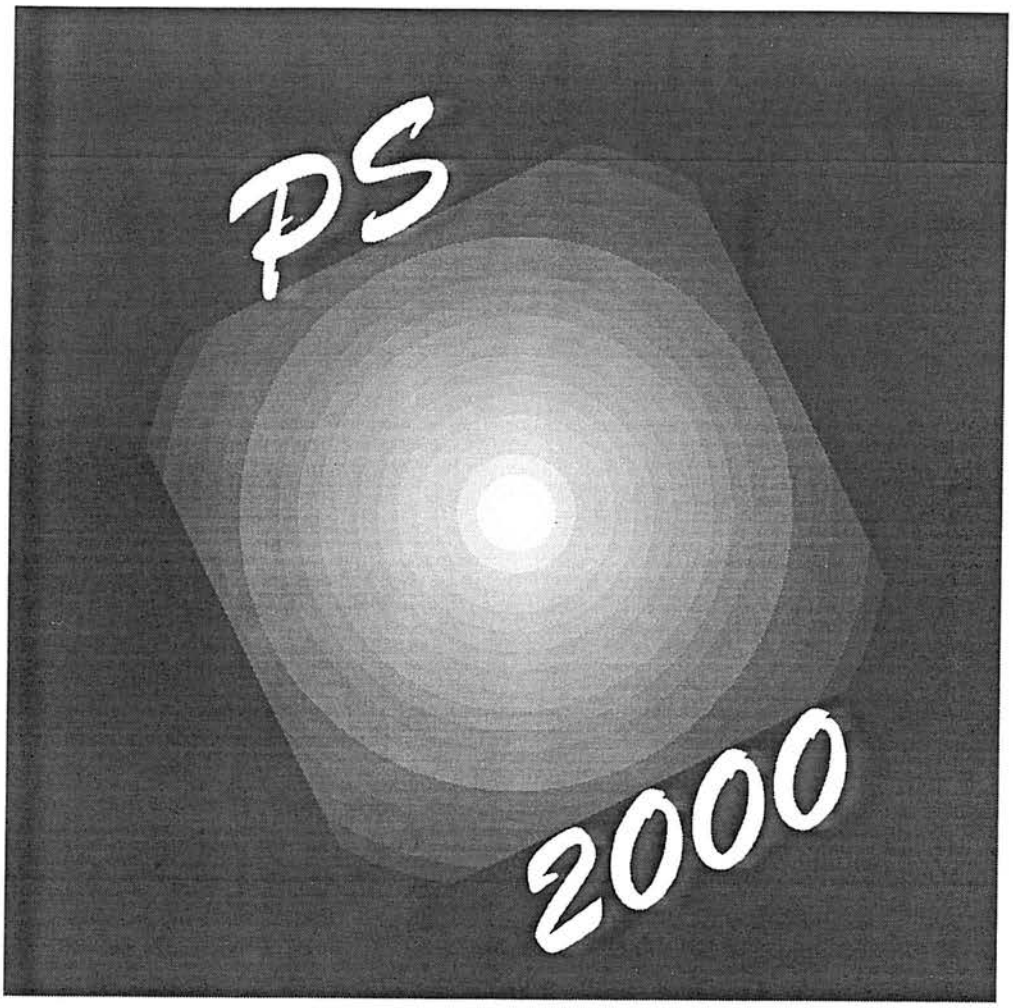
LCP OG USIKKERHET

Et forprosjekt under forskningsprogrammet Prosjektstyring år 2000

Åpen versjon



10. september 1994

Rapport:

LCP OG USIKKERHET

Et forprosjekt under forskningsprogrammet Prosjektstyring år 2000

Faglig ansvarlig:
Professor Einar Matson,
Institutt for økonomi, NTH

Prosjektleder:
Avd.leder Knut Stenberg,
SINTEF Anvendt økonomi

Medarbeidere:
Forsker Morten W. Lund,
SINTEF Anvendt økonomi
Seniorforsker Per R. Hokstad,
SINTEF Sikkerhet og pålitelighet
Siv.ing. Knut Øien,
SINTEF Sikkerhet og pålitelighet

Gradering:
Åpen

Prosjektnummer:
300017.11

Dato: 1994-09-10

Kontaktperson:
Knut Stenberg
SINTEF Anvendt økonomi
7034 Trondheim
Besøksadresse:
Sentralbygg II, NTH, 9.etg.
Telefon: 73 59 36 14
Telefax: 73 59 36 03
e-mail: ks@iok.unit.no

SAMMENDRAG

Fra LCC til LCP

Rapporten er resultat av et forprosjekt under forskningsprogrammet 'Prosjektstyring år 2000' ved NTH/SINTEF. Ideene bak forprosjektet slik de ble presentert for styringsgruppen, hadde overskriften 'LCC: Usikkerhetsparametre i et prosjekts faser'. Målsettingen med forprosjektet har vært å konkretisere ideene i samarbeid med bedrifter som deltar i programmet, og identifisere problemstillinger for et eventuelt hovedprosjekt.

Ett resultat av dette arbeidet er at tittelen på forprosjektet er blitt endret til 'LCP og usikkerhet'. Denne tittelen er ment å markere en utvidelse av den tradisjonelle Life Cycle Cost-tankegangen på to måter:

- Et prosjekt har ikke bare en kostnadsside, men også en inntektsside. Det er lønnsomhet som er målet, derfor 'Life Cycle Profit' (LCP).

- For prosjektutforming og prosjektvalg rommer 'Life Cycle'-perspektivet nødvendigvis usikkerhet langt utover slik risiko LCC-begrepet vanligvis tar opp. Behandling av usikkerhet for beslutningsstøtte er i utgangspunktet en hovedutfordring i prosjektet.

Hva er LCC?

Tanken bak LCC er å utvide perspektivet ved prosjektutforming og prosjektvalg fra anskaffelseskostnad til å omfatte hele levetiden for prosjektet. I så måte kan tanken virke banal; en forsvarlig investeringsanalyse skal jo nettopp veie sammen kontantstrømmene over hele prosjektets levetid. Likevel er LCC etablert som eget begrep. Det skyldes at innføring av LCC faktisk har en effekt. Det er et faktum at anskaffelseskostnadene er store og nærstående og dessuten veldokumentert, enten gjennom anbud eller pristilbud. Driftskostnadene er oftest mindre konsentrert, ligger lenger ut i tid og er mindre veldokumenterte. Det er derfor forklarlig at driftskostnadene ikke tillegges den vekt i beslutningsunderlaget som deres samlede nåverdi kunne tilsi.

LCC krever en systematisk identifikasjon av alle kostnadskomponenter i driftsfasen helt fram til avhending. Til støtte for dette er det utarbeidet håndbøker og sjekklister. Det er også etablert internasjonale standarder for LCC. Dette bidrar til å tvinge prosjektteamet til å tallfeste kostnadskomponenter som ikke ellers ville bli gjort eksplisitt. En effekt bør være at beslutningsgrunnlaget for prosjektvalg blir mer fyllestgjørende. En annen konsekvens, og kanskje viktigere er resultat av den systematiske gjennomgangen av driftsfasen. Dette begrunner mer systematiske bestrebelser for å redusere de totale driftskostnadene, gjennom vedlikeholdsplanlegging, redundansoptimalisering etc.

LCC har sin opprinnelse i det amerikanske forsvaret og er kommet til anvendelse som en del av ingeniørfagene. Typisk er at funksjonskrav er gitt, gjerne også konseptet. Fokus settes på driftskostnader og pålitelighet ved utstyrsanskaffelse og driftsplanlegging. Inntektspotensialet, eller prestasjonsnivå definert som minimumskrav, er gjerne gitt. Selv om Life Cycle Profit (LCP) har vært lansert tidligere som en utvidelse av LCC, har ikke dette brakt inn noe nytt. LCP, slik det har vært lansert, har vektlagt betydningen av pålitelighet og driftssikkerhet, og kostnader i form av inntektsbortfall ved nedetid. Men dette var allerede inkludert som en hovedkomponent i kostnadsbegrepet i LCC.

Driftssikkerhet er knyttet til empirisk belagt sannsynlighet for feil og sannsynlig reparasjonstid. Men det er bare forventningsverdier som inngår i LCC kalkylene, ikke sannsynlighetsfordelinger. Måten LCC-tankegangen behandler risiko på er derfor egentlig ikke stokastisk, men rent deterministisk.

Et utvidet LCP-begrep

I kapitel 2 er tankegangen slik den danner utgangspunkt for forprosjektet, behandlet prinsipielt og satt inn i en generell sammenheng av prosjektvurdering og prosjektvalg. Som nevnt innledningsvis er ambisjonen et utvidet LCP-begrep, i første rekke på to måter.

Inntektene/nytten av prosjektet trekkes eksplisitt inn i beslutningsstøtten. I bedriftsøkonomisk sammenheng betyr dette å utvide målet for analysen fra kostnadsminimum til maksimal lønnsomhet, uttrykt ved netto nåverdi. Ikke-kommersielle hensyn, som for eksempel regelmessig forekommer i Forvaret, og mer generelt når personsikkerhet og miljøforhold er berørt, krever en form for nytte-betraktning i vurdering av alternative prosjekt. Det er bare i spesielle tilfelle at den potensielle inntekt/nytten er den samme ved ulike prosjekt-alternativer, slik at kostnadsbetrakninger alene gir tilfredsstillende beslutningsstøtte.

Risiko/usikkerhet bør tillegges særlig vekt ved levetidsbetrakninger omkring prosjektutforming og prosjektvalg. Et prosjekt er i sin natur unikt og inneholder nye momenter, enten nå dette skyldes nye konponenter eller nye sammenstillinger. Men risiko/usikkerhet kommer inn i levetidsbetrakninger også på grunn av usikkerhet knyttet til forhold og forutsetninger som ligger utenfor prosjektet, enten det dreier seg om markeder, teknologisk utvikling eller politiske forhold. Et hovedpoeng i 'LCP og usikkerhet' blir derfor å identifisere, karakterisere og behandle usikre faktorer slik at analysen gir beslutningsstøtte ved prosjektutforming og prosjektvalg.

Av særlig interesse gjelder kritiske forhold som i nåsituasjonen er usikre, men som en vil kjenne utfallet av etter at prosjektet er igangsatt. Det blir da et poeng om prosjektet kan tillate valg på basis av slik kunnskap når den foreligger, og om det alt ialt synes lønnsomt å bygge inn en slik fleksibilitet.

LCC/LCP i bedriftene

Det skal erkjennes at tankegangen bak en slik bred betraktningsmåte er relativt generelt formulert, og lite spesifikk. En dialog med Forsvaret, Hydro og Saga kunne synes vanskelig på dette grunnlaget, men desto mer nødvendig for den videre konkretisering. Innenfor de knappe tidsfrister, sommertiden også tatt i betraktning, har vi likevel fått mye ut av samarbeidet med programdeltakerne.

LCC er vel kjent som begrep og metodikk både i Forsvaret og i oljeindustrien. Det synes likevel å være behov for å utvikle bruken videre. I alle tre organisasjoner er en opptatt av og arbeider med problemstillinger som favnes av 'LCP og usikkerhet'. Gjennom møter, seminarer og skriftlig og muntlig kommunikasjon, har deltakerne gitt en rekke synspunkter og innspill for det videre arbeidet.

Det var i utgangspunktet antatt at et hovedprosjekt med fordel burde knyttes til konkrete case. I kapitel 4 - 6 presenteres forsøk på en slik konkretisering knyttet til mulige case. Samtidig forekommer det metodiske utfordinger som er mer eller mindre gjennomgående i disse. Slike diskuteres i kapitel 7. Endelig summeres opp forslag til konkrete prosjekter i kapitel 8.

FORSLAG TIL PROSJEKT

Prosjekt 1: LCP og usikkerhet ved vurdering av utbyggingskonsept i Nordsjøen.

Problemstilling

Utvikling og valg av utbyggingskonsept er basert på foreløpige reservoardata og skal føre fram til Plan for Utbygging og Drift. Men ikke bare er reservoar-egenskapene ennå usikre, beslutninger må fattes under hensyn til en rekke andre usikre faktorer; markedsutvikling, infrastruktur og nye tekniske muligheter. Ofte blir usikkerhet forsøkt tatt hensyn til i en risikojustert kalkylerente i nåverdi-beregningene. I denne sammenheng er dette utilfredsstillende. Det er også en fare for at det blir tatt beslutninger for tidlig som kan avskjære muligheter for beste løsning og medføre unødvendige kostnader.

Mål

Det skal utvikles et edb-basert hjelpemiddel for bruk av prosjektgruppen i deres arbeid i konseptfasen av et utbyggingsprosjekt i Nordsjøen fram mot utarbeiding av Plan for utbygging og drift (PUD). Utgangspunktet er foreløpig karakteristikk av reservoaret, samt kjennskap til eksisterende og planlagt infrastruktur.

Verktøyet skal foruten å rapportere nåverdien av prosjektet, også gi innsikt i sannsynlighetsfordelinger for resultatet. Verktøyet skal gi støtte til vurdering av *fleksibilitet*, herunder potensiell verdi av å utsette beslutninger, redundans og annen robusthet i prosjektet, for på den måten å gi støtte til avveining av økonomisk risiko og relevante tiltak.

Ulike beslutningskriterier skal kunne utprøves, som maksimal forventningsverdi og 'maximin', dvs. at det alternativ velges hvor verste mulige utfall er mest akseptabelt.

Verktøyet skal egne seg til følsomhetsanalyser av endrede forutsetninger og utfall.

Resultatet skal foreligge i form av en prototyp, ikke ferdig programvare av kommersiell standard.

Gjennomføring

Gjennomføringen knyttes til et 'syntetisk' case i nært samarbeid med en referansegruppe. Gjennomføringstid settes til 2 år. I løpet av første år etableres en struktur, med særlig hensyn til karakteristikk av risiko og usikkerhet og fleksibilitet. En tar sikte på å utvikle et skall for et beslutningstøtte. Dette vil danne grunnlag for videre kravspesifikasjon, matematisk modellering med vekt på behandling og aggregering av usikkerhet i løpet av annet år.

Minimum ressursinnsats anslås til 1 årsverk per år, tilsammen 2 årsverk.

