

Tillfällig framsida

En modell för upphandling av produktionsutrustning enligt Design för Six Sigma och LCC

- En studie av upphandling på A-fabriken Volvo Cars Torslanda

Maria Bengtsson
Jakob Mosesson

En modell för upphandling av produktionsutrustning enligt Design för Six
Sigma
En studie av upphandling på A-fabriken Volvo Cars Torstlanda

A Model for Procurement of Production Equipment Using Design for Six
Sigma
A Study of Procurement at the A-shop of Volvo Cars Torstlanda

Maria Bengtsson och Jakob Mosesson

mars 2005

Handledare

Bertil I Nilsson, Lunds tekniska högskola

Dag Wallander, Systecon AB

Christer Gullbrandsson, Volvo Car Corporation

© Maria Bengtsson och Jakob Mosesson 2005

Avdelningen för produktionsekonomi, institutionen för teknisk ekonomi och logistik
Lunds tekniska högskola, Lunds universitet

Examensarbete, 20p

Förord

Denna studie har utförts tillsammans med Systecon AB och Volvo Car Corporation. Det har varit ett intressant och utmanande projekt som har gett oss mycket tillbaka i form av erfarenheter och kunskap. Vi vill tacka alla på Systecon i Malmö för deras hjälp och engagemang. Aldrig tidigare har vi sett pepparkakor konsumerats i en sådan omfattning under årets alla säsonger. Vi har även känt ett intresse för vårt arbete från övriga personer i företaget och då framförallt Jan Karlsson. Ett speciellt tack vill vi ge till vår handledare Dag Wallander för många diskussioner och stöd under arbetets gång. Vi vill även tacka Pär Sandin för gemensamt utbyte av övningspresentationer.

Vi vill även rikta ett tack till Bertil I Nilsson vår handledare på avdelningen för produktionsekonomi, Lunds tekniska högskola. Han har hjälpt oss i våra svåra stunder med att finna den slutliga inriktningen på vårt exjobb.

Vi vill även tacka vår handledare på VCC, Christer Gullbrandsson, som har möjliggjort en stark koppling av resultaten till VCC. Ett speciellt tack till Ulf Eriksson som i ett tidigt skede tog emot oss och hjälpte oss att hitta spåret på vårt arbete. Vi tackar även de personer som varit vänliga och ställt upp på intervjuer.

Jakob tackar familjen för stöd och för att ni trott på mig.

Maria vill tacka Pontus för hans kärlek, stöd och goda frukostar och sin familj för uppmuntran och stöd.

Lund i februari 2005

Maria Bengtsson

Jakob Mosesson

Sammanfattning

Problem

Vid upphandling av tillverkningsutrustning i bilindustrin är ett vanligt förfarande att man från en leverantör köper utveckling, tillverkning och installation av en komplett fabrik. Studien inriktar sig på denna typ av upphandlingar. Biltillverkare tvingas ständigt genomföra upphandlingar som startas långt innan produkten som ska tillverkas är färdigutvecklad vilket komplicerar kravställningen. Det är av största vikt att kunna ställa relevanta krav för att i slutändan få en utrustning som klarar att tillverka de volymer som man projekterat för på ett så resurseffektivt sätt som möjligt. För att kravställningen ska ha avsedd effekt måste man ha ett tydligt och effektivt verifieringsförfarande, något som ofta vållar problem.

Syfte

Studiens syfte är att undersöka möjligheterna att använda metoder och verktyg från Design för Sex Sigma vid upphandling av produktionsutrustning för att på så sätt få en effektivare kravställning och verifiering. Meningen är också att undersöka möjligheterna att använda livtidskostnad, LCC som grund för utvärdering. Studiens mål är att redovisa resultaten i form av en modell som beskriver hur DFSS-metoder och LCC kan användas vid upphandling.

Metod

Undersökningarna är baserade på en fallstudie på karosfabriken på Volvo Car Corporation i Torslanda. Intervjuer och samtal har förts med representanter för Systecon AB och en referensstudie är utförd på Alfa Laval. Då arbetet till stor del bygger på teoretiska studier utgör skrivbordundersökningar av teori inom Sex Sigma och framför allt Design för Sex Sigma en viktig del av informationen som resultaten bygger på. För den empiriska delen av undersökningen används kvalitativ metod utslutande.

Resultat

Studien har identifierat problemområden vid upphandlingar i nuläget där det existerar en förbättringspotential som skulle kunna realiseras genom ett användande av metoder och verktyg från DFSS. De områden som identifierats som viktigast är att ställa funktionella krav på en utrustning, snarare än detaljerade tekniska krav. Att kunna beräkna den förväntade livtidskostnaden för ett tillverkningssystem, och därmed kunna ställa krav gentemot leverantören på denna. Att etablera ett samarbete med leverantören under utvecklingsarbetet för att kunna ta fram effektivare underhållskoncept på kortare tid. En viktig fördel som kan uppnås genom utnyttjandet av DFSS är att tiden för verifiering och driftsättning kan kortas ner, tack vare att mer resurser läggs på förarbetet i upphandlingen. En sådan reduktion av ledtiden för upphandlingsprojekt kan innebära att kontrakt med leverantören kan tecknas vid en tidpunkt närmare den planerade produktionsstarten. Den tydliga fokuseringen på underhållsaspekter tidigt i utvecklingsarbetet betyder att framtida problem i produktionen kan undvikas och likaså kostsamma ändringar sent i utvecklingsstadiet. Studiens resultat redovisas i en modell som beskriver hur kravställning och verifiering av prestanda ska genomföras med det nya DFSS-perspektivet. Modellen är en rekommendation till hur dessa idéer kan introduceras i ett upphandlingsprojekt.

Slutsatser

Modellen erbjuder ett strukturerat arbetssätt vid upphandling av utrustning, vid såväl kravställning som verifiering. Den välstrukturerade kravställningen leder till verifierbara krav som ökar möjligheten att behoven tillfredsställs. Modellen förespråkar ett samarbete med leverantören vid underhållsplaneringen och ger därmed en effektivare underhållsplan med en

mindre arbetsinsats. Användandet av modellen kan korta ledtiden för upphandlingsprojekt och minska behovet av sena och därmed kostsamma ändringar av utrustningens utformning. Det bör beaktas att modellens effektivitet ej har verifierats genom att användas i ett upphandlingsprojekt.

Nyckelord: Design för Sex Sigma, upphandling, produktionsutrustning, Life Cycle Cost, livstidskostnad, Quality Function Deployment, upphandlingsmodell

Abstract

Problem

The procurement of a complete factory, including the design, manufacturing and installation, is a common way for automotive producers when acquiring new production equipment for new models. Due to the long lead times of a procurement process, the process has to commence well before the finalisation of the design of the car to be built. This makes the formulation of requirements very complex. It is of great importance to be able to formulate relevant requirements, and that these requirements can be verified after the installation of the equipment. This is the most critical activity to assure that the delivered equipment will be able to meet production goals in a resource-efficient manner.

Purpose

The purpose of the thesis is to examine the possibility of exploiting the methodology and the tools from Design for Six Sigma, to achieve a more efficient requirements and verification process. The work also includes assessing the gains of using Life Cycle Cost, LCC, as a merit of evaluation between different suppliers. The aim is to present a model that demonstrates how DFSS-methodology and LCC can be used in the acquisition of production equipment.

Methodology

The thesis is based on a case study at the A-shop at the Torslanda plant of Volvo Car Corporation. Interviews has also been made with staff at Systecon AB and Alfa Laval AB. There has been a focus on theoretical studies in predominantly Design for Six Sigma. The empirical research has been conducted using solely qualitative methods.

Results

The results of the thesis show potential areas of improvement in the procurement process. The realisation of these improvements using DFSS is analysed. The main areas that have been identified are firstly to be able to use functional requirements in the contract. Secondly to be able to compute the Life Cycle Cost of the equipment, and subsequently to be able to use LCC in the requirements process. Thirdly to develop a collaborative development of the related maintenance concept, in order to make it more efficient and to eradicate the need for reengineering the concept proposed by the supplier. The use of Design for Six Sigma can help to reduce lead times, mainly for commissioning and verification of the equipment, due to more resources being committed to the early phases of the project. The effects of the cut lead times would be that the contract can be signed at a later stage, where the product design is more finalised, and hence reduce the risk of late design changes. The focus on maintenance issues early in the process can reduce future reliability problems. The results of the thesis are summarised in a model that describes how to use the DFSS method in procurement of equipment. This model is intended as a recommendation how the ideas could be introduced in a procurement project.

Conclusions

The structured methodology of the model will lead to requirements that are related to real needs and that can be easily verified. This increases the effectiveness of the requirements to assure that the needs are satisfied. The model proposes collaboration in maintenance planning, which means that less resources has to be spent to achieve an efficient maintenance concept. The cut lead times will reduce the risk of late design changes that can have a large financial implication. It should be considered that the effectiveness of the model has not yet been verified in a procurement project.

Key words: Design for Six Sigma, procurement, production equipment, Life Cycle Cost, Quality Function Deployment, procurement model

Förkortningar

AQP – Advanced Quality Planning

CTQ – Critical-to-Quality

DCOV – Define, Characterise, Optimise, Validate

DFSS – Design för Sex Sigma

DMADV – Define, Measure, Analyse, Design, Verify

DMAIC – Define, Measure, Analyse, Improve, Control

DFX – Design for X, där X kan vara olika saker som tex. Maintainability

dpmo – Defects per million opportunities

FAT – Factory Acceptance Test

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

ILS – Integrated Logistic Support

LCC – Life Cycle Cost

MCBF – Mean Cycles Between Failure

MTTR – Mean Time to Repair

RPN – Risk Priority Number

SAT – Site Acceptance Test

SPS – Statistical Processtyrning

VCC – Volvo Car Corporation

VOC – Voice of Customers

QFD – Quality Function Deployment

QS 9000 – Quality Standard 9000

Del 1 Introduktion	4
1 Inledning	4
1.1 Bakgrund	4
1.2 Företagsbeskrivningar.....	4
1.2.1 Systecon AB.....	4
1.2.2 A-fabriken, Volvo Cars Torslanda	5
1.3 Problematisering	5
1.4 Syfte.....	6
1.5 Avgränsningar.....	6
2 Metod	8
2.1 Forskningsmetodik	8
2.1.1 Utredningssätt.....	8
2.1.2 Undersökningsmetoder.....	8
2.2 Utvärdering av källor	10
2.3 Metodikval.....	10
Del 2 Teori	12
3 Sex Sigma	12
3.1 Historia	12
3.2 Definition av kvalitet	12
3.3 Organisationsstruktur.....	13
3.4 Bakomliggande teori.....	14
3.5 Fördelar med Sex Sigma.....	15
3.6 Processsynsättet.....	16
3.6.1 Processen som överföringsfunktion	16
3.6.2 Statistisk processtyrning (SPS)	17
3.7 Kostnader av dålig kvalitet	17
3.8 DMAIC.....	17
3.9 Verktyg inom Sex Sigma.....	19
3.9.1 De sju QC-verktygen.....	19
3.9.2 FMEA.....	19
3.9.3 Flödesdiagram	20
4 Kundcentrerad planering (QFD)	21
4.1 Inledning	21
4.2 De fyra stegen i QFD.....	21
4.3 Kvalitetshuset	23
5 Design för Sex Sigma (DFSS)	25
5.1 Inledning.....	25
5.2 Organisationsstruktur.....	27
5.3 DFSS och Sex Sigma.....	27
5.4 Arbetsgången i DFSS	28
5.4.1 Fas 1 Identifiera och definiera möjligheterna.....	28
5.4.2 Fas 2 Designa konceptet.....	29
5.4.3 Fas 3 Optimera valt designkoncept	29
5.4.4 Fas 4 Verifiering och validering.....	30
5.5 Verktyg inom DFSS	30
5.5.1 Affinitydiagram	30
5.5.2 Pughmatrisen	30
5.5.3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).....	30
5.5.4 Design för X, DFX.....	31
5.5.5 Taguchi Robust Design	31
5.5.6 Processduglighet	31
6 Upphandling av produktionssystem	32

6.1	Teori bakom anskaffning	32
6.2	Kravställning.....	32
6.3	Verifiering med sekventiella test	33
7	Synsätt vid upphandling.....	34
7.1	Integrated Logistic Support (ILS).....	34
7.1.1	Behov och kravställning.....	34
7.1.2	ILS och upphandling	34
7.1.3	Underhållskoncept.....	34
7.1.4	Logistikstödsanalys	35
7.2	Livstidskostnad, LCC	36
7.2.1	Inledning.....	36
7.2.2	Beräkning av LCC.....	36
7.2.3	Fördelar med LCC.....	37
Del 3	Empiri.....	39
8	Empiri	39
8.1	Utförande av den empiriska studien	39
8.2	Kvalitetsarbete enligt Sex Sigma på VCC.....	40
8.2.1	Strategi	40
8.2.2	Strategiska mål	41
8.2.3	Arbetsgång	41
8.2.4	Organisation	41
8.2.5	Förbättringsarbetets gång.....	41
8.2.6	Kvalitetsarbete med icke-repetitiva processer.....	41
8.2.7	DFSS vid upphandling	41
8.3	Volvos upphandlingsprocess av produktionsutrustning	42
8.3.1	Grunder för upphandlingen	43
8.3.2	Organisation	43
8.3.3	Förarbete.....	43
8.3.4	Kravställning	44
8.3.5	Utvärdering.....	44
8.3.6	Underhållsoptimering.....	44
8.3.7	Verifiering	45
8.3.8	Överlämning.....	45
8.3.9	Erfarenhetsöverföring.....	46
8.4	Upphandling med LCC-strategier.....	46
8.4.1	Beskrivning av LCC-förfarande vid upphandling.....	46
8.4.2	Upphandlingar som genomförts med LCC-strategier	48
8.4.3	LCC-modellen som ett styrmedel för förbättring av konstruktioner.....	48
8.4.4	Viktiga aspekter vid upphandling med LCC-strategier.....	48
8.4.5	Resursoptimering.....	49
8.5	Upphandling av produktionsutrustning på Alfa Laval	49
8.5.1	Kravspecifikation	49
8.5.2	Utvärdering av leverantör.....	49
8.5.3	Verifieringsmoment.....	50
8.5.4	Upphandling och DFSS.....	50
Del 4	Analys och slutsatser	51
9	Modell för DFSS-upphandling.....	51
9.1	Utgångspunkt för analys	51
9.2	Modell för DFSS-upphandling, D ² UOV	52
9.2.1	Översikt	52
9.2.2	Skillnader och likheter i modellerna	53
9.2.3	Process.....	53

9.3	Analys av faserna i D ² UOV-modellen	53
9.3.1	Definiera.....	53
9.3.2	Detaljera	54
9.3.3	Utvärdera.....	56
9.3.4	Optimera.....	57
9.3.5	Verifiera	58
9.4	Koppling till Volvos processbeskrivning	60
9.5	Verktyg för DFSS-upphandling.....	60
9.5.1	Verktyg i Definiera.....	60
9.5.2	Verktyg i Detaljera	61
9.5.3	Verktyg i Utvärdera.....	61
9.5.4	Verktyg i Optimera.....	62
9.5.5	Verktyg i Verifiera	62
9.6	Utvärdering av modellen	63
9.6.1	Utnyttjande och integration av modellen	63
9.6.2	Resultatens allmänna nytta.....	63
9.6.3	Initiativ av annat företag.....	63
10	Slutsatser.....	65
10.1	Slutsatser om modellen.....	65
10.2	Diskussion av validitet, reliabilitet och objektivitet	65
10.2.1	Validitet.....	65
10.2.2	Reliabilitet	65
10.2.3	Objektivitet.....	65
10.3	Vidare forskning	66
Appendix		
I.	7 QC-verktygen	
II.	Hjälpmedel för robust design	
III.	Processduglighet	
IV.	Intervjuunderlag	
V.	Processkarta	

Del 1 Introduktion

1 Inledning

Detta kapitel börjar med en kort bakgrundsbeskrivning till problemet och därefter följer en företagsbeskrivning av Systecon AB och en beskrivning av A-fabriken på Volvo Cars Torslanda. Sedan kommer problematiseringen och syftet med rapporten. Allra sist görs vissa avgränsningar av problemet.

1.1 Bakgrund

De allt ökade kraven på kvalitet och hårdare konkurrens har ökat behoven av strukturerat kvalitetsarbete. Produktkvalitet och processkvalitet har blivit kritiska framgångsfaktorer i konkurrensen med andra aktörer. Detta har inneburit att kvalitetsarbetet har fått en alltmer framskjuten position på organisationernas agenda. Sex Sigma är en kvalitetsmetod som har fått stort genomslag inom industrin. En sektor som stått inför dessa utmaningar och som effektivt adapterat Sex Sigma är bilindustrin, där flera av de stora aktörerna har lanserat framgångsrika Sex Sigmainitiativ. Ford Motor Company sparade år 2001 325 miljoner US dollar genom Sex Sigmaprojekt.¹ Dessa förbättringsinitiativ inriktar sig på att styra och kontrollera befintliga processer, genom att minska spridningen kring fastställda målvärden. Vid framtagning av nya produkter och processer kan arbetssättet i Sex Sigma inte användas direkt. Detta behov av tekniker som fungerar vid framtagning av nya produkter och system har lett till utvecklingen av Design för Sex Sigma (DFSS). DFSS är en metod som syftar till att ta fram processer och produkter som redan vid införandet uppvisar en liten variation. Detta ställer stora krav på att processerna ska vara kontrollerbara.

De allt högre kraven på processkvalitet leder till ett behov av att redan vid upphandling av produktionssystem fokusera på kvalitetsaspekter och styrbarhet. Vid introduktion av nya bilmodeller sker upphandling av ny produktionsutrustning. I denna process är en effektiv kravspecifiering av stor vikt. En lika viktig del är verifieringsprocessen, där man kontrollerar att utrustningen faktiskt håller specificerad prestanda vid tillverkning enligt de förutsättningar som specificerats.

1.2 Företagsbeskrivningar

1.2.1 Systecon AB

Systecon AB är ett oberoende konsultbolag grundat 1970. I dagsläget är antalet medarbetare 28, fördelade på 3 kontor. Huvudkontoret finns i Stockholm och lokalkontor i Malmö och i Göteborg. De huvudsakliga affärsområdena är konsulttjänster inom systemsäkerhet, projektledning, Integrated Logistic Support (ILS) samt modell- och programvaruutveckling. Man erbjuder även en uppsättning mjukvara för analys och simulering av underhållslogistik samt reservdelsoptimering.

¹ Ford Motor Company (2004)

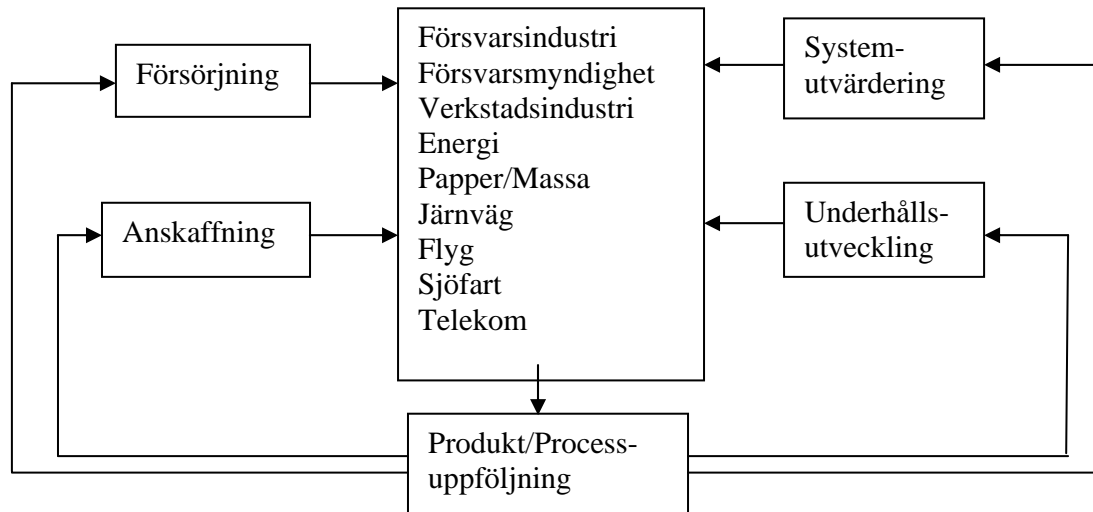


Fig. 1.1 Systecons affärsområden och dess kopplingar samt huvudsakliga branscher.

Företaget fokuserar på att erbjuda lösningar som ger en balans mellan kostnad och tillgänglighet. En viktig del i detta är beräkningar av livstidskostnader (LCC) för hela system. Systecon har arbetat nära försvarsindustrin och försvarsmakten ända sedan starten. Detta utbyte innebär att Systecon har ett underhållssynsätt som är influerat av försvarsmaktens långsiktiga tänkande och fokus på total kostnad över systemens livslängd. Dessa idéer har Systecon sedan utnyttjat tillsammans med sina civila kunder.

En av Systecons kunder är Volvo Car Corporation (VCC) där Systecon har en roll vid upphandling av ny produktionsutrustning. De har utarbetat en metod för kravställning på och verifiering av tillförlitlighet och prestanda för utrustningen. Metoden togs fram för en upphandling 1996 och har sedan vidareutvecklats och använts vid andra upphandlingar av produktionsutrustningar på VCC. Metoden tar upp livstidskostnaden och hur utfallet ska styras. Dock har inte medvetenheten om LCC och hur det ska hanteras vid upphandlingar fått genomslag på VCC.

1.2.2 A-fabriken, Volvo Cars Torslanda

Beteckningarna A, B och C-fabrik används för att beteckna de olika stegen vid biltillverkning. Bokstäverna står i nämnd ordning för karosseri, måleri och slutmontering. A-fabriken på Volvo Cars Torslanda producerar 180 000 enheter per år. Produktionen i fabriken består i att sammanfoga färdigpressade detaljer till karosser. Den mesta sammanfogningen sker med punktsvetsning. Idag består linjen av ca 500 robotar. Flödet är helt automatiserat och endast manuell laddning av material sker. All produktion är kundorderstyrd och idag tillverkas modellerna S80, V70, XC70 i ett flöde och XC90 i ett separat flöde. Karosserna som byggs transporteras på palletter som innehåller information om modell och karossnummer. Investeringskostanden för en produktionslinje till fabriken är ca 600 miljoner kronor.

1.3 Problematisering

Med processkvalitet som en kritisk framgångsfaktor ökar kraven på ett effektivt och resultatriktat kvalitetsarbete. I upphandlingsprocessen skapas grundförutsättningarna för processens prestanda och möjligheterna för ett fortsatt kvalitetsarbete. VCC är ett företag som står inför just de här utmaningarna då de köper ny produktionsutrustning. I Volvos upphandlingsprocess utför Systecon konsultarbete som berör kvalitetsfrågor gällande utrustningens prestanda.

Systecon arbetar aktivt med kvalitetsteknik vid utvecklingen av upphandlingsförfaranden utan att ha infört tankesätten från Sex Sigma och DFSS. Det växande användandet av Sex Sigma och DFSS har dock väckt ett intresse hos Systecon för huruvida VCC skulle kunna gagnas av att utnyttja idéer från DFSS i deras upphandlingsprocess. Systecon har idag uppfattningen att deras synsätt enligt ILS har många likheter med DFSS och samma övergripande mål. De anser dock att de inte har tillräcklig kunskap om DFSS för att dra några slutsatser om detta. Det ligger därför i deras intresse att ta fram en modell som visar hur en upphandlingsprocess med idéer från DFSS skulle se ut.

1.4 Syfte

Examensarbetets syfte är att ta fram en modell för anskaffning av produktionsutrustning som utnyttjar metoder och idéer från Design för Sex Sigma och som tar hänsyn till livstidskostnaden.

Delsyften

Att identifiera och redogöra för hur Sex Sigma och DFSS är kopplat till Volvos strategi.

- Undersöka om det finns en strategisk satsning på DFSS och hur den är utformad, samt hur långt kommen implementeringen av DFSS är.
- Undersöka om det finns initiativ att på VCC införa DFSS vid anskaffning av produktionsutrustning.

Att undersöka alternativa arbetssätt.

- Undersöka vilka strategier som används vid upphandling enligt LCC-filosofier.

Att göra:

- En kortare beskrivning av anskaffning av produktionsutrustning på VCC.

1.5 Avgränsningar

Processen för upphandling av produktionsutrustning är väldigt omfattande, både i form av tid och komplexitet. En delprocess som ingår är hanteringen av utrustningens prestanda. Denna innefattar kravställning, utvärdering och verifiering. Fig. 1.2 beskriver hur författarna betraktar dessa hänsynstaganden rörande utrustningens prestanda som en del av den totala upphandlingsprocessen. För att ha möjlighet till en djupare undersökning begränsas studien till att studera denna delprocess. De krav som berör produktkvalitet kommer inte att beaktas i denna rapport.

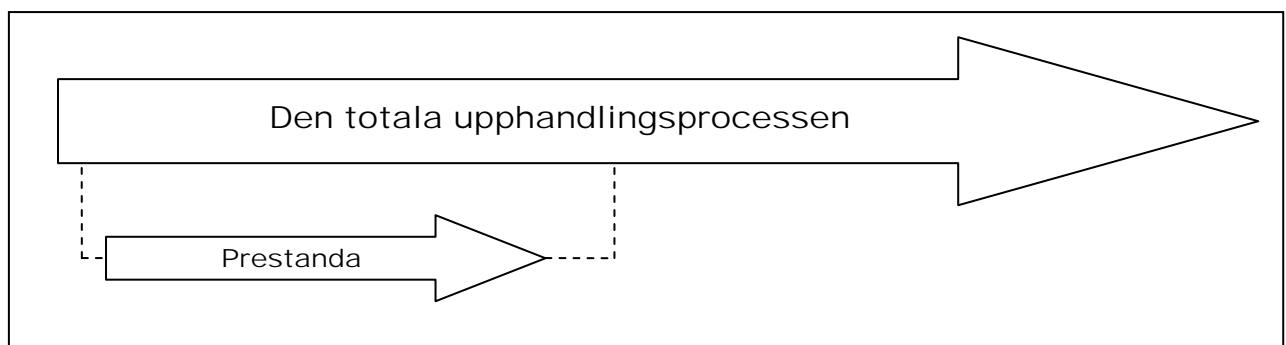


Fig. 1.2 Prestandakraven som en del av den totala upphandlingsprocessen.

Vid upphandlingar där leverantören tar fullt ansvar för utveckling, installation och driftsättning av ett helt system talar man om upphandling av "turn-key" utrustningar. Rapporten avser att undersöka genomförda upphandlingar av denna typ. Även modellen som tas fram avser upphandling av "turn-key" system.

Fallstudien utförs på A-fabriken på Volvo Cars Torslanda, och detta utgör således en naturlig avgränsning. Följden av detta blir att generella teorier inte kan tas fram. Modellen kommer inte att testas och utvärderas i ett upphandlingsprojekt vilket skulle vara nödvändigt för att fullständigt verifiera modellens användbarhet och effektivitet. En viss utvärdering av modellen kommer dock att ske genom en referensstudie på Alfa Laval. Den föreslagna modellen presenteras för personer som arbetar med upphandling och Sex Sigma och deras kommentarer analyseras.

I denna rapport används ordet upphandling för att beteckna den i fig. 1.2 definierade prestandadelen av den totala upphandlingsprocessen.

2 Metod

Detta kapitel syftar till att beskriva metodikvalet för studien. Först görs en kort redogörelse för olika utredningssätt. Därefter beskrivs ett antal olika undersökningsmetoder och sen diskuteras källors trovärdighet. Detta leder fram till ett val av metodik för studien.

2.1 Forskningsmetodik

2.1.1 Utredningssätt

Explorativa eller undersökande studier används när man vill ta reda på grundläggande fakta inom ett forskningsområde där det finns begränsade kunskaper². Undersökande studier kan ge uppslag till områden inom ämnet som är av intresse att undersöka närmare. *Deskriptiva* eller beskrivande studier utnyttjas för att beskriva ett forskningsområde i detalj. Man undersöker samband utan att närmare förklara orsakerna till deras uppkomst. *Explanativa* eller förklarande studier är fokuserade på att förklara varför olika samband uppkommer och varför dessa ser ut som det gör. Man intresserar sig också för synergieffekter inom system.³ *Normativa* studier syftar till att bilda nya teorier och ta fram förslag till lösningar på problem. Forskaren bör också visa på de följder som är att vänta som resultat av de framtagna lösningsförslagen. I normativa undersökningar försöker man att förutsäga framtida utveckling⁴.

2.1.2 Undersökningsmetoder

*Skrivbordsundersökning*⁵

Med primärdata menas data som samlats in enbart för studiens syfte och sekundärdata all övrig information som inte tagits fram med undersökaren som målgrupp. Skrivbordsundersökningar används av forskarna för att ta del av sekundärdata. Det måste finnas en medvetenhet hos forskarna om att sekundärdata inte har producerats enkom för deras syfte. Detta innebär att definitioner och mätenheter inte alltid överensstämmer med deras önskemål. Litteraturstudier räknas hit. Även skriftlig information rörande studieobjektet inkluderas här. Någon form av skrivbordsstudier bör alltid föregå insamlingen av empirisk data. Med en förståelse för ämnesområdet kan frågor och undersökningssätt formuleras för att vara så effektiva som möjligt.

Surveystudie

Surveyundersökningar syftar till att hitta samband på bredden genom att samla in svar på identiska frågor från flera olika förutbestämda källor, som representerar den undersökta populationen⁶. Surveystudier ger ett material som kan användas för att dra generella slutsatser om samma population. Framkommen data brukar behandlas statistiskt enligt en kvantitativ modell.

² Björklund och Paulsson (2003)

³ Wallén (1996)

⁴ Lekvall och Wahlbin (1993)

⁵ Lekvall och Wahlbin (1993)

⁶ Lekvall och Wahlbin (1993)

Fallstudie

För att genomföra en djupare studie inom ett problemområde kan en fallstudie användas. Man tittar då på ett eller ett fåtal specifika fall, för att skapa en djupare förståelse för situationen och producera en beskrivning. Det är dock svårt att dra generella slutsatser då studien utförs på en liten målgrupp under rådande omständigheter. Under fallstudier brukar informationsinsamlingen ske enligt kvalitativ metod. En annan datainsamlingsmetod som kan användas är observation där undersökaren studerar den faktiska miljön med målsättningen att inte interagera med det studerade objektet.

Experimentella metoder⁷

Grunden i experimentella studier är att forskarna vill kunna förändra värdet på en eller flera variabler, för att se hur dessa påverkar utfallet. Vid experiment måste hänsyn tas till störningsfaktorer som kan påverka utfallet. Egna modeller, på vilka experimenten utförs, kan skapas antingen som laboriemodeller eller genom simuleringar.

Kvantitativa metoder

Då man önskar att beskriva och förklara ett fenomen utan inblandning lämpar sig kvantitativa metoder. Insamlad data överförs till numeriska värden, om den inte ursprungligen är på denna form, för att kunna behandlas med statistiska metoder och modeller. Undersökningarna är strukturerade och har fasta svarsalternativ⁸. Enhetligheten i undersökningsmetoderna är väsentlig för att det insamlade materialet ska kunna behandlas. Detta innebär att insamlingsmetoden måste förbli den samma även om ny kunskap framkommer under utförandet av studien. Oftast syftar kvantitativa studier till att undersöka företeelser för att med statistiskt stöd dra generella slutsatser om dessa. Studien ska utformas på ett sådant sätt att resultaten kan generaliseras och överföras. När man utför kvantitativa studier är det vanligt förekommande att man använder sig av enkäter. Enkäter utnyttjas framförallt då en studie utförs på bredden och man vill jämföra resultaten för att dra generella slutsatser. Enkäter utformas som frågeformulär med fasta svarsalternativ. Utformningen av frågor och svarsalternativ måste noga övervägas för att uppnå hög validitet på svarsmaterialet. Även undersökningar där mätinstrument utnyttjas för att mäta skillnader i olika variabler räknas som kvantitativa. Graderade skalor kan också användas för att kvantitativt analysera hur någonting upplevs av en studerad population. Det krävs dock medvetenhet om att svarande tolkar frågorna och svarsalternativen olika.

Kvalitativa metoder

Kvalitativa metoder lämpar sig att använda för djupare studier, där man försöker skapa förståelse för ett fenomen. Det centrala är undersökarens interpretation av den insamlade informationen. Denna metod är anpassbar och har inga fasta strukturer. Då man undersöker problem som inte är direkt mätbara, och inte heller möjliga att översätta till mätvärden, är kvalitativ metodik det alternativ som finns tillgängligt. Kvalitativa studier kan också vara viktiga då samspelet mellan teknik och människor undersöks. För att ta fram underlag för en kvantitativ studie kan kvalitativa ansatser ge en indikation på vilka variabler som är av värde att mäta och analysera⁹. Det omvända kan också ske, där en kvantitativ studie föranleder fortsatt fördjupning med kvalitativa metoder¹⁰. Då man använder sig av en kvalitativ ansats blir det svårare att sammanställa resultaten och dra generella slutsatser.

⁷ Lekvall och Wahlbin (1993)

⁸ Holme och Solvang (1996)

⁹ Wallén (1996)

¹⁰ Holme och Solvang (1996)

Vid kvalitativa studier är utformningen viktig för att uppnå en hög validitet då risken finns att man får fram annan information än den önskade. Detta kan ske genom att intervjuobjektet uppfattar frågan annorlunda än utfrågaren eller att intervjun tappar fokus. En metod som lämpar sig väl för insamling av primärdata vid kvalitativa studier är intervjuer. Upplägget av en intervju kan vara av både typen strukturerad och ostrukturerad¹¹. Vid strukturerade intervjuer ställs förutbestämda frågor till intervjuobjektet. Intervjuer som tillåts utvecklas efter den information som kommer fram och där stödpunkter används kategoriseras som ostrukturerade intervjuer. Ett upplägg som är mindre styrt än ostrukturerade intervjuer är samtal som kan ses som ett sätt att inhämta grundläggande primärdata om ett område. Samtal kan vara viktigt för att avgöra den fortsatta studiens inriktning och därtill kopplade datainsamlingsmetoder. Framkommen information från samtal används för att skapa grunden för fortsatta intervjuer och deras utformning.

2.2 Utvärdering av källor

Validitet

Validiteten besvarar frågan om det som avsetts att mäta verkligen mäts. Mätmetoderna eller mätutrustningen kan ha stor inverkan på den uppnådda validiteten¹². Speciellt vid enkätundersökningar är utformningen av frågor och svarsalternativ viktig, lika så vid intervjuer där utformningen av frågor har stor betydelse. Vid kvalitativa studier kan överförbarhet diskuteras som en motsvarighet till validitet.

Reliabilitet

Reliabilitet beskriver hur tillförlitliga studiens resultat är. Vid hög reliabilitet ska en upprepad undersökning ge samma resultat¹³. Reliabilitet diskuteras framförallt i kvantitativa studier. Vid en kvalitativ ansats är det mer lämpligt att diskutera studiens träffsäkerhet.

Objektivitet

Objektiviteten handlar om hur egna värderingar samt intressen från omgivningen påverkar resultatet. Vid uppdragsstudier måste objektiviteten beaktas noggrant då det är lätt att för mycket styrs av uppdragsgivarens åsikter och intressen. Vid enkäter och intervjuer kan respondenternas uppfattning av undersökaren och dennes intressen påverka objektiviteten i svaren¹⁴.

2.3 Metodikval

Studien börjar som en explorativ studie där skrivbordsundersökningar utnyttjas för att bygga en teoretisk grund inom DFSS. Denna teoretiska bakgrund påverkar utformningen av den fortsatta studien, såväl empiriinsamlingen som analysen. Huvuddelen av studien genomförs som en fallstudie på VCC. Ytterligare skrivbordsundersökningar utnyttjas för att samla in grundläggande empirisk data, så som företagsspecifik fakta och interna dokument, då detta är nödvändigt för att kunna sätta sig in i upphandlingsprocessen. Därefter går studien in i en kombination av en deskriptiv och explanativ studie eftersom författarna ämnar beskriva och förklara samband mellan DFSS-teorier och anskaffning av ny utrustning. Anskaffningen undersöks teoretiskt samt empiriskt genom fallstudien på VCC. Efter empiristudierna tas en modell fram för prestandadelen¹⁵ av upphandlingsprocessen. Modellen är inte en fullständig beskrivning av en komplett upphandlingsprocess utan tar upp de avsnitt som författarna anser viktigast. Denna sista del av studien är normativ. Författarna betraktar studien som normativ även om studien inte avser

¹¹ Björklund och Paulsson (2003)

¹² Lekvall och Wahlbin (1993)

¹³ Björklund och Paulsson (2003)

¹⁴ Björklund och Paulsson (2003)

¹⁵ Se fig. 1.2

att formulera några generella teorier, eftersom ett lösningförslag tas fram och fördelar och nackdelar med detta presenteras.

Den kvalitativa metoden lämpar sig bäst för denna undersökning där författarna genom intervjuer med Sex Sigmaföreträdare på VCC skaffar en bättre förståelse för deras Sex Sigma och DFSS-arbete. Intervjuer sker också för att kunna få en inblick i upphandlingsprocessen på VCC. För att skapa en djupare förståelse av upphandling med livstidskostnadsperspektiv genomförs intervjuer med personal från Systecon AB som deltagit i sådana upphandlingar. För att ta fram underlag för intervjufrågorna genomförs samtal då studien fortfarande befinner sig i kartlägningsstadiet. Samtal utnyttjas i slutet av studien för att tillsammans med VCC och Systecon utvärdera modellförslaget. Diskussioner om modellförslaget förs även med ett annat tillverkande företag.

Del 2 Teori

3 Sex Sigma

I detta kapitel beskrivs först bakgrunden och teorin bakom Sex Sigma och därefter vad nyttan med Sex Sigma är. Sedan följer en redogörelse för arbetsgången av ett Sex Sigmaprojekt och de vanligaste verktygen som används.

