Universitetet i Agder
Fakultet for Teknologi og Realfag

E K S A M E N

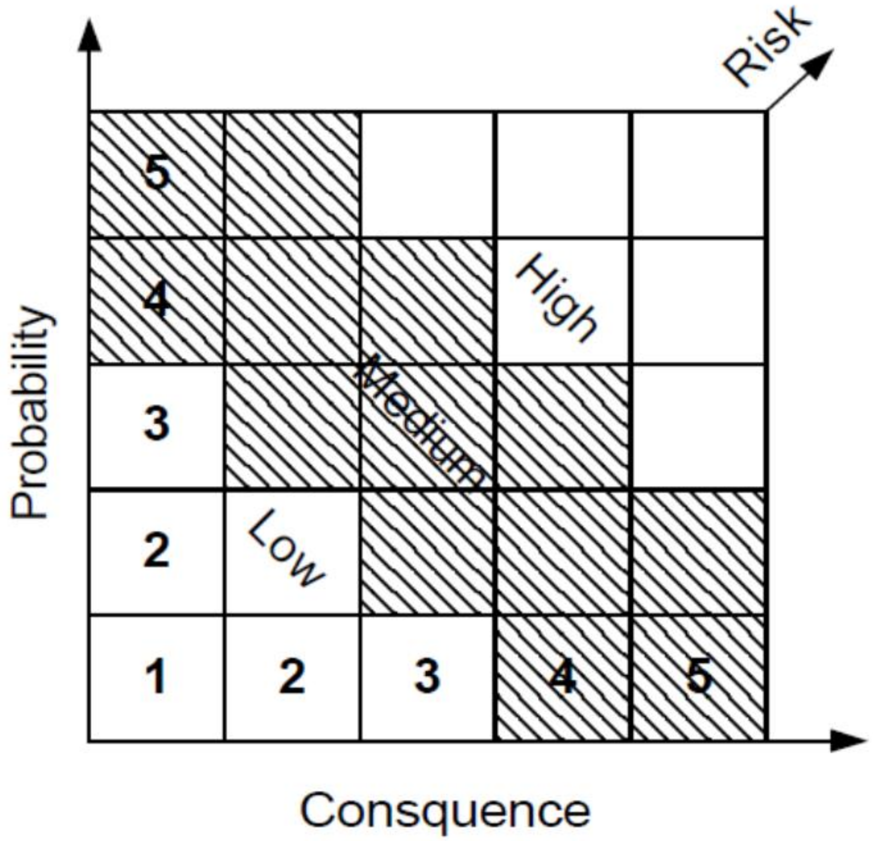
Emnekode:	**IND422**
Emnenavn:	Teknisk risiko og mulighetsledelse
Dato:	25. november 2016
Varighet:	0900 – 1300
Antall sider inkl. forside	Inneholder 3 oppgaver på i alt 8 sider (med denne forsiden)
Tillatte hjelpemidler:	Tegne og skrivesaker og kalkulator med grafikk. I et tillegg etter oppgavene er det gitt viktige formler til støtte for arbeidet med å besvare oppgavene
Merknader:	***Alle tre oppgavene vektlegges like mye ved bedømming***

Faglærer Tom Lassen tlf. 98233288

Oppgave 1

Ved utvikling og kvalifisering av ny teknologi med krav til høy pålitelighet bruker en ofte DNVGL guiden RP A203 som grunnlag. Vi skal i denne oppgaven se nærmere på denne anbefalte metodikken.

a) Aller først skal du kort definere begrepene pålitelighet og risiko. En såkalt risikomatrise er vist på figur 1. Forklar kort de tre hovedområdene i matrisen. Forklar deretter kort begrepene risiko reduserende tiltak (Risk Reduction Mesures-RRM), ALARP og Kost-Nytte beregning.



