



Sammansättning och antändningsegenskaper hos bränsleångor i tankar innehållande E85

Henry Persson, Peter Bremer, Lars Rosell,
Karine Arrhenius och Kent Lindström

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Sammansättning och antändningsegenskaper hos bränsleångor i tankar innehållande E85

Henry Persson, Peter Bremer, Lars Rosell,
Karine Arrhenius och Kent Lindström

Abstract

Fuel vapour composition and flammability properties of E85

A series of experiments have been conducted to study the flammability characteristics and determine the flammable temperature range of E85 fuel vapours. E85 is a mixture of ethanol and petrol the composition varies depending on time of the year. According to the Swedish standard, SS 155480:2006, the ethanol content may not be below 70 %/75 % (winter/summer) and may not exceed 86%.

E85 of summer and winter qualities were conditioned in sealed vessels at various temperatures and the composition and concentration of the fuel vapours were determined. Fuel vapours from conditioned vessels were also used for ignition tests in an explosion chamber ("bomb"). The tests shows that the fuel vapours mainly consist of petrol fractions despite the high content of ethanol in the liquid phase. The bomb tests indicate a flammable range of the fuel vapours from about -18 °C up to about +2°C to +5°C for E85 of summer quality. Some tests with E85 of winter quality and petrol were conducted as well. These tests indicated a flammable range up to -8 °C to -9 °C for the winter E85 and up to about -20 °C for the petrol. The lower limit of the flammable range was not investigated for these fuels.

The consequences of ignition of fuel vapours inside some fuel tanks for cars have also been studied. Electrical sparks were generated inside the tank or at the filling opening. In addition, a spill fire below the tank was used as an ignition scenario. When the ignition occurred inside the tanks, the overpressure caused a rupture and generated a short duration flame outside the tank.

Tests have also been conducted to study the fuel vapour concentration and composition around the filling pipe during filling of the tank. The measurements indicate that vapours in the flammable range might be present around the filling opening, especially if the vapour recovery system at the fuel pump is not activated. One test with a fuel tank equipped with an Onboard Refueling Vapour Recovery (ORVR) system, indicated that the fuel vapour emission was very low, probably reducing the risk for ignition of fuel vapours significant during filling.

Key words: E85, ethanol, petrol, fuel vapour composition, flammable characteristics, explosion point, ignition properties, risk, fire, fuel tank, car

**SP Sveriges Tekniska
Forskningsinstitut**
SP Rapport 2007:39
ISBN 978-91-85533-99-2
ISSN 0284-5172
Borås 2007

**SP Technical Research Institute
of Sweden**

SP Report 2007:39

Postal address:
Box 857,
SE-501 15 BORÅS, Sweden
Telephone: +46 10 516 50 00
Telefax: +46 33 13 55 02
E-mail: info@sp.se

Innehållsförteckning

Abstract		2
Innehållsförteckning		3
Förord		5
Sammanfattning		6
Begreppsförklaring		7
1	Bakgrund	9
1.1	Problembeskrivning	9
1.2	Syfte och målsättning med projekt	9
1.3	Planering av de experimentella insatserna	10
2	Tillgänglig litteratur och övrigt pågående arbete	11
2.1	Experimentella studier	11
2.2	Övriga utredningar och rekommendationer	13
2.3	Risk för antändning genom statisk elektricitet vid tankning	15
3	Etapp 1-Sammansättning av bränsleångor i slutna kärl vid olika temperaturer	16
3.1	Utrustning och provningsprocedur	16
3.1.1	Kalibrering av analysutrustningen	16
3.1.2	Åldring av E85	17
3.2	Resultat av genomförda gasanalyser	18
3.2.1	E85 Sommarkvalitet	18
3.2.2	E85 vinterkvalitet samt åldrad E85	21
3.2.3	Blyfri 95-oktanig bensin	22
3.2.4	Jämförelse mellan E85 och bensin	24
4	Etapp 2-Temperaturområde för brännbara bränsleångor	26
4.1	Försöksutrustning	26
4.1.1	Generering av bränsleångor	26
4.1.2	Generering av provgasblandningar	27
4.1.3	Explosionskammare ("bomb")	28
4.2	Provningsprocedur	30
4.2.1	Konditionering och provuttag av bränsleångor	30
4.2.2	Bombprovning	30
4.2.3	Försök med temperaturkonditionerad utrustning	31
4.2.4	Utvärdering av tryckmätningar	32
4.3	Resultat av bombförsök	33
4.3.1	E85 Sommar- respektive vinterkvalitet	33
4.3.2	Blyfri bensin, sommarkvalitet	37
4.3.3	Provgaserna propan respektive eten	38
4.3.4	Jämförelse av försöksdata mellan de olika bränslena	39
5	Etapp 3-Konsekvenser vid antändning av en brännbar gasblandning i en bränsletank	42
5.1	Provobjekt och försöksupställning	42
5.2	Försöksprocedur	43

5.2.1	Fyllning med provgasblandning	43
5.2.2	Antändning av gasblandningen	43
5.2.3	Tryckmätning och dokumentering	44
5.2.4	Försöksprogram	44
5.3	Resultat av antändningsförsök i bränsletankar	45
5.3.1	Observationer från försök 1 - Plåttank A	46
5.3.2	Observationer från försök 2 - Plasttank B	46
5.3.3	Observationer från försök 3 och 4 - Plasttank C	47
5.3.4	Observationer från försök 5 till 8 - Plasttank D	48
6	Etapp 4-Brandförlopp vid spillbrand under en bränsletank innehållande E85	51
6.1	Provföremål och uppställning	51
6.2	Försöksprocedur	52
6.3	Resultat av brandexponering	53
6.3.1	Försök 1-Brandexponering tanktyp C (plast)	54
6.3.2	Försök 2-Brandexponering tanktyp D (plast)	55
6.3.3	Försök 3-Brandexponering tanktyp A (plåt)	55
7	Etapp 5-Bränslekoncentrationer och bränslesammansättning runt påfyllningsröret vid tankning	57
7.1	Inledande försök med GasFindIR-kameran	57
7.2	Gasanalyser runt påfyllningsöppningen	58
7.3	Resultat av tankningsförsök	59
7.3.1	Observationer på basis av GasFindIR-filmer	59
7.3.2	Resultat av gasanalyser vid tankning	60
8	Summerande kommentarer och diskussion	63
8.1	Etapp 1-Bränslesammansättning	63
8.2	Etapp 2-Brännbarhetsegenskaper	64
8.3	Etapp 3-Antändningsförsök i tank	65
8.4	Etapp 4-Brandexponering av tank	65
8.5	Etapp 5-Bränslekoncentrationer vid tankning	66
8.6	Jämförelse med andra experimentella undersökningar	67
9	Slutsatser	68
10	Förslag fortsatta insatser	69
11	Referenser	70
Bilaga 1-Bränslespecifikationer		72
11.1.1	E85S (sommarkvalitet)	72
11.1.2	E85V (vinterkvalitet)	72
11.1.3	Blyfri bensin 95 (sommarkvalitet)	72

Förord

Intresset för och användningen av bränslet Etanol E85 (normalt benämnt E85) har ökat kraftigt de senaste åren. E85 är en blandning av etanol och bensin där sammansättningen varierar beroende på årstid och där etanolhalten som lägst tillåts vara 70 %/75 % (vinter/sommar) och som högst 86%. Frågor kring riskerna för brand- och explosion förknippade med denna ökade användning har dock inte varit fullständigt utredda vilket bl a framgått av en utredning gjord på uppdrag av Stockholm Stad. Frågeställningarna kring riskerna återkom i samtliga led av hanteringen av E85, dvs tillverkning (blandning), transport till bensinstationerna och fyllning av deras cisterner, förvaringen och pumpsystem, tankning av bilar samt förvaringen av bränslet i bilens bränsletank. I hanteringskedjan för bensin ingår också gasåterföringssystem, dels mellan tankbil och bränslecistern (steg 1), dels mellan bilens påfyllningsrör och bränslepumpsystemet-bränslecisternen (steg 2).

Vägverket har på regeringens uppdrag utrett förutsättningarna för efterkonvertering av personbilar för alternativbränslen. Med anledning av de osäkerheter som förelåg tog därför Vägverket ett initiativ till att utreda förekommande frågeställningar och inbjöd övriga berörda parter att delta i detta arbete. I ett första möte under 2006 deltog förutom Vägverket, representanter för Räddningsverket, SPI, Naturvårdsverket, SAAB, Volvo samt SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Baserat på dessa diskussioner utarbetade SP ett förslag till utvärderingsprogram som resulterade i föreliggande projekt och i samband med detta knöts ytterligare intressenter och finansiärer till projektet.

Följande organisationer har medverkat i finansieringen av projektet och nedanstående personer har deltagit i den referensgrupp som varit knuten till projektet under dess genomförande:

Petter Åsman	Vägverket
Per Öhlund	Vägverket
Björn Herlin	Räddningsverket
Erik Egardt	Räddningsverket
Lorens van Dam	Räddningsverket
Ingvar Hansson	Räddningsverket
Mats Björsell	Naturvårdsverket
Leif Ljung	Svenska Petroleum Institutet
Magnus Nilsson	SAAB
Hans Arvidsson	SAAB
Göran Kähler	SAAB
Niklas Gustavsson	Volvo
Anders Eugensson	Volvo
Anders Johansson	Volvo
Roger Mattebo	SEKAB
Eva Sunnerstedt	Stockholm Stad
Alice Kempe	Energimyndigheten

Från SP:s sida medverkade enheterna för Brandteknik, Elektronik, Kemi och materialteknik samt Mätteknik i projektets genomförande. Vi i SP:s projektgrupp vill härmed tacka samtliga i referensgruppen ovan för deras engagemang och synpunkter under hela projektet.

Henry Persson
Projektledare

Sammanfattning

Intresset för förnybara drivmedel ökar mycket snabbt och Etanol E85 (normalt benämnt E85) är det bränsle som fått störst genomslag i Sverige. Frågeställningar har dock varit förknippade med att kunskaperna om bränslets brand- och explosionsegenskaper har varit begränsade. Detta har i sin tur medfört begränsningar i möjligheten att bedöma de risker som finns i hela hanteringskedjan, från raffinaderi/depå till tankning och användning i olika typer av fordon. I samråd med flera olika intressenter definierades de mest primära frågeställningarna som skulle behöva besvaras för att bättre kunna värdera riskerna med E85 respektive kunna föreslå eventuella säkerhetshöjande åtgärder.

Mot denna bakgrund har ett projekt genomförts som i sig varit indelat i fem olika etapper varav de två första etapperna avsåg att ge grundläggande kunskap om egenskaperna hos E85. Den första etappen avsåg att bestämma halterna och sammansättningen av bränsleångor i ett slutet kärl vid olika temperaturer. I den andra etappen undersöktes inom vilket temperaturområde dessa bränsleångor var brännbara samt deras förbränningsegenskaper genom antändningsförsök i en explosionskammare (bomb).

De tre följande etapperna var av mer tillämpad karaktär. Etapp 3 och 4 primärt var inriktade mot att studera konsekvenserna vid antändning av bränsleångor i drivmedelstankar för bilar och i etapp 5 bestämdes bränslekoncentrationen och gassammansättningen runt påfyllningsröret i samband med tankning, dels för att kunna bedöma riskerna för antändning, dels för att ge underlag för bedömning av behovet för gasåterföringssystem för E85 ur miljösynpunkt.

Projektet har resulterat i en ökad förståelse för de grundläggande skillnaderna mellan E85 och bensin. De mer tillämpade undersökningarna har också gett mycket information men dessa resultat får trots allt betraktas som mer av orienterande karaktär på grund av den begränsade omfattningen i förhållande till antalet existerande bilmodeller och tänkbara antändnings- respektive brandscenarier.

Resultaten från projektet visar bl a att bränsleångorna i ett slutet kärl med E85 till största delen innehåller bensinfraktioner, i storleksordningen 70-90 % trots att vätskefasen bara innehåller ca 15 % bensin. Den höga andelen bensinfraktioner i bränsleångorna innebär att brännbarhetsområdet avviker kraftigt i förhållande till ren etanol.

De bränsleångor som bildas i ett slutet kärl eller en bränsletank innehållande E85 av sommarkvalitet är brännbara inom ett temperaturintervall från ca -18 °C upp till ca +2 °C till +5 °C. Detta temperaturintervall varierar beroende på bränslets kvalitet och hur mycket bränsle som finns i tanken, dvs dess fyllnadsgrad. För E85 av vinterkvalitet (E85V) bedöms den övre temperaturgränsen vara ca -8 °C till -9 °C och för blyfri, 95-oktaning bensin av sommarkvalitet, (BF95S) bedöms vara den vara ca -20 °C. Försöken visar också att E85, i likhet med bensin, kan klassas i explosionsgrupp IIA.

Försök med några olika typer av bränsletankar visar att en antändning av bränsleångorna vid påfyllningsröret eller inne i bränsletanken i värsta fall kan leda till en tryckökning inne i tanken så stor att denna deformeras eller brister. Även bilens bottenplatta kan deformeras. Kortvariga flammor från påfyllningsrör och/eller sprickor i tanken kan förväntas. Under extremt ogynnsamma temperaturförhållanden kan en spillbrand under en bränsletank leda till antändning inne i tanken, kortvariga flammor och vissa stänk av brinnande bränsle. Samma förutsättningar kan även finnas för bensin. Vid tankning kan bränsleångorna vara brännbara strax utanför påfyllningsrörets mynning, framförallt om gasåterföringssystemet ej är inkopplat. Denna risk är sannolikt avsevärt reducerad hos fordon med ORVR-system.

Begreppsförklaring

I rapporten används ett antal förkortningar och begrepp. Nedan listas dessa med en tillhörande förklaring.

Förkortning/ begrepp i rapporten	Förklaring
E85	Fullständig benämning är ”Etanol E85”. Bränslets specifikationer anges i SS 155480:2006 och där specificeras bl a olika etanolhalt för sommar- respektive vinterkvalitet, se nedan.
E85S	E85 kvalitet som saluförs sommartid, min tillåten andel etanol 75 %, tillåten volymandel bensin 14-25 %, ångtryck 35-70 kPa
E85V	E85 kvalitet som saluförs vintertid, min tillåten andel etanol 70 %, tillåten volymandel bensin 14-30 %, ångtryck 50-95 kPa
BF95S	Blyfri 95-oktaning bensin, sommarkvalitet
Bomb	Explosionskammare för antändningsförsök
UEP *)	Övre brännbarhetspunkt (Upper Explosion Point), anges i °C.
LEP *)	Nedre brännbarhetspunkt (Lower Explosion Point), anges i °C
MESG	Maximal experimentell säker spaltvidd (Maximum Experimental Safe Gap)
AIT	Termisk tändpunkt (Auto Ignition Temperature), anges i °C
ORVR	Onboard Refueling Vapour Recovery system
SHED-test	Sealed Housing for Evaporative Determinations
GÅF-system	Gasåterföringssystem. Steg 1 avser systemet mellan tankbil och bränslecistern. Steg 2 avser systemet mellan bilens påfyllningsrör och bränslepumpsystemet-bränslecisternen.
P_{fp}	Tryck vid första trycktoppen (Pressure at First Peak) (bar, övertryck)
t_{fp}	Tid till första trycktopp (Time to First Peak) (ms)
v_{fp}	Genomsnittlig tryckstegringshastighet till första trycktopp (Velocity to First Peak) (bar/s)

*) I denna rapport används begreppen UEP respektive LEP oavsett vilken provningsmetodik som använts för att bestämma dessa temperaturgränser.

1 Bakgrund

1.1 Problembeskrivning

Antalet etanolbilar har ökat kraftigt på senare år och uppgick vid månadsskiftet juli-augusti 2007 till ca 66 000 fordon. Försäljningstakten har under första halvåret 2007 varit ca 2 000 nya bilar per månad [1].

Enligt uppgifter från Svenska Petroleuminstitutet (SPI) var mängden såld E85 år 2004 ca 6 500 m³, 2005 ca 20 000 m³ samt 2006 ca 63 000 m³. För 2007 beräknas mängden såld E85 bli ca 80 000 - 100 000 m³. Vid utgången av augusti 2007 fanns drygt 1 000 stationer som saluförde biodrivmedel. Av dessa saluförde 938 stationer E85. En uppdatering av denna statistik presenteras månadsvis på SPI hemsida (www.spi.se) [2].

Ökningen av biobränslen sker alltså mycket snabbt och E85 är det bränsle som fått störst genomslag. Problemet är dock att kunskaperna om bränslets brand- och explosionsegenskaper är begränsade. Detta medför begränsningar i möjligheten att bedöma riskerna som finns i hela hanteringskedjan, från raffinaderi/depå till tankning och användning i olika typer av fordon. Detta innebär också att det finns ett stort intresse för egenskaperna hos E85 från flera olika intressenter.

Vägverket har på regeringens uppdrag utrett frågan om möjlighet till efterkonvertering av bilar för bl a etanoldrift. Frågan om risk för brand/explosion, framför allt när det gäller risk för antändning i samband med tankning med E85 är dock inte behandlad i utredningen. Frågan är dessutom av mer generell natur och berör även fabriksbyggda bilar vilket gör att kunskapsbehovet är stort, både hos berörda myndigheter och hos biltillverkare.

SPI ser säkerhetsaspekterna som viktiga och behöver kunskap för att kunna utforma lämpliga säkerhetsåtgärder inom transport och hanteringssystemen liksom ute på bensinstationerna och arbetar därför med branschgemensamma rekommendationer.

Räddningsverkets mål är att riskerna vid hantering av E85 inte skall vara större än de risker som finns vid hantering av bensin. Räddningsverket och SPI därför tillsammans tagit fram preliminära riktlinjer för säkerhetsåtgärder för E85-tankstationer.

1.2 Syfte och målsättning med projekt

I samråd med berörda intressenter definierades fem huvudsakliga frågeställningar som skulle behöva besvaras för att bättre kunna värdera riskerna med E85 respektive kunna föreslå eventuella säkerhetshöjande åtgärder. Dessa frågeställningar var:

- Vilka är brännbarhetsgränserna för de E85-kvaliteter som saluförs i Sverige?
- Vilka bensin/etanolhalter kan uppkomma i bränsleångorna i slutna behållare och inom vilket temperaturområde är dessa bränsleångor brännbara?
- Vad blir konsekvensen om en gasblandning antänds inne i bränsletanken på en bil eller vid påfyllningsrörets mynning?
- Är det skillnad i brandförlopp om en spillbrand uppstår under en bränsletank fylld med bensin respektive en tank fylld med E85? Vilken skillnad uppkommer vid tankar av plast respektive av plåt?
- Vilka koncentrationer av bränsleångor uppkommer vid tankningen runt påfyllningsrörets mynning och vilken sammansättning har dessa (av intresse både ur säkerhets- och miljösynpunkt) samt vilken inverkan har olika tekniska lösningar såsom ORVR (On board Refueling Vapour Recovery system)?

Både bensin och E85 är i allmänna begrepp mycket brandfarliga, dvs de är lätta att antända vid normala temperaturer och brinner med stor intensitet. Ur märknings- och klassificeringssynpunkt finns dock en viss skillnad där bensin per definition betecknas som ”Extremt brandfarlig” och E85 som ”Mycket brandfarlig”. Denna klassning baseras på vätskornas initialkokpunkt. Eftersom det finns en mycket lång erfarenhet av hantering av bensin var också en målsättning att resultaten från projektet så långt som möjligt skulle medge en jämförelse mellan E85 och bensin.

1.3 Planering av de experimentella insatserna

För att medge att erhållna resultat och erfarenheter kunde utnyttjas maximalt och därmed underlätta den totala utvärderingen, delades projektet upp i fem experimentella etapper enligt följande:

1. Bestämning av sammansättningen och halterna av bränsleångor i slutna behållare vid olika temperaturer
2. Bestämning av det temperaturområde där E85-ångor är brännbara
3. Undersökning av konsekvenserna vid antändning av en brännbar gasblandning i en bränsletank för bilar
4. Undersökning av skillnader i brandförlopp vid en spillbrand under en bränsletank
5. Bestämning av bränslekoncentrationer/bränslesammansättning runt påfyllningsröret vid tankning

De två första etapperna avsåg att ge grundläggande kunskap om egenskaperna hos E85 genom att generera bränsleångor vid olika temperaturer och att prova antändbarheten hos dessa i en explosionskammare (bomb). Den andra etappen avsåg även att ge information om hur E85-ånga kunde representeras av en provgasblandning vid antändningsförsök i bränsletankar (etapp 3).

De tre följande etapperna var av mer tillämplig karaktär där etapp 3 och 4 primärt var inriktade mot att studera konsekvenserna av en mer eller mindre framtvungad antändning. I etapp 5 bestämdes bränslekoncentrationen och gassammansättningen runt påfyllningsröret i samband med tankning för att dels kunna bedöma riskerna för antändning, dels för att ge underlag för bedömning av behovet för gasåterföringssystem för E85.

Det bör alltså observeras att det i etapp 3 och 4 ej gjorts några sannolikhetsbedömningar med hänsyn till risken för antändning utan undersökningarna har varit inriktade mot att undersöka konsekvenserna vid värsta tänkbara förhållanden, ”worst case”.

I huvuddelen av de analyser respektive försök som genomförts har E85 av sommarkvalitet (E85S) använts. Detta har ansetts utgöra ”worst case” ur säkerhetssynpunkt då denna kvalitet normalt innehåller maximalt tillåten mängd etanol. Sommarkvaliteten har också lägre ångtryck vilket gör att denna förväntas vara den kvalitet som befinner sig i brännbart område vid högst omgivningstemperatur. För att få en uppfattning av inverkan mellan sommar och vinterkvalitet (E85V) har dock ett begränsat antal försök genomförts med E85V. Även risken för att egenskaperna hos E85 kan förändras om bränslet åldras, dvs när de lätta bensinfraktionerna dunstar bort. Detta har undersökts i några försök. För att få ett bra jämförelseunderlag mot bensin har också ett antal försök genomförts med 95-oktaning blyfri bensin av sommarkvalitet (BF95S). Bränslespecifikationer redovisas i Bilaga 1.

