

# **Branddetektion i motorrum**

***Jonas Eriksson***  
***Måns Mansoori***

**Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety  
Lund University, Sweden**

**Avdelningen för brandteknik och riskhantering  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet**

**Report 5260, Lund 2009**



# Branddetektion i motorrum

Jonas Eriksson  
Måns Mansoori

Lund 2009

**Titel:**

Branddetektion i motorrum

**Title:**

Fire Detection In Engine Compartments

**Av/By:**

Jonas Eriksson  
Måns Mansoori

**Report/Rapport:** 5260

**ISSN:** 1402-3504

**ISRN:** LUTVDG/TVBB – 5260 – SE

**Antal sidor/Number of pages:**

60 (inklusive bilagor/including appendices)

**Sökord:**

branddetektion, motorbrand, lastbil, signalbehandling, signalanalys

**Keywords:**

fire detection, engine fire, truck, signalanalysis

**Abstract**

The environment in the engine compartment has been investigated in order to design a fire detection system. The report shows that such a system requires extensive research due to the lack of conclusive data.

---

Brandteknik och Riskhantering	Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety
Lunds Tekniska Högskola Lunds Universitet	Faculty of Engineering, LTH Lund University
Box 118 221 00 Lund	P.O. Box 118 SE-221 00 Lund Sweden
brand@brand.lth.se <a href="http://www.brand.lth.se">http://www.brand.lth.se</a> Telefon: 046 - 222 73 60 Telefax: 046 - 222 46 12	brand@brand.lth.se <a href="http://www.brand.lth.se/english">http://www.brand.lth.se/english</a> Telephone: +46 46 222 73 60 Fax : +46 46 222 46 12

## Förord

Författarna vill först och främst tacka våra handledare; Professor Emeritus Göran Holmstedt och professor Patrick van Hees på Avdelningen för brandteknik och riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola samt Hannele Nurmi och Inga Pålsson på Volvo 3P i Göteborg.

Vi har även fått mycket uppskattad hjälp, tips och uppmuntran av övrig personal på avdelningen för brandteknik och riskhantering, avdelningen för aerosolteknik, Volvo Lastvagnar samt studiekamrater och närstående. Ert stöd har hjälpt oss att föra vårt arbete framåt!

Jonas Eriksson och Måns Mansoori

Lund i maj 2009



## Sammanfattning

Detektion av bränder i motorrum på lastbilar är ett komplicerat problem på grund av faktorer så som trånga utrymmen och fluktuationer i motorrummets temperatur, lufthastighet med mera vilket gör det svårt att presentera en entydig lösning på problemet. I rapporten har dessa faktorer i möjligaste mån kartlagts och har därefter analyserats med utgångspunkt i olika sätt att detektera bränder.

Analysen visar att för att kunna detektera brand i motorrummet så tidigt som möjligt måste detektionssystemet kunna kompensera för de tidigare nämnde fluktuationerna. Detta kräver ett system som känner av motorrumsmiljöns förändringar och analyserar dessa utifrån tidigare normala körbetingelser eller kända förändringar i motorrumsmiljön vid brand. Då data saknas för att kunna ge en entydigt optimal detektionslösning krävs ytterligare insamlande av data kring ovan beskrivna parametrar.

Tillgängliga mätdata samt tidigare erfarenheter av bränder i motorrummet tyder dock på att någon form av temperaturdetektion tillsammans med avancerad behandling av dess signaler skulle kunna utgöra en optimal detektionslösning.





## Summary

Fire detection in engine compartments is a complicated problem due to factors as complicated geometry and fluctuations in temperatures, airspeeds et cetera in the engine compartment which makes it difficult to present a final solution to the problem. These factors have been investigated, as far as available data made possible, with respect to fire detection.

In order to detect fires in such an environment the detection system must be able to compensate for these fluctuations. This requires a system designed to measure changes in environment and analyse these changes with respect to normal changes or known fire-related behaviours in the engine compartment. Because there is a lack of data related to these behaviours, normal and fire-related, a final detection solution can not be presented.

Known data and earlier fires does, however, show that some sort of temperature dependent detection system together with advanced analysis of the signals might be close to an optimal solution.



# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund . . . . .	1
1.2	Målgrupp . . . . .	2
1.3	Syfte och Mål . . . . .	2
1.4	Metod . . . . .	2
1.5	Avgränsningar . . . . .	2
1.6	Skyddsmål . . . . .	3
1.7	Rapportens disposition . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Motorrummet</b>	<b>5</b>
2.1	Geometri . . . . .	5
2.2	Detektormiljö . . . . .	6
2.2.1	Partiklar . . . . .	6
2.2.2	Luftflöden . . . . .	8
2.2.3	Temperaturer . . . . .	10
2.2.4	Vibrationer . . . . .	12
2.2.5	Avstängd motor . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Brandförlopp</b>	<b>13</b>
3.1	Val av brandscenarier . . . . .	13
3.2	Beskrivning av brandförlopp och brandsignaturer . . . . .	15
3.2.1	Brand i luftfilter . . . . .	17
3.2.2	Brand i förvärmare . . . . .	18
3.2.3	Brand till följd av oljeläckage . . . . .	19
3.3	Allmänt om brandgasinnehåll vid bilbränder . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Detektion av brand</b>	<b>21</b>
4.1	Temperaturförändring . . . . .	21
4.2	Ljus . . . . .	23
4.3	Partiklar . . . . .	24

4.4	Brandgaser . . . . .	28
4.5	Mekaniska förändringar . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Detektion av brand med hänsyn tagen till detektormiljön</b>	<b>31</b>
5.1	Detektion med befintligt sensorsystem . . . . .	31
5.1.1	Detekterbar effekt vid brand i luftfilter . . . . .	33
5.1.2	Aktiveringstid vid brand i luftfilter . . . . .	34
5.2	Detektion med andra sensorer . . . . .	35
5.2.1	Temperatur . . . . .	35
5.2.2	Partiklar . . . . .	38
5.2.3	Brandgaser . . . . .	40
5.3	Signalbehandling . . . . .	41
5.3.1	Larmlagring . . . . .	41
5.3.2	Analys av miljön utanför motorrummet . . . . .	42
5.3.3	Mönster . . . . .	42
5.3.4	Lärande system . . . . .	42
5.3.5	Medel- och medianvärde . . . . .	43
5.3.6	Stegvärde . . . . .	43
5.3.7	Motorns gång . . . . .	45
5.3.8	Multidetektor . . . . .	45
5.4	Detektionsplatser vid brand . . . . .	46
<b>6</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>51</b>
7.1	Föreslagna områden för vidare studier . . . . .	51
<b>8</b>	<b>Referenser</b>	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>Bilagor</b>	<b>55</b>

# Kapitel 1

## Inledning

Denna rapport är skriven av två studenter från brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola och ingår som en del i kursen Brandtekniskt Projektarbete. Uppdraget och idén till rapporten kommer från Volvo 3P. Volvo 3P är ett företag i Volvo AB koncernen och sysslar främst med planering, utveckling och inköp av produkter till koncernens lastbilstillverkning och verkar för att öka lönsamheten i bolagens verksamheter.

### 1.1 Bakgrund

Brandförlopp i lastbilar och bussar är ofta snabba och resulterar i stora ekonomiska och samhällsliga förluster. Under senare år har bussar för persontrafik börjat utrustas med detektions- och släcksystem i motorrummet för att snabbt kunna dämpa eller släcka brand som uppstår i eller kring motorn. Denna utveckling är dock inte en följd av hårdare krav i de lagar eller förordningar som reglerar sådan trafik utan har sitt ursprung i utökade krav från de försäkringsbolag som försäkrar fordonen. Det är sannolikt att liknande krav från försäkringsbolagen i framtiden även kan ställas på lastbilar.

Skillnaderna i konstruktion mellan lastbilar och bussar gör dock att motorutrymmet i en lastbil är mycket mindre varför de lösningar som finns för bussar inte är direkt överförbara till lastbilar. På grund av de regler som finns i Europa gällande maximala längden på lastbilar, har lastbilstillverkarna istället för att placera motorn framför förarhytten fått

placera motorn under förarhytten för att kunna maximera lastens längd. Det begränsade motorutrymmet gör det svårt att förutse brandförlopp, detektion och släckmöjligheter.

På grund av att varje installation av nya komponenter, som exempelvis branddetektorer, i en motor resulterar i ökade kostnader, vill Volvo att projektet i första hand ska analysera möjligheten att använda befintliga sensorer i motorn för att detektera bränder. Även traditionella detektionslösningar som redan finns på marknaden undersöks.

## 1.2 Målgrupp

Denna rapport riktar sig mot den personal som har hand om brandsäkerhet i Volvos lastvagnar.

## 1.3 Syfte och Mål

Målet för denna rapport är att ta fram en möjlig detektionslösning som lämpar sig för motorrummet i en av Volvos lastbilsmodeller. Syftet är att denna detektionslösning skall möjliggöra ett uppfyllande av skyddsmålen, vilket innebär att i god tid kunna detektera eventuella förändringar i motormiljön som i sin tur kan resultera i brand.

## 1.4 Metod

Rapporten bygger till stor del på litteraturstudier kring branddetektion. Denna litteraturstudie har, tillsammans med de förutsättningar som lastbilens motorrum ger, därefter legat till grund för de resonemang som förs om möjligheten att detektera brand i ett motorrum. De beräkningar som gjorts har haft sin grund i konservativa antaganden.

## 1.5 Avgränsningar

I samråd med Volvo har rapportens omfattning avgränsats till att endast behandla lastbilsmodellen FH16. Då detaljerad information om

detektormiljön i motorrummet tyvärr ej finns att tillgå blir detaljnivån på de lösningar som diskuteras i rapporten begränsad. Därför ges förslag på vad vidare arbete med att ta fram sådan information bör inriktas på, detta diskuteras i kapitel 7.

## 1.6 Skyddsmål

I första hand skall människoliv skyddas, brand eller brandgaser får därför inte spridas från motorrummet till hytten innan föraren hinner stanna lastbilen och utrymma hytten. I andra hand skall lastbilens komponenter skyddas. I motorrummet är de flesta komponenter vitala för lastbilens funktion, ofta är det inte bara själva branden som skadar dem utan också de släckinsatser som görs med till exempel pulver har potential att skada känsliga komponenter, speciellt sådana komponenter som inte normalt utsätts för damm och smuts. Kostnaden för att återställa lastbilen så att den åter kan tas i trafik blir därför större ju längre tid en brand pågår och det är därför önskvärt att en brand kan upptäckas så tidigt som möjligt.

## 1.7 Rapportens disposition

Rapportens delar består av, och är upplagd, enligt följande:

- Första kapitlet utgör inledningen av rapporten, här förklaras bakgrunden till rapportens syfte och mål samt hur dessa är tänkta att uppfyllas.
- I kapitel 2 beskrivs kortfattat Volvo Lastvagnars verksamhet.
- Kapitel 3 redogör för motorrummets geometri samt den miljö i vilken brand skall detekteras.
- Kapitel 4 handlar om brandförlopp och inleds med ett resonemang kring lämpliga brandscenarier. Därefter följer en beskrivning av dessa samt de brandsignaturer de är associerade med.
- I kapitel 5 presenteras de detekterbara fysiska och kemiska förändringar som uppträder vid bränder samt vilka detektortyper som är lämpade för detektion av dessa.

- Kapitel 6 beskriver hur den geometri och miljö som presenteras i kapitel 3 påverkar möjligheten att detektera lämpliga brandscenarier från kapitel 4.
- I kapitel 7 presenteras de slutsatser som kan dras från rapportens övriga delar.
- I kapitel 8 diskuteras de slutsatser som dragits i kapitel 7.
- Kapitel 9 innehåller information om de källor som refereras i rapporten.
- Kapitel 10 innehåller bilagor till rapporten.



# Kapitel 2

## Motorrummet

Detta kapitel syftar till att beskriva de geometriska och fysiska förhållandena i motorrummet, vilka tillsammans påverkar möjligheterna till detektion av brand. Genom platsbesök har lastbilens motorrum kunnat studeras vad gäller geometri och miljö.

### 2.1 Geometri

Motorrummet är det utrymme i vilket lastbilens motor är placerad, här finns även en hel del komponenter för styrning av lastbilen och dess system så som blandningen bränsle/luft och liknande. För att reducera det buller som genereras i motorrummet är det ljudisolerat, det begränsas uppåt och åt sidorna av ljudisolering men är öppet nedåt och även till viss del bakåt, i dess främre del sitter kylaren och fläkten. Motorrummet kan därför något grovt beskrivas som en låda där botten är öppen.

För att kunna använda så mycket som möjligt av lastbilens totala längd till lastutrymmen har motorn fått placeras alldeles under förarhytten. Detta resulterar i att motorrummet blir mycket trångt och därmed har temperaturerna och lufthastigheterna i detta en tendens att bli höga.

Själva motorn sitter i mitten av motorrummet och delar därmed upp detta i en kall och en varm sida. Den kalla sidan är den, i färdriktningen, vänstra sidan av motorn och den varma sidan är den högra sidan. På den kalla sidan finns motorns styrelektronik, bränslefilter och andra komponenter som bör skyddas från allt för höga temperaturer, se figur 2.1. På den varma

sidan sitter de komponenter som blir mycket varma, till exempel grenrör och turbo, se figur 2.2.

Den totala fria luftvolymen i motorrummet är cirka 0,3 m<sup>3</sup>.

## 2.2 Detektormiljö

Möjligheten att detektera en brand beror på den miljö i vilken detektionen skall ske, miljön i motorrummet har således studerats utifrån vilka partiklar, luftflöden, temperaturer samt vibrationer som förekommer i detta.

### 2.2.1 Partiklar

Vid färd påverkas halten partiklar i motorrummet dels av de partiklar som oavsiktligt läcker ut från motorn i form av förbränningsprodukter via hål i avgassystem, förångad motorolja, partiklar från mekaniskt slitage på lastbilens rörliga delar med mera och dels av de partiklar som finns i den omgivande luften. Partikelhalten och typen av partiklar kan därför variera kraftigt beroende på omgivningen och motorns skick.

De partiklar som finns i omgivningen härstammar sannolikt från andra fordons avgaser, vägslitage samt andra luftföroreningar så som förbränningsprodukter och damm från industrin med mera. Typiskt består dessa av oorganiska joner, kolväten, sot, olösliga mineraler och vatten (Laschober et al 2004).