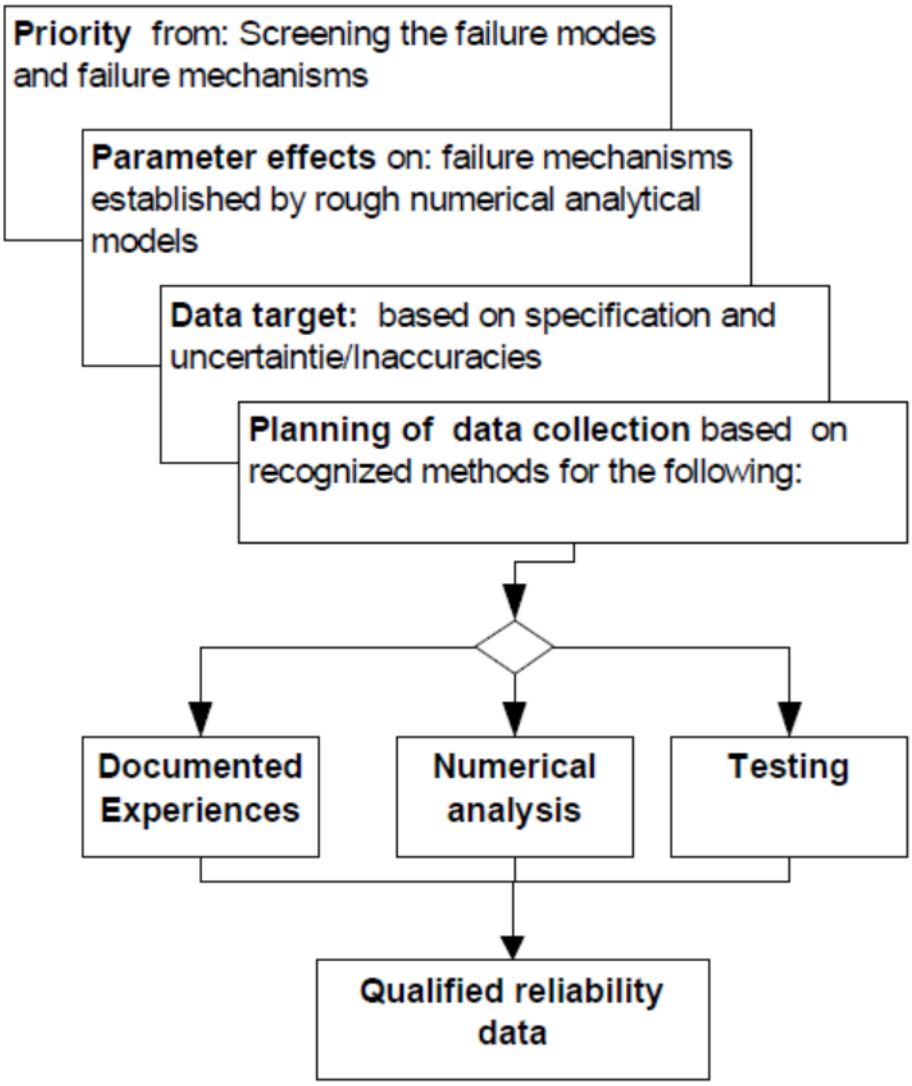
Figur 1 Risikomatrise

b) På figur 2 er vist en tabell som danner utgangpunktet for den planlagte kvalifiseringen av en teknologisk enhet. Forklar meget kort innholdet i tabellen og hva tallene betyr. Du kan gjerne gi noen eksempler.

Application area	Technology		
	Proven	Limited field history	New or unproven
Known	1	2	3
New	2	3	4