3.1 Historia

Medvetenhet om kvalitetens betydelse inom tillverkning har ökat stadigt under 200 år. En rad tekniker för kvalitetsförbättringar har utvecklats, en del för att stanna och andra för att bli begravda i det tysta. Det första behovet uppkom när produkter började sättas samman av delar där varje del ej var avsedd för en unik produkt. Utvecklingen gick sedan mot en kravställning på dimensioner och toleranser och användandet av instrument för kontroll av dimensioner, s.k. tolkar introducerades under 1800-talet. Grunden till eran av statistisk kvalitetskontroll lades av Walter A. Shewhart på 1920-talet i USA. Detta innebar helt nya möjligheter att övervaka processer och dess stabilitet för att kunna vidta åtgärder i ett så tidigt stadium som möjligt. Statistisk processtyrning och övervakning av processer är en teknik som fortfarande existerar och som trots sin ålder används flitigt inom moderna kvalitetsfilosofier som Sex Sigma. Efter andra världskriget anammade japansk industri de statistiska verktygen som utvecklats i USA, och fortsatte att utveckla dess användning. Detta ledde till en situation där japanska företag i slutet på 1970-talet lyckades ta stora marknadsandelar från amerikanska företag på deras hemmamarknad tack vare produkter av högre kvalitet.¹⁶

Motorola var ett av de amerikanska företagen som insåg att en kvalitetsförbättring var nödvändig för att klara konkurrensen från japanska produkter. Deras lösning blev en metod som benämns Sex Sigma och som syftar till att eliminera all variation i tillverkningsprocesser.¹⁷

3.2 Definition av kvalitet

Kvalitet definieras som graden av kundtillfredsställelse. Vid produktutveckling definieras kvalitet dessutom som en produkt med överlägsna egenskaper som har förmågan att prestera enligt specifikation med en liten variation.¹⁸ Eftersom kvalitetsbegreppet utgår från kundernas upplevelser av produkten eller tjänsten kommer det också att vara relativt i förhållande till kundens förväntningar. Kanomodellen brukar användas för att beskriva sambandet mellan kundtillfredsställelse och hur väl produkten eller tjänsten uppfyller de tre typerna av kundbehov. Det är viktigt att vara medveten om att kraven förändras över tiden.

¹⁶ Folaron (2003)

¹⁷ Folaron (2003)

¹⁸ Creveling et al. (2003)

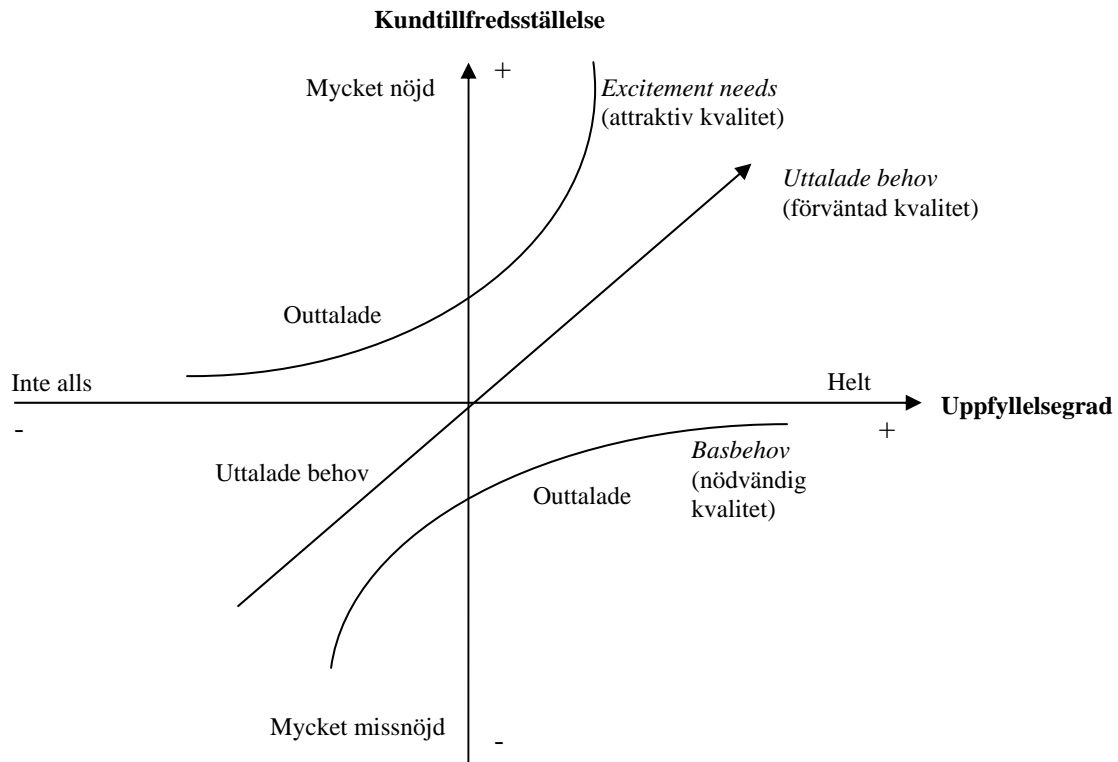


Fig. 3.1 Beskrivning av relationen mellan kundtillfredsställelse och uppfyllelsegrad med Kanomodellen.¹⁹

3.3 Organisationsstruktur

Tanken bakom Sex Sigma är att det införs från högsta ledningen och neråt i organisationen. Engagemanget från ledningen är avgörande för en lyckad implementering. Detta beror på att ett införande kräver stora resurser och det är ledningens ansvar att tillräckliga resurser avsätts. De olika nivåerna av utbildning som används inom Sex Sigma och DFSS brukar benämnas med olika bältesfärger vilket relaterar till hierarkin inom kampsport.

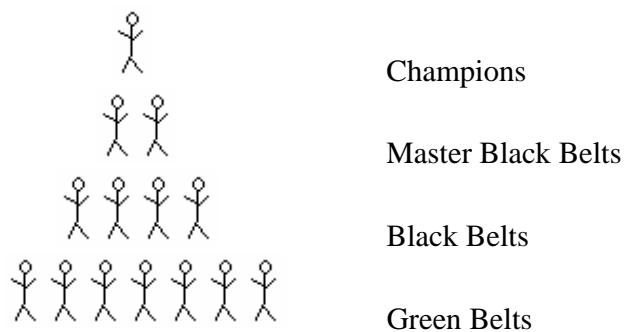


Fig. 3.2 De vanligaste nivåerna inom Sex Sigma.²⁰

Den högsta nivån består av Champions som är den övergripande koordinatören och ofta tillhör ledningen. Det är deras uppgift att förankra projekten hos hela ledningen samt att delge projektens resultat till resten av organisationen.

¹⁹ Bergman och Klefsjö (2001)

²⁰ Magnusson et al. (2000)

Nästa nivå är Master Black Belts. Personer inom denna kategori är ansvariga för att på heltid träna nya Black Belts och stödja dessa i deras arbete. De förser också Black Belts med experthjälp inom bl.a. statistiska metoder.

De som är ansvariga för utförandet av projekten är Black Belts som har genomgått en standardiserad utbildning. Under utbildningen ska de driva ett projekt på sin egen avdelning som ska resultera i en substantiell årlig besparing. De mest framgångsrika Black Belts erbjuds efter ett tag att gå vidare till att bli Master Black Belts. Black Belts är anställda för att på heltid driva förbättringsprojekt.

Längre ner i organisationen finns Green Belts som har genomgått en kortare utbildning. Även i Green Beltkursen ingår att deltagarna ska genomföra ett projekt som dock löper på avsevärt kortare tid och inte förväntas leda till en lika stor ekonomisk besparing som Black Beltprojekten. Green Belts har en viktig funktion att fylla som medlemmar i Sex Sigmagrupperna. De rekryteras direkt från produktionen och fortsätter att vara stationerade där. Detta ger dem en möjlighet att upptäcka och föreslå lösningar till produktionsnära problem.

Dessa former är den vanligaste uppdelningen av roller inom Sex Sigmaprogram. Olika företag kan ha individuella uppdelningar och också egna namn på rollerna. Det är viktigt att det finns en förankring av Sex Sigma i hela organisationen.²¹ Förankringen kan ibland organiseras som en White Beltkurs medan andra företag inte har något namn för det.

3.4 Bakomliggande teori

Sigma står för standardavvikelse och Sex Sigma innebär att spridningen ska vara så liten att toleransgränserna ligger sex standardavvikelser från målvärdet. (Se fig 3.3) Medelvärdet tillåts att glida med 1,5 standardavvikelser från målvärdet. Det statistiska resultatet av detta blir att processen kommer att ha maximalt 3,4 defekter per miljon möjligheter, dpmo. En defekt registreras då den mätta variabeln hamnar utanför specifikationsgränserna. Det är väldigt sällan som detta felutfall uppnås i verkligheten. Det huvudsakliga målet med Sex Sigma är att genom användandet av statistiska metoder styra och kontrollera processer för att minska spridningen i dessa²². Detta innebär att kvalitetsarbetet betraktas ur ett produktionsperspektiv. Sex Sigma ger ett systematiskt tillvägagångssätt för hur ett problem ska angripas vilket underlättar kommunikationen mellan olika avdelningar och projekt då alla talar samma "språk". En klar hierarki införs med väldefinierade roller vilket underlättar det systematiska arbetet. Stor vikt läggs på ökad kundtillfredsställelse genom förbättringar av processer och minskning av antalet defekter. Sex Sigma förser organisationen med en stor uppsättning av metoder och verktyg för att identifiera och lösa problem samt att kontrollera genomförda förbättringar.

²¹ Magnusson et al. (2000)

²² Sörqvist (2004)

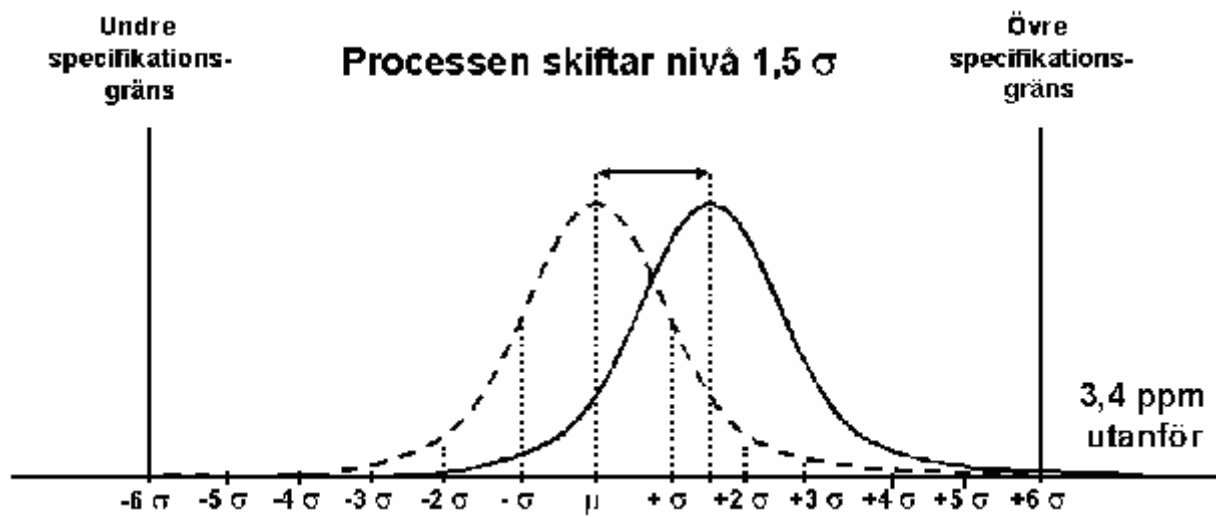


Fig 3.3 Utfallet av en process som presterar på Sex Sigmanivå.²³
 (Bilderna är publicerade med tillstånd av Sandholm Associates AB.)

3.5 Fördelar med Sex Sigma

Minskad variation kommer att ge högre avkastning och kortare cykeltider²⁴. En högre avkastning kommer uppnås genom ökad kundtillfredsställelse då man kan producera produkter med bättre kvalitet till en lägre kostnad. Produktionskostnaden minskar genom att antal defekter och cykeltiden minskar. En kortare cykeltid uppnås då man med hjälp av Sex Sigma får kontroll över processen och på så sätt kan göra en bättre produktionsplanering. Tanken är att förbättringsprojekten ska förstärka engagemanget för fortsatta projekt genom tydliga resultat i form av minskade kostnader och därigenom högre vinst. Detta illustreras med den självförstärkande spiralen i fig. 3.4²⁵. Denna modell kan utvidgas till att inkludera ytterligare en spiral där förbättringsprojekten ska leda till högre kundtillfredsställelse som i sin tur leder till större marknadsandelar och en högre omsättning. De positiva effekterna för kunderna är produkter med högre kvalitet och pålitligare leveranser. Fig.3.4 visar hur den självförstärkande spiralen fungerar inom både process- och produktutveckling. Produktutvecklingsdimensionen i figuren handlar om utveckling och relaterar därför till DFSS.

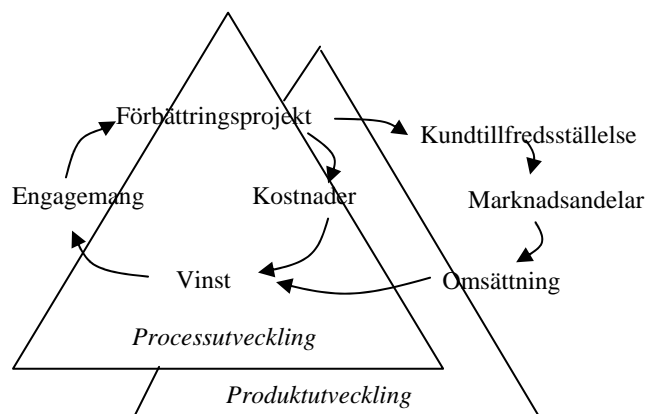


Fig. 3.4 Den självförstärkande spiralen inom Sex Sigma.²⁶

²³ Sandholm (2000)

²⁴ Magnusson et al. (2000)

²⁵ Magnusson et al. (2000)

²⁶ Magnusson et al. (2000)

3.6 Processsynsättet

De verksamhetsdelar i ett företag som sker repetitivt så som t.ex. inköp eller konstruktion beskrivs som ett företags processer. Till varje process åtgår det resurser och målet är att få ett resultat som tillfredställer processens kunder genom att utnyttja minimalt med resurser. Historiska data från processerna kan utnyttjas för att förutse framtiden och underlättar på så sätt det fortsatta förbättringsarbetet. Varje process ska ha en ägare som är ansvarig för förbättring och utveckling av processen. Med ett processsynsätt blir resultatet viktigare än vilken funktion som utför aktiviteten, vilket innebär ett bättre resursutnyttjande för att resultatet.²⁷

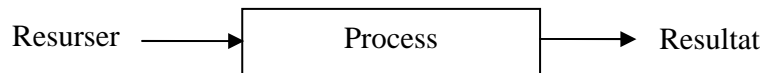


Fig. 3.5 Visualisering av processsynsättet.²⁸

3.6.1 Processen som överföringsfunktion

Variabeln som önskas styras (y) ses som ett resultat av en process där ett antal invariabler (x_1, x_2, \dots, x_n) påverkar utfallet²⁹. Processen beskrivs som en överföringsfunktion enligt ekvationen nedan.

$$y = f(x)$$

Det är en fundamental del i Sex Sigma att betrakta processer som att y är en funktion av x . Invariablerna delas upp i två grupper, styrbara och icke-styrbara. De styrbara variablerna analyseras sedan för att finna de som har störst inverkan på resultatet. Orsakerna till variation kan delas upp i *vanlig variation* och *speciell variation*. Vanlig variation beror på inbyggda problem i processen medan speciell variation beror på att enskild och oförutsägbar händelse inträffar. Målet är att identifiera orsakerna till att speciell variation inträffar och försöka eliminera dessa. För att råda bukt på vanlig variation krävs en ändring av processen eller produkten, vilket innebär att det krävs mer resurser för att åtgärda denna typ av variation.

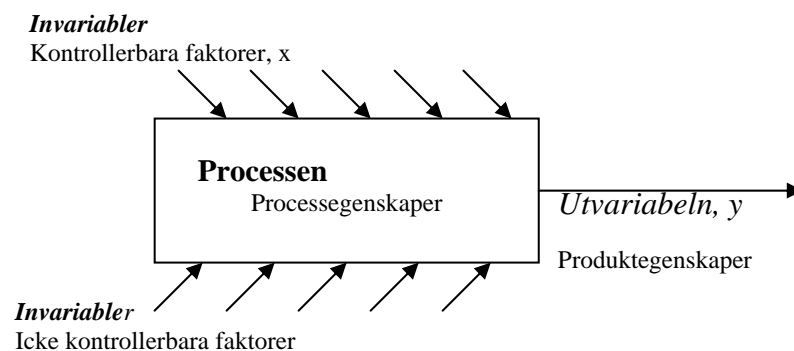


Fig. 3.6 Bilden visar hur olika variabler påverkar processen som i sin tur påverkar produktegenskaperna.³⁰

²⁷ Bergman och Klefsjö (2001)

²⁸ Bergman och Klefsjö (2001)

²⁹ Magnusson et al. (2000)

³⁰ Magnusson et al. (2000)

3.6.2 Statistisk processtyrning (SPS)

Statistisk processtyrning består av system som hjälper till att behålla processprestandan på en nivå som tillfredsställer kunden. Först standardiseras processen och de nya instruktionerna och tillvägagångssätten dokumenteras. Det är en fördel om de som ska använda instruktionerna är med vid framtagandet och att de ges möjlighet att själva välja hur informationen ska presenteras. Sedan görs en kontrollplan för de variabler som ska kontrolleras tillsammans med målvärden för dessa. Detta hjälper till att hålla rätt riktning på det fortsatta förbättringsarbetet. Processtyrningen syftar till att kontinuerligt förbättra processen genom att hitta de variationer som klassas som speciella för att eliminera dessa och på så sätt få en stabil process. SPS indikerar bara förekomsten av speciell variation, och andra verktyg måste användas i kombination för att upptäcka och åtgärda problem³¹. Efter genomförda åtgärder ska endast orsakerna till den vanliga variationen finnas kvar och för att eliminera dessa krävs det ofta en ändring av hela processen. Processen anses vara stabil så länge det inte dyker upp någon ny speciell variation. När en process är stabil kan framtida resultat förutsägas. Statistisk processtyrning är av stor vikt för det fortsatta förbättringsarbetet och för att behålla den tänkta prestandan. Resultatet av statistisk processtyrning blir en kontrollerad process med minskad variation som leder till bättre kvalitet som i sin tur leder till lägre kostnader.³²

3.7 Kostnader av dålig kvalitet

Det traditionella synsättet på kvalitetsbristkostnader är att de uppstår först när en produkt hamnar utanför specifikationsgränserna. Inom Sex Sigma används Taguchis förlustfunktion³³ för att beskriva kostnaderna. Den grundar sig på att alla avvikelser från målvärdet har en relaterad kostnad som ökar med avståndet från målvärdet³⁴. Det är detta synsätt som ligger bakom fokuseringen på att minska spridningen, eftersom en minskad spridning kommer att leda till minskade kostnader enligt Taguchis funktion.

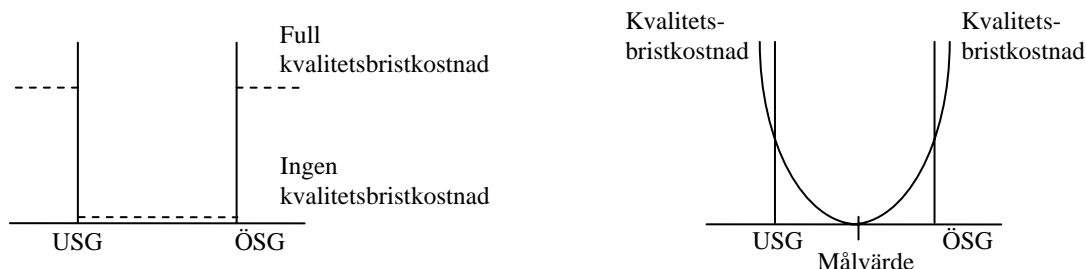


Fig. 3.7 Det traditionella synsättet respektive Taguchis synsätt på kvalitetsbristkostnader.³⁵ USG = undre specifikationsgräns, ÖSG = övre specifikationsgräns.

3.8 DMAIC

Arbetsgången i ett Sex Sigma projekt är tydligt definierad och beskrivs i fem steg. De fem stegen förkortas DMAIC och står för Define, Measure, Analyse, Improve och Control. Det finns tydliga riktlinjer för vad som ska genomföras under varje steg. Till varje fas hör en uppsättning verktyg som kan utnyttjas beroende på projektets natur.

³¹ Stamatis (2003)

³² Bergman och Klefsjö (2001)

³³ Brassard et al. (2002)

³⁴ Magnusson et al. (2000)

³⁵ Magnusson et al. (2000)

Definiera

I det första stadiet tas en problemformulering fram där vidden av projektet och dess mål definieras. Kundbehoven identifieras och översätts till kritiska kvalitetsparametrar, kallade CTQs. Processen kartläggs också.

Mäta

Mätstadiet handlar om att samla in data om processen och hur den presterar. Lämpliga värden att studera och lämpliga mätmetoder väljs. Insamlad data struktureras och visualiseras för att identifiera troliga orsaker till avvikelserna. Processens sigmavärde beräknas också och processkartan detaljeras ytterligare.

Analysera

För att finna de största bidragen till störningar och avvikelser analyseras den insamlade informationen. En kontroll utförs för att avgöra om processens utvärde, y , är förutsägbart. Det kan vara av värde att jämföra processens y med liknande processer inom företaget eller ledande aktörer inom området, sk. benchmarking. Detta kan bilda grund för de förbättringsmål som ska sättas upp.³⁶

Förbättra

I förbättringsstadiet letar man efter möjliga lösningar för orsakerna till spridningen. Arbetet går ut på att hitta de x som i högsta grad påverkar y . I första hand används enkla statistikverktyg (7 QC-verktygen³⁷) för att identifiera enkla och verkningsfulla möjligheter till förbättring. Om speciell variation finns ska denna åtgärdas. Det kan vara nödvändigt att utföra experiment och fördjupad statistisk analys för att identifiera speciell variation. Kan inte någon form av speciell variation identifieras är en förbättring av processens eller produktens utformning nödvändig.

Kontrollera

Det måste ske en kontroll och verifiering av de genomförda förbättringarna för att säkerställa att de planerade resultaten uppnås. Det är också mycket viktigt att resultaten dokumenteras och att erfarenheterna från förbättringsarbetet kan utnyttjas på andra håll i organisationen och i andra förbättringsprojekt.³⁸

Tabell 3.1 De sju kvalitetsverktygens och flödesdiagramms användning i Sex Sigma.³⁹

Fas	Definiera	Mäta	Analysera	Förbättra	Kontrollera
Verktyg	Ishikawadiagram Paretodiagram	Flödesdiagram Check sheets Histogram	Flödesdiagram Paretodiagram Ishikawadiagram Histogram Styrdiagram	Korrelationsanalys Stratifiering Check sheets	Check sheets Flödesdiagram

³⁶ Magnusson et al. (2000)

³⁷ Se appendix I

³⁸ Magnusson et al. (2000)

³⁹ Magnusson et al. (2000)

3.9 Verktyg inom Sex Sigma

Verktygen som tas upp i detta stycke är vanligast inom Sex Sigma men de används även i DFSS.

3.9.1 De sju QC-verktygen

På 1960-talet utvecklades sju verktyg av japanska forskare under ledning av Kaoru Ishikawa⁴⁰. De är enkla statistiska verktyg med en grafisk framställning och används inom Sex Sigma för att hitta speciell variation. Fördelen med att använda enkla verktyg är att resultatet kan kommuniceras effektivt till alla berörda. Den grafiska framställningen gör också resultaten lättare att ta till sig.

- *Ishikawadiagram*
- *Frekvenstablå och check sheets*
- *Histogram*
- *Paretodiagram*
- *Stratifiering*
- *Styrdiagram*
- *Korrelationsanalys*

3.9.2 FMEA

FMEA eller Failure Mode and Effect Analysis är en metod för att undersöka olika sätt ett system eller delsystem kan haverera och vilken effekt detta har på systemet. Analysmetoden används för att identifiera förbättringsmöjligheter och åtgärder. Dokumentationen av FMEA är viktig och uppdateringar måste ske vid förändringar av processen⁴¹. Metoden syftar till att minimera riskerna som både användare och system utsätts för. Det är en fördel om FMEA utförs av grupper som spänner över flera avdelningar då de olika kompetenserna kommer att finna olika sätt som haverier kan ske på⁴².

Vid framtagandet av FMEA är det första steget att klargöra processens eller produktens funktioner. Därefter identifieras vilka typer av haveri som kan inträffa och de potentiella orsakerna till haveriet listas. Sannolikheten att felet inträffar ska bedömas och registreras. De möjliga effekterna av varje haveri utreds och utifrån detta görs en bedömning av gravheten. För att finna var förbättringar kan ske görs en lista med beskrivningar på vilka kontrollsystem som finns för tillfället och hur bra dessa fungerar. Utifrån detta görs en uppskattning på hur lätt det är att upptäcka felet. Produkten eller processen betygssätts sedan med avseende på sannolikhet, allvarlighet och hur lätt felet är att upptäcka. Betygsättningen sker genom att ett så kallat RPN-nummer eller risktal beräknas för varje felmöjlighet. RPN står för Risk Priority Number och beräknas som produkten av de tre nämnda dimensionerna, som har betygssatts efter bestämda skalor, vanligen 1 till 10⁴³. Ett högre risktal innebär en allvarligare felmöjlighet och ansträngningarna bör således riktas mot de högre risktalen. En beräkning av RPN bör alltid åtfölja en FMEA-rapport. Det är vanligt att använda standardiserade formulär för utförandet av FMEA. Detta underlättar tillgängligheten för ett iterativt genomförande av FMEA allteftersom förbättringar och designändringar genomförs. En standardiserad form ökar också möjligheten att återanvända informationen i t.ex. förbättringsprojekt. Det bör nämnas att FMEA sedan 1994, är ett formellt krav på underleverantörer i bilindustrin enligt industristandarden QS-9000⁴⁴.

⁴⁰ Bergman och Klefsjö (2001)

⁴¹ Six Sigma Academy (2002)

⁴² Chowdhury (2002)

⁴³ Sörqvist (2004)

⁴⁴ Chowdhury (2002)

$$\text{RPN} = \text{SEV} \times \text{OCC} \times \text{DET}$$

SEV = allvarlighet (severity)

OCC = sannolikhet (occurrence)

DET = lätthet att upptäcka (detectability)

3.9.3 Flödesdiagram

För att beskriva aktiviteter och flöden i en process används ofta flödesdiagram. Detta för att man på så sätt får en bra överblick över processen och lätt kan urskilja förbättringsmöjligheter och icke värdeskapande processer. Det finns dock en risk att flödesdiagrammen blir för detaljerade och att den enkla överblickningen går förlorad. För att hålla diagrammen på en lättförståelig nivå rekommenderas det att bara ha tio eller färre boxar i diagrammet⁴⁵. Flödesdiagram bidrar till en förståelse av processen, vilket är kritiskt i Sex Sigma⁴⁶.

⁴⁵ Stamatīs (2001)

⁴⁶ Magnusson et al. (2000)

4 Kundcentrerad planering (QFD)

QFD är ett viktigt verktyg inom DFSS och i detta kapitel beskrivs bakgrunden till QFD och hur det används. En närmare beskrivning görs av det första huset inom QFD.

4.1 Inledning

QFD står för Quality Function Deployment som på svenska heter kundcentrerad planering⁴⁷. Metoden utvecklades ursprungligen av Mizuno och Akao under slutet av 1960-talet. Den första industriella tillämpningen av QFD gjordes 1972 av Mitsubishi Heavy Industries, på deras varv i Kobe i Japan⁴⁸, som ett medel att styra den nya produktutvecklingen mot vad kunderna verkligen värderar, och inte enbart tekniskt avancerade lösningar som tillfredsställer skickliga ingenjörer. Den nya metoden blev ett strukturerat sätt att bygga in kvalitet redan i designen. Medan den japanska bilindustrin snabbt tog till sig metoden, dröjde det ända till mitten av 1980-talet innan bilindustrin i USA och Europa började använda den⁴⁹. QFD är en etablerad metod inom produktutveckling som syftar till att på ett effektivare sätt förstå kundbehoven. Fokus på kundens behov och krav utgör också stommen i DFSS och QFD har kommit att bli ett av de viktigaste verktygen i DFSS, då den hela tiden ser kundens behov som den drivande motorn i utvecklingsarbetet. Metoden används inom DFSS, för att prioritera de produkt- och processegenskaper som bäst tillfredsställer kundernas behov⁵⁰. Dessa behov och önskemål benämns i terminologin Voice of Customer, VOC. Metodologin innefattar fyra huvudsteg, där vart och ett representeras av en översättningsmatris eller ett s.k. hus. Även om QFD är inriktad på produktutveckling kan den även appliceras på tjänsteutveckling och processutveckling.

4.2 De fyra stegen i QFD

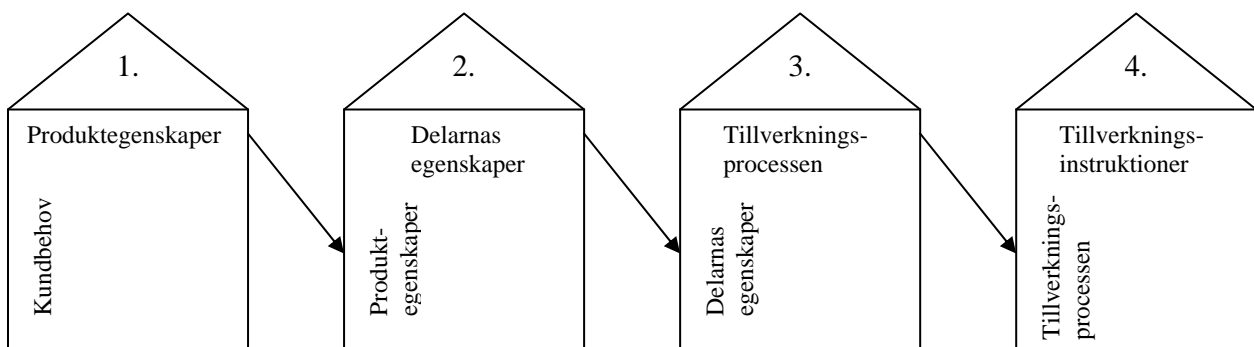


Fig. 4.1 De fyra husen inom QFD.⁵¹

1. Den första fasen, kallad kvalitetshuset, är central och kräver mest resurser av de fyra stegen.⁵² Här tas kundbehoven fram genom marknadsundersökningar och översätts till produktegenskaper. Kundernas rankning av behoven undersöks för att finna de mest kritiska egenskaperna. Resultatet av första fasen är identifieringen av de kritiska kvalitetsparametrarna och dess målvärden som bildar grunden till nästa steg.

⁴⁷ Bergman och Klefsjö (2001)

⁴⁸ Magnusson et al. (2000)

⁴⁹ Magnusson et al. (2000)

⁵⁰ Ginn och Varner (2004)

⁵¹ Bergman och Klefsjö (2001)

⁵² Magnusson et al. (2000)

2. I följande fas bryts produkttegenskaperna ner till delarnas egenskaper. De mest kritiska egenskaperna väljs ut för att möjliggöra en prioritering av utvecklingsresurserna⁵³. Genom en liknande procedur som i första fasen sätts målvärden för delarnas egenskaper vilket leder till utvecklandet av ett konstruktionskoncept.
3. Delarnas egenskaper utgör indata till processutformningsfasen. Här sker omvandlingen från delarnas egenskaper till krav på tillverkningsprocessen och hur denna ska styras. Det kan här vara till nytta att använda metoder som Ishikawadiagram för att identifiera de processegenskaper som inverkar på delarnas egenskaper.⁵⁴
4. Den sista fasen tar fram instruktioner för tillverkningen. De mått som kontinuerligt ska övervakas specificeras. Tydliga instruktioner om hur övervakningen ska ske och med vilka hjälpmedel fastställs också i denna fas.^{55 56}

Det första steget måste alltid genomföras och projektets natur avgör hur många av de följande stegen som är fördelaktiga att genomföra. Vid till exempel DFSS kan det vara tillräckligt att utföra det första steget. För att fastställa vilka variabler som ska mätas och därigenom utveckla ett lämpligt mätsystem som kan utnyttjas vid Sex Sigma projekt måste alla fyra faserna fullföljas⁵⁷.

⁵³ Bergman och Klefsjö (2001)

⁵⁴ Magnusson et al. (2000)

⁵⁵ Magnusson et al. (2000)

⁵⁶ Bergman och Klefsjö (2001)

⁵⁷ Magnusson et al. (2000)

4.3 Kvalitetshuset

Det grafiska verktyget som används i första fasen benämns kvalitetshuset. Kvalitetshuset är en serie matriser som beskriver relationerna mellan kundbehov, *vad*, och produkttegenskaper, *hur*. Tillsammans bildar matriserna formen av ett hus, därav namnet.

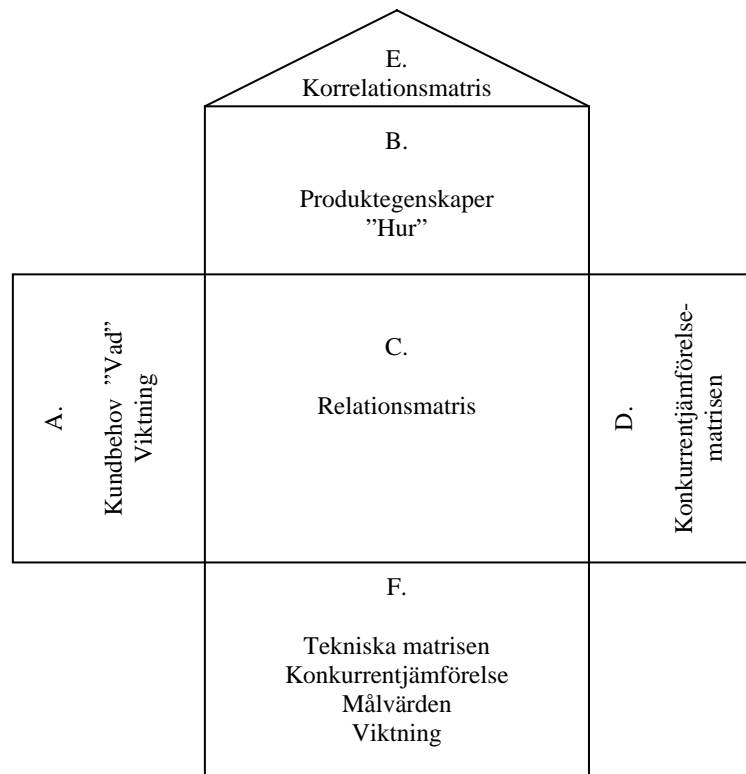


Fig. 4.2 Kvalitetshuset i QFD.^{58 59}

- A. Identifiera kundbehoven (vad) och deras relativa vikter. Marknadsundersökningar används för att samla in information om kundernas önskemål. Kunderna uttrycker oftast sina önskemål och behov diffust. För att strukturera dessa kan affinity- och Ishikawadiagram användas. Affinitydiagram är en teknik för att söka likheter bland ostrukturerade önskemål genom att sammanföra och sedan gruppera dessa. Målet är att minska antalet kundbehov till ett hanterbart antal som ska analyseras med kvalitetshuset.
- B. Denna del av kvalitetshuset syftar till att svara på vilka produkttegenskaper (hur) som kan uppfylla kundbehoven. Produktegenskaperna kan till exempel vara metoder, designkrav och teknisk utformning⁶⁰. Ett krav är att de relaterar till kundbehoven och är mätbara. För varje kundbehov måste det finnas en eller flera relaterade produkttegenskaper⁶¹. Tekniker som kan vara till hjälp för att finna egenskaperna är orsak-verkandiagram som t.ex. Ishikawadiagram. Enheten för varje egenskap ska anges samt om en maximering, minimering eller en styrning mot ett målvärde leder till förbättring⁶².

⁵⁸ Bergman och Klefsjö (2001)

⁵⁹ Magnusson et al. (2000)

⁶⁰ Chan och Wu (2002)

⁶¹ Yang och El-Haik (2003)

⁶² Chan och Wu (2002)

- C. Relationsmatrisens syfte är att beskriva styrkan av relationerna mellan kundbehoven och produkttegenskaperna. Detta är ett viktigt steg då andra matriser i huset bygger på resultaten av relationsbedömningen. Oftast används fyra bedömningsnivåer, ingen relation, svag relation, medelstark relation och stark relation. De kvantifieras sedan och en av de vanligaste poängtilldelningarna är 0, 1,3 och 9.⁶³
- D. Konkurrentjämförelsematrisen består i att utvärdera den egna prestationen mot ledande konkurrenter i hur väl kundbehoven uppfylls. Informationen om styrkor och svagheter i jämförelse med konkurrenter krävs för att kunna stärka ställningen på marknaden⁶⁴. Matrisen används också för att jämföra olika designalternativ. Mål för hur väl varje kundbehov ska tillfredsställas sätts utifrån beräkningar av behovens relativa betydelse. Dessa mål ska vara realistiska och möjliga att uppfylla. Olika beräkningar genomförs för att identifiera vilka kundbehov som har störst potential att generera vinster.
- E. Taket på huset visar korrelationen mellan de olika produkttegenskaperna. Korrelationen beskrivs som positiv eller negativ och används för att produktutvecklingsteamet ska se hur en ändring av en egenskap påverkar de andra egenskaperna. Vid positiv korrelation uppstår synergieffekter och vid negativ korrelation måste kompromisser göras.
- F. Den tekniska matrisen innehåller en rankning av produkttegenskaperna, konkurrentjämförelse samt mål och begränsningar för egenskaperna. För de behov som inte kan tilldelas någon form av mätetal kan en skala för deras prestationsnivå användas för att få värden på dessa som kan jämföras med konkurrenter och för att kunna sätta ett målvärde. Rankningen används för att ge prioritet till de produkttegenskaper som har störst inverkan på kundtillfredsställelsen. Rankningen tar hänsyn till vikten av de olika kundbehoven och relationen mellan dessa och den aktuella produkttegenskapen. I denna matris är det produkttegenskaperna som jämförs med konkurrenternas. Här sätts även upp mål för egenskaperna som designerna ska sträva efter att uppfylla.

