfordringene er eksempelvis aldring som fellesfeilårsak.

I rapporten "Vedlikehold som virkemiddel for å forebygge storulykker", utført av SINTEF for Petroleurstilsynet (Ptil), pekes det på seks gjennomgående regelverksavvik med hensyn til status og utfordringer innenfor vedlikeholdsstyring i petroleumsnæringen. Avvikene er vist i Figur 22.

Mangelfull klassifisering (7)	
Mangelfull dokumentering (7)*	
Mangelfull bruk av klassifisering (6)*	
Mangelfull kontroll med utestående vedlikehold (5)	
	Mangelfull kompetanse (2)
	Manglende evaluering av vedlikeholdseffektivitet (2)

* Det er noe variasjon i hva som er mangelfullt dokumentert (valgt metode, bruk av standard, etc.) og hvilken spesifikk bruk som er mangelfull (reservedelsstyring, prioritering, etc.)

Figur 22 Gjennomgående avvik med hensyn til status og utfordringer innenfor vedlikeholdsstyring i petroleumsnæringen [Øien, et al., 2008]

I to av seks selskap ble det verifisert mangelfull kompetanse. Mangelfull kompetanse kan imidlertid også relateres til de fire andre avvikene og kan ha bidratt til disse. Innenfor kompetanse var det spesielt mangel på definerte kompetansekrav og manglende kunnskap omkring klassifisering av utstyr som ble påpekt.

Ulykker og storulykker

Manglende kompetanse i vedlikeholdsstyring kan i tillegg være årsak til personskader. Hele 44 prosent av alvorlige personskader på norsk sokkel oppstod i forbindelse med vedlikehold og modifikasjonsarbeid [Stortingsmelding nr. 12, 2005-2006]. Skader og ulykker under vedlikeholdsarbeid fører som oftest kun til arbeidsulykker, men ved vedlikeholdsintroduserte feil og manglende vedlikehold *kan* resultatet bli en storulykke [Lien, et al., 2008].

Et eksempel på en storulykke som oppstod på denne måten, er Texas City-ulykken i 2005. Som følge av mangelfullt vedlikeholdsprogram ble en nivåtransmitter i et destillasjonstårn ikke klassifisert som kritisk utstyr. Nivåglassene for avlesning på destillasjonstårnet var skitne og dermed nærmest uleselige. I tillegg var de feilkalibrert og formidlet unøyaktig informasjon. Alarmsystemet for nivåtransmitteren var også ute av drift. [Øien, et al., 2007].

Kompetanseheving i et selskap vil øke ansattes forståelse for hvordan styringssystemene i selskapet fungerer. Forståelsen vil også bidra til at det lettere kan avdekkes hvordan ulike feiltyper har potensial til å kunne forplante seg. En storulykke er sjelden en konsekvens av en enkelt

hendelse. I forkant av en storulykke inntreffer gjerne flere hendelser parallelt, noe som fører til at feilene forplanter seg.

Behovet for økt kompetanse i vedlikeholdsstyring bekreftes også av andre ulykkesgranskninger. En av de mest kjente vedlikeholdsrelaterte ulykkene er Piper Alpha, hvor 165 mennesker mistet livet. I granskningsrapporten ble det påpekt mangler ved [Reason, et al., 2002]:

- kommunikasjonsrutiner ved utførelse av vedlikehold, spesielt ved skiftavløsning - utstrakt bruk av muntlig kommunikasjon fremfor skriftlige og formelle arbeidstillatelser,
- arbeidsrutiner ved vedlikehold av PSV-er,
- sikkerhets- og vedlikeholdskultur.

Riktig kompetanse

Et sentralt element i effektiv vedlikeholdsstyring er kontinuerlig forbedring av kunnskapen til vedlikeholdspersonell gjennom utdanning og trening [EFNMS, 1999]. For at et selskap skal kunne ha en effektiv vedlikeholdsstyring, kreves det at ansatte på ulike nivå har riktig kompetanse.

I en levetidsforlengelse vil, som nevnt tidligere, behovet for kompetanse forsterkes ytterligere. I tillegg vil behovet for erfaring og kjennskap til systemene på innretningene øke. Vedlikeholdsbehovet øker i en levetidsforlengelse, og det må utføres et større antall vedlikeholdsaktiviteter.

Riktig kompetanse, erfaring og kjennskap til systemene bidrar til at vedlikeholdsaktivitetene gjennomføres på riktig måte og i passende grad, noe som er viktig da vedlikehold både kan utgjøre en alvorlig fare og være en nødvendig beskyttelse [Reason, 1997]. Forebyggingen av unødvendig og uriktig utført vedlikehold er således en viktig faktor.

Riktig kompetanse vil i tillegg øke de ansattes evne til å fange opp signaler og tolke betydningen av dem. Eksempelvis vil indikasjoner på at hendelser kan komme til å inntreffe (se kapittel 5), bli tolket riktig, og tiltak iverksettes for å unngå at hendelsene inntreffer.

8.1 Forbedre kompetansen i vedlikeholdsorganisasjonen

Vedlikeholdsansatte må aktivt læres opp og gis mulighet til å heve sin kompetanse. Én tilnærming er opplæring og sertifisering i regi av European Federation of National Maintenance Societies (EFNMS). EFNMS er en paraplyorganisasjon for vedlikeholdsforeninger i flere europeiske land, blant annet Norge.

EFNMS tilbyr to ulike opplæringsprogrammer som resulterer i titlene

- europeisk ekspert i vedlikeholdsstyring,
- europeisk spesialist i vedlikehold.

I korte trekk gis det opplæring i følgende områder innenfor vedlikeholdsstyring (en grundigere utdypning med spesifisering for hver av titlene presenteres i vedlegg A):

Ledelse og organisasjon

- Mål, strategier, resultater.
- Organisasjon, kompetanse
- Innkjøp, service
- Styring, kontroll, analyser
- Økonomisk kontroll, LCC, LCP
- Reservedeler, logistikk

Pålitelighet

- Definisjoner
- Måltall, matematiske formler
- Krav, kontroll, analyser
- Design, innkjøp, drift
- Lover, retningslinjer

IT-systemer

- Planlegging, arbeidsordrer, analyser
- Dokumentasjon
- Informasjonssystemer
- Tekniske / økonomiske analyser

Vedlikeholdsmetoder og teknikker

- Fjernstyringer, tilstandsovervåkning
- Forebyggende aktiviteter
- Teknikker og metoder innenfor reparasjon

8.2 Definerte kompetansekrav

I NORSOK N-005 Condition Monitoring of loadbearing structures kapittel 6.2 "Qualification of inspection personnel" defineres det ulike kvalifikasjoner for personell som skal utføre inspeksjonsrelaterte aktiviteter på bærende strukturer. Utdrag fra standarden:

"Personell responsible for offshore inspection by NDE shall be qualified according to EN 473/NORDTEST Level 3 or equivalent."

"The NDE inspectors shall be qualified according to EN 473/NORDTEST Level 2 or equivalent."

NDE er en forkortelse for non-destructive examination og inkluderer alle metoder for å inspisere et materiale uten at dette blir ødelagt. EN 473 er en europeisk standard med navn "Qualification and certification of NDT-personnel - General principles". Standarden definerer krav til kvalifisering og sertifisering av NDT-personell. NORDTEST er et sertifiseringsorgan for NDT-personell i Norden.

8.3 Riktig kompetanse i alle faser

Kompetansen må ivaretas i alle fasene i levetiden til et teknisk system. Graden av kompetanse er en avgjørende faktor for vedlikeholdsstyringen.

Hvis vedlikeholdsaspekter tildeles en sentral rolle allerede i designfasen, vil dette også kunne gi økonomisk gevinst i påfølgende faser. Hensynet til vedlikeholdstilpasning i designfasen avgjør hvorvidt produksjonen ved/på innretningen må stanses eller om innretningen må fraktes til land for utførelse av større vedlikeholdsaktiviteter. Nedstengning av produksjonen påfører selskapene store utgifter.

Manglende kompetanse i designfasen kan i tillegg være en utløsende årsak til storulykker. I 1980 havarerte boliginnretningen Alexander L. Kielland som følge av brudd i et av stagen som holdt et de fem plattformbeinene på plass. Selv med fire plattformbein skulle innretningen ha tålt belastningen. I ulykkesgranskningen ble det blant annet påpekt manglende kompetanse hos sveisepersonell. Sveisepersonell gjorde endringer uten at de i tilstrekkelig grad hadde forutsetningen for å vurdere konsekvensene.

