

Vedligeholdelsespolitikker for anlæg med stokastisk sammenbrud

Af Preben Sander Kristensen^{*)}

Artiklen tager udgangspunkt i en systematisering af virksomhedens vedligeholdelsesproblemer. Princippet i vedligeholdelsespolitikker for anlæg med stokastisk sammenbrud vises i traditionel økonomisk modelform, og der diskuteres eksempler på løsninger af hovedtyper af problemer, idet nogle af de eksisterende »standard«-løsninger vises at være belastet af at have udgangspunkt i resultaterne af den forskning, der er sket med henblik på løsning af større tekniske (fortrinsvis militære) problemer og derfor ikke inddrager omkostningsstørrelser i en grad, der svarer til erhvervsøkonomiens almindelige kriterier. Til slut vises anvendelsen af Bayes teorem i en vedligeholdelsespolitik, der inddrager de relevante omkostningsstørrelser, og som nyttiggør den i praksis ofte forekommende ufuldstændige information.

Resumé

1. Indledning

Forskningen vedrørende vedligeholdelsespolitikker for anlæg med stokastisk sammenbrud har fortrinsvis haft som mål at tilvejebringe løsninger på konkrete vedligeholdelsesproblemer for større (fortrinsvis militære) tekniske anlæg. Forskningens objekt har været på et niveau, der ligger over den almindelige virksomheds og har ikke haft sigte på opbyggelse af et generelt anvendeligt teorisystem.

I modsætning til den eksisterende litteratur vil artiklen ikke tage udgangspunkt i denne forsknings resultater, men i virksomheden. Herved bliver det muligt at bevæge sig den logiske vej fra virksomhedens problemer og frem til disses mulige løsninger, ligesom der undgås den risiko der findes ved anvendelse af »avancerede standard løsninger«, nemlig risikoen for, at den fundne løsning er løsningen på et problem, der kun tilsyneladende er identisk med ens eget.

¹⁾ H.A. 1970. Artiklen indsendt 1971.

Vedligeholdelsespolitikker for anlæg med stokastisk sammenbrud

Af Preben Sander Kristensen^{*)}

Artiklen tager udgangspunkt i en systematisering af virksomhedens vedligeholdelsesproblemer. Princippet i vedligeholdelsespolitikker for anlæg med stokastisk sammenbrud vises i traditionel økonomisk modelform, og der diskuteres eksempler på løsninger af hovedtyper af problemer, idet nogle af de eksisterende »standard«-løsninger vises at være belastet af at have udgangspunkt i resultaterne af den forskning, der er sket med henblik på løsning af større tekniske (fortrinsvis militære) problemer og derfor ikke inddrager omkostningsstørrelser i en grad, der svarer til erhvervsøkonomiens almindelige kriterier. Til slut vises anvendelsen af Bayes teorem i en vedligeholdelsespolitik, der inddrager de relevante omkostningsstørrelser, og som nyttiggør den i praksis ofte forekommende ufuldstændige information.

Resumé

1. Indledning

Forskningen vedrørende vedligeholdelsespolitikker for anlæg med stokastisk sammenbrud har fortrinsvis haft som mål at tilvejebringe løsninger på konkrete vedligeholdelsesproblemer for større (fortrinsvis militære) tekniske anlæg. Forskningens objekt har været på et niveau, der ligger over den almindelige virksomheds og har ikke haft sigte på opbyggelse af et generelt anvendeligt teorisystem.

I modsætning til den eksisterende litteratur vil artiklen ikke tage udgangspunkt i denne forsknings resultater, men i virksomheden. Herved bliver det muligt at bevæge sig den logiske vej fra virksomhedens problemer og frem til disses mulige løsninger, ligesom der undgås den risiko der findes ved anvendelse af »avancerede standard løsninger«, nemlig risikoen for, at den fundne løsning er løsningen på et problem, der kun tilsyneladende er identisk med ens eget.

¹⁾ H.A. 1970. Artiklen indsendt 1971.

1.1. Begrebet vedligeholdelsespolitik placeret organisatorisk i virksomheden

Ved formuleringen af virksomhedens handlingsprogram vil der blive opstillet regler for udøvelsen af de enkelte funktioner i virksomheden. En del af disse funktioner kan sammenfattes under gruppen »vedligeholdelse af virksomhedens anlæg«, og reglerne for udøvelsen af denne funktion benævnes vedligeholdelsespolitik.

Grundlaget for vedligeholdelsespolitikken fastlæggelse er dels systemet af ressourcer (anlæggets art) og dels beslutningstagerens målsætning. Hensigten er at finde den i forhold til disse to udgangspunkter optimale vedligeholdelsespolitik. Der opstilles altså en normativ politik på grundlag af to deskriptive modeller. Når dette kan lade sig gøre, skyldes det at den ene af modellerne er en deskriptiv model af beslutningstagerens normer, kvantificeret i et vurderingskriterium.