Prosjekt 2: LCC og materiellsystemer i Hæren

Problemstilling

De identifiserte problemstillingene er todelt:

i) Første gangs reservedelsopplegg er vanlig å inkludere i investeringskostnadene og vil i tidlig prosjektfase bli behandlet på et relativt grovt nivå, f.eks. anslått til 5% eller 10% av investeringskostnadene. Før det nye materiellet settes i regulær drift må det imidlertid tas stilling til hvilke reservedeler og antallet av disse delene som skal anskaffes og legges på lager, og problemet består i å finne metoder/-kriterier for dette.

ii) Et materiell har i utgangspunktet en spesifisert levetid, f.eks. 20 år. Materiellet utvikles, konstrueres og bygges med dette for øyet. I en LCC-analyse i tidlig prosjektfase er derfor levetiden å oppfatte som en konstant. I senere faser vil den opprinnelig spesifiserte levetiden imidlertid være å betrakte som en variabel, hvor problemet er å fastsette et optimalt utskiftings-/oppgraderingstidspunkt eller gjenværende levetid.

Mål

i) Utvikle en LCC-analysemetode for utvelgelse av førstegangs reservedelsopplegg, dvs. optimal størrelse (type og antall) av reservedelslageret for en ny materielltype.

ii) Utvikle en LCC-analysemetode for å finne optimalt utskiftnings-/oppgraderingstidspunkt for en materielltype basert på erfaringsdata som fremskaffes etterhvert som materiellets alder nærmer seg den spesifiserte levetiden (evt. 'midlife')

Gjennomføring

Utviklingen av analysemetodene skal skje i nært samarbeid med Hærens forsyningskommando og koordineres mot deres prosjekt CM/LCC (Configuration Management/Life Cycle Cost).

Gjennomføringstid settes til 2 år.

Ressursinnsats anslås til 1/2 årsverk pr. år, tilsammen 1 årsverk.

Prosjekt 3: Metode-prosjekt

Problemstilling

Selv om hovedprosjekter innen 'LCP og usikkerhet' knyttes til konkrete case, reises det likevel metodiske problemstillinger på tvers av de enkelte case. En av disse er *aggregering av usikkerhet.* Dette anses så sentralt i Prosjekt 1, som også forslagsvis tildeles de største ressursrammer, at denne metodiske problemstillingen behandles innenfor dette prosjektet. Derimot bør to særlige metodeproblem behandles spesielt.

i) Subjektive vurderinger vil være nødvendige forutsetninger, bl.a. i mangel av empiriske sannsynlighetsfordelinger, i prosjektsammenheng. Etablering og behandling av skjønnsmessige sammenhenger er derfor en nødvendig komponent i utvikling av 'LCP og usikkerhet' til operative verktøy.

ii) Flermålsplanlegging omhandler planlegging hvor målene ikke enkelt kan sammenfattes langs én skala, som for eksempel pengeverdi. LCP, til forskjell fra LCC, stiller særlige krav til et metodisk grep om dette, spesielt i Forsvaret.

Mål

i) Målet er å utarbeide en metodikk for innhenting og bearbeiding av subjektive vurderinger med spesiell vekt på risiko og usikkerhet. Metodikken skal være praktisk gjennomførbar, og samtidig ivareta grunnleggende krav til teoretisk holdbarhet.

ii) Et metodeprosjekt på flermålsplanlegging (FMP) bør inneholde:

- En generell oversikt over fordeler og ulemper ved ulike aktuelle metoder for FMP sett i forhold til aktuelle miljøer.
- Særskilt vurdering av en prioritert metode i forhold til problemstillinger (case) som den enkelte interessent velger ut.
- Implementering av en prototyp for FMP hos interessenten i samvirke med beslutningstakerne der.

Gjennomføring

Vi antar at disse delprosjektene kan gjennomføres i løpet av ett år, hver med en ressursinnsats på et halvt årsverk. Aktivitetsplan og tilknytning til konkrete case vil bli utarbeidet dersom delprosjektene blir besluttet igangsatt.

Det er viktig at særlig et arbeid med flermålsplanlegging sikrer kontakt med prosjektet 'Criticality Management Tools' (CMT) i regi av DNV Industri, som både Forsvaret og Norsk Hydro er deltakere i.

Dr.ing.

Opplegg for et dr.ing.-program under 'LCP og usikkerhet' er ikke spesielt vurdert i forprosjektet. Det synes imidlertid å ligge vel til rette for gjensidig nytte ved en koordinering mellom de foreslåtte prosjekter og arbeid med doktorgradsavhandling.

SINTEF

INNHOLD

Sammendrag i
Innhold 2
Forord 4

1 TANKEGANGEN BAK LCC 6
1.1 Generelt 6
1.2 Metodebeskrivelse 7
1.3 Anvendelse av LCC 10
1.4 Fra Life Cycle Cost (LCC) til Life Cycle Profit (LCP) 11
1.5 Litteratur 12
1.5.1 Bøker/rapporter 13
1.5.2 Artikler 15
1.6 Program og verktøy for LCC-analyse 17

2 ET UTVIDET LCP-BEGREP 18
2.1 Element og faktorer i en LCP-analyse 19
2.2 Funksjon 20
2.3 Investering 21
2.4 Finansiering og likviditetsstyring 21
2.5 Levetid 21
2.6 Tilgjengelighet 22
2.7 Fleksibilitet 22
2.8 Vedlikehold 22
2.9 Miljø/Øvrige eksterne påvirkningsfaktorer 22
2.10 Driftsinntekter/-kostnader 23
2.11 Økonomi/Økonomisk risiko 23
2.12 Flermålsplanlegging 23
2.13 Beslutningskriterium 24
2.14 Beslutning 24

3 LCC/LCP I BEDRIFTENE 25

4 PROBLEMSTILLINGER PÅ MATERIELLNIVÅ/DETALJERT NIVÅ 27
4.1 Usikkerhet i tilgjengelighet 27
4.2 Redundansoptimalisering 28
4.3 Vedlikehold 31
4.4 Første gangs reservedelsinnkjøp 32
4.4.1 Problembeskrivelse og mål 32
4.4.2 Begrensninger og spesielle forhold 32
4.4.3 Generelt behov 33
4.5 Optimalt utskiftingstidspunkt 34
4.5.1 Problembeskrivelse og mål 34
4.5.2 Begrensninger og spesielle forhold 36
4.5.3 Generelt behov 37
4.6 LCP-analyse anvendt på problemstillinger ved første gangs reservedelsinnkjøp og optimalt utskiftningstidspunkt 37

5 PROBLEMSTILLINGER PÅ KONSEPTNIVÅ 40
5.1 Fasevis analyse av risiko 40
5.2 Verdi av fleksibilitet 41
5.3 Avkastningskrav, risikoprofil 43
5.4 Case - Utbyggingskonsept for olje-/gassfelt 45
5.4.1 Levetidsperspektivet inn i konseptfasen 45
5.4.2 Lønnsomhetsmaksimering, ikke kostnadsminimering 45
5.4.3 Beslutninger under usikkerhet 46
5.4.4 Resultat 48
5.4.5 Tilknytning til andre prosjekt 48

6 PROBLEMSTILLINGER PÅ SELSKAPSNIVÅ 49
6.1 Inntekts- og kostnadseffekter på totalt systemnivå 49
6.2 Risiko og usikkerhet 50
6.3 Flermålsplanlegging 51
6.4 Flerperiodisk porteføljeoptimering 52
6.5 Strategiske satsingsprosjekt 52
6.6 Avslutning og anbefaling 53

7 GJENNOMGÅENDE PROBLEMSTILLINGER 54
7.1 Risikoaggregering 54
7.1.1 Problembeskrivelse 54
7.1.2 Problemstilling 54
7.1.3 Angrepsvinkel 56
7.2 Subjektive vurderinger (ekspertvurderinger) 58
7.2.1 Behov for subjektive vurderinger i LCP-analyser 58
7.2.2 Anvendelse av ekspertvurderinger i LCP-sammenheng 59
7.2.3 Målet med bruk av ekspertvurderinger 60
7.2.4 Fremgangsmåte ved bruk av ekspertvurderinger 61
7.3 Flermålsplanlegging innen LCP-analyser 61
7.3.1 Problembeskrivelse 61
7.3.2 Problemstillinger 62
7.3.3 Metoder 63
7.3.4 Avslutning og anbefaling 65

8 FORSLAG TIL PROSJEKT 66
8.1 Prioritering av oppgaver 66
8.2 Konkretisering av forslag 69
8.2.1 LCP og usikkerhet ved vurdering av utbyggingskonsept i Nordsjøen 69
8.2.2 LCP og materiellsystemer i Hæren 60
8.2.3 Bruk av subjektive vurderinger 72
8.2.4 Flermålsplanlegging 72

REFERANSER 74

FORORD

Denne rapporten presenterer resultatet av et forprosjekt som har fått tittelen 'LCP og usikkerhet'. LCP (Life Cycle Profit) er en utvidelse av det mer innarbeidete LCC (Life Cycle Cost). Forprosjektet er i gangsatt under forskningsprogrammet Prosjektstyring år 2000 (PS-2000) ved NTH/SINTEF. PS-2000 er et forsknings- og utdanningsprogram hvor fokus settes på forskning innenfor prosjektadministrasjon. Programmet er finansiert av industrien (75%) i samarbeid med Norges Forskningsråd (25%), og har et totalbudsjett på 40 millioner kroner frem til 1999. Tilknyttede industripartnere til nå er Forsvaret, Norsk Hydro a.s, Saga Petroleum a.s, Statoil, Statsbygg og Televerket.

I alt 8 områder er utpekt som aktuelle innenfor programmet, henholdsvis prosjektanalyse, risiko, innkjøp, produktivitet, erfaringsoverføring, gjennomføring av beslutninger, tidsbegrenset planlegging og prosjekt-styringsteknikker. Med utgangspunkt i de identifiserte områdene ble det våren 1994 besluttet å sette i gang to forprosjekt relatert til hvert sitt område, og hvor industripartnerne ble koblet opp mot ett av disse. De to forprosjektene som ble iverksatt var "LCP og Usikkerhet", som ligger under området risiko, og "Nye prosjektstyringsteknikker".

Bedriftene som har vært deltakere i forprosjektet "LCP og Usikkerhet" er Forsvaret (Forsvarets tele- og datatjeneste, Hærens forsyningskommando, Luftforsvarets forsyningskommando), Norsk Hydro a.s (Teknologi og utbygging) og Saga Petroleum a.s. (Teknologi og utvikling). I løpet av forprosjektet er det gjennomført to møter med hver av deltakerne. I tillegg kommer informasjonsutveksling og oppfølging ved behov. Formålet med møtene har vært å kartlegge aktuelle problemstillinger og konkretisere disse med tanke på videreføring i et eventuelt hovedprosjekt. Bedriftenes erfaring med LCP og synspunkt på metoden som beslutningsstøtte har således vært av stor betydning for forprosjektet og de resultat vi her fremlegger.

Forprosjektet gir, med utgangspunkt i identifiserte problemstillinger hos deltakerbedriftene, forslag og anbefaling til hovedprosjekt, og grovt ressursanslag for disse.

Det første kapitlet i rapporten inneholder en oversikt over LCP som metode og hvilken anvendelse den har. Rapporten gir deretter en presentasjon av de erfaringer og interesseområder som industripartnerne har i tilknytning til bruk og utvikling av LCC (kap 2). Med utgangspunkt i de identifiserte interesse-områdene fokuseres i de neste kapitlene på problemstillinger vi ser som aktuelle og relevante for en videreføring, og det skisseres en prioritering av disse. For de konkretiserte forslagene til hovedprosjekt presenteres til slutt et grovt estimat for ressurs- og tidsbehov for gjennomføring.

Forprosjektet er gjennomført ved SINTEF Anvendt økonomi og SINTEF Sikkerhet og pålitelighet, med avd.leder Knut Stenberg, SINTEF Anvendt økonomi som prosjektleder. Prosjektmedarbeidere har vært forsker Morten W. Lund, SINTEF Anvendt økonomi, forsker Per Hokstad og siv.ing. Knut Øien, begge SINTEF Sikkerhet og pålitelighet.

Faglig ansvarlig for forprosjektet har vært professor Einar Matson, Institutt for økonomi, NTH. Foruten faglig veiledning og kommentarer har han også bidratt direkte i prosjektarbeidet.

Kontaktpersoner for deltakerbedriftene er: Andreas Stenseth (fung. direktør, Forsvarets tele- og datatjeneste), Håvard O. Skaldebø (seksjonssjef, Norsk Hydro a.s) og Pål Gjersø (avdelingsleder, Saga Petroleum a.s). Disse og andre nøkkelpersoner har gitt konstruktive innspill og nyttige kommentarer.

1 TANKEGANGEN BAK LCC

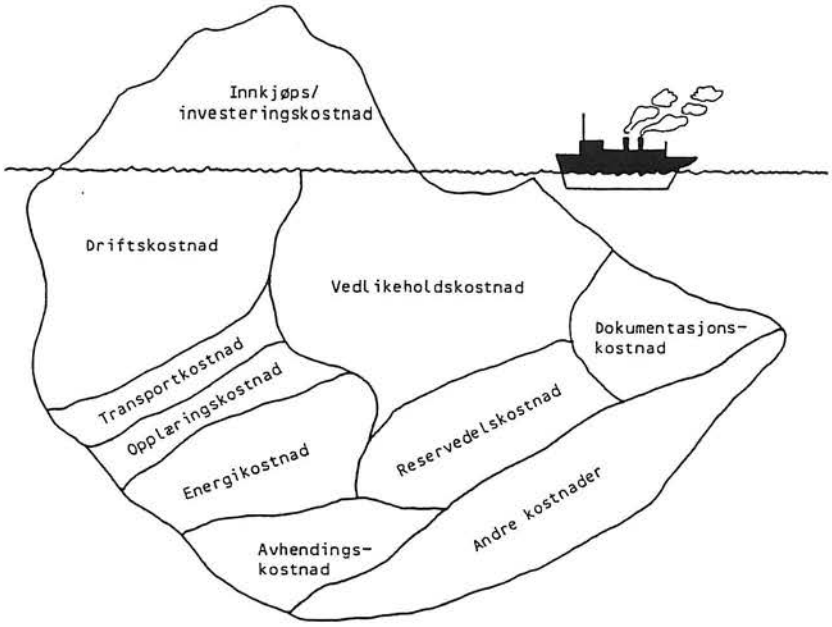
1.1 Generelt

Den grunnleggende tankegangen bak LCC er å utvide perspektivet ved en investeringsbeslutning fra anskaffelseskostnad til å omfatte hele levetiden for et prosjekt eller produkt. Ved gitt inntektsside er målet å minimere de totale kostnadene.

Informasjon om kostnad som påløper over tid er en primær forutsetning for å benytte LCC-tankegangen. Det er de totale kostnadene over et produkts eller prosjekts levetid det fokuseres på.