De olika projektetapperna redovisas i kapitel 3-7, där både försöksutrustning procedurer och resultat redovisas samlat. I kapitel 8 diskuteras och kommenteras resultaten från de olika projektetapperna och i kapitel 9 ges en sammanfattning av de viktigaste lärdomarna projektet givit.

Under projektets gång har även en del litteratur studerats vilket inledningsvis redovisas i kapitel 2.

2 Tillgänglig litteratur och övrigt pågående arbete

Någon systematisk och heltäckande litteraturgenomgång har inte ingått i detta projekt. Under planerings- och genomförandefasen har vi dock tagit del av ett antal utredningar och experimentella undersökningar som har relevans mot det här genomförda projektet och nedan ges en kort summering av dessa arbeten. Även vissa andra utredningar och rekommendationer med relevans till problematiken summeras kortfattat.

2.1 Experimentella studier

Den troligen mest refererade undersökningen kring antändningsegenskaper och brännbarhetsområde hos olika blandningar av bensin och etanol genomfördes i Kanada av Vaivads m fl [3] i mitten av 1990-talet och refereras ofta som ”SAE-rapporten”. Rapporten summerar en kombinerad experimentell och analytisk studie av antändningsegenskaperna för sex olika bränslekvaliteter, bensin, etanol (E100), metanol (M100) samt tre blandningar av dessa, M85, E85 samt E10. Etanolen som användes i försöken bestod av 92 % etanol, 5 % metanol, 1 % 4 metyl-2 pentanon, 1 % etylacetat samt 1 % alifatiska kolväten (vol-%). Bensinen som användes var ursprungligen av vinterkvalitet men som ”vädrats” för att erhålla ett ångtryck motsvarande sommarkvalitet.

Undersökningen omfattade dels antändningsförsök och dels mätning av bränslets ångtryck. Baserat på detta beräknades brännbarhetsgränserna för de olika bränsleblandningarna. Antändningsförsöken genomfördes i en 570 ml plastflaska som fylldes till 1/30 (19 ml) med bränsle. Flaskan var försedd med två olika tändsystem, dels ett lågenergisystem som gav ca 70 mJ, dels ett högenergisystem som gav ca 250 mJ.

Flaskorna konditionerades till aktuell försökstemperatur vilken kunde varieras mellan -30°C och +40°C. Under konditioneringen användes en skakmekanism för att säkerställa jämviktsförhållanden inne i flaskan. I varje försöksserie användes ett set om 10 separata provflaskor vilket innebar att man fick ett visst statistiskt underlag kring sannolikheten för antändning för varje försökskombination.

Som komplement till antändningsförsöken mättes ångtrycket hos de olika bränsleblandningarna och dessutom analyserades sammansättningen av gasfasen vid jämviktstillstånd. Baserat på detta utarbetades en matematisk modell för att beräkna brännbarhetsgränserna för de olika blandningarna vilka sedan kunde jämföras med de experimentella resultaten. Med hjälp av modellen kunde sedan inverkan av olika parametrar, t ex andra bränsleblandningar, olika temperaturer, olika fyllnadsgrader, etc. undersökas.

När det gäller undersökt E85-bränsle visar beräkningarna att brännbarhetsområdet ligger inom temperaturområdet +3 °C (UEP-upper explosion point) ner till ca -35 °C (LEP-lower explosion point). För fyllnadsgrader under ca 20 % förskjuts dock UEP uppåt och vid t ex 10 % fyllnadsgrad är den beräknad till ca 10 °C och vid 1 % ca 20 °C. Även LEP förskjuts något uppåt, men inte lika markant.

En till viss del liknande undersökning genomfördes under slutet av 1990-talet i USA vid South West Research Institute (SWRI) på uppdrag av National Renewable Energy Laboratory (NREL) [4]. Syftet var här att utveckla ett fordon avsett för etanoldrift som kunde uppfylla de krav som ställdes i Kalifornien för ”Ultra Low Emission Vehicle” (ULEV). Som en del i detta projekt studerades olika typer av etanolbränsleblandningar och som en liten del av den studien genomfördes även vissa försök kring antändningsegenskaper och brännbarhetsområde för dessa bränslen. De bränsleblandningar som studerades kan dock inte betraktas som ”kommersiella” blandningar utan var blandningar av etanol och olika typer av specifika tillsatsämnen för att bli varierade oktantal, ångtryck, etc.

Försöken genomfördes på i princip samma sätt som i SAE-rapporten [3] och resultaten visar på ett mycket tydligt samband mellan brännbarhetsområde och bränsleblandningens ångtryck för de allra flesta blandningarna.

I Tyskland har nyligen PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) publicerat en undersökning kring säkerhetsaspekterna med hantering av olika bensin-etanolbränsleblandningar [5-7]. Undersökningarna har bl a omfattat bestämning av UEP, MESG (maximum experimental safe gap) samt självantändningstemperatur (AIT-auto ignition temperature) vilket krävs för att specificera säkerhetskraven på bl a bensinstationer. Även flampunkt och brännbarhetsgränser (%-vol) har bestämts.

Eftersom det var oklart vilken typ av bensin-etanolblandning som kunde tänkas mest intressant i Tyskland, genomfördes försök med flera olika bränsleblandningar, omfattande vanlig 95-oktanig bensin, E50, E60, E65, E70, E75 resp E85. I några fall provades blandningarna både som sommar respektive vinterkvalitet.

Nedan refereras kort till bestämningen av UEP resp MESG eftersom dessa parametrar har stor påverkan på hur bensin-etanolblandningen klassificeras.

Övre brännbarhetspunkten (UEP) bestämdes enligt en metodik som utvecklats vid PTB. Vätskan som skall utvärderas placeras i ett cylindriskt glaskärl med ett tättslutande lock som också kan fungera som tryckavlastning. Kärllet med vätskan konditioneras i ett klimatskåp och när jämviktsförhållande erhållits inne i kärlet görs ett antändningsförsök av gaserna ovanför vätskan. Om antändning erhålls eller ej bedöms visuellt i kombination med temperaturmätning inne i kärlet.

Beroende på försöksresultatet, höjs eller sänks temperaturen stegvis till dess att man hittat temperaturgränsen för antändning respektive ej antändning enligt fastställda bedömningskriterier. Försöken kan genomföras med olika fyllnadsgrad för att se hur detta påverkar UEP.

Metodiken ingår i dagsläget som ett förslag till en EN-standard, "Determination of explosion points of combustible liquids" som håller på att utarbetas inom CEN TC 305 [8].

MESG används för att karaktärisera explosionsegenskaper hos bränsleångor som är relaterad till vilken minsta spaltvidd, i t ex flamskyddsutrustningar eller explosionssäkra kapslingar, som kan stoppa en flamma från att penetrera från ett utrymme till ett annat. Värdet ligger till grund för den explosionsklassning som gasen/gasblandningen erhåller, t ex IIA, IIB, IIB1, etc. Provningsen har utförts enligt IEC 60079-1-1 och innebär att man fyller en explosionskammare med den gasblandning man vill utvärdera. Inne i kammarens centrum finns en mindre provvolym, som också fylls med bränsleblandningen och i denna sitter en tändanordning. Den mindre provvolymen består av två halvsfärer utförda i stål och där spalten mellan dessa kan regleras mycket noga med en mikrometer. Vid försöket antänds gasen inne i den lilla provvolymen och man studerar om flammen som uppstår har förmåga att fortplanta sig genom spaltöppningen och antända gaserna i den stora explosionskammaren. Det maximala spaltavståndet som ej medför penetration av flammen är alltså MESG-värdet för aktuell gas. Eftersom gasblandningen i ett slutet kärl inte kommer att ha samma sammansättning som vätskefasen, gjordes analyser av gasens sammansättning i ett kärl vid jämviktsförhållanden. Därefter genererades en liknande sammansättning genom att förånga bensin respektive etanol i motsvarande proportioner för att i möjligaste mån representera gasblandningen. Bestämningen görs vid 50 °C då detta ger en viss säkerhetsmarginal mot normala temperaturnivåer då MESG minskar med ökad temperatur.

I Tabell 1 ges en summering av resultaten avseende UEP från de två E85-kvaliteter (vinter- respektive sommarkvalitet) som provats vid PTB. Ytterligare olika bränslekvaliteter har provats och för fullständiga resultat hänvisas till PTBs rapporter [5, 6].

Tabell 1 Resultat från bestämning av UEP hos två olika kvaliteter av E85 vid olika fyllnadsgrader vid PTB [6].

Bränslebeteckning*)	20 %	10 %	3 %	1 %
E85 ROZ 95 Summer	3,5 °C	4,5 °C	8,5 °C	18,0 °C
E85 ROZ 95 Winter	**)	-6 °C	2 °C	17 °C

*) Både E85 sommar- respektive E85 vinterkvalitet innehöll 85 % etanol.

***) Temperatur ej bestämd

Bestämning av MESHG-värdet har alltså genomförts som grund för klassningen av E85 i olika explosionsgrupper. Bensen klassas som IIA vilket innebär att MESHG-värdet skall vara större än 0,90 mm. Är uppmätt MESHG 0,90 mm eller lägre klassas bränslet som IIB (IIB1 för flamskydd). De provningar av MESHG som genomförts visar att E85-ångor från bensen/etanolblandningar med en etanolhalt i vätskefasen ≤ 97 %-vol kan klassas som IIA medan högre etanolinnehåll innebär klassning IIB1 [7].

När det gäller tändtemperatur visar PTBs mätningar att E85 erhåller temperaturklassning T3, vilket är densamma som för bensen.

2.2 Övriga utredningar och rekommendationer

I Sverige har en genomgång av säkerhetsaspekterna med E85 som drivmedel genomförts av Ecotraffic ERD³ AB [9]. Utredning genomfördes på uppdrag av miljöförvaltningen i Stockholm och ger en samlad överblick av olika säkerhetsaspekter såsom allmänna brandrisker, säkerhetsförhöjande åtgärder, risker och åtgärder vid brand, regelverk för hantering av drivmedel, erfarenheter från hantering av etanol samt materialkompatibilitet.

Rapporten publicerades 2006 och i sammanställningen av kemiska och fysikaliska data framgår det att osäkerheten är stor avseende vissa värden, bl a brännbarhetsområdet för E85 är baserat på resultaten redovisade i SAE-rapporten [3]. Även andra egenskaper, t ex hur E85 uppför sig vid brand, har också varit föremål för diskussion. Den samlade bedömningen är dock att E85 inte utgör någon förhöjd risk i förhållande till hanteringen av bensen och diesel.

Svenska Petroleuminstitutet (SPI) har sedan E85 började marknadsföras arbetat med att ta fram egna rekommendationer kring hanteringen av E85. Detta arbete har skett i samråd med bl a Räddningsverket (SRV) och en preliminär utgåva gavs ut i början av 2007 [10]. Dessa innehåller bl a vissa resultat från detta projekt men man har också låtit genomföra kompletterande undersökningar i egen regi.

En sådan frågeställning var hur brinnegenskaperna är hos E85 jämfört med bensen vid en poolbrand [11]. I detta sammanhang genomfördes därför två jämförande försök i ett ca 1,7 m² stort bål vilket ungefär motsvarar spilltrågets yta vid påfyllningsanslutningarna på en bensinstation. Försöken visade att E85 i detta scenario brinner med lägre avbrinningshastighet och ger mindre strålning jämfört med bensen. Lågan från E85 är dock fullt synlig. I en annan undersökning undersöktes riskerna för och konsekvenserna av en antändning av E85-ångor inne i en nedgrävd 6 m³ cistern [12]. Försök gjordes vid två tillfällen. I den första försöksserien (okt 2006) var temperaturen i cisternen ca 11 °C, fyllnadsgraden ca 20 %, och i detta läge kunde bränsleångorna ej antändas i cisternen, trots försök att späda ut ångorna med luft. Vid antändningsförsök i påfyllningsröret erhöles vid något tillfälle en liten ”puff” men som självslocknade på grund av för fet bränsleblandning inne i cisternen. Vid det andra försökstillfället (april 2007) var dels temperaturen lägre, ca 4 °C, dessutom hade cisternen tömts så att det återstod max ca 50 l bränsle, dvs < 1 % fyllnadsgrad. Trots detta kunde antändning ej erhållas. Bränsleångorna inne i cisternen späddes därför ut med luft (40-50 % av cisternvolymen) varefter antändning erhöles. Antändningen gav upphov till en snabb tryckökning i cisternen som medförde en kraftig utströmning av förbränningsgaser med

hög hastighet via avluftningsledningen under ett antal sekunder. Några delar från P/V-ventilen lossnade på grund av detta men i övrigt uppstod inga skador eller visuellt märkbara ”explosions-effekter” ovan mark. Efter uppgrävning och en inspektion av cisternen kunde konstateras att denna inte uppvisade några visuella skador. Slutsatsen av undersökningen var att, överfört till en tänkt situation på en bensinstation, så kan man anta att eventuella skador skulle begränsa sig till vissa egendomsskador på cisternen och en del tillhörande utrustning medan risken för personskador eller skador på annan utrustning liksom brandspridning till omkringliggande objekt måste betecknas som mycket liten.

En slutlig version av SPIs rekommendationer beräknas vara klar under december 2007.

Räddningsverket är den myndighet som ger ut föreskrifter på basis om lagen om brandfarliga och explosiva varor (1988:868) och en handbok avseende hantering av brandfarliga vätskor och gaser på bensinstationer är under utarbetande som även kommer att omfatta E85 [13].

I USA har US Department of Energy (DoE) i samråd med National Ethanol Vehicle Coalition (NEVC) utarbetat en handbok kring hantering, lagring och försäljning av E85 [14]. Handboken innehåller visserligen vissa grundläggande data för E85 men är inte så detaljerad runt de säkerhetsdata som efterfrågats i detta projekt. Handboken ger istället en mer övergripande information kring E85 jämfört med bensin och utgör i vissa stycken en ”reklamskrift” för E85.

I Tyskland finns sedan tidigare generella myndighetsregler för bensinstationer, TRbF 40 [15]. Baserat på de resultat kring E85 som PTB tagit fram och som refererats ovan, har man nu också utarbetat rekommendationer för hur dessa regler skall tolkas med avseende på hantering av E85 [16]. Enligt regelverket specificeras att bränslen med en övre brännbarhetspunkt (UEP) överstigande minus 4 °C skall vara utrustade med en flamspärutrustning i klass IIA. För etanolblandningar anser man att detta krav gäller för större inblandningar än 60 %. Vid etanolhalter överstigande 90 % i vätskefasen skall flamspärren uppfylla kraven enligt IIB1. Enligt PTBs resultat skulle klassningen IIA räcka ända upp till 97 % etanol i vätskefasen men man har alltså dragit ner detta till max 90 % för att åstadkomma en viss säkerhetsmarginal. Detta anses ändå täcka in förekommande toleranser vad gäller etanolinnehållet i E85.

Det skall dock noteras att ett undantag från kravet på flamskydd gäller för avluftningen från nedgrävda bensincisterner i stål där försök visat att dessa motstår en inre explosion utan skador. Eftersom konsekvenserna av explosionen var små ansågs kostnaden för att installera flamskydd inte stå i proportion till riskerna [17].

För flamskydd som sitter monterade i ändan på en ledning (end-of line), t ex i toppen av en avluftningsledning, kan det i vissa lägen även ställas krav på ”endurance burning”. I detta fallet skall alltså flamskyddet både klara av att förhindra genomslag av en momentan flamma och där- efter också ge ett fortsatt skydd mot genomslag om utströmmande bränsleångor fortsätter att brinna på flamskyddets utsida. I detta fall har inte gasens MESG-värde någon direkt inverkan utan det är andra faktorer som spelar in. I de fall flamskyddet även behöver vara godkänd för en ”endurance burning” skall denna provning [18] ha genomförts med etanol som bränsle, då bränslet visat sig ha inverkan på resultat och klassning. Standarden medger olika klassningar av ”endurance burning” med avseende på den tid som flamskyddet skall motstå denna brand utan att genomslag uppträder.

Om det skall ställas krav på flamskydd (dvs i fråga om underjordiska cisterner, om det skall göras undantag från undantaget) respektive om flamskyddet skall uppfylla något krav avseende endurance burning, och i så fall vilket tidskrav som skall gälla, finns inte reglerat utan avgörs på basis av en riskanalys beroende på anläggningens utformning på aktuell bensinstation [17].

Det som för övrigt kan noteras kring de regler och tillämpningar som gäller i Tyskland är att det inte

finns några fastlagda bestämmelser om användningen av gasåtervinning i E85 systemen men i praktiken används gasåtervinning även för E85 eftersom systemet redan finns [17]. Vidare så tillåts upphakningsmekanismer på pistolventilerna. Man har dock inget krav på slangbrottsventiler på pumparna. Man ser inte problemet med alstring av statisk elektricitet vid tankning vara så stort att man behöver vidta några speciella åtgärder för att minska dessa risker. Det är inte tillåtet att använda rör av plast för bensin på tyska bensinstationer. Frågan om rören ska vara konduktiva eller ej har därför inte varit aktuell.

I Sverige finns en standard för E85, SS 155480:2006 som anger de tekniska specifikationer som gäller för E85 av vinter respektive sommarkvalitet [19]. Någon motsvarande EN-standard finns inte i dagsläget. Det som skiljer sommar- och vinterkvaliteten är bränslets ångtryck. För sommarkvaliteten skall ångtrycket ligga mellan 35 kPa och 70 kPa och för vinterkvaliteten mellan 50 kPa och 95 kPa. Ångtrycket regleras genom tillsatsen av bensin vilket innebär att bensinandelen normalt sett är högre i vinterkvaliteten. Minsta tillåtna volymandel etanol är därför 75 % i E85 av sommarkvalitet och 70 % i vinterkvaliteten. Minsta tillåtna volymandel bensin är 14 %, dvs volymandelen etanol kan som mest variera från 70 % till 86 %.

Det kan också noteras att det, i FN:s modellregelverk för transport av farligt gods, numera finns ett separat UN-nummer för bensin/etanolblandningar med etanolhalt över 10 % (t.ex. E85), UN 3475. Det formella införandet av detta UN-nr i regelverket kommer förmodligen att ske senare under 2007 eller i början av 2008 [17].

2.3 Risk för antändning genom statisk elektricitet vid tankning

En av de risker för antändning som ofta omnämns är på grund av statisk elektricitet i samband med tankning. I Sverige finns ingen samlad statistik hur vanligt detta är vid tankning av personbilar men UK Petroleum Industry Association, Society of Motor Manufacturers and Traders Ltd samt Institute of Petroleum i England publicerade 2001 en rapport där detta problem studerats [20]. I undersökningen sammanställdes data kring inträffade bränder på bensinstationer i samband med tankning från Tyskland, Frankrike, USA och England under mitten av 1990-talet.

Sammanställningen av inträffade bränder är sannolikt inte helt komplett men ger ändå en bra bild av de typer av bränder som kan inträffa. Totalt omfattar materialet 36 bränder i Tyskland under perioden 1992-1995. I Frankrike rapporterades ca 100 bränder under två specifika perioder, 24/3-24/4 respektive 1/9-31/10, 1997. På Irland rapporterades fyra bränder under 1997 och i England rapporterades i genomsnitt en till två bränder per år. I USA rapporterade Petroleum Equipment Institute mellan 1 och 26 bränder per år under perioden 1993-2000. Med tanke på det mycket stora antalet tankningar som genomförts under denna tidsperiod är den generella slutsatsen att sannolikheten för antändning i samband med tankning är mycket liten.

Uppgifterna visar dock på stora skillnader mellan de olika länderna och en orsak till den låga frekvensen i England antas vara att det ej tillåts någon upphakningsmekanism på bränslepumparna. De analyser som gjorts av inträffade bränder i Tyskland, Frankrike och USA visar också att det finns flera dominant orsaker. Vissa bilmodeller är överrepresenterade vilket tyder på att både bilens konstruktion i stort och bränsletanken med tillhörande komponenter kan vara mycket avgörande. Även påfyllningspistolens utformning kan inverka då detta påverkar förmågan att potentialutjämna mellan bil och munstycke. Andra faktorer som pekats ut är användning av däck med dålig ledningsförmåga samt att beläggningen på marken runt bränslepumparna hade dålig ledningsförmåga. Även torr väderlek med låg luftfuktighet kunde skönjas som en orsak till ökad risk för antändning.

3 Etapp 1-Sammansättning av bränsleångor i slutna kärl vid olika temperaturer

Syftet med etapp 1 var att bestämma sammansättningen och koncentrationer i de bränsleångor (etanol respektive bensen/bensinfraktioner) som erhålls i ett slutet kärl i jämviktstillstånd vid olika temperaturer. E85 av sommar- (E85S) respektive vinterkvalitet (E85V) samt 95-oktanig blyfri bensen (BF95S) har analyserats för att ge underlag till en jämförelse. Analyserna har utförts genom att små glasflaskor fyllts till viss del med bränsle, förslutits och konditionerats till avsedd temperatur varefter ett gasprov tagits ut ur flaskan och analyserats.

Analyserna har gjorts vid SP Kemi- och Materialteknik.

3.1 Utrustning och provningsprocedur

De olika bränsleproverna förvarades i frysskåp i förslutna 250 mL eller 500 mL-flaskor. Från dessa flaskor togs för varje temperaturprovning en bränslemängd på 30 mL som snabbt förflyttades till ett 120 mL gastätt kärl, motsvarande en fyllnadsgrad på 25 %.

Flaskan konditionerades till önskad temperatur i ett vattenbad för temperaturnivåerna +20 °C och +10 °C, medan ett etylenglykol/vattenbad användes för temperaturnivåerna från 0 °C ner till -25 °C, se Figur 1.