1.2. Systematisering

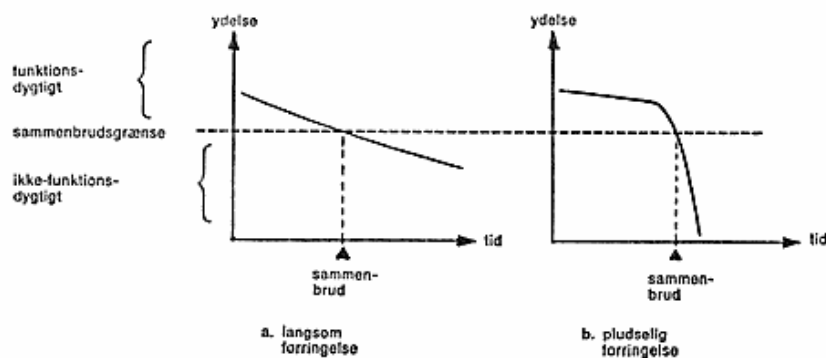
Systematiseringen er opbygget med udgangspunkt i, hvilke *systemer* der kan forekomme i virksomheden, og først derefter er der vist eksempler på, hvilke modeller der kan anvendes derpå.

1.3. Systemet af ressourcer

Systemet af ressourcer er her afgrænset til at omfatte anlæg, der er udsat for stokastisk sammenbrud.

1.3.1. Stokastisk sammenbrud

Et anlæg vil normalt over tiden have en mindsket ydelse. Dette kan ske jævnt over en periode (kurven i figur 1a) eller det kan ske meget pludseligt (kurven i figur 1b). Det er almindeligt kun at lade begrebet sammenbrud dække den sidste type af forringelse (figur 1b), men ved sammenbrud bør der generelt forstås den begivenhed, at anlægget bevæger sig fra at være funktionsdygtigt til at være ikke-funktionsdygtigt. I figur 1a og 1b er med punkterede linjer indtegnet en sådan grænse, og det ses, at der også for figur 1a's vedkommende er tale om et sammenbrud, der kan tidsfæstes præcist på abscisseaksen.

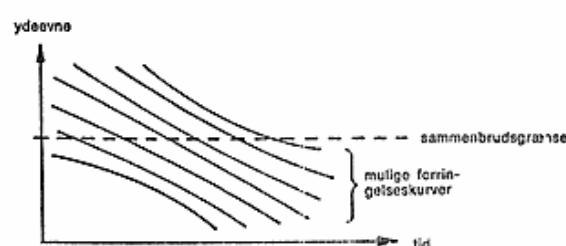


Figur 1.

Når det er almindeligt ikke at betegne hændelser som i figur 1a som sammenbrud, skyldes det utvivlsomt, at sammenbrudsgrænsen ikke opfattes som en grænse men som et område, fordi beslutningstageren i mange tilfælde kan forskyde grænsen for, hvad der anses for funktionsdygtigt. Herved bliver sammenbruddet i figur 1b stadig opfattet som et tidspunkt, men i figur 1a udstrækkes det til et tidsrum. Der er imidlertid ingen grund til at opretholde denne opfattelse af et sammenbrudsområde, da beslutningstageren alligevel til sidst bestemmer sig for en bestemt grænse. Som et illustrerende eksempel kan nævnes spørgsmålet om, hvornår lyset på et kontor skal tændes om aftenen, altså fastlæggelsen af dagslysets sammenbrudsgrænse der uagtet det jævnt aftagende lys fastsættes til det ganske bestemte niveau, hvor man tænder lyset. I det følgende vil sammenbrud betyde enhver begivenhed, hvor et anlæg går fra at være funktionsdygtigt til at være ikke-funktionsdygtigt.

1.3.2. Det stokastiske element

Det stokastiske element er knyttet til hele forringelsesprocessen for anlægget, men da vi her specielt er interesseret i *tidspunktet* for sammenbruddet er det projektionen på abscissen i figur 2, der skal iagttages. Alt efter hvilken af de (uendelig mange) mulige forringelseskurver der realiseres, vil der fremkomme forskellige abscisseværdier for skæringen mellem forringelseskurven og sammenbrudsgrænsen, altså forskellige tidsrum mellem anlæggets start og dets sammenbrud. I det omfang forringelseskurvens beliggenhed for ordinatværdi = sammenbrudsgrænse er en stokastisk variabel, så er det ovenfor nævnte tidsrum også en stokastisk variabel, med en afledet sandsynlighedsfordeling. Det stokastiske element formaliseres traditionelt i følgende udtryk: $F(t) = \text{Pr}(\text{tidsrum indtil sammenbrud} \leq t)$, der udtrykker sandsynligheden for, at der sker sammenbrud indenfor et bestemt tidsrum efter start.



