



# Modell för optimering av diagnos och felsökning, Volvo Personvagnar AB

Johan Larsson

Andreas Karlsson

## EXAMENSARBETE

Elektroingenjör med inriktning mot Elektroniska System 120p (Johan Larsson)

Dataingenjör med inriktning mot Industriell IT 120p (Andreas Karlsson)

Institutionen för teknik, matematik och datavetenskap

# EXAMENSARBETE

## Modell för optimering av diagnos och felsökning, Volvo Personvagnar AB

### Sammanfattning

Examensarbetet visar en framtagning och användning av en modell för optimering av diagnos och felsökning på personbilar. Modellen har konstruerats för att kunna bestämma hur mycket diagnos och felsökningshjälp som skall implementeras i styrenheter och om diagnos och felsökningshjälp idag ges i korrekt omfattning.

Ett program har utvecklats i Microsoft Excel baserat på modellen. Med hjälp av programmet har en analys gjorts som påvisar att diagnos och felsökningshjälp idag ges i korrekt omfattning för undersökt fel. Felet som undersökts är avbrott i kabel mellan backsensor och styrenhet. Tre olika diagnostiserings- och felsökningsmetoder som mekanikern kan ha tillgång till har jämförts. Dessa tre är:

- Endast funktion och konstruktionsschema
- All möjlig diagnos och felsökningshjälp utan separat felkod för avbrott
- All möjlig diagnos och felsökningshjälp med separat felkod för avbrott

Analys för att bedöma modellens trovärdighet har gjorts genom att undersöka nämnt avbrottsfel. Resultatet som gavs från denna analys visar att modellen är trovärdig.

<b>Författare:</b>	Johan Larsson, Andreas Karlsson
<b>Examinator:</b>	PhD Per-Olof Andersson
<b>Handledare:</b>	Kjell Hellgren, Volvo Personvagnar AB
<b>Program:</b>	Elektroingenjör med inriktning mot Elektroniska System (Johan Larsson) Dataingenjör med inriktning mot Industriell IT (Andreas Karlsson)
<b>Ämne:</b>	Elektroteknik (Johan Larsson), Datateknik (Andreas Karlsson)
<b>Datum:</b>	2007-01-17
<b>Nyckelord:</b>	diagnos, felkod, felsökning, modell, optimering
<b>Utgivare:</b>	Högskolan Väst, Institutionen för teknik, matematik och datavetenskap, 461 86 Trollhättan Tel: 0520-22 30 00 Fax: 0520-22 32 99 Web: www.hv.se
<b>Examensnivå:</b>	Teknologie Kandidat
<b>Rapportnummer:</b>	2006:E06

# **BACHELOR'S THESIS**

## **Model for optimization of diagnostics and fault tracing, Volvo Car Corporation**

### **Summary**

This bachelor's thesis shows the creation and use of a model for optimization of diagnostics and fault tracing on cars. The model has been created with consideration of being able to decide what quantity of diagnostics and fault tracing help that is to be implemented in control modules and if the extent of diagnostics and fault tracing help today is given correct.

A program has been developed in Microsoft Excel based on the model. An analysis has been done showing that diagnostics and that fault tracing help today is given in the correct amount for examined fault by means of the program. The examined fault was open cable between rear park assist sensor and control module. Three different diagnostic and fault tracing methods that a mechanic can use has been investigated. These three are:

- Only function and construction schematics
- All possible diagnostics and fault tracing help, without specific fault code for open circuit
- All possible diagnostics and fault tracing help, with specific fault code for open circuit

An analysis of the model's reliability has been done by examining mentioned open fault. The result of the analysis shows that the model is trustworthy.

<b>Author:</b>	Johan Larsson, Andreas Karlsson		
<b>Examiner:</b>	PhD Per-Olof Andersson		
<b>Advisor:</b>	Kjell Hellgren, Volvo Car Corporation		
<b>Programme:</b>	Electrical Engineering, Electronic Systems (Johan Larsson) Computer Engineering, Industrial IT (Andreas Karlsson)		
<b>Subject:</b>	Electrical Engineering (Johan Larsson) Computer Engineering (Andreas Karlsson)		
<b>Date:</b>	January 17, 2007	<b>Level:</b>	Bachelor
<b>Keywords</b>	diagnostic, diagnostic trouble code, fault tracing, model, optimization		
<b>Publisher:</b>	University West, Department of Technology, Mathematics and Computer Science, S-461 86 Trollhättan, SWEDEN Phone: + 46 520 22 30 00 Fax: + 46 520 22 32 99 Web: www.hv.se		

## **Förord**

Författarna vill tacka Volvo Personvagnar AB, avdelningen 94232 diagnos och SWDL (Software Download), som möjliggjort detta examensarbete. Ett speciellt tack ges till handledaren Kjell Hellgren för sitt stora engagemang.

Detta examensarbete innebär att författarnas 120 poängs ingenjörsutbildning avslutas.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	i
Summary.....	ii
Förord.....	iii
Innehållsförteckning.....	iv
Nomenklatur.....	vi
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Syfte och mål .....	1
1.3 Förutsättningar .....	2
1.4 Avgränsningar.....	2
2 Metod.....	2
3 Diagnosmetoder och felsökningshjälp.....	3
3.1 On-board diagnos .....	3
3.1.1 Felkod .....	3
3.1.2 Dataparametrar .....	5
3.2 Off-board diagnos.....	5
3.2.1 Funktion och konstruktionsschema .....	5
3.2.2 Steg-för-steg felsökningshjälp.....	5
4 Hjälpmedel från utveckling till reparation .....	5
4.1 Carcom II.....	5
4.2 VIDA.....	6
4.3 VCT-2000.....	6
5 De vanligaste elektriska felen .....	7
5.1 Avbrott .....	8
5.2 Kortslutning till jord.....	8
5.3 Kortslutning till spänning .....	9
5.4 Kommunikationsfel.....	10
5.5 För låg spänning till styrenhet.....	10
6 Modell för verkstad.....	11
6.1 Första modellen med hänsyn till permanenta och intermittenta fel.....	13
6.2 Andra modellen även med hänsyn till flera besök hos verkstad.....	16
6.3 Tredje modellen även med hänsyn till verifieringstid.....	18
6.4 Fjärde modellen även med hänsyn till kostnad för felaktigt byte av komponent.....	20
7 Beräkning av medelfelsökningstid .....	22
7.1 Optimal ordningsföljd för felsökning.....	22
7.1.1 Exempel på ordningsföljd.....	24
7.2 Medelfelsökningstid i en viss felsökningsordning utan hänsyn till placering.....	26
7.3 Medelfelsökningstiden med hänsyn till placering av komponent.....	27
7.3.1 Mekanikern monterar alltid tillbaka mellan kontrollerna .....	28
7.3.2 Mekanikern monterar inte tillbaka mellan kontrollerna .....	29
7.3.3 Medelfelsökningstid med hänsyn till olika tider för demontering och påmontering .....	31

7.4	Medelfelsökningstid med hänsyn till diagnos och felsökningshjälpens säkerhet.....	34
8	Beräkning av utvecklingskostnad.....	36
8.1	Beräkning av on-board kostnad.....	37
8.2	Fördjupning av on-board kostnad.....	38
8.3	Beräkning av off-board kostnad .....	40
8.4	Fördjupning av off-board kostnad .....	41
8.5	Totala utvecklingskostnaden för verkstad.....	42
9	Beräkning av kostnad för extra hårdvara.....	42
9.1	Fördjupning av kostnad för extra hårdvara.....	42
9.2	Verkstadens totala kostnad för extra hårdvara .....	44
10	Test av modell på användarfall.....	44
10.1	Test av felet avbrott mellan backsensor och PAM utan extra hårdvara .....	45
10.1.1	All möjlig diagnos och felsökningshjälp .....	47
10.1.2	Endast funktion och konstruktionsschema.....	55
10.2	Test av felet avbrott mellan backsensor och PAM med extra hårdvara .....	61
10.3	Utvärdering av felet avbrott mellan backsensor och PAM.....	64
11	Analys av modell .....	65
11.1	Test av modell när felet inträffar olika ofta.....	65
11.2	Test av modell med olika medelfelsökningstider .....	67
11.3	Test av modell med olika svårighetsgrader av fel.....	69
12	Utvärdering av modell.....	71
13	Resultat .....	72
14	Slutsatser.....	73
15	Rekommendationer till fortsatt arbete .....	74
	Källförteckning.....	75

## Bilagor

- A. De olika feldetekterings- och körcykelräknarna
- B. De olika statusidentifierarna
- C. Förteckning av variabler
- D. Program i Excel

## Nomenklatur

**CAN** (Controller Area Network) är ett nät bestående av elektriska ledningar som sammanbinder bilens olika styrenheter. I nätet skickas elektriska signaler innehållande information.

**CEM** (Central Electronic Module) är huvudstyrenheten i Volvobilar.

**Felkod** (DTC) står för Diagnostic Trouble Code och är fel som kan, men ej behöver, ge kundsymtom.

**Fälttekniker** är en specialist inom diagnos och felsökningsområdet, som på begäran kan tillkallas för att lösa specialproblem.

**Helpdesk** är en slags support, som en mekaniker kan ringa för att få hjälp med att lösa problem som är svåra att lösa på egen hand.

**Kundsymtom** innebär att kunden på något sätt upplever ett fel i produkten. Detta kan vara något kunden tycker är avvikande från förväntningarna, som t.ex. att motorn ger för lite effekt som kan bero på ett verkligt fel eller att kunden haft högre förväntningar.

**Körcykel** är en definition av perioden från det att en bil startas tills den stängs av. Med detta menas att det startar en ny körcykel varje gång bilen startas.

**MOST** (Media Oriented System Transport) ett nät bestående av optiska ledningar som sammanbinder bilens olika styrenheter. I nätet skickas optiska signaler innehållande information.

**OBDII** är den senaste versionen av On Board Diagnostics och som är standard för alla nya Volvobilar efter 1 januari, 1996.

**Plattform** är en byggplattform som är gemensam för flera bilmodeller. Detta innebär att modeller byggda på samma plattform i stor utsträckning har likadana komponenter.

**REM** (Rear Electronic Module) är den bakre elektronikstyrenheten som bl.a. hanterar baksensorfunktionen.

**Snapshot data** innehåller information som lagras om de omständigheter som rådde första gången en viss felkod sattes. Detta kan t.ex. vara inne- eller utetemperatur i bilen.

**Styrenhet** är en enhet som i bilvärlden är sammankopplad genom CAN eller MOST till andra styrenheter.

# 1 Inledning

Utvecklingen av bilars elektronik går snabbt framåt, vilket i sin tur leder till allt större krav på att verkstäder, produktion och utveckling, ska kunna upptäcka fel som uppstått, så snabbt och kostnadseffektivt som möjligt.

För företaget Volvo Personvagnar AB handlar utgifterna främst om stora garantikostnader, som möjligen skulle kunna minskas genom mer effektiva hjälpmedel för mekanikern vid felsökning. Till mekanikerns hjälp finns det olika typer av diagnostiseringsmetoder för att finna de olika elektriska fel som kan uppstå. Mekanikern kan felsöka bilen på två olika sätt. Antingen genom kommunikation mellan dator och fordon som kallas on-board diagnos eller genom off-board diagnos, som är felsökning utan hjälp av felinformation lagrad i bilen.

Det viktigaste området för optimal diagnos är verkstäder, eftersom deras utgifter är helt beroende av hur snabbt och enkelt de kan felsöka och reparera bilens olika fel. Andra viktiga områden för optimal diagnos är produktion och utveckling, som också använder diagnos för att verifiera byggnation och säkerställa funktionalitet under utvecklingsfasen.

## 1.1 Bakgrund

På Volvo Personvagnar AB utvecklas idag on-board diagnos utifrån vad som går att implementera i styrenheten, utan att kostnaden blir för hög. Detta innebär att hårdvaruändringar vilka är mer kostsamma än mjukvaruändringar, ofta är ekonomiskt otänkbara [1]. För att implementera diagnos i styrenheter krävs utvecklingskostnader för mjukvaran och i vissa fall en kostnad för utökning av styrenhetens minne och processorkraft. Till detta kan det även tillkomma hårdvarutillägg, för att kunna upptäcka speciella fel.

Alla dessa kostnader hålls av Volvo Personvagnar AB idag på så lämpliga och förnuftiga nivåer som möjligt för att minimera kostnaderna. Man kan alltså säga att företaget inte vet om de använder sina resurser på ett så effektivt sätt som möjligt. Enligt dem själva har de en viss uppfattning om att de idag gör rätt, men de är långt ifrån säkra [1].

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att ta reda på vad som är optimalt när det gäller diagnos och felsökning. Frågor som Volvo Personvagnar AB därför ställer är t.ex. om felsökningshjälp ges i tillräcklig omfattning eller mer än nödvändigt till mekanikerna och om balansen on-board kontra off-board diagnos idag är mest lönsam. För att kunna svara på dessa frågor skall en kostnadsmodell tas fram. Modellen skall också kunna svara på vad en felkod kostar att implementera.



Målet med arbetet är att det med hjälp av modellen ska gå att göra en kostnadsoptimering av diagnos och felsökning. Detta innebär att det med en given felkod och felsökningshjälp, skall gå att säga om implementationen idag görs mest kostnadseffektivt eller om vissa förändringar bör göras. Modellen skall därför testas på något viktigt fel och på detta sätt göra en bedömning.

### **1.3 Förutsättningar**

Framtagning av kostnadsmodell och användning av densamma kräver mycket information om felsökningsstatistik och andra ekonomiska faktorer. Det är även en förutsättning att material härom finns tillgängligt eller kan fås genom kontakt med berörda avdelningar. Därför kan det behövas ett visst frivilligt engagemang av berörda parter utöver deras ordinarie arbetsuppgifter. Det bör noteras att det för detta arbete, ej finns någon avsatt tid för aktuella personer.

Bilindustrin är under ständig utveckling, vilket innebär att t.ex. verkstad och diagnos hela tiden förändras. Detta kan innebära att det kan vara svårt att hitta en optimeringsmodell som fungerar idag och för framtiden.

### **1.4 Avgränsningar**

Den resulterande kostnadsmodellen behöver endast ta hänsyn till de viktigaste parametrarna som påverkar kostnadsmodellen och dessa värden behöver ej vara helt korrekta utan kan vara grova. Modellen behöver inte vara alltför noggrann, men skall vara tillförlitlig och kunna ge en antydning om vad optimal diagnos är. Möjlighet att förfinna modellen genom att gå ner på detaljnivå, skall kunna ses som fortsatt arbete.

## **2 Metod**

För att uppnå syftet och målet med examensarbetet tas en modell fram, som beräknar kostnad för diagnos och felsökning. Arbetet har utgått från arbetsdokumentet kostnadsmodell diagnos [2] för att få inspiration och vägledning till problemet. Dock är alla lösningar och formler presenterade i detta dokument, framtagna och konstruerade av författarna genom tidigare och erhållna kunskaper i bl.a. teknik och matematisk statistik.

Därefter har en fördjupning gjorts i parametrarna medelfelsökningstid, utvecklingskostnad och kostnad för extra hårdvara, vilka är de viktigaste för modellen.

Ett program i Excel baserat på modellen togs sedan fram för att förenkla framtida undersökningar av om mycket eller lite diagnos och felsökningshjälp eller något däremellan skall implementeras i styrenheter.

Test av modell på användarfall har utförts genom att använda programmet i Excel och utgå från ett verkligt fel som en verkstad har reparerat. Valet av fel som testats,

gjordes genom att välja den vanligaste typen av fel som uppstår i elektriska system. Anledningen till att denna metod valts, är att en undersökning av ett vanligt förekommande typ av fel skulle göra störst nytta för Volvo Personvagnar AB. Dessutom gjordes valet, för att få inspiration till vilka andra möjliga felorsaker som kan finnas, om ett fel uppstår.

Eftersom exakta värden på parametrar till modellen i dagsläget inte finns tillgängliga, uppskattades dessa, både då all möjlig felsökningshjälp finns och då endast den enklaste hjälpen finns till hands. Avslutningsvis gjordes en analys av erhållna resultat, samt en fördjupande analys av modellens beroende av de styrande parametrarna, med hänsyn till antalet uppkomna fel, medelfelsökningstid och svårighetsgrad av fel.

Eftersom vissa hänvisningar i denna rapport hänvisar till Volvo Personvagnar ABs intranät, vilket är oåtkomligt utanför företaget, kommer hänvisningar dit att skrivas [VI X]. Där X är hänvisningsnummer.

För att göra texten tydligare kommer Volvo Personvagnar AB i fortsättningen att förkortas till enbart Volvo Personvagnar och Microsoft Excel till enbart Excel. Dessutom har det i bilaga C skapats en förteckning innehållande förklaringar till alla de variabler som används i rapporten.

## 3 Diagnosmetoder och felsökningshjälp

Idag finns det olika diagnosmetoder och felsökningshjälp som verkstäder använder för att felsöka fel som är kundrelaterade. Till sin hjälp har de bilens egna inbyggda felsökningshjälp som kallas on-board diagnos. Dessutom finns det felsökningshjälp med hjälp av traditionella metoder som kallas off-board diagnos.

### 3.1 On-board diagnos

On-board diagnos innebär hjälp för att felsöka ett kundsymtom som antingen kan vara ett bestående fel eller ett fel som periodvis uppstår. Rent praktiskt innebär on-board diagnos att det med hjälp av en dator går att läsa ut exempelvis felkoder och snapshot data i bilen, genom att koppla in sig mot bilens OBDII diagnosuttag.

#### 3.1.1 Felkod

En felkod är information som lagras i styrenheter, om fel som detekteras och kan men behöver ej, ge kundsymtom. Det finns olika typer av felkoder och Volvo Personvagnar har i ett dokument specificerat vilka felkoder som måste finnas med för en styrenhet. Konstruktören av styrenheten har dock fria händer att implementera fler felkoder.

För att detektera fel som uppstår har styrenheter olika elektroniska hjälpmedel som exempelvis kan vara givare och sensorer. När ett fel detekteras lagras en felkod i

styrenhetens minne och en mekaniker kan med vissa hjälpmedel och ett OBDII gränssnitt i bilen, läsa ut dessa felkoder.

En vanlig missuppfattning vad gäller felkoder är, att många tror att om en felkod är satt, så måste ett fel finnas [2]. I praktiken ser det inte ut så, utan en felkod kan vara satt, fast det inte är något fel. Dessutom kan det motsatta inträffa, nämligen att ingen felkod är satt fast det är ett fel. Här är den senare den mest allvarliga för mekanikern, nämligen att det finns kundsymtom men ingen felkod.

För varje felkod finns möjligheten att lägga till feldetekteringsräknare, körcykelräknare, statusidentifierare och snapshot data.

### **3.1.1.1 Feldetekterings- och körcykelräknare**

Det finns åtta olika räknare, som kan vara till hjälp för mekanikern då ett fel skall felsökas. Den första räknaren som finns för varje felkod är feldetekteringsräknaren som är en åtta bitars räknare och lagras internt i styrenheter. Feldetekteringsräknaren räknar upp ett steg då ett fel upptäcks och ner då inget fel detekteras. Dessutom finns det ett tak, för hur många gånger ett fel får detekteras innan en felkod sätts. Just var denna gräns sätts påverkar felkodens pålitlighet. Om taket sätts för lågt, kan felkoden sättas fast inget kundsymtom finns. Om taket sätts för högt innebär det att ingen felkod sätts, fast kunden märker av ett tydligt fel.

Med vilka steg som räknaren räknar upp respektive ner kan variera mellan olika styrenheter, vilket medför att gränsvärdet då felkoden sätts kan nås snabbare eller långsammare. Se räknare C#6 i bilaga A för mer information.

De resterande sju räknarna kallas för körcykelräknare och de visar bl.a. hur många körcykler som körts, sedan felkoden första gången sattes, genom att gränsvärdet nås av feldetekteringsräknaren. Dessutom går det att se i vilka körcykler som fel påträffats och i vilka som fel ej hittats.

När en felkod nollställs, återställs alla räknare till noll för felkoden. Speciellt för feldetekteringsräknaren så återställs den vid varje ny körcykel.

### **3.1.1.2 Statusidentifierare**

Statusidentifierare är ett annat hjälpmedel som mekaniker har vid felsökning, då feldetekteringsräknaren har nått sitt gränsvärde och felkoden därmed blivit satt. Med dess hjälp kan mekaniker se information om varje felkod, som exempelvis om felet detekteras just nu. Alla de åtta möjliga statusidentifierarna och information om dem kan ses i bilaga B.

### **3.1.1.3 Snapshot data**

Med hjälp av snapshot data kan mekanikern se vilka förhållanden som rådde då fel upptäcktes för första gången. Information som bl.a. kan ses är mätarställning, tidpunkt och temperatur [2].

### 3.1.2 Dataparametrar

Med dataparametrar går det att läsa och styra en styrenhets in- och utgångar. Exempelvis går det att avläsa en stegmotors aktuella vinkel och även styra denna motors vinkel, genom att elektroniskt tvinga den att gå till en viss position.

Detta går det vid felsökningstillfället att dra nytta av genom att elektroniskt kommendera en detalj att utföra en viss sak. Om det visuellt går att se att det inte fungerar så är felet hittat. I de fall då det är svårt att kontrollera visuellt, går det att använda funktionen att läsa dataparametrar, för att kontrollera att allt fungerar som planerat.

## 3.2 Off-board diagnos

Off-board diagnos är felsökningshjälp som till skillnad från on-board diagnos inte använder en dator som hjälpmedel för att hitta felet genom en felkod. Istället används mer manuell felsökningshjälp som t.ex. en voltmeter, en vägledad steg-för-steg felsökningshjälp och en förklaring till troliga felorsaker och åtgärder. Dessutom används allmänna riktlinjer för felsökning i ett elektronisksystem, beskrivning av systemets funktion, helpdesk och i vissa svåra fall fälttekniker. I de riktigt svåra fallen kontaktas konstruktören.

### 3.2.1 Funktion och konstruktionsschema

Det finns olika omfattning av off-board diagnos, men det finns alltid en beskrivning av systemets funktion och konstruktion samt kopplingsschema. För vidare information se [2].

### 3.2.2 Steg-för-steg felsökningshjälp

För vissa fel finns förutom funktion och konstruktionsschema även en utförlig steg-för-steg felsökningshjälp. Med hjälp av denna kan mekanikern följa detaljrika instruktioner för att få ett fel reparerat. För vidare information se [2].

## 4 Hjälpmedel från utveckling till reparation

Det används en del hjälpmedel i form av både mjukvara och hårdvara, från utveckling av diagnos, till felsökning och reparation i verkstäder. För att kunna skapa och testa en kostnadsmodell krävs viss förståelse för hur utvecklingsarbetet fungerar och även hur mekaniker felsöker.

### 4.1 Carcom II

Programmet Carcom II är en databas som används av Volvo Personvagnar, för att specificera felkoder och dataparametrar som man vill ska finnas i bilens olika styrenheter. Det går även i programmet att lägga in statusidentifierare, räknare och snapshot data. Med hjälp av programmet går det att generera en rapport, som visar all

information om en styrenhets on-board diagnos. Denna rapport går det sedan att ge till dem som ska utveckla styrenhetens diagnos. Programmet har även andra användningsområden för diagnos och felsökning.

## **4.2 VIDA**

Vida står för "Vehicle Information and Diagnostics for Aftersales" och används av eftermarknaden för att undersöka en bils fel, antingen genom felkoder eller genom ett kundsymtom. Om en felkod finns, kan mekanikern få vägledning till att hitta felet, reparera och slutligen verifiera att felet inte finns kvar. Den hjälp som mekanikern får, kan ha olika omfattning som beskrevs i kapitel 3.2.

Mekanikern kan också ladda ner mjukvara i bilens styrenheter med hjälp av VIDA, för att kunna rätta till fel som har uppstått i tidigare versioner av mjukvara.

Det går även i programmet att felsöka efter ett kundsymtom. Mekanikern börjar då med att välja vilket typ av symtom som kunden har. Sedan kan mekanikern se kända symtom som Volvo Personvagnar vet kan inträffa. Om rätt symtom hittas, kan mekanikern följa en steg-för-steg felsökningshjälp eller en kort beskrivning av vad som kan ha orsakat kundsymtomet.