Et produkt som oppfyller funksjonskravene og som har de laveste (akkumulerte) kostnadene over hele levetiden, er det produkt som foretrekkes ut i fra LCC-filosofien. Investering i utstyr som er rimelig i anskaffelse, men kostbart totalt sett, er dermed ikke forenlig med tankegangen bak LCC. Det tas ikke hensyn til om investeringskostnadene isolert sett overstiger bedriftens finansieringsevne.

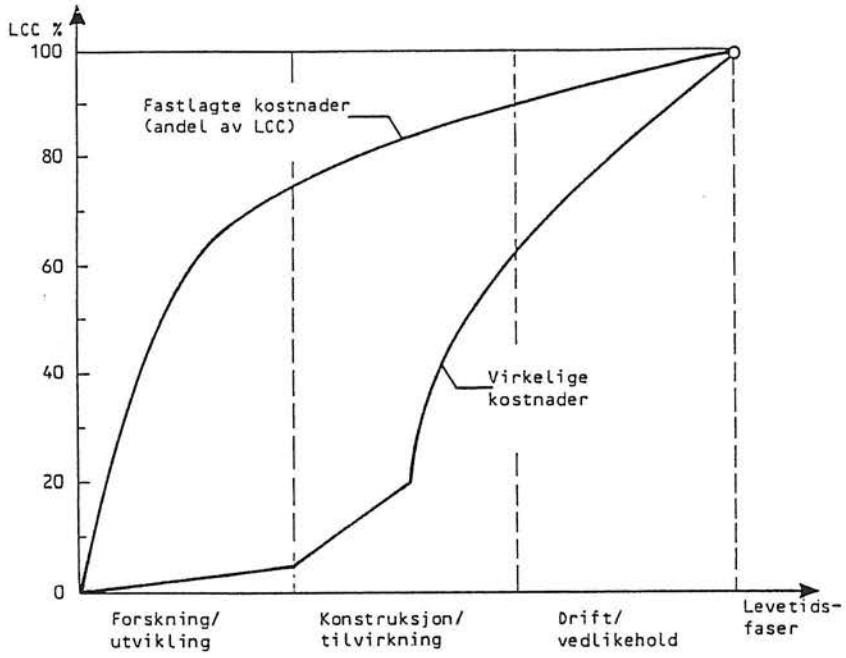
Ved at det tenkes levetid ønsker man å få frem alle kostnader som påløper i tillegg til anskaffelseskostnadene. LCC motiveres gjerne med "isfjell-effekten", som illustrert i figur 1.1 nedenfor.



FIGUR 1.1 "Isfjell-effekten" - skjulte kostnader
Kilde: Schjølberg (1987).

Figuren illustrerer at kostnader utover anskaffelseskostnaden kan utgjøre hovedtyngden i de samlede kostnadene. I stor grad låses disse allerede med investeringsbeslutningen.

Viktigheten av beslutninger tatt i tidlig prosjektfase kan illustreres som vist i figur 1.2, hvor andelen av de totale kostnadene som bindes er angitt som funksjon av tiden/fasene.



FIGUR 1.2 Betydningen av beslutninger tatt i tidlig prosjektfase
Kilde: Schjølberg (1987).

Figuren angir at i første levetidsfase (forskning/utvikling) for et nytt produkt påløper typisk ca. 5% av de totale levetidskostnadene, mens hele 75% blir fastlagt i denne fasen.

I tillegg til å fremskaffe et bedre beslutningsunderlag for valg mellom alternativer, vil det utvidete perspektivet mot driftsfasen bidra til å forbedre det enkelte prosjekt gjennom å motivere bedre drifts-rutiner, grundigere vedlikeholdsplanlegging, etc..

1.2 Metodebeskrivelse

Som et grunnlag for 'state of the art' har vi valgt å ta utgangspunkt i en foreløpig utgave av en IEC-standard (IEC, 1993). Målet med standarden er å gi veiledning til konseptet 'life cycle costing'. Standarden forklarer hensikt og målsetning med LCC, og utdyper den generelle fremgangsmåten.

Standarden definerer LCC ved følgende:

> Levetidskostnader (LCC): Kostnader til et produkt over dets levetid.

LCC kan benyttes over hele, eller deler av, levetiden til et produkt. I tillegg til å være et beslutningsstøtteverktøy for valg mellom alternativer, benyttes LCC også for å identifisere de kostnadselement som har stor innvirkning på levetidskostnadene ("kostnadsdriverne"). Beslutninger tatt i tidlig levetidsfase har normalt større betydning enn senere valg.

For å fremskaffe de totale levetidskostnadene er det nødvendig å bryte ned kostnadene i mindre kostnadselement. Dette kan følge en bestemt struktur, en såkalt kostnadsnedbrytningsstruktur (CBS - Cost Breakdown Structure). Et eksempel på CBS inngikk i tidligere utkast til IEC-standarden, men er nå erstattet med en liste av mulige kostnadselement i de ulike fasene.

LCC-modeller

En LCC-modell er en kvantitativ modell for beregning av nåverdien av alle kostnadselementer som inngår i analysen, basert på gitte elementverdier og/eller parameterverdier.

Det eksisterer mange forskjellige modeller for LCC-analyse, hver med sine fortrinn og begrensninger. Noen håndterer totalkostnader, andre kun vedlikeholdskostnader, andre igjen vektlegger produksjonsprosessen, reparasjonskostnader etc.. Før det velges modell bør det identifiseres hva modellen er forventet å skulle gjøre, og hvilket informasjonsunderlag som er nødvendig.

Typer av LCC-modeller

Standarden opererer med 3 typer modeller:

1) Regnskapsmetoden (Accounting method)
   - Sjekkliste for og summering av kostnadselementer

2) Parameter estimering (Parametric estimation)
   - Kostnader som funksjon av design og prestasjonsparametre

3) Analytisk fremgangsmåte (Analytical approach)
   - Beslutningsstøtte for valg mellom mulige løsninger på et konstruksjonsproblem

Kostnadselementer

Beregning av kostnadselementene krever spesifikke prestasjonsdata som inngangsdata til modellen. Noen av disse dataene inkluderer tilgjengelighet (inklusive pålitelighet og vedlikeholdsfaktorer), antall utstyrsenheter i bruk, benyttelse av hjelpeutstyr, lokalisering av hjelpemidler til reparasjonsarbeid, etc.. Sentralt og av spesiell betydning er elementene som representerer potensielle kostnadsdrivere.

Evalueringen av et produkt avhenger av dets ytelse, tilgjengelighet og drifts- og vedlikeholdskostnader. Anskaffelseskostnadene for en gitt utstyrstype, dets prestasjon og form er relativt kjent og kan evalueres før beslutning om investering tas. Men drifts- og vedlikeholdskostnadene, som kan utgjøre en stor del av LCC og i mange tilfeller overskrider anskaffelseskostnadene, er ofte ikke dokumentert og er vanskelige å predikere for beslutningstaker. Mangel på dokumentasjon av disse kostnadene i tidlig levetidsfase skaper usikkerhet i beslutningsprosessen rundt valg av utstyrstype og anskaffelse av et produkt. LCC-prosessen tar sikte på å identifisere parametrene som påvirker fremtidige kostnader og fremskaffer totale kostnadsestimat.

Et viktig element som bør inkluderes i LCC-analyser er kostnader ved utilgjengelighet, dvs. kostnader forbundet med tap av funksjon.

Levetidskostnadsanalyse - prosess

LCC-analyse er prosessen med å identifisere og evaluere kostnadene forbundet med å eie et produkt gjennom dets levetid. En LCC-analyse skal gjennomføres på en strukturert og veldokumentert måte, og inneholde følgende aktiviteter:

- Problemdefinisjon
- LCC modellvalg og -tilpasning
- LCC evaluering
- Rapportering
- Verifisering av resultat
- Oppdatering av analysen

Avhengig av målet med analysen vil det være viktig å skaffe erfaringsbaserte inngangsdata for alle fasene i et produkts levetid.

Risiko

Påliteligheten i resultatene av en LCC-analyse avhenger både av LCC-modellen og inngangsdataene.

Prediksjon av prisutvikling, administrasjonskostnader, arbeidskraft og materialkostnader for fremtiden kan vise seg å være feilaktig og kan resultere i valg av et ugunstig alternativ. Forandringer i tidsplan pga. sen leveranse etc. kan også påvirke kostnadene i stor grad.

I tillegg til det som ovenfor er referert fra siste versjon av den foreløpige IEC-standarden, vil vi ta med et par sitat fra en tidligere versjon (1987):

"Ettersom evalueringsarbeidet vanligvis blir gjennomført under tidspress og med begrensede ressurser, er det nødvendig å være fleksibel ved valg av metoder og ambisjonsnivå. Det betyr bl.a. ikke å benytte en mer detaljert og omfattende modell enn det som kreves for den aktuelle prosjektfase og beslutning."

"Noen parametre er vanskelig å transformere til kostnader eller inntekter. 'Engineering judgement' av slike kvalitative faktorer er påkrevet."

Det siste sitatet refererer til behovet for å håndtere subjektive og kvalitative data.

1.3 Anvendelse av LCC

LCC benyttes som et utvidet beslutningsunderlag, som inkluderer kostnadsfaktorer ut over investeringskostnadene. I noen tilfeller benyttes LCC-analyser i tillegg som basis for styring ved bruk av funksjonsspesifikasjoner med tilhørende krav til bl.a. tilgjengelighet. Dette ble gjort av SJ (Svenska Järnvägar) ved anskaffelsen av deres høyhastighetstog X2000 fra ABB (Asea Brown Boveri). (Kjellson (1994)).

Det ble i det aktuelle eksemplet stilt krav til en regularitet på 95%, som også lå inne i beregningene av levetidskostnadene. En verifisering av dette ble gjort gjennom en omfattende feilregistrering og analyse (ca. 6000 rapporter ble analysert) de første 6 månedene. For å nå kravet til regularitet ("tilgjengelighet") ble ABB i denne perioden "tvunget" til å sette i verk designforbedringer og andre tiltak for å redusere antall feil.

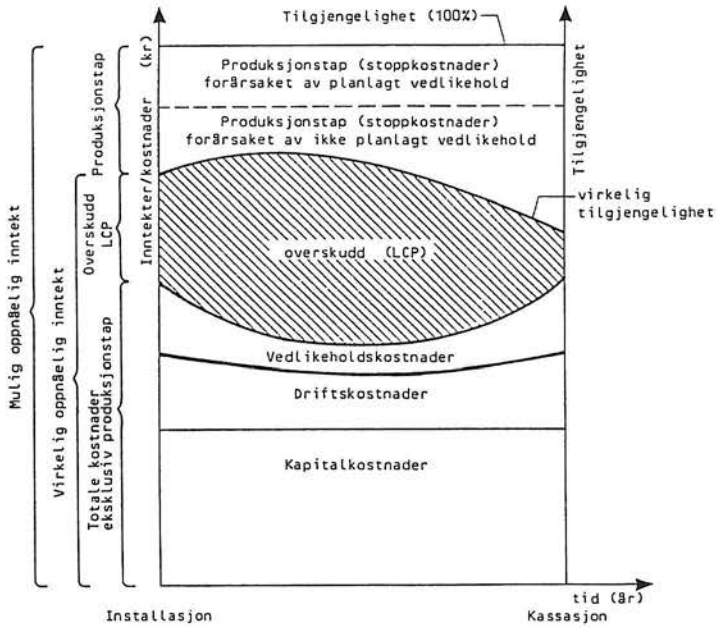
I et prosjekt SINTEF Sikkerhet og pålitelighet gjennomførte på oppdrag for flere oljeselskap og leverandører av datamaskinbaserte prosessikringssystemer (Lydersen & Aarø 1989), ble LCC benyttet ved vurdering av optimal konfigurasjon (antall og votering av detektorer og CPU'er -Central Processing Unit) med hensyn på økonomi og sikkerhet.

Prosjektet representerer en typisk bruk av LCC-konseptet som beslutningsstøtte for valg mellom ulike alternativ. Mange av kostnadselementene viste seg å være identiske for de ulike alternativene. Dette medførte at det for disse kostnadselementene ikke var av stor betydning å finne de eksakte verdiene, i og med at det var den totale forskjellen i levetidskostnadene man var ute etter.

1.4 Fra Life Cycle Cost (LCC) til Life Cycle Profit (LCP)

Når produksjonstap forårsaket av bortfall av funksjon (utilgjengelighet) inkluderes i LCC-begrepet, kan man finne at litteraturen omtaler dette som Life Cycle Profit (LCP). Figur 1.3 brukes ofte for å vise hva som menes med LCP-begrepet[1].

LCP, slik begrepet ofte brukes, inkluderer utilgjengelighetskostnadene, dvs. tap av inntekt i den tiden produktet er utilgjengelig, og dermed inkluderer det delvis inntektssiden i tillegg til kostnadssiden. Det tas for så vidt også hensyn til utilgjengelighetskostnadene i IEC-standarden som en del av LCC-konseptet, uten at man dermed betegner dette for LCP. Vi legger også merke til at oppnåelig inntekt ved 100 prosent tilgjengelighet tas som gitt. Denne definisjon av LCP skiller seg dermed ikke fra LCC på dette området.



FIGUR 1.3 LCP - levetidsoverskudd
Kilde: Schjølberg & Bønå (1983).

Inntekt, og eventuelt tap av denne, påvirkes imidlertid av langt flere forhold enn bortfall av funksjon. Først og fremst vil valg mellom alternativ påvirke utstyrets/systemets mulige inntekt, dernest innvirker de beslutninger som tas gjennom levetiden på den totale lønnsomheten. Innholdet i LCP-begrepet slik det er brukt ovenfor, blir dermed for snevert sett i forhold til hva som bør være naturlig å inkludere i vurderinger knyttet til fortjeneste.

[1] Vi går ikke her inn på en nærmere drøfting av figuren, som for eksempel at produktet kasseres mens det ennå gir positivt dekningsbidrag.

Vi ønsker derfor å utvide LCP-begrepet slik at inntektssiden, samt usikkerhet og risiko[2] knyttet til ulike valg kommer sterkere frem i analysen. LCP-tankegangen slik vi ser den for oss, er nærmere beskrevet i kapittel 2 gjennom oppbyggingen av en generell LCP-modell. Figur 2.1 illustrerer også forskjellen mellom tradisjonell LCC og vårt utvidete LCP-begrep.

1.5 Litteratur

For å skaffe en oversikt over litteratur som omhandler LCC/LCP er det gjennomført et begrenset litteratursøk. Formålet har først og fremst vært å gi eksempel på hva som finnes og hvilke kilder man kan benytte, snarere enn å foreta en komplett kartlegging. De bøker og artikler som er presentert nedenfor representerer således bare et lite utvalg, og er på ingen måte en uttømmende liste over fag-litteratur på området.