Figur 2.

Det stokastiske element.

Idet fordelingen $F(t)$ er kendt, kan den betingede sandsynlighed for sammenbrud i et interval fra » t « til » $t + \Delta t$ «, givet, at anlægget er funktionsdygtigt i tidspunkt » t «, findes:

$$\lambda(t) = \text{Pr}(\text{sammenbrud i } (t \rightarrow t + \Delta t) | \text{ikke sammenbrud i } (0 \rightarrow t));$$

1.4. Hovedgrupper af systemer

1.4.1. Opdeling efter graden af information om fordelingen for størrelsen »tid indtil sammenbrud«

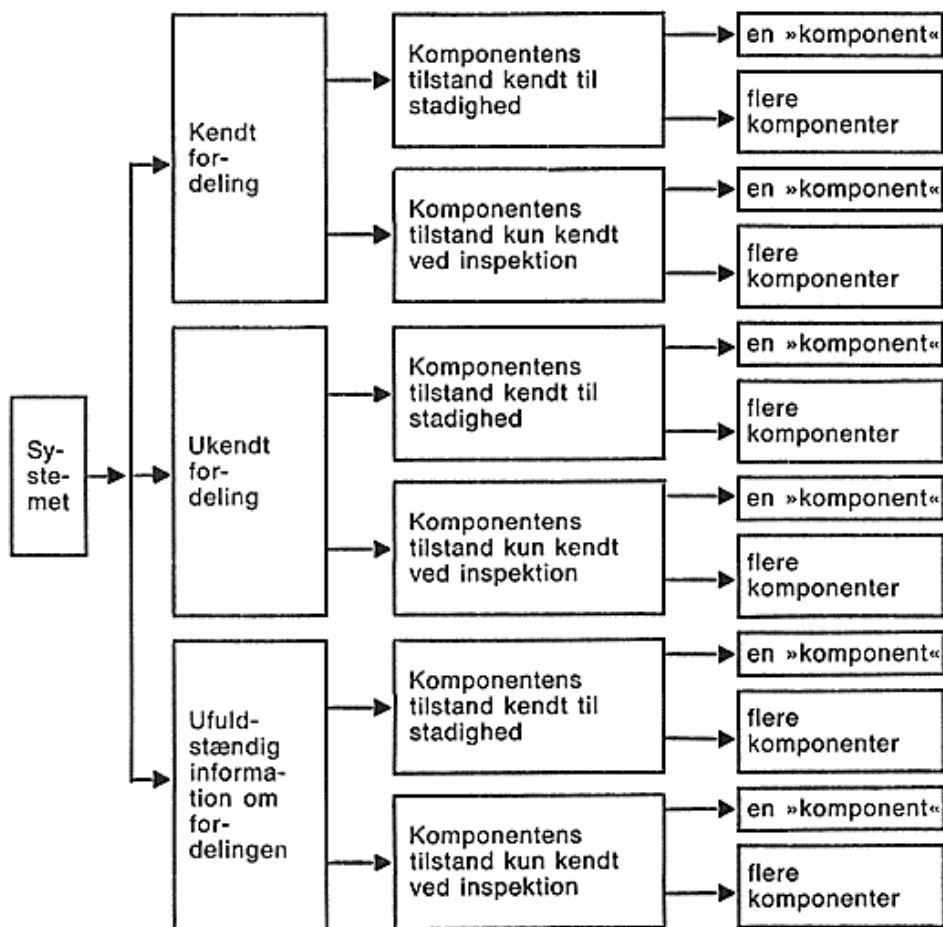
Fordelingen kan være kendt med sikkerhed så der er et direkte anvendeligt beregningsgrundlag. En anden mulighed er, at beslutningstageren ikke kender fordelingen, og endelig kan fordelingen være delvis kendt, idet man f. eks. kender den forventede værdi.

1.4.2. Opdeling efter systemets tilgængelighed for inspektion

Afhængig af beskaffenheden og placeringen i systemet af den komponent, der er genstand for stokastisk sammenbrud, er dens tilstand enten kendt til stadighed, eller den er kun kendt når der foretages inspektion.

1.4.3. Opdeling efter antal komponenter i anlægget

Her vil der, som det skal vises i afsnit 2.2., være grund til at skelne mellem, om der er en eller flere dele med stokastisk sammenbrud i samme anlæg.



Figur 3.

Systemmulighederne.