## **4.3 VCT-2000**

För att läsa ut felkoder och tillhörande diagnosinformation på Volvobilar nyare än 1999 års modell, används en såkallad VCT-2000. Detta verktyg har ersatts med annan utrustning på den allra nyaste bilmodellen.

VCT-2000 är ett kommunikationsverktyg som används för att kunna kommunicera med bilen genom dess OBDII uttag med en persondator. Med programmet VIDA installerat, kan verkstäder läsa önskad diagnos ur bilen. Se figur 4.1, där modulen VCT-2000 och en persondator med programmet VIDA visas.



Figur 4.1 – VCT-2000 och programmet VIDA installerat på en persondator [3]

## 5 De vanligaste elektriska felen

För att kunna använda en kostnadsmodell på användarfall måste man känna till vilka de vanligaste elektriska felen är och hur de uppstår. Om förbättringsförslag till dagens diagnos och felsökningshjälp sedan ska kunna ges, måste man veta hur felen idag upptäcks och åtgärdas.

Ett fel kan vara bestående tills dess att felet åtgärdats och kallas då för ett permanent fel. Det kan till exempel vara avbrott i en kabel.

Felet kan också vara av sådan typ att det kommer och går beroende på omgivningsförhållanden, som t.ex. temperatur och vibrationer. Dessa fel kallas för intermittenta och de kan vara svåra för mekanikern att upptäcka, speciellt om förhållandena inte är de samma som när felet uppstod. Vanliga felorsaker till intermittenta fel är glappkontakt.

Om det finns ett intermittent fel, går det genom att studera de olika räknarna och statusidentifierarnas värden att avgöra felets aktuella status.

För både permanenta och intermittenta fel används felkoders snapshot data. För permanenta fel används denna information då flera felkoder är satta och mekanikern vill kunna se vilket fel som är mest aktuellt att undersöka, med avseende på tiden då felet uppstod.

Intermittenta fel som är svårare att felsöka jämfört med permanenta fel innebär ofta att mekanikern får studera snapshot data, för att se under vilka förhållanden som felet uppstod första gången. Med hjälp av denna kunskap, kan sedan mekanikern avgöra vilket fel som kan ha orsakat kundsymtomet. För att återskapa kundsymtomet så att felet lättare hittas, kan information från snapshot data användas. Med denna information går det att återskapa omgivningsförhållandena, så att de blir likartade de

då kundsymtomet uppstod och förhoppningsvis uppkommer felet. Detta underlättar för felsökaren att finna orsaken till kundsymtomet.

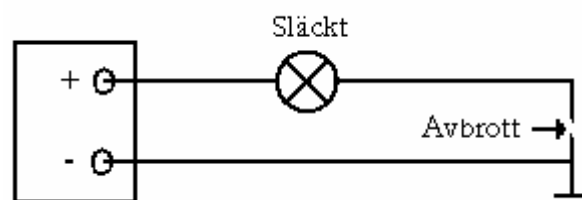
Några vanliga elektriska fel är avbrott, kortslutning till spänning och kortslutning till jord. De är enligt handledaren<sup>1</sup> tillsammans de mest vanligaste elektriska felen.

## 5.1 Avbrott

Avbrott är det vanligaste felet i gruppen med de vanligaste elektriska felen som inträffar och beror på ledningsavbrott eller avbrott i kontaktringen, enligt handledaren. Felet orsakas oftast av avskavda ledningar eller att kontakten ej monterats riktigt i monteringskedet. Dessutom kan oxidation uppstå i kontaktstiften, vilket kan gå så långt att ett avbrott uppkommer.

Avbrott i ledningar kan upptäckas genom att någon funktion uteblir. Då felsökning av felet skall göras kan mekanikern antingen felsöka on-board, off-board eller använda båda. Vid felsökning on-board ser felsökaren att en felkod finns satt i styrenhetens minne.

Vid felsökning off-board kontrolleras ledningar visuellt. Speciellt letas efter oxidation, skador och glappkontakt. För att undersöka en ledning efter avbrott kan mekanikern med hjälp av en ohmmeter mäta resistansen över ledningen och se så att resistansen ligger på ca noll ohm, vilket innebär att inget avbrott finns. Felet kan t.ex. uppstå enligt figur 5.1:



Figur 5.1 Felet avbrott

## 5.2 Kortslutning till jord

Kortslutning till jord är enligt handledaren det näst vanligaste felet i gruppen med de vanligaste elektriska felen som uppkommer i bilar och det beror ofta på ett avbrott som har kommit i kontakt med jord, vilket kan vara bilens kaross, som ledningar oftast dras nära. Andra orsaker kan vara att isoleringen på en ledning skadats, antingen genom att den blivit avskavd mot något vasst eller att värme fått den att smälta.

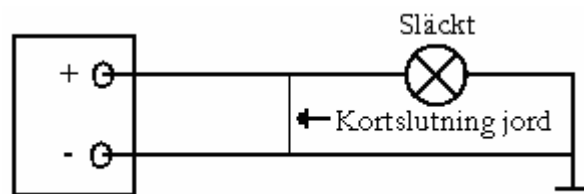
---

<sup>1</sup> Kjell Hellgren, handledare Volvo Personvagnar AB

Om detta fel uppstår mellan en spänningssatt ledning och jord brukar en stor ström bildas, som ofta leder till att en säkring går sönder, istället för att resterande komponenter får för hög ström. Precis som för avbrott upptäcks felet oftast genom att någon funktion uteblir.

För on-board diagnos upptäcks felet kortslutning till jord på samma sätt som för avbrott, nämligen att en felkod sätts.

För off-board diagnos kan felet i vissa fall upptäckas genom att en säkring gått sönder. Det går även att upptäcka felet genom att titta på ledningar och kontakter efter synliga skador och avvikelser. Slutligen kan felet upptäckas med hjälp av en ohmmeter, genom att först koppla ur alla komponenter och därefter mäta resistansen mellan ledningen som skall undersökas och jord. Om resistansen på instrumentet är oändlig, har inget fel på kabeln uppstått. Felet som kan uppstå är t.ex. enligt figur 5.2:



Figur 5.2 Felet kortslutning till jord

### 5.3 Kortslutning till spänning

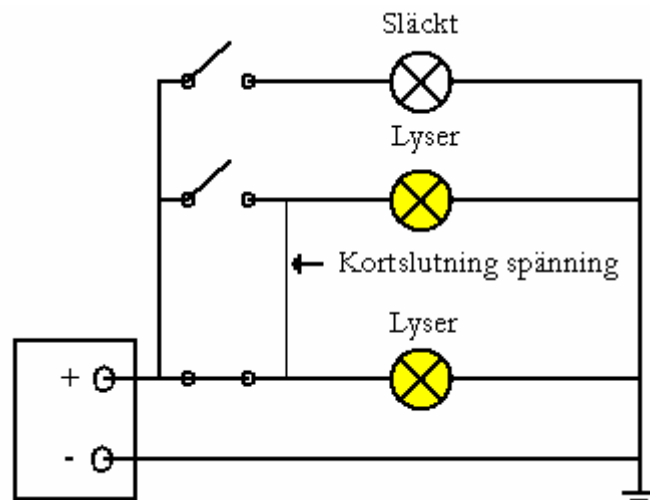
Kortslutning mellan ledning och spänning är, enligt handledaren, det tredje mest vanligaste felet i gruppen med de vanligaste elektriska felen som uppstår och beror på att en ledning kommit i kontakt med en annan spänningsförande ledning. Detta kan uppstå av samma orsaker som kortslutning till jord, men uppstår inte lika ofta, eftersom det finns få ej isolerade spänningsförande delar som en ledning kan komma i kontakt med. När en ledning får kontakt med en spänningsförande ledning går ofta en säkring, vilket beror på att det då går en större ström än vad det är tänkt genom ledningen.

För att felsöka felet med off-board diagnos kontrolleras ledningar och kontakter efter visuella avvikelser. Det går även att kontrollera spänningen på olika delar i systemet, då brytare och givare är i ett visst läge och jämföra med värden angivna i elschema eller tabell. Slutligen går det att kontrollera med en ohmmeter om resistansen mellan två misstänkta ledningar är ca noll ohm. Om så är fallet har kortslutning mellan dem uppstått.

För on-board diagnos sätts en felkod i styrenheten, som anger att kortslutning till spänning har inträffat.



Ett tänkbart fel som kan uppstå är enligt figur 5.3, där en spänningsförande ledning kommit i kontakt med en icke spänningsförande ledning. Detta orsakar, att en lampa som inte skall lysa, ändå lysen.



Figur 5.3 Felet kortslutning till spänning

## 5.4 Kommunikationsfel

Styrenheter förses hela tiden med information från andra styrenheter. Denna kommunikation kan ske över CAN-nät eller MOST-nät. Om en styrenhet detekterar ett bortfall av en signal som den lyssnar efter, kan en felkod för utebliven kommunikation sättas. Denna typ av fel uppkommer t.ex. om spänningsförsörjningen till en annan styrenhet som den kommunicerar med, blir avbruten eller kortsluten.

För att felsöka spänningsförsörjningen till styrenheter används idag samma felsökningsförfarande som för avbrott och kortslutning.

## 5.5 För låg spänning till styrenhet

För låg spänning till styrenheter detekteras, genom att jämföra spänningen till styrenheten med centralstyrenhetens spänning. Information om centralstyrenhetens spänning skickas via CAN till de berörda styrenheterna. Om spänningen till styrenheten blir lägre än ett fördefinierat värde, med avseende på systemspänningen, kan en felkod sättas.

För låg spänning till en styrenhet kan orsaka ett kundsymtom, som kan vara att någon funktion uteblir.

Vanliga orsaker till att för låg spänning uppstår visas i tabell 5.1:

**Tabell 5.1 De vanligaste orsakerna till för låg spänning**

<b>Felorsak</b>	<b>Beskrivning</b>
Kontaktresistans och oxidation	Om en resistans bildas i ett kontaktdon t.ex. genom oxidation, blir spänningen lägre till en styrenhet
Låg batterispänning	Om bilen stått en längre tid, kan batteriet laddas ur och spänningen sänkas. Även ett defekt batteri kan ge för låg spänning
Spänningsmatning kortsluten till jord	Om spänningen blir kortsluten till jord kan spänningen sänkas till en lägre nivå, om det ändå finns en resistans kvar mellan dem

## 6 Modell för verkstad

En modell för att beräkna Volvo Personvagnars kostnader för diagnos och felsökning tas först fram, för att kunna ta reda på vad som är optimal diagnos. Som tidigare nämnts är verkstaden den viktigaste delen för optimal diagnos och felsökning, varför en fördjupning enbart görs i denna del. Det går med andra ord att säga att en optimering av denna del skulle göra störst nytta för företaget.

För att beräkna kostnaden som Volvo Personvagnar i genomsnitt har för att reparera varje producerad bil under garantitiden, ställs en modell upp.

Med hjälp av modellen ska det vara möjligt att beräkna kostnaden för diagnos och felsökning per bil under garantitiden, beroende på vilken omfattning av diagnos och felsökningshjälp som man vill undersöka. För olika val av diagnosmetod i kombination med olika felsökningshjälp, kan sedan en jämförelse göras mellan de olika kostnaderna. Detta resulterar i att det bästa valet av omfattning av diagnos och felsökningshjälp kan göras. De olika on-board diagnosmetoderna som tas hänsyn till är:

**Tabell 6.1 De olika on-board diagnosmetoderna**

<b>Nummer</b>	<b>Typ</b>	<b>Beskrivning (kapitel)</b>
1	Felkod	3.1.1
2	Feldetekteringsräknare, körcykelräknare, statusidentifierare och snapshot data	3.1.1.1, 3.1.1.2, 3.1.1.3
3	Dataparametrar	3.1.2
4	Ingen on-board diagnos	-

De olika off-board diagnosmetoderna är:

**Tabell 6.2 De olika off-board diagnosmetoderna**

<b>Nummer</b>	<b>Typ</b>	<b>Beskrivning (kapitel)</b>
A	Funktion och konstruktionsschema	3.2.1
B	Steg-för-steg med funktion och konstruktionsschema	3.2.2 och 3.2.1

Det går att kombinera diagnosmetoder från tabell 6.1 och tabell 6.2, där det för de olika kombinationerna fås olika utvecklingskostnader och felsökningstider. De tolv möjliga kombinationerna är:

**Tabell 6.3 Möjliga diagnoskombinationer**

<b>Kombination</b>	<b>Nummer från tabell 6.1 och tabell 6.2</b>
1	4 och A
2	4 och B
3	3 och A
4	3 och B
5	1, 3 och A
6	1, 3 och B
7	1, 2, 3 och A
8	1, 2, 3 och B
9	1 och A
10	1 och B
11	1, 2 och A
12	1, 2 och B

## 6.1 Första modellen med hänsyn till permanenta och intermittenta fel

Den första modellen skapas för att beräkna kostnaden för permanenta och intermittenta fel. Parametrarna som påverkar denna modell är kostnaden för verkstaden och utvecklingskostnad per bil.

De garantiutgifter som går att minska med bättre diagnos och felsökning är främst mindre antal arbetstimmar av mekaniker i verkstäder. I verkligheten finns det även stora garantiutgifter som uppstår p.g.a. felaktigt byte av komponent som en mekaniker gjort. Mekanikern byter alltså ut en komponent som det inte var något fel på. Detta är inte något de inledande modellerna ska ta hänsyn till. Således blir kostanden för verkstäder per bil i den första modellen den arbetstid som mekaniker lägger ner, multiplicerat med deras lön.

Arbetstiden delas sedan i modellen upp i permanenta och intermittenta fel, eftersom de intermittenta felen har en annan sannolikhet att inträffa och de tar oftast mycket längre tid att hitta.

För att beräkna arbetstiden för permanenta fel per bil, gäller det att först bestämma vilka parametrar som påverkar denna tid. För det första påverkar felsökningstiden, men även tiden det tar att komma åt för att undersöka ett fel. Den sistnämnda tiden benämns åtkomsttid och uppstår för att komponenter måste demonteras och återmonteras, för att deras placering hindrar mekanikern att felsöka. De nämnda tiderna felsökningstid och åtkomsttid bildar tillsammans en tid som benämns medelfelsökningstid. Med detta menas att om det finns flera tänkbara fel till kundsymtomet, är medelfelsökningstiden den tid i medel det tar att både komma åt och felsöka efter det fel som orsakar kundsymtomet.

Eftersom modellen ska ange den totala kostnaden per bil, måste hänsyn tas till hur ofta felet uppstår, d.v.s. sannolikheten för att felet uppkommer. Det som påverkar hur ofta felet uppstår är antalet bilar med styrenheten som finns med garanti och antalet bilar med det specifika felet.

Verkstädernas totala arbetstid med permanenta fel per bil i denna modell blir:

$$T_{PV} = \frac{N_P}{N_{årsprod} \cdot N_{år}} \cdot T_{medelP}$$

Formel 6.1

$N_P$  = Antal bilar påverkade av det aktuella permanenta felet under garantitid

$T_{medelP}$  = Medelfelsökningstid för det aktuella permanenta felet

$T_{PV}$  = Total arbetstid i verkstad, för det aktuella permanenta felet per bil

$N_{\text{år}}$  = Antalet garantiår

$N_{\text{årsprod}}$  = Årsproduktion av en viss styrenhet

För ett intermittent fel, blir uttrycket samma som föregående, förutom att tiden för att felsöka och felsannolikheten inte är densamma.

Total arbetstid med intermittent fel per bil blir därför:

$$T_{IV} = \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot T_{\text{medell}}$$

**Formel 6.2**

$N_I$  = Antal bilar påverkade av det aktuella intermittenta felet under garantitid

$T_{\text{medell}}$  = Medelfelsökningstid för det aktuella intermittenta felet

$T_{IV}$  = Total arbetstid i verkstad, för det aktuella intermittenta felet

För att beräkna den totala kostnaden i verkstad per bil både för intermittenta och permanenta fel, adderas tiderna för dessa till en total tid per bil för felen. Därefter multipliceras den totala tiden med mekanikerns arbetskostnad per timma.

Vilket resulterar att den totala kostnaden för verkstad beräknas genom uttrycket:

$$K_V = (T_{PV} + T_{IV}) \cdot K_{\text{mekaniker}}$$

**Formel 6.3**

$K_V$  = Medelkostnad för verkstad per producerad bil, för det aktuella felet

$K_{\text{mekaniker}}$  = Mekanikerns arbetskostnad per timma

För att ta reda på om en viss diagnos och felsökningshjälp är lönsam eller ej, måste utvecklingskostnaden för dessa tas med i beräkningen. I utvecklingskostnader räknas kostnader som exempelvis tillägg i programmet Carcom II och VIDA. Dessutom adderas lönekostnader för specificering, mjukvaruimplementering och verifiering.

Det finns en grundkostnad för on-board diagnos, som består av bl.a. kostnad för att möjliggöra tjänster därtill. Dessutom finns det en grundkostnad för off-board diagnos, som består av utvecklingskostnad för Carcom II och VIDA. Detta betyder att det finns två olika möjligheter att beräkna utvecklingskostnaden på. Den ena är att det

inte redan finns finansierad grundkostnad. Den andra är att grundkostnaden redan är finansierad, vilket innebär att utvecklingskostnaden inte blir lika stor som för den föregående. En orsak till att grundkostnaden redan är finansierad är, att det för ett litet tillägg vill undersökas vad som är optimal diagnos.

Utvecklingskostanden per bil blir:

$$K_U = \frac{K_{Utot}}{N_{årsprod} \cdot N_{år}}$$

**Formel 6.4**

$K_U$  = Kostnad för utveckling av diagnos och felsökning per bil, för det aktuella felet

$K_{Utot}$  = Kostnad för utveckling av diagnos och felsökning i styrenheten, för det aktuella felet

Det kan tillkomma en extrakostnad för att kunna detektera vissa fel. Denna kostnad beror enbart på hårdvarutillägg, som kan ha tillkommit p.g.a. ett mjukvarutillägg. Exempelvis då styrenhetens minne eller processorkraft måste ökas för att möjliggöra tillägget. I modellen kallas denna extrakostnad för  $K_{extra}$ , som är kostnaden per bil.

Det resulterande uttrycket för kostnad per bil med vald diagnosmetod och felsökningshjälp blir då:

$$K_{DF} = K_V + K_U + K_{extra}$$

**Formel 6.5**

$K_{DF}$  = Kostnad diagnos och felsökning per bil, för det aktuella felet

$K_{extra}$  = Extrakostnad som kan tillkomma för att kunna detektera det aktuella felet per bil

För tydlighets skull skrivs formel 6.5 om så att alla ingående parametrar visas:

$$K_{DF} = \left( \frac{N_P}{N_{årsprod} \cdot N_{år}} \cdot T_{medelP} + \frac{N_I}{N_{årsprod} \cdot N_{år}} \cdot T_{medell} \right) \cdot K_{mekaniker} + \frac{K_{Utot}}{N_{årsprod} \cdot N_{år}} + K_{extra}$$

**Formel 6.6**

## 6.2 Andra modellen även med hänsyn till flera besök hos verkstad

För att få modellen mer exakt tas nu hänsyn till flera återbesök till verkstaden som kan resultera i ett återköp. För att ett återbesök skall inträffa antas att felet måste vara intermitterant, eftersom permanenta fel åtgärdar verkstäderna under första besöket. Kostnaden för de olika återbesöken för en bil per fel, summeras för att ge den totala kostnaden för diagnos och felsökning.

Modellen konstrueras så att medelfelsökningstiden vid varje återbesök till verkstaden är lika stor. Dessutom har en faktor  $P_{\dot{A}}$  införts som svarar mot sannolikheten för ett återbesök  $\dot{A}$  i ordningen. Sannolikheten för första återbesöket i modellen beskriver egentligen det första besöket hos verkstaden och skall därför alltid ha sannolikheten 1.

Total arbetstid med ett intermitterant fel per bil blir:

$$T_{IV} = \sum_{\dot{A}=1}^{N_{\text{återbesök}}} \left( P_{\dot{A}} \cdot \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot T_{\text{medell}} \right)$$

Formel 6.7

$N_{\text{återbesök}}$  = Antalet återbesök

$P_{\dot{A}}$  = Sannolikhet för de olika återbesöken. Där  $P_1$  alltid är 1

För de permanenta felen blir tidsåtgången densamma som för första modellen. Tidsåtgången för både permanenta och intermitteranta fel multipliceras sedan med mekanikerns arbetskostnad enligt formel 6.3, för att få kostnaden för verkstaden per bil med det aktuella felet.

För att ta hänsyn till att det uppstår en kostnad för in- och utleveranser som bl.a. innehåller administrationsarbete måste denna kostnad studeras närmare. Eftersom kostnaden för första in- och utleveransen ej påverkar valet av vilken diagnos och felsökning som skall väljas, tas endast hänsyn till kostnad för in- och utleveranser vid återbesöken. Detta leder till att ett uttryck för att beräkna medelkostnaden för in- och utleveranser kan ställas upp:

$$K_{\text{medellInUt}} = \sum_{\dot{A}=2}^{N_{\text{återbesök}}} \left( P_{\dot{A}} \cdot \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot K_{\text{InUt}} \right)$$

$K_{InUt}$  = Kostnad för in- och utleverans per besök till verkstad

$K_{medellnUt}$  = Medelkostnad för in- och utleverans per producerad bil, för det aktuella felet

Om kostnaden för återköp skall tas med i modellen, måste kostnaden för återköp per bil beräknas. Detta görs genom att multiplicera sannolikheten för återköp av bilar för det aktuella felet, med medelkostnad för återköp per bil.

Det resulterande uttrycket för kostnaden per bil, som uppstår för återköp av bilar med intermittenta fel, blir:

$$K_{\text{återköp}} = \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot P_{\text{återköp}} \cdot K_{\text{bil}}$$

**Formel 6.8**

$K_{\text{bil}}$  = Medelkostnad för återköp per bil

$K_{\text{återköp}}$  = Kostnad för återköp per bil

$P_{\text{återköp}}$  = Sannolikheten för återköp av bil för det aktuella felet

Uttrycket för kostnad per bil med vald diagnosmetod och felsökningshjälp blir då:

$$K_{DF} = K_V + K_U + K_{\text{extra}} + K_{\text{medellnUt}} + K_{\text{återköp}}$$

**Formel 6.9**



För tydlighetens skull skrivs formel 6.9 om, så att alla ingående parametrar visas:

$$\begin{aligned}
 K_{DF} = & \left( \frac{N_P}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot T_{\text{medelP}} + \underbrace{\sum_{\text{Å}=1}^{N_{\text{återbesök}}} \left( P_{\text{Å}} \cdot \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot T_{\text{medell}} \right)}_{T_{IV}} \right) \cdot K_{\text{mekaniker}} + \\
 & \frac{K_{U_{\text{tot}}}}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} + K_{\text{extra}} + \underbrace{\sum_{\text{Å}=2}^{N_{\text{återbesök}}} \left( P_{\text{Å}} \cdot \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot K_{\text{InUt}} \right)}_{K_{\text{medellnUt}}} + \\
 & \underbrace{\frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot P_{\text{återköp}} \cdot K_{\text{bil}}}_{K_{\text{återköp}}}
 \end{aligned}$$

Formel 6.10

### 6.3 Tredje modellen även med hänsyn till verifieringstid

Eftersom mekanikern efter varje reparation måste verifiera felet, tillkommer extra tid för permanenta fel till formel 6.1. I denna tid ingår inte tiden för att reparera felet, eftersom denna tid ej påverkar vilket val av diagnos och felsökningshjälp som skall väljas. Däremot påverkar just verifieringstiden valet av omfattning av diagnos och felsökningshjälp.