Det er gjennomført søk i 6 databaser:

- BIBSYS. Omfatter alle norske universitet pluss noen forskningsinstitusjoner. Inneholder ca. 1.3 millioner referanser, i det vesentligste bøker.
- ASU Libraries Catalog (Arizona State University). Inneholder bøker og tidsskrifter.
- CARL UnCover (Colorado Alliance of Research Libraries). Artikkeldatabase.
- Compendex Plus (CD-ROM). Inneholder tidsskrifter, rapporter, innlegg på konferanser etc..
- Food, Science and Technology Index (CD-ROM). Inneholder referanse til artikler, bøker, rapporter patenter, lover etc..
- Books In Print With Book Reviews Plus (CD-ROM). Inneholder henvisning til bøker og bokkataloger som finnes ved amerikanske forlag.

Søk i Food, Science and Technology Index ga ingen relevante treff. De bøker/artikler som ble funnet i ASU Libraries Catalog ble også dekket i BIBSYS, slik at bøkene/artiklene nedenfor relaterer seg til i alt 4 databaser. Totalt ble det funnet over hundre titler katalogisert under LCC-paraplyen. De få vi har gjengitt her er et utvalg som gjenspeiler bredden og den generelle vinklingen i litteraturen.

Generelt kan man si at tankegang og metodikk bak tradisjonell LCC er svært godt dekket i tilgjengelig litteratur, og det finnes mange bøker rundt emnet. Vi har derimot ikke funnet litteratur som berører risiko i et LCC/LCP-perspektiv. I den grad LCC er behandlet i artikler dreier det seg om anvendelse

[2] Med risiko forstår vi en hendelse hvor de alternative utfall kan beskrives ved en sannsynlighetsfordeling, mens usikkerhet betegner en situasjon hvor man ikke kan etablere en slik sannsynlighetsfordeling. Overgangen mellom usikkerhet og risiko vil være flytende, og benevnelsene brukes i praksis i stor grad om hverandre.

av kjent metodikk på konkrete problemstillinger innenfor et fagområde. Litteratursøket tyder derfor på at det har foregått liten utvikling av LCC ut over det som er etablert som standard (tradisjonell) metode.

1.5.1 Bøker/rapporter

Gröttvedt, T.: *LCC : en teknik att påverka totalkostnaden under en produkts livslängd*, Stockholm: Sveriges mekanförbund, 1984. 106 sider.

Rapporten har som fremste formål å formidle erfaringer fra, og kunnskaper om praktisk bruk av LCC-metodikk. Den er problemorientert, spesielt rettet mot vedlikehold, og inneholder mange eksempler. Tema som er berørt er:

- ulike kategorier av vedlikeholdskostnader og reservedelenes virkning på levetidskostnadene.
- LCC fra kundens synsvinkel. (Innhenting og vurdering av tilbud, og LCC-kontrakter.)
- LCC fra tilvirkers synsvinkel. (LCC som salgsargument, produktutvikling og egenskaper som tilvirkeren har kontroll over, valg av kostnadselementer, metoder for å estimere kostnader og hvordan data til analysen kan finnes.)
- systemdesign med fokus bl.a. på redundans, kapasitetsreserver og sikkerhetslager.
- steg for steg beskrivelse av arbeidsgangen i LCC-analyser.
- oversikt over ulike edb-program for håndtering av driftssikkerhetsdata, reservedelsoptimalisering og LCC-analyser.

Fabrycky, Wolter J. and Blanchard, Benjamin S.: *Life-Cycle Cost and Economic Analysis*, New Jersey: Prentice-Hall, 1991. 384 sider.

Boken er skrevet som en grunnleggende lærebok i investeringsanalyse/LCC-analyse med oppgaver etter hvert kapittel. Den er bredt anlagt og gir en oversikt over moment og problemstillinger innenfor fagområdet, men går lite i dybden.

Innholdet omfatter:

- beskrivelse av ulike faser i et systems levetid med eksempler på aktiviteter som må gjennomføres og kostnader i de ulike faser.
- klassifisering av kostnadsarter, og beskrivelse av en kostnadsnedbrytningsstruktur.
- tradisjonell investeringsanalyse, inkl. følsomhetsanalyse og Monte Carlo-simulering.
- beslutningsregler under både risiko (man kan beskrive sannsynlighet for ulike utfall) og usikkerhet (kan ikke beskrive sannsynlighet for ulike utfall).
- retningslinjer for gjennomføring av LCC-analyser, utvikling av kostnadsprofil, inflasjonsjusteringer, lærekurver og "design to cost".
- metoder for kostnadsestimering, datakilder, justeringer av kostnadsdata.
- case-studie av 1) innkjøp av kommunikasjonssystem, og 2) modellering og optimering av en populasjon reparerbart utstyr mht. antall enheter av utstyret, alder for utskiftning og antall reparasjonsfasiliteter.

Brown, Robert J. and Yanuck, Rudolph R.: *Introduction to Life Cycle Costing*, New Jersey: Prentice Hall, 1985. 313 sider.

Bokens formål er å forklare konseptet Life Cycle Costing, foreslå hvilke former for innkjøp som er egnet for LCC-analyser, samt være en manual med teknikker og anvendelser av Life Cycle Costing.

Innhold i stikkordsform:

- tradisjonell investeringsanalyse
- levetidsbetraktninger
- forklaring av LCC-konseptet
- estimering av energikostnader med formler for bl.a. belysning, varmetap, pumper og damplekkasje
- 7 små case-studier som fokuserer på energikostnader

Flanagan, Roger; Norman, George; Meadows, Justin and Robinson, Graham: *Life Cycle Costing: Theory and Practice*, Oxford: BSP Professional Books, 1989. 181 sider.

Boken henvender seg først og fremst til bygningsindustrien, og de tema som gjennomgås samt eksempler og case-studier er relatert til denne. At LCC-estimater er basert på usikre størrelser blir tatt opp i egne kapitler.

Innhold:

- grunnleggende teknikker for diskontering, nåverdi- og annuitetsberegninger.
- typer, kilder og bruk av data i LCC-analyser av bygninger.
- prinsipper for følsomhetsanalyse og Monte Carlo-simulering.
- prosedyre for rangering av ulike alternativ mht. flere kriteria som ikke kan kvantifiseres ved kostnader (flermålsplanlegging), f.eks. motstand mot bakterievekst og vannabsorbsjon.
- illustrasjon av prosedyrene ved case-studier av golvbelegg til et supermarked og vegger i et skolekjøkken (tapet, fliser, maling, etc.).

IEC 300-3-X: *DEPENDABILITY MANAGEMENT Part 3: Application guide Section X: Life Cycle Costing*, 1993. 23 sider.

IEC-standard under utarbeiding for levetidskostnadskonseptet. Denne er omtalt i detalj under pkt. 1.2., men tas med her for helhetens skyld. Kort beskrevet inneholder standarden:

- definisjoner og beskrivelse av sentrale LCC-begreper.
- faseinndeling av levetiden med tilhørende aktiviteter og kostnadselementer.
- steg for steg beskrivelse av gjennomføringen av en LCC-analyse.

1.5.2 Artikler

Oh, Chi J. and Park, Chan S.: "An Economic Evaluation Model for Product Design Decisions under Concurrent Engineering", *The Engineering Economist*, vol. 38, no. 4 (Summer 1993), p. 275-297.

Oh og Park beskriver en flertrinns integrert beslutningsmodell hvor beslutninger om produkt- og prosessdesign tas simultant på hvert trinn. Dynamisk programmering (DP) benyttes for å finne optimale designbeslutninger som minimerer de totale produktkostnader (levetidskostnader) under strategiske beskrankninger. I artikkelen blir gjennomløpstid i produksjonen, feilprosent og varer i arbeid gitt som eksempler på strategiske beskrankninger og brukt som tilstandsvariable i DP.

Implementeringen av beslutningsmodellen følger følgende steg:

1 Etablering av produktdesign alternativer som tilfredsstiller funksjonelle krav.
2 Etablering av prosessdesign alternativer. Produksjonsprosessen dekomponeres i hovedoperasjoner, og for hver av disse foreslås det flere alternative prosesser.
3 Prestasjonsmåling for kombinasjoner av prosessalternativ og produktdesignalternativ innenfor de(n) strategiske beskrankning(er) som blir benyttet.
4 Estimering av kostnader for alle kombinasjoner av produktdesign, hovedoperasjon og prosessdesign.
5 Bestemmelse av optimal løsning, dvs. det produktdesignalternativet som gir lavest kostnad ved optimalt prosessvalg.

Walley, Peter; Menezes, Fernando; De Souza, Campello: "Uncertainty and Indeterminacy in Assessing the Economic Viability of Energy Options: A Case Study of Solar Heating Systems in Brazil", *Energy Systems and Policy*, vol. 14, no. 4 (1990), p. 281-304.

Artikkelen viser hvordan en kan finne et matematisk uttrykk for forventet besparelse ved å benytte solenergi i forhold til en alternativ energikilde. I dette uttrykket inngår det både sikre og følgende usikre parametre:

- reparasjons- og reservedelskostnader pr. tidsenhet på et gitt tidspunkt, t.
- risikofri rente på tidspunkt t.
- kostnad pr. enhet alternativ energi på tidspunk t.
- levetiden til solenergi-systemet.

For å bestemme sannsynlighetsfordelinger for de usikre størrelsene benyttes en kombinasjon av historiske data og ekspertvurderinger/subjektive sannsynligheter. Ved uenighet om parametrene i sannsynlighetsfordelingene, benyttes de ulike forslag til parametre etter tur i beregningen av forventet besparelse. Til slutt settes disse beregningene opp i tabellform til støtte for beslutningsprosessen.

Hill, Vickie Lee; Beall, Charles W. and Blischke, Wallace R.: "A Simulation Model for Warranty Analysis", *International Journal of Production Economist*, vol. 22, no. 2 (1991), p. 131-140.

Artikkelen presenterer en simuleringsmodell for å beregne garantikostnader som funksjon av:

- produktets levetidsfordeling.
- lengden på garantiperioden.
- fornying av garantiperioden ved svikt eller ei.
- kjøpers anskaffelseskostnad.
- leverandørs kostnad for administrasjon av reklamasjoner og erstatning av enheter som har sviktet.
- sannsynlighet for at svikt fører til reklamasjon.
- sannsynlighet for at reklamasjonen avvises.
- sannsynlighet for at et nytt kjøp blir gjort hvis svikten oppstår etter garantiperiodens utløp.

Ved å benytte simuleringsmodellen kan leverandører beregne kostnadene knyttet til alternative garantistrategier, og deretter velge den strategi som minimerer utgiftene over levetiden.

Ntuen, Celestine A.: "An Economic Preventive Maintenance Scheduling Model with Truncated Gamma Function", *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 31 no. 1 (1991), p. 31-38.

Artikkelen presenterer en modell for å bestemme optimale tidsintervall mellom forebyggende vedlikehold for et reparerbart system når tiden mellom svikt er gamma-fordelt. Modellen er motivert av hypotesen om at en optimal vedlikeholdsstrategi skal balansere kostnadene som følge av svikt mot kostnadene ved planlagt vedlikehold.

1.6 Program og verktøy for LCC-analyse

Gjennom litteratursøket er det også kommet frem opplysninger vedrørende verktøy, fortrinnsvis edb-baserte, rettet mot LCC/LCP-analyse. Omfang og innholdet av informasjonen er imidlertid svært begrenset, og programmene er i litteraturen i hovedsak bare referert til ved navn. Vi har vurdert det som utenfor forprosjektets målsetning å gå nærmere inn på hvilken kommersiell programvare som dekker området, og har derfor ikke forsøkt å innhente ytterligere opplysninger om de refererte produktene.

Generelt, og ut fra den knappe informasjon vi sitter inne med, virker det som om spennvidden i omfang og kompleksitet av programmene er stor. Dette reflekteres også i prisene, som varierer fra noen få tusen kroner og oppover. Som en illustrasjon på hva et slikt verktøy kan omfatte er nedenfor gjengitt beskrivelsen av *OPUS 9*. Opplysningene er hentet fra en brosjyre utgitt av leverandøren, og er ikke etterprøvd på noen måte.

OPUS 9 er et dataverktøy for LSA og reservedelsoptimering, og markedsføres og selges av SYSTECON AB[3]. Opus 9 er egnet for modellering og studier som omfatter avveininger mellom:

- system design faktorer
- alternative logistikk støtte strukturer
- reparasjonsstrategier
- lagerholdsstrategier og beskrankninger

Resultatrapportering fra OPUS 9 omfatter bl.a. ulike mål for systemeffektivitet, LCC for reservedeler og reparasjoner, kostnads-/effektivitetskurver og tabeller, og reservedelsassortement og -allokeringer.

Verktøyet er utviklet av SYSTECON AB gjennom mer enn 20 år, og blant de selskaper som har installert OPUS 9 er Bofors AB, Deutsche Luftwaffe, Norges Luftfartsverk, Royal Air Force, Royal Army, STATOIL (DDB, DTJ/Heidrun, TEK/OPTEK) og Virginia Polytechnic Institute. Kongsberg Våpenfabrikk og Norsk Forsvarsteknologi A/S har installert tidligere versjoner av OPUS.

Pris (eksl. mva.) for OPUS 9 pr. september 1993 er SEK 265 000 (enbrukerlisens) og SEK 530 000 (nettverkslisens).

I tillegg til OPUS 9 kan SYSTECON tilby en pakkeløsning for LCC-analyser som inneholder et LCC-verktøy basert på Microsoft Excel med tilpasning og opplæring. Verktøyet inneholder bl.a. muligheter for følsomhetsanalyser, identifisering av kritiske komponenter og rangering av alternative løsninger.

---

[3] SYSTECON AB er et svensk konsulentfirma innen Systems Engineering and Logistics (Systemteknikk og Logistikk), som utvikler verktøy, gir undervisning og yter konsulenttjenester blant annet innen LCC, LSA (Logistic Support Analysis) og driftssikkerhetsanalyser.

2 ET UTVIDET LCP-BEGREP

Det som kjennetegner de tradisjonelle LCC- og LCP-begrepene er i bunn og grunn en utvidelse av tidsperspektivet i en investeringsbeslutning fra fokus på investeringskostnad til å omfatte hele livsløpet for prosjektet. Hensikten er at driftskostnader, særlig for langvarige prosjekter, tillegges den rettmessige betydning ved valg mellom alternativer. Oppmerksomhet rundt drift i investeringsbeslutninger fører i sin tur økt innsats i drifts- og vedlikeholdsplanlegging og investeringer i driftssikkerhet.