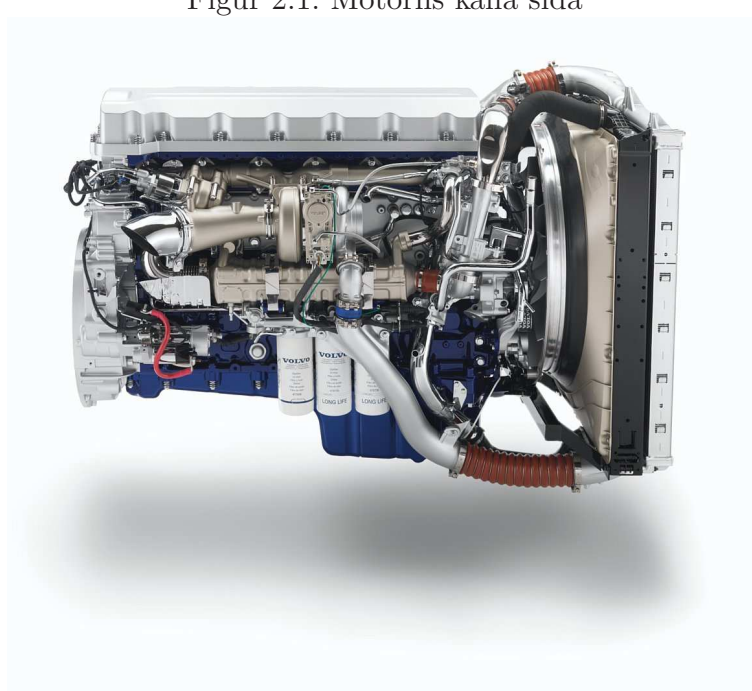
Den högsta normalt förekommande partikelhalten finns i vägtunnlar och stadstrafik då partiklar från annan trafik där inte späds ut i omgivningen i lika hög grad som vid annan landsvägstrafik.

Vid en studie av partikelhalter i luften längs en vägsträcka i Hong Kong, bestående av motorväg, tunnlar samt stadstrafik, uppmättes halten sotpartiklar, 0,1–0,2  $\mu\text{m}$  (koagulerade), vid ett tillfälle till ca 120  $\mu\text{g}$  (0,15\*10<sup>-3</sup>g) sotpartiklar m<sup>-3</sup> luft i en av tunnelarna (Chan et al 2006).

Studier av partiklar i luften vid och i Kaisermühlen-Tunneln i 3 veckors tid under 2002 gav ett medelvärde på 49,7 och stdavvikelse på 7,0  $\mu\text{g}$  sotpartiklar m<sup>-3</sup> samt för total partikelmassa, vilket inkluderar organiska föreningar, metaller med mera, ett medelvärde på 127,6 och stdavvikelse på 26,9  $\mu\text{g}$  partiklar m<sup>-3</sup>. (Laschober et al 2004)



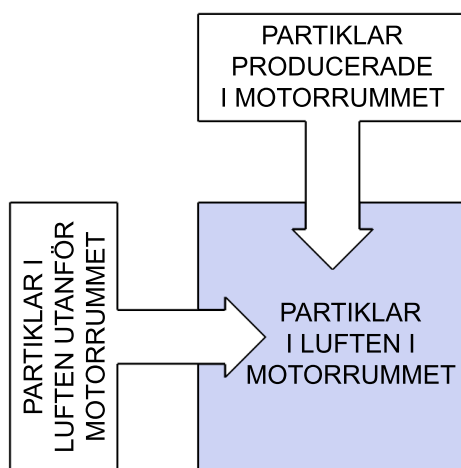
Figur 2.1: Motorns kalla sida



Figur 2.2: Motorns varma sida

Den största förväntade partikelhalten i motorrummet borde därför vara cirka  $150 \mu\text{g}$  partiklar  $\text{m}^{-3}$ . Till detta skall dock de partiklar läggas som produceras i själva motorrummet. Då det inte finns några mätningar på förekomsten av sådana samt på grund av möjligheten att det kan variera kraftigt beroende på motorns skick med mera är det svårt att göra en uppskattning på den högsta naturligt förekommande partikelhalten i motorrummet.

Partikelhalten i den inkommande luften, vid luftfiltret, borde dock inte påverkas av partiklar som produceras i motorrummet då denna inte kommer i kontakt med luft från motorrummet. Den största förväntade partikeltätheten i den inkommande luften är därför ca  $150 \mu\text{g}$  partiklar  $\text{m}^{-3}$ .



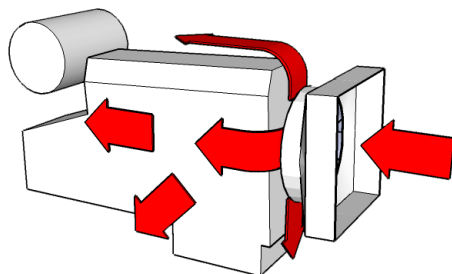
Figur 2.3: Partiklar i motorrummet

De partiklar som finns i motorrummet gör att ytorna i detta kan bli kraftigt nedsmutsade av sot, oljor, vägdamm med mera.

### 2.2.2 Luftflöden

Den största källan till luftrörelser i motorrummet är fläkten, även om den hastighet lastbilen färdas i påverkar i viss mån. Detta innebär att luften, i grova drag, kommer in i motorrummet via fläkten och därefter strömmar bakåt runt motorblocket. Luften strömmar sedan ut ur motorrummet i den bakre delen vid luftfiltret samt nedåt mot marken, enligt figur 2.4 nedan.

Fläkten styrs av motorns varvtal för att åstadkomma så jämn kylning som



Figur 2.4: Luftflöden i motorrummet

möjligt. När fläkten körs har lufthastigheter på mellan 10 m/s och 13 m/s uppmätts på kylaren (DeHart 2004).

CFD-simuleringar (Bilaga 1) vid hastigheterna 1 och 90 km/h visar dock på lufthastigheter upp mot 30 m/s i motorrummet precis bakom fläkten samt 20 till 30 m/s längre bakåt över motorn och runt inluftkanalen, som går från luftfiltret, i den övre delen av den varma sidan. Runt luftfiltret längst bak i motorrummet ökar hastigheten något på grund av att utrymmet luften färdas i minskar där. Direkt framför fläkten visar simuleringarna en lufthastighet på 10 till 15 m/s vilket stämmer väl med uppmätta värden.

Skillnaderna mellan 1 och 90 km/h är som minst närmast fläkten och ökar till runt 10 m/s längst bak i motorrummet vilket kan ses i figur 2.5.

Eftersom luftlöden och lufthastigheter i motorrummet till viss del beror på lufthastigheter, tryckskillnader och luftlödenas riktning utanför lastbilen, vilka inte kan sägas vara konstanta, kommer flödena i motorrummet fluktuera. Ett exempel är vid omkörning av ett annat fordon eller vid körning i tunnel då tryckskillnaderna på höger och vänster sida av lastbilen kan bli stora och luftflödena i motorrummet ändras.

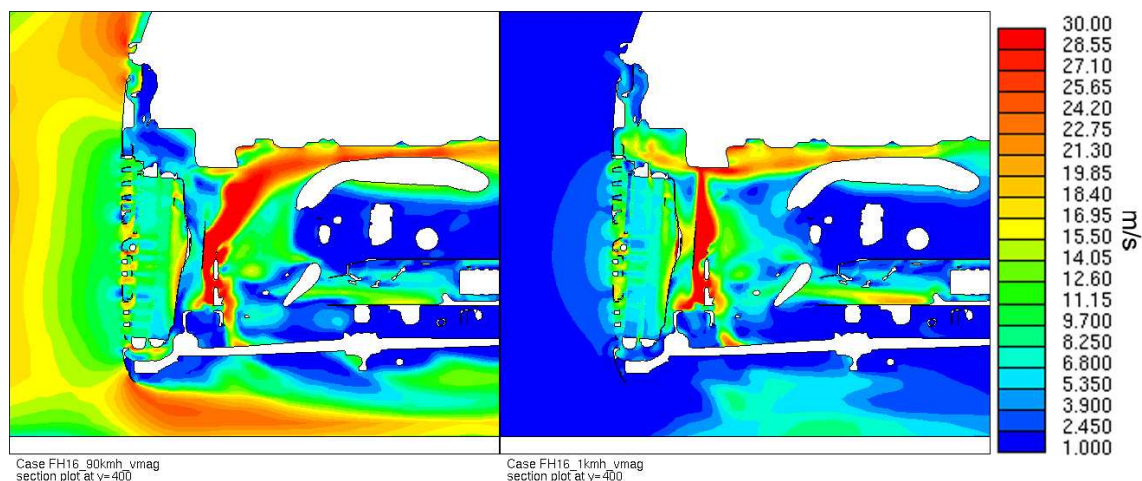
Lufthastigheten i röret mellan luftfiltret och motor varierar med motorns varvtal men ligger i medeltal på cirka 11 m/s (referens samtal med volvo).

En uppskattning av massflödet luft genom fläkten vid 20°C fås genom följande beräkning där  $r$  är fläktens yttre och inre radie. Genom att beräkna den area igenom vilken luften passerar samt att kombinera denna

med dess hastighet och densitet fås massflödet:

$$r_{yttre} = 0,4m, r_{inre} = 0,1m, v_{luft} = 10m/s, \rho_{luft} = 1,2kgm^{-3}$$

$$\dot{m}_{luft} = 5,65kg/s$$



Figur 2.5: Lufthastigheterna i motorrummets varma sida sett från lastbilens vänstra sida, till vänster vid 90 km/h och till höger vid 1 km/h

### 2.2.3 Temperaturer

I motorrummet kan temperaturen på enstaka ytor, till exempel grenrör eller turbo, bli upp till 600°C.

Några av de medeltemperaturer som finns uppmätta under drift är följande:

- Temperaturen vid ytan på lastbilens påbyggnad (skåp) alldeles bakom hytten, vilken kan variera mellan 60°C och 100°C beroende på vilket avstånd det är däremellan (Lord 2005).
- Oljetemperatur i sump cirka 100°C (André 2007)
- Temperatur vid lastbilens stomme cirka 90°C (André 2007)
- Temperatur vid generatorn cirka 90°C (André 2007)

Det kan finnas flera varma ytor som inte har ingått i Volvos mätserier eftersom de flesta mätningar görs för att utvärdera skydd för komponenter

som enligt erfarenhet skadats av för höga temperaturer eller för att mäta temperaturen på nyinstallerade komponenter eller konfigurationer.

Den ljudisolering som finns mellan hytten och motorrummet klarar av temperaturer upp till 250°C innan den börjar pyrolysera (sönderfalla och avge brännbara gaser). Lufttemperaturen närmast denna isolering borde därför vid normal drift långvarigt inte överstiga 250°C. Det går däremot inte att med säkerhet bedöma temperaturen en bit från isoleringen utifrån detta.

Då ytor bakom hytten, som påverkas av luftströmmar från motorrummet, har haft medeltemperaturer på cirka 100°C kan motorrummets temperatur antas ligga över 100°C.

För att värma upp den luft som passerar motorrummet 1°C krävs en energimängd på 920 J (kg syre)<sup>-1</sup> samt 1040 J (kg kväve)<sup>-1</sup>. Luft är sammansatt av 79 procent kväve och 21 procent syre blir luftens värmekapacitivet 1015 J (kg<sub>luft</sub> K)<sup>-1</sup> och massflödet genom motorrummet är enligt tidigare resonemang i rapporten cirka 9,1 kg/s.

Den energi som avges från en dieselmotors kylmedium i form av värme är cirka 1/3 av det mekaniska arbete som motorn utför (Pålsson 2008). En Volvo FH16 kan fås med en motor som ger 485 kW mekanisk effekt vilket innebär att cirka 160 kW avges som värme från kylmediet. Detta innebär i sin tur att luften som passerar kylfläkten kan värmas upp 28°C vilket normalt borde ge en genomsnittlig lufttemperatur på cirka 50°C i motorrummet vid en utomhustemperatur på 20°C.

Kylmediet i kylaren har under test uppnått temperaturer mellan 90 och 100°C (André 2007). Då motorn är konstruerad så att största delen av värmen från motorn leds bort genom kylaren gör detta att lufttemperaturen i motorrummet rimligtvis borde ligga runt 50 - 100°C.

Eftersom yttemperaturerna i motorn varierar med 100-tals grader varierar sannolikt även lufttemperaturen kraftigt i motorrummets olika delar. Beroende på att luftflödena i motorrummet sannolikt fluktuerar medför detta att även temperaturen kan ändras. Det är därför mycket svårt att bestämma lufttemperaturen på olika platser i motorrummet utifrån tillgängliga mätdata och endast en uppskattning av den genomsnittliga lufttemperaturen till ca 100°C kan göras.

## 2.2.4 Vibrationer

Vid drift rör sig ett stort antal komponenter i motorn och motorrummet med varierande hastigheter. Då motorn oftast går relativt jämt borde vibrationerna i motorrummet kretsa kring ett relativt statistiskt värde, dock beroende på motorns varvtal. På grund av den stora variationen av resonansfrekvenser som finns i motorns komponenter är det nästintill omöjligt att förutsäga varje enskild motors beteende vad gäller vibrationer. Komponenternas massa medför att dess rörelsemängd borde vara stor.

## 2.2.5 Avstängd motor

När motorn är avstängd kan miljön i motorrummet variera än mer än under gång.

- Alldeles efter det att motorn varit igång är temperaturen densamma som under gång men stiger sedan något på grund av att temperaturprofilen i motorns metallgods jämnas ut då kylningen inte längre är aktiverad. Efter ett antal timmar antar motorrummet samma temperatur som omgivningen.
- Luftflödet domineras av den termiska stigkraften hos luften i motorrummet då fläkten inte längre driver luften bakåt. Detta innebär även att luft kan flöda framåt genom motorrummet och ut genom kylaren.
- Den eventuella produktion av partiklar som sker i motorn under gång kommer sannolikt stanna av om det inte längre finns något mekaniskt slitage, trycksatta motorutrymmen eller avgasproduktion.



# Kapitel 3

## Brandförlopp

Ett brandförlopp beskriver hur en brand och dess egenskaper utvecklar sig. Detta kapitel undersöker de händelseutvecklingar som kan leda till en brand, vilka som är mest sannolika samt vilka detekterbara signaler de då sänder ut. Brandscenarierna har valts ut i samråd med Volvos olycksutredare, tekniker och ingenjörer med deras samlade yrkeserfarenhet som grund.

### 3.1 Val av brandscenarier

I motorrummet sker energiomvandling där lastbilens bränsle omvandlas till rörelse- och värmeenergi. Rörelseenergin transporteras relativt lätt från motorn via växellådan till hjulen, värmeenergin kyls av med hjälp av olja, kylarvatten, lastbilens bränsle, avgaserna som lämnar motorn och slutligen luften som strömmar genom motorrummet. I motorrummet finns komponenter som är brännbara i större eller mindre utsträckning, till exempel kablage, slangar, bränsle eller motorolja som kyler och smörjer motorn.

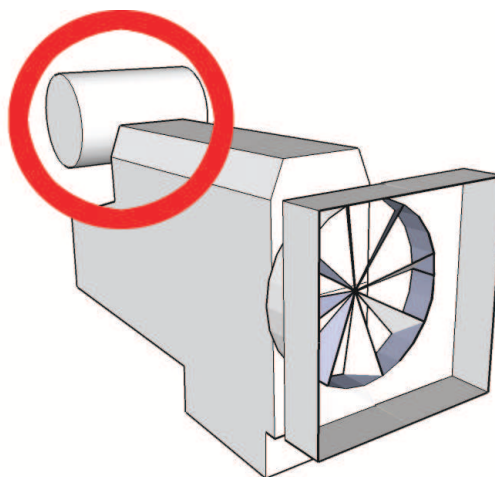
För att kunna bedöma detektionsmöjligheterna i motorrummet måste de bränder som kan uppstå där noggrant studeras, varje sådan brand kallas ett brandscenario. Då det är möjligt att brand uppstår på ett mycket stort antal platser och sätt i motorrummet kan arbetsbördan vid studier av samtliga brandscenarier lätt bli mycket stor, därför väljs ett antal brandscenarier ut som kan anses representativa ur konsekvenssynpunkt eller som enligt erfarenhet uppstår oftare än andra.