Till arbetstiden för det aktuella permanenta felet per bil i formel 6.1 tillkommer därför verifieringstiden per bil och besök. Vilket resulterar i att medelarbetstiden per bil för det specifika permanenta felet blir enligt formel 6.11:

$$T_{PV} = \frac{N_P}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot (T_{\text{medelP}} + T_{VP})$$

Formel 6.11

$T_{VP}$  = Tidsåtgång för att verifiera det aktuella permanenta felet per bil

Där den totala arbetstiden per bil som har det specifika permanenta felet och påverkas av vald diagnos och felsökningshjälp, skrivs som:

$$T_{arbete} = T_{medelP} + T_{VP}$$

**Formel 6.12**

Precis som för permanenta fel adderas verifieringstiden direkt till arbetstiden per bil för intermittenta fel. Detta beror på att det i modellen sker minst en verifiering av aktuellt kundsymtom under varje återbesök. En omskrivning av formel 6.7 ger då:

$$T_{IV} = \sum_{\hat{A}=1}^{N_{\text{aterbesök}}} \left( P_{\hat{A}} \cdot \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot (T_{medell} + T_{VI}) \right)$$

**Formel 6.13**

$T_{VI}$  = Tidsåtgång för att verifiera det aktuella intermittenta felet

Det resulterande uttrycket för kostnad per bil för det aktuella felet med vald diagnosmetod och felsökningshjälp blir som för andra modellen, enligt formel 6.9.

För tydlighetens skull skrivs formel 6.9 om så att alla ingående parametrar för denna modell visas:

$$K_{DF} = \left( \frac{N_P}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot (T_{medelP} + T_{VP}) + \sum_{\hat{A}=1}^{N_{\text{aterbesök}}} \left( P_{\hat{A}} \cdot \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot (T_{medell} + T_{VI}) \right) \right) \cdot K_{mekaniker} + \frac{K_{Utot}}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} + K_{extra} + \sum_{\hat{A}=2}^{N_{\text{aterbesök}}} \left( P_{\hat{A}} \cdot \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot K_{InUt} \right) + \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot P_{\text{aterköp}} \cdot K_{bil}$$

**Formel 6.14**

## **6.4 Fjärde modellen även med hänsyn till kostnad för felaktigt byte av komponent**

För att beakta att mekanikern i vissa fall byter en komponent som ej är felaktig, måste en ny modell tas fram. För att kunna göra det, behövs kunskap om hur kostnader splittras mellan Volvo Personvagnar och underleverantör, då en komponent byts i en bil.

Enligt handledaren uppskattar Volvo Personvagnar och deras leverantörer att i hälften av fallen då verkstaden byter en komponent under garantitiden är det fel på komponenten och alltså leverantörens fel, men i den andra hälften beror bytet på brister i Volvo Personvagnars felsökningsmetoder. Därför betalar Volvo Personvagnar i vanliga fall halva kostnaden för komponenterna och leverantören betalar den resterande kostnaden. Däremot står Volvo Personvagnar för hela mekanikerns arbetskostnad för felsökning och reparation.

Om det är någon komponent som byts ofta, utreds det om komponenten verkligen är felaktig eller om den byts p.g.a. bristfälliga felsökningsmetoder. Om det visar sig att de felaktiga bytena enbart gjordes p.g.a. felsökningsmetoderna, kommer Volvo Personvagnar att få betala mer än hälften av komponentkostnaden. Volvo Personvagnar kommer då att investera i mer resurser för att förbättra sina felsökningsmetoder.

Samma sak gäller om ett fel på komponent beror på att Volvo Personvagnar specificerat okorrekt, får Volvo Personvagnar även betala detta. Om de komponenter som byttes däremot visar sig vara trasiga, kommer leverantören att få betala en större andel.

Om en mekaniker byter en komponent som tros vara felaktig och bilen lämnat verkstaden kasseras den gamla komponenten. Återmontering av den gamla komponenten sker bara i de fall då mekanikern upptäcker att bytet ej åtgärdar felet och finner det lönsamt att demontera den nya komponenten, varefter återmontering av den gamla görs.

För riktigt stora och dyra komponenter görs en kontroll om de verkligen är felaktiga innan de byts, så att de inte behöver kasseras i onödan. Detta görs dessutom för att den nya komponenten inte ska behöva beställas om det ej är fel på den gamla.

Modellen konstrueras för både permanenta och intermittenta fel, så att den som ska använda modellen, får ange värden för hur stor medelkostnaden blir för de delar som byts för det aktuella felet och sannolikheten för felaktigt byte av komponent. Speciellt för intermittenta fel där flera återbesök kan behövas, måste sannolikheter till felaktigt byte av komponent tas hänsyn till för varje återbesök. Detta leder till att hänsyn kan tas till att det är olika kostnader vid de olika besöken.

Vid ett och samma verkstadsbesök kan mekanikern behöva upprepa proceduren att först felsöka, sedan byta ut komponent och till sist verifiera, tills dess att mekanikern lyckas eller tills dess att han ger upp och ber kunden komma tillbaka när felet återkommer. Det sistnämnda fallet, att han ger upp, inträffar i princip aldrig enligt handledaren, då felet är permanent men kan inträffa då felet är intermitterent. En modifikation av formel 6.14 med hänsyn till att en mekaniker kan göra både felaktiga reparationer och verifieringar behöver därför göras.

Eftersom det bara sker en verifiering för det korrekta aktuella felet, bryts verifieringstiden ut ur formel 6.13 i formel 6.14, så att det inte sker en verifiering vid varje återbesök. Istället sker en verifiering för det korrekta aktuella felet. Till kostnaden för det som görs i onödan och som ej åtgärdar felet, ingår kostnaden för felaktigt byte av komponent, reparation och verifiering.

Det resulterande uttrycket för beräkning av kostnaden för diagnos och felsökning blir:

$$\begin{aligned}
 K_{DF} = & \left( \frac{N_P}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot (T_{\text{medelP}} + \underbrace{T_{VP}}_{\text{Korrekt verifiering av permanent fel}}) + \right. \\
 & \left. \sum_{\text{Å}=1}^{N_{\text{återbesök}}} \left( P_{\text{Å}} \cdot \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot T_{\text{medell}} \right) + \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot \left( \underbrace{T_{VI}}_{\text{Korrekt verifiering av intermitterent fel}} \right) \cdot K_{\text{mekaniker}} + \right. \\
 & \frac{K_{Utot}}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} + K_{\text{extra}} + \sum_{\text{Å}=2}^{N_{\text{återbesök}}} \left( P_{\text{Å}} \cdot \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot K_{\text{InUt}} \right) + \\
 & \left. \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot \left( P_{\text{återköp}} \cdot K_{\text{bil}} + \underbrace{\sum_{\text{Å}=1}^{N_{\text{återbesök}}} \left( P_{\text{IfelbyteÅ}} \cdot \left( \frac{K_{\text{IdelarÅ}}}{2} + (T_{\text{felR}} + T_{\text{felVI}}) \cdot K_{\text{mekaniker}} \right) \right)}_{\text{Felaktigt byte, reparation och verifiering av intermitterent fel}} \right) + \right. \\
 & \left. \frac{N_P}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot \underbrace{P_{\text{Pfelbyte}} \cdot \left( \frac{K_{\text{Pdelar}}}{2} + (T_{\text{felR}} + T_{\text{felVP}}) \cdot K_{\text{mekaniker}} \right)}_{\text{Felaktigt byte, reparation och verifiering av permanent fel}} \right)
 \end{aligned}$$

**Formel 6.15**

$K_{\text{Pdelar}}$  = Medelkostnad för felaktigt byte av komponenter, för det aktuella permanenta felet som det egentligen inte var något fel på

$K_{\text{IdelarÅ}}$  = Medelkostnad för återbesök Å av felaktigt byte av komponenter under ett besök, för det aktuella intermitterenta felet som det egentligen inte var något fel på

$P_{\text{IfelbyteÅ}}$  = Sannolikheten att fel byte görs vid återbesök Å av komponenterna på en bil, för det aktuella intermitterenta felet

$P_{\text{Pfelbyte}}$  = Sannolikheten att fel byte görs av komponenterna på en bil med det aktuella permanenta felet

$T_{\text{felR}}$  = Reparationstid för att reparera eller byta ut felaktiga komponenter, under ett besök

$T_{\text{felVP}}$  = Medeltidsåtgång för att verifiera felaktiga byten för permanenta fel, under ett besök

$T_{\text{felVI}}$  = Medeltidsåtgång för att verifiera felaktiga byten för intermittenta fel, under ett besök

## 7 Beräkning av medelfelsökningstid

Eftersom medelfelsökningstiden från modellerna i kapitel 6 har stor betydelse för resultatet, kommer ett fördjupat studium av denna tidsåtgång att göras. Som nämnts tidigare ska de framtagna modellerna för ett givet fel, kunna svara på vilken diagnosmetod och felsökningshjälp som är mest kostnadseffektiv.

Generellt gäller att ju mer diagnos och felsökningshjälp som implementeras för ett visst fel, desto snabbare går det i genomsnitt att finna det felet. Däremot ökar kostnaden för att implementera diagnos och felsökningshjälpen.

Det bör noteras att när medelfelsökningstiden för en viss diagnos och felsökningshjälp skall bestämmas, måste felsökningstiden uppskattas för de möjliga felorsakerna. Exempelvis måste hänsyn tas till att en felkod kan peka på flera felorsaker, då felsökningstiden för felkoden skall uppskattas.

Eftersom modellerna i kapitel 6 skiljer på intermittenta och permanenta fel, innebär detta att beräkningar av medelfelsökningstiden måste göras för både intermittenta och permanenta fel.

Medelfelsökningstiden kan sedan sättas in i första till fjärde modellen i kapitel 6 och ersätter  $T_{\text{medelP}}$  eller  $T_{\text{medelI}}$ , beroende på om uträkningen är för permanent eller intermittent fel.

### 7.1 Optimal ordningsföljd för felsökning

När det finns flera möjliga felorsaker till ett kundsymtom, går det att minimera medelfelsökningstiden genom att felsöka felen i rätt ordning. Först tas fram vilket fel som är mest lönsamt att börja undersöka. Detta görs genom att beräkna den extra tid som läggs ner i onödan, för alla de möjliga kombinationer av felsökningen som mekanikern kan göra. När det är gjort väljs den ordning som gav den minsta tiden.

Som exempel kan nämnas att då två möjliga felorsaker till ett fel finns, undersöks först fel nummer ett följt av fel nummer två. Med andra ord kan detta uttryckas 1-2. Eller så undersöks först fel nummer två och sedan fel nummer ett. Uttryckt 2-1.

De olika tänkbara felen till ett kundsymtom upptar var för sig en viss sannolikhet att de är orsaken därtill. Den totala sannolikheten till ett kundsymtom är alltid hundra procent. Detta kommer i fortsättningen kallas för sannolikhetsandel till kundsymtom.

Desto högre sannolikhetsandel till kundsymtomet ett fel har och ju mindre tid det tar att felsöka, desto högre prioritet får felet i felsökningsordningen.

För varje möjlig kombination beräknas den extratid som uppstår när man felsöker i en viss ordning, vid x antal fel genom följande uttryck:

$$T_{extra} = T_1 \cdot (1 - P_1) + T_2 \cdot (1 - (P_1 + P_2)) + \dots + T_{x-1} \cdot (1 - (\sum_{n=1}^{x-1} P_n))$$

**Formel 7.1**

$P_n$  = Sannolikhetsandel att fel n i ordningsföljden är orsaken till kundsymtomet

$T_n$  = Felsökningstid för fel n i ordningsföljden som undersöks

$T_{extra}$  = Den extratid som uppstår när man felsöker i en viss ordning

Den kombination som ger kortast extratid är då den mest effektiva och visar vilken ordning som ska väljas.

För att bestämma i hur många olika kombinationer som felsökning kan göras med N antal fel skrivs en allmän formel upp:

$$N_{uträkningar} = N \cdot (N - 1)$$

**Formel 7.2**

En förenkling av formel 7.1 går att göra, genom att endast utnyttja den första termen. Denna förenkling kan göras genom att den första termen har den största vikten i resultatet. Detta beror på att de resterande termerna ofta blir försumbara jämfört med den första termen, p.g.a. att sannolikhetsandelarna minskar, för att även de felsökningarna måste göras.

Denna förenkling kan i vissa fall ge ett mindre korrekt val av vilken undersökningsordning av felen som skall göras, jämfört med formel 7.1.

För det förenklade beräkningssättet, erhålls den extratid som måste läggas ner om första undersökningen ej var lyckad som:

$$T_{extra} \approx T_n \cdot (1 - P_n)$$

**Formel 7.3**

Där  $T_n$  är felsökningstiden för fel  $n$  som undersöks. Till detta kan tiden som det tar att komma åt för att felsöka tillkomma.  $P_n$  står för sannolikhetsandel att felet  $n$  som undersöks är orsak till kundsymtomet.

Med hjälp av formel 7.3 ovan, går det att för varje fel beräkna den onödiga tid som uppstår när man börjar i en viss ordning. Val av fel att börja med, görs genom att välja det fel som bidrar med minst onödig tid.

**7.1.1 Exempel på ordningsföljd**

För tydlighets skull visas ett exempel med ett fel som har olika felsannolikhetsandelar och felsökningstider:

**Tabell 7.1 Exempel på möjliga fel till ett kundsymtom**

Fel (nr)	Felsökningstid (min)	Felets sannolikhetsandel till kundsymtomet (%)
1	5	10
2	45	50
3	15	40

**7.1.1.1 Beräkning av ordningsföljd med förenklad metod**

Till att börja med visas lösningen för att beräkna felsökningsordningen enligt den förenklade metoden. För att göra detta hämtas värden från tabell 7.1, varefter extratiden som man måste lägga ner om man börjar med de olika felen beräknas med formel 7.3, se tabell 7.2:

**Tabell 7.2 Extratider beräknade med förenklad metod**

Börjar med fel (nr)	$T_{extra}$ (min)
1	$5 \cdot (1 - 0,1) = 4,5$
2	$45 \cdot (1 - 0,5) = 22,5$
3	$15 \cdot (1 - 0,4) = 9,0$

Resultatet blir därför att man skall börja med fel ett därefter fel tre och sist fel två, eftersom denna ordning för den förenklade metoden, ger minst onödig tid.

### 7.1.1.2 Beräkning av ordningsföljd med avancerad metod

För att få minimal medelfelsökningstid används den avancerade metoden, varför flera beräkningar måste göras. Den första beräkningen som görs är för att beräkna antalet kombinationer av felsökningsordningar som finns då det finns tre möjliga fel. Från formel 7.2 fås antalet uträkningar:

$$N_{\text{uträkningar}} = 3 \cdot (3 - 1) = 6st$$

#### Formel 7.4

Den avancerade metoden som alltid ger den bästa lösningen, används med värden enligt tabell 7.1. Resultatet blir efter insättning i formel 7.1, följande extratider för de olika ordningarna:

Tabell 7.3 Extratider beräknade med avancerad metod

Ordningsföljd	$T_{\text{extra}}$ (min)
1-2-3	$5 \cdot (1 - 0,1) + 45 \cdot (1 - (0,1 + 0,5)) = 22,5$
1-3-2	... = 12,0
2-1-3	... = 24,5
2-3-1	... = 24,0
3-1-2	... = 11,5
3-2-1	... = 13,5

Ur resultatet ovan går det att dra slutsatsen att felsökningsordningen 3-1-2 är den mest effektiva. Detta kan jämföras med den förenklade metoden, som gav näst snabbast ordning.



## 7.2 Medelfelsökningstid i en viss felsökningsordning utan hänsyn till placering

För att göra en första fördjupning i medelfelsökningstiden, görs en analys av vilka parametrar som påverkar denna tid. För det första är det felsökningstiden för alla de tänkbara felen till kundsymtomet. Dessutom påverkas medelfelsökningstiden av hur stor felsannolikhetsandelen till kundsymtomet de olika felen har.

En tabell sätts därefter upp där variabler för de storheter som påverkar medelfelsökningstiden för varje tänkbart fel i ordningsföljden syns:

Tabell 7.4 Storheter som påverkar medelfelsökningstiden

Fel (nr)	Felsökningstid (min)	Felets sannolikhetsandel till kundsymtomet (%)
1	$T_1$	$P_1$
2	$T_2$	$P_2$
:	:	:
x	$T_x$	$P_x$

Enligt tidigare definition av sannolikhetsandel innebär det att summan av den högra kolumnen i tabell 7.4 alltid blir hundra procent.

Genom detta resonemang kan genomsnittstiden för felsökning, då man börjar med det fel som inträffat [2], skrivas:

$$T_{medel} = T_1 \cdot P_1 + T_2 \cdot P_2 + T_3 \cdot P_3 + \dots + T_x \cdot P_x$$

**Formel 7.5**

$T_{medel}$  = Medelfelsökningstiden för aktuell ordning av felundersökning

Därefter beräknas medelfelsökningstiden för ett okänt fel, där felen kontrolleras i en viss ordning, då man fortsätter tills felet är funnet eller att alla felen gått igenom. Detta görs genom att formel 7.5 adderas med tiden för första felsökningen multiplicerat med sannolikhetsandelen att fel ett inte inträffar. Även tiden för andra felsökningen multipliceras med sannolikhetsandelen att varken fel ett eller fel två inträffar och adderas till formel 7.5.

Den generella ekvationen för ett godtyckligt antal fel  $x$ , blir:

$$T_{medel} = T_1 \cdot P_1 + T_2 \cdot P_2 + \dots + T_x \cdot P_x + T_1 \cdot (1 - P_1) + T_2 \cdot (1 - (P_1 + P_2)) + T_x \cdot (1 - (\sum_{n=1}^{x-1} P_n))$$

**Formel 7.6**

Speciellt gäller för ett fel att medelfelsökningstiden är:

$$T_{medel} = T_1 \cdot P_1$$

**Formel 7.7**

Från kapitel 7.1.1.2, då den avancerade metoden används, ges ordningen 3-1-2 vara optimal ordning för felsökning av exempel i tabell 7.1.

Då denna ordning används för att beräkna medelfelsökningstiden i exemplet i tabell 7.1 ges:

$$T_{medel} = 15 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,1 + 45 \cdot 0,5 + 15 \cdot (1 - 0,4) + 5 \cdot (1 - (0,4 + 0,1)) = 40,5 \text{ min}$$

**Formel 7.8**

### **7.3 Medelfelsökningstiden med hänsyn till placering av komponent**

När placering av komponent tas med i beräkningen av medelfelsökningstiden kan detta göras på flera olika sätt. Gemensamt för de olika tillvägagångssätten är att det tar en viss tid att demontera och återmontera komponenter, som även påverkar i vilken ordning som felen ska åtgärdas. Tiden för demontering och återmontering sammanförs till en tid som kallas åtkomsttid.

Ett exempel på ett felfall utgående från tabell 7.1 görs med en kolumn för åtkomsttid:

Tabell 7.5 Exempel med åtkomsttid

Fel (nr)	Felsökningstid (min)	Åtkomsttid (min)	Felets sannolikhetsandel till kundsymtomet (%)
1	5	Instrumentbräda (45)	10
2	45	Dörr (30)	50
3	15	Instrumentbräda (45)	40

### 7.3.1 Mekanikern monterar alltid tillbaka mellan kontrollerna

En grov metod är att anta att mekanikern alltid monterar tillbaka de komponenter som behövdes montera ner, för att komma åt att felsöka ett visst fel mellan varje felkontroll. Detta görs alltid, även om nästa felsökning är på samma plats. Detta är ingen bra metod, men den är ett steg mot en bättre modell.

Medelfelsökningstiden utgår från formel 7.6, med tillägget att det tillkommer en tid för mekanikern att komma åt och undersöka felet.

Ekvationen för att beräkna medelfelsökningstiden med godtyckligt antal fel  $x$  blir:

$$T_{medel} = (T_1 + T_{K1}) \cdot P_1 + (T_2 + T_{K2}) \cdot P_2 + \dots + (T_x + T_{Kx}) \cdot P_x + (T_1 + T_{K1}) \cdot (1 - P_1) + (T_2 + T_{K2}) \cdot (1 - (P_1 + P_2)) + (T_{x-1} + T_{K(x-1)}) \cdot (1 - (\sum_{n=1}^{x-1} P_n))$$

Formel 7.9

Speciellt gäller för ett fel att medelfelsökningstiden är:

$$T_{medel} = (T_1 + T_{K1}) \cdot P_1$$

Formel 7.10

$P_n$  = Sannolikhetsandelen för att felet  $n$  som undersöks, är orsaken till kundsymtomet

$T_n$  = Felsökningstid för felet  $n$  som undersöks

$T_{Kn}$  = Tid för att komma åt komponent för felet  $n$  som undersöks. Detta inkluderar tiden både för att montera bort komponenterna och sätta tillbaka dem

För att kunna göra en beräkning av medelfelsökningstiden för exemplet i tabell 7.5, måste först antalet möjliga kombinationer bestämmas, som felet är möjligt att undersöka på. Detta gjordes i formel 7.2, som gav sex olika kombinationer då tre tänkbara fel till kundsymtom finns.

Insättning av värden från tabell 7.5 i formel 7.9 ger för de sex olika kombinationerna följande medelfelsökningstider:

**Tabell 7.6 Medelfelsökningstider då mekanikern alltid monterar tillbaka mellan kontrollerna**

Ordningsföljd	$T_{medel}$ (min)
1-2-3	$(5 + 45) \cdot 0,1 + (45 + 30) \cdot 0,5 + (15 + 45) \cdot 0,4 + (5 + 45) \cdot (1 - 0,1) + (45 + 30) \cdot (1 - (0,1 + 0,5)) = 141,5$
1-3-2	... = 141,5
2-1-3	... = 124,0
2-3-1	... = 110,0
3-1-2	... = 127,5
3-2-1	... = 110,0

Minsta medelfelsökningstid fås i ordningarna 2-3-1 och 3-2-1, där tiden i båda kombinationerna blir 110,0 minuter. Detta resultat gäller då hänsyn till placering görs och att montören alltid monterar tillbaka mellan de olika kontrollerna.

### 7.3.2 Mekanikern monterar inte tillbaka mellan kontrollerna

För att även ta hänsyn till placering av en viss komponent och att den i vissa fall ej behöver tas med i beräkningen då det tidigare redan undersökts, behövs ett nytt uttryck för medelfelsökningstiden skapas.

Åtkomsttiden för att undersöka ett fel innehåller både tid för montering och demontering som tidigare nämnts. Denna tid tillkommer bara en gång för varje placering i denna modell. Alltså antas att felsökningar efteråt på samma plats, ändå kan räknas som att de gjordes då komponenterna var bortmonterade.

Vid första felkontrollen blir medelfelsökningstiden densamma som föregående exempel. Alltså blir den:

$$T_{medel} = (T_1 + T_{K1}) \cdot P_1 + (T_2 + T_{K2}) \cdot P_2 + \dots + (T_x + T_{Kx}) \cdot P_x$$

**Formel 7.11**

För de resterande felkontrollerna måste hänsyn tas till om felet sitter på samma plats som ett fel som redan har kontrolleras. Om så är fallet ska tiden det tar att komma åt felet ej räknas med.

Medelfelsökningstiden kan då skrivas med en generell formel med x fel som:

$$T_{medel} = (T_1 + T_{K1}) \cdot P_1 + (T_2 + T_{K2}) \cdot P_2 + \dots + (T_x + T_{Kx}) \cdot P_x + (T_1 + T_{KE1}) \cdot (1 - P_1) + (T_2 + T_{KE2}) \cdot (1 - (P_1 + P_2)) + (T_{x-1} + T_{KE(x-1)}) \cdot (1 - (\sum_{n=1}^{x-1} P_n))$$

**Formel 7.12**

$T_{KE_n}$  = Åtkomsttid för komponent för fel n i ordningen. Speciell hänsyn till att denna tid blir noll minuter om det aktuella felets placering redan har undersökts, bör beaktas.

Speciellt gäller för ett fel att medelfelsökningstiden är:

$$T_{medel} = (T_1 + T_{K1}) \cdot P_1$$

**Formel 7.13**

För att kunna göra en beräkning av medelfelsökningstiden för exemplet i tabell 7.5, i det fall då hänsyn till att montören inte monterar tillbaka mellan kontrollerna, används resultatet i formel 7.4 där antalet möjliga kombinationer bestämdes vara sex.

Insättning av värden från tabell 7.5 i formel 7.12 ger för de sex olika kombinationerna följande medelfelsökningstider:

**Tabell 7.7 Medelfelsökningstider då mekanikern inte monterar tillbaka mellan kontrollerna**

Ordningsföljd	$T_{medel}$ (min)
1-2-3	$(5 + 45) \cdot 0,1 + (45 + 30) \cdot 0,5 + (15 + 45) \cdot 0,4 + (5 + 45) \cdot (1 - 0,1) + (45 + 30) \cdot (1 - (0,1 + 0,5)) = 141,5$
1-3-2	... = 119,0
2-1-3	... = 124,0
2-3-1	... = 110,0
3-1-2	... = 105,0
3-2-1	... = 110,0

Minsta medelfelsökningstid fås för ordningen 3-1-2, där tiden är 105,0 minuter. Detta resultat gäller då hänsyn till placering görs och att montören aldrig monterar tillbaka mellan de olika kontrollerna.