8.4 Plassering av kompetanse

I senere tid har det vært økt fokus på flytting av personell fra innretningene offshore og inn til land. Fenomenet oppstår som en konsekvens av integrerte operasjoner (IO). I Stortingsmelding 38 finnes følgende definisjon av IO:

”E-drift eller integrerte operasjoner innebærer bruk av informasjonsteknologi til å endre arbeidsprosesser for å oppnå bedre beslutninger, til å fjernstyre utstyr og til å flytte funksjoner og personell til land.”

Kostnadsreduksjonen og den sikkerhetsmessige gevinsten ved bruk av IO er sentrale aspekter i en eventuell levetidsforlengelse. IO gjør det i tillegg mulig å ha en større grad av kompetanse til stede ved utførelse av vedlikeholdsaktivitetene, eksempelvis gjennom online support i form av både lyd og bilde under utførelsen.

Høy oljepris i senere tid har imidlertid ført til avtakende interesse for innføring av IO [Øien, et al., 2008]. Da oljeprisen per januar 2009 er på et relativt lavt nivå, er dette et element som kan føre til at interessen øker igjen.

9 Endringer i klassifisering av aldrende innretninger

9.1 Forskriftskrav

Petroleumstilsynet har i dag tre forskrifter som direkte eller indirekte berører vedlikehold og vedlikeholdsstyring. Disse er

- styringsforskriften,
- aktivitetsforskriften,
- innretningsforskriften.

Kravene som direkte berører vedlikehold, er gjengitt i aktivitetsforskriften kapittel IX, der § 43 omhandler klassifisering:

§ 43

Klassifisering

Innretningers systemer og utstyr skal klassifiseres med hensyn til de helse-, miljø- og sikkerhetsmessige konsekvensene av potensielle funksjonsfeil.

For funksjonsfeil som kan føre til alvorlige konsekvenser, skal den ansvarlige identifisere de ulike feilmodiene med tilhørende feilårsaker og feilmekanismer, og anslå feilsannsynligheten for den enkelte feilmodusen.

Klassifiseringen skal legges til grunn ved valg av vedlikeholdsaktiviteter og vedlikeholdsfrekvens, og ved prioritering av ulike vedlikeholdsaktiviteter.

9.2 Klassifisering

Klassifisering gjennomføres for å ha et beslutningsgrunnlag for prioritering av vedlikeholdsaktiviteter. Klassifiseringen kategoriserer systemer etter kritikalitet. Et system kan eksempelvis ha høy kritikalitet hvis det har stor betydning for sikkerhetsmessige aspekter. Ved å klassifisere et system til å ha høy kritikalitet, må vedlikeholdsstyringen innrettes på en slik måte at påliteligheten til systemet ivaretas.

En parallell måte for ivaretagelse av sikkerhetskritiske systemer er bruk av redundans. Ved redundans er to eller flere systemer koblet i parallell slik at det ene systemet umiddelbart kan ta over hvis det andre feiler. En av utfordringene knyttet til opptreden av uønskede hendelser i en levetidsforlengelse, er aldringsfenomenet som felles feilårsak. En felles feilårsak kan eliminere effekten av redundans.

På samme måte vil hyppigere feilfrekvens i en levetidsforlengelse føre til større fare for at flere feil inntreffer på samme tidspunkt [Petroleumstilsynet, 2006-2007]. Eksempelvis kan det forekomme at to parallelle systemer som skal varsle om gasslekkasjer, svikter samtidig.

Operatørene må utvikle en forståelse for og av at sammenhengen mellom flere komponenter kan gi alvorlige fellesfeil. Forståelsen vil bidra til at trender kan spores og indikasjoner avdekkes på et tidlig tidspunkt. Et viktig element er å studere tidligere hendelser og ta lærdom av disse.

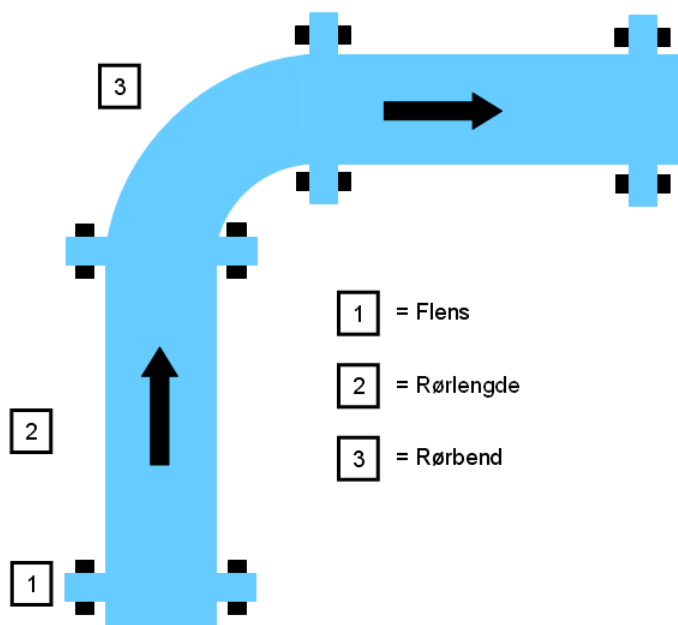
9.3 Forutsetninger for klassifisering

Under klassifisering av systemer og utstyr er det viktig at personell med riktig kompetanse er representert, jf. de risikobaserte regelverkskravene til slik klassifisering. Uten tilstrekkelig kompetanse kan konsekvensene bli alvorlige.

I 1998 skjedde det en eksplosjon ved Esso sitt gassanlegg i Longford, Australia. Under eksplosjonen og påfølgende brann ble to personer drept og flere skadet. De samfunnsøkonomiske konsekvensene av mangelfull gassforsyning var enorme. Årsaken til ulykken var manglende systemkunnskap blant operatørene på anlegget. Selv om ulykken inntraff som følge av en serie med hendelser i forkant, skjønte ikke operatørene at noe var i ferd med å gå galt. I forkant av ulykken hadde Esso beordret kostnadskutt og flyttet ingeniørene fra anlegget i Longford til Melbourne.

Et ekspertvitne uttalte i etterkant av ulykken at tilstedeværelsen av ingeniører med detaljert kjennskap til anlegget ville ha gitt et annet utfall. Det er viktig å merke seg at vitnet *ikke* påsto at *en hvilken som helst ingeniør* ville ha "avverget ulykken", men snarere en som hadde detaljert, daglig kjennskap til anleggsdriften [Øien, 2008].

Granskningen av ulykken i Longford illustrerer hvor viktig riktig kompetanse er. Dette vil også være tilfelle i en klassifiseringsprosess. Viktigheten kan illustreres ytterligere gjennom et eksempel med et rør som inneholder et rørbend og flenser. Eksemplet er illustrert i Figur 23.



Figur 23 Rør med rørbend og flenser

Gjennom røret strømmes et medium med et visst innhold av sandkorn. I det sandkornene berører innsiden av veggene i røret, vil de ha en slipende effekt. En inspeksjonsmetode for røret er å måle veggtykkelsen for å kartlegge graden av slitasje. Riktig kompetanse vil føre til at veggtykkelsen

måles ved punktet 3 og ikke ved punktet 2. Siden mediet endrer retning ved punkt 3 og i tillegg inneholder sandpartikler, vil størst grad av slitasje oppstå ved dette punktet.

På samme måte vil tilstrekkelig kompetanse føre til at det ved inspeksjoner søkes etter sprekker ved flensene i punkt 1 og ikke over lengden i punkt 2. På grunn av spenningene og belastningen er det størst sjanse for at sprekkdannelse oppstår ved flensene. En klassifiseringsprosess ville dermed ha gitt rørbendet og flensene høyere kritikalitet enn rørlengdene.

Klassifiseringen av systemer og utstyr må *oppdateres* jevnlig. Oppdateringen er spesielt viktig når driftsbetingelsene endrer seg eller når modifikasjoner gjennomføres. Endringene fører gjerne til at nye faktorer må vurderes under klassifiseringen.

