

Introduksjon til vedlikeholdsoptimalisering

Jørn Vatn

NTNU

jorn.vatn@ntnu.no

Definisjoner

- Vedlikehold
 - En kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert ledelsesaktiviteter, som har til hensikt å **opprettholde** eller **gjenvinne** en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon
- Forebyggende vedlikehold
 - Vedlikehold som utføres etter forutbestemte intervaller eller ifølge forutbestemte kriterier, og som har til hensikt å forlenge levetider, redusere sannsynligheten for svikt eller funksjonsnedsetting (degradering).
- Korrigerende vedlikehold
 - Vedlikehold som utføres etter at en feil (tilstand) er oppdaget, og som har til hensikt å bringe en enhet tilbake i en tilstand som gjør det mulig å utføre en krevd funksjon
- Vedlikeholdsoptimalisering
 - **Balansering** av fordeler og ulemper ved å utføre vedlikehold

Læringsmål

- Forstå sentrale begrep innenfor pålitelighetsanalyse
 - Feilrate, tilgjengelighet, pålitelighet, strukturefunksjon, kritikalitet
- Vedlikeholdets sin betydning for pålitelighet
- Teknikker for å analysere sikkerhet og pålitelighet
 - Feil-, og hendelsestre, HAZOP, FME(C)A, SJA
- RCM – Pålitelighetsstyrt vedlikehold
 - Strukturering-funksjonsfeilanalyse, Feilanalyse-FMECA, Valg av type vedlikehold-RCM logikk, Mengde vedlikehold – vedlikeholdsintervall
- Digitalisering (Industrimeldinga) - Smakebiter
 - Industri 4.0, kyberfysiske systemer, digitale tvillinger, synkronisering av vedlikehold og produksjon

Kursmateriell

- Lysark (skal legge ut lenke til .pdf)
 - «Veien fram til WCM»: Engelsk kurskompendium
 - eLæring
 - Utvalgte oppgaver, delvis med løsning
 - Repetisjonsnotat
-
- Lenke for å finne fram:
<http://folk.ntnu.no/jvatn/WCM>

Øvingsoppgave

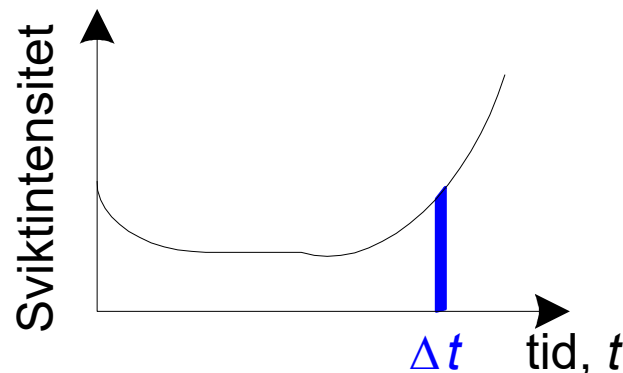
- List fordeler ved å utføre vedlikehold
- List ulemper ved å utføre vedlikehold

Sviktintensitet og badekarskurve

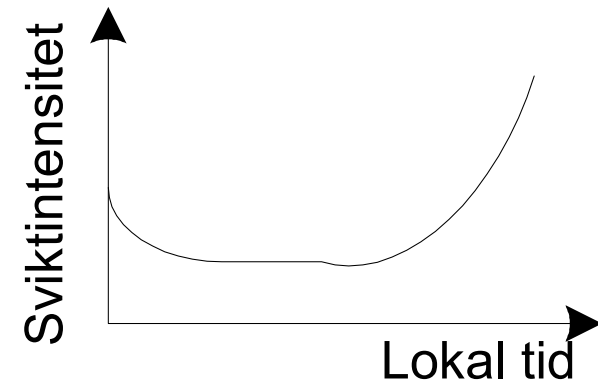
- Mange enheter har en tendens til å svikte med alder
- Ved å bytte enheter før de blir for gamle, kan man redusere sannsynligheten for svikt
- ➔ Badekarskurven visualiserer sviktsannsynlighet som funksjon av alder

Sviktintensitet, $z(t)$, for komponenter

- Sviktintensitet er det presise begrepet som benyttes for "feilraten" i badekarskurven
- Notasjon: $z(t)$ = sviktintensitet
- $z(t) \cdot \Delta t \approx$ Sannsynligheten for svikt i neste tidsintervall (Δt) gitt at enheten har overlevd tid t . (Δt f eks lik ett døgn)
- Dvs $z(t)$ representerer faren for at vi får en svikt (mister funksjon) i neste døgn, gitt at vi har "levd en stund", dvs t dager uten svikt



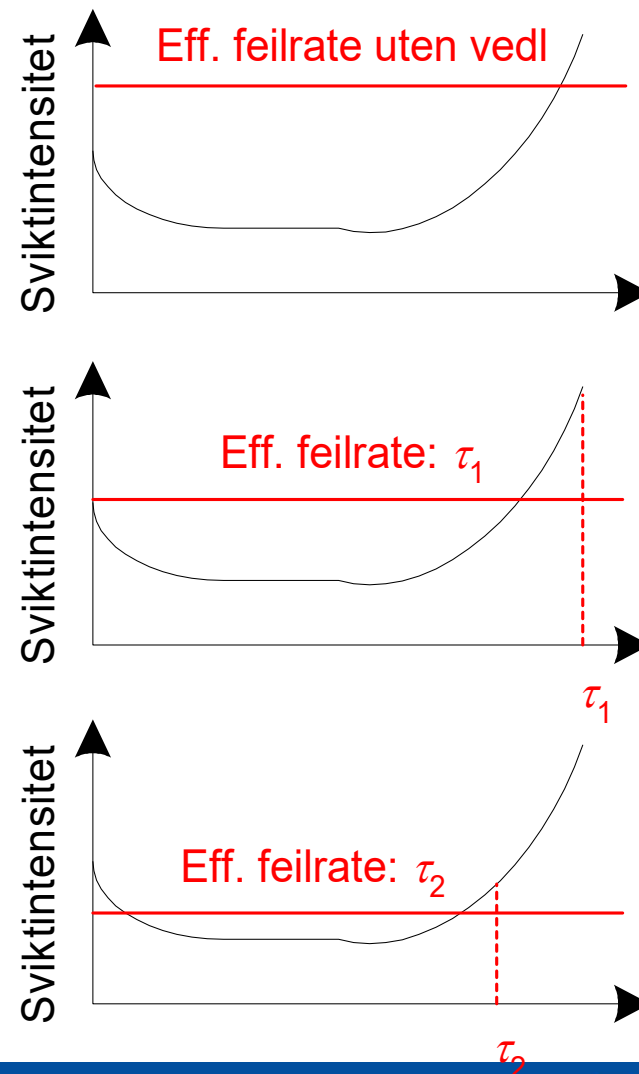
Mer om sviktintensiteten



- Vi benytter "lokal tid" for å angi at dette er tid siden komponenten sist ble vedlikeholdt eller skiftet ut (f eks en lyspære)
- Alderen til systemet betraktes ikke her
- Figuren viser at en gammel enhet (en lyspære som har stått i en stund) har høyere sjanse for å svikte enn en nesten ny en
- Også svært "unge" komponenter har en økt sviktrisiko (feilmontering, gal type, barnesykdommer osv)