Tidigare inträffade bränder har huvudsakligen startat i luftfiltret, i förvärmningen av den inkommande luften, i förvärmning av bränsle, till följd av oljeläckage i närheten av någon varm yta eller till följd av kabelbrand.

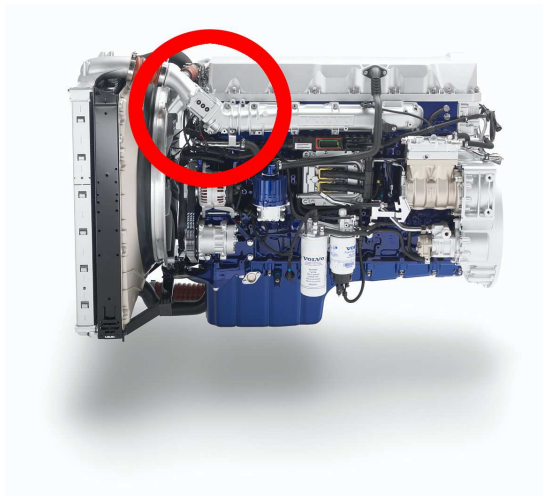
I samråd med Volvo har tre scenarier valts ut för vidare studier. De scenarier som studeras närmare är luftfilterbrand, luftförvärmarebrand och oljeläckagebrand. Dessa scenarier är de tre vanligaste och representerar övriga scenarier relativt väl.

- Om luftfiltret brinner blir värmebelastningen mot den bakre hyttväggen stor jämfört med en brand i den främre delen av motorrummet eftersom transportsträckan från brandkällan blir kortare vilket resulterar i mindre luftinblanding i brandgaserna. Därmed kan branden snabbare tränga in i hytten och är därför ett intressant scenario.
- Överhettning av inluftförvärmaren. För detektion av redan uppkommen brand på den kalla sidan av motorrummet representerar detta scenario andra scenarier väl då branden kan sprida sig till bränslesystemet.
- Brand till följd av oljeläckage kan uppstå på flera ställen på den varma sidan av motorn och representerar därför väl de bränder som kan uppstå där.

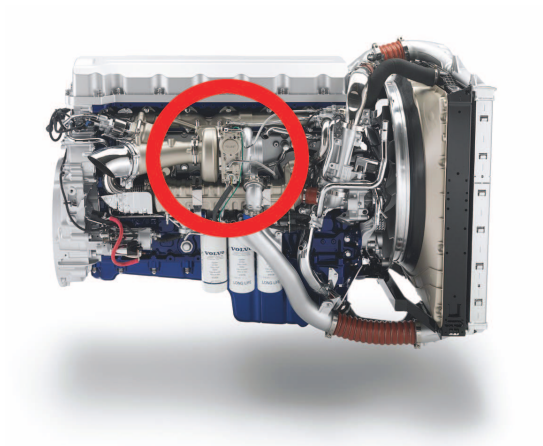
Scenariernas och komponenternas placering åskådliggörs i följande figurer:



Figur 3.1: Luftfilter



Figur 3.2: Förvärmare



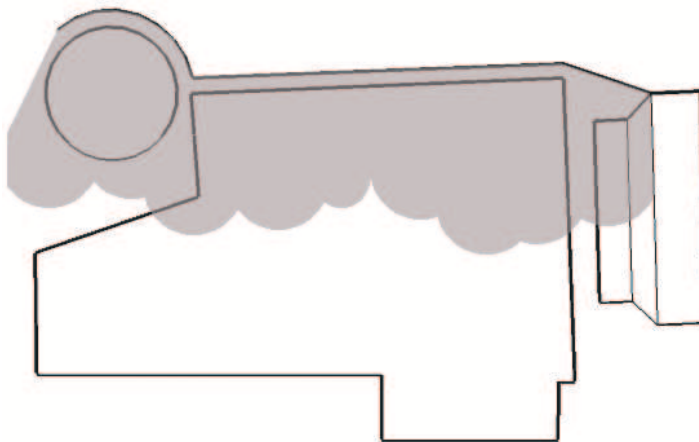
Figur 3.3: Turbo

## 3.2 Beskrivning av brandförlopp och brandsignaturer

Enligt Volvos utredare har vid tidigare bränder i motorrummet föraren upptäckt rökutveckling från fordonet, stannat lastbilen och stängt av motorn varpå branden blossat upp och fått ett snabbt förlopp. Detta beror sannolikt på att den värme som alstras i motorn, och kyls bort när motorn är igång, värmer upp brännbara gaser eller material ytterligare och

därigenom ökar brandens intensitet. Ytterligare en orsak kan vara att de brännbara gaserna späds ut under undre brännbarhetsgränsen, eftersom motorrummet ventileras av kylfläkten när motorn är igång, om alstringen av brännbara gaser varit tillräckligt liten. När motorn stängts av har den minskade ventilationen lett till ökade halter av brännbara gaser och ökad temperatur i motorrummet, denna kombination har intensifierat det okontrollerade frigörandet av energi och brand har uppstått.

Vid brand i motorrummet, när motorn är igång, drivs de varma brandgaserna som produceras i huvudsak uppåt och bakåt i motorrummet av konvektion och flödet från kylfläkten. Om motorn inte är igång beror luftflödet i stort sett på konvektion. Då temperaturdifferenserna är stora i motorrummet och uppmätta temperaturer endast finns för ett fåtal ytor är det svårt att förutsäga hur brandgaserna förflyttas i och ut ur motorrummet när motorn är avstängd. Ett rimligt antagande är dock att dessa ackumuleras i motorrummets övre del enligt figur 3.4 nedan och sedan sprids bakåt i likhet med då motorn är igång eller framåt genom fläktöppningen och kylaren.



Figur 3.4: Brandgaser i motorrummets övre del

Då motorrummets begränsningsyta är klädd och relativt väl tätad med en tänd/brandskyddad ljudisolering, för att uppfylla de krav som ställs på bullernivåer, försvåras värmetransporten från motorrummet till hytten. Brandgaserna sprids ut från motorrummet genom de skarvar som finns för att kunna tippa hytten och där det inte finns någon ljudisolering, det vill säga i huvudsak motorrummets bakre sida samt undersida, eller framåt genom kylaren när motorn är avstängd. Därifrån flödar en stor del av

brandgaserna upp längs yttersidan av hyttväggen och värmer upp denna. När hyttväggens temperatur blir tillräckligt hög antänds även denna, sedermera blir hyttväggens insida så pass varm att den pyrolyseras och branden sprids in i hytten.

När brand uppstått sker en förändring av den omgivande miljön, detta kan vara en temperaturhöjning, förändrad UV/IR-strålning, ökad koncentration av kolväten, CO eller sotpartiklar med mera i luften, detta benämns brandsignatur. Även innan brand uppstår sker ofta någon typ av förändring i miljön som, om den är detekterbar, kan användas för att varna för att brand är nära förestående. Detta gäller också brand i ett motorrum. Rapporten inriktas på tre möjliga brandscenarier, i alla tre fallen finns det någon typ av signal som visar att det föreligger risk för brand samt som visar att brand har uppstått.

### **3.2.1 Brand i luftfilter**

När brand uppstår i luftfiltret är detta oftast en följd av att cigaretter eller dylika antändningskällor som chauffören av lastbilen, eller andra trafikanter, slänger ut genom fönstret sugas in i luftfilterkanalen. I inloppet till luftfilterkanalen finns därför ett galler som ska hindra att brinnande material sugas in och antänder luftfiltret. Även om denna säkerhetsåtgärd är vidtagen finns dock en möjlighet att gallret är trasigt, borttaget eller inte tillräckligt för att förhindra att antändning av luftfiltret sker. Initialt är branden i allmänhet begränsad till själva luftfiltret och brandgaserna flödar genom inluftkanalens fortsättning och vidare in i cylindrarna. När tillräckligt hög temperatur uppnås på luftfiltrets yta eller inluftkanalens plaströr kan de gå sönder så att brandgaser sprids ut i motorrummet eller värma upp omgivande material. Innan materialet går sönder kan det möjligen vara så att en förhöjd temperatur kan registreras i luften kring detta.

Två olika typer av bränder kan uppstå i luftfiltret, flambrand eller glödbrand. I båda fallen fås sannolikt en onormal temperaturhöjning av luften i kanalen efter luftfiltret och, beroende på hur pass intakt filtret är, en ökad partikelstäthet. Den ökade partikelstätheten och den ökade temperaturen tillsammans med minskad syrenivå i den inkommande luften påverkar troligtvis motorns effekt och gång.

Den ökning av temperatur eller partikelhalt som sker vid brand skulle kunna detekteras i kanalen efter luftfiltret. Ett antagande är att ett

luftfilter minst kan utveckla en effekt i likhet med ett objekt i samma storlek och med samma materialsammansättning. Om luftfiltrets yta är intakt så att brandgaserna lämnar filtret genom inluftkanalen skulle ett sådant objekt kunna vara en sopkorg, en normalstor sopkorg ger mellan 10 och 100 kW vid brand (Särdqvist 1993)(Karlsson, Quitiere 1998). Detta antagande gäller dock så länge luftflödet genom filtret är lika stort som flödet av brandgaser från sopkorgsbranden. Därmed borde luftfiltret kunna utveckla minst 100 kW vid brand.

Då värmeutveckling sker i luftfiltret är det även möjligt att en temperaturökning kan detekteras ute i motorrummet om luftfiltrets yttemperatur blir tillräckligt hög.

Om branden i luftfiltret blir så intensiv att dess hölje eller inluftkanalen går sönder kan brandgaser läcka ut i motorrummet och en förhöjd partikelhalt och/eller förhöjd temperatur kan därmed detekteras.

Initialt kan alltså branden detekteras i luftkanalen och därefter, när höljet till denna eller filtret gått sönder, kan brand detekteras i motorrummet.

### **3.2.2 Brand i förvärmare**

Förvärmaren som värmer den inkommande luften från luftfiltret kan bli överhettad om styrningen till denna havererar. Vid ett sådant haveri kan förvärmaren uppnå så pass hög temperatur att denna smälter eller avger så pass kraftig värmestrålning att den antänder komponenter på den kalla sidan av motorn, till exempel bränslesystemet.

Innan brand uppstår till följd av överhettning av förvärmaren kan en onormal temperaturökning av den luft som passerar värmaren och även en ökad temperatur i motorrummet upptäckas. När brand uppstår kommer sannolikt partikelhalten i motorrummet öka då omgivande material som till exempel täcker kablage till stor del består av plaster.

Även i detta fall kommer brand initialt detekteras i luftkanalen och därefter, när höljet till denna gått sönder eller komponenter i kontakt med förvärmaren nått tillräckligt hög temperatur, kan brand detekteras i motorrummet.

### 3.2.3 Brand till följd av oljeläckage

Läckage av motorolja eller olja från turbon på den varma sidan av motorn kan leda till förångning av oljan, kraftig rökutveckling eller brand beroende på om tillräckligt mycket olja från läckaget kommer i kontakt med en tillräckligt varm yta. Det har visat sig att det inte behövs särskilt stora mängder olja för att kraftig rökutveckling ska ske (referens Hannele Nurmi).

Vissa delar av motorns ytor kan nå temperaturer upp emot 600°C. Råolja självantänder när det når 155°C och diesel mellan 103 och 200°C. Det är därför sannolikt att en brand lätt kan uppstå vid läckage av bränsle eller den olja som smörjer eller kyler motorns delar.

Då även mycket små mängder olja på en varm yta ger kraftig rökutveckling kan en ett litet läckage upptäckas relativt tidigt om partikelhalten kan analyseras tillräckligt noga. Eftersom även värme utvecklas vid förbränning av oljorna kommer sannolikt temperaturen i motorrummet öka.

Detta scenario kan detekteras i motorrummet under hela dess förlopp.

## 3.3 Allmänt om brandgasinnehåll vid bilbränder

Vid SP i Borås har experiment gjorts på en personbil där brand startades i motorrummet och i kupén.

Tester gjordes även vid förbränning av kablaget i bilens motorrum där förhållandevis stora mängder HCl (340 - 390 g per kg förbränt material) uppmättes i brandgaserna (Blomqvist, Lönnermark 2005).

Allmänt gäller även att fullständig förbränning av bränslet sällan uppnås vid brand, cirka 30 procent av den energi som finns lagrad i bränslet frigörs inte (Tewarson 2002). Den energi som fattas finns då fortfarande bunden i intakta bränslemolekyler eller delar av eller kombinationer av de samma (enklare kolväten om bränslet är organiskt).





# Kapitel 4

## Detektion av brand

Alla typer av bränder kan detekteras med hjälp av de olika fysikaliska fenomen som uppträder vid brand. De fenomen som används för detektering av bränder är:

- Temperaturförändring (värme)
- Ljus (elektromagnetisk strålning)
- Partiklar (aerosoler)
- Brandgaser (kemisk)
- Mekaniska förändringar

### 4.1 Temperaturförändring

Vid brand frigörs stora mängder energi vilken till viss del tas upp som värme av brandgaserna och den omgivande luften. Beroende på mängden luftrörelser och diffusion kan temperaturförändringar i luften upptäckas på olika avstånd från branden.

Värmedetektorer är oftast konstruerade för att detektera brand på ett av tre olika sätt: maximalvärmedetektor, differentialvärmedetektor samt en kombination av de båda.

En maximalvärmedetektor är konstruerad att lösa ut vid en fastställd maximaltemperatur oavsett uppvärmningshastigheten. Den fastställda maximaltemperaturen är vanligen någonstans mellan 50°C och 120°C.

Differentialvärmedetektorer mäter den hastighet med vilken temperaturen i detektorn förändras och löser ut när uppvärmningshastigheten överstiger ett visst värde, till exempel om temperaturen ökar mer än 5°C per minut. På så sätt kan därför detektionstiden bli kortare vid användning av differentialvärmedetektor än vid användning av maximalvärmedetektor.

Ett problem med differentialvärmedetektorer är om brandens uppvärmning av detektorn sker långsammare än den hastighet vid vilket detektorn löser ut. Därför är det fördelaktigt att kombinera differentialvärmedetektorn med en maximalvärmedetektor eller maximalvärmefunktion i samma detektor och på så vis undvika detta problem.

Det finns i allmänhet två typer av värmedetektorer: punktvärmedetektor och linjevärmedetektor.

