

Optimalt utskiftningsstidspunkt

Et prosjekt under forskningsprogrammet
Prosjektstyring år 2000

Dato: 1. juli 1996
Åpen versjon

FORORD

Denne rapporten beskriver resultatene fra delprosjektet “Optimalt utskiftningstidspunkt”, som er en del av hovedprosjektet LCP og usikkerhet i forskningsprogrammet Prosjektstyring år 2000 (PS 2000).

Problemstillinger og løsninger har i første rekke blitt diskutert og utformet gjennom en rekke møter mellom PS 2000 og Forsvaret. Hovedkontaktperson i Forsvaret har vært Major Gorm Jensen, som er prosjektleder for CM/LCC prosjektet i Hærens Forsyningskommando (HFK). I tillegg har sjef for vedlikeholdsavdelingen i HFK Oberstløytnant Petter Gjersem bidratt i diskusjoner rundt aktuelle problemstillinger og i initiering av case studiet.

Ved utføringen av case studiet har Major Kjell Navelsaker (HFK) og Kaptein Terje Rustad (HFK) bidratt fra Forsvaret.

Simen Skou, som har avtjent verneplikten ved CM/LCC prosjektet i HFK, har fungert som daglig bindeledd mellom Forsvaret og PS 2000, og har vært spesielt nyttig ved fremskaffelse av nødvendig dokumentasjon. Han har også bidratt direkte i prosjektet og utført deler av case studiet hos Forsvaret.

Førsteamanuensis Per Schjølberg, Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk ved NTNU har vært faglig ansvarlig, mens dr.ing. stipendiat Rune Reinertsen, forsker Stian Lydersen SINTEF Teknologiledelse, Sikkerhet og Pålitelighet og forsker Thor Bjørkvoll SINTEF Teknologiledelse, Anvendt Økonomi, har vært prosjektmedarbeidere.

Jeg vil med dette få rette en takk til deltagerbedriftene i PS 2000 som bidrog i prosjektet, og spesielt til Hærens Forsyningskommando som har deltatt med stort engasjement og entusiasme gjennom hele prosjektet.

Trondheim, 1.juli 1996

Kjetil S. Paulsen,
Prosjektleder

SAMMENDRAG

Det ligger store besparelser i å ha gode metoder/rutiner for fastsettelse av tidspunkt for utskifting, gjennomføring av utrangering av materiell (inkludert reservedeler), og tilpasning av vedlikehold i utfasingsperioden til det planlagte avhendingstidspunktet. Forsvaret representert av HFks (Hærens Forsyningskommando) CM/LCC-prosjekt er blitt oppmerksom på dette potensialet, og på bakgrunn av prosjektet "Optimalt førstegangs reservedelsopplegg" i PS 2000 foreslo de prosjektet optimalisering av utskiftingstidspunkt for teknisk utstyr. Denne problematikken var også aktuell for flere andre av deltagerbedriftene i PS 2000.

Det ble gjennomført intervjuer med flere av deltagerbedriftene i PS 2000, og det synes klart at de fleste ikke anvender strukturerte metoder eller prosedyrer for fastsettelsen av optimalt utskiftingstidspunkt. Gjennomføringen er ofte personavhengig og ad-hoc basert, og grensebetingelsene som blir bestemmende for utskiftingstidspunktet er oftest tilfeldig valgt. Hovedproblemet er derfor at beslutningsprosessen ikke er systematisert og vurdert i et helhetsperspektiv, som fører til tilfeldige vurderinger og prioriteringer av ulike grensebetingelser.

Utgangspunktet for å kunne utvikle og ta i bruk en modell for optimalt utskiftingstidspunkt er allikevel bra, og det finnes tilstrekkelig informasjon/datamengde i bedriftene som ved riktig utnyttelse kan danne beslutningsgrunnlag for optimalt utskiftingstidspunkt.

Bestemmelsen av optimalt utskiftingstidspunkt er underlagt komplekse grensebetingelser som må tas hensyn til, og i løpet av intervjuene kom følgende viktige grensebetingelser frem:

1. Budsjettrestriksjoner (*rullerende budsjettfordeling, prioritering etter behov*)
2. Teknologisk ukurans (*funksjonell aldring, aldring av behov eller teknologi*)
3. Utilstrekkelig sikkerhet (*for mennesker, miljø og materielle verdier*)
4. Publisitet
5. Ugunstig økonomisk utvikling (*vedlikeholdskostnader, driftskostnader og driftsinntekter, LCC og LCP*)
6. Kompetanse
7. Andre bedriftsspesifikke

Styrken med dagens fremgangsmåte er at det utføres av personer med inngående kunnskap om utstyret, som sikrer grundige "ekspertvurderinger" av utstyrets tekniske tilstand.

Svakheten er at vurderinger er personavhengig og samme utstyr kan bli vurdert forskjellig avhengig av hvem som gjør vurderingene. Videre gjøres ikke vurderinger etter en systematisk gjennomtenkt metode. Grensebetingelser relevant for utstyret blir tilfeldig valgt og i ulik grad vurdert før en beslutning tas. Liten kommunikasjon mellom bruker og forvalter av utstyret resulterer i dårlig samsvar mellom utskifting av utstyr og innkjøp av reservedeler, og det er heller ikke avpassning av vedlikeholdsinnsatsen i forhold til beslutningen om når utstyret skal skiftes ut.

Fra tilgjengelig litteratur finnes ikke metoder eller prosedyrer som kan anvendes for å bestemme optimalt utskiftingstidspunkt for utstyr. Derfor må det utvikles en metode som

på et overordnet nivå er tilstrekkelig generell til anvendelse av alle typer bedrifter. Deretter må metoden utvikles på et mer spesifikt nivå for hver enkelt bedrift.

Ut fra et uttrykt ønske fra deltagerbedriftene er det ikke utviklet metodikk av høy teoretisk karakter. Metoden er utviklet som et sett av kvalitative prosedyrer, hvor det for en stor grad blir opp til eksperter innen hvert enkelt fagområdet å komme med kvantitative estimater for forventet gjenværende levetid for hvert enkelt system.

Metoden tar utgangspunkt i prosjektet som arbeidsform, og ser på utførelsen som en prosess som må inneholde:

1. Målformulering.
2. Planlegging og organisering.
3. Gjennomføring.
4. Oppfølging.

Styringsløyfa utviklet for bruk i prosjekter, er modifisert og tilpasset arbeidet med vurderinger av optimalt utskiftingstidspunkt, og danner en styringsmodell for gjennomføringen. Videre er et flytskjema med arbeidsbeskrivelse konstruert for å sikre riktig gjennomføring og at alle punkter relevante for vurdering av utstyr er ivarettatt. Metoden baserer seg på bruk av både levetidsdata og ekspertuttalelser. Alle opplysninger og vurderinger som fremkommer noteres i en egen tabell, som for hver grensebetingelse inneholder en kolonne for merknader, vektlegging og estimert OUT. Dermed sikres dokumentasjon av alle vurderinger og analysene blir etterprøvbare.

Gjennom et case studiet av Hærens beltevogn BV 202 er modellen utprøvd på en virkelig problemstilling, og dens beskaffenhet er verifisert. HFK erfarte metodikken som et nyttig verktøy for å skaffe beslutningsunderlag ved vurdering av optimalt utskiftingstidspunkt.

Prosjektet har først og fremst bidratt med å gi personer med ansvar for å gjennomføre vurderinger rundt optimalt utskiftingstidspunkt (OUT) et systematisk og strukturert verktøy. Modellen er utviklet på et generelt grunnlag med målsetning om å ivareta alle tenkelige grensebetingelser på en strukturert måte, for å sikre best mulig objektive og personuavhengige vurderinger og best mulig etterprøvbare resultater.

Prosjektet har bidratt til å gjøre vurderinger og fastsettelse av optimalt utskiftingstidspunkt lettere for norsk industri og offentlig forvaltning.

SUMMARY

The use of available methods or routines to decide the time of replacement is important, and at the same time spare part inventory is reduced together with adjustment of maintenance, there are possibilities for great savings. The Norwegian Defence, represented by the army; has become attentive to this potential which is the background for this Project.

The Project started through interviewing several of the partners in Project 2000, and it became clear that they don't use structural methods or routines to determine the optimal replacement time. The main problem is that the decision process is not systematised and evaluated in a whole perspective. This leads to incidental evaluations and priorities of the limit conditions.

The starting point for developing and using a model for optimal replacement time is although good, and there is enough information in the companies for making decision for optimal replacement time.

The decision of optimal replacement time has complex limit conditions, and during the interviews the following limit conditions came up:

1. Budget restrictions (*period distribution, priorities after needs*)
2. Technological not current (*functional ageing, ageing of needs or technology*)
3. Insufficient safety (*for humans, environment and material values*)
4. Publicity
5. Unfavourable economic development (*maintenance costs, operation costs and operation income, LCC and LCP*)
6. Competence
7. Other specific for the company

The strength of the method used today, is that it is carried out by persons with great knowledge about the equipment, which ensure good expert evaluations of the equipment's technical conditions.

The weakness of today methods is that they are related to the person doing it, and the same equipment can get different evaluations depending on who is doing them. The limit conditions relevant for equipment is casual chosen and in different extent evaluated before a decision is made.

From existing literature no methods or routines can be applied to determine the optimal replacement time of equipment. Therefore, a method has to be developed on a general level for use in all types of industry. Thereafter, must the method must be developed further to a more specific level for each and every company.

From the companies participating in the Project, there were no request for a highly theoretical model. The method is therefore developed as a set of qualitative guidelines, and it is up to the expert inside each field to find quantitative estimates for expected residual lifetime of the equipment.

The method is developed after the thoughts of a project, and looks at the execution as a process of:

1. Goalsetting.
2. Planning and Organisation.
3. Execution.
4. Monitoring and Control.

The Control loop developed for use in projects, are modified and adjusted the work of evaluating optimal replacement time, and forms a Control model for this kind of work. The flow sheet with a working description is designed to ensure the right execution and that all relevant issues are taken into account when evaluating equipment. The method is based on use of both lifetime data and expert statements. All information and evaluations is noted in a table. Each criterion maintains a column for notes and estimated optimal replacement times. In that way all evaluations and analysis are documented and re-examination of the results are possible.

Through a case study of the army BV 202, the model has been verified on a real problem. The army agreed that the model is a useful tool and it has some similarities to a model used in the army.

The Project has developed a systematic and structural tool for persons responsible for doing evaluations of optimal replacement time. The model is developed on general basis to take care of all criteria in a structural way, to ensure best possible objective evaluation and re-examination of the results.

The Project has made the evaluation and determination of optimal replacement time easier for Norwegian industry.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	1
SAMMENDRAG.....	2
SUMMARY	4
INNHOLDSFORTEGNELSE.....	6
1. INNLEDNING.....	8
1.1 PROBLEMBESKRIVELSE	8
1.2 BAKGRUNN	8
1.3 MÅLSETNING.....	9
1.4 OMFANG	9
1.5 BEGRENSNINGER.....	9
1.6 RAPPORTENS INNHOLD.....	9
2. STATUS I NORSK INDUSTRI OG OFFENTLIG FORVALTNING	10
2.1 INNLEDNING.....	10
2.2 BESTEMMELSE AV OPTIMALT UTSKIFTNINGSTIDSPUNKT.....	10
2.2.1 <i>Budsjettrestriksjoner</i>	11
2.2.1.1 Rullerende budsjettfordeling	11
2.2.1.2 Prioritering etter behov.....	11
2.2.2 <i>Teknologisk ukurans</i>	12
2.2.2.1 Funksjonell aldring.....	12
2.2.2.2 Aldring av behov	13
2.2.2.3 Aldring av teknologi.....	14
2.2.2.4 Total aldring	15
2.2.3 <i>Utilstrekkelig sikkerhet for mennesker, miljø og materielle verdier</i>	16
2.2.3.1 Mennesker	16
2.2.3.2 Miljø.....	16
2.2.3.3 Materielle verdier	16
2.2.4 <i>Publisitet</i>	16
2.2.5 <i>Ugunstig økonomisk utvikling</i>	16
2.2.5.1 Vedlikeholdskostnader	17
2.2.5.2 Driftskostnader	18
2.2.5.3 Driftsinntekter	19
2.2.5.4 Levetidskostnader (LCC)	19
2.2.5.5 Levetidsoverskudd, (LCP).....	22
2.2.6 <i>Kompetanse</i>	23
2.2.7 <i>Eventuelt andre</i>	23
2.2.7.1 Stridsevne og politiske innkjøp	23
2.2.7.2 Dårlig publisitet som konsekvens.....	23
2.2.7.3 Rehabilitering av bygninger ved skifte av leietaker.....	23
2.3 BESLUTNINGER UNDER USIKKERHET	23
2.4 STYRKER/SVAKHETER MED DAGENS FREMGANGSMÅTE	25
2.5 HVA KAN FORBEDRES?.....	25
3. UTVIKLING AV METODIKK.....	26
3.1 INNLEDNING.....	26
3.2 LITTERATURSØK	26
3.3 METODEUTVIKLING I HHT. PROBLEMSTILLING.....	27

3.4 ANBEFALT METODE FOR BESTEMMELSE AV OPTIMALT UTSKIFTNINGSTIDSPUNKT.....	27
3.4.1 Innledning.....	27
3.4.2 Oppbygning	28
3.4.2.1 Punkt 1 - Målsetting og hensikt.....	28
3.4.2.2 Punkt 2 - Identifisering og planlegging	28
3.4.2.3 Punkt 3 - Analysering.....	28
3.4.2.4 Punkt 4 - Sammenstilling	29
3.4.2.5 Punkt 5 - Resultatvurdering.....	29
3.4.2.6 Punkt 6 - Sluttdokumentering.....	29
3.4.3 Valg av modell.....	29
3.4.4 Organisering og gjennomføring	34
3.4.5 Konsekvenser for vedlikehold og reservedelslager	35
3.4.6 Oppsummering	36
4. METODEN BRUKT I ET CASE STUDIE.....	37
4.1 INNLEDNING.....	37
4.2 BESKRIVELSE AV BELTEVOGN BV 202.....	37
4.3 BESLUTNINGSMULIGHETER.....	38
4.4 BESLUTNINGSKRITERIER	38
4.4.1 Budsjetttrammer	39
4.4.2 Teknologisk ukurans.....	39
4.4.3 Sikkerhet	39
4.4.4 Publisitet.....	39
4.4.5 Økonomi	39
4.4.6 Bedriftsspesifikke forhold - reservedeler.....	40
4.4.7 Andre forhold.....	40
4.5 BESLUTNINGSLOGIKK.....	40
4.6 EN UTVIDET MODELL.....	40
4.7 KONKLUSJON OG ERFARINGER FRA CASE STUDIET.....	47
4.7.1 Konklusjon.....	47
4.7.2 Erfaringer.....	47
5. KONKLUSJON OG FORSLAG TIL FREMTIDIG ARBEID.....	48
5.1 KONKLUSJON	48
5.2 FORSLAG TIL FREMTIDIG ARBEID	48
REFERANSER.....	50
VEDLEGG 1 - NOEN EKSISTERENDE MODELLER.....	51
VEDLEGG 2 - OPTIMALT UTSKIFTNINGSTIDSPUNKT FOR BV 202.....	54

1. INNLEDNING

1.1 Problembeskrivelse

Materiellutfasing, både for hovedmateriell og reservedeler, kan føre til store unødvendige kostnader. Spesielt lagring og vedlikehold av utstyr det ikke lenger er behov for er ressurskrevende. Det ligger derfor store besparelser i å ha gode metoder for fastsettelse av tidspunkt for utskifting, gjennomføring av utrangering av materiell (inkludert reservedeler), og tilpasning av vedlikeholdet i utfasingsperioden til det planlagte avhendingstidspunktet.

Ordene utskifting og utfasing brukes ofte om det samme, men vi har valgt å bruke ordet *utskifting* som felles betegnelse i denne rapporten.

Vurderinger av utstyrets funksjonelle og tekniske tilstand ved bestemmelse av optimalt utskiftningsstidspunkt er sentralt. Optimalt utskiftningsstidspunkt kan fastlegges for alt fra enkeltkomponenter og utstyrsenheter, til større anlegg og totale systemer, som vi i rapporten har valgt å benevne som *utstyr* med et felles ord.

For utstyr som er i drift er det interessant å kunne anslå optimal restlevetid, og hvilke tiltak som sikrer akseptabel restlevetid. Dvs. kunne anslå når det vil være mest hensiktsmessig å skifte ut. Det er derfor ønskelig å ha en metode for systematisk gjennomgang av utstyr, slik at man har et beslutningsunderlag til å vurdere fortsatt bruk i forhold til investeringer i nytt utstyr.

1.2 Bakgrunn

Forsvaret har registrert betydelige problemer ved utfasingen av teknisk materiell. Etter at materiell er planlagt utrangert, er det problemer med å avhende (stoppe innkjøp) av reservedeler. Fortsatt anskaffelse av materiell til utstyr som er bestemt utfaset eller under modifisering er et annet problem. I tillegg er det et innsparingspotensiale i å gjennomføre selve saneringen av overskuddsmateriell.

