



OL-Konsult, Norge A/S

SIKKERHET I SPORET

1. Generelt

Innefor jernbaneindustrien har man alltid beskjeftet seg med begrepet sikkerhet.

For de som til daglig tar del i utviklingen av togtrafikken behandles dette spørsmål konstant med alvor.

For andre som har en mer overfladisk kontakt med det daglige arbeid dukker spørsmålet opp (med ekstra styrke) i forbindelse med ekstraordinære hendelser, som f. eks. ved tog-ulykker.

Hva mener vi så med begrepet sikkerhet i sporet?

Det finnes selvfølgelig mange forskjellige oppfatninger og definisjoner på dette. I denne lille presentasjonen skal vi ta for oss én av disse oppfatningene, nemlig:

SIKKERHET I SPORET ER ET SPØRSMÅL OM DRIFTSPALITELIGHET OG DERMED OGSÅ OM SANNSYNLIGHET (hvis vi ser bort fra redundans).

DET ER SANNSYNLIGHETEN FOR AT EN TRANSPORT FRA PUNKT A TIL PUNKT B KAN GJENNOMFØRES UTEN SKADER PÅ PERSONER ELLER MATERIELL.

Jeg er klar over at andre kan ha forskjellige oppfatninger og definisjoner på dette området og i så fall får de gjerne redegjøre for disse. Her skal vi komme frem til pålitelighetsrapportering og vi griper fatt i teorien på en måte som bør virke logisk.

Det er vanlig å sette spørsmålstegn ved sikkerheten når visse hendelser har skjedd, som under ytterlige skjerpene omstendigheter kunne ha fått fatale følger.

Disse enkeltstående hendelser analyseres alltid nøye (noe som er nødvendig) for å fastslå om det er snakk om systematiske (eller generelle) feil eller enkeltstående, tilfeldige hendelser.

Det er altså et spørsmål om hva vi kan lære av hendelsen. I det første tilfellet kan vi gjøre noe for å minimere risikoen for gjentakelser, i det andre tilfellet er det tvilsomt om hendelsen overhode vil skje igjen. Bortsett fra det, er det tvilsomt hvilken verdi referanse til enkeltstående hendelser har i diskusjonen rundt sikkerhet i sporet.

Hendelser som kan true sikkerheten skyldes tre hovedårsaker:

- Menneskelige feil
- Omgivelsenes innflytelse
- Feil ved materiellet (tekniske feil)

Vi skal her kun behandle det siste.

Først en kortfattet gjennomgang av de elementære sannsynlighetsbegreper og videre en antydning av tilknytning til det virkelige liv, nemlig risikoen for feil og ganske kort til slutt om forebyggende vedlikehold av materiellet.

Jeg vil enda en gang understreke at denne beskrivelse dekker egne ideer og synspunkter i tillegg til at jeg har lagt vekt på å gi en populærbeskrivelse av problemet. Dette vil antagelig fremkalle synspunkter og kommentarer fra spesialister på området. Disse skal være velkommen i debatten, men som sagt, hovedformålet er å gi en bredere krets en ide om hva begrepet sikkerhet og pålitelighet bl.a. kan omfatte på den tekniske side.

Asker, 29. desember 1986



Helge Torp
OL- Konsult, Norge A/S

PÅLITELIGHETS OG SIKKERHETS ANALYSE

INNLEDNING

Hva er reliability eller pålitelighet?

Det er sannsynligheten for at en komponent, et system eller en funksjon vil virke, når det er bruk for den, og i den perioden det er bruk for den.

Sikkerhet er således det samme som pålitelighet - nemlig en sannsynlighet. Det er sannsynligheten for at der ikke vil skje fatale hendelser på grunn av en sviktende funksjon.

Om man snakker om sikkerhet eller pålitelighet er bare et spørsmål om nivå.

Sett utfra et pålitelighetssynspunkt snakker man om tre hovedtyper eller nivåer av funksjoner:

1. Sikkerhetsfunksjoner (Safety Functions) utføres av komponenter og systemer som skal fungere over et visst spesifisert minimumnivå for å forhindre ulykker. F. eks. boggier, bremseser, o.s.v.
2. Nødvendige funksjoner (Required Functions) utføres av komponenter og systemer som skal fungere for å gjennomføre transporten som planlagt med en viss spesifisert sannsynlighet. F.eks. motorer o.s.v.
3. Behagelighetsfunksjoner (Convenience Functions) utføres av utstyr og systemer for å lette og forenkle transporten for besetning og passasjerer. F. eks. kjøkkensystemer, toalett-systemer, temperaturkontroll o.s.v.

Grensen mellom de to første kan være flytende alt etter hvilken grad av redundans som finnes i konstruksjonen.

Det fremgår av ovenstående at det vesentlige element i pålitelighetsteknikk er sannsynlighetsbetraktninger.

Hva dekker sannsynlighetsbegrepet da?

Det dreier seg om å forutsi en eller annen hendelse eller utfallet av aktivitet (f.eks. en tur), til tross for at dette utfallet kan opptre mer eller mindre vilkårlig.

Denne krystallkuleteknikk betraktes av mange med skepsis, men faktum, er at denne teknikken lar seg behandle matematisk.

Hvis man ved utførelsen av et eksperiment eller en prosess (f.eks. en tur) kan forvente N mulige utfall, men at bare M av disse kan kalles gunstige for hendelse A ,

$$P(A) = \frac{M}{N}$$

Her forutsettes det at hver av utfallene N har like stor sannsynlighet for å skje og at kun et utfall kan forekomme av gangen, d.v.s. de utelukker gjensidig hverandre.

Ved kast med en mynt f.eks. er det 2 mulige utfall, nemlig mynt og krone. Disse er med en uforfalsket mynt like sannsynlige. Hvis vi betrakter hendelsen "Krone kommer opp", så ser vi at kun et av utfallene er gunstig for hendelsen. Vi sier at sannsynligheten for å slå krone er:

$$P(\text{krone opp}) = \frac{1}{2}$$

Vi arbeider her med det som kalles modell.

En modell er et forenklet bilde av virkeligheten.

Vi antar at slår vi mynt og krone et likt antall ganger så forventer vi at det blir mynt halvparten av gangene og krone den andre halvparten.

Det må bemerkes at det ikke kan føres noe matematisk bevis for at denne modellen dekker virkeligheten. Det kan kun bevises i praksis ved at man slår mynt og kron et stort antall ganger og det vil da vise seg at vi får en fordeling som går mot halvparten kron og halvparten mynt.

Den samme tenkemåten gjelder når vi slår med en uforfalsket terning. Ved å slå terningen kan vi få seks forskjellige utfall, som erfaringsmessig er like sannsynlige.

Ser vi på hendelsen "Å slå en sekser" så er det kun et av utfallene som er gunstig. (De utelukker dessuten hverandre gjensidig).

Vi sier at sannsynligheten for å slå en sekser er:

$$P(6) = \frac{1}{6}$$

Den måten som vi har definert vårt sannsynlighetsbegrep på medfører at en sannsynlighet alltid får en verdi som går fra 0 til og med 1.

Er sannsynligheten for en hendelse 0 snakker vi om den umulige hendelse. Er den 1 derimot snakker vi om den sikre hendelse.

Dersom vi utfører et eksperiment kan hendelsen A enten inntreffe eller ikke inntreffe og herav følger at

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1$$

Dette er en enkel men viktig formel som ofte brukes i pålitelighetsvurderinger.

ADDISJONSLOVEN FOR SANNSYNLIGHETER

Dersom A og B er to hendelser som gjensidig utelukker hverandre så sier addisjonsloven at sannsynligheten for at A eller B vil inntreffe er

$$P(A \text{ or } B) = P(A) + P(B)$$

Ved å slå en terning er sannsynligheten for hendelsen "en sekser" eller "en femmer" altså

$$P(6 \text{ or } 5) = P(6) + P(5) = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

da hendelsene "en sekser" og "en femmer" jo gjensidig utelukker hverandre. Vi får aldri begge deler i samme kast.

La oss tenke oss en gruppe på 100 kvinner hvor 60 har blå øyne og 45 har blondt hår. Hvis vi tilfeldig velger en person, hva er sannsynligheten for at hun enten har blå øyne eller blondt hår?

Sier vi at hendelse A = blå øyne og hendelse B = blondt hår får vi, når vi bruker addisjonsloven:

$$P(A \text{ or } B) = \frac{60}{100} + \frac{45}{100} = \frac{105}{100}$$

Resultatet er større enn 1 så her må det være noe galt.

Det som er galt er at de to hendelsene A og B ikke gjensidig utelukker hverandre. En blondine kan godt ha blå øyne (nødvendigvis ikke blåøyd!) Vi skal også vite hvor mange det er av dem.

For å klare dette problemet må vi bruke:

PRODUKTLOVEN FOR SANNSYNLIGHETER.

Hvis A og B er to hendelser som kan inntreffe uavhengig av hverandre (gjensidige uavhengige) så er sannsynligheten for at både A og B inntreffer:

$$P(A \text{ and } B) = P(A) \cdot P(B)$$

Generelt sier vi at hvis N hendelser er gjensidig uavhengige så er sannsynligheten for at alle hendelsene inntreffer samtidig lik:

$$P(A \text{ and } B \text{ and } C \dots N) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C) \dots P(N)$$

Dersom hendelsene ikke er uavhengige av hverandre snakker vi om

BETINGET SANNSYNLIGHET

La oss anta at vi har en kasse med syv kuler merket A,B,C,D,E,F og G. Så trekker vi en tilfeldig kule opp av kassen, deretter en til og til slutt enda en.

Hva er sannsynligheten for å trekke kule A i første trekk, kule B i annet trekk og kule C i tredje?

Hvis vi antar at de tre hendelsene er uavhengige (hvilket de ikke er), kunne vi resonnerer som følger:

Sannsynligheten for å trekke kule A i første trekk er $1/7$ (som er sant). Sannsynligheten for å trekke kule B i annet trekk er $1/7$ (hvilket ikke er sant) og tilsvarende for kule C også $1/7$ (hvilket heller ikke er sant).

Sannsynligheten for å trekke kulene A,B og C i rekkefølge er derfor:

$$P(A \text{ and } B \text{ and } C) = P(ABC) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C)$$

$$= 1/7 \cdot 1/7 \cdot 1/7 = 1/343, \text{ hvilket er galt.}$$

Arsaken til dette er at sannsynligheten for å trekke kule B i andre trekk er avhengig av eller betinget av hva som skjedde i første trekk.

Hvis vi f.eks. hadde trukket kule B i første trekk så er sannsynligheten for å trekke den i andre trekk lik 0, da den jo ikke finnes i kassen.

På den annen side, hvis vi hadde trukket kule A i første trekk så var det jo bare 6 kuler tilbake i kassen og sannsynligheten for å trekke kule B i annet trekk er derfor $1/6$. Tilsvarende - under forutsetning av at vi virkelig hadde trukket kule A i første trekk og kule B i annet trekk - så er sannsynligheten for å trekke kule C i tredje trekk $1/5$ da det jo bare er 5 kuler tilbake i kassen.

Den riktige sannsynligheten for å trekke kulene A,B, og C i nevnte rekkefølge er:

$$P(ABC) = P(A) \cdot P(B \text{ forutsatt } A) \cdot P(C \text{ forutsatt } A \text{ og } B) \\ = 1/7 \cdot 1/6 \cdot 1/5 = 1/210$$

Vi kaller dette betingede sannsynligheter og bruker skrivemåten $P(B/A)$ for sannsynligheten for hendelsen B forutsatt at hendelsen A er inntruffet.

Problemet vårt kan altså skrives

$$P(ABC) = P(A) \cdot P(B/A) \cdot P(C/AB)$$

Vi skal nå huske å løse problemet med våre blåøyde blondiner og addisjonsloven.

Ved å bruke addisjonsloven til tross for at den ene hendelsen ikke utelukker den andre kom vi til å se på de blåøyde blondiner to ganger dvs. ved først å betrakte hendelse A = blå øyne og deretter hendelse B = blondt hår. Vi må altså fra vår funnede sannsynlighet for enten blå øyne eller blondt hår trekke sannsynligheten for både blå øyne og blondt hår, altså:

$$P(A \text{ and } B) = P(AB). \text{ (Vi antar at 20 har både blondt hår og blå øyne).}$$

Vår utvidede addisjonsregel gir oss da sannsynligheten for enten blå øyne eller blondt hår:

$$P(A \text{ or } B) = P(A) + P(B) - P(AB) \\ = 60/100 + 45/100 - 20/100 = 0,85$$

Vi skal nå se på et begrep som heter:

PERMUTASJONER

Begrepet dekker det generelle problem:

På hvor mange måter kan man i en bestemt rekkefølge ta K-elementer ut av en gruppe (eller populasjon) på N-elementer?

Hvis vi ser på vårt eksempel fra før med de 7 merkede kuler i en kasse, så gikk det jo ut på å ta ut kulene A, B og C i rekkefølgen 1, 2 og 3, men hvor mange?

Vi husker grunndefinisjonen på sannsynlighet:

Sannsynligheten for hendelsen A er antallet av gunstige utfall dividert med antallet av mulige utfall av eksperimentet.

I vårt tilfelle ønsket vi hendelsen lik kulene A,B og C trukket i rekkefølgen 1,2 og 3. Det eneste gunstige utfall for vårt eksperiment var altså først å trekke kule A, deretter kule B og sist kule C.

Etter definisjonen har vi derfor:

$P(K_A, K_B, K_C) = 1/N = 1/7 \cdot 1/6 \cdot 1/5$, hvor N er det totale antall utfall av eksperimentet: "Velg 3 kuler ut av 7 i en bestemt rekkefølge".

Det totale antall utfall er altså:

$$N = 7 \cdot 6 \cdot 5$$

Vi kaller dette antallet permutasjoner av 3 ut av 7, altså antall måter man kan velge 3 elementer ut av 7 når rekkefølgen betyr noe.

Hvis rekkefølgen ikke betyr noe snakker vi om et annet begrep, nemlig:

KOMBINASJONER

I vårt første eksperiment var det avgjørende at de 3 kulene ble trukket ut i rekkefølgen A,B,C.

I vårt neste eksperiment er det likegyldig i hvilken rekkefølge de kommer ut bare de kommer ut i de tre trekkene. Det er således likegyldig om vi trekker A,B,C eller B,A,C eller A,C,B.

Det betyr at vi i første trekk har tre muligheter for å trekke enten A,B eller C, i neste trekk 2 muligheter og i siste trekk bare en mulighet. Dette gir altså $3 \cdot 2 \cdot 1$ gunstige utfall på vårt eksperiment mot før bare 1.

Sannsynligheten for å trekke kulene A,B og C i en eller annen rekkefølge i tre trekk er

$$P(K_A, K_B, K_C) = \frac{3 \cdot 2 \cdot 1}{7 \cdot 6 \cdot 5} = \frac{1}{N}$$

N er altså i dette tilfelle $\frac{7 \cdot 6 \cdot 5}{3 \cdot 2 \cdot 1}$

hvilket nå er det totale antall utfall av vårt nye eksperiment.

Vi kaller dette antallet for kombinasjoner på 3 ut av 7, altså antallet av måter som vi kan velge 3 elementer ut av 7 når rekkefølgen ikke betyr noe.

I matematikken er det almindelig å skrive et uttrykk av formen $1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \dots N$ som $N!$ (leses N fakultet).

Ser vi på våre to uttrykk for henholdsvis permutasjoner og kombinasjoner så får vi:

$$\begin{array}{l} \text{Permutasjoner} \quad 7 \cdot 6 \cdot 5 \quad \frac{4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} \quad \frac{7!}{4!} \\ \\ \text{Kombinasjoner} \quad \frac{7 \cdot 6 \cdot 5}{3 \cdot 2 \cdot 1} \quad \frac{4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} \quad \frac{7!}{3! \cdot 4!} \end{array}$$

eller generelt å velge K -elementer ut av N :

$$\begin{array}{l} \text{Permutasjoner:} \quad \frac{N!}{(N-K)!} \quad \text{skrives også } P_{N,K} \quad N!^{\overline{K}} \\ \\ \text{Kombinasjoner:} \quad \frac{N!}{K!(N-K)!} \quad \text{skrives også } K_{N,K} \text{ eller } \binom{N}{K} \quad N^{\underline{K}} \end{array}$$

Disse ting ser kanskje lette ut, men i praksis er det nødvendig å tenke seg godt om for å vurdere om man skal bruke permutasjoner eller kombinasjoner.

BAYES REGEL

Vi har hendelsene A, B og C hvor A kun kan skje dersom B eller C har inntruffet, og at B og C ikke kan skje samtidig (De utelukker gjensidig hverandre). Våre formler for betinget sannsynligheter gir:

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B/A)$$

$$P(B/A) = \frac{P(AB)}{P(A)} = \frac{P(BA)}{P(A)} = \frac{P(B) \cdot P(A/B)}{P(A)}$$

og

$$\begin{aligned} P(A) &= P(AB \text{ eller } AC) = P(AB) + P(AC) \\ &= P(BA) + P(CA) \\ &= P(B) \cdot P(A/B) + P(C) \cdot P(A/C) \end{aligned}$$

gir

$$P(B/A) = \frac{P(B) \cdot P(A/B)}{P(B) \cdot P(A/B) + P(C) \cdot P(A/C)}$$

Hvis vi nå kan få litt "kjøtt på beinet" kan vi se på et eksempel:

Vi har et temperaturfølersystem som varsler overoppheting av lager i banemotorer. Vi vet at påliteligheten av dette er 0,999, dvs. at hvis det forekommer en overoppheting i en motor vil systemet oppdage den med en sannsynlighet på 0,999 eller med 99,9% sikkerhet. På den annen side er det en liten sannsynlighet på 0,008, dvs. 0,8% for at systemet varsler en falsk overoppheting.

Vi antar at statistikken for alle tog med denne type varslingsanlegg sier at det skjer en overoppheting pr. 10.000 driftstimer.