### **Punktvärmedetektor**

En punktvärmedetektor är, som namnet antyder, konstruerad för att detektera värmeförändringar i en punkt och består oftast av ett eller flera känselement. En vanlig missuppfattning är att känselementen alltid känner av den omgivande luftens, eller brandgasernas, temperatur. Beroende på att känselementen inte omedelbart kan anta omgivningens temperatur då denna förändras, på grund av termisk tröghet i känselementet och den värmeledning som sker från känselementet in i de komponenter som detta är i kontakt med, tar det en viss tid innan temperaturändringen i omgivningen kan registreras i detektorn.

Även strålningsutbytet mellan brandgaserna, eller luften, och känselementet påverkar dess temperatur. Detta beror bland annat på dess area och volym.

Denna störkälla kan undvikas på i huvudsak två sätt:

- Ett känselement med mindre area tar emot och sänder ut mindre strålning och har mindre massa som behöver värmas upp vilket gör att dess temperatur till större delen beror på den konduktiva värmeöverföringen.
- Känselementet avskärmas från en känd strålkälla, till exempel med en plåt eller dylikt, och därmed ökar den konduktiva värmeöverföringens andel av värmeutbytet.

Den signal som kan fås från en punktvärmedetektor beror på detektorns

konstruktion, ett termoelement eller resistanstermometer (Pt100)/termistor ger till exempel en kontinuerlig signal som även förändras kontinuerligt med temperaturen. I allmänhet ger sådana sensorer en mätosäkerhet runt 1°C. (Holmstedt 2009)

Bimetaller eller smältbleck kan däremot oftast endast ange när detektorn överstigit en viss temperatur, signalen är därmed binär.

### **Linjevärmedetektor**

Linjevärmedetektorer detekterar värme längs en sträcka istället för i en punkt. Denna typ av detektor kan bestå av installationer där tryck i rör, resistans i kablar eller ljusbrytande egenskaper i fiberoptiska kablar förändras när de värms upp och gör att detektorn larmar. En begränsning är dock att linjevärmedetektorer nästan bara finns som maximalvärmedetektor där en viss temperatur måste nås för att detektion ska ske. Resonemanget om värmetröghet och strålning för punktvärmedetektorn gäller även linjevärmedetektorn.

## **4.2 Ljus**

Vid en brand sänds elektromagnetisk strålning ut från de heta brandgaserna och flammorna, strålningens våglängd beror på bränslets sammansättning. Så länge de heta brandgaserna eller flammorna är direkt synliga för detektorn kan denna strålning kan detekteras med hjälp av flamdetektorer. För att förhindra onödiga larm vid normal strålning inom det synliga våglängderna är flamdetektorerna inställda att detektera strålning antingen inom de ultraviolettera (UV), infraröda (IR) våglängderna eller båda.

### **UV-detektor**

En UV-detektor är konstruerad för att detektera UV-strålning som en brand strålar ut. UV-detektorn används för att detektera flambränder. På grund av dess känslighet är detektorn mycket snabb med att detektera bränder, nackdelen är att detektorn är också känslig för svetsning, blixtar och röntgenstrålning.

## IR-detektor

Det finns två olika varianter av IR-detektorer, singelfrekvens-IR-detektorer samt Dubbelfrekvens-IR-detektorer. Singelfrekvensdetektorn detekterar strålningar från ett smalt våglängdsområde som exempelvis fältet mellan 4,2 och 4,7  $\mu\text{m}$ . Kol-väte-bränder strålar inom detta området. Infrarött ljus kan hittas lite överallt i naturen men inte i kombination med blinkande eller flackande rörelser som är typisk för brand. Detta i kombination med att solens och naturens IR-strålning är utanför detektorns våglängdsområde gör att detektorn är mindre känslig för onödiga larm. Detektorn är också okänslig för solljus, reflexer och svetsning.

Dubbelfrekvensdetektorn detekterar inom två områden i IR-spektrat. Det finns två versioner av dubbelfrekvensdetektorer. Antingen där detektorn måste känna av strålning från båda områden i IR-spektrat för att utlösa larm eller att ena halvan detekterar brand och andra halvan är för att minska onödiga larm.

## UV/IR-detektor

Kombinationsdetektorer är konstruerade så att både en UV- och IR-strålning ska detekteras för att detektorn ska utlösas.

Kombinationsdetektorer är okänsliga för svetsning och elektrostatiska ljusbågar men detekterar bara bränder där CO<sub>2</sub> bildas.

## 4.3 Partiklar

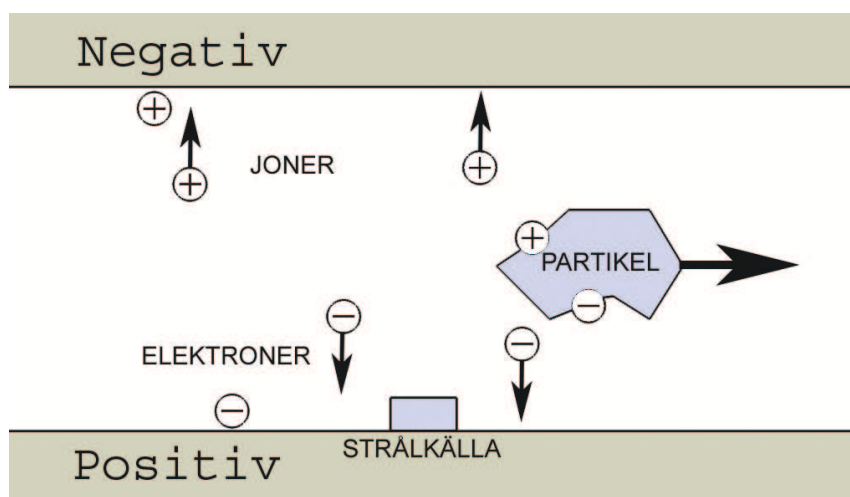
På grund av att de kemiska reaktioner som sker vid brand inte alltid är fullständiga, så kallad ofullständig förbränning, produceras sotpartiklar vid förbränningen. Dessa sotpartiklar består av koagulerade polyaromatiska kolväten och absorberar synligt ljus mycket väl.

Den vanligaste installationen för att upptäcka brand är idag rökdetektorer. Det finns ett antal olika typer av rökdetektorer:

- Joniserande punktrökdetektor
- Optisk punktrökdetektor (ljusspridningsdetektor)
- Optisk linjerökdetektor

## Joniserande punktrökdetektor

En joniserande rökdetektor innehåller en liten bit radioaktivt ämne som joniserar den inkommande luften och skapar positiva joner och negativa elektroner. Detektorn innehåller också en krets med två metallplattor, över vilka det ligger en spänning, som gör att jonerna samt de fria elektronerna kommer att vandra mot sina respektive motpoler. Detta skapar en svag ström genom kretsen. Strömmen försvagas då aerosoler passerar jonkammaren och tar med sig en del av jonerna och de fria elektronerna. Denna försvagning av ström mäts och när larmnivån nås, aktiveras detektorn.



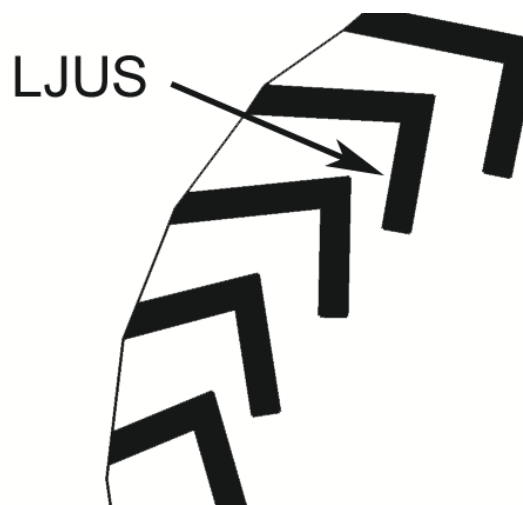
Figur 4.1: Principen för en joniserande punktrökdetektor

Den joniserande rökdetektorn används mest som brandvarnare i hemmet. På grund av de strikta krav som ställs på tillverkare gällande återvinning av radioaktiva ämnen har användning av joniserande rökdetektorer minskat.

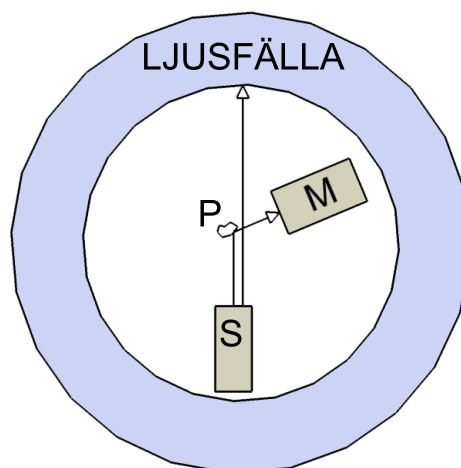
Detektorn detekterar mer effektivt brandgaser med små partiklar (även osynliga) som bildas vid flammande brand i exempelvis trä eller papper. Däremot är detektorn mindre effektiv när det gäller rök med större partiklar som bildas vid exempelvis glödbränder. Detektorn kan även ge onödiga larm om den utsätts för luftströmmar med vindhastigheter högre än 5 m/s, doftspray och hög luftfuktighet. På grund av att detektorerna blir mer eller mindre känsliga vid nedsmutsning är kontinuerligt underhåll viktigt.

## Optisk punktrökdetektor (ljusspridningsdetektor)

En optisk ljusspridningsdetektor använder sig av reflektion och ljusspridning för att detektera brand. Detektorn innehåller ljussändare, ljusmottagare samt ljusfälla. I normala fall, sänder ljussändaren en pulserande ljusstråle som upptas av ljusfällan. När rökpartiklar tränger in i detektorn reflekteras en viss del av ljusstrålen och träffar ljusmottagaren som sitter i vinkel till den normala strålvägen. Vid en bestämd nivå av reflektion aktiveras detektorns larm.



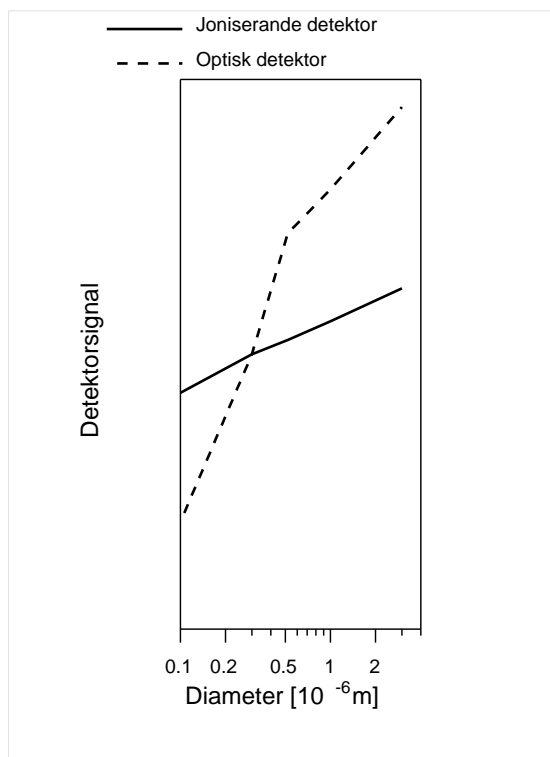
Figur 4.2: Ljusfälla



Figur 4.3: Optisk detektor där S är sändare, M mottagare och P är en partikel

Denna detektortyp är till skillnad mot den joniserande punktrökdetektorn mer känslig för stora partiklar som kan reflektera mer ljus än små partiklar som reflekterar mindre ljus.

Skillnaden i känslighet beroende på partikelstorlek mellan joniserande och optisk kan ses i figur 4.4. Den joniserande detektorn reagerar på partikelstorlekar mellan 0,04 och 1  $\mu\text{m}$ , den optiska detektorn 0,15 och 1  $\mu\text{m}$ .



Figur 4.4: Detektionskänslighet

På grund av att rökdetektorer vanligen används i inomhusmiljö med relativt låga temperaturer kan problem uppstå då temperaturen blir hög om inte detektorn särskilt anpassats för detta användningsområde.

### Optisk linjerökdetektor

Den optiska linjerökdetektorn fungerar enligt nästan samma principer som den optiska punktrökdetektorn. Skillnaden ligger i detta fall i att ljussändaren, som sänder ut ljus utanför det synliga spektrat, sänder ljuset

i fria luften mot en mottagare som mäter den infallande ljusintensiteten. När tillräckligt mycket av ljuset som normalt registreras av mottagaren blockeras av brandgaser aktiveras detektorns larm. Avståndet mellan sändare och mottagare är normalt mellan 10 och 100 m för detektion i byggnader samt mellan 0,3 och 0,5 m för ventilationsanläggningar (Holmstedt, Nilsson 2006).

## 4.4 Brandgaser

Eftersom den normala kemiska sammansättningen i luften är känd kan avvikelser från denna upptäckas med rätt sorts utrustning. Vid brand bildas oftast större mängder CO, CO<sub>2</sub> och/eller oförbrända kolväten beroende på bränslets kemiska sammansättning och brandens syretillgång.

Gemensamt för partiklar och brandgaser är att de förutom i punkter även kan detekteras i ett samplande system. Detta innebär i korthet att luftprover från en större lokal eller luftvolym kontinuerligt samlas in och skickas till en detektor, detta kan då vara en optisk eller joniserande rökdetektor eller en elektrokemisk detektor.

### Elektrokemisk detektor

Den vanligaste typen av detektor för att analysera den kemiska sammansättningen i luften och därmed upptäcka förhöjda koncentrationer av ämnen associerade med brand är så kallade elektrokemiska gasdetektorer (Holmstedt, Nilsson 2006). Detektorn består rent allmänt av en elektrolyt i vilken en kemisk reaktion sker när denna kommer i kontakt med ett specificerat ämne, till exempel oförbrända kolväten, denna reaktion skapar en ström mellan två elektroder i elektrolyten. Vid gynnsamma förhållanden kan detektion ske med några ppm exakthet.

Då partiklar måste komma i kontakt med elektrolyten för att möjliggöra detektion blir detektorn lätt nedsmutsad med förändrad känslighet som följd. Vid riktigt höga koncentrationer finns risk att detektorn blir förgiftad och kan då till exempel stanna på ett värde. Hänsyn till temperaturen på gaserna som analyseras måste också tas, en kommersiell handhållen elektrokemisk detektor opererar normalt i temperaturer upp till 50°C.

Eftersom beståndsdelarna i detektorn kontinuerligt förbrukas är kontroll, underhåll samt kalibrering av denna mycket viktigt.



## Katalytisk detektor

Katalytisk förbränning fungerar så att reaktionen mellan en brännbar gas och luft underlättas med hjälp av ett annat ämne, en katalysator. Luft-gas-blandningen leds in i en spole, i detta fall klädd med platinium. Blandningen reagerar och värmer upp spolen olika mycket beroende på koncentrationen brännbara gaser. Spolens resistans, som är mätbar, förändras med temperaturen och denna förändring används för att bestämma koncentrationen av de brännbara gaserna. För att inte normala temperaturfluktuationer skall påverka mätresultatet används två spolar varav en är referens och skyddad från omgivningen så att ingen reaktion sker i denna. Skillnaden mellan spolarna utgör därmed grunden för mätresultatet. Som referens för beräkning av gaskoncentration ur temperaturhöjningen används oftast metan ( $\text{CH}_4$ ) då detta är det enklaste kolvätaet och ger mycket energi vid förbränning.