Efter 3-6 timmars respektive 24 timmars konditionering, togs ett 50 µL gasprov med en gastätt spruta som injicerades direkt i en gaskromatograf med flamjonisationsdetektor (GC-FID). Analyserna har utförts på en Varian Star 3400Cx gaskromatograf, utrustad med en Poraplot-Q kapillärkolonn (Chrompack, 25 m lång, 0,32 mm interndiameter, 10 µm fastjocklek). Kolonn-temperatur var programmerad från 35 °C (i 6 min) till 250 °C (i 10 min) med temperaturstegringen 10 °C/min. Injektortemperaturen var konstant 200 °C och flamjonisationsdetektortemperaturen var konstant 200 °C.

3.1.1 Kalibrering av analysutrustningen

Kalibrering av gaskromatograf och FID-detektor gjordes genom att en känd mängd av etanol respektive enskilda bensinämnen injicerades i ett 120 mL glaskärl och efter förångning av ämnena analyserades ett gasprov ur flaskan på samma sätt som beskrivits tidigare. Relativa responsfaktorer bestämdes för 20 ämnen, relativt till etanol. Kalibreringen bidrog också till identifiering i och med att den gav aktuell retentionstid för varje ämne. Ämnena som analyserades för kalibreringen var: metanol, etanol, propanol, MTBE, pentan, 2-metylpentan, 3-metylpentan, hexan, 1-hexen, 2,2-dimetylbutan, 2,3-dimetylbutan, heptan, trimetylpentan, bensen, toluen, xylener, cyclopentan, cyclohexan, metylcyclopentan, metylcyclohexan.

För att underlätta identifieringen av ämnena användes vid ett måttillfälle (gasfas vid 0 °C) även analys med masspektrometer kopplad efter en gaskromatograf, s k GC-MS-teknik. Ett gasprov på 0,5 mL ur provflaskan överfördes till ett adsorbenttrör packat med Carbotrap/Carbosieve III. Rören desorberades sedan termiskt och analyserades på en gaskromatograf försedd både med en flamjonisationsdetektor och en mass-selektiv detektor (GC-FID/MS). Denna GC var en Hewlett Packard gaskromatograf HP5890 series II, med en masspektrometrisk detektor HP5972, inställd på på ”electron impact mode” och joniserande elektronenergi 70 eV, mass scanning från 29 till 300 amu. Enskilda ämnen identifieras med hjälp av det fragmenteringsmönster (”mass-spektra”) varje ämne som kommer ut ur kolonnen ger upphov till på mass-detektorn. Erhållna masspektra jämförs med ett databibliotek omfattande många tusentals ämnen. Denna analys utfördes på en likadan kolonn som FID-analysen för haltbestämning enligt ovan.

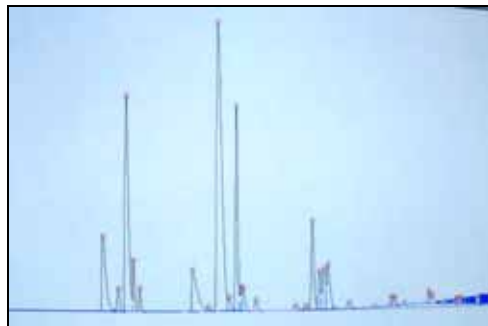
När det gäller mätonoggrannheten har det 95-procentiga konfidensintervallet här uppskattats till att motsvara $\pm 20\%$ av mätvärdet.



a) Temperering i vattenbad



b) Injektion på GC



c) Gaskromatogram från FID-signalen

Figur 1 Foton av a) provflaskor och temperaturbadet, b) analysutrustningen, c) ett ”mass-spektra”.

3.1.2 Åldring av E85

En aspekt som misstänks kunna påverka egenskaperna hos E85 är den ”åldring” som kan ske genom att bränsle avdunstar eller diffunderar från bränsletanken. Detta kan påverka ångtrycket och därmed också sammansättningen av bränsleångorna. Som grund för en uppskattning av en rimlig avdunstning användes det krav som gäller emissionen av bränsle från en hel bil. Kravet innebär att en bil vid ett sk SHED-test får emittera max 2 gram per dygn.

I vår uppskattning antogs att en bil innehållande 15 l E85 i tanken emitterade tillåten mängd i 10 dygn, dvs totalt 20 gram (2 gr x 10 dygn), och att allt detta härrörde från bränsletanken. Detta motsvarar i sin tur en viktminskning på ca 0,15 vikt %.

Baserat på detta antagande utfördes åldringen genom att låta ett 120 mL-kärl med 30 mL E85 S stå öppet vid rumstemperatur och avdunsta med cirka 0,15 % av vikten. Den önskade viktminskningen uppnåddes efter ca 25 minuter varefter kärlet förslöts och konditionerades.

3.2 Resultat av genomförda gasanalyser

Gasanalyserna har primärt fokuserats på E85 sommarkvalitet (E85S) och analyser har genomförts vid sex temperaturnivåer inom intervallet -25 °C till $+20\text{ °C}$ ($-25, -20, -10, 0, 10, 20\text{ °C}$). E85 vinterkvalitet (E85V) har endast analyserats vid 0 °C för att kunna göra en viss jämförelse mot E85S. Även åldrad E85S analyserades endast vid 0 °C .

Eftersom bensin är mer lättflyktig reducerades analyserna här till 4 temperaturnivåer inom området -25 °C till 0 °C ($-25, -20, -10, 0\text{ °C}$).

I följande kapitel ges först en summering av erhållna analysdata för respektive bränsletyp och i kapitel 3.2.4 ges en samlad jämförelse mellan de olika E85-kvaliteterna och bensin.

3.2.1 E85 Sommarkvalitet

I Tabell 2 ges en sammanställning av erhållna analysresultat för E85S vid de olika temperaturnivåerna. Halterna är här uttryckta i g/m^3 medan de i Tabell 3 omräknats och uttrycks som %-vol. Som framgår av tabellen redovisas två analysresultat för varje temperaturnivå, dels efter ca 3-5 timmars konditionering, dels efter 24 timmars konditionering.

En summering av analysresultaten ges dessutom i diagramform i Figur 2.

Tabell 2 Sammanställning av analysdata (g/m³) för E85S vid olika temperaturnivåer.

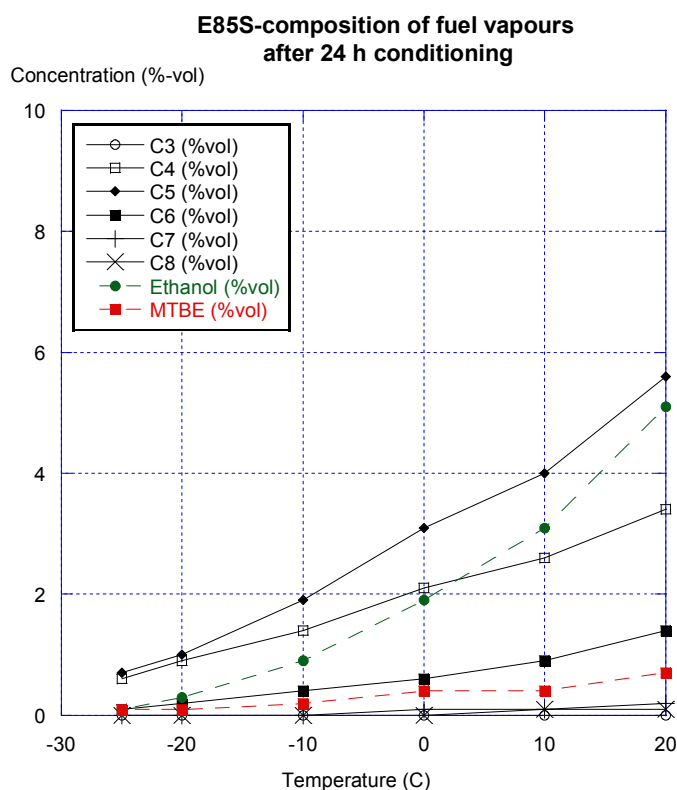
Temperatur (°C)	-25	-25	-20	-20	-10	-10	0	0	10	10	20	20
Konditionerings- tid (tim)	5	24	5	24	5	24	6	24	3	24	3	24
Alkener C3 (Propen)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Propan	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
Summa C3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Grenade alkaner C4 (Isobutan)	3,9	3,7	5,8	5,4	8,9	8,4	12,2	12,2	15,5	15,0	18,8	18,8
Alkener C4	1,9	1,8	2,9	2,6	4,9	4,8	6,6	6,7	8,8	8,7	11,2	11,3
Butan	8,9	8,6	13,3	12,5	21,3	19,5	29,6	30,8	39,1	37,6	49,0	49,3
Summa C4	14,8	14,1	22,0	20,5	35,1	32,7	48,4	49,7	63,4	61,3	79,0	79,4
Grenade alkaner C5 (Isopentan)	16,0	15,5	24,6	22,5	42,0	38,3	61,2	64,5	85,4	84,8	117,7	117,4
Alkener C5	1,4	1,4	2,3	1,9	4,1	4,9	5,4	5,7	8,5	8,3	12,0	11,6
Pentan	3,9	3,8	6,2	5,6	10,9	9,9	16,0	16,9	23,3	22,2	31,8	31,6
Cycliska C5	0,4	0,4	0,3	0,2	1,2	1,0	1,7	1,8	2,5	2,4	2,5	3,5
Summa C5	21,7	21,1	33,4	30,2	58,1	54,1	84,3	88,9	119,7	117,7	163,9	164,0
Grenade alkaner C6	3,0	3,1	5,3	4,7	10,0	8,6	14,7	14,6	22,5	21,3	30,6	31,4
Alkener C6	0,2	2,4	0,5	0,5	1,0	0,8	1,3	1,3	1,9	1,8	2,6	2,6
Hexan	0,5	0,5	1,0	1,0	2,0	1,7	2,0	2,8	4,9	4,6	6,9	7,1
Cycliska C6	0,5	0,6	1,2	1,2	2,5	2,1	2,7	3,4	5,9	5,6	8,3	8,6
Summa C6	4,2	6,7	7,9	7,3	15,5	13,2	20,7	22,1	35,3	33,3	48,4	49,7
Grenade alkaner C7	0,4	0,6	1,0	0,8	2,2	1,7	2,9	3,1	5,1	4,9	7,1	7,7
Heptan	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,4	0,4	0,7	0,7	1,0	1,7
Summa C7	0,5	0,7	1,2	0,9	2,5	1,9	3,3	3,5	5,8	5,5	8,1	9,4
Grenade alkaner C8	0,2	0,2	0,5	0,4	1,0	0,9	1,9	1,5	2,9	3,2	3,7	3,9
Summa C8	0,2	0,2	0,5	0,4	1,0	0,9	1,9	1,5	2,9	3,2	3,7	3,9
Bensen	0,0	0,1	0,2	0,2	0,5	0,4	0,6	0,6	1,0	1,0	1,5	1,4
Toluen	0,2	0,3	0,5	0,4	1,2	0,9	1,7	1,7	3,6	3,0	4,2	4,5
Xylener	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,2	0,7	0,6	1,8	2,0	2,4	2,7
Etanol	2,4	2,3	6,6	5,0	17,2	16,2	31,5	34,9	60,1	57,8	95,0	96,2
MTBE	2,2	2,2	3,7	3,5	7,5	6,5	7,5	15,0	14,9	14,7	25,1	24,2
Total	46	46	76	69	139	127	201	219	309	300	432	436

Tabell 3 Sammanställning av analysdata (%-vol) för E85S vid olika temperaturnivåer.

Temperature (°C)	-25	-25	-20	-20	-10	-10	0	0	10	10	20	20
Konditioneringstid (tim)	5	24	5	24	5	24	6	24	3	24	3	24
Summa C3 *)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Summa C4 *)	0,6	0,6	0,9	0,9	1,5	1,4	2,0	2,1	2,7	2,6	3,3	3,4
Summa C5 *)	0,7	0,7	1,15	1,0	2,0	1,9	2,9	3,1	4,1	4,0	5,6	5,6
Summa C6 *)	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,6	1,0	0,9	1,3	1,4
Summa C7 *)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,01	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Summa C8 *)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Summa aromater (C6 + C7 + C8)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Etanol	0,1	0,1	0,3	0,3	0,9	0,9	1,7	1,9	3,2	3,1	5,0	5,1
MTBE	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,7	0,7
Total summa	1,7	1,7	2,8	2,5	5,2	4,8	7,6	8,2	11,8	11,4	16,6	16,7

*) Summa alkaner och alkener

I Figur 2 presenteras i diagramform en summering av analysresultaten som funktion av temperaturen efter 24 tim konditionering. Som framgår av diagrammet utgörs de högsta halterna av C5-föreningar som vid 20 °C uppgår till ca 5,5 %. Även C4- och C6-föreningar uppvisar signifikanta koncentrationer medan koncentrationerna av C3-, C7- och C8-föreningar är mycket låga. Halten etanol varierar från i princip 0 % vid -25 °C till ca 5 % vid +20 °C och halten MTBE ligger på ca 0,7 % vid +20 °C. Den totala bränslekoncentrationen varierar från ca 1,7 % till ca 16,5 % vid +20 °C.



Figur 2 Koncentrationen av olika kolvätefraktioner respektive MTBE och etanol som funktion av temperaturen för E85S.

3.2.2 E85 vinterkvalitet samt åldrad E85

I Tabell 4 ges en sammanställning av erhållna analysresultat för E85V respektive åldrad E85S. Halterna är här uttryckta i g/m³ medan de i Tabell 5 omräknats och uttrycks som %-vol. Dessa analyser har endast utförts vid 0 °C .

Tabell 4 Sammanställning av analysdata (g/m³) för åldrad E85S respektive E85V vid 0 °C.

	Åldrad E85		E85 vinterkvalitet	
	0	24	0	24
Temperatur (°C)	0	0	0	0
Konditioneringstid (tim)	4	24	6	24
Alkener C3 (Propen)	0,0	0,0	0,0	0,0
Propan	0,1	0,1	1,0	0,9
Summa C3	0,1	0,2	1,0	0,9
Grenade alkaner C4 (Isobutan)	10,0	10,1	23,2	21,5
Alkener C4	6,0	6,0	10,6	9,7
Butan	26,1	26,8	77,1	74,4
Summa C4	42,1	42,8	110,8	105,6
Grenade alkaner C5 (Isopentan)	59,5	59,6	64,3	58,7
Alkener C5	5,5	5,8	5,7	5,2
Pentan	16,2	15,9	14,0	12,6
Cycliska C5	1,8	1,7	2,2	1,9
Summa C5	83,0	83,0	86,2	78,4
Grenade alkaner C6	15,2	14,5	17,8	18,0
Alkener C6	1,2	1,3	9,7	12,7
Hexan	3,1	2,9	3,2	4,4
Cycliska C6	4,2	3,6	3,8	4,9
Summa C6	23,7	22,3	34,5	40,0
Grenade alkaner C7	3,4	2,7	3,2	2,6
Heptan	0,5	0,5	0,5	0,3
Summa C7	4,0	3,2	3,7	3,0
Grenade alkaner C8	1,9	1,4	1,3	1,6
Summa C8	1,9	1,4	1,3	1,6
Bensen	1,0	0,7	0,7	0,5
Toluen	2,3	1,4	2,0	1,5
Xylener	0,6	0,6	1,2	1,5
Etanol	38,8	35,4	22,4	19,5
MTBE	13,1	13,1	8,5	11,5
Total	211	204	264	252

Tabell 5 Sammanställning av analysdata (%-vol) för åldrad E85S respektive E85V vid 0°C.

	Åldrad E85		E85 vinterkvalitet	
	0	0	0	0
Temperature (°C)	0	0	0	0
Konditioneringstid (tim)	4	24	6	24
Summa C3 *)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Summa C4 *)	1,8	1,8	4,7	4,5
Summa C5 *)	2,9	2,9	3,0	2,7
Summa C6 *)	0,7	0,6	0,7	0,8
Summa C7 *)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Summa C8 *)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Summa aromater (C6 + C7 + C8)	0,1	0,1	0,1	0,1
Etanol	2,1	1,9	1,2	1,0
MTBE	0,4	0,4	0,2	0,3
Total summa	8,0	7,7	10,1	9,5

*) Summa alkaner och alkener

Jämförs resultaten efter 24 tim konditionering mellan det åldrade bränslet och ursprungskvalitén av E85S (Tabell 3) kan man konstatera att avdunstningen medfört lägre koncentration av C4- och C5-föreningar medan övriga föreningar är oförändrade. Totalhalten vid 0 °C minskade därigenom med 0,5 %, från 8,2 % till 7,7 %.

Jämfört med E85S innehåller E85V framförallt en förhållandevis hög andel C4-föreningar vilket sannolikt är en konsekvens av ökat bensininnehåll för att få upp ångtrycket. Detta får också som konsekvens att halten etanol nästan halverats, ifrån ca 1,9 % till 1,0 %.

3.2.3 Blyfri 95-oktanig bensin

I Tabell 6 ges en sammanställning av erhållna analysresultat för bensin, BF95S, vid de olika temperaturnivåerna. Halterna är här uttryckta i g/m³ medan de i Tabell 7 omräknats och uttrycks som %-vol. En summering av analysresultaten ges dessutom i diagramform i Figur 3 nedan.

Tabell 6 Sammanställning av analysdata (g/m³) för bensen, BF95S, vid fyra olika temperaturnivåer.

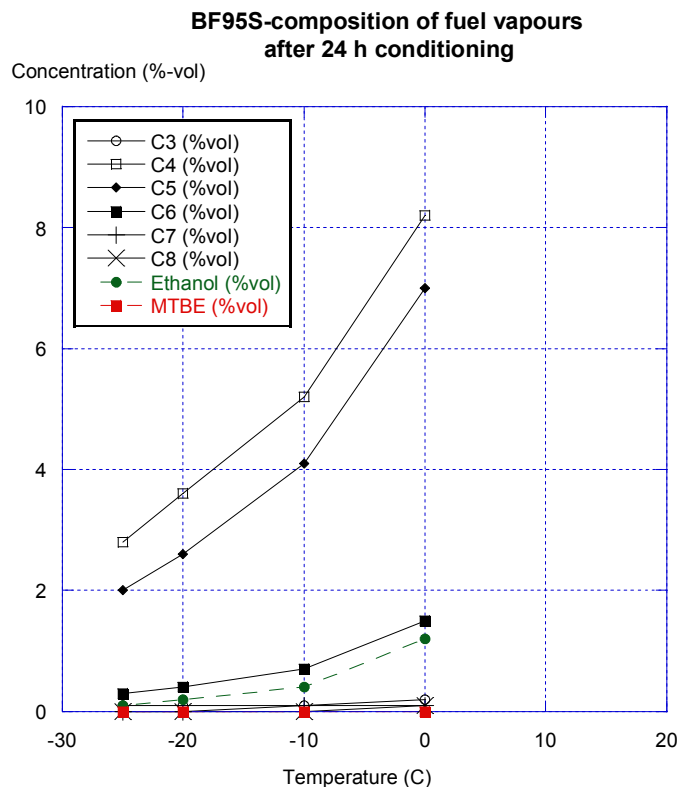
Temperature (°C)	-25	-25	-20	-20	-10	-10	0	0
Konditioneringstid (tim)	4	24	5	24	5	24	3	24
Alkener C3 (Propen)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2
Propan	1,2	1,2	1,6	1,5	1,9	1,9	2,6	2,8
Summa C3	1,3	1,3	1,7	1,7	1,9	1,9	2,8	3,0
Grenade alkaner C4 (Isobutan)	17,6	17,6	23,9	22,1	29,8	31,3	46,1	48,7
Alkener C4	8,4	8,4	11,8	10,8	16,0	15,9	25,0	26,7
Butan	40,7	40,6	55,5	51,3	70,4	74,8	116,9	118,5
Summa C4	66,7	66,5	91,2	84,2	116,2	122,1	188,0	193,8
Grenade alkaner C5 (Isopentan)	42,5	42,6	60,9	55,3	83,0	87,6	136,9	143,1
Alkener C5	4,3	4,3	6,9	5,8	10,6	9,3	16,2	18,4
Pentan	9,1	9,2	13,6	12,1	19,5	19,9	33,2	34,0
Cycliska alkaner C5	1,1	1,1	1,7	1,5	3,8	2,5	4,4	5,5
Summa C5	57,0	57,1	83,1	74,6	117,1	119,4	190,7	201,0
Grenade alkaner C6	7,1	7,2	12,6	10,6	19,4	17,8	31,5	35,8
Alkener C6	1,8	2,5	3,2	2,4	6,1	3,9	8,1	10,5
Hexan	1,0	1,0	2,0	1,5	3,4	2,6	5,5	6,3
Cycliska alkaner C6	1,4	1,4	3,3	2,0	5,1	3,7	7,6	8,6
Summa C6	11,3	12,2	21,0	16,5	34,0	28,0	52,7	61,2
Grenade alkaner C7	1,0	1,0	2,4	1,5	4,8	2,7	5,8	6,0
Heptan	0,1	0,1	0,2	0,2	0,8	0,3	0,7	0,7
Summa C7	1,1	1,1	2,6	1,7	5,6	3,0	6,5	6,7
Grenade alkaner C8	0,4	0,4	1,4	0,6	2,8	1,1	2,4	2,8
Summa C8	0,4	0,4	1,4	0,6	2,8	1,1	2,4	2,8
Bensen (C6)	0,4	0,4	1,3	0,5	1,7	1,1	2,1	2,3
Toluen (C7)	1,1	1,1	2,8	1,5	4,5	2,3	6,3	5,9
Xylener (C8)	0,2	0,2	0,8	0,6	1,0	0,3	2,9	1,6
Etanol	1,8	2,1	4,5	3,7	10,5	7,5	19,0	23,2
MTBE	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Total	141	142	210	186	295	287	473	501

Tabell 7 Sammanställning av analysdata (%-vol) för bensin 95 vid fyra olika temperaturnivåer.