9.4 Teknisk tilstand

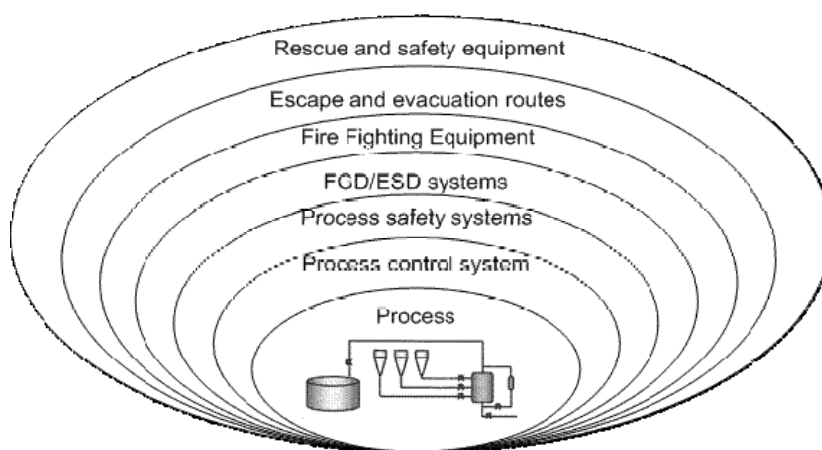
Et sentralt aspekt i klassifiseringen av tekniske systemer er kartleggingen av teknisk tilstand. Kritikaliteten som tildeles systemer vil i stor grad være avhengig av systemets tekniske tilstand. Et nytt sikkerhetskritisk system vil eksempelvis ha lavere kritikalitet enn et eldre system. Teknisk tilstand kan defineres som

”en eller flere relative verdier som uttrykker et objekts degraderingsgrad i forhold til designtilstand. Verdien varierer mellom 0 og 100, hvor sistnevnte angir designtilstand” [Tilpasset fra Bekkeheien, 2002].

Teknisk tilstand er et uttrykk for slitasjegrad på utstyr og komponenter. En av vanskene ved kartleggingen av teknisk tilstand er kartleggingen av utstyr som ikke er tilgjengelig. Eksempelvis kan dette være rør som ligger skjult under ulike typer brannisolasjon [Petroleumstilsynet, 2006-2007].

9.5 Barrieremodell

Tekniske systemer og utstyr som klassifiseres med høy kritikalitet, vil i stor grad beskyttes ved hjelp av barrierer. I Figur 24 presenteres en barrieremodell med ulike sikkerhetsbarrierer for en prosess. Kritikaliteten til barrierene øker proporsjonalt med avstand fra selve prosessen.



Figur 24 Barrieremodell [Hokstad, et al., 2008]

9.6 Endringer i driftsbetingelser

Endringer i driftsbetingelser kan oppstå som en konsekvens av forandringer i ytre miljø. Forandringene kan være at vannstanden stiger eller at værforholdene blir mer ekstreme. Innretningene kan således bli utsatt for belastninger som de ikke er designet for.

Parallelt med økning av vannstanden, utsettes mange av de aldrende innretningene i Nordsjøen for innsynking som følge av at hydrokarboner hentes ut under havbunnen. Som et resultat av innsynking ble det på midten av 80-tallet utført en heveoperasjon på flere av innretningene på Ekofiskfeltet. Ekofisktanken lot seg imidlertid ikke heve. For å beskytte tanken mot endringer i omgivelsene ble det bygd en betongvegg rundt tanken.

10 Avhending og fjerning av innretninger

Mange av farene og tilsvarende tiltak for risikokontroll knyttet til avhending av offshoreinnretninger, er identiske med farer og tiltak som oppstår i operasjoner knyttet til vedlikehold både onshore og offshore [HSE, 2001]. Avhending av innretninger gjennomføres når effektiv levetid for innretningene er over, eller at det ikke er økonomisk lønnsomt å hente ut mer olje og gass fra reservoaret.

Selv om kun ti prosent av offshoreinnretningene på verdensbasis befinner seg på norsk sokkel, utgjør avhendingskostnadene for disse innretningene seksti prosent av total kostnad på verdensbasis. Årsaken er avstand fra kystlinje, tyngde og størrelse på innretningene samt havdybde [HSE, 2001].

Fjerning av innretningene kan realiseres på flere ulike måter, avhengig av hvor innretningene befinner seg og hvilke videre planer som foreligger for innretningene. Ved fjerning av innretningene forligger det tre muligheter. Mulighetene er [Kinn, 1996]

- full fjerning av både innretning og bærestruktur,
- delvis fjerning av alt ned til en dybde av 55 meter under havoverflaten,
- alternativ bruk av innretningen på stedet eller på en annen lokasjon.

Full fjerning av innretningen innebærer at innretningene fraktes til land eller dumpes på dypt vann. Delvis fjerning kan eksempelvis innebære at hele bærestrukturen ned til 55 m fjernes, og resterende bærestruktur etterlates. En slik løsning medfører imidlertid en risiko knyttet til fiskerinæringen og trålere [Paton, 1995].

I tillegg gjennomføres demonteringen av bærestruktur gjerne ved bruk av sprengladninger for segmentering. Trykkbølgene og akustikken knyttet til denne operasjonen, har store miljømessige konsekvenser. Beregninger viser at ved bruk av 2,5 tonn eksplosiver, vil estimert fiskedød være omtrent 20 tonn. For fisk som opptrer i stim, er konsekvensene enda større [Paton, 1995].

Bruken av eksplosiver medfører i tillegg at mennesker og materiell utsettes for risiko. Eksplosjonenes påvirkning som følge av trykkbølger og gassbobler, kan være vanskelig å kalkulere. Risikoen er særlig knyttet til løfteinnretninger som skal holde bærestrukturen mens den løsnes ved hjelp av eksplosjonene [HSE, 2001].

Hvis det besluttes at innretningen skal benyttes videre på en annen lokasjon eller til et alternativt formål på samme lokasjon, må det påregnes betydelige kostnader til oppgradering av innretningen. Hver innretning er unik, den er designet og bygget for en spesifikk lokasjon, vanddybde og miljømessige betingelser. I tillegg er den designet, konstruert og installert under betingelsene i det aktuelle byggeåret.

Ved flytting vil endringer i driftsbetingelser og operasjonsmiljø føre til at vedlikeholdsstyringen må revideres. Hvis flyttingen i tillegg innebærer at større modifikasjoner må gjennomføres på innretningen, kan revisjonen av vedlikeholdsstyringen bli omfattende.

I noen tilfeller kan tidsrommet fra driften stanses til avhendingsprosessen initieres, være langvarig. Årsaken er gjerne at det gjennomføres en anbudsrunde for å hente inn det beste tilbudet. Selskapene må sørge for tilstrekkelig vedlikeholdsstyring i dette tidsrommet.

11 Konklusjon

Flere av innretningene på norsk sokkel vil i løpet av de neste årene overskride sin designlevetid. Ny teknologi det mulig å nå nye reservoarer og å hente ut større mengder fra eksisterende reservoarer. Behovet for levetidsforlengelse er til stede for flere innretninger. Innretningene må søke myndighetene om samtykke til videre drift utover designlevetiden. Søknaden skal inneholde dokumentasjon for hvordan innretningenes integritet skal sikres i levetidsforlengelsen.

I en levetidsforlengelse, er det funksjonell aldring som skal behandles i vedlikeholdsstyringen. Funksjonell aldring oppstår når systemets funksjons- og ytelsesevne blir degradert som en følge av ulike fysiske degraderingsprosesser. Kravene til vedlikeholdsstyring i en levetidsforlengelse belyses i følgende sitat [Petroleumstilsynet, 2008]:

“Aging is not about how old your equipment is; it’s about what you know about its condition and how it is changing over time.”

Vedlikeholdsstyring skal kartlegge faktisk tilstand på utstyr og hvordan tilstanden forandres over tid. Funksjonell aldring i levetidsforlengelsen kan bidra til at degraderingsmekanismene opptrer sterkere. Et utvidet forebyggende vedlikeholdsprogram skal redusere effekten av degraderingsmekanismene. Kombinert med klare retningslinjer for utførelse av korrigerende vedlikeholdsaktiviteter, skal dette sikre innretningenes integritet.

Parallelt illustrerer sitatet viktigheten av kompetanse og systemforståelse. En av utfordringene i en levetidsforlengelse er aldring som fellesfeilårsak. Egenskapen fører til at systemer og utstyr må klassifiseres på nytt for å vurdere hvorvidt kritikaliteten endres i levetidsforlengelsen. I vurderingen vil tilstrekkelig kompetanse om degraderingsmekanismer og forståelse for samspill-effekter være avgjørende.