⁶³ Magnusson et al. (2000)

⁶⁴ Chan och Wu (2002)

5 Design för Sex Sigma (DFSS)

Kapitlet beskriver synsättet och utgångspunkterna för DFSS. Metodens ursprung och dess relation till traditionell Sex Sigma diskuteras också. Vidare beskrivs arbetsgångens olika faser i detalj, tillsammans med en beskrivning av de verktyg som används.

5.1 Inledning

I Design för Sex Sigma används design med betydelsen konstruktion och utveckling. Design för Sex Sigma har utvecklats från Sex Sigma och har samma synsätt som Sex Sigma på kvalitetsbristkostnader (se fig 3.7) samt på hur minskad spridning ger en ökad vinst vilket produktutvecklingsdelen av fig 3.4 visar. DFSS har precis som Sex Sigma ett kundfokus fast i DFSS har det en större och mer central roll. Behovet för en strukturerad metod för utveckling kom med insikten att Sex Sigmakvalitet (3,4 dpmo) ej gick att uppnå genom att bara förbättra en existerande process⁶⁵. Istället krävs det att man redan vid utvecklingen av en produkt eller en process gör ansträngningar för att förbättra kvaliteten. Förbättring av kvaliteten leder i sin tur till sänkta livstidskostnader genom reducering av bl.a. omarbete, kassationer och förseningar⁶⁶. Vissa av verktygen som används i Sex Sigma är även till nytta vid utveckling, men det krävs nya idéer och verktyg för att få en heltäckande och strukturerad arbetsmetod för utveckling av nya produkter eller tjänster. En stor del av verktygen, metoderna samt tankesättet kommer från systemutveckling (eng. systems engineering)⁶⁷. Tankesättet bakom systemutveckling har till stor del utvecklats under ledning av amerikanska försvarsdepartementet och NASA. Inom systemutveckling har prestandaspecifikationer en central roll, då de används som ett styrmedel för hela processens livscykel. Systemutveckling drivs av en total fokusering på att tillfredsställa kundens krav och behov, en drivkraft som har överförts till DFSS⁶⁸.

DFSS kan betraktas som ett systematiskt arbetssätt där en formaliserad struktur för en utvecklingsprocess presenteras. På grund av att DFSS används vid framtagning av nya system eller produkter sker utvecklingen ur ett system-/produktperspektiv till skillnad från Sex Sigma som utgår från ett produktionsperspektiv. Strukturen relaterar till utveckling av såväl produkter som tjänster och processer, och kan användas genom hela organisationen. Den tydliga strukturen innebär att DFSS är mer än en uppsättning verktyg. DFSS förebygger problem som kan uppkomma genom designen istället för att rätta till problemen efter att de har uppstått. Metoden grundar sig på att om en produkt eller process designas ”rätt” från början så kan dyra designändringar längre fram i utvecklingsprocessen undvikas. Designen av en produkt är den aktivitet som har överlägset störst inverkan på produktens livstidskostnad. Upp till 70% av livstidskostnaden bestäms av designen⁶⁹ ⁷⁰. Allt kortare livstider för produkter och processer begränsar ytterligare möjligheterna till gradvisa förbättringar efter lansering, vilket innebär att kopplingen mellan design och kvalitet blir allt mer kritisk⁷¹. Detta understryks också av att kostnaderna för ändringar av en produkt eller process ökar exponentiellt ju senare i livscykeln de sker, vilket demonstreras i fig. 5.1.

⁶⁵ Chowdhury (2002)

⁶⁶ Brue och Launsby (2003)

⁶⁷ Brue och Launsby (2003)

⁶⁸ Brue och Launsby (2003)

⁶⁹ Stamatis (2003)

⁷⁰ Brue och Launsby (2003)

⁷¹ Bergman och Klefsjö (2001)

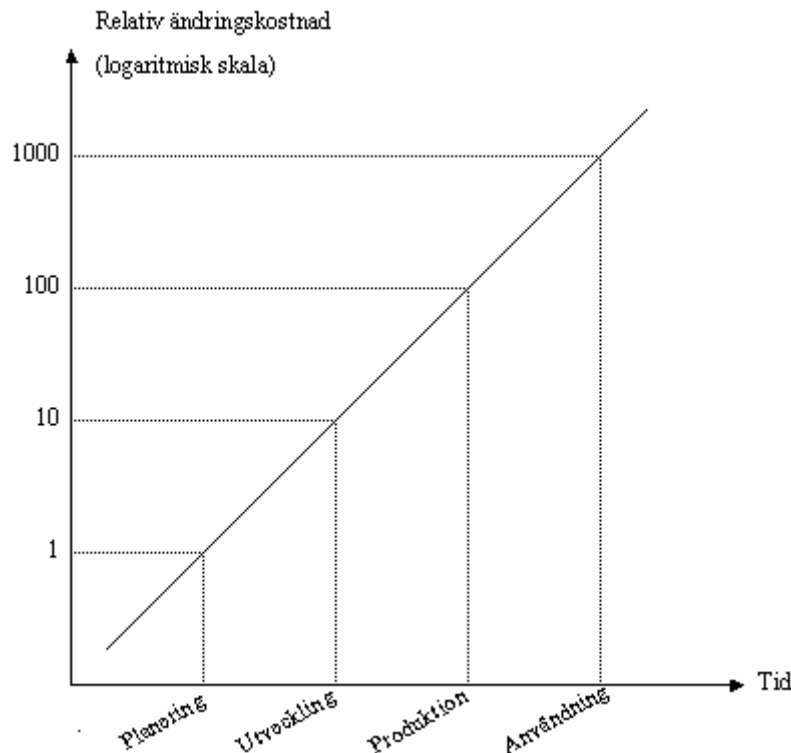


Fig. 5.1 Relativ kostnad för sena designändringar.⁷²

Syftet med att implementera DFSS är att de nya produkter som utvecklas ska hålla en hög kvalitet redan vid införandet och genom detta tillfredsställa kundernas önskemål och behov. Även ledtiderna för förbättringsprojekt kan förkortas genom att utnyttja DFSS⁷³. Högre kundtillfredsställelse och kortare ledtider leder till bättre lönsamhet för företaget.

DFSS är alltså metoden som möjliggör utvecklandet av felfria produkter, och ska ej ses som en strategi i sig själv. Den kräver däremot att organisationen har en övergripande strategi som är tätt samankopplad med DFSS⁷⁴. Just den strategiska kopplingen har poängterats som en förutsättning för en framgångsrik implementering av DFSS som verkligen kan realisera de förväntade besparingarna genom högre kvalitet. När DFSS finns uttalat i organisationens strategi, blir det den verkställande ledningens ansvar att genomföra den. Det är centralt i DFSS att initiativen förankras i företagsledningen och därifrån sprids ner genom organisationen precis som i Sex Sigma. Organisationer som inför DFSS måste vara beredda på en kulturell omställning och på att omvärdera sin syn på utveckling.

Det finns kvalitetsmetoder som används som i mål och syfte liknar DFSS. AQP står för Advanced Quality Planning och är en metod för att ta fram en kvalitetsplan för utvecklingen av en produkt eller process. Syftet med metoden är att föra in kvalitetsaspekterna redan i planeringsstadiet av utvecklingsarbetet. Detta för att undvika kostsamma ändringar (se fig. 5.1) och för att möta och överträffa kundernas förväntningar.⁷⁵

⁷² Bergman och Klefsjö (2001)

⁷³ Brue och Launsby (2003)

⁷⁴ Brue och Launsby (2003)

⁷⁵ Stamatis (2003)

5.2 Organisationsstruktur

Mycket av organisationsstrukturen och även en del av verktygen i DFSS återfinns i traditionell Sex Sigma. Den befattningshierarki som förekommer i Sex Sigma används även i DFSS. Ansvarsområdena är liknande men kompetenserna är inriktade på verktyg och metoder inom DFSS.

I DFSS utses Black Belts till gruppleddare för projekten och till sin hjälp har de gruppmedlemmar med utbildning i de DFSS-verktyg som används i projektet. Dessa medhjälpare är inte nödvändigtvis utbildade till Green Belts, även om det är vanligt förekommande att ett antal Green Belts ingår i en projektgrupp. Precis som i traditionell Sex Sigma är Master Black Belts de tekniska experterna som stödjer Black Belts i deras arbete. Champions är med och utser projekt, övervakar dessa och tar bort hinder gruppen stöter på i utförandet av sitt arbete.

5.3 DFSS och Sex Sigma

Det som framförallt skiljer DFSS från Sex Sigma är de situationerna i vilka de olika metoderna appliceras. Som visas i fig. 5.2 så används DFSS när en ny process eller produkt ska utvecklas eller alternativt om inte en förbättring av en process är tillräckligt för att uppnå det tänkta målet. Sex Sigma inriktar sig på att minska spridningen i redan existerande processer genom olika lösningar som rättar till kvalitetsbristerna i processerna. DFSS appliceras i utvecklingsstadiet av produkter eller system och har som sitt främsta mål att de framtagna produkterna eller systemen ska ha en liten spridning från att de tas i bruk. Namnet antyder att 'Sex Sigmakvalitet' (<3,4 dpmo) ska kunna uppnås, även om detta sällan uppnås i verkliga situationer.

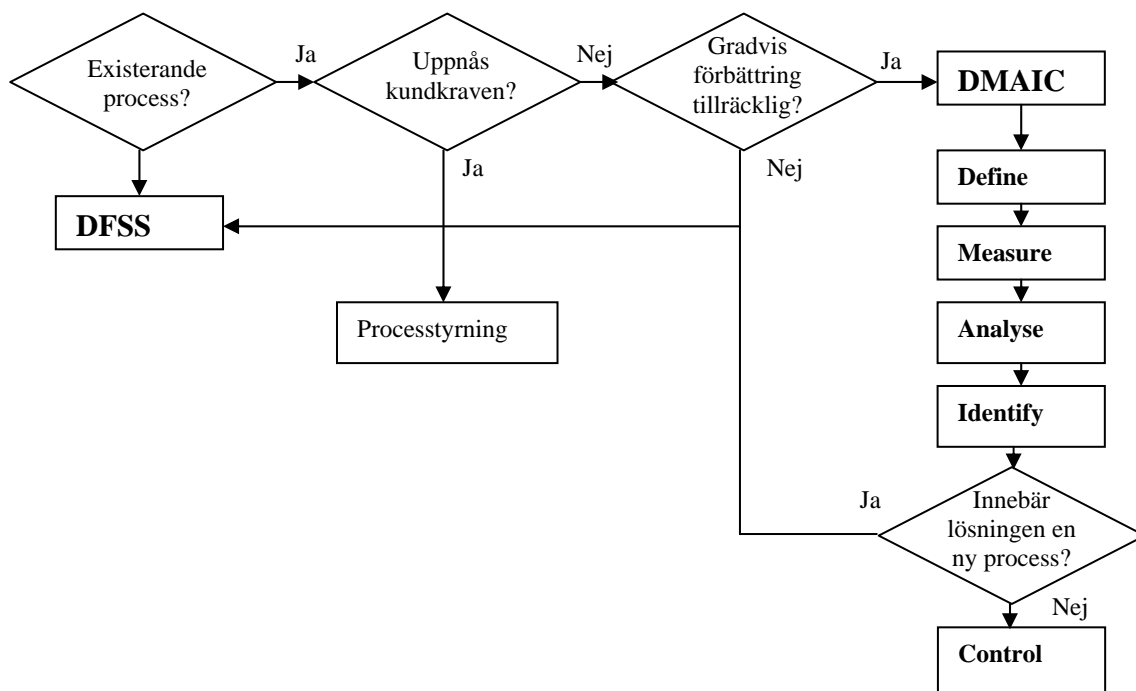


Fig. 5.2 Visar när DMAIC respektive DFSS ska användas.⁷⁶

Stamatis (2003) nämner tre strategier som måste antas för att möjliggöra att Sex Sigmakvalitet kan uppnås. Den första behandlar designfasen och handlar således om DFSS. Den andra behandlar intern tillverkning och tar upp behovet av Sex Sigmaarbete i tillverkningen, bland annat statistisk processtyrning (SPS). Den sista fasen uppmärksammar faktumet att Sex Sigmakvalitet

⁷⁶ Ginn och Varner (2004)

inte kan uppnås utan en full inblandning av alla berörda leverantörer. Eftersom kvaliteten på underleverantörernas produkter direkt kommer påverka slutprodukternas kvalitet är det viktigt att de också adapterar Sex Sigma. En rationalisering av antalet leverantörer och skapandet av långsiktiga förhållanden nämns också som förutsättningar för framgång.

Likheterna mellan de båda metoderna leder till föreställningen att en organisation måste ha implementerat Sex Sigma innan den kan införa DFSS. Det argumenteras för att ett företag måste behärska Sex Sigmas principer innan de kan gå vidare med förbättringarna till utvecklingsprocessen⁷⁷. Å andra sidan har röster höjts som hävdar att Sex Sigma inte är en förutsättning för införandet av DFSS trots den nära kopplingen⁷⁸.

5.4 Arbetsgången i DFSS

Precis som det i Sex Sigma finns en tydligt definierad arbetsgång, DMAIC, finns en motsvarighet inom DFSS. Arbetsgången beskrivs med olika förkortningar i olika källor, men är i stort densamma. Det som skiljer är avgränsningarna mellan de olika faserna. Arbetsgången kan sammanfattas i fyra faser, som ska genomgå i beskriven ordning. Vissa metoder innehåller fem steg istället för fyra. Det totala innehållet är dock liknande. Några av de olika förkortningar och namn på faserna som används anges i tabell 5.1.

Tabell 5.1 De olika förkortningarna i Design för Sex Sigma.

Fas \ Förkortning	1	2	3	4
CDOV	Concept	Design	Optimise	Validate Verify
IDDOV	Identify Define	Design	Optimise	Verify
DMADV	Define	Measure Analyse	Design	Verify
ICOV	Identify	Characterise	Optimise	Verify

5.4.1 Fas 1 Identifiera och definiera möjligheterna

Den första fasen inriktar sig på att identifiera möjligheterna och målsättningen för ett DFSS-projekt. Möjligheter och målsättning ska definieras i en projektspecifikation som också ska innehålla en tidsplan. För att kunna använda specifikationen som ett styrmedel måste en för projektet lämplig detaljeringsgrad väljas⁷⁹. Målen innefattar att projektet ska leverera till rätt kvalitet, i rätt tid och till rätt kostnad⁸⁰. Genom att balansera tre dimensioner, vidd, tid och kostnad, påverkas kvaliteten på resultatet av ett projekt⁸¹. Ytterligare aspekter som ska ingå i projektspecifikationen är följande⁸²:

- Passande projektnamn
- Bestämd projektgrupp med ingående medlemmar
- Avsätta adekvata resurser
- Riskbedömning

Ett tydligt fokus ligger på insamlingen av information om kundernas krav och behov. Det är extremt viktigt att inte ta kundernas behov och önskemål för givet. Det finns inte något utrymme för gissningar och antaganden om vad som tillfredsställer kunderna, eftersom det är kundernas behov som är drivande i allt utvecklingsarbete enligt DFSS. Det är också viktigt att de metoder som används kan fånga upp de latenta behov som kunderna inte uttrycker, men som är viktiga för att skapa tillfredsställelse och återkommande kunder, så kallade "excitement needs". Det finns

⁷⁷ Brue och Launsby (2003)

⁷⁸ Chowdhury (2002)

⁷⁹ Project Management Institute (2004)

⁸⁰ Chowdhury (2002)

⁸¹ Project Management Institute (2004)

⁸² Brue och Launsby (2003)

också baskrav som kunderna inte uttrycker men som om de inte uppfylls innebär att produkten ej kan konkurrera på marknaden. Kanomodellen⁸³ beskriver hur de olika typerna av krav påverkar kundtillfredsställelsen. Ofta genererar marknadsundersökningar och kundintervjuer ett omfattande material som kräver strukturering och sortering för att kunna hanteras vidare. Affinitydiagram används som en hjälp för att sortera de olika uttrycken.

Den första delen av QFD, kvalitetshuset, är ett väsentligt redskap i den första fasen när teamet ska översätta kundernas behov och önskemål till kritiska kvalitetsparametrar. För att vara framgångsrik bör mängden indata till kvalitetshuset begränsas. All data om kundernas önskemål som används ska falla inom någon av följande kategorier⁸⁴:

- Nya behov
- Unika behov
- Behov som är svåra att tillfredsställa

Innan nästa fas påbörjas ska arbetet sammanställas och följas upp⁸⁵.

5.4.2 Fas 2 Designa konceptet

I den andra fasen genereras ett antal gångbara designkoncept som på olika sätt tillfredsställer de kundkrav som tagits fram i den föregående fasen. QFD används för att ta reda på hur de kritiska kvalitetsparametrarna från föregående fas ska kunna uppfyllas. Eventuellt tas även en tillverkningsprocess för produkten fram och då används också QFD. Olika utvärderingsmetoder används sedan för att hitta och välja det koncept som på effektivast sätt klarar att uppfylla de uppställda kraven. Bland teknikerna som används ingår Pughmatrisen, som förutom att välja ut det bästa konceptet kan användas för att kombinera de bästa delarna till samansatta "superkoncept"^{86 87} Metoden används iterativt för att fortsätta jämföra de samansatta koncepten. Till att börja med utvecklas konceptets design på en övergripande nivå och testas och därefter på en mer detaljerad nivå för ytterligare tester. FMEA och DFX⁸⁸ är också metoder som används vid utvecklingen och den samlade bedömningen. Konceptets prestanda bedöms även med hjälp av processduglighetsmått. Precis som i slutet av den första fasen sker även här en sammanställning och uppföljning av genomförda aktiviteter.

5.4.3 Fas 3 Optimera valt designkoncept

Optimeringsfasen syftar till att på ett så effektivt sätt som möjligt implementera den valda designen. Effektiviteten ska avspeglas i kvalitet, kostnad och tid till lansering. I denna fas spelar robust design en viktig roll. För det första optimeras delsystemen med avseende på robusthet. Därefter sker en integrering av delsystemen, en optimering av det övergripande systemet, en utvärdering av systemets prestanda samt en bedömning av systemets tillförlitlighet som helhet. Design of Experiments⁸⁹ (DOE) kan användas i optimeringsfasen för att undersöka relationerna mellan olika egenskaper och inparametrar. Även FMEA och toleransframtagning används för att optimera konceptet. Pilotproduktion kan användas som en utvärderingsmetod, när det gäller att fastställa designen. Även i denna fas görs en sammanställning och uppföljning för att garantera att alla kritiska aktiviteter har genomförts.

⁸³ Se fig. 3.1

⁸⁴ Creveling et al. (2003)

⁸⁵ Creveling et al. (2003)

⁸⁶ Creveling et al. (2003)

⁸⁷ Ginn och Varner (2004)

⁸⁸ Design for ... (Assembly, Maintainability...)

⁸⁹ Se appendix II

5.4.4 Fas 4 Verifiering och validering

Syftet med den sista fasen är att påvisa att produkten eller processen verkligen kommer att möta de kritiska kvalitetsparametrar som identifierats i tidigare steg. En bedömning av tillförlitlighet och prestanda utförs också på det verkliga systemet. En kontrollplan ska tas fram som beskriver på vilket sätt processen ska övervakas och styras. Även processdugligheten ska kontrolleras för att verifiera att produkterna kan tillverkas med en liten spridning. När all verifiering är klar överlämnas systemet eller produkten tillsammans med tillhörande dokumentation till tillbördig avdelning inom organisationen.

Tabell 5.2 Verktyg i DFSS och de faser i vilka de utnyttjas.⁹⁰

<i>Fas</i>	1	2	3	4
<i>Verktyg</i>	Affinitydiagram Kanomodellen QFD Ishikawadiagram	QFD FMEA Pughmatrisen DFX Brainstorming	DOE FMEA Robust design Simulering	SPS Paretodiagram Flödesdiagram Krysslistor Processduglighet

5.5 Verktyg inom DFSS

En del verktyg är samma för DFSS och Sex Sigma och är beskrivna i kapitel 3.1. Nedan beskrivs de vanligast förekommande verktygen som används inom DFSS.

5.5.1 Affinitydiagram

Affinitydiagrammet används för att organisera och gruppera olika åsikter som samlats in från kunderna. Gruppering går till så att de olika åsikterna skrivs ner på kort som därefter sorteras in i olika kategorier för att finna liknande åsikter. Med tekniken kontrolleras också att inga viktiga behov utelämnas.

5.5.2 Pughmatrisen

När ett antal olika koncept är framtagna används Pughmatrisen för att utvärdera dessa mot varandra. De bästa egenskaperna väljs sedan ut från de olika koncepten för att på så sätt få ett ännu bättre koncept, ett så kallat superkoncept. De kritiska kvalitetsparametrarna (CTQs) som har tagits fram i första huset i QFD utgör de olika kriterierna som koncepten bedöms utifrån. Om en befintlig produkt existerar kan den användas som baslinje och därefter bedöms de olika alternativen med +, -, eller S (samma), beroende på hur bra de uppfyller kundbehoven. Om en befintlig produkt saknas används ett av de befintliga alternativen som baslinje. I vissa situationer då betydelsen av de olika kvalitetsparametrarna varierar stort kan det vara fördelaktigt att vikta dem.⁹¹

5.5.3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Precis som i Sex Sigma är FMEA⁹² ett viktigt verktyg vid riskbedömning av potentiella fel. FMEA används för att i ett tidigt skede i produkt- eller processutvecklingen kunna analysera vad som kan gå fel och vad effekten blir. FMEA i produktutveckling är ofta fokuserad på felmöjligheter och deras risker för användaren, medan FMEA i processutveckling är inriktad på att förebygga störningar i processen⁹³. Denna information används sedan för att åtgärda de designbrister som har störst verkan och därigenom få en bättre fungerande produkt eller process från början. Med det traditionella synsättet åtgärdas istället fel efter att designen är färdigställd.

⁹⁰ Ginn och Varner (2004)

⁹¹ Ginn och Varner (2004)

⁹² Se avsnitt 3.9.2

⁹³ Quality Improvement International (2003)

Möjligheten att åtgärda fel tidigt leder till kostnadsbesparingar och ökad kundtillfredsställelse på grund av det inte blir lika många returer och omarbeten.

5.5.4 Design för X, DFX

Design för X fokuserar på produkten och talar om vilken aspekt som ska koncentreras på vid framtagningen av produkten. Exempel på aspekter, X, är montering, tillverkning, livstidskostnad och miljö. I produktutvecklingsprocessen ingår gruppmedlemmar från olika avdelningar som samarbetar för optimering och utvärdering av designkoncepten. Grundtanken med DFX är att i ett tidigt skede säkerställa att produkten är möjlig att tillverka till en rimlig kostnad. Genom att fokusera på X tidigt i designfasen kan sena och därmed dyra designändringar undvikas. Konkurrensfördelar kan uppnås genom en kortare tid till lansering. DFX används vid val och optimering av det valda produktkonceptet⁹⁴.

5.5.5 Taguchi Robust Design

Enligt Taguchi är en produkt eller process robust om den påverkas minimalt av störningsfaktorer. Produkten ska även kunna tillverkas på ett rationellt sätt och till låg kostnad. Robust design används när tillräckligt mycket information är insamlad för att skapa och optimera en design. Den syftar till att göra en design som inte är känslig för störningar vare sig under tillverkningen eller i dess användarmiljö.⁹⁵ En strategi tas fram för hur effekterna av störningsfaktorerna, som ger variationer vid tillverkningen och i användarmiljön, ska minimeras. Vid bestämning av designparametrarna är målet att förebygga negativa effekter från möjliga avvikelser. För att kunna förutspå prestandan utförs simulationer och analyser,⁹⁶ och för att finna orsak- och verkanrelationer används DOE. En annan del av robust design fokuserar på kostnaden för att inte tillfredsställa kunderna. Denna räknas ut med hjälp av Taguchis förlustfunktion.⁹⁷

5.5.6 Processduglighet^{98 99}

Processdugligheten beskriver ett systems förmåga att producera enheter vilkas mått ligger inom uppsatta toleransgränser. Ett krav för att en duglighetsberäkning ska kunna göras är att systemet är stabilt, dvs att ingen speciell variation förekommer. Det finns flera olika duglighetsmått som används, där de tre vanligaste är Cp, Cpk och Cr.¹⁰⁰ Processdugligheten undersöks i den sista fasen i DFSS, verifieringen. De framtagna duglighetsmått kan senare användas för att behålla och förbättra processprestandan.

⁹⁴ Brue och Launsby (2003)

⁹⁵ Brue och Launsby (2003)

⁹⁶ Chowdury (2002)

⁹⁷ Brue och Launsby (2003)

⁹⁸ Brue och Launsby (2003)

⁹⁹ Bergman och Klefsjö (2001)

¹⁰⁰ Se appendix III, för beräkning av processduglighet

6 Upphandling av produktionssystem

Kapitlet ämnar ta upp viktiga aspekter av upphandling, som den presenteras i "industriangepassad" litteratur. Några av de mest betydelsefulla parametrarna vid framtagning av en kravspecifikation diskuteras också. Det görs även en beskrivning av en statistisk verifieringsmetod som kan hjälpa till att hålla nere tiden som åtgår för verifiering.

6.1 Teori bakom anskaffning

För att möta behovet av kortare ledtider för anskaffning av utrustning har kravet på ett processynsätt uppkommit. Processynsättet ger en bättre helhetslösning genom att se till att framtagna lösningar är optimerade med hänsyn tagen till hela systemet. Nackdelen med ett funktionellt synsätt är att lösningar oftast är lokalt optimerade, där varje avdelning betraktar verksamheten endast ur sin egen synvinkel. Överlämnandet av projekt mellan avdelningar är en komplicerad process som ofta leder till effektivitetsförluster. I den processbaserade anskaffningen är ett projektteam ansvarigt för att driva de ingående delprocesserna. I detta projektteam finns olika funktioner representerade.¹⁰¹

Förarbetet inför upphandling av ny produktionsutrustning ska resultera i ett offertunderlag. Detta underlag ska tydligt beskriva de krav som ställs på utrustningen eftersom upphandlingen grundas på offertunderlaget. Riskanalyser och utvärdering av potentiella problem samt hur dessa ska åtgärdas genomförs under utvecklingsfasen. Här används bl.a. verktyg som FMEA. En plan för utrustningens försörjning tas också fram. Offertunderlaget som tas fram delas in i en kommersiell och juridisk del som beskriver villkoren för leverans, betalning, garantier etc. Underlaget innehåller även en teknisk del som specificerar den önskade tekniska prestationen. Gällande förutsättningar måste noggrant beskrivas i den tekniska delen, eftersom förändringar eller tillägg av krav i senare skede är kostsamt.¹⁰²

6.2 Kravställning

Det är viktigt att kravspecifikationen tas fram grundligt för att säkerställa att alla behov, tekniska såväl som ekonomiska, uppfylls. Lämpliga parametrar att ställa krav på är:¹⁰³

- **Duglighet** i form av kvalitetsutbyte (Ku).
(Ku) = Mängd godkända/totalt producerade. Detta tas sedan med i beräkningarna av LCC för att se hur kvalitetsutbytet påverkar den totala kostnaden.

- **Tillgänglighet**.

Systemtillgängligheten beräknas som produkten av delsystemens tillgänglighet vid seriella system. Krav bör ställas på de enskilda MTBF (mean time between failure) och MTTR (mean time to repair) för att få fram den tekniska systemtillgängligheten. Användning av buffertar kan öka systemtillgängligheten då detta gör att systemet kan fortsätta att producera även om det blir ett stillestånd i en station.

- **Cykeltid**.

Köparen måste beräkna den faktiska produktionstiden där hänsyn är taget till antal skift och tidsbortfall för raster, sjukdom, möten etc. är borträknade. Detta tillsammans med dugligheten och systemtillgängligheten leder fram till beräkningen av målvärdet för cykeltiden.

¹⁰¹ Johansson och Nord (1999)

¹⁰² Johansson och Nord (1999)

¹⁰³ Johansson och Nord (1999)

6.3 Verifiering med sekventiella test

Vid verifiering av felutfallet finns det olika tekniker att tillgå. Man kan räkna antalet fel över en bestämd tidsperiod för att sedan beräkna felutfallet. För att få ett tillräckligt stort statistiskt material måste tidsperioden vara lång. En teknik för att begränsa antalet test som behöver utföras är sekventiella test. Generellt för sekventiella testplaner genomförs tester med sampelstorleken ett, och efter varje test tas ett beslut om att acceptera, förkasta eller fortsätta testet. Vid acceptans eller förkastning avbryts testplanen, vilket innebär att antalet genomförda test som regel blir få¹⁰⁴.

Vid framtagning av testplanen ska man fastställa de sannolikheter, med vilka ett felaktigt parti accepteras respektive ett riktigt parti förkastas.

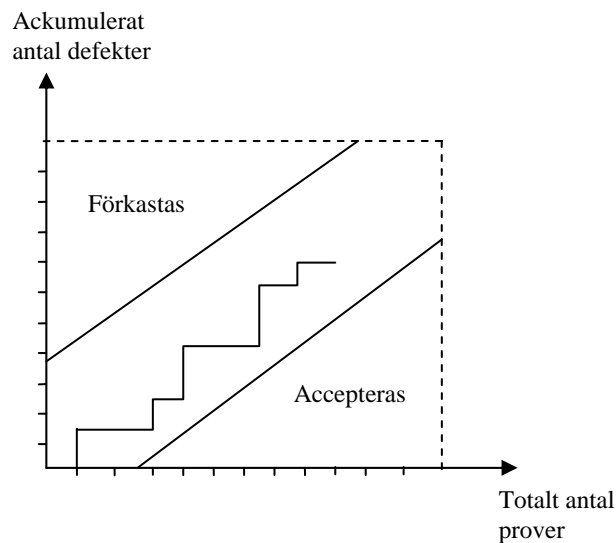


Fig. 6.1 Exempel på utfallet från ett sekventiellt test.¹⁰⁵

För varje test förs resultatet in i diagrammet enligt fig. 6.1 och testet pågår tills en punkt hamnar utanför någon av gränserna. För att ytterligare begränsa testets omfattning är det lämpligt att sätta upp trunkeringsgränser, som innebär att testet avbryts vid ett fastställt antal provtagningar (cykler) eller ackumulerat antal fel. Dessa gränser ger diagrammet formen av en slips, vilket gör att tester av denna typ ofta benämns slipstester.

¹⁰⁴ Bergman och Klefsjö (1986)

¹⁰⁵ Bergman och Klefsjö (1986)

7 Synsätt vid upphandling

Då upphandling av utrustning inte tas upp i tillgänglig litteratur inom DFSS är det av intresse att beskriva olika synsätt som faktiskt används i upphandlingssituationer. I kapitlet beskrivs Integrated Logistic Support och LCC. Kapitlet försöker beskriva metodernas användbarhet vid upphandling.

7.1 Integrated Logistic Support (ILS)

ILS är ett synsätt för att styra planeringen, utvecklingen och den fortsatta driften av ett system. En viktig aspekt av ILS-synsättet är att den slutgiltiga kunden, dvs. köparen eller användaren av systemet, förutom att få sina krav på systemet uppfyllda förses med ett system som kan drivas och underhållas till lägsta möjliga totalkostnad under dess planerade livstid.¹⁰⁶

Användandet av ILS ska säkerställa att systemet fullt ut stöds och underhålls under hela den specificerade livslängden.¹⁰⁷ Denna styrningsmetod, utvecklad för att hantera kostnaderna av att understöda militära system, kan användas lika effektivt för att hantera det nödvändiga stödet för driften av ett civilt system, på ett strukturerat och heltäckande sätt.¹⁰⁸

7.1.1 Behov och kravställning

Vid framtagning av ett nytt system måste kraven på detsamma noga definieras. Först måste kunden formulera vad systemet ska kunna uträtta i den avsedda miljön. Utifrån detta ställs sedan krav på systemet i form av prestanda, tillförlitlighet och tillgänglighet. Utöver dessa krav ställs krav på systemets underhållsmässighet och den underhållsorganisation som är nödvändig för systemets drift. Dessa krav, som relaterar till systemets övergripande prestanda, kommer senare i utvecklingsprocessen att brytas ner till specifika krav på delsystem och komponenter.

7.1.2 ILS och upphandling

Kontrakt för upphandling ska innehålla att betalningarna är kopplade till milstolpar som måste uppnås. Detta skapar incitament för leverantören att demonstrera att han har uppfyllt kriterierna för varje milstolpe. För att vara effektivt måste kontraktet tydligt definiera de kriterier mot vilka produkten bedöms.¹⁰⁹ Användandet av en ILS-strategi vid upphandling kan innebära flera fördelar:¹¹⁰

- Optimal systemtillgänglighet inom ramen för den uppställda kostnaden.
- Utökad möjlighet till att styra risker och att uppnå den projekterade livstidskostnaden.
- Leverantören tas med tidigt i utvecklingen när det gäller tillhandahållandet av resurser för stöd och underhåll av systemet. Att förhandla om ett fast pris för detta med leverantören är ett sätt att hantera risken och stabilisera driftskostnaderna.
- Bättre information för bedömningen av kompromisser mellan prestanda och tillgänglighet, baserat på kostnader, resurskrav och risk.
- En tydligare definition av krav, arbetssätt och rutiner leder till ökad kontroll över kostnaderna.

7.1.3 Underhållskoncept

Då ILS syftar till att organisera de stödresurser som krävs för drift och underhåll av ett system under hela dess livslängd har ILS en viktig roll vid framtagningen av underhållskoncept. Vid anskaffning av nya system tas ett antal förslag fram som möjliga lösningar på de ställda kraven.

¹⁰⁶ Blanchard (1981)

¹⁰⁷ Prescott (1995)


¹⁰⁸ Galloway (1996)

¹⁰⁹ Prescott (1995)

¹¹⁰ Galloway (1996)

För varje sådant förslag måste ett underhållskoncept utarbetas. Konceptet måste innehålla information om underhållet och hur detta ska organiseras under hela systemets förväntade livslängd.¹¹¹ För att uppfylla detta måste beslut tas om vilka underhållsnivåer som ska gälla för systemets olika delar. Underhållsnivåerna beskrivs i tabell 7.1. Om en enskild komponent orsakar en stor del av felet på ett utbytbart delsystem bör det övervägas att designa denna komponent att vara utbytbart på plats. Att ta bort delsystemet vid varje fel och reparera det på en annan plats kan innebära att ett stort antal delsystem måste finnas tillgängliga för att inte brist ska uppstå, vilket leder till en hög kapitalbindning.

Tabell 7.1 Underhållsnivåer.¹¹²

Komplexitet	Underhållsnivå	
Låg  Hög	På plats	Enkelt underhåll som utförs där felet uppkommer.
	Verkstad	Personal med högre kompetens utför reparationer i verkstad eller som mobila enheter.
	Centralverkstad	Specialiserad personal och utrustning. Kan vara extern.

I samband med att underhållsnivåer fastställs ska också beslut tas om delar ska repareras eller kasseras. Val av reparationsstrategi för en viss del ska underbyggas av en ekonomisk analys där man tar hänsyn till reparationskostnaden och nyanskaffningskostnaden. Analysen ska också ta hänsyn till vald underhållsnivå för den aktuella delen och de lagerhållningskostnader för reserv- och utbytesdelar som är relaterade till den aktuella reparationsstrategin.

Reparationsstrategier:

- Kassation vid fel
- Delvis reparerbara system
- Fullt reparerbara system

Om den första strategin utnyttjas bör man eftersträva att komponenterna ska vara åtkomliga för enkelt utbyte. För att inte riskera kassation av hela komponenter finns det behov för ett inbyggt kontrollsystem, som indikerar fel på en del eller komponent¹¹³. Vid de två andra strategierna byts delsystemen ut för att sedan repareras på annan plats. Ett delvis reparerbart system innebär att vissa delar eller komponenter av systemet kasseras vid reparation. Även vid dessa strategier är det viktigt att utbytet kan ske på ett sätt som orsakar så kort stillestånd som möjligt för systemet. De alternativa underhållsnivåerna och kopplade reparationsstrategier ska utvärderas för att fastställa ett underhållskoncept som optimeras med avseende på effektivitet och livstidskostnad. Underhållskonceptet ligger sedan till grund för designkrav och kriterier gällande systemets drift och underhåll.

7.1.4 Logistikstödsanalys

För att utvärdera effektiviteten av framtagna underhållskoncept utförs logistikstödsanalys (LSA). Analysen utförs under hela utvecklingsprocessen och är en grundligare genomgång än den utvärdering som genomförts vid framtagningen av underhållskonceptet. För att analysera insamlad data utnyttjas matematiska modeller som t.ex. linjär och dynamisk programmering eller

¹¹¹ Blanchard (1981)

¹¹² Blanchard (1981)

¹¹³ Blanchard (1981)

simuleringsmodeller. Tidigt i utvecklingsfasen bygger invärdena till simuleringsmodellerna på uppskattningar. Längre fram i processen fås tillgång till mer och mer trovärdig data som kan användas för säkrare analyser. Målet med analysen är att ge rekommendationer för hur supportfunktionerna ska utformas, och även att ge detaljerad information om logistikflödets kostnadseffektivitet. Till informationen bör även vara kopplat en känslighetsanalys för att visa hur lösningen förändras vid variationer i indata och hur antaganden i modellen påverkar lösningen.¹¹⁴ LSA handlar även om att påverka själva systemets utformning. I utvecklingsarbetet utnyttjas analysen för att identifiera undermålig design, som kommer att leda till högre underhållsfrekvens, längre tider för underhåll samt överflödigt behov av stödresurser¹¹⁵.