Forebyggende vedlikehold i lys av "badekarskurven"

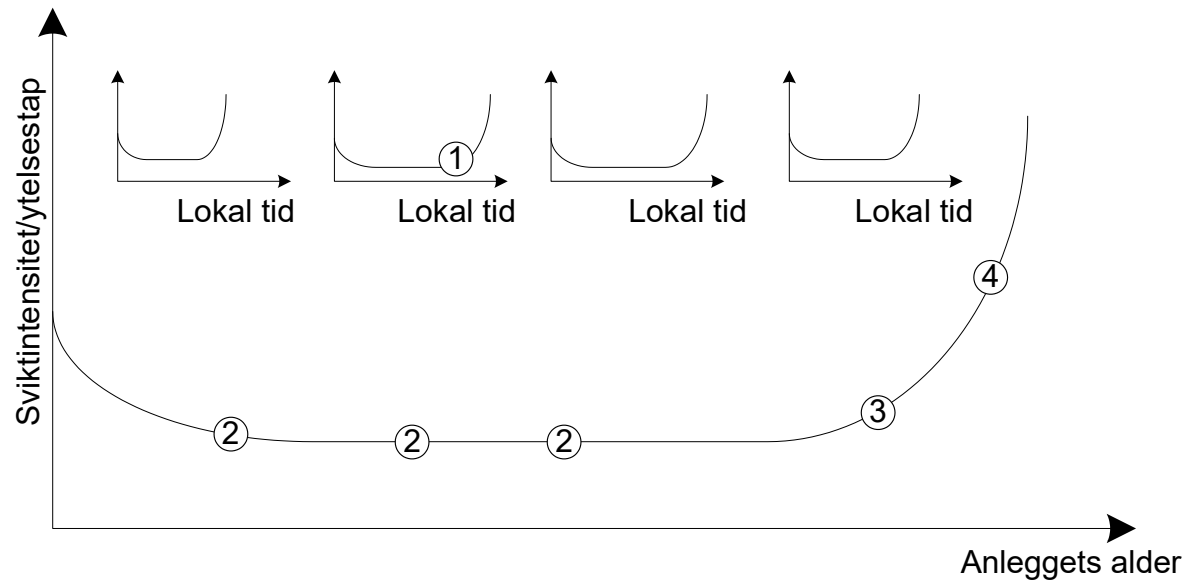
- Ved å skifte ut enheten forebyggende ved tid τ , oppnås en lavere "effektiv feilrate" $\lambda_E(\tau)$
- Jo kortere tid mellom utskiftning (τ), jo lavere effektiv feilrate
- Utfordring i å balansere lav feilrate mot større vedlikeholdskostnader



To badekarskurver

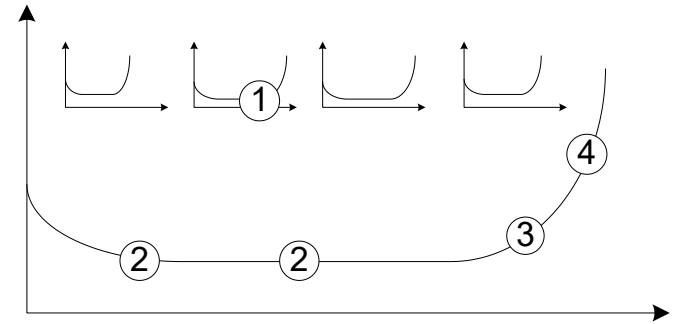
- Det er i realiteten to badekarskurver
 - Den ene betrakter lokal tid, dvs tid siden forrige vedlikehold, eller forrige bytte av enheten
 - Den andre betrakter global tid, dvs tid siden *systemet* var nytt
- Ulike metodiske tilnærminger for å analysere lokal og global badekarskurve

LCC ↔ RCM (badekarskurver)