Under en kjøring aktiveres varslingen. Hva er sannsynligheten for at det er en overoppheting?

Hendelse A = Alarmen lyder
Hendelse B = Det er en overoppheting
Hendelse C = Det er ikke en overoppheting
 $P(B/A) = ?$

$P(B) = 0,0001$
 $P(C) = 1 - 0,0001 = 0,9999$
 $P(A/B) = 0,999$
 $P(A/C) = 0,008$

$$\begin{aligned} P(B/A) &= \frac{P(B) \cdot P(A/B)}{P(B) \cdot P(A/B) + P(C) \cdot P(A/C)} \\ &= \frac{0,0001 \cdot 0,999}{0,0001 \cdot 0,999 + 0,9999 \cdot 0,008} \\ &= 0,0123 \quad \text{ca. 1\%} \end{aligned}$$

D.v.s. at 99 ut av 100 varslinger er falske.

BINOMIAL SANNSYNLIGHET

Vi har et lokomotiv med 4 banemotorer. Hver motor har en pålitelighet på 0,9. Hva er sannsynligheten for at 2 og bare 2 motorer vil feile (Hendelse A). Vi går ut fra at motorfeil på de 4 motorene inntreffer uavhengig av hverandre.

Hendelse A inntreffer bare når to vilkårlige motorer feiler og de to andre ikke feiler.

Vi kan bruke produktregelen for å finne P(A):

$$P(A_1) = Q_1 \cdot Q_2 \cdot R_3 \cdot R_4 = Q^2 \cdot R^2$$

da alle motorer har den samme pålitelighet
(R = 0,9 og Q = 1-R = 0,1)

Det finnes flere måter å velge to inoperative motorer ut av 4.

På hvor mange måter kan vi trekke to elementer ut av 4?

$$(K \text{ ut av } N \text{ mulige}) = \binom{N}{K} = \frac{N!}{K!(N-K)!}$$

For hver av disse er sannsynligheten for hendelsen
A = P(A) = Q² · R².

$$\begin{aligned} \text{Ialt blir } P(A) &= \frac{4!}{2!} \cdot 0,1^2 \cdot 0,9^2 \\ &= 6 \cdot 0,01 \cdot 0,81 = 0,0486 \end{aligned}$$

D.v.s. at to vilkårlige motorer feiler på 5 av 100 turer. b

Generelt kan vi skrive at:

P (nøyaktig K feil ut av N mulige) =

$$\binom{N}{K} \cdot Q^K \cdot R^{N-K} = \frac{N!}{K!(N-K)!} \cdot Q^K \cdot R^{N-K}$$

eller omvendt

P (nøyaktig K funksjonelle ut av N mulige) =

$$\binom{N}{K} R^K \cdot Q^{N-K} = \frac{N!}{K!(N-K)!} \cdot R^K \cdot Q^{N-K}$$

SUMMEREDE BINOMIALE SANNSYNLIGHETER.

Uten at vi nå går i detalj skal vi nevne formelen for summerede binomiale sannsynligheter for et system bestående av N identiske komponenter hvor et minimum på M må funksjonere for at systemet (eller funksjonen) virker.

Så er påliteligheten av systemet

$$R_s = \sum_{K=M}^N \binom{N}{K} R^K Q^{N-K}$$

Summasjonstegnet betyr at vi lar K anta alle hele verdier i området $M \leq K \leq N$, regner ut uttrykket og legger sammen alle uttrykkene.

Et eksempel kan illustrere anvendelsen.

Hva er sannsynligheten for at 2 eller flere motorer på et lokomotiv med fire motorer vil funksjonere uten feil på en strekning dersom påliteligheten R for hver motor er 0,9?

D.v.s. at binomial-uttrykket skal beregnes for hver av verdiene $K = 2, 3$ og 4 .

$$P = \sum_{K=2}^4 \binom{4}{K} \cdot 0,9^K \cdot 0,1^{4-K}$$
$$= [6 \cdot 0,9^2 \cdot 0,1^2] + [4 \cdot 0,9^3 \cdot 0,1] + [1 \cdot 0,9^4] = 0,9963$$

D.v.s. 99,63% sannsynlighet for at to eller flere motorer funksjonerer under hele turen.

SANNSYNLIGHETSFORDELING

Dette feltet er ganske omfattende og skal ikke gjennomgås her. Likevel skal vi nevne to typer fordelinger, da de spiller en viktig rolle i forbindelse med pålitelighetsberegninger.

Først:

POISSON FORDELING

Ser vi litt på formelen for summerede binominale sannsynligheter, fremgår det tydelig at utregningene fort blir uoversiktlige når M og N blir store og med en viss avstand imellom. Her viser det seg at Poissons sannsynlighetsfunksjon er en ganske nøyaktig tilnærming til den opprindelige binominale formel eller fordeling. Riktignok er det en forutsetning at N minst er 50 og at $Q \cdot N$ er 5 eller mindre.

Poisson uttrykket sier at sannsynligheten for nøyaktig K feil ut av N mulige er:

$$P(K) = \frac{(N \cdot Q)^K \cdot e^{-N \cdot Q}}{K!}$$

Som et eksempel kan vi se på en type bremsesyliner på et langt malmtog. Påliteligheten av denne har vist seg å være 0,9990.

Dersom 500 synlindre trer i kraft i en oppbremsing hva er da sannsynligheten for at 0,1 eller 2 feiler?

Her er:

$$R = 0,9990, Q = 1-R = 0,0010, N = 500$$

$$K = 0,1 \text{ og } 2 \quad N \cdot Q = 0,5 < 5$$

$$N = 500 > 50$$

Poisson formelen kan altså brukes istedet for binominalformelen.

$$P(0) = \frac{0,5^0 \cdot e^{-0,5}}{0!} = \frac{1 \cdot 0,6065}{1} = 0,6065 \text{ eller } 60,65\%$$

$$P(1) = \frac{0,5^1 \cdot e^{-0,5}}{1!} = \frac{0,5 \cdot 0,6065}{1} = 0,3033 \text{ eller } 30,33\%$$

$$P(2) = \frac{0,5^2 \cdot e^{-0,5}}{2!} = \frac{0,25 \cdot 0,6065}{2} = 0,0758 \text{ eller } 7,58\%$$

En annen viktig anvendelse av Poissonformelen er at den kan anvendes til å beregne sannsynligheten for feil i systemer som funksjonerer permanent under en strekning og hvor feil kan opptre hvert øyeblikk under turen (f.eks. ATS - systemet).

Vi kan nemlig erstatte antallet N med en tidsperiode t, og feilsannsynligheten Q med feilhyppigheten λ (lambda) Poissonformelen vil nå fremtre som:

$$P(K) = \frac{(\lambda \cdot t)^K \cdot e^{-\lambda t}}{K!} \text{ og } K = 0$$

svarer til sannsynligheten for 0 feil.

Uttrykket får da en form

$$P(0) = \frac{(\lambda \cdot t)^0 \cdot e^{-\lambda t}}{0!} = e^{-\lambda t} = R$$

Dette uttrykket er viktig fordi det dekker pålitelighetsfunksjonen for den feilfordelingsfunksjon som kalles:

I
EKSPONENSIAL FUNKSJONEN

Denne funksjonen skal heller ikke beskrives nærmere her, men den er viktig fordi den med god tilnærming dekker forholdene på den nesten vannrette linjen på feilfrekvens- og feilhyppighetskurver for nesten alle komponenter og systemer (Se side 19 i forprosjektrapporten). I dette området er feilhyppigheten nærmest konstant og lik

$$\frac{1}{\text{MTBF}}$$

og det er i dette område vi normalt befinner oss i den daglige drift.

Hvis vi igjen ser på pålitelighetsfunksjonen vår

$$R = e^{-\lambda t}$$

så kan denne ytterlig forenkles hvis eksponenten $\lambda \cdot t$ er mindre enn 0,01.

Da får vi:

$$R \approx 1 - \lambda t$$

Innføres MTBF, får vi formelen

$$R = e^{-\frac{t}{\text{MTBF}}} \approx 1 - \frac{t}{\text{MTBF}}$$

Vi kan lage et eksempel hvor vi betrakter et togsett med fire parallelle pneumatiske pumper som hver og en leverer trykkluft til bremsesystemet.

La oss anta at MTBF = 1000 driftstimer for hver av de fire systemene; d.v.s. $\lambda = 0,001$ og at en typisk ruteplan ga 10 driftstimer mellom hver gang togsettet var i nærheten av et verksted hvor feil på systemet kunne utbedres.

Påliteligheten for hvert system var altså:

$$R_0 = e^{-\lambda t} = e^{-0,001 \cdot 10} = 0,99005$$

Sannsynligheten for bortfall av et system i løpet av driftsperioden var:

$$Q_P = 1 - R_P = 0,00995$$

Med alle 4 systemer OK ved starten, var risikoen for bortfall av alle 4 systemer i perioden (la oss anta at dette medfører en svært kritisk situasjon).

$$Q_{4P} = Q_P^4 = 0,00995^4 = 1 \cdot 10^{-8}$$

Med ett system inoperativt ved starten er risikoen for bortfall av de resterende tre systemer

$$Q_{3P} = Q_P^3 = 0,00995^3 = 1 \cdot 10^{-8}$$

altså en 100 ganger (!) så stor risiko for å komme opp i et alvorlig problem.

OPPBYGGING AV TOGSYSTEMER

Vi forestiller oss et enkelt system bygget opp av 3 komponenter (A, B og C) i serie. For at dette systemet skal funksjonere må alle komponenter virke.

For å bruke vår tidligere og/eller terminologi: Både A og B og C skal virke. Om en komponent virker eller ikke er uavhengig av de øvrige komponenter (antar vi). Vi kan derfor bruke produktloven når vi skal finne systemets pålitelighet:

$$R_s = R_A \cdot R_B \cdot R_C$$

La oss se på et eksempel:

Et system består av 3 komponenter. Hver av disse komponenter består av 100 deler.

Hver del i komponent 1 har en feilhyppighet på $\frac{10\%}{1000t}$

Hver del i komponent 2 har en feilhyppighet på $\frac{20\%}{1000t}$

Hver del i komponent 3 har en feilhyppighet på $\frac{40\%}{1000t}$

Hva er sannsynligheten for at systemet vil fungere uten feil i 10 timer?

$$\lambda_1 = 100 \cdot \frac{0,10}{1000} = 0,01 \text{ (feil pr. time)}$$

$$\lambda_2 = 100 \cdot \frac{0,20}{1000} = 0,02 \text{ (feil pr. time)}$$

$$\lambda_3 = 100 \cdot \frac{0,40}{1000} = 0,04 \text{ (feil pr. time)}$$

Tar vi frem den gamle regnereglen

$$X^a \cdot X^b = X^{a+b}$$

så får vi

$$\begin{aligned} R_s &= R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \cdot e^{-\lambda_3 t} \\ &= e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) t} = e^{-0,07 \cdot 10} = 0,4966 \end{aligned}$$

altså en lav pålitelighet (50%).

La oss se hvorledes dette virker hvis systemet bestod av tre komponenter satt sammen i parallell.

For at dette systemet skal virke skal bare en av komponentene virke, eller sagt på en annen måte må alle komponentene feile for at systemet skal feile.

Både A og B og C skal feile. Om en komponent feiler eller ikke er uavhengig av de øvrige komponentene (antar vi).

Vi kan derfor bruke produktloven på sannsynlighet for feil.

$Q_s = Q_A \cdot Q_B \cdot Q_C$ og påliteligheten er derfor:

$$R_s = 1 - Q_s = 1 - Q_A \cdot Q_B \cdot Q_C$$

Hvis de tre komponentene fra siste eksempel ble koplet i parallell, hva ville påliteligheten bli da?

Desverre er vi nå nødt for å regne ut påliteligheten for hver komponent for seg da vi jo skal finne sannsynligheten for feil på hver av komponentene, altså:

$$R_1 = e^{-\lambda_1 t} = e^{-0,01 \cdot 10} = 0,9048$$

$$R_2 = e^{-\lambda_2 t} = e^{-0,02 \cdot 10} = 0,8187$$

$$R_3 = e^{-\lambda_3 t} = e^{-0,04 \cdot 10} = 0,6703$$

Likeledes blir:

$$Q_1 = 1 - R_1 = 1 - 0,9048 = 0,0952$$

$$Q_2 = 1 - R_2 = 1 - 0,8187 = 0,1813$$

$$Q_3 = 1 - R_3 = 1 - 0,6703 = 0,3297$$

Da får vi

$$Q_s = Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 = 0,0952 \cdot 0,1813 \cdot 0,3297$$

$$R_s = 1 - Q_s = 1 - 0,0057 = 0,9943$$

Av dette kan vi se at hvis ikke teknikken kan konstruere pålitelige komponenter, kan man kompensere for dette ved å lage parallell systemer (redundans).

Dette koster imidlertid kompleksitet og økte omkostninger.

En annen måte å øke en funksjons pålitelighet på er å bygge inn "stand-by" systemer. Med dette mener vi systemer som normalt ikke er i bruk når primærsystemet funksjonerer, men først blir aktiviert når primærsystemet svikter. Også i dette tilfelle kan man beregne totalfunksjonens pålitelighet, men vi skal ikke gå inn på dette kompliserte området nå.

La oss til slutt se litt på:

PERIODISK VEDLIKEHOLD

I de foregående eksempler har vi gått ut fra at komponentene i redundante systemer var i orden ved driftsperiodens begynnelse. Dette gjelder bare hvis systemene blir kontrollert før start og at redundante delsystemer som ikke funksjonerer blir reparert/utbedret til forventet standard før vi kjører ut på linjen.

Hvis vi overser kontroll av våre redundanse og bare griper inn når totalfunksjonen har sviktet (korrektivt vedlikehold eller nødreparasjon - alt ettersom) faller påliteligheten av de redundante system raskt.

La oss ta et veldig enkelt eksempel:

Vi ser på et system som består av to komponenter i parallell - altså et redundant system. Hver komponent har en feilhyppighet på 0,2. Vi sammenligner dette med et system som bare har en komponent med en feilhyppighet på 0,1.

Påliteligheten av det redundante system over tiden t:

$$\begin{aligned} R_1(t) &= 1-Q^2 = 1-(1-R)^2 = 1-(1-e^{-0.2t})^2 \\ &= 2e^{-0.2t} - e^{-0.4t} \end{aligned}$$

og påliteligheten av enkeltkomponentsystemet, som altså ikke er redundant er:

$$R_2(t) = e^{-0.1t}$$

Lager vi kurver av de to funksjonene ser vi av figur 1 hvordan påliteligheten utvikler seg over tid.

Mens det redundante system starter med å være det mest pålitelige, ser vi at dets pålitelighet synker raskere med tiden enn enkeltsystemet. Allerede etter 40-50 timer er det faktisk mindre pålitelig enn enkeltsystemet.

Denne egenskap er typisk for redundante systemer og derfor er det viktig å merke seg at periodiske inspeksjoner eller funksjonsprøver er nødvendig for å opprettholde den høye påliteligheten til systemet. Det skal også nevnes at vedlikeholdsaktiviteter naturligvis bare kreves dersom feil ikke oppdages som et ledd i driftspersonallets daglige rutiner.

Fastsettelsen av et optimalt inspeksjonsintervall er av stor betydning for sikker og økonomisk drift.

Vanligvis vil vi fastsette intervallet på bakgrunn av en ønsket pålitelighet.