7.2 Livstidskostnad, LCC

7.2.1 Inledning

Insikten att det vid nyanskaffning finns mer kostnader än bara investeringen, så som ombyggnad och installation har funnits länge. Dessa kostnader ligger nära i tiden men det har även väckts ett intresse för att ta reda på vad som händer efter idrifttagningen. De här kostnaderna är osäkra och därför svåra att beräkna men trots detta har intresset för livstidskostnadsberäkningar ökat.¹¹⁶ Då ILS fokuserar på att ta fram ett system till lägsta möjliga kostnad blir livstidskostnadsberäkningar en naturlig del av ILS-synsättet. Tanken med ett ökat driftsäkerhets- och underhållstänkande är att antalet oplanerade stopp ska minska och att underhållsarbetet ska bli effektivare. Motivet för detta är att tillgängligheten kommer att öka och kostnaderna för underhåll minskar, vilket leder till en ökad vinst. LCC är ett verktyg som hjälper till att fokusera på både underhålls- och driftkostnader samt kapitalkostnader¹¹⁷.

En LCC-modell är användbar vid utvärdering av olika leverantörers anbud. En annan fördel med LCC är att leverantören i ett tidigt skede kan se och påverka olika kostnader. Målet med LCC är att i ett tidigt skede optimera investeringen med avseende på systemets kostnad över hela livslängden.¹¹⁸

7.2.2 Beräkning av LCC

Livstidskostnaden innefattar köparens totala kostnad för att köpa, utnyttja och underhålla systemet eller produkten under dess livslängd. Som det framgår av fig. 7.1 så är investeringskostnaden bara en liten bit av den totala kostnaden och därför är det viktigt att se på den totala livstidskostnaden vid upphandling av ett nytt system.

¹¹⁴ Blanchard (1981)

¹¹⁵ Galloway (1996)

¹¹⁶ Johansson och Nord (1999)

¹¹⁷ Idhammar (1996)

¹¹⁸ Borghagen (1989)

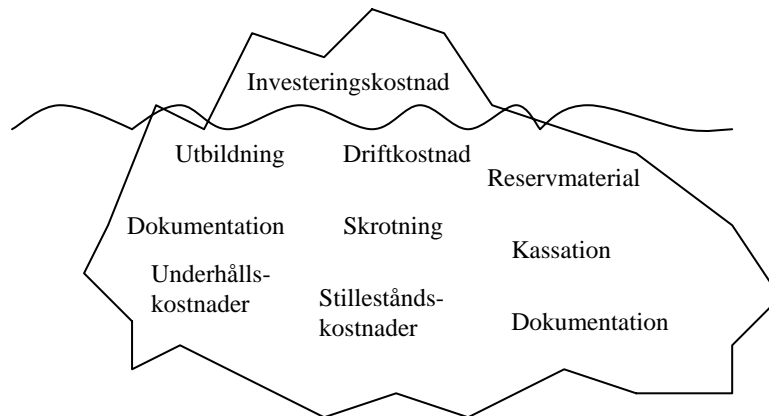


Fig. 7.1 "Isberget"¹¹⁹ som visar livstidskostnaden för ett system under hela dess livslängd och inte bara den synliga investeringskostnaden.

För att finna de kostnadslag som påverkar livstidskostnaden mest görs en rangordning av kostnaderna. Om LCC-modellen ska användas för att jämföra olika alternativ kan arbetsbördan minskas genom att utesluta de kostnader som är samma för de olika alternativen. Det är viktigt att etablera ett strukturerat arbetssätt och ett konsekvent användande av LCC-metoden för att kunna göra investeringar på stabilare grunder.

7.2.3 Fördelar med LCC

En fördel med att livstidskostnaden beräknas tidigt är att kunna göra ändringar medan de ännu har en påverkan på livstidskostnaden. Kostnaden för dessa ändringar blir också lägre än om de skulle upptäckas senare (jmf fig. 5.1). Fig. 7.2 visar hur 70% av livstidskostnaden binds upp redan under studieskedet¹²⁰. Detta är varför det är så viktigt att LCC-analyser görs redan i samband med de första offerterna.

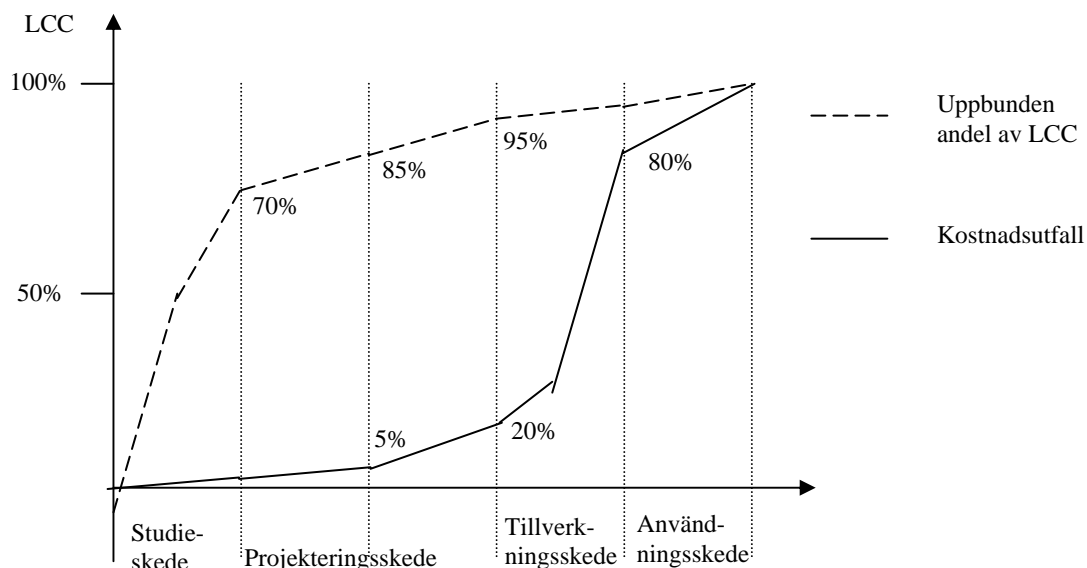


Fig. 7.2 Besluts inverkan på de kommande kostnaderna jämfört med när i tiden de tas.¹²¹

¹¹⁹ Bergman och Klefsjö (2001)

¹²⁰ Johansson och Nord (1999)

¹²¹ Johansson och Nord (1999)

Andra fördelar med att beräkna LCC är¹²²:

- Underhållsorganisationen och produktionen får tidigt information som krävs för planering.
- Val av leverantör sker på en mer heltäckande grund.
- Ett standardiserat arbetssätt.
- Kan utformas så att information för budgetering finns med.
- Kan ge information om kostnadseffekter av framtida ändringar.

En risk är att det ställs för detaljerade krav på leverantören som då får väldigt liten frihet att påverka konstruktionen. Det är bättre att ställa funktionskrav än tekniska krav då detta ger mer frihet till kreativa lösningar.¹²³

¹²² Borghagen (1989)

¹²³ Borghagen (1989)

Del 3 Empiri

8 Empiri

I kapitlet presenteras resultaten från den empiriska undersökningen, uppdelade på områdena Sex Sigma, upphandling och LCC. Resultaten föregås av en beskrivning av den empiriska studiens upplägg och utförande.

8.1 Utförande av den empiriska studien

För att författarna inte vill styra intervjuobjekten för hårt och därmed missa intressanta aspekter utnyttjas ostrukturerade intervjuer. Till hjälp används ett antal huvudfrågor (se appendix IV) som stöd. Ett ostrukturerat intervjuförfarande används för att finna styrkor som kan utnyttjas och svagheter som kan förbättras i den existerande processen som författarna inte på förhand kan förutse. Den empiriska studien kan delas upp i en del som genomförs på VCC och en del som genomförs på Systecon AB. Som komplement genomförs också samtal med representanter för Sex Sigmaorganisationen på Alfa Laval. Denna del av studien syftar till att få återkoppling på den framtagna modellen från personer som arbetar med upphandling och kvalitet i ett annat tillverkande företag.

Studie Volvo Car Corporation

Intervjuer och samtal genomförs för att:

- Ta reda på Volvos Sex Sigma och DFSS-arbete.
- Samla in information till beskrivningen av den nuvarande upphandlingsprocessen av produktionsutrustning.
- Ta reda på kravbilderna vid anskaffning av ny produktionsutrustning.

Studie Systecon AB

Exempel på genomförda LCC-upphandlingar studeras. Intervjuer och samtal sker med representanter från Systecon AB för att få information om deras synsätt på hur LCC ska hanteras vid anskaffning av system.

Referensstudie Alfa Laval

En referensstudie genomförs för att få en uppfattning om hur ett annat tillverkande företag hanterar upphandling och DFSS. Samtal med personer ansvariga för upphandlingsprojekt och Sex Sigmaprojekt inom avdelningen för produktionsutveckling genomförs för att få denna information samt för att få återkoppling på den modell som presenteras senare i studien. Alfa Laval genomför också turn-key upphandlingar av tillverkningssystem, vilket gör Alfa Laval till ett lämpligt referensföretag.

8.2 Kvalitetsarbete enligt Sex Sigma på VCC

Fig. 8.1 beskriver i ett övergripande flöde hur implementeringen av Design för Sex Sigma respektive Sex Sigma har skett på VCC och hur de väljer metod beroende på projektets natur.

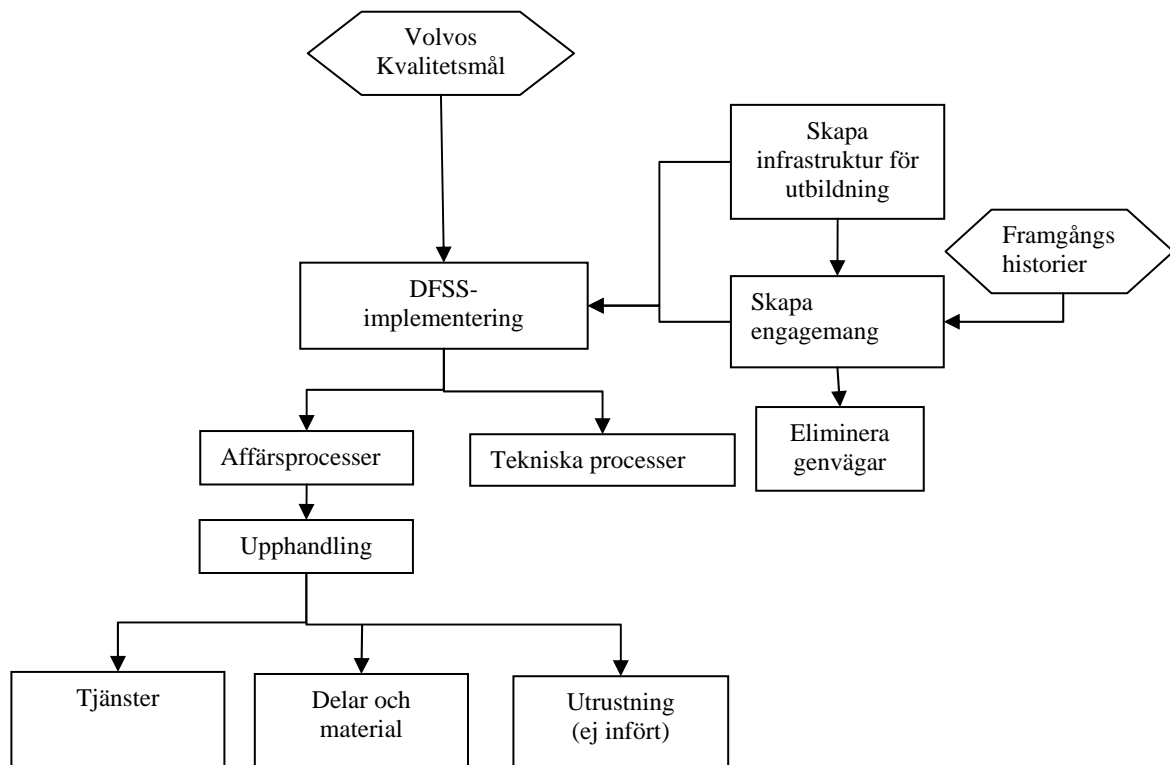


Fig 8.1 DFSS implementering.

8.2.1 Strategi

Sedan 1999 är VCC helägt av den amerikanska biltillverkaren Ford Motor Company. Redan innan övertagandet hade Ford lanserat Sex Sigma som en företagsövergripande metod för kvalitetsförbättringar. Initiativet att införa både Sex Sigma och Design för Sex Sigma på VCC har kommit från Ford. Redan året efter Fords köp startade Sex Sigmaarbetet på VCC. Efter att Sex Sigma blivit förankrat som en metod för kvalitetsförbättring var tiden mogen för införande av Design för Sex Sigma i slutet av 2003.

Satsningen på DFSS har som mål att metoden ska bli det standardiserade arbetssätt som används vid all processutveckling, då man idag saknar standardiserade metoder för utveckling av nya processer. I sitt första skede är den strategiska satsningen främst inriktad på att införa DFSS som en metod för att utveckla tjänsteprocesser. De processer som är relaterade till bilarna, framförallt produktutvecklingen, har inte kommit lika långt i införandet av DFSS. Detta har att göra med att produktutvecklingsprocessen för en bil är så omfattande och komplex att ett införande här är svårare. Utmaningen består i att integrera den existerande produktutvecklingsprocessen med metoderna från DFSS. Detta på grund av att det är många avdelningar inblandade och att det finns en risk att motståndet blir stort mot ett helt nytt arbetssätt.

8.2.2 Strategiska mål

Strategiska mål fram till och med 2005 innefattar att grunden för användandet av DFSS ska ha lagts, samt skapandet av engagemang för metoden. Det övergripande målet för strategin efter 2005 är att reducera ledtiderna för DFSS-projekt utan att göra avkall på kvaliteten. Ett problem är att projektgrupperna idag tenderar att ta genvägar framförallt mellan det första och andra steget i sin DFSS-process. Dessa genvägar leder till en försämring av projektens kvalitet och effektivitet.

8.2.3 Arbetsgång

Arbetsgången i traditionell Sex Sigma, DMAIC, används i stort sett likadant på de flesta företag och inom de flesta industrier, så också på Ford Motor Company och på VCC. I DFSS däremot skiljer sig arbetsgången åt mellan olika organisationer. På VCC används metoden DCOV som står för Define, Characterise, Optimise, Validate. Denna metod är samma modell som används inom hela Fordkoncernen. På VCC gör man en åtskillnad i sin DCOV-process beroende på om en affärsprocess eller en teknisk process hanteras. På VCC ser man denna åtskillnad som ett övertag mot DMADV metoden som inte gör åtskillnad mellan de olika processerna.

8.2.4 Organisation

Organisationen på en högre nivå för Sex Sigma och DFSS är densamma, men projekten skiljer sig tydligt åt vid utförandet. På VCC har ca 470 personer utbildats till Black Belts. Black Belts är projektledare och ansvarar typiskt för 2-3 projekt parallellt. Dessa stöds i sin tur av ca 20 Master Black Belts. Antalet Sex Sigmaprojekt som genomförts på VCC närmar sig 1500. Projektgrupperna består typiskt av 5-10 personer. På VCC strävar man efter att skapa projekt som ska kunna genomföras på 4-6 månader. Genom att bryta ner målen för de identifierade styrvariablerna i delmål lyckas man skapa projekt av rimlig omfattning.

8.2.5 Förbättringsarbetets gång

Tidigt i projekten görs en processkartläggning för att beskriva den verkliga processen. Genom detta kan icke-värdeskapande aktiviteter identifieras för att sedan elimineras i förbättringsprojekten. De flöden som inte ingår i den värdeskapande processen brukar benämnas gömda fabriker. Hit räknas t.ex. allt omarbete. Förbättringsarbetet inriktas först mot att minska processernas spridning. När detta är uppnått skiftar arbetet till att centrera processernas utfall kring de uppställda målvärdena.

8.2.6 Kvalitetsarbete med icke-repetitiva processer

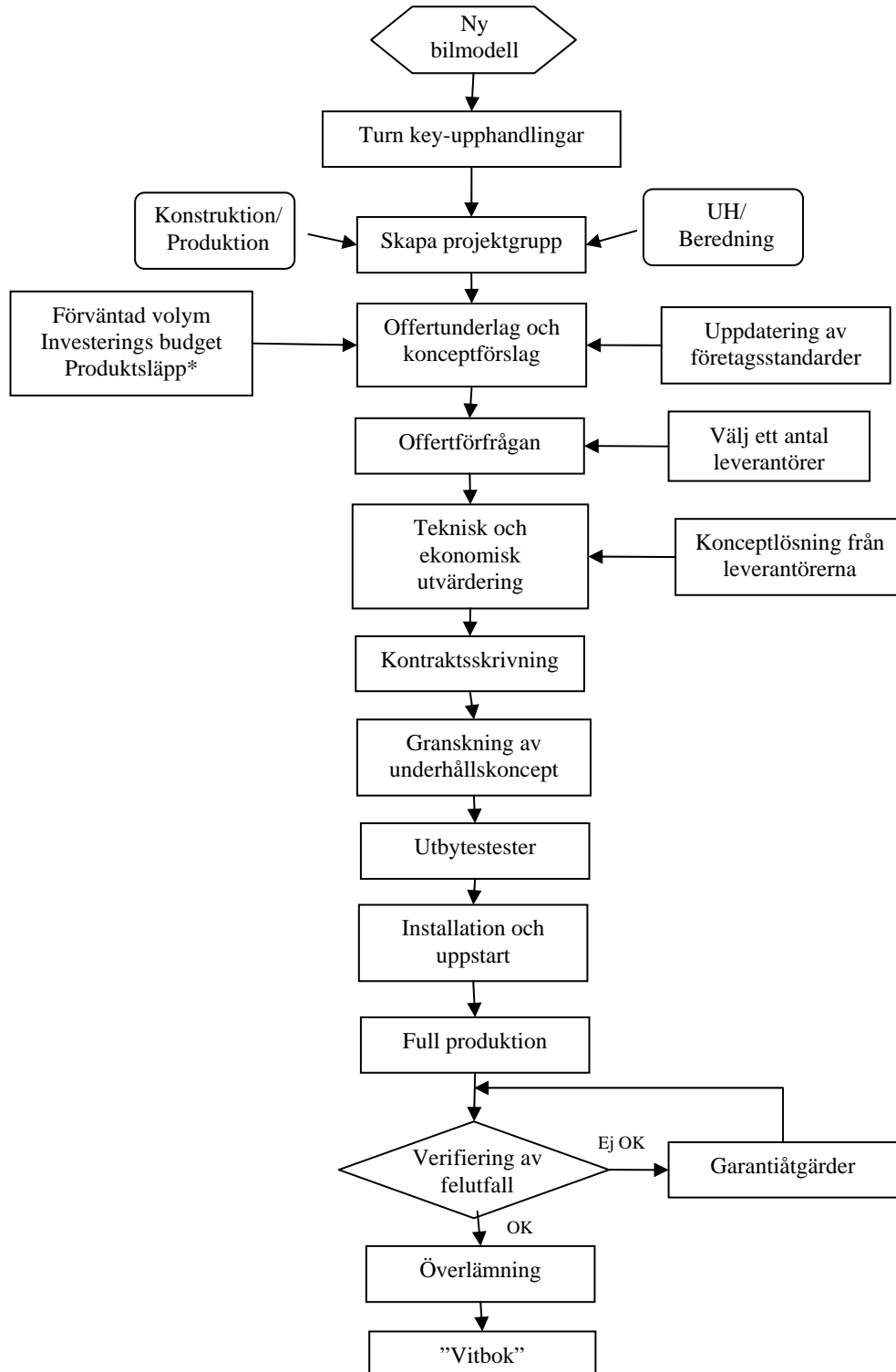
Sex Sigma och DFSS är generellt bäst lämpade för repetitiva processer där upprepningsfrekvensen är hög. När det gäller Sex Sigmaprojekt är detta nödvändigt för att ge ett material som kan behandlas statistiskt. Vid utveckling enligt DFSS försöker man på VCC fokusera på kortare projekt som kan leverera snabba vinster. Åsikten bland företrädare för DFSS på VCC är att processen för upphandling av hela produktionssystem sker för sällan och att den pågår för länge. Idag varar ett upphandlingsprojekt på VCC ca 3 år. Det finns dock anledning att tro att denna tid kommer att minska, eftersom man på VCC har en målsättning att förkorta ledtiden från dagens ca 40 månader till 28-30 månader när det gäller tiden från start av utvecklingsarbetet till produktionsstart.

8.2.7 DFSS vid upphandling

Upphandling av material och delar är en process som väl lämpar sig för DFSS tack vare sin repetitiva natur. Här har också VCC identifierat en potential för att ta fram nya upphandlingsprocesser enligt DFSS. Företrädare för Volvos DFSS-organisation anser dock inte att upphandling av produktionssystem ska ses som en ingående del i DFSS. Istället betraktas upphandlingen som en exekutiv funktion, vars uppgift är att se till att utrustningen levereras till rätt specifikationer.

8.3 Volvos upphandlingsprocess av produktionsutrustning

Upphandlingsförfarandet som beskrivs i fig. 8.2 gäller för upphandling av produktionsutrustning till A-fabriken på Volvo Cars Torslanda.



*Uppdaterad information om bilmodellens design.

Fig. 8.2 Flödet för upphandling.

8.3.1 Grunder för upphandlingen

Upphandlingsprojekt för hela produktionssystem sker vid introduktion av nya modellserier. De sträcker sig vanligtvis över tre år och sker normalt med ungefär lika långa intervall. Mycket av produktionsutrustningen för att bygga bilar i konventionella material, dvs. stålplåt, bygger på etablerade tekniker som är allmänt förekommande inom bilindustrin. Detta medför att upphandlingen till en början i stort sett är oberoende av produktutvecklingsarbetet. Detta gör i sin tur att upphandlingen av produktionsutrustning tar vid redan när beslut om att bygga en ny modellserie tas. På VCC finns en generisk plan som beskriver hur upphandling ska genomföras. Dock anpassas processen till att passa det aktuella projektet och projektgruppens arbetssätt. Projektgruppen betraktar inte upphandlingsplanen som ett bindande dokument.

En processbeskrivning för upphandlingsprocessen har tagits fram och redogör för hur man anser att upphandling bör genomföras. Man har inte lyckats förankra beskrivningen i projektgruppen och den har ännu inte utnyttjats i något upphandlingsprojekt i A-fabriken. Denna process åskådliggörs tillsammans med förslag till förändringar i appendix V.

All dokumentation som krävs in under upphandlingsprocessen ska vara på den form som föreskrivs av Volvos standard. Ibland är det svårt att få in informationen på rätt sätt men detta löses generellt med ett samarbete med leverantören. Ett problem är att dokumentationen tenderar att bli väldigt tung och omfattande. Det är önskvärt från driftsäkerhetsavdelningen att skilja ut den kritiska dokumentationen, t.ex. de instruktioner som behövs för en stations direkta drift och underhåll, samt åtgärder av de vanligast förekommande felen. Sådan dokumentation vill man placera nära stationen för att förkorta reparationstider och säkerställa att förebyggande underhåll utförs enligt rätt instruktioner. Det finns ett behov av att identifiera var de olika delarna av dokumentationen behövs.

8.3.2 Organisation

Gruppen som arbetar med upphandling är helt projektorganiserad och varje upphandling hanteras som ett enskilt projekt. Projektgruppen innefattar personer med skilda kompetenser som har olika ansvarsområden som t.ex. driftsäkerhet, produktion och utrustningsutveckling. Teamet kan därför sägas vara multifunktionellt.

Vid tidigare upphandlingar kom driftsäkerhetspersonal in mycket senare i processen men idag är de med redan innan kontraktsskrivandet. Trots att de arbetar fulltid i upphandlingsprojektet rapporterar de till chefen för driftsäkerhetsavdelningen. Förutom att undersöka de underhållslösningar som leverantören föreslår, ska de säkerställa att hänsyn tas till underhållsmässighet vid upphandlingen. Detta måste ske så tidigt som möjligt eftersom konstruktionsändringar sent i processen är dyra och därmed svåra att få igenom.

8.3.3 Förarbete

Vid nya projekt för upphandling av ny produktionsutrustning uppdateras alla företagsstandarder som reglerar leverantörernas arbetssätt och utformningen av utrustningen. Standarderna används som en del i upphandlingen, och leverantörerna måste acceptera att arbeta efter dem. Kompromisser görs i vissa fall, och ibland leder leverantörens förslag till en uppdatering av standarden. Standarderna som används ska vara så generella att de kan användas för alla liknande projekt. Det finns en strävan mot att använda så få lokala standarder som möjligt. De standarder som härrör till lagkrav bör vara på EU-nivå och om globala standarder finns så är de att föredra. Fördelarna med detta är att samma standarder kan användas för alla europeiska produktionsanläggningar. Man vill med hjälp av standarderna samordna tekniken på de olika produktionsanläggningarna och på produktionsavsnitt inom dessa. Fördelar som uppnås är bl.a att det ej krävs så omfattande utbildning för personalen som ansvarar för service och drift.

Uppdateringsarbetet sker under större delen av upphandlingsprocessen och kan betraktas som en del i organisationens lärandeprocess.

8.3.4 Kravställning

Krav som ställs på leverantörerna innefattar krav på vilka volymer som ska produceras, men också krav på teknisk tillgänglighet. Just den tekniska tillgängligheten anses som det viktigaste värdet när det gäller prestandakrav. Kraven på teknisk tillgänglighet sätts utifrån benchmarking, och vad de bästa i branschen presterar. Det finns även en mängd andra krav, så som de olika standarderna och tekniska krav som måste vara uppfyllda. VCC kräver även in information om underhåll och reservdelar till utrustningen samt FMEA-rapporter. Leverantörerna ska också lämna in simuleringsmodeller som sedan används som en del i verifieringen av de uppställda prestandakraven. Kravställningen grundas även på tidigare erfarenheter och information från produktionen om vilka problem som existerar idag. Information från produktdesignteamet och information om förväntad försäljningsvolym ligger också till grund för kravställningen.

Kostnad per tillverkad enhet är det mått som tillsammans med uppnådd tillverkningsvolym bäst visar hur väl utrustningen fungerar. Något kostnadskrav per enhet ställs inte idag under upphandling. Anledningen är att VCC ej kan bryta ned sina egna kostnader i produktionen för att räkna ut livstidskostnaden per enhet. Arbetet för uppdelning av kostnader anses kräva för mycket tid och resurser. Ett annat problem är att få beräkningarna trovärdiga. Utan information om kostnader i produktionen kan rimliga krav på LCC inte ställas på leverantören, då många av kostnadsdrivarna inte påverkas av leverantörens lösning. Det finns dock ett önskemål om att kunna göra livstidskostnadsberäkningar och även att ställa krav på LCC. Från driftsäkerhetsavdelningen menar man att utnyttjande av LCC-beräkningar i upphandlingen skulle leda till större fokus på underhållsaspekter. Redan idag har man utfört LCC-analyser på enskilda nakna robotar, dvs. robotar utan verktyg, för att jämföra olika tillverkare.

8.3.5 Utvärdering

Produktionsutrustningar ser idag tekniskt sett väldigt lika ut, då de till största delen består av kombinationer av befintliga tekniker. Det innebär att de olika leverantörernas lösningar inte kommer att skilja sig nämnvärt i tekniskt utförande. Då det inte är någon större skillnad i det tekniska utförandet sker en utvärdering grundad på investeringskostnad mellan de leverantörer som har uppfyllt alla de tekniska kraven. Till hjälp för utvärderingen används bland annat Design for Maintainability, DFM, och FMEA. Simuleringsmodellen är också till stor nytta för utvärdering av framförallt prestandamåtten. Val av leverantör sker successivt. Vid första utvärderingen sker ett urval av leverantörer som sedan får mer detaljerad information och därefter lämnar in nya offerter. Denna process upprepas 2-4 gånger innan den slutgiltiga leverantören väljs och kontrakt skrivs. Efter att kontrakt skrivits kommer det fortfarande ny information från designteamet som gör att vissa modifieringar av produktionssystemet måste göras. Detta gör det ännu svårare att kunna beräkna livscykelkostnaden då det är svårt att uppskatta kostnaden av dessa ändringar.

8.3.6 Underhållsoptimering

På VCC finns väl utarbetade rutiner för hur förebyggande underhåll ska genomföras och i de fall det är möjligt används dessa. Om nya tekniker introduceras är det dock nödvändigt att uppdatera planer och instruktioner för förebyggande underhåll.

Ett krav är att leverantören lämnar en plan för hur underhåll av utrustningen ska bedrivas och vilka reservdelar som behövs. Det är inte alltid leverantören tar fram en rimlig underhållsplan, vilket gör att VCC måste utarbeta en egen, något som skulle kunna undvikas med ett närmare samarbete med leverantören vid framtagningen av underhållsplanen. Med vissa leverantörer har man tecknat ett avtal där denna tillhandahåller reservdelar för nakna robotar i Volvos fabrik, ett

s.k. konsignationslager. Först när en reservdel hämtas ut från lagret debiteras VCC för delen. På så sätt undviker man att binda upp kapital i reservdelar. Under garantitiden har man använt sig av en liknande lösning för funktionspaket¹²⁴ vilket kallas kontraktslager. Ett sådant avtal upphör när garantitiden löper ut.

Det finns krav som kommer vara överordnade underhållskraven, vilket leder till att man måste acceptera vissa komplexa lösningar som är svåra att underhålla. T.ex. är vissa ergonomikrav och andra lagkrav överordnande. Vissa produktkrav, t.ex. svetspunkter långt in på bottenplattan innebär att långa, och därmed mer underhållskrävande, svetstänger måste utnyttjas.

8.3.7 Verifiering

Om ändringar av förslaget sker görs en verifiering med hjälp av den inkrävda simuleringsmodellen för att se att det nya förslaget uppfyller produktionsvolymkravet. Upphandlingsteamet är ansvariga för att utföra en verifiering av den levererade utrustningen. Olika metoder används för denna verifiering. Krysslistor används för att kontrollera att leverantören har genomfört de aktiviteter på vilka det ställs krav. Verifiering av prestanda sker genom att invärdena till simuleringsmodellen verifieras. För att verifiera prestandavärden som MCBF (mean cycles between failure) används sekventiella tester¹²⁵, även kallade slipstester. Vid verifieringen av MTTR, som utgör ett av invärdena till simuleringsmodellen, genomförs utbyttestester av delar på den installerade utrustningen. Tester genomförs också för att verifiera processens duglighet, dvs. att den klarar av att producera produkter med liten spridning. Det görs däremot ingen kontroll av spridningen i prestandamåtten. Samma personer som formulerat kraven är sedan med vid verifieringen av dem, vilket gör att det redan vid kravställningen är genomtänkt hur verifieringen ska gå till. Verifieringen är en lång och tidskrävande process och ofta hamnar man i en situation där krav inte blivit uppfyllda. Påtryckningsmedlet mot leverantören är att delar av betalningen hålls inne och betalas ut när milstolpar i verifieringen är uppnådda. Det finns dock ett problem här och det är att det är i många fall svårt att avgöra om det är leverantörens eller Volvos fel att kraven inte uppfylls och i sådana fall måste VCC ta på sig kostnaden. Som nämnts i avsnitt 8.3.4 finns det en önskan om att ställa krav på livstidskostnaden men VCC har inte möjlighet att beräkna och verifiera den på ett tillfredsställande sätt idag.

Ofta är VCC tvungna att göra omfattande ändringar i sin produktdesign även efter kontraktets tecknande. Efter denna tidpunkt inducerar detta kostnader, och en situation uppstår där man riskerar att leverantören utnyttjar detta för att väsentligt höja priset.

Här väljer författarna att dela upp ändringarna i två grupper. Mindre ändringar har inte någon väsentlig påverkan på utrustningens prestanda och kan därför accepteras (enligt kontraktet) av leverantören utan någon prishöjning. Omfattande ändringar används för att beteckna ändringar som leder till en förändring av systemets struktur och som därmed har en inverkan på prestanda och investeringskostnaden.

8.3.8 Överlämning

Efter genomförd upphandling överlämnar projektteamet ansvaret för utrustningen till produktionen. I och med detta överförs också all dokumentation som krävts in från leverantören under upphandlingsprojektet. I denna information ingår en fullständig plan för den fortsatta driften och underhållet av utrustningen. Vid denna överlämning finns brister i informationsförmedlingen som innebär att viss information blir svårtillgänglig. Ett exempel på en bra informationsöverlämning är simuleringsmodellen som utnyttjas för vidare utvärdering.

¹²⁴ Funktionspaket innebär robot med tillhörande verktyg och styrutrustning.

¹²⁵ Se avsnitt 6.3

8.3.9 Erfarenhetsöverföring

Idag saknas ett fungerande system för att dokumentera och föra vidare erfarenheterna från en genomförd upphandling. Istället förlitar man sig idag på att de ingående gruppmedlemmarna tar med sig erfarenheterna till kommande projekt. Större delen av personerna fortsätter att arbeta med nya upphandlingsprojekt vilket gör att erfarenheter kan bevaras till kommande projekt. Man skriver en "vitbok" i slutet av projektet för att bevara de positiva och negativa erfarenheterna man gjort under projektet. Dock saknas ett engagemang för denna och den används sällan i nya projekt.

8.4 Upphandling med LCC-strategier

LCC-förfarandet som presenteras nedan har beskrivits av medarbetare på Systecon AB som har deltagit i upphandlingar med LCC-perspektiv både tillsammans med civila och militära kunder.

8.4.1 Beskrivning av LCC-förfarande vid upphandling

Innan LCC-beräkningarna börjar görs en beskrivning av systemstrukturen ur ett underhållsperspektiv. Ofta krävs det flera omarbetningar av den framtagna systemstrukturen då leverantören gör sin beskrivning ur ett tekniskt perspektiv och köparen vill ha systemet beskrivet ur ett underhållsperspektiv. Detta för att kunna använda beskrivningen vid underhållsplaneringen och till livstidskostnadsberäkningarna.

Vid anbudsförfrågan ska det specificeras hur LCC-modellen är uppbyggd och vilken information som behövs. Det är köparen som har kontrollen över LCC-modellen men den görs tillgänglig för leverantören så att denna kan kontrollera hur designuppdateringar kommer att påverka LCC.

LCC-modellen baseras dels på data som är leverantörsberoende, och dels på data som användaren styr. För att kunna genomföra beräkningar av livstidskostnaden låser man vid beräkningarna användarparametrarna och håller dessa konstanta under hela utvecklings- och verifieringsarbetet som sker efter kontraktsskrivningen. Anledningen till att information om felfrekvensen (λ) och MTTR krävs in istället för den totala tillgängligheten är att den senare inte går att verifiera. Detta för att väntetider vid reparationer påverkas av den egna organisationen och leverantören kan ej hållas ansvarig för detta.

Vanligtvis görs en uppdelning av vad som är komponenter och vad som är materiel. Denna uppdelning sker oftast genom en kostnadsindelning där billiga delar klassas som materiel. Det är endast komponenter som själva genererar fel som tas upp i beskrivningen av systemstrukturen. I LCC-beräkningarna ska även lagerhållningskostnader för reservdelar ingå. Det är viktigt att alla kostnader är fastställda innan kontraktet skrivs, annars kan leverantören höja priserna på till exempel komponenter och underhållsstöd. Vid kontraktsskrivningen ska en LCC-tröskel vara uträknad och skrivas in i kontraktet.

Verifiering sker genom att ett uppdaterat värde på livstidskostnaden beräknas med modellen och jämförs med det tidigare beräknade tröskelvärdet. På det reella systemet är det de uppdaterade värdena på λ och MTTR som verifieras för att säkerställa att livstidskostnadströskeln faktiskt uppfylls. När den slutgiltiga verifieringen har blivit godkänd är LCC-åtagandet avslutat. Det utfall som verkligen uppkommer efter godkännandet är leverantören ej ansvarig för.