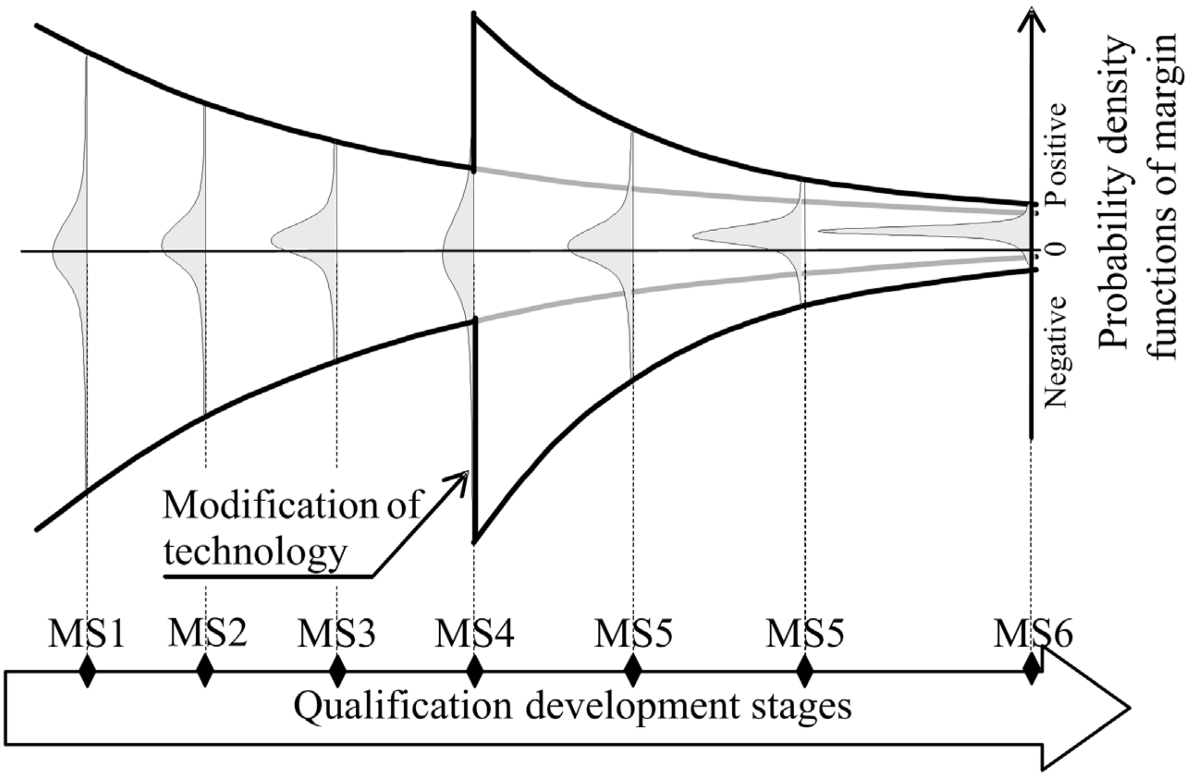
Figur 2 Tabell for vurdering av ny teknologi

c) Basert på vurderingene fra tabellen i figur 2 legger en opp en plan slik som vist på figur 3. Du skal kort forklare innholdet i hver boks og henvise til aktuelle teknikker vi har gjennomgått i vårt kurs som kan være nyttige verktøy for temaet gitt i hver av boksene (Hint: med Data Target menes gitte mål for påliteligheten, se også høyre side av figur 4)