- RCM og FMEA for ①
- LCC og Nytte/Kost for ②, ③ og ④

Eksempler

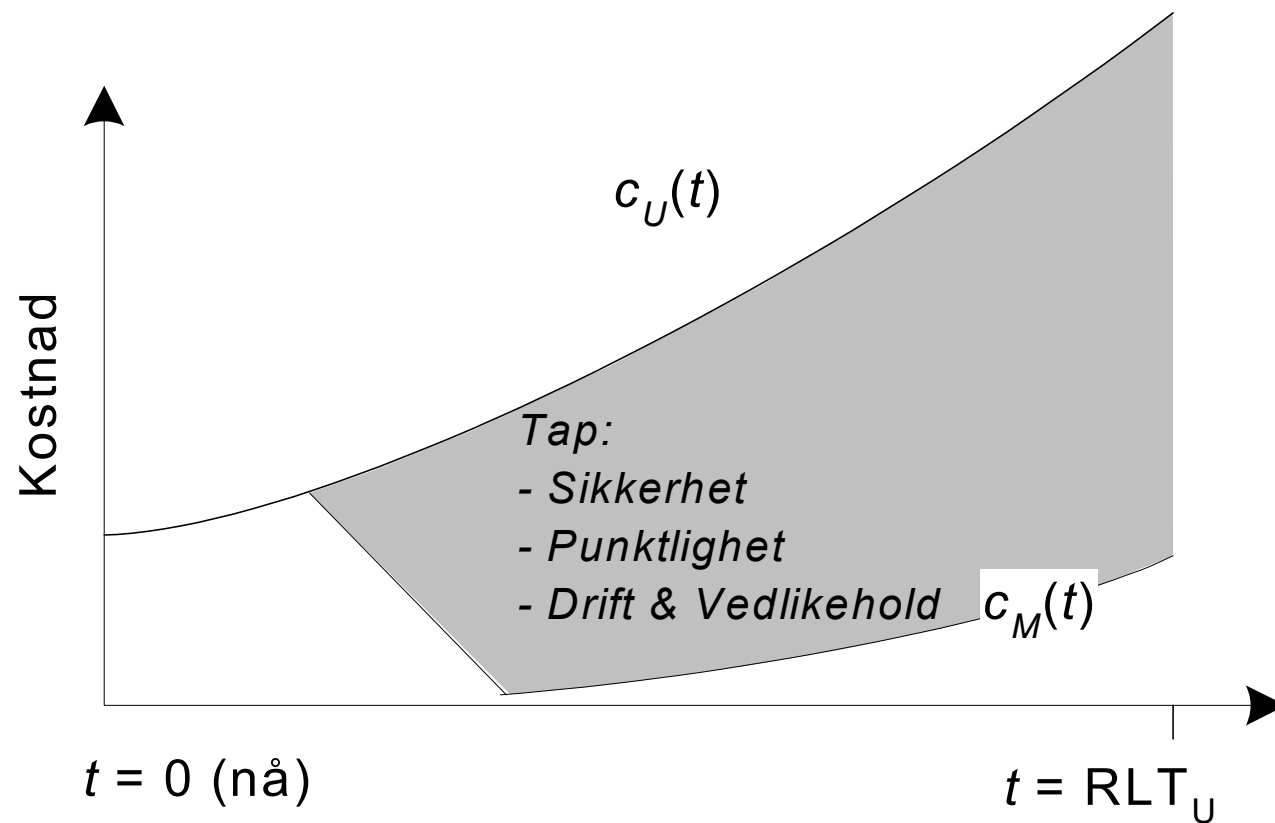


- ① Periodisk skifte av lyspærer etter f eks 5 år dersom sviktintensiteten begynner å øke etter 3-5 år. Funksjonstest av kabler hvert år for å avdekke observerbar feilutvikling som kan være initiert av skade på kabel.
- ② Skinnesliping for å forlenge levetiden til skinner. Skinnesliping demper slitasjen på skinnene, og reduserer således også faren for utmatting. Skinnesliping gir også redusert slitasje på rullende materiell og redusert degraderingshastighet på andre infrastrukturkomponenter slik som befestigelse, sviller og ballast. Andre positive effekter av skinnesliping er mindre støy og bedre komfort for reisende.
- ③ Stikkbytte av komponenter for å utsette tidspunktet for utskifting. Eksempler er kapping av skinner for å skifte ut 4-hulls sveis. Utbedring av vaskepartier for å utsette tidspunkt for full ballastrens, eller skifte av pukk og evt sviller. Skifte av slitte deler i KL anlegg for å utsette tidspunkt for skifte av hele KL-anlegget.
- ④ Utskifting av skinner hvor utmattingsgrensen er nådd for større partier.

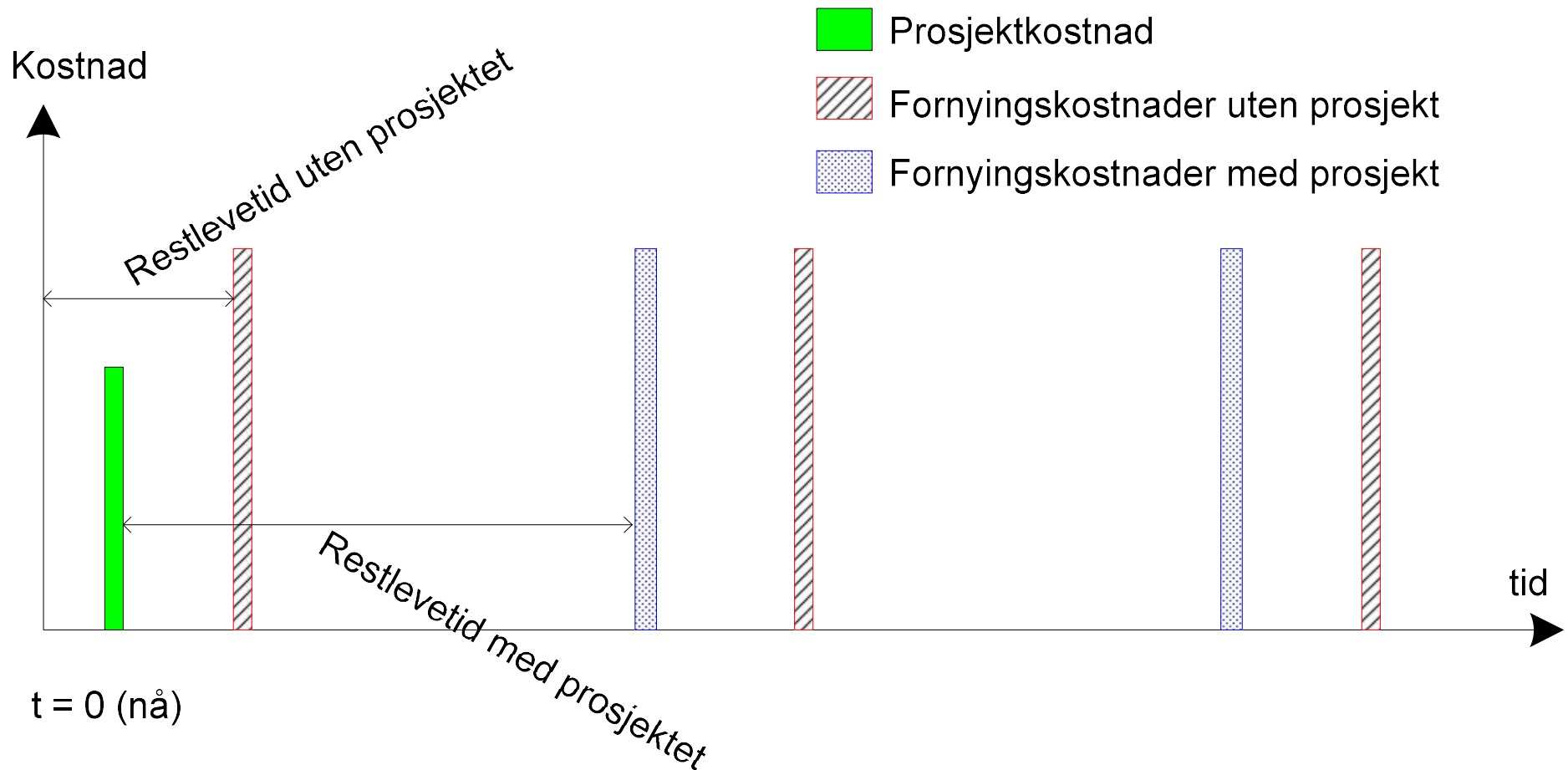
For eksempel har Jernbaneverket:

- Utviklet et eget verktøy for ②, ③ og ④ → PriFo
- Verktøyet foretar en LCC (levetidskostnads) analyse for å prioritere mellom fornyelses- (og større vedlikeholdsd-) prosjekter
- LCC modellen deler kostnadene i tre typer
 - Variable kostnader (som øker med alder)
 - Endringer i restlevetid
 - Prosjektkostnadene (for fornyelse eller vedlikehold denne ene gangen)