Det er særlig to forhold som motiverer en utvidelse av de tradisjonelle livsløps-begrepene som beslutningsstøtte. Det ene gjelder *inntektssiden* i utforming og vurdering av alternative prosjekter. Skal en snakke om LCP i den egentlige betydning av lønnsomhet, kan en ikke begrense inntekts-betraktningene til mulig produksjonstap som følge av driftsstans. Det andre aspektet er behandling av *usikkerhet* i en beslutningssituasjon for et prosjekt med lang tidshorisont.

Ser vi tilbake på figur 1.3 som representerer den vanlige betydningen bak LCP, betyr dette en utvidelse av inntektsiden i begge dimensjonene. Ved ønske om størst mulig fortjeneste vil valg av optimal levetid være basert på økonomiske vurderinger, og ikke være en gitt (teknisk) størrelse. Kassasjonstidspunktet angitt i figuren vil derfor være avhengig av kostnader og inntekter knyttet til utstyret[4], og kan ses på som en funksjon av disse.

I tillegg vil mulig oppnåelig inntekt være en variabel innenfor et LCP-konsept for beslutningstøtte. Dette gjelder både valg mellom alternative løsninger, og utforming av den enkelte løsning. Beslutningstaker står dermed ovenfor et mulighetsområde som ikke lenger er begrenset av et gitt rektangel som vist i figur 1.3, men hvor rektanglets "rammer" også vil være beslutningsvariable. Gitt målsetningen om bedre total lønnsomhet må derfor inntektssiden inn i analysen i sin fulle bredde i forhold til hva tilfellet er for LCC.

Et viktig moment i LCP-vurderinger vil være risiko og usikkerhet. Skal suboptimale løsninger unngås, innebærer det at behandling av risiko må gjennomføres slik at separate beslutninger er konsistente og bidrar til prosjektets og selskapets overordnete mål. Tradisjonelt har LCC-metodikken kun fokusert på forventningsverdier, og ofte innenfor svært begrensete områder. Det synes derfor sentralt, og som en naturlig forlengelse av ønsket om å bringe inn inntektssiden, å fokusere på risiko og usikkerhet som en del av LCP-analysen.

Gjennom LCP-metodikkens brede angrepsvinkel kan innholdet i en kostnadsanalyse i utgangspunktet tenkes å favne svært vidt. Dette vil være en fornuftig tilnærming på et tidlig stadium i et prosjekt, f.eks. i designfasen, hvor rammeverket ikke bør fungere som en begrensning for hvilke element beslutningsta ker velger å inkludere i analysen. Mao. bør basis være et grunnlag som ivaretar de sentrale aspekt og forhold av betydning for den aktuelle beslutning, og hvor viktige kostnadsfaktorer står i fokus.

---

[4] Teknisk utvikling vil også (indirekte) være inkludert i kostnadene knyttet til utstyret. F.eks. kan ny teknologi på området innebære at det gamle utstyret gir lavere inntekt pr. produsert enhet enn hva som kan oppnås ved investering i nytt utstyr. Tapt inntekt vil dermed inngå som en kostnad knyttet til eksisterende utstyr.

Den nødvendige avgrensning av analysen må skje gjennom tilpasningen til hvert enkelt beslutningsproblem. Basert på den generelle modellen kan man se for seg en situasjon hvor beslutningstaker velger å inkludere og fokusere på de element som forventes å ha størst betydning, mens øvrige deler enten utelates eller behandles mer summarisk.

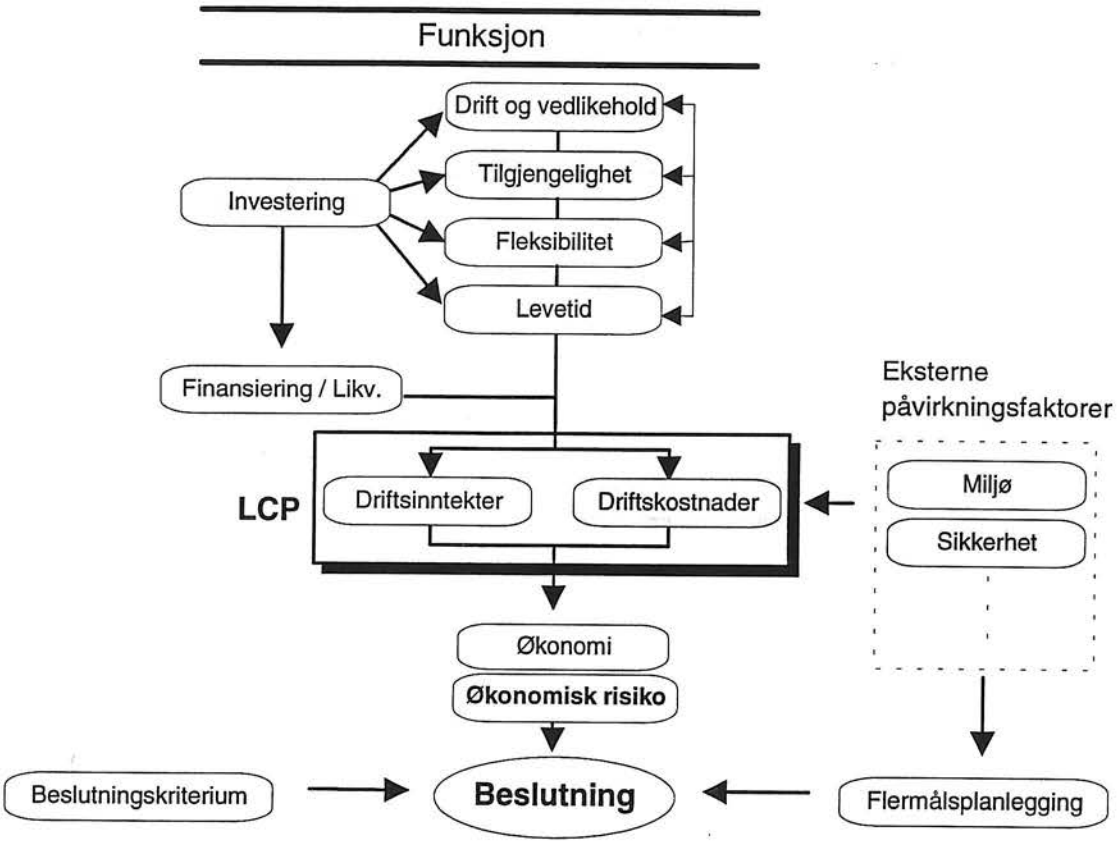
Nedenfor følger en gjennomgang av hvordan vi ser for oss en generell LCP-modell. Dette rammeverket vil danne basis for en konkretisering av oppgaver basert på innspill og synspunkt fra bedriftene.

2.1 Element og faktorer i en LCP-analyse

Hovedelementene i en LCP-analyse er vist i figur 2.1, hvor pilene antyder påvirkning. Figuren illustrerer hvordan valg som berører ett område influerer på andre element over levetiden.

Selv om pilene i figuren er en-veis utelukker ikke dette at det også flyter informasjon den andre veien. I en reell beslutningssituasjon vil analysen gjerne skje i form av en eller flere iterasjoner, hvor konsekvensene på ett trinn blir formidlet både fremover og bakover til nærmeste trinn. Dette sikrer at løsninger på ett nivå er akseptable for neste nivå, og at helheten blir ivaretatt. Det er imidlertid et problem at informasjonsmengden raskt øker og at den dermed blir vanskelig å forholde seg til. Et viktig poeng er derfor å sette fokus på de relasjoner og sammenhenger som er av størst betydning, slik at man sikrer at disse, som et minimum, blir inkludert i beslutningsunderlaget.

Levetid, fleksibilitet, tilgjengelighet etc. ikke er gitt entydig for det enkelte alternativ, men kan påvirkes over livssyklusen. Optimal tilpasning og styring av disse egenskapene kan derfor sees på som særlige problemstillinger innenfor LCP-modellen. Endring i en målstørrelse innvirker imidlertid ofte på en annen, slik at riktige beslutninger forutsetter en integrert analyse.



FIGUR 2.1 LCP-modell. Skraverte bokser angir innholdet i den tradisjonelle LCC-modellen

Gitt en beslutningstaker som står overfor to alternative teknologier, A og B, som dekker samme funksjon. Investering i teknologi A er dobbelt så dyr som teknologi B, men innebærer også andre kontantstrømmer senere i utstyrets levetid. Følger vi gangen i figuren vil investeringsbeslutningen bl.a. avlede levetid. (Ved investering i A vil denne f.eks. være 5 år, mot 4 år for B.) Tilsvarende for henholdsvis tilgjengelighet, fleksibilitet og vedlikehold. Disse elementene vil på sin side påvirke driftsinntekter- og kostnader, som har betydning for økonomisk risiko. Samme grunntanke ligger bak oppbyggingen av hele figuren. De enkelte elementene er kommentert og beskrevet nedenfor.

2.2 Funksjon

Funksjon er det overordnede krav til utstyret som vurderes, og påvirker dermed de valgmuligheter som eksisterer. Avgrensningen av beslutningstakers opsjoner påvirker også indirekte faktorer som investering, levetid, tilgjengelighet, fleksibilitet og vedlikehold, ved å fungere som beskrankninger i et tenkt optimaliseringstilfelle.

Funksjon kan i hovedsak relateres til 2 nivåer, enten selve utstyret, eller den innretning/installasjon utstyret er en del av. Analysens fokus vil her være avgjørende for hvilket nivå som er naturlig, og jo mer overordnet karakter beslutningen har, jo høyere aggregeringsnivå synes fornuftig. Uansett hvilket

detaljeringsnivå som ligger til grunn for LCP-analysen, er det viktig å være klar over de overordnede oppgaver og målsetninger, slik at suboptimalisering unngås.

Funksjon vil være det overordnede rammeverket som setter krav til ytelse, varighet, pålitelighet osv.. Ofte vil dette være i form av skranker, som sammen med funksjons- og kostnadssammenhenger danner grunnlaget for en avveining mellom ulike alternativ. Identifisering av disse sammenhengene over levetiden er sentralt innenfor LCP.

2.3 Investering

Selve investreingskostnaden er normalt enkel å estimere, men utgjør i mange tilfeller kun en liten del av de totale livsløpskostnader. Det at kostnaden er nær i tid, har imidlertid medført at investeringsbeløpet ofte har stått sentralt ved avveining mellom forskjellige alternativ. Valg av investeringsalternativ er av betydning for drift og vedlikehold, tilgjengelighet, levetid og fleksibilitet.

2.4 Finansiering og likviditetsstyring

Et vesentlig aspekt ved store investeringer er finansieringen, hvor sammensetningen og oppbyggingen av denne vil påvirke senere kontantstrømmer. Foruten å sikre tilgang av (risikovillig) kapital, bør finansieringen bidra til en fornuftig likviditetsstyring for bedriften sett under ett.

For relativt homogene projekt, og hvor disse innebærer små investeringer, vil normalt ikke finansieringen skille seg nevneverdig for ulike alternativ. For strategiske beslutninger som ofte er forbundet med stor usikkerhet, kan imidlertid finansieringen, og kostnadene forbundet med denne, skille seg vesentlig fra det ene til det andre alternativet.

2.5 Levetid

Som for betraktningene rundt funksjon kan levetiden knyttes til enten selve utstyret eller den installasjon det er en del av. Uavhengig av hvilken avgrensning man velger kan levetiden både oppfattes som teknisk levetid og økonomisk levetid. Fra et lønnsomhetssynspunkt vil økonomisk levetid være det sentrale, og en variabel som søkes optimalisert innenfor den begrensning som ligger i den tekniske levetiden.

Økonomisk optimal levetid er interessant for utstyr hvor kapasitet og ytelse, eller kostnader for å opprettholde denne, varierer med slitasje og alder. Både tilgjengelighet og vedlikehold vil inngå i bestemmelsen av økonomisk levetid. En uttømmende analyse over et gitt antall alternativ kan mao. innebære et komplekst problem i seg selv. Muligheter for redundansinvesteringer, teknologisk utvikling, markedsutvikling o.l. vil også påvirke den optimale levetiden.

2.6 Tilgjengelighet

I en tradisjonell LCC-oppbygging er kostnader forbundet med utilgjengelighet en av i alt 3 komponenter. Manglende tilgjengelighet medfører en kostnad for virksomheten gjennom tapt produksjonstid.

Høyere tilgjengelighet vil redusere levetidskostnadene ved at tapt produksjon reduseres. Gevinsten må imidlertid avveies mot de ressurser som forbrukes for å oppnå denne økte tilgjengeligheten. Hyppigere vedlikehold er her et typisk eksempel.

2.7 Fleksibilitet

Fleksibilitet for et system innebærer at beslutningstaker, i større eller mindre grad, har mulighet for å endre og/eller påvirke design og funksjon i løpet av levetiden. Slike behov kan oppstå som følge av endrede rammebetingelser, eller pga. interne forhold. Muligheten for å korrigere for slike påvirkninger vil være en styrke for det gitte alternativet, og verdien av dette søkes tatt inn i LCP-analysen gjennom å inkludere fleksibilitet som en viktig egenskap.

Et fleksibelt system kjennetegnes ved at det er robust overfor endringer ved at det gir rom for mottiltak. Identifisering og verdisetting av en slik fleksibilitet vil derfor bidra til å bedre beslutningsunderlaget.

2.8 Vedlikehold

Gjennomføring av vedlikehold påvirker kostnadene både direkte og indirekte. Direkte vil vedlikeholds-kostnadene (lønn, reservedeler etc.) medføre en utgift. Indirekte vil vedlikeholdets innvirkning på ytelse og tilgjengelighet kompensere for de direkte vedlikeholdsutgiftene ved at fremtidig tap pga. dårlig kvalitet og utilgjengelighet reduseres.

Beregning av den beste vedlikeholdsplan vil være nært koblet opp mot faktorer som levetid og tilgjengelighet, og forutsetter en integrert analyse.

2.9 Miljø/Øvrige eksterne påvirkningsfaktorer

Foruten de begrensninger på valg som styres av funksjonskrav, vil eksterne (eksogene) påvirknings-faktorer influere på kontantstrømprofilen. Disse faktorene representerer ofte en ikke-kontrollerbar usikkerhet, hvor styringsmulighetene er tilsvarende små. I den grad utfallsrommet inneholder ikke-akseptable utfall vil slike eksterne faktorer være beskrankninger i beslutningssituasjonen.

Et eksempel på en beslutningssituasjon hvor eksterne faktorer innskrenker valgmulighetene, er f.eks. konsept som innebærer en sannsynlighet for miljøødeleggelser, hvor konsekvensene av disse enten er svært store og/eller ikke-reverserbare. Selv en svært liten sannsynlighet for katastrofe vil utelukke løsningen, uavhengig av om øvrige kriterier som forventningsverdi og varians taler til fordel for denne.