Ved at kombinere disse opdelinger fås det i figur 3 viste træ af systemmuligheder. Opdelingen er ikke udtømmende, men danner en oversigt over de hovedtyper af ressourc-systemer, det er af interesse at søge vedligeholdelsespolitikker for.

2. Vedligeholdelsespolitikker for systemer, hvor fordelingen for størrelsen »tidsrum indtil fejl« er kendt.

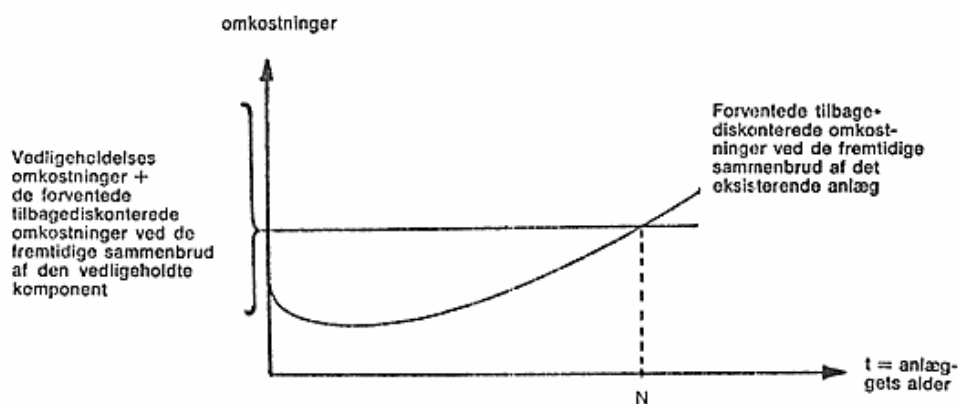
Som det fremgår af figur 3 kan der her opdeles efter, i hvilken grad tilstanden i det anlæg der er genstand for stokastisk sammenbrud er kendt i ethvert øjeblik. Til disse to systemmuligheder svarer to typer af politikker: 1) Forebyggende vedligeholdelse og 2) Beredskabspolitik.

2.1. Forebyggende vedligeholdelse

Ved forebyggende vedligeholdelse forstås, at et anlæg vedligeholdes før det er brudt sammen. Det er klart, at det er fordelagtigst at foretage vedligeholdelsesaktiviteten umiddelbart før sammenbrudstidspunktet, og det er da også det politikken tilstræber. Imidlertid kan tidspunktet for sammenbrud som vist ovenfor være en statistisk variabel, og der må da bestemmes en vedligeholdelsespolitik på dette grundlag.

2.1.1. En model

Begrebet N 's omkostningsoptimale værdi er i figur 4 søgt illustreret i et simpelt diagram. Det antages, at der kan beregnes den forventede værdi af de tilbagediskonterede omkostninger, som det eksisterende anlæg vil påføre os ved sine sammenbrud i fremtiden. Det antages endvidere, at den stigende sandsynlighed for fejl ved stigende alder



Figur 4.

N 's omkostningsoptimale værdi.

for anlægget bevirker et kurveforløb som vist i figuren. På ordinaten afsættes herefter nutidsværdien af de omkostninger en vedligeholdt del forventes at påføre os ved sine sammenbrud i fremtiden plus omkostningerne ved vedligeholdelsesaktiviteten. Hvor de to kurver skærer hinanden er det fordelagtigt at vedligeholde det bestående anlæg, da det er den aktivitet, der herefter giver os de laveste forventede omkostninger. Det ses, at N er den abscisseværdi, der svarer til dette skæringspunkt.

2.2. Forebyggende vedligeholdelse af anlæg med flere komponenter

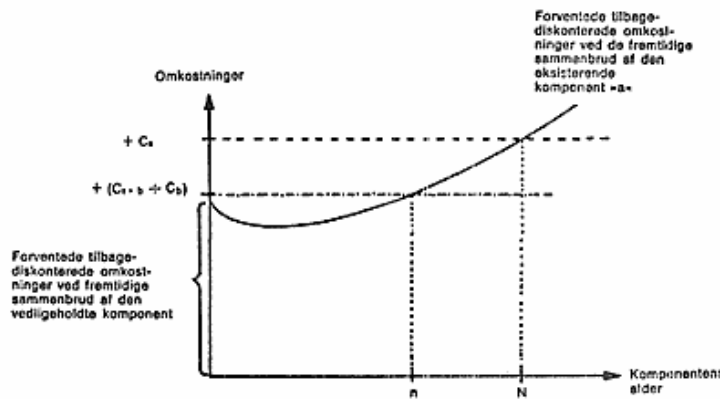
Hvis sammenbrud af de enkelte komponenter i et anlæg er stokastisk uafhængige, og hvis omkostningerne ved at udskifte flere komponenter på en gang er lig med summen af omkostningerne ved at udskifte hver enkelt komponent, fastlægges en politik for hver komponent.