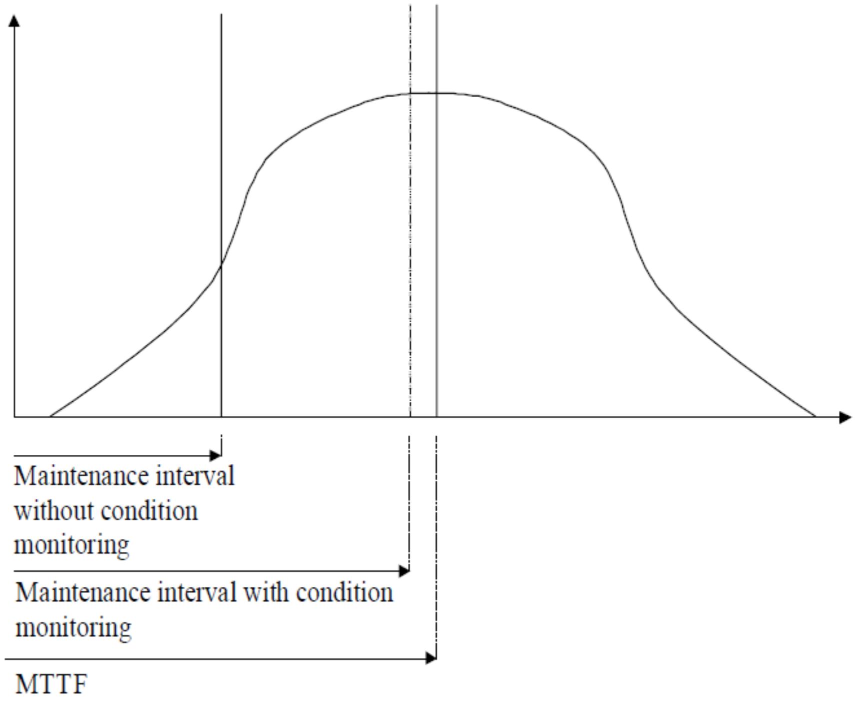
Figur 3 Oversikt over oppgaver i kvalifiseringsprosessen

d) Figur 4 viser hvordan levetidsmodellen enheten forandrer seg i løp av kvalifiseringen. Vi kan her definere det vertikale nullpunktet som planlagt service tid (Target Service Life). Du skal kort forklare figuren, spesielt der det skjer endringer. Vis hvordan påliteligheten kan bestemmes ut fra frekvens funksjonen til høyre i diagrammet



Figur 4 Endring av levetidsmodell for en gitt enhet på forskjellige trinn i utviklingen av teknologien.

e) Definer til slutt begrepet kontinuerlig tilstandsovervåkning (Condition Monitoring CM) og gi en kort forklaring til figur 5



Figur 5 Utskiftings intervall med og uten Condition Monitoring

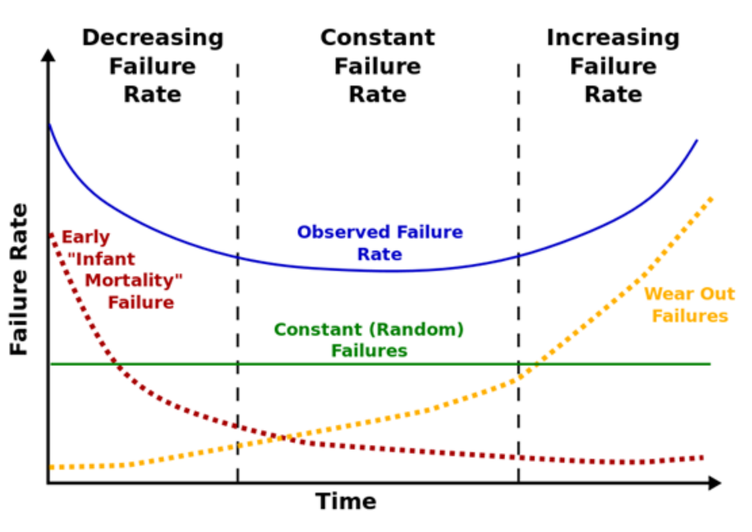
Oppgave 2

I høst har det vært store skader på strømnettet i Agder p.g.a. uvær med storm. Misfornøyde forbrukerne har vært uten strøm i dagevis og energiselskapet har tapt penger og fått kritikk. Typiske skader på linjene er vist på figur 6. Som vi ser har tre falt over høyspentledningene. For å bedre tilgjengeligheten av strømnettet må leverandøren planlegge å utføre systematisk preventivt vedlikehold og dessuten ha en god beredskapsplan for å opprette eventuelle skader.

a) Illustrer virkningen av de to risikoreduserende tiltakene *Preventivt vedlikehold* og *Beredskapsplan* i risikomatrisen i oppgave 1.