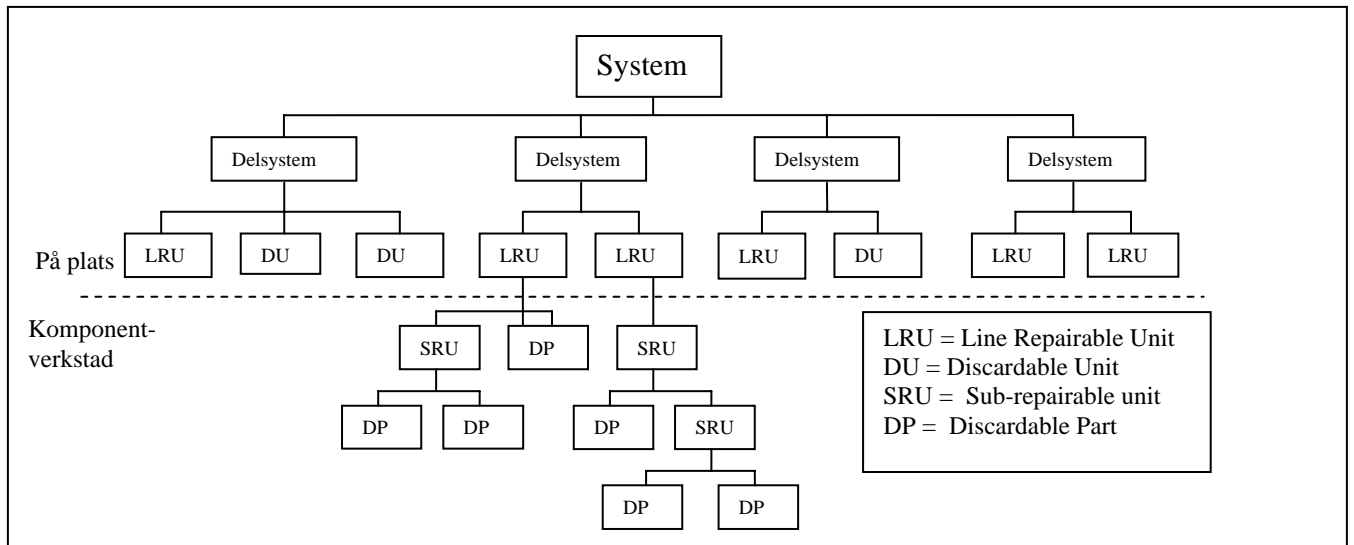


Fig 8.3 Exempel på systemstruktur.¹²⁶

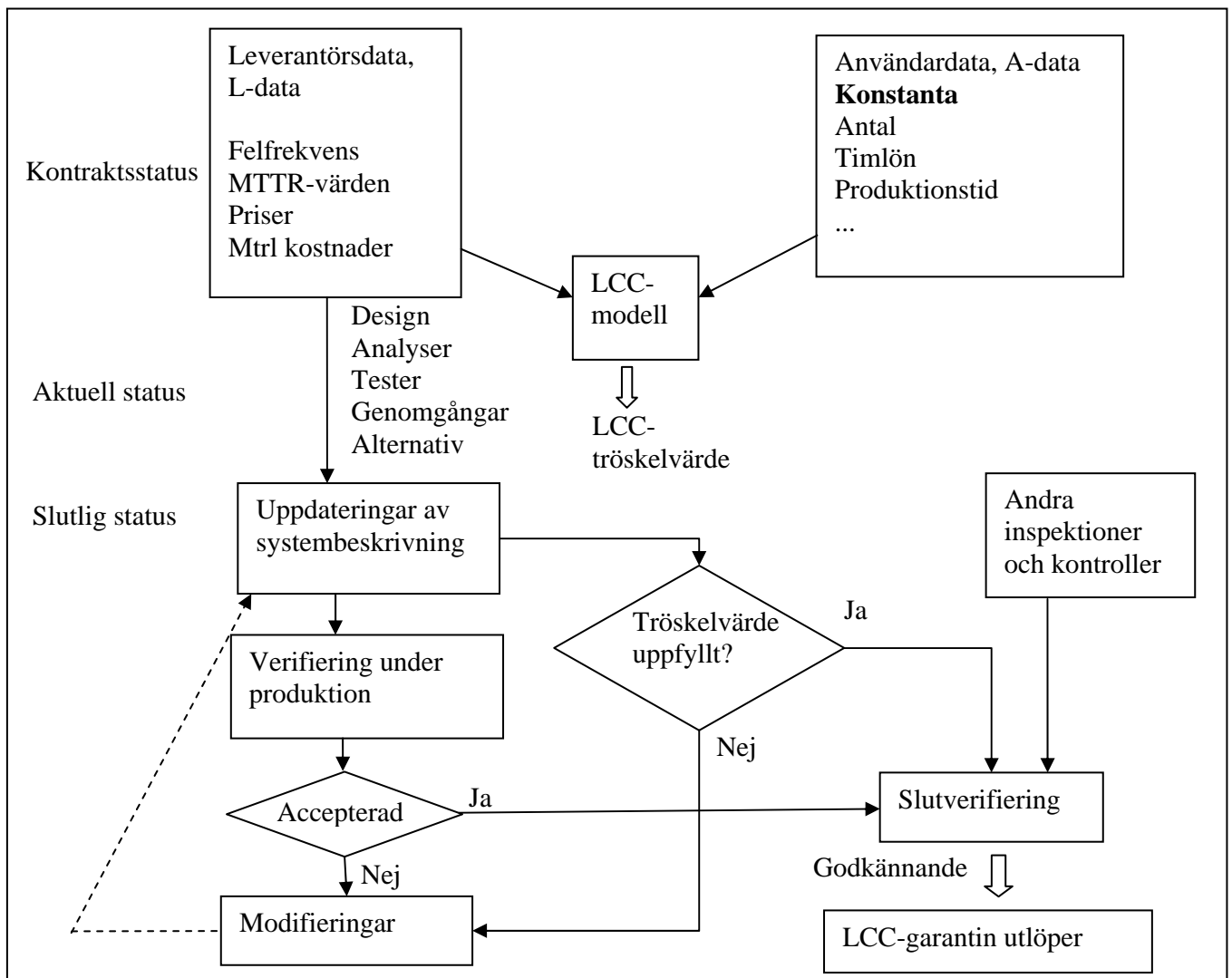


Fig. 8.4 Övergripande beskrivning av upphandling med LCC-strategi.¹²⁷

¹²⁶ LCC-procedure, Systecon AB

¹²⁷ LCC-procedure, Systecon AB

8.4.2 Upphandlingar som genomförts med LCC-strategier

LCC som utvärderingsgrund

Vid en upphandling där ett helt nytt system togs fram ställdes inga krav på livstidskostnaden men däremot användes LCC som underlag för utvärdering av de olika leverantörerna. Anledningen till att ett krav inte ställdes var på grund av osäkerheten när ett helt nytt system utvecklas. Istället träffades ett avtal med leverantören som innebär att leverantören står för underhållet i fem år till en överenskommen fast kostnad per operationstimme.

LCC som kontraktsskrav

I en annan upphandling användes LCC-modellen som utvärderingsgrund och även som ett krav i kontraktet tillsammans med λ och MTTR. En modell utvecklades för att beräkna livstidskostnaden där leverantörens parametrar utgjorde ingående data. De viktigaste av dessa var λ , MTTR samt kostnaden för komponenter och materiel. Felintensiteten verifierades under ca 3 år för att få ett statistiskt tillförlitligt underlag och medelreparationstiden genom utbytestester där köparens personal utförde felsökning och utbyte av den felande delen. 20-30 av de möjliga felen valdes slumpmässigt ut från databasen, som också innehöll de förutsedda tiderna för felen, då det är allt för tids- och resurskrävande att kontrollera alla möjliga fel. Om leverantören inte uppfyller kraven är det dennes skyldighet att modifiera systemet så att dessa uppfylls. Om detta skulle vara för dyrt eller tidskrävande måste han bevisa detta för kunden, dock träder i en sådan situation en ekonomisk kompensation in.

8.4.3 LCC-modellen som ett styrmedel för förbättring av konstruktioner

LCC-modellen kan brytas ner till tumregler åt konstruktörerna och innebära ett incitament att ta med driftsäkerhetsparametrar i konstruktionen. LCC är inget verktyg som i sig förbättrar konstruktionen, men det kan användas för att styra förbättringar. För att detta ska fungera är det viktigt att sälja in idén till leverantören och att han förstår modellen och vilka faktorer som påverkar LCC.

8.4.4 Viktiga aspekter vid upphandling med LCC-strategier

Under intervjuer med representanter från Systecon, som deltagit i LCC-upphandlingar, påpekades aspekter som bör övervägas vid upphandling med LCC-strategi. Det är viktigt att beskriva nuläget för att se vad som behövs förbättras och vilka krav som ska ställas. En databas för uppsamling av erfarenheter som kan ligga till grund vid nya upphandlingar effektiviserar arbetet. Användandet av LCC-strategier gör att "kompisskapet" vid en upphandling tas bort och att valet istället sker på strikta ekonomiska grunder.

Vid införandet av LCC är det viktigt att tänka på:

- Att modellen ska vara enkel och tydlig
- Att kostnadssambanden ska vara lätta att förstå
- Att fokusera på de tyngsta kostnadsdrivarna
- Att leverantörerna måste förstå modellen

Det finns 4 huvudfrågor som bör ställas vid upphandling:

- Vilka är kraven?
- Hur ska dessa verifieras?
- Vad blir konsekvenserna om kraven ej uppfylls?
- Vad blir den totala kostnaden? (Den del som påverkas av val av leverantör)

8.4.5 Resursoptimering

ILS är ett synsätt som tar upp alla resurser som behövs för underhållet och driften av ett system och som syftar till att minimera kostnaden för dessa resurser. Systecon AB har vid upphandlingar arbetat utifrån detta perspektiv. Ett rapporteringssystem för underhållsaktiviteter ska införas för att kunna spåra om uteblivet eller fel utfört underhåll är orsaken då ett haveri inträffar. Det är viktigt att registrerings- och underhållssystemen är kostnadseffektiva och anpassade för uppgiften. Man bör vara medveten om att det finns en risk att det uppstår problem med rapporteringsmoralen och att rapporteringen därmed blir ofullständig.

För att underlätta underhållsåtgärder är det viktigt att dokumentationen vid upphandling sker på ett tillfredsställande sätt med information som är lättillgänglig. Lättillgänglig information kan innebära att kostsamt dubbelarbete undviks, både under upphandlingen och efter systemet tagits i drift. Det underlättar om det finns en standard inom branschen om vilken form informationen ska dokumenteras på. Dock krävs att det finns en stor sammanslutning bakom beslutet. Optimering av lagernivåer för reservdelar sker utanför det kontrakterade LCC-åtagandet. I LCC-modellen ingår beräkning av säkerhetslager för att inte få för lång väntetid vid brist.

8.5 Upphandling av produktionsutrustning på Alfa Laval

På Alfa Laval Operations Development har man drivit Sex Sigma i tre år och man har börjat införa idéer från DFSS vid upphandling.

8.5.1 Kravspecifikation

Vid upphandling definieras de kritiska kvalitetsfaktorerna, CTQs, för att fokusera på dessa under kravställningen. Ett verktyg som används för att finna dessa och vilka åtgärder som krävs är FMEA. Alfa Laval anser att det är fördelaktigt om ett multifunktionellt team sätts samman för att ta fram FMEA-rapporterna. Fördelen är att gränssnitt mellan olika delprocesser tydliggörs och även kraven däremellan. Man vill även utnyttja FMEA på befintlig utrustning för att undvika att göra om tidigare misstag. Det är också viktigt att uppfatta produktionspersonalens behov och upplevelser av processen. Detta kan uppnås genom att de är med vid framtagningen av FMEA. Ytterligare en fördel med FMEA är att den används för riskanalys av utrustningen och om man accepterar en risk gör man det medvetet.

För att inte styra leverantören för hårt och därmed missa kreativa lösningar försöker man på Alfa Laval ställa funktionella krav. Alfa Laval är dock tvungna att ställa krav på vissa delar som man valt att standardisera inom företaget, t.ex. vill man kunna utnyttja ett gemensamt lager för reservdelar. Om leverantören kan påvisa en betydande effektivitetsvinst är man dock beredd att gå ifrån standardiseringskravet.

8.5.2 Utvärdering av leverantör

Vid utvärdering av leverantörer används inte livstidskostnadsberäkningar. Däremot görs överväganden av olika kostnader som kan påverka utfallet, som t.ex. användandet av dyra reservdelar. Ytterligare faktorer kan vara behovet av att utbilda personal i den egna underhållsorganisationen om kompetens saknas för underhåll av den nya utrustningen. Ergonomi och åtkomlighet för utrustningen analyseras och brister påpekas för leverantören.

8.5.3 Verifieringsmoment

Verifieringen sker successivt och ett grindsystem används för att bestämma när en aktivitet är avslutad och man ska gå vidare i upphandlingen. Till dessa milstolpar är delbetalningar till leverantören kopplade. En av aktiviteterna som används är redovisning av konstruktionen och godkännande för att få starta tillverkningen. För verifiering görs också FAT, factory acceptance test, där en verifiering av utrustningen görs hos leverantören innan denna får tillstånd att installera utrustningen i fabriken. Sist görs SAT, site acceptance test, som sker på den installerade utrustningen och är den sista verifieringen.

8.5.4 Upphandling och DFSS

Alfa Laval håller på att undersöka möjligheten att införa DFSS i sin organisation och har börjat känna på vissa verktyg och metoder. De har t.ex. använt Kanomodellen för att kategorisera och bedöma vikten av olika kundbehov och hur dessa påverkar kundtillfredsställelsen och därmed intäkterna. Detta gör att upphandlingsteamet tvingas till att ta hänsyn till kundkraven och hur de ska uppfylla dem. Som nämnts tidigare tar de också fram CTQs precis som DFSS förespråkar. Man har börjat utreda möjligheten att använda QFD för att ta fram CTQs. De har även börjat bygga upp en databas för erfarenhetsbevaring och dokumentation från tidigare projekt. Detta är idag välfungerande för dokumentering av genomförda Sex Sigmaprojekt. Samtliga dokument som använts i ett Sex Sigmaprojekt är tillgängliga och kan utnyttjas vid genomförandet av andra projekt. Man anser att det måste finnas ett engagemang från användarna och att dessa måste inse nyttan med att uppdatera informationen för att databasen ska fungera effektivt.

Del 4 Analys och slutsatser

9 Modell för DFSS-upphandling

I kapitlet presenteras den framtagna modellen för upphandling. Modellen analyseras med DFSS-faserna som utgångspunkt. Styrkor och svagheter med den föreslagna modellen presenteras. De verktyg som ska utnyttjas i modellen presenteras och deras användning förklaras.

9.1 Utgångspunkt för analys

I beskrivningen av modellens faser motiveras val av metoder och verktyg utifrån den teoretiska referensramen. Arbetsgången inom DFSS ligger till grunden för vår analys. En sammanfattad grafisk framställning av arbetsgången i DFSS, tillsammans med de viktigaste verktygen, presenteras i fig. 9.1. En mer ingående beskrivning av de fyra faserna och verktygen finns i styckena 5.4 och 5.5.

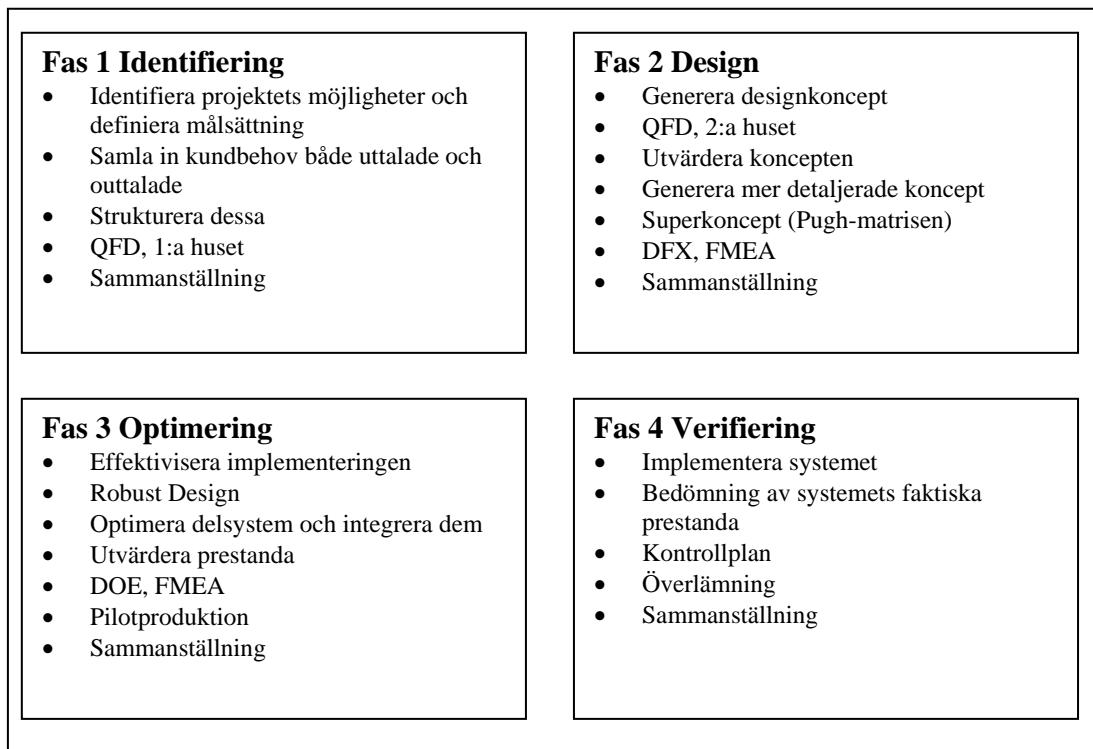


Fig 9.1 Sammanfattning av faserna och verktygen i DFSS.¹²⁸

¹²⁸ Modellen är en sammanfattning av beskrivningen av faserna som återfinns i kapitel 5.4.

9.2 Modell för DFSS-upphandling, D²UOV

9.2.1 Översikt

Vid framtagningen av modellen DFSS-upphandling har tankesättet från DFSS förts in i upphandlingsprocessen. Resultatet är en beskrivning av en arbetsgång som består av fem faser. För att föra in DFSS-tankesättet har modellen i fig. 9.1 använts som grund för den nya modellen. Vissa delar har förändrats för att anpassas till en upphandlingsprocess istället för produktutveckling. Hädanefter kommer benämningen D²UOV-modellen användas.

Fas	Beskrivning	Verktyg
Definiera	<ul style="list-style-type: none"> - Definiera tydliga målsättningar - Identifiera intressenter - Samla in explicita och outtalade behov - Identifiera de största kostnadsdrivarna - Sammanställning och uppföljning 	Kanomodellen Affinitydiagram Benchmarking Brainstorming Paretdiagram
Detaljera	<ul style="list-style-type: none"> - Översätta behov till kvantifierbara systemegenskaper - Fastställa hur dessa parametrar ska mätas för att verifieras - Uppdatera LCC-modellen* - Eget förslag till koncept - Informera leverantörerna och begär in offerter - Sammanställning och uppföljning 	QFD Ishikawadiagram Brainstorming
Utvärdera	<ul style="list-style-type: none"> - Utvärdera förslagen med avseende på: <ul style="list-style-type: none"> • Uppfyllandet av de tekniska kraven • Livstidskostnaden • Underhållsmässighet - Utnyttja simuleringsmodell för utvärdering - Välj ut de bästa förslagen - Ny informationsutlämning och offertbegäran - Ny utvärdering och val av det bästa förslaget - 'Superkoncept' om möjligt - Kontraktsskrivning 	DFM** FMEA Pugh-matrisen Simuleringsmodeller LCC-modell
Optimera	<ul style="list-style-type: none"> - Optimera resursförbrukningen <ul style="list-style-type: none"> • Underhållsplanering • Lagernivå för reservdelar - Sammanställning och uppföljning 	LSA
Verifiera	<ul style="list-style-type: none"> - Verifiering: <ul style="list-style-type: none"> • Hos leverantör • Under pilotproduktion • Vid normal produktion - Skapa kontrollplan - Överlämning av systemet och tillhörande dokumentation - Sammanställning och uppföljning 	Krysslistor Utbytesstester Slipstester SPS

*Första gången är framtagning av LCC-modellen nödvändig.

** Design for Maintainability.

Fig. 9.2 Översikt över aktiviteter och verktyg i D²UOV-modellen.

9.2.2 Skillnader och likheter i modellerna

Som ses i bilderna ovan skiljer sig den framtagna modellen för DFSS-upphandling i fig. 9.2 från den för utvecklingsarbete enligt DFSS-teori i fig. 9.1. Detta för att DFSS i första hand är framtagen för utveckling av nya produkter. D²UOV-modellen ska användas vid upphandling och därmed sker inte det största utvecklingsarbetet av dem som utnyttjar modellen. Detta innebär också att det enbart är det första huset i QFD som behövs utföras. För att aktiviteterna i de olika faserna ska ha en logisk indelning är det lämpligt att genomföra QFD i den andra fasen, kallad *detaljera* i D²UOV-modellen, där kraven som ligger till grund för designkonceptet bestäms. Anledningen till att ingen fas heter och handlar om design är att den mesta designen sker av leverantören. VCC köper även utvecklingsarbetet och behöver därmed bara ta fram information om hur de önskar att systemet ska se ut. Därmed är detaljera ett bättre sammanfattande ord för fas nummer två. Vid upphandling har utvärderingen av olika leverantörer en stor roll och för att förtydliga detta är utvärderingen ett eget steg i modellen. Optimeringsfasen skiljer sig en del mellan de olika modellerna då man vid upphandling inte har en produkt som man optimerar. Istället optimeras systemets stödresurser då det är dessa som påverkas av VCC. De sista faserna kan sägas vara likadana i sina upplägg. Verifieringen är viktigare vid upphandling eftersom den egna organisationen inte står för utvecklingsarbetet. Då man har tecknat ett avtal med utrustningsleverantören måste man kunna kontrollera att detta uppfylls så som specificerat.

9.2.3 Process

Upphandlingen ska för att vara effektiv utgå från ett processsynsätt. Enligt Johansson och Nord (1999) ger det en helhetsbild och en större möjlighet till en optimering av systemet som helhet. Upphandlingen enligt D²UOV-modellen ska utföras av en multifunktionell projektgrupp. Detta för att undvika ett funktionellt synsätt, där risken är uppenbar att systemets delar optimeras utan medvetenhet om dess påverkan på systemet som helhet. Bergman och Klefsjö (2001) framhåller att processsynsättet fokuserar på hur resultaten produceras snarare än vilken funktion som ska utföra de olika uppgifterna, något som på ett effektivare sätt leder till uppfyllelse av målen.

9.3 Analys av faserna i D²UOV-modellen

9.3.1 Definiera

Definiera projektet

Den första fasen startar med en definition av upphandlingsprojektets målsättning och omfattning. En projektspecifikation ska skapas och utnyttjas som ett styrmedel för projektet. Enligt Project Management Institute (2001) ska en hanterbar detaljeringsgrad väljas, för att möjliggöra styrning och kontroll av projektet. Genom att fokusera på definition och skapande av projektplan så undviks problem med genvägar i kommande faser, något som har identifierats som ett problemområde av de på VCC som är ansvariga för implementeringen av DFSS. Fördelen med en tydlig projektplan är att ledtiden för projektets genomförande förkortas, t.ex. genom att dubbelarbete kan undvikas och resurser kan avsättas till de områden där de bäst behövs. Brue och Launsby (2003) argumenterar för att utnyttjandet av DFSS hjälper organisationer att korta ledtiderna från projektstart till lansering, ett resonemang som kan antas också gälla vid upphandling, och då i form av en tidigare driftsättning.

Behovsinsamling

För att säkerställa att alla behov samlas in och tas hänsyn till är det viktigt att alla intressenter identifieras. Enligt DFSS-teorin är behovsinsamlingen grundstenen för ett utvecklingsprojekt och kritisk för dess framgång. Detta poängteras i den första fasen av DFSS. Genom en grundlig insamling av behov minimeras risken att kritiska behov utelämnas. Enligt Brue och Launsby (2003) ska behoven helst inte vara uttryckta som tekniska lösningar utan snarare som funktionella

behov så att ingenjörerna kan finna den bästa tekniska lösningen. Det är då viktigt att vara medveten om att det finns behov som inte uttrycks men som ändå är kritiska. Här tjänar Kanomodellen¹²⁹ som hjälp för att bidra till förståelsen av basbehov och "excitement needs". I samband med att projektet definieras ska också projektgruppen tillsättas. Ett sätt att hantera behovsinsamlingen är att ta med resurser från berörda avdelningar, och låta dessa bli ingående medlemmar i projektgruppen. Enligt Stamatis (2003) är tvärfunktionalitet, eller multifunktionalitet, viktigt att uppnå. Dock pekar han på svårigheterna att tillsätta grupper av en sådan sammansättning. Genom att personerna finns med och får ett ansvar för sina respektive områden, blir behovsinsamlingen mer heltäckande än om de enbart skulle frågas ut.

Identifiering av kostnadsdrivare

De största kostnadsdrivarna måste identifieras för att möjliggöra LCC som ett utvärderingskriterium. Eftersom det är kostsamt och tidskrävande att göra en LCC-modell rekommenderas att modellen baseras på de aktiviteter som har störst inverkan på totalkostnaden. Enligt erfarenheter från genomförda LCC-upphandlingar är det de kostnadsdrivare som påverkar drifts- och underhållskostnaderna av systemet, och bland dessa endast de som skiljer mellan de olika alternativen, som det är av intresse att identifiera och analysera. Statistiska data från en nuvarande produktionsanläggning kan användas för identifiering av de största kostnadsdrivarna. På grund av att systemens uppbyggnad är relativt lika är ett antagande om att kostnadsdrivarna också är de samma relevant. Modellen är till för utvärdering och skall ej användas för budgetering och behöver därför inte göras så detaljerad. Enligt Brue och Launsby (2003) syftar DFSS till att reducera livstidskostnaderna genom att designa rätt från början. För detta är LCC-beräkningar ett hjälpverktyg för att säkerställa att leverantören fokuserar på de faktorer som påverkar LCC och på så sätt få en resurssnålare utrustning. Som visats i fig. 7.1 täcker livstidskostnaden in betydligt mer kostnader än bara grundinvesteringen och det är lätt att man inte förstår vikten av dessa kostnader. Detta är ett starkt argument för att använda livstidskostnaden som ett utvärderingskriterium och inte enbart investeringskostnaden. Användandet av LCC kräver ett processsynsätt, då detta möjliggör identifiering av de dolda kostnaderna i "isberget".

Sammanställning och uppföljning

Vid slutet av fasen ska de genomförda aktiviteterna sammanställas och följas upp. Detta för att säkerställa att alla viktiga moment har genomförts med tillfredsställande resultat. Sammanställningen spelar också en viktig roll för att kommunicera en helhetsbild av projektets status till hela teamet. Om hela teamet är uppdaterat med projektets status kan dubbelarbete undvikas.

9.3.2 Detaljera

Omvandling av behoven med QFD

Arbetet i *detaljerna* går ut på att med första huset i QFD översätta de insamlade behoven och önskemålen till funktionella krav på systemet. Anledningen till att det är det första huset ska användas, och inte det tredje som beskriver översättning av delarnas egenskaper till tillverkningsprocessen, är att i detta fall är kunden intern, dvs. kunden är fabriken som tar emot utrustningen. På så sätt blir det fabriken behov som ska samlas in och sedan översättas inför kravformuleringen. De egenskaper som relateras till behoven blir då systemets egenskaper istället för produktens egenskaper. Vi betraktar inte slutanvändaren som kund för upphandlingsprojektet, och tar därför inte med deras behov i kvalitetshuset. Under empiriinsamlingen har vikten av att ställa funktionella krav för att inte hindra kreativa lösningar framkommit. Som demonstrerats i kapitel 4 leder arbetet med QFD till en prioritering av de kritiska systemegenskaperna, CTQs, som är väl relaterade till kundbehoven. Prioriteringen är nödvändig för att effektivisera

¹²⁹ Se fig. 3.1

kravställningen, så att krav endast ställs på de parametrar som har en betydande inverkan på systemets prestanda. Från den empiriska undersökningen framgår det att Alfa Laval, som har börjat utnyttja DFSS vid upphandling, betraktar identifieringen av CTQs som en viktig del i kravformuleringen. De resterande husen behöver ej utföras av VCC då det är leverantörens ansvar att ta fram systemets fysiska utformning. QFD ger information om korrelationen mellan olika egenskaper vilket är viktigt att veta vid kravställningen för att inte ställa krav som motstrider varandra. Under arbetet med QFD ska benchmarking genomföras med liknande befintliga produktionssystem. Detta ger en bild av hur väl behoven tillfredsställs idag och vilka som behöver förbättras samtidigt som det säkerställer att erfarenheter från den befintliga linjen tas tillvara i upphandlingsprojektet. Målvärdena som tas fram används inte direkt vid kravställning utan fungerar som en hjälp för att utvärdera om värdena från leverantörernas offerter är rimliga. Identifieringen av de mest kritiska systemegenskaperna är det viktigaste resultatet från QFD i denna modell.

Genom att kommunicera nyttan med QFD kan problemen med att genvägar tas i den första fasen undvikas. Detta är något man på VCC idag har problem med i sin DCOV-process. Detta skapar en större förståelse för nyttan med insamlingen av behov och därmed ökar engagemanget för arbetet i den första fasen.

En svårighet vid framtagning av det första huset i QFD är att sortera ut en rimlig mängd kundbehov som ska utgöra indata till modellen. Om denna sortering misslyckas finns en stor risk att arbetet blir för omfattande och att kvaliteten på det som genomförs därmed sänks, samtidigt som tiden för genomförandet förlängs. Detta leder till att det blir svårt att påvisa effektiviteten av QFD och därmed förankra engagemanget.

Mätmetoder

För att kraven som ställs ska kunna verifieras måste det fastställas hur parametrarna ska mätas. Det är av stor vikt att leverantörerna delges information om hur mätningen i verifieringen går till samt hur mätvärdena definieras. Det ska också klargöras vilka faktorer som leverantören påverkar och vilka som organisationen på VCC påverkar. Det har noterats svårigheter med att klargöra detta idag. En på förhand överenskommen definitionen minskar risken för missförstånd genom en tydlig ansvarsfördelning mellan köpare och leverantör.

Systemförslag

Ett förslag till systemets utformning på en högre nivå ska genereras av VCC med syftet att ge leverantörerna en uppfattning av vad VCC har för önskemål på systemets utformning. Fördelen med detta är att man får standardiserade tillverkningsystem, vilket minskar behovet av att utbilda personal och också ökar möjligheten till samordning av underhållsresurser och reservdelar mellan olika produktionsanläggningar. En risk med detta är dock att leverantörerna fastnar i det presenterade systemförslaget och att detta begränsar deras möjligheter att ta fram nya och kreativa förslag. Därför ska systemförslaget ej vara för detaljerat. Man ska vara uppmärksam på att det sker produktutveckling även på utrustningssidan och att nya lösningar kan vara överlägsna de existerande och därmed bör väljas även om reservdelshanteringen inte kan koordineras med den befintliga. De företagsstandarder som Volvo använder vid upphandling innehåller framförallt tekniska krav vilket är till hjälp för standardiseringen men ibland kan hämma nya lösningar. Vid samtal med Alfa Laval har det framgått att man insett problemet med att styra leverantörerna för hårt och försöker därför så långt som det är möjligt ställa funktionella krav. Detta anser man vara nödvändigt för att få kreativa lösningar från leverantörerna. Detta synsätt bör VCC anamma i sina företagsstandarder.

Uppdatera LCC-modellen

Modellen med vilken LCC beräknas måste definieras av VCC för att behålla kontrollen över LCC-beräkningarna. En ytterligare fördel med att VCC själv utvecklar modellen är att den får en större tyngd vid utvärderingen och upplevs som mer trovärdig av upphandlingsteamet. Vikten av att beställaren definierar modellen för LCC-beräkning har poängterats med stöd av erfarenheter från genomförda upphandlingar med LCC-perspektiv. När man väl definierat en trovärdig LCC-modell, kan denna användas även vid kommande upphandlingar genom att man uppdaterar relevanta delar.

Offertbegäran

Innan offerter begärs in ska en undersökning ske av hur de olika avdelningarna vill ha informationen presenterad. Detta för att inte samla in en mängd information som sedan inte kan utnyttjas effektivt utan att arbetet måste göras om igen. Det framtagna konceptförslaget ska tillsammans med övriga krav och specifikationer skickas till leverantörerna och ligga till grund för de första offerterna som begärs in. En tydlig förmedling av kraven till leverantören innebär att denna kan bedriva ett mer inriktat utvecklingsarbete genom en ökad förståelse för hur Volvos behov ska tillfredställas, vilket leder till att offerterna blir mer fullständiga. Dessa används för den första utvärderingen, som ska leda till att man gör ett urval av leverantörer som man för vidare förhandlingar med. Det är viktigt att man redan vid begäran av de första offerterna kräver in LCC-beräkningar då det är i ett tidigt skede som man till störst del kan påverka livstidskostnaden (se fig.7.2). Även det faktum att detta tidigt ger information som underhållsavdelningen och produktionen behöver för sin planering talar för att tidigt kräva in LCC-beräkningar. Exempel på information för beräkningarna är felfrekvenser och medelreparationstider. Det är även viktigt att övergripande FMEA-rapporter lämnas så att underhållsavdelningen har tillgång till dem för planering. En annan fördel med att få tidiga FMEA-rapporter är att VCC kan se vad som är kritiskt för systemet och påvisa detta för leverantören så att det åtgärdas. Detta leder i sin tur till att ett mer komplett system är framtaget vid kontraktsskrivning och att processen därefter blir kortare.

Sammanställning och uppföljning

Sammanställning av de genomgående aktiviteterna och uppföljning ska utföras som det beskrivs i stycket 9.3.1 *Definiera*.

9.3.3 Utvärdera

Utvärdering av alternativa lösningar

Utvärderingen av alternativen ska göras med avseende på livstidskostnaden samt de kritiska parametrar som framtagits med QFD. Denna process underlättas av att utvärderingskriterierna redan är tydligt definierade. Det förutsätts att de tekniska kraven är uppfyllda för de leverantörer som är med i utvärderingen. Efter den första utvärderingen lämnas mer detaljerad information ut och nya, mer detaljerade offerter begärs in av de resterande leverantörerna. Ett upprepat förfarande där leverantörerna krävs på mer detaljerade offerter är nödvändigt för att dels ge leverantörerna tid till utvecklingsarbete, dels för att skapa ett konkurrensmoment mellan deltagande leverantörer i förhandlingen. Efter att de slutliga offerterna tagits in väljs det koncept som bäst uppfyller kraven. Den beräknade livstidskostnaden låses när den utvalda leverantörens offert godkänns och utgör underlag för kontraktskraven.

Superkoncept

Om det är möjligt bör man försöka att kombinera de bästa delarna från de olika alternativen för att på så sätt få fram en överlägsen lösning. Här kan eventuellt juridiska restriktioner sätta gränser, men i den grad det är realiserbart ska möjligheten utnyttjas. Det kan även vara problem med kompatibilitet mellan delsystem från olika leverantörer. Efter sammanställning av ett

superkoncept ska en jämförelse med det valda förslaget göras för att kontrollera att det nya konceptet är möjligt att genomföra och att det faktiskt är det bästa.

Sammanställning och uppföljning

Precis som i tidigare faser ska en sammanställning och uppföljning göras innan man går vidare till nästa fas.

9.3.4 Optimera

Leverantörens underhållsplan

När en leverantör valts ut och kontrakt tecknats måste en optimering ske av systemets drift och underhåll. De förslag som leverantörerna presenterar måste innehålla en plan för hur underhållet av utrustningen ska bedrivas. Det ursprungliga underhållskonceptet används för de LCC-beräkningar som utnyttjas vid utvärdering av leverantörernas förslag och för den beräkning som skrivs in som ett tröskelvärde i kontraktet.

Anpassning och optimering av underhållsplanen

För att anpassa underhållskonceptet bättre till de organisatoriska förutsättningar som råder på VCC, ska en omarbetning ske av underhållsavdelningen på VCC. Detta arbete syftar till att optimera resursförbrukningen för systemets drift och underhåll. Beslut om underhållsnivåer och reparationsstrategier måste fattas och en optimering ska ske med de totala driftskostnaderna över systemets livslängd som målfunktion. Vid ett sådant arbete kommer ILS-synsättet väl till pass då detta är inriktat på att styra underhållet och driften av ett system till en lägsta kostnad för användaren. För att minska behovet av att omarbeta underhållsplanen i efterhand bör optimeringsarbetet ske i samarbete med leverantören. Detta innebär att ett underhållskoncept som är anpassat till VCC kan lämnas. I och med att omarbete undviks minskar ledtiden för underhållsoptimeringen, vilket kan ha en positiv inverkan på det totala projektets ledtid.

En tydligare definition av krav, arbetssätt och rutiner leder till ökad kontroll över kostnaderna. En viktig del i optimeringen av underhållsresurserna är dimensioneringen av reservdelslagret. Eftersom tydlig och åtkomlig information om felfrekvenser, reparationstider samt reservdelskostnader har begärts in under upphandlingsprocessen, och då framförallt som grund för LCC-beräkningen, kan denna information direkt utnyttjas vid arbetet med att bestämma reservdelslagrets storlek och sammansättning.

Logistikstödsanalys

Som ett led i optimeringen ska en logistikstödsanalys genomföras. LSA innebär en grundligare utvärdering av det underhållskoncept som tagits fram. För en utvärdering av det förväntade utfallet kan en simuleringsmodell utnyttjas. Genom att genomföra känslighetsanalyser fås information om hur lösningen påverkas vid variationer av leverantörens uppgifter. En grundligt genomförd optimering av underhållskonceptet kan ha en betydande inverkan på det totala kostnadsutfallet över systemets förväntade livslängd. Med hjälp av den modell för beräkning av livstidskostnaden, som tagits fram för utvärdering och kravställning, kan det förväntade kostnadsutfallet av det optimerade underhållskonceptet beräknas och jämföras med det förslag som leverantören lämnat från början.

Alternativ för resursoptimering

Som ett led i resursoptimeringen, och för att begränsa den risk man som köpare tar att utfallet av underhållskostnaderna kommer att skilja sig från de i specifikationen angivna, kan möjligheten undersökas att förhandla med leverantören om ett kontrakt där denna mot en fast kostnad tar på sig det fulla ansvaret för både planerat och avhjälpande underhåll. Om detta alternativ ska väljas är det fördelaktigt att förhandla fram ett avtal innan kontraktet för systemet skrivits eftersom man

då är i en bättre position att förhandla. Galloway (1996) tar upp en sådan strategi som ett sätt att stabilisera driftskostnaderna. Från den empiriska undersökningen har det också framgått att det kan vara fördelaktigt att använda ett avtal om underhåll till en fast kostnad, speciellt om det rör sig om ett nytt och obeprövat system. Det prispremium som man betalar, jämfört med de förväntade underhållskostnaderna om man själv utför allt underhåll, måste naturligtvis värderas mot riskreduktionen. Det måste också utredas om ett sådant alternativ är möjligt inom bilindustrin och om leverantörerna har rätt kompetens för att erbjuda en sådan tjänst.