En nackdel med denna typ av detektor är att den endast kan mäta förekomsten av brännbara gaser i luften. Vid ogynnsamma förhållanden kan en brand i motorrummet ske så pass nära stökiometriska blandningsförhållanden eller i sådant överskott av syre att några brännbara gaser inte lämnar det område där förbränningen sker. Detta skulle då göra att detektorn inte upptäcker branden. (Bjärö 2008)

## Halvledardetektor

En annan metod att analysera luftens gasinnehåll är att använda halvledare vilkas elektroniska egenskaper är beroende av koncentrationen av till exempel vissa ämnen i omgivningen. En sådan detektor kan upptäcka mycket små förändringar i gaskoncentrationer och är relativt billig, många används i till exempel mätutrustning för att upptäcka förhöjda gaskoncentrationer i dragskåp. Oftast krävs en oxiderande eller reducerande gas för att förändra de elektriska egenskaperna på detektorns yta, därför måste även brandgaserna ha sådana egenskaper för att aktivera en halvledardetektor.

Tyvärr kan denna detektortyp somna in och/eller bli känslig för andra ämnen om den under tillräckligt lång tid inte utsätts för den gas den är ämnad att detektera. Ett exempel är fast monterade ammoniakdetektorer som efter lång tid utan kontakt med ammoniak kan aktiveras av svetsningsarbeten. (Bjärö 2008)

## 4.5 Mekaniska förändringar

### Ljudvågor

När ett material, som till exempel trä, brinner frigörs energi som strålning vilken värmer upp materialet, i allmänhet mest närmast branden. När materialet värms upp uppstår spänningar i detta på grund av skillnader i temperaturutvidgning, utvidgningsriktning eller temperatur. När spänningarna i materialet släpper, materialet sätter sig, uppstår vibrationer (ljud) i detta vilket kan mätas. Svårigheten ligger i att identifiera den eller de frekvenser som är speciella för brand i materialet i fråga.

### Andra mekaniska förändringar

En lösning som används vid installationer i motorrum på bussar är en trycksatt plastslang. När denna förbränns/smälter och tappar trycket registreras detta av en tryckkänslig sensor.

# Kapitel 5

## Detektion av brand med hänsyn tagen till detektormiljön

Möjligheten att detektera en brand på ett tillfredställande sätt beror på det bakgrundsbrus som brandsignaturerna från branden måste överstiga, den miljö som detektorn är anpassad för och miljön den vistas i, möjligheten till felaktiga larm samt placeringen av detektorn.

### 5.1 Detektion med befintligt sensorsystem

I lastbilen FH16s motorrum finns ett omfattande elektroniskt system för styrning av motorn. Detta innefattar ett antal sensorer för mätning av tryck, temperatur, hastighet med mera. För att upptäcka de brandsignaturer som är förknippade med brandscenerierna i 3.1 finns det två temperatursensorer som kan vara användbara. Möjligheterna att detektera brand med lastbilens befintliga sensorsystem begränsas därmed till temperaturförändringar.

- I röret för inkommande luft, precis efter luftfiltret, finns en kombinerad sensor för mätning av den inkommande luftens temperatur och fuktighet. Idag används dock endast denna sensor för mätning av luftens fuktighet på grund av att temperaturmätarens precision är för låg för att användas i motorns styrsystem.

- Innan luften antrar cylindrarna finns en temperatursensor för styrning av förvärmningen av den inkommande luften.

De båda sensorerna är relativt väl skyddade mot uppvärmning från luften som cirkulerar i motorrummet och värmepåverkan sker till största delen via den inkommande luften, vilket också är syftet med deras placering.

Det borde alltså vara möjligt att upptäcka en förhöjd temperatur i luftfiltret samt i förvärmaren. Den tid det tar innan sensorernas temperatur ökat så att detta är mätbart beror på hur snabbt luftens temperatur ökar, luftens hastighet och den termiska trögheten (RTI) hos sensorn samt dess placering.

RTI för de båda sensorerna bestäms genom att de placeras i en luftström där hastighet och temperatur är kända och konstanta. Vid bestämning av RTI för sprinklerbulber mäts tiden till att sprinklerbulbens aktiveringstemperatur uppnås, då bulben går sönder, och RTI bestäms genom följande formel.

$$T_d = \frac{T_g - T_0}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{R \cdot t \cdot v^{1/2}}{RTI}}) + T_0$$

där

$$R = 1 + \frac{C \cdot RTI}{m \cdot C_p \cdot v^{1/2}}$$

där  $T_d$  är detektorns temperatur,  $T_g$  är gastemperaturen,  $T_0$  är detektorns starttemperatur,  $t$  är tiden,  $v$  är gashastigheten,  $RTI$  är detektorns termiska tröghet,  $C$  är den faktor med vilken värme leds från detektorn till dess infästning,  $m$  är detektorns massa och  $C_p$  är detektorns specifika värmekapacitet.

Den aktuella geometrin runt sensorerna spelar sannolikt en stor roll för flödet av luft kring dem och på grund av värmeledning genom temperatursensorernas infästning måste även den installeras i testanläggningen för bestämning av RTI.

Det finns sannolikt en möjlighet att detektera brand i luftfiltret och i förvärmaren. Mätningar måste dock göras av sensorernas egenskaper samt miljön de vistas i för att med säkerhet kunna förutsäga när detektion av brand är möjlig.

### 5.1.1 Detekterbar effekt vid brand i luftfilter

Nedan beräknas den energi som teoretiskt krävs för att höja lufttemperaturen i inluftkanalen en °C. Därmed kan en uppfattning fås av vilka effektutvecklingar som är möjliga att detektera. För dessa beräkningar görs följande antaganden:

- Brandgaserna som produceras vid sådan förbränning sprids jämt i ett tvärsnitt av inluftkanalen.
- Värmeutbyte sker endast mellan brandgaserna och luften i inluftkanalen, ej till fasta ytor.
- Den inkommande luften håller en temperatur på cirka 20°C.

Lufthastigheten i röret mellan luftfilter och motor uppgår till ca 11 m/s. En rördiameter på cirka 0,12 m ger då ett luftflöde på 0,15 kg/s vid 20°C. En brand kan utveckla cirka 13,1 MJ/kg syre som tillförs branden. Luft består av cirka 21 procent syre, vilket innebär att en maximal effekt om cirka 400 kW kan underhållas av detta luftflöde.

För att värma massflödet 1°C krävs en effekt  $\dot{Q}$  motsvarande:

$$\dot{Q} = 1K \cdot 0,15kg/s \cdot 1050Jkg^{-1}K^{-1} = 0,157kJ/s = 0,157kW = 157W$$

En temperaturökning på 100°C kräver:

$$\dot{Q} = 100K \cdot 0,15kg/s \cdot 1050Jkg^{-1}K^{-1} = 15,7kJ/s = 15,7kW$$

Det krävs således relativt liten effekt för att höja lufttemperaturen i inluftkanalen med en °C vilket gör att förutsättningar finns för en snabb temperaturdetektion i detta utrymme.

Något som dock är problematiskt är att en detektors infästning i inluftröret sannolikt påverkas av den temperatur som luften i motorrummet har. Därmed kan detektorn ha en högre temperatur än luften i röret. Vissa temperaturförändringar kan därmed undgå upptäkt eftersom detektorn endast registrerar en mycket liten temperaturförändring beroende på hur mycket en temperaturförändring i luften i inluftkanalen påverkar kylning av detektorn.

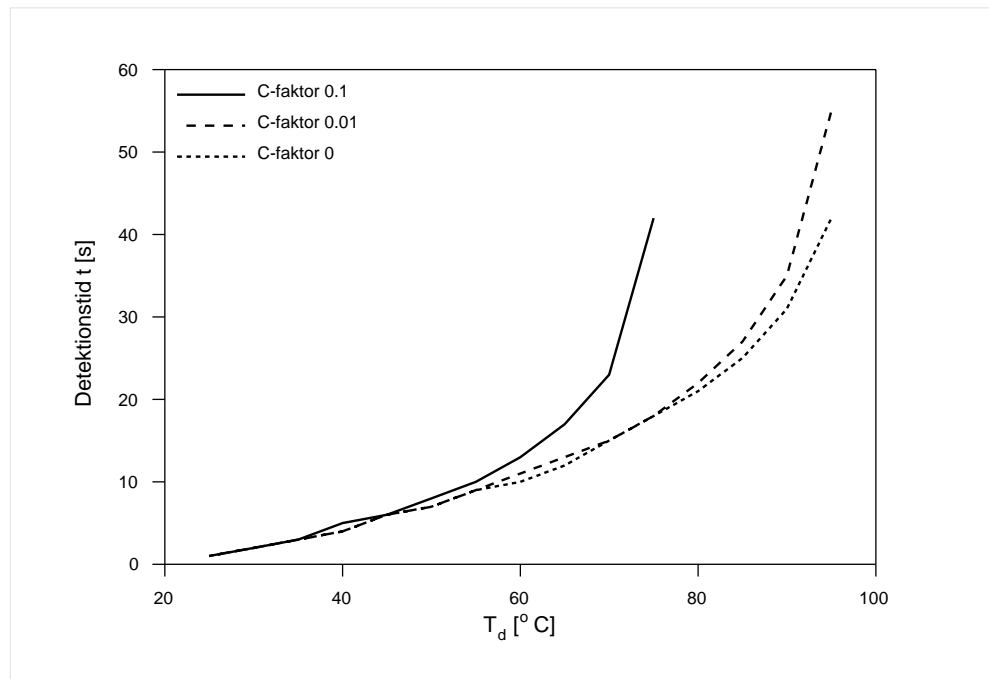
### 5.1.2 Aktiveringstid vid brand i luftfilter

Aktiveringstiden för den temperaturmätare som sitter i röret kan beräknas genom att använda lösa ut tiden  $t$  ur formeln för RTI som beskrivs tidigare i rapporten.

$$t = \ln\left(1 - \frac{(T_d - T_0) \cdot R}{T_g - T_0}\right) \cdot -\frac{RTI}{R \cdot v^{1/2}}$$

Om  $C$  antas vara lika med 0 fås  $R = 1$ . Formeln visar därmed att  $t$  är linjärt proportionellt mot RTI, det vill säga att  $t = k \cdot RTI$  där  $k$  beror på de andra storheterna i formeln.

Nedan har aktiveringstider  $t$  för olika detektionstemperaturer  $T_d$  beräknats, beräkningarna förutsätter en momentan temperaturhöjning från en utomhustemperatur på  $20^\circ\text{C}$  till  $100^\circ\text{C}$  samt att luftens hastighet är  $11\text{ m/s}$ . Beräkningarna har utförts med RTI satt till  $50\text{ (ms)}^{1/2}$ , vilket beträffande sprinkler ofta betraktas som en snabbutlösande sprinkler. Tre olika värden på  $C$  har använts; 0, 0,01 samt 0,1. Detektorn har antagits vara av stål med volymen  $1\text{ cm}^3$ .



Figur 5.1: Förändring av detektionstiden  $t$  vid förändring av  $T_d$  samt  $C$ -faktor

Som framgår av formeln samt figuren ovan har  $t$  ett naturligt logaritmiskt förhållande till  $T_d$  då gastemperaturen är konstant.

För att beräkning av detektionstiden skall bli korrekt måste tester av RTI och C-faktor göras på temperatursensorn i den installerade konfigurationen. Detta innebär att andra faktorer som påverkar, till exempel hinder som ändrar luftflödet över sensorn eller värmeledning genom dess infästning, tid till detektion. Området sensorerna klarar av att detektera temperaturförändringar i samt hur dess signal då förändras måste även klarläggas för att slutsatser skall kunna dras om dess lämplighet för branddetektion.

## 5.2 Detektion med andra sensorer

För branddetektion i ett motorrum är detektortyper som kräver stora avstånd, stora luftvolymmer eller måste kunna se flammorna direkt olämpliga då det fria utrymmet är begränsat vilket innebär att dessa typer av detektorer inte undersöks i avsnittet nedan. Det förutsätts även att motorn är igång om inget annat anges.

### 5.2.1 Temperatur

Det som talar för en temperaturberoende detektion är den snabba gashastigheten, åtminstone 10 - 15 m/s, i motorrummet. Då större gashastighet ger större konvektiv uppvärmning av detektorn blir tiden det tar att värma upp detektorn en grad C liten. Genom att använda ett termoelement med liten yta blir även den konvektiva värmeöverföringen till termoelementet större i förhållande till den värme som överförs som strålning. Därmed blir mätresultatet till större delen beroende av gastemperaturen än strålning från varma ytor. Ett termoelement eller en bimetall har även förhållandevis litet RTI på grund av den lilla massan vilket gör att en temperaturförändring upptäcks snabbt med sådana.

Något som däremot talar mot denna typ av lösning är den naturligt höga temperaturen i motorrummet vilket resulterar i att en detektor måste kunna upptäcka och tolka små temperaturförändringar, något som dock är svårare för bimetaller. Som tidigare beskrivits kan vissa ytor på den varma sidan nå temperaturer på uppemot 600°C utan att detta är onormalt. Vid brand i ett vanligt rum är detta ofta övertänt, det vill säga att allt

brännbart material deltar i förbränningen, vid temperaturer upp emot 600°C. Nu är det i och för sig endast ett fåtal ytor som når denna höga temperatur under längre tidsperioder men de ger ändå lokalt höga lufttemperaturer.

Ett sätt att komma runt detta problem är att använda sig av någon form av signalbehandling så att hänsyn tas till den spridning de dynamiska bakgrundsvärdena får i motorrummet. Signalbehandling är dock svårt att på ett avancerat sätt tillämpa vid användning av binära detektionssystem så som bimetaller eller smältbleck, signalbehandling diskuteras närmare i stycke 5.3.

Nedan beräknas den energi som teoretiskt krävs för att höja lufttemperaturen i motorrummet en grad. Därmed kan en uppfattning fås av vilka effektutvecklingar som är möjliga att detektera. För dessa beräkningar görs följande antaganden:

- den energi som frigörs vid förbränning av motorolja som cirkulerar i motorn motsvarar förbränning av samma mängd råolja
- brandgaserna som produceras vid sådan förbränning sprids jämt i hela motorrummets volym
- värmeutbyte sker endast mellan brandgaserna och luften i motorrummet, ej till fasta ytor
- luftflödet genom motorrummet är lika med luftflödet genom fläkten

I stycke 2.2.2 bestäms massflödet hos luften genom fläkten till cirka 5,65 kg/s.

För att värma upp detta massflöde 1°C krävs en förbränning som ger en effekt  $\dot{Q}$  enligt:

$$\dot{Q} = 1K \cdot 5,65kg/s \cdot 1050Jkg^{-1}K^{-1} = 5930J/s = 5,9kW$$

För att höja temperaturen 100°C krävs därmed en effekt på  $\dot{Q} \approx 0,6$  MW.