Differensen av medelfelsökningstiderna för det fall då mekanikern aldrig monterar tillbaka mellan kontrollerna och då mekanikern alltid monterar tillbaka mellan kontrollerna, blir 110 minuter subtraherat med 105 minuter. Resultatet blir fem minuter i differens, vilket innebär mindre tid att aldrig montera tillbaka mellan kontrollerna, än då mekanikern alltid monterar tillbaka komponenterna mellan felkontrollerna.

Orsaken till att differensen inte blev större, är att det i fel nummer ett, i exemplet i tabell 7.5, där komponenten som är på samma ställe som fel tre, inte inträffar så ofta, utan inträffar i tio procent av fallen.

### 7.3.3 Medelfelsökningstid med hänsyn till olika tider för demontering och påmontering

Då hänsyn tas till att det finns en tid att demontera delar för att komma åt att undersöka ett fel och en tid att montera på dem igen, innebär det en modifikation av formel 7.12. Tid för komponent ( $T_{Kn}$ ) kan delas upp i två tider, där den ena är för att demontera ( $T_{MAVn}$ ) och den andra att montera tillbaka komponenter ( $T_{MP\hat{A}n}$ ). Även tid för komponent ( $T_{KE_n}$ ) kan delas upp i två tider, där den ena är för att demontera ( $T_{MAVE_n}$ ) och den andra att montera tillbaka komponenter ( $T_{MP\hat{A}E_n}$ ). Se formel 7.14 nedan:

$$\begin{aligned}
 T_{medel} = & (T_1 + \underbrace{T_{MAV1} + T_{MP\hat{A}1}}_{T_{K1}}) \cdot P_1 + (T_2 + \underbrace{T_{MAV2} + T_{MP\hat{A}2}}_{T_{K2}}) \cdot P_2 + \dots + \\
 & (T_x + \underbrace{T_{MAVx} + T_{MP\hat{A}x}}_{T_{Kx}}) \cdot P_x + (T_1 + \underbrace{T_{MAVE1} + T_{MP\hat{A}E1}}_{T_{Kx1}}) \cdot (1 - P_1) + \\
 & (T_2 + \underbrace{T_{MAVE2} + T_{MP\hat{A}E2}}_{T_{KE2}}) \cdot (1 - (P_1 + P_2)) + \dots + \\
 & (T_{x-1} + \underbrace{T_{MAVE(x-1)} + T_{MP\hat{A}E(x-1)}}_{T_{KEx}}) \cdot (1 - (\sum_{n=1}^{x-1} P_n))
 \end{aligned}$$

Formel 7.14

En omskrivning av formel 7.14 kan göras genom att bryta ut tiden för att montera på och lägga dem sist. Detta görs för att förtydliga formeln så att påmonteringstiderna läggs sist, vilket motsvarar det tillvägagångssätt som en mekaniker arbetar med. Det resulterande uttrycket för medelfelsökningstiden blir:

$$\begin{aligned}
 T_{medel} = & (T_1 + T_{MAV1}) \cdot P_1 + (T_2 + T_{MAV2}) \cdot P_2 + \dots + \\
 & (T_x + T_{MAVx}) \cdot P_x + (T_1 + T_{MAVE1}) \cdot (1 - P_1) + \\
 & (T_2 + T_{MAVE2}) \cdot (1 - (P_1 + P_2)) + \dots + (T_{x-1} + T_{MAVE(x-1)}) \cdot (1 - (\sum_{n=1}^{x-1} P_n)) + \\
 & T_{MP\hat{A}1} \cdot P_1 + T_{MP\hat{A}2} \cdot P_2 + \dots + T_{MP\hat{A}x} \cdot P_x + T_{MP\hat{A}E1} \cdot (1 - P_1) + \\
 & T_{MP\hat{A}E2} \cdot (1 - (P_1 + P_2)) + \dots + T_{MP\hat{A}E(x-1)} \cdot (1 - (\sum_{n=1}^{x-1} P_n))
 \end{aligned}$$

**Formel 7.15**

$T_{MAVn}$  = Är tiden det tar att demontera de delar som krävs för att kunna undersöka fel n i ordningsföljden

$T_{MAVE_n}$  = Är tiden det tar att demontera de delar som krävs för att kunna undersöka fel n i ordningsföljden. Speciell hänsyn till att denna tid blir noll minuter om det aktuella felets placering redan har undersökts, bör beaktas

$T_{MP\hat{A}n}$  = Är tiden det tar att montera tillbaka de delar som plockades bort för att kunna undersöka fel n i ordningsföljden

$T_{MP\hat{A}E_n}$  = Är tiden det tar att montera tillbaka de delar som plockades bort för att kunna undersöka fel n i ordningsföljden. Speciell hänsyn till att denna tid blir noll minuter om det aktuella felets placering redan har undersökts, bör beaktas

Ett exempel på beräkning av medelfelsökningstiden enligt formel 7.15 är exemplet i tabell 7.5, fast kolumnen åtkomsttid delas upp i två kolumner. En för tiden att demontera komponenter, så det går att komma åt att undersöka felet. Den andra kolumnen är för tiden att montera tillbaka dessa komponenter.

Värdena för åtkomsttid i tabell 7.1 har i detta exempel delats upp i dess beståndsdelar, så att totaltiden för att demontera och återmontera blir densamma som tiderna i kolumnen åtkomsttid i tabell 7.5. Vilket visas i tabell 7.8:

**Tabell 7.8 Exempel med uppdelning av åtkomsttid i olika tider för demontering och återmontering**

Fel (nr)	Felsökningstid (min)	Demontering (min)	Återmontering (min)	Felets sannolikhetsandel till kundsymtomet (%)
1	5	Instrumentbräda (20)	Instrumentbräda (25)	10
2	45	Dörr (10)	Dörr (20)	50
3	15	Instrumentbräda (20)	Instrumentbräda (25)	40

Lösningen av detta exempel innebär att man skall beräkna medelfelsökningstiden med hjälp av formel 7.15 och sätta in värden enligt tabell 7.8. Se formel 7.16.

Optimal felsökningsordning är i detta exempel samma som när demontering och återmontering skrevs som enbart åtkomsttid i kapitel 7.3.2. Där blev effektivaste felsökningsordning för att få minst medelfelsökningstid, att börja med fel tre varefter fel ett och sist fel två. Anledningen till att optimal felsökningsordning blir samma, är att varje gång en demontering av komponenter görs, måste de även återmonteras.

Medelfelsökningstiden, då hänsyn till olika tider för demontering och återmontering tas, blir för exemplet i tabell 7.8 med insättningar i formel 7.15:

$$\begin{aligned}
 T_{medel} &= (15 + 20) \cdot 0,4 + (5 + 20) \cdot 0,1 + (45 + 10) \cdot 0,5 + \\
 & (15 + 20) \cdot (1 - 0,4) + (5 + 0) \cdot (1 - (0,4 + 0,1)) + \\
 & 25 \cdot 0,4 + 25 \cdot 0,1 + 20 \cdot 0,5 + 25 \cdot (1 - 0,4) + \\
 & 0 \cdot (1 - (0,4 + 0,1)) = 105 \text{ min}
 \end{aligned}$$

**Formel 7.16**

Resultatet i formel 7.12 och formel 7.15 blir alltid samma, vilket innebär att de båda är en lösning på att beräkna medelfelsökningstiden med hänsyn till placering av komponent. Därför finns ingen beräkningsmässig fördel att dela upp åtkomsttiden i beståndsdelarna montering och demontering.



## 7.4 Medelfelsökningstid med hänsyn till diagnos och felsökningshjälps säkerhet

Säkerheten för felkoder är sannolikheten att felkoden är sann. Det vill säga sannolikheten att om felkod finns, så finns även felet. Dessutom är säkerheten sannolikheten att om felkoden inte finns så är det heller inte något fel [2]. Med detta menas hur träffsäker en felkod är.

Om en utökning av modellen med att även ta hänsyn till att varje möjligt fel till ett kundsymtom har sin egen säkerhet, kan en ny formel ställas upp. Konstruktion av formeln görs genom att utgå och inspireras från exempel 3.2 i [2], med hänsyn till felkodens säkerhet.

Det första som man kan konstatera är att, ju högre säkerhet det första felet som reparatören undersöker har, desto mindre sannolikhet är det att reparatören behöver fortsätta att felsöka. Säkerheten för andra undersökningen påverkar i sin tur sannolikheten för att reparatören behöver fortsätta felsöka, efter den andra undersökningen. Denna procedur fortsätter för varje tänkbar undersökning som kan göras.

Som exempel kan nämnas om man börjar med ett fel som har 70 procent säkerhet, är det 30 procent sannolikhet att fortsatt felsökning måste göras. Dessutom om andra felsökningen har 80 procent säkerhet, är det 20 procent sannolikhet att mekanikern måste fortsätta undersöka fel tre.

Detta resonemang kan också uttryckas med termen  $S_n$ , där  $S_n$  är säkerheten för fel  $n$  i ordningsföljden. Då säkerheten för första felet som undersöks är  $S_1$ , är det  $1-S_1$  sannolikhet att fortsatt felsökning måste göras. Dessutom om andra felsökningen har säkerheten  $S_2$ , är det  $1-S_2$  sannolikhet att mekanikern måste fortsätta undersöka fel tre.

Omskrivning av formel 7.12 kan göras så att en generell formel för att beräkna medelfelsökningstiden för fler än ett fel erhålls, med hänsyn till diagnos och felsökningshjälps säkerhet.

Anledningen till att ett fel ej tas i beaktande, är att det tar lika lång tid att felsöka ett fel oberoende av dess säkerhet, vilket inte är fallet för fler än ett fel. Då ett fel ska undersökas kan därför formel 7.12 användas för att beräkna medelfelsökningstiden.

Den resulterande formeln för medelfelsökningstiden blir för x antal fel, där x är större än ett:

$$T_{medel} = (T_1 + T_{K1}) \cdot P_1 + (T_2 + T_{K2}) \cdot P_2 + \dots + (T_x + T_{Kx}) \cdot P_x + ((T_1 + T_{KE1}) \cdot (1 - P_1) + ((T_2 + T_{KE2}) \cdot (1 - (P_1 + P_2))) + \dots + (T_{x-1} + T_{KE(x-1)}) \cdot (1 - (\sum_{n=1}^{x-1} P_n))) \cdot (1 - S_{x-1})) \cdot \dots \cdot (1 - S_2)) \cdot (1 - S_1)$$

Formel 7.17

Ett exempel för beräkning av medelfelsökningstiden enligt formel 7.17 är:

Tabell 7.9 Exempel med hänsyn till felens säkerhet

Fel (nr)	Felsökningstid (min)	Åtkomsttid (min)	Felets sannolikhetsandel till kundsymtomet (%)	Säkerhet (%)
1	10	Dörr (30)	35	50
2	5	Dörr (30)	40	60
3	25	Instrumentbräda (45)	25	75

Detta exempel löses, genom att använda den säkra metoden enligt formel 7.1, för att bestämma ordningen som felen undersöks. Anledningen till detta är att den säkra metoden som tidigare sagts, ger den bästa lösningen.

Om den förenklade metoden enligt formel 7.3 används blir resultatet i detta exempel extra missvisande, för att (1-säkerhet) då skulle multipliceras med formel 7.3. Eftersom de resterande termerna inte tagits med i formel 7.3 från formel 7.1 så tas inte heller säkerheten för dessa termer med, vilket skulle öka grovheten för formel 7.3 ytterligare.

Lösningen av detta exempel inleds med att för varje möjlig kombination beräkna medelfelsökningstiden. Som angavs i formel 7.4 finns det sex olika ordningar för att felsöka tre fel.

Insättning av värden från tabell 7.9 i formel 7.17 ger för de sex olika kombinationerna följande medelfelsökningstider:

**Tabell 7.10 Medelfelsökningstider med hänsyn till diagnos och felsökningshjälps säkerhet**

Ordningsföljd	$T_{\text{medel}}$ (min)
1-2-3	$(10 + 30) \cdot 0,35 + (5 + 30) \cdot 0,4 + (25 + 45) \cdot 0,25 + ((10 + 30) \cdot (1 - 0,35) + ((5 + 0) \cdot (1 - (0,35 + 0,4)))) \cdot (1 - 0,6) \cdot (1 - 0,5) \approx 58,8$
1-3-2	... $\approx 62,0$
2-1-3	... $\approx 54,4$
2-3-1	... $\approx 56,4$
3-1-2	... $\approx 60,6$
3-2-1	... $\approx 59,9$

Detta visar att minsta medelfelsökningstiden är 54,4 minuter, vilket ger att ordningen 2-1-3 är den mest effektiva.

## 8 Beräkning av utvecklingskostnad

Eftersom modellen framtagen i kapitel 6 skall kunna svara på vad en felkod och annan on-board och off-board diagnos kostar att implementera, behövs det göras en fördjupning av utvecklingskostnaden.

Som nämnts i kapitel 6 finns det två olika metoder att beräkna utvecklingskostnaden på. Den ena är att det inte redan finns finansierad grundkostnad och den andra är att grundkostnaden redan är finansierad. Vilken metod som väljs beror på om felet som ska undersökas är ett tillägg till redan befintlig implementation av diagnos eller om felet ska undersökas då ingen diagnos finns.

## 8.1 Beräkning av on-board kostnad

För att kunna beräkna utvecklingskostnaden per fel för on-board diagnos, måste de kostnader som påverkar denna kostnad fastställas. De viktigaste kostnaderna är:

Tabell 8.1 Viktigste kostnader som påverkar on-board utvecklingskostnaden

Typ av kostnad	Beskrivning
Carcom II	Implementering av felkoder i databasen Carcom II
Specificering	Specificering av hur systemet skall upptäcka fel och reagera då felet upptäcks
Utveckling styrenhet	Implementation av både hård- och mjukvara för enhet
Verifiering	För att säkerställa att diagnosmetoderna fungerar som det är specificerat
VIDA	Uppdatering av databasen VIDA, så att mekanikern kan läsa av felkoder och välja felsökningsinformation

Kostnaden för on-board diagnos för aktuellt fel beräknas genom att en summering av de viktigaste kostnaderna i tabell 8.1 görs. En grov förenkling av vad kostnaden per fel blir, kan göras genom att dividera den totala utvecklingskostnaden för styrenhetens on-board diagnos med antalet fel som man vill ska tillkomma i styrenheten.

Anledningen till att detta är en grov uppskattning är att kostnaden mellan de olika felen varierar mycket. Exempelvis är on-board diagnos med enbart felkod mindre kostsamt att implementera, än att implementera all tänkbar on-board diagnos. För beräkningar av utvecklingskostnaden per fel, lämpar sig denna beräkningsmetod om on-board kostnader för felen i styrenheten är snarlika och att de efterfrågade kostnaderna i tabell 8.1 är kända.

Det resulterande grova beräkningsuttrycket för utvecklingskostnaden av on-board diagnos blir därför:

$$K_{on\_board} = \frac{K_{carcomII} + K_{specificering} + K_{ustyrenhet} + K_{verifiering} + K_{vida}}{N_{fel}}$$

**Formel 8.1**

$K_{on\_board}$  = Utvecklingskostnad för on-board diagnos i styrenhet, per fel

$N_{fel}$  = Antalet fel som man vill kunna åtgärda med on-board diagnos i en styrenhet

## **8.2 Fördjupning av on-board kostnad**

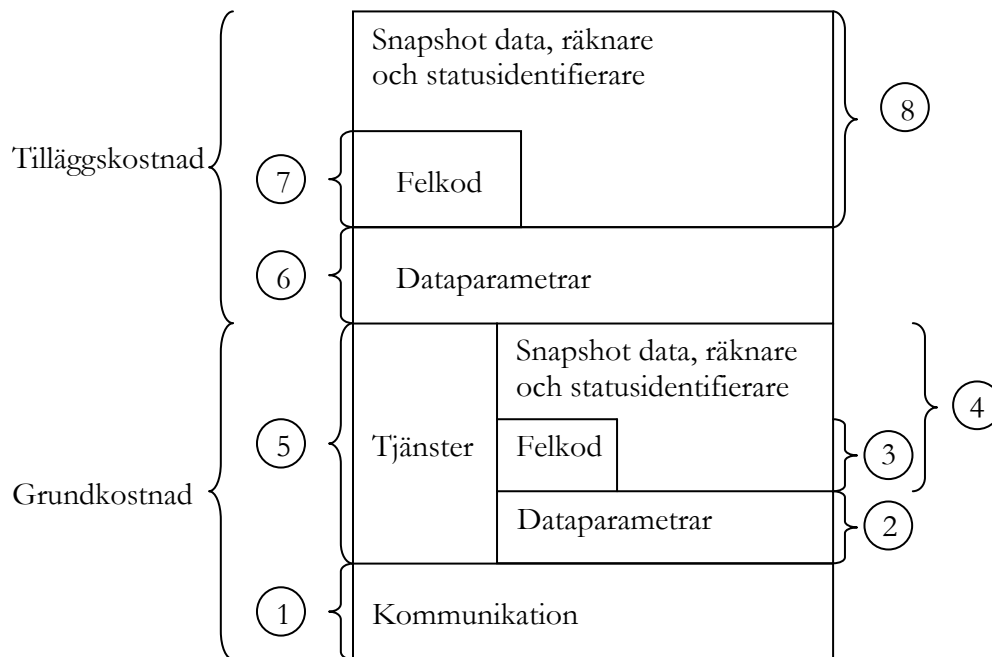
För att göra en fördjupning av on-board utvecklingskostnad har utvecklingskostnaden uppskattas med hjälp av handledaren, för de olika on-board diagnosmetoderna specificerade i tabell 6.1.

För att kunna göra denna fördjupning, måste en mer ingående analys av kostnaderna för on-board diagnos göras. För det första så finns det alltid en grundkostnad för kommunikation även om ingen on-board diagnos finns. Detta beror t.ex. på att man skall kunna uppgradera mjukvaran i styrenheter. Eftersom kostnaden för kommunikation är samma oavsett vilken diagnos och felsökningshjälp som väljs, påverkar den ej vilken metod som är den mest optimala. Därför tas denna kostnad ej med i beräkningarna.

Dessutom tillkommer fasta grundkostnader för tjänster som möjliggör att implementera dataparametrar, felkoder och felkoder med snapshot data, räknare och statusidentifierare. Dessa kostnader läggs på nödvändig mjukvara i styrenheter som möjliggör detta.

Slutligen tillkommer vissa kostnader beroende på det val av on-board diagnos som man vill undersöka med modellen. Dessa kostnader är för utveckling av diagnos och består av utvecklingskostnad som Volvo Personvagnar och leverantören har. Kostnaderna för Volvo Personvagnar kan exempelvis vara att specificera och verifiera och för leverantörerna att implementera vald diagnos.

För att förtydliga alla kostnader för on-board diagnos visas både grundkostnader och tilläggskostnader i figur 8.1:



Figur 8.1 On-board utvecklingskostnader

Anledningen till att 3 ligger i området 4 och 7 ligger i område 8 i figur 8.1, är som nämnts tidigare i kapitel 6, att snapshot data, räknare och statusidentifierare, är tillägg till en felkod.

För att kunna använda modellen, måste en uppskattning göras av alla utvecklingskostnader specificerade i figur 8.1, förutom kostnaden för kommunikation. Uppskattningen av dessa kostnader har gjorts i samråd med handledaren.

Grundkostnader för tjänster som tillkommer för 2, 3 och 4 i figur 8.1 specificeras i tabell 8.2:

Tabell 8.2 On-board grundkostnader för tjänster

	Dataparametrar	Felkod	Felkod med snapshot data, räknare och statusidentifierare
<b>Volvo Personvagnars arbetstid (tim)</b>	60	180	240
<b>Leverantörens arbetstid (tim)</b>	90	270	360

Tilläggskostnad för utveckling av dataparametrar, felkod och felkod med snapshot data, räknare och statusidentifierare som tillkommer för 6, 7 och 8 i figur 8.1 specificeras i tabell 8.3.

För att lättare uppskatta kostnaden för utveckling av nämnda tilläggskostnader görs en uppdelning i enkla, medel och svåra fel vad gäller komplexitet i utveckling.

Tabell 8.3 On-board utvecklingstilläggskostnader

	Dataparametrar	Felkod			Felkod med snapshot data, räknare och statusidentifierare		
		Enkel	Medel	Svår	Enkel	Medel	Svår
<b>Volvo Personvagnars arbetstid (tim)</b>	0,3	1	4	8	1,5	6	12
<b>Leverantörens arbetstid (tim)</b>	1	4	12	24	6,5	20	40

Exempel på enkla, medel och svåra fel vad gäller utveckling av on-board diagnos visas i tabell 8.4:

Tabell 8.4 Exempel på enkla, medel och svåra fel vad gäller utveckling

Enkel	Medel	Svår
Internt fel och checksumma	Avbrott och kortslutning	Kommunikation

### 8.3 Beräkning av off-board kostnad

För att beräkna utvecklingskostnaden per fel för off-board diagnos, måste en analys av vilka parametrar som påverkar denna kostnad göras. Det som först kan konstateras är att kostnaden för funktion och konstruktionsschema alltid finns med och är lika stor, oavsett om det finns felkod för det aktuella felet eller ej. Därför behövs den kostnaden ej tas med i beräkningen, då den inte påverkar vilken diagnos och felsökningshjälp som är mest lönsam.

De resterande parametrarna som påverkar off-board utvecklingskostnaden är samma som utvecklingskostnaden för on-board diagnos påverkas av, specificerade i tabell 8.1. Skillnaden är dock att utvecklingskostnaden för Carcom II och utveckling av styrenhet, ej räknas som kostnad för off-board diagnos.

En grov uppskattning av kostnaden för det aktuella felet, görs på samma sätt som för on-board diagnos, genom att dividera den totala utvecklingskostnad för styrenhetens off-board diagnos med antalet fel som styrenheten skall kunna detektera.

Det resulterande uttrycket för utvecklingskostnaden av off-board diagnos blir därför:

$$K_{\text{off\_board}} = \frac{K_{\text{vida}} + K_{\text{specificering}} + K_{\text{verifiering}}}{N_{\text{fel}}}$$

Formel 8.2

$K_{\text{off\_board}}$  = Utvecklingskostnaden för off-board diagnos per fel

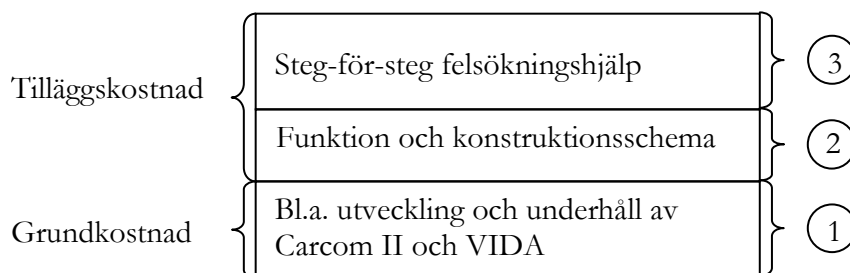
## 8.4 Fördjupning av off-board kostnad

För att göra en fördjupning av off-board utvecklingskostnad har utvecklingskostnaden uppskattats med viss hjälp av handledaren, för de olika off-board diagnosmetoderna specificerade i tabell 6.2.

För att göra en fördjupning måste en undersökning av vilka kostnader som finns göras. För det första finns det alltid en grundkostnad som bl.a. innehåller kostnad för att utveckla och underhålla Carcom II och VIDA. Den totala grundutvecklingskostnaden uppskattas till 200 timmar för en normalstor styrenhet.

Förutom grundkostnaden finns det tilläggskostnad för steg-för-steg felsökningshjälp och funktion och konstruktionsschema. Modellen antager att kostnaden för steg-för-steg felsökningshjälp är oberoende av vilken on-board diagnos som undersöks.