Behandling av denne type risiko innebærer behov for andre metodegrep enn behandling av usikkerhet som man kan påvirke og kontrollere gjennom f.eks. diversifisering. Det er også et avveiningsspørsmål hvor mye ressurser som skal settes inn på å kartlegge sannsynlighetsfordelingen til en ekstern risikokomponent.

2.10 Driftsinntekter/-kostnader

På bakgrunn av de ovenfor nevnte faktorer kan det beregnes kontantstrømsprofiler for forskjellige løsninger og konseptvalg. Driftsinntekter og -kostnader bør omfatte alle komponenter som påvirkes av de løsninger som sammenlignes, det være seg direkte så vel som indirekte. I praksis må system-avgrensning og detaljering være håndterlig.

Identifiseringen av de komponenter som skal inngå i kontantstrømmene vil være avgjørende for analysens brukbarhet.

2.11 Økonomi/Økonomisk risiko

Beregningen av driftsinntekter og -kostnader vil avlede lønnsomheten av alternativene og den usikkerhet som knyttes til hvert enkelt valg. Sistnevnte vil være uttrykt gjennom økonomisk risiko.

Behandling av økonomisk risiko er et område, hvor en på selskapsnivå står overfor flere angrepsmetoder utover selve prosjekt-utformingen, f.eks. gjennom utforming av kontrakter. Det foreligger ellers en forholdsvis rik litteratur vedrørende risikospredning på selskapsnivå (Hull 1989).

2.12 Flermålsplanlegging

I den grad en eller flere av konsekvensene av et alternativ ikke lar seg kvantifisere ved økonomiske mål, vil beslutningstaker stå overfor en flermålssituasjon. Årsaken til at ikke alle virkninger kan omsettes til en felles målestokk er underordnet i denne sammenheng, det viktige er hvordan avveiningen mellom verdier som ikke er direkte sammenlignbare, gjennomføres. Bruk av flermålsplanlegging er mye omtalt i litteraturen, og selve metodikken understøttes av flere system som er tilgjengelig på markedet. Metodikken stiller ofte krav til etablering av nyttefunksjoner basert på skjønn.

2.13 Beslutningskriterium

Enhver beslutning baserer seg på et eller flere beslutningskriterier, enten disse er eksplisitt uttalt eller ligger implisitt under. Valg av løsning vil i større eller mindre grad avhenge av kriterium, og beslutningstakers preferanser kan ha like stor betydning som de underliggende forhold. LCP som beslutningsstøtte bør derfor gi rom for flere kriterier, slik at bruker har mulighet for å tilpasse dette til det gitte problem. (Flermålsplanlegging kan sies å representere et sett av beslutningskriterier, hvor disse sammenstilles innbyrdes.)

Som eksempel på beslutningskriterier nevnes:

- maksimer forventningsverdi av netto nåverdi
- minimer standardavvik
- maksimer minste resultat (maksimin-kriterium)
- dominanskriterium (deterministisk, stokastisk)
- maksimer forventet nytte

2.14 Beslutning

I en vurdering ligger også verdien av mulige fremtidige valg, og beslutningen i nåtidspunktet kan derfor betraktes som at beslutningstaker "kjøper" seg en opsjon på de tilhørende fremtidige valg.

Innenfor hvert av områdene omtalt ovenfor kan det reises flere spørsmål, både av teoretisk og mer praktisk art. Tar vi utgangspunkt i det skisserte rammeverket, vil det før fremgangsmåten kan anvendes på et konkret case, gjenstå behov for nærmere spesifisering og avklaring av metodikk, herunder behandling av risiko. Dette er problemstillinger som vil bli berørt under behandling av de enkelte områdene i kapitlene 4-7.

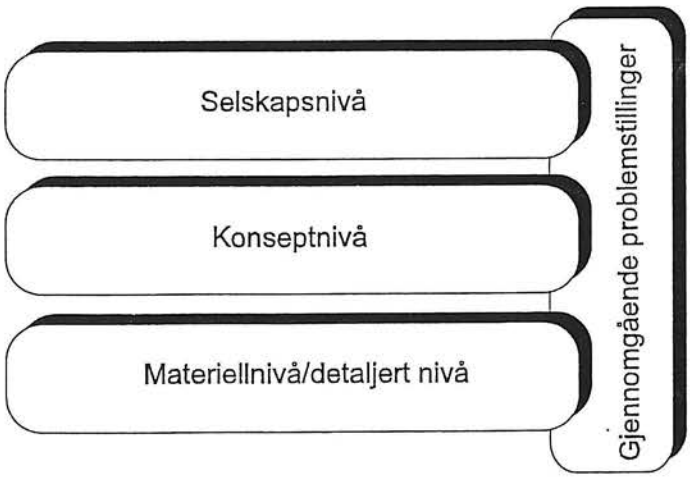
3 LCC/LCP I BEDRIFTENE

De seks programdeltakerne innenfor PS-2000 har vært knyttet opp mot de to parallelle forprosjektene "Nye Prosjektstyringsteknikker" (Statoil, Statsbygg og Televerket) og 'LCP og Usikkerhet'(Forsvaret, Hydro a.s og Saga Petroleum a.s). Målsetningen med en slik splittelse var at de enkelte bedriftene kunne fokusere på et avgrenset problemområde, foruten et ønske om å kunne konsentrere ressursinnsatsen i forprosjektene mot et mindre antall bedrifter. Den videre fremstilling av bedriftenes erfaringer og synspunkt på LCC/LCP er derfor basert på samtaler med de ovenfor tre nevnte enhetene, uten at dette nødvendigvis begrenser verdien av de resultat og forslag til videre arbeid som fremkommer. Flere problemstillinger er gjennomgående og kan være aktuelle innen et generelt rammeverk.

Det er i løpet av forprosjektet gjennomført to møter med hver av deltagerne. Vi har dessuten fått kommentarer og innspill basert på et tidlig utkast til rapport. I tillegg har vi diskutert problemstillingene i forprosjektet med Statoil, og hatt et møte med DNV Industry vedrørende CMT (se avsn. 3.1 nedenfor). Endelig har to prosjektmedarbeidere deltatt på et seminar omkring 'Value Engineering' i regi av Norsk Hydro.

Med bakgrunn i den generelle fremstillingen (kap. 2) og gjennom samtaler med deltakerbedriftene er det identifisert problemstillinger som er aktuelle for videreføring i et eventuelt hovedprosjekt. Enkelte oppgaver vil være av en slik størrelse at de er naturlig å behandle innenfor egne hovedprosjekt, mens andre kan inngå som element i hovedprosjekt bestående av flere moduler.

Problemstillingene kan grupperes i fire overordnete områder, hvor disse representerer beslutningsnivå. Problemområdene vil videre i rapporten bli presentert i tilknytning til disse hovedområdene, som er vist i figur 3.1.



FIGUR 3.1 Problemstillinger relatert til forskjellige nivå

De forskjellige nivåene har paralleller til de ulike fasene i et prosjekt. Selskaps- og konseptnivå vil her være betegnende for de avveininger og valg som foretas i de første stadier av et prosjekt, mens materiellnivå normalt fokuseres på i senere faser. Inndelingen kan derfor også sies å ha tilknytning til prosjektets fasevise forløp.

Innholdet i de forskjellige betegnelsene vil bli utdypet under beskrivelsen av de tilhørende problemstillingene, men kan i stikkordsform beskrives ved følgende:

Selskapsnivå. Overordnet nivå, kjennetegnet ved vide systemgrenser og beslutninger av strategisk karakter. F.eks. valg av hvilke oljefelt som skal utvinnes.

Konseptnivå. Under selskapsnivå, og med snevrere systemgrenser. Beslutninger tas i tidlig fase av prosjektet, og valgmulighetene er store. Valg av utbyggingsløsning for et oljefelt kan være et eksempel på beslutninger på konseptnivå.

Materiellnivå/detaljert nivå. Valg knyttet til enkeltkomponenter og/eller delsystem, med formål å optimalisere en gitt funksjon. Beslutninger på dette nivå foregår innenfor et avgrenset system, og koblinger mot andre funksjoner er begrenset eller klart definert. Som eksempel på problemstillinger på materiellnivå/detaljert nivå kan nevnes optimal vedlikeholdsfrekvens.

Gjennomgående problemstillinger. Dette er grunnleggende problemstillinger som er aktuelle innenfor alle de tre nivåene. Man kan derfor tenke seg at teori og metode, f.eks. for implementering av flermålsplanlegging, utviklet under denne paraplyen kan anvendes i tilknytning til alle de øvrige problemområdene.

4 PROBLEMSTILLINGER PÅ MATERIELLNIVÅ/ DETALJERT NIVÅ

Problemstillingene diskutert her vil være aktuelle innenfor LCP-analyse på grunnleggende nivå, og kan derfor sies å representere basiselementer i et totalsystem. Vi har valgt å fokusere på fem områder, henholdsvis

- tilgjengelighet
- redundans
- vedlikehold
- første gangs reservedelsinnkjøp
- optimalt utskiftningstidspunkt

hvorav de to siste spesielt er fremhevet av Forsvaret som aktuelle problem og derfor vektlagt i gjennomgangen.

Det er i utgangspunktet viktig å holde fast ved at disse fem må sees i sammenheng, slik at man hele tiden må ha for øye å finne den kombinasjon av tiltak som sikrer måloppnåelse på en mest effektiv måte. Problemstillingene er her presentert separat for å belyse særtrekk ved de enkelte, uten at dette må tolkes som at det er uavhengighet mellom dem.

4.1 Usikkerhet i tilgjengelighet

Tilgjengelighet er et sentralt element i tradisjonell LCC, og innebærer ikke noen utvidelse av LCC-begrepet. Lav tilgjengelighet innebærer tapt produksjonstid, eventuelt økt belastning på andre ressurser for å opprettholde produksjonen, noe som innebærer en kostnad for virksomheten.

Uttrykket for (asymptotisk) tilgjengelighet er

$$\textit{tilgjengelighet} = \frac{MTTF}{MTTF + MDT}$$

der *MTTF* = *gjennomsnittlig tid til svikt (mean time to failure)*
MDT = *gjennomsnittlig nedetid (mean down time)*

Innenfor tradisjonell LCC behandles MTTF og MDT som gitte, faste tall (forventningsverdier), slik at risikoprofilen knyttet til de enkelte alternativ forsvinner.

En utvidelse gjennom å eksplisitt ta hensyn til den usikkerheten som ligger i de underliggende parametrene (MTTF og MDT) vil forsterke beslutningsgrunnlaget. Dette kan gjøres ved å legge (evt.

subjektive) fordelinger på disse. Det medfører at vi også får en sannsynlighetsfordeling på tilgjengeligheten. Det at tilgjengeligheten gis i form av sannsynlighetsfordelinger vil først og fremst øke forståelsen hos beslutningstaker for den underliggende risiko, og vil avdekke eventuelle uakseptable utfall. Dessuten vil en fornuftig håndtering av aggregert risiko over faser stille krav om at sentrale kostnadsfaktorer blir representert ved sannsynlighetsfordelinger, noe som tilsier at tilgjengelighet målt kun ved forventningsverdi er utilstrekkelig.

Modellering av LCP med en sannsynlighetsfordeling over tilgjengeligheten stiller krav til data for estimering av fordelingen, og nytten av å utvide modellen vil være direkte knyttet til kvaliteten av disse dataene. Det må derfor foretas en avveining i hvert tilfelle om datatilgangen, eventuelt muligheten for å fremskaffe data, tilsier en økt ressursinnsats. Bruk av erfaringsdata og/eller subjektive sannsynligheter vil være sentrale grep i den forbindelse.

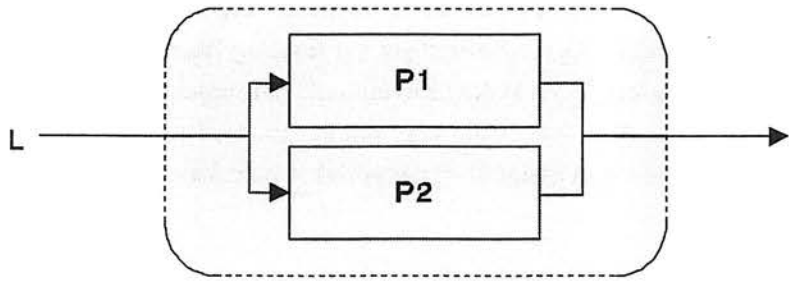
Merk at denne problemstillingen som her er presentert for tilgjengelighet, også gjelder for andre størrelser. For å kunne gjennomføre risikovurderinger kan det generelt være ønskelig å legge usikkerhetsfordeling på de ulike målene.

Uttrykket for tilgjengelighet presentert over gjelder bare for feil som detekteres umiddelbart, og som har direkte effekt på regularitet/produksjon. For sikkerhetsutstyr (f.eks. brann- og gassdetektorer med "sovende" feil), vil ofte feil kun detekteres ved testing, og vi har andre formler for (sikkerhets)tilgjengelighet.

4.2 Redundansoptimalisering

Investeringer i redundans, dvs. ekstra kapasitet, kan være begrunnet både ut fra økonomiske og sikkerhetsmessige forhold. Innenfor LCP-analyse vil vurdering av løsninger fra lønnsomhetskriterier være det sentrale, og de følgende betraktningene vil være relatert til økonomisk optimal redundans. Imidlertid kan det også være nødvendig å innføre redundans for å oppfylle sikkerhetskrav. Denne redundansen kan legge beskrankninger på oppnåelig fortjeneste, og vil derfor indirekte påvirke lønnsomheten.

Formålet med å investere i ekstra kapasitet er primært å øke tilgjengeligheten. Dette kan illustreres med utgangspunkt i figur 4.1 nedenfor, som viser en skjematisk fremstilling av en installasjon med to parallelle prosesser.



FIGUR 4.1 Installasjon med to parallelle prosesser

De to prosessene antas identiske, og beskrives ved følgende:

- *Hver av prosessene, henholdsvis P1 og P2, har* ***konstant*** *sviktintensitet (feilrate) lik* λ *(uavhengig av belastningen).*

- *Hver av prosessene har kapasitet lik inngangslasten, L. Kjøres de to prosessene samtidig, antas en belastning på 50% av kapasitet på begge.*

Dette gir en forventet levetid, E(T), for hver av prosessene lik:

$$E(T) = MTTF\ (Mean\ Time\ To\ Failure) = 1/\lambda$$

Settes to komponenter i parallell (som vist i figur 4.1), blir den forventede tiden til feil, $MTTF_T$, for installasjonen:

$$E(T)_T = MTTF_T = \frac{1}{2\lambda} + \frac{1}{\lambda} = \frac{3}{2\lambda}$$

Redundans fører altså til en økning av forventet tid til feil på 50%. Merk at denne formelen gjelder under forutsetning av at det ikke gjennomføres reparasjon før **begge** prosessene har feilet. Med "on-line" reparasjon av den feilede prosessen, vil en naturligvis kunne oppnå en atskillig større effekt av redundansen. I dette tilfelle vil forekomst av fellesfeil være av vesentlig betydning. Igjen er problemstillingene noe anderledes for sikkerhetsutstyr (med "sovende" feil).