Slike problemer er ikke unike for Forsvaret. Materiellutfasing i forbindelse med modifikasjoner er et generelt problem. Spesielt for tidsavgrenset produksjon (med store driftskostnader) vil det være meget aktuelt å gjennomføre analyser for å finne det økonomisk mest gunstige tidspunkt for utfasing/modifikasjon. En del oljeselskaper er også opptatt av de betydelige besparelser som ligger i å trappe ned vedlikeholdet på utstyr som skal utrangeres (da det ikke er noen grunn til at utstyr som kasseres er "så godt som nytt").

På bakgrunn av delprosjekt 1 under hovedprosjektet *LCP og Usikkerhet* i PS 2000, foreslo Forsvaret, representert av HFKs (Hærens Forsyningskommando) CM/LCC-prosjekt, problemstillingen optimalisering av utskiftningsstidspunkt for teknisk utstyr. Utførelsen av prosjektet, og særlig testing av modellen, er derfor gjort i nært samarbeid med HFK. Denne problematikken var også aktuell for flere andre av deltagerbedriftene i PS 2000, og Norsk Hydro, Saga Petroleum og STASBYGG har også bidratt direkte i prosjektet.

1.3 Målsetning

Målet med prosjektet har vært å utvikle en enkel og strukturert metode for beslutningsstøtte for å sikre best mulig beslutningsunderlag ved bestemmelse av optimalt utskiftningstidspunkt. Metoden skal være et analyseverktøy som kan brukes som beslutningsstøtte, uten å sette store krav til opplæring av brukerne.

Målgruppen er personell med ansvar for planlegging av materiellanskaffelser og utskifting av gammelt materiell.

1.4 Omfang

Prosjektet har bestått av to trinn. Først ble status på området kartlagt, både hva gjelder teori og praksis, og deretter ble en modell utviklet for optimalt utskiftningstidspunkt på bakgrunn av kartleggingen.

Kartlegging av status på området ble gjort ved flere litteratursøk og intervjuer med flere av PS 2000s deltagerbedrifter (Forsvaret, Norsk Hydro, Saga Petroleum og STATSBYGG). På intervjuene ble det klarlagt hvordan utskifting av utstyr gjennomføres, hvilke metoder som brukes for å finne restlevetid og hvilke forventninger deltagerbedriftene hadde til resultatene fra dette prosjektet.

Utviklingen av en systematisk modell for optimalt utskiftningstidspunkt er gjort på et generelt overordnet nivå, for å sikre alle deltagerbedriftenes interesser. Modellen er testet i et case studie, og i samarbeid med Forsvaret utført på Hærens beltevogn BV202.

1.5 Begrensninger

Prosjektet er begrenset til å utvikle en generell modell for optimalt utskiftningstidspunkt av teknisk utstyr. Den inneholder ikke i detalj hvordan analysen bør gjennomføres, siden dette kan variere fra bedrift til bedrift og type utstyr som vurderes. Det er ikke tatt hensyn til den enkelte deltagerbedrifts særinteresse under utviklingen av modellen, og videre utvikling av modellen må tilpasses hver enkelt bedrift.

Prosjektet er begrenset til å utvikle et verktøy som skal bidra med å gi beslutningsunderlag for bestemmelsen som skal tas, og inneholder ikke noe om hvilke tiltak som skal sikre at den vedtatte beslutningen oppnås.

1.6 Rapportens innhold

Kapittel 2 i rapporten inneholder status hos deltagerbedriftene, hvilke grensebetingelser som er sentrale ved vurdering av optimalt utskiftningstidspunkt, styrker/svakheter med dagens metoder og forbedringspotensialet i bedriftene.

Kapittel 3 inneholder utviklingen av modellen for optimalt utskiftningstidspunkt, og hvordan den kan benyttes til å fremskaffe et beslutningsunderlag for utskiftingen av utstyr. I tillegg viser kapitlet resultatet av et litteratursøk for å finne hvilke teoretiske metoder som eksisterer.

Kapittel 4 beskriver gjennomgangen av case studiet for Hærens beltevogn BV202, og viser i praksis hvordan vurderinger av optimalt utskiftningstidspunkt kan gjøres.

2. STATUS I NORSK INDUSTRI OG OFFENTLIG FORVALTNING

2.1 Innledning

Ved vurdering av utstyrets funksjonelle og tekniske tilstand, er bestemmelsen av optimalt utskiftningstidspunkt et sentralt tema. For utstyr som har vært i drift en stund er det interessant å kunne anslå optimal gjenværende levetid, og hvilke tiltak som sikrer tilstrekkelig gjenværende levetid. Dvs. kunne anslå når det vil være mest hensiktsmessig å skifte ut. Det er derfor ønskelig å ha en metode for systematisk gjennomgang av utstyr, slik at man er i stand til å vurdere fortsatt bruk i forhold til nye investeringer.

For å kunne utvikle en modell er det viktig å danne seg et bilde av hvordan vurderinger av optimalt utskiftningstidspunkt utføres i industrien i dag, hva som er behovet og hvordan teori skal underbygge en modell for praktisk bruk. På de følgende sidene beskrives status for deltagerbedriftene, grensebetingelsene som anses som viktige og forbedringspotensialer.

2.2 Bestemmelse av optimalt utskiftningstidspunkt

Det ble gjennomført intervjuer med flere av deltagerbedriftene i PS 2000 (Forsvaret, Norsk Hydro, STATSBYGG og Saga Petroleum), og det synes klart at de fleste ikke anvender strukturerte metoder eller prosedyrer for fastsettelsen av optimalt utskiftningstidspunkt. Utskifting er "ad-hoc" basert og personavhengig, og planlegges ikke godt nok i forhold til omgivelsene. For utstyr som er bestemt skiftet ut innebærer dette bl.a. problemer med å avvike anskaffelsen av reservedeler, justere vedlikeholdsinnsatsen i forhold til gjenværende levetid, og anslå hvilke konsekvenser dette har for hele systemet.

Kriteriene som i dag brukes for å bestemme utskifting er tilstandskontrollmålinger, høye vedlikeholdskostnader og økt reservedelsbehov, utstyrets energiforbruk og virkningsgrad, og syning på bakgrunn av den enkeltes erfaring om utstyret. I tillegg blir det mer og mer vanlig å sette krav om utførelse av LCC-analyser i bedriftene før nytt utstyr anskaffes. I dag skjer utførelsen av LCC-analyser på "ad-hoc" basis og er i stor grad personavhengig. I tillegg er ofte påliteligheten til inngangsdataene i disse analysene mangelfulle.

Utgangspunktet for å kunne utvikle og ta i bruk en modell for optimalt utskiftningstidspunkt er allikevel bra. Systematisert vedlikehold, reservedelsopplegg, lagring av utstyrshistorikk og kostnadsoppfølging er godt tatt vare på i bedriftene. Bedriftene har metoder for å utføre LCC-analyser, og gjennom prosjektene CM/LCC (Forsvaret) og NORSOK (oljeselskapene) arbeides det med utvikling av bedre metodikk for gjennomføring av LCC-analyser. Disse prosjektene har vært med på å identifisere problemene med bestemmelsen av optimalt utskiftningstidspunkt, og beslutningen om å forbedre denne situasjonen er tatt.

Bestemmelsen av optimalt utskiftningstidspunkt er underlagt komplekse grensebetingelser som må tas hensyn til, og i løpet av intervjuene kom følgende eksempler på grensebetingelser for bedriftene frem:

1. Budsjettrestriksjoner
 - 1.1 Rullerende budsjettfordeling
 - 1.2 Prioritering etter behov
2. Teknologisk ukurans

- 2.1 *Funksjonell aldring*
- 2.2 *Aldring av behov*
- 2.3 *Aldring av teknologi*
- 3. Utilstrekkelig sikkerhet
 - 3.1 *Mennesker*
 - 3.2 *Miljø*
 - 3.3 *Materielle verdier*
- 4. Publisitet
- 5. Ugunstig økonomisk utvikling
 - 5.1 *Vedlikeholdskostnader*
 - 5.2 *Driftskostnader*
 - 5.3 *Driftsinntekter*
 - 5.4 *Levetidskostnader (LCC)*
 - 5.5 *Levetidsoverskudd (LCP)*
- 6. Kompetanse
- 7. Andre bedriftsspesifikke
 - 7.1 *Stridsevne og politiske innkjøp*
 - 7.2 *Dårlig publisitet som konsekvens*
 - 7.3 *Rehabilitering av bygninger ved skifte av leietager*

På de følgende sidene blir grensebetingelsene nærmere beskrevet, og vurdert i forhold til bestemmelse av optimalt utskiftningstidspunkt.

2.2.1 Budsjettrestriksjoner

For de fleste bedrifter og organisasjoner står ledelsen årlig fremfor problemstillingen med fordelingen av midler fra et avgrenset budsjettet til sine avdelinger og enheter, og fordelingen gjøres etter forskjellige regler og prioriteringer i de enkelte bedriftene. Under blir to forskjellige prioriteringsmekanismer for fordeling kort presentert.

2.2.1.1 Rullerende budsjettfordeling

Budsjettet fordeles med hovedvekt på en avdeling/enhet som blir i stand til å gjennomføre investeringsaktiviteter, i form av nyinvesteringer eller oppgraderinger på eksisterende utstyr. Rollen som prioritert avdeling/enhet rulleres på fra år til år, og det oppstår en tidssyklus på når hver avdeling/enhet er prioritert. Forsvarsbudsjettet blir f.eks. hvert år fordelt mellom våpengrenene "sjø, luft og hær" etter denne ordningen. Tildelingen av midler på forsvarsbudsjettet skjer etter 5 årsplaner, og hver våpengren må sørge for å planlegge og prioritere viktige investeringsaktiviteter i forhold til fordelingen av midler.

2.2.1.2 Prioritering etter behov

Her fordeles budsjettet etter prioriterte innmeldte behov fra den enkelte avdeling/enhet til toppledelsen. Dvs. at hver enkelt avdeling/enhet må vurdere behovet for investeringer i nytt utstyr og/eller modifisering av eksisterende utstyr, rapportere dette på f.eks. konsernnivå som foretar prioriteringer av midlene i forhold til grad av behov for investeringer.

Siden et budsjett er en avgrenset sum penger som ikke automatisk kan brukes til modernisering av en bedrifts utstyrspark, blir ofte denne grensebetingelsen den mest dominerende i beslutningsprosessen for utstyrets utskiftningstidspunkt.

2.2.2 Teknologisk ukurans

Teknologisk ukurans kan oppstå som følge av flere faktorer. I denne rapporten er det valgt å se nærmere på funksjonell aldring, aldring av behov og aldring av teknologi.

2.2.2.1 Funksjonell aldring

Med funksjonell aldring menes her den tradisjonelle definisjonen på aldring som er kjent fra fagområdene sikkerhet, pålitelighet og vedlikehold. På grunnlag av funksjonell aldring fastlegges teknisk utstyrets funksjonelle levetid (nyttige levetid). I denne rapporten brukes følgende definisjon på funksjonell aldring:

Funksjonell aldring er nedbryting av evnen et teknisk utstyr har til å utføre de funksjonene utstyret er konstruert for.

Det er all grunn til å tro at forutsetningene (behov og krav) som lå til grunn ved anskaffelsen av et teknisk utstyr etter en tid vil endre seg.

Nedenfor følger et eksempel fra Forsvaret som viser hva som menes med funksjonell aldring:

Forsvaret anskaffet i sin tid et system for panservernraketter kalt TOW (*Tube-launched Optically-tracked Wire-guided Missile System*). TOW (bakkemontert) skulle inngå som et panservernvåpen i Infanteriet på bataljonsnivå. Under er noen størrelser angående TOW presentert:

- Utskytningsenheten veier ca. 100 kg og hver rakett ca. 25 kg.
- Systemet kan bæres av 4 personer over en begrenset avstand med 1 eller 2 raketter.
- Lengre transporter må foregå med eget kjøretøy eller med helikopter.
- Systemet er trådstyrt med optisk følgning til raketten når målet.
- Praktisk rekkevidde er ca. 3500 meter.
- Minste praktiske rekkevidde ca. 500 meter.
- Slagkraft: Ca. 70 cm panser ved treff 90 grader på målets flate.

I et tenkt tilfelle velger man en annen strategi for panserbekjempelse. Man behøver derfor et system som innbyr til mer variert bruk, men med slik slagkraft at det også ivaretar funksjonene eksisterende systemet har i dag. Kravene til et slikt system kan være:

- Systemet må kunne brukes på flere ulike avdelingsnivåer.
- Utskytningsenheten og 4 raketter må kunne bæres over lengre avstander av 2 personer.
- Minimum rekkevidde må være 2000 meter.
- Minste praktiske rekkevidde må være max 150 meter.
- Raketten må være av typen “fire and forget” for minimal eksponering i stillingsområdet.
- Slagkraft: Alt kjent panser, inkludert gjennomtrengning av reaktivt panser.
- Systemet må kunne avfyres i mørke og ved nedsatt sikt.

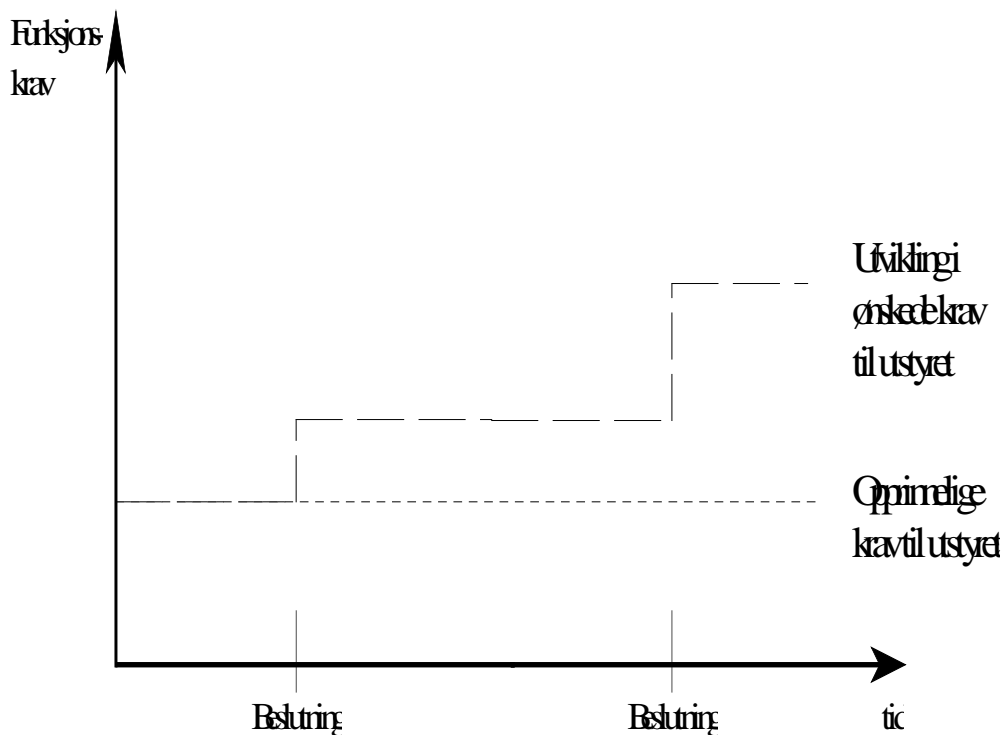
Dette er et eksempel på hvordan endringer av strategi får konsekvenser for eksisterende løsning, og dermed funksjonell aldring. Eksemplet kunne like gjerne vært hentet fra en vareproduserende bedrift, der man ved endret produktstruktur må vurdere produksjonsutstyret på tilvirkningslinja.

2.2.2.2 Aldring av behov

Problemet er ofte å forutse fremtidige behov på et tidlig tidspunkt. En predikering av fremtidige behov forutsetter langsiktig strategisk planlegging. Slike planer vil ofte foreligge i mange organisasjoner. Det vanskelige er som regel å velge det mest effektive tidspunktet for modifikasjoner eller utskifting av teknisk utstyr. I denne rapporten brukes følgende definisjon på aldring av behov:

Aldring av behov vil være resultatet av en prosess som endrer en organisasjon eller brukers faktiske behov, i forhold til de behov og krav som lå til grunn ved anskaffelsen av et bestemt teknisk utstyr.

Behov spesifiseres som funksjonskrav. For å gjøre det mulig å tidfeste endringer i behov vil det her bli antatt at endringene ikke er et resultat av en kontinuerlig prosess, men en funksjon av beslutninger som blir tatt på diskrete tidspunkt. Dette er forsøkt illustrert i Figur 2.1.