Ett alternativ för att kringgå optimering av lagernivåer för reservdelar är konsignationslager, där leverantören tillhandahåller reservdelar på plats och där VCC endast debiteras då delar hämtas från lagret. Man minskar med ett sådant alternativ kapitalbindningen i reservdelar, samtidigt som man slipper genomföra en optimering av lagernivåerna.

Sammanställning och uppföljning

En sammanställning av de genomförda aktiviteterna fungerar som en garanti att viktiga moment inte förbises och bör genomföras som beskrivet i *Definiera*.

9.3.5 Verifiera

Låsning av verifieringsparametrar

Då det inte är möjligt att göra en direkt verifiering av livstidskostnaden, eftersom leverantören inte kan hållas ansvarig under hela systemets livslängd, krävs det att de ingående faktorerna som är kritiska för utfallet av livstidskostnaden verifieras. Två parametrar som har betydelse för utfallet av livstidskostnaden är felfrekvenser och medelreparationstider eftersom dessa påverkar underhållskostnaderna. T.ex. ger en ökad felfrekvens en ökad reservdelskostnad och en ökad reparationstid ger en ökad kostnad i form av underhållspersonal. Erfarenheter har visat att dessa är lämpliga att verifiera i ett LCC-åtagande. Priser för reservdelar och materialkostnader har också inverkan på livstidskostnaden. Dessa verifieras ej men riktigheten av priserna bedöms redan i utvärderingsfasen. För att säkerställa att utrustningens kapacitetskrav möts behöver även utrustningens cykeltid verifieras. Fastställandet av värden på felfrekvenser, medelreparationstider och cykeltider görs inte förrän vid den sista uppdateringen av systemets utformning. Detta då systemet konstruktion förändras även efter kontraktsskrivandet.

Verifiering av LCC-tröskeln

Verifieringen av LCC-tröskeln som skrivits in i kontraktet sker med hjälp av den framtagna LCC-modellen. Invärdena från leverantören är uppdaterade enligt de sista designändringarna. Invärdena från VCC måste hållas konstanta för att leverantören fortfarande ska kunna hållas ansvarig för uppfyllandet av tröskeln. Därför kan inte det av VCC optimerade underhållskonceptet användas för LCC-beräkningarna vid verifieringen.

Verifiering av prestandakraven

Krysslister ska skapas för att tydligt kunna se vad leverantören uppfyllt och vilka aktiviteter han har kvar att genomföra. För verifieringen ansvarar de personer i projektet som varit med och tagit fram verifieringsmetoden för det aktuella kravet. På så sätt tvingas dessa personer att säkerställa att kravet verkligen går att verifiera. Utbytestester kan fördelaktigen utföras hos leverantören innan leverans för att skynda på verifieringsprocessen och för att undvika onödiga produktionsstopp. Verifieringen börjar redan då pilotproduktionen startar, men vissa krav, som t.ex. felfrekvensen, kan ej verifieras förrän vid full produktion. Det kan vid verifiering av felfrekvensen ta månader innan tillräcklig mängd data samlats in för statistisk behandling.

Problemet när den slutliga verifieringen ska ske är att man inte längre har samma tekniska specifikation som när kontraktet skrevs. Framst om ändringar av produktdesignen leder till

omfattande ändringar¹³⁰ av produktionssystemet, kommer detta leda till ökade livstidskostnader genom en högre kostnad för systemet samt ökade drifts- och underhållskostnader. Om installationen och verifieringsprocessen kan effektiviseras så att ledtiden för dessa aktiviteter kortas, skulle det innebära att kontraktet kan tecknas vid en senare tidpunkt när produktdesignen är mer fastställd. Detta kan vara mycket fördelaktigt då man på VCC idag strävar efter att korta utvecklingstiden från projektstart till produktionsstart.

Om kraven har formulerats och förmedlats på ett tydligt sätt kan verifieringsprocessen bli kortare tack vare en utrusning som bättre uppfyller de ursprungliga kraven. Väl definierade mätmetoder för kraven snabbar upp verifieringen. Detta tillsammans med en mindre risk för kontraktsdispyter gynnar både VCC och leverantören.

Kontrollplan

En kontrollplan ska formuleras som beskriver hur systemet ska övervakas under drift för att upptäcka störningar. Vilka parametrar som ska övervakas och loggas ska specificeras i kontrollplanen. Kontrollsystemen ska kunna utnyttjas för att identifiera vilka problem som kan förbättras med Sex Sigmaprojekt. Systemet ska logga de utvalda felen samt information om var felet inträffat. Detta blir en viktig del av processuppföljningen och det fortsatta förbättringsarbetet. Statistisk processstyrning ska utnyttjas för att övervaka processernas spridning. Informationen ska även presenteras på en sådan form att den existerande Sex Sigmaorganisationen kan utnyttja den direkt i sina förbättringsarbeten. Därmed underlättas och effektiviseras det framtida förbättringsarbetet.

Överlämning av systemet

När all verifiering är klar ska systemet överlämnas till produktionen. Även information som tagits fram under upphandlingen och som är till nytta för den fortsatta driften och underhållet av systemet ska överlämnas. Denna information måste vara presenterad på en sådan form att den är lättillgänglig för dem som ska fortsätta att arbeta med den. Ett effektivt utnyttjande av informationen som samlats in under upphandlingen kan innebära att dubbelarbete undviks. Det är av stor vikt att den kommuniceras till rätt personer och till rätt plats. Det har i den empiriska undersökningen framgått att driftsäkerhetsavdelningen ser ett behov av att skilja ut den information som är kritisk för systemets direkta drift och för det tätast förekommande underhållet. Detta skulle ge en möjlighet att styra informationsflödet vid överlämnandet för ett effektivare utnyttjande och bättre fungerande underhåll.

Sammanställning och uppföljning

Sammanställning av de genomgående aktiviteterna och uppföljning ska utföras som beskrivet i *Definiera*. Här ska även en slutlig sammanställning av projektet göras som kan utnyttjas vid nya upphandlingar. Därmed minskar beroendet av att samma personer behöver vara med i nästa projekt. Genom att följa upp och analysera de uppnådda resultaten kan värdefulla erfarenheter dokumenteras och utnyttjas i framtida projekt. Uppföljningen blir därmed en viktig del i organisationens lärandeprocess. Detta är något som har haft en tydlig positiv effekt på Alfa Laval, där all information från genomförda Sex Sigmaprojekt finns tillgänglig på en strukturerad form och kan användas vid kommande projekt. En liknande databas skulle vara gynnsam för bevaring av erfarenheter hos VCC. Då en databas för Sex Sigmaprojekt redan existerar kan eventuellt strukturen från denna utnyttjas. Informationen måste vara åtkomlig för att kunna utnyttjas. Detta kan stödjas av standardisering av rapporteringsförfarande t.ex. med hjälp av standardmallar för hur rapporter ska skrivas. Genom att skriva dessa standardiserade rapporter skapas en förståelse för rapporternas struktur och därmed blir information från dessa lättare att hitta och använda för dem som en gång skrivit en rapport.

¹³⁰ Ändringar av produkten som har stor påverkan på systemets utformning och dess kostnader. Se avsnitt 8.3.6

9.4 Koppling till Volvos processbeskrivning

De aktiviteter som presenteras i D²UOV-modellen har av författarna förts in i Volvos processbeskrivning för upphandling. Genom detta demonstreras hur ett antal utvalda aktiviteter kommer in i tiden i den existerande processbeskrivningen. Den modifierade processbeskrivningen återfinns i Appendix V, tillsammans med förklaringar till de tillägg som gjorts.

9.5 Verktyg för DFSS-upphandling

Redogörelsen syftar till att ge en motivering till varför de verktyg som tas upp bör utnyttjas i de olika faserna. Verktygen som presenteras ska ses som ett förslag och är de som författarna finner mest lämpliga för ändamålet. Beskrivningar av verktygen återfinns i kapitel 3.

Tabell 9.1 Verktyg i D2UOV-modellens faser.

Definiera	Detaljera	Utvärdera	Optimera	Verifiera
Kanomodellen	Brainstorming	DFM*	LSA	Krysslistor
Affinity	QFD	FMEA		Utbytestester
Benchmarking	Ishikawadiagram	Pughmatrisen		Slipstester
Paretdiagram		Simuleringsmodeller		SPC
Brainstorming		LCC-modell		

*Design for Maintainability

9.5.1 Verktyg i Definiera

Kanomodellen

Vid insamling av de behov och önskemål som de identifierade intressenterna har på utrustningen är det viktigt att man är medveten om att det finns behov som de tillfrågade normalt inte uttrycker. Förståelsen för vikten av de outtalade behoven kan ökas med hjälp av Kanomodellen.

Affinitydiagram

Affinitydiagram kan effektivt användas för att strukturera de uttryck som samlats in för att beskriva önskemål och behov. Olika uttryck för ett och samma behov sorteras i samma grupp och ger därmed en mindre mängd behov att hantera. Som tidigare poängterats är det också av vikt att de behov som används i QFD ska vara nya, unika och svårtillfredsställda. Det ger också en möjlighet att kontrollera att inga viktiga behov förbises.

Benchmarking

En jämförelse av konkurrenters system bidrar med värdefull information till QFD som ska utföras. Informationen från benchmarking ger också teamet en uppfattning om vad som kan anses som rimliga prestanda och därmed också vad man ska sträva mot.

Paretdiagram

Paretdiagram används för att skilja ut de störst bidragande faktorerna till ett fenomen. Kostnaderna för systemets drift och underhåll måste kunna relateras till de underliggande orsakerna och faktorerna. Genom att i paretdiagram sammanställa dessa data, kan man visualisera vilka faktorer som har störst inverkan.

9.5.2 Verktyg i Detaljera

QFD

De strukturerade och utvalda behoven bildar grund för den kundcentrerade planeringen, QFD. För att kunna ställa krav på systemet måste behoven översättas till funktionella krav på systemet. Detta uppnås genom att genomföra det första huset i QFD. Arbetet ska också resultera i en rangordning av kravens prioritet. Genom denna kunskap kan teamet rikta sina ansträngningar mot att få leverantörerna att uppfylla dessa kritiska kvalitetsparametrar.

Brainstorming

Som en del i framtagningen av de funktionella kraven kan brainstorming vara ett effektivt verktyg. DFSS förespråkar ett användande av denna metod då den rätt utförd möjliggör uppkomsten av kreativa lösningar på problem och önskemål. Metoden kan också utnyttjas i föregående fas för att ta fram förslag till de outtalade behoven.

Ishikawadiagram

Ishikawadiagram eller fiskbensdiagram är till hjälp vid framtagning av de kritiska systemegenskaperna i kvalitetshuset. Till exempel kan underhållsmässighet väljas som baslinje i diagrammet, och de faktorer som kan påverka denna förs in i "fiskbenen". För att lista alla tänkbara faktorer som påverkar kan gärna *brainstorming* användas för generering av förslag. Ishikawadiagram kan också användas i arbetet med att identifiera de största kostnadsdrivarna.

9.5.3 Verktyg i Utvärdera

Pughmatrisen

Pughmatrisen används som ett verktyg vid utvärderingen av de föreslagna koncepten. Metoden ger en möjlighet att bedöma de olika förslagens förmåga att uppfylla de kritiska systemegenskaperna som identifierats i modellens *detaljera*-fas. Pughmatrisen ska användas med en viktning av faktorerna då detta bättre återspeglar att vissa av faktorerna har en större betydelse för ett välpresterande produktionssystem. Detta är också en återkoppling till arbetet med QFD som genomförts tidigare och möjliggör en värdering på de grunder som identifierats som mest kritiska i QFD.

Simuleringsmodell

Simuleringsmodeller är en hjälp i utvärderingsarbetet som används flitigt idag vid upphandling. Ett viktigt syfte med produktionssimuleringen är att kontrollera att det föreslagna systemet kan förväntas uppnå den angivna produktionsvolymen enligt de värden på felfrekvenser och reparationstider som tillverkaren uppgivit. När felfrekvenser och reparationstider är verifierade och godkända ska de vidarebefordras till underhållsavdelningen som utnyttjar informationen för underhållsplanering och dimensionering av reservdelslager.

LCC

Modellen för DFSS-upphandling trycker hårt på att använda de förväntade livstidskostnaderna som ett utvärderingskriterium. För detta krävs att en modell för beräkning av LCC tas fram. Värdering med LCC som grund ger en tydligare styrning av det totala kostnadsutfallet under utrustningens livstid. Ett åtagande om att uppfylla den med modellen framräknade livstidskostnaden skrivs in i kontraktet och blir då ett effektivt styrmedel för att få leverantörerna att uppdatera sin lösning med en bibehållen eller förbättrad livstidskostnad. Beräkning av LCC ger också en mer rättvisande bild av de ekonomiska konsekvenserna som valet av ett visst alternativ medför. Genom att utnyttja LCC kan personliga relationer sorteras bort vid valet av leverantör. Man undviker också att man förutsättningslöst väljer en leverantör som använts tidigare.

FMEA

VCC ska kräva övergripande FMEA-analyser av tillverkaren redan då offerter begärs in. Allteftersom uppdateringar av utrustningens design sker ska också uppdaterade FMEA-dokument överlämnas. En bedömning av felens risk enligt RPN ska kompletmentera FMEA-rapporten.

Mycket av vinsten med ansträngningarna handlar om att förutsäga de fel som kan uppkomma och under utvecklingsarbetets gång försöka så långt det är möjligt att designa bort dessa. Ansvar för designändringarna ligger på leverantören men VCC kan poängtera för leverantören var de finner brister i systemet. Med informationen från FMEA tillgänglig underlättas också utvärderingen av de olika alternativen. Underhållsberedning och optimering av underhållsresurserna kommer också att hjälpas av väl utförda FMEA-analyser.

DFM

Som tidigare poängterats är underhållet av utrustningen en stor faktor av det totala kostnadsutfallet. Design for Maintainability kan därför i hög grad påverka livstidskostnaden. Det är därför av intresse att utvärdera hur väl dessa principer har följts av tillverkaren, eller snarare utvärdera underhållsmässigheten för de olika förslagen.

Både FMEA och Design for Maintainability kan användas vid granskning av leverantörernas förslag för att upptäcka eventuella oriktigheter.

9.5.4 Verktyg i Optimera

LSA

För att undersöka effektiviteten av framtagna reparationsstrategier, underhållsnivåer och lagernivåer för reservdelar ska en logistikstödsanalys genomföras. Informationen som framkommer är till stor nytta vid optimeringen av resursförbrukningen. Logistikstödsanalysen avslöjar också om systemet är dugligt ur ett underhållsperspektiv.

9.5.5 Verktyg i Verifiera

Statistisk processkontroll

Det är viktigt att det finns ett väldefinierat sätt för hur systemet ska övervakas under drift. Denna *kontrollplan* ska specificera de kontrollsystem som ska användas och också vilka åtgärder som ska vidtas. Syftet är att upptäcka speciell variation i processen, som kan elimineras för att uppnå en stabilare process. Inom ramen för kontrollplanen bör statistisk processtyrning användas, då detta är ett effektivt sätt att visualisera en eventuell förekomst av speciell variation. Statistisk processtyrning möjliggör och underlättar genomförandet av fortsatt förbättringsarbete på utrustningen.

Krysslistor

Som en del i verifieringsarbetet ska enkla krysslistor användas för att kontrollera att leverantören har genomfört alla de aktiviteter han åtagit sig att göra. Dessa krysslistor för verifieringen måste definieras vid kontraktstecknandet och godkännas av båda parter.

Sekventiella test (Slipstest)

För att verifiera den uppdaterade och slutligen låsta felfrekvensen ska sekventiella test¹³¹ eller s.k. slipstester användas. Vid testerna är det MCBF som mäts och verifieras. Testerna ger möjlighet att på statistiska grunder säga att utfallet kommer att hamna inom ett bestämt område med en viss konfidensnivå. Man kan också på förhand specificera den risk som leverantören tar att ett acceptabelt system förkastas, respektive den risk som VCC tar att acceptera ett system som inte uppfyller kravet. Testerna utförs löpande när systemet tagits i normal drift.

Utbytestest

Utbytestester är en kontroll som utförs för att verifiera de angivna reparationstiderna. Dessa test kan utföras innan idrifttagandet. Testerna ska genomföras av personal från VCC, då detta innebär en så verklig situation som möjligt. I reparationstiden ska felsökning, åtgärd, kontroll och återstart ingå. Detta måste därför vara tydligt angivet i kontraktet. Väntetider för underhållspersonal och reservdelar bortses från vid testet, då dessa enbart påverkas av den interna organisationen och ej av leverantörens lösning.

9.6 Utvärdering av modellen

9.6.1 Utnyttjande och integration av modellen

D²UOV-modellen ska ses som en modell som kan användas vid ett första införande av DFSS-metoder och verktyg i upphandlingsprocessen. D²UOV-modellen syftar till att införa de metoder som författarna anser bäst passar in på en upphandlingsprocess. För att ytterligare förstärka användandet av DFSS i upphandlingsprocessen kan modellen användas som grund och utvecklas vidare. Detta utvecklingsarbete bör företrädesvis ske av DFSS-personal i samarbete med upphandlingsteamet.

Då modellen ej är fullständig bör en integration ske med det redan existerande arbetssättet där vissa delar kommer att ske enligt D²UOV-modellen. Ett förslag till integration med existerande arbetssätt redogörs för i appendix V. En utvärdering måste göras för att undersöka vad de förändrade delarna har för påverkan på resultatet av upphandlingsprocessen. Detta kan ge indikationer om i vilken riktning det fortsatta utvecklingsarbetet av modellen bör gå och om fortsatt utveckling är lämplig.

9.6.2 Resultatens allmänna nytta

Studiens resultat ska ses som ett bidrag till att öka förståelsen om kopplingen mellan DFSS och upphandling av produktionsutrustning, vilket kan vara till gagn både för industrin och för forskningssamfundet inom kvalitetsteknik och produktivitetutveckling. Användandet av DFSS i upphandlingsprojekt är ett område som det idag finns begränsad kännedom om och de teoretiska bidragen på detta område är få. Därmed har företag haft svårt att uppmärksamma att kopplingen däremellan faktiskt existerar. Implementeringen av DFSS vid upphandling kan innebära effektivitetsvinster för alla berörda parter i upphandlingsprocessen. Det finns ett stort behov av forskning för att vidare utreda möjligheterna som ett införande ger upphov till. Studien påvisar en del av dessa möjligheter, dock anser författarna att fortsatta studier kan påvisa ytterligare möjligheter.

9.6.3 Initiativ av annat företag

På VCC har man hittills inte utnyttjat DFSS vid upphandling av utrustning, trots en väl etablerad användning av Sex Sigma i förbättringsarbetet och en början till att utnyttja DFSS vid nyutveckling av processer. Den empiriska undersökningen har visat att Alfa Laval har visat ett intresse för att undersöka möjligheterna att applicera synsättet på sin process för upphandling av

¹³¹Se avsnitt 6.3

ny produktionsutrustning. Detta är en antydning till att möjligheten finns för ett utnyttjande i en sådan situation. Det kan anses finnas en överförbarhet trots att det rör sig om olika branscher, då både VCC och Alfa Laval handlar komplicerade tekniska system av utrustningsleverantörer. Det är i båda fallen leverantörerna som utför merparten av utvecklingsarbetet utifrån en kravformulering från beställaren.

10 Slutsatser

10.1 Slutsatser om modellen

Modellen erbjuder ett strukturerat arbetssätt vid upphandling av utrustning. En tydlig struktur förenklar styrning och kommunikation. En välstrukturerad process för insamling av behov och översättning av dessa till funktionella krav leder till att krav kan ställas på relevanta faktorer. Kraven är verifierbara och därmed skapas bättre förutsättningar för att de verkligen uppfylls. En heltäckande grund för utvärdering av alternativ erbjuds då livstidskostnadsberäkningar begärs in tillsammans med offerterna. Ett utökat samarbete med leverantörerna i underhållsplaneringen innebär att en effektiv underhållsplan kan tas fram på kortare tid. De tidsbesparingar som görs genom en effektivare framtagning av underhållsplanen tillsammans med en väldefinierad kravställnings- och verifieringsprocess leder till en förkortning av den totala ledtiden för upphandlingsprojekt. En förkortning av ledtiden innebär att upphandlingsprocessen kan börja i ett senare skede, där produktdesignen är mer färdigställd, vilket innebär att sena och därmed dyra ändringar kan undvikas.

10.2 Diskussion av validitet, reliabilitet och objektivitet

10.2.1 Validitet

Möjligheten att intervjuobjekten inte talar om hur det faktiskt går till utan hur de vet att de borde gå till kan vara ett problem för validiteten och måste därmed beaktas. De olika intervjupersonerna har alla olika kunskaper och erfarenheter vilket kommer att påverka deras svar. De intervju-sessioner som har genomförts har hållits på en öppen nivå för att försöka undvika framtvungade svar. Författarna har också försökt att få fram intervjuobjektens egna synpunkter. I metodkapitlet diskuterades överförbarhet som en analog term till validitet vid kvalitativa undersökningar. Valet att utföra en fallstudie innebär att denna överförbarhet, eller generaliseringsmöjlighet, har påverkats negativt.

10.2.2 Reliabilitet

Vid intervjuerna har samma ämnesområde behandlats med flera personer då det varit möjligt. Många av de svar som kommit fram har varit överensstämmande vilken tyder på att svaren har en högre reliabilitet än om svaren inom samma ämnesområde hade varit väldigt varierande.

Studien baseras till stor del på teoretiskt material om framförallt DFSS. För att öka trovärdigheten för informationen från de tryckta källorna har författarna använt litteratur från flera olika författare inom området. Flera av publikationerna är utgivna på förlag med en välrenommerad utgivning av vetenskaplig litteratur.

Resultatens trovärdighet

För att få en uppfattning av modellens trovärdighet har en diskussion genomförts med ett referensföretag som har börjat implementera idéer från DFSS vid upphandling. Uppfattningen från medarbetarna på företaget var att modellen borde vara genomförbar, dock säger detta ingenting om modellens faktiska effektivitet. Eftersom det trots allt är medarbetarnas uppfattning som till stor del styr deras handlande, oavsett företag, är deras åsikter av intresse att ta upp och höjer resultatens trovärdighet. För att uttala sig om modellens faktiska effektivitet krävs det att modellen utnyttjas i en del av ett upphandlingsprojekt.

10.2.3 Objektivitet

Studien har utförts på uppdrag av Systecon AB och av Volvo Car Corporation. Då studien genomförts i ett nära samarbete med Systecon har författarnas tankesätt delvis influerats av de

idéer som företaget arbetar utifrån. En medvetenhet om detta har funnits under studiens gång, och författarna anser inte att det har vållat några problem med vinkling av de resultat som framkommit under studien.

Studien har varit en lärandeprocess för författarna, där de har ständigt ökat sin förståelse om DFSS. Arbetet har också gett en inblick i vilka hänsynstagande man tar vid upphandling av utrustning. Som tidigare påpekats har de intervjuade personerna fritt fått berätta om de områden som diskuterats. Tack vare detta anser författarna att deras ändrade förhållningssätt inte styrt de empiriska resultaten i någon riktning. Däremot är analysen, och speciellt den framtagna D²UOV-modellen tydligt färgad av den kunskap som inhämtats samt författarnas ändrade synsätt.

Det valda upplägget på studien, där en fallstudie har genomförts på en begränsad del av Volvo Car Corporation, har varit nödvändigt för att skapa en djupare förståelse om fenomenet. Det har också varit uppdragsgivarnas önskemål att beskrivningen och de förslag som presenteras ska vara kopplade till och applicerbara på det studerade fallet. Detta innebär att viss objektivitet går förlorad, då studiens omfattning endast har tillåtit undersökning av ett referensföretag.

10.3 Vidare forskning

D2UOV-modellen är framtagen med utgångspunkt i "turn-key" upphandlingar, och är främst avsedd att utnyttjas i sådana situationer. Dock är det fördelaktigt om D²UOV-modellen kan utnyttjas på upphandlingar av mindre omfattning. Vid tillägg av flöden eller operationer till en existerande produktionslinje, eller vid upphandling av enskilda stationer eller funktionspaket kan det vara av intresse att utnyttja modellen. Modellen fokuserar på att säkerställa att alla önskemål beaktas vid upphandling, något som blir mycket viktigt även vid upphandling av delsystem, bl.a. pga. komplexiteten med integrationen av olika system och gränssnitt däremellan. En fortsatt studie skulle därför kunna bestå av en undersökning om modellen kan utnyttjas för mindre upphandlingar.

En annan inriktning av en fortsatt studie skulle kunna vara en verifiering av modellens faktiska effektivitet. Resultaten av detta kan leda till en fortsatt utveckling av modellen. Ytterligare en intressant vidare studie skulle vara att undersöka om modellen går att utnyttja på andra företag vid upphandling av automatiserade produktionssystem. En surveyundersökning, där ett urval av representativa företag studeras utifrån samma premisser, skulle kunna visa om modellen som tagits fram i denna studie är lämplig att använda även för andra organisationer än VCC.

Litteraturförteckning

- Bergman, B. och B. Klefsjö (1986) *Statistisk kvalitetsstyrning*, Lund: Studentlitteratur
- Bergman, B. och B. Klefsjö (2001) *Kvalitet från behov till användning*, 3. uppl., Lund: Studentlitteratur
- Björklund, M. och U. Paulsson (2003) *Seminarieboken: att skriva, presentera och opponera*, Lund: Studentlitteratur
- Blanchard, B. S. (1981) *Logistics Engineering and Management*, 2nd ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Inc.
- Borghagen, L. (1989) *Gör dina investeringar lönsammare: utnyttja LCC- och LCP-analyser*, Stockholm: Svenskt Underhållstekniskt Centrum (UTC)
- Brassard, M., L. Finn, D. Ginn och D. Ritter (2002) *The Six Sigma Memory Jogger II*, Salem, NH: GOAL/QPC
- Brue, G. och R. G. Launsby, (2003) *Design for Six Sigma*, New York, NY: McGraw-Hill
- Chan, L-K. och M-L. Wu (2002) *Quality Function Deployment: A Comprehensive Review of Its Concepts and Methods*, Quality Engineering, nr. 15, sid. 23-35, Marcel Dekker, Inc.
- Chowdhury, S. (2002) *Design for Six Sigma: The Revolutionary Process for Achieving Extraordinary Profits*, Chicago, IL: Dearborn Trade Publishing
- Creveling, C. M., J. L. Slutsky och D. Antis Jr. (2003) *Design for Six Sigma: In Technology and Product Development*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR
- Folaron, J. (2003) *The Evolution of Six Sigma*, Six Sigma Forum Magazine, Vol. 2, No. 4, pp. 38-44, American Society for Quality
- Galloway, I. (1996) *Design for support and support the design: integrated logistic support – the business case*, Logistics Information Management, Vol. 9, No. 1, pp. 24-31, MCB University Press
- Ginn, D. och E. Varner (2004) *The Design for Six Sigma Memory Jogger*, Salem, NH: GOAL/QPC
- Holme, I. M. och B. K. Solvang (1997) *Forskningsmetodik: om kvalitativa och kvantitativa metoder*, 2. uppl., Lund: Studentlitteratur
- Idhammar, C. (1996) *Life-cycle cost, life-cycle profit*, Pulp & Paper, Vol. 70, No. 8, pp.41, ABI/INFORM Global
- Johansson, B. och C. Nord (1999) *Nyansköffning av produktionssystem: Mer än bara inköp*, Mölndal: Institutet för Verkstadsteknisk Forskning

Lekvall, P. och C. Wahlbin (1993) *Information för marknadsföringsbeslut*, Göteborg: IHM Förlag

Magnusson, K., D. Kroslid och B. Bergman (2000) *Six Sigma: The Pragmatic Approach*, Lund: Studentlitteratur

Prescott, N. J. (1995) *Equipment Life: Can We Afford to Extend It?*, Proceedings from Annual Reliability and Maintainability Symposium, s. 529-535, London: Ministry of Defence

Project Management Institute (2001) *Practice Standard for Work Breakdown Structures*, Newtown Square, PA: Project Management Institute, Inc.

Project Management Institute (2004) *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, 3rd ed., Newtown Square, PA: Project Management Institute, Inc.

Six Sigma Academy (2002) *The Black Belt Memory Jogger*, Salem, NH: GOAL/QPC

Stamatis, D.H. (2003) *Six Sigma and Beyond: Design for Six Sigma*, Boca Raton, FLA: St. Lucie Press

Sörqvist, L. (2004) *Ständiga förbättringar*, Lund: Studentlitteratur

Wallén, G. (1996) *Vetenskapsteori och forskningsmetodik*, 2. uppl., Lund: Studentlitteratur

Yang, K. och B. El-Haik (2003) *Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development*, New York, NY: McGraw-Hill

Internetkällor

Sandholm, L (2000) *Så kan Sex Sigma ge det stora lyftet*, Nyhetsbrevet Kvalitet, Nr. 2, Sandholm Associates

Hämtat från <http://www.sandholm.se/> den 25 januari 2005

Ford Motor Company (2004) *Powertrain quality quick facts and key process definitions*, Hämtat från http://www.media.ford.com/article_display.cfm?article_id=15248 den 13 oktober 2004

Quality improvement international (2003) *Failure mode & effects analysis*

Hämtat från http://www.fmeaqi2.com/types_fmea.htm den 3 mars 2004

Intervjuer

Christer Augustsson, Chef för driftsäkerhet, VCC Torslanda, 050202

Claes Orsbäck, Projektledare för upphandling, VCC, 041202

Egon Leveau, Projektledare, Alfa Laval Lund, 050127

Greger Malmqvist, Manufacturing Tech. Development, Alfa Laval Lund, 050127

Mats Tharing, Chef för beredningen, VCC Torslanda, 041221

Stefan Schrader, Master Black Belt, VCC Tyskland, 041202

Ulf Eriksson, Master Black Belt, VCC Torslanda, 041102

Michael Åström, Projektledare underhåll, VCC Torslanda, 050202

Jan Karlsson, senior consultant, Systecon AB, 041214

Kenny Rönnholm, Linjechef A-fabriken Black Belt, VCC Torslanda, 041108

7 QC-verktygen

Ishikawadiagram

Fiskbensdiagram och orsak-verkandiagram är vanliga benämningar på Ishikawadiagram. Diagrammet används i definitionssteget för att finna lämpliga förbättringsprojekt och i analyssteget för att identifiera källor till variation.^{1 2} Tekniken söker troliga orsaker till ett specifikt problem genom att dela upp möjliga orsaker i olika kategorier och sedan bryta ner dessa till bakomliggande orsaker. En liknande teknik är ”5varför” där frågan varför ska ställa fem gånger för att nå fram till den ursprungliga orsaken. (Bild)

Frekvanstablå och check sheets

Vid datainsamling kan enkla listor användas där förekommande fel markeras med streck eller kryss. Denna datainsamlingsmetod ska vara enkel och anpassad till informationen som ska samlas in. Frekvanstablåer används då informationen redan vid insamlandet delas in i intervall. Dessa kan sedan med enkelhet översättas till histogram.

Histogram

Histogram är ett sätt att grafiskt visa den insamlade datans typ av fördelning och spridning. Metoden kan användas för att få en grundläggande bild inför en djupare analys.³

Paretodiagram

Paretodiagrammet används för att identifiera orsakerna som har störst effekt på resultatet. Metoden baseras på teorin som brukar kallas 80/20 regeln, som säger att 20% av orsakerna ligger bakom 80% av problemen.

Stratifiering

Stratifiering är ett sätt att analyserade bakomliggande information från histogram.

Styrdiagram

Styrdiagrammet används för att upptäcka speciell variation och för att fortsätta kontrollera processen efter förbättring. Diagrammet brukar innehålla en uppföljning på både medelvärdet och intervallet mellan högsta och lägsta värdet inom provet.

Korrelationsanalys

Denna metod används för att undersöka korrelationen mellan en orsaksfaktor, x, och styrvariabeln, y.

¹ Magnusson et al (2000)

² Six Sigma Academy (2002) BBMJ

³ Sörqvist (2004)

Hjälpmiddel för robust design

Design av Experiment, DOE

Design av Experiment syftar till att finna orsak- och effektrelationer vid komplexa problem. Invariabler och utvariabler som önskas mätas och kontrolleras identifieras. Därefter ändras en av invariablerna i taget och resultaten observeras. Detta tar väldigt lång tid om det är komplexa problem med många variabler och det ger ingen information om samverkan mellan olika variabler. DOE har därför utvecklats till att innehålla statistiska tekniker för att optimera produkten eller processen med ett minimalt antal experiment som tar hänsyn till samverkan mellan olika variabler¹. Resultaten från DOE används för att få en mer robust design som är mindre känslig för variationer². Det ger även en indikation av vilka faktorer som kontinuerligt bör mätas då de har en stor inverkan på produkten eller processen³. I DFSS används DOE när designkonceptet är valt och optimeringen ska börja.

Toleransframtagning (Tolerance Design)

Toleransframtagning är en metod för att sätta toleranser så att maximal effekt och robust design uppnås.^{4 5} Den förutspår effekterna av olika toleranssättningar och hur det skulle påverka systemet. Målet är inte att alla mått ska snävas in, utan istället strävar toleranssättningen åt att sätta hårda toleranser på de kritiska måtten och låta de andra måtten vara lösare. Tanken är att balansera kostnad mot prestanda och kvalitet. Till det är Taguchis förlustfunktion användbar.⁶ Toleransutformningen utförs lämpligen efter det att designen i övrigt är fastställd.

¹ Brue och Launsby (2003)

² Magnusson et al (2000)

³ Brue och Launsby (2003)

⁴ Chowdury (2000)

⁵ Brue och Launsby (2003)

⁶ Chowdury (2000)

Processduglighet

Duglighetsindex

- Cp - ett duglighetsindex som beräknar förhållandet mellan systemets naturliga variation och det specificerade toleransintervallet. Vid beräkningarna förutsätts det att systemets medelvärde är centrerat kring målvärdet. Ett högt värde på Cp betyder att systemet kommer att producera enheter som uppfyller toleranskraven.
 $Cp = (\text{ÖTG} - \text{UTG}) / 6\sigma$ där ÖSG är övre toleransgränsen och USG är undre toleransgränsen och σ är systemets skattade standardavvikelse.
- Cpk - detta korrigerade duglighetsindex tar tillskillnad från Cp även hänsyn till processen centrerings kring målvärdet. Även här är ett högt Cpk positivt.
 $Cpk = \min ((\text{ÖTG} - \mu) / 3\sigma , (\mu - \text{UTG}) / 3\sigma)$ där μ är systemets medelvärde.
- Cr – ett duglighetsmått som ger förhållandet mellan standardavvikelsen och toleransvidden. Ett lågt Cr betyder att det är en liten spridning på resultatet. Precis som för Cp tar Cr inte hänsyn till processens centrerings.
 $Cr = 1/Cp$

Liknande index finns där man använder den verkliga standardavvikelsen och tar hänsyn till systemets centrerings kring målvärdet. Med andra ord ger dessa index information hur systemet uppför sig i verkligheten.