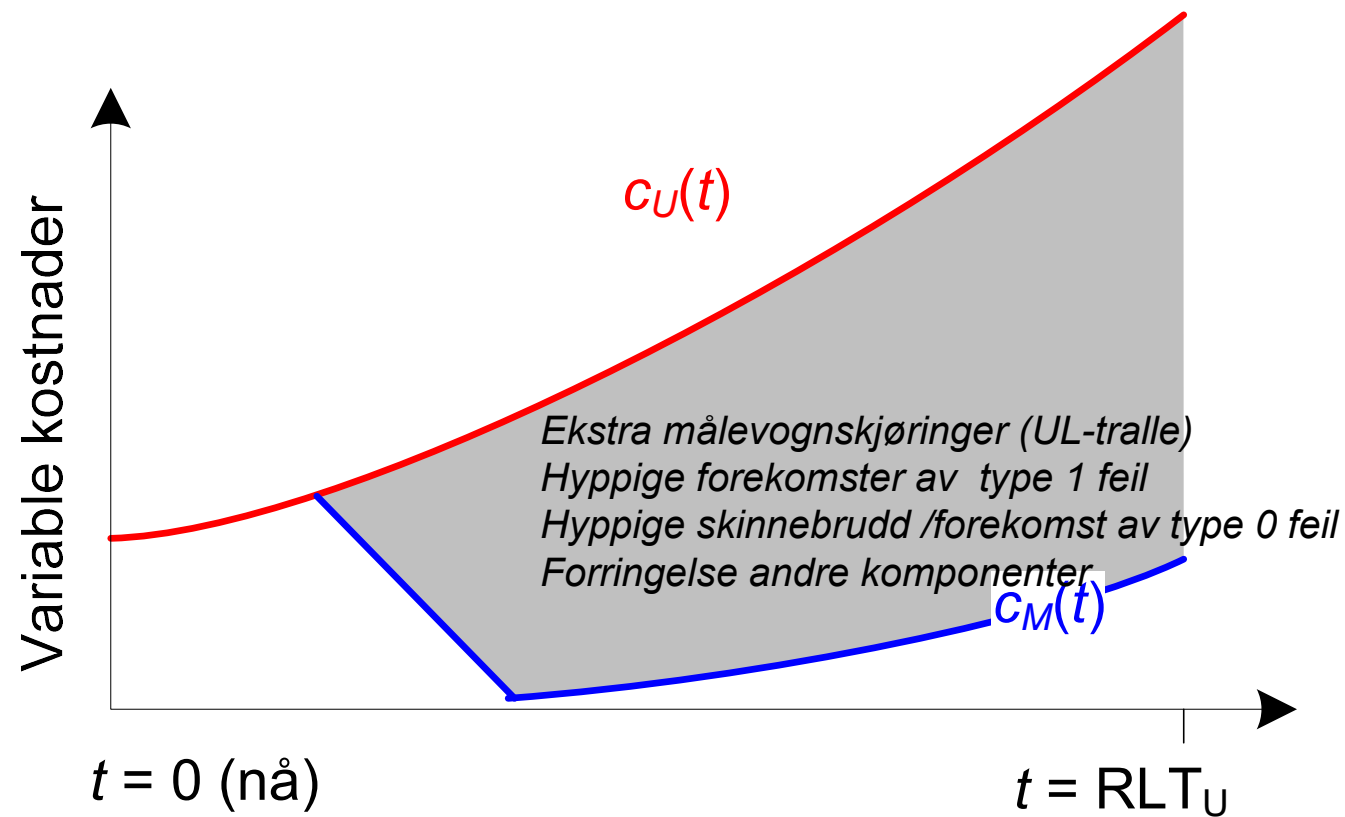
Variable kostnader med (M) og uten (U) prosjektet



Portefølge med og uten tiltak

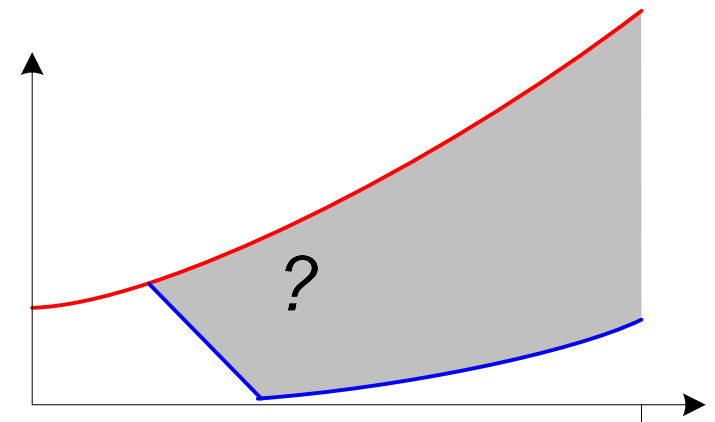
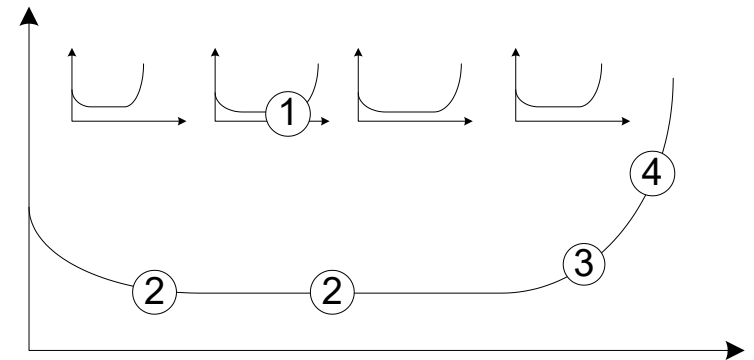


Eksempel: Gevinst av skinnebytte: D&V



Øvingsoppgave

- Gi eksempler på prosjekter som ikke er fornying, dvs ② og ③
- Gi eksempler på variable kostnader som reduseres ved å gjøre et prosjekt av type ②, ③ eller ④