Hvis der derimod er tale om afhængighed er der behov for en samlet politik for alle anlæggets komponenter, idet den omkostningsoptimale vedligeholdelsesaktivitet (evt. nulaktivitet) for en komponent afhænger af de øvrige komponents tilstand.

Det enkleste eksempel på et sådant anlæg er et anlæg sammensat af to komponenter »a« og »b«, der hver for sig er genstand for stokastisk sammenbrud, uden at der er afhængighed mellem disse sammenbrud, men hvor omkostningerne ved at vedligeholde begge komponenter på en gang er mindre end summen af omkostningerne ved vedligeholdelse af de enkelte komponenter, altså: $C_{a+b} < C_a + C_b$. Hvis det antages, at del »a« har en stigende, og del »b« en konstant $\lambda(t)$, kan den optimale politik for et sådant anlæg findes at være af den såkaldte (n, N) -type. Del »b« vedligeholdes kun når den går i stykker, hvad der er en naturlig følge af forudsætningen om konstant $\lambda(t)$. For del »a« vil der være fastlagt en periode-politik, men (n, N) -politikken er udtryk for, at sandsynligheden for sammenbrud af del »a« (forudsat stigende) ved tidspunkt »n« ($< N$) når en sådan størrelse, at det kan betale sig at vedligeholde del »a« også hvis del »b« bryder sammen. Det er klart, at del »b« skal udskiftes, hvis den går i stykker, og der er da mulighed for ved denne lejlighed at udskifte del »a« for lavere omkostninger end ellers, nemlig for $(C_{a+b} \div C_b)$.

I figur 5 er modellen fra figur 4 udbygget med en størrelse, der viser at disse lavere vedligeholdelsesomkostninger ved den anden komponents sammenbrud giver en lavere aldersværdi for komponentens optimale udskiftning (kaldet »n«). Det ses endvidere, at hvis sammenbrud af »b« indtræffer i intervallet fra n til N , er den forventede værdi for sammenbrudsomkostningerne for »a« i hele intervallet større end $(C_{a+b} \div C_b)$, hvorfor det er fordelagtigt at gennemføre den forebyggende vedligeholdelse.

Figur 5.



(n,N)-politikens grundlag.

2.3. Beredskabs-politik ved kendt fordeling

I dette afsnit behandles systemer, hvor det ikke til stadighed vides, hvorvidt anlægget er brudt sammen, f. eks. fordi anlægget ikke anvendes til stadighed. Et eksempel på et civilt system, hvor dette er tilfældet er et rugeri med et nødstrømsaggregat til brug ved strømsvigt, hvor nødstrømsaggregatet ikke anvendes til stadighed, og hvor det kun ved inspektion (opstart) kan konstateres, om det stadig er funktionsklart. Med hvilke mellemrum er det optimalt (ved inspektion) at afgøre om anlægget virker? Dette er et eksempel på et problem, der kræver fastlæggelse af en såkaldt beredskabspolitik.

2.3.1. De mulige aktiviteter

Beslutningstageren har i ethvert øjeblik følgende alternativer: 1) lade anlægget stå urørt, 2) inspicere anlægget, eller 3) udskifte (vedligeholde) anlægget.

Når anlægget er genstand for stokastisk sammenbrud er der på et givet tidspunkt en sandsynlighed for, at det ikke er funktionsdygtigt på et givet tidspunkt i en kommende periode. Ved ikke at foretage sig noget vil denne sandsynlighed være lig med a) sandsynligheden for at anlægget bryder sammen inden det vilkårlige tidspunkt i den kommende periode + b) sandsynligheden for, at det er brudt sammen allerede. Ved inspektionen falder sandsynlighed b) væk. Dersom anlæggets $\lambda(t)$ er stigende over tiden, vil den resterende sandsynlighed yderligere kunne mindskes ved vedligeholdelse af anlægget. I det følgende afsnit forudsættes dog konstant $\lambda(t)$.

2.3.2. Periodisk beredskabspolitik for et anlæg

Hvis anlæggets økonomiske levetid anses for uendelig, kan der fastlægges en optimalperiode (N) mellem inspektionerne, ud fra kriteriet at minimere omkostningerne pr. tidsenhed anlægget er funktionsklart.