Total förbränning av råolja frigör 42 MJ/kg råolja. Allmänt vid bränder i kolväten, som till exempel råolja eller trä, frigörs inte all den bundna energin. En del av den icke frigjorda energin finns kvar i form av bränslepartiklar som, helt eller delvis, inte deltar i förbränningen eller ofullständig bildning av CO till CO<sub>2</sub> samt sot. Den effektiva mängden energi som frigörs approximeras allmänt till 60 procent av den energimängd



som frigörs vid total förbränning. En förbränningseffektivitet på 60 procent ger en effektiv förbränningsenergi på cirka 25 kJ/g råolja.

Effektutvecklingarna 5,9 kW (5,9 kJ/s) och 0,6 MW (600 kJ/s) motsvarar en råolfeförbränning av:

$$\dot{M} = 5,9 \text{ kJ s}^{-1} / 25 \text{ kJ g}^{-1} = 0,24 \text{ g/s}$$

$$\dot{M} = 600 \text{ kJ s}^{-1} / 25 \text{ kJ g}^{-1} = 24 \text{ g/s}$$

för en temperaturhöjning på 1 respektive 100°C i motorrummet.

Det luftflöde som går bakåt högst upp i motorrummet enligt figur 2.4 har den ungefärliga arean 0,15 m<sup>2</sup> och medelhastigheten 21 m/s vilket enligt tidigare resonemang resulterar i:

- ett luftflöde på cirka 3,6 kg/s
- en effektutveckling på cirka 3,8 kW krävs för att värma upp luftflödet 1°C
- uppvärmning av luftflödet 100°C kräver cirka 380 kW
- flöden på 0,2 respektive 15,6 g råolja s<sup>-1</sup> krävs för att värma upp luftflödet 1 respektive 100°C

Den stora luftmängd som flödar genom motorrummet gör att en, av förestående eller utbruten brand orsakad, lokal temperaturhöjning snabbt blandas ut på grund av turbulens i luftströmmen. Ett undantag är den luftström som går genom inluftkanalen från luftfiltret till förvärmaren och vidare in i motorn.

Yttemperaturen utanför motorrummet där luft från detta strömmar ut, vid till exempel påbyggnader på lastbilen, har varit så hög som 100°C. Detta talar för att medeltemperaturen i motorrummet sannolikt ligger på åtminstone denna nivå. Ett annat problem är dock att lufttemperaturen mest troligt fluktuerar då luftflödet också fluktuerar.

Detta gör att detektorn kan utsättas för snabba och kraftiga temperaturförändringar som är helt normala och gör det svårt att detektera de temperaturförändringar som beror på brand. Om temperaturen i motorrummet normalt ligger på 100°C kan temperaturen variera mellan denna temperatur och den normala utomhustemperaturen, exempelvis

20°C, då luft kommer in i motorrummet utan att först värmas upp av motorns kylare.

Ännu ett exempel är om en lastbil körs in från -30°C utomhus till ett garage med en temperatur på +20°C, detta kan då förändra temperaturen i motorrummet med 50°C på några sekunder. En sådan höjning av temperaturen i hela motorrummet motsvarar en brand på cirka 300 kW i detta, eller 190 kW för det bakåtriktade luftflödet högst upp i motorrummet.

Således krävs sannolikt en temperaturförändring på minst 100°C för att en sådan skall kunna urskiljas från de normala temperaturförändringarna, detta motsvaras av en brandeffekt på 400 till 600 kW.

## 5.2.2 Partiklar

Den logaritmiska minskning av ljusintensiteten per m,  $D_L$  (även kallad optisk densitet), som sker på grund av partikelinnehållet i luften beräknas ur antalet partiklar  $m^{-3}$   $N$  samt partikelarean  $A$ :

$$D_L = N \cdot A$$

Som nämnts i tidigare kapitel om motormiljön kan en partikelhalt (masskoncentration) på cirka 150  $\mu\text{g}$  partiklar  $m^{-3}$  luft förväntas. Vid förbränning av råolja ger detta cirka 0,049 – 0,068 g sotpartiklar per gram förbränd olja då brandens yta är liten, 0,08 m (Notarianni mfl). Används konstanten POD, Particulate Optical Density av Seader och Einhorn, för att jämföra de två fås att

$$D_{L,tunnel} = POD \cdot \text{masskoncentrationen} = 4,95 \cdot 10^{-3} m^{-1}$$

och

$$D_{L,tunnel} = 2,85 \cdot 10^{-3} m^{-1}$$

för flambrand ( $POD = 10 \cdot 7,6/\ln 10 \text{ m}^2/g = 33 \text{ m}^2/g$ ) respektive glödbland ( $POD = 10 \cdot 4,4/\ln 10 \text{ m}^2/g = 19 \text{ m}^2/g$ ).

Samt vid ett oljeläckage som motsvarar förbränning av 1 g råolja per  $m^3$  luft som passerar läckaget:

$$D_{L,olja} = 1,62 - 2,24m^{-1}$$

och

$$D_{L,olja} = 0,93 - 1,29m^{-1}$$

för flambrand respektive glödbrand.

För detektorer som följer standarden för optiska punktrökdetektorer SS-EN 54-7 (Holmstedt, Nilsson 2006) skall de reagera på en maximal optisk densitet beroende på vilket bränsle som de testas med. För flambrand i n-heptan gäller ett maximalt  $D_L = 0,21 - 0,29m^{-1}$ .

Vad gäller bakgrundsbruset för detektion av partiklar i motorrummet borde det inte vara några problem med onödiga larm så länge inga partiklar produceras i motorrummet, det vill säga att motorn inte själv släpper ut några partiklar över huvudtaget i motorrummet. Huruvida det produceras partiklar i motorrummet är dock inte klarlagt då mätningar av detta saknas.

Vid antagandet att tvärsnittsarean från ett oljeläckage fram till detektorn är  $0,25 m^2$  och lufthastigheten är  $25 m/s$  och att brandgaserna sprids jämt i tvärsnittet krävs ett oljeläckage motsvarande cirka  $0,04 - 0,10 g$  råolja/s för att en detektor som följer SS-EN 54-7 skall lösa ut.

Det krävs cirka  $0,04 - 0,09 g$  råolja/s för att aktivera samma sorts detektor under förutsättning att brandgaserna antas spridas jämt i hela motorrummets volym och luftmassflödet genom motorrummet är lika med massflödet genom fläkten. Vid  $100^\circ C$  blir luftvolymflödet genom motorrummet:

$$\frac{5,65kg/s}{0,946kgm^{-3}} = 5,97m^3/s$$

Oljeflöden på  $0,04$  och  $0,10 g$  råolja/s ger effekter på  $1,7 - 4,2 kW$  vid fullständig förbränning. Detta kan jämföras med en brinnande papperskorg som ger cirka  $10$  till  $100 kW$  (Särdqvist 1993)(Karlsson, Quintiere).

Således krävs det ett rätt litet oljeflöde för att aktivera en vanlig optisk punktrökdetektor under dessa förutsättningar. Då luftvolymen som

passerar motorrummet är stor och därmed har hög hastighet gör detta att detektortypen är olämplig att använda i motorrumsmiljön. Även den naturligt höga temperaturen kan utgöra ett problem vid användandet av sådana detektorer.

I likhet med detektion av temperaturförändringar gör den stora luftmängd som flödar genom motorrummet att en, av förestående eller utbruten brand orsakad, lokal ökning av partikeltätheten snabbt blandas ut på grund av turbulens i luftströmmen. Ett undantag är den luftström som går genom inluftkanalen från luftfiltret till förvärmaren och vidare in i motorn.

Flambrand på grund av oljeläckage föregås sannolikt av kraftig produktion av partiklar i likhet med en glödbrand. Detta innebär att en optiskpunktröddetektor vore bäst lämpad för detektion av en sådan brand.

### 5.2.3 Brandgaser

Då de kemiska sammansättningarna av materialen i motorrummet är kända kan den kemiska sammansättningen hos de brännbara gaserna samt brandgaserna till viss del förutsägas.

En elektrokemisk eller halvledardetektor skulle i sådana fall relativt snabbt kunna upptäcka förhöjda halter av till exempel klorföreningar eller koldioxid i den luft som passerar motorrummet. Problemet med en sådan lösning är dock att det krävs regelbundet underhåll av detektionssystemet för att säkerställa dess funktion. Temperaturen kan också bli ett problem om gaserna som analyseras inte kyls ned till ett sådant temperaturområde som inte skadar detektorn. Detektion av flera ämnen kan även kräva användning av flera olika elektrolyter, vilket ökar antalet detektorer samt de signaler som skall tolkas.

Som ofta varit fallet vid rapporterade bränder i motorrummet har det kraftiga luftflödet och dess utblandning av de brännbara gaserna minskat de brännbara gasernas koncentration till under den undre brännbarhetsgränsen samt kylt ner dem så att dess temperatur minskat kraftigt. När motorn stängts av har luftflödet in i motorrummet i princip upphört, vilket innebär att följande händer:

- de brännbara gaserna kyls inte längre ned
- koncentrationen brännbara gaser når brännbarhetsområdet

- motorns yttemperatur stiger och värmer upp de brännbara gaserna samt eventuellt bränsle ytterligare
- de brännbara gaserna antänds

En katalytisk detektor skulle sannolikt kunna upptäcka en förestående brand som producerar brännbara gaser i motorrummet. Det är däremot sannolikt svårare att upptäcka en redan utbruten brand då en stor del av de brännbara gaserna reagerar i ett överskott av syre om förbränningen sker då motorn är igång.

## 5.3 Signalbehandling

Genom signalbehandling bestäms när signalerna från detektorerna eller detektorn skall resultera i att detektionssystemet varnar för brand. Signalbehandlingen kan ske i varje detektor lokalt eller i en central styrenhet beroende på hur systemet är uppbyggt. Vid central behandling av signalerna kan detta utnyttjas genom att hela miljön i motorrummet utvärderas och därmed minska sannolikheten för onödiga larm.

Bäst resultat vid avancerad signalbehandling nås när den normala miljön är helt kartlagd. Då kan signalbehandlingen modifieras för att filtrera bort oönskade signaltoppar som beror på naturliga variationer i detektormiljön.

### 5.3.1 Larmlagring

När det är sannolikt att fler än en detektor upptäcker en brand innan för lång tid har förflutit kan styrenheten lagra den första detektorns larm och vänta tills även en andra detektor signalerar att den har upptäckt brand innan den skickar vidare larmet till larmcentralen (SOS Alarm, bevakningsföretag eller liknande). På detta sätt kan onödiga larm från tillfälliga störkällor så som stearinljus som släcks, duschrumsdörrar som öppnas och släpper ut ett ångmoln med mera undvikas.

En tänkbar tillämpning av denna metod i ett motorrum är att ett lokalt driftlarm ges till föraren vid första detektorns larm och att ett eventuellt släcksystem aktiveras då en andra detektor ger larm.

En annan liknande metod att behandla signaler från detektorer är att den centrala styrenheten, när den har fått ett larm från en detektor, lagrar larmet och väntar en halv minut eller så för att sedan kontrollera om

detektorn ännu ger larm. Gör den fortfarande det skickas larmet sedan vidare till larmcentralen.

Möjligen skulle även föraren vara den som aktiverar släcksystemet efter att en detektor givit larm, om larmet inte kvitteras inom en viss tid aktiveras släcksystemet. Detta kräver dock både att det finns en förare i närheten som kan aktivera detta samt att föraren har sådan kunskap så att han eller hon kan avgöra om larmet är felaktigt eller inte.

### **5.3.2 Analys av miljön utanför motorrummet**

Problematiken med att den yttre miljön påverkar miljön i motorrummet, till exempel så att detektorerna reagerar på en gammal traktor som ligger före lastbilen och genererar stora mängder sot eller andra kolväten, skulle kunna undvikas genom att systemet analyserar och kompenserar för den yttre miljöns påverkan på motorrumsmiljön. Genom att till exempel ta hänsyn till utomhustemperaturen kan onödiga larm vid passage från utomhusmiljö vintertid till inomhus undvikas.

### **5.3.3 Mönster**

Vid brand i motorrummet varierar signalen som en detektor tar upp på någorlunda samma sätt för ett visst antal brandscenarier. Genom att göra flera försök med de brandscenarier som är vanligast förekommande kan ett antal mönster för detektorns signal vid de brandscenarierna sparas i systemet. Sedan jämförs signalen från detektorn kontinuerligt med dessa mönster och ger larm när ett sådant upptäcks.

Även normala situationer som kan aktivera en detektors larmnivå i ett vanligt system kan spelas in och användas för att systemet inte skall ge larm när motorrummet genomgår normala förändringar då lastbilen kör in i ett varmt garage eller liknande.

### **5.3.4 Lärande system**

Ett lärande system är ett system som liknar ovanstående med skillnaden att här lär sig systemet hur det normala bakgrundsbruset ser ut. Det vill säga att detektorn identifierar när bakgrunden förändras på grund av att detektorerna med tiden blir nedsmutsade eller att något i motorrummet

förändras, till exempel variationer i årstider med mera, och justerar larmgränserna efter detta. En sådan metod kan till exempel vara att systemet varje timme sparar ett värde och sedan väger ihop de senaste sju dagarnas sparade värden till ett medelvärde och justerar larmgränserna i systemet efter detta värde (Skarander 1999).

### 5.3.5 Medel- och medianvärde

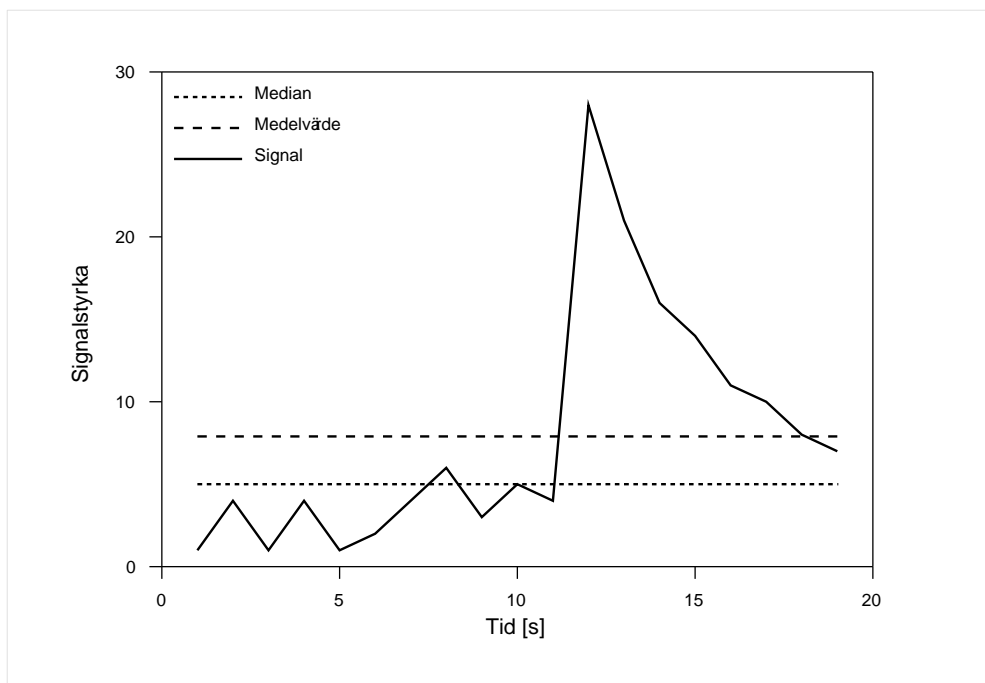
En annan typ av signalbehandling är att mätvärden från en detektor samlas till ett medelvärde under de senaste sekunderna eller minuterna. På så sätt märks en kraftig och plötslig förhöjning av signalen under 10 sekunder inte lika mycket som en stabilare ökande höjning av denna under flera minuter då medelvärdet höjs mer i det senare fallet.