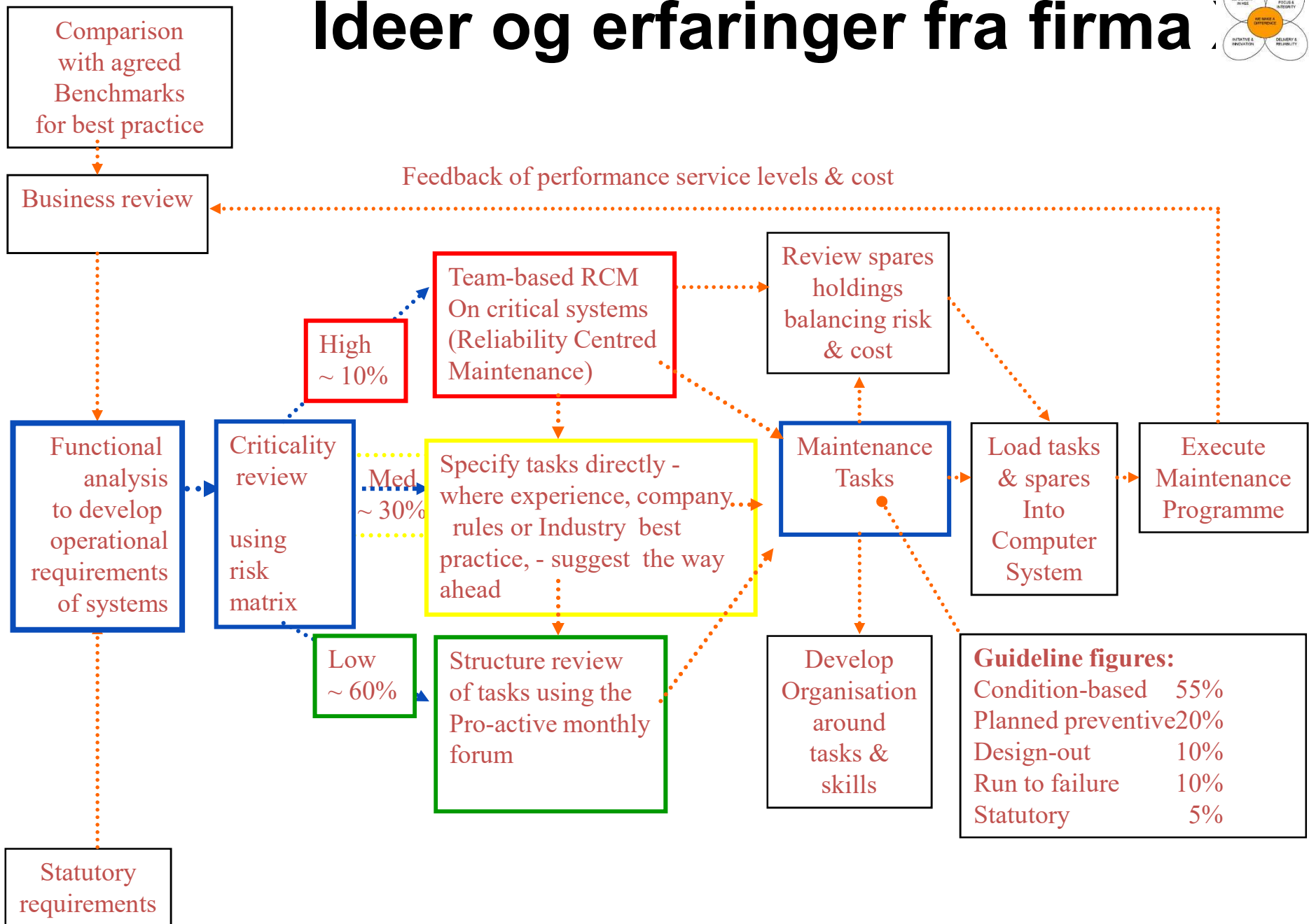


Mer om RCM

(pålitelighetsstyrt vedlikehold)

- RCM er en metode for
 - systematisk analyse av **systemfunksjoner**
 - hvordan disse kan feile, for å kunne:
 - etablere et **forebyggende** vedlikeholdsprogram som balanserer:
 - sikkerhet
 - tilgjengelighet
 - kostnader
- RCM prosessen er sporbar: vedlikeholdet er **begrunnet**
- RCM er ingen matematisk modell
- RCM er en metode med stor anerkjennelse, benyttet i flyindustrien siden 60-tallet
- RCM løser ikke alle problemer

Ideer og erfaringer fra firma



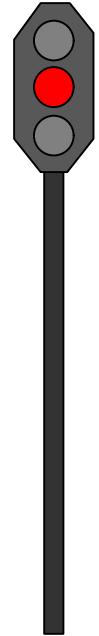
Mer om RCM

- Bane NOR
 - Bane NOR har gjennomført generiske RCM analyser. Dvs at det er laget en "mal" for hver type utstyr, f eks en sporveksel
 - Den generiske malen er uavhengig av f eks trafikkmengde, omgivelser (risiko ved avsporing)
 - Man slipper med noen hundre rader i FMECAen, mot hundretusener hvis man skulle gjort RCM på alle fysiske objekter
- Bruk
 - De generiske RCM analysene danner grunnlag for initielt vedlikeholdsprogram definert i MAXIMO (Bane NOR's EDB-baserte system)
 - Det foretas lokale tilpasninger for å ta høyde for lokale forhold, f eks høyere trafikk tetthet, gammelt utstyr osv

Standardisering

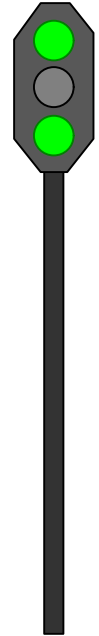
- Erfaring viser at standardisering av måten RCM gjennomføres på bidrar til:
 - Raskere gjennomføring
 - Mer systematisk og sporbar argumentasjon
 - Å sikre at grunnlagsdata er tilstrekkelig for optimalisering
- Viktige element i Bane NOR og NSB sine RCM-analyser
 - Et sett med TOPP-hendelser (totalt 10 for sikkerhet og punktlighet)
 - Beskrivelse av barrierer (mot TOPP-hendelsene)
 - Konsekvenser, gitt TOPP-hendelsene er fast

FMECA eksempel: Rød lyspære



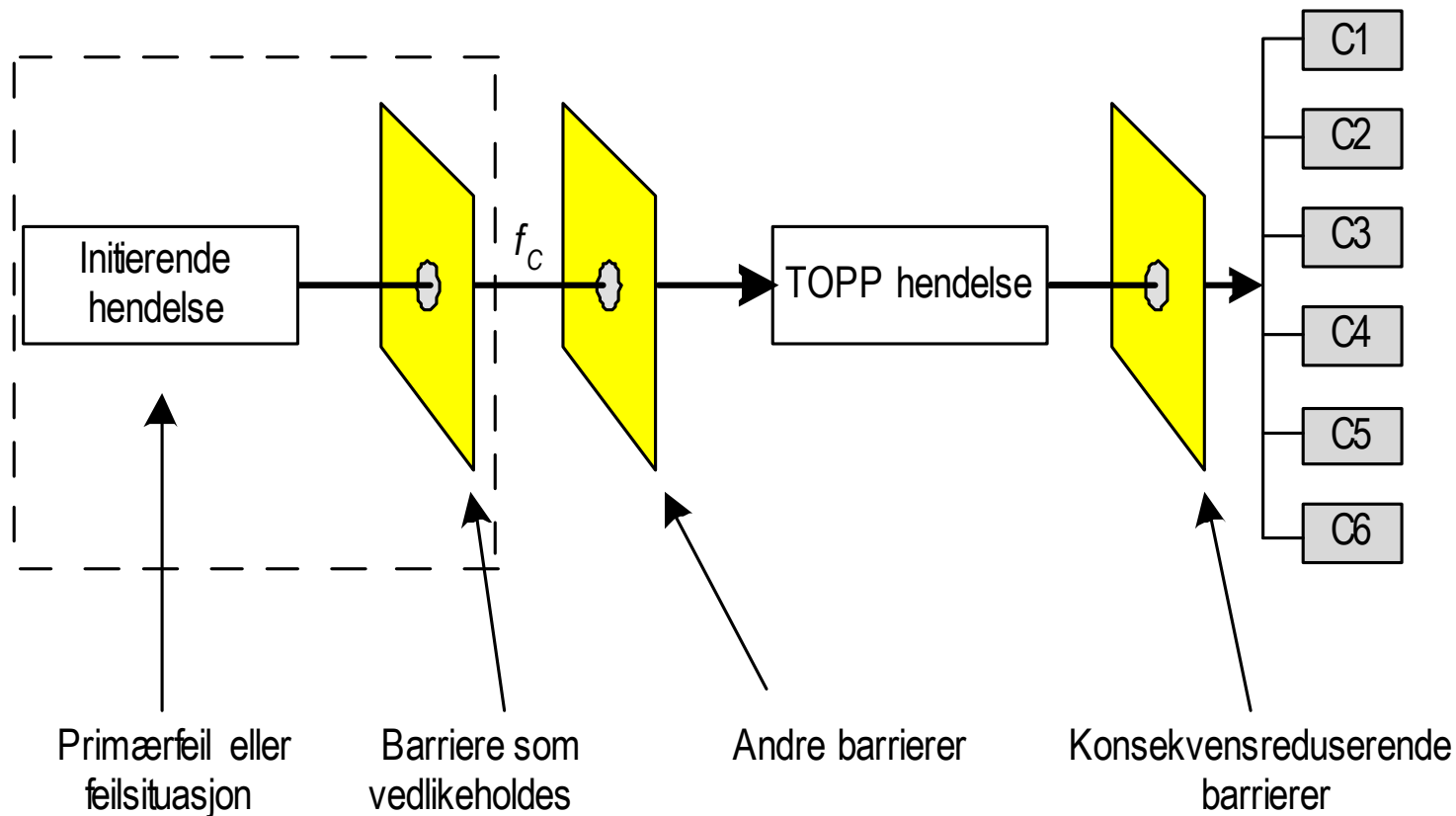
- Komponent
 - Rød lyspære, hovedsignal
- Funksjoner
 - Gi lokfører beskjed om "STOPP"
 - Gi "sikringsanlegget" beskjed om at blokka kan stilles
- Feilmode
 - Lyspære lyser ikke
- Feilårsaker
 - Utbrent pære, kortslutn. rødlystrafo, ledn.feil, lampeholder
- Effekt
 - Sikkerhet: Kan gi kollisjon Tog-Tog
 - Punktlighet: Blokka kan ikke retningsstilles, forsinkelser