b) Et viktig planleggingsverktøy for preventiv vedlikehold av en enhet er å kartlegge sviktintensitetsforløp for mulige sviktmekanismer og å etablere levetidsmodellene for komponenter i nettet. Figur 7 viser mulige forløp av sviktintensiteten for forskjellige skademekanisme på en teknisk enhet, f eks en strømledning som er vist i figur 6. Du skal velge 3 av de mulige kurvene og forklare for hvilke tilfeller et slikt forløp er karakteristisk. Angi også mulige preventive vedlikeholdstiltak som kan minske sviktintensiteten. Hvilket forløp karakteriserer uværskadene og sviktmekanismene for høyspenningsledningen som er omtalt i innledningen til denne oppgaven? Har du et konkret forslag til hvordan denne sviktintensitetskurven kan forbedres (senkes)?

Figur 6 Linjearbeidere håndterer høyspenningsledning som er tatt av trefall



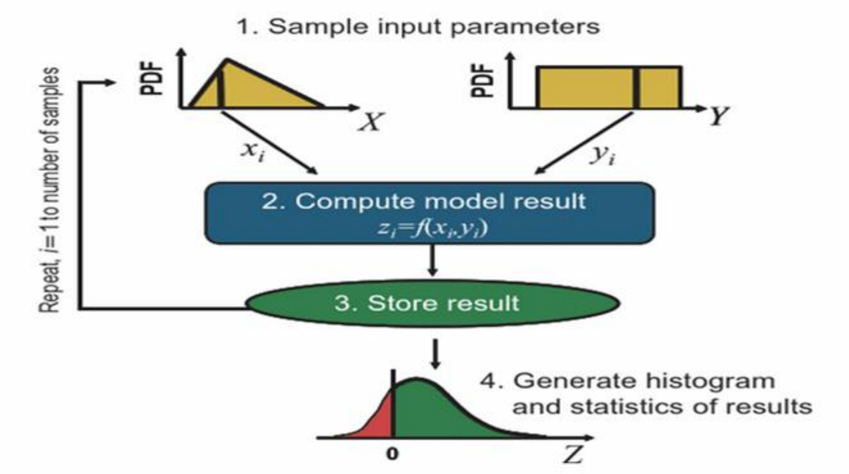
Figur 7 Mulige forløp av sviktintensiteten

c) Vi skal fortsatt ta for oss tilfellet med tilfeldige skader ved stormvær som vist i figur 6. En nettleverandør har erfaring som viser at samlet sviktintensitet for slike hendelser for hele nettanlegget er konstant $\lambda = 0.5$ 1/år. Tiden til svikt følger dermed en Weibull modell med $\theta=2$ år. Vi ser bort fra eventuell variasjoner med årstidene. Skadens omfang målt i penger kan også modelleres med en Weibull modell med m=2, mens tiden som går med til reparasjon har en Weibull modell med m=1.5. Nødvendige data for de tre modellene er gitt i tabellen i figur 8. Ved utilgjengelighet over 12 timer blir nettleverandøren økonomisk ansvarlig med et straffegebyr som samlet tilnærmet er nær 1 MNOK per timer over 12 timer. Basert på denne beskrivelsen ønsker leverandøren å simulere kostandene over ett år som grunnlag for årsbudsjettet for drift.

Variable	Θ	m
Time to failure	2 [years]	1
Extent of damage	2 [MNOK]	2
Time to Repair	8 [Hours]	1.5

Figur 8 Data for de stokastiske variablene i kostnader knyttet til uvær

Du skal sette opp en simuleringsmodell for kostnadsberegningen basert på Monte Carlo metoden. Du kan støtte deg til den generelle skissen i figur 9 og vise hvordan denne blir for det gitte konkrete tilfellet. Du kan supplere med kort forklarende tekst. Vis prinsipielt hvordan den tilfeldige trekningen utføres. Foreta til slutt to tilfeldige trekninger av variablene i figur 8 og foreta en beregning for tilhørende utfall for kostnadene. Ved den første trekning antar du at omfanget av skaden og tid til reparasjon ikke er korrelert. I den andre trekningen skal du anta 100 % korrelasjon. Lag til slutt en skisse over hovedresultatet for en full simulering og diskuter kort hvordan resultatet skal brukes.