Temperature (°C)	-25	-25	-20	-20	-10	-10	0	0
Konditioneringstid (tim)	4	24	5	24	5	24	3	24
Summa C3 *)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Summa C4 *)	2,8	2,8	3,9	3,6	4,9	5,2	8,0	8,2
Summa C5 *)	2,0	2,0	2,9	2,6	4,1	4,1	6,6	7,0
Summa C6 *)	0,3	0,3	0,5	0,4	0,8	0,7	1,3	1,5
Summa C7 *)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Summa C8 *)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	0,1	0,1
Summa aromater (C6 + C7 + C8)	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,3
Etanol	0,1	0,1	0,2	0,2	0,6	0,4	1,0	1,2
MTBE	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Total summa	5,3	5,4	7,9	7,0	10,9	10,7	17,6	18,7

*) Summa alkaner och alkener

I Figur 3 presenteras i diagramform en summering av analysresultaten som funktion av temperaturen efter 24 timmars konditionering. Som framgår av diagrammet utgörs de högsta halterna av C4- och C5-föreningar som vid 0 °C uppgår till ca 8,2 % respektive 7,0 %. Halten C6-föreningar uppgår till ca 1,5 % och etanolhalten till 1,2 %. Koncentrationerna av C3-, C7- och C8-föreningar är mycket låga. Spår av MTBE kunde noteras men var under kvantifieringsgränsen.



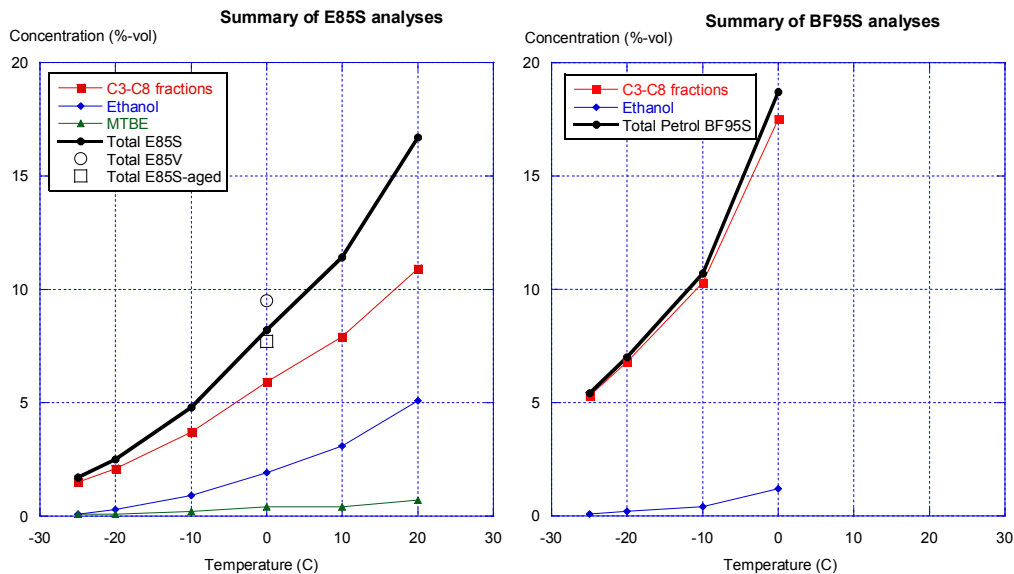
Figur 3 Koncentrationen av olika kolvätefraktioner respektive etanol som funktion av temperaturen för bensin BF95S.

3.2.4 Jämförelse mellan E85 och bensin

I Figur 4 ges en summering av analysresultaten för de olika E85-kvaliteterna respektive bensin, BF95S. I diagrammen visas summan av C3-C8-föreningar, etanol respektive MTBE samt slutligen

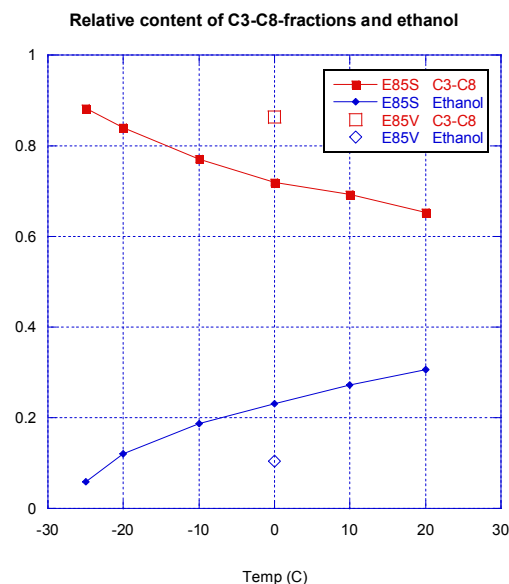
den totala bränslekonzentrationen, dvs summan av dessa tre ämnesgrupper. När det gäller MTBE var halten under detektionsgränsen i BF95S och redovisas således inte i diagrammet.

Både för E85 och BF95S framgår ett starkt temperaturberoende. Jämförs E85-kvaliteterna vid 0 °C så har E85S en totalkoncentration av 8,2 % medan E85V ger en något högre totalkoncentration (9,5 %) medan den åldrade E85S uppvisar ett marginellt lägre koncentration (7,7 %). För BF95S är dock koncentrationen ca dubbelt så hög vid 0 °C, ca 18,5 %-vol.



Figur 4 Jämförelse av bränsleångornas sammansättning hos E85 resp bensin 95 vid olika temperaturer.

Analyserna visar också tydligt på skillnaden mellan bränslesammansättningen i vätskefasen respektive i ångfasen. I Figur 5 visas det relativa förhållandet mellan summan av C3-C8-föreningar och etanol. Trots att E85S innehöll ca 85 % etanol i vätskefasen varierar andelen etanol i gasfasen från ca 5 % (0,05) till 30 % (0,3). Detta indikerar, att trots den låga bensinhalten i E85 så dominerar bensinfraktionerna (C3-C8) i ångfasen. Som framgår av diagrammet är skillnaden ännu större för E85V där fördelningen vid 0 °C är ca 10 % etanol och 90 % bensinfraktioner i ångfasen.



Figur 5 Förhållandet mellan andel etanol respektive totala andelen C3-C8-föreningar som funktion av temperaturen för E85S (exklusive MTBE).

4 Etapp 2-Temperaturområde för brännbara bränsleångor

Syftet med etapp 2 var att bestämma det temperaturområde där ett slutet kärl/tank innehåller en brännbar blandning av bränsleångor och luft, dvs temperaturområdet mellan UEP respektive LEP. De bränslen som provades var E85S, E85V samt bensin BF95S.

En annan aspekt var att också bestämma explosionsegenskaperna hos E85-ångorna, för att därmed kunna bedöma vilken explosionsgrupp (IIA eller IIB) som är mest representativ för E85-ångor. För detta ändamål användes två provgasblandningar som i provningssammanhang, t ex vid typprovning och certifiering av explosionstätta kapslingar, används som representativa gaser för dessa två explosionsgrupper.

Försöken genomfördes i SPs explosionslaboratorium på SP Elektronik. Laboratoriet är utrustat med tändsystem, tryckmätningssystem samt utrustning för att generera och kontrollera provgasblandningar.

4.1 Försöksutrustning

Försöken har genomförts i en explosionskammare ("bomb") som fyllts med bränsleångor av olika kvalitet från ett slutet, konditionerat kärl. Efter varje fyllning genererades en elektrisk gnista inne i bomben och det kontrollerades om blandningen antändes eller ej. Registrering av antändning gjordes dels visuellt genom glasrutor i bomben, dels genom registrering av trycket inne i bomben.

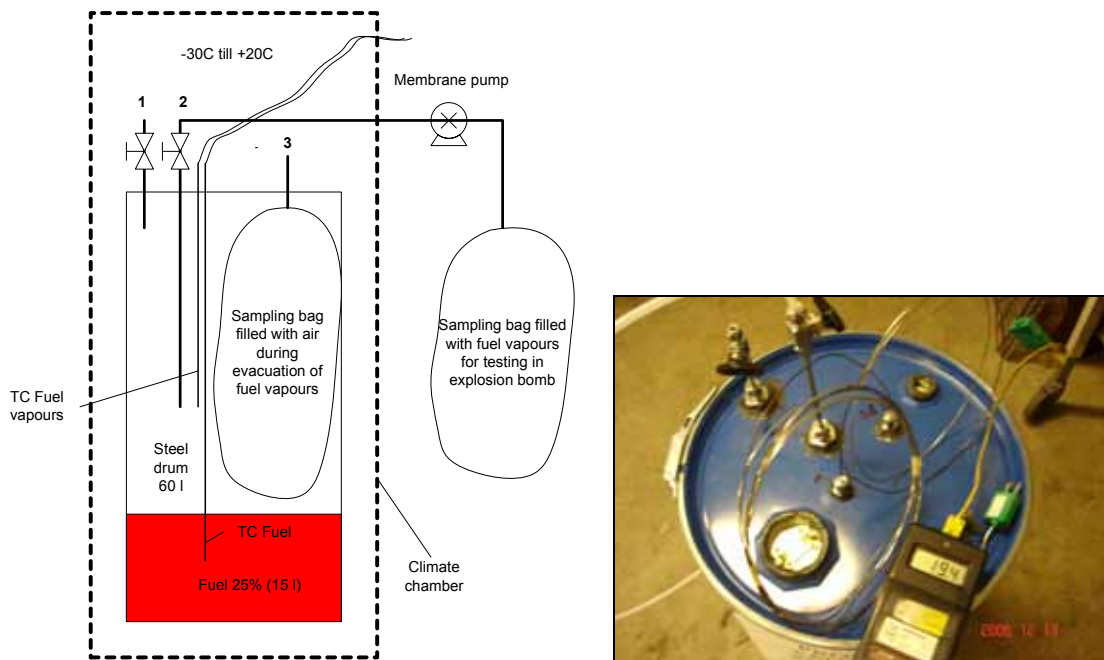
4.1.1 Generering av bränsleångor

För att så långt som möjligt säkerställa att den gasblandning som provades i bomben motsvarar den som råder i ett jämviktstillstånd vid en aktuell temperatur konditionerades ett slutet kärl med respektive bränslekvalitet. Bränsleångorna inne i kärlet fördes därefter över till bomben via en gaspåse varefter antändningsförsök genomfördes.

För konditioneringen av bränslet användes ett 60 l plåtfat fyllt med 15 l av aktuell bränslekvalitet (25% fyllnadsgrad), se Figur 6. Fatet var försett med tre anslutningar genom locket, ett för inläpp av luft (1), ett för utsug av bränsleångor (2) och ett för tryckutjämning under provtagningsfasen (3). Anslutningen för tryckutjämningen var kopplad till en 40 l gaspåse av typ Tedlarpåse som var placerad inne i fatet och som fungerade som "lunga" när bränsleångor sögs ut. Detta förhindrade att bränsleångorna blandades med luft under detta moment.

Kärlet placerades i ett större frysskåp där lufttemperaturen kunde regleras från -30°C till +20°C. Bränslet tilläts att konditionera i ca 1 dygn eller mer mellan varje ändrad temperaturnivå för att säkerställa stabila temperaturförhållanden.

Termoelement av typ K (mantlat, diameter 1 mm) användes för att mäta temperaturen, dels i vätskefasen och dels i gasfasen inne i fatet. Dessutom fanns ett termoelement placerat inne i frysskåpet för registrering av lufttemperaturen runt fatet. Temperaturerna avlästes manuellt genom att termoelementen kopplades in till en handburen mätare av typ Terma 1. Anslutningarna till termoelementen var utdragna utanför frysskåpet så att mätningarna kunde ske utan att öppna frysskåpet.



Figur 6 Utrustning för konditionering av bränslet och provtagning av bränsleångor.

När jämviktstemperatur uppnåtts sögs bränsleångorna i fatet ut till en 40 l gaspåse av typ Tedlar med hjälp av en membranpump. Påsen fylldes med ca 30 l bränsleångor vilket var tillräckligt för tre efterföljande bombförsök. Påsen förflyttades sedan till bombutrustningen där bränsleången sögs in i bomben, se vidare kapitel 4.2.

4.1.2 Generering av provgasblandningar

Bestämning av referenstryck ingår i den typkontroll som genomförs för explosionståta kapslingar som skall certifieras för användning i explosionsfarliga miljöer. Brandfarliga ämnen i explosionsfarliga miljöer är normalt klassade explosionsgrupp IIA, IIB eller IIC (där IIC är den strängaste explosionsgruppen). Vilken explosionsgrupp som gäller beror på ämnets tändgenomslags-egenskaper som bestäms av MESG enligt IEC 60079-1-1:2002 [21].

En explosionstät kapsling skall vara konstruerad, provad och certifierad för den explosionsgrupp som gäller för miljön. I en miljö som är klassad exempelvis IIB, kan en explosionstät kapsling klassad IIB (och IIC) användas, men inte en kapsling klassad IIA. För flamskydd i processledningarna etc finns en ytterligare indelning av explosionsgrupp IIB (IIB1, IIB2, IIB3), enligt en särskild standard för sådan utrustning (EN 12874:2001) [18].

De två provgasblandningarna som användes, propan/luft respektive eten/luft, representerar brandfarliga ångor och gaser klassade i explosionsgrupp IIA respektive IIB vid bestämning av högsta explosionstryck (referenstryck) i kapslingar, enligt IEC 60079-1:2007 [22].

Provgasblandningarna som användes i försöken, hade följande sammansättning (enligt 15.1.2.1 i IEC 60079-1):

- IIA: $4,6 \pm 0,3$ % propan i luft
- IIB: $(8 \pm 0,5)$ % eten i luft

Flödet av den brandfarliga gasen (propan respektive eten N 35 = 99,95 % renhet) blandades med ett luftflöde så att ovanstående sammansättning erhöles. Flödena reglerades med ventiler och avlästes

med flödesmätare av typen svävkroppsmätare. Provgasblandningen fördes (via en flamspärr) till explosionskammaren och tillbaka i en returledning (via en flamspärr) till en interferometer (SP inv.nr 501069), där koncentrationen uppmättes, se Figur 7. Provgasblandningen till och från explosionskammaren stängdes av med ventiler före varje antändningsförsök. Före och efter varje försök registrerades omgivningens lufttryck, luftfuktighet och temperatur.



Figur 7 Laborieutrustning för blandning och mätning av provgasblandningar.

4.1.3 Explosionskammare ("bomb")

Försöken har utförts i en explosionsprovingskammare liknande den som beskrivs i SS-EN 1839, "Determination of explosion limits of gases and vapours" [23] respektive SS-EN 13673-2, "Determination of maximum explosion pressure and the maximum rate of pressure rise of gases and vapours" [24]. I dessa standarder föreskrivs sfäriska eller cylinderformade explosionskammare ("bomber") med en minsta volym av 0,005 m³.

I detta projekt har en kubisk bomb använts med dimensionen 0,2m x 0,2m x 0,2m och volymen 0,008 m³, se Figur 8. Den kubiska formen kan ge viss påverkan på resultaten varför resultaten inte direkt kan jämföras med resultaten från en sfärisk eller cylindrisk bomb. Även bombens volym har en inverkan vilket gör att direkta jämförelser inte kan göras av resultat från olika utrustningar. I EN 13673-2, Annex A [24], ges en vägledning för verifiering av försöksbomber med volymen 0,005 m³ till 2 m³ samt hur testvolymen påverkar tryckstegringshastigheten.

Försöken i detta projekt har dock haft det primära syftet att bestämma temperaturområdet för brännbar blandning för E85 (UEP resp LEP) samt ge en relativ jämförelse av explosionsegenskaperna jämfört med bensin och provgaserna. Mot denna bakgrund bedöms inverkan av bombens utformning vara av mindre betydelse.



Figur 8 Explosionskammare ("bomb") med volymen 8 dm³ som användes vid explosionsförsöken.

Tändanordningen bestod av två elektroder placerade centriskt i bomben vilka var kopplade till ett tändsystem. Tändsystemet bestod av ett konventionellt induktivt tändsystem för bilar, där tändspolens högspänningslindning var ansluten till elektroderna och primärlindningen var ansluten till ett batteri via en elektronisk tändenhet med halvledarbrytare. Tändanordningen motsvarar den som används enligt standarden IEC 60079-1-1:2002 [21] vid bestämning av MESG där denna beskrivs som "...normal automotive ignition coil for the voltage supply".

Gnistenergin för biltändsystem är normalt i storleksordningen 30-50 mJ. Nödvändig tändenergi för en stökiometrisk bränsleblandning i en bensindriven motor är ca 0,2 mJ, men för att klara kallstart med fet blandning, smutsiga tändstift, fukt, dåliga kontakter etc är biltändsystem konstruerade för att avge en betydligt högre energi.

Som en jämförelse kan nämnas att vid elektrostatisk urladdning av en person, är energin i en knappt hörbar eller synlig gnista i storleksordningen 2 mJ. För en person som suttit i en bilstol kan det handla om energi i storleksordningen 30 mJ, om man räknar med att personen är ledande med en kapacitans på 150 pF och mycket låg luftfuktighet. Om man beaktar övergångsresistanser hos en person, så motsvaras 30 mJ av en effektiv energi på storleksordningen 10-15 mJ. Vid mycket ogynnsamma förhållanden (kraftig uppladdning av t ex heltäckningsmatta, låg luftfuktighet mm) kan energin uppgå till storleksordningen 100 mJ, som motsvaras av en effektiv energi på storleksordningen 25-50 mJ pga övergångsresistanser hos en person.

Trycket i bomben registrerades med hjälp av en tryckgivare kopplad till en mätförstärkare och ett dataloggersystem. Tryckgivaren var av typ piezoresistiv av fabrikat American Sensor Technologies (SP inv.nr 502615, serienr 01A01A09-D07), med tryckområde upp till 35 bar och bandbredd (-3 dB) 5 kHz. Tryckgivaren var monterad på en kort rörledning som var ansluten till uttag i bombens botten. Mätssystemet hade en tidsupplösning på 10 µs.

Förutom tryckmätningen kunde antändningsförloppet studeras visuellt genom två glasrutor på bomben och alla försök videofilmades med en digital videokamera.

För evakuering av bomben användes en vakuumpump som tömde denna till absoluttryck på ca 6-8 mbar vilket motsvarar att mindre än 1 % av luftblandningen återstår i bomben. För att mäta undertrycket i bomben användes en tryckgivare av fabrikat Special Instruments, typ ”Digima FP”. För att säkerställa en homogen gasblandning inne i bomben var denna också försedd med en omrörare nära bombens botten.

4.2 Provningsprocedur

4.2.1 Konditionering och provuttag av bränsleångor

15 liter av aktuell bränslekvalitet fylldes i fatet som därefter tillslöts så det blev helt gastätt. Fatet placerades i frysskåpet för konditionering till aktuell temperatur. Under konditioneringstiden kontrollerades temperaturen regelbundet i vätskan/gasfasen för att säkerställa att jämviktsförhållanden rådde vid uttaget av bränsleångor.

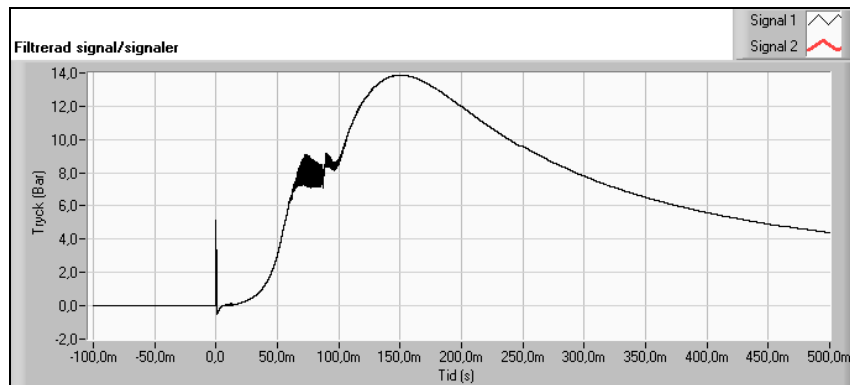
Vid uttag av bränsleångor kopplades en slang till anslutning nr 2 på fatet (se Figur 6) och ventilen öppnades. Slangen kopplades till en membranpump placerad utanför frysskåpet och från pumpen leddes gasen via en rotameter till en 40 l Tedlarpåse. Pumpkapaciteten var ca 5 l/min vilket medförde att det tog 6-7 min att fylla ca 30-35 l av bränsleångor i gaspåsen. Samtidigt som bränsleångorna sögs ur fatet kunde omgivande luft strömma in i den gaspåse som fanns placerad inne i fatet vilket innebar att det aldrig uppstod något undertryck i fatet eller att luft blandades med bränsleångorna. Efter fyllningen tillslöts Tedlarpåsen och transporterades till explosionslaboratoriet för efterföljande bombprov.

Efter att uttaget av bränsleångor avslutats öppnades anslutning 1. Membranpumpen kopplades därefter till gaspåsen placerad inuti fatet och tömde denna helt varvid luft kunde strömma in via anslutning 1. När gaspåsen var tömd stängdes anslutning 1 och 2 och bränslet konditionerades igen till nästa temperaturnivå.

4.2.2 Bombprovning

Inför varje antändningsförsök vakuumsögs bomben ner till ca 6-8 mbar (absoluttryck). Ventilen till vakuumpumpen stängdes och bombens täthet kontrollerades genom att mäta trycket i bomben under några minuter för att se att detta inte förändrades. Gaspåsen innehållande bränsleångorna anslöts därefter via en slang till en slanganslutning i bombens botten. Ventilen till denna öppnades sakta så att gasen sögs in långsamt. När bomben var helt fylld med bränsleångor och vakuumpyckmätaren visade nolltryck (dvs atmosfärstryck), stängdes ventilen igen och påsen kopplades bort. Ventilen till vakuumpyckmätaren stängdes och ventilen till tryckgivaren för registrering av explosionstrycket öppnades. Omröraren inne i bomben kördes därefter i ca 1 min för att säkerställa en homogen atmosfär i bomben. Videokameran placerades framför ett av bombens fönster och kameran startades.