För att förtydliga alla kostnader för off-board diagnos visas både grundkostnader och tilläggskostnader i figur 8.2:



Figur 8.2 Off-board utvecklingskostnader

Precis som för on-board diagnos, görs en uppdelning i enkla, medel och svåra fel vad gäller utveckling av off-board diagnos, för att lättare kunna uppskatta kostnaden för utveckling av nämnda tilläggskostnader.

Kostnader för off-board diagnos uppstår enbart för Volvo Personvagnar, till skillnad från on-board diagnos. Detta beror på att leverantörer inte utför något extra arbete



oavsett vilken off-board diagnos som används. Uppskattad arbetstid per fel och diagnosmetod visas i tabell 8.5.

Tabell 8.5 Off-board utvecklingstilläggskostnader

	Funktion och konstruktionsschema			Steg-för-steg felsökningshjälp		
	Enkel	Medel	Svår	Enkel	Medel	Svår
Volvo Personvagnars arbetstid (tim)	2,5	5	10	10	20	40

## 8.5 Totala utvecklingskostnaden för verkstad

Utvecklingskostnaden för diagnos och felsökning läggs inte enbart på reparationer i verkstaden, utan den kostnaden skall fördelas på alla områden som har nytta av den. Förutom verkstad är det som nämnts tidigare, områdena produktion och utveckling som tar hjälp av diagnos och felsökning.

Den totala utvecklingskostnaden för on-board och off-board diagnos adderas samman, varefter andelen av kostnaden som anses ligga på verkstaden multipliceras:

$$K_{Utot} = (K_{on\_board} + K_{off\_board}) \cdot P_{verkstad}$$

Formel 8.3

$P_{verkstad}$  = Andelen av utvecklingskostnaden som fördelas på verkstad

Denna totala utvecklingskostnad sätts sedan in i önskad modell i kapitel 6.

## 9 Beräkning av kostnad för extra hårdvara

För att få en noggrannare modell behövs en ytterligare analys av extrakostnaden göras, som kan uppstå för att kunna detektera vissa fel.

### 9.1 Fördjupning av kostnad för extra hårdvara

Det som först kan konstateras är att de flesta fel kan detekteras utan att någon extra hårdvara krävs, vilket beror på att de flesta fel kan detekteras genom mjukvara. Därför tillkommer det sällan extrakostnad för hårdvara. Däremot krävs det alltid mjukvara som i vissa fall kan kräva extra hårdvara. Det kan t.ex. vara extra minne och snabbare processor. Ibland kan denna kostnad dock vara kostnadsfri, vilket uppstår då det redan finns lediga systemresurser. Dessutom går det i vissa fall att optimera koden för

att slippa denna extra hårdvarukostnad, men då uppstår det istället en kostnad som läggs på utvecklingskostnaden för leverantören i tabell 8.3.

Sedan går det att konstatera att extrakostnader för hårdvarutillägg, uppstår för de utgångar man vill kunna detektera om de är höga eller låga. Orsaken till att man vill detektera utgångarnas nivå, är för att kunna detektera om utgången blir kortsluten till spänning eller jord. Exempelvis om en spänningssatt utgång blir kortsluten till jord, kan utgångens nivå sjunka mot noll volt.

I vissa drivsteg, som används för att förstärka en processors utgång, kan det finnas inbyggd möjlighet att kunna detektera vissa fel. I sådant fall läggs denna kostnad på utvecklingskostnaden och inte på extrakostnaden. Den hårdvara som kan krävas, om det inte finns inbyggd feldetekteringsmöjlighet i drivsteget på styrenheten, är extra stift på processorn och ledningsbanor.

Vilka kostnader som extrakostnaden beror på måste först bestämmas. För det första beror den som beskrivits ovan av extra ledningsbana. Dessutom beror denna kostnad på all den extra hårdvara som måste läggas till. Denna extra hårdvarukostnad delas av alla de fel som kommer använda denna extra hårdvara.

För att beräkna extrakostnaden ställs en generell formel upp:

$$K_{extra} = K_{ledningsbana} + \frac{K_{extra\_hårdvara}}{N_{fel\_hårdvara}}$$

**Formel 9.1**

$K_{extra\_hårdvara}$  = Kostnad för extra hårdvara, som exempelvis för processor, minne och multiplexer

$K_{ledningsbana}$  = Kostnad för extra ledningsdragning

$N_{fel\_hårdvara}$  = Antal fel som skall dela på den extra hårdvarukostnaden

Uppskattning av dessa möjliga extra hårdvarukostnader görs av handledaren till 0,5 kronor, då ett extra stift och ledningsbana önskas för att detektera enbart avbrottsfel, kortslutning jord eller kortslutning spänning. Handledaren konstaterade även att det i princip inte behövs någon extra hårdvara för kommunikationsfel och för hög- eller för låg spänning till styrenhet.

## 9.2 Verkstadens totala kostnad för extra hårdvara

Precis som för utvecklingskostnaden, fördelas extrakostnaden på de områden som använder diagnos och felsökning. Det resulterande uttrycket för extrakostnaden fördelad på verkstaden visas i formel 9.2:

$$K_{extra\_verkstad} = K_{extra} \cdot P_{verkstad}$$

Formel 9.2

$K_{extra\_verkstad}$  = Den extrakostnad som fördelas på verkstaden för att kunna detektera felet

Denna totala extrakostnad sätts sedan in i önskad modell i kapitel 6.

## 10 Test av modell på användarfall

Test av modell görs genom att undersöka felet avbrott, som är det vanligaste felet i gruppen med de vanligaste elektriska felen som inträffar, vilket konstaterades i kapitel 5. Detta görs genom att utgå från ett verkligt fall som en verkstad har åtgärdat och uppskatta diverse parametrar. Dessa uppskattningar av värden görs med viss hjälp av handledaren.

Det första värdet som uppskattas är kostnaden för konstruktören på Volvo Personvagnar och konstruktören hos leverantören. Enligt handledaren kan kostnaden uppskattas till cirka 500 kronor per timma. Det andra värdet som uppskattas är kostnaden för mekanikern. Enligt handledaren kan kostnaden uppskattas till cirka 500 kronor per timma i Sverige och USA, men det varierar mellan olika marknader. Som exempel kan nämnas Nigeria där han uppskattar lönen till maximalt 200 kronor per timma. Mekanikerns medellönekostnad uppskattas för alla marknader till 400 kronor per timma, vilket motsvarar 6,67 kronor per minut. Denna lönekostnad uppskattas p.g.a. att Sverige och USA är de största marknaderna för Volvo Personvagnar och det i länder med låga löner inte säljs många nya Volvobilar.

Medelreparationstiden för att reparera eller byta ut komponenter, uppskattas efter studium av information lagrad i VIDA till 60 minuter.

Nästa värde som behöver uppskattas är hur lång garantitiden är för det aktuella felet. Enligt [VI 3] är garantitiden för Volvobilar i USA 4 år och i Sverige 2 år. Eftersom Volvo Personvagnar som nämnts tidigare har sina största marknader i Sverige och USA uppskattas genomsnittsgarantitiden för alla marknader till 3 år.

Därefter uppskattas antalet producerade bilar per år som använder styrenheten REM. Denna uppskattning görs till 400 000 bilar per år. Det antas att oavsett om en bil är utrustad med backsensorer eller ej, så har de ändå samma styrenhet REM.

Medelkostnaden för in och utleveranser uppskattas till 100 kr per besök. Som nämnts tidigare i kapitel 6.2, påverkar denna kostnad vilken omfattning av diagnos och felsökningshjälp som skall väljas och berör endast de fall då återbesök av intermitterent fel görs.

För att beräkna utvecklingskostnaden för diagnos och felsökning för det aktuella felet, kan antingen fakta om utvecklingskostnader för diagnos i aktuell styrenhet bestämmas, varefter division med antalet fel i styrenheten utförs eller också kan värden från fördjupning i utvecklingskostnaden från kapitel 8.2 och 8.4 användas.

Därefter måste en uppskattning av hur stor del av utvecklingskostnaden som skall ligga på verkstaden göras. En grov uppskattning till 60 procent görs tills en ytterligare analys av detta gjorts. Uppskattningen baseras på att det, enligt handledaren, är verkstaden som har störst utgifter, främst beroende på garantikostnader.

För att kunna göra en analys av modellen, görs test på användarfall både då ingen extra hårdvara för att detektera felet avbrott och då extra hårdvara för att detektera felet avbrott, implementeras.

### **10.1 Test av felet avbrott mellan backsensor och PAM utan extra hårdvara**

För att testa modellen på ett användarfall används som nämnts tidigare ett verkligt fel som inspirationskälla för att uppskatta de nödvändiga parametrarna. Det aktuella felet kan beskrivas vara ett avbrottsfel i en kabel mellan styrenheten PAM (Park Assistant Module) och backsensorn [VI 1]:

**Tabell 10.1 Ett verkligt avbrottsfel mellan backsensor och PAM som en verkstad har reparerat**

Variant	Plattform	Problem	Felande del	Modellår	Total arbets-kostnad (Kr)	Total material-kostnad (Kr)	Verkstad : Verkstads-namn
XC90	P2X	Avbrott	Ledning	2003	4642,17	378,02	US3358 : Long Island Swedish Auto, inc.

Arbetsmetoden som mekanikern haft för att åtgärda detta fel tolkas utifrån hans egna anteckningar [VI 1]:

*Kunden säger att backsensorn inte fungerar och det felet är permanent. Mekanikern kontrollerar vilka felkoder som finns lagrade i bilens styrenheter.*

*Mekanikern finner felkoderna:*

*CEM-8F52 Relä, strålkastarrensöring. För låg signal/Signal saknas*

*REM-4F43 Backvarningsgivare 2. Felaktig signal*

*Utifrån information som mekanikern har i VIDA monterar störfångaren av och alla fyra sensorerna ersätts med nya. Men felet finns fortfarande kvar och mekanikern får information från VIDA att fortsätta att felsöka kablage från sensorer till PAM. Mekanikern hittar avbrott i kabel från PAM till en backsensor. Felet är därefter åtgärdat.*

I felsökningshjälpen som finns tillgänglig i VIDA, står det att de det finns två möjliga felorsaker till felkoden ”REM-4F43 backvarningsgivare 2, felaktig signal” [VI 2].

Dessa två är:

- Fel på ledningar till backvarningsgivare 2
- Backvarningsgivare 2 defekt

För felkoden ”CEM-8F52 relä, strålkastarrensöring, för låg signal/signal saknas” finns det tre möjliga felorsaker [VI 2]. Dessa är:

- Säkring till spolarpump trasig
- Kortslutning till jord/avbrott på signalledningen
- Reläet defekt/saknas

Eftersom felkoden CEM-8F52 har låg sannolikhetsandel till kundsymtomet, men ändå kan vara en orsak till kundsymtomet, förenklas beräkningarna genom att se felsökningstiden för de tre felen som om de var ett fel. Detta resulterar i att det finns totalt tre möjliga felorsaker till kundsymtomet, vilket ger felsökaren tre fel att felsöka.

För framtida undersökningar av mekanikerns arbetstid för det aktuella felet, måste arbetstiden med reparationstid för just detta exempel beräknas. Enligt tabell 10.1 är mekanikerns arbetskostnad 4642 kronor för att åtgärda felet och eftersom reparationen gjordes i USA, kan lönen uppskattas till 500 kronor per timma, vilket leder till att 4642 divideras med 500 för att erhålla totala arbets- och reparationstid, vilket blir ungefär 9,3 timmar.

Det förutsätts nedan att alla nödvändiga systemresurser finns tillgängliga, som t.ex. minne och processorkraft, för att kunna implementera aktuell on-board diagnos.

En uppskattning av extrakostnaden för att kunna detektera aktuellt fel behöver sedan göras. Som tidigare nämnts i kapitel 9.1, uppskattar handledaren för avbrottsfel att extrakostnaden blir 0,5 kronor för ledningsbana och extra stift på processorn. Men för det aktuella avbrottsfelet antas att felet enbart detekteras genom mjukvara, vilket leder till att felkoden REM-4F43 sätts. Anledningen till detta antagande är, att felkoden enbart kan detektera felaktig signal och ej skilja på om det är ett avbrottsfel på ledningen eller om sensorn är defekt. Detta innebär att extrakostnaden blir noll kronor.

Eftersom denna extrakostnad inte enbart läggs på verkstaden, måste en omräkning göras för att få reda på vad just kostnaden fördelad på verkstad blir. Detta görs genom att sätta in värden i formel 9.2:

$$K_{extra\_verkstad} = K_{extra} \cdot P_{verkstad} = 0 \cdot 0,6 = 0kr$$

**Formel 10.1**

För att kunna göra en bedömning av vad som är optimal diagnos för användarfallet, måste felrelaterade parametrar i ena fallet uppskattas då all möjlig diagnos och felsökningshjälp finns. Det vill säga då felkod med snapshot data, räknare, statusidentifierare, dataparametrar och steg-för-steg felsökningshjälp finns till hands. I andra fallet uppskattas felrelaterade parametrar då endast funktion och konstruktionsschema finns tillgängligt.

### **10.1.1 All möjlig diagnos och felsökningshjälp**

För felet beskrivet ovan då felkod med snapshot data, räknare, statusidentifierare, dataparametrar, steg-för-steg felsökningshjälp och funktion och konstruktionsschema, beräknas kostnad för diagnos och felsökning med tidigare uppskattade parametrar. Dock måste vissa parametrar uppskattas som gäller specifikt för denna on-board och off-board diagnos.

Det första som måste uppskattas är antalet påverkade bilar med likadana styrenheter under garantitiden, för både det specifika permanenta och intermittenta felet. Antalet bilar med permanenta fel uppskattas till 500 stycken och antalet med intermittenta fel

till 250 stycken. Dessutom uppskattas verifieringstiden för aktuellt permanent fel till 5 minuter och aktuellt intermitterant fel till 15 minuter, när aktuell omfattning av diagnos och felsökningshjälp finns till hands. Verifieringstiden vid felaktigt byte av komponent uppskattas vara densamma som för det aktuella felet.

Sannolikheten för att mekanikern inte klarar att reparera felet under första besöket hos verkstaden och att därför ett återbesök är nödvändigt, uppskattas till 10 procent. Ytterligare återbesök därefter anses ej vara nödvändigt för det aktuella felet. Dessutom uppskattas sannolikheten att en bil med enbart det aktuella felet måste återköpas av Volvo Personvagnar till noll procent av fallen. Orsaken till detta är att felet är av sådan art att verkstäder kan reparera denna typ av fel utan att kostnaden kommer att överstiga återköp av bil, som i detta fall uppskattas till 300 000 kronor.

Då en felaktig komponent byts, uppskattas kostnaden i genomsnitt för både permanenta och intermitteranta fel för varje besök till 100 kronor, som beräknas genom att se hur mycket en sensor kostar och till detta addera en kostnad som kan antas vara rimlig för diverse andra byten. I tabell 10.1 ses att det kostar 378,02 kronor att byta fyra sensorer och att reparera kabel. Efter division av kostnaden med fyra och addition erhålls uppskattat värde.

Därefter måste sannolikheten för att felaktigt byte av komponent på bil med aktuellt fel göras för både permanenta och intermitteranta fel. Det skall här nämnas att felsökaren av detta fel har tillgång till steg-för-steg felsökningshjälp, vilken för aktuellt fel talar om att felet antingen kan vara i backsensorn eller att ett kabelbrott skett mellan sensorn och PAM [VI 2]. Mekanikern kan dock vid felaktigt byte av komponent montera tillbaka den gamla komponenten, vilket minskar sannolikheten för felaktigt byte. Sannolikheten att backsensorn byts för permanenta fel, innan kontroll av kablage görs och att mekanikern ej monterar tillbaka den gamla hela komponenten, kan därför uppskattas med dagens felsökningshjälp till 40 procent.

För intermitteranta fel anses sannolikheten till felaktigt byte vara större än för permanenta fel, eftersom det för mekanikern är svårt att se var felet är och att se om felet är åtgärdat eller ej. Sannolikheten för felaktigt byte av komponent uppskattas för intermitteranta fel till 80 procent vid första besöket hos verkstaden. Dessutom uppskattas sannolikheten för felaktigt byte vid andra besöket hos verkstaden till 20 procent. Anledningen till detta val av sannolikhet vid andra besöket hos verkstaden är, att det antas att om mekanikern inte bytte sensor vid första besöket, så kommer mekanikern att göra det vid andra.

De ingående parametrarna, samt dess värden som modellen beror på, sammanställs i en tabell:

**Tabell 10.2 Uppskattade parametrar då all diagnos och felsökningshjälp används**

Parameter	Beskrivning	Värde
$N_P$	Antalet bilar med aktuellt permanent fel	500 st
$N_I$	Antalet bilar med aktuellt intermittent fel	250 st
$N_{\text{ÅR}}$	Antalet garantiår	3 år
$N_{\text{återbesök}}$	Antalet återbesök	2 st
$N_{\text{årsprod}}$	Antalet bilar med styrenheten REM som produceras varje år	400 000 st
$P_1$	Sannolikhet för första besöket hos verkstaden	100 %
$P_2$	Sannolikhet för andra besöket hos verkstaden	10 %
$P_{\text{återköp}}$	Sannolikhet att återköp av bil inträffar	0 %
$P_{\text{Pfelbyte}}$	Sannolikhet för fel byte av komponent, för permanent fel	40 %
$P_{\text{Ifelbyte1}}$	Sannolikhet för fel byte av komponent vid första besöket hos verkstaden, för intermittent fel	80 %
$P_{\text{Ifelbyte2}}$	Sannolikhet för fel byte av komponent vid andra besöket hos verkstaden, för intermittent fel	20 %
$K_{\text{mekaniker}}$	Mekanikerns arbetskostnad	400 kr/tim (6,67 kr/min)
$K_{\text{konstruktör}}$	Konstruktörens arbetskostnad	500 kr/tim (8,33 kr/min)
$K_{\text{extra}}$	Extrakostnaden som behöver läggas ner för att kunna detektera aktuellt fel	0 kr
$K_{\text{bil}}$	Kostnad för återköp av aktuell bil	300 000 kr
$K_{\text{Pdelar}}$	Kostnaden för felaktigt byte av komponenter för permanent fel	100 kr
$K_{\text{Idelar1}}$	Kostnaden för felaktigt byte av komponenter, vid första besöket hos verkstaden för intermittent fel	100 kr
$K_{\text{Idelar2}}$	Kostnaden för felaktigt byte av komponenter, vid andra besöket hos verkstaden för intermittent fel	100 kr



$T_{VP}$	Tidsåtgång för att verifiera det aktuella permanenta felet	5 min
$T_{VI}$	Tidsåtgång för att verifiera det aktuella intermittenta felet	15 min
$T_{felVP}$	Medeltidsåtgång för att verifiera felaktiga byten för permanenta fel, under ett besök	5 min
$T_{felVI}$	Medeltidsåtgång för att verifiera felaktiga byten för permanenta fel, under ett besök	15 min
$T_{felR}$	Reparationstid för att reparera eller byta ut felaktiga komponenter, under ett besök	60 min

Slutligen uppskattas parametrar för de olika tänkbara felorsakerna till felet som uppstått. Uppskattningen görs för både permanenta och intermittenta fel och avser parametrarna felsökningstid, felsannolikhetsandel och säkerhet på diagnos och felsökningshjälp. Dessutom uppskattas åtkomsttider för att kunna felsöka, vilken är densamma för både permanenta och intermittenta fel. Detta visas i tabell 10.3.

För tydlighet skall skrivs de tre tänkta felorsakerna till kundsymtomet upp:

- Fel 1: Fel på ledningar till backvarningsgivare 2
- Fel 2: Defekt backvarningsgivare 2
- Fel 3: Fel på relä för strålkastarrensning

Tabell 10.3 Uppskattade parametrar som påverkar medelfelsökningstiden

	Fel 1	Fel 2	Fel 3	Fel 1	Fel 2	Fel 3
	Permanent			Intermittent		
<b>Felsökningstid (min)</b>	50	10	30	80	20	50
<b>Diagnos och felsökningshjälps säkerhet (%)</b>	95	95	80	95	95	80
<b>Felsannolikhetsandel (%)</b>	75	20	5	75	20	5
<b>Åtkomsttid (min)</b>	360	360	70	360	360	70

Enligt beräkningarna i formel 7.4 finns det sex olika ordningsföljder som fel kan felsökas i. Beräkningar av medelfelsökningstiden för alla dessa ordningsföljder görs sedan för både permanenta och intermittenta fel.

För att sedan beräkna medelfelsökningstiden för permanenta fel, görs en insättning i formel 7.17 med värden från tabell 10.3. Eftersom det krävs mycket beräkningar för detta, används ett eget konstruerat program i Excel. Programmet är konstruerad utifrån modellens formler och beräknar bl.a. medelfelsökningstiderna för de olika ordningsföljderna, se bilaga D. Resultatet från programmet ger de olika medelfelsökningstiderna för permanenta fel:

**Tabell 10.4 Medelfelsökningstider för alla tänkbara felsökningordningar för permanenta fel då all tänkbar diagnos och felsökningshjälp används**

Felsökningsordning	Felsökningstid, $T_{medelP}$ (min)
1-2-3	392
1-3-2	392
2-1-3	401
2-3-1	402
3-1-2	406
3-2-1	408

Detta innebär att ordningarna 1-2-3 och 1-3-2 är snabbast för det aktuella permanenta felet och tar i medel 392 minuter att felsöka.

För att sedan beräkna medelfelsökningstiden för intermittenta fel, görs en insättning i formel 7.17 med värden från tabell 10.3, vilket från programmet i Excel ger:

**Tabell 10.5 Medelfelsökningstider för alla tänkbara felsökningordningar för intermittenta fel då all tänkbar diagnos och felsökningshjälp används**

Felsökningsordning	Felsökningstid, $T_{medell}$ (min)
1-2-3	418
1-3-2	418
2-1-3	427
2-3-1	428
3-1-2	436
3-2-1	438

Detta innebär att för det aktuella intermittenta felet även här är effektivast att felsöka i ordningsföljderna 1-2-3 och 1-3-2, vilket tar i genomsnitt 418 minuter att felsöka.

Den totala arbetstiden för permanenta fel som påverkar val av omfattning av diagnos och felsökning beräknas genom att använda formel 6.12:

$$T_{\text{arbete}} = T_{\text{medelP}} + T_{\text{VP}} = 392 + 5 = 397 \text{ min} \approx 6,6 \text{ tim}$$

**Formel 10.2**

Som nämnts tidigare blev mekanikerns totala arbetstid för det aktuella felet ungefär 9,3 timmar. En jämförelse av denna tid kan sedan göras med tiderna från exemplet beskrivet ovan, vars parametrar är uppskattade och insatta i modell. Eftersom felet som mekanikern reparerar är av typen permanent, skall endast arbetstiden för permanenta fel uträknad till 396,63 minuter i formel 10.2 beaktas. Till denna tid adderas reparationstiden för aktuellt fel, som uppskattas till 60 minuter. Den totala arbets- och reparationstiden för en bil med aktuellt fel blir:

$$T_{\text{backsensor}} = T_{\text{arbete}} + T_R = 397 + 60 = 457 \text{ min} \approx 7,6 \text{ tim}$$

**Formel 10.3**

Denna beräknade tid blir kortare än tiden som mekanikern i exemplet ovan behövde för att få felet åtgärdat. Detta antas bero på att mekanikern bytte alla sensorer, fastän det t.o.m. står i felkoden att felet var i sensor nummer två. Dessutom tar modellen hänsyn till att optimal ordning av felsökning görs. Det kan heller inte uteslutas att mekanikern först kontrollerade fel 3 "Fel på relä för strålkastar rengöring", utan att notera detta i sina anteckningar.