De forventede omkostninger for en periode er omkostningerne (B) ved den inspektion, der afslutter perioden + omkostningerne (C_e) ved at reparere ganget med sandsynligheden for, at anlægget er brudt sammen. Den forventede tid anlægget er funktionsklart i perioden er $\int_0^N (1 - F(t)) dt$, og ved det valgte kriterium bliver opgaven altså at minimere følgende funktion:

$$C_{\min} \text{ for: } (B + C_e \cdot F(N)) / \int_0^N (1 - F(t)) dt;$$

Der differentieres m.h.t. N og sættes lig med nul. Andre fordelinger og omkostningsforhold vil naturligvis give andre og ofte mere komplicerede udtryk, men de er alle af den her skitserede karakter.

2.3.2.1. *En kritik*

Det ovenfor anvendte kriterium, der er udbredt i emnets litteratur forudsætter, at der er fornuft i at betragte den forventede funktionsklare tid, altså at der er rådighed over en række anlæg der supplerer hinanden, således at beredskabet til stadighed er nær et vist niveau. Forklaringen på, at kriteriet er udbredt er vel, at modellerne er skabt for at finde optimalpolitikker for raketværn der består af flere raketter, og hvor der er mening i at minimere omkostningerne i forhold til antallet af operationsklare raketter.

Det virker imidlertid i erhvervsøkonomisk sammenhæng urealistisk, at der i størrelsen der skal minimeres ikke indgår et udtryk for, hvilke konsekvenser det har, at anlægget ikke er funktionsklart. Hvis vi vender tilbage til rugeri-eksemplet, så vil det ovenfor viste almindelige kriterium resultere i samme vedligeholdelsespolitik uanset om det er for en million kroner æg eller for 100 kroner æg der ødelægges, hvis strømmen svigter og anlægget ikke virker.

2.3.2.2. *Et forslag til forbedring*

Omkostningerne kan udtrykkes som: $\Pr(\text{anlægget virker ikke})$ gange $\Pr(\text{anlægget skal bruges})$ gange omkostningerne ved at anlægget ikke udfører sin opgave.

Sandsynligheden for at anlægget ikke virker er en funktion af N, nemlig: $(N - \int_0^N (1 - F(t)) dt) / N$;

Hvis sandsynligheden for, at anlægget skal bruges kaldes $\Pr(X)$ og omkostningerne ved at anlægget ikke udfører sin opgave kaldes C_x fås et kriterium, som er mere overensstemmende med beslutningstagernes målsætning:

Minimer:

$$((N - \int_0^N (1 - F(t)) dt) / N) \cdot \Pr(X) \cdot C_x + B + C_e \cdot F(N) / N;$$

Da der her sker en beregning af konsekvenserne af at anlægget ikke fungerer divideres med N og ikke som før med den forventede funktionsklare tid.

2.3.3. Beredskabspolitik for anlæg med flere komponenter

Den optimale politik for et anlæg, hvor en eller flere komponenters tilstand ikke er kendt til stadighed adskiller sig i princippet ikke fra den, der blev omtalt i afsnit 2.2.

3. Ukendt fordeling

Dersom fordelingen for »tid indtil sammenbrud« ikke er kendt falder grundlaget for de indtil nu omtalte politikformuleringer væk. Herefter er det ikke muligt at fastlægge en vedligeholdelsespolitik af forebyggende art, for uden blot et minimalt kendskab til fordelingen kan det ikke afgøres, at sandsynligheden for sammenbrud i et bestående anlæg i en kommende periode er større end sandsynligheden for sammenbrud i et vedligeholdt anlæg i den samme periode, og dette er en forudsætning for politikernes omkostningsoptimalitet.

3.1. Kritik af minimax-politikkerne

Det er forsøgt (Derman, kilde 4) at opstille en model for en beredskabspolitik ved ukendt fordeling, men denne er en »minimax-politik«, og det finder jeg gør den uegnet til erhvervsformål. Minimax-kriteriet er overordentlig anvendeligt til militære formål, hvor modstanderen med rette kan antages at gøre det for os værst mulige udfald aktuelt, men at anvende kriteriet for civile anlæg er uden mening. Et dødt anlæg er indifferent overfor hvilke tab det påfører os ved sammenbrud, og konsekvenserne af et sammenbrud er meget sjældent så alvorlige, at det har mening udelukkende at handle efter det værste der *kan* ske uden at kende sandsynligheden for at det sker.

Som vist i afsnit 1.1. er et af udgangspunkterne for en vedligeholdelsespolitik beslutningstagerens målsætning, og da beslutningstagerens målsætning ikke giver sig udtryk i minimax-kriteriet er det urealistisk at vælge den politik, der bedst tilfredsstiller dette kriterium.

3.2. Den optimale politik

Ved ukendt fordeling må det være optimalt at udskifte (vedligeholde) ved sammenbrud. Ved beredskabspolitikker må inspektionerne lægges hvor de bedst passer ind i virksomhedens øvrige handlingsprogram (f. eks. i ledig tid), da de kendte størrelser herved minimeres.