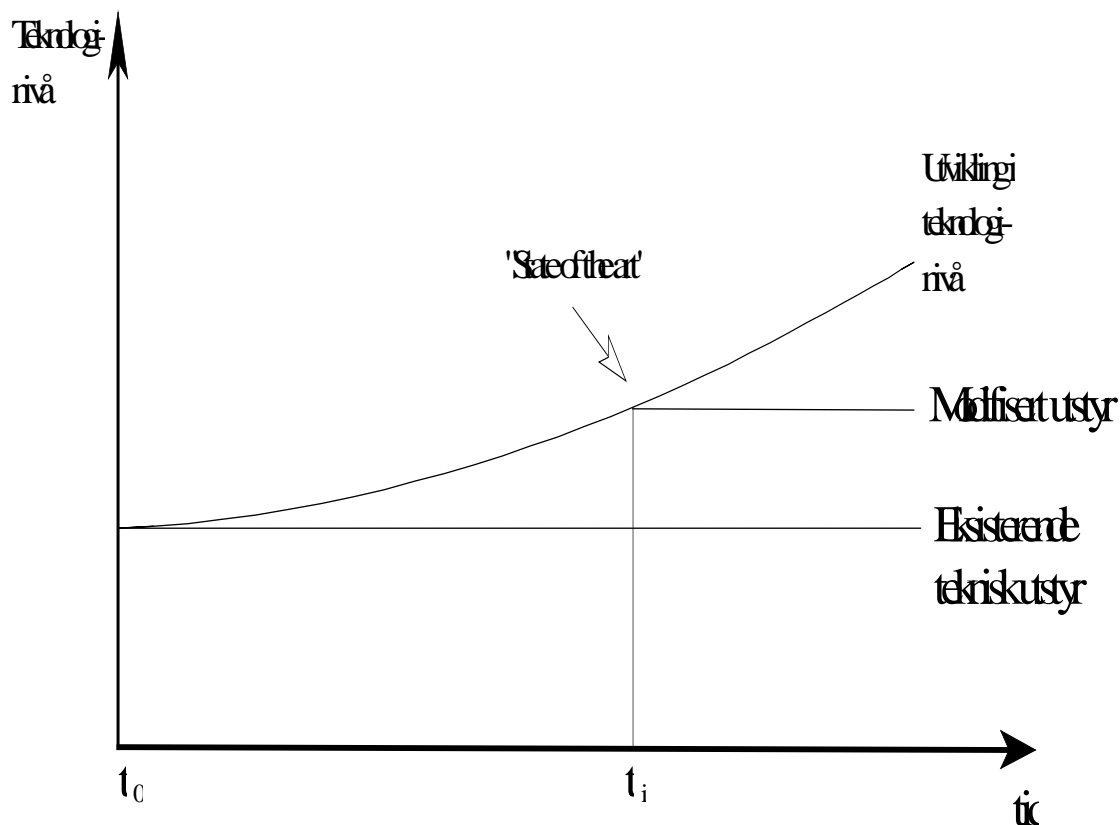


Figur 2.1 Aldring av behov

2.2.2.3 Aldring av teknologi

På samme måte som aldring av behov er aldring av teknologi knyttet til hendelser som ligger utenfor grensene til det tekniske utstyret, dvs. i omgivelsene. Det som skiller disse formene for aldring fra hverandre er at aldring av teknologi ikke er direkte knyttet til de beslutningene som blir tatt av brukerorganisasjonen.

Sett fra organisasjonens synsvinkel vil utviklingen av ny teknologi kunne medføre nye behov for brukeren. På den andre siden kan nye behov resultere i utviklingen av ny teknologi. Sett fra synsvinkelen til et eksisterende teknisk utstyr, vil utviklingen av teknologi fortsette, mens utstyret selv er låst på det teknologinivået det i sin tid, t_0 ble konstruert for. Figur 2.2 illustrerer dette.



Figur 2.2 Aldring av teknologi

En måte å imøtekomme denne forskjellen i teknologiske nivå på er å utføre en modifikasjon av utstyret til en såkalt “state of the art”- løsning på et gitt tidspunkt t_i . Den andre muligheten er å investere i ett nytt utstyr.

Aldring av teknologi vil være resultatet av de prosesser som fører til at en bestemt teknologisk løsning for et teknisk utstyr, med tiden blir mindre effektiv i forhold til den beste mulige teknologiske løsningen som er tilgjengelig på et gitt tidspunkt i utstyrets levetid.

Aldring av teknologi kan være en viktig parameter der hastigheten i utviklingen av ny teknologi er stor, f.eks. for dataprodukter eller i situasjoner der det er avgjørende å ligge foran en konkurrent eller motstander i teknologisk ytelse. Eksempler på det siste er kjent fra f.eks. våpenindustriens tiltak/mottiltak og ekstreme sportsgrener som Formel 1, m.m.

Det er viktig å presisere at utviklingen av ny og forbedret teknologi ikke nødvendigvis vil påvirke de behovene som brukeren av et gitt teknisk utstyr har. Konkurransesituasjoner vil føre til en sterkere sammenheng mellom endring av behov og utvikling av teknologi.

2.2.2.4 Total aldring

Den tradisjonelle bruken og forståelsen av aldringsbegrepet er utilstrekkelig. Det er behov for en metode å behandle aldring på, som i større grad tar hensyn til ulike påvirkninger fra omgivelsene. Videre er det en klar trend i tiden å skaffe seg bred oversikt før man tar viktige beslutninger, dvs. søke utstyrsforståelse.

Den totale aldringen til det tekniske utstyret vil være en funksjon av funksjonell aldring, aldring av behov og aldring av teknologi. Man må se de tre aldringstypene i sammenheng for å kunne beregne den faktiske nyttige restlevetiden til utstyret.

Total aldring gis følgende definisjon:

Total aldring er det samlede resultatet av ulike prosesser som reduserer den evnen et teknisk utstyr har til å oppfylle de krav og behov som brukeren av utstyret til enhver tid stiller, for å kunne utføre tiltenkte funksjoner på den mest kostnadseffektive måten.

En slik definisjon erkjenner at de behov og krav en bruker av et utstyr har, er av dynamisk natur. Det er ikke tilstrekkelig å se på aldring som degradering av de funksjonene det tekniske utstyret ble konstruert med, og hadde som nytt.

Et utstyr som i liten grad er utsatt for aldring, har høy kvalitet, dvs. det tilfredsstillende behov og krav som brukeren/kunden stiller innenfor et bestemt tidsintervall. Over et lengre tidsrom må man imidlertid forvente at de "fastsatte krav og behov" vil kunne endre seg. Dette motiverer for et konsept som er i stand til å håndtere endringer i de forutsetningene som lå til grunn ved anskaffelsen av et eksisterende teknisk utstyr.

Det motsatte av aldring er fornyelse. Definisjonen av fornyelse vil derfor være:

Fornyelse er resultatet av ulike prosesser som forbedrer den evnen et teknisk utstyr har til å oppfylle de krav og behov som brukeren av utstyret til enhver tid stiller, for å kunne utføre tiltenkte funksjoner på den mest kostnadseffektive måten.

Fornyelse er altså kvalitetsforbedring. Gjennom fornyelse kan det være mulig å endre utstyrets "egenskaper og kjennetegn" slik at det kan tilfredsstillende nye krav eller behov. Et eksempel på fornyelse kan være å gjennomføre modifikasjoner på et teknisk utstyr. I sin videste forstand kan det også omfatte anskaffelse av ett nytt utstyr for å erstatte et gammelt.

Total aldring bør knyttes til kostnadseffektiviteten (CE) til det tekniske utstyret, dvs. CE til det utstyret som er i bruk i forhold til det mest optimale utstyret som kan skaffes. I tilfeller der kostnadene ikke er en avgjørende parameter, vil utstyrseffektiviteten (SE) kunne være den viktigste grensebetingelsen.

2.2.3 Utilstrekkelig sikkerhet for mennesker, miljø og materielle verdier

2.2.3.1 Mennesker

Når utstyr må skiftes ut med nytt utstyr fordi det ikke lenger har tilstrekkelig sikkerhet med hensyn til menneskeliv. Ofte tilfredsstillende utstyret fullt ut tekniske, funksjonelle og økonomiske grensebetingelser som stilles, men på grunn av for høy risiko forbundet med bruk må det skiftes ut.

2.2.3.2 Miljø

Når utstyr må skiftes ut fordi det ikke lenger tilfredsstillende miljømessige sikkerhetskrav. Dette skyldes ofte endrede myndighetsrelaterte krav og ikke endret miljørisiko hos utstyret. I enkelte tilfeller kan man få dispensasjon til å benytte eksisterende utstyr som avviker fra nye krav, for et vist tidsrom eller til det må skiftes ut av andre grunner, mens nytt utstyr som anskaffes må tilfredsstillende alle nye miljøkrav.

2.2.3.3 Materielle verdier

Utskifting av utstyr på grunn av utilstrekkelig sikkerhet for materielle verdier kan forekomme som en følge av at krav andre steder i systemet forandrer seg. Som et typisk eksempel kan nevnes et tilfelle fra en installasjon i Nordsjøen hvor utskifting av solenoidventiler et sted i det hydrauliske systemet gjorde at filterenheten måtte skiftes ut fordi rensningsgraden ikke lenger var god nok.

2.2.4 Publisitet

Dårlig publisitet er en problemstilling som sjeldent vurderes i forbindelse med utskifting av utstyr. Sikkerhet, lav forurensning og resirkulering er blant annet krav som stilles til et utstyr, og setter stadig nye normer og forventninger til prestasjonene. Denne typen krav vil endre seg over tid, og kan resultere i at eksisterende utstyr ikke tilfredsstillende nye krav og dermed gir bedriften dårlig publisitet.

2.2.5 Ugunstig økonomisk utvikling

Ved bruk av utstyr er det viktig å ha kontroll på teknisk, funksjonell og økonomisk tilstand. Teknisk og funksjonell tilstand påvirker økonomisk tilstand for utstyr, som består av parameterne vedlikeholdskostnader, nedetidskostnader, driftskostnader og driftsinntekter. Begrepene driftskostnader og vedlikeholdskostnader defineres forskjellig fra bedrift til bedrift, og brukes ofte om de samme kostnadene. Vi har valgt å skille på begrepene for å øke muligheten til vurderinger i forhold til optimalt utskiftnings tidspunkt.

I de senere år er det blitt mer og mer vanlig å beregne alle kostnader og inntekter for hele levetiden til utstyret, og disse beregningene kalles for Life Cycle Cost (LCC) og Life Cycle Profit (LCP). Nedenfor følger en beskrivelse av parameterne for økonomisk tilstand, og en kort beskrivelse av konseptene for LCC og LCP.

2.2.5.1 Vedlikeholdskostnader

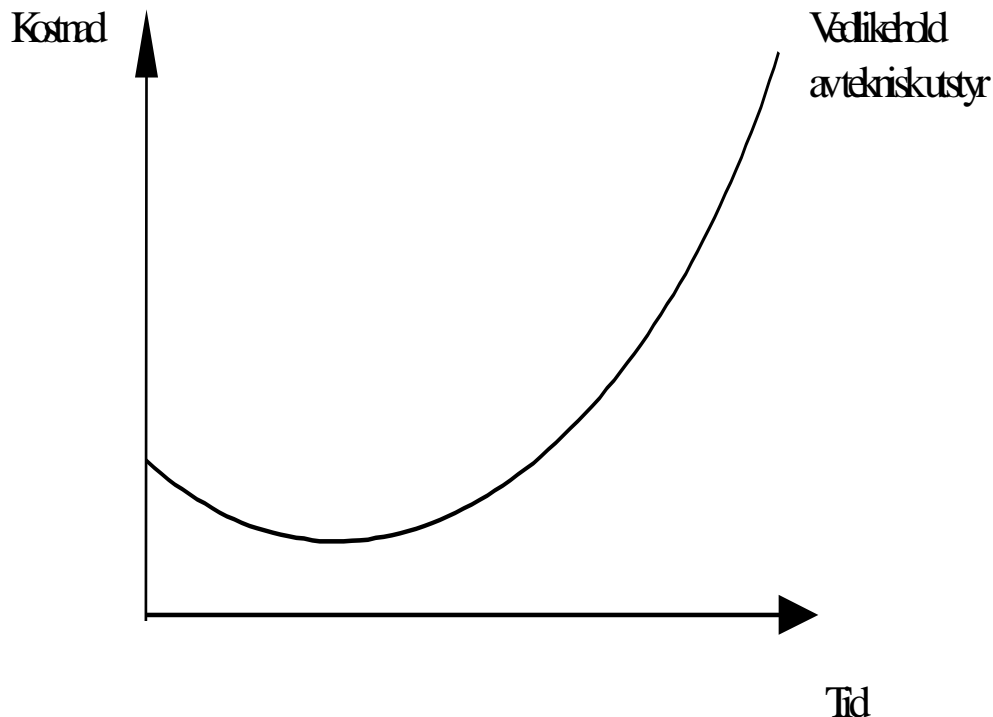
For alle typer utstyr vil det fra tidspunktet det tas i bruk, aldri kunne få tilbake sin opprinnelige tilstand som helt nytt. Det vil utsettes for slitasje og korrosjon, som gradvis nedsetter den tekniske og funksjonelle tilstanden. Dette setter krav om gjennomføring av ulike typer aktiviteter for å opprettholde best mulig tilstand til en hver tid. Aktivitetene kan være alt fra korrektivt vedlikehold, regelmessige inspeksjoner og smøring, til mer omfattende forebyggende vedlikehold og avansert tilstandsovervåkning, og resulterer i det som defineres som vedlikeholdskostnader. Eksempler på slike kostnader er:

- Timekostnader eget vedlikeholdspersonell
- Timekostnader innleid vedlikeholdspersonell
- Reservedeler og forbruksmateriell
- Smøremidler
- Verktøykostnader
- Verkstedkostnader
- Transportkostnader
- Opplæringskostnader
- Administrasjonskostnader
- Dokumentasjonskostnader

Mange bedrifter inkluderer kun time- og reservedelskostnader som vedlikeholdskostnader, og enkelte benytter kun reservedelskostnader.

Å opprettholde best mulig funksjonell og teknisk tilstand blir mer og mer krevende, etter som utstyret i drift og utsettes aldring i form av slitasje og korrosjon. Dette medfører at vedlikeholdskostnadene gradvis vil øke over tid (Figur 2.3), som følge av økt timeforbruk til vedlikehold, økt forbruk av reservedeler, forbruksmateriell og smøremidler, økt administrasjon, osv.

Vedlikeholdskostnadene er derfor en viktig grensebetingelse ved bestemmelse av optimalt utskiftningsstidspunkt, siden man må vurdere fortsatt vedlikehold og dermed økte kostnader på eksisterende utstyr i forhold til å investere i nytt utstyr.



Figur 2.3 **Utvikling av vedlikeholdskostnader**

2.2.5.2 Driftskostnader

Driftskostnader defineres som kostnadene som påføres et utstyr ved bruk for foredling av råvarer og komponenter. Eksempler på slike kostnader er:

- Timekostnader eget produksjonspersonell
- Timekostnad innleid produksjonspersonell
- Energikostnader
- Interne transportkostnader
- Lagerkostnader
- Kvalitetssikringskostnader
- Kassasjonskostnader
- Opplæringskostnader
- Administrasjonskostnader
- Dokumentasjonskostnader

Mange bedrifter ser kun på timekostnader og energikostnader som driftskostnader. Ved nedsatt funksjonell og teknisk tilstand vil driftskostnadene øke, pga. redusert produktkvalitet, økt produksjonstid, økt energiforbruk, osv.

Utviklingen av driftskostnadene i tid vil være den samme som for vedlikeholdskostnadene (Figur 2.3), men med mye lavere kostnadsøkning og dermed flatere kurve. I så måte vil vedlikeholdskostnadene være en viktigere grensebetingelse, men allikevel er det ønskelig å også kunne vurdere optimal utskifting i forhold til driftskostnadene.

2.2.5.3 Driftsinntekter

Driftsinntektene defineres som alle inntekter fra salg av produkter og tjenester, eller utleie av utstyr. Driftsinntektene påvirkes av utstyrets tilgjengelighet og evne til å produsere riktig kvalitet. Periodene der utstyret ikke er tilgjengelig og ikke kan produsere, kan angis som nedetidskostnader i form av reduserte inntekter. Utstyrets tilgjengelighet blir avgjørende for størrelsen på salgsvolumet eller utleietiden, og dermed også inntektene. Dette blir derfor et viktig bidrag til analysen av inntekter og kostnader forbundet til et utstyr ved vurdering av optimalt utskiftningstidspunkt.