Figur 9 Prinsipp skisse for Monte Carlo simulering.

Oppgave 3

I denne oppgaven skal du estimere skadeutviklingen i et gir ved å bruke en modell basert på Markov kjeder.

a) Gi først en kort forklaring på preventive vedlikeholdsplaner som baseres på periodisk ubetinget utskifting og på periodisk inspeksjon med betinget utskifting. Begge alternativene skal utføres ved et gitt tidsintervall T. Diskuter kort forutsetningene for at en inspeksjonsplan skal være brukbar og effektiv.

b) Giret kan forenklet karakteriseres ved tre tilstander

Tilstand G: God
Tilstand P: Potensiell feiltilstand

Tilstand F: Feiltilstand

Tilstandsutviklingen er modellert ved en Markov-kjede der transformasjonsmatrisen for ett år er gitt ved:

$$Q = \begin{bmatrix} 0.95 & 0.05 & 0 \\ & 0.6 & 0.4 \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

Det planlegges enten ubetinget utskifting eller inspeksjon med betinget utskifting ved 2 år. Ved inspeksjon vil en bare skifte ut giret hvis en påviser tilstand P. Sannsynligheten for å påvise tilstand P er 0.9. Sannsynlighetene for å være i de tre tilstandene som funksjon av tiden er vist på kopi av et regneark på figur 10. For tilfellet uten noen vedlikehold skal du vise hvordan tallene i linje for 2 år er fremkommet basert på tallene fra 1 år. Vis også hvordan tallene etter inspeksjon ved 2 år fremkommer fra linjen over. Tallen for alternativet med ubetinget tidsbasert utskifting uten inspeksjon kan du også bestemme ut fra de gitte tallene.

c) Lag en skisse av akkumulert sannsynlighet for feiling F(t) som funksjon av tid for de tre tilfellene (uten vedlikehold, ubetinget utskifting og inspeksjon) og gi en kort forklaring av forløpene

d) Det skal tas en beslutning om hvilken vedlikeholdsplan en skal velge for det aktuelle giret. Som grunnlag for avgjørelsen skal du utføre en Kost-Nytte analyse for de to tilfellene basert på henholdsvis ubetinget planlagt preventiv utskifting og planlagt inspeksjon med betinget utskifting. Basert på resultatet av analysen skal du gi en anbefaling av hvilken vedlikeholds strategi en bør velge. Følgende data er gitt:

Kostnad for inspeksjons utstyr og arbeid	kr	10 000
Kostnad ved preventiv utskifting	kr	50 000
Kostnad ved feiling (inklusive utskifting)	kr	500 000

I beregningene behøver du ikke å diskontere årlige beregnede verdier til null punktet. (altså kan du anta at (1+R)=1.0)

a)Resultater uten inspeksjon eller utskifting			
1	0	0	START
0,95	0,05	0	1 ÅR
0,9025	0,0775	0,02	2 År
0,857375	0,091625	0,051	3 ÅR
0,81450625	0,09784375	0,08765	4 ÅR
b)Resultater med inspeksjon og utskifting ved funn			
1	0	0	START
0,95	0,05	0	1 ÅR
0,9025	0,0775	0,02	2 ÅR
0,972	0,008	0,020	2 ÅR post
0,9236375	0,0532625	0,0231	3 ÅR
0,87745563	0,07813938	0,044405	4 ÅR

Figur 10 kopi av beregninger på regneark

SLUTT PÅ OPPGAVER

ANNEX A Useful formulas for IND422 Technical risk (Rev 20.11.2016)