Siden MTTF øker ved redundans vil da også tilgjengeligheten øke, og dette gir en fordel ved å installere to prosesser parallelt framfor å ha én prosess. Men redundans vil antakeligvis også føre til økning av drifts- og vedlikeholdskostnadene, og installasjonskostnadene er åpenbart større for to prosesser enn for én.

Det beslutningsproblemet en får kan tenkes formulert på flere måter. Alle tre er basert på at en definerer en *målfunksjon*, og at en så finner et optimum med hensyn på denne.

1. Minimering av forventede kostnader, eksklusive kostnader ved utilgjengelighet, under hensyn til krav om tilgjengelighet og sikkerhet. Målet blir dermed å finne den løsningen som oppfyller de gitte krav til lavest kostnad. Inntektssiden spesifiseres her ikke eksplisitt, men vil implisitt ligge i betingelsen om minste akseptable tilgjengelighet. (Dette resonnementet gir at kostnader forbundet med utilgjengelighet utelates i objektfunksjonen.)

2. Maksimering av forventet nåverdi. I målfunksjonen inngår da alle økonomiske konsekvenser relatert til det aktuelle alternativ. Kostnader ved utilgjengelighet inngår eksplisitt i beregningen.

3. Maksimering av beslutningstakers forventede nytte, der denne er en funksjon av tilgjengelighet, sikkerhetsnivå, inntekter og kostnader. Introduksjon av nyttebegrepet krever at beslutningstakers nyttefunksjon (prioriteringer med hensyn på ulike faktorer) bestemmes, noe som i praksis ikke er en lett oppgave. Bruk av nyttefunksjoner kan også være problematisk med tanke på brukeraksept. Utvikling av beslutningsstøtte basert på slike funksjoner bør derfor skje som en videreføring av etablerte verktøy, snarere enn som en første angrepsmåte.

For å finne optimal løsning må altså den gevinst som oppnås ved installasjon av redundanskapasitet vurderes opp mot nødvendig investering. Beslutningen vil ikke bare berøre hvor stor den ekstra kapasiteten eventuelt bør være, men også hvor denne skal plasseres i systemet for å oppnå best kost/nytte-effekt.

Hvorvidt en redundansinvestering er lønnsom avhenger av flere forhold, hvorav de viktigste er:

- sviktintensitet (og andel fellesfeil)
- reparasjonstid
- vedlikeholdsrutiner/-filosofi (f.eks. preventivt vs. korrektivt vedlikehold)
- kostnad ved utilgjengelighet
- investeringskostnad
- drift-/vedlikeholdskostnad
- substitusjonsmuligheter[5]

I tillegg kommer fysiske begrensninger i form av plass, vekt etc. som påvirker mulige løsninger.

[5] Substitusjonsmulighet innebærer mulighet for å kompensere for systemsvikt gjennom å skifte over til alternative kilder eller system. Som eksempel kan nevnes substitusjonsmuligheter for kraft levert fra en transformatorstasjon. Oppstår systemsvikt i en transformator, kan E-verket enten 1) skifte over til en annen transformator i stasjonen, eller 2) levere kraft til nettet fra en ekstern transformatorstasjon. Førstnevnte er et eksempel på redundans i systemet, mens sistnevnte representerer en ekstern substitusjonsmulighet. (Dette er også en form for redundans, men ligger i større grad utenfor beslutningstakers kontroll.)

4.3 Vedlikehold

Vedlikeholdssystem og -strategi vil ofte være en viktig faktor for lønnsomhetsbildet. Vedlikeholdsarbeidet innebærer i seg selv en direkte kostnad, gjennom personellkostnader, reservedeler og tapt produksjonstid for å nevne de vesentligste. Men en har også kostnader forbundet med svikt som følger av mangelfullt eller feil vedlikehold. Slike hendelser vil generelt medføre høyere kostnader for bedriften enn om utilgjengeligheten var planlagt (f.eks. i forbindelse med preventivt vedlikehold). En optimal vedlikeholdsplan tar sikte på å reduserede forannevnte kostnader, og på den måten bygge opp under den totale lønnsomheten.

Vedlikeholdsrutiner kan skjematisk grupperes i:

- Preventivt vs. korrektivt vedlikehold
- Periodisk vs. tilstandsbasert vedlikehold (preventivt)

Det mest vanlige i norsk industri er en kombinasjon mellom preventivt og korrektivt vedlikehold. Normalt vil rimelige komponenter hvor svikt innebærer moderate kostnader og ellers er lite kritisk mht. sikkerhet, miljø, tilgjengelighet etc., være gjenstand for korrektivt vedlikehold. For mer kostbare innretninger, og der svikt kan utløse omfattende ressursinnsats for å avgrense tap, vil preventivt vedlikehold være naturlig.

Gitt at preventivt vedlikehold er aktuelt vil beslutningstaker stå overfor avveiningen mellom periodisk eller tilstandsbasert vedlikehold. Førstnevnte medfører at man med bestemte intervall gjennomfører vedlikehold på utstyret, uavhengig av utstyrets tilstand og/eller slitasje. Tilstandsbasert vedlikehold baserer seg på at man måler utstyrets tilstand og funksjonsdyktighet, og på bakgrunn av de innhentede opplysninger bestemmer om vedlikehold skal gjennomføres eller ikke. Modellering av usikkerhet står sentralt i begge vedlikeholdsrutiner, og er avgjørende for hvilken strategi som er best. Brukes periodisk vedlikehold, er valg av intervallets lengde et sentralt spørsmål.

Et modellverktøy for å bestemme optimal vedlikeholdsstrategi vil først og fremst basere seg på at en etablerer og bearbeider sannsynlighetsfordelingene for tid til feil. Verktøyet må være i stand til å fange opp de relevante kostnadene, spesielt i forbindelse med utilgjengelighet, og må sikre at suboptimalisering i forhold til andre tiltak (f.eks. redundansoptimalisering) unngås. Sentrale komponenter og avveiningsmuligheter som bør inngå er:

- Kostnader ved preventivt og korrektiv vedlikehold forbundet med
  - ressursinnsats (arbeidsinnsats, deler, materiell)
  - utilgjengelighet
- Tidsforbruk ved vedlikehold
- Tilpasning til sesongvariasjoner
- Faste eller varierende vedlikeholdsintervall
- Kostnader ved informasjonsinnhenting (tilstandsbasert vedlikehold)
- Inspeksjonsfrekvens ved tilstandsbasert vedlikehold

4.4 Første gangs reservedelsinnkjøp

4.4.1 Problembeskrivelse og mål

Første gangs reservedelsopplegg er vanlig å inkludere i investeringskostnadene og vil i tidlig prosjektfase bli behandlet på et relativt grovt nivå, f.eks. anslått til 5% eller 10% av investeringskostnadene. Før det nye materiellet settes i regulær drift må det imidlertid tas stilling til hvilke reservedeler og antallet av disse delene som skal anskaffes og legges på lager, og problemet består i å finne metoder/-kriterier for dette.

> Målet med å bruke en LCC-analysemetode for utvelgelse av første gangs reservedelsopplegg er å finne frem til optimal størrelse (typer og mengder av reservedeler) for en ny materielltype.

4.4.2 Begrensninger og spesielle forhold

Et av de forholdene som gjør utvelgelse av førstegangs reservedelsopplegg til et problem, er at materiellet er nytt og ukjent. Desto mer ny teknologi og (for brukeren) nye komponenter, desto større usikkerhet knytter det seg til det fremtidige behovet for reservedeler.

Forsvaret er i en spesiell situasjon på to måter:

1) Reservedelslagrene må dimensjoneres for en mulig stridssituasjon

Med dimensjonering menes her hvilke typer av reservedeler som skal ligge på lager, samt antallet av hver type. I tillegg til at antallet reservedeler av hver type vil måtte være større i en stridssituasjon enn i en normal driftssituasjon (øvelser i fredstid) pga. større påkjenninger, krav til uavhengighet i forhold til leverandører etc., så vil også antallet typer øke. Dette skyldes behovet for i en stridssituasjon å ha reservedeler som f.eks. grove konstruksjonsdeler, rammer og rammedeler til kjøretøy, som det i normal bruk ikke er behov for.

En dimensjonering av reservedelslager (første gangs) for en stridssituasjon kan tenkes gjennomført med to forskjellige utgangspunkt:

i) Optimalisering basert på direkte kriterier for utvelgelse av reservedeler til en stridssituasjon (uten basis i hva som er forbruket i en normal driftssituasjon).

ii) Optimalisering basert på kriterier for økningen i reservedelsmengden i forhold til en normal driftssituasjon (hvor basis er forbruk i en normal driftssituasjon, og hvor erfaring kan hentes fra andre liknende materielltyper, evt. andre brukere).

2) Mye av Forsvarets materiell er beredskapsmateriell som står lagret og ikke er i normal drift

Behovet for og forbruket av reservedeler er svært begrenset. Dette påvirker en eventuell fremgangsmåte for dimensjonering av reservedelslager basert på forbruk i en normal driftssituasjon (pkt. ii) ovenfor), ved at Forsvaret ikke skaffer seg erfaring i forbruk av reservedeler under normal drift som jo danner basis for fremgangsmåten.

4.4.3 Generelt behov

Behovet for å bruke LCP-analyser ved utvelgelse av første gangs reservedelsopplegg er neppe begrenset til Forsvaret. Forskjellene ligger i kriteriene for valg av størrelse (typer og mengde) på reservedelslageret.

Den normale driftssituasjonen vil være den samme som for Forsvaret og vil være det primære målet for en LCP-analyse for utvelgelse av første gangs reservedeler. (Og som danner basis i fremgangsmåte ii) nevnt ovenfor).

Forsvarets strids- og beredskapssituasjon er derimot nokså spesiell, bl.a. ved mobile lagre og verksteder. Likevel kan visse paralleller trekkes til "sivile" forhold:

"Stridssituasjon"
En parallell til reservedeler for en stridssituasjon er de deler man betegner som "forsikringsdeler", dvs. deler som det normalt ikke vil bli bruk for, men som det kan bli bruk for dersom det skulle inntreffe noen uønskede hendelser. Lange leveringstider og en viss grad av uavhengighet ift. leverandører etc. påvirker behovet for slike reservedeler. (Typisk er som nevnt rammedeler.)

"Beredskapssituasjon"
En slags parallell til beredskapssituasjonen til Forsvaret kan være sikkerhetsutstyr, stand-by utstyr, etc. Behovet for denne type utstyr er imidlertid ofte av begrenset tidsmessig omfang, slik at det ikke er behov for å dimensjonere lageret utover normal bruk. (En livbåt vil være i bruk noen timer/døgn dersom behovet oppstår, mens en krig må antas å vare en tid.)

I noen bedrifter og forvaltninger er det vanlig å la leverandøren sitte med reservedelslageret i garantitiden, for deretter å kjøpe opp hele eller deler av dette lageret. Gjennom dette skaffer man seg noe erfaring mht. forbruk av reservedeler, men før garantitidens utløp må det tas en beslutning om hvilke deler man skal ha, og i hvilket antall.

Et problem som kanskje er spesielt fremtredende innenfor offentlig forvaltning, og som har en viss betydning for utvelgelse av førstegangs reservedelsopplegg, er budsjetter og budsjetteringsrutiner.

Investeringsbudsjett og driftsbudsjett er adskilt og det kan bli spørsmål om hvor mye av reservedelsanskaffelsen som skal inngå i investeringskostnadene. Dersom behovet for førstegangs reservedeler ikke er godt nok underbygget og dokumentert, og samtidig investeringsrammene er små (evt. utsatt for ytterligere kutt), er det en lettvint løsning å kutte ned på reservedelskostnadene, noe som kan vise seg å bli kostbart på sikt.

Metoder for vedlikehold, logistikk og reservedelsoptimalisering vil være aktuelle å anvende i tilknytning til denne problemstillingen omkring utvelgelse av førstegangs reservedelslager.

4.5 Optimalt utskiftingstidspunkt

4.5.1 Problembeskrivelse og mål

Et materiell har i utgangspunktet en spesifisert levetid, f.eks. 20 år. Materiellet utvikles, konstrueres og bygges med dette for øyet. I en LCP-analyse i tidlig prosjektfase er derfor levetiden å oppfatte som en konstant.

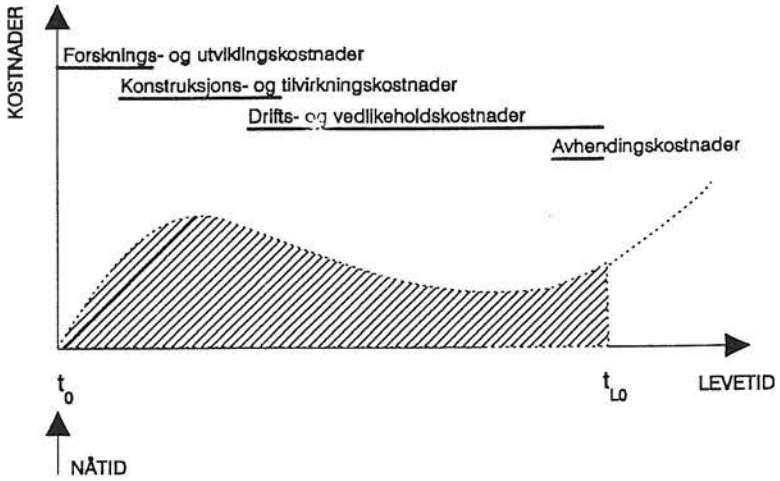
I senere faser vil den opprinnelig spesifiserte levetiden imidlertid være å betrakte som en variabel, hvor problemet er å fastsette et optimalt utskiftings-/oppgraderingstidspunkt eller gjenværende levetid.

En optimalisering vil kunne basere seg på bl.a. trend i drifts- og vedlikeholdskostnadene.

> Målet er å finne et optimalt utskiftings-/oppgraderingstidspunkt basert på erfaringsdata som fremskaffes etterhvert som materiellets alder nærmer seg den spesifiserte levetiden.