FMECA eksempel: Rød lyspære

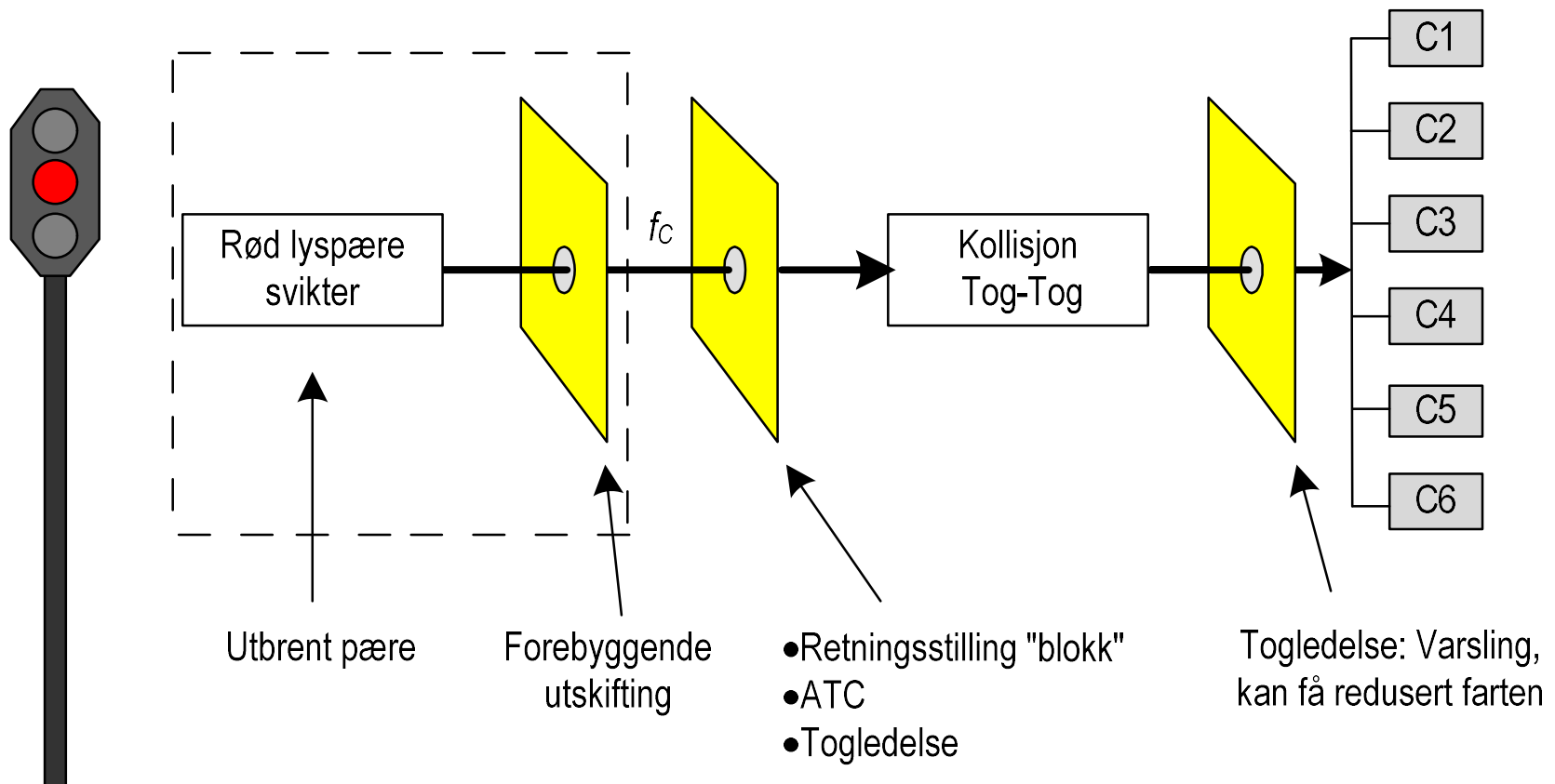


- Komponent
 - Rød lyspære, hovedsignal
- Funksjoner
 - Gi lokfører beskjed om "STOPP"
 - Gi "sikringsanlegget" beskjed om at blokka kan stilles
- Feilmode
 - Lyspære lyser ikke
- Feilårsaker
 - Utbrent pære, kortslutn. rødlystrafo, ledn.feil, lampeholder
- Effekt
 - Sikkerhet: Kan gi kollisjon Tog-Tog
 - Punktlighet: Blokka kan ikke retningsstilles, forsinkelser