Ved å kartlegge samspilleffekter, får selskapene mulighet til å avdekke tidlige indikasjoner på uønskede hendelser. Flere av indikasjonene kan synliggjøres gjennom implementering av proaktive indikatorer.

For å sikre god vedlikeholdsstyring i levetidsforlengelsen, må alle aktivitetene implementeres i selskapenes styringsmodeller. Styringsmodellene bør i tillegg beskrive en forbedringsprosess som skal inngå i alle aktivitetene. Forbedringsprosessen skal beskrive hvordan personell læres opp til å vurdere sine arbeidsoppgaver og kontinuerlig generere forbedringsforslag.

Referanser

- Bekkeheien, A., 2002. Vedlikeholdsstyring og slutfaseproduksjon. Hovedoppgave ved institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk, NTNU, Trondheim.
- Britton, 2008. *Aging gracefully?* Deepwater Corrosion Services Inc., USA.
- Clue International Cooperation, 1991-2007. *Clue for Windows*.
- Ersdal, G., 2008. *Vedlikehold av aldrende innretninger – Tanker fra et aldringsperspektiv*. Petroleumstilsynet, Stavanger.
- Ersdal, G., Kvitrud, A., Jones, W., Birkinshaw, M., 2008. *Life Extension for Mobile Offshore Units: How old is too old?* Tilgjengelig fra: http://drillingcontractor.org/index/index.-php?option=com_content&task=view&id=313
- European Federation of National Maintenance Societies (EFNMS), 1999. *Future Competence Challenges Related to Maintenance and Asset Management*. Working group 5.
- European Federation of National Maintenance Societies (EFNMS), 2006. *The Requirements and Rules to achieve a Certificate as a European Expert in Maintenance Management*.
- Heien, Ø., 1995. *Restlevetid og utskiftning av teknisk utstyr*. Prosjektoppgave ved Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk ved NTH, Trondheim.
- Hokstad, P., Håbrekke, S., Haagensen, P., Johnsen, R., Sangesland, S., 2008. Aldring og levetidsforlengelse (draft). SINTEF rapport i oppdrag fra Petroleumstilsynet.
- HSE, 2001. *Decommissioning topic strategy*. Health and Safety Executive. Prepared by BOMEL Ltd for the Health and Safety Executive.
- IEC 60300-3-11, Ed. 2.0, 1999. *Dependability Management – Part 3-11: Application Guide – Reliability Centred Maintenance*.
- Kinn, O.M., 1996. *Fjerning av plattformer (Removal of Platforms)*. Prosjektoppgave ved institutt for petroleumsforskning og anvendt geofysikk, NTNU, Trondheim.
- Lien, T.M., Skarlo, T., Schjølberg, P., 2008. *Sammenhengen mellom vedlikehold, HMS og verdiskapning*. SINTEF rapport i oppdrag fra Petroleumstilsynet.
- NS-EN 13306. Vedlikeholdsterminologi. 1. utgave september 2001. Standard Norge.
- Øien, K., Schjølberg, P., 2007. *Betydningen av vedlikehold for å forebygge storulykker*. SINTEF presentasjon hos Petroleumstilsynet i forbindelse med vedlikeholdsseminar.
- Øien, K., Schjølberg, P., 2008. *Vedlikehold som virkemiddel for å forebygge storulykker; Vedlikeholdsstatus og utfordringer i den forbindelse*. Oppdatert rapport fra SINTEF i oppdrag fra Petroleumstilsynet.

- Øien, K., Schjølberg, P., 2008. *Risikonivå i norsk petroleumsvirksomhet (RNNP) – Rapportering av vedlikeholdsdata*. SINTEF, Trondheim.
- Øien, K., 2008. *IO, vedlikehold og storulykker*. Seminar i vedlikeholdsstyring. Petroleumstilsynet, Stavanger.
- NORSOK N-005 Condition monitoring of loadbearing structures.
- Oljedirektoratet, 1998. *Basisstudie vedlikeholdsstyring – Metode for egenvurdering av vedlikeholdsstyring*. Tilgjengelig fra: <http://www.ptil.no/getfile.php/z%20Konvertert/-Helse%2C%20miljø%20og%20sikkerhet/Sikkerhet%20og%20arbeidsmiljø/Dokumenter/basisvedlikehold.pdf>
- Paton, S., 1995. *Decommissioning, abandonment and removal off obsolete offshore installations*. Translation by Elena Cascio based on "Environmental Impact of the Offshore Oil and Gas Industry". Copyright EcoMonitor Publishing, USA. Tilgjengelig fra <http://www.offshore-environment.com/abandonment.html>
- Petroleumstilsynet, 2006-2007. *Sikkerhet – status og signaler*. Petroleumstilsynet, Stavanger.
- Petroleumstilsynet, 2008. *HP 1 - Aldring og levetidsforlengelse*. Petroleumstilsynet, Stavanger.
- Petterson, L., Simola, K., 2006. *Aging of Components and Systems*. An ESReDA Working Group Report, Det Norske Veritas AS:
- Reason, J., 1997. *Managing the Risks of Organisational Accidents*. Ashgate, Hamsphire.
- Reason, J., Hobbes, A., 2002. *Managing Maintenance Errors*. Ashgate, Hampshire.
- RNNS, 2007. *Risikonivåprosjektet – sammendragsrapport norsk sokkel fase 7*. Petroleumstilsynet, Stavanger.
- Schjølberg, P., 2008. *Målstyring og 5S*. Institutt for produksjons- og kvalitetsstyring, NTNU, Trondheim.
- Selsnes, 2008. *Levetidsforlengelse – Drift på felt utover designlevetid*. Innlegg på NITO seminar "Sikkerhetsutfordringer ved modne installasjoner 29. oktober 2008, Stavanger.
- Sløveren, I., 2008. *Er IO målene nådd innen drift og vedlikehold?* Innlegg på IO seminar hos Petroleumstilsynet, Stavanger.
- Spear, S. and Bowen, H.Kent, (1999). *Decoding the DNA of the Toyota Production System*, Harvard Business Review, Reprint 99509.
- Storingsmelding nr. 12, 2005-2006. Helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten.
- Storingsmelding nr. 38, 2003-2004 om petroleumsvirksomheten..
- TWI report, 2008. *Requirements for Life Extension of Aging Offshore Production Installations*. Utarbeidet for Petroleumstilsynet.
- Vatn, J., (2004). *A railway maintenance optimization*. Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk, NTNU, Trondheim.

Woodhouse, 1999. *Cost Risk Optimisation (C / RO)*. The Woodhouse Partnership Ltd.

Tilgjengelig fra: <http://www.plant-maintenance.com/articles/Costriskop.pdf>

Vedlegg A: Requirements of a European Maintenance Specialist

1. General Competencies and Responsibilities

SYLLABUS	FINAL ATTAINMENT LEVEL	LEVEL OF REQUIRED KNOWLEDGE
1.0 Corporate/Company Environment 1.0.1 Corporate/company situation 1.0.2 Corporate/company organization 1.0.3 Departmental organization 1.0.4 Costs	Understands significance of social/economic impact of own organization/enterprise.	(not required as part of examination)
1.1 Work Planning 1.1.1 Planning - Maintenance request/Process sheet/Job ticket - Personnel planning - Equipment planning - Time sheet 1.1.2 Control and reporting	Does preparation and reporting on own maintenance tasks and on some team jobs.	1
1.2 Teamwork and communication 1.2.1 Authority and Responsibility 1.2.2 Basic Management Techniques - Personnel Management - Reporting Techniques - Team organization techniques	Reports orally and in writing within a team. Has social capability to communicate with people in and outside the team, such as in the production, with contractors, suppliers, etc.	1
1.3 English Language - Technical English	Is able to understand instructions in technical English.	3
1.4 Information Technology 1.4.1 Basics of EDP 1.4.2 Processing/calculation techniques - Data base handling - Computation of tables 1.4.3 The PC-Work station - Organization of the PC-Work station - Use of networks	Uses the information system for entering and collecting data. Has the basic knowledge to use the system interactively.	2
1.5 Training and Instructions 1.5.1 Basics of the Learning Process 1.5.2 Basics of Training Strategies 1.5.3 Basics of Planning a Lecture 1.5.4 Training facilities	Has the basic knowledge needed for training and instructing team members. Is familiar with training facilities in and outside the organization.	2