Tryckmätsystemet startades och en total mättid för tryckregistreringen definierades. Tändsystemet aktiverades och registreringen av tryckmätningarna aktiverades så snart trycket översteg ett inställt värde, normalt 0,2-0,5 bar. Registrerade tryckvärden sparades under definierad mättid, normalt -100 ms till +500 ms räknat från mätstart, se exempel i Figur 9. I vissa försök utsträcktes mätningen till +1000 ms, +2000 ms eller +3000 ms. Mätsystemet genererade två mätfiler från respektive försök, en filtrerad och en ofiltrerad trycksignal. För filtrering av trycksignalen användes ett lågpasfilter med 3 dB vid 5 kHz \pm 10 %, enligt avsnitt 15.1.2 i IEC 60079-1 [22].



Figur 9 Filtrerad tryckkurva som resultat av ett bombförsök (E85 S test #7).

Efter försöket öppnades påfyllnadsanslutningen till bomben och omröraren respektive vakuumpumpen startades. Ventilen till tryckgivaren för registrering av explosionstrycket stängdes och vakuumpyckmätaren kopplades in igen. Bomben ventilerades därefter under flera minuter för att säkerställa att alla förbränningsgaser evakuerats varefter en ny fyllnadsprocess kunde inledas.

Vid försök med provgasblandningarna vakuumsögs inte bomben utan istället spolades denna med respektive provgas genom ett inlopp och ett utlopp (se 4.1.2). Utströmmande gas leddes till interferometern för kontroll av gassammansättningen. När utströmmande gas överensstämde med inställt värde för gasblandningen avslutades spolningen, alla anslutningar stängdes och antändningsförsöket genomfördes såsom beskrivet ovan.

Normalt sett kördes tre fullständiga antändningsförsök med varje gasblandning.

4.2.3 Försök med temperaturkonditionerad utrustning

Vid den normala proceduren beskriven i 4.1.1 ovan provtogs bränsleblandningen från ett konditionerat kärl men bränsleångorna i gaspåsen antog snabbt omgivningstemperatur, vilken var ca 17-20 °C vid försöken. Bombutrustningen hade samma temperatur initialt men varje antändning i bomben ledde dessutom till en svag temperaturstegring på grund av genererad värme vid förbränningen.

Detta förfarande innebar visserligen en oförändrad gassammansättning uttryckt som %-vol bränsle/luft, men uttryckt i t ex g/m^3 så sjunker koncentrationen på grund av gasens och därmed gaspåsens utvidgning. För en ideal gas innebär en temperaturförändring från t ex -10 °C till +20 °C en volymökning på drygt 10 %.

För att studera eventuell inverkan på grund av ovanstående förfarande genomfördes två försök (#25-26) där både bombutrustningen och bränslet konditionerats till en låg temperatur och där bränsleångorna sögs direkt från fatet in i bomben.

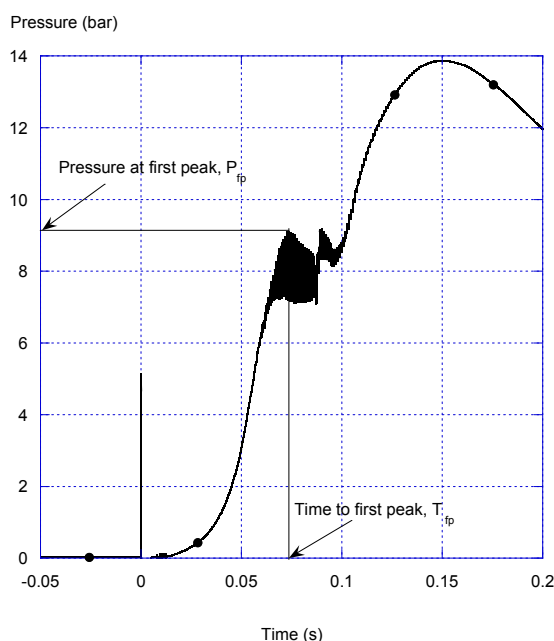
Eftersom fryskammaren ej var placerad i direkt anslutning till explosionslaboratoriet fick både bombutrustningen och fatet med bränsle transporteras dit strax före provningen. För att minimera uppvärmningen av bränsle och bombutrustning isolerades denna under transporten. Tyvärr visade det sig svårt att få en fullgod isolering vilket gjorde att framförallt bränslets temperatur trots allt steg relativt snabbt. Vid antändning i bomben genererades dessutom viss energi vilket bidrog till en successiv uppvärmning av denna efter varje försök. Försöksresultaten gav trots dessa svårigheter möjlighet till en grov jämförelse mot övrig försöksdata.

4.2.4 Utvärdering av tryckmätningar

Tidpunkten noll på tidsaxeln (se Figur 9) motsvarar tidpunkten för mätsystemets aktivering, som var inställd på att aktiveras vid ca 0,2-0,5 bar. Normalt sett erhöles denna aktivering i samband med tändgnistan, men i de försök detta ej var fallet har tryckmätningarna tidsförskjutits så att tiden noll motsvarar tändögonblicket.

Baserat på erhållna tryckkurva bestämdes därefter det maximala trycket i första trycktoppen, P_{fp} (first peak) samt tiden från antändning till första trycktoppen, t_{fp} , se Figur 10. Baserat på detta har därefter en beräkning gjorts av den genomsnittliga tryckstegringshastigheten (v_{fp}), genom att dividera trycket P_{fp} med tiden t_{fp} .

I flera av försöken uppträdde efterföljande trycktoppar, såsom visas i Figur 10, med högre tryck än första trycktoppen. Orsaken till dessa trycktoppar är inte helt utredda men beror sannolikt på bl a tryckgivarens placering och provkammarens utformning där den invändiga geometrin är av betydelse för tryckvågens utbredning och tryckuppbyggnaden i kammaren. De efterföljande topparna bedöms ej vara av primärt intresse och ligger därför inte till grund för utvärderingen av resultatet från försöken.



Figur 10 Detaljanalys av mätdata för bestämning av maximalt övertryck vid första trycktoppen (P_{fp}) och tid till maximalt tryck (t_{fp}) (E85 S test #7).

Totalt genomfördes 26 försöksserier med normalt sett tre separata antändningsförsök i varje serie. Dessa provningar omfattade bränsletyperna E85S, E85V, BF95 samt provgaserna propan respektive eten.

4.3 Resultat av bombförsök

Eftersom E85S antogs utgöra det största problemet ur risksynpunkt har försöken primärt fokuserats på detta bränsle. För att få en jämförelse mot kända förhållanden genomfördes även en serie av försök med bensin, BF95S. Dessutom har några försök genomförts med E85V samt provgaserna propan respektive eten. Resultaten redovisas i kapitel 4.3.1 till 4.3.4.

4.3.1 E85 Sommar- respektive vinterkvalitet

Som framgår av Tabell 8 har totalt 11 försöksserier genomförts med E85 av sommarkvalitet (E85S) och tre försöksserier med vinterkvalitet (E85 V). Dessutom har två försöksserier (#25-26) genomförts med konditionerad utrustning.

Som framgår av Tabell 8 omfattar försöken med E85S ett temperaturområde från ca -25 °C till $+20\text{ °C}$ och inom detta område erhöles antändning inom temperaturområdet $+1,5\text{ °C}$ ner till $-16,0\text{ °C}$. I Figur 11 redovisas uppmätt tryckstegring vid dessa försök. Att ange ett exakt temperaturområde för brännbar blandning är svårt, dels på grund av att provningarna i sig ger en viss resultatspridning, dels att temperaturintervallen inte är så täta, speciellt för den högre temperaturgränsen. Försöken vid både $+1,5\text{ °C}$ och $+0,2\text{ °C}$ visar på ett mycket långsamt förbränningsförlopp vilket tyder på att man är nära övre temperaturgränsen för brännbart område (UEP). Den undre temperaturgränsen (LEP) tenderar till att vara mer distinkt, antändning erhöles utan problem vid $-16,0\text{ °C}$ medan gaserna ej gick att tända vid $-18,4\text{ °C}$.

Tabell 8 Sammanställning av försöksdata för E85 sommar- respektive vinterkvalitet. Om inget annat anges är redovisade tryck och tryckstegringstider medelvärden av enskilda antändningsförsök.

Test nr	Datum	Bränsle	T _f (°C)	T _g (°C)	P _{fp} (bar)	t _{fp} (ms)	v _{fp} (bar/s)	n _{ex} /n _{tot}	Not.
3	070117	E85S	+21,1	+21,2	-	-	-	0/3	
4	070118	E85S	+10,9	+10,8	-	-	-	0/3	
5	070119	E85S	+1,5	+1,5	1,45	800	1,8	2/3	
20	070221	E85S	+0,2	-0,5	2,9	1230	2,4	3/4	1, 2)
22	070223	E85S	-5,0	-5,5	6,8	73	93	3/3	1)
7	070122	E85S	-8,3	-8,4	9,1	74	123	2/4	3)
17	070131	E85S	-12,0	-12,2	7,7	86	89	2/3	
9	070123	E85S	-16,0	-16,4	7,4	126	59	3/3	
15	070129	E85S	-18,4	-17,9	-	-	-	0/3	
13	070125	E85S	-21,9	-22,7	-	-	-	0/3	
11	070124	E85S	-24,8	-26,0	-	-	-	0/3	
21	070221	E85V	+0,5	+0,4	-	-	-	0/3	
23	070223	E85V	-3,8	-2,3	-	-	-	0/3	
24	070612	E85V	-9,1	-11,0	0,45	805	0,6	2/3	4)
25	070613	E85S	-3,9	-	4,8	732	6,6	2/2	5)
26	070613	E85V	-0,3	-	-	-	-	0/2	6)

T_f = Temperatur bränsle (°C) T_g = Temperatur gas (°C) P_{fp} = Tryck vid första trycktoppen (bar) (övertryck)	t_{fp} = Tid till första trycktopp (ms) v_{fp} = Genomsnittlig tryckstegringshastighet till första trycktopp (bar/s) n_{ex}/n_{tot} = Antal detekterade antändningar i förhållande till antalet antändningsförsök
--	--

1) Omprov med "färsk" bränsle för att studera eventuell inverkan av bränslets "åldring".

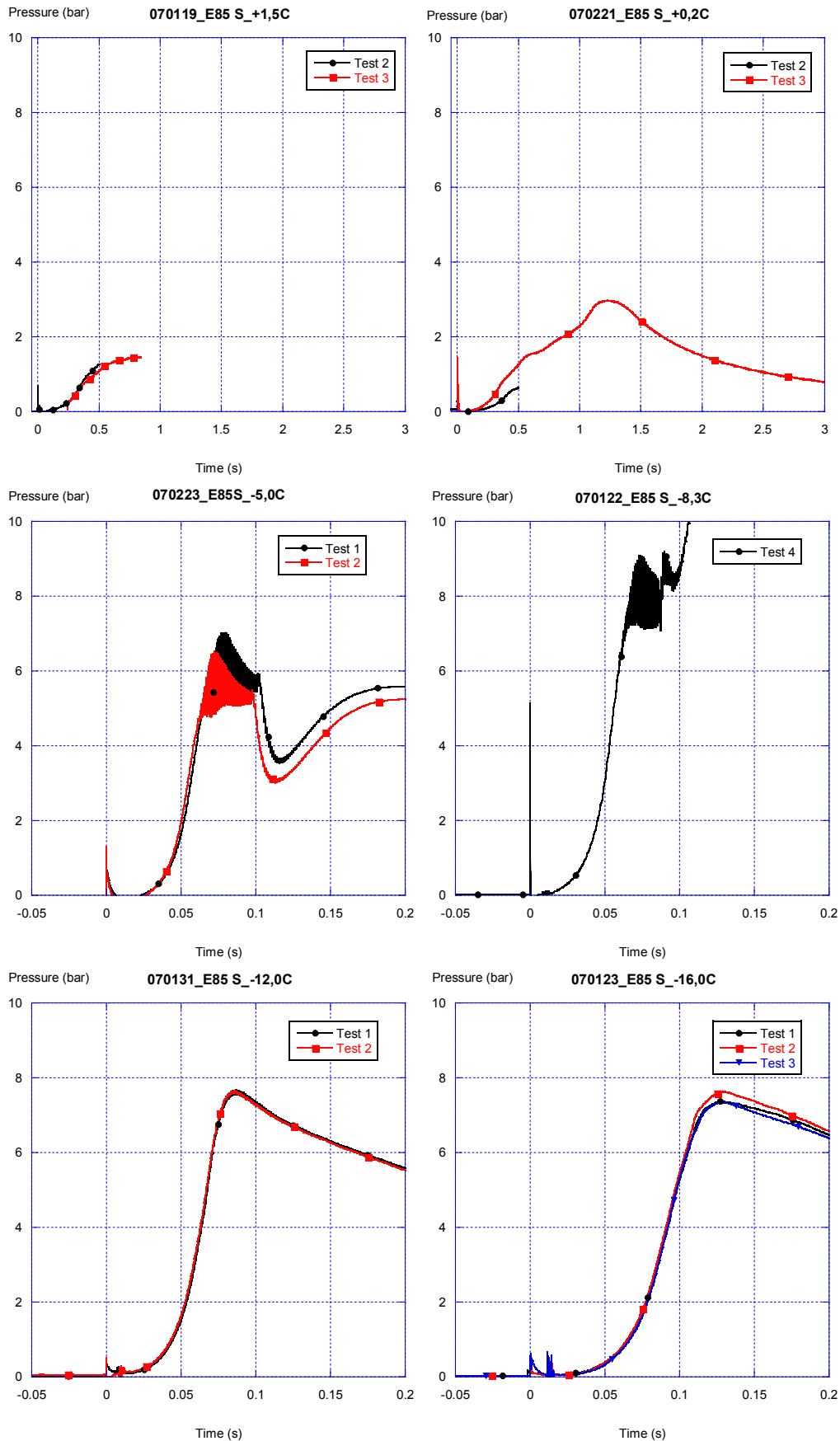
2) Gasen antändes först vid den 2:a gnistan i det första bombförsöket (pga detta erhöles ingen tryckregistrering). Vid bombförsök 2 erhöles en "långsam" explosion med stigande tryck under hela mätperioden (500 ms). Bombförsök 3 utfördes med ca 80 mbar undertryck i bomben pga otillräcklig mängd bränsleångor i gaspåsen. Även här erhöles en "långsam" explosion. Specificerade värden avser tredje bombförsöket.

3) Ett kompletterande bombförsök gjordes pga problem med registrering av tryckförloppet. Specificerade värden avser detta kompletterande försök (4:e bombförsöket) där tryckförloppet registrerades.

4) Vid första bombförsöket antände gasen på 2:a gnistan och i tredje bombförsök antände gasen efter 5-6 gnistor (pga detta och mycket lågt tryck erhöles ingen tryckregistrering i detta försök). I det andra bombförsöket erhöles ingen antändning.

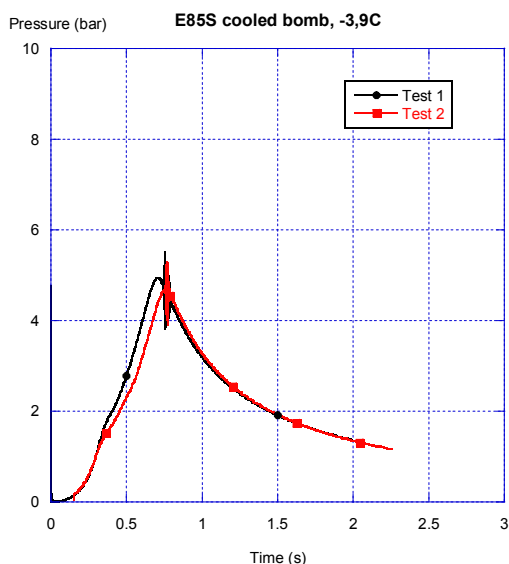
5) Bränsleångor direkt från konditionerat fat till nedkyld bomb. Bränsletemperaturen i fatet var -4,0°C i bombförsök 1 och -3,7°C i bombförsök 2. Gastemperaturen i det konditionerade fatet ej uppmätt. Bombens yttre ytemperatur var 0°C i de första bombförsöket och +3,0°C i andra bombförsöket.

6) Bränsleångor direkt från konditionerat fat till nedkyld bomb. Bombens yttre ytemperatur var +5,6°C. Ingen antändning erhöles.



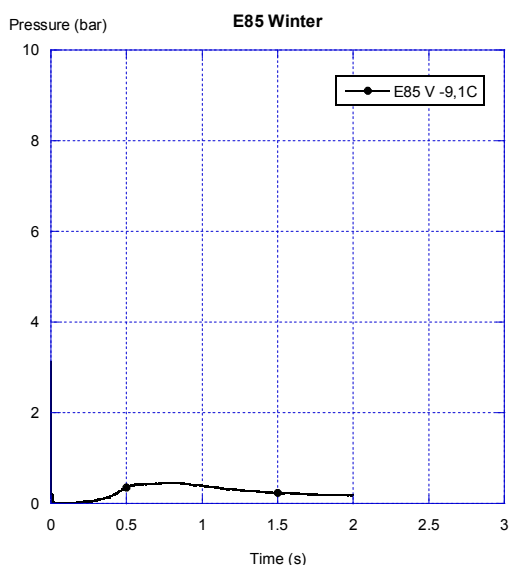
Figur 11 Tryckkurvor från försöken med E85 S (Obs skalan på x-axeln i de två övre diagrammen).

I Figur 12 redovisas tryckkurvan från det försök som gjordes med provtagning av bränsleångor direkt ifrån det konditionerade fatet med bränsle och där också bombutrustningen var nedkyld. Syftet var som beskrivits i kapitel 4.2.3 att bekräfta att provtagningsförfarandet av bränsleångorna via en gaspåse inte nämnvärt påverkade resultaten. Tryckökningen som erhöles var relativt långsam och detta stämmer överens med tendenserna från övriga försök inom aktuellt temperaturområde. (Se även Figur 17).



Figur 12 Tryckkurvor från provning med E85 S där provtagning av bränsleångor gjordes direkt ifrån det konditionerade fatet (bränsletemperatur $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$) till den nedkylda bomben.

I Figur 13 redovisas en tryckkurva från den enda försöksserie där antändning erhöles med E85V. Två antändningsförsök genomfördes men på grund av att det i det ena försöket krävdes flera gnistor för att få antändning erhöles bara en tryckmätning. Visuellt tycktes dock försöken helt identiska. På grund av den långsamma förbränningen och det låga trycket indikerar försöken att aktuell bränsletemperatur, $-9,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ är mycket nära den övre temperaturgränsen för brännbart område (UEP).



Figur 13 Tryckkurva från försök med E85 V (vinterkvalitet) vid $-9,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Försök vid $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ respektive $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ gav ingen antändning.

4.3.2 Blyfri bensin, sommarkvalitet

Som framgår av Tabell 9 har totalt sex försöksserier genomförts med bensin, BF95S.

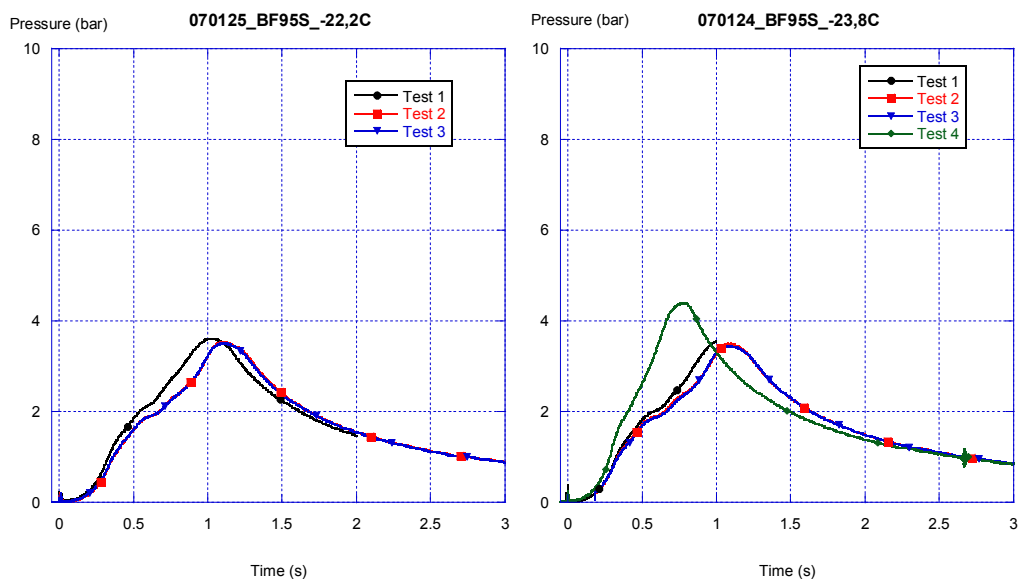
Försöken med BF95S omfattar ett temperaturområde från ca +2°C till -25°C och inom detta område erhöles antändning vid temperaturer lägre än ca -22°C. Som framgår av Figur 14 uppvisar försöken vid både -22,2°C och -23,8°C ett mycket långsamt förbränningsförlopp vilket tyder på att man är nära övre temperaturgränsen för brännbart område (UEP). För bensin har inga försök genomförts för att bestämma brännbarhetsområdets storlek och den undre temperaturgränsen (LEP). Försöken ger heller ingen uppfattning om maximalt explosionstryck respektive maximal tryckstegringshastighet.

Tabell 9 Sammanställning av försök med 95 oktans blyfri bensin, sommarkvalitet. Om inget annat anges är redovisade tryck och tryckstegringstider medelvärden av enskilda antändningsförsök.