Ser vi på vårt enkle to-komponentsystem fra før kan vi stille spørsmålet: Hvor ofte skal vi inspisere systemet hvis vi ønsker en pålitelighet på 0,90 mellom inspeksjonene, d.v.s. at sannsynligheten for at systemet funksjonerer uten feil mellom inspeksjonene skal være 0,90 eller 90%.

$$R_1(t) = 2e^{-0.2t} - e^{-0.4t} = 0,90$$

Ved å prøve oss frem ser vi at med et inspeksjonsintervall på 10 timer er påliteligheten 0,97 og med 20 timer er den 0,89. Det optimale intervall er altså 19 timer.

$$R_1 = 2e^{0.02t} - e^{-0.4t}$$

$$R_2 = e^{-0.1t}$$

$$R_3 = 2e^{-0.1t} - e^{-0.2t}$$

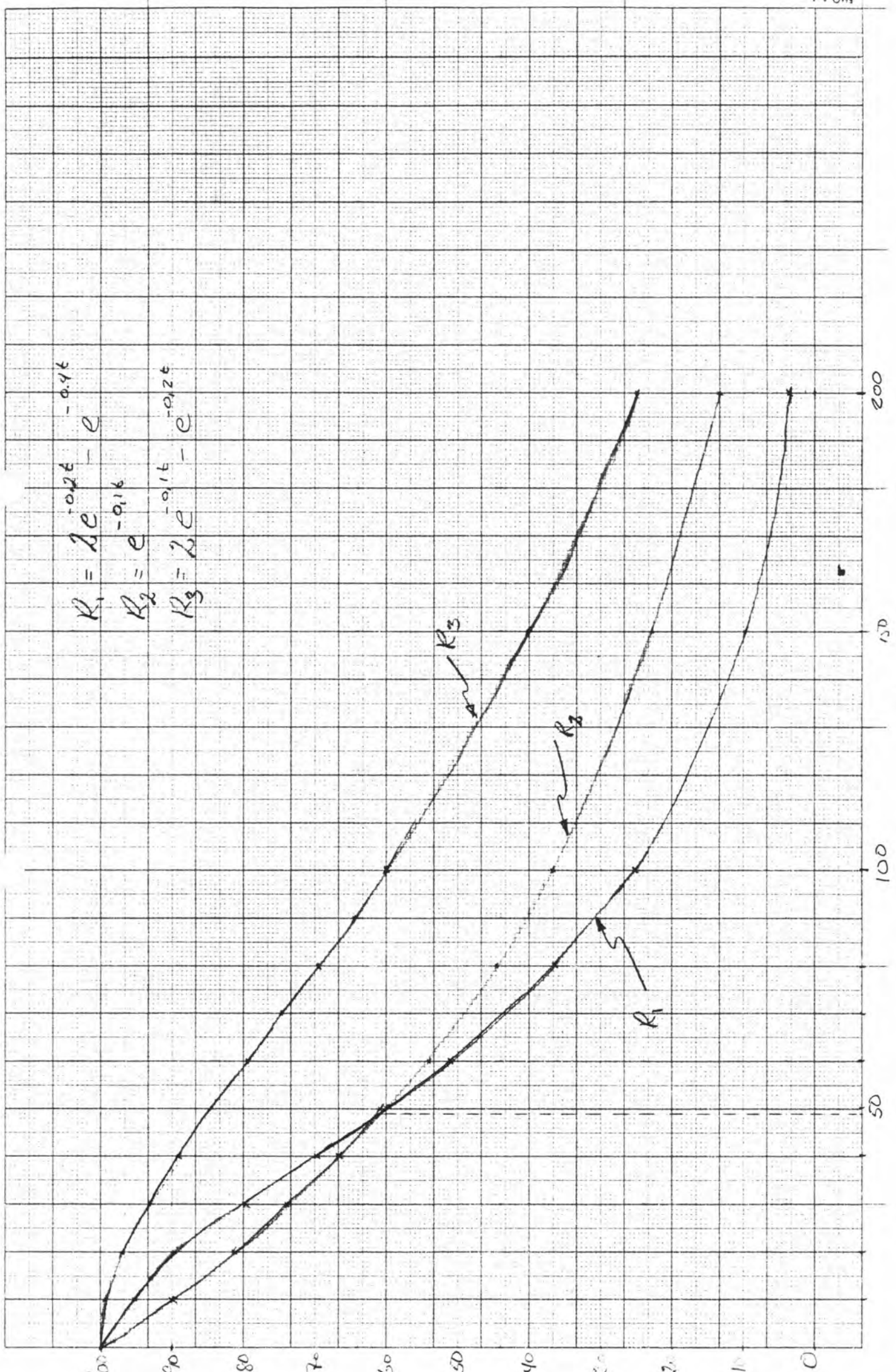
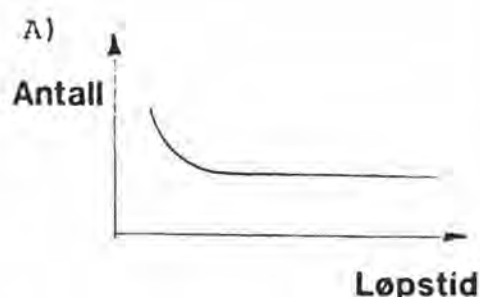
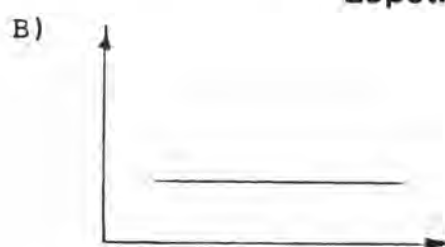


fig 1

SANNSYNLIGHETSKURVER

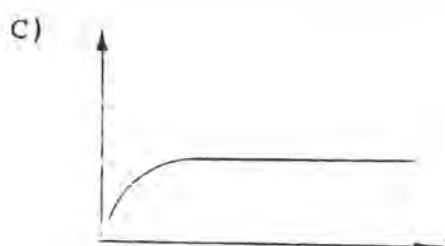


Barnesykdommer etterfulgt av konstant eller svært lett økning i utskiftningshyppighet. (Ofte karakteristisk for elektroniske komponenter, men også karakteristisk for andre). Revisjon er skadelig for pålitelighet.



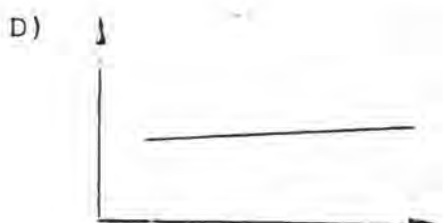
En konstant utskiftningshyppighet.

Revisjon har ingen effekt på pålitelighet.

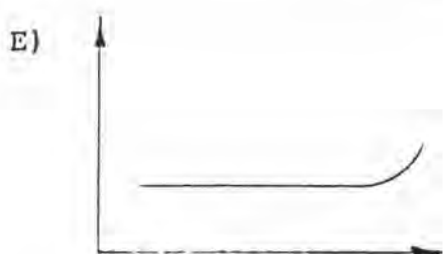


En lav utskiftningshyppighet umiddelbart etter revisjon som raskt øker til en høy konstant utskiftningshyppighet.

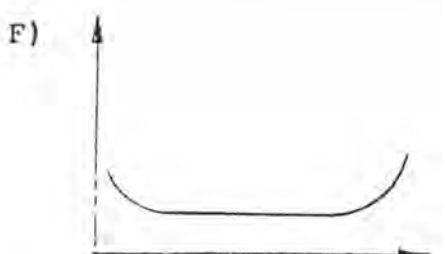
Revisjon innen praktisk gjennomførbar tidsramme har liten effekt på pålitelighet.



En gradvis økende utskiftningshyppighet. Revisjon eller noen annen form for lettere vedlikehold kan være ønskelig for å holde kontroll med pålitelighet. (Generelt karakteristisk for børsteløse generatorer og motorer).



En konstant eller lett økende utskiftningshyppighet, etterfulgt av utslitning. ^{revisjon} Overhaling kan være nødvendig for å kontrollere pålitelighet dersom et stort antall deler overlever til utslitningssonen. (Generelt karakteristisk for stempelmotorer).



Barnesykdommer etterfulgt av en konstant eller gradvis økende utskiftningshyppighet og til slutt utslitning. ^{revisjon} Overhaling kan være nødvendig for å kontrollere pålitelighet dersom et stort antall deler overlever til utslitningssonen.

FORSLAG TIL OPPDELING AV SYSTEMER

<u>SYST/ KAP.</u>	<u>UNDERS/ SEKSJON</u>	<u>BENEVN.</u>	<u>DEFINISJON</u>
20		<u>ELEKTRISK FORSYNING</u>	De elektriske enheter og komponenter som produserer, kontrollerer og forsyner vekselstrøm og likestrøm til andre systemer, inkludert generatorer og reléer, omformere, batterier o.s.v. til sekundære fordelingsskinner. Inkluderer også vanlige elektriske enheter som kabler, brytere, koplingspunkter o.s.v.
	-00	Generelt	
	-10	Hovedgenerators drivanordning	Den mekaniske innretningen som driver hovedgeneratoren (diesel) eller som forsyner hovedgeneratoren med kraft. (Trafo). Inkluderer enheter som oljesystem, koplinger, indikerings- og varslingsystemer o.s.v.
	-20	Vekselstrøms-system	Den delen av systemet som brukes til å produsere, regulere, kontrollere og indikere vekselstrøm. Inkluderer enheter som omformere, vekselstrømsgeneratorer, reguleringsenheter, indikeringsystemer o.s.v. men ikke hovedforsyningsskinner.
	-30	Likestrøms-system	Den delen av systemet som brukes til å produsere, regulere, kontrollere og indikere likestrøm. Inkluderer enheter som generatorer/dynamo, transformatorer, batterier, regulerings- og kontrollenheter, indikeringsystemer o.s.v. og alle kabler til men ikke inkludert hovedforsyningsskinner.

<u>SYST/ KAP.</u>	<u>UNDERS/ SEKSJON</u>	<u>BENEVN.</u>	<u>DEFINISJON</u>
20		<u>ELEKTRISK FORSYNING</u>	
	-40	Ytre anlegg	Den delen av systemet som kopler materiellets elektriske system til kjøreledninger og andre kraftkilder. Inkluderer enheter som pantografer, reléer, brytere, kabler, var- sellys o.s.v.
	-50	Elektrisk kraft forsyning	Den delen av systemet som sørger for sammenkoplingen av veksel og likestrømssystemet til brukersystemene. Inkluder- er enheter som primær og sekundær-forsyningsskinner hovedsikringer o.s.v.

<u>SYST/ KAP.</u>	<u>UNDERS/ SEKSJON</u>	<u>BENEVN.</u>	<u>BESKRIVELSE</u>
21		<u>BRENNSTOFF</u>	De enheter og komponenter som lagrer og leverer brennstoff til forbrenningsmotorer. Inkluderer motordrevne brennstoffpumper, tanker, ventiler, forsyningspumper, rør o.s.v.
	-00	Generelt	
	-10	Lagring	Den delen av systemet som lagrer brennstoff. Inkluderer tanktetting, ventilasjonssystem, o.s.v. Inkluderer også matepumper og andre systemer i tanken og som ikke er en del av fordelings-systemet.
	-20	Fordeling	Den delen av systemet som blir brukt til å fordele brennstoff fra påfyllingsstuss til tank og fra tank til motorens brennstoff system. Inkluderer enheter som rør, pumper, ventiler o.s.v.
	-30	Indikering	Den delen av systemet som brukes for å indikere mengde, temperatur og trykk for brennstoffet.

<u>SYST/ KAP.</u>	<u>UNDERS/ SEKSJON</u>	<u>BENEVN.</u>	<u>BESKRIVELSE</u>
22		<u>HYDRAULIKK</u>	De enheter og komponenter som fremskaffer hydraulisk væske under trykk (inkluderer pumper, regulatorer, rør, ventiler o.s.v.) til et felles punkt (grenrør) for vidrefordeling til andre definerte systemer.
	-00	Generelt	
	-10	Hovedsys.	Den delen av systemet som brukes til å lagre og levere hydraulisk væske til brukersystemene. Inkluderer enheter som tanker, akkumulatorer, ventiler, pumper, håndtak, brytere, ledninger, rør, wirer o.s.v. Inkluderer ikke forsyningsventilen til brukersystemene.
	-20	Hjelpesys.	Den delen av systemet som er klassifisert som hjelpe-, nød- eller "stand-by"-system og som brukes i tillegg eller overtar for hovedsystemet. Inkluderer enheter som tanker og akkumulatorer som er adskilt fra hovedsystemet, håndpumper, hjelpepumper, ventiler, rør o.s.v.
	-30	Indikering	Den delen av systemet som blir brukt til å indikere mengde, temperatur og trykk av hydraulisk væske. Inkluderer deler som givere, indikatorer, ledninger, varslingsystemer o.s.v.

FASE 2 PÅLITELIGHETSRAPPORTERING

1. INNLEDNING. DEFINISJONER

1.1 PÅLITELIGHETSBEGREPET

Ordet pålitelighet blir i dagligtalen ofte brukt uten noe éntydig innhold. Innen pålitelighetsteknikken blir det heller ikke gitt noen presis definisjon. Pålitelighetsbegrepet brukes som en almen karakteristikk av evnen et teknisk system har til å utføre en tiltenkt funksjon under gitte miljø- og driftsforhold. Vi skal imidlertid innføre en rekke kvantitative mål på systemets egenskaper. Disse målene vil vi så bruke når vi skal vurdere påliteligheten av systemet. For å gi disse målene en presis definisjon, må vi gjøre bruk av det begrepsapparatet som er utviklet i sannsynlighetsrekningen.

1.2 SYSTEM, DELSYSTEM, FUNKSJONSELEMENT OG KOMPONENT

Når vi skal foreta en pålitelighetsrapportering av et teknisk system, må vi først definere og avgrense det systemet vi betrakter, dvs. bestemme oss for hvilke deler (komponenter) som skal betraktes og hva som ligger utenfor vårt interesseområde. Valget av systemgrenser vil avhenge av hva vi primært er interessert i, og også av hva vi er i stand til å håndtere analytisk.

For at arbeidet med analysen skal bli oversiktlig, vil det være behov for å dele systemet i forskjellige nivå. Hvordan dette gjøres vil bl. a. være avhengig av formålet med analysen og hvor omfattende systemet er. Det kan ha avgjørende betydning for analyseresultatet at oppdelingen av systemet er fin nok slik at alle logiske koblinger som er viktige for systemfunksjonen blir klarlagt. Samtidig ønsker vi som regel å komprimere modellen og holde oss på et grovt detaljeringsnivå. Dette har vi kommet frem til gjennom utarbeidelsen av fase 1.

Med utgangspunkt i Deutsche Normen DIN 25424 kan vi foreslå følgende inndeling og definisjoner.

System

Et system er en sammenstilling av tekniske og organisatoriske hjelpemidler som kan oppfylle en eller flere oppgaver. Et system betraktes som en selvstendig og selvstyrende enhet i analysen.

Delsystem

Et delsystem er en større eller mindre del av et system som skal løse visse oppgaver innenfor systemet.

Funksjonselement

Et funksjonselement er den mest detaljerte enheten som betraktes innenfor en pålitelighetsrapportering. Et funksjonselement får bare utføre en elementær funksjon, eksempelvis koble, dreie, åpne osv.

Analyseenhet

Når vi skal granske pålitelighetsrapportene vil analyseenhet være den enheten som gjøres til gjenstand for analyse. Analyseenheten kan være et system, et delsystem eller et funksjonselement.

Vi har unngått å nevne "komponent" som et eget systemnivå. Når vi taler om systemkomponenter kan det oppfattes som tekniske enheter, prosedyrer eller personer. En komponent i et system kan være et funksjonselement, eller en del av systemet som er knyttet til flere funksjonselementer. Eksempelvis vil en systemoperatør kunne oppfattes som en systemkomponent; i én analyse kan han regnes som et funksjonselement - i en annen analyse kan han være tilordnet flere funksjonselementer når hans oppgaver er delt i flere funksjoner.

1.3 SYSTEMKONSTRUKSJON

For å kunne analysere pålitelighetsrapportene må vi "bygge opp" en modell av de analyseenheter vi skal betrakte. Vi må da først klarlegge sammenhengen mellom de enkelte komponentene og systemet som helhet. Det skal vi gå nærmere inn på i fase 3 av dette prosjektet. Sammenhengen kaller vi strukturen av systemet. Det er klart at det vil kreve en betydelig teknologisk innsikt og kjennskap til systemene for å kunne etablere en realistisk struktur.

Om systemet vil utføre sin tiltenkte funksjon eller ikke, er til en viss grad avhengig av "tilfeldighetenes spill". Vi må derfor ofte legge andre elementer enn de rent tekniske inn i systemet for å nå frem til feilårsaken.

Dersom mennesker inngår som operatører i systemet kreves også en viss psykologisk innsikt for å kunne forutsi eller forstå hvordan disse opptrer i aktuelle situasjoner.

1.4 FEIL, FEILHENDELSE

Dersom en enhet (en komponent eller et system) ikke er i stand til å utføre den funksjon den er tiltenkt, sier vi at enheten er i feiltilstand. Vi vil bare skjelve mellom to mulige tilstander for enheten. Enten funksjonerer den tilfredstillende eller så funksjonerer den ikke tilfredstillende. I første tilfelle vil vi for korthets skyld si at enheten er funksjonsdyktig, i siste tilfelle vil vi si at den er i feiltilstand. Når enheten går over fra funksjonsdyktig tilstand til feiltilstand, sier vi at den feiler eller svikter. Feil (svikt) er m.a.o. en hendelse som kan tidfestes.

Enkelte enheter har klart diskrete tilstander slik at det er lett å avgjøre når de feiler. En sikring som feiler vil f. eks. funksjonere perfekt i et øyeblikk mens den i neste øyeblikk vil være defekt. For andre enheter der ytelsen reduseres gradvis, kan det være vanskelig å observere når de feiler. (Generatorbørsten vil f.eks. slites kontinuerlig når de brukes. Dersom vi definerer feiltilstand ved at slitasjemerket er av en bestemt størrelse, vil feiltidspunktet i praksis være vanskelig å observere nøye).

Dersom vi i strukturen beskriver andre forhold som f. eks. "Eksterne miljøbelastninger", er det vanskelig å snakke om feiltilstand eller funksjonsdyktig tilstand for disse. Da bør vi heller si at hendelsen/tilstanden er "sann" eller "falsk".

Feil eller feilhendelse:

Med feil (feilhendelse) forstår en hendelsen at en enhets funksjonsevne opphører, uansett årsak.

- Merk:
1. Årsakene til feilen trenger altså ikke ligge i selve enheten, men kan også være at omgivelsene ikke byr på de riktige driftsbetingelsene.
 2. Den resulterende feiltilstand trenger ikke være permanent.

Feiltilstand

Tilstanden at enheten ikke har sin funksjonsevne.

Feilkriterier

Grenser som beskriver hvor store avvik fra enhetens nominelle ytelser som aksepteres for at en kan si at enheten funksjonerer.

Merk: 1. Avhenger av alvorlighetsgraden av avviket og ved forbigående feil, av varigheten.

Feilårsak

Den eller de forhold under enhetens livssyklus (konstruksjon, produksjon, anvendelse) som har ført til en feil.

Mulige feilårsaker for en generell enhet er i figur 1.1 ordnet logisk i en trestruktur.