För att minska systemets känslighet för plötsliga förändringar kan istället för medelvärdet av de senaste mätvärdena medianvärdet användas. Medianvärdet är mindre känsligt för enstaka värden som avviker från de resterande. Detta kan åskådliggöras i figur 5.2 nedan där medelvärdet för mätvärdena i grafen är 7,9 men medianvärdet är 5. Skälet till detta är att medianvärdet är det värde som ligger i mitten av alla mätvärden då dessa sorterats i storleksordning, därför märks inte enstaka mycket stora värden i samma utsträckning som medelvärdet vilket är en sammanvägning av alla mätvärden (Skarander 1999). Metoden med medianvärdet kan även användas i ett lärande system, som beskrivs ovan.

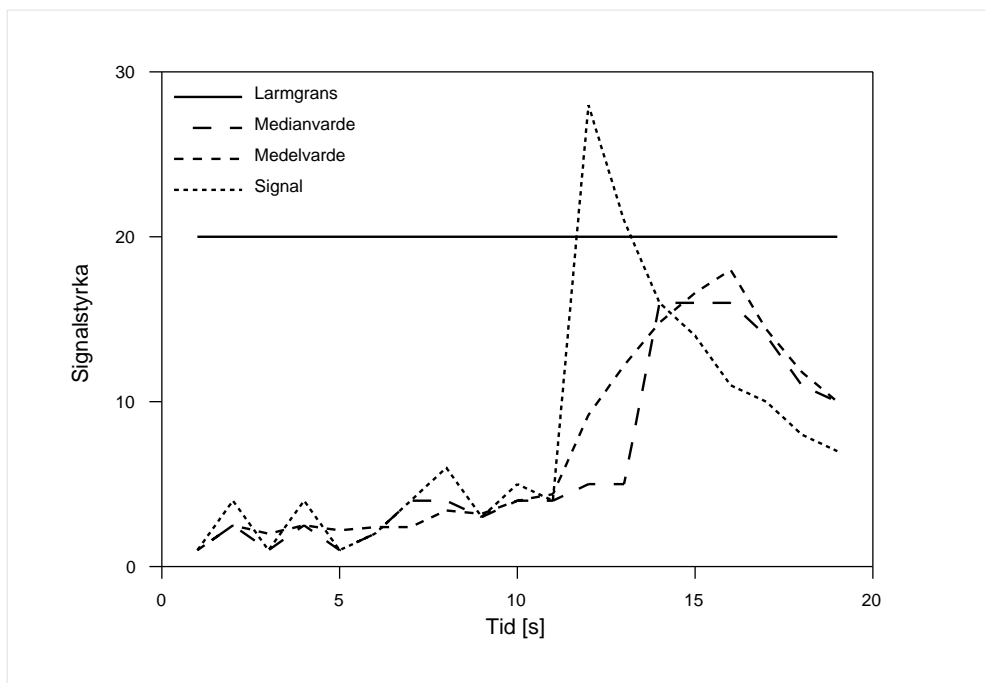
Nedan syns hur en hastighetsförändring av den verkliga signalen stiger över larmgränsen 20 samt hur medelvärde och median av de 5 senaste värdena inte gör det.

### 5.3.6 Stegvärde

Ytterligare ett sätt att minska känsligheten för plötsliga förändringar är att en signal eller dess medelvärde/median inte tillåts öka mer än ett bestämt värde under ett visst tidssteg. Så länge signalen eller medelvärdet/medianvärdet är högre än det stegade värdet ökar signalen, dock som mest med den bestämda ökningen. På så vis fördöjs ökningen av en signal något, vilket medför att kortvariga ökningar i signal inte hinner upp till larmgränsen (Skarander 1999). Detta åskådliggörs i figur 5.4 nedan där förändringen som begränsats till +1 per sekund möjliggör att larmgränsen sänks till 15. Samma resoneman gäller även i de fall



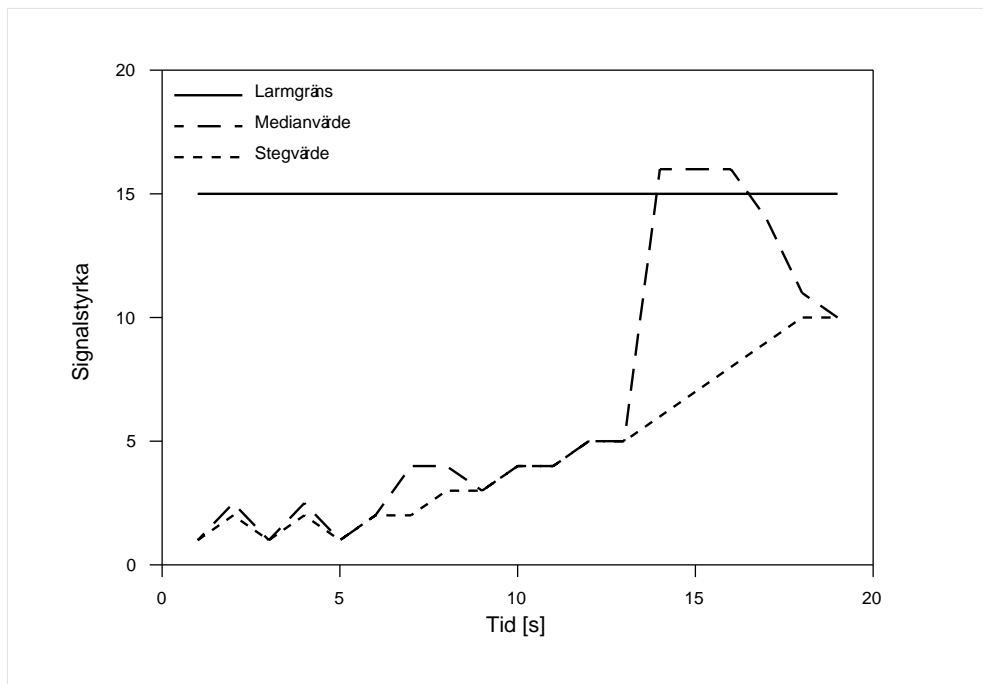
Figur 5.2: Medel- samt medianvärde av en signal



Figur 5.3: Medel- samt medianvärde av de fem senaste mätvärdena



signalökningen beror på brand vilket gör att tiden innan detektion sker blir längre om signalen ökar mer än det bestämda värdet.



Figur 5.4: Medianvärde av de fem senaste mätvärdena samt begränsad stegring av detta

### 5.3.7 Motorns gång

Beroende på hur motorns gång påverkas av de tre brandscenarierna skulle detta kunna upptäckas genom behandling av de signaler som motorns sensorer tar upp och den respons som styrsystemets påverkan av motorn får. Ett exempel på detta skulle kunna vara vid brand i luftfiltret då ett ökat luftflöde in i motorn inte ger en förväntad förändring av den kemiska sammansättningen i avgaserna eller liknande.

### 5.3.8 Multidetektor

När säkerhet råder om att temperaturförhöjning samt ökad täthet av partiklar sker på grund av en brand, kan ett så kallat tvådetektorberoende system användas. Detta innebär att en värme- och en rökdetektor placeras

på samma plats. Det krävs då att både rök- och värmedetektorn detekterat brand för att signalen skall gå vidare i systemet. Därmed undviks felaktiga larm på grund av naturligt förhöjda temperaturer utan ökad partikeltäthet, och tvärt om.

## 5.4 Detektionsplatser vid brand

De tre brandscenarier som diskuteras i stycke 3.1 upptäcks snabbast om detektionssystemet placeras så att signalernas koncentration är hög. Men tiden till dess att brand, eller förestående brand, detekteras beror även på den typ av detektor som används och miljön den vistas i, även det avstånd som signaler måste färdas påverkar den tiden.

Ofta kan signalernas koncentration minska med avståndet, detta gäller särskilt partiklar och värme, vilket innebär att en placering av en detektor nära en tänkbar startplats för brand kräver mindre kraftig signal ju närmre den är.

Genom att använda ett stort antal detektorer inom ett avgränsat område blir det fysiska avståndet mellan brand och detektor litet. Nackdelen med detta är att det krävs ett stort antal detektorer vilket även, beroende på vilken signalbehandling som används, resulterar i en stor mängd data som måste behandlas. Ett sätt att minska antalet detektorer är att de placeras där signaler från flera tänkbara bränder samlas. Ett exempel på detta är att rökdetektorer i lägenhetshus ofta placeras precis under taket i hallen. Eftersom denna vanligtvis har direkt anslutning till alla rum i lägenheten kan flera bränder detekteras, dock till priset av något längre tid till detektion då signalerna oftast måste lämna startrummet innan detektion sker.

Därför fodras en avvägning mellan kostnaden för systemet i form av antalet detektorer och den data dessa genererar, antalet möjliga bränder som kan detekteras samt tiden innan detektion kan göras. Resonemanget nedan begränsas till de tre tidigare diskuterade brandscenarierna och syftar till att fastställa ett minsta antal punkter i vilka dessa brandscenarier kan detekteras.

- Flera av de signaler, till exempel partiklar eller uppvärmd luft, som sänds ut av brandscenarierna följer med luftflödet i motorrummet. Då det dominerande luftflödet i motorrummet rör sig från fläkten och

bakåt är det därför sannolikt att signalerna från brandscenarierna som undersöks passerar någon punkt i den bakre delen av motorrummet.

- Ett luftflöde som uppför sig annorlunda är det som går från luftfiltret till motorn genom inluftkanalen. Signaler från en brand i luftfiltret kommer med största sannolikhet följa med luftflödet in i motorn, till en början även utan att påverka miljön i själva motorrummet.
- Signaler från bränder i motorrummets nedre del följer sannolikt inte samma generella mönster. Förutsatt att dess termiska stigkraft inte överstiger de krafter som gör att en del av luftflödet genom motorrummet lämnar detta via den nedre delen som är öppen mot marken.
- När motorn är avstängd förändras detektormiljön beroende på motorns temperatur enligt stycke 2.2.5. Detta gör att brandgaser som följer med luftflödet, eller stiger på grund av sin egna termiska stigkraft, även kan lämna motorrummet i dess främre del via kylaren.

Tiden det tar för signalerna att färdas från den längst bort belägna punkten i motorrummet till en detektor påverkas inte nämnvärt då motorn är igång och lufthastigheten därmed är relativt hög. Däremot kan signalernas täthet, det vill säga temperatur eller partikeltäthet, minska på grund av den turbulens som den kraftiga lufthastigheten och geometrin i motorrummet ger upphov till.



# Kapitel 6

## Slutsatser

Nedan presenteras de slutsatser som kan dras om vilket system som är lämpligast utifrån den information som finns tillgänglig idag:

- Den mest lämpliga detektorlösningen med tanke på underhåll av systemet vore i första hand det befintliga sensorsystemet i motorn. Detta är redan anpassat för miljön i motorrummet samt ingår i service och reservdelssystem. I andra hand förordas ett system för värmedetektion då detta kräver lite service och är relativt oömt för frekventa temperaturförändringar och nedsmutsning. Detta skulle exempelvis kunna vara ett system där sensorerna utgörs av termoelement som snabbt upptäcker temperaturförändringar.
- En mycket snabb detektion fås med ett system som kontinuerligt analyserar luftens kemiska sammansättning i motorrummet med hjälp av en elektrokemisk detektor. På så sätt kan brännbara gaser eller partiklar upptäckas innan brand bryter ut. Dock är detta olämpligt ur underhållssynpunkt då dessa instrument sannolikt snabbt blir nedsmutsade vilket resulterar i att systemet blir opålitligt eller i värsta fall slutar fungera. Även om systemet inte smutsas ned pågår en process som gör att detektorns kemiska beståndsdelar åldras och dess pålitlighet minskar.
- Ett minsta antal detektorer för att kunna detektera brandgaser från brandscenarierna är 5 stycken. Lämplig placering av dessa är på var sida om motorn i motorrummets nedre del samt i främre och bakre delen av motorrummets översta del. Därmed kan brandgaser upptäckas då dessa passerar ut ur motorrummet då motorn är igång och brandgaserna trycks ut bakåt och nedåt samt då den är avstängd

och brandgaserna även kan lämna motorrummet via kylaren. Den femte detektorn bör placeras i inluftkanalen då detta luftflöde inte kommer i kontakt med det övriga luftflödet i motorrummet. Här finns även en möjlighet att använda den befintliga temperatursensorn om den efter erforderliga undersökningar visar sig kunna användas för branddetektion.

- Bakgrundsbruset i detektormiljön är svårt att bestämma då luftflöden och temperaturer varierar kraftigt i motorrummet.
- För att utesluta larm på grund av de naturligt kraftiga variationerna i detektormiljön krävs ett okänsligt system som reagerar först när branden pågått en längre tid och brandsignaturerna är klart urskiljbara från bakgrundsbruset. Ett signalbehandlingssystem möjliggör användande av ett känsligare detektionssystem. Ett lärande signalbehandlingssystem kan bidra till detta genom att analysera och kompensera för naturliga variationer i detektormiljön och kan därmed utesluta sådana förändringar som inte beror på brand. Felaktiga larm på grund av plötsliga förändringar i signalen kan undvikas genom att analysera signalens median- eller medelvärde och justera larmgränser med mera efter detta. Genom att kombinera detta med igenkänning av de mönster som kan ses i detektorsignalerna vid brand i motorrummet kan detektion ske i ett mycket tidigt skede trots det höga bakgrundsbruset.
- Den minsta brandeffekt som kan upptäckas i motorrummet utan att misstas för en naturlig temperaturförändring, utan att signalerna från detektionssystemet behandlas, är cirka 400 kW i det gynnsammaste fallet. Vid brand i luftfiltret krävs för samma temperaturförändring en brandeffekt på cirka 10 kW.

# Kapitel 7

## Diskussion

För att ett detektionssystem skall fungera krävs att det är pålitligt, det vill säga att det inte ger onödiga larm när brand inte brutit ut samt ger larm så tidigt som möjligt vid brand så att lämpliga åtgärder kan vidtas. Om inga åtgärder kan vidtas är detektionen av brand i sig tämligen meningslös då brandens förlopp inte påverkas.

Information saknas bland annat om viktiga fysikaliska förhållanden i motorrummets detektormiljö under olika körbetingelser, detta gör att ett förslag till optimal detektionslösning i nuläget inte är tillräckligt väl underbyggt. Innan en sådan optimal lösning kan presenteras krävs omfattande datainsamling och analys av denna.