Test nr	Datum	Bränsle	T _f (°C)	T _g (°C)	P _{fp} (bar)	t _{fp} (ms)	v _{fp} (bar/s)	n _{ex} /n _{tot}	Not.
6	070119	Bensinånga	+2,4	+2,1				0/3	
8	070122	Bensinånga	-7,5	-8,0				0/3	
10	070123	Bensinånga	-15,0	-15,5				0/3	
16	070129	Bensinånga	-18,1	-19,2				0/3	
14	070125	Bensinånga	-22,2	-23,5	3,5	1085	3,4	3/3	
12	070124	Bensinånga	-23,8	-25,2	3,4	1090	3,1	4/4	1)

T_f = Temperatur bränsle (°C) T_g = Temperatur gas (°C) P_{fp} = Tryck vid första trycktoppen (bar) (övertryck)	t_{fp} = Tid till första trycktopp (ms) v_{fp} = Genomsnittlig tryckstegringshastighet till första trycktopp (bar/s) n_{ex}/n_{tot} = Antal detekterade antändningar i förhållande till antalet antändningsförsök
--	--

1) Angivet tryck och tryckstegringstid är ett medelvärde av antändningsförsök 1-3. Antändningsförsök 4 (omprovning med ett nytt provuttag av bränsleångor) gav ett maximalt tryck på 4,4 bar vid 770 ms.



Figur 14 Tryckkurvor från försöken med BF95 sommarkvalitet. Test 4 vid $-23,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ är ett omprov med ett nytt provuttag av bränsleångor vilket gav något snabbare förlopp och högre tryck.

4.3.3 Provgaserna propan respektive eten

Som framgår av Tabell 10 har totalt fyra försöksserier genomförts med provgaser, två serier med $(4,6 \pm 0,3)\%$ propan i luft och två serier med $(8 \pm 0,5)\%$ eten i luft. En serie med vardera typen av provgas genomfördes i inledningsskedet av projektet, delvis som en del i utprovningen av explosionskammaren och tillhörande utrustning och rutiner, och när större delen av försöksprogrammet genomförts (se Figur 15).

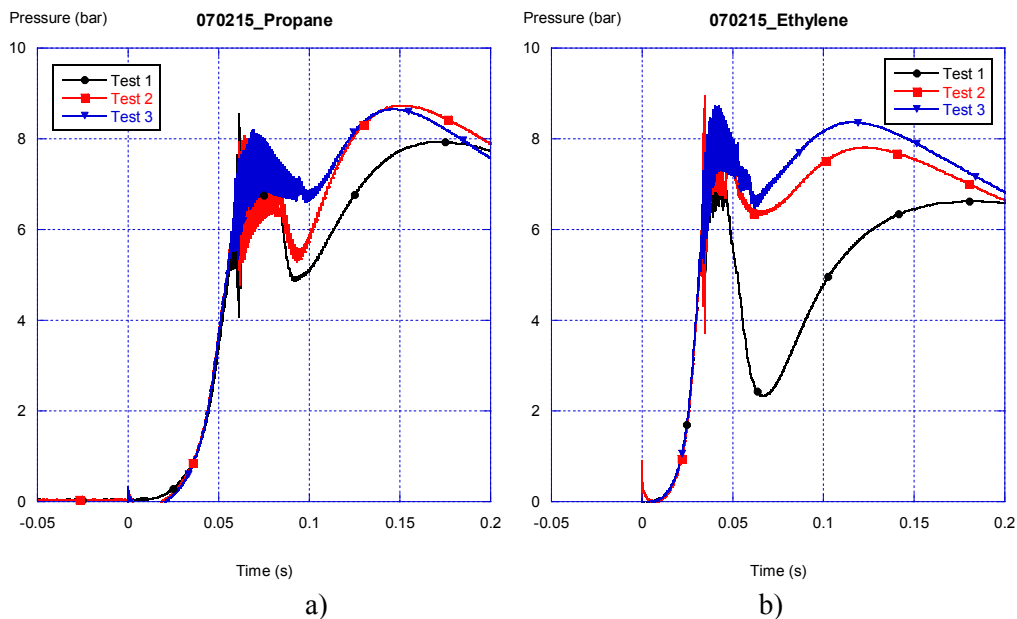
Jämför man resultaten från de olika försöken kan man konstatera att repeterbarheten mellan de tre bombförsöken i respektive försöksserie är mycket bra avseende tid till första trycktoppen, t_{fp} , medan det finns en viss tendens till att trycket vid första trycktoppen, P_{fp} , ökar något mellan de enskilda försöken. Detta kan eventuellt bero på den successiva uppvärmning av bomben som erhålls som följd av förbränningen i respektive försök. Trycket skiljer också något mellan de båda försöksserierna medan tiden till första trycktoppen är nästan identisk.

Som framgår av resultaten ger gasblandningen med eten en betydligt snabbare förbränning samt också ett något högre explosionstryck. Tiden (t_{fp}) till första trycktoppen uppgick i snitt till ca 35 ms för eten medan den var ca 70 ms för propan. Detta visar tydligt på den skillnad som föreligger mellan de två provgaserna och avspeglar klassificeringen i explosionsgrupp IIA respektive IIB.

Tabell 10 Sammanställning av resultat från bombförsök med provgaser där redovisade resultat är medelvärden från tre enskilda antändningsförsök. Redovisade tryck och tryckstegrings-tider medelvärden av enskilda antändningsförsök.

Test nr	Datum	Bränsle	P_{fp} (bar)	t_{fp} (ms)	v_{fp} (bar/s)	n_{ex}/n_{tot}
1	061221	IIA propan	8,4	73	115	3/3
18	070215	IIA propan	7,8	68	115	3/3
2	061221	IIB eten	9,2	36	256	3/3
19	070215	IIB eten	8,0	35	229	3/3

T_f = Temperatur bränsle (°C) T_g = Temperatur gas (°C) P_{fp} = Tryck vid första trycktoppen (bar) (övertryck)	t_{fp} = Tid till första trycktopp (ms) v_{fp} = Genomsnittlig tryckstegrings-hastighet till första trycktopp (bar/s) n_{ex}/n_{tot} = Antal detekterade antändningar i förhållande till antalet antändningsförsök
---	--



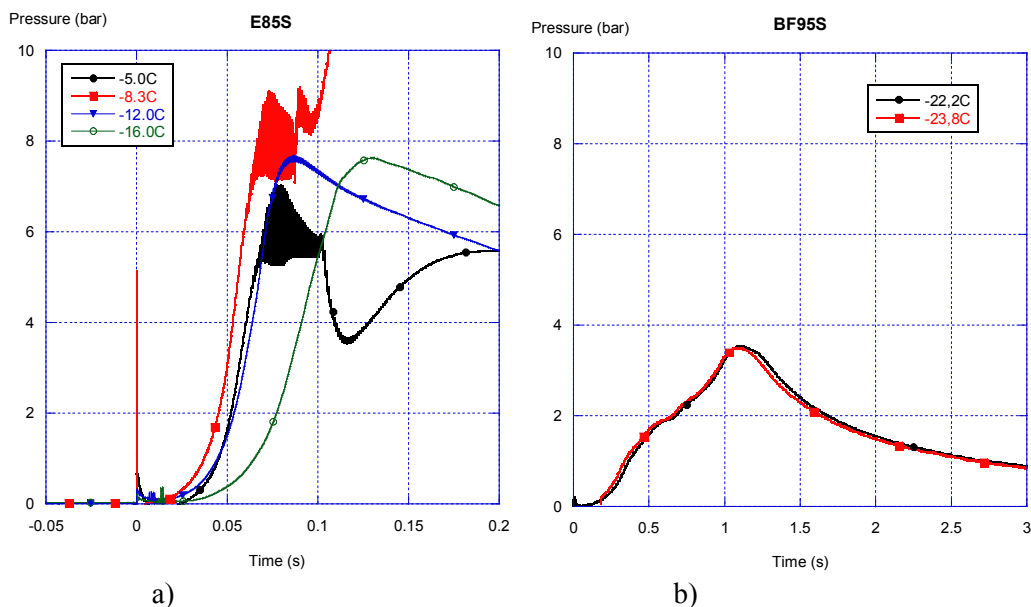
Figur 15 Tryckkurvor från bombförsök med a) propan respektive b) eten (försök #18-19).

4.3.4 Jämförelse av försöksdata mellan de olika bränslena

I Figur 16 a redovisas resultaten från försöken med E85S i samlad form med en ”representativ” tryckkurva från respektive temperaturnivå. Dessa visar tydligt inverkan av den gassammansättning man erhåller beroende på temperaturen. Resultaten från försöken vid de två högsta temperaturerna där antändning erhöles, +1,5 °C respektive +0,2 °C redovisas inte då trycket och tryckstegrings-hastigheten var så låg att tryckkurvan nästan sammanfaller med x-axeln under redovisad tidsperiod (jämför Figur 11). Detta visar att förbränningen vid den övre temperaturgränsen (UEP) är mycket långsam. Ett maximum avseende både trycket vid första trycktoppen (P_{fp}) och tiden till första trycktoppen (t_{fp}) nås runt -8 °C. Vid den lägre temperaturgränsen (LEP) sjunker visserligen

förbränningshastigheten men gränsen mot obrännbar blandning är betydligt skarpare än vid den högre temperaturgränsen.

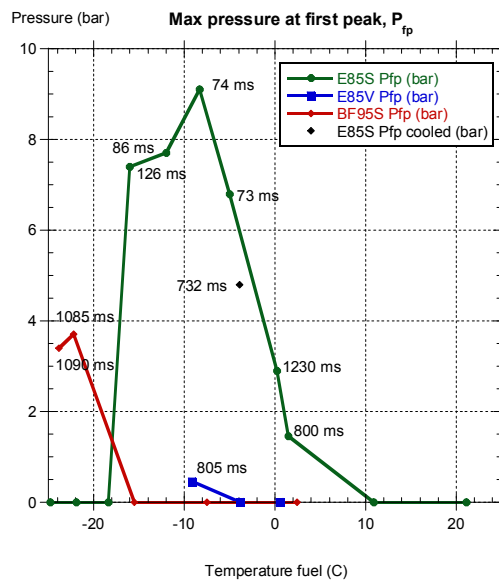
I Figur 16 b redovisas på samma sätt tryckkurvorna från de två försöken med BF95S. Dessa försök representerar den övre temperaturgränsen (UEP) och liksom för E85S så är förbränningen mycket långsam under dessa förutsättningar. På grund av att försök inte genomförts vid ytterligare lägre temperaturer saknas uppgift om bensinens lägre temperaturgräns (LEP) samt vid vilken temperatur som bensenblandningen ger maximal förbränningshastighet.



Figur 16 Tryckkurvor från fyra av E85S-försöken samt de två försöken med BF95S. (Obs olika skalor på x-axeln).

En sammanfattning av samtliga försök redovisas i Figur 17 där trycket vid första trycktoppen (P_{fp}) redovisas som funktion av bränsletemperaturen. I figuren anges även tiden till första trycktoppen (t_{fp}) för varje temperaturnivå. Diagrammet visar tydligt det temperaturområde inom vilket man med säkerhet har brännbar blandning för de olika bränslena. När det gäller temperaturgränserna för brännbart område är dock antalet försök begränsat för att kunna ange dessa exakt. Här skulle ha behövts fler försök med tätare temperaturintervall.

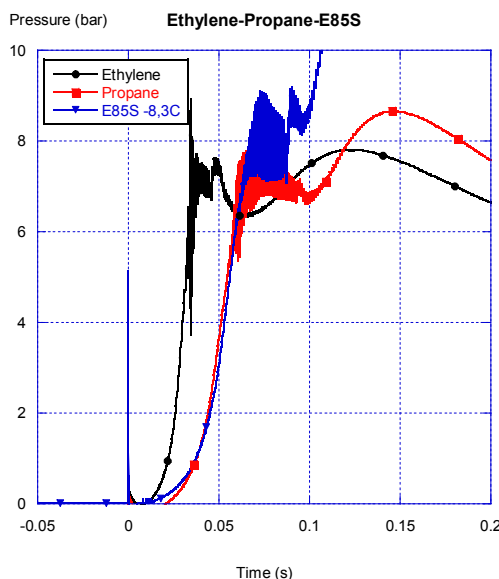
Sammantaget indikerar dock resultaten på ett brännbarhetsområde från ca -18 °C (LEP) upp till ca $+2\text{ °C}$ till $+5\text{ °C}$ (UEP) för E85S. Den övre temperaturgränsen (UEP) för E85V bedöms vara ca -8 °C till -9 °C och för BF95S bedöms den vara knappt -20 °C . Försöken ger däremot ej någon information om den lägre temperaturgränsen för brännbart område (LEP), för varken E85V eller BF95S.



Figur 17 Summering av resultaten från samtliga antändningsförsök med E85 respektive bensin, BF95S, där trycket (P_{fp}) respektive tryckstegringstiden (t_{fp}) redovisas.

En viktig aspekt med genomförda försök har även varit att ”klassificera” förbränningsegenskaperna hos E85 då detta ligger till grund för vilket skydds-koncept som skall tillämpas ute i anläggningarna, t ex krav och utförande på flamskydd.

I Figur 18 redovisas tryckkurvan från $-8,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ med E85S med en representativ tryckkurva vardera från den senare försöks-serien (070215) med eten respektive propan. Som framgår av kurvorna så sammanfaller resultaten från försöken med bränsleångor från E85S och gasblandningen med $(4,6\pm 0,3)\%$ propan relativt väl medan gasblandningen med eten gav ett betydligt snabbare tryck-förlopp. Uppmätta tryck är i stort sett jämförbara. Jämförs maximalt beräknade tryckstegrings-hastigheter från Tabell 8 - Tabell 10 så uppgår denna till 123 bar/s för E85S, 115 bar/s för propan och ca 230-255 bar/s för eten.



Figur 18 Tryckkurva från provning av E85S vid $-8,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ jämfört med tryckkurvor från provgas-blandningarna med eten respektive propan.

5 Etapp 3-Konsekvenser vid antändning av en brännbar gasblandning i en bränsletank

Syftet med etapp 3 var att bestämma konsekvenserna av en eventuell antändning av bränsleångor i en bränsletank för bilar. Syftet var att utgå från ”worst-case”-förhållanden vilket innebar att ingen hänsyn tagits till sannolikheten för att dessa scenarier skulle kunna uppträda i en verklig situation.

För att uppnå dessa ”worst-case”-förhållanden vid försöken, fylldes de tomma tankarna med provgasblandning av propan/luft ((4,6±0,3) % propan i luft) vilken väl representerade tryckstegringsförhållandena vid optimal blandning av E85-ånga och luft enligt provningarna i etapp 2, kapitel 4.3.4. Tankarna innehöll alltså inget E85-bränsle eller annan vätska. Gasblandningen antändes och förloppet registrerades genom tryckmätning respektive videofilmning.

Antändningsförsöken genomfördes vid SPs explosionslaboratorium.

5.1 Provobjekt och försöksuppställning

Antändningsförsök utfördes med bränsletankar för personbilar från fyra olika biltillverkare enligt Tabell 11. Tre av tankarna var av plast och den fjärde av plåt. Plasttankarna hade påfyllningsrör av metall och plåttanken hade ett påfyllningsrör av plast. Två av tankarna var nya och två var begagnade.

Tabell 11 Uppgifter kring de bränsletankar som användes vid antändningsförsöken i Etapp 3.

	Material	Volym*) (l)	Material påfyllningsrör	Tankens ålder	Avsedd för bränsle
Tank A	Plåt	55	Plast	Begagnad, för årsmodell -97	Bensin
Tank B	Plast	60	Plåt	Begagnad, för årsmodell -04	Bensin
Tank C	Plast	55	Plåt	Fabriksny, för årsmodell -07	Bensin eller E85
Tank D	Plast	68	Plåt	Fabriksny för årsmodell -07	Bensin eller E85, (ORVR)

*) Nominell volym enligt tillverkaren

Vid försöken var samtliga tankar försedda med tankarmatur i originalutförande, med genomföringar för bränslerör, givarkabel etc. De begagnade tankarna var i gott skick utan visuella skador. Plåttanken var utan rost, med undantag för lite ytrost vid fogen runt tanken.

Vid försöken har ej hänsyn tagits till funktionen hos olika externa eller interna system för gasåterföring, som bl a är av betydelse för förekomsten av E85-ånga vid påfyllningsrörets mynning. För tanktyp D med internt gasåterföringssystem (ORVR), var delarna som tillhörde systemet monterade på tanken på avsett sätt vid försöken.

Hänsyn har inte heller tagits till hur tankarna är konstruerade för att undvika risk för elektrostatisk uppladdning eller urladdning, vilket är av betydelse för sannolikheten av antändning orsakad av elektrostatisk gnista.

5.2 Försöksprocedur

5.2.1 Fyllning med provgasblandning

För att efterlikna förbränningsegenskaperna hos en optimalt explosiv blandning av bränsleånga från E85, användes en provgasblandningen av propan/luft. Bränsletanken och påfyllningsröret genomspolades med provgasblandningen tills en homogen blandning med rätt koncentration erhöles på samma sätt som vid bombprovet (se kapitel 4.2.2). För att erhålla en effektiv spridning av provgasblandningen till olika delar av tanken användes ett system med slangar inuti tanken som fördelade gasen.

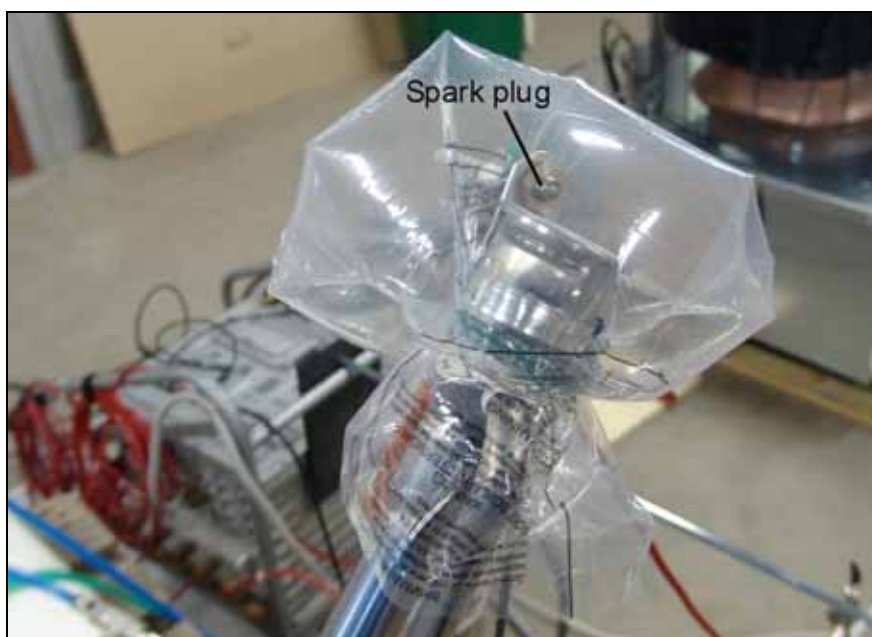
Efter spolning stängdes in- och utloppet för provgasblandningen. Försöken med antändning i tanken genomfördes med påskruvat tanklock. Vid försöken med antändning vid påfyllningsrörets öppning var tanklocket avskruvat, se Tabell 12.

5.2.2 Antändning av gasblandningen

Som tändkälla användes tändstift anslutet till ett konventionellt induktivt elektroniskt tändsystem för bilar. Detta var samma tändsystem som användes i bombförsöken i projektetapp 2 (se kapitel 4.1.3).

Vid antändning i påfyllningsrörets öppning var tändstiftet monterat från sidan strax utanför rörets mynning. Gnistgapet var positionerat ca 10 mm från rörets yttersida och 20 mm ovanför öppningen. För att bibehålla bränsleångorna i tanken och påfyllningsröret var en plastpåse monterad över påfyllningsrörets öppning, se foto i Figur 19.

Vid antändning i tank var tändstiftet placerat ungefär mitt på tankens ovansida, nära tankarmaturen, se Figur 20.

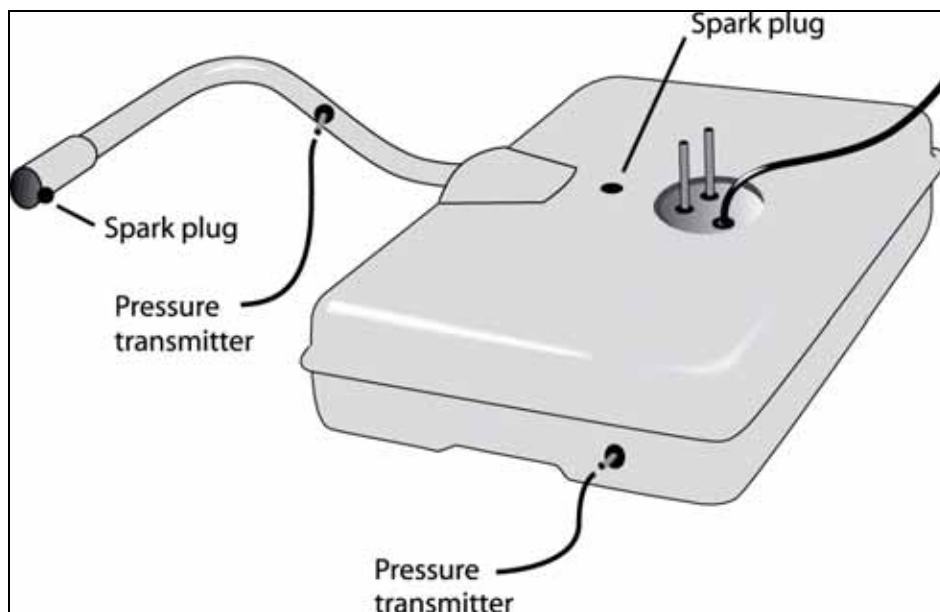


Figur 19 Arrangemang vid tändning vid påfyllningsröret. Tändstiftet var monterat strax utanför rörets öppning som var täckt med en plastpåse för att bibehålla koncentrationen av bränsleångor.