SYLLABUS		FINAL ATTAINMENT LEVEL	LEVEL OF REQUIRED KNOWL- EDGE
1.6	Quality Assurance	Has basic knowledge of the impact of maintenance on product quality. Is able to act as an active member of a quality team.	1
1.6.1	Scope and objectives of Quality Assurance - QA Standards, Terminology - Elements of QA systems		
1.6.2	Basics of Quality Assurance - Concepts, Definitions		
1.6.3	QA techniques and procedures		
1.7	Environment	Has basic knowledge of the impact of maintenance on indoor and outdoor environment. Is able to act as an active member of a quality team.	1
1.7.1	Scope and objectives of Environmental Management		
1.7.2	Influence on indoor and outdoor environment		
1.8	Automation	Should have general knowledge of systems at present.	2
1.8.1	Basics of Process Control		
1.8.2	Basics of machine automation		
1.8.3	Common system design		

2. Competencies; tasks related

SYLLABUS	FINAL ATTAINMENT LEVEL	LEVEL OF REQUIRED KNOWLEDGE
2.1 Maintenance Objectives and Policies 2.1.1 Corporate Maintenance Engineering - Objectives, Tasks, Significance - Policies on maintenance - Investment considerations. LCC/DOM	Understands the importance of maintenance objectives and policies. Understands the economic impact of maintenance and the importance of operation and capital costs within the framework of life-cycles costs - LCC.	3
2.2 Maintenance Concepts 2.2.1 The maintenance system 2.2.2 The Wear and Tear Process 2.2.3 Preventive and Corrective Maintenance Choices	Knows the principles of the preventive, corrective and opportunity based maintenance incl. condition monitoring.	1
2.3 Restoration Techniques 2.3.1 Basis of Technology - Mechanical Technology/mechanical equipment - Electrical Technology/electrical equipment - PLC's and PC's applications - Hydraulics and Pneumatics - Building 2.3.2 Repair techniques	Knows the principle and is able to apply them in practice.	1
2.4 Maintenance Terminology 2.4.1 Terminology 2.4.2 Standards/CEN	Knows and understands maintenance terminology and standards, understands them and is able to use them actively.	1
2.5 Contractors 2.5.1 Basics of Contractual Law 2.5.2 The CEN maintenance contract guidelines 2.5.3 Practical applications	Knows the requirements and scope to which a contractor should comply. Is able to instruct and supervise contractors on maintenance jobs.	2
2.6 Laws and Regulations 2.6.1 Basics of Labour Law 2.6.2 Law and regulations on Health Care & Safety 2.6.3 Laws and regulations on environmental protection 2.6.4 Safety practice - First aid training - Preventive health protection and safety measures 2.6.5 Equipment Safety Systems	Knows all relevant laws and regulations concerning job safety, fire protection and environment.	2

SYLLABUS		FINAL ATTAINMENT LEVEL	LEVEL OF REQUIRED KNOWLEDGE
2.7	Condition Monitoring		
2.7.1	Significance of CM in maintenance practice	Knows the most common condition monitoring methods and devices and is familiar with their use in practice.	2
2.7.2	CM techniques - Areas of application - Results - Base Lines		
2.7.3	Measuring Techniques - Calibration of measuring tools and instruments - Disturbance, interference and noise		
2.8	Fault Finding Techniques		
2.8.1	Root Cause Analysis - Analysis of functions - Analysis of design	Knows at least one method for systematic fault finding and is familiar with its use and practice.	1
2.8.2	Fault Finding Techniques		
2.9	Improvement Techniques		
2.9.1	Concept, definitions, scope - Small Scale Activities	Has basic knowledge of improvement techniques and under direction is familiar with their use and practice.	2
2.9.2	Workshop practice - Determination of weak points - Elimination of weak points		
2.10.	Documentation		
2.10.1	Basics of Engineering Drawings - Mechanical design - Wiring and piping diagrams - Electrical and electronic diagrams	Understands all documentation (instructions, drawings, etc.) related to the maintenance job and can, if necessary, propose improvements and handle non-conformance.	2
2.10.2	Organization and use - Filing - Retrieving - Marking up		
2.11	Spare Part Management		
2.11.1	Administration of spare parts - Planning and organization of storing facilities - Cost accounting	Has basic knowledge of the storing of spare parts. Knows the practical routine of storing and retrieval of spare parts.	1
2.11.2	Documentation		

SYLLABUS	FINAL ATTAINMENT LEVEL	LEVEL OF REQUIRED KNOWLEDGE
2.12 Materials Technology 2.12.1 Materials Technology - Metals - Synthetic materials - Ceramics - Glass - Building materials - Others 2.12.2 Wear and Tear Mechanisms - Corrosion - Fatigue - Stress - Friction - Others 2.12.3 Protective Methods - Coating techniques - Tribology/lubrication 2.12.4 Non-destructive Testing methods	Has basic knowledge of material technology and application, material deterioration and protective methods.	2

Three levels of required knowledge:

- 1 Very good knowledge**, to be able to handle special tasks
- 2 Good knowledge**, to be able to handle normal tasks
- 3 Understanding**, to be able to participate in making the right decisions.

The Requirements and Rules to achieve a Certificate as a European Expert in Maintenance Management

Background

To become competent to manage and develop the maintenance activities and to run a modern cost-effective maintenance organization, there are several areas of knowledge that has to be assimilated.

The European Federation of National Maintenance Societies, EFNMS, has developed a specification for the minimum requirements of knowledge for an Expert in Maintenance Management.

The EFNMS will also certify those individuals in Europe that can prove to be enough competent (to have the required theoretical knowledge and practical experience) to become a Certified European Expert in Maintenance Management.

The aim has been to specify the theoretical knowledge and the practical experience to be hold by a maintenance manager, thereby assuring that the maintenance activities can be organized and performed in the best possible way in each company.

The objective is a competence assurance of the maintenance activities within Europe.

This document includes:

- the EFNMS minimum Requirements of knowledge for an Expert in Maintenance Management
- the Rules to be able to achieve the EFNMS Certificate as an European Expert in Maintenance Management.

Any individual or organization is free to use these requirements as a base for their training programmes.

All individuals have their right to apply for the EFNMS Certificate and to join the examinations of the theoretical knowledge that are arranged by a National Member Society of the EFNMS.

These requirements and rules, were accepted by the EFNMS Council on the 17th of April 1993 and amended by the EFNMS Council on the 37th of May 1998.

The EFNMS minimum Requirements of knowledge for an Expert in Maintenance Management.

1. A general approach

The specification contains the minimum requirements of the theoretical knowledge for a maintenance manager in general. Special requirements for maintenance managers in electrical, mechanical, chemical industries or others, are not covered. However, this specification aims to fulfil the intention to be enough comprehensive and include the essential and fundamental knowledge, that any expert in maintenance management has to have, regardless in which company or country he is working.

In short the requirements cover the following areas:

MANAGEMENT AND ORGANISATION

- Goal, strategies, results
- Organization, competence
- Procurement, selling of service
- Guiding, control, analysis
- Economical control, LCC, LCP
- Material handling, logistics

RELIABILITY PERFORMANCE OF PRODUCTION PLANTS

- Definitions
- Measurements, mathematical formulas
- Requirements, control, analysis
- Design, procurement, operation
- Laws, regulations

MAINTENANCE INFORMATION SYSTEMS

- Planning, ordering, analysis
- Documentation
- Information systems
- Technical/economical analysis

MAINTENANCE METHODS AND TECHNIQUES

- Remote control, condition monitoring
- Preventive activities
- Repair techniques and methods

The required knowledge mentioned above is general for an Expert in Maintenance Management in any European Country. To be able to achieve the EFNMS Certificate the requirements also include:

MAINTENANCE TERMS IN THE ENGLISH LANGUAGE

2. Three levels of knowledge

In the detailed specification the requirements of knowledge has been described in three levels:

Level 1. Very good knowledge

For these subjects the requirements are to have a very good knowledge to be able to handle the special tasks that belong to a maintenance manager.

Level 2. Good knowledge

For these subjects the requirements are to have enough knowledge to be able to manage and develop these activities.

Level 3. Understanding

For these subjects the requirements are to have enough understanding to be able to make the right decisions and to have an insight of the total implications of the maintenance activities inside and outside a company.

3. The detailed specification

Note: The information that are given within brackets () are just examples to clarify the ideas behind the requirements in the specification, and shall not be looked upon as a total list, but just as examples. After some of the detailed text there is a sign [GK] or [U]. These signs indicates that the specified detailed knowledge has a requirement equal to Good Knowledge respectively Understanding.