The Weibull Model is given by:

$$f(t) = \frac{m}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{m}} \qquad , \; t \geq 0$$

$$f(t) = 0 \qquad , \; t < 0 \qquad (1)$$

The parameters m and θ are the shape and scale parameter respectively. The reliability is given by:

$$R(t) = 1 - F(t) = \underline{\underline{e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{m}}}}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\left(\frac{m}{\theta}\right)\left(\frac{t}{\theta}\right)^{m-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{m}}}{e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{m}}} = \underline{\underline{\left(\frac{m}{\theta}\right)\left(\frac{t}{\theta}\right)^{m-1}}} \qquad (2)$$

Mean value and standard deviations can be found from:

$$E(t) = \mu_t = \theta\Gamma(1 + \tfrac{1}{m}) \qquad (3)$$

$$m \approx Vt^{-1,08} = \frac{1}{Vt^{1,08}} \qquad (4)$$

$\Gamma(x)$ is the Gamma - funksjonen av x.

Extreme value among n waves:

$R(x_{max})=1/n$ (5)

Reliability of an inspection program:

$$R = 1. - \prod_{i=1}^{k}\left[1. - POD(a_i)\right] \qquad (6)$$

Basic equation for Markov Chains

Damage state vector:

$$\mathbf{P}(t) = \{p_t(1), p_t(2), p_t(3)\ldots. p_t(b)\} \quad , \qquad \sum_{j=1}^{b} p_t(j) = 1 \qquad (7)$$

Probability Transition Matrix (PTM) **Q** which reads:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ 0 & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ 0 & 0 & q_{33} & q_{34} \\ 0 & 0 & 0 & q_{44} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\mathbf{P}(t+\Delta t) = \mathbf{P}(t)\mathbf{Q}$$

$$\mathbf{P}(t) = \mathbf{P}(0)\mathbf{Q}^{k} \quad (9)$$

where k=t/Δt

$$F(t) = p_t(t) \quad (10)$$

Influence of planned inspections

$$P_R(t_{post}) = \sum_{j=1}^{b-1} p_{tprior}(j)POD(j) \quad (11)$$

Reliability of discard task maintenance program

$$\begin{aligned} &\mathrm{R_M(t) = R(t)} \quad , \quad 0 \le \mathrm{t} \le \mathrm{T} \\ &\mathrm{R_M(t) = R(T) \times R(t-T)} \quad , \quad \mathrm{T \le t \le 2T} \\ &\mathrm{R_M(t)} = [\mathrm{R(T)}]^{\mathrm{N}} \times \mathrm{R(t-NT)}, \quad \mathrm{NT \le t \le (N+1)T} \end{aligned} \quad (12)$$

Optimum planned discard interval

$$\mathrm{T_o} = \theta \left[\frac{\mathrm{C_p}}{\mathrm{(m-1)C_f}} \right]^{\frac{1}{\mathrm{m}}} \quad (13)$$

Equation for emergency spares

$$P(\mathbf{n} \le N_S) = \sum_{n=0}^{n=N_S} \frac{(\lambda\, t)^n}{n!} e^{-\lambda\, t} \ge P_L \quad (14)$$

Basis for Monte Carlo simulation random draw

Based on a random uniform distributed number R 0 and 1.0

Rectangular variable sample x = a + (b-a) R (15)

Weibull variable sample $x = \theta[-\ln(1-R)]^{1/m}$ (16)

Equations for NPV and CBA analysis

Net Present Value for a project over N years (using the notations in NORSOK Z013):

$$NPV = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{AI_n}{(1+R)^n} - \sum_{n=1}^{n=N} \frac{1}{(1+R)^n}(RC_n + IC_n) \quad (17)$$

der:

n The actual year

AI_n Annual Income year n (årlige driftsinntekter)

RC_n Annual Cost year n(løpende årlige kostnad drift og vedlikehold)

IC_n Annual Investment year n (investeringskostnader i år n, ofte bare for n=1)

R Interest rate

For a Cost Benefit analysis the change in Life Cycle Costs (LCC) related to a given Risk Reduction Measure (RRM) is considered

$$\Delta LCC = \sum_{n=1}^{N} \frac{1}{(1+R)^n} \sum_{j=1}^{3} [\Delta C_{nj} V_j(C) - RC_n - IC_n] > 0 \quad (18)$$