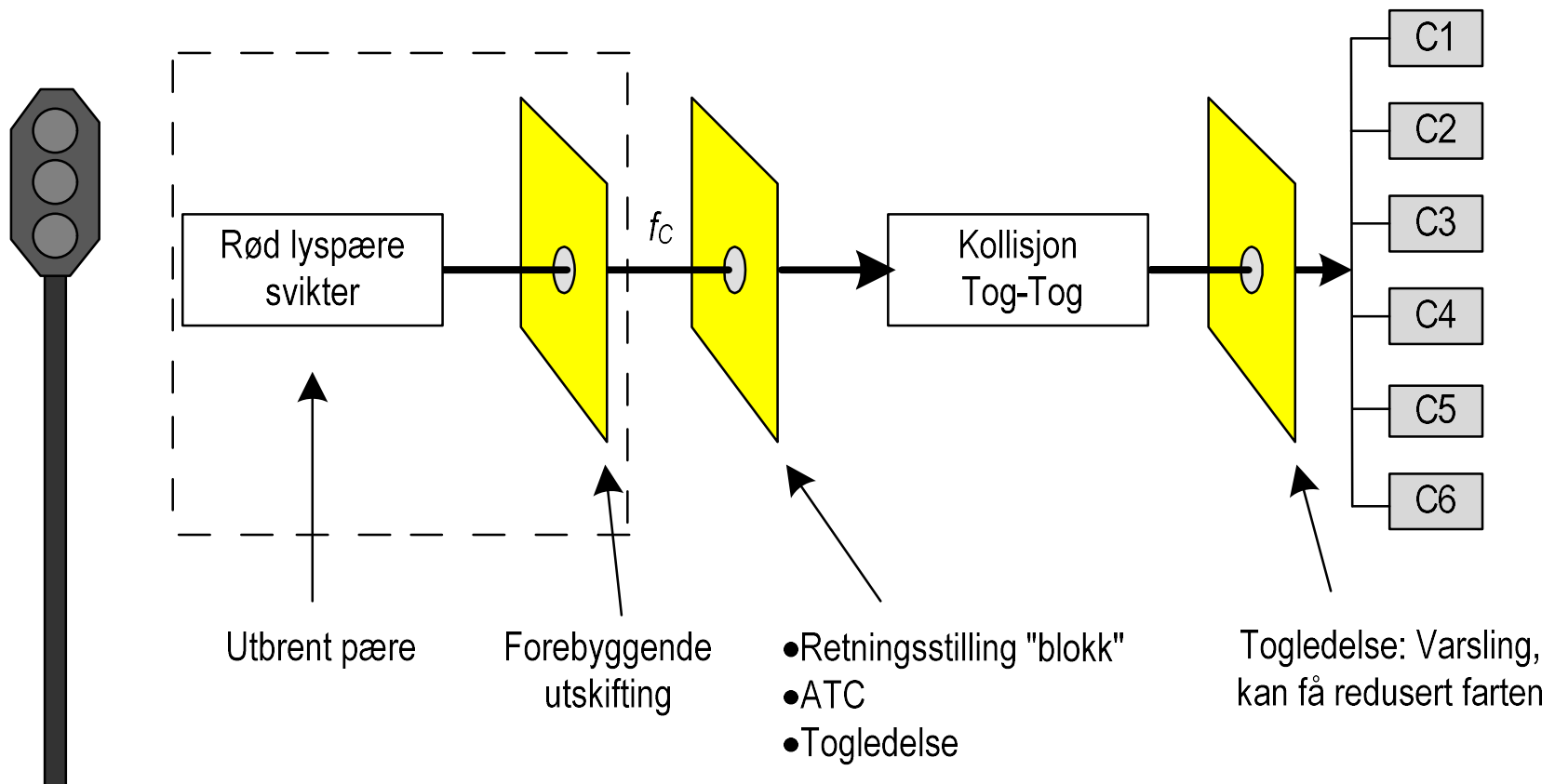
Standard-modell for RCM



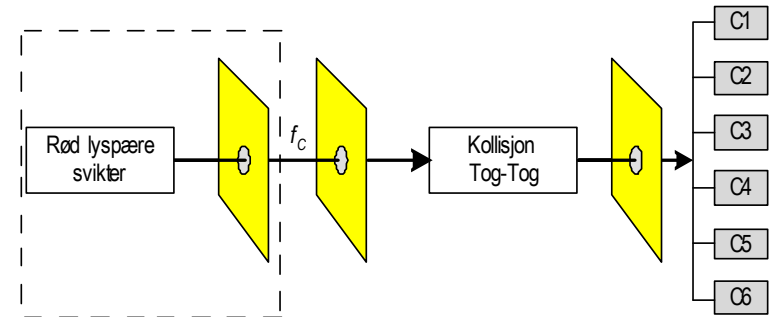
Eksempel: Rødlyspære



Eksempel: Rødlyspære

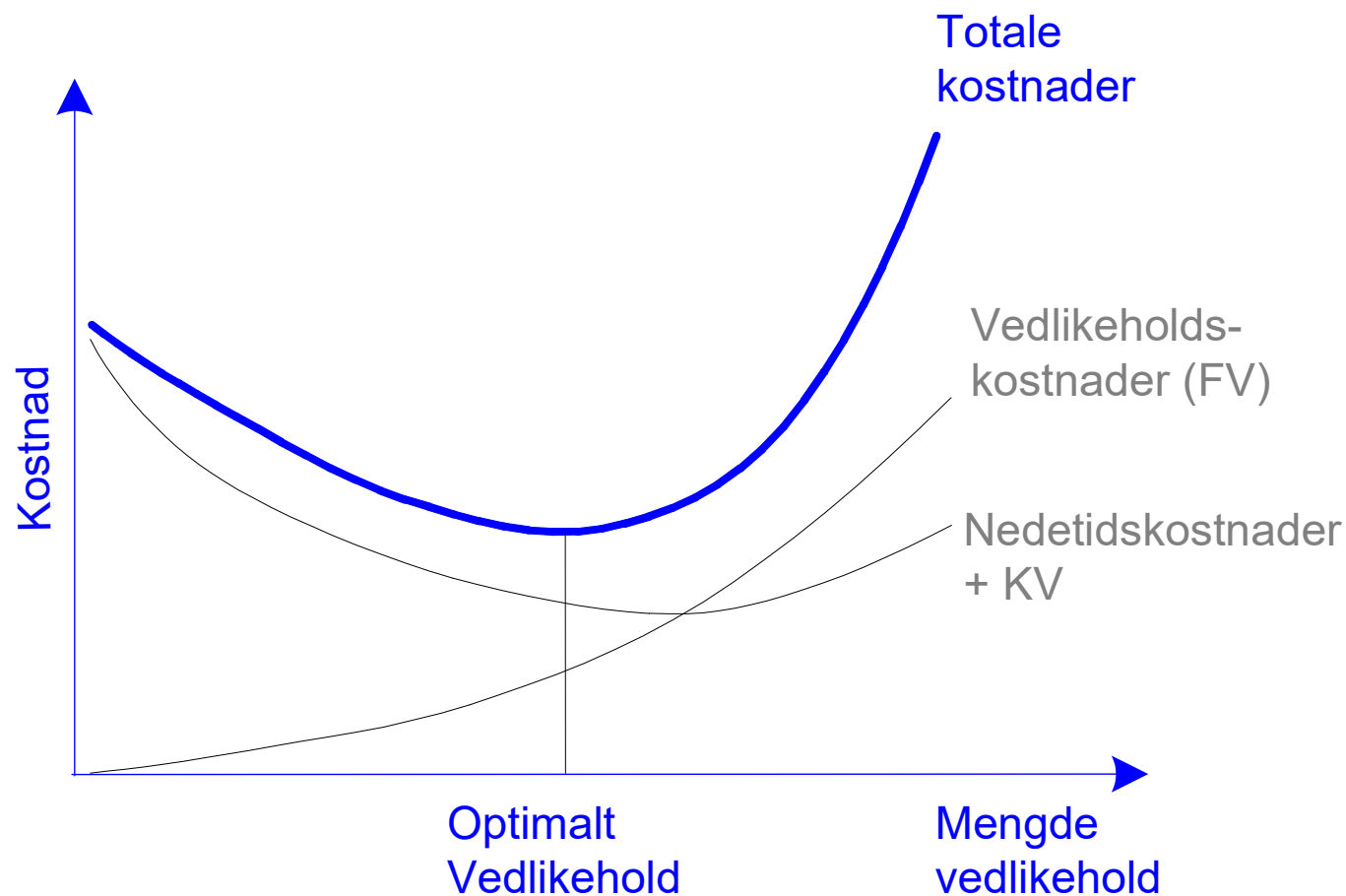


Optimalisering – Hva skal til?