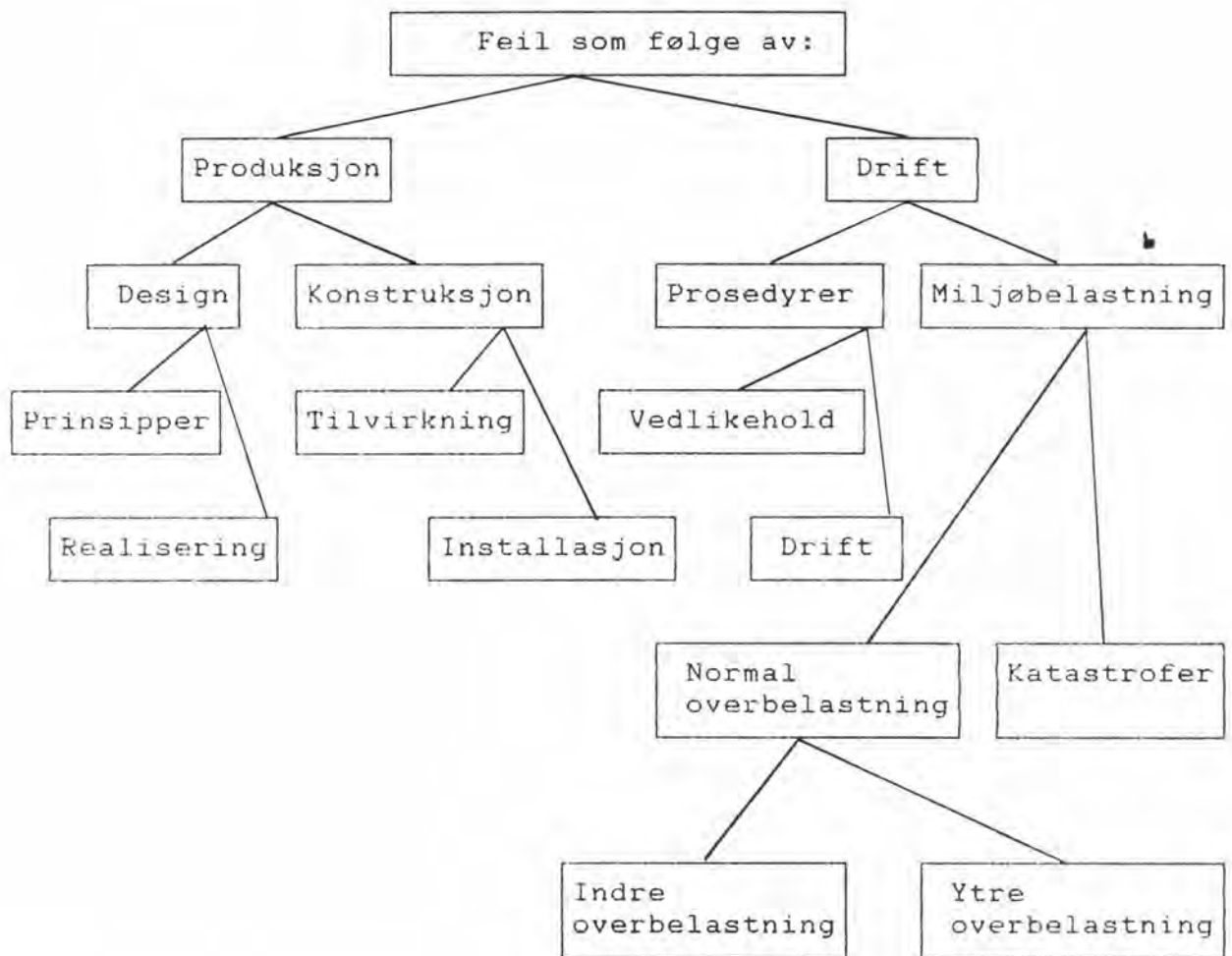


Figure 1.1 Årsaker til feil

1.5 KLASSIFISERING AV FEILARSAKER

1.5.1 Kategorier av mulige feil

Når først en hendelse er inntruffet og rapportert vil den inngå i pålitelighetssystemet og det blir opp til oss å finne årsaken. Vi må først kunne konstantere om den vedlikeholdsaktiviteten som er utført for å forbedre systemet virkelig har løst problemet (fjernet symptomet) og deretter finne kilden eller opphavet til årsaken.

Ser vi bort fra Planlagte aktiviteter (fra programmet) eller Bekvemmelighetsaktiviteter (aktiviteter som utføres fra et rent økonomisk synspunkt eller fordi vi allikevel arbeider i området) har vi tilbake ikke-planlagte aktiviteter. Her har vi fire muligheter for å kategorisere aktivitetene.

Ubegrunnet aktivitet

Det er utført arbeid på systemet som ikke har fjernet feilårsaken. Selv om systemet har blitt utbedret i et verksted og sjekket ut etter standard opptreer symptomet igjen etter kortere eller lengre tid.

Begrunnet aktivitet

Symptomet har forsvunnet og feilårsaken er fjenet. Denne kategori deler seg igjen i to grupper, nemlig

Ubekreftet årsak

Det er ikke funnet noe feil ved den skiftede enheten som kan forklare hvordan systemfeilen oppstod.

Bekreftet årsak

Det blir funnet feil hos den skiftede enheten som klart har sammenheng med systemfeilen.

1.5.2 Teknisk systemkomponenter

Vi kan her innføre begrepene

- primær feil
- sekundær feil
- kommandofeil

Primær feil

En primær feil defineres som en feil på grunn av iboende svakheter i analyseenheten uten at denne har vært påkjent utover sine belastningsgrenser.

Merk:

Feiltilstanden kan være permanent slik at reparasjon må iverksettes for å bringe analyseenheten tilbake til funksjonsdyktig tilstand, eller midlertidig slik at reparasjon ikke er nødvendig (selvlegende).

Sekundær feil

En sekundær feil defineres som en feil som ikke kan tilskrives iboende svakheter i analyseenheten, men derimot at denne har vært påkjent utover sine belastningsgrenser (både mht. ytelse og miljøpåkjenninger).

Merk:

Når feiltilstanden er permanent må reparasjon av analyseenheten iverksettes for at funksjonsdyktig tilstand skal nås. Andre utbedringer må også som regel foretas for å fjerne kilden til den sekundære feilen. I noen tilfeller kan den sekundære feilen være slik at analyseenheten er funksjonsdyktig straks eller kort tid etter at kilden til den sekundære feilen er fjernet, uten at selve analyseenheten trenger å bli reparert. Et eksempel på slik sekundærfeil kan være fukt i en elektromotor. Når fuktigheten er fjernet, enten ved et inngrep eller av seg selv vil elektromotoren igjen funksjonere uten at reparasjon har vært nødvendig.

Kommandofeil

Når analyseenheten er funksjonsdyktig, men feiler på grunn av feil eller manglende styresignal, kraftforsyning eller liknende, har vi en kommandofeil.

1.5.3 Menneskelige feilhandlinger

I grove trekk vil personer kunne påvirke et system gjennom

1. Å utføre oppgaver som er pålagt dem av systemets konstruktør.
2. Å initiere feil fordi de utfører handlinger som ikke er pålagt dem av systemkonstruktøren - "er klåfingret"
(Kalles ofte K-type feil).

På samme måte som feil av tekniske komponenter ble karakterisert, kan også operatørfeil inndeles.

Primær feil

En operatørs feilhandling når denne er utrenet, udisiplinert, umotivert eller dersom operatøren er fysisk eller mentalt inkompetent.

Sekundær feil

En operatørs feilhandlinger når denne blir hindret i å utføre sine oppgaver av forhold eller effekter som har sin kilde utenfor analyseenheten som f.eks. en sky av giftig gass, ekstreme værforhold, fragmenter eller varme fra hendelser i tilgrensede systemer. Dersom slike effekter oppstår pga. hendelser innenfor analyseenheten, bør det betraktes som "kommandofeil".

Kommandofeil

En operatørs feilhandlinger pga. manglende eller gale signaler eller pga. destruktive krefter innenfor analyseenheten som hindrer operatøren å utføre sine oppgaver.

K-type feil

Den type feil som er initiert når operatøren eller andre forandrer utløsernivå for alarmer, ventilstillinger osv. til andre verdier enn de som er forutsatt av systemkonstruktøren.

1.6 LEVETID

Med levetiden til en enhet menes den tiden som går fra enheten settes i drift til den feiler første gang. Levetiden er opplagt - i alle fall i noen grad - avhengig av "tilfeldighetenes spill". Den vil ikke alltid bli målt i ren "klokketid", men kan også angis med et mer indirekte tidsbegrep, f.eks.

- antall koblinger av/på for en bryter
- antall kjørte kilometer for tog
- antall rotasjoner for et lager
- antall arbeidssykler for en periodisk arbeidende enhet

Emkelte enheter, som hentes fra lager, vil ha en positiv sannsynlighet for å være i feiltilstand før de settes i drift.

Vi vil her anta at enhetene blir undersøkt og eventuelt testet før de settes i drift, slik at vi kan gå ut fra at de er i funksjonsdyktig tilstand ved monterings-tidspunktet.

2. IKKE-REPARERTE ENHETER

Her kan vi innføre en del kvantitative mål for påliteligheten av en gitt ikke-reparerbar enhet. Den gitte enheten kan være alt fra en liten komponent til et stort system.

De tre viktigste målene for påliteligheten av en ikke-reparerbar enhet er:

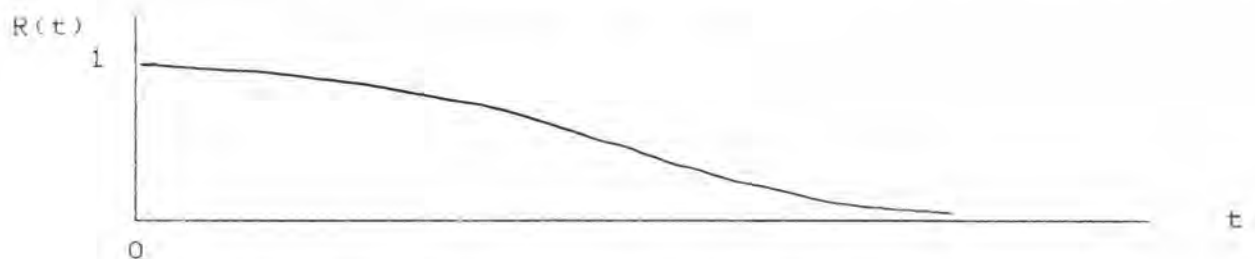
Funksjonssannsynligheten
Feilintensiteten
Forventet levetid

2.1 FUNKSJONSSANNSYNLIGHET

Funksjonssannsynligheten er definert ved

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T > t) \quad (2.1)$$

$R(t)$ er m.a.o. sannsynligheten for at enheten ikke feiler i tidsintervallet $(0, t)$, eller tilsvarende, sannsynligheten for at enheten fremdeles funksjonerer ved tidspunkt t .



Figur 2.1 Funksjonssannsynligheten, $R(t)$

3. REDUNDANS

Redundans er en grunnleggende metode til å øke påliteligheten av en komponent eller et system. Den går ut på å utstyre komponenten (systemet) med en eller flere reserveenheter som kan overta den ordinære enhetens funksjon når denne feiler. Avhengig av reserveenhetenes tilstand skiller vi mellom:

Aktiv redundans

Her funksjonerer samtlige enheter hele tiden. Det kan dermed hende at den ordinære enheten er den siste som feiler. Vi sier at enhetene er belastet ("loaded standbys"). Koblingen blir her en ren parallellstruktur.

Passiv redundans

Her er ikke reserveenhetene belastet, men kobles inn etter hvert som den belastede enheten feiler. Vi sier ofte at reserveenhetene er i kald standby.

Delvis aktiv redundans

Dette er en mellomting mellom aktiv og passiv redundans og innebærer at reserveenhetene er utsatt for en viss belastning og kan feile. Vi sier at enhetene er delvis belastet ("lightly loaded standbys"). Feilintensiteten til reserveenhetene vil være betydelig mindre enn for aktive enheter.

4. PRESENTASJON AV FERDIGBEHANDLET DATA

De rapporter som presenteres må på lik linje med inndelingen av datainnsamlingen gjenspeile det behovet vi har for beslutningsgrunnlag. På nåværende tidspunkt kan vi komme med noen forslag til parametere i de forskjellige nivåer.

System

Betrakter vi togdriften som system kan vi på dette nivå rapportere overordnede driftsresultater. Dette kan være:

- Antall tilgjengelige enheter i perioden
- Antall kjørte km. i perioden
- Antall planlagte km. i perioden
- Tekniske forsinkelser
- Tekniske kanseleringer
- Større tekniske feilårsaker
- osv.

Delsystem

Vi kan betrakte denne delen som rapportering pr. tekniske hovedsystem hvor feilhyppighet i systemet er det rådende para-

meter. Vi vil være interessert i å finne:

- Feilhyppighet i perioden
- Gjennomsnittelig feilhyppighet over en lenger periode
- Foregående års feilhyppighet (for sammenligning)
- En øvre kontrollgrense for feilhyppigheten

På dette nivået er hensikten på en enkel måte å få oversikt over aktiviteten på systemnivå.

Komponent

Her er vi interessert i å finne ytelsen til den enkelte komponent men også om vedlikeholdsaktivitetene bringer materiellet tilbake til operativ status. Her kan vi måle f.eks.

- Hvor mange enheter er fjernet fra drift i perioden
- Hvor mange fjernede enheter ble det funnet feil på i perioden
- Hyppigheten av komponentutskift pr. et antall kjørte km. i perioden
- Grenseverdi for hyppigheten for denne spesielle komponenten

Oppgave:

Ut fra erkjennelsen av at påliteligheten er en funksjon av bl.a. feilfrekvens eller feilhyppighet i analyseenhetene må pålitelighetsrapporteringen ha sitt utspring fra "ikke planlagte vedlikeholdsaktiviteter" under drift.

Ved siden av F-nummeret som identifiserer analyseenheten vil det være fordelaktig i første rekke også å finne følgende elementer:

- i) Symptom : Forteller hvordan feilen ble oppdaget
- ii) Feil : Forklarer hva som var galt med enheten
- iii) Grunn : Forklarer grunnen til at feilen oppstod
- iv) Kategori : Her finnes fire muligheter:
 - * Ubegrunnet aktivitet (feil i systemet ikke utbedret)
 - * Begrunnet aktivitet (feil i systemet utbedret)
 - Ubekreftet (ikke feil i enheten)
 - Bekreftet (feil i enheten)
- v) Virkning : Forklarer hvordan feilen i enheten ble utbedret

- Spørsmål 1: Hvor i NSB's organisasjon eller rapporteringssystemer kan vi finne disse elementene?
Ta med kopier av aktuelt underlagsmateriale, både beskrivelse av systemet i tekst eller flødeskjemaer og aktuelle rapporteringsskjemaer. Tenk også litt på hvordan disse elementene kan tilrettelegges i det nye informasjonssystemet.
- Spørsmål 2: Er det andre opplysninger eller systemer som allerede finnes i NSB som kan komme dette prosjektet tilgode?
Ta med eventuelt underlag.

Tilslutt sender jeg med en artikkel fra Nordisk Matematisk Tidsskrift forfattet av professor Arnljot Høyland. Selv om ikke vi skal bruke matematikken i artikkelen synes jeg allikevel denne kan leses igjennom for å se hvordan man akademisk kan utføre en pålitelighetsanalyse når egenerfaringen av drift av materiellet mangler. Allikevel konkluderer også artikkelen med at en slik måte gir mange usikkerhetpunkter og krever et stort og omfattende arbeid, og at det tross alt er lettere å måle en reell driftsituasjon.

FASE 3

Utvikling av vedlikeholds program.

Før vi begynner å ta for oss utviklingen av forskjellige vedlikeholdsprogram vil det være riktig at hver og en leser og setter seg grundig inn i side 11 - 21 i forrapporten. Disse finnes vedlagt.

Jeg tror nå at vi gjenkjenner de forskjellige begrepene gjennom det arbeidet vi har lagt ned i fase 1 og 2 og det er derfor viktig at vi nå etablerer dette felles begrepsapparatet før vi går videre.

Når vi skal begynne å utvikle et vedlikeholdsprogram må vi hele tiden tenke på hovedmålsettingen, nemlig at sikkerheten og regulariteten skal opprettholdes på den ene siden men at dette skal koste så lite som mulig på den andre siden - egentlig et paradoks i utgangspunktet.

Vi vet at hvis vi ikke utfører vedlikehold overhode så tilfredsstillers vi kostnadseffektiviteten på kort sikt mens sikkerhet og ikke minst regulariteten vil bli lite tilfredsstillende etter hvert.

Vi vet også at for mye vedlikehold er dyrt og går også ut over regulariteten hvis det viser seg at materiellet ikke er tilgjengelig når vi trenger det, så det er heller ikke noe løsning. Derfor må vi finne frem til et kompromiss som gjør at vi får en likevekt mellom de tre elementene i hovedmålsettingen.

For å få en oversikt over det vedlikeholdet som skal utføres kan vi anvende en konsekvens- eller risikoanalyse på materiellet. Her deler vi straks materiellet i to grupperinger - nemlig systemer og struktur. (Med struktur mener vi kasse, bærebjelker, boggerammer osv.) og disse gruppene behandler vi forskjellig. Konsekvensanalyser oppsto som et resultat av pålitelighetsstudier på 50 tallet. Metoden er senere blitt videre utviklet og tatt i bruk på flere områder. Dette har resultert i at den har opptrådt under flere navn, med noe varierende innhold. Hovedinnholdet er stort sett det samme. For hver enkelt komponent i et system lages en oversikt over alle mulige feiltilstander, samt deres innvirkning på systemet som helhet. Metoden er med andre ord induktiv.

Metoden innebærer at vi ser på feil i én komponent av gangen. Systemets øvrige komponenter antas da å funksjonere perfekt. Dette innebærer at vi må ha god systemkunnskap for å avdekke kritiske kombinasjoner av feil i systemet.

En konsekvensanalyse er enkel å utføre. Den bygger ikke på noen spesiell teknikk eller algoritme. For å sikre at analysen utføres systematisk, benyttes spesielle skjemaer. Opplysninger om de forskjellige komponenter fylles inn etter hvert som de fremkommer. Skjemaenes utseende vil variere en del, alt etter hvilken anvendelse de skal ha. Vi vil i fase 3 prøve å komme frem til de skjemaer som fungerer for oss. Imidlertid vil jeg gi et enkelt eksempel på hvordan et system kan være. Metoden kalles "Feilmodi - og Feileffektanalyse" (FMEA) og er noe enklere enn det jeg tenker meg vi skal komme frem til. Her får vi god bruk for de registerskjemaene vi skal lage til møtet 8-9 april.

Analysen illustreres best ved en gjennomgang av vedlagte skjema, kolonne for kolonne.

De tre første kolonnene, "Beskrivelse av enhet/utstyr", gir en beskrivelse av de enkelte komponenters status og oppgaver under normal drift.