5.2.3 Tryckmätning och dokumentering

Trycket vid antändning registrerades med två piezoresistiva tryckgivare, en placerad i tanken och en i påfyllningsröret enligt Figur 20. Givarna var monterade i ett hål i tankens respektive påfyllningsrörets vägg.

Givaren i påfyllningsröret var placerad ungefär i mitten av röret. För filtrering av trycksignalen användes ett lågpasfilter med 3 dB vid 5 kHz \pm 10 %, enligt avsnitt 15.1.2 i IEC 60079-1 [22].



Figur 20 Principskiss av tank för antändningsförsöken. I de försök som antändning skedde i tank, så var tändstiftet placerat nära tankarmaturen på tankens ovansida.

För att ytterligare dokumentera försöksförloppet videofilmades tankarna vid varje försök med två eller i vissa försök tre videokameror placerade för att ge olika bildvinklar. Dessa var normala digitala videokameror med en bildhastighet på 25 bilder/sekund.

5.2.4 Försöksprogram

Totalt genomfördes åtta försök enligt de förutsättningar som redovisas i Tabell 12. Vid försöken var tankarna fritt upplagda på ett mjukt underlag bestående av två 8 cm tjocka polyetenmadrasser, förutom vid försök 8 med tank D, då tanken var monterad i en bottenplatta för den aktuella bilmodellen.

Tabell 12 Summering av förutsättningarna vid de genomförda antändningsförsöken.

Tank	Försök nr	Antändningsställe	Tankmontage	Kommentar
Plåttank A	1	I påfyllningen	Fritt upplagd	Utan tanklock
Plasttank B	2	I påfyllningen	Fritt upplagd	Utan tanklock
Plasttank C	3	I tank	Fritt upplagd	Påskruvat tanklock
	4	I påfyllningen	Fritt upplagd	Utan tanklock
Plasttank D	5	I tank	Fritt upplagd	Påskruvat tanklock
	6	I påfyllningen	Fritt upplagd	Utan tanklock
	7	I påfyllningen med pistolventil	Fritt upplagd	Omprov av försök 6 men med pistolventil i påfyllningsröret
	8	I tank	Monterad i bottenplatta	Påskruvat tanklock

5.3 Resultat av antändningsförsök i bränsletankar

Nedan ges en summering av resultaten medan detaljresultat för varje tanktyp redovisas i kapitel 5.3.1 - 5.3.4.

Antändning av provgasblandning i bränsletankarna gav upphov till ett tryck i tankarna på i storleksordningen 2-8 bar, enligt Tabell 13 nedan. Antändning vid påfyllningsöppningen (tank C) gav ett högre tryck i tanken (7,5 bar) jämfört med när gasblandningen antändes inne i tanken (4,9 bar). I påfyllningsrören registrerades relativt höga tryck, i storleksordningen 5-37 bar, dock utan synlig skada eller deformation av själva rören.

Samtliga plasttankar sprack av trycket i de fall provgasblandningen i tanken antändes. I samband med detta kom en flamma genom den öppning som bildades. Sprickorna var ca 40-90 cm långa. Plåttanken sprack inte men dess armatur slungades iväg och en kortvarig flamma kom genom tankens hål för armaturen. Armaturen är monterad i en håltagning på tankens ovansida och innehåller tankens nivågivare och bränsleledningarna.

I försöket med tanken monterad i en riktig bottenplatta för aktuell bilmodell, observerades att trycket från antändningen i tanken deformerade bottenplattan ovanför tanken med ca 10-15 cm. Tankens infästningspunkter i bottenplatta deformerades också.

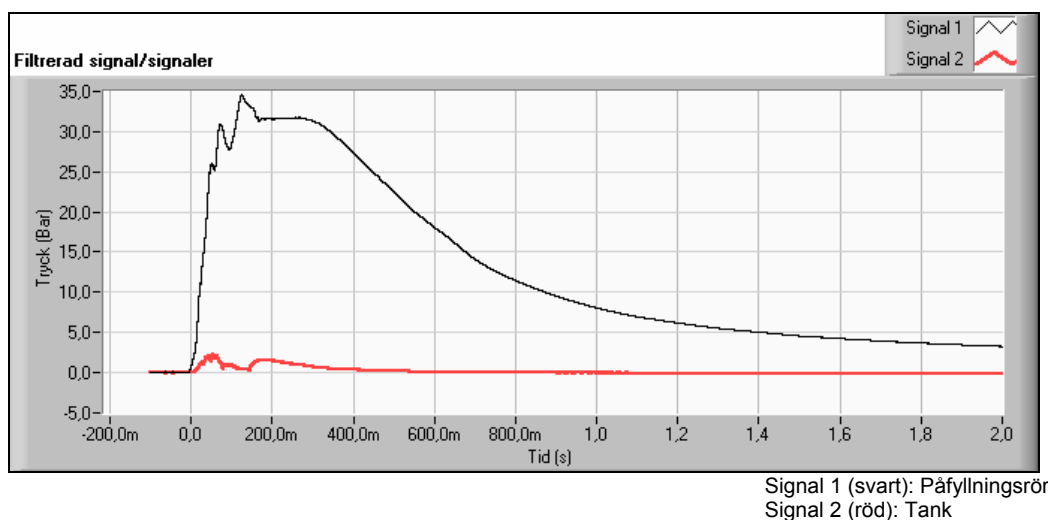
För plasttank D bidrog en backventil mellan påfyllningsröret och själva bränsletanken till att förhindra spridningen av flammen från tanken till påfyllningsröret och vice versa.

Tabell 13 Summering av försöksresultat från antändningsförsök i bränsletankar.

Tank	Försök nr	Antändningsställe	Tryck i tank (bar)	Tryck i påfyllningsrör (bar)
Plåttank A	1	I påfyllningen	2,3	34,5
Plasttank B	2	I påfyllningen	4,7	4,8
Plasttank C	3	I tank	4,9	20,3
	4	I påfyllningen	7,5	36,3
Plasttank D	5	I tank	2,2	<0,1
	6	I påfyllningen	< 0,1	7,1
	7	I påfyllningen med pistol	< 0,1	7,1
	8	I tank	2,3	<0,1

5.3.1 Observationer från försök 1 - Plåttank A

Vid försöket antändes bränsleångorna vid påfyllningsröret. Maximalt uppmätt tryck i påfyllningsröret uppgick till 34,5 bar och 2,3 bar inne i bränsletanken, se Figur 21. Vid antändningen utvidgades tanken och antog en rundare form. Tankarmaturen slungades iväg med en smäll och en kortvarig flamma (<1 s) från hålet för armaturen. Uppskattad flamlängd var 2-5 m, en stor del av flamman dock utanför aktuell kameravinkel. Efter antändningen hade tanken en kvarvarande deformation (rundare form) och tankarmaturen saknades på tanken. Inga synliga sprickor noterades i tanken eller på påfyllningsröret.



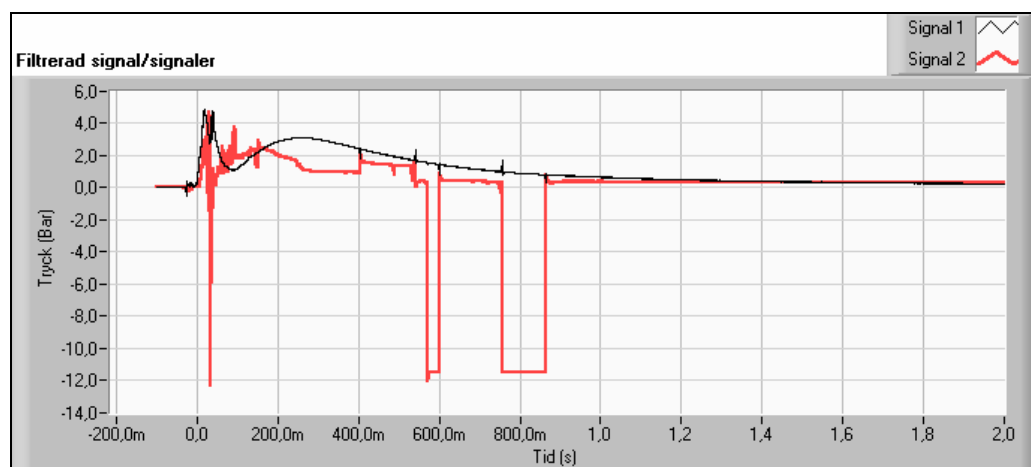
Figur 21 Uppmätt tryck i plåttank A, dels i påfyllningsrör, dels inne i tanken. Antändning i påfyllningsröret.

5.3.2 Observationer från försök 2 - Plasttank B

Vid försöket antändes bränsleångorna vid påfyllningsröret. Maximalt uppmätt tryck i påfyllningsröret uppgick till 4,8 bar och inne i bränsletanken uppgick det till 4,7 bar, se Figur 22.

Vid antändning utvidgades tanken och sprack längs fogen på tankens ena sida med en smäll och kortvarig flamma (<1 s) från sprickan. Uppskattad flamlängd var 2-3 m, del av flamman dock utanför aktuell kameravinkel. Sprickan var ca 90 cm lång. Tankarmaturen lossnade (ramlade ner i tanken) och plastdelar slungades iväg från tanken. En kortvarig flamma (<1 s, längd < 1 m)

noterades även från tankens hål för tankarmaturen. Inga synliga skador noterades på påfyllningsröret. I en fördjupning på tankens ovansida och undersida, hade delar av plasten lossnat och lämnat ett hål efter sig på i storleksordningen 5x4 respektive 3x6 cm.

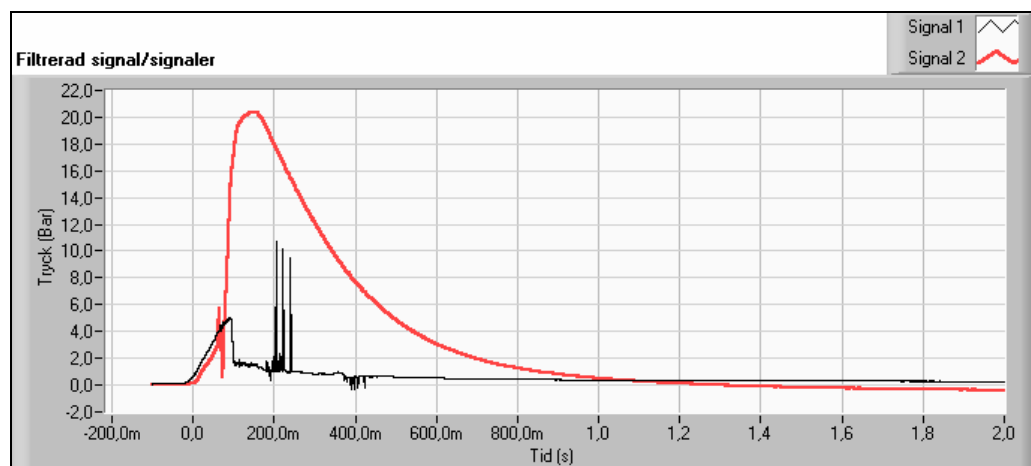


Signal 1 (svart): Påfyllningsrör
Signal 2 (röd): Tank

Figur 22 Uppmätt tryck i plastank B, dels i påfyllningsrör, dels inne i tanken. Antändning i påfyllningsröret. (Kraftiga mätstörningar på tanktrycket).

5.3.3 Observationer från försök 3 och 4 - Plasttank C

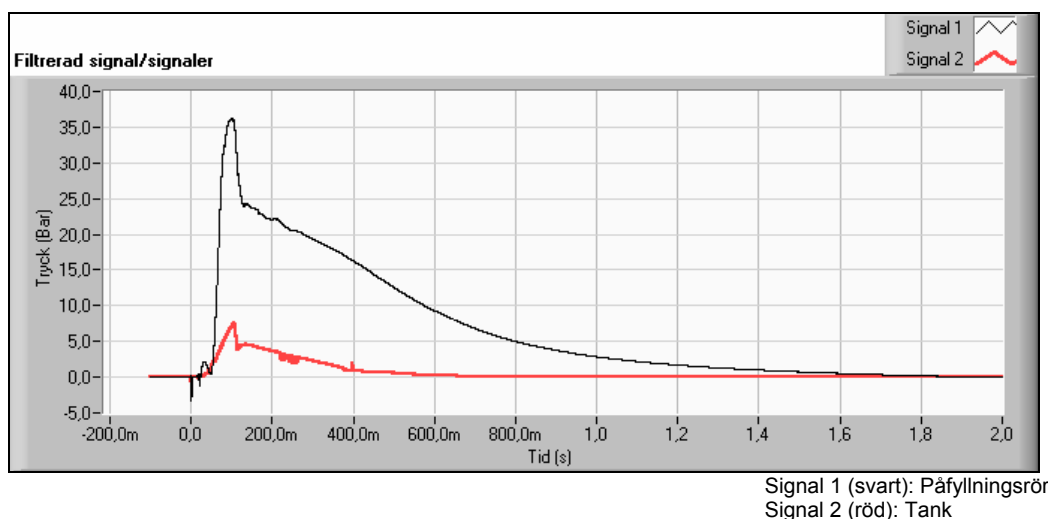
Vid försök 3 antändes bränsleångorna inne i bränsletanken. Maximalt uppmätt tryck i tanken uppgick till 4,9 bar och i påfyllningsröret uppgick det till 20,3 bar, se Figur 23. Vid antändning utvidgades tanken och sprack på ovansidan, med en smäll och en kortvarig flamma (<1 s) från sprickan. Uppskattad flamlängd var 2-4 m. Sprickan var ca 43 cm lång. Inga synliga skador noterades på påfyllningsröret. Yttre (svart) del av tanklocket lossnade.



Signal 1 (svart): Påfyllningsrör
Signal 2 (röd): Tank

Figur 23 Uppmätt tryck i plastank C-försök 3, dels i påfyllningsrör, dels inne i tanken. Antändning i bränsletanken.

Vid försök 4 antändes bränsleångorna vid påfyllningsröret. Maximalt uppmätt tryck i påfyllningsröret uppgick till 36,3 bar och inne i bränsletanken uppgick det till 7,5 bar, se Figur 24. Vid antändning utvidgades tanken och sprack på ovansidan, med en smäll och en kortvarig flamma (<1 s) från sprickan. Uppskattad flamlängd var 2-4 m. Sprickan var ca 44 cm lång. Inga synliga skador noterades på påfyllningsröret.

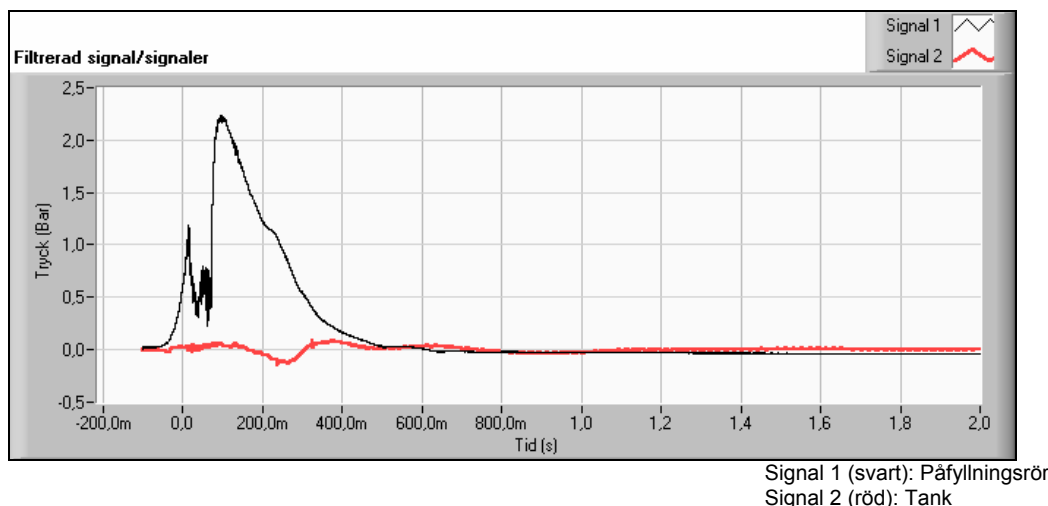


Figur 24 Uppmätt tryck i plasttank C-försök 4, dels i påfyllningsrör, dels inne i tanken. Antändning i påfyllningsröret.

Notering: I tank C, nära tankens inlopp, i nedre delen av påfyllningsröret, finns en anordning i plast som fungerar som en backventil, som förhindrar bränsle att rinna ut i bakriktningen. Bränsle som rinner ner i påfyllningsröret trycker ner plastmembranet så att det öppnas medan bränsle från andra hållet trycker membranet mot ett stöd så att bränslet förhindras att rinna igenom.

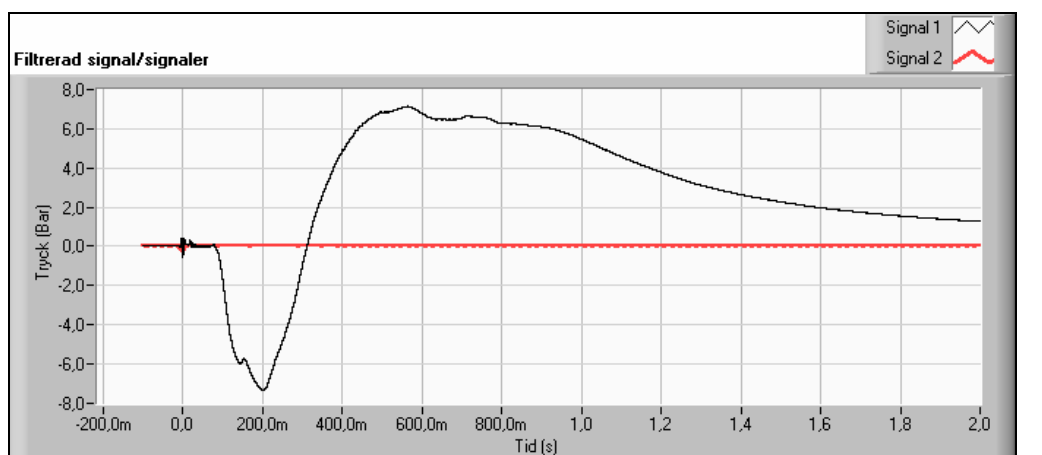
5.3.4 Observationer från försök 5 till 8 - Plasttank D

Vid försök 5 antändes bränsleångorna inne i bränsletanken. Maximalt uppmätt tryck i tanken uppgick till 2,2 bar medan ingen tryckökning noterades i påfyllningsröret, se Figur 25. Vid antändning utvidgades tanken och sprack, delvis längs en skarv nära påfyllningsrörets anslutning, med en smäll och en kortvarig flamma (<1 s) från sprickan. Uppskattad flamlängd ca 1 m. Sprickan var ca 36 cm lång. Ingen antändning noterades i påfyllningsröret (<0,1 bar).



Figur 25 Uppmätt tryck i plasttank D-försök 5, dels i påfyllningsrör, dels inne i tanken. Antändning i bränsletanken.

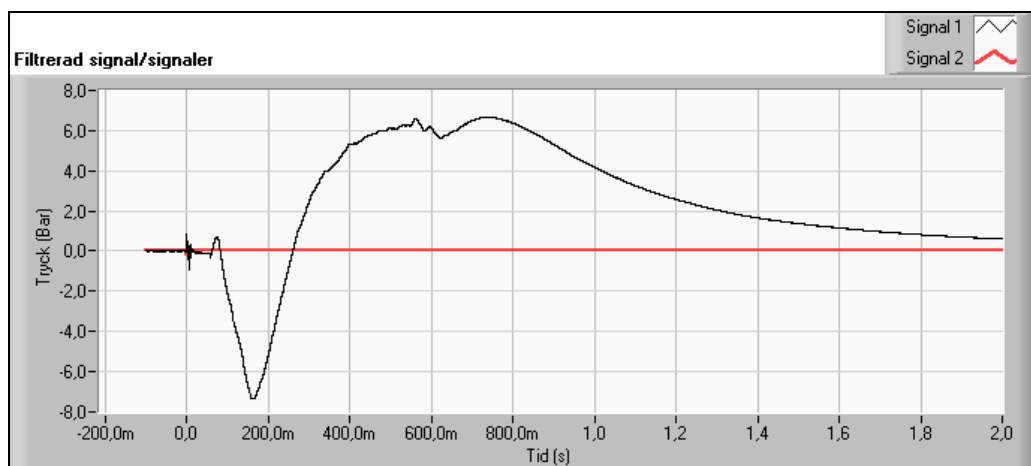
Vid försök 6 antändes bränsleångorna vid påfyllningsröret. Maximalt uppmätt tryck i påfyllningsröret uppgick till 7,1 bar medan ingen tryckökning (<0,1 bar) noterades inne i bränsletanken, se Figur 26. Vid antändningen uppstod en knall och en kortvarig flamma (<1 s, längd < 0,5 m) från påfyllningsrörets öppning. Inga synliga skador noterades på röret. Tryckmätningen indikerar att ingen antändning erhöles i tanken och följaktligen noterades inte heller några skador på tanken.



Signal 1 (svart): Påfyllningsrör
Signal 2 (röd): Tank

Figur 26 Uppmätt tryck i plastank D-försök 6, dels i påfyllningsrör, dels inne i tanken. Antändning i påfyllningsröret.

Vid försök 7 antändes bränsleångorna vid påfyllningsröret som i detta försök var försedd med en pistolventil till en bränslepump. Syftet var att se om detta kunde medföra någon skillnad gentemot försök 6. Maximalt uppmätt tryck i påfyllningsröret uppgick till 7,1 bar medan ingen tryckökning ($<0,1$ bar) noterades inne i bränsletanken, se Figur 27. Vid antändningen uppstod en knall och en kortvarig flamma (<1 s, längd $<0,5$ m) från påfyllningsrörets öppning. Inga synliga skador noterades på röret. Tryckmätningen indikerar att ingen antändning erhöles i tanken och följaktligen noterades inte heller några skador på tanken.