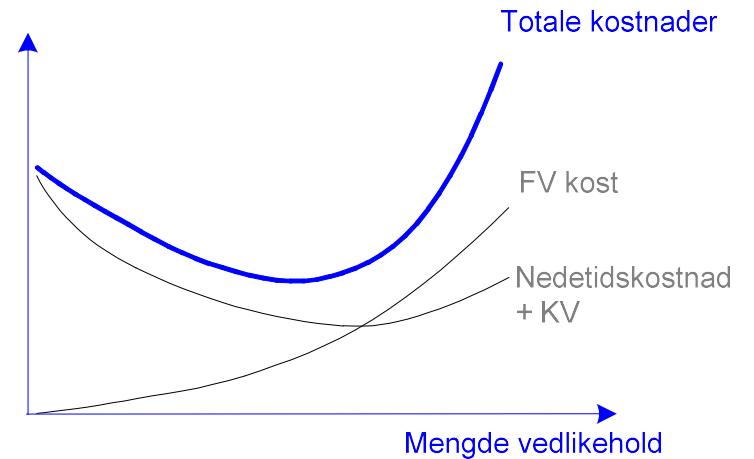


- **Kostnad** for å utføre en FV
- **Kostnad** for å utføre en KV
- **Sannsynlighet** for at vi får systemsvikt (TOPP)
- **Konsekvens** av systemsvikt
 - Sikkerhet (kroneverdi)
 - Punktlighet/tilgjengelighet (kroneverdi)
 - Materielle tap (havari med mer)
- Vi kan nå finne **totale** kostnader
- Trenger beregningsverktøy (f eks OptiRCM)

Optimalt vedlikeholdsintervall



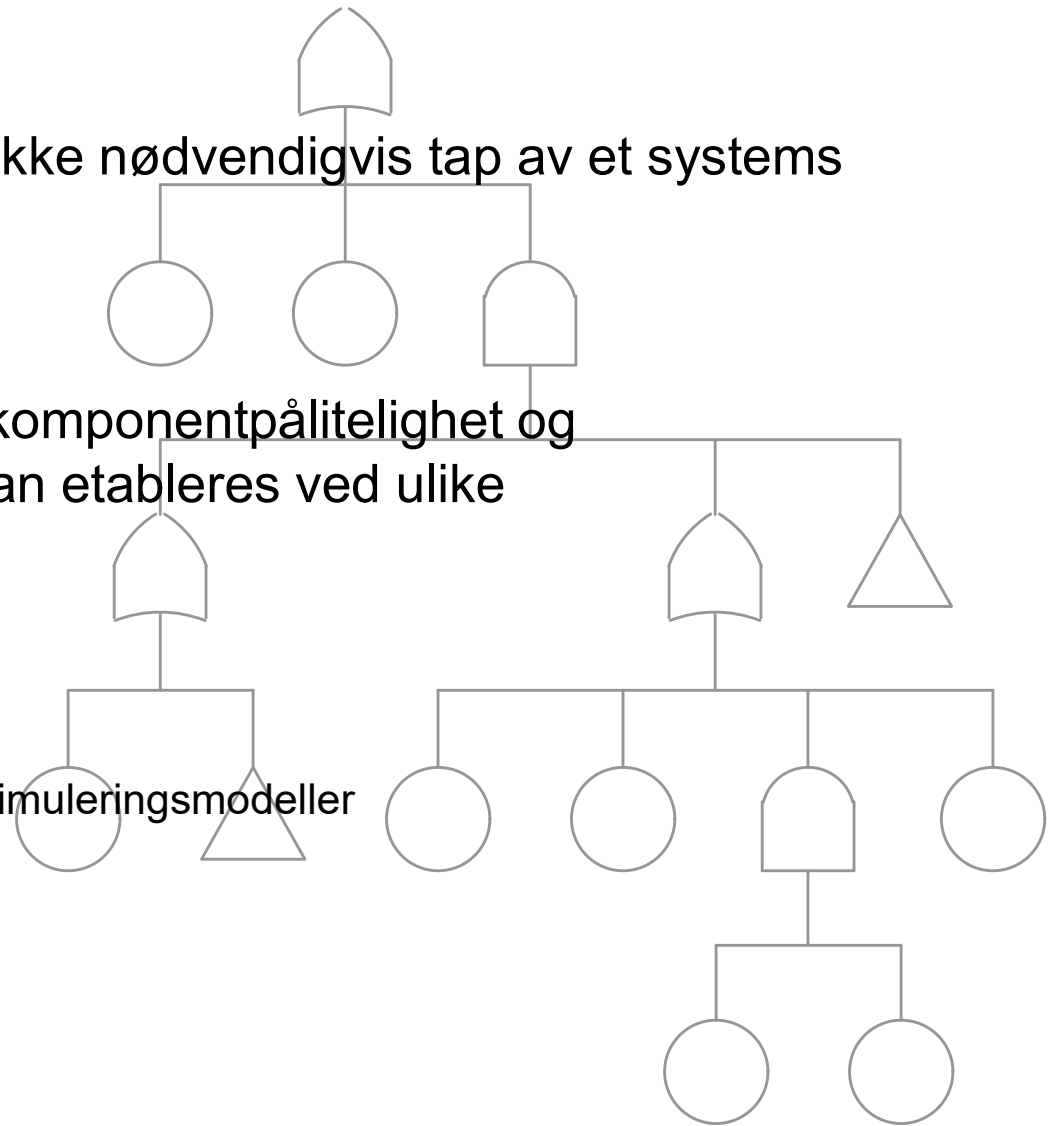
Øving



- Hvorfor stiger FV kost som funksjon av mengde vedlikehold?
- Hvorfor avtar nedetidskost+KV, for så å stige igjen?

Systemanalyse

- En komponentsvikt gir ikke nødvendigvis tap av et systems hovedfunksjon pga
 - Redundans
 - Buffere (mellomlager)
- Sammenheng mellom komponentpålitelighet og systemtilgjengelighet kan etableres ved ulike systemmodeller:
 - Feiltreanalyse
 - Hendelsestreanalyse
 - Markovmodeller
 - Generelle Monte Carlo simuleringsmodeller



OptiRCM

- NSB og JBV har sammen med NTNU/SITNEF utviklet et verktøy for å optimalisere vedlikeholdsintervaller
- Tar utgangspunkt i kvalitative RCM analyser
- Ved å angi en del tilleggsinformasjon kan intervaller optimaliseres

Presentasjon av RCM-spesifikasjoner

RCM element
Rullelager;Overfører ikke krefter

IRMA:
Løpeverk; HJULSATS; LAGER(020710)

FV aktivitet
Smøring av lager

RCM-Komponent

Effektiv feilrate=
0.0001687423

Initierende hendelse Frekvens = 1.000

pTH-S
0.5

TOPP Sikkerhet

AVS

Frekvens
8.44E-05

0.1
c1

0.1
c2

0.1
c3

0.05
c4

FV beskrivelse

PKV
PO
TK-V
TK-F
TK-M
TK-K
TK-G

λ
1

Aldring
4

t0
0.3

MTTF
1

Intervall
0.4

FV Kostnad
2 500

KV Kostnad
75 000

Grunnlagsdata FV kostnad

timer "Setup"

timer "Komp."

Mat. kostnad:

pTH-P
1

TOPP Punktlighet

FST-IT

Frekvens
0.0001687

JustFakt
1

Togmin|TOPP
60

PLL
4.3E-05

Person kost
956

Materielle kostnader
844

Togminutt
0

Minuttkostnader
12

FV-kostnader
6 250

KV-kostnader
13

Totale kostnader Σ=
8 074

Record:
1
of 1 (Filtered)

Eksempel på resultat

Kostnad i kroner