Identifikasjon (kolonne 1)

Her identifiseres den enkelte komponent ved betegnelse og/eller nummer. Det refereres til aktuelle tegninger eller diagrammer.

Funksjon (kolonne 2)

Komponentens arbeidsoppgave i systemet beskrives kort.

Kolonne 4 til 6, "beskrivelse av feil", inneholder alle tenkelige komponentfeil.

Feilmodus (kolonne 4)

Alle mulige måter en komponent kan svikte på, slik at den ikke utfører sin funksjon, listes opp her. Kolonnen inneholder bare feil som kan observeres utenfra. Indre feil betraktes som årsak til at en komponent svikter. Disse behandles i en senere kolonne.

Generelt kan en komponent ha følgende feilmoder:

- Komponentens starter sin funksjon for tidlig.
- Komponentens starter ikke sin funksjon til fastsatt tid.
- Komponentens avslutter ikke sin funksjon til fastsatt tid.
- Total feil i komponenten under drift.
- Delvis feil i komponenten under drift.

Feilårsak/feilmekanisme (kolonne 5)

De mekanismer som kan ha forårsaket de enkelte feilene, listes opp her. Fysikalske prosesser, som korrosjon, sprekkdannelse osv. tas med i den grad de er kjent.

Deteksjon av feil (kolonne 6)

Her angis hvordan en gjøres oppmerksom på de forskjellige feilene, samt hvem som mest sannsynlig vil oppdage dem. Det kan være snakk om en form for alarm, eller at feilen oppdages ved hjelp av menneskelige sanser (syn, hørsel osv.).

Kolonne 7 - 9, "effekt av feil", angir hvordan hver enkelt feil vil virke inn på systemet som helhet, samt dets øvrige komponenter.

Effekt på andre enheter i systemet (kolonne 7)

I de tilfellene feil i en komponent påvirker øvrige komponenter i systemet, føres disse opp.

Effekt på primærfunksjoner (kolonne 8)

Her angis om, og i tilfelle hvordan, systemets primærfunksjon påvirkes av de enkelte komponentfeilene.

Resulterende operasjonell tilstand (kolonne 9)

Her angis om systemet er operativt, om det er omkoplet til en annen modus eller lignende, som følge av hver enkelt komponentfeil.

Skjemaets tre øvrige kolonner gir opplysninger om:

Feileffektgradering (kolonne 10)

Feilene graderes her etter hvor alvorlige de er. En tar da forhold som pålitelighetsmessig betydning og muligheter til å utbedre feilen med i betraktning. En inndeling i mindre, større og kritiske feil kan f. eks. brukes.

Feilreduserende tiltak (kolonne 11)

Her bør alle de tiltak som kan iverksettes for å forhindre at feilen får alvorlige konsekvenser, tas med. Finnes der tiltak som vil redusere sannsynligheten for at feil oppstår, bør også disse være med.

Bemerkninger (kolonne 12)

Her er det plass for opplysninger som kan være nyttige å ha med, men som ikke får plass under noen av de øvrige kolonnene.

Når analysen er gjennomført på en tilfredsstillende måte vil vi for hver komponent stille endel ferdig oppsatte spørsmål som bringer oss frem til denne komponentens antagelige vedlikeholds-konsept. Vi sier "antagelige" fordi det er vår egen logikk og erfaring som har ført oss frem til konklusjonen og ikke driftserfaringen fra materiellet.

Vi ser jo her at det er en fordel allerede på konstruksjonsstadiet å benytte en slik metode for å bl.a. eliminere dårlige løsninger. Men det er også viktig at vi kan gjøre analysen når materiellet er satt i drift, ja sogar gammelt, fordi vi kan da justere ut fra de driftserfaringer vi har.

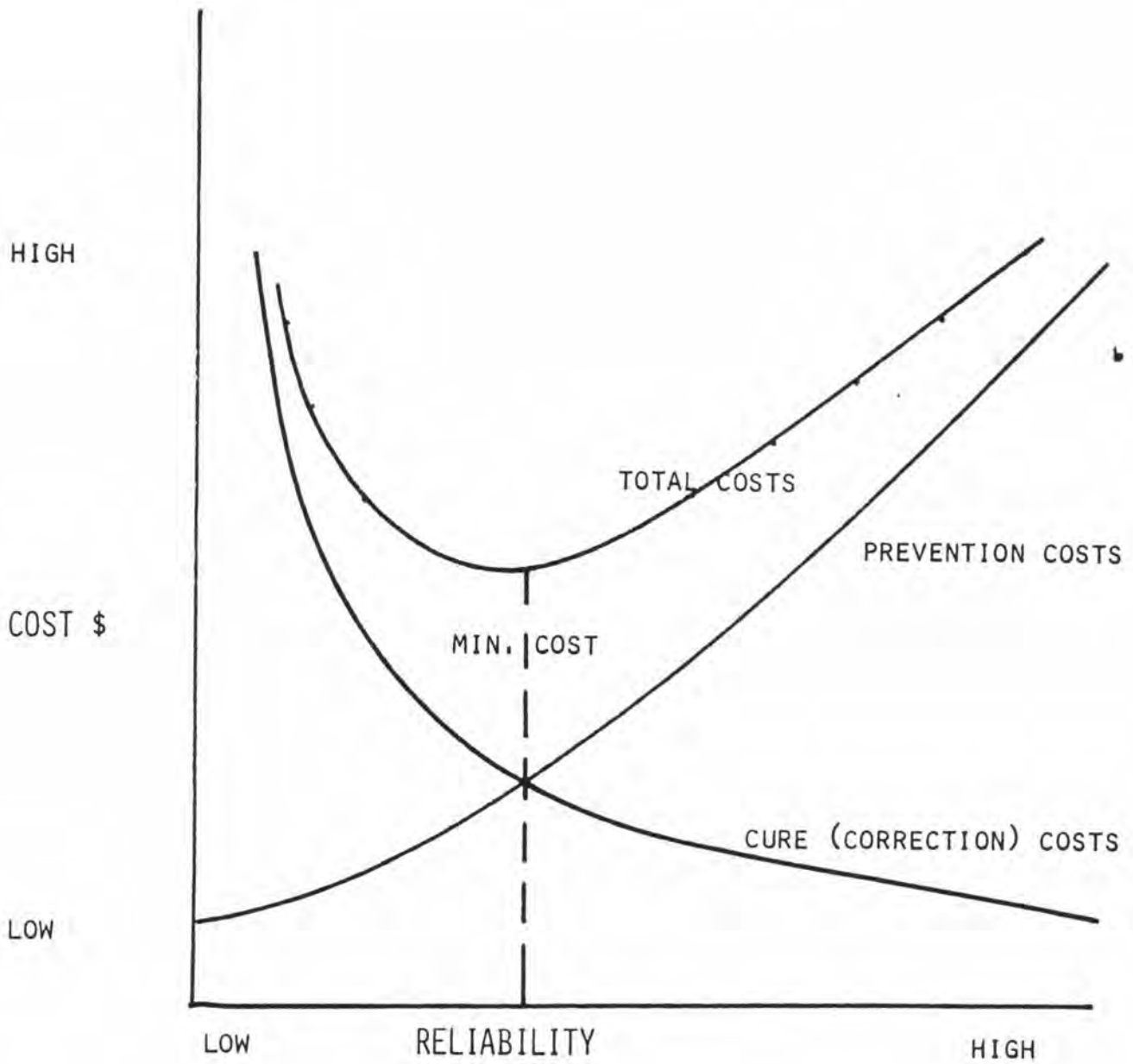
Likeledes vil vi, når først analysen er gjort, ha et bakgrunnsmateriale som gir oss et godt beslutningsgrunnlag for videre justering/utvikling.

Jeg vedlegger også et flytdiagram med femten spørsmål som besvares med Ja/Nei og som vil sortere komponentenes funksjon innen sikkerhet, tilgjengelighet og kostnadseffektivitet. For hver komponent skal vi besvare spørsmålene til vi ender opp i en av boksene hvor vedlikeholdskonseptene er nevnt. Det er forutsatt at det skal svares Ja eller Nei og at "Nja" viser at vi ikke har fått god nok oversikt fra Konsekvensanalysen.

Til slutt - bruk en time til å tenke igjennom hva du har lest og sett for så å gjøre deg opp en mening om hvordan vi skal begynne på fase 3 onsdag den 8/4. Vel møtt!

RELIABILITY-COST BALANCE

RELIABILITY-COST MODEL



4. FILOSOFI OG STRATEGI

4.1 Filosofi for vedlikeholdsaktiviteter på rullende materiell

For å etablere en filosofi for vedlikeholdsaktivitetene på rullende materiell vil det være nødvendig å definere delmålsettinger utifra en felles underlagt hovedmålsetting.

4.1.1 Vedlikeholdsprogrammets hovedmålsetting vil være å vedlikeholde rullende materiell på en slik måte at:

- Maksimal sikkerhet, kvalitet og pålitelighet opprettholdes ved å forhindre at det i konstruksjonen innebygde sikkerhetsnivå forringes.
- Best mulig regularitet og utnyttelse av tog og togmateriell kan oppnås i operativt bruk.
- Dette skjer med et minimum av praktiske kostnader, dvs. med størst mulig produktivitet og minst mulig materialforbruk.

Denne målsettingen tilsier at vedlikeholdsprogrammet i seg selv ikke kan utbedre svakheter i det pålitelighetsnivået som er konstruert inn i utstyret. Vedlikeholdsprogrammet kan bare forhindre forringelse av slike nivåer.

Dersom de innebygde nivåer finnes utilfredsstillende er det nødvendig med ingeniørmessige tiltak for å oppnå forbedringer, dvs. modifiserende vedlikehold. For å fange opp disse utilfredsstillende nivåer og korrigere dem må det i vedlikeholdssystemet finnes et system og en organisasjonsform som ivaretar hovedmålsettingen.

Vi må utifra kriteriene i målsettingen beskrive to viktige elementer for den videre utvikling:

- Innholdet i et effektivt vedlikeholdsprogram.
- Prosessen som gjør det mulig å skape et effektivt vedlikeholdsprogram.

4.1.2 Vedlikeholdsprogrammet

4.1.2.1 Vedlikeholdsprogrammet består av to typer av tiltak:

- a) En gruppe bestående av "Planlagte aktiviteter" som skal utføres ved spesifiserte intervaller.

Målsettingen med disse tiltakene er å forhindre forringelse av den pålitelighet som er konstruert inn i materiellet.

- b) En gruppe bestående av "Ikke planlagte aktiviteter" som er et resultat av:

i) "Planlagte aktiviteter" utført ved spesifiserte intervaller.

ii) Feilrapporter fra drift (uforutsett vedlikehold)

iii) Korrektivt vedlikehold (se def. 4.1.2.3.).

Målsettingen med disse "ikke planlagte aktiviteter" er å bringe utstyret tilbake til det innebygde pålitelighetsnivå.

4.1.2.2 Vedlikeholdsprogrammet inneholder generelt en eller flere av følgende primære vedlikeholdsprosesser.

4.1.2.2.1 Tilstandsbasert vedlikehold

hvilket innebærer at korrektive tiltak baseres på vurdering av tilstandskriterier. Disse kan være kontinuerlige måleresultater og observasjoner eller periodiske målinger/inspeksjoner.

4.1.2.2.2 Tidsbasert vedlikehold

hvilket innebærer at komponenter blir revidert eller avviklet etter faste intervaller (kalendertid, løpsti eller perioder) selv om det ikke foreligger målbare/synlige kriterier på feil. Tidsintervallet baseres i første omgang på fabrikantens forslag, for senere og justeres etter egenerfaring verifisert gjennom et pålitelighetssystem.

Såvel Tilstandsbasert som Tidsbasert vedlikehold er FOREBYGGENDE vedlikeholdsprosesser.

4.1.2.2.3 Korrektivt vedlikehold

"Korrektivt vedlikehold" har også som målsetting kun å opprettholde systemets opprinnelige spesifiserte pålitelighet. Det benyttes for komponenter som hverken har Tilstandsbasert eller Tidsbasert vedlikehold som primær prosess.

Korrektivt Vedlikehold utføres ved hjelp av forskjellige metoder for avdekking og løsning av problemområder. Det spesifiseres ikke noe spesielt overvåkningssystem, men et eller annet form for pålitelighetssystem må knyttes sammen med Korrektivt vedlikehold.

Dette er det elementet som med utgangspunkt i de ulike komponentenes funksjon i systemet sorterer ut de komponentene der forebyggende vedlikehold ikke er økonomisk optimalt - eller av sikkerhetsmessige årsaker nødvendig.

Funksjonssvikt er altså akseptert - selv om det også i denne sammenheng kontinuerlig må vurderes hvorvidt det er økonomisk riktig å forebygge skade eventuelt redusere konsekvensene av svikt.

4.1.2.2.4 Modifikasjonsbasert vedlikehold

Mens både forebyggende og korrektive kategorier av vedlikehold kan karakteriseres som defensive elementer (de aksepteres i utgangspunktet at feil vil oppstå, men tar sikte på å identifisere feil, forhindre farlig utvikling og å muliggjøre planlegging) vil Modifikasjonsbasert Vedlikehold fungere som et offensivt element som søker å eliminere årsaken til feil og dermed at feil skal oppstå/utvikles. Dette elementet kommer naturlig nok først inn i prosessen når egenerfaringen viser at det opprinnelige spesifiserte pålitelighetsnivået ikke fyller den overordnede målsetting.

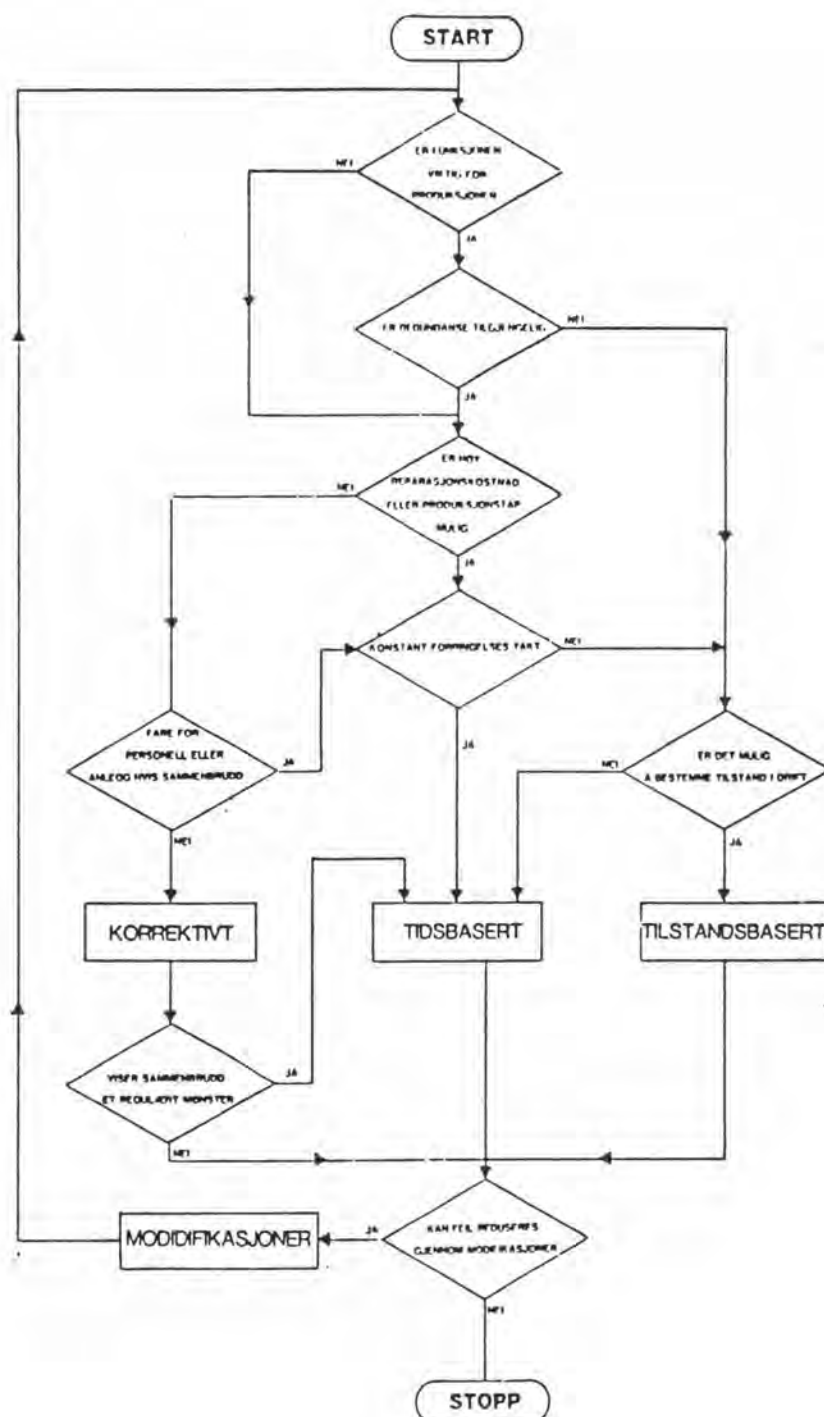
4.1.2.3 Uforutsett vedlikehold

I motsetning til korrektivt vedlikehold er det uforutsette vedlikehold et resultat av feil som ikke på forhånd er forventet - eller forutsett sannsynlig. Det er ikke mulig å forutsi når eller hvor hendelsen vil inntreffe.

Svikt av denne kategori vil som regel være kritisk for både sikkerhet, tilgjengelighet og økonomi - og må følgelig utbedres umiddelbart. Som et utenforstående element i en systematisk vedlikeholdsstrategi vil alltid "uforutsett vedlikehold" medføre at forebyggende tiltak iverksettes. En uforutsett svikt vil altså prinsipielt bare kunne være uforutsett en gang - deretter er den identifisert og vil automatisk overføres til det forebyggende eller korrektive vedlikehold.