3.1. Management and Organization

Within this area it is essential to have a very good knowledge about the importance of maintenance for the economy in the company, for the achievements of the production goals and for the quality of the product, and so on.

It is important to have good knowledge of the organization of the maintenance activities.

Therefore the following knowledge has to be obtained:

Very good knowledge in:

How to set up a company management policy in order to be able to participate in its definition as far as maintenance is concerned.

- to describe why a policy has to be set up and what the requirements are for a policy
- to give examples on in which way the maintenance aspects are in a company management policy

How to formulate the maintenance policy within a company.

- to give an example of a maintenance policy
- to describe what the requirements for a maintenance policy
- to describe the process of the development of a maintenance policy

How to formulate the maintenance goals.

- to describe the general requirements for maintenance goals
- to describe the process of the development of maintenance goals
- to give examples of maintenance goals
- to describe the relationship between goals and policy

Different maintenance strategies and how to choose the right strategy.

- to formulate different maintenance strategies
- to describe the reasons behind the choice of a certain strategy

How to specify the requirements for the maintenance activities.

- to describe the different maintenance activities
- to describe different requirements for the maintenance activities

- to describe the process of the identification, the formulation and the communication of the requirements

How to organize the maintenance activities, how to choose a suitable organization and assure the right competence within the organization.

- to describe different types of maintenance organizations (e.g. centralized, decentralized, cooperation with the equipment supplier and/or servicing companies and integration with the production)
- to describe the advantages and the disadvantages with the different types of organizations and the combination of them
- to describe how to develop the competence in all the different types of organizations

How to determine the human and material resources in order to implement the organization.

- to state the different types of maintenance resources (e.g. tools, material, personnel, transportation, documentation, shops)
- to describe how to develop and optimize the maintenance resources (personnel and material), their location, quality and quantity

How to assure (by maintenance activities) the health and safety and the right environment conditions (inside and outside the company).

- to describe different conditions in the production equipment that may cause risks for health, safety and the environment (inside and outside the company)
- to describe the possibility to prevent such incidents by maintenance activities, including cooperation with other departments in the company and external parties

How to guide, control and analyze the maintenance activities.

- to describe different methods and techniques to achieve an optimized result for the company by the maintenance activities, including the economical and safety aspects for these methods and techniques
- to describe different general aspects that have to be taken into account for analysis
- to describe the methods and techniques for analyzing and the betterment process
- to describe different methods to control the maintenance activities
- to understand the different maintenance concepts (e.g. TPM, RCM, etc)

How to develop and use key-figures for the economical control.

- to describe how to use the key-figures in the control and development of the maintenance activities
- to describe what the fundamental requirements are for key-figures
- to describe the most useful key-figures for different maintenance organizations

LCC/LCP techniques/methods.

- to describe the methods of LCC and LCP, and when they can be used
- to be able to make some fundamental calculations of LCC and LCP
- to describe how to organize the work when using the concepts of LCC and LCP
- to describe how the concepts of LCC and LCP can be used in different situations
- to describe how to specify the LCC requirements in a procurement process [GK]
- to describe how to verify the LCC values and the consequences if the verified result is not in accordance with the specified requirements [GK]

Logistics support, material and store handling, methods for spare part calculations

- to describe the different factors that will have an influence on an optimized organization of the spare part consumption (e g cost for lack of spare parts, cost for storage, cost for interest, etc)
- to describe routines and organization for an optimized logistic support of spare parts (e g purchasing, quality control, delivery systems inside the maintenance organization, etc)
- to describe different ways of organizing the spare part store (e g centralized, decentralized, at the supplier)
- to describe how to calculate the total amount of spare parts and how many of each type, inclusive the typical mathematical formulas for this purpose [GK]

How to measure and analyze the results of the maintenance activities, e.g. efficiency and economy.

- to describe different methods to measure the result of the maintenance activities, the advantages and disadvantages with the methods and their handling of the economical aspects
- to describe what is not covered by these methods
- to understand different economical models regarding maintenance and understand the fundamental principles regarding the economical results for a company
- to be able to develop a model for measurement and analysis of the maintenance activities

The maintenance activities in the development and procurement of new production equipment.

- to be able to transfer production requirements into functional requirements (e g equipment dependability) and into quantitative and qualitative maintenance requirements (e g reliability and maintainability) and optimize the resources
- to understand the importance for maintenance of taking part in the development phase
- to describe how the maintenance experience can be used during the design phase

How to define the future maintenance needs of a company.

- to understand which factors that are important for the need of maintenance activities and how they might be changed in the future (e g new requirements regarding goals, strategies and results)
- to understand the future needs of maintenance and its influence on the actual activities in the long run (e g work load, type of work, quality and quantity)
- to be able to describe different future scenarios

Good knowledge in:

How to define and implement human resources development policy.

- to describe why a human resources development policy has to be set up and what the fundamental requirements are for such a policy
- to give an example of a human resources development policy
- to describe the process of the development of a human resources development policy

Understanding in:

Actual European standards within maintenance.

Laws and regulations regarding labor, liability, guarantee, environment, energy, etc.

- to describe different methods to measure the fulfillment of the laws and regulations with respect to labor, liability, guarantee, environment, energy, etc.
- to describe what is not covered by these methods
- to know the different unions in the country and the agreed commitments

The essential contribution from the maintenance activities to achieve good product quality and good production performance.

- to understand the maintenance contribution

3.2 Availability Performance of Production Plants

Within this area it is essential to have knowledge about how to guide, control and develop the availability performance activities, in order to assure the performance of the production, the quality of the products, the safety regulations and the environment conditions.

It is important to have good knowledge of all availability performance activities that shall be taken care of during the entire life cycle of a production system, e.g. during development, procurement, operation and displacement of a production equipment.

Therefore the following knowledge has to be obtained:

Very good knowledge in:

Reliability

- to understand that this has to do with the number of failures and the disabled states due to maintenance activities
- to be able to define reliability
- to describe some different measures of reliability (e g MTBF, MTTF, etc)
- to be able to calculate the reliability
- to be able to describe the mechanism that causes the failures
- to describe the different redundancies [U]
- to be able to draw a reliability block diagram with serial and parallel systems and for active and passive redundancies[U]
- to be able to calculate the reliability probability for a serial and parallel system and for active and passive redundancies [U]
- to be aware of the different statistical distributions for failures (e g Exponential, Lognormal, Weibull, etc) [U]

Maintainability

- to understand that this has to do with active time for maintenance
- to be able to define maintainability
- to describe some different measures of maintainability (e g MTTR, M, etc)
- to be able to calculate the maintainability
- to describe which time elements that are included and not included in the calculation (e g preparation time, functional check out, waiting for resources) [GK]
- to be able to analyze what causes the length of active maintenance times
- Supportability
- to understand that this has to do with waiting times for maintenance resources
- to be able to define supportability
- to describe some different measures of supportability (e g MLDT, MWT, etc)

- to be able to calculate the supportability
- to be able to analyze what causes the length of the waiting times

Availability

- to understand that this has to do with the time of the ready state for the equipment
- to be able to define availability
- to describe the connection and differences between dependability, availability, reliability, maintainability and supportability
- to be able to calculate the availability with respect to down time, running time, operational cycles, production, calendar time, etc [GK]
- to be able to analyze what causes low availability [GK]
- to understand the influence of availability on the production [GK]

Improvements of the availability performance

- to understand in which different ways it is possible to improve the availability
- to understand in which different ways it is possible to improve the reliability (e g the choice of components, redundancies, design, preventive maintenance, better operational use, etc)
- to understand in which different ways it is possible to improve the maintainability (e g design, documentation, maintenance equipment, education, etc)
- to understand in which different ways it is possible to improve the supportability (e g assure faster access of personnel, documentation, spare parts, maintenance equipment, transports and assure faster administrative routines, etc)

Good knowledge in:

The mathematical and statistical formulas to be used in the specifications and for verifications.