### 7.1 Föreslagna områden för vidare studier

Vad som krävs för att gå vidare i utformandet av en optimal lösning är bland annat:

- Insamlande av data kring motorrumsmiljön under olika körbetingelser gällande:
  - Lufttemperaturer
  - Partikelhalter
  - Partiklars storlek och kemiska sammansättning
  - Luftflödenas hastighet och riktning

Dessa mätningar bör utföras på flera platser i motorrummet samt i inluftkanalen och efter luftförvärmaren och på så sätt kartlägga detektormiljön i detalj. Körbetingelserna kan tänkas motsvara några av de mest förekommande situationer som uppstår, exempelvis landsvägskörning, vinter/sommar med flera.

- Den effekt som utvecklas vid brand i luftfilter bör fastställas samt temperaturhöjningen i inluftkanalen till följd av brand.
- Utöver detta måste de befintliga sensorer som kan tänkas ingå i ett detektionsystem analyseras avseende temperaturområde i vilket temperaturförändringar kan registreras, RTI och C-faktor samt hur sensorernas signal förändras med temperaturen.
- För att kunna detektera brand i ett tidigt skede, till och med innan brand bryter ut, krävs ett signalbehandlingssystem. Även ett sådant system kräver att den normala miljön i motorrummet, samt miljöns förändring vid brand, kartläggs för att fungera optimalt utan att ge onödiga larm.



# Kapitel 8

## Referenser

André, B. (2007). *Chassis dyno test with FH13 H393 Euro3 was performed in the VFL Gothenburg. Main target was inputs to AE calculation by performing cooling performande and air flow measurements. Engineering report ER-604111.* Göteborg: Volvo Lastvagnar.

Bjärö, R. (den 13 03 2008). *Föreläsning om mätinstrument för räddningstjänsten.* Revinge.

Blomqvist, P. Lönnermark, A. (2005). *Emissions from an automobile fire.* Borås: SP Swedish National Testing and Research Institute, Fire Technology Department.

Chan, C.K. Fang, M. Lau, N.T. Yao, X. (2006). *Size disrtibutions and condensation growth of submicronparticles in on road vehicle plumes in Hong Kong.* Atmospheric Environment 41 (2007) 3328-3338.

DeHart, C. (2004). *Engine cooling fan airflow measurement using radiator mounted anemometers on a complete vehicle in the VTNA-Greensboro chassis dyno with a P2287 VN and Cummins ISX engine. Engineering report ER-600166.* Volvo Lastvagnar.

Holmstedt, G. (2009). *Konversation.*

Holmstedt, G. Nilsson, D. (2006). *Kompendium i Aktiva system - Detektion.* Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola.

Laschober, C. Limbeck, A. Rendl, J. Puxbaum, H. (2004). *Particulate emissions from on-road vehicles in the Kaisermuhlen-tunnel (Vienna, Austria).* Atmospheric Environment 38 (2004) 2187-2195.

Lord, P. (2005). *Analysis of the results from five different tests performed in the chassis dynamometer VFL R4759 at Volvo Lundby, Gothenburg where the temperature was measured at several positions for different installations and different conditions. Engineering report ER-602553.* Göteborg: Volvo 3P.

Karlsson, B. Quintiere, J.G. (1999). *Enclosure Fire Dynamics.* CRC Press.

Pålsson, I. (den 30 10 2008). E-postkonversation.

Skarander, F. (1999). *Brandlarmsystemet EBL512 - undersökning av nya algoritmer till tredje generationens sensorer.* Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola.

Särdqvist S, (1993). *Initial Fires: RHR, Smoke Production and CO generation from single burning items and room fire tests, Report 3070.* Lund: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

Tewarson, A. (2002). *Chapter 4, Society of Fire Protection Engineers Handbook.* Quincy: National Fire Protection Association

## Figurförteckning

- 2.1 www.volvo.com, 2008 03
- 2.2 www.volvo.com, 2008 03
- 2.3 Jonas Eriksson
- 2.4 Jonas Eriksson
- 2.5 Volvo Lastvagnar, Lundby, Göteborg
- 3.1 Jonas Eriksson
- 3.2 www.volvo.com, 2008 03
- 3.3 www.volvo.com, 2008 03
- 3.4 Jonas Eriksson
- 4.1 Jonas Eriksson
- 4.2 Jonas Eriksson
- 4.3 Jonas Eriksson
- 4.4 Jonas Eriksson
- 5.1 Jonas Eriksson
- 5.2 Jonas Eriksson
- 5.3 Jonas Eriksson
- 5.4 Jonas Eriksson

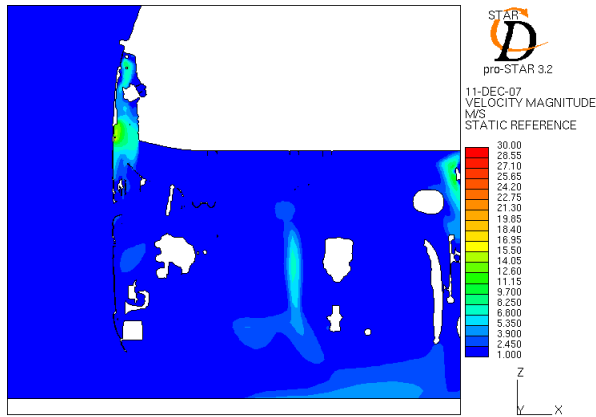
# Kapitel 9

## Bilagor

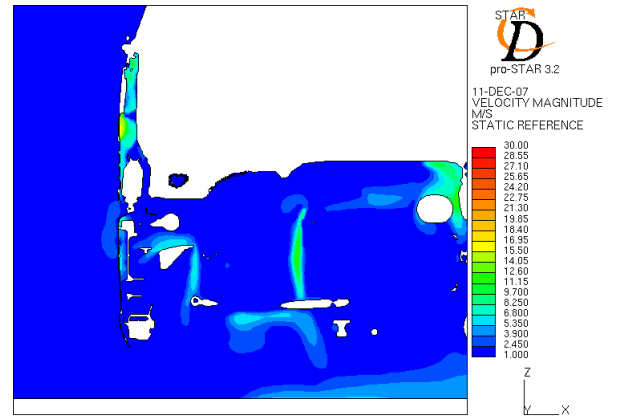
Om simuleringarna

Simuleringarna är utförda av Volvo AB i Göteborg. Simuleringarna har gjorts med ett CFD-program där programmet körts tills dess att lösningarna av de termodynamiska ekvationerna i programmet stabiliserats.

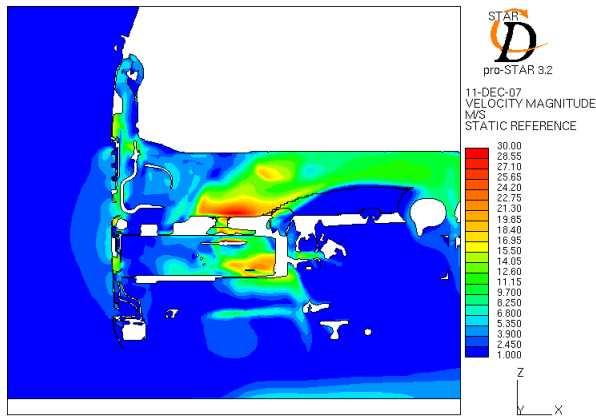
Bilderna beskriver lufthastigheter enligt en färgskala där olika färger representerar olika hastigheter. Alla bilder är genomskärningar av motorrummet sett från sidan och är tagna med 100 mm avstånd.



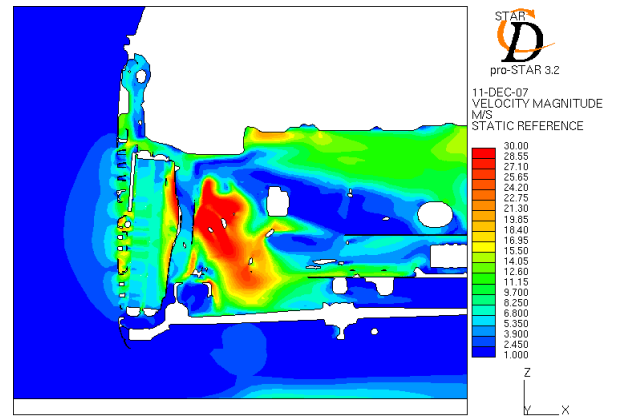
Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=-700



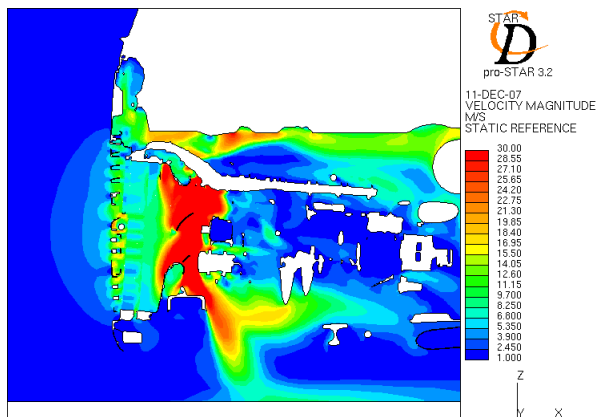
Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=-600



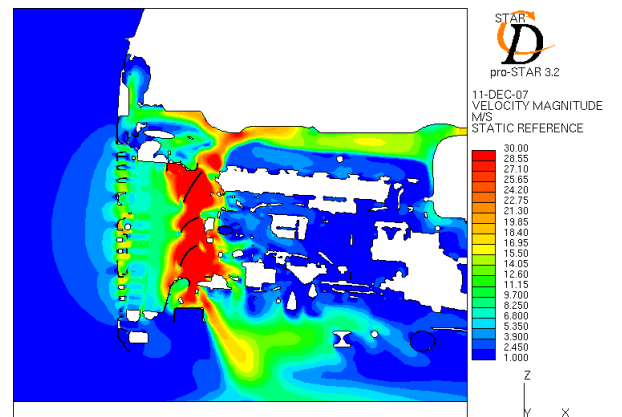
Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=-500



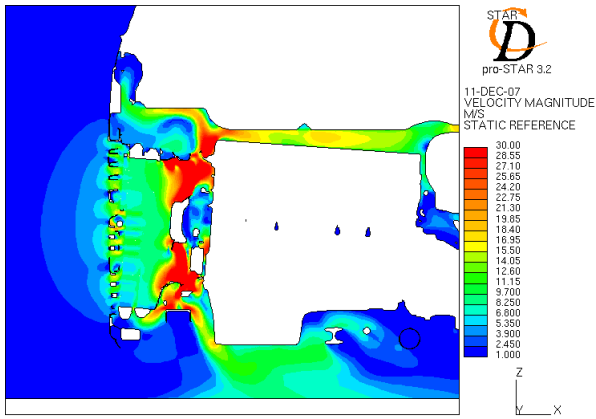
Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=-400



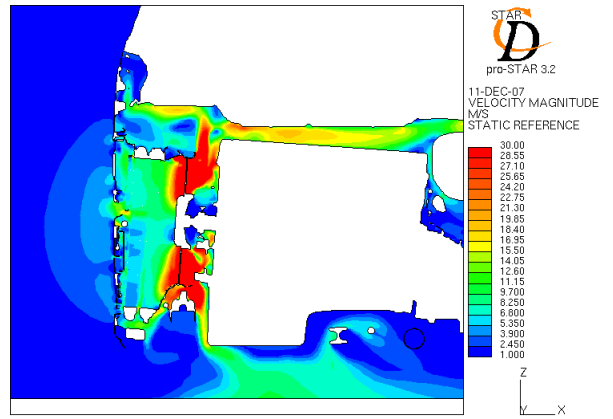
Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=-300



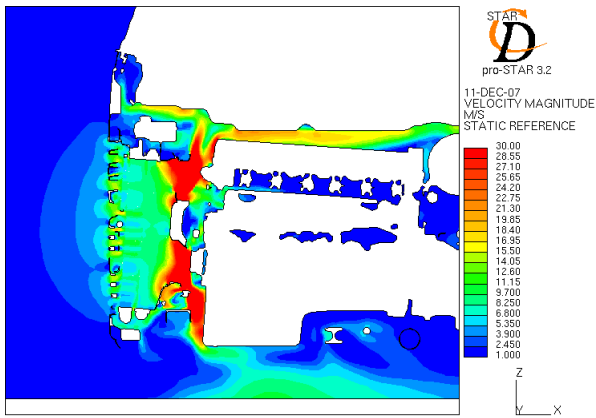
Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=-200



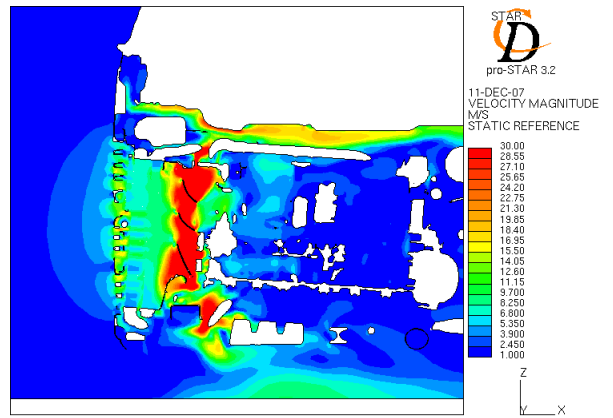
Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=-100



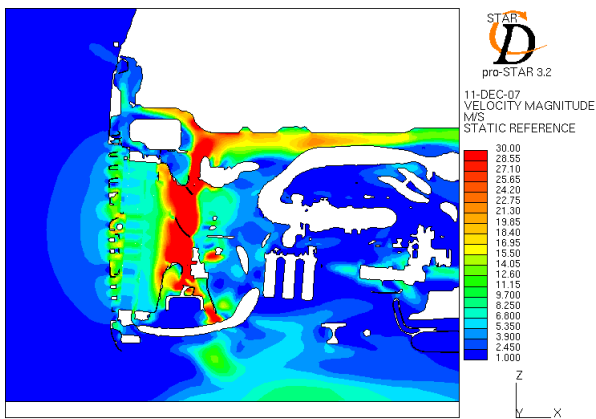
Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=0



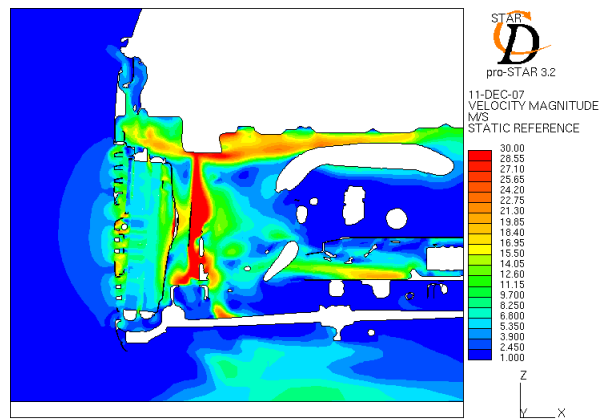
Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=100



Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=200



Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=300



Case FH16\_1kmh\_vmag  
section plot at y=400