Intervjuunderlag

Intervjuer på VCC

Sex Sigma och DFSS

- Allmänt om Volvos Sex Sigma-program
- Kopplingar mellan Sex Sigma och upphandling
- Volvos DFSS-strategi
- DFSS och upphandling

Upphandling

- Allmänt om upphandling av produktionsutrustning på VCC
- Kravställning vid upphandling av produktionsutrustning
- Informationsöverlämning till produktion
- Erfarenhetsbevaring
- Verifiering av produktionsutrustningen

Intervju på Systecon AB

LCC

- Allmänt om LCC-förfaranden
- Erfarenheter från tidigare upphandlingar. Framförallt berörande kravställning och verifiering
- Fördelar och nackdelar med utnyttjandet av LCC

Intervju på Alfa Laval

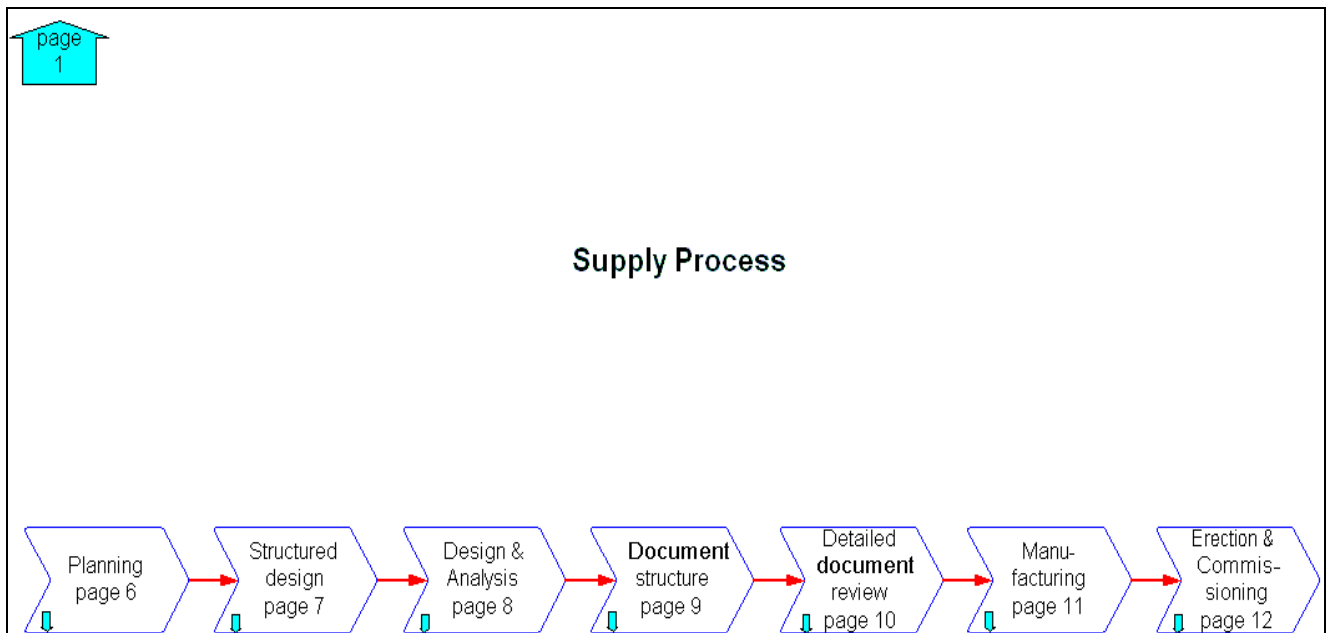
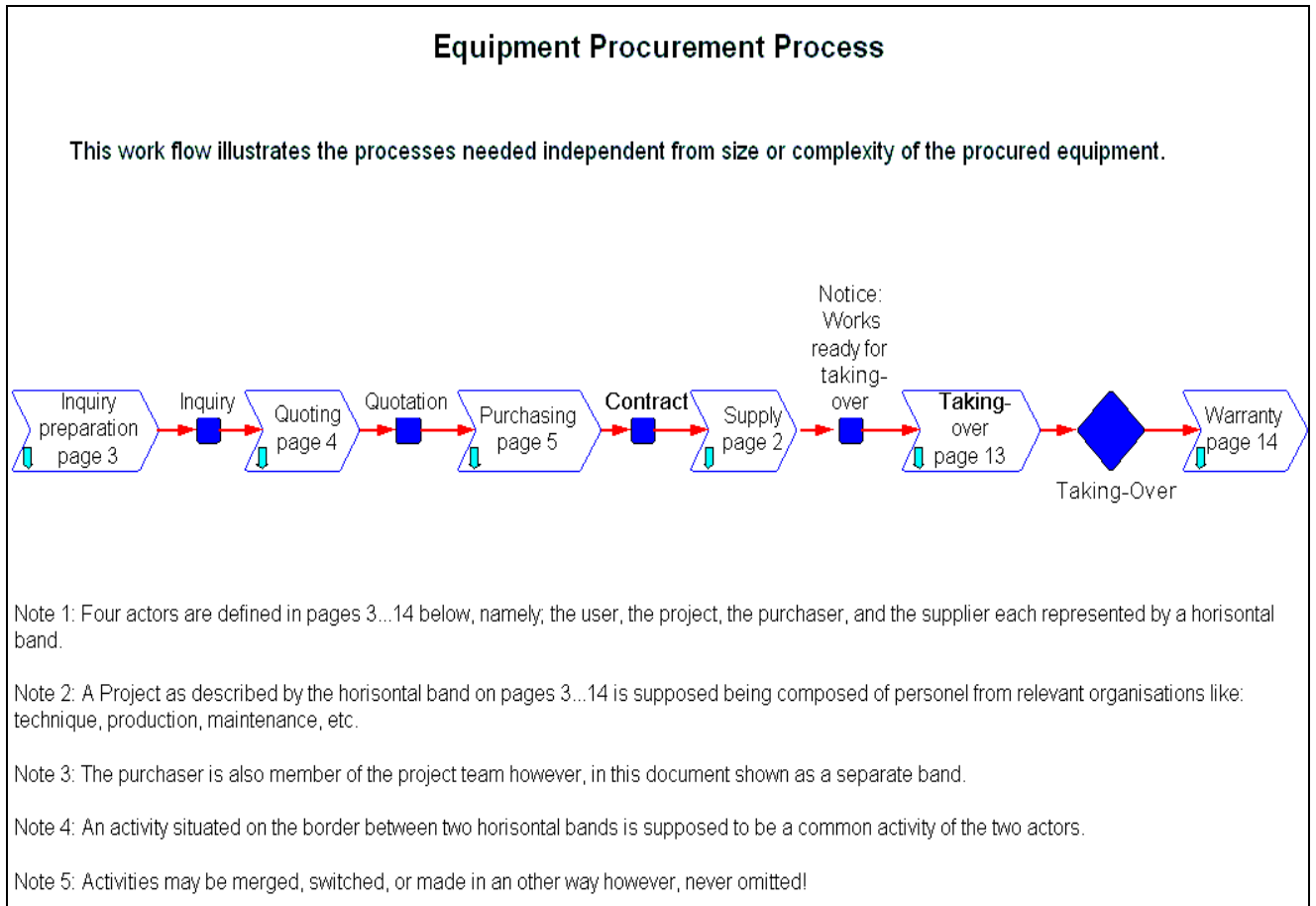
Upphandling och DFSS

- Generellt om upphandling av produktionsutrustning på Alfa Laval
- Alfa Lavals erfarenhet av DFSS vid upphandling
- Utnyttjandet av LCC och QFD vid upphandling
- Utvärderingskriterium vid upphandling

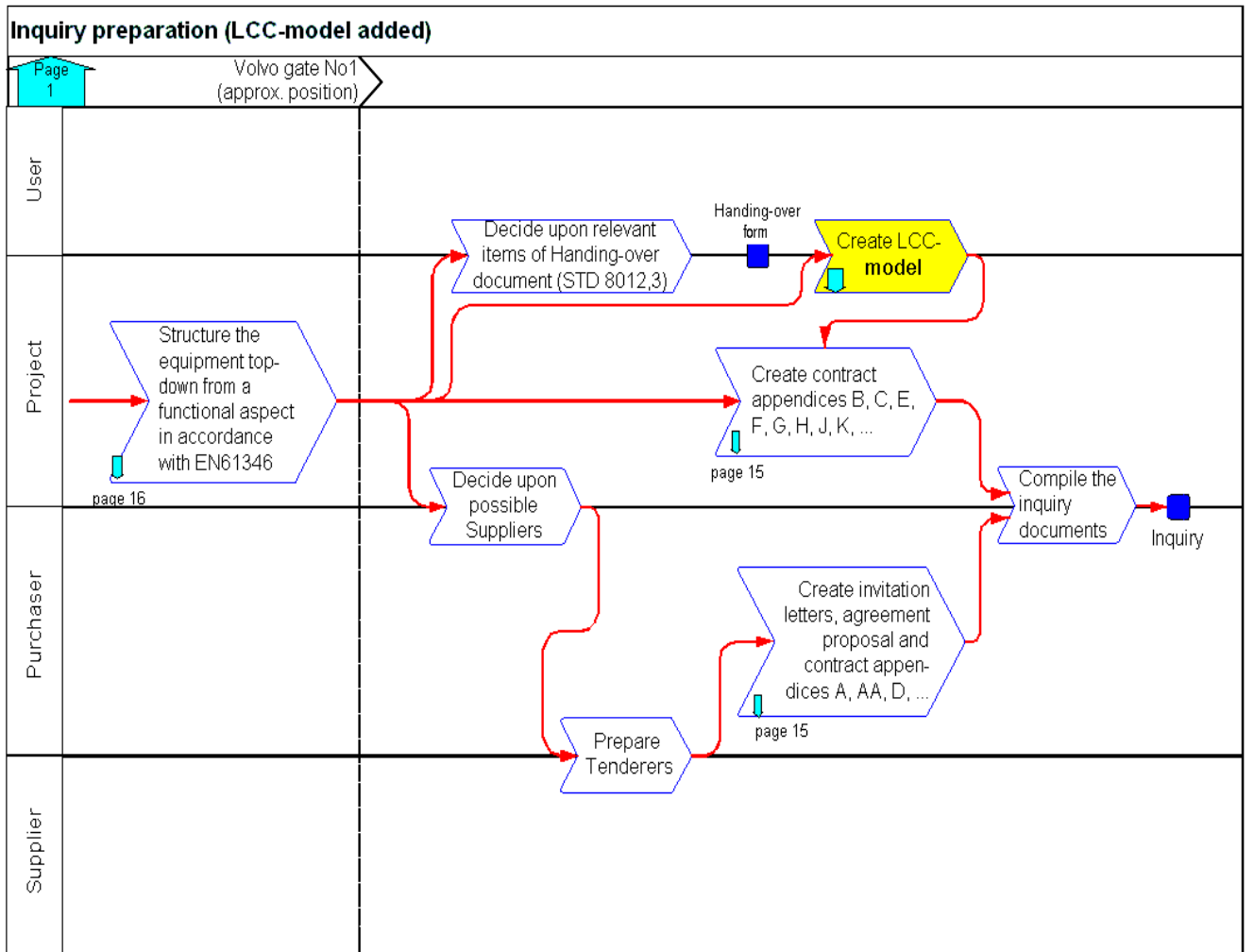
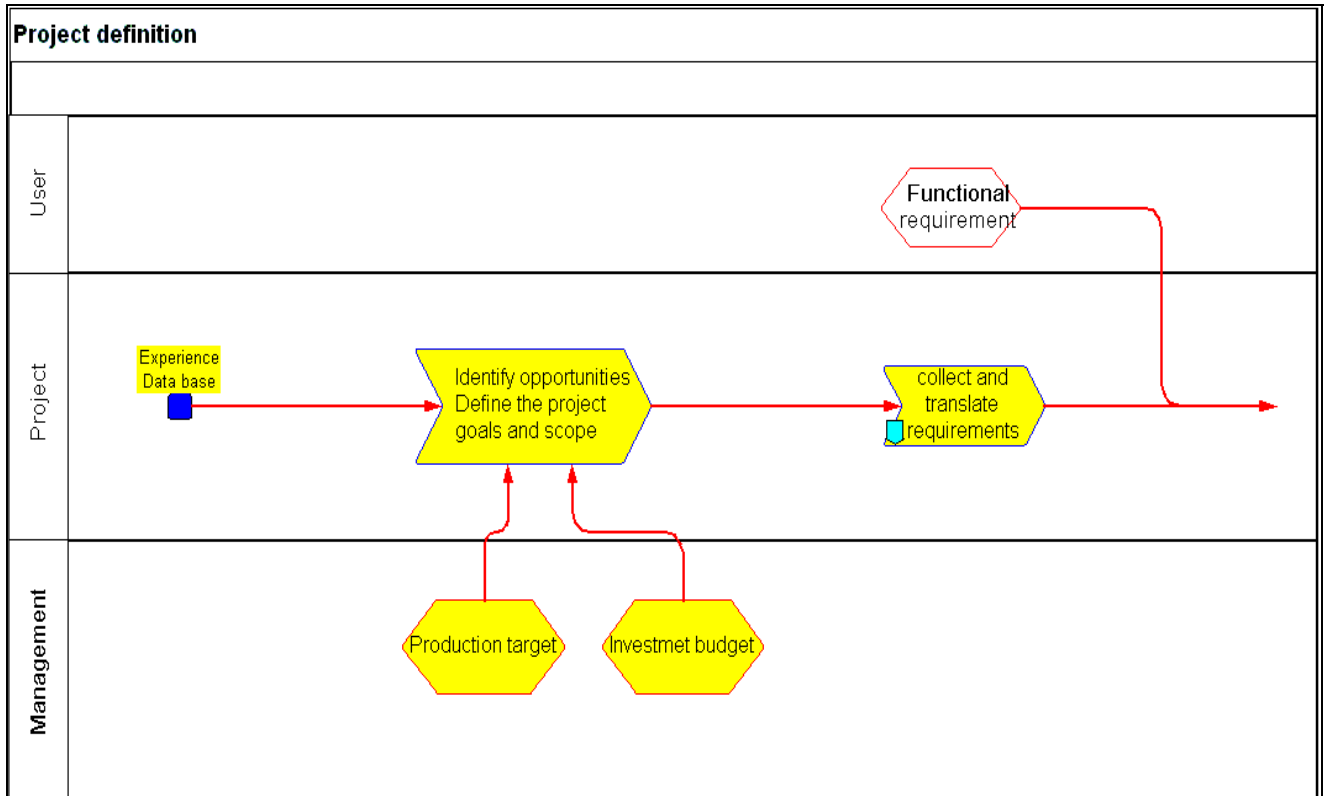
Processkarta

Här återfinns en processkarta för en upphandlingsprocess som tagits fram på VCC och som ingår i verksamhetssystemet. Modifieringar av den ursprungliga processbeskrivningen har gjorts för att visa var i denna författarnas förslag kan passas in. De tillägg och förändringar som gjorts är skuggade i processkartan. Inga ändringar är gjorda i de bilder som kommer efter den bild som beskriver underflödet för skapandet av LCC-modellen, Sub-flow for creating LCC-model (s.10). En förklaring till de tillägg som gjorts följer efter bilderna.

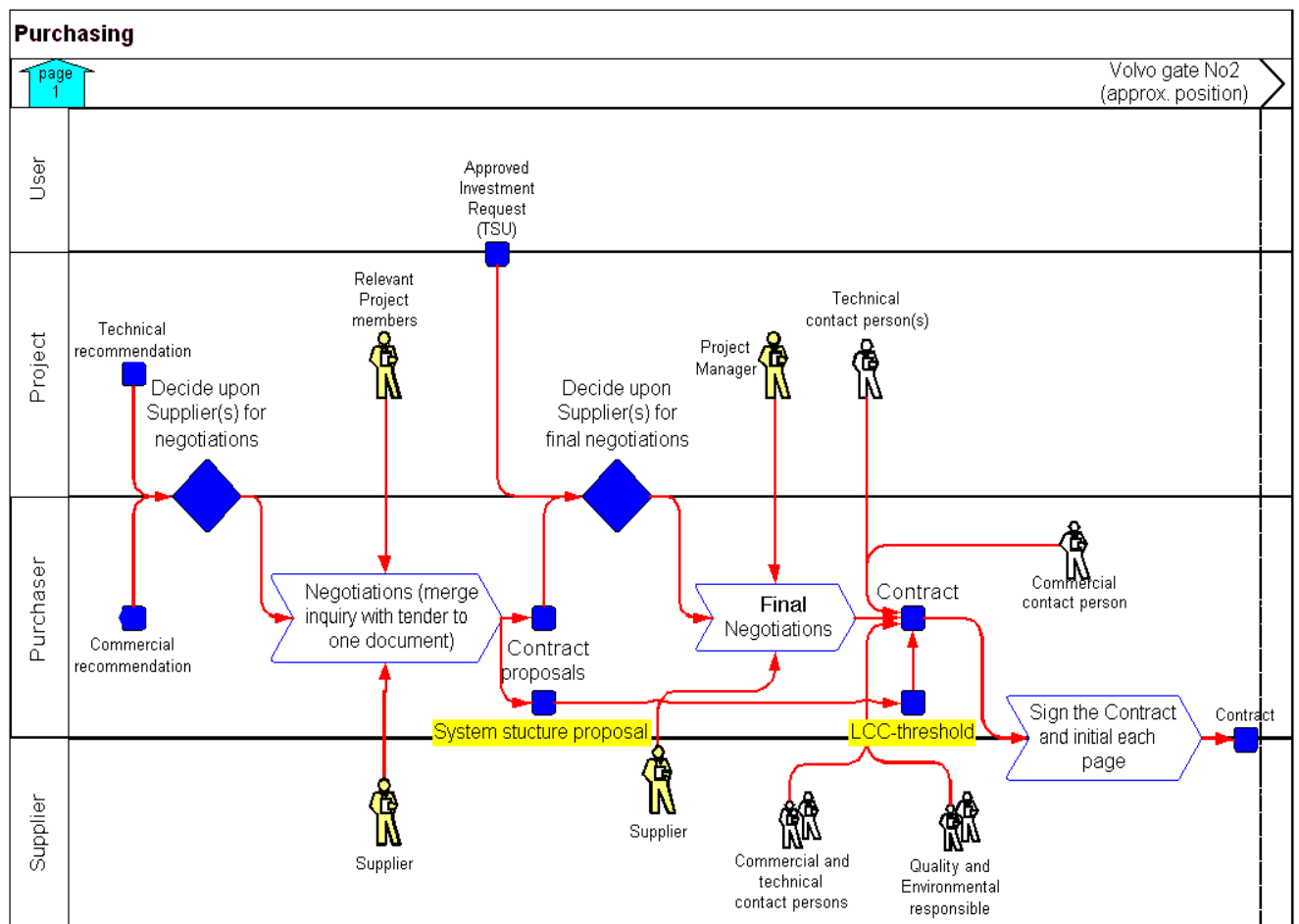
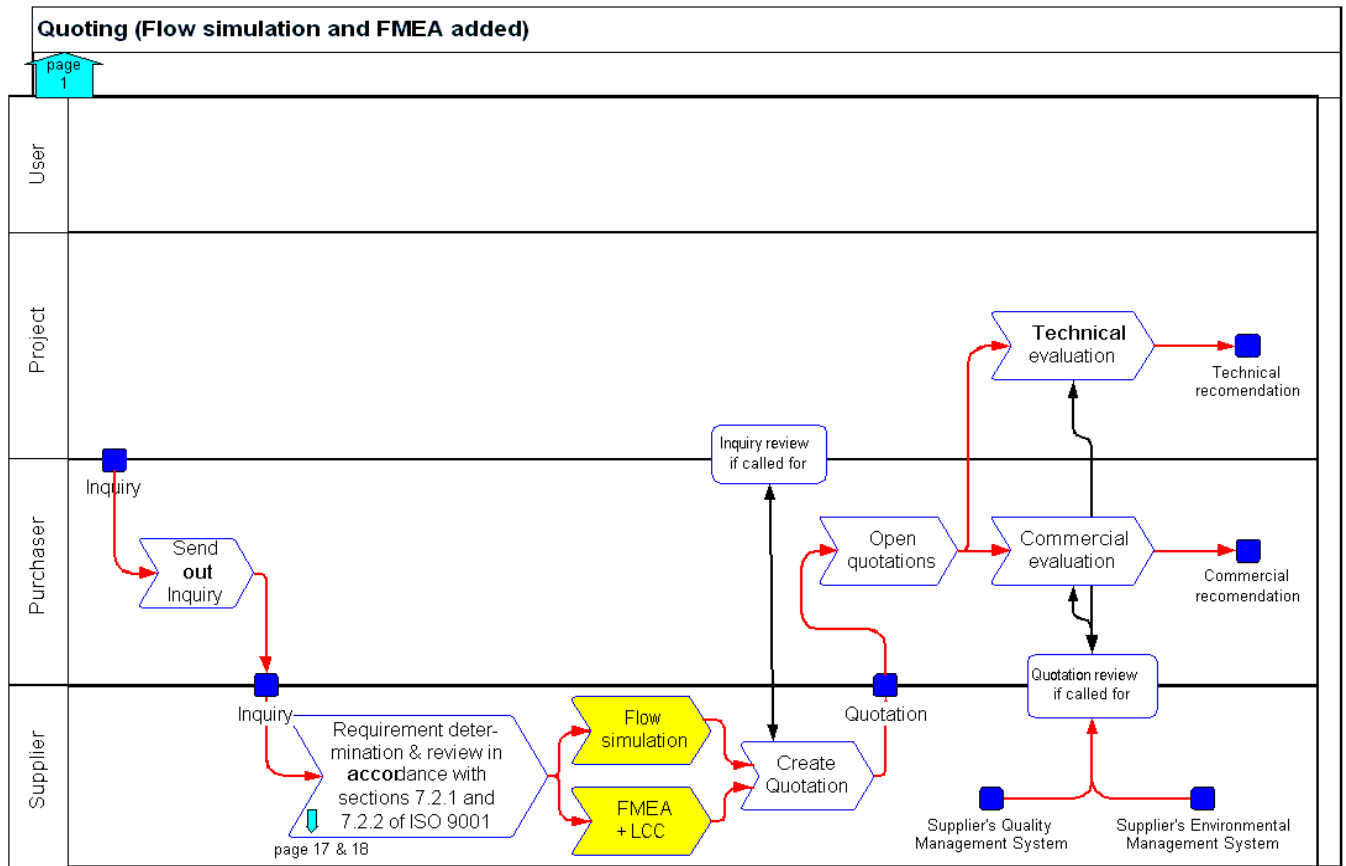
Modifierad processbeskrivning av Volvos upphandlingsprocess



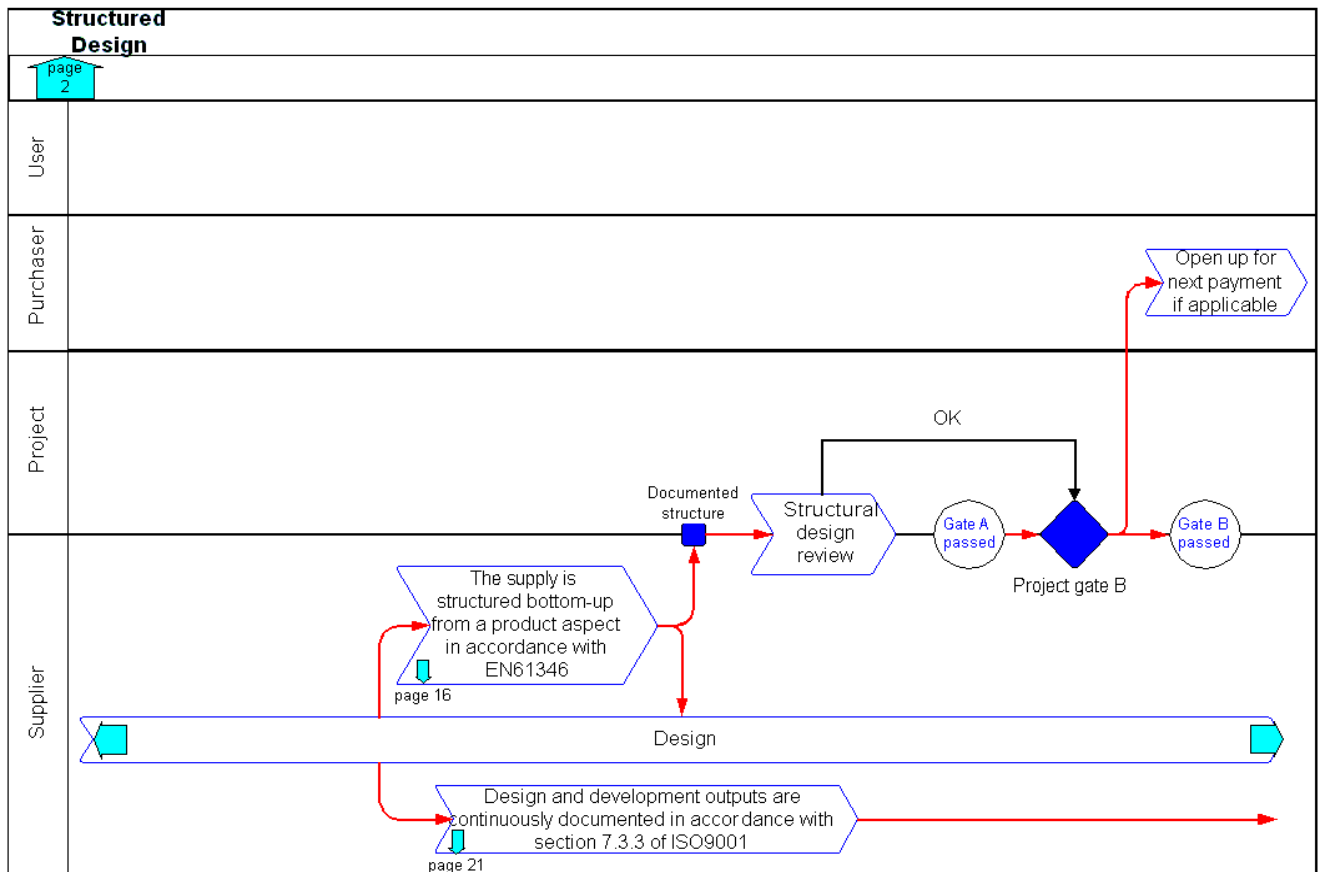
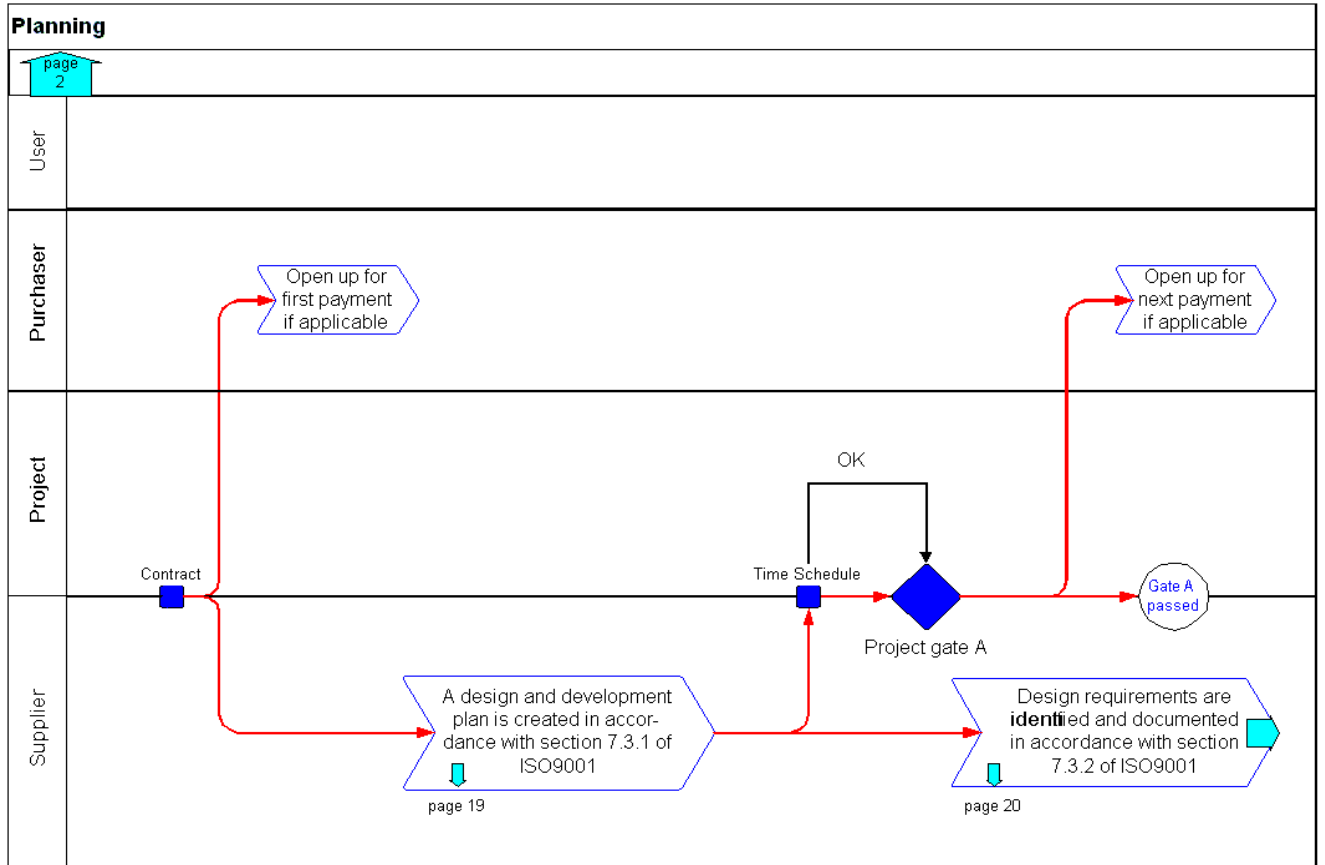
Appendix V



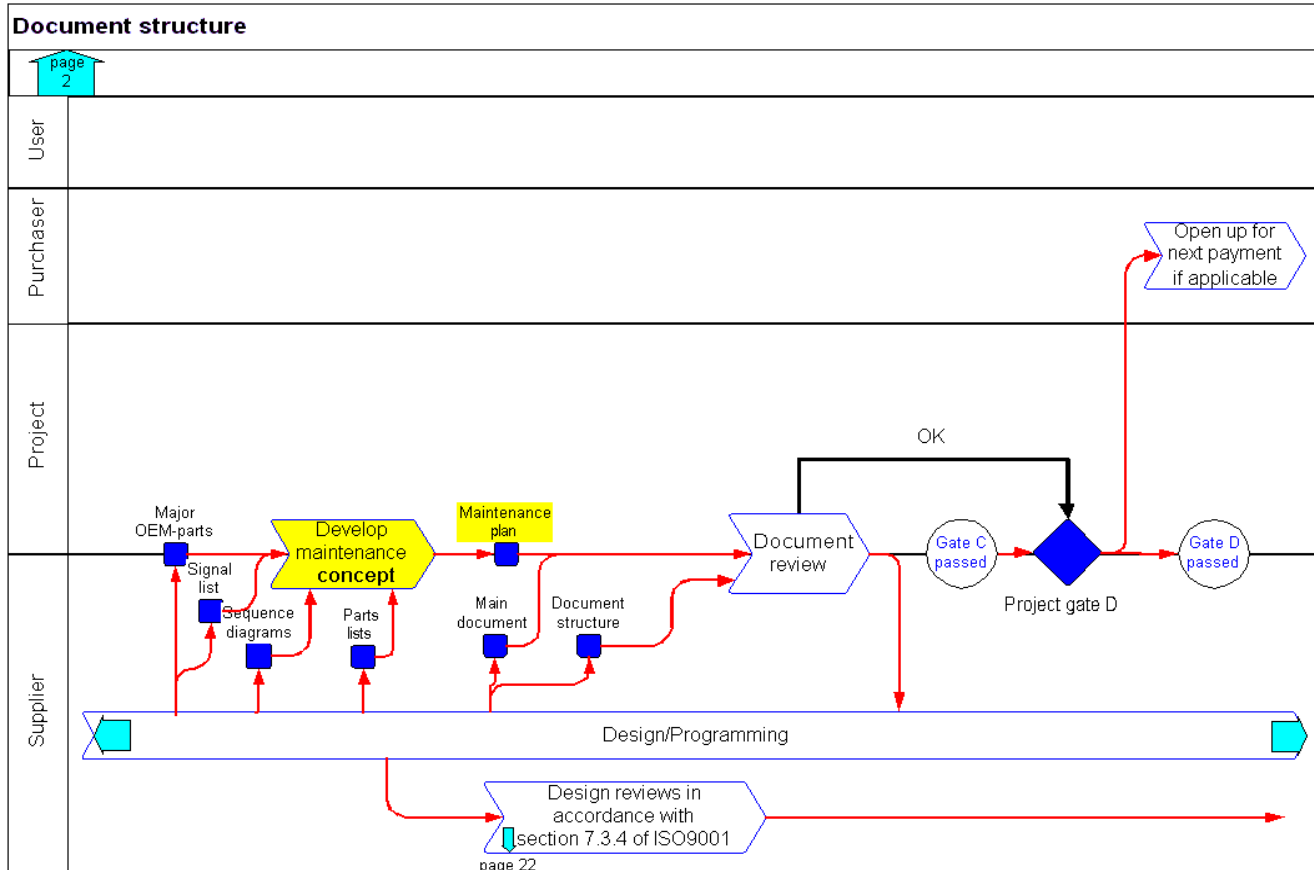
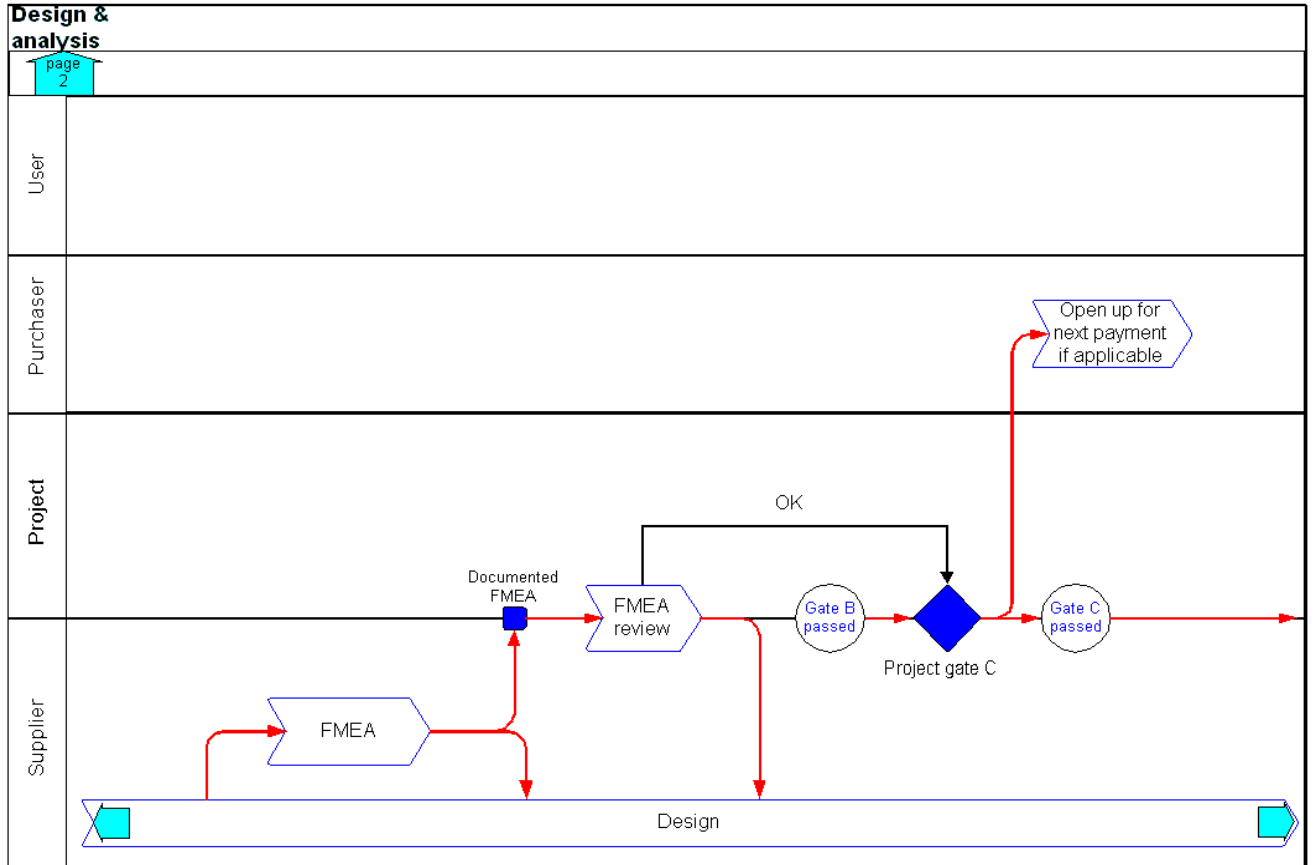
Appendix V



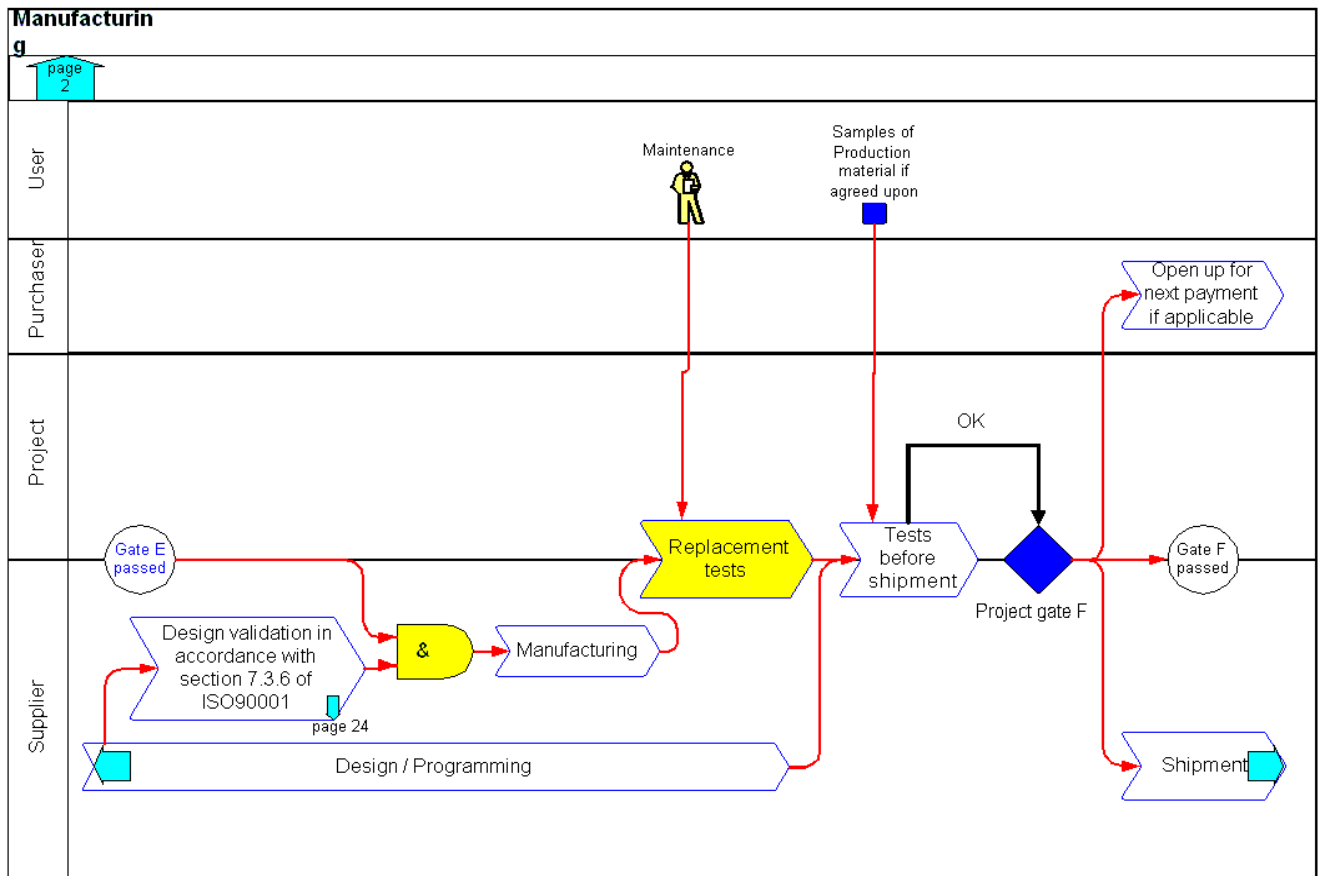
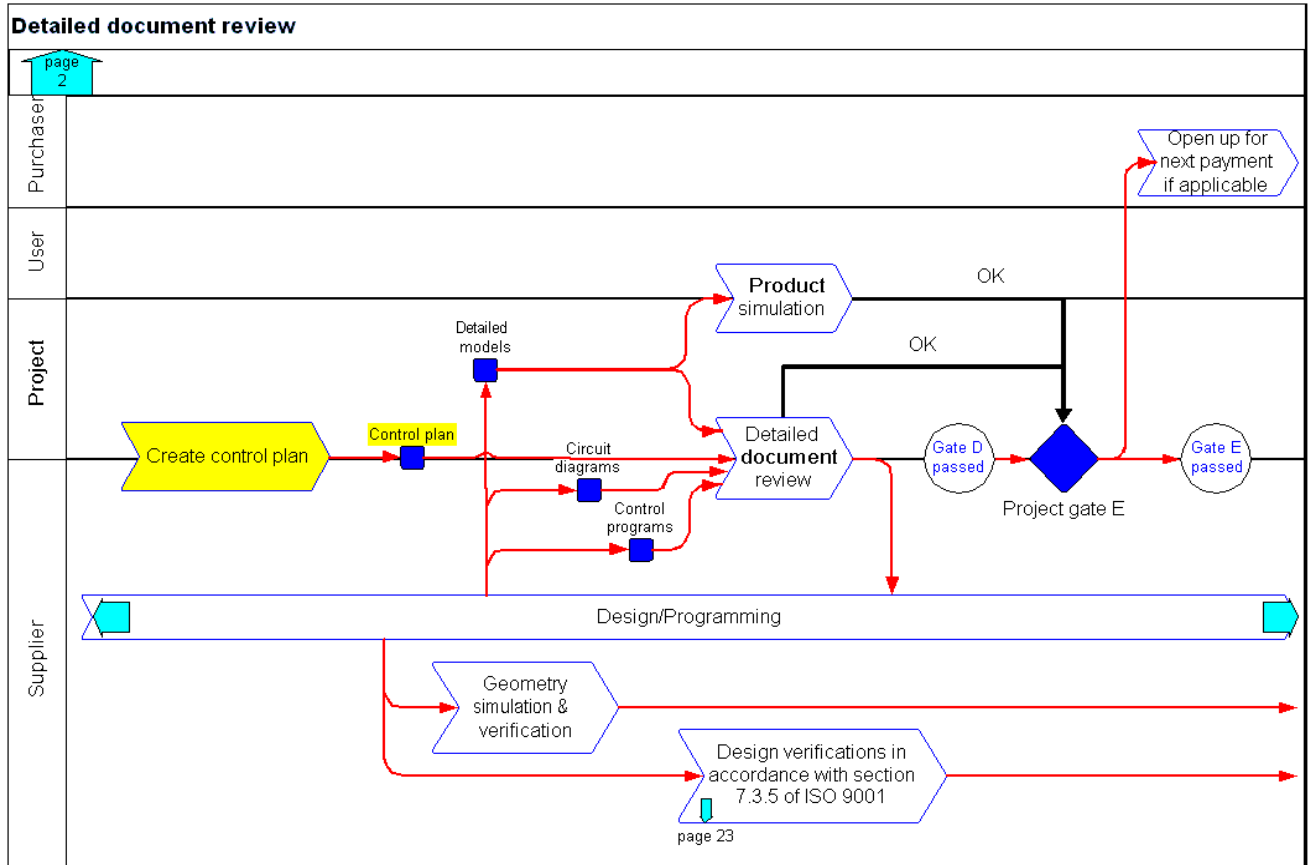
Appendix V