- to be able to specify requirements regarding reliability performance (e g what is regarded as failures, active maintenance time, waiting time and how the availability is defined, etc)
- to describe the basic mathematical formulas within availability, reliability, maintainability and supportability
- to be able to specify how the verification will be performed
- to describe the different consequences if the verified results are different from the requirements [U]

Human reliability

- to describe the different types of human failures
- to describe what causes human failures
- to understand how human failures can be prevented and avoided

Production safety

- to describe the different types of incidents that the maintenance activities shall prevent (e g consequences on health, safety and environment)
- to understand how to predict and prevent such consequences
- to give examples of external parties interested in those preventions

Risk analysis

- to be able to define risk
- to describe the different steps in a general risk analysis
- to be able to calculate risks

- to describe some different methods for risk analysis and when they can be used (e.g. FMEA and Fault-tree)[U]
- to be able to judge on the quality of a performed risk analysis [U]

Understanding in:

Quality assurance

- to define quality and quality assurance
- to mention some standards and methods for quality assurance regarding maintenance
- to describe how the maintenance activities will have an influence on the quality assurance

Laws and regulations (technical aspects)

- to exemplify governmental organizations that are responsible for laws and regulations regarding maintenance
- to exemplify organizations that are checking the application of these laws and regulations
- to exemplify laws and regulations that have a direct influence on the maintenance activities

3.3 Maintenance Information Systems

Within this area it is essential to have knowledge about the different methods and systems that can be used in the decision making process, to be able to assure that the maintenance activities are cost-effective and are supporting the company profit.

It is important to have good knowledge of how to specify the system requirements and how to develop and use the information systems for planning, control, feedback analysis and improvements.

Therefore the following knowledge has to be obtained:

Very good knowledge in:

Maintenance Management Information Systems (key-figures, guidance tables and so on).

- to describe different types of information systems and be able to combine these (e.g. the customer requirements on maintenance, the efficiency of the plant equipment and the machineries, the different contracts for the maintenance performance)
- to be able to specify the requirements for an information system

Good knowledge in:

Maintenance Information Systems (for planning, work order, technical/economical analysis, and so on).

- to describe different types of information for maintenance activities (e.g. work order, work control, planning, work preparation, spare parts, LCC/LCP, safety, risks, environment, production results, betterments, modifications, investments, etc)
- to be able to specify the requirements for information systems that will handle the above
- to describe the limits and the uncertainties that might exist in these systems
- to be able to combine, prioritize and argue regarding the use of these systems
- to be able to describe the different modules in a maintenance information system
- Technical documentation/information systems.

- to be able to specify the requirements for a documentation system and give some examples of how the different documents shall look like (e g maintenance instructions, equipment lists, drawings, spare part lists, education/personnel information, handbooks, etc)
- to describe how to organize the work to keep the systems updated

Technical process control systems.

- to be able to specify these systems
- to describe the limits and the uncertainties that might exist in these systems
- to be able to combine, prioritize and argue regarding the use of these systems
- to describe the relationship between the process control system and the maintenance information system

Understanding in:

Expert systems.

- to define and describe the principle of an expert system, inclusive the different types of such systems
- to describe the problems regarding the use of such systems

Basics concerning the computer support for the topics above.

- to describe the basic ideas how to combine and prioritize the information systems mentioned above
- to describe different ideas regarding the documentation system (e g paper - computerized, local - central, advantages - disadvantages, etc)
- to be able to adapt the systems to the actual circumstances
- to be able to indicate actual costs for these systems and the advantages to use them
- to know the fundamental requirements regarding the security for information systems and the need of backup for computer systems
- to describe how to use the results from these information systems
- to describe the difficulties with these systems (e g collecting data, present data, etc)
- to describe the principle concept how to handle a project regarding the implementation of a new system (e g the choice of system, preparation, installation, training, etc)

3.4 Maintenance Methods and Techniques

Within this area it is essential to have knowledge about the theories and methods that are used to optimize the mix between corrective maintenance, preventive maintenance (predetermined or conditions based) and modifications.

It is important to have knowledge about how to choose the right methods for the best cost effectiveness.

Therefore the following knowledge has to be obtained:

Good knowledge in:

The theory of the failure patterns

- to define a fault
- to describe the different causes for a fault (e g specification, design, installation, operation, maintenance)

- to understand the statistical distributions for failures
- to be able to choose the appropriate maintenance method depending on the actual failure distribution (e g corrective, preventive, condition based, modification)
- to be able to classify and take into account the different consequences of a fault

Types of wear and tear

- to describe the different causes of wear and tear
- to describe the different possibilities to prevent that
- Improvement techniques (aiming at reducing failure rates and down times)
- to know and understand different methods of fault finding
- to understand different methods of improvements due to maintenance requirements
- to be able to specify, plan, control and follow up improvements

Preventive techniques

- to describe methods and techniques for preventive and condition based maintenance
- to understand and be able to decide about the intervals between preventive maintenance actions
- to be able to choose a suitable preventive maintenance program (e g activities, intervals, etc)
- Inspection techniques
- to describe methods and techniques for inspection (condition based maintenance)
- to understand and be able to decide about the intervals between inspections
- to be able to choose a suitable inspection system

Condition monitoring techniques

- (see "Inspection techniques" above)

Methods of life extensions

- to know different methods of life extensions, and how to execute them
- to be able to describe in a visual way how different maintenance activities will have an influence on the life time of the production equipment

Measurement methods

- to understand the principles of measurement systems with indication and presentation for the purpose of maintenance
- to describe typical methods to measure different technical conditions

Control systems

- to be able to describe different types of condition monitoring systems (e g continuous, by intervals, on request, centralized or decentralized)

Understanding in:

Performance improvement techniques.

- to know and judge on the importance of different fault finding methods
- to understand different methods of improvements due to maintenance requirements
- to be able to specify, plan, execute and up performance improvements

Repair techniques.

- to be able to plan, execute and follow up repair work

- to be able to give examples of repair techniques

3.5 Maintenance terms in the English language

Within the language area it is essential to have good knowledge about the maintenance terms in the English language, in order to be able to handle international maintenance management matters within Europe. (This requirement only applies to those that like to have an EFNMS European Certificate, and does not apply for a National Certificate.)

Therefore the following knowledge has to be obtained:

Good knowledge in:

The understanding of maintenance terms in the English language.

The Rules to be able to achieve the EFNMS Certificate as a “European Expert in Maintenance Management”

1. General

An applicant has to fulfill the requirements regarding the theoretical knowledge and the practical experiences (as specified below) within one year to be able to get the EFNMS Certificate. The date of the certification will be the date when the last of the requirements is fulfilled.

2. The requirements of theoretical knowledge

2.1. An examination

2.1.1. Each National Maintenance Society that is a member of the EFNMS will, on behalf of the EFNMS, arrange written examinations of the theoretical knowledge in each societies own language. (These tests can be arranged at intervals that will suit each society.)

2.1.2. The examination has to be arranged according to national university standards

2.1.3. The examination shall include:

[A] questions that cover the subjects in the detailed specification,

[B] one maintenance article in English, from which the students shall write an abstract in their own language.

2.1.4. The complete examination of [A] above, shall last no more than 8 hours. The examination can be divided into two parts, with two different questionnaires. (E.g. one part with questions covering "Management and Organization" + "Maintenance Information Systems" and another part covering "Reliability Performance of Production Plants" + "Maintenance Methods and Techniques".)

2.1.5. The complete examination of [A] above, give 100 points. To pass the examination a candidate has to achieve 70 points. If the examination is divided into two parts, as described in 1.1.4. above, the first part can give 55 points (to pass 40 points) and the second part 45 points (to pass 30 points.)

2.1.6. A separate examination of [B] above is allowed for 1 hour.

2.1.7. Regarding the examination of [B] above, a candidate shall prove a fully understanding of the maintenance terms in English to pass the test.

2.1.8. Present at the examination have to be the National Examiner (see 2.2.1. below), the EFNMS observer (see 2.4.2. below) and a member from the board of the National Maintenance Society.

2.2. A questionnaire preparation group for the examination

2.2.1. For the preparation of the questions in an actual examination, the National Maintenance Society has to select a group of professionals who are authorities within the area of maintenance management.

This group has to include as a minimum:

- a professor and/or a teacher from a university
- a maintenance manager from a medium or large company
- a representative from the board of the National Maintenance Society

(In some cases the same person can cover more than one of the criteria above. However, the group shall not consist of less than three people and each of them has to fulfill at least one of the criteria above, and all the mentioned criteria have to be covered by the group.)

Among the above professionals a National Examiner shall be appointed.

2.2.2. The final proposal for the questionnaire has to be sent to an EFNMS observer (see 2.2.2. below) for approval. The approval has to be done by the signature of the observer on each sheet of the questionnaire.

A questionnaire that is not approved by the EFNMS observer is not valid for the purpose of the EFNMS certification.