4. Delvis information om fordelingen, et forsøg på anvendelse af Bayes teorem.

Som et eksempel på politikvalget i situationer, hvor der er delvis information om fordelingen vil jeg skitsere anvendelsen af Bayes teorem på anlæg med stokastisk sammenbrud.

Systemet: Det tænkes, at der på en fabrik er blevet installeret 20 anlæg af en ny type.

Informationsgrundlaget: Fra lignende, men ikke identiske anlæg har beslutningstageren en forestilling om anlæggets funktionstid indtil sammenbrud, og det vides at omkostningerne ved en forebyggende vedligeholdelsesaktivitet er lavere end omkostningerne ved en reparation efter sammenbrud.

Politikker: På det givne grundlag opstilles følgende alternative politikker: 1) Udskift (vedligehold) ved alderen N og ved sammenbrud inden N . 2) Udskift kun ved sammenbrud.

Omkostningerne: Omkostningerne ved politik 1 stiger, jo flere anlæg der bryder sammen før tidspunkt N . Omkostningerne ved politik 2 er ikke direkte en funktion af hvor mange anlæg, der bryder sammen før tidspunkt N , men det antages, at hvis der er få, er det et udtryk for, at anlæggene har en lang levetid, og at det derfor er billigere at vente end at udskifte de tilsyneladende gode anlæg i tidspunkt N , altså har politik 2 i dette tilfælde lavere omkostninger end politik 1. På dette grundlag opstilles en omkostningstabel (tabel 1), idet det antages, at omkostningerne er springvis varierende, hvad der letter beregningerne og ikke bevirker nogen principiel forskel.

	Antal sammenbrud pr. måned inden tidspunkt N :		
	$S_1 = 0-3$	$S_2 = 4-7$	$S_3 = 8 \text{ og over}$
Politik 1	300 kr.	500 kr.	700 kr.
Politik 2	200 kr.	500 kr.	800 kr.

Tabel 1.

Omkostningerne pr. måned ved at følge en politik, som funktion af antallet af sammenbrud inden tidspunkt N .

Det ses, at alt efter, hvor mange fejl der forekommer, så er henholdsvis politik 1 og politik 2 bedst, med break-even ved 4-7 fejl pr. måned.

Den subjektive fordeling: Da der skal vælges en politik at starte med, knytter beslutningstageren subjektive sandsynligheder til de mulige udfald, f. eks. ud fra erfaringer med en lignende type anlæg. De subjektive sandsynligheder tænkes at være: $\text{Pr}(0-3 \text{ fejl}) = 0,1$; $\text{Pr}(4-7 \text{ fejl}) = 0,3$ og $\text{Pr}(8 \text{ fejl og derover}) = 0,6$.

Valg af startpolitik: På grundlag af tabel 1 og de subjektive sandsynligheder beregnes de forventede omkostninger pr. måneds drift ved de to politikker:

Politik 1: $300 \cdot 0,1 + 500 \cdot 0,3 + 700 \cdot 0,6 = 600 \text{ kr./måned}$.

Politik 2: $200 \cdot 0,1 + 500 \cdot 0,3 + 800 \cdot 0,6 = 650 \text{ kr./måned}$.

Det vælges at anvende politik 1 i den første tid, og driften startes.

Øget informationsgrundlag: Efter at periode N er forløbet konstateres det, at der er forekommet 2 fejl pr. måned. Denne information indgår nu i beslutningstagerens grundlag for at fastlægge den fremtidige politik. Antallet af fejl pr. måned er en statistisk variabel, og en »sand« værdi kan have givet forskellige udfald af »antal fejl pr. måned«, når vi som her kun har målt en kort periode. På grundlag af almindelig stikprøvetæori opstilles nu en tabel, der f. eks. ser ud som tabel 2.

Sammenbrud pr. måned i en periode	Antal fejl pr. måned i det lange løb		
	$S_1 = 0-3$	$S_2 = 4-7$	$S_3 = 8 \text{ og over}$
$Z_1 = 0-3$	0,7	0,2	0,1
$Z_2 = 4-7$	0,2	0,6	0,2
$Z_3 = 8 \text{ og over}$	0,1	0,2	0,7

Tabel 2.

Sandsynlighederne for de forskellige udfald af en periodes drift givet forskellige »sande« værdier ved drift i det lange løb. ($Pr(Z|S)$).

Nu anvendes Bayes teorem til at finde de sandsynligheder, der under hensyn til den nyttilkomne information erstatter de tidligere opstillede subjektive sandsynligheder, idet de værdier der indsættes er de oprindelige subjektive sandsynligheder og Z_1 -linjen fra tabel 2 (da det var den der blev realiseret).