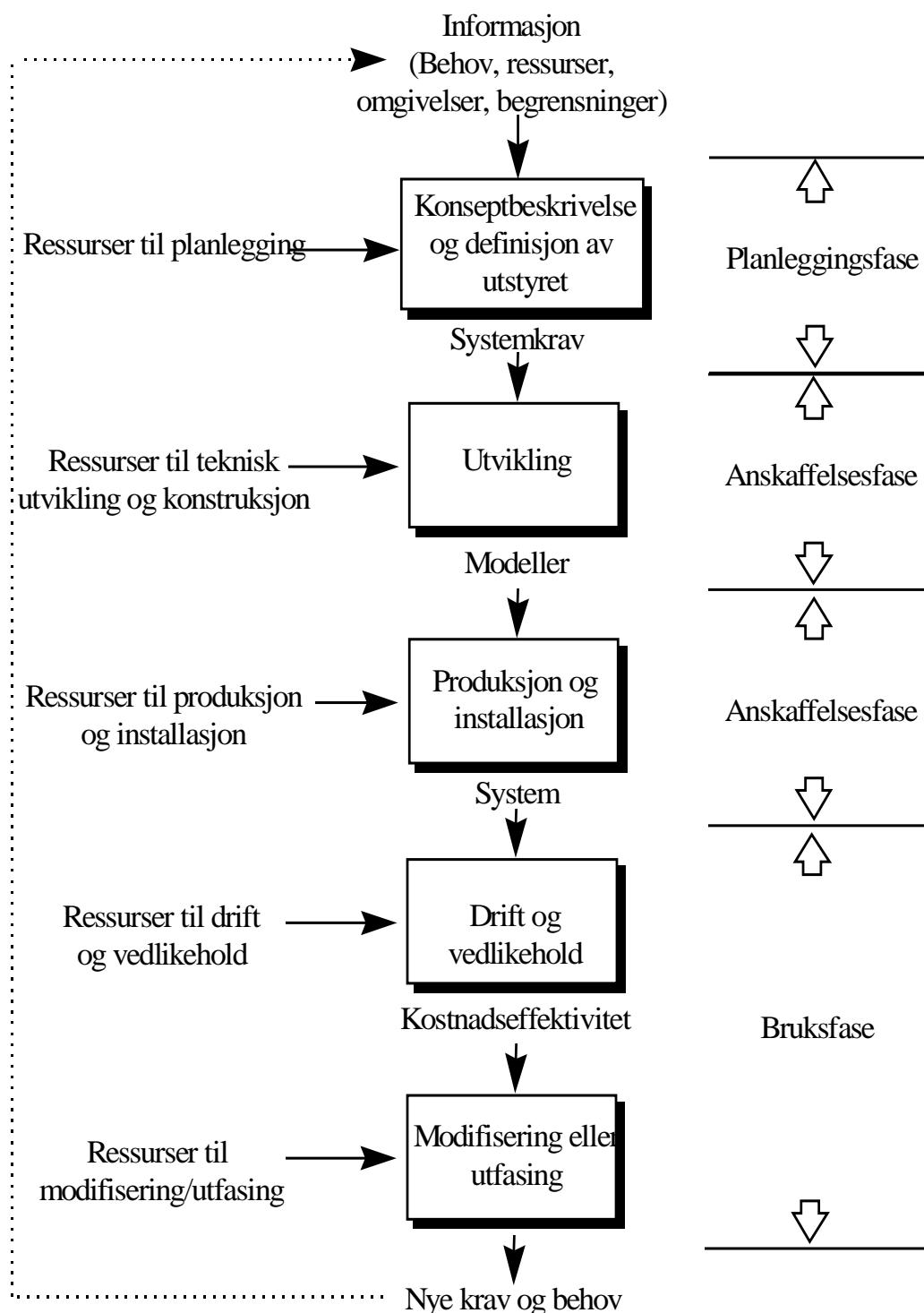
Resulterende viktige grensebetingelser for valg av optimalt utskiftningstidspunkt for et utstyr blir derfor vurderinger av LCC og LCP.

2.2.5.4 Levetidskostnader (LCC)

Levetidskostnader er alle kostnader som fremkommer av aktiviteter og ressurser i de ulike levetidsfasene (Figur 2.4), og kan defineres som [11]:

Totale kostnader som påløper utstyret over levetiden, om nødvendig omregnet i nåverdi.

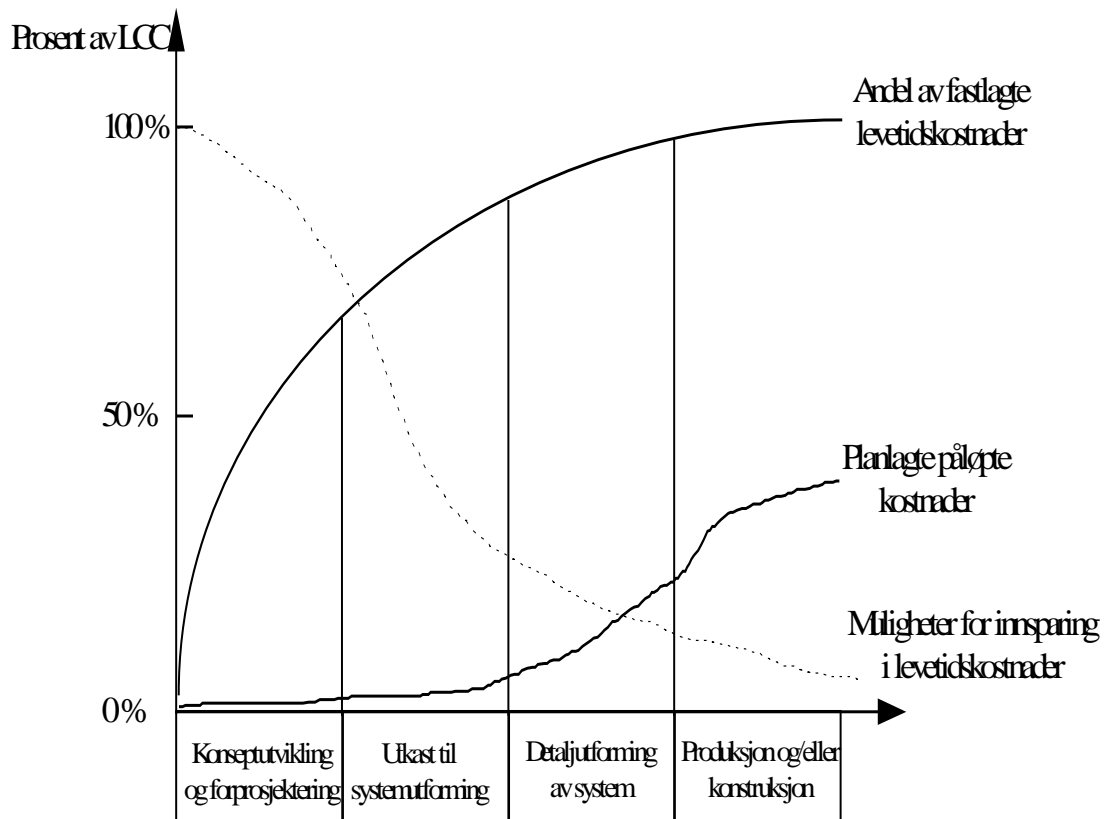
Det største bidraget til LCC skrives seg fra kostnader forbundet med normal drift og alle kostnader som følger av vedlikeholdsstøtte. Disse kostnadene påløper så lenge utstyret nyttes og kan derfor bli mange ganger større enn anskaffelseskostnadene. Levetidskostnader kan deles inn på mange måter (Figur 2.5), avhengig av type utstyr og ønsket følsomhet i målinger av kostnadseffektivitet.



Figur 2.4 Utstyrets levetidsfaser [8]

LCC-analysen integrerer tekniske vurderinger i en økonomisk evaluering. Summen av krav og spesifikasjoner for et system samles i en felles målbar enhet - kroner og øre. Det kan være ulike motiver for å gjennomføre en analyse. Det de fleste har til felles er at man søker det beste av to eller flere alternativer sett fra et kostnadmessig synspunkt. For å bli i stand til å gjøre dette må man kartlegge hvilke faktorer som påvirker systemets kostnader. LCC-

analysen kan utføres i hvilken som helst fase av utstyrets levetid (Figur 2.5). Som det går frem av figuren fastlegges de største delene av levetidskostnadene allerede under systemplanlegging- og konseptutviklingsstadiet. Det er derfor viktig å utføre LCC-analyser i de tidlige fasene, selv om usikkerheten til datagrunnlaget kan være høy.



Figur 2.5 Fastleggelse av levetidskostnadene [2]

LCC er godt egnet som grunnlag for beslutningsstøtte i de ulike fasene, også i anskaffelsessituasjoner. Analysen skal utgjøre en del av det endelige beslutningsgrunnlaget. Beslutningene som skal tas kan være:

- Systemvalg (alternativsvurderinger)
- Anbudsvurderinger
- Kostnadsminimeringer
- Modifiseringer
- Budsjettprognoser
- Valg av vedlikeholdskonsept
- Valg av vedlikeholdsnivå
- Valg av reservedeler

En LCC-modell er en kvantitativ modell for beregning av alle kostnadselementer som inngår i analysen, basert på gitte elementverdier og/eller parameterverdier. Det finnes mange ulike modeller for LCC-analyse, hver med sine fordeler og begrensninger (over 1000 modeller allerede i 1970 [3]). Noen håndterer total kostnader, andre kun vedlikeholdskostnader eller reparasjonskostnader. LCC-modellen bør inngå i en modell for bestemmelse av optimalt utskiftningstidspunkt, da den tar med alle kostnader som påløper

et utstyr over hele levetiden. Før man velger modell må man derfor bestemme hva man forventer modellen skal gjøre og hvilken type og mengde informasjon som kreves.

2.2.5.5 Levetidsoverskudd, (LCP)

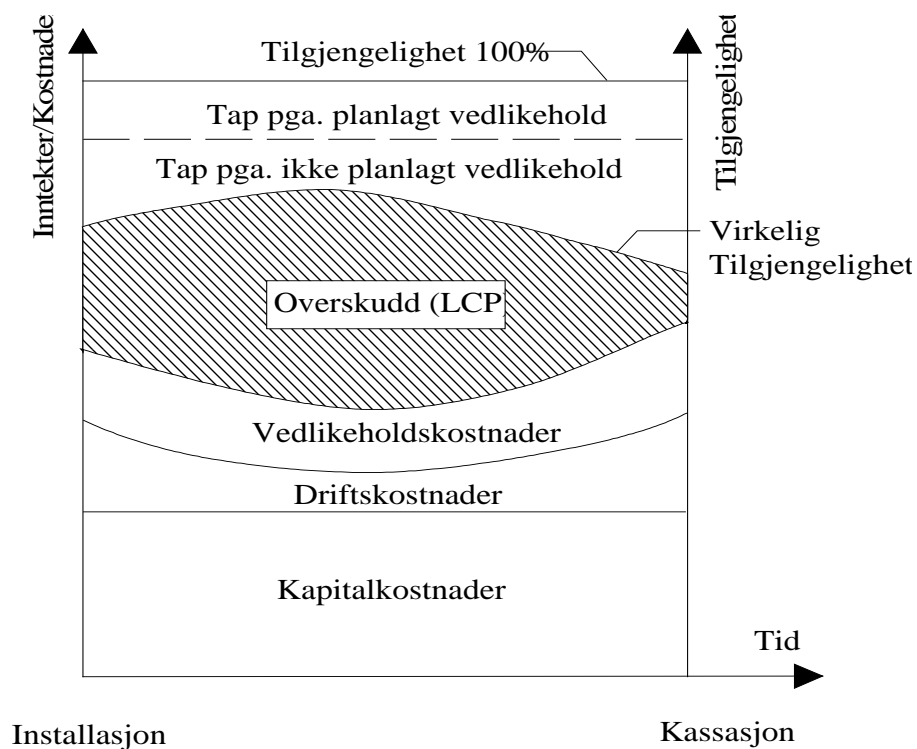
LCP (Life Cycle Profit) skiller seg fra LCC ved at man tar hensyn til driftsinntektene til et utstyr, i tillegg til drifts- og vedlikeholdskostnadene. Tradisjonelt skjer dette ved at høyeste oppnåelige inntekt og bortfall av inntekt pga. utilgjengelighet for utstyret bestemmes. Utilgjengeligheten til utstyret fører til inntektssvikt og kalles for nedetidskostnader.

Man kan tenke seg dette som en nåverdibetraktning der fremtidige inntekter er justert for de tap som man tror vil følge av senere uregelmessigheter i driften. LCP-analysen bidrar til at man identifiserer hvilke faktorer som påvirker kostnader og inntekter slik at man i de tidlige fasene av et prosjekt ser hva som kan gjøres for å påvirke faktorene. I disse fasene er også potensialet for forbedringer størst.

Inntekt, og tap av denne, påvirkes imidlertid av langt flere forhold enn bortfall av funksjon. Først og fremst vil valg mellom ulike alternativer påvirke utstyrets eller systemets mulige inntekt, dernest innvirker de beslutninger som tas gjennom levetiden på den totale lønnsomheten.

Med optimal nytte som mål vil det være riktigere å bruke LCP framfor LCC som indikator på lønnsomhet. Det vesentlige vil være å optimalisere for å øke f.eks fortjenesten, ikke å redusere kostnadene ensidig. Et lite tillegg i kostnad kan medføre en større økning i fortjeneste.

LCP er summen av høyeste oppnåelige inntekt fratrukket tapte inntekter (nedetidskostnader) og levetidskostnadene. Sammenhengen mellom LCC og LCP er vist i Figur 2.6.



Figur 2.6 Life Cycle Profit (LCP) [9]

2.2.6 Kompetanse

Drifts- og vedlikeholdspersonellets kompetanse må alltid vurderes i forhold til den teknologiske utviklingen som skjer på alle områder. Dette gjelder også i forhold til optimalt utskiftningstidspunkt for utstyr. Kompetanse i forhold til vedlikeholdsinnsats eller modifisering på eksisterende utstyr, eller ny teknologi forbundet med anskaffelse av nytt utstyr må hele tiden vurderes. Det er meget ressurskrevende å holde personell oppdatert på kompetansesiden, og derfor blir dette en viktig grensebetingelse som må vurderes.

2.2.7 Eventuelt andre

I løpet av intervjuene med deltagerbedriftene i prosjektet kom det frem noen særegne vurderingskriterier som er mer karakteristisk for den enkelte bransje. Anvendbarheten for noen av disse grensebetingelsene på tvers av bransjene er ikke stor, men de er allikevel verd å nevne:

2.2.7.1 Stridsevne og politiske innkjøp

Særegent for Forsvaret er de løpende vurderingene av utstyrets stridsevne som må gjøres i forhold til hvordan fiendens stridsevne er og utvikler seg. Dette påvirker i stor grad utskiftningstidspunktet og kan sees på som en type teknologisk aldring. Forskjellen fra aldring av teknologi, beskrevet i kapittel 2.2.2.3 side 14 og som skjer gradvis, er at tap av stridsevne skjer i raskt form av et kvantesprang og konsekvensene kan bli store på kort sikt.

Et annet særtrekk som Forsvaret til en viss grad må forholde seg til ved vurdering av utstyrets utskiftningstidspunkt er såkalte politiske innkjøp. Dvs. at man pga. politiske motiver bytter utstysleverandør eller samarbeidsavtaler, som får konsekvenser både for vurdering av eksisterende utstyr og valg av nytt utstyr.

2.2.7.2 Dårlig publisitet som konsekvens

Dårlig publisitet ble nevnt som et av vurderingskriteriene til Norsk Hydro, og er nærmere beskrevet i kapittel 2.2.4 side 16.

2.2.7.3 Rehabilitering av bygninger ved skifte av leietaker

STATSBYGG forvalter en stor eiendomsmasse med leietagere på langtidskontrakter. Utskifting av utstyr blir ofte utført ved skifte av leietager, da dette som regel krever en større rehabilitering pga. forskjellig bruk hos den enkelte leietager. Utskiftingstidspunkt for utstyr er derfor i stor grad begrenset til periodene mellom leieavtaler, og dette kan karakteriseres som et særtrekk for STATSBYGG.

2.3 Beslutninger under usikkerhet

Av foregående delkapitler kan man få inntrykk av at det finnes veletablerte modeller for å beregne levetidskostnader og levetidsprofitt. Prinsippet er enkelt da man tar hensyn til alle relevante kostnader og inntekter. I praksis kan dette bli meget omfattende arbeid på grunn av alle ulike kostnader innen drift og vedlikehold.

Man innser umiddelbart at mengden informasjon må begrenses. En modell som stiller krav om detaljerte opplysninger om et tyvetall kostnadskomponenter vil aldri bli brukt.

Et annet problem er knyttet til usikkerhet. I denne sammenheng vil vi peke på to typer relevant usikkerhet.

Først har vi usikkerhet knyttet til selve utstyret eller maskinen som er gjenstand for vår analyse. F.eks kan det være usikkert hvor store driftskostnader som vil påløpe eller hvor raskt maskinen slites. Behov for vedlikehold, maskinens yteevne etc kan også være usikkert. Leverandøren kan gi informasjon og visse garantier, men en viss usikkerhet vil sannsynligvis være tilstede.

Den andre typen usikkerhet gjelder faktorer utenfor selve maskineriet. Det kan eksempelvis dreie seg om teknologisk aldring i vid forstand. Et produksjonsmiddel kan bli kassabelt fordi det utvikles nye produksjonsmetoder eller fordi produktet i seg selv blir foreldet. I forsvarssammenheng kan nyvinninger gjøre et etablert våpensystem håpløst gammeldags. Endret bruk av en bygning kan kreve vesentlige endringer i romplan og/eller fullstendig nye tekniske installasjoner. Det innebærer at levetiden på tekniske installasjoner tilpasses leieforholdenes lengde og ikke bygningens levetid.