Därefter beräknas verkstädens totala arbetstid för detta permanenta fel per bil, oavsett om bilen har felet eller ej. Insättning av givna värden i formel 6.11 ger:

$$T_{PV} = \frac{N_P}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot (T_{\text{medelP}} + T_{\text{VP}}) = \frac{500}{400000 \cdot 3} \cdot (392 + 5) = 0,165 \text{ min}$$

**Formel 10.4**

Verkstädens totala arbetstid för detta intermittenta fel per bil, oavsett om bilen har felet eller ej, beräknas genom insättning av givna värden i formel 6.13, vilket blir:

$$T_{IV} = \sum_{\bar{A}=1}^2 \left( P_{\bar{A}} \cdot \frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot T_{\text{medell}} \right) +$$

$$\frac{N_I}{N_{\text{årsprod}} \cdot N_{\text{år}}} \cdot T_{VI} = 1 \cdot \frac{250}{400000 \cdot 3} \cdot 418 +$$

$$0,1 \cdot \frac{250}{400000 \cdot 3} \cdot 418 + \frac{250}{400000 \cdot 3} \cdot 15 \approx 0,0988 \text{ min}$$

**Formel 10.5**

Addition av dessa tider görs, varefter multiplikation med mekanikerns arbetskostnad per timma, för att erhålla kostnaden för verkstad per bil, oavsett om bilen har felet eller ej. Insättning av värden i formel 6.3 ger:

$$K_V = (T_{PV} + T_{IV}) \cdot K_{\text{mekaniker}} = (0,165 + 0,0988) \cdot 6,67 \approx 1,76kr$$

**Formel 10.6**

För att kunna bestämma utvecklingskostnaden för aktuell diagnos och felsökning, måste först val av typ av utveckling göras. Är det antingen ett fel som skall läggas till redan finansierad grundutvecklingskostnad för att möjliggöra on-board och off-board diagnos eller är denna grundkostnad ej finansierad? Det görs valet att undersöka felet då redan all grundkostnad för diagnos i styrenheten är betald.

Den fördjupade metoden för att beräkna utvecklingskostnaden väljs och eftersom felet är av typen avbrott, har felet medelsvår utveckling av on-board och off-board diagnos enligt tabell 8.4.

För on-board diagnos fås utvecklingskostnaden med värden från tabell 8.3, genom addition av de ingående arbetstiderna för att implementera all möjlig on-board diagnos. Denna arbetstid multipliceras med konstruktörens arbetskostnad för att få hela utvecklingskostnaden för felkoden ”REM-4F43 backvarningsgivare 2, felaktig signal”, vilket är kostnad för utveckling av on-board diagnos för de båda felen som felkoden kan detektera:

$$K_{\text{on\_board}} = (0,3 + 1 + 6 + 20) \cdot 500 = 13650kr$$

**Formel 10.7**

För off-board diagnos beräknas utvecklingskostnaden på samma sätt som för on-board diagnos. Värden hämtas från tabell 8.5 och resultatet blir:

$$K_{off\_board} = (5 + 20) \cdot 500 = 12500kr$$

**Formel 10.8**

För att få utvecklingskostnaden för enbart aktuellt fel uppskattas att felet avbrott som kan detekteras i felkoden ”REM-4F43 backvarningsgivare 2, felaktig signal”, står för halva utvecklingskostnaden för on-board och off-board utvecklingskostnad som beräknats. Detta innebär att dessa beräknade utvecklingskostnader skall delas med två för att få utvecklingskostnaden för enbart felet avbrott:

$$K_{on\_board} = \frac{13650}{2} = 6825kr$$

**Formel 10.9**

$$K_{off\_board} = \frac{12500}{2} = 6250kr$$

**Formel 10.10**

Därefter adderas on-board och off-board utvecklingskostnaden och multipliceras med verkstadens andel, som uppskattats till 60 procent av den totala utvecklingskostnaden enligt formel 8.3, vilket ger:

$$K_{Utot} = (K_{on\_board} + K_{off\_board}) \cdot P_{verkstad} = (6825 + 6250) \cdot 0,6 = 7845kr$$

**Formel 10.11**

Alla inparametrar till formel 6.15 är nu uppskattade och det återstår nu att beräkna kostnaden för diagnos och felsökning för aktuellt fel. Insättning av värden i modifierad formel 6.15, med  $K_V$  som verkstadskostnad, ger:

$$\begin{aligned}
 K_{DF} = & K_V + \frac{K_{Utot}}{N_{årsprod} \cdot N_{år}} + K_{extra} + \sum_{\text{Å}=2}^{N_{återbesök}} \left( P_{\text{Å}} \cdot \frac{N_I}{N_{årsprod} \cdot N_{år}} \cdot K_{InUt} \right) + \\
 & \frac{N_I}{N_{årsprod} \cdot N_{år}} \cdot \left( P_{\text{återköp}} \cdot K_{bil} + \sum_{\text{Å}=1}^{N_{återbesök}} \left( P_{\text{IfelbyteÅ}} \cdot \left( \frac{K_{IdelarÅ}}{2} + (T_{felR} + T_{felVI}) \cdot K_{mekaniker} \right) \right) \right) + \\
 & \frac{N_P}{N_{årsprod} \cdot N_{år}} \cdot P_{\text{Pfelbyte}} \cdot \left( \frac{K_{Pdelar}}{2} + (T_{felR} + T_{felVP}) \cdot K_{mekaniker} \right) = \\
 & 1,76 + \frac{7845}{400000 \cdot 3} + 0 + 0,1 \cdot \frac{250}{400000 \cdot 3} \cdot 100 + \frac{250}{400000 \cdot 3} \cdot \\
 & \left( 0 \cdot 300000 + 0,8 \cdot \left( \frac{100}{2} + (60 + 15) \cdot 6,67 \right) + 0,2 \cdot \left( \frac{100}{2} + (60 + 15) \cdot 6,67 \right) \right) + \\
 & \frac{500}{400000 \cdot 3} \cdot 0,4 \cdot \left( \frac{100}{2} + (60 + 5) \cdot 6,67 \right) = 1,96kr / bil
 \end{aligned}$$

Formel 10.12

### 10.1.2 Endast funktion och konstruktionsschema

När mekanikern enbart har tillgång till funktion och konstruktionsschema, görs till skillnad från fallet då all möjlig diagnos finns tillgänglig, antagandet att fel 3 ”fel på relä för strålkastar rengöring”, ej uppfattas som en trolig orsak till kundsymtomet för mekanikern. Detta innebär att mekanikern med stor sannolikhet inte kan se något samband mellan en backsensor och ett strålkastarrelä. Men i verkligheten finns det en möjlighet att detta faktiskt kan vara orsaken, då bilens elektroniska system är mycket komplext.

För tydlighet skall skrivs de två tänkta felorsakerna till kundsymtomet upp, med endast den enklaste felsökningshjälpen:

- Fel 1: Fel på ledningar till backvarningsgivare 2
- Fel 2: Defekt backvarningsgivare 2

För att kunna göra en jämförelse mellan då all möjlig diagnos och felsökningshjälp finns till hands för felsökaren och då endast funktion och konstruktionsschema finns, måste en uppskattning av vissa parametrar göras.

Först beräknas utvecklingskostnaden för enbart funktion och konstruktionsschema. Som för fallet då all möjlig diagnos och felsökningshjälp finns, är grundkostnaden redan finansierad och den fördjupade metoden för att beräkna utvecklingskostnaden används. Eftersom felet är samma avbrottsfel som tidigare, har felet medelsvår utveckling av off-board diagnos enligt tabell 8.4. Däremot finns det för detta fall med enbart den enklaste felsökningshjälpen ingen on-board diagnos. Detta resonemang leder till att arbetstiden som måste läggas ner av Volvo Personvagnar för nämnd off-board diagnos är 5 timmar enligt tabell 8.5, vilket leder till att utvecklingskostnaden för off-board diagnos kan beräknas enligt formel 10.13:

$$K_{off\_board} = 5 \cdot 500 = 2500kr$$

**Formel 10.13**

Därefter adderas on-board och off-board utvecklingskostnaden samman och multiplikation med verkstadens andel, som uppskattats till 60 procent av den totala utvecklingskostnaden enligt formel 8.3 ger:

$$K_{Utot} = (K_{on\_board} + K_{off\_board}) \cdot P_{verkstad} = (0 + 2500) \cdot 0,6 = 1500kr$$

**Formel 10.14**

I tabell 10.2, där parametrar för all diagnos och felsökningshjälp visas, har vissa parametrar samma värden, oavsett vilken diagnos och felsökning som finns till hands. Dessa visas i tabell 10.6:

**Tabell 10.6 Parametrar oberoende av vilken diagnos och felsökningshjälp som används**

Parameter	Beskrivning	Värde
$N_p$	Antalet bilar med aktuellt permanent fel	500 st
$N_I$	Antalet bilar med aktuellt intermittent fel	250 st
$N_{\text{år}}$	Antalet garantiår	3 år
$N_{\text{återbesök}}$	Antalet återbesök	2 st
$N_{\text{årsprod}}$	Antalet bilar med styrenheten REM som produceras varje år	400 000 st
$P_1$	Sannolikhet för första besöket hos verkstaden	100 %
$K_{\text{mekaniker}}$	Mekanikerns arbetskostnad	400 kr/tim (6,67 kr/min)

$K_{\text{konstruktör}}$	Konstruktörens arbetskostnad	500 kr/tim (8,33 kr/min)
$K_{\text{bil}}$	Kostnad för återköp av aktuell bil	300 000 kr
$T_{\text{felR}}$	Reparationstid för att reparera eller byta ut felaktiga komponenter, under ett besök	60 min

De parametrar som är beroende av vilken diagnos och felsökningshjälp som används visas i tabell 10.7 med värden uppskattade. Eftersom mekanikern har mindre felsökningshjälp, kommer mekanikern få det svårare att hitta felet. Detta innebär i sin tur att sannolikheterna för återbesök, återköp och felaktigt byte av komponent ökar. Även kostnaden för de felaktigt utbytta komponenterna kan öka.

Extrakostnaden för att kunna detektera felet blir i detta fall noll kronor, eftersom ingen on-board diagnos finns. Inparametrarna till modellen som ändras från föregående undersökta diagnos och felsökningshjälps mängd, uppskattas efter vad som kan vara rimligt. Detta visas i tabell 10.7, tillsammans med de uppskattade värdena då all möjlig diagnos finns tillgängligt:

Tabell 10.7 Uppskattade parametrar då endast enklaste felsökningshjälp används

Parameter	Beskrivning	Värde med all möjlig diagnos	Värde med funktion och konstruktionsschema
$P_2$	Sannolikhet för andra besöket hos verkstaden	10 %	30 %
$P_{\text{återköp}}$	Sannolikhet att återköp av bil inträffar	0 %	0 %
$P_{\text{Pfelbyte}}$	Sannolikhet för fel byte av komponent, för permanent fel	40 %	60 %
$P_{\text{Ifelbyte1}}$	Sannolikhet för fel byte av komponent vid första besöket hos verkstaden, för intermittent fel	80 %	90 %
$P_{\text{Ifelbyte2}}$	Sannolikhet för fel byte av komponent vid andra besöket hos verkstaden, för intermittent fel	20 %	40 %



$K_{\text{extra}}$	Extrakostnaden som behöver läggas ner, för att kunna detektera aktuellt fel	0 kr	0 kr
$K_{\text{Pdelar}}$	Kostnaden för felaktigt byte av komponenter, för permanent fel	100 kr	100 kr
$K_{\text{Idelar1}}$	Kostnaden för felaktigt byte av komponenter vid första besöket hos verkstaden, för intermittent fel	100 kr	100 kr
$K_{\text{Idelar2}}$	Kostnaden för felaktigt byte av komponenter vid andra besöket hos verkstaden, för intermittent fel	100 kr	100 kr
$T_{\text{VP}}$	Tidsåtgång för att verifiera det aktuella permanenta felet	5 min	5 min
$T_{\text{VI}}$	Tidsåtgång för att verifiera det aktuella intermittenta felet	15 min	20 min
$T_{\text{felVP}}$	Medeltidsåtgång för att verifiera felaktiga byten för permanenta fel, under ett besök	5 min	5 min
$T_{\text{felVI}}$	Medeltidsåtgång för att verifiera felaktiga byten för permanenta fel, under ett besök	15 min	20 min

Eftersom mekanikern har mindre felsökningshjälp blir tiderna för felsökning längre. Däremot blir åtkomsttiderna och felsannolikhetsandelarna samma som när all möjlig diagnos och felsökningshjälp finns, p.g.a. att dessa parametrar ej påverkas av vilken diagnos och felsökningshjälp som används. Uppskattningar av dessa tider samt säkerheter visas i tabell 10.8 tillsammans med tider då all diagnos och felsökningshjälp används, hämtade från tabell 10.3:

Tabell 10.8 Uppskattade parametrar som påverkar medelfelsökningstiden, då all diagnos och felsökningshjälp används och då endast enklaste felsökningshjälp används

	Fel 1 permanent		Fel 1 intermittent		Fel 2 permanent		Fel 2 intermittent	
	Med all möjlig diagnos	Med funktion och konstr.	Med all möjlig diagnos	Med funktion och konstr.	Med all möjlig diagnos	Med funktion och konstr.	Med all möjlig diagnos	Med funktion och konstr.
Felsökningstid (min)	50	90	80	140	10	80	20	120
Felsökningshjälpens säkerhet (%)	95	80	95	80	95	80	95	80
Felsannolikhetsandel (%)	75	80	75	80	20	20	20	20
Åtkomsttid (min)	360		360		360		360	

För att beräkna medelfelsökningstiden för permanenta fel, görs även här en insättning i formel 7.9 med värden från tabell 10.8, vilket från programmet i Excel ger:

Tabell 10.9 Medelfelsökningstider för alla tänkbara felsökningordningar för permanenta fel då endast enklaste felsökningshjälp används

Felsökningsordning	Felsökningstid, $T_{medelP}$ (min)
1-2	466
2-1	518

Detta innebär att ordningen 1-2 är snabbast för det aktuella permanenta felet och tar i medel 466 minuter att felsöka.

Sedan beräknas medelfelsökningstiden för intermittenta fel, genom en insättning i formel 7.9 med värden från tabell 10.8, vilket från programmet i Excel ger:

**Tabell 10.10 Medelfelsökningstider för alla tänkbara felsökningordningar för intermittenta fel då endast enklaste felsökningshjälp används**

Felsökningsordning	Felsökningstid, $T_{modell}$ (min)
1-2	516
2-1	573

Detta innebär att det även för det aktuella intermittenta felet är effektivast att felsöka i ordningsföljden 1-2, vilket tar i genomsnitt 516 minuter att felsöka.

Sedan beräknas diverse parametrar på samma sätt som när all möjlig diagnos fanns till hands, med hjälp av programmet i Excel. Resultatet från beräkningarna visas i tabell 10.11:

**Tabell 10.11 Diverse parametrar framräknade med hjälp av programmet i Excel**

Parameter	Beskrivning	Värde
$T_{arbete}$	Den totala arbetstiden för det aktuella permanenta felet per bil, med det aktuella felet	471 min
$T_{PV}$	Verkstäders totala arbetstid för detta permanenta fel per bil, oavsett om bilen har felet eller ej	0,196 min
$T_{IV}$	Verkstäders totala arbetstid för detta intermittenta fel per bil, oavsett om bilen har felet eller ej	0,144 min
$K_V$	Kostnaden för verkstad per bil, oavsett om bilen har felet eller ej	2,27 kr
$K_{DF}$	Kostnaden för aktuell diagnos och felsökning per bil, oavsett om bilen har felet eller ej	2,55 kr

Vid dessa uppskattade värden blir alltså kostnaden för endast funktion och konstruktionsschema 2,55 kronor och kostnaden för all möjlig diagnos och felsökning utan extra hårdvara för felet avbrott 1,96 kronor.

En beräkning kan därefter göras av hur stor besparing som görs för alla styrenheter, genom att använda all möjlig diagnos och felsökning:

$$K_{\text{besparing}} = (K_{DF1} - K_{DF2}) \cdot N_{\text{årprod}} \cdot N_{\text{år}} = (2,55 - 1,96) \cdot 400000 \cdot 3 = 708000 \approx 710000kr$$

**Formel 10.15**

$K_{DF1}$  = Kostnad diagnos och felsökning för diagnos med högst kostnad

$K_{DF2}$  = Kostnad diagnos och felsökning för diagnos med lägst kostnad

Detta innebär att en besparing på ca 710 000 kronor kan göras om all möjlig diagnos och felsökning används, jämfört med om endast funktion och konstruktionsschema används. Denna besparing gäller då ingen extra kostnad för hårdvara lagts ner därför enbart en felkod som ej kan skilja på kabelfel och defekt backsensor finns tillgänglig.

## **10.2 Test av felet avbrott mellan backsensor och PAM med extra hårdvara**

För att undersöka hur en extrakostnad påverkar kostnaden för diagnos och felsökning görs exemplet i kapitel 10.1.1, då all diagnos och felsökning används, om med skillnaden att felkoden ”REM-4F43 backvarningsgivare 2, felaktig signal” delas upp i två felkoder. Detta innebär att den ena felkoden kan detektera om kabeln blivit avbruten och den andra felkoden om backsensorn är defekt. Dessutom finns felkoden ”CEM-8F52 relä, strålkastar rengöring, för låg signal/signal saknas”, precis som i tidigare exempel. Precis som då antas att denna felkods olika orsaker kan räknas som enbart ett fel, eftersom sannolikhetsandelen för detta fel till kundsymtomet är så mycket lägre än de andra felkoderna.

Eftersom skillnaden jämfört med föregående exempel ligger i extrakostnaden som enbart påverkar fallet med on-board diagnos, görs beräkningar enbart då all möjlig diagnos finns till hands. Kostnaden för diagnos och felsökning då enbart funktion och konstruktionsschema finns till hands, blir därför samma som i tidigare exempel utan extrakostnad.

Skillnaden jämfört med föregående exempel ligger också i utvecklingskostnaden. Denna kostnad delades i föregående exempel upp i två delar, beroende på att felkoden kunde detektera två olika fel. Detta gjordes för att beräkna kostnaden som ligger på diagnos och felsökning enbart för att detektera avbrottsfelet. Utvecklingskostnaden uppskattas i detta exempel att bli dubbelt så stor för on-board och off-board diagnos, som när ingen enskild felkod för att detektera felet avbrott finns. Anledningen till detta är att all utvecklingskostnad för både on-board och off-board diagnos läggs på

felet avbrott, eftersom felet inte delar utvecklingskostnad med något annat fel. Detta leder till att utvecklingskostnaden görs enbart genom uträkningarna i formel 10.7 och formel 10.8

För att beräkna kostnaden för diagnos och felsökning då all diagnos finns till hands, måste uppskattningar av inparametrar till modell göras.

Det första som uppskattas är den extrakostnaden för att kunna detektera enbart felet avbrott på kabeln mellan PAM och backsensorn. Detta gjordes av handledaren som nämnts tidigare i kapitel 9.1, till 0,5 kronor för extra ledningsbana och stift på processorn. De parametrar som ändras jämfört med tabell 10.2 i föregående exempel, då ingen separat felkod för felet avbrott fanns, visas tillsammans med uppskattade värden i tabell 10.12:

**Tabell 10.12 Uppskattade parametrar då extrakostnad för att kunna detektera felet avbrott och all diagnos och felsökningshjälp används**

Parameter	Beskrivning	Värde
$P_2$	Sannolikhet för andra besöket hos verkstaden	5 %
$P_{P_{felbyte}}$	Sannolikhet för fel byte av komponenter, för permanent fel	10 %
$P_{I_{felbyte1}}$	Sannolikhet för fel byte av komponenter vid första besöket hos verkstaden, för intermitterent fel	60 %
$P_{I_{felbyte2}}$	Sannolikhet för fel byte av komponenter vid andra besöket hos verkstaden, för intermitterent fel	20 %
$K_{extra}$	Extrakostnaden som behöver läggas ner för att kunna detektera aktuellt fel	0,5 kr
$T_{VP}$	Tidsåtgång för att verifiera det aktuella permanenta felet	5 min
$T_{VI}$	Tidsåtgång för att verifiera det aktuella intermittenta felet	15 min
$T_{felVP}$	Medeltidsåtgång för att verifiera felaktiga byten för permanenta fel, under ett besök	5 min
$T_{felVI}$	Medeltidsåtgång för att verifiera felaktiga byten för permanenta fel, under ett besök	15 min

De värden som behöver uppskattas för detta exempel, är felsannolikhetsandelar och diagnos och felsökningshjälps säkerhet. Detta visas i tabell 10.13 tillsammans med värden för felsökningstid och åtkomsttid.

För tydlighet skull, skrivs de tre tänkta felorsakerna till kundsymtomet upp:

- Fel 1: Fel på ledningar till backvarningsgivare 2
- Fel 2: Defekt backvarningsgivare 2
- Fel 3: Fel på relä för strålkastarrensöring

Tabell 10.13 Uppskattade parametrar som påverkar medelfelsökningstiden

	Fel 1	Fel 2	Fel 3	Fel 1	Fel 2	Fel 3
	Permanent			Intermittent		
<b>Felsökningstid (min)</b>	20	10	30	40	20	50
<b>Diagnos och felsökningshjälps säkerhet (%)</b>	95	95	80	95	95	80
<b>Felsannolikhetsandel (%)</b>	75	20	5	75	20	5
<b>Åtkomsttid (min)</b>	360	360	70	360	360	70

Därefter beräknas diverse parametrar på samma sätt som tidigare, med hjälp av programmet i Excel. Resultatet från beräkningarna visas i tabell 10.14:

Tabell 10.14 Diverse parametrar framräknade med hjälp av programmet i Excel

Parameter	Beskrivning	Värde
$T_{\text{arbete}}$	Den totala arbetstiden för det aktuella permanenta felet per bil, med det aktuella felet	374 min
$T_{\text{PV}}$	Verkstädens totala arbetstid för detta permanenta fel per bil, oavsett om bilen har felet eller ej	0,156 min
$T_{\text{IV}}$	Verkstädens totala arbetstid för detta intermittenta fel per bil, oavsett om bilen har felet eller ej	0,0878 min
$K_V$	Kostnaden för verkstad per bil, oavsett om bilen har felet eller ej	1,62 kr
$K_{\text{DF}}$	Kostnaden för aktuell diagnos och felsökning per bil, oavsett om bilen har felet eller ej	2,05 kr

Vid dessa uppskattade värden blir alltså kostnaden för all möjlig diagnos och felsökning 2,05 kronor, då extrakostnad betalats för att kunna detektera enbart felet avbrott i en felkod. Kostnaden för det fall då all möjlig diagnos finns till hands och enbart en felkod som kan detektera om felet antingen är avbrott i kabel eller defekt backsensor bestämdes i kapitel 10.1.1 till 1,96 kronor.

För att beräkna hur stor besparing som görs om all möjlig diagnos utan extra hårdvara för att kunna detektera enbart felet avbrott i en felkod, jämfört med om extra hårdvara läggs ner samt all diagnos och felsökningshjälp finns, används formel 10.15.

Beräkningen ger från Excel programmet en besparing på ca 100 000 kronor, om ingen implementering av separat felkod för att detektera enbart felet avbrott görs.

### **10.3 Utvärdering av felet avbrott mellan backsensor och PAM**

En utvärdering av felet avbrott mellan backsensor och PAM, kan nu göras. En tabell ställs därför upp som möjliggör en jämförelse i kostnad mellan de tre omfattningarna av diagnos och felsökningshjälp:

Tabell 10.15 Kostnad för diagnos och felsökning för de tre undersökta omfattningarna av diagnos och felsökning

<b>Omfattning av diagnos och felsökning</b>	<b><math>K_{DF}</math> (kr)</b>
All möjlig diagnos och felsökningshjälp med en felkod som ej kan skilja på avbrott och defekt komponent	1,96
Endast funktion och konstruktionsschema	2,55
All möjlig diagnos och felsökningshjälp samt en specifik felkod för att kunna detektera felet avbrott	2,05

Ut tabell 10.15 kan slutsatsen dras att det för det aktuella felet med uppskattade värden, blir mest lönsamt att implementera all möjlig diagnos och felsökningshjälp med en felkod som ej kan skilja på avbrott och defekt komponent.

En jämförelse mellan den bestämda optimala omfattningen av diagnos och felsökning kan sedan göras med det Volvo Personvagnar använder idag. Det konstateras efter studium av tabell 10.1 och [VI 2] att Volvo Personvagnar idag använder all möjlig diagnos och felsökningshjälp med en felkod som ej kan skilja på avbrott och defekt komponent för det aktuella felet. Jämförelsen visar att omfattningarna är samma för detta fel.