RC_n og IC_n er nå kostander knyttet til RRM. ΔC_{nj} is the difference in expected cost for risk event (failure costs) for risk dimension no j. This term can be written:

$$\Delta C_{nj} = f_{nj}^{i} C_{nj}^{i} - f_{nj}^{RRM1} C_{nj}^{RRM2} \quad (19)$$

where:

f_{nj} is the probability over year no n for risk dimension no j

C_{nj} is the risk consequence in year no n for risk dimension no j

The risk dimensions are defined:

J=1 Safety, loss of lives

J=2 Environmental impact, pollution

J=3 Operational consequence, economical loss

The superscript i denoted values without any RRM, whereas the superscript RRM1 and RRM2 denoted RRM of type 1 (probability reduction for the event) and RRM2 (consequence mitigation for the event)

In cases where consequences C_{nj} are not given in money the factor V_j is needed for a transformation into money.

If the RRM1 is planned inspection the probability reduction per year n can be found from

$$\begin{aligned} f_{n3}^{i} &= F(n) - F(n-1) \\ f_{n3}^{RRM1} &= F_M(n) - F_M(n-1) \end{aligned} \quad (20)$$

As can be seen the probability of failure per year is found by subtracting the accumulated portability of failure at the start of the year from the accumulated portability of failure at the end of the year. We have assumed only risk dimension j=3, i.e. economical loss is the only potential consequence. The cumulative distribution function F(n) is obtained from the life model for the technical item we are considering. The subscript M is added as an indication that planned inspection and associated repair is planned and carried out at given time intervals T. The shapes of the curves without and are given in Figure 1. In this schedule inspection case we do not foresee any change in the consequence of failure, i.e. we do not have any RRM of type 2.

.

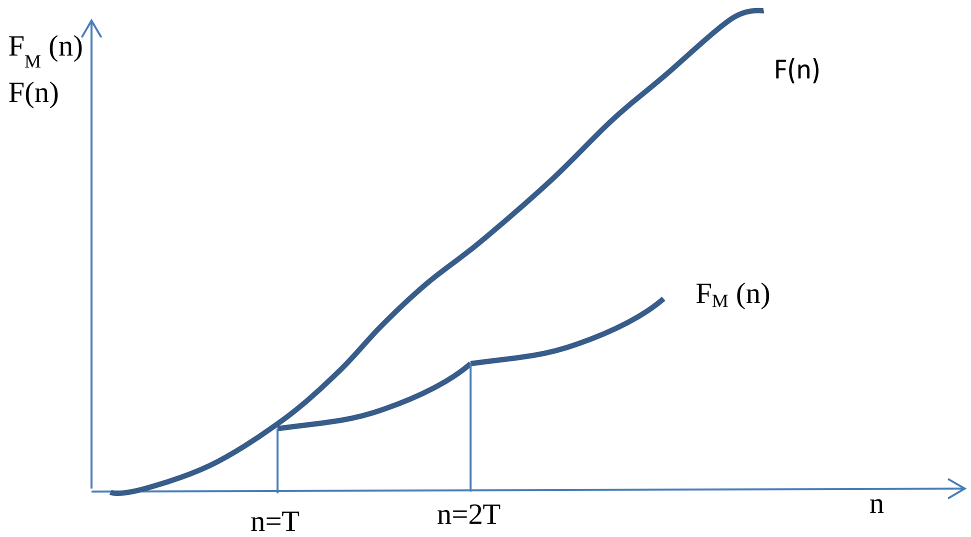


Figure A1 Accumulated probability of failure with and without planned inspection

If a Markov chain is used for inspection planning and probability calculations we can use the models above by setting $F(n)=p_n(b)$. The $p_n(b)$ is the probability of being in the failure state b at time t=n (years). This probability will of course also change when inspection is planned and carried out.