2.2.3. The questions for the written examinations have to be treated confidential. Nobody outside the preparation group and the EFNMS observers shall be able to know anything about the questions prior to the actual examination.

2.3. The questionnaire

2.3.1. The examination for [A] above shall include questions that cover the subjects in the detailed specification. All subjects under the headings "Very good knowledge" have to be covered by the questions.

The examination for [B] above can consist of an article in English, where the maintenance management aspects are covered. To pass the examination a fully understanding of the article and the right translation of the maintenance terms has to be proved.

2.3.2. The questionnaire has to be arranged according to national university standards.

2.4. The National Examiner and the EFNMS observer

2.4.1. The National Examiner will be selected among the members of the group of professionals (defined in 2.2. 1. above) and will be in charge for running the examination according to 2. 1. above.

2.4.2. The selected EFNMS observer has to be a member of the EFNMS Certification Committee and belong to another National Society than the Society which conducts the examination.

The EFNMS observer shall understand the language in which the examination is done. His costs shall be paid by the Society which conducts the examination.

2.5. The evaluation of the examination

2.5.1. The evaluation of the examination has to be done by the National Examiner a member from the board of the National Society and the EFNMS observer.

2.5.2. The result has to be written down on each candidates answer form and signed by the National Examiner and the EFNMS observer (the EFNMS Examination Executor). Unless both these signatures are present on the answer form, the examination result is not valid for the purpose of the EFNMS examination.

2.5.3. The result of the examination is final and can not be a subject of any appeal against.

3. The requirements of practical experience

The applicant shall fulfill the following practical experiences:

At last 5 years experience in the field of maintenance, inclusive at least 2 years experience in a managing position in the field of maintenance. (At least one of these years should have occurred during the last 18 months.)

4. The EFNMS Certificate

The EFNMS will issue the Certificate (diploma), that will be signed by the EFNMS President, The National Society President and the EFNMS Examination Executor.

5. A register of Certified Experts in Maintenance Management

The EFNMS will make a register of all certified European Experts in Maintenance Management's that are certified according to these rules.

The names of the certified individuals may be published. (The names of those that not passed the test shall not be published.)

6. The certification costs

For each issued certificate the National Society has to pay 50 ECU to the EFNMS.

This amount and a sum for the administration of the National Society has to be paid by the applicant (student). (The sum for administration is to be decided by each National Society.)

7. Certificates from a National Maintenance Society

An individual who has fulfilled the requirement 2. [A] above will receive a national certificate from his (her) National Society that proves that he (she) has passed this examination.

Each national member society of the EFNMS has its right to issue a National Maintenance Society Certificate (diploma) as a "National Expert in Maintenance Management" for each national individual which has fulfilled the requirements 1., 2. [A] and 3 above. (The requirements regarding the English language and the EFNMS quality control are not included.)

The sum for administration to be paid by the applicant (student) is to be decided by each National Society.

Vedlegg B: Litteraturhenvisninger

Vedlegget inneholder lenker til ytterligere litteratur og informasjon innenfor aldring og levetidsforlengelse.

Tittel	Lenke	Kommentarer
Ambisjonen om å være i verdensklasse med drift og vedlikehold - hva betyr det for vedlikeholdsstyring i StatoilHydro	http://www.ptil.no/getfile.php/z%20Konvertert/Helse,%20miljø%20og%20sikkerhet/Sikkerhet%20og%20arbeidsmiljø/Dokumenter/statoil_presentasjonnett.pdf	Beskriver vedlikeholdsstyring, hvordan tiltak bør utformes og iverksettes, klassifisering, tar litt tak i Petroleumstilsynet sin styringsmodell.
13 Steps for Implementing Best Practices in Maintenance	file://localhost/P:/Petroleumstilsynet/Vedlikehold%20og%20aldring/Artikler/13%20Steps%20for%20Implementing%20Best%20Practices%20in%20Maintenance.mht	Beskriver fremgangsmåte inkludert forandring av filosofi og strategi, viktigheten av trening av ansatte, de forskjellige typene vedlikehold. Gjennomgående fokus på opprettholdelse og eventuelt forlengelse av designlevetiden. Foreslår avslutningsvis indikatorer for ulike områder.
Indikatorer for måling av risikonivå	http://www.npd.no/NR/rdonlyres/381139A2-4EB8-488E-84FA-F4DFFB409F6D/0/Risikonivsammendragsrapp2002.pdf	Delvis interessant. PDF side 20-22 hvor det defineres hendelsesindikatorer og aktivitetsindikatorer. Side 24 Risikoindikatorer for storulykker. Ikke veldig relevant, men noen viktige momenter.
OLF Recommended guideline for the assessment and documentation for service life extension of facilities.	http://www.olf.no/getfile.php/zKonvertert/www.olf.no/HMS%20og%20drift/Retningslinjer/Levetid%20-%20retningslinje.PDF	Retningslinjer for vurdering og dokumentering for utvidelse av designlevetid. Spesielt rettet mot søknaden hos Petroleumstilsynet for innvilgelse av tillatelse til utvidet levetid.

Ptil sikkerhet og storulykkesrisiko	http://www.ptil.no/getfile.php/Div%20artikkelbilder/SIKKERHET_20072008%20MTIwMTc5MjU1NjE5NTI2MjM3Mj.pdf	Se side 45, argusøyne på aldring. OLF skal blant annet utarbeide retningslinjer for hvordan søknader om levetidsforlengelse skal utformes og NORSOK skal utarbeide en standard for levetidsforlengelse av bærende konstruksjoner.
Fleet supportability and aging aircraft	http://www.nts.gov/events/symp_air_cargo/papers/bakup_aging_aircraft.pdf	Beskriver utfordringer knyttet til et gammelt passasjerfly som nå brukes som lastefly. Utfordringer innen vedlikehold knyttet til modifikasjoner og forandret bruksområde, tilgang på reservedeler. Ledninger/isolasjon blir sprø og kan gå i stykker under inspeksjoner, s.5 problemer med outsourcing opp imot eldre systemer, problemer ved utskiftning av vedlikeholdspersonell.
The cost of aging aircraft	http://www.rand.org/pubs/rgs_dissertations/2005/RAND_RGSD194.pdf	S.10 vedlikeholdskostnader øker med en til tre prosent hvert år utover designelevetiden, tar opp problematikken hvor nye objekter ikke kan kjøpes grunnet trang økonomi, mens det likevel blir dyrt pga høye vedlikeholdskostnader, nytt utstyr er for kostbart, s. 13 ”repair vs. replace”, oppsummering s. 16, s. 91 stiger vedlikeholdskostnadene når flyet blir glamlere?, s. 95 fem konklusjoner
A methodology for renewal strategies	http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:14364/FULLTEXT01	Kap. 5 – når skal utskiftning foretas og på hvilket grunnlag, beskriver behovet for et verktøy å ta denne beslutningen med, kap. 7 beskriver to modeller for denne avgjørelsen og avslutningsvis en kombinasjon av disse to modellene.

Life extension on aging installations	http://www.mms.gov/international/IRF/PDF-IRF/Day2-2----PINKS.pdf	Se del 2.
Structural integrity strategy	http://www.hse.gov.uk/offshore/constratdocs.pdf	Se s. 11-12
Aging management and life extension in the nuclear power industry.	http://www.ptil.no/getfile.php/z%20Konvertert/Health%2C%20safety%20and%20environment/Safety%20and%20working%20environment/Dokumenter/agingmanagementandlifeextensionintheusnuclearpower.pdf	Flere sentrale aspekter, ble utarbeidet for Petroleumstilsynet slik at de skulle få skaffe seg et overblikk over levetidsforlengelse i den amerikanske kjernekraftindustrien. Svært sentral.
Nuclear facility life extension	http://www.win-2006.org/win/presentations/Thursday/Nuclear%20Facility%20Life%20Extension/Basma%20Shalaby.pdf	Se figur s. 5 og info siste side.
HSE Research Initiatives on Ageing Offshore Installations in the UK	http://www.icard.org/templates/Page_388.aspx	Hva innebærer aldringsfenomenet? Relateres til NORSOK og ISO.
Life extension for mobile offshore units: How old is too old?	http://drillingcontractor.org/index/index.php?option=com_content&task=view&id=313	Veldig aktuell, Gerhard Ersdal har vært med i utformingen. Fremgangsmåte for hvordan vurdering av mulighetene for levetidsforlengelse gjennomføres.