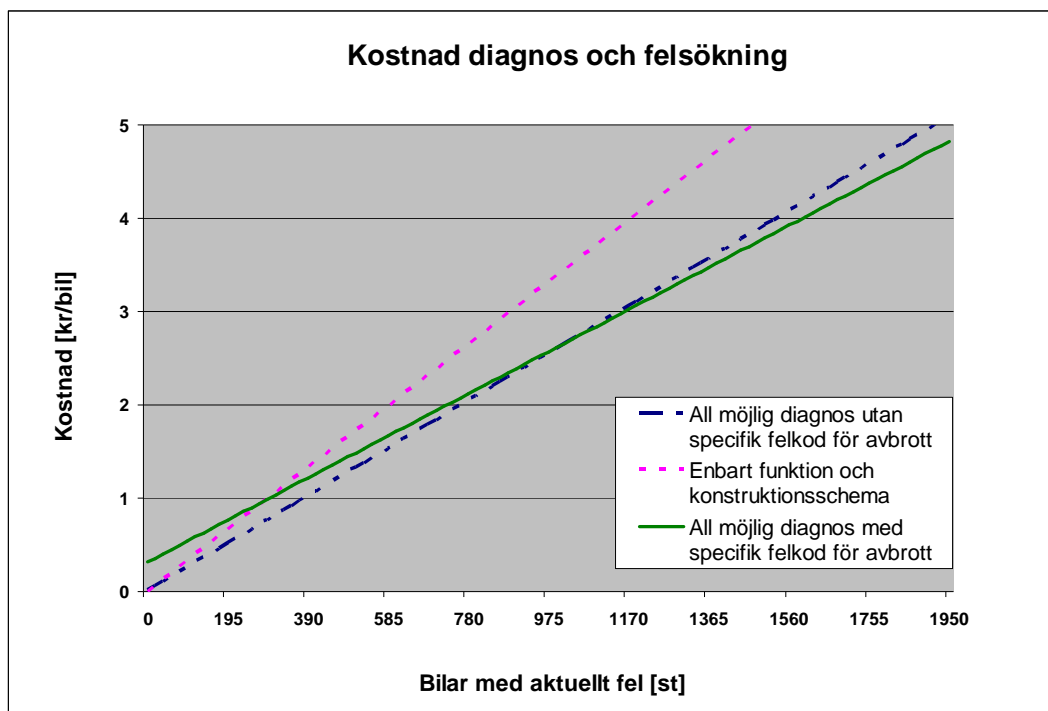
Slutsatsen är därför att Volvo Personvagnar idag för det undersökta felet, använder den mest optimala omfattningen av diagnos och felsökning, som undersöktes. Förändringar av omfattning av diagnos och felsökningshjälp bör därför ej göras för det aktuella felet.

## 11 Analys av modell

För att kunna dra någon slutsats om hur de olika parametrarna påverkar modellen måste en analys göras. Analysen utgår från de olika diagnos och felsökningsexemplen med olika omfattningar av diagnos och felsökning som finns i kapitel 10, både med och utan extrakostnad. Analysen görs genom att först enbart variera antalet bilar med aktuellt fel varefter enbart variation av antalet felsökningsminuter och slutligen variera svårighetsgraden.

### 11.1 Test av modell när felet inträffar olika ofta

För att kunna analysera hur antalet bilar med det aktuella felet påverkar kostnad för diagnos och felsökning, för de olika diagnos och felsökningsmetoderna, i kapitel 10, används programmet i Excel. Genom att enbart variera antalet påverkade bilar med det aktuella permanenta och intermittenta felet går vissa slutsatser att dra. I analysen görs valet att antalet bilar med det aktuella permanenta felet alltid är dubbelt mot antalet bilar med intermittent fel. Resultatet av analysen för de tre olika fallen visas i figur 11.1:



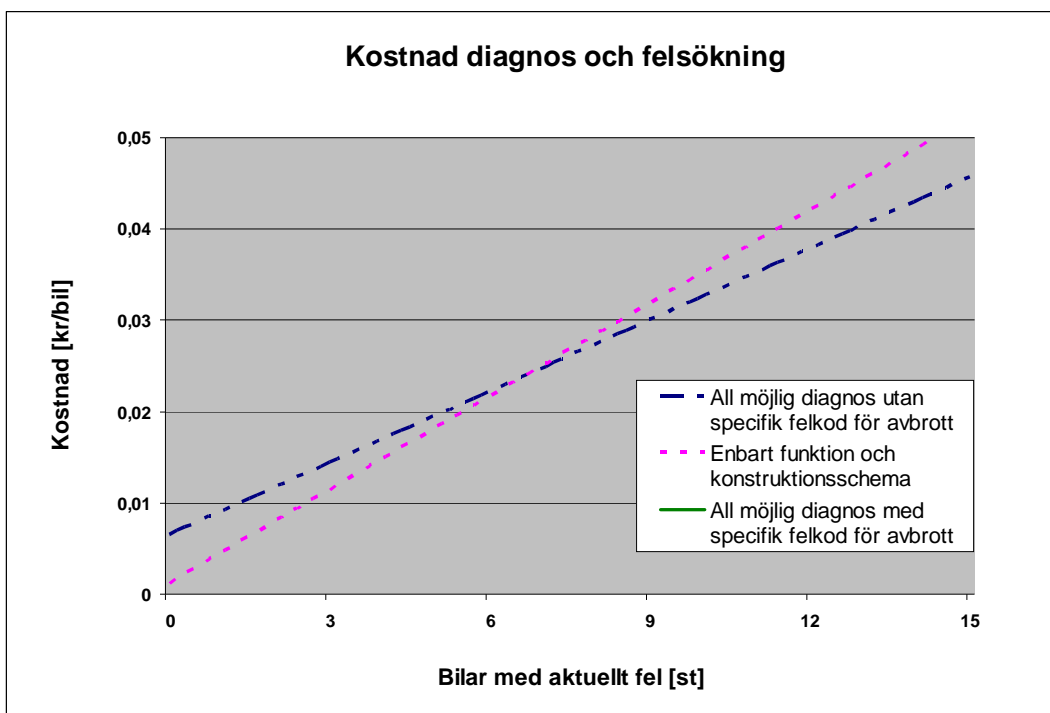
Figur 11.1 Kostnad för diagnos och felsökning då olika diagnos, felsökningshjälp och extrakostnad används, när felet inträffar olika ofta



Orsaken till varför en separat felkod för kortslutning blir mer lönsam, först vid cirka 1000 bilar med aktuellt fel än då inte separat felkod finns, enligt figur 11.1, är att utgifterna som läggs på extrakostnaden först vid detta antal bilar med aktuellt fel täcks av intäkter som erhålls då:

- Felet snabbare hittas
- Felaktigt byte av komponent, inte lika ofta görs
- Återbesök till verkstad, inte lika ofta måste göras
- Återköp av bil, inte lika ofta behöver göras

För att kunna se vad som händer vid ett fåtal bilar med aktuellt fel, görs en förstoring av figur 11.1 som syns i figur 11.2. Det skall noteras att kurvan med all möjlig diagnos med specifik felkod för avbrott, ej är med eftersom dess kostnad för diagnos och felsökning är mycket högre än vad figur 11.2 visar.



Figur 11.2 Förstoring av figur 11.1, för att tydligt visa vad som händer vid ett fåtal bilar med aktuellt fel

I figur 11.2 syns det, att då fel inträffar mindre än sju gånger under garantitiden är det mest lönsamt med enbart funktion och konstruktionsschema.

Anledningen till att all möjlig diagnos utan specifik felkod för felet avbrott är lönsammare än enbart funktion och konstruktionsschema redan vid så fåtal bilar med aktuellt fel, är att alla systemresurser som behövs för att kunna implementera denna omfattning av diagnos, antogs finnas tillgängligt. Anledningen är också att all on-board grundutvecklingskostnad antogs vara finansierad.

Vissa slutsatser kan göras genom att studera kurvorna i figur 11.1 och figur 11.2. Det går då att konstatera att det är mest lönsamt enbart med minsta möjliga diagnos och felsökningshjälp då felet inträffar sällan. Dessutom går det att konstatera, att om extra hårdvara implementeras tillsammans med all möjlig diagnos och felsökningshjälp, för att få en felkod som enbart detekterar felet avbrott, är det mest lönsamma då felet inträffar ofta. Detta resonemang går även att konstatera att det gäller, då figur 11.2 studeras. Det görs genom att jämföra kurvorna, för enbart funktion och konstruktionsschema med all möjlig diagnos och felsökningshjälp utan med specifik felkod för felet avbrott.

Gränsen då det blir mer lönsamt att implementera all möjlig diagnos med extra hårdvara för att kunna detektera det specifika felet avbrott, jämfört med då enbart funktion och konstruktionsschema finns, går att bestämma ur figur 11.1. Avläsning ur figuren visar att gränsen ligger ungefär vid 300 bilar med aktuellt fel. Det bör noteras att detta gäller för de uppskattade parametrarna.

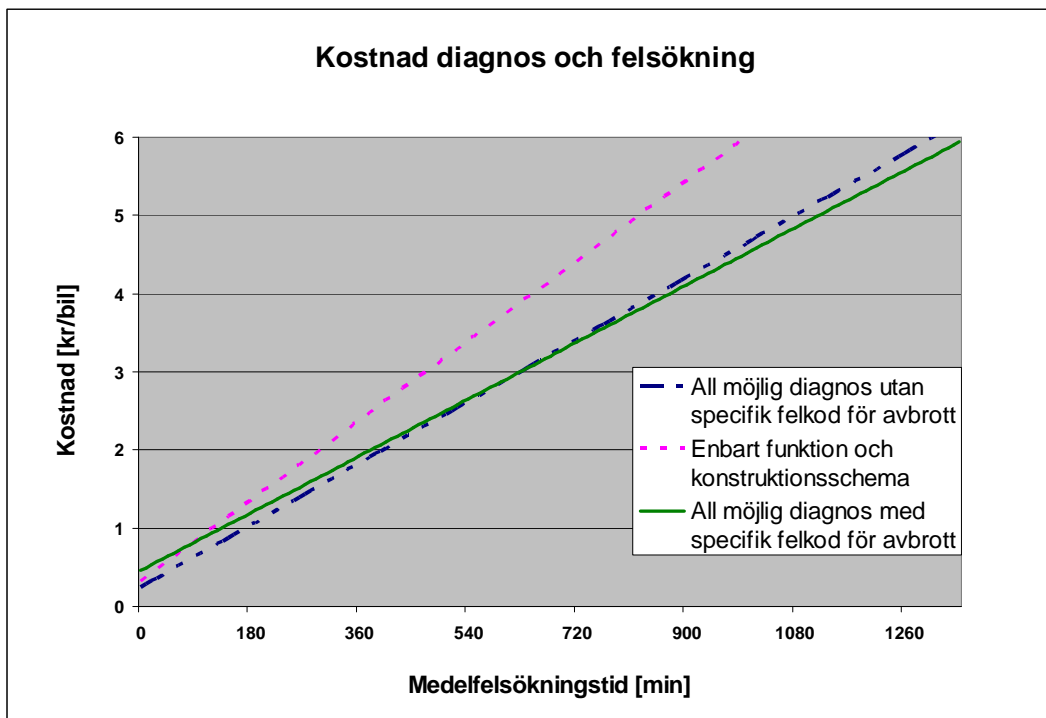
## **11.2 Test av modell med olika medelfelsökningstider**

För att kunna analysera hur medelfelsökningstiden för det aktuella felet påverkar kostnad för diagnos och felsökning för de olika diagnos och felsökningsmetoderna, i kapitel 10, används programmet i Excel. Genom att enbart variera medelfelsökningstiden för det aktuella permanenta och intermittenta felet går vissa slutsatser att dra.

Det görs i denna analys valet att förhållandena mellan de olika medelfelsökningstiderna (permanent och intermittent) är densamma, för de olika omfattningarna av diagnos och felsökning samt hårdvara i kapitel 10, som undersöks. Det görs även valet att förhållandena i medelfelsökningstid mellan permanent och intermittent fel i kapitel 10, blir samma för de olika valen av diagnos och felsökning.

Analysen utgår från då all möjlig diagnos utan separat felkod för felet avbrott finns. Detta innebär att de andra medelfelsökningstiderna som är för de resterande omfattningarna av diagnos och felsökningshjälp, anpassas efter medelfelsökningstiden för all möjlig diagnos utan separat felkod.

Resultatet av analysen för de tre olika fallen visas i figur 11.3:



Figur 11.3 Kostnad för diagnos och felsökning då olika diagnos, felsökningshjälp och extrakostnad används, när medelfelsökningstiden varierar

I figur 11.3 syns det att om felsökningstiden i analysen är större än ungefär 650 minuter är det mest lönsamt att implementera all möjlig diagnos med specifik felkod för avbrottsfelet.

Som syns i figur 11.3 är all möjlig diagnos utan specifik felkod för felet avbrott, i denna analys, den mest lönsamma vid noll felsökningsminuter, då minsta möjliga diagnos och felsökningshjälp egentligen borde ha varit lönsammast. Detta beror på att bl.a. kostnaden och sannolikheten för felaktigt byte av komponenter och återköp av bilar, alltid är mindre med all möjlig diagnos och felsökningshjälp, än då minsta möjliga diagnos används. Detta beror även på tiderna för att reparera och verifiera felen och kostnaden för in- och utleverans.

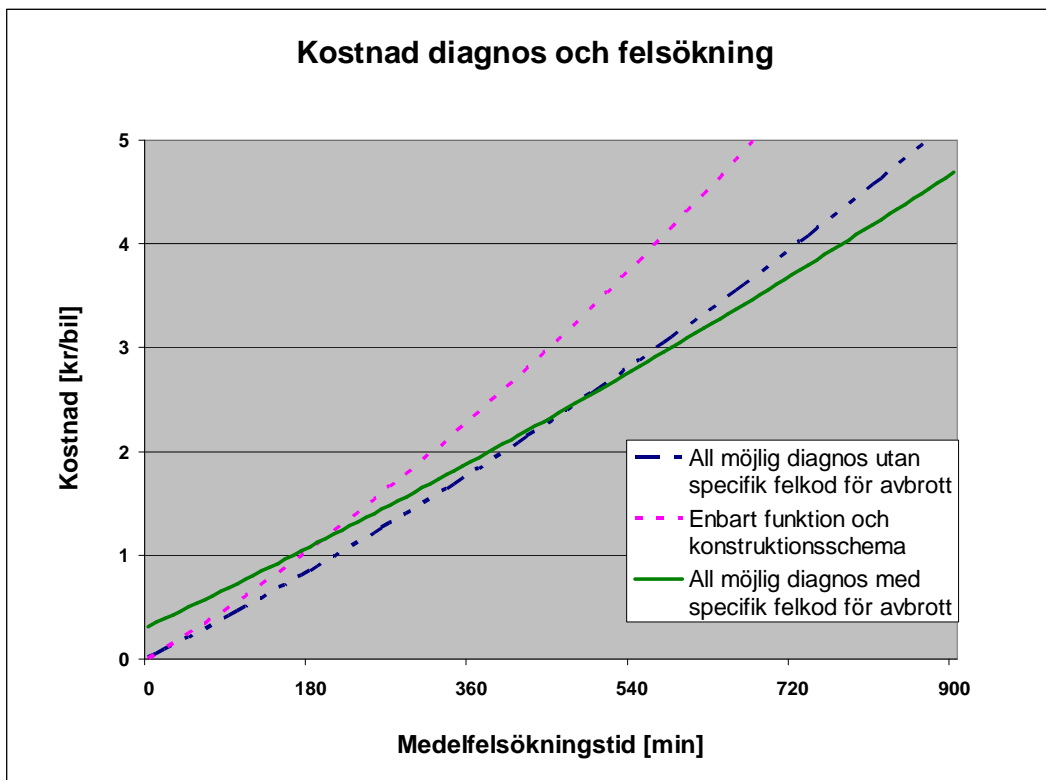
Resultatet givet av denna analys leder till att man inte kan dra någon slutsats att om enbart medelfelsökningstiden är lång, skall man implementera all möjlig diagnos och felsökningshjälp med specifik felkod för avbrott. Samma resonemang gäller även då enbart medelfelsökningstiden är kort, att det inte alltid ska implementeras minsta möjliga diagnos och felsökningshjälp. Det räcker sålunda inte att enbart variera medelfelsökningstiden, för att kunna dra några slutsatser av modellen. Av denna anledning är det bättre att studera vad som händer då felet är enkelt eller svårt.

### 11.3 Test av modell med olika svårighetsgrader av fel

För att kunna analysera hur svårighetsgraden av ett fel påverkar kostnad för diagnos och felsökning för de olika diagnos och felsökningsmetoderna, i kapitel 10, används programmet i Excel. Analysen görs på samma sätt som i kapitel 11.2 förutom att alla parametrar som påverkar hur svårt ett fel är, ändras i förhållande till vad som uppskattades i test av modell på användarfall i kapitel 10. Parametrarna som ändras är:

- Medelfelsökningstid
- Sannolikhet felaktigt byte av komponent
- Sannolikhet för återbesök
- Reparationstid vid felaktigt byte av komponent
- Verifieringstid för både aktuellt och felaktig reparation

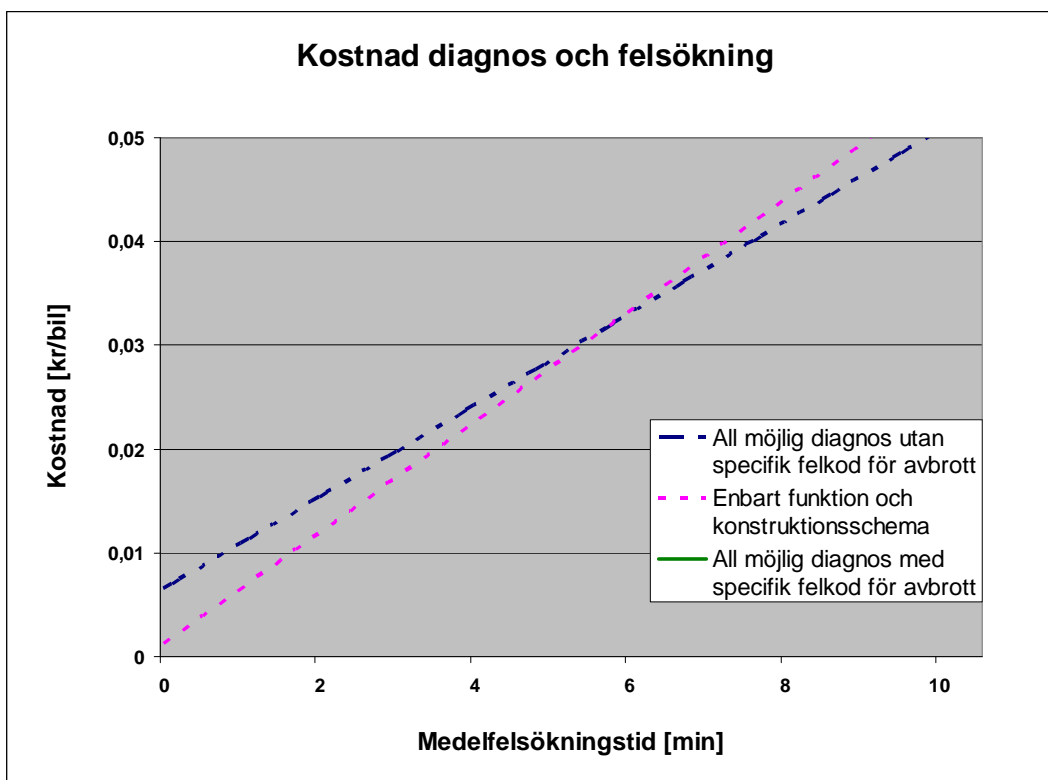
Precis som i föregående test av modell, görs valet att analysen utgår från medelfelsökningstiden i all möjlig diagnos utan separat felkod för felet avbrott. Detta innebär att om nämnd medelfelsökningstid minskas X procent, kommer parametrarna som påverkas av hur svårt ett fel är också att minskas med X procent. Resultatet av analysen för de tre olika omfattningarna av diagnos och felsökningshjälp visas figur 11.3:



Figur 11.4 Kostnad för diagnos och felsökning då olika diagnos, felsökningshjälp och extrakostnad används, när svårighetsgraden för det aktuella felet varierar

I figur 11.4 syns det att om felsökningstiden i analysen är större än 500 minuter, är det mest lönsamt att implementera all möjlig diagnos med specifik felkod för avbrottsfelet.

För att kunna se vad som händer då aktuellt fel som undersöks är enkelt, görs en förstoring av figur 11.4 som syns i figur 11.5. Det skall noteras att kurvan med all möjlig diagnos med specifik felkod för avbrott ej är med, eftersom dess kostnad för diagnos och felsökning är mycket högre än vad figur 11.5 visar.



Figur 11.5 Förstoring av figur 11.4, för att tydligt visa vad som händer då aktuellt fel är enkelt

I figur 11.5 syns det, att då aktuellt fel är enkelt och felsökningstiden för aktuellt permanent fel under garantitiden är mindre än sex minuter, är det mest lönsamt med enbart funktion och konstruktionsschema.

Det går av denna analys att konstatera att det är mest lönsamt enbart med minsta möjliga diagnos och felsökningshjälp då felet är enkelt. Dessutom går det att konstatera, att om extra hårdvara implementeras tillsammans med all möjlig diagnos och felsökningshjälp, för att få en felkod som enbart detekterar felet avbrott, är det mest lönsamma då felet är svårt.

Som det går att se i figur 11.4 blir inte kurvorna linjära. Detta beror på att parametrarna som påverkar hur svårt ett fel är inte har samma vikt. Av detta resultat

kan man därför säga att det vid svåra fel är extra viktigt, att ha rätt omfattning av diagnos och felsökningshjälp implementerad. Detta verkar vara rimligt.

## **12 Utvärdering av modell**

Eftersom Volvo Personvagnar i dagsläget inte har tillräckligt noggrann statistik från verkstäder och hur utvecklingskostnaderna uppstår, går det inte att göra någon bra utvärdering av modellen. Parametrar som behövs har dock uppskattas med viss hjälp av handledaren från ett användarfall och resultatet uppskattas vara rimligt. Som exempel kan nämnas de resultat som erhöles vid test på användarfall där optimal diagnos och felsökningshjälp visade sig vara desamma som Volvo Personvagnar har idag. Detta innebär inte att det går att dra någon större slutsats, förutom att det för just detta fel verkar vara rätt.

Ur resultaten i kapitel 11.1 och 11.3, där antalet fel är litet och felet är enkelt, blir det mer lönsamt med lite diagnos och när antalet fel är stort och felet är svårt, är det mer lönsamt med mer diagnos. Detta resultat är rimligt.

Modellen anses vara mycket användbar, för att bestämma var gränsen ligger då mycket diagnos och felsökningshjälp, samt när lite diagnos och felsökningshjälp, skall implementeras i styrenheter. Var denna gräns ligger går att undersöka vid varierande antal bilar med ett specifikt fel och varierande svårighetsgrad av felet.

## **13 Resultat**

En modell som kan användas för optimering av diagnos och felsökning har konstruerats och därefter realiserats i Excel. Modellen har testats genom att parametrar har uppskattats genom att utgå från ett verkligt fel som en verkstad har reparerat. Uppskattningen av parametrarna har gjorts eftersom inte tillräckligt noggrann felsökningsstatistik från verkstäder idag finns tillgängligt, samt exakta kostnader för utveckling av olika diagnos och felsökningsmetoder. Test av modell och uppskattning av värden har dels gjorts då mekanikern har något av följande hjälpmedel vid reparation:

- Endast funktion och konstruktionsschema
- All möjlig diagnos och felsökningshjälp med en felkod som ej kan skilja på avbrott och defekt komponent
- All möjlig diagnos och felsökningshjälp samt en specifik felkod för att kunna detektera felet avbrott

Resultaten framtagna i kapitel 10, verkar vara rimliga och visar att optimal diagnos med värden uppskattade för felet avbrott mellan backsensor och PAM, är att använda all möjlig diagnos utan specifik felkod för att kunna detektera felet avbrott.

Test av modell har gjorts vid varierande antal bilar med fel, varefter variation av antalet felsökningsminuter och slutligen variation av svårighetsgraden av ett fel.

## **14 Slutsatser**

Efter användning av konstruerad modell på felet avbrott mellan backsensor och PAM anses att diagnos och felsökningshjälp ges i korrekt omfattning för nämnt fel. För att förbättra resultatet givet från modellen av nämnt fel, krävs bättre felsökningsstatistik från verkstäder och noggrannare analys av kostnader för utveckling av diagnos och felsökning.