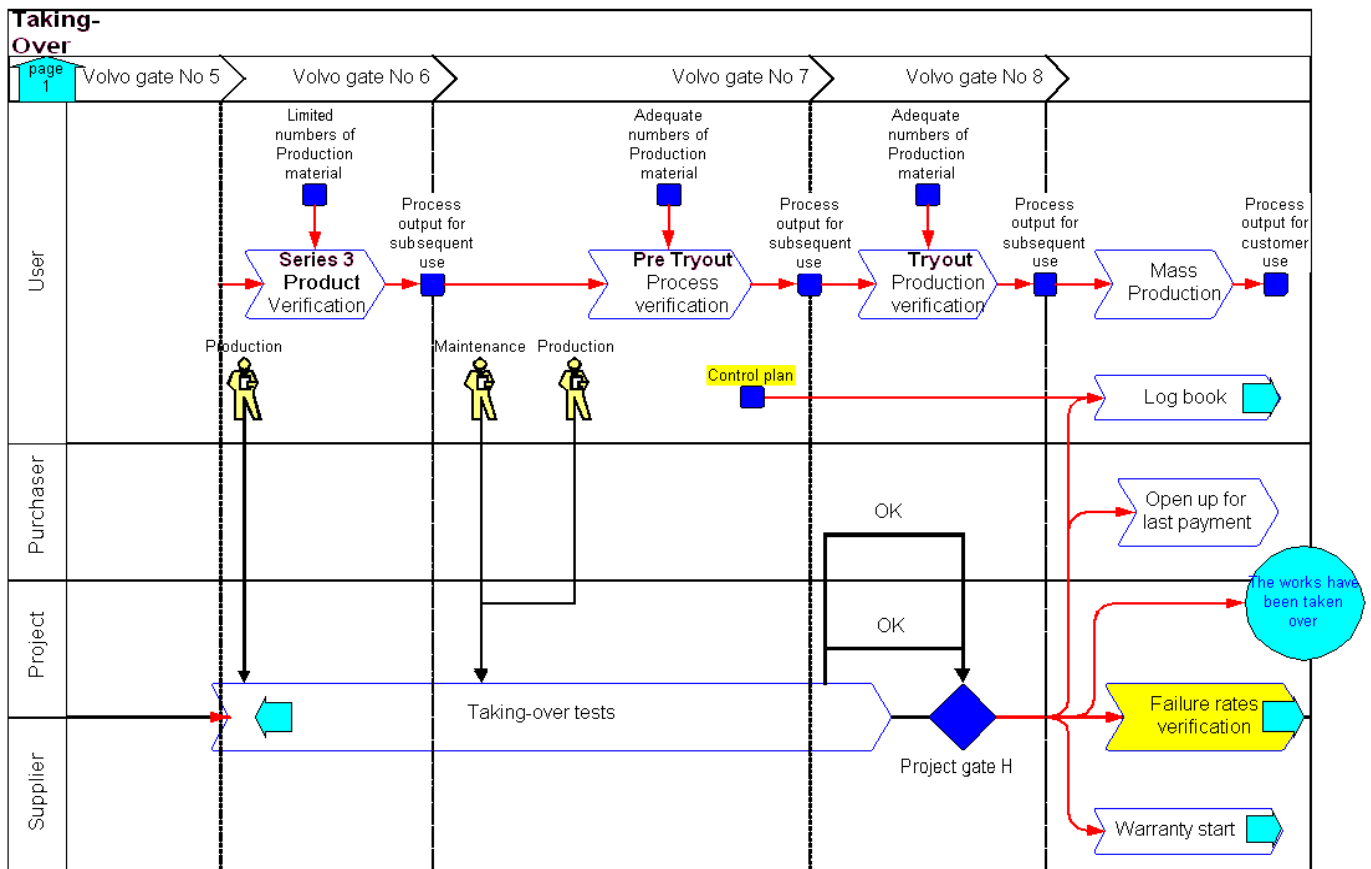
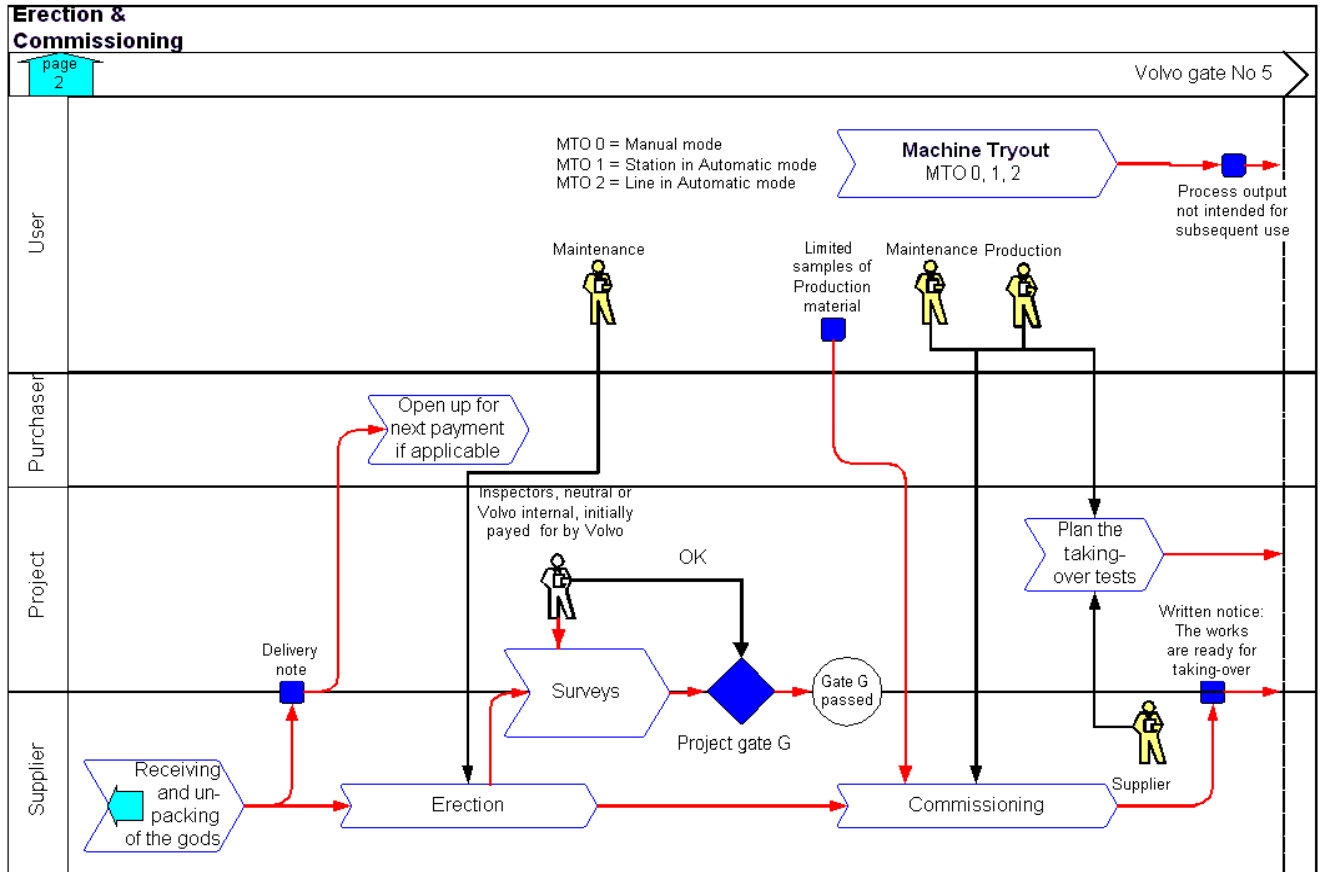
Appendix V



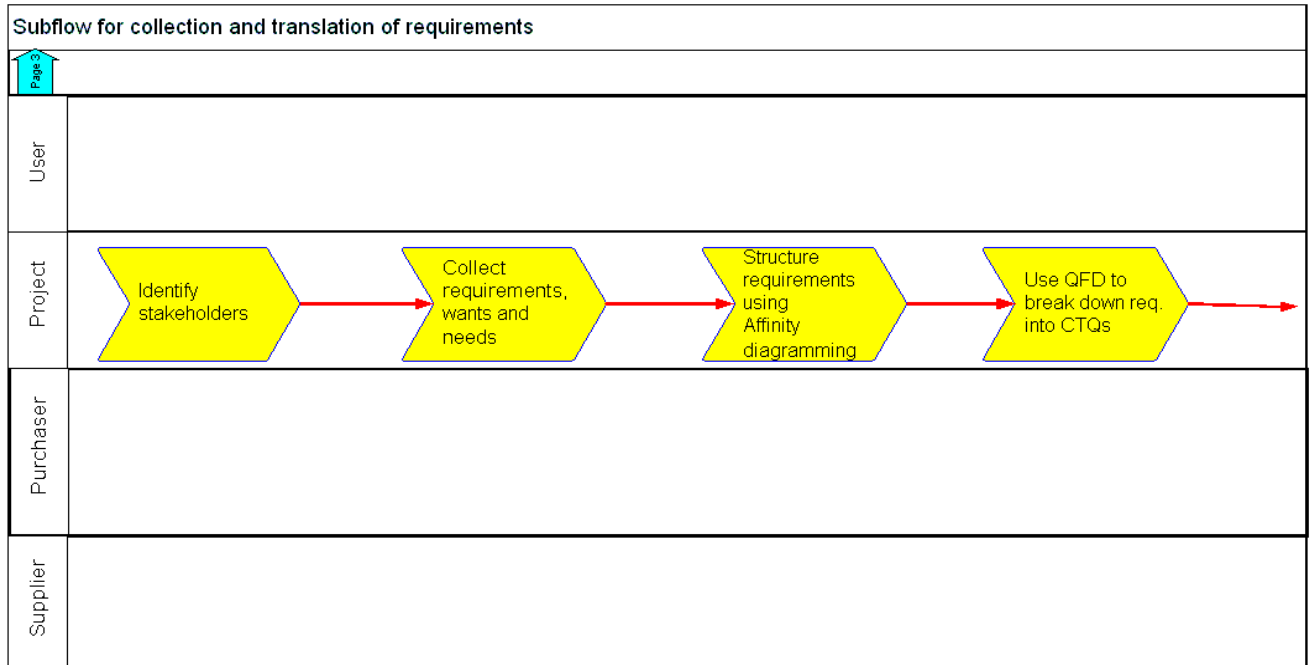
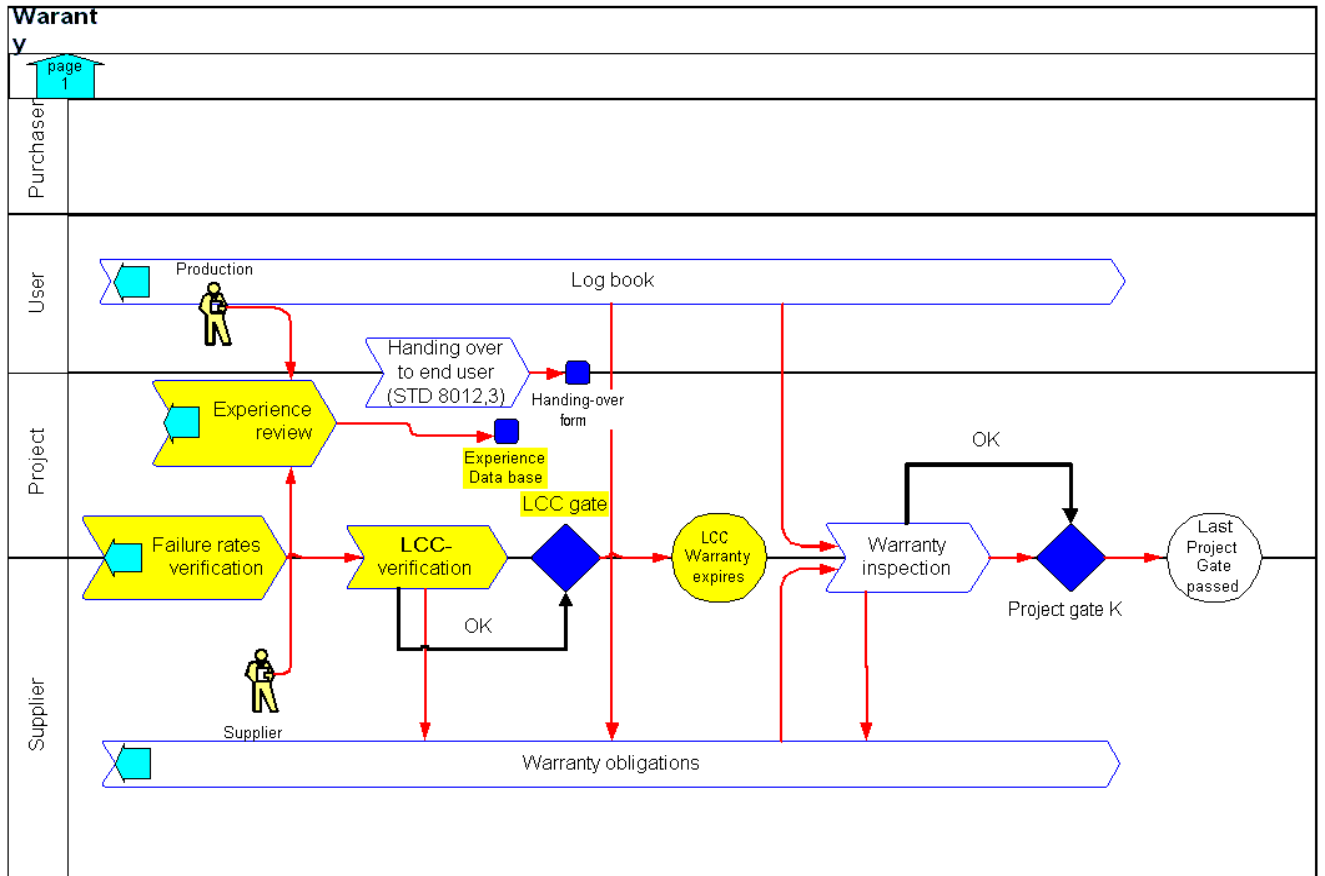
Appendix V



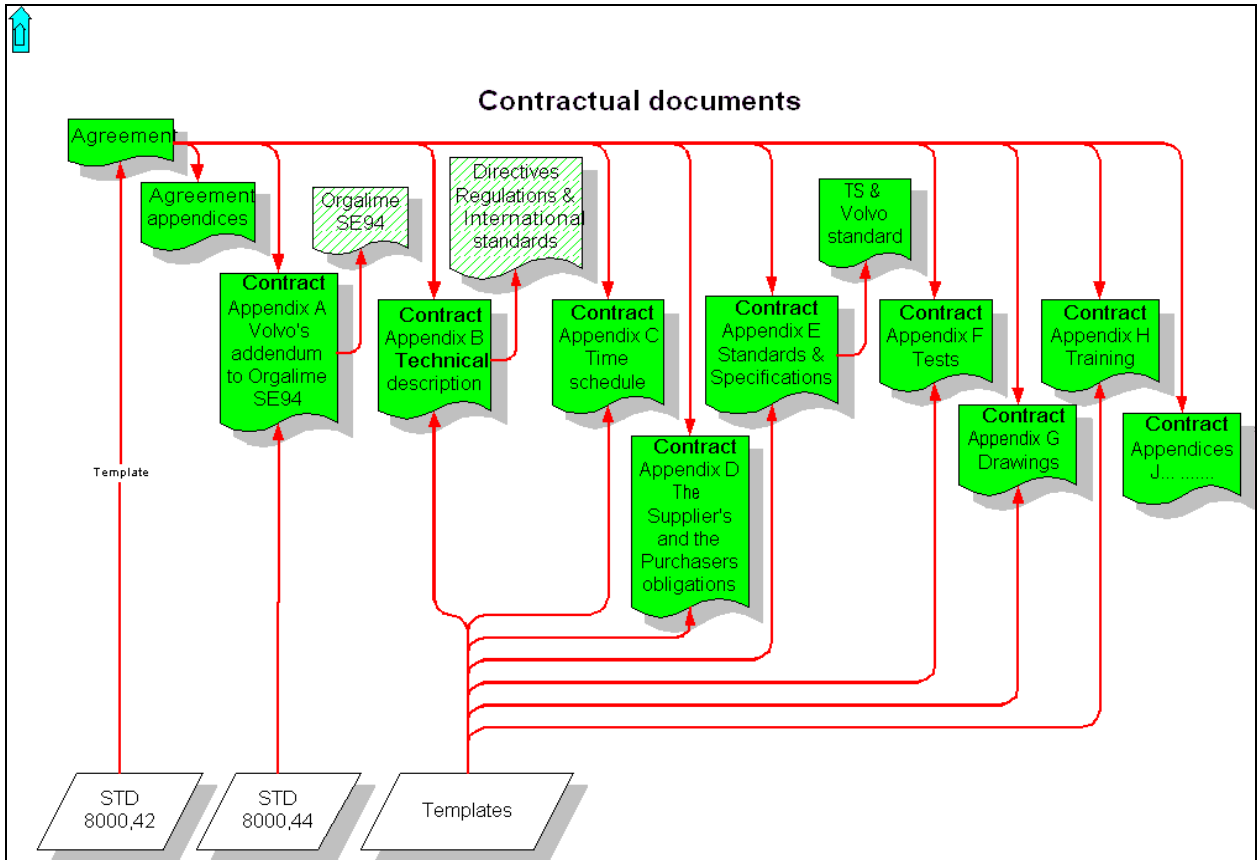
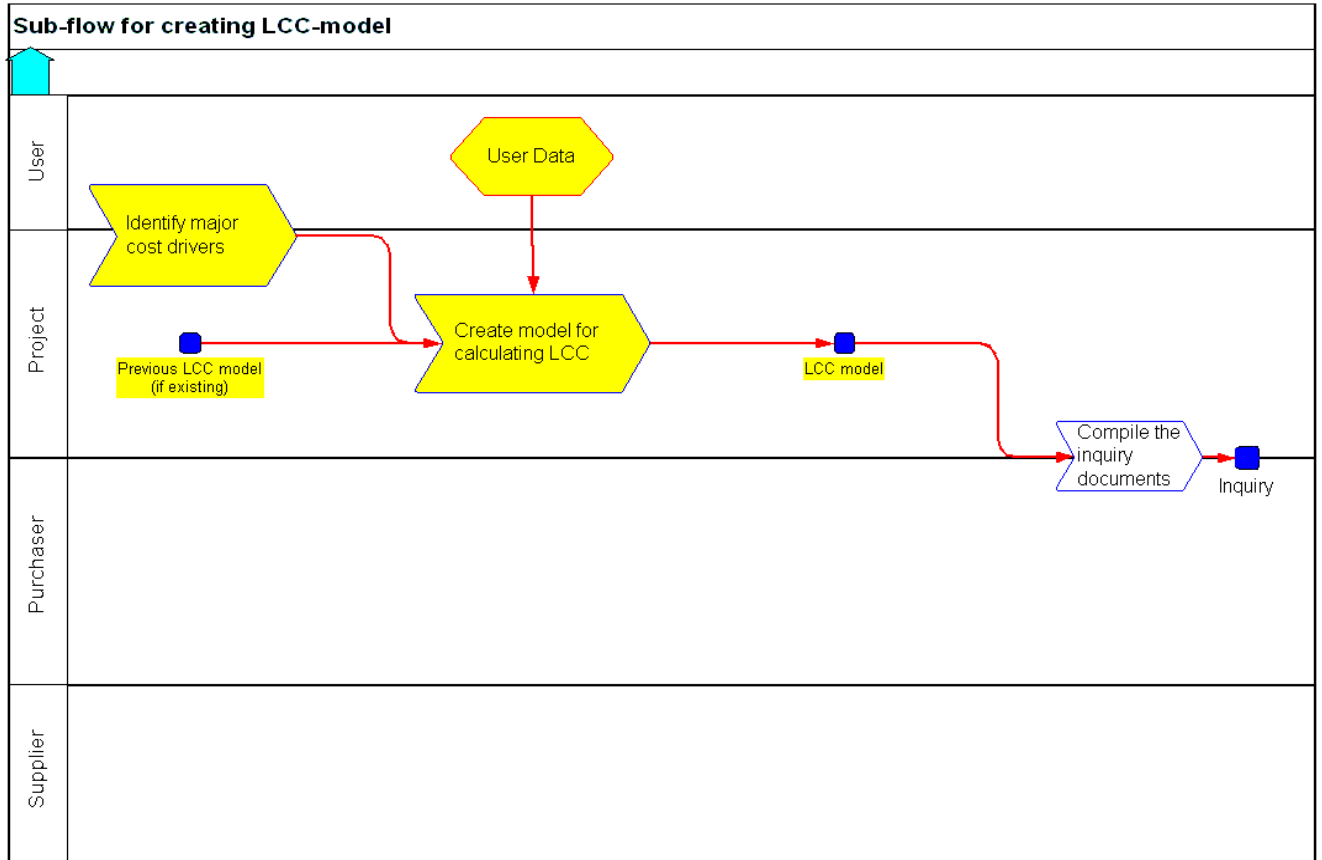
Appendix V

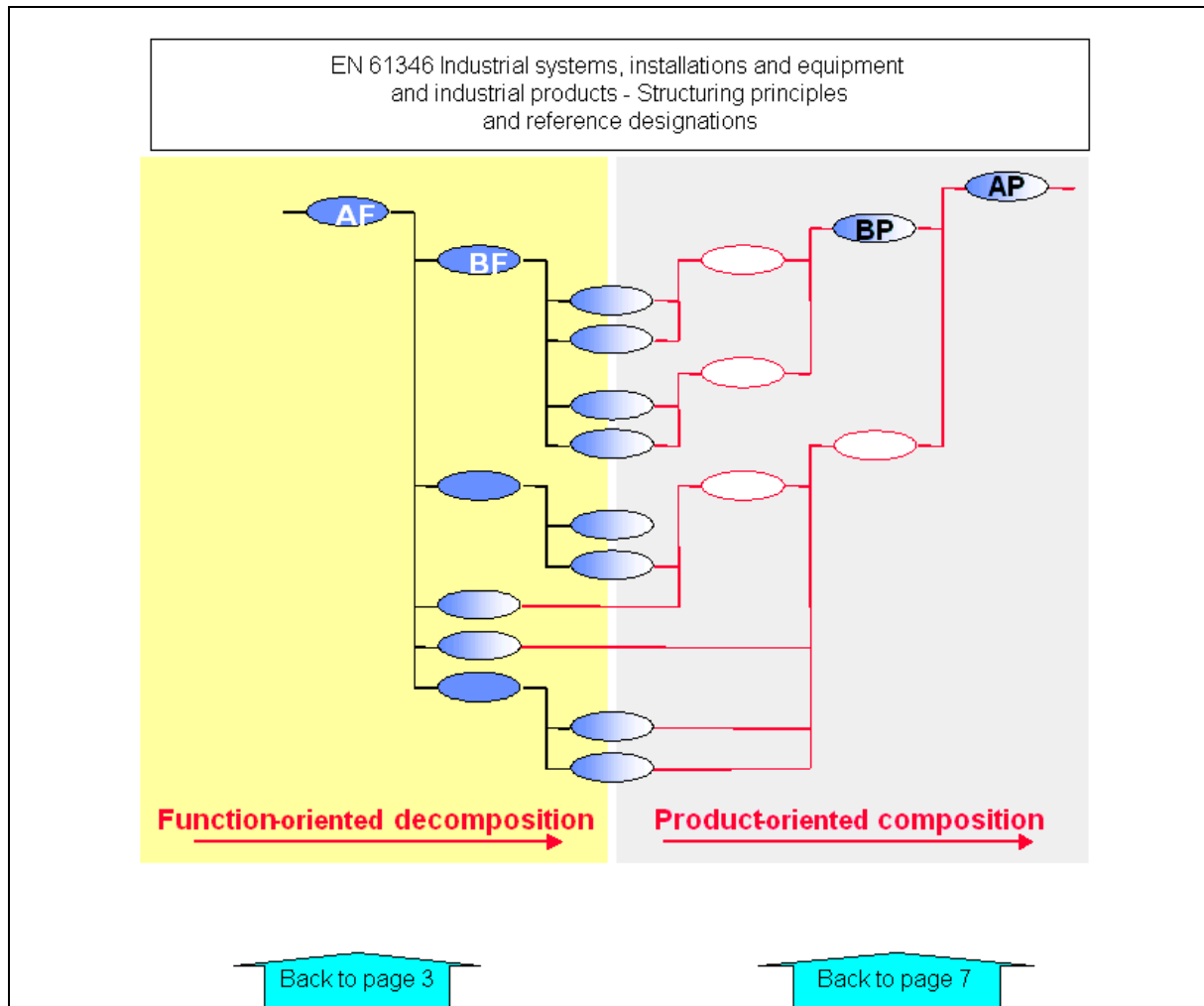


Appendix V



Appendix V





7.2.1 Determination of requirements related to the product

The organization shall determine:

- a) requirements specified by the customer, including the requirements for delivery and post-delivery activities,
- b) requirements not stated by the customer but necessary for specified or intended use, where known,
- c) statutory and regulatory requirements related to the product, and
- d) any additional requirements determined by the organization.

Back

7.2.2 Review of requirements related to the product

The organization shall review the requirements related to the product.

This review shall be conducted prior to the organization's commitment to supply a product to the customer (e.g. submission of tender, acceptance of contracts or order, acceptance of change to contracts or order) and shall ensure that:

- a) product requirements are defined,
- b) contract or order requirements differing from those previously expressed are resolved, and
- c) the organization has the ability to meet the defined requirements.

Record of the result of the review and actions arising from the review shall be maintained (see 4.2.4).

Where the customer provide no documented statement of requirement, the customer requirements shall be confirmed by the organization before acceptance.

Where product requirements are changed, the organization shall ensure that relevant documents are amended and that relevant personnel are made aware of the changed requirements.

Back

7.3.1 Design and development planning

The organization shall plan and control the design and development of product.

During the design and development planning, the organization shall determine:

- a) the design and development stages,
- b) the review, verification and validation that are appropriate to each design and development stage, and
- c) the responsibilities and authorities for design and development.

The organization shall manage the interface between different groups involved in design and development to ensure effective communication and clear assignment of responsibility.

Planning output shall be updated, as appropriate, as the design and development progresses.

Back

7.3.2 Design and development inputs

Inputs relating to product requirements shall be determined and records maintained (see 4.2.4). These inputs shall include:

- a) functional and performance requirements,
- b) applicable statutory and regulatory requirements,
- c) where applicable, information derived from previous similar designs, and
- d) other requirements essential for design and development.

These inputs shall be reviewed for adequacy. Requirements shall be complete, unambiguous and not in conflict with each other.

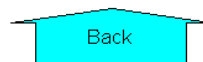


7.3.3 Design and development outputs

The outputs of design and development shall be provided in a form that enables verification against the design and development input and shall be approved prior to release.

Design and development outputs shall:

- a) meet the input requirements for design and development,
- b) provide appropriate information for purchasing, production and for service provision,
- c) contain or reference product acceptance criteria, and
- d) specify the characteristic of the product that are essential for its safe and proper use.





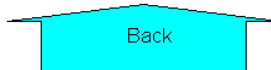
7.3.4 Design and development review

At suitable stages, systematic reviews of design and development shall be performed in accordance with planned arrangements (see 7.3.1):

- a) to evaluate the ability of the results of design and development to meet requirements, and
- b) to identify any problem and propose necessary actions.

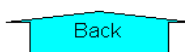
Participants in such reviews shall include representatives of functions concerned with the design and development stage(s) being reviewed.

Records of the results of the reviews and any necessary actions shall be maintained (see 4.2.4).



7.3.5 Design and development verification

Verification shall be performed in accordance with planned arrangements (see 7.3.1) to ensure that the design and development outputs have met the design and development input requirements. Records of the results of the verification and any necessary actions shall be maintained (see 4.2.4).



7.3.6 Design and development validation

Design and development validation shall be performed in accordance with planned arrangements (see 7.3.1) to ensure that the resulting product is capable of meeting the requirements for the specified application or intended use, where known. Wherever practicable, validation shall be completed prior to the delivery or implementation of the product. Records of the results of validation and any necessary actions shall be maintained (see 4.2.4).

Back

Beskrivning av ändringar i processen

Project definition (p. 3)

Identifiera möjligheter och definiera projektet

Denna aktivitet utförs av projektet och efter genomgången aktivitet ska projektets målsättningar och dess vidd vara tydligt definierade. En projektplan skapas också och vinsten med en tydlig sådan är kortare genomloppstid för projekt.

Behovsinsamling

Behovsinsamlingen är en viktig del och är närmare beskriven i ett eget underflöde. För att förenkla det fortsatta arbetet är det en fördel att behoven definieras tidigt så att rätt krav på utrustningen kan formuleras direkt.

Produktionsmål och investeringsbudget

Ett funktionellt band för ledningen har lagts till för att visa dess roll i definitionen av projektet. Kraven från ledningen tas fram i förarbetet och är tillgängliga då projektet definieras. De måste vara definierade då eftersom de i stor grad påverkar projektets mål och vidd.

Inquiry preparation (p. 3)

Skapande av LCC-modell

Utnyttjandet av livstidskostnadsberäkningar ger en bättre helhetsbild för utvärderingen av olika alternativ. Modellen för LCC-beräkning bildar ett eget kontraktappendix och finns med i förfrågningarna till leverantörerna. För att modellen ska bli så verklig som möjligt tas den fram av projektet tillsammans med användaren som bäst vet vilka kostnader som finns under drift. En närmare beskrivning av framtagningen av LCC-modellen finns i ett eget underflöde.

Quoting (p. 4)

Flödessimulationer

En bättre utvärdering av alternativen kan göras med hjälp av en flödessimulering av systemet och därmed ska den vara med redan i den första offerten. Flödessimuleringen är ett hjälpmedel för att utvärdera om förslaget uppfyller de specificerade prestanda kraven.

FMEA och LCC

FMEA och livstidskostnadsberäkningar är två hjälpmedel vid utvärderingen av koncept. FMEA-analyser är till för att finna vad som är kritiskt för processen och därmed behövs åtgärdas redan under utvecklingen. Genom att få den här informationen tidigt har VCC en större möjlighet att påverka systemstrukturen och därmed får ett mer enhetligt system vid kontraktsskrivningen. Leverantören ska ge information om systemstrukturen ur ett underhållsperspektiv samt övrig indata som krävs till LCC-modellen.

Purchasing (p. 4)

Förslag till systemstruktur och LCC-tröskeln

Anledningen till att förslaget till systemstruktur är utbrutet ur kontraktsförslaget är för att visa att strukturen har en stark koppling till livstidskostnadsberäkningarna. Med de förhållanden som är givna i kontraktet räknas ett tröskelvärde ut som leverantören är sedan är bunden till.

Dokument structure (p. 6)

Utveckla underhållskoncept

Aktiviteten ”utveckla underhållskoncept” introduceras innan dokumentgenomgången. Aktiviteten genomförs av leverantör och projekt tillsammans. Detta samarbete är viktigt för att ta fram ett effektivt underhållskoncept som är anpassat till Volvos organisation. Ett antal dokument har flyttats för att användas vid framtagningen av underhållskonceptet.

Detailed document review (p. 7)

Skapa kontrollplan

En kontrollplan ska skapas för övervakning av systemet under drift. Planen ska arbetas fram av projektet i samarbete med personal från produktion, och då helst de som ska utföra övervakningen. Denna kontrollplan beskriver vilken information som ska lagras i den s.k. loggboken. Detta bör göras innan den sista genomgången av dokument för att systemets utformning ska vara anpassad för önskad övervakning.

Manufacturing (p. 7)

Utbytestester

Inspektionen som leder till projektgrind F ska innehålla utbytestester för att verifiera de angivna medelreparationstiderna. Volvos personal bör genomföra testerna för att få en så rättvisande bild som möjligt. Testerna kan utföras utan att systemet är taget i drift vilket möjliggör verifiering hos leverantören. En fördel med detta är att man inte tar produktionstid i anspråk för att genomföra testerna. För att begränsa antalet tester vill man endast kontrollera ett urval av alla felmöjligheter.

Taking-Over (p. 8)

Verifiering av felfrekvens

Felfrekvensen ska verifieras sedan fullskalig produktion startat och man nått ett stabilt läge på cykeltiden. Istället för att försöka mäta felfrekvensen direkt plottas det ackumulerade antalet fel mot antalet cykler i en s.k. sekventiell testplan.

Warranty (p. 9)

Verifiering av LCC-tröskeln

Den framtagna LCC-modellen används för att verifiera att de angivna värdena på MCBF och reparationstider, tillsammans med systemstrukturen kommer att uppfylla tröskelvärdet på det förväntade livstidskostnadsutfallet. När de angivna värdena som ingått i LCC-beräkningen, däribland MCBF och MTTR, har verifierats, kan även LCC verifieras. Efter godkännande upphör leverantörens LCC-åtagande även om andra garantiåtaganden fortfarande kan gälla. Detta demonstreras med den tillagda LCC-grinden.

Erfarenhets genomgång

Genomgången av projektet ska ske med hjälp av synpunkter från både användaren av utrustningen och leverantören. Denna genomgång ska resultera i en erfarenhetsdatabas som ska utnyttjas vid definition av ett nytt projekt. I beskrivningen har "vitboken" tagits bort till förmån för erfarenhetsgenomgången.

Subflow for collection and translation of requirements (p. 9)

För att kunna samla in samtliga behov måste först de olika intressenterna identifieras. Behoven struktureras med hjälp av affinitydiagram för att på så sätt minska mängden indata till QFD. De kritiska systemegenskaper som kommer fram ur QFD är på en form som går att mäta och som kan ställas krav på.

Sub-flow for creating LCC-model (p. 9)

Identifiering av de största kostnadsdrivarna

Då användaren har bäst kunskap om kostnader som uppkommer under produktion så ska de tillsammans med projektet identifiera de största kostnadsdrivarna.

Användardata

Användardata är den data som leverantören ej kan påverka och som beror på Volvos organisation, dvs. den beskriver situationen som systemet kommer att användas i. Exempel är mantidskostnad samt driftprofilen.

Skapande av LCC-modellen

En modell sätts upp för vilka kostnader som ska vara med och hur indata ska presenteras. Denna modell följer sedan med i förfrågan till leverantörerna och dessa ska använda den för beräkningar som ska medfölja deras offerter.