Figur 1 viser et enkelt diagram på hvordan man kan komme frem til de forskjellige vedlikeholdskonseptene for de respektive komponenter/utstyr.

Det må nevnes at hvis utstyr utelates fra nevnte prosedyre blir det å regnes som at korrektivt vedlikehold gjelder for dette utstyret, og dette kan for kritisk utstyr oppleves som uforutsett svikt.



figur 1

4.1.3 Innholdet i planlagt vedlikeholdsprogram

Tiltakene i et slikt program kan innebære:

- a) Service
- b) Inspeksjon
- c) Prøving
- d) Kalibrering
- e) Utskiftning

Ut fra disse tiltak vil vi finne en viss mengde aktiviteter som defineres "Ikke planlagte" og som må utbedres med en gang eller planlegges til et senere tidspunkt.

Et effektivt program er et program som bare fastlegger planlagte begrensninger for de tiltak som er nødvendig for å oppfylle de gitte målsettinger.

Programmet skal ikke innebære planlagte tilleggstiltak som vil gi økning i vedlikeholdskostnader uten en tilsvarende beskyttelsesøkning i påliteligheten.

4.1.4 Forholdet mellom pålitelighet og sikkerhet.

Påliteligheten for et togsett er en funksjon av komponentenes pålitelighet, som igjen er avhengig av den innebygde karakteristikken for hver komponent.

Et vedlikeholdsprogram kan ikke fremskaffe en pålitelighet som er høyere enn det innebygde pålitelighetsnivået i konstruksjonen, skjønt utilstrekkelig vedlikehold kan selvfølgelig forringe denne påliteligheten.

Driftssikkerhet er på like måte en funksjon av et togsetts innebygde konstruksjonskarakteristikk. Det er ingen åpenbare motsigelser her for "Forebyggende vedlikehold øker sikkerheten" doktrinen.

Dette forholdet som bygger på innebygget konstruksjon karakteristikk kan lede til den åpenbare logiske konklusjon at sikkerhet og pålitelighet er nødvendigvis nært knyttet. Dette er ikke tilfelle. Det er en annen faktor som kontrollerer dette forholdet. Denne faktoren er muligheten for en konstruksjon til å opprettholde dens primære funksjoner i det tilfelle hvor feil inntreffer.

Skjønt denne kvaliteten kan oppnås på flere forskjellige måter, vil den for enkelhetsskyld bli benevnt som redundanse.

Denne redundansen øker sikkerheten ved å sikre at komponent- eller systemfeil ikke degraderer driftssikkerheten; og vi oppnår pålitelighet ved å tillate at togsettet fortsetter til dets bestemmelsessted uavhengig av de fleste feil som måtte oppstå underveis.

4.2 Strategi for å nå vedlikeholdsfilosofien

4.2.1 Prosessen som gjør det mulig å skape et effektivt vedlikeholdsprogram.

Vedlikeholdsprogrammet som utvikles gjelder selvfølgelig for en type av materiell eller hvis likheten er stor, på en gruppe av materiell.

Utviklingen av programmet begynner ideelt sett i konstruksjons- og anskaffelsesfasen og denne utvikling slutter først når siste enhet av materielltypen blir kondemnert.

Intensiteten varierer helt klart fra start til slutt, men kontinuiteten er viktig for at hovedmålsettingen oppfylles.

Utviklingen av et Planlagt Vedlikeholdsprogram krever et stort antall avgjørelser med hensyn til:

- a) Hvilke spesielle tiltak er nødvendig.
- b) Frekvensen av planlagte tiltak.
- c) Hva kreves med hensyn til lokaler og utstyr for å utføre tiltakene.
- d) Hvor skal lokaler og utstyr lokaliseres.
- e) Hvilke tiltak skal utføres i forbindelse med økonomiske interesser.

4.2.2 Analyse for system og komponenter.

En metode for å bestemme innholdet i det Planlagte Vedlikeholdsprogrammet for system og komponenter (a og b i 4.2.1) gjør bruk av Beslutningsdiagram. Disse diagrammene er grunnlaget for en evalueringsprosess som benyttes på hvert system og dets betydningsfulle punkter, idet det også benyttes tekniske data som systeminndeling, beskrivelse, antall pr. enhet, fabrikant, fabrikanter delnummer, agent og eget delnummer i tillegg til komponentens funksjon, feil årsaker, feil konsekvens osv.

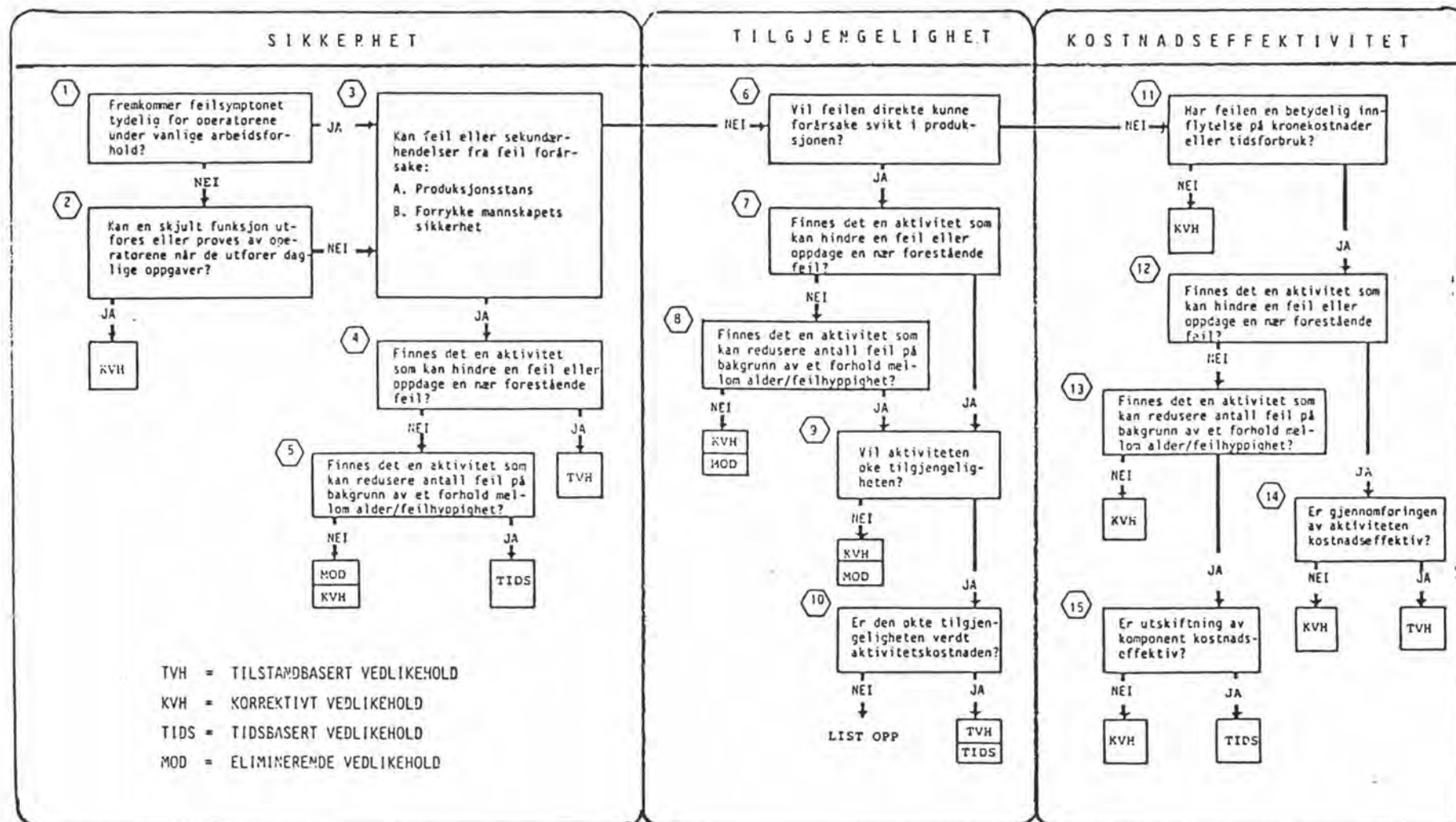
Evalueringen bygger prinsipielt på delenes funksjon og feilårsak. Hensikten er å:

- a) Identifisere systemene og deres betydningsfulle punkter.
- b) Identifisere deres funksjon, feilårsaker og feil intensiteter.
- c) Definere Planlagte Vedlikeholds Aktiviteter som har potensiell virkning i forhold til Drifts Pålitelighet.
- d) Bestemme ønskeligheten av å registrere de tiltak som har Potensiell Virkning.

Det skal bemerkes at det er forskjell mellom potensiell virkning av et tiltak i relasjon til ønsket om å ta med dette tiltaket i det aktuelle Planlagte Vedlikeholdsprogram.

Det vil være lite hensiktsmessig å beskrive i detalj de forskjellige beslutningsdiagrammer for togmateriell i denne fasen av prosjektet, men diagrammet i figur 2.1 gir en illustrasjon over prosessen om hvordan spørsmålene fordeler seg i de forskjellige vedlikeholdskonseptene gjennom sikkerhets-, pålitelighets- og kostnadsbesparende tiltak.

FLYTDIAGRAM FOR LOGISKE BESLUTNINGER



figur 2.1

4.2.3 Sammen drag av prosessen for utvikling av et effektivt vedlikeholdsprogram.

Konsekvensen av å ikke benytte seg av en logisk oppbygget metode for vedlikeholdsaktivitetene vil være at det benyttes teknikker som utvikles av enkeltpersoner og deres oppfatning av hva vedlikehold bør være. Da det heller ikke finnes systemer som samler opp egenerfaring eller behandler avvik utfra konkrete mål og standarder, vil resultatet av en slik målløs filosofi være at hovedtyngden av aktivitetene baseres på de strengeste kriterier - nemlig sikkerhet - uten at dette vurderes sammen med pålitelighet og økonomi.

På den annen side vil det også være områder som faller utenfor vurderingen som resulterer i uforutsett vedlikehold, og dette kan i verste fall forårsake katastrofale hendelser.

Uansett hvilken kategori man kommer innunder, medvirker dette til et urasjonelt og uøkonomisk vedlikehold med en galopperende kostnadsøkning og dårlig utnyttelse av personell og materiell. Da også økonomistyringssystemet er lite produktrettet, vil det være svært vanskelig å få kontroll over denne utviklingen.

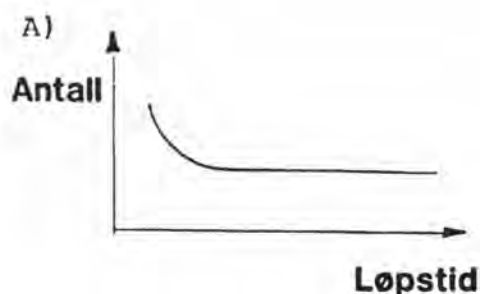
Ved å knytte vedlikeholdsfunksjonen ned til den enkelte komponent med et samsvarende planleggings- og styringssystem, innføres et verktøy for alle ledergrupper som ikke bare kan - men også har ansvaret for - at alle avvik fra planlagte standarder korrigeres. Vi introduserer nå et "kunde/-leverandørforhold" som leverer tjenester til en forventning som gjenspeiles til en på forhånd definert standard. Vi får da et kvalitetsbegrep i alle nivåer som det går an å planlegge, styre og korrigere.

Tradisjonelt har det også vært hevdet at komponenter, systemer og enheter feiler etter den såkalte "Badekarkurven"; dvs. at etter en høy feilhyppighet i begynnelsen av løpstiden flater kurven ut over tid for så å stige drastisk på slutten av levetiden.

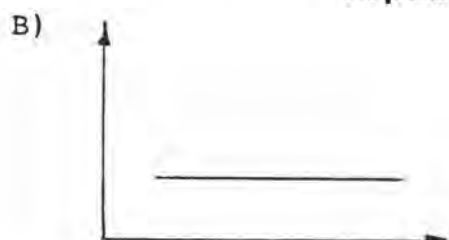
Anvendes det en logisk metodikk for å bestemme det riktige vedlikeholdskonsept for den respektive komponent, viser det seg at den tradisjonelle oppfatning ikke stemmer overens med virkeligheten.

Figur 2.2 viser et representativt utvalg av forskjellige sannsynlighetskurver for en enhet satt sammen av mange systemer og komponenter. Her vises også at revisjoner kan være direkte skadelig for påliteligheten.

SANNSYNLIGHETSKURVER

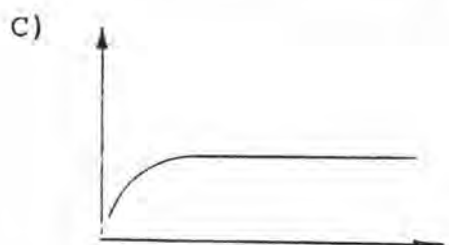


Barnesykdommer etterfulgt av konstant eller svært lett økning i utskiftningshyppighet. (Ofte karakteristisk for elektroniske komponenter, men også karakteristisk for andre). Revisjon er skadelig for pålitelighet.



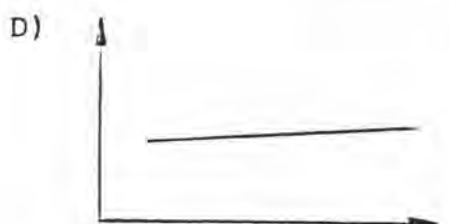
En konstant utskiftningshyppighet.

Revisjon har ingen effekt på pålitelighet.

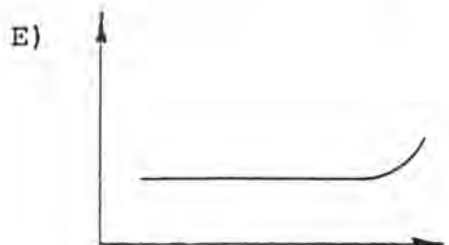


En lav utskiftningshyppighet umiddelbart etter revisjon som raskt øker til en høy konstant utskiftningshyppighet.

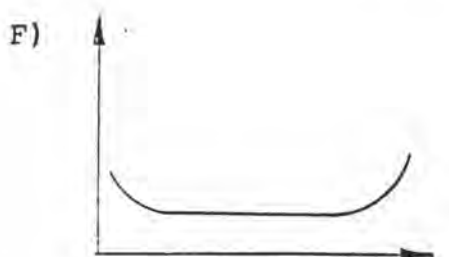
Revisjon innen praktisk gjennomførbar tidsramme har liten effekt på pålitelighet.



En gradvis økende utskiftningshyppighet. Revisjon eller noen annen form for lettere vedlikehold kan være ønskelig for å holde kontroll med pålitelighet. (Generelt karakteristisk for børsteløse generatorer og motorer).



En konstant eller lett økende utskiftningshyppighet etterfulgt av utslitning. Overhaling kan være nødvendig for å kontrollere pålitelighet dersom et stort antall deler overlever til utslitningssonen. (Generelt karakteristisk for stempelmotorer).



Barnesykdommer etterfulgt av en konstant eller gradvis økende utskiftningshyppighet og til slutt utslitning. Overhaling kan være nødvendig for å kontrollere pålitelighet dersom et stort antall deler overlever til utslitningssonen.

4.3 Pålitelighetssystemer

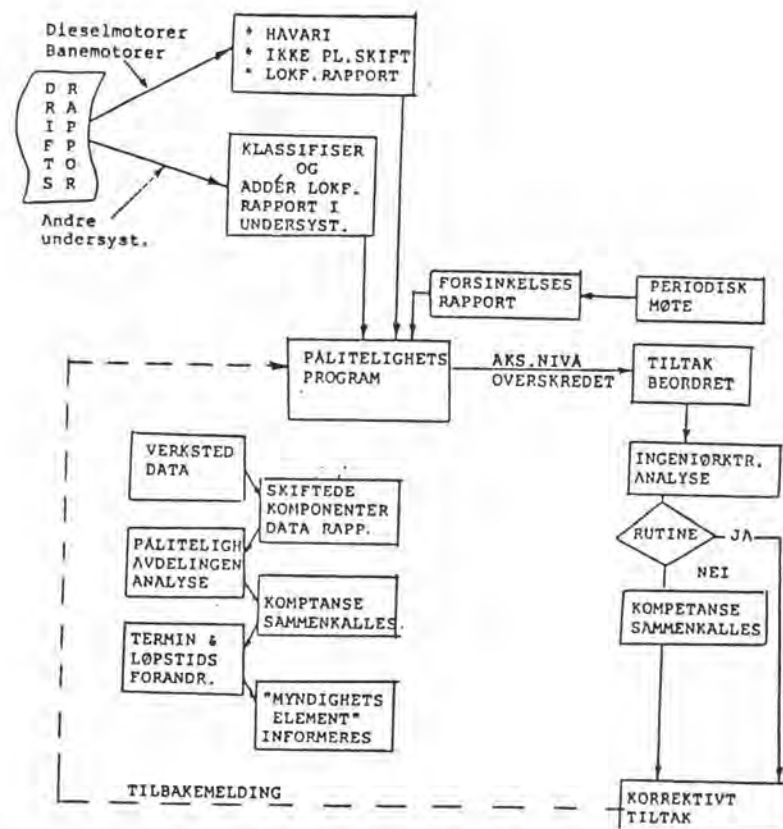
4.3.1 Generelt

For å ivareta den prosessen som kontinuerlig foregår i vedlikeholdssystemet må det innføres pålitelighetsmålinger og analyser.

Dette systemet vil motta rapportering på alle avvik fra fastlagte standarder både fra planlagte vedlikeholdsaktiviteter og fra driftsperioden.

Dette systemet vil avspeile materiellets behov for vedlikehold, og vil være det eneste legitime verktøyet for å forandre vedlikeholdsprogrammets innhold når det gjelder aktiviteter som er knyttet til sikkerhets- og pålitelighetsbegrepene og også delvis aktiviteter under kostnadsbegrepet.