I framstillingen av LCC- og LCP-konseptene er det i beste fall antatt at slike prosesser kan forutses og at utviklingen skjer gradvis. I en rekke tilfeller er det ikke slik. Skifte av leietaker skjer brått og oppsigelsestiden er kort, i alle fall sammenliknet med mulig levetid på de investeringer som følger med et slikt skifte.

Hvilke beslutninger som er optimale, avhenger således av forhold som kan knyttes til selve utstyret/maskineriet og av en rekke andre forhold. Hvilke forhold som er relevante vil selvsagt variere fra analyse til analyse.

Begrepene tilstand og tilstandsovervåkning er vel innarbeidet, f.eks når det gjelder analyser av vedlikehold. I slike analyser kan tilstand angi grad av slitasje, oljetrykk etc. I økonomiske analyser er det vanlig å utvide tilstandsbegrepet til å omfatte alle relevante forhold. Eksempler kan være produktpris, leietaker (skifte eller ikke skifte).

Usikkerhet gjør at det ikke alltid gir god mening å snakke om optimal levetid, fordi utstyrets alder ikke nødvendigvis er den viktigste parameteren. Dersom tilstandene er funksjoner av tiden, er alder tilstrekkelig. Ved sprangvise og plutselige endringer i tilstandene, er det tilstandene i seg selv som er viktige. Man oppgrader et bygg fortrinnsvis ved skifte av leietaker, eller dersom behovet for oppgradering er stort og leieforholdet synes langvarig.

Beskrivelse av usikkerhet er problematisk av minst to grunner. Usikkerheten må beskrives og modelleres. I tillegg må man beskrive hvordan usikkerheten oppløses, eller hvordan beslutningstaker får informasjon om usikre forhold. Når det gjelder usikre priser forutsettes det ofte at framtidige prisendringer følger en såkalt Brownsk prosess¹, samtidig som man hele tiden har full informasjon om prisen. For lastebiler kan man, som Bernhard (1990), anta at drifts- og vedlikeholdskostnadene for hver bil øker med en fast rate pr. år. Raten kan variere fra bil til bil og er usikker ved innkjøp, men avsløres med sikkerhet etter kort tids bruk.

I analyser av optimal levetid er det oftest slik at en rekke beslutninger ligger fast. For eksempel er det gjerne slik at drifts- og vedlikeholdskostnadene antas gitt, med tilsvarende

¹ Prisendringene i etter hverandre følgende (infinitesimale) tidsrom er uavhengige og normalfordelte.

fare for suboptimalisering. Metoden skal kunne brukes på såpass komplisert utstyr at simultan fastsettelse av levetid og nivå på bl.a. vedlikehold vil bli svært krevende, med mindre man kan etablere enkle relasjoner mellom vedlikehold og driftskostnader etc.

Dette leder oss over i spørsmålet om hvilke beslutninger som er viktige. Når det gjelder selve utskiftingen står man på ethvert tidspunkt overfor flere muligheter: Man kan beholde, oppgradere eller anskaffe nytt utstyr (som kan kjøpes eller leies). Andre muligheter eksisterer også. Kanskje er det mulig å sette ut produksjonen, eller endre produktet slik at man kan benytte standard komponenter som kan kjøpes i markedet.

Inkluderes beslutninger om drift og vedlikehold vil man fort komme opp i et u håndterlig antall beslutninger. Det innebærer at man må fokusere på de viktigste og at analysen blir spesifikk.

2.4 Styrker/svakheter med dagens fremgangsmåte

Styrken med dagens mer eller mindre “ad hoc”-baserte fremgangsmåte for bestemmelse av optimalt utskiftnings tidspunkt, er at det blir gjort av personer som har inngående teknisk kunnskap om utstyret. Disse personene har gjennom daglig drift og vedlikehold av utstyret over flere år, ervervet inngående kunnskap som sikrer grundig og sannsynligvis riktige “ekspertvurderinger” av utstyrets tekniske tilstand.

Svakheter er at slike vurderinger kan bli for personavhengig, noe som innebærer at samme utstyr kan bli vurdert svært forskjellig avhengig av hvem som gjør vurderingene. Videre gjøres ikke vurderingene etter en systematisk gjennomtenkt metode, og grensebetingelser relevant for utstyret blir i tilfeldig grad vurdert, ut fra individuelle forskjeller før en beslutning tas. Kommunikasjonen mellom brukere og forvaltere av utstyret er i mange tilfeller for dårlig, slik at det ikke er samsvar mellom f.eks. utskifting av utstyr og innkjøp av reservedeler. Det er heller ikke avpassning av vedlikeholdsinnsatsen i forhold til beslutningen om når utstyret skal skiftes ut.

2.5 Hva kan forbedres?

Det finnes i dag tilstrekkelig informasjon/datamengde i bedriftene som ved riktig utnyttelse kan være med på å danne beslutningsgrunnlag for optimalt utskiftnings tidspunkt. Bedriftene har gode systemer for systematisert vedlikehold, reservedelsopplegg og lagring av utstyrshistorikk, og har metoder for utføring av LCC-analyser.

Hovedproblemet er at beslutningsprosessen ikke er systematisert og vurdert i et helhetsperspektiv, og fører til tilfeldige vurderinger og prioriteringer av grensebetingelsene. Det er derfor ønskelig å komme frem til en strukturert metode for bestemmelse av optimalt utskiftnings tidspunkt for *reparerbart utstyr*.

Fra tilgjengelig litteratur finnes ikke metoder eller prosedyrer som kan anvendes for å bestemme optimalt utskiftnings tidspunkt for utstyr. Derfor må det utvikles en metode som på et overordnet nivå er tilstrekkelig generell til anvendelse av alle typer bedrifter. Deretter må metoden utvikles på et mer spesifikt nivå for hver enkelt bedrift.

Individuelle forskjeller vil alltid influere på resultatet av en utstyrsvurdering, og det er derfor viktig å ha en strukturert modell der utstyret blir vurdert i forhold til et predefinert sett av grensebetingelser som sikrer at alle relevante sider belyses. Metoden må søke å nyttiggjøre resultatene fra LCC/LCP-analyser i kombinasjon med aktuelle

grensebetingelser beskrevet i dette kapitlet. Den må kunne benytte vedlikeholdsdata og angi hvilken vedlikeholdsinnsett som videre er nødvendig i forhold til en beslutning. I tillegg må metodikken som utvikles være praktisk anvendelig, slik at bedriften relativt enkelt kan ta den i bruk.

3. UTVIKLING AV METODIKK

3.1 Innledning

Det er viktig å skaffe seg et godt beslutningsunderlag for å kunne beregne når det er optimalt å skifte utstyret. Problemstillingen i prosjektet tar derfor utgangspunkt i at bedriftene har behov for en strukturert metode til å vurdere optimal utskifting av en utstyrsenhet eller utstyrspark.

Begrepet utskifting kan i utgangspunktet forstås relativt vidt. Det kan innebære utskifting til en ny enhet av samme eller tilsvarende type, utskifting til en ny type (f.eks ny teknologi) eller avvikling av utstyrsenheten (f.eks ved å leie inn utstyrstypen/tjenesten etter behov). Alternativer til utskifting vil være å beholde enheten slik den er, eller foreta tekniske eller organisatoriske endringer for å forbedre den eksisterende enheten.

I mange situasjoner bør forventet tidspunkt for utskifting av en utstyrsenhet bestemmes noen år i forveien, fordi større investeringer må legges inn i budsjettet i god tid, eller hvor store ressurser man vil legge inn i modernisering av eksisterende utstyr er avhengig av forventet tid til utskifting.

Hva som til slutt blir optimalt utskiftnings tidspunkt, er avhengig av en rekke grensebetingelser. Noen av grensebetingelsene kan gi grensebetingelser for hva som er *mulig*, f.eks budsjettbeskränkninger. Andre uttrykker hva som er *ønskelig*, f.eks til en viss grad teknologisk ukurans, og enkelte grensebetingelser gir i prinsippet tall som kan optimaliseres, som f.eks. levetidskostnader (LCC).

Termen "optimal" indikerer at man har en viss valgfrihet, dvs. at man kan velge mellom alternative beslutninger. Ovenfor har vi indikert at utskifting gir mulighet til å ta i bruk ny teknologi. Generelt er det selvsagt slik at et "optimalt" valg eller en optimal beslutning beror på hvilke muligheter som er tilstede. Det innebærer at relevante alternativer må beskrives. En alminnelig forutsetning er at gammelt utstyr kan erstattes av tilsvarende nytt. Det innebærer at man oftest ignorerer teknologisk utvikling (lettere inspeksjon, redusert behov for vedlikehold, forbedret ytelse etc).

3.2 Litteratursøk

Forut for arbeidet med utvikling av metoden, ble et litteratursøk foretatt for å undersøke hva som finnes av teori innenfor området. Det ble søkt i Compendex og NTIS som er tekniske databaser, og i EconLit som er en økonomidatabase. Søkerordene som ble brukt var *Residual life, Replacement og Phase out*, og disse ordene ble så kombinert med ordene *Optimal, Estimation, Prediction, Point og Interval*.

Søk i databasene Compendex og NTIS resulterte i ca. 120 relevante sammendrag. En nærmere gjennomgang av disse, viste at de fleste var svært spesifikke og snevre.

Hovedvekten av artiklene omhandlet teori for bestemmelse av restlevetid for utstyr basert på sprekkvekst, utmatting og slitasje. De artiklene som hadde de mest relevante sammendragene ble studert i sin helhet, men viste seg å inneholde lite av generell interesse for dette prosjektet.

Databasen EconLit gav 479 treff hvorav en stor andel dreide seg om makroøkonomiske problemstillinger. Det er vårt inntrykk at økonomisk litteratur om "optimal utskifting" på 60, 70 og tidlig på 80-tallet dreide seg om investeringsvarer. Mot slutten av 80 tallet og første halvdel av 90-tallet har fokus tilsynelatende dreid bort fra investeringsvaresektoren, og mye er sentrert mot problemer innen konsumvaresektoren og landbruk (eksempelvis dyrehold og bruk av land). Beskrivelse av noen relevante modeller finnes i vedlegg 1.

3.3 Metodeutvikling i hht. problemstilling

Ut fra et uttrykt ønske fra prosjektdeltakerne er det ikke utviklet metodikk av høy teoretisk karakter. Metoden er utviklet som et sett av kvalitative regler, hvor det for en stor grad blir opp til eksperter innen hvert enkelt fagområdet å komme med kvantitative estimater for forventet gjenværende levetid for hvert enkelt utstyr. Metoden skal i hovedsak sikre en strukturert gjennomgang av utstyret.

Med utgangspunkt i kapittel 2 ble prosjektets målsetning revurdert og revidert til å omhandle følgende:

Utvikle en metode som sikrer at alle punkter relevant for bestemmelse av optimalt utskiftnings tidspunkt behandles og ivaretas på en strukturert og objektiv måte. Metoden skal være et analyseverktøy som kan brukes som beslutningsstøtte, uten å sette krav om opplæring av brukeren.

Bestemmelse av utskiftnings tidspunkt vil i nesten alle praktiske tilfeller baseres delvis på "personlige" vurderinger eller skjønn. To personer eller arbeidsgrupper som ser på samme problemstilling *kan* derfor komme frem til forskjellig resultat. Med *objektiv* i denne sammenheng menes derfor *etterprøvbart*, derfor skal alle forutsetninger og antakelser som gjøres i analysen angis.

3.4 Anbefalt metode for bestemmelse av optimalt utskiftnings tidspunkt

3.4.1 Innledning

Under utviklingen av modellen kom det frem at det å finne ett optimalt tidspunkt for utskifting av utstyr vanskelig kan gi realistiske svar. Ofte er det tilstrekkelig å kunne fastslå det optimale utskiftningsintervall, fordi det gir gode nok anslag om hvilken tidshorisont man opererer med i forhold til nedtrapping av reservedelsinnkjøp og redusert vedlikeholdsinnsett. Et optimalt utskiftnings tidspunkt vil uansett ikke kunne gis i form av et svar som er 100 % pålitelig.

For å forenkle rapportskrivningen og holde oss til prosjektets opprinnelige tittel har vi derfor valgt å kalle optimalt utskifting, enten det er i form av et tidspunkt eller i form av et intervall, for OUT (optimalt utskiftnings tidspunkt).

3.4.2 Oppbygning

3.4.2.1 Punkt 1 - Målsetting og hensikt

Utgangspunkt for å ta i bruk en modell er behovet for å få bestemt gjenværende levetid på et eksisterende utstyr, og dermed få svar på hva som er optimalt utskiftningstidspunkt. For å legge til rette for best mulig kvalitativ vurdering, må derfor hensikten og målsetning med arbeidet defineres, systemet beskrives og systemavgrensninger settes for utstyret vi skal ta stilling til.

3.4.2.2 Punkt 2 - Identifisering og planlegging

Utviklingen av modellen tar utgangspunkt i de grensebetingelsene som ble kartlagt i kapittel 2, og er som følger:

1. Budsjettrestriksjoner (*rullerende budsjettfordeling og prioritering etter behov*)
2. Teknologisk ukurans (*funksjonell aldring, aldring av behov og aldring av teknologi*)
3. Utilstrekkelig sikkerhet (*for mennesker, miljø og materielle verdier*)
4. Publisitet
5. Ugunstig økonomisk utvikling (*vedlikeholdskostnader, driftskostnader, driftsinntekter, levetidskostnader (LCC) og levetidsoverskudd (LCP)*)
6. Kompetanse
7. Andre bedriftsspesifikke

Uavhengig av systemet som velges og hvilke systemavgrensninger vi gjør, må man vurdere alle mulige grensebetingelser, for å kunne identifisere aktuelle grensebetingelser og planlegge analysene videre. Det er derfor viktig å synliggjøre alle grensebetingelser i modellen, slik at relevansen til hver grensebetingelse vurderes i forhold det gitte utstyret. På bakgrunn av dette vil grensebetingelsen forkastes eller den tas med til videre analyse. I det enkelte konkrete tilfelle vil ofte bare noen få av grensebetingelsene a-g i punkt 2 Figur 3.1 identifiseres som relevante. Imidlertid er alle punktene i flytskjemaet nyttige som sjekkliste, for å sikre at alle vesentlige forhold er vurdert ved bestemmelse av optimalt utskiftningstidspunkt.

3.4.2.3 Punkt 3 - Analysering

Grensebetingelsene som ikke forkastes må analyseres hver for seg for å finne det optimale utskiftningstidspunktet. I analysen bør man finne *årsaken* til at dette er en grensebetingelse, hva som er *konsekvensen* av den, og *viktigheten* av grensebetingelsen vurderes. I tillegg er det viktig å *dokumentere* hva som ligger til grunn for det resultatet man kommer frem til, for å gjøre analysen etterprøvable.

Analysen av hver enkelt grensebetingelse bør derfor gjøres etter følgende prosedyre:

1. Bestem om grensebetingelsen er relevant for utstyret som vurderes.
2. Hvis nei, forkast grensebetingelsen,
hvis ja fortsett:
3. Hva er *årsaken* til at dette er en grensebetingelse?
4. Hva er *konsekvensen* av denne grensebetingelsen?
5. Hva blir optimalt tidspunkt eller intervall for utskifting (OUT) i henhold til denne grensebetingelsen?
6. Hva vil du vurdere *viktigheten* av denne grensebetingelsen til å være?
7. Dokumenter alle relevante opplysninger av betydning for resultatene av analysen.

3.4.2.4 Punkt 4 - Sammenstilling

For å kunne vurdere resulterende OUT for alle grensebetingelsene i analysen, må de sammenstilles i et diagram med grensebetingelsene langs y-aksen og tiden langs x-aksen. Når hver enkelt grensebetingelse plasseres ved siden av hverandre lagt ut i tid, oppnås en visuell oversikt over fastlagte tidspunkt og intervaller som vil være bestemmende for resulterende OUT.