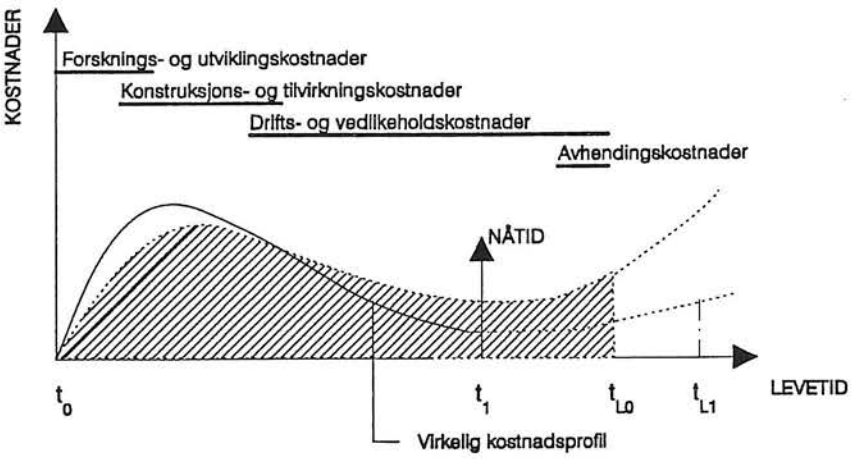
Fastsettelsen av utskiftingstidspunkt må skje i så god tid i forveien at det er rimelig tid til planlegging og fremskaffelse av investeringsmidler (budsjettering).

Målet er illustrert i figur 4.2 og 4.3. Figur 4.2 viser den stipulerte kostnadsprofilen i tidspunkt $t=t_0$ (tidlig prosjektfase) med en spesifisert levetid $t=t_{L0}$.



FIGUR 4.2 Stipulert kostnadsprofil i tidlig prosjektfase

Figur 4.3 viser situasjonen ved et tidspunkt $t=t_1$ som nærmer seg den spesifiserte levetiden. Man har nå den virkelige kostnadsprofilen frem til tidspunkt $t=t_1$, samt en stipulert kostnadsprofil fra tidspunkt $t=t_1$ og utover.



FIGUR 4.3 Kostnadsprofil ved tidspunkt $t=t_1$

Denne vil på grunn av usikkerhet i fastsettelse av kostnadsprofilen i tidspunkt $t=t_0$ sannsynligvis være forskjellig fra den opprinnelige stipulerte kostnadsprofilen, og dermed vil et optimalt utskiftingstidspunkt t_{L1} kunne være forskjellig fra den opprinnelig spesifiserte levetiden t_{L0}.

Generelt kan man ved bestemmelse av økonomisk optimal levetid snakke om to forskjellige tilnærminger avhengig av om utstyret som skal erstatte det gamle inngår i en investeringskjede, eller

om det er å betrakte som en engangsinvestering. Underliggende økonomisk teori er i utgangspunktet ukomplisert, og beregningene kan prinsipielt illustreres ved følgende kriterium for om gammelt utstyr skal beholdes ett år til (ved engangsinvestering i nytt utstyr):

$$\frac{K_{gml}}{(1+r)} + \frac{S_1}{(1+r)} + \frac{NV_{ny}}{(1+r)} \geq NV_{ny} + S_0$$

$$\Updownarrow$$

$$K_{gml} + S_1 - S_0(1+r) \geq NV_{ny} \cdot r$$

der K_{gml} = *kontantstrøm i inneværende år (år 0) for eksisterende utstyr*
S_t = *utrangeringsverdi i år t*
r = *avkastningskrav*
NV_{ny} = *nåverdi av investering i nytt utstyr*

Ligningen ovenfor uttrykker at det er lønnsomt å beholde det gamle utstyret i ett år til hvis grenseoverskuddet med hensyn på tiden er større (eller lik) avkastningen av nåverdien for det nye anlegget.

Utfordringen vil med andre ord ikke ligge i den grunnleggende teorien, men i å kartlegge og bestemme de relevante kontantstrømmer som skal inngå i kalkylen, samt å bestemme relevant avkastningskrav. Modellering av usikkerhet stiller ytterligere krav til underliggende data. I tillegg kommer spesielle forhold knyttet til Forsvarets situasjon og virksomhet som kompliserer bildet, herunder behov for flermålsplanlegging (se kapittel 7.3).

4.5.2 Begrensninger og spesielle forhold

I tillegg til at nytt utstyr vil kunne gi så store besparelser i drifts- og vedlikeholdskostnadene at en investering lønner seg, så vil også ny teknologi kunne gi økt ytelse/nytte. Dette vil kunne påvirke utskiftingstidspunktet selv om drifts- og vedlikeholdskostnadene ikke er økende.

Forsvaret er av og til i den situasjon at ny teknologi er et "must" for å få forbedret ytelse dersom man står ovenfor nye trusler. Et eksempel er investering i nye radarsystem som er i stand til å registrere fly av typen Stealth, selv om eksisterende radarsystem ikke har nådd sin "pensjonsalder".

Forsvaret har også spesielle forhold omkring budsjetteringsrutinene som kan skape problemer. Store investeringer til Forsvaret allokeres/øremerkes til de forskjellige våpengrenene i ulike tidsperioder, såkalte "investeringsvindu". Dette innebærer at hovedinvesteringene for en tidsperiode er forbeholdt en våpengren. Et utskiftingstidspunkt må derfor tilpasses investeringsvinduene. Dette innebærer sannsynligvis at for Forsvaret vil tidspunktet for fastsettelse av utskiftingstidspunkt ($t=t_1$ i figur 4.3) måtte komme tidligere enn det som ellers ville vært nødvendig.

4.5.3 Generelt behov

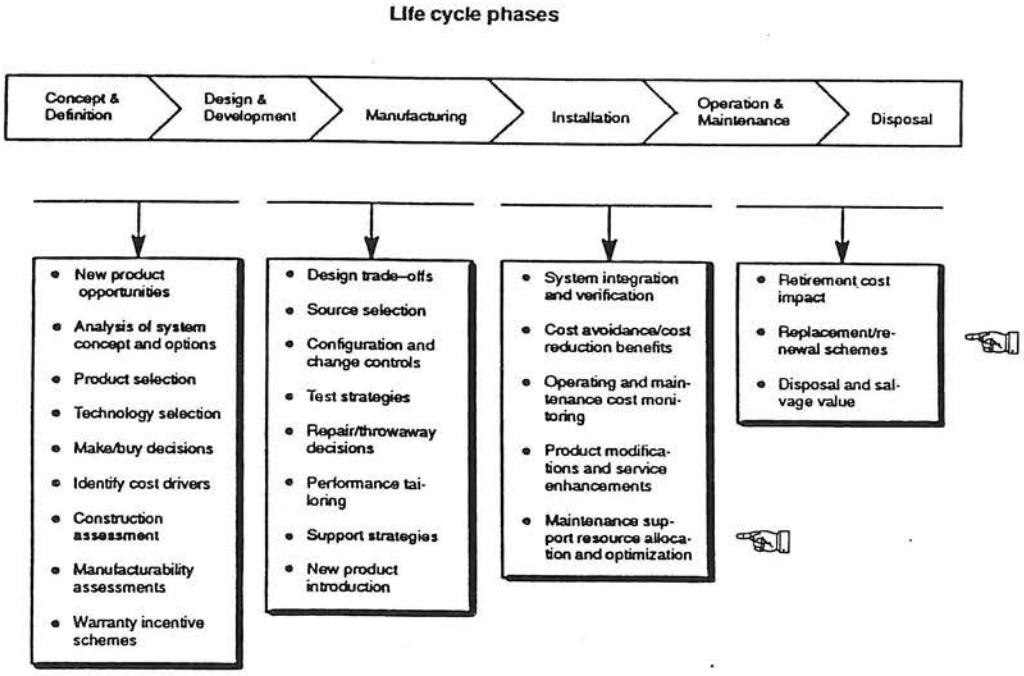
Behovet for metoder for fastsettelse av optimalt tidspunkt for utskifting/oppgradering er høyst sannsynlig nokså generelt.

Sivilt må man også ta hensyn til trender i drifts- og vedlikeholdskostnadene, samt ny teknologi. "Nye trusler" kan vel best sammenliknes med ny utvikling hos konkurrentene som kanskje må møtes med nyinvesteringer for ikke å gi konkurrentene noen fortrinn.

Et problem som kanskje er spesielt utbredt innenfor offentlig forvaltning, er tilstrekkelig tilgang på investeringsmidler for utskifting av materiell som har oppnådd og evt. overskredet den optimale levetiden. En LCC-analyse som viser ekstrakostnadene ved ikke å investere i nytt materiell, kan være relevant ved tildeling av investeringsmidler.

4.6 LCP-analyse anvendt på problemstillinger ved første gangs reservedelsinnkjøp og optimalt utskiftningstidspunkt

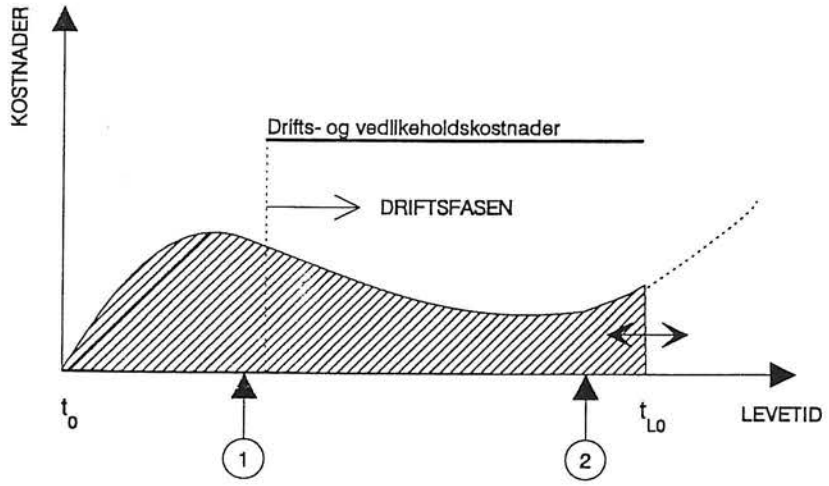
Figur 4.4 viser eksempler på LCP-analyser som kan gjennomføres på forskjellige tidspunkt i et prosjekts levetid, og med ulike formål.



FIGUR 4.4 Typiske LCP-applikasjoner gjennom et prosjekts levetidsfaser
Kilde:IEC 300-3-X (1993)

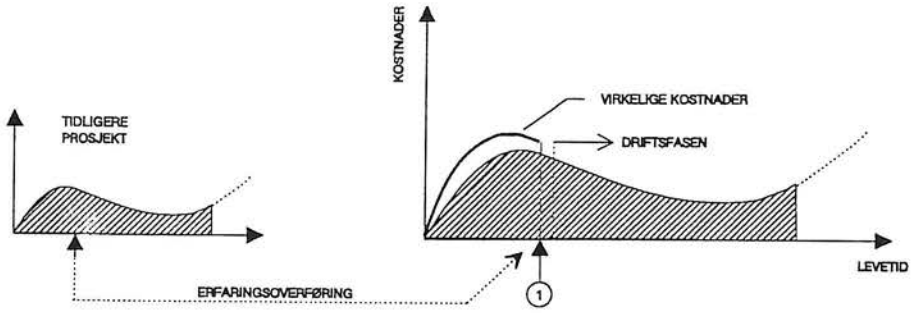
I figuren er det merket av hvilke LCP-analyser som kan sies å dekke de to problemstillingene som er blitt tatt opp av Forsvaret.

I figur 4.5 er tidspunkt for gjennomføring av de to typene LCP-analyser illustrert ift. kostnadsprofilen over levetiden.



FIGUR 4.5 Cirka tidspunkt for gjennomføring av de to typene LCP-analyser

Figur 4.6 illustrerer problemstillingen knyttet til første gangs reservedelsinnkjøp, og viser når dette må analyseres og hvilket erfaringsmateriale man kan legge inn i analysen. Erfaringsoverføringen vil avhenge av tidligere prosjekt (andre materielltyper), og i hvilken grad de erfaringer man da gjorde kan tillempes og relateres til nye prosjekt.

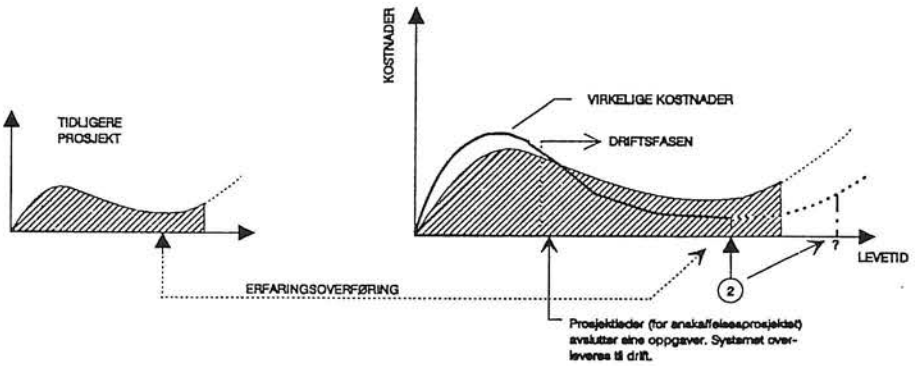


FIGUR 4.6 Tidspunkt og erfaringsmateriale for analyse av første gangs reservedelsinnkjøp

Den virkelige kostnadsprofilen frem til tidspunkt for fastsettelse av førstegangs reservedelsopplegg, kan som tidligere nevnt i verste fall føre til kutt i kostnadene for førstegangs reservedeler dersom planlagte investeringskostnader frem til dette tidspunkt er overskredet (som illustrert i figur 4.6).

Figur 4.7 tar for seg optimalt utskiftingstidspunkt og viser når dette må analyseres, og hvilket erfaringsmateriale man kan legge inn i analysen. Som for første gangs reservedelsinnkjøp bør analysen nyttiggjøre seg erfaringer fra tidligere prosjekt (utskifting av andre materielltyper) samt trend i drifts- og vedlikeholdskostnadene for det aktuelle prosjektet.

Tidspunktet for analyse av optimalt utskiftningstidspunkt er imidlertid lenge etter at et tradisjonelt "anskaffelsesprosjekt" er avsluttet. Dvs. at prosjektleder (for anskaffelsesprosjektet) har avsluttet sine oppgaver, og et verktøy for gjennomføring av en analyse av optimalt utskiftingstidspunkt vil dermed ikke være et verktøy for prosjektleder, men for den som er ansvarlig for driften.



FIGUR 4.7 Tidspunkt og erfaringsmateriale for analyse av optimalt utskiftningstidspunkt