Det vil være mulig med et slikt system å finne frem til feilhyppigheten til den enkelte komponent og, system bundet sammen med økonomisk rapportering, og dette vil være avgjørende for å leve opp til hovedmålsettingen for vedlikeholdet. Figur 3.1 illustrerer en enkel modell av et pålitelighetssystem.



Figur 3.1

4.3.2 Beskrivelse av systemet.

Systemet overvåker påliteligheten på undersystemnivå (Togfører Rapporter) og på togsettnivå (Forsinkelser og kanselleringer). De grunnleggende data kommer fra nevnte kilder og blir klassifisert og nedtegnet. Et "akseptabelt nivå" system blir brukt for å overvåke ytelsen og gi et grunnlag for å igangsette en prosess som øker påliteligheten.

"Akseptabelt nivå" er basert på tidligere erfaring, dvs. at nivået er basert på statistikk med feilhyppighetens middelværdi pluss en faktor ganger standardavviket eller en subjektiv bedømmelse av den involverte tekniske organisasjonen.

Når periodens feilhyppighet overskrider det akseptable nivå må dette etterforskes og løses på ingeniørnivå. Hvis problemet ikke kan løses rutinemessig må en relevant kompetansegruppe sammenkalles for å beslutte et tilstrekkelig korrigerende tiltak.

En økning av løpstider stammer hovedsaklig fra en lav feilhyppighet eller en kontinuerlig analyse av feil som viser tegn til utslitning som en motsats til barnesykdommer eller tilfeldige feil. Dette er illustrert i flødeskjemaet inne i hovedsystemet. En overføring til Tilstandsbasert vedlikeholdskonsept kan også startes på denne måten.

ANALYSETEKNIKK - SIKKERHETSVURDERING

Kvantitative sikkerhetsanalyser en sammenligning av tre metoder ved regneeksempler

Kvantitative sikkerhetsanalyser kjennetegnes ved at de angir risikoen for uhell eller svikt i et gitt system uttrykt ved den teoretiske feilfrekvensen for systemet. Sannsynligheten for en bestemt systemfeil er nedenfor beregnet ved hjelp av tre forskjellige metoder. Den teoretiske feilfrekvensen blir forskjellig ved de ulike beregningsmetodene. Metodenes fordeler og ulemper skulle for øvrig framgå av regneeksemplene.

Systemet som skal vurderes, består av startpunkt X, endepunkt Y, 5 ventiler og forbindelsesrørene mellom disse (figur 4). I normal tilstand er ventilene lukket, og det står væske under trykk i rørdelen 1, fra et reservoar som er knyttet til systemet ved X.

En kvalitativ analyse av systemet og dets funksjon, har tilkjennegitt at det kan skje en alvorlig ulykke om ikke væske kommer fram til endepunkt Y.

Man ønsker å beregne sannsynligheten for at nettopp denne systemfeilen kan inntreffe. Det forutsettes at ingen kontroll, vedlikehold eller reparasjoner utføres de første 1000 virketimer. Den potensielle leverandør av komponentene har angitt feilfrekvensene og fordelingen av feil på posisjonene "åpen" og "lukket" for brudd på grunn av konstruksjons- eller materialfeil (tabell 1, kolonnene 1, 2, 3 og 4).

Regneeksempel 1: "Parts count" (fig 16)

Den groveste av metodene består ganske enkelt i å summere feilfrekvensene for alle de komponentene som inngår i systemet. Denne metoden tar ikke hensyn til at mekaniske komponenter kan feile i forskjellige posisjoner og at gjerne feil i bare én av posisjonene vil resultere i systemfeil i et gitt tilfelle.

Sannsynligheten for systemfeilen "ingen væske til Y" er lik summen av alle komponentenes feilfrekvenser.

$$1 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-5} + 3(1 \cdot 10^{-4}) + 5(4 \cdot 10^{-8}) = 0,00033020$$

Dvs. 0,3302 pr 1000 virketimer

Regneeksempel 2: Failure Mode, and Effect Analysis (fig 17)

FME-analysen tar hensyn til at komponentene kan svikte i forskjellige posisjoner og gir følgelig en mer realistisk beregning av sannsynligheten for systemfeil.

FME-analyse er en ren "skjemametode" og kan ved systemer med mange komponenter, være litt "farlig" å bruke uten god støtte av systembeskrivelser og diagrammer.

Sannsynligheten for systemfeilen "ingen væske til Y" er lik summen av komponentenes feilfrekvenser i den posisjon som kan gi systemfeil (posisjon lukket). Beregningen framgår av tabell 1.

Systemets feilfrekvens: 0,00020120

Dvs.: 0,2012 pr 1000 virketimer

Regneeksempel 3: Fault Tree Analysis (fig 18)

Feiltre-analysen gir en grafisk beskrivelse av hendelsesforløpet som kan resultere i systemfeilen og angir, som de to andre metodene, sannsynligheten for denne uttrykt ved feilfrekvenser.

Systemets feilfrekvens: 0,06012 pr. 1000 virketimer.

Eksempel på kvantitativ bestemmelse av systempålitelighet på konstruksjonsstadiet (fig 20)

Systempåliteligheten for hydraulikksystemet i DC-10 (redundancy ved 3 systemer) ble på konstruksjonsstadiet basert på følgende:

- . FLYGETID (LEG): 2 timer
- . FEILFREKVENNS: $6 \cdot 10^{-6}$ feil/syst/time

Dette gir en sannsynlighet for tap av totalt hydraulikk-system (probability of loss of all systems):

$$\begin{aligned}
 P &= 3 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad 2 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad 1 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \\
 &= 6 \cdot 12^3 \cdot 10^{-18} \approx 10^4 \cdot 10^{-18} = \underline{10^{-14}}
 \end{aligned}$$

$P = 1 \cdot 10^{-14}$ pr. flyging er følgelig DACO's konstruksjonskriterium for hydraulikksystemet med hensyn til "probability of loss of all systems".

Sammendrag

Sannsynlighetene for systemfeil blir forskjellige ved de ulike beregningsmetodene.

Sannsynligheten for systemfeil blir størst ved den groveste beregningsmetoden, "parts count". Det kan forklares ved at man ved denne metoden i realiteten antar at enhver komponentfeil i systemet alene og uansett posisjon vil kunne forårsake systemfeil.

FME-analysen tar bare med feilfrekvenser i den posisjonen som kan resultere i systemfeil, i det foreliggende eksemplet vil det si posisjon "lukket". For øvrig er denne metoden lik "parts count".

Feiltre-analysen gir et presist uttrykk for sannsynligheten for systemfeil, så langt det er mulig å beskrive årsak/virkning-sammenhengen i et gitt system ved hjelp av Boolesk algebra.

Samtidig peker denne analysen på hvor mye hver enkelt komponent bidrar med av "usikkerhet".

Feiltre-analysen kan således benyttes i funksjonsoptimalisering av et produkt. I en situasjon hvor maksimal feilfrekvens for systemet som er beskrevet i denne artikkelen, er satt til 0,00012 feil/1000 virketimer (funksjonskrav), kan man redusere kravene til komponentene v_1 , v_2 , v_3 , v_4 , l_2 og l_4 , og dermed produksjonskostnadene, uten at systemsikkerheten reduseres.

Tilsvarende, om man ønsker sikkerheten øket, kan feiltre-analysen angi hvilke komponenter som skal skiftes ut og hvilke krav som skal stilles til de nye.

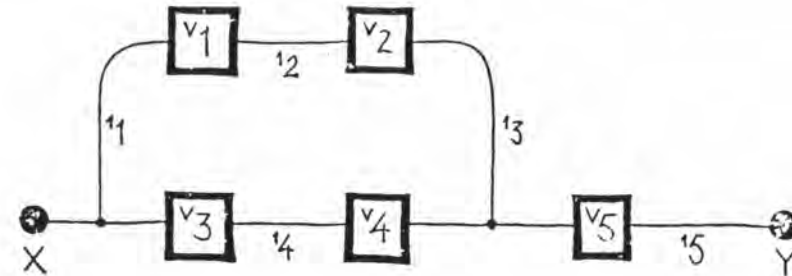
13 Samleskjema for Problemanalyse-Risiko Tabell 3

Prosjekt: Mark i fly-maskin
 Døsystem: Vingar
 Konstruktør: Daidalos
 Dato:

Fare	Årsak	Mulig virkning	Fareklasse	Konsekvensindeks	Sikkerhetstiltak
Termisk stråling fra sola	flugging i stor høyde ved kraftig termisk stråling	Varmen kan smelte bivoksen som holder fjærene sammen. Tap av fjær vil redusere aerodynamisk løfteevne. Flygeren risikerer å styrte i høvet med tap av sitt liv.	IV		<ol style="list-style-type: none"> Sørge for advarsel mot å fly for høyt eller for nærre sola Begrens vingenes bæreflate for å hindre at flymaskinen kan komme for høyt.
Fuktighet	flugging for nærre havoverflaten	fjærene kan absorbere fuktighet m. vertakn. og redusert løfteevne som følge. Begrenset tilgang på drivkraft vil trolig ikke kunne kompensere for viktakning og reduksjon av bæreevne. Flygeren risikerer gradvis å synke ned i vannet m. tap av liv og konstr. som følge.	IV		<ol style="list-style-type: none"> Instruer flyger til å holde såpass høyde over havoverflaten at sola vil holde vingene tørre, eller på et nivå hvor akkumuleringen av fuktighet er akseptabel for det tidsrom fluggingen vil være. Utstyr flykonstruksjonen med redningsutstyr.

14

Systemskisse



Systemet som skal vurderes, består av 5 ventiler, endepunktene X og Y og forbindelsesrørene mellom disse.

15 Failure, Mode and Effect Analysis

Komponentenes feilfrekvenser og prosentvise fordeling på posisjonene "åpen" og "lukket" er gitt i kol. 2, 3 og 4. Systemets feilfrekvens ved "parts count"-metoden, er summen av kolonne 2.

Komponent	-1 Feilfrekvens λ	3 Posisjon	4 % ford	5 Systemeffekt	
				Ja	Nei
V ¹	$1 \cdot 10^{-5}$	åpen lukket	30 70	0,000007	0,000003
V ²	$2 \cdot 10^{-5}$	åpen lukket	30 70	0,000014	0,000006
V ³	$1 \cdot 10^{-4}$	åpen lukket	40 60	0,00006	0,00004
V ⁴	$1 \cdot 10^{-4}$	åpen lukket	40 60	0,00006	0,00004
V ⁵	$1 \cdot 10^{-4}$	åpen lukket	40 60	0,00006	0,00004
I ₁	$4 \cdot 10^{-8}$			0,00000004	
I ₂	—			0,00000004	
I ₃	—			0,00000004	
I ₄	—			0,00000004	
I ₅	—			0,00000004	
Tabell 1				0,00000120	0,000120

16

Regneeksempel 1: "Parts Count"

Sannsynligheten for systemfeilen "ingen væske til Y" er lik summen av alle komponentenes feilfrekvenser.

$$1 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-5} + 3(1 \cdot 10^{-4}) + 5(4 \cdot 10^{-8})$$

$$= 0,00033020$$

Dvs.: 0,3302 pr. 1000 virketimer

17

Regneeksempel 2: Failure Mode and Effect Analysis

Sannsynligheten for systemfeilen "ingen væske til Y" er lik summen av komponentenes feilfrekvenser i den posisjon som kan gi systemfeil (posisjon lukket). Beregningen framgår av tabell 1.

Systemets feilfrekvens: 0,00020120

Dvs.: 0,2012 pr. 1000 virketimer

18

Regneeksempel 3: Fault Tree Analysis

Feiltre-analysen gir en grafisk beskrivelse av hendelsesforløpet som kan resultere i systemfeilen og angir, som de to andre metodene, sannsynligheten for denne uttrykt ved feilfrekvenser.

Systemets feilfrekvens: 0,06012 pr. 1000 virketimer

19

Sammendrag:

Sannsynlighetene for systemfeil blir:

1. størst ved den groveste beregningsmetoden, "parts count".
2. Noe mindre ved FME-analysen, som tar med bare feilfrekvenser i den posisjonen som kan resultere i systemfeil.
3. Minst ved Feiltre-analysen, som gir et presist uttrykk for sannsynligheten for systemfeil.
(Typisk spesialistmetode)

20

Kvantitative bestemmelse av systempålitelighet på konstruksjonsstadiet

Eksempel:

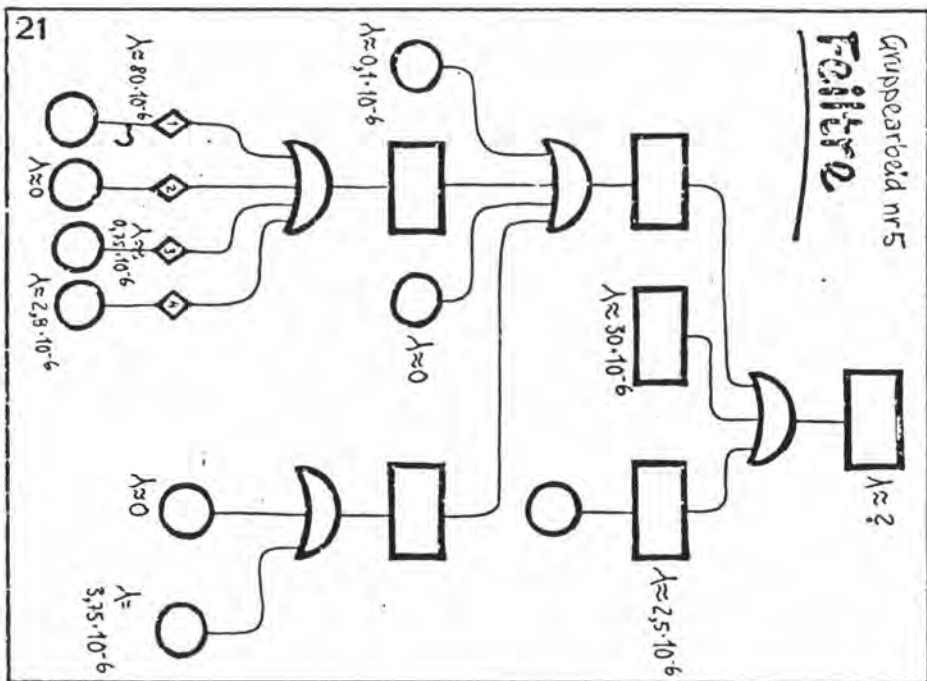
Systempåliteligheten for hydraulikksystemet i DC-10 (redundancy ved 3 systemer) ble på konstruksjonsstadiet basert på følgende:

- Flygetid (Leg) _____ 2 timer
- Feilfrekvens _____ $6 \cdot 10^{-6}$ feil/syst/time

Dette gir en sannsynlighet for tap av totalt hydraulikksystem (probability of loss of all system):

$$\begin{aligned}
 P &= 3 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad 2 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad 1 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \\
 &= 6 \cdot 12^3 \cdot 10^{-18} \approx 10^4 \cdot 10^{-18} = \underline{10^{-14}}
 \end{aligned}$$

$P = 1 \cdot 10^{-14}$ pr. flyging er følgende DACO's konstruksjonskriterium for hydraulikksystem med hensyn til "probability of loss of all system".

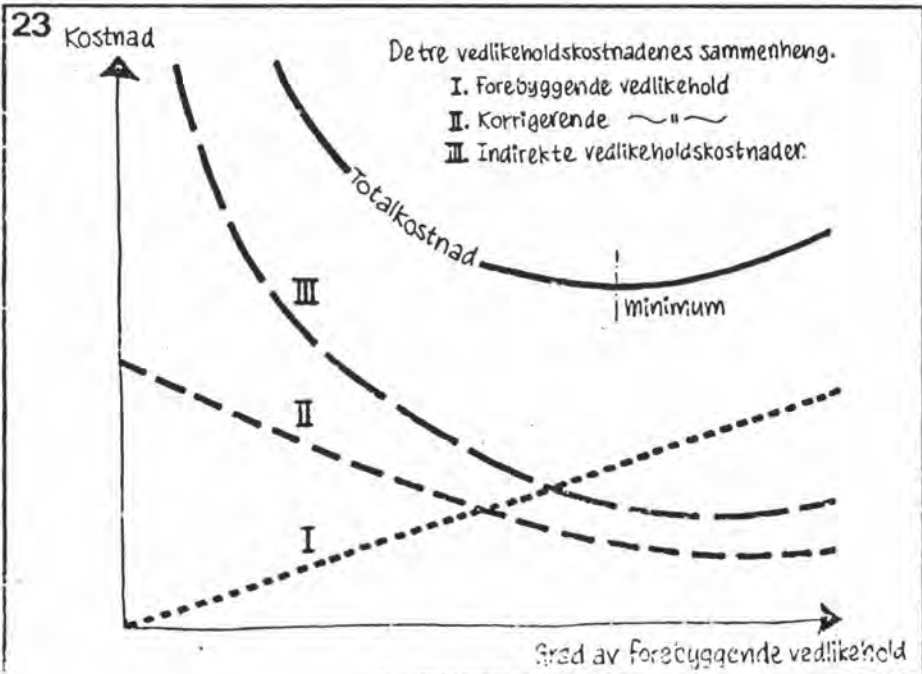


22

Formålet med flyteknisk vedlikehold

Formålet med ett vedlikeholdprogram er ifølge nyere definisjoner:

- Å forhindre at det pålitelighetsnivå som er bygget inn i konstruksjonen nedbrytes
- Å gjøre dette til lavest mulige kostnader



24

Innholdet i et vedlikeholdsprogram består av 2 typer av aktiviteter:

- En gruppe **rutineaksjoner** som utføres med bestemte intervaller. Formålet er å konstatere tegn på nedbrytning av den driftspålitelighet og sikkerhet som er konstruert og bygget inn i konstruksjonen.
- En gruppe **ikke-rutineaksjoner** (feilrettinger) som baseres på:
 - Nevnte rutineaksjoner (fundne feil)
 - Anmerkninger i flyloggen
 - Overvåking av system/komponenttilstand (Condition Monitoring)

KVALITET OG SIKKERHET

Som et utgangspunkt for å forstå hva som ligger i et bevisst organisatorisk arbeide og system for kvalitet og sikkerhet, er det nødvendig å huske innholdet i tre begreper som stadig brukes av spesialister i kvalitetsstyring.