3.4.2.5 Punkt 5 - Resultatvurdering

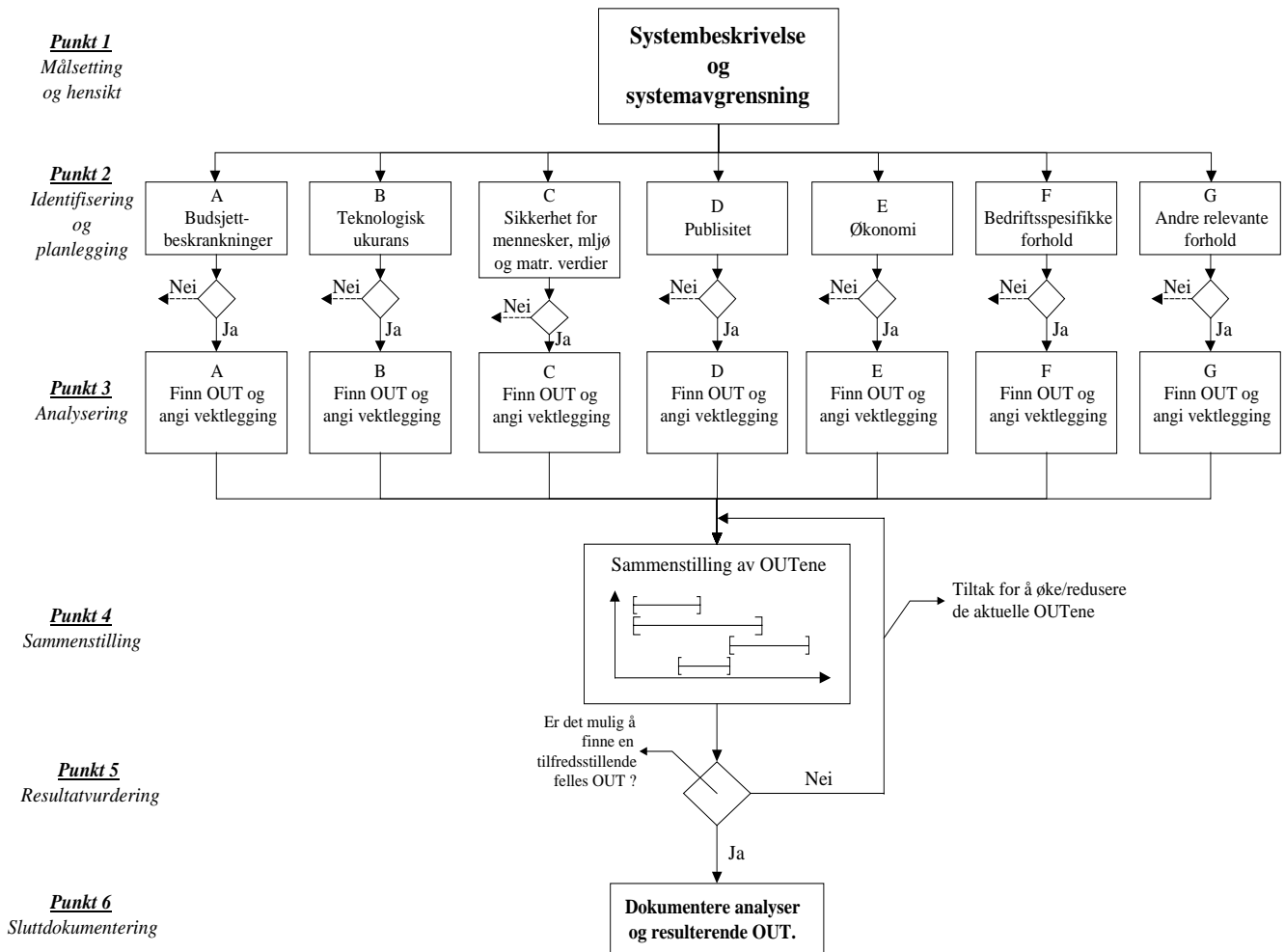
Dette er et sjekkpunkt for å ta stilling til om resulterende OUT i punkt 4 er tilfredsstillende. Ved forkastning går man tilbake og vurderer tiltak for å øke eller redusere OUTene for de ulike grensebetingelsene. Med tiltak forstås her de aksjoner man må gjøre i form av økt vedlikeholdsinnsats, enkle modifiseringer, osv. Dermed vil intervallene til grensebetingelsene kunne økes eller reduseres, og en ny sammenstilling av OUTene gjøres.

3.4.2.6 Punkt 6 - Sluttdokumentering

Avsluttende aktivitet der man sørger for å dokumentere alle analyser og vurderinger for hvordan resulterende OUT fremkom, slik at arbeidet er etterprøvbart av andre.

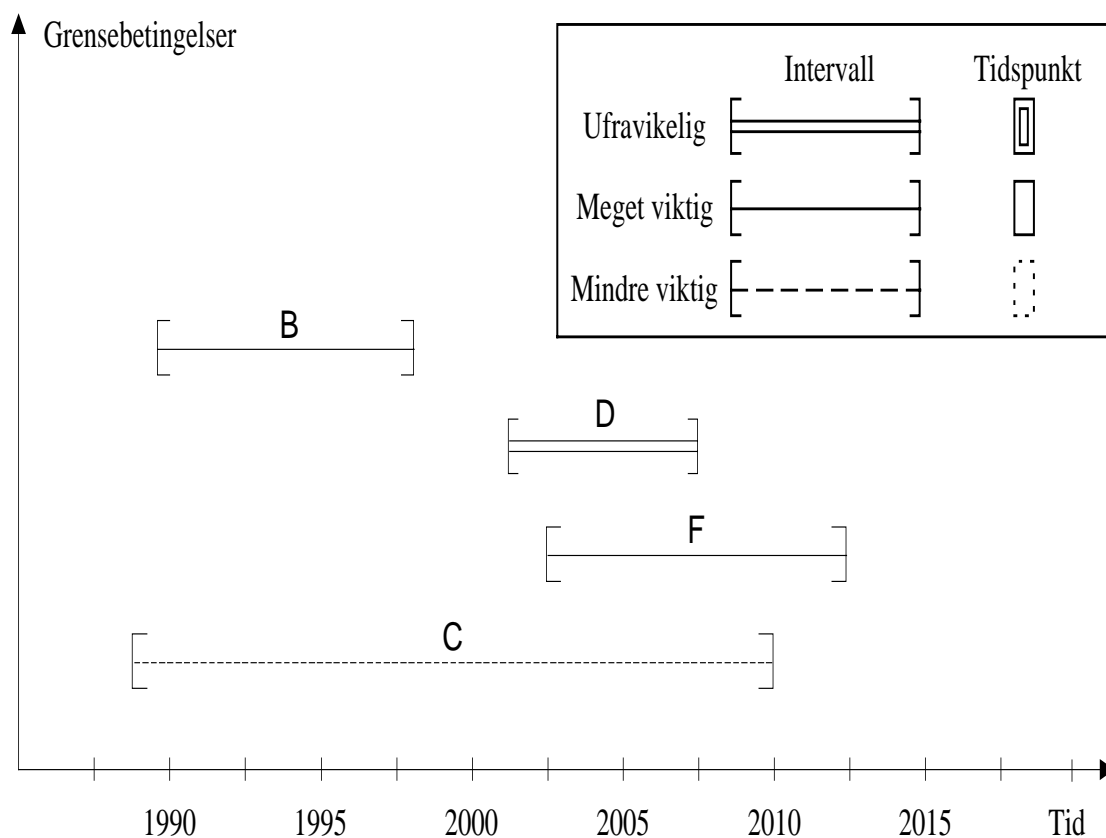
3.4.3 Valg av modell

Siden metoden er utviklet som en 6 punkts arbeidsbeskrivelse, er modellen derfor konstruert som et flytskjema (Figur 3.1). Ved å bruke modellen er man sikret at alle grensebetingelser blir vurdert, og man får dokumentert alle analyser og vurderinger som ligger til grunn for beslutningen.



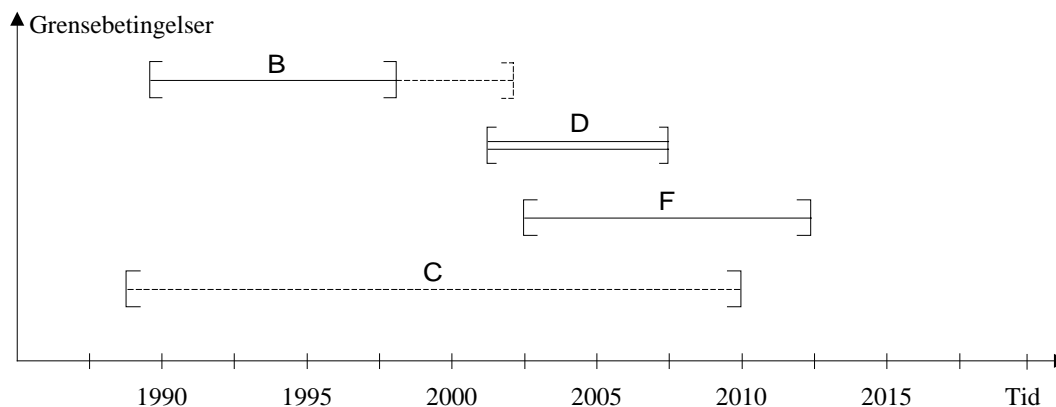
Figur 3.1 Flytskjema for bestemmelse av optimalt utskiftningstidspunkt, OUT.

Selve sammenstillingen av OUTene fra punkt 3 i flytskjemaet gjøres i punkt 4 i et eget diagram (Figur 3.2). For hver grensebetingelse som er analysert skal resultatet merkes av som et intervall eller et tidspunkt, og viktigheten angis med dobbel, enkel eller stiplet linje. Denne visuelle måten å sammenstille grensebetingelsene på, gir raskt oversikt over hvilke tidspunkt og intervaller som danner tidsrommet utskifting bør gjøres i.



Figur 3.2 Viser eksempel på sammenstilling av OUTene fra flytskjemaet.

Dersom det ikke lar seg gjøre å komme frem til en total OUT, må man gå tilbake og vurdere hvilke av grensebetingelsene som ved hjelp av tiltak kan flyttes på eller forlenges for å gi ønsket resultat. Dette er illustrert i Figur 3.3 der en ved å øke vedlikeholdet kan øke lengden på intervallet, slik at det havner innenfor de andre intervallene.



Figur 3.3 Viser eksempel på tilpasning av OUTene fra flytskjemaet.

Når flytskjemaet brukes skal alle analyser, vurderinger og andre opplysninger som fremkommer fra spørsmålene i punkt 3 noteres i en egen beslutningslogikk (Tabell 3.1). For hver grensebetingelse noteres årsak, konsekvens, vektlegging og OUT. Dermed sikres dokumentasjonen, og arbeidet blir etterprøvbart.

Grensebetingelse	Årsak	Konsekvens	Vekt	Optimalt tidspunkt/intervall for utskifting (OUT)
Budsjettbeskranking				
Teknologisk ukurans eller behov				
Sikkerhet for mennesker, miljø eller materielle verdier				
Publisitet - Miljøvennlighet - Annet				
Økonomi				
Bedriftsspesifikke forhold: - Kompetanse - Støttesystemer				
Annet (hvis relevant)				

Tabell 3.1 Beslutningslogikk for bestemmelse av OUT

1) Bruk av klassifisering foreslås til:

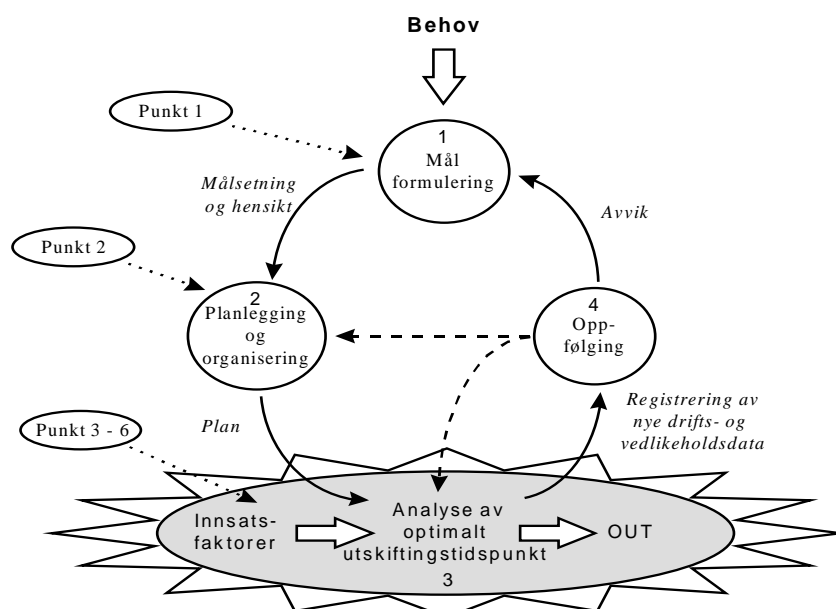
- 3: Ufravikelig - må ta hensyn til
 2: Meget viktig - bør tas hensyn til
 1: Mindre viktig - kan tas hensyn til
 0: Neglisjerbart - uvesentlig

3.4.4 Organisering og gjennomføring

Organisering og gjennomføring av denne typen arbeid kan gjøres med prosjektet som arbeidsform, der man ut fra et behov oppstår vedtar å gjøre et prosjekt for å vurdere optimalt utskiftingstidspunkt. Dette arbeidet må på lik linje med andre prosjekter inneholde en prosess med trinnene:

1. Målformulering
2. Planlegging og organisering
3. Gjennomføring
4. Oppfølging

Vurderinger av utstyr bør følges opp jevnlig over tid for å oppdatere det optimale utskiftingstidspunktet i forhold til nye erfaringer og historikk fra drift og vedlikehold. Denne typen vurderinger bør derfor sees på som en gjentagende prosess, og prosjektet kan gjøres etter styringsmodellen (Figur 3.4). Prosessen i styringsløyfa er merket fra 1 til 4, der trinnene 1-3 dekker arbeidsoppgavene (punkt 1-6) i flytskjemaet i Figur 3.1.



Figur 3.4 Styringsmodell for gjennomføring og oppfølging av prosjektet.

Trinn 1 - Målformulering. Når behovet for å vurdere optimalt utskiftingstidspunkt oppstår, og systemansvarlig beslutter å gjennomføre prosjektet, må målsetning og hensikt defineres. I dette ligger gjennomføringen av punkt 1 (Figur 3.1) om beskrivelse og avgrensning av utstyret som skal vurderes.

Trinn 2 - Planlegging og organisering. Gjennomføringen planlegges og organiseres. Personen som er ansvarlig for prosjektet skal fungere som pådriver og må involvere andre i prosessen. Prosjektet organiseres med en egen prosjektgruppe som bør settes sammen av forskjellige "eksperter" i bedriften. Denne prosjektgruppen bør være representert av et tverrsnitt i bedriften, og kan f.eks. bestå av teknisk personell, vedlikeholdspersonell, innkjøper, økonom, konstruktør, osv. Prosjektgruppen gjennomfører punkt 2 (Figur 3.1) og

kan benytte brainstorming teknikken for å definere alle mulige grensebetingelser, som deretter identifiseres og velges ut fra relevans i forhold til utstyret som skal vurderes.

Trinn 3 - Gjennomføring. “Ekspertene” benyttes til å finne OUTene for hver enkel grensebetingelse (punkt 3 i Figur 3.1), som må baseres på bruk av inngangsdata i form av både levetidsdata og ekspertuttalelser. Med levetidsdata menes her empiriske data som stammer fra drift og vedlikehold av det aktuelle utstyret. Ekspertuttalelser er i denne sammenheng å betrakte som uttalelser fra “ekspertene” fra brainstormingen, og annet personell med inngående kjennskap til det aktuelle utstyr.

Når alle OUTER er på plass samles “ekspertene” på nytt for å sammenstille (punkt 4 i Figur 3.1) disse i et diagram (Figur 3.2). Det er viktig at alle “eksperter” som har vært med i prosessen deltar på møtet, da det i mange tilfeller vil være uunngåelig med kompromiss mellom de ulike grensebetingelser for finne en løsning.

Dersom en OUT ikke er tilfredsstillende (punkt 5 i Figur 3.1), må prosjektgruppen gå tilbake i flytskjemaet for å vurdere ulike tiltak som kan iverksettes, se eksempelet i Figur 3.3, for å oppnå en tilfredsstillende resulterende OUT.

Til slutt må systemansvarlig sørge for at alle analyser og vurderinger i prosessen kan dokumenteres for å gjøre gjenbruk og etterprøvbare mulig (punkt 6 i Figur 3.1).

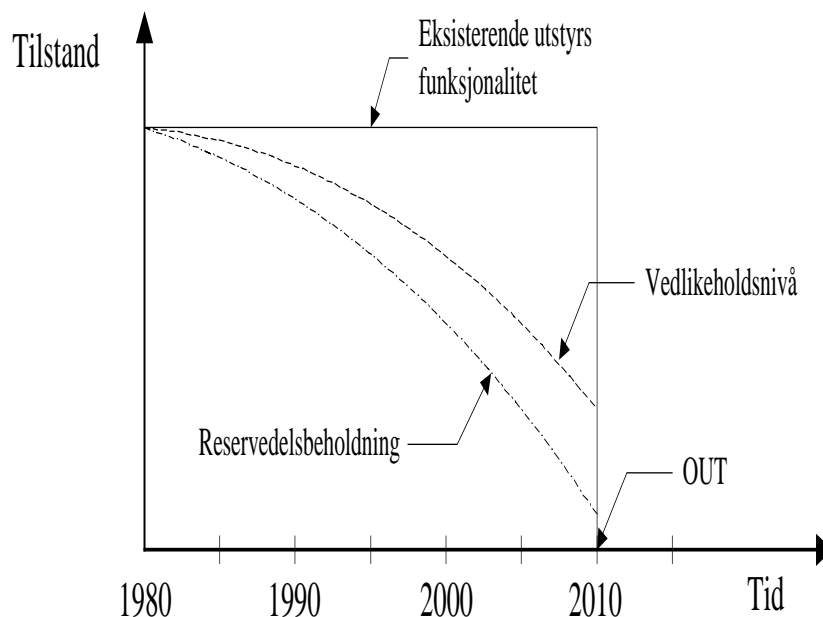
Trinn 4 - Oppfølging. Selv om OUT er fastlagt for et utstyr, kan grensebetingelsene og opprinnelige inngangsdata endre seg over tid. Det erverves hele tiden nye kunnskaper og erfaringer fra drift- og vedlikehold (levetidsdata), og etter en tid vil det være behov for å oppdatere fastlagt OUT for utstyret. Avhengig av størrelsen på avviket mellom inngangsdataene som i sin tid ble brukt for å bestemme OUT og nye drifts- og vedlikeholdsdata, må man velge hvilket trinn i prosessen man ønsker å starte på. Normalt vil det være naturlig å gå helt tilbake til trinn 1 og starte på nytt med målformulering.