Då en djupare analys av modellen gjordes visade det sig precis som förväntades, att det är lönsamt med mycket diagnos då felet inträffar ofta och då svårighetsgraden är stor. Dessutom visar analysen att det är mest lönsamt med lite diagnos då felet inträffar sällan och då svårighetsgraden är liten. Slutligen visar analysen att det vid svåra fel är extra viktigt att ha rätt omfattning av diagnos och felsökningshjälp implementerad.

Ur detta resultat går det att dra slutsatsen att modellen är trovärdig. Någon djupare utvärdering av modellen går inte att göra, eftersom dagens felsökningsstatistik och statistik kring utvecklingskostnad ej finns framtagna.

För att kunna göra en bedömning av om omfattningen av diagnos och felsökning görs korrekt i sin helhet, behövs mer statistik för de vanligaste elektriska felen, varefter en undersökning av optimal diagnos och felsökning för respektive fel kan göras.



## **15 Rekommendationer till fortsatt arbete**

Det finns flera rekommendationer till fortsatt arbete. För det första skulle det vara önskvärt med mer statistik kring hur arbetet går till i verkstaden. Detta innebär information om alla tänkbara fel där bl.a. information om medelfelsökningstid för både permanenta och intermittenta fel, antal bilar med intermittent och permanent fel och antalet styrenheter som undersökningen avser. Dessutom är extrakostnaden intressant, som tillkommer då extra hårdvara måste användas för att kunna detektera det aktuella felet.

Önskvärt skulle också vara med modeller för även produktion och utveckling, då dessa är de största områdena som använder diagnos och felsökning efter verkstaden. Då detta görs bör särskild vikt läggas vid att fördelningen mellan de tre viktigaste områdena av kostnaden dem emellan, blir så korrekt som möjligt.

För att förfinna modellen framtagen i denna rapport kan även en modell för reparationstid och verifieringstid tas fram. En förfining av aktuell modell kan också göras genom att en noggrann studering av felsökningstiden för de vanligaste elektriska felen, genom att exempelvis ta hänsyn till kabellängd och antalet kontakter som fel kan uppstå i.

För att förbättra modellen kan även hänsyn tas till kalkylränta, då kostnader och intäkter inte uppstår samtidigt. Exempelvis blir utvecklingskostnaden dyrare eftersom den görs innan kostnaden för reparationer uppstår.

Dessutom bör hänsyn tas till att bilar blir mer attraktiva att köpa om ägandekostnaden blir mindre efter att garantitiden är slut, p.g.a. att mer diagnos och felsökningshjälp hjälper mekanikern att snabbare hitta felet.

Det vore avslutningsvis önskvärt att testa de vanligaste tänkbara felen som kan uppstå i en bil med modellen, för att kunna dra en slutsats om vad som är optimal diagnos och felsökningshjälp, för respektive fel. När detta utförs bör alla tänkbara kombinationer av diagnos och felsökningshjälp testas, samt uppskattning av parametrar göras så korrekt som möjligt.

## Källförteckning

1. Hellgren, Kjell (2006). Projektbeskrivning för *Modell för kostnadsoptimering av diagnos och felsökning*. Utgåva 001. Göteborg: Volvo Personvagnar AB.
2. Hellgren, Kjell (2005). *Kostnadsmodell Diagnos – arbetsdokument för framtagning av modell*. Utgåva 001.3. Göteborg: Volvo Personvagnar AB.
3. Ecarfuture (2006). *Figur 4.1 – VCT-2000 och programmet VIDA installerat på en persondator*. [Elektronisk]. ecarfuture.com. Tillgänglig: <<http://www.ecarfuture.com/diagnosis%20volvo%20vct2000.htm>> [2006-12-18]

## Volvo Personvagnar ABs intranät

- VI 1. Volvo Personvagnar ABs intranät (2006). *Excel dokument "XC90 Job list issue 040427-a.xls"*. [Elektronisk]. Volvo Personvagnar AB.  
Tillgänglig: <[\\Gbw00079\proj\9413-shr-VC087400\PROJ.ET\Garanti](http://\\Gbw00079\proj\9413-shr-VC087400\PROJ.ET\Garanti)> [2006-12-18]
- VI 2. Volvo Personvagnar ABs intranät (2006). *VIDA-online*. [Elektronisk]. Volvo Personvagnar AB.  
Tillgänglig: <<https://www.volvotechinfo.com/>> [2006-12-18]
- VI 3. Volvo Personvagnar ABs intranät (2006). *Volvo Warranty Management Manual*. [Elektronisk]. Volvo Personvagnar AB.  
Tillgänglig: <[http://www.mss.volvocars.ford.com/warranty/operational\\_control/documents.htm](http://www.mss.volvocars.ford.com/warranty/operational_control/documents.htm)> [2006-12-18]

## A. De olika feldetekterings- och körcykelräknarna

De åtta olika feldetekterings- och körcykelräknarna som kan finnas möjlighet att läsa av från en felkod är:

Räknare	Funktion
C#1	Räknar antal körcykler som genomlöpts sedan felet sist validerades. Med denna information går det att avgöra om felet är aktivt under den aktuella körcykeln eller ej. Om värdet är noll så finns felet nu.
C#2	Räknar antal körcykler som genomlöpts sedan felet sist validerades, där test för felkoden genomförts utan att fel är detekterat och validerat. När en test är genomförd, inget fel är detekterat kommer räknaren att räkna upp med ett för varje körcykel.
C#3	Räknar antal körcykler som genomlöpts sedan felet första gången validerades. För varje körcykel som genomförs kommer räknaren att räkna upp med ett.
C#4	Räknar antal körcykler i vilka felet validerats sedan det validerades första gången. Räknar hur många gånger felet har inträffat sedan första gången.
C#5	Räknar antalet uppvärmingscykler som genomförts sedan MIL-lampa släckts.
C#6	Räknaren antalet interna detekteringar av felet som genomförs för felkoden. När denna räknare uppnår värdet + 127 anser styrenheten att felet är aktivt just nu. När räknare står på värde -127 är felet inte aktivt. Värdet nollställs vid varje ny körcykel. Ökar värdet mot +127 har styrenheten upptäckt ett fel och för varje intern test räknas värdet upp. Då felet inte finns räknar styrenheten ner till minimalt -127. Värde kan endast ändras då styrenheten startat testen för felkoden. Med vilka steg styrenheten räknar upp respektive ner värdet kan variera mellan styrenheter.
C#7	Visar maximalt värde i aktuell körcykel.

## B. De olika statusidentifierarna

De åtta olika statusidentifierarna som finns möjlighet att läsa av från varje felkod är:

Statusidentifierare	Förklaring
SI#01	Felet är validerat nu. Visar om styrenheten detekterar felet just nu. Det är bara när testen pågår som styrenheten kan detektera fel och sätta felkod.
SI#02	Felet är validerat i aktuell körcykel. Visar om styrenheten har detekterat felet någon gång under denna körcykel.
SI#03	Tillfällig ej ännu bekräftad felkod.
SI#04	Bekräftad felkod.
SI#05	Teststatus i aktuell och/eller tidigare körcykel. Visar om styrenheten har genomfört test för denna felkod i aktuell och/eller tidigare körcykel.
SI#06	Felet är validerat i tidigare körcykel. Visar om styrenheten har detekterat felet under tidigare körcykel.
SI#07	Teststatus i aktuell körcykel. Visar om styrenheten har genomfört test för denna felkod i aktuell körcykel.
SI#08	Begäran tända varningslampa/textmeddelande. Uppgift om felkoden aktiverar en varningslampa eller textmeddelande.

## C. Förteckning av variabler

Här nedan visas en förteckning samt förklaringar till alla de variabler som används i rapporten.

$K_{\text{bil}}$  = Medelkostnad för återköp per bil

$K_{\text{DF}}$  = Kostnad diagnos och felsökning per bil, för det aktuella felet

$K_{\text{DF1}}$  = Kostnad diagnos och felsökning för diagnos med högst kostnad

$K_{\text{DF2}}$  = Kostnad diagnos och felsökning för diagnos med lägst kostnad

$K_{\text{extra}}$  = Extrakostnad som kan tillkomma för att kunna detektera det aktuella felet per bil

$K_{\text{extra\_hårdvara}}$  = Kostnad för extra hårdvara, som exempelvis för processor, minne och multiplexer

$K_{\text{extra\_verkstad}}$  = Den extrakostnad som fördelas på verkstaden för att kunna detektera felet

$K_{\text{IdelarÅ}}$  = Medelkostnad för återbesök Å av felaktigt byte av komponenter under ett besök, för det aktuella intermittenta felet som det egentligen inte var något fel på

$K_{\text{InUt}}$  = Kostnad för in- och utleverans per besök till verkstad

$K_{\text{ledningsbana}}$  = Kostnad för extra ledningsdragnings

$K_{\text{medellnUt}}$  = Medelkostnad för in- och utleverans per producerad bil, för det aktuella felet

$K_{\text{mekaniker}}$  = Mekanikerns arbetskostnad per timma

$K_{\text{off\_board}}$  = Utvecklingskostnaden för off-board diagnos per fel

$K_{\text{on\_board}}$  = Utvecklingskostnad för on-board diagnos i styrenhet, per fel

$K_{\text{Pdelar}}$  = Medelkostnad för felaktigt byte av komponenter, för det aktuella permanenta felet som det egentligen inte var något fel på

$K_{\text{U}}$  = Kostnad för utveckling av diagnos och felsökning per bil, för det aktuella felet

$K_{\text{Utot}}$  = Kostnad för utveckling av diagnos och felsökning i styrenheten, för det aktuella felet

$K_{\text{v}}$  = Medelkostnad för verkstad per producerad bil, för det aktuella felet

$K_{\text{återköp}}$  = Kostnad för återköp per bil

$N_{\text{fel}}$  = Antalet fel som man vill kunna åtgärda med on-board diagnos i en styrenhet

$N_{\text{fel\_hårdvara}}$  = Antal fel som skall dela på den extra hårdvarukostnaden

$N_{\text{I}}$  = Antal bilar påverkade av det aktuella intermittenta felet under garantitid

$N_{\text{p}}$  = Antal bilar påverkade av det aktuella permanenta felet under garantitid

$N_{\text{år}}$  = Antalet garantiår

$N_{\text{årsprod}}$  = Årsproduktion av en viss styrenhet

$N_{\text{återbesök}}$  = Antalet återbesök

$P_{\text{IfelbyteA}}$  = Sannolikheten att fel byte görs vid återbesök  $A$  av komponenterna på en bil, för det aktuella intermittenta felet

$P_n$  = Sannolikhetsandel att fel  $n$  i ordningsföljden är orsaken till kundsymtomet

$P_n$  = Sannolikhetsandelen för att felet  $n$  som undersöks, är orsaken till kundsymtomet

$P_{\text{Pfelbyte}}$  = Sannolikheten att fel byte görs av komponenterna på en bil med det aktuella permanenta felet

$P_{\text{verkstad}}$  = Andelen av utvecklingskostnaden som fördelas på verkstad

$P_A$  = Sannolikhet för de olika återbesöken. Där  $P_1$  alltid är 1

$P_{\text{återköp}}$  = Sannolikheten för återköp av bil för det aktuella felet

$T_{\text{extra}}$  = Den extratid som uppstår när man felsöker i en viss ordning

$T_{\text{felR}}$  = Reparationstid för att reparera eller byta ut felaktiga komponenter, under ett besök

$T_{\text{felVI}}$  = Medeltidsåtgång för att verifiera felaktiga byten för intermittenta fel, under ett besök

$T_{\text{felVP}}$  = Medeltidsåtgång för att verifiera felaktiga byten för permanenta fel, under ett besök

$T_{\text{IV}}$  = Total arbetstid i verkstad, för det aktuella intermittenta felet

$T_{\text{KE}n}$  = Åtkomsttid för komponent för fel  $n$  i ordningen. Speciell hänsyn till att denna tid blir noll minuter om det aktuella felets placering redan har undersökts, bör beaktas.

$T_{\text{Kn}}$  = Tid för att komma åt komponent för felet  $n$  som undersöks. Detta inkluderar tiden både för att montera bort komponenterna och sätta tillbaka dem

$T_{\text{MAVE}n}$  = Är tiden det tar att demontera de delar som krävs för att kunna undersöka fel  $n$  i ordningsföljden. Speciell hänsyn till att denna tid blir noll minuter om det aktuella felets placering redan har undersökts, bör beaktas

$T_{\text{MAV}n}$  = Är tiden det tar att demontera de delar som krävs för att kunna undersöka fel  $n$  i ordningsföljden

$T_{\text{medel}}$  = Medelfelsökningstiden för aktuell ordning av felundersökning

$T_{\text{medell}}$  = Medelfelsökningstid för det aktuella intermittenta felet

$T_{\text{medelP}}$  = Medelfelsökningstid för det aktuella permanenta felet

$T_{\text{MPA}En}$  = Är tiden det tar att montera tillbaka de delar som plockades bort för att kunna undersöka fel  $n$  i ordningsföljden. Speciell hänsyn till att denna tid blir noll minuter om det aktuella felets placering redan har undersökts, bör beaktas

$T_{MP\hat{A}n}$  = Är tiden det tar att montera tillbaka de delar som plockades bort för att kunna undersöka fel n i ordningsföljden

$T_n$  = Felsökningstid för fel n i ordningsföljden som undersöks

$T_n$  = Felsökningstid för felet n som undersöks

$T_{pV}$  = Total arbetstid i verkstad, för det aktuella permanenta felet per bil

$T_{vI}$  = Tidsåtgång för att verifiera det aktuella intermittenta felet

$T_{vP}$  = Tidsåtgång för att verifiera det aktuella permanenta felet per bil

## D. Program i Excel

Det program i Excel som konstrueras och används för att göra diverse uträkningar, visas i figur D.1 t.o.m. D.3 nedan. Figurerna visar en jämförelse mellan de i kapitel 10 undersökta omfattningarna av diagnos och felsökning. De olika omfattningarna är:

Omfattning	Diagnos och felsökningshjälp
Nr 1	All möjlig diagnos och felsökningshjälp med en felkod som ej kan skilja på avbrott och defekt komponent
Nr 2	Endast funktion och konstruktionsschema
Nr 3	All möjlig diagnos och felsökningshjälp samt en specifik felkod för att kunna detektera felet avbrott

Varje figur nedan motsvarar en flik programmet. Men sex flikar har ej tagits med, då de enbart visar grafer som visas i kapitel 11.

Slutligen bör det noteras att i figurerna nedan visas beräkningar för felet avbrott mellan backsensor och PAM tillsammans med parametrar som uppskattats i kapitel 10.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	<b>Beräkning utvecklingskostnad on-board</b>																
2	<b>Tilläggskostnader</b>									<b>Grundkostnader</b>							
3																	
4			<b>Data-parametrar</b>	<b>Felkod</b>			<b>Felkod med snapshot data, räknare och statusidentifierare</b>					<b>Data-parametrar</b>	<b>Felkod</b>	<b>Felkod med snapshot data, räknare och statusidentifierare</b>			
5				<b>Enkel</b>	<b>Medel</b>	<b>Svår</b>	<b>Enkel</b>	<b>Medel</b>	<b>Svår</b>								
6	<b>Volvo Personvagnar ABs arbetstid (tim)</b>	0,3		1	4	8	1,5	6	12	<b>Volvo Personvagnar ABs arbetstid (tim)</b>	60	180	240				
7	<b>Leverantörens arbetstid (tim)</b>	1		4	12	24	6,5	20	40	<b>Leverantörens arbetstid (tim)</b>	90	270	360				
8	<b>Summa (tim)</b>	1,3		5	16	32	8	26	52	<b>Summa (tim)</b>	150	450	600				
9	<b>Nr 1 (tim)</b>	0,65		0			13			<b>Nr 1 (tim)</b>	0	0	0				
10	<b>Nr 2 (tim)</b>	0		0			0			<b>Nr 2 (tim)</b>	0	0	0				
11	<b>Nr 3 (tim)</b>	1,3		0			26			<b>Nr 3 (tim)</b>	0	0	0				
12	<b>Beräkning utvecklingskostnad off-board</b>																
13																	
14				<b>Funktion och konstruktionsschema</b>			<b>Steg-för-steg felsökningshjälp</b>			<b>Grundarbete</b>	<b>Extra kostnad per bil</b>			<b>Nr 1</b>	<b>Nr 2</b>	<b>Nr 3</b>	
15				<b>Enkel</b>	<b>Medel</b>	<b>Svår</b>	<b>Enkel</b>	<b>Medel</b>	<b>Svår</b>		<b>Kostnad per ledningsbana och stift (kr)</b>	0,50	0,50	0,50			
16	<b>Volvo Personvagnar ABs arbetstid (tim)</b>	2,5		5	10	10	20	40	200	<b>Antal ledningsbanor och stift (st)</b>	0	0	1				
17	<b>Nr 1 (tim)</b>	2,5			10			0									
18	<b>Nr 2 (tim)</b>	5			0			0									
19	<b>Nr 3 (tim)</b>	5			20			0									
20										<b>Kostnad för extra hårdvara (kr)</b>	0,00	0,00	0,00				
21										<b>Antal fel som använder sig av extra hårdvaran (st)</b>	0	0	0				
22										<b>Summa utveckling (kr)</b>	0,00	0,00	0,50				
23																	
24																	
25										<b>Total arbetstid (tim)</b>	26,15	5,00	52,30				
26																	
27			<b>Verkstadens andel av utvecklingskostnaden (%)</b>	60													
28			<b>Konstruktörens arbetskostnad (kr/tim)</b>	500													
29																	
30																	

Figur D.1 Beräkning av utvecklingskostnad både för on-board och off-board diagnos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	<b>Parametrar som är oberoende av diagnos och felsökningshjälp</b>				<b>Parametrar som är beroende av diagnos och felsökningshjälp</b>						
2											
3											
4	<b>Tid för att</b>				<b>Kostnad för felaktigt byte</b>			<b>Nr 1</b>	<b>Nr 2</b>	<b>Nr 3</b>	
5	<b>Reparera vid felaktigt byte (min)</b>		<b>60</b>	<b>Permanenta delar (kr)</b>			<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>		
6				<b>Intermittenta delar besök 1 (kr)</b>			<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>		
7				<b>Intermittenta delar besök 2 (kr)</b>			<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>		
8	<b>Antal bilar med</b>				<b>Sannolikhet för</b>						
9	<b>Permanent fel (st)</b>		<b>500</b>	<b>Felaktigt byte, vid permanent fel (%)</b>			<b>40</b>	<b>60</b>	<b>10</b>		
10	<b>Intermittent fel (st)</b>		<b>250</b>	<b>Felaktigt byte, vid intermittent fel. Besök 1 (%)</b>			<b>80</b>	<b>90</b>	<b>60</b>		
11	<b>Övriga antal</b>				<b>Felaktigt byte, vid intermittent fel. Besök 2 (%)</b>			<b>20</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	
12	<b>Antal garantiår (år)</b>		<b>3</b>	<b>Besök 2 av bil med intermittent fel (%)</b>			<b>10</b>	<b>30</b>	<b>5</b>		
13	<b>Årsproduktion (st)</b>		<b>400 000</b>	<b>Återköp av bil med intermittent fel (%)</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
14	<b>Kostnad för</b>				<b>Tid för</b>						
15	<b>För återköp av bil (kr)</b>		<b>300 000</b>	<b>Verifiera aktuellt permanent fel (min)</b>			<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>		
16	<b>Mekanikerns arbetskostnad (kr/tim)</b>		<b>400</b>	<b>Verifiera aktuellt intermittent fel (min)</b>			<b>15</b>	<b>20</b>	<b>15</b>		
17	<b>Kostnad för in- och utleverans (kr)</b>		<b>100</b>	<b>Verifiera permanent fel vid felaktigt byte (min)</b>			<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>		
18					<b>Verifiera intermittent fel vid felaktigt byte (min)</b>			<b>15</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	
19											
20											
21											
22											
24											
25											
26											

Figur D.2 Övriga parametrar som uppskattats som både är oberoende och beroende av diagnos och felsökningshjälp

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
2	<b>Diagnos och felsökningshjälp nr 1</b>								<b>Beräkning av minsta medelfelsökningstid</b>										
3		<b>Permanent</b>			<b>Intermittent</b>			<b>Felsöknings- ordning</b>	<b>Medelfelsökningstid</b>										
4		<b>Fel 1</b>	<b>Fel 2</b>	<b>Fel 3</b>	<b>Fel 1</b>	<b>Fel 2</b>	<b>Fel 3</b>		<b>Permanent</b>			<b>Intermittent</b>							
5	<b>Felsökningstid (min)</b>	50	10	30	80	20	50	<b>Nr 1</b>	<b>Nr 2</b>	<b>Nr 3</b>	<b>Nr 1</b>	<b>Nr 2</b>	<b>Nr 3</b>						
6	<b>Diagnos och felsökningshjälps säkerhet (%)</b>	95	95	80	95	95	80	1-2-3 (min)	392	466	369	418	516	387					
7								1-3-2 (min)	392	466	369	418	516	387					
8								2-1-3 (min)	401	518	379	427	573	397					
9	<b>Felsannoliksandel (%)</b>	75	20	5	75	20	5	2-3-1 (min)	402	518	380	428	573	398					
10	<b>Åtkomsttid (min)</b>	360	360	70	360	360	70	3-1-2 (min)	406	466	384	436	516	406					
11								3-2-1 (min)	408	518	386	438	573	408					
12	<b>Diagnos och felsökningshjälp nr 2</b>								<b>Minsta felsökningstid (min)</b>	392	466	369	418	516	387				
13		<b>Permanent</b>			<b>Intermittent</b>			<b>Resultat</b>							<b>Total besparing</b>				
14		<b>Fel 1</b>	<b>Fel 2</b>	<b>Fel 3</b>	<b>Fel 1</b>	<b>Fel 2</b>	<b>Fel 3</b>	<b>Omfattning av diagnos och felsökning</b>	<b>Nr 1</b>	<b>Nr 2</b>	<b>Nr 3</b>	<b>Besparing</b>							
15	<b>Felsökningstid (min)</b>	90	80	0	140	120	0	<b>Verkstads arbetstid för permanenta fel (min)</b>	0,165	0,196	0,156	<b>Nr 1 jämfört med nr 2 (kr)</b>	708 000						
16								<b>Verkstads arbetstid för intermittenta fel (min)</b>	0,099	0,144	0,088	<b>Nr 2 jämfört med nr 3 (kr)</b>	606 000						
17	<b>Diagnos och felsökningshjälps säkerhet (%)</b>	80	80	0	80	80	0	<b>Kostnad verkstad (kr)</b>	1,76	2,27	1,62	<b>Nr 1 jämfört med nr 3 (kr)</b>	102 000						
18								<b>Kostnad utveckling (kr)</b>	13075	2500	26150								
19	<b>Felsannoliksandel (%)</b>	80	20	0	80	20	0	<b>Kostnad för diagnos och felsökning (kr)</b>	1,96	2,55	2,05								
20	<b>Åtkomsttid (min)</b>	360	360	0	360	360	0	<b>Besparing per styrenhet Nr 1 jämfört med Nr 2 (kr/st)</b>	0,590										
21								<b>Besparing per styrenhet Nr 2 jämfört med Nr 3 (kr/st)</b>	0,505										
22	<b>Diagnos och felsökningshjälp nr 3</b>								<b>Besparing per styrenhet Nr 1 jämfört med Nr 3 (kr/st)</b>	0,085									
23		<b>Permanent</b>			<b>Intermittent</b>														
24		<b>Fel 1</b>	<b>Fel 2</b>	<b>Fel 3</b>	<b>Fel 1</b>	<b>Fel 2</b>	<b>Fel 3</b>												
25	<b>Felsökningstid (min)</b>	20	10	30	40	20	50												
26	<b>Diagnos och felsökningshjälps säkerhet (%)</b>	95	95	80	95	95	80												
27	<b>Felsannoliksandel (%)</b>	75	20	5	75	20	5												
28	<b>Åtkomsttid (min)</b>	360	360	70	360	360	70												
29																			
30																			
31																			
32																			
33																			
34																			
35																			
36																			
37																			

Figur D.3 Beräkning av minsta medelfelsökningstid och diverse resultat beräknade enligt framtagen modell