- QUALITY MANAGEMENT
- QUALITY ASSURANCE
- QUALITY ASSURANCE REGULATIONS

1 QUALITY MANAGEMENT

dekker alt det som i en virksomhet hjelper til med å få produktkvaliteten og virksomhetens tjenester tilfredsstillende for kundene. Dette skal oppnås til så lave kostnader som mulig takket være:

- kontrakter som uttrykker kundens krav klart og presist
- en pålitelig og kostnadseffektiv konstruksjon som kan virkeliggjøres ved bruk av tilfredsstillende produksjonsvilkår
- materialer, verktøy og utstyr som er skaffet tilveie til rett pris og tid, som er koplet til en kvalitet garantert av fabrikantene og med en akseptabel vrak- og returprosent
- riktig tilpassede produkter
- nøye utprøving (testing)
- hurtig og effektiv service etter salg.

Quality Management er ikke en spesiell funksjon som er overordnet de vanlige bedriftsfunksjonene som markedsundersøkelser/markedsføring, konseptstudier, produktsutvikling, innkjøp, produksjon, prøving, salg og produktstøtte, men et helt sett av kvalitetspåvirkende virkemidler som bevisst innarbeides i alle de tradisjonelle funksjonene.

2 QUALITY ASSURANCE

springer ut fra to grunnleggende hovedtanker:

- Hensikten med Quality Assurance er å bygge opp et tillitsforhold til kunden eller kundenes representant. Det representerer derfor et begrep som er ytterst viktig for hvordan et foretagende oppfattes av kundene.
- Idag er det ikke tilstrekkelig bare å bygge på navn og rykte, produkttesting og mer eller mindre uforpliktende forsikringer om god vilje. Tillitsforholdet baseres først og fremst på en rekke fakta i form av en presentasjon av det systemet, organisasjonen, dens ressurser, mål og midler, som definerer hvordan virksomheten fungerer, dvs. det industrielle systemet som utvikler, konstruerer, produserer og støtter produktet i levetidsperioden.

3 QUALITY ASSURANCE REGULATIONS

er de bestemmelser og forskrifter som regulerer organiseringen av de industrielle systemene. Dette forklarer hvorfor det i den senere tid er blitt vanlig praksis å bryte ned organisatoriske systemer i adskilte funksjoner, for så og analysere disse funksjonene i den hensikt å kunne identifisere nøkkelfaktorer i dem.

Sammenligner vi et organisatorisk system med et maskinsystem, vil nøkkelfaktorene representere de kritiske faktorene som vil hindre maskinen i å utføre den fastlagte oppgaven.

De nevnte nøkkelfaktorene er identifisert og listet i standarder eller spesifikasjoner som:

- US Mil Spec Q 9858
- NATO documents AQAP-1, -4 og -9.
- Norsk Standard NS 5801

Dokumentene AQAP-1, -4 og -9 svarer til tre graderinger av industrielle organisasjoner med hensyn til en avtagende kompleksitet.

AQAP (Allied Quality Assurance Paper) -1 gjelder konsernvirksomheter som er "prime contractors" for "major systems" og som har et ansvar som dekker hele levetidsperioden for produktet (design, manufacture, inspection, test and product support).

4 QUALITY ASSURANCE (KVALITETSSIKRING) ER ET NYTT HJELPE-MIDDEL

som kombinerer administrative og tekniske tiltak i den hensikt å øke mulighetene for å oppnå virksomhetens mål.

For å styre en større komplisert virksomhet er det en akseptert nødvendighet å kunne:

- beskrive og formulere mål for virksomheten
- kontrollere virksomhetens resultater, samt
- følge opp og korrigere virksomheten.

Alle organisasjoner har sterke og svake sider. Svakheter har en tendens til å utvikle seg i en retning som representerer stadig større hindringer på veien mot målet. Det er derfor nødvendig å registrere svakheter slik at det bevisst kan tas stilling til hva som skal gjøres med dem. Konsekvensene av å ikke gjøre dette blir lett en organisasjon som kontinuerlig "løser" krisesituasjoner.

Når en organisasjon utvikles og vokser, vil den vanligvis gjennomgå tre utviklingsfaser:

- I En autoritær pionerfase med uformelle systemer for informasjon og beslutninger.
- II En differensieringsfase hvor virksomheten får en viss struktur der planlegging og delegering får en stadig økende betydning. Denne fasen innebærer også en økt byråkratisering, samt en svakere motivering hos enkeltindividene og en form for "systemhysteri".
- III En integrasjonsfase som er en slags reaksjon på sentralstyring av virksomheten. I denne fasen vil organisasjonen streve etter arbeidsformer som både er meningsfulle for enkeltindividene og resultatorienterende for virksomheten.

For i det hele tatt å nå fase III må "lærdommen" som regel være et resultat av en kritisk analyse av fase II.

Kvalitetssikring er opprinnelig et tegn på "systemhysteri" (gikk tidligere under betegnelsen kvalitetskontroll). Et sentralt spørsmål i mange virksomheter idag er om det er mulig ved opplæring og diskusjoner å føre nettopp vår organisasjon inn i fase III, dvs. oppnå en mer effektiv kvalitetssikring ved å satse på et økt individuelt engasjement.

Kvalitetssikringsarbeidet kan ikke leve sitt eget liv ved siden av virksomheten for øvrig. Det må fra begynnelsen

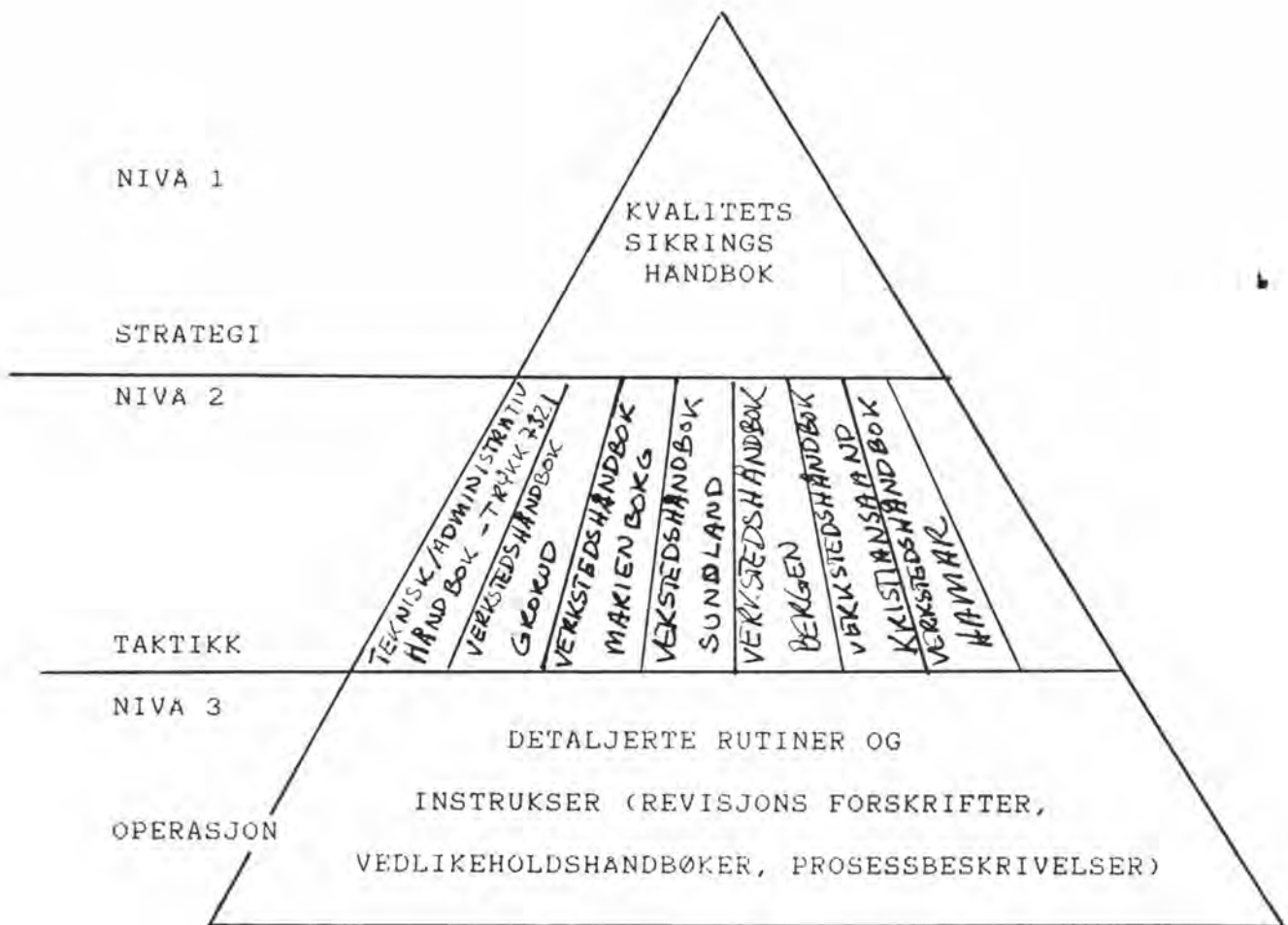
av inngå i foretagendets totale virksomhet.

Grunntanken med kvalitetssikring kan sammenfattes i følgende tre punkter:

- å skape forutsetninger for utførelse av et tilfredsstillende kvalitativt arbeide allerede den første gangen arbeidet utføres
- å oppdage mangler (som alltid finnes) og gjøre noe med dem
- å gi individene i organisasjonen mulighet for å føle medansvar for kvalitetssikringsarbeidet ved økt individuelt engasjement.

Skal kvalitets- og sikkerhetsarbeidet få en tilfredsstillende effekt, må funksjonens organisasjonsmessige stabs plassering og arbeidsmåten i linjefunksjonene nøye avklares og samordnes.

ET EKSEMPEL PÅ HVORDAN HANDBØKENE KAN
FORHOLDE SEG TIL HVERANDRE



HANDBOKSTRUKTUREN

Et eksempel på innholdsfortegnelse.

KAP 1. TEKNISK ADMINISTRATIV HANDBOK-OPPBYGGNING

- Innholdsfortegnelse
- Kontrolliste
- Liste over revisjoner
- Fordelingsliste

KAP 2. TEKNISK ADMINISTRATIV HANDBOK-GENERELT

- Hensikten med TAH
- Bokens gyldighetsområde
- Oversikt over øvrige manualer og håndbøker
- Definisjoner

KAP 3 OVERSIKT OVER TEKNISK AVDELING

- Målsetting
- Organisasjonskart
- Liste over rullende materiell

KAP 4 ORGANISASJON OG PERSONELL

- R.M. mål og policy
- Organisasjons kart
- Stillingsinstrukser/funksjonsbeskrivelser

KAP 5 DOKUMENTASJON OG FORMULARER MED BEHANDLINGSRUTINER

- *
- *

KAP 6 RUTINER

- * Generell Administrasjon
 - Arbeidsfordeling
 - Etablering av vedlikeholdsprogram

* Ingeniørtjenesten

-
-
-
-

* Modifikasjonsprosedyrer

-
-
-
-

* Teknisk statistikk

- Pålitelighetsmodeller for vedlikeholdskontroll
- Etablering av pålitelighetsstandarder
- Vurdering og analyse av programmer
- Informasjonssystem for teknisk feil

KAP 7. EKSTERNE AVTALER OG TJENESTER

KAP 8. DIVERSE

Håndbøker

Håndbøkene med vedlikeholdsinstruksene er en svært viktig del av det totale vedlikeholdet på materiellet. Disse skal gjenspeile den standard og de krav som stilles både til revisjoner og utbedringer slik at materiellet kan gjennomføre driftsperioden innenfor hovedmålsettingen. For å gjøre bruken av håndbøkene så lett som mulig er det en forutsetning at både strukturen i håndboks-systemet og en systematisert oppdeling av materiellet er identisk og finnes på alle typer materiell. Dessuten må håndbøkene og deres innhold gjøres kjent for alle brukerne.

Det systemet vi skal utarbeide kan tilslutt inneholde regler og anvisninger for hvordan NSB skal presentere de tekniske data, tekniske forskrifter og annen teknisk informasjon som de behøver for å kunne operere og vedlikeholde materiellet.

Systemet kan inneholde følgende titler på vedlikeholdssiden.

- Service Håndbok
- Vedlikeholdshåndbok *Beliggening og beskrivelse*
- Revisjonshåndbok
- Reservedelskatalog
- Bok for elektrisk koplingsskjema.

I disse publikasjoner skal det benyttes et generelt nummersystem for oppdeling av innholdet i publikasjonen i:

- Hovedgrupper.
- Kapittel som behandler forskjellige systemer og hoveddeler.
- Underkapittel som behandler undersystem eller delsystem.
- Område som behandler separate komponenter og andre mindre enheter.

Systemet kan videre inneholde definisjoner på system og undersystem i materiellet samt regler og anvisninger for hvordan materialbeskrivelser og vedlikeholdsinstruksjoner bør redigeres og utformes, hvordan endringer av publikasjonene skal utføres osv.

Fordelingen av kapitlene i grupper er f.eks. som følger:

Materiellet generelt
Systemer
Bærende konstruksjon
Motorinstallasjoner

Underkapittelene med områder er også oppdelt etter en standard med to siffer hver så hver komponent kan ha en kode med seks siffer.

Nummersystem

Følgende eksempel viser hvordan et nummereringssystem kan være oppbygd i henhold til det systemet vi skal frem til:

Eks.: Vi leter etter Motorinstallasjonens brannslukkningsflaske
- f.eks. NSB 26-22-03.

<u>Første ledd</u>	<u>Annet ledd</u>	<u>Tredje ledd</u>
SYSTEM	UNDERSYSTEM	KOMPONENT
26	00	00
Brann beskyttelse		
26	20	00
	Slukking	
26	22	00
	Motorbrann	
	Slukking	
26	22	03
		Flaske

Vi ser her at vi har en koding på materiellet i tredje ledd som går på anvendelsen og ikke type. Nummeret forteller oss at dette er en fast montert brannslukkingsflaske for motorinnstallasjoner men ikke om det er høy eller lavtrykk, stor eller liten, H₂O eller CO₂ el.

Det finnes også en "Gjelder" kode, som med tall angir materiellets registrering. (Registreringen er som regel angitt som materiellets fabrikk nr.). Når en forskrift leses, er det av stor betydning at "Gjelder" koden er identisk med det materielle vi i øyeblikket arbeider på.

Kapittelinnndeling

Hovedgrupper - materiellet generelt.

Vi kan her nevne fortløpende de områder vi kan tenke oss kan være av interesse å samle i kapitler uten at vi binder oss til dette senere i prosjektet.

Kapittel 1 - Vedlikeholds krav.

Her finnes en sammenstilling av alle gjeldende krav i forbindelse med inspeksjon, ettersyn og service for at en materielltypes funksjonssikkerhet skal ivaretas på den mest økonomiske måten.

Det kan også være et særskilt avsnitt i dette kapittelet hvor det fremgår hva som kreves ved f.eks. av vedlikeholdsaktiviteter før hver avgang, etter lynnedslag, etter kollisjon med dyr på linjen og andre ting som finnes.

Kapittel 2 - kan inneholde opplysninger om materiellens utforming bl.a. hoveddimensjonering, koordinatsystem for stasjonsanvisning o.l.

De neste kapitler kan inneholde anvisninger og forskrifter med hensyn til håndtering av materiellet innenfor verkstedområdet. Løfting med jekker, nivellering, veiing, buksering, parkering.

Vidre kan det være et kapittel som gjør rede for den skilting og merking som skal finnes.

Tilslutt kan det være et kapittel som inneholder serviceanvisninger: Tanking og avtanking, påfylling av væsker og gasser, smøring osv.

Hovedgrupper - materiellet spesielt

a) Vedlikeholdshåndboken

Vedlikeholdshåndbokens spesielle kapitler inneholder konstruksjons- og funksjonsbeskrivelse med hensyn til bærende konstruksjoner, motorinstallasjon og de forskjellige systemer i materiellet og anvisninger om hvordan man skal utføre de tiltak som er foreskrevet i Vedlikeholdskravene (Kap.1).

Disse kapitler og de underkapitler som inngår i dem igjen, er som regel inndelt i tre avsnitt med følgende sidefordeling.

1. Beskrivelse og operasjon	s. 1 - 100
2. Feilsøking	s. 101 - 200
3. Vedlikeholdspraksis	s. 201 - 300

Sistnevnte avsnitt er videre inndelt som vist nedenfor:

1. Service	s. 301 - 400
2. Utmontering/montering	s. 401 - 500
3. Justering/prøving	s. 501 - 600
4. Inspeksjon/sjekk	s. 601 - 700
5. Rengjøring/maling	s. 701 - 800
6. Godkjente reparasjoner	s. 801 - 900

b) Revisjonshåndbokens kapitler

Disse kapitler inneholder revisjonsforskrifter og reparasjonsanvisninger for å reparere og revidere komponenter. Med revidere mener vi å bringe komponenten tilbake mot sin originale tilstand. (Null gangtid).

Kapittlene og deres underkapitler kan være i følgende avsnitt og sidefordeling.

Beskrivelse og virkemåte	side 1 - 100
Demontering	side 101 - 200
Rengjøring	side 201 - 300
Inspeksjon	side 301 - 400
Reparasjon	side 401 - 500
Montering	side 501 - 600
Tilpassing og toleranser	side 601 - 700

Prøving	side 701 - 800
Feilsøking	side 801 - 900
Lagringsanvisning	side 901 - 1000
Spesialverktøy, jigger og utstyr	side 1000 - 1100
Reservedelsliste	side 1100 - 1200