3.4.5 Konsekvenser for vedlikehold og reservedelslager

Ofte vil det være ønskelig å kunne justere vedlikeholdsinnsats og innkjøp av reservedeler, i forhold til beslutningen som er tatt i form av en OUT for utstyret (Figur 3.5). Dersom utstyret er besluttet å skifte ut f.eks. om 10 år, er det ingen grunn til at utstyrets tilstand skal være best mulig helt frem til utskiftningsstidspunkt. Det kan i slike tilfeller være aktuelt å trappe ned vedlikeholdet, der funksjonaliteten opprettholdes, mens tilstanden gradvis svekkes.

I denne sammenhengen er utstyrets kritikalitet viktig å vurdere. Utstyr som ikke har direkte innvirkning på funksjonaliteten ved havari, og som har lave reservedelskostnader kan betegnes å ha liten kritikalitet. Disse kan være i drift uten å foreta vedlikehold, og skiftes bare ut ved havari. Utstyr med høy kritikalitet må derimot vedlikeholdes i den grad det er nødvendig for å opprettholde ønsket funksjonalitet, men bør vedlikeholdes så godt at man unngår havari dersom reservedelskostnadene er høye.

Det er i tillegg er det viktig å justere innkjøpet av reservedeler i forhold til besluttet OUT, slik at reservedeler på lager er tilnærmet lik null ved utskifting.. Dersom innkjøp av reservedeler ikke justeres vil man risikere å ha et høyt antall reservedeler på lager den dagen utstyret skiftes ut, som medfører store kostnader for bedriften.



Figur 3.5 Reduksjon av vedlikeholds nivå og reservedelsbeholdning.

3.4.6 Oppsummering

Det er viktig å se på arbeidet med vurderinger av optimalt utskiftnings tidspunkt som et prosjekt, som gjennomføres på lik linje med andre typer prosjekter. I denne sammenheng bør man bruke styringsmodellen (Figur 3.4) som skal sikre riktig gjennomføring av prosjektet, og at arbeidet følges opp og blir en kontinuerlig prosess.

Videre bør flytskjema (Figur 3.1) og beslutningslogikken (Tabell 3.1) tas i bruk for å hjelpe prosjektgruppen med å utføre arbeidsoppgavene i riktig rekkefølge, og sikre at alle grensebetingelser relevante for bestemmelse av optimalt utskiftnings tidspunkt blir vurdert og ivare tatt på beste måte.

Den største delen av arbeidet vil være å bestemme utskiftnings tidspunktene til de enkelte grensebetingelsene, dvs. punkt 3a-g i Figur 3.1. De forskjellige grensebetingelsene er imidlertid så forskjellige av natur, at en felles beslutningslogikk for punkt 3a-g ikke kan settes opp. I en videreføring av metodikken kan det settes opp egne flytskjema/beslutningslogikker for enkelte av disse punktene. F.eks finnes det mange aktuelle optimaliseringsmetoder for avveining av vedlikeholdskostnader mot utskifting (en del av punkt 2e).

4. METODEN BRUKT I ET CASE STUDIE

4.1 Innledning

Dette kapitlet beskriver en case studie, anvendt på Hærens beltevogn BV 202. Metoden er noe tilpasset den aktuelle problemstillingen. En mer utfyllende og detaljert rapport om case studiet finnes i et eget notat utarbeidet av HFK. Årsakene til at HFK's rapport ikke er gjengitt i sin helhet i dette kapitlet, er at dette kapitlet gjengir hovedtrekkene i case studiet, for å være informativt for andre mulige brukere av metoden. Deler av dette kapitlet er basert på HFK's rapport, uten at dette er spesielt angitt.

Gjennomføringen av case studiet er noe forskjellig fra beskrivelsen av modellen som er utviklet i kapittel 3. Grunnen til dette var at testing av modellen i case studiet ble foretatt parallelt med utviklingen, og det var i tillegg behov for modifiseringer av modellen på bakgrunn av erfaringene fra denne case studien.

Case studien er gjennomført i et samarbeid mellom PS 2000 og HFK. Gjennomgangen av grensebetingelsene i beslutningslogikken ble delvis gjennomført som en brainstorming, der flere fagfolk fra HFK samt en forsker fra SINTEF deltok. Hovedmengden av arbeidet er utført av HFK, med PS 2000 som konsulent.

4.2 Beskrivelse av beltevogn BV 202

Beltevognene har en rekke oppgaver, både personelltransport og transport av utstyr og forsyninger. BV 202 er konstruert med tanke på transport av våpen, ammunisjon, utstyr og personell, helt uavhengig av vei. Vognen har svært gode egenskaper for å ta seg frem i snø.

BV 202 består av to beltegående vognedeler, framvogn og bakvogn, forbundet av et styreledd. Framvognen inneholder motor, styreanordning samt førerplass, mens hele bakvognen brukes til last. Styreleddet gjør at framvogn og bakvogn kan beveges i forhold til hverandre, såkalt "rammestyring". Vognen trekker på alle fire belter. En del av vognene er bygget om til sambandsversjon.

BV 202-serien finnes i to versjoner. Forsvaret anskaffet i perioden 1967 - 1969 1000 stk BV 202 N, og i perioden 1976 - 1978 1254 stk BV 202 NF1. Forskjellene mellom disse versjonene er i hovedsak motor, girkasse, bremses og styresystem. Det er likevel mange deler som er felles. Status i dag er at hæren har 994 stk BV 202N og 1218 stk BV 202 NF1.

Forskjellen mellom anskaffet beholdning og reel beholdning skyldes stort sett avskrivning som følge av skader/lav teknisk standard. 302 stk BV 202 N er bygget om til sambandsversjon.

Et problem ved BV 202, er at motoren krever blyholdig bensin. Blybensin er i dag ikke kommersielt tilgjengelig i Norge. Det produseres ikke i Norge, med unntak av Statoil som fremdeles produserer litt for eksport. Alle oljeselskap i Norge har erstattet bly med andre tilsetningsstoffer. Bensinstasjonenes pumper merket "blybensin", inneholder i dag bensin med andre tilsetningsstoffer. Disse tilsetningsstoffene synes gode nok for nesten alle typer kjøretøy med bensinmotor. BV 202 kjøres imidlertid mye på høyt turtall og høy effekt og krever derfor blyholdig bensin.

Utgangspunktet for vurderingene av beltevogn BV 202 var derfor:

- Forsvaret har ikke på det nåværende tidspunkt funnet blyerstatninger som holder mål for denne bruken, og motorene vil havarere etter kort tid uten blybensin.
- Forsvaret har i dag et visst beredskapslager av blyholdig bensin, men opphør av leveranse av blyholdig bensin har kommet raskere enn forventet for noen få år siden.
- Beltevogner vil spille en viktig rolle i Forsvarets nye struktur, der det legges stor vekt på mobilitet og manøverevne under alle forhold.

4.3 Beslutningsalternativer

Flere ulike problemstillinger er aktuelle ved vurdering av Hærens beltevogn BV 202, og det viktigste spørsmålet er å få svar på:

- "Når er det optimalt å skifte ut BV 202 ?"

I henhold til gjeldende planer (Hærens perspektivplan, materiell) er det planlagt å skifte ut BV 202 i årene 2003-2114. Imidlertid må noen beslutninger gjøres på kort sikt, pga leveringsproblemene mht blyholdig bensin. Det ble derfor besluttet å tilpasse og anvende metoden i dette caset på spørsmålet:

- "Hva gjør vi med BV 202 på kort sikt?"

I utgangspunktet har man fire alternativ:

1. Beholde BV 202 som de er. Dette krever at blyholdig bensin kan skaffes.
2. Modifisere motoren, slik at den kan gå på blyfri bensin. Kostnaden pr beltevogn er anslått til kr 4000 i materialer pluss arbeid. Arbeidet vil evt bli gjort ved Forsvarets verksteder, der det for tiden er noe overkapasitet. En behøver derfor ikke regne noen høy timepris i kostnadsoverslaget.
3. Bytte motor og girkasse med nytt. Kostnaden er anslått til i størrelsesorden kr 100.000-200.000 pr. beltevogn, pluss arbeid.
4. Kjøpe nye beltevogner. I dagens versjon koster en BV 202 ca 1.8 millioner kroner. I tillegg må man regne ca 10% investeringer i logistikk (reservedeler, verkstedmateriell mm.). Dette er en helt annen versjon enn de eksisterende BV 202.

4.4 Beslutningskriterier

Nedenfor er de aktuelle grensebetingelser for bestemmelse av optimalt utskiftningsintervall gjennomgått for BV 202. Disse er:

- Budsjettrammer
- Teknologisk ukurans
- Sikkerhet
- Publisitet
- Økonomi
- Bedriftsspesifikke forhold (her: reservedeler)
- Andre forhold

4.4.1 Budsjettrammer

Hæren er en prioritert våpengren frem mot år 2002. Det medfører at planlagte investeringsmidler pr år er 2.5 - 3 milliarder kroner pr år frem til år 2002. Deretter er det planlagt at investeringsmidlene vil bli ca 1 milliard kroner pr år, da Luftforsvaret "overtar" som prioritert våpengren.

I henhold til gjeldende planer (Hærens perspektivplan, materiell) er det planlagt å skifte ut BV 202 i årene 2003 - 2014. I perspektivplanen er det satt av 250 mill NOK pr år i denne perioden til dette formål, totalt 3 milliarder NOK. (Her er det et visst budsjettmessig gap, da 2300 beltevogner a 1.8 millioner NOK kommer på ca 4.1 milliarder NOK)

Disse forholdene gir en viss fleksibilitet mht i hvilket tidsrom man evt skal skifte ut beltevognene. En eventuell full utskifting av hele vognparken er så kostbar at den i alle fall må gjennomføres over flere år.

4.4.2 Teknologisk ukurans

Tilgjengelighet av blybensin. Beredskapslagrene holder til ordinær drift av beltevognparken noe mer enn et år fra april 1996. Levering av blyholdig bensin kan være mulig i fredstid, selv om det er komplisert. Dette kunne sikre leveranse til fredsdrift av vognene. En akseptabel leveringsikkerhet i en krigssituasjon synes ikke mulig. Det blir derfor et ufravikelig krav at beltevognparken må kunne bruke blyfri bensin.

Tilstand (slitasje). Hærens forsyningskommando har nylig gjennomført en inspeksjon av vognparken av BV 202. Mønstringsrapporten konkluderer med at tilstanden i hovedsak er så bra at denne grensebetingelsen ikke tilsier noen utskifting.

Endring av behov. Burde BV 202 vært skiftet ut med f.eks større eller tyngre vogner? Dette spørsmålet kan ikke besvares i dag, da KOP-ene (Krigsoppsetningsplanene) i Forsvarets nye struktur ikke er ferdig utarbeidet ennå. Imidlertid anslår HFK at behovet for kjøretøy av typen BV 202 vil være 1500 - 1700 stk.

4.4.3 Sikkerhet

Sikkerhet for mennesker, miljø eller materielle verdier. Man kan ikke se noen sikkerhetsmessige forhold av stor betydning her. BV 202 har imidlertid én-krets bremse-system. Ved kritisk feil på denne kretsen vil dermed bremseeffekten falle bort. På den annen side har BV 202 nesten ikke sig, slik at den stopper på kort avstand på flat mark. Dette sikkerhetsmessige aspektet anses derfor å ha begrenset viktighet. Man kan ikke se noen andre sikkerhetsmessige svakheter ved dagens BV 202.

4.4.4 Publisitet

Vil valg av alternativ for utskifting/ombygging av BV 202 kunne gi positiv eller negativ publisitet i media/opinion? Man må vel regne med at eventuell fortsatt bruk av blybensin kan gi et lite miljøvennlig omdømme. Dette tilsier valg av et alternativ som ikke krever blybensin. Ut over dette kan man ikke se noen relevans mht publisitet.

4.4.5 Økonomi

Investeringer. De tre alternativene som muliggjør bruk av blyfri bensin har vidt forskjellige investeringskostnader pr beltevogn:

Modifisere motoren:	NOK 4000 pluss arbeid
Skifte motor og girkasse:	NOK 100 000 - 200 000
Ny beltevogn (ny type):	NOK 1 800 000

Ved eventuell utskifting av BV 202 antas salgsværdien av de brukte vognene å være tilnærmet lik 0.

Driftsutgifter. Driftsutgiftene for BV 202, samt for et alternativ (BV 206) er diskutert i HFK's notat. Konklusjonen er at driftsutgiftene er på et akseptabelt nivå, slik at denne grensebetingelsen ikke peker sterkt i retning av noen av alternativene.

4.4.6 Bedriftsspesifikke forhold - reservedeler

Belter. Beltene (4 stk pr vogn) er en slitasjedel som ikke produseres lenger. Maksimal levetid på et belte er 10 år eller maksimalt 9000 km. Volvo kan eventuelt starte opp produksjon av belter på spesialbestilling. Kostnaden for å starte opp produksjon vil være 18 millioner NOK pluss en god del tilleggskostnader. I tillegg kommer direktekostnader på ca NOK 25000 pr belte.

Andre reservedeler. Hærens forsyningskommando har gjennomført en omfattende kartlegging av reservedelslageret for BV 202, samt undersøkt om det finnes andre deler som er vanskelig å oppdrive. (Ref HFK's notat.) Konklusjonen er at reservedelslageret er godt, og leveringssikkerheten er god for nesten alle deler. I noen tilfelle vil man måtte skifte ut en større enhet enn en enkelt del, men dette er et ikke noe stort kostnadsproblem.

4.4.7 Andre forhold

Andre forhold enn de som faller inn under grensebetingelsene ovenfor synes ikke å være relevante mht valg av alternativ.

4.5 Beslutningslogikk

I kapittel 3 angis en beslutningslogikk for bestemmelse av optimalt utskiftningsstidspunkt Figur 3.1 og Tabell 3.1. Når det gjelder BV 202 må man imidlertid først ta en beslutning om hva man skal gjøre på kort sikt. De fire alternativene er i utgangspunktet:

1. Beholde BV 202 som den er
2. Modifisere motor
3. Bytte motor
4. Kjøpe ny BV

Å beholde motoren slik den er i dag regnes som uaktuelt pga. manglende tilgjengelighet på blybensin. Vi har imidlertid tatt med dette også i beslutningslogikken, for å illustrere metoden, og for kompletthetens skyld.

4.6 En utvidet modell

I rapporten til HFK har man gått et skritt videre i å kvantifisere hvorvidt grensebetingelsene er oppfylt. Det gis poeng på en skala fra 0 til 3, hvor 3 betyr at grensebetingelsen er fullstendig oppfylt. F.eks gis følgende poeng mht økonomi:

1. Beholde BV 202 som den er, 2 poeng
2. Modifisere motor, 3 poeng
3. Bytte motor, 2 poeng
4. Kjøpe ny BV, 0 poeng

Deretter multipliseres antall poeng med vektlegging, og disse produktene summeres. En høy sum betyr at alternativet er gunstig. I tillegg tas med en egen kolonne som presiserer om ufravikelige krav er tilfredsstilt. En oppsummering av poengsum og ufravikelige krav (måkrav) for de 4 alternativene (Tabell 4.1) blir som følger:

Alternativ	Poeng	Må-krav tilfredsstilt?
Beholde BV 202 som den er	19	Nei
Modifisere motor	31	Ja
Bytte motor	20	Nei
Kjøpe ny BV	18	Nei

Tabell 4.1 Poengsum og ufravikelige krav (Må-krav).

Ved utføring av caset etter vår modell er de forskjellige grensebetingelser som påvirker beslutningen er satt opp i Tabell 4.2. Denne er basert på Tabell 3.1 i kapittel 3 om optimalt utskiftningsstidspunkt. I tabellen er det krysset av for hvilke alternativer som er optimale eller mulige på kort sikt, og vi har bare krysset av hvorvidt den aktuelle grensebetingelsen er oppfylt for det enkelte løsningsalternativ.

Når det gjelder Forsvarets måte å angripe problemet på med den nyansen i oppsplitting av beslutningslogikken fra Tabell 3.1, så vises den for hvert av de 4 alternativene i Tabell 4.3 - Tabell 4.6.