Sandsynlighederne for antallet af sammenbrud i det lange løb ændres altså nu til:

$$Pr(0-3 \text{ sammenbrud} | 2 \text{ sammenbrud}) = 0,1 \cdot 0,7 / 0,19 = 0,3684;$$

$$Pr(4-7 \text{ sammenbrud} | 2 \text{ sammenbrud}) = 0,3 \cdot 0,2 / 0,19 = 0,3158 \text{ og}$$

$$Pr(\text{over } 8 \text{ sammenbrud} | 2 \text{ sammenbrud}) = 0,6 \cdot 0,1 / 0,19 = 0,3158.$$

Resultatet af den første periodes drift har ændret beslutningstagerens opfattelse af sandsynlighederne, og de forventede værdier af de to politikker beregnes derfor nu ud fra tabel 1 og de reviderede sandsynligheder:

$$\text{Politik 1: } 300 \cdot 0,3684 + 500 \cdot 0,3158 + 700 \cdot 0,3158 = 489,48 \text{ kr./måned.}$$

$$\text{Politik 2: } 200 \cdot 0,3684 + 500 \cdot 0,3158 + 800 \cdot 0,3158 = 484,22 \text{ kr./måned.}$$

Det ses, at med kriteriet at minimere omkostningerne ved driften bliver politik 2 nu den bedste, men den tilkomne information behøver naturligvis ikke betyde en ændring af hvilken politik der er optimal. Efter den følgende periode vil de øgede erfaringer betyde en ny fordeling og så fremdeles.

Dette eksempel savner ganske den kompleksitet, der vil findes i et realistisk problem, men jeg mener, at det ved at forenkle problemet til gengæld er blevet tydeligere, hvad grundideen er i den type af vedligeholdelsespolitikker, der på trods af en i starten ukendt fordeling udnytter informationen om fordelingen efterhånden som den fremkommer.

Specielt indenfor brancher, hvor der ofte fremkommer nye anlægstyper vil metoden sikkert være anvendelig til fastlæggelse af vedligeholdelsespolitik, da man dels kan bruge erfaringerne fra tidligere lignende anlæg, og dels til stadighed korrigerer sin politik efter hvilken information der fremkommer i løbet af det aktuelle anlægs drift, hvorved man opnår et stadigt feed-back til ny politikformulering.

Reference

1. Ackoff & Sasieni: *Fundamentals of Operations Research*. London, 1968
2. Barlow & Proschan: *Mathematical theory of reliability*. New York, 1965.
3. Blunch, Niels: *Lidt om beslutninger og Bayes theorem*. Århus 1967.
4. Derman, C.: *On minimax surveillance schedules*. Naval Research Logistics Quarterly, vol. 8, no. 4.
5. Jorgenson, McCall & Radner: *Optimal replacement policy*. Amsterdam, 1967.
6. McCall, J. J.: *Maintenance policies for stochastically failing equipment*. Management Science, vol. 11, no. 5, 1965.
7. Morse, P. M.: *Queues, Inventories and Maintenance*. London, 1963.

Dette eksempel savner ganske den kompleksitet, der vil findes i et realistisk problem, men jeg mener, at det ved at forenkle problemet til gengæld er blevet tydeligere, hvad grundideen er i den type af vedligeholdelsespolitikker, der på trods af en i starten ukendt fordeling udnytter informationen om fordelingen efterhånden som den fremkommer.

Specielt indenfor brancher, hvor der ofte fremkommer nye anlægstyper vil metoden sikkert være anvendelig til fastlæggelse af vedligeholdelsespolitik, da man dels kan bruge erfaringerne fra tidligere lignende anlæg, og dels til stadighed korrigerer sin politik efter hvilken information der fremkommer i løbet af det aktuelle anlægs drift, hvorved man opnår et stadigt feed-back til ny politikformulering.

Reference

1. Ackoff & Sasieni: *Fundamentals of Operations Research*. London, 1968
2. Barlow & Proschan: *Mathematical theory of reliability*. New York, 1965.
3. Blunch, Niels: *Lidt om beslutninger og Bayes theorem*. Århus 1967.
4. Derman, C.: *On minimax surveillance schedules*. Naval Research Logistics Quarterly, vol. 8, no. 4.
5. Jorgenson, McCall & Radner: *Optimal replacement policy*. Amsterdam, 1967.
6. McCall, J. J.: *Maintenance policies for stochastically failing equipment*. Management Science, vol. 11, no. 5, 1965.
7. Morse, P. M.: *Queues, Inventories and Maintenance*. London, 1963.