Betingelse / kriterium	Merknader	Vektlegging 1)	Mulig eller optimal beslutning på kort sikt			
			Beholde som nå	Modifiser motor	Skifte motor	Ny BV
Budsjettbeskrankninger	Eventuell utskifting må gjennomføres over flere år	3	X	X	X	(X)
Teknologisk ukurans eller behov	Blybensin er ikke tilgjengelig	3		X	X	X
	Dagens vognpark er i god teknisk stand	2	X	X		
	Endring av behov: Ikke ennå	2	X	X		
Sikkerhet for mennesker, miljø eller materielle verdier	Dagens BV 202 har én-krets bremsesystem	0				X
Publisitet - Miljøvennlighet - Annet	Blybensin regnes som lite miljøvennlig	1		X	X	X
Økonomi	Investeringskostnader: Modifisere motor: 4000 Skifte motor: 100 000 - 200 000 Ny BV: 1.8 millioner	2	X	X	(X)	
Bedriftsspesifikke forhold	Reservedeler: Belter Annet	2				X
Annet (hvis relevant)	Ikke relevant					

Tabell 4.2 Beslutningslogikk for BV 202 (utført av SINTEF).

Faktor	Merknader	Poeng	Vektlegging	Sum	Må-krav tilfredsstilt
1. Budsjett- beskrankninger	Kapasitet på driftsbudsjettet	3	3	9	Ja
2. Sikkerhet vedrørende anskaffelse og distribusjon av drivstoff a) Fredsdrift: b) Krigsdrift:	intrikat forsyningssystem usikker forsyning	0	3	0	Nei
3. Publisitet	Blyet bensin regnes som lite miljøvennlig	2	1	2	
4. Økonomi	Økende driftskostnader	2	2	4	
5. Bedriftsspesifikke forhold: Reservedeler	Meget god forsyningssikkerhet. Strakstiltak vedr belter nødvendig	2	2	4	
Totalsum				19	Nei

Tabell 4.3 Alternativ 1 - Beholde BV 202 som den er (utført av HFK).

Faktor	Merknader	Poeng	Vektlegging	Sum	Må-krav tilfredsstilt
1. Budsjett-beskrankninger	Kapasitet på driftsbudsjettet	3	3	9	Ja
2. Sikkerhet vedr anskaffelse og distribusjon av drivstoff a) Fredsdrift: b) Krigsdrift:	Meget god tilgjengelighet Meget god tilgjengelighet	3	3	9	Ja
3. Publisitet	Blyfri bensin regnes som mer miljøvennlig	3	1	3	
4. Økonomi	Investeringsbehov på ca kr 8.400.000,-. Driftsutgifter vil synke	3	2	6	
5. Bedriftsspesifikke forhold: Reservedeler	Meget god forsyningssikkerhet. Strakstiltak vedr belter nødvendig	2	2	4	
Totalsum				31	Ja

Tabell 4.4 Alternativ 2 - Modifisere motor til drift på blyfri bensin(utført av HFK).

Faktor	Merknader	Poeng	Vektlegging	Sum	Må-krav tilfredsstilt
1. Budsjett-beskränkninger	Ikke kapasitet på driftsbudsjettet. Må prioriteres på bekostning av andre prosjekter.	0	3	0	Nei
2. Sikkerhet vedr anskaffelse og distribusjon av drivstoff a) Fredsdrift: b) Krigsdrift:	Meget god tilgjengelighet Meget god tilgjengelighet	3	3	9	Ja
3. Publisitet	Blyfri bensin regnes som mer miljøvennlig	3	1	3	
4. Økonomi	Investeringsbehov på ca kr 255.000.000,-. Driftsutgifter vil synke	2	2	4	
5. Bedriftsspesifikke forhold: Reservedeler	Meget god forsyningssikkerhet. Strakstiltak vedr belter nødvendig	2	2	4	
Totalsum				20	Nei

Tabell 4.5 Alternativ 3 - Bytte motor(utført av HFK).

Faktor	Merknader	Poeng	Vektlegging	Sum	Må-krav tilfredsstilt
1. Budsjett-beskrankninger	Budsjettert fra år 2003. Ikke realistisk før den tid	0	3	0	Nei
2. Sikkerhet vedr anskaffelse og distribusjon av drivstoff a) Fredsdrift: b) Krigsdrift:	Meget god tilgjengelighet Meget god tilgjengelighet	3	3	9	Ja
3. Publisitet	Autodiesel regnes som mer miljøvennlig	3	1	3	
4. Økonomi	Investeringsbehov på ca kr 3.400.000.000,- Driftsutgifter vil synke	0	2	0	
5. Bedriftsspesifikke forhold: Reservedeler	Meget god	3	2	6	
Totalsum				18	Nei

Tabell 4.6 Alternativ 4 - Erstatte BV 202 med nye vogner(utført av HFK).

4.7 Konklusjon og erfaringer fra case studiet

4.7.1 Konklusjon

Ved å se på oppsettet i Tabell 4.1, ser man at på kort sikt er det:

- Bedre å modifisere motoren enn å beholde BV 202 som den er, mht alle grensebetingelsene.
- Bedre å modifisere motoren enn å skifte motoren, mht alle grensebetingelsene
- Mht de fleste grensebetingelsene er det gunstigere å modifisere eksisterende beltevogner, fremfor å kjøpe nye. Det eneste som kunne tilsi innkjøp av nye BV 202, er sikkerhet (én-krets bremsesystem), samt tilgjengelighet av reservedeler. Det siste er muligens et økonomisk spørsmål, da i alle fall belter kan produseres på spesialbestilling. Overgang til to-krets bremsesystem kan ikke forsvare en investering på 1.8 million NOK pr beltevogn.

Den foreløpige konklusjonen blir at på kort sikt er det optimalt å modifisere de eksisterende motorene for bruk av blyfri bensin. Dette gir også fleksibilitet mht valg av løsning når BV 202 skal skiftes ut en gang i fremtiden.

Samme konklusjon fås ved å se på resultatene fra Forsvarets særegne bruk av metoden med poenggivning. Alternativet "modifisere motor" får ikke bare klart flest poeng, dette er også det eneste alternativ som tilfredsstillende alle må-kravene. Dersom en slik modifikasjon av motoren ikke hadde vært mulig, måtte man imidlertid ha revurdert om alle må-kravene for de andre alternativene virkelig er må-krav.

4.7.2 Erfaringer

HFK fant at beslutningslogikken var et nyttig verktøy i dette case studiet. Det var en viss diskusjon om hvorvidt det var hensiktsmessig å gi poeng og summere opp for alternativene slik som i Tabell 4.3 - Tabell 4.6. Man må i alle fall ikke "blindt" velge den løsning som gir flest poeng - det kan være nyanser og forhold som ikke reflekteres godt nok i poengsummen.

Beslutningslogikken for bestemmelse av optimalt utskiftningsstidspunkt har i tillegg visse likhetstrekk med "Analytisk problemløsning/Stabsstudiemodellen" som brukes i Forsvaret i dag. Dette er en generell modell som bl.a. inneholder elementene:

- A. Problemdefinisjon, begrensninger, forutsetninger
- B. Drøfting av faktorer
(I vår modell for optimalt utskiftningsstidspunkt kalles denne grensebetingelsen, slik som budsjettrestriksjoner, teknologisk ukurans osv)
- C. Beskrivelse av mulige løsninger (beslutningsalternativer)
- D. Sammenlikning av løsninger
(Her foreslår stabsstudiemodellen en "verbal" sammenlikning relatert til hver av faktorene)
- E. Valg av løsning/konklusjon, basert på eventuell vektning av faktorene.

For en mer utdypende beskrivelse av gjennomføringen og erfaringer HFK gjorde med bruk av modellen, se vedlegg.

5. KONKLUSJON OG FORSLAG TIL FREMTIDIG ARBEID

5.1 Konklusjon

Dette prosjektet har bidratt til å gjøre vurderinger og fastsettelse av optimalt utskiftningstidspunkt lettere for norsk industri og offentlig forvaltning.

Prosjektet har bidratt med å gi personer med ansvar for å gjennomføre vurderinger rundt optimalt utskiftningstidspunkt (OUT) et systematisk og strukturert verktøy, som skal gi systemansvarlige et beslutningsunderlag. Modellen vil være praktisk anvendbar uten stor grad av tilpasning.

Prosjektet ble initiert av Forsvaret, og gjennomføringen er utført i nært samarbeid med Hærens Forsyningskommando (HFK). I tillegg har flere av deltagerbedriftene i PS 2000 deltatt.

Siden gjennomføringen er gjort i nært samarbeid med bedriftene har prosjektet vektlagt å utvikle en generell metode med høy grad av praktisk anvendelse. Dette har blant annet ført til at eksisterende teoretiske modeller i liten grad er benyttet i vår modell. Disse modellene som er av matematisk karakter, gir begrenset mulighet for å ta i betraktning subjektive ekspertvurderinger. I tillegg inneholder de fleste eksisterende modeller vurderinger av ett kriterium utøvd på et lite snevert område, som f.eks. bestemmelse av restlevetid for utstyr basert på sprekkvekst, utmatting og slitasje.

Modellen er derfor utviklet på et generelt grunnlag med målsetning om å ivareta alle tenkelige grensebetingelser på en strukturert måte, for å sikre best mulig objektive og personuavhengige vurderinger og best mulig etterprøvbare resultater.

Utgangspunktet for å gjøre denne typen vurderinger er gode, siden riktige "eksperter" og nødvendig datamateriale eksisterer i bedriftene, men det ligger et stort potensiale i å ha bedre metoder og rutiner for lagring og riktig behandling av denne datamengden.

Gjennom case studiet av Hærens beltevogn BV 202, er modellen blitt utprøvd på en virkelig problemstilling og dens beskaffenhet er blitt verifisert.

5.2 Forslag til fremtidig arbeid

Siden modellen er av generell karakter vil det være på sin plass med ulike tilpasninger i forhold til bransje og type utstyr som skal vurderes. I tillegg finnes et stort potensiale i å utvikle mer detaljerte analyser for hver enkelt grensebetingelse ved vurdering av optimalt utskiftningstidspunkt (OUT).

Følgende fremtidige utviklingsmuligheter finnes:

- Brukerstyrt utvikling og tilpasning av modellen.
- Utvikling av detaljerte analyser for hvert av grensebetingelsene.
- Direkte koblinger mot LCC og LCP analyser.
- Utvikling av verktøy som beslutningsstøtte for bestemmelse av vedlikeholdets aktivitetsnivå i forhold til beslutninger rundt OUT.

- Utvikling av verktøy som beslutningsstøtte for riktig innkjøp av reservedeler i forhold til beslutninger om OUT.
- Bedre metoder for ivaretagelse av relevante data i forhold vurdering av optimalt utskiftnings tidspunkt.
- Utvikling av kompetanse innen området.

REFERANSER

- [1] Bernhard, R. H.
“Improving the economic logic underlying replacement age decisions for municipal garbage trucks: case study” *Engineering Economist* 1990 WINTER, VOL. 35:2, p. 129-147, 1990.
- [2] Blanchard, Benjamin S.
“Logistics Engineering and Management”. Fourth edition, 1993.
- [3] Clarke, John D
“Life Cycle Cost: An Examination of Its Application In the United States, and Potential for Use In the Australian Defence Forces”, 1990.
- [4] Golden, B.L., Wasil, E.A. and Harker, P.T.
“The analytical Hierarchy Process; Application and Studies” Springer Verlag Berlin, Heidelberg 1989. (ISBN 3-540-51440-6)
- [5] Hillier, S.F. og G., J. Lieberman
“Introduction to Operations Research McGraw-Hill.”, 1989.
- [6] Hunstad, Ståle og Schjøberg, Per
Kartlegging av vedlikehold og driftssikkerhet i norsk industri, 1992.
- [7] Paulsen, Kjetil S. og Schjøberg, Per
“EDB-baserte vedlikeholdssystemer og leverandører på det norske marked”, 1995.
- [8] Patton, Joseph D., jr.
“Maintainability and Maintenance Management”, 1980.
- [9] Prosjektstyring år 2000
“LCP og usikkerhet. Et forprosjekt under forskningsprogrammet Prosjektstyring år 2000”, 1994.
- [10] Prosjektstyring år 2000
“Mindre ressurskrevende prosjektstyring”, 1996.
- [11] Schjøberg, Per
“Terminologi. Fag 60586 Driftssikkerhet - vedlikehold”, 1994.
- [12] Shore, B. (1976)
“Replacement Decisions under Capital Budgeting Constraints” *Engineering Economist*;20, 243-256, 1976.
- [13] Tuseth, Magne Johan
“En analyse av noen metoder for flermålsplanlegging.” Diplomoppgave ved NTNU, Institutt for økonomi, 1994.
- [14] Westhagen, Harald
“Prosjektarbeid”, 1995

VEDLEGG 1 - NOEN EKSISTERENDE MODELLER

For å gi et bilde av hva som eksisterer av relevante modeller i dag, er det nedenfor kort skissert noen modeller som er brukt for å bestemme optimalt utskiftingstidspunkt. Skissene er grove og uferdige.

1. Gradvise utviklingsforløp

Bernhard (1990) gir uttrykk for at litteraturen omkring optimal utskifting er omfangsrik, men at anvendelsene er få. Han diskuterer en beslutningsstøttemodell som er utviklet for renovasjonsvesenet i Istanbul som betjener mer enn 6 millioner innbyggere med omtrent 700 søppelbiler. Modellen er basert på at kostnader og tilgjengelighet for hver bil ved vekstfunksjoner av typen:

$$C(t) = c_0 \cdot e^{\gamma t}$$

hvor t angir tid og vekstraten i kostnadene. Dersom alle utviklingsforløp har denne karakteren vil utstyrets alder entydig bestemme utstyrets egenskaper og man kan rimelig greit finne optimal levetid. I utgangspunktet er det forutsatt at alle biler er like, men det utvikles også kriterier for fastsettelse av utskiftingstidspunkt når bilene er ulike (noen er gode, andre er mandagsbiler). Ut fra erkjennelsen om at bilene er ulike, er det bygd opp et større informasjonssystem nettopp med tanke på å kunne karakterisere hver enkelt bil.

2. Markov beslutningsmodeller

Anta at utviklingen av den tekniske tilstanden for en komponent eller en maskin kan beskrives ved en Markov-prosess. Som et eksempel kan en maskin være i en av følgende tre tilstander: ok, slitt eller defekt. Anta også at det for et bestemt tidsrom er gitte sannsynligheter for overganger mellom tilstandene.

Anta at systemet er ok. Sannsynligheten for at systemet er ok også etter neste periode er kanskje 0.8, mens sannsynligheten for at maskinen er slitt eller defekt er henholdsvis 0.15 og 0.05. Tilsvarende finnes det sannsynligheter for overganger fra slitt tilstand til fortsatt slitt og defekt. Dersom maskinen er defekt vil den typisk også være defekt i neste periode.

Med en slik struktur vil maskinen før eller senere bli defekt. Man kan så stille opp ulike beslutningsregler. For eksempel kan man ha følgende alternativer til vurdering:

1. Erstatt defekt maskin med en ny maskin.
2. Erstatt maskinen dersom den er defekt eller slitt.
3. Utfør preventivt vedlikehold på en slitt maskin og bytt ut en defekt maskin.

Strategi nr. 1 innebærer at de opprinnelige overgangssannsynlighetene for en defekt maskin endres. I utgangspunktet var det sikkert at en defekt maskin også ville være defekt i neste periode. Med strategi 1 vil maskinen typisk være ok i neste periode. Ved å legge inn kostnader på utskifting, ta hensyn til f.eks. tapt produksjon etc, vil man kunne evaluere ulike strategier.

Evalueringen forutsetter typisk at systemet skal beholdes over mange perioder (uendelig tid). Etter et stort antall perioder vil det nemlig være slik at sannsynligheten for å være i en tilstand blir tilnærmet uavhengig av utgangspunktet. Ulike beslutningsstrategier gir dermed ulike sannsynlighetsfordelinger over de ulike tilstandene. Strategi 2 medfører eksempelvis

større sannsynlighet for at maskinen er ok eller slitt enn strategi 1. I det kostnader og inntekter knyttes til tilstandene kan man beregne forventede kostnader for hver strategi.

Hillier og Lieberman (1989) gir et enkelt eksempel på en Markov-beslutningsmodell.

3. Stokastisk dynamiske modeller

Et beslutningstre kan brukes til å illustrere hva vi her legger i begrepet stokastisk dynamiske modeller. I eksemplet ovenfor om Markov-modeller er det dynamiske aspektet ignorert. I en del situasjoner kan det dynamiske aspektet være viktig. Antallet perioder eller sykler man ønsker å analysere kan være så begrenset at man ikke kan bruke gjennomsnittsbetraktninger. Kanskje vil man kun studere beslutninger over livsyklusen til en investering. Et eksempel på dette er valg av konsept for en oljeplattform hvor fleksibilitet er viktig med tanke på at det regelmessig i utgangspunktet er usikker hva som kan produseres fra en oljeforekomst.

Når det gjelder utskifting av en maskin vil man f.eks neppe skifte en defekt maskin dersom man av andre årsaker må avslutte produksjonen hvor maskinen brukes.

VEDLEGG 2 - OPTIMALT UTSKIFTINGSTIDSPUNKT FOR BV 202