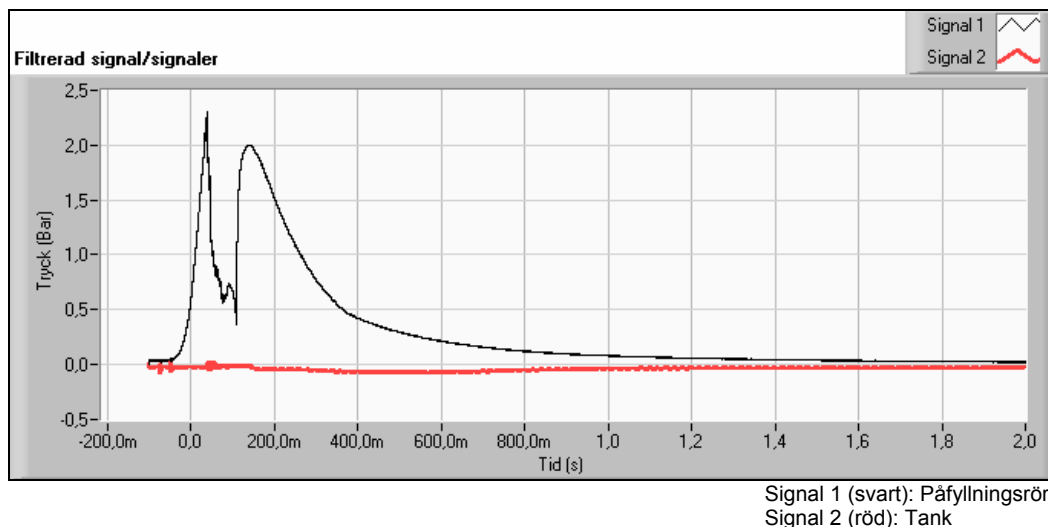
Signal 1 (svart): Påfyllningsrör
Signal 2 (röd): Tank

Figur 27 Uppmätt tryck i plastank D-försök 7, dels i påfyllningsrör, dels inne i tanken. Antändning i påfyllningsröret försedd med pistolventil.

Vid försök 8 var bränsletanken monterad som i en verklig installation under bottenplattan till aktuell bilmodell. Bränsleångorna antändes inne i bränsletanken för att erhålla "worst-case"-förutsättningar.

Maximalt uppmätt tryck i tanken uppgick till 2,3 bar medan ingen tryckökning ($<0,1$ bar) noterades i påfyllningsröret, se Figur 28. Vid antändningen utvidgades tanken och sprack, delvis längs en skarv nära påfyllningsrörets anslutning, med en smäll och en kortvarig flamma (<1 s). Uppskattad flamlängd ca 1 m. Sprickan var ca 45 cm lång. Tanklockets infästning gick sönder och locket

ramlade av. Bottenplattan deformerades med ca 10-15 cm ovanför tanken. Tankens infästningspunkter i bottenplattan deformerades också.



Figur 28 Uppmätt tryck i plastank D-försök 8, dels i påfyllningsrör, dels inne i tanken. I detta försök var tanken monterad på ordinarie sätt under en bottenplatta till aktuell bilmodell. Antändning i bränsletanken.

Notering: I inloppet till tank D, där påfyllningsröret är anslutet till själva tanken, finns en anordning i plast som fungerar som en backventil som förhindrar bränsle att rinna ut i backriktning. En fjäder trycker ett rörligt plastlock mot öppningen. Bränsle som rinner ner i påfyllningen trycker på locket så att det öppnas medan bränsle från andra hållet förhindras att passera. Denna backventil i kombination med utförande i övrigt, var sannolikt orsaken till att spridning av flammen från påfyllningsröret till tanken (och vice versa) förhindrades.

6 Etapp 4-Brandförlopp vid spillbrand under en bränsletank innehållande E85

Syftet med etapp 4 var att undersöka om det är någon skillnad i brandförloppet om det uppstår en spillbrand under en bränsletank fylld med E85 jämfört med bensin. Vid SP Brandteknik genomförs rutinmässigt brandprovning av bränsletankar i plast enligt FNs regelverk, ECE reglemente nr 34, Annex 5, pkt 5 [25], EEC direktiv 70/221 [26] [27] samt TRIAS [28]. Dessa provningar ingår som en del av det tekniska underlag som krävs för typregistrering av ett fordon. Brandprovningen enligt nämnda regelverk är i princip identisk och innebär att bränsletanken, fylld med bränsle till 50%, exponeras för en specificerad brand under två minuter varefter brandexponeringen avbryts. Kvarvarande brand i eller runt tanken släcks varefter tanken inspekteras med avseende på läckage. Regelverkens krav är att läckage ej får uppstå efter denna brandexponering, dock är det tillåtet med hål i tanken ovanför bränsleytan. Något motsvarande provningskrav för plåttankar existerar inte.

I de fall provade plasttankar inte klarar regelverkens krav är detta ofta ett resultat av för tunn godstjocklek i utsatta positioner, t ex tankens hörn. I vissa fall uppstår också hål ovanför bränsleytan där tankväggen inte får någon kylning av bränslet och i vissa fall leder detta till läckage innan stipulerat tidskrav uppnåtts. Om tankens upphängningsanordning inte är rätt utformad i förhållande till tankens geometri kan brandexponeringen till och med leda till en total kollaps av tanken under försöket. När läckage uppstår under dessa försök avbryts försöken så snabbt som möjligt för att i möjligaste mån kunna inspektera skadan och analysera orsaken.

Enligt våra erfarenheter från denna försöksverksamhet har det aldrig uppstått en ”inre explosion” i provade tankar där t ex det smält hål i tankväggen. Detta indikerar att bränsleångorna inne i en tank fylld med bensin under normala förhållanden är för ”fet”, dvs bränsleblandningen ligger över övre brännbarhetspunkten (UEP).

När det gäller E85 så visar resultaten från projektetapp 2 att E85-bränsle bildar brännbara bränsleångor i en sluten tank vid högre temperaturer än bensin. I samband med en yttre brand skulle detta, vid låga omgivningstemperaturer, kunna innebära att ångorna inne i tanken antänds, t ex om det smälter hål i plasten. Försöken i etapp 3 har visat på konsekvenserna vid antändning av bränsleångor i en helt tom tank och syftet med försöken i denna projektetapp var att verifiera konsekvenserna vid en yttre brand med bränsle i tanken. En av de viktigaste frågeställningarna var om bränslet i tanken på ett dramatiskt sätt kan förvärra konsekvenserna av en antändning inne i tanken jämfört med dem som observerades i etapp 3, t ex på grund av skvättande bränsle.

6.1 Provföremål och uppställning

Tre av de tanktyper som användes i Etapp 3, tanktyp A, C och D valdes även för dessa försök. För att åstadkomma en enkel uppställning och jämförbara förhållanden monterades tankarna helt fritt i en öppen testrigg. Ordinarie upphängningsband användes till respektive tank för att installationen i övrigt skulle efterlikna verkliga förutsättningar, se Figur 29.

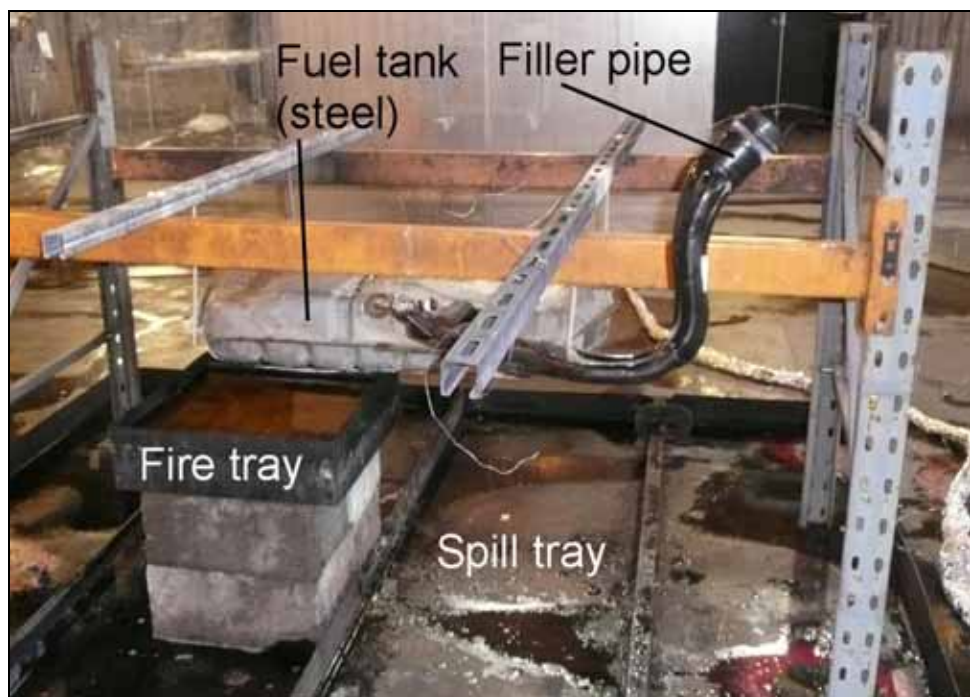
Som brandkälla användes ett bål med måtten 0,5 x 0,5 m och höjden 0,15 m vilket placerades på golvet under tanken. Bålet var fyllt med ca 7,5 l (30 mm) vatten och därefter ca 17,5 l (70 mm) heptan. Avståndet mellan bränsleytan i bålet och tankens undersida var ca 230 mm vilket ungefär motsvarar markfrigången under tanken när den är monterad i en bil. Det bör observeras att dessa försöksförutsättningar är annorlunda jämfört med ECE reglemente nr 34, Annex 5, pkt 5 [25] där tanken oftast provas i en så komplett kaross som möjligt då detta kan ha stor inverkan på resultatet. Vidare var bålstorleken mindre än den storlek som skulle ha krävts enligt ECE-reglementet.

För att åstadkomma ”worst-case”-förhållanden var tankarna fyllda med endast 15 liter E85S vid försöket vilket motsvarar en fyllnadsgrad på ca 22-27%. Denna bränslemängd ansågs vara till-

räcklig för att ha förutsättning att åstadkomma eventuella skvätteffekter samtidigt som det medförde en relativt stor gasvolym inne i tanken vilket kan förvärra effekterna av en antändning.

Med ledning av resultaten från etapp 2 konditionerades tankarna och bränslet till ca $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ för att öka sannolikheten för att tankarna innehöll brännbara bränsleångor när tanken exponerats för brand under någon minut. För att ytterligare säkerställa worst-case-förhållanden exponerades primärt den sidan av respektive tank som var fri från anslutningar. Genom detta förfarande var förhoppningen att åstadkomma en snabb uppvärmning av tankväggen och eventuellt att smälta hål i denna (plast-tankar) medan uppvärmningen av bränslet i tanken minimerades.

För att ha kontroll över förutsättningarna mättes temperaturen inne i tanken med två termoelement, dels i bränslet ca 10 mm ovanför tankens botten och dels i bränsleångorna ovanför bränslet. Mantlade termoelement av typ K med en diameter av 1 mm användes.



Figur 29 Uppställning vid brandexponeringsförsöken i projektetapp 4. Primärt exponerades endast ena sidan av tanken för att maximera uppvärmningen av tankväggen samtidigt som uppvärmningen av bränslet minimerades.

6.2 Försöksprocedur

Tankarna respektive bränslet konditionerades separat i ett frysskåp under ca ett dygn före provningen. Före konditioneringen var tankarna förberedda så långt som möjligt med monterade påfyllningsrör, upphängningsanordningar, termoelement, etc. för att minimera tiden för montage i riggen.

När allt var klart för provning togs respektive tank ut ur frysen och monterades i riggen. Termoelementen kopplades in och 15 l konditionerat E85S fylldes på i tanken. Parallellt fylldes bränsle i bålet. Temperaturmätningen startades så snart termoelementen inkopplats för att få en bild av uppvärmningen av bränslet innan brandprovet inleddes.

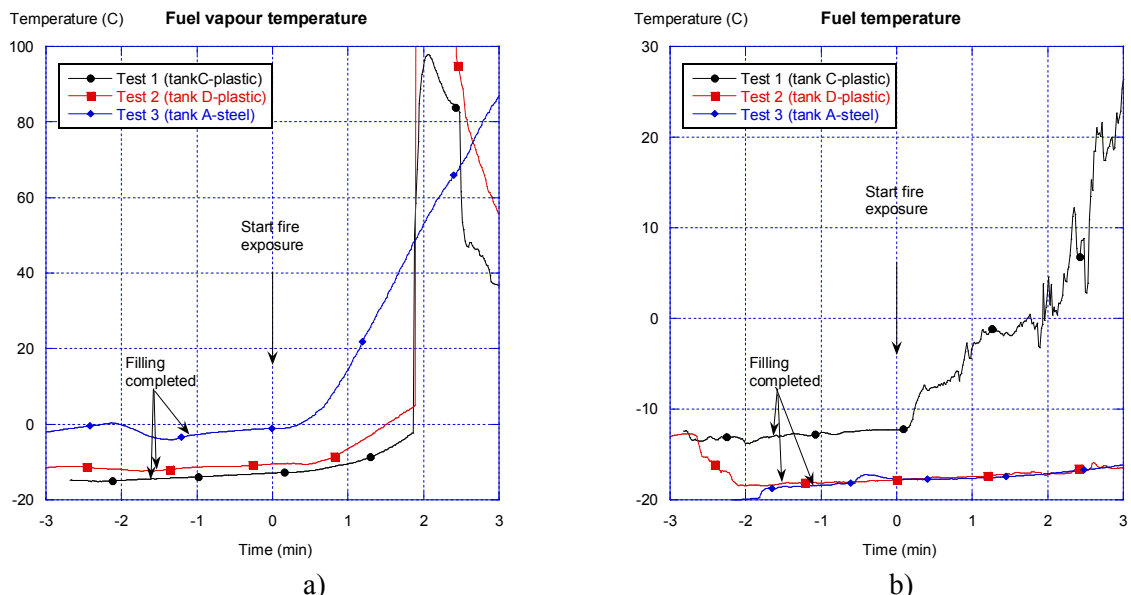
När fyllningen var klar antändes heptanen i bälet. Tid från start av temperaturmätningen noterades. Tanken fick därefter exponeras fritt för branden och förloppet följdes dels visuellt, dels registrerades det med en videokamera.

Vid försöken avbröts inte branden efter 2 min som vid ECE-provningen utan brandexponeringen pågick betydligt längre. Målet var att brandpåverkan med säkerhet skulle ge upphov till hål i tankväggen alternativt i någon genomföring så att flammorna kunde antända bränsleångorna inne i tanken. När detta kriterium uppnåtts avbröts försöket och branden i bälet respektive tanken släcktes manuellt.

6.3 Resultat av brandexponering

Totalt genomfördes tre brandexponeringsförsök. Nedan ges en summering av resultaten medan detaljresultat för varje tanktyp redovisas i kapitel 6.3.1- 6.3.3.

Som framgår av Figur 30 noteras en markant skillnad mellan beteendet hos plasttankarna respektive plåttanken direkt efter start av brandexponeringen. Framför allt kan man notera en betydligt snabbare temperaturökning av bränsleångornas temperatur i plåttanken (test 3) jämfört med plastankarna. Strax före 2 minuter erhöles dock en genombränning av tankväggen för båda plastankarna vilket medförde en momentan temperaturökning. Visuellt kunde detta bekräftas genom en antändning av bränsleångorna inne i tanken som medförde en kortvarig men kraftig flamma åt sidan från det hål som uppstod. Antändningen var något mer kraftfull för tank C och medförde en del bränslestänk på golvet någon meter från tanken. Som framgår av kapitel 6.3.3 och Figur 33 fortsatte framförallt bränsleångornas temperatur att öka snabbt i plåttanken och efter ca 4 minuters exponering noterades en snabbare ökning av bränsletemperaturen. Någon antändning av bränsleångorna inne i tanken uppstod dock aldrig med plåttanken, sannolikt på grund av att temperaturen steg så snabbt att bränsleångorna blev för ”feta”.



Figur 30 Diagram a) visar bränsleångornas temperatur och diagram b) bränslets temperatur under sista delen av tankningsfasen fram till några minuter efter start av brandexponeringen Tank A=plåt, tank C och D=plast. (OBS Olika temperaturskalar på y-axeln).

När det gäller bränsletemperaturen under de första minuterarna efter start av brandexponeringen kan noteras en betydligt snabbare ökning av denna i försök 1 (tank C-plast) jämfört med de två

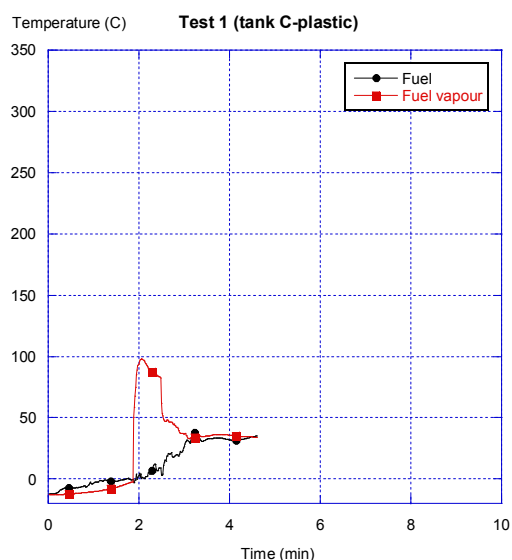
andra försöken. En förklaring kan vara den mindre bränslemängden, ca 10 l, eventuellt också i kombination med att termoelementet inte var helt täckt av bränsle alternativt hade kommit i kontakt med tankens botten.

Som framgår av Figur 30 var också temperaturen hos bränslet strax före start av brandexponeringen något olika. Vid avslutad tankning var den ca $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ i försök 2 och 3 medan den var ca $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ i försök 1. Orsaken till den högre bränsletemperaturen i försök 1 visade sig vara ett problem med frysen.

Bränsleångornas temperatur var däremot ca $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ respektive $-12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ i försök 1 respektive 2 medan den var ca $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ i försök 3. Orsaken till den högre temperaturen i försök 3 var sannolikt att plåttanken snabbare värmdes upp under tiden tanken monterades i riggen. Detta framgår av den snabba temperaturökningen 2-3 minuter före start av brandexponeringen. Under fyllningen, från ca 2 minuter till 1 minut före tändning noteras en snabb temperatursänkning, varefter temperaturen börjar stiga igen.

6.3.1 Försök 1-Brandexponering tanktyp C (plast)

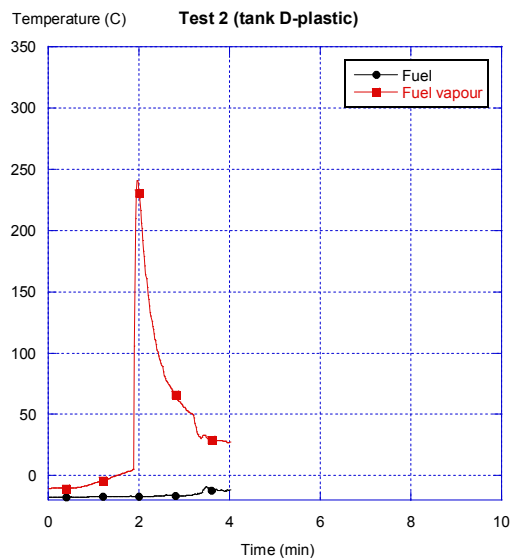
I försök 1 började tanken att monteras ca $-5:30\text{ min:s}$ (före) start av brandexponeringen. Tankningen genomfördes under perioden ca $-3:10\text{ min:s}$ till $-1:40\text{ min:s}$. På grund av att avluftningsslangen blockerats av misstag uppstod ett övertryck inne i tanken under fyllningen och det gick därför inte att fylla mer än ca 10 l i tanken. Vid tiden $1:52\text{ min:s}$ efter start av brandexponeringen erhöles en häftig antändning och en kortvarig flamma ($<1\text{ sekund}$) med några meters längd ut åt sidan från tanken. Med ledning av att detta överensstämmer med den momentana temperaturökningen inne i tanken (se Figur 31) tyder detta på att det bildades ett hål i tankväggen vilket ledde till antändning av bränsleångorna inne i tanken. Antändningen resulterade också i ett begränsat bränslespill på golvet, upp till några meter ifrån tanken, som gav upphov till en spillbrand med en flamhöjd på 0,2-0,4 m. Efter ca 20 sekunder har bränslespillet brunnit upp och branden på golvet självslocknade. Branden i bälet och tanken släcktes manuellt efter ca $2:30\text{ min:s}$.



Figur 31 Bränsle- respektive bränsleångornas temperatur under brandexponeringen i försök 1 med tanktyp C (plast). (x-axeln anger tid från start brandexponering).

6.3.2 Försök 2-Brandexponering tanktyp D (plast)

I försök 2 började tanken att monteras ca -7:20 min:s (före) start av brandexponeringen. Tankningen genomfördes under perioden ca -2:15 min:s till -1:35 min:s. Vid tiden 1:53 min:s efter start av brandexponeringen erhöles en antändning och en flamma med en 2-3 sekunders varaktighet med några meters längd ut åt sidan från tanken. Med ledning av att detta överensstämmer med den momentana temperaturökningen inne i tanken (se Figur 32) tyder detta på att det bildades ett hål i tankväggen vilket ledde till antändning av bränsleångorna inne i tanken. Inget bränslestänk kunde noteras men efter ytterligare några sekunder började tanken läcka och bränslet rann ner i bålet. Branden i bålet och tanken släcktes manuellt efter ca 2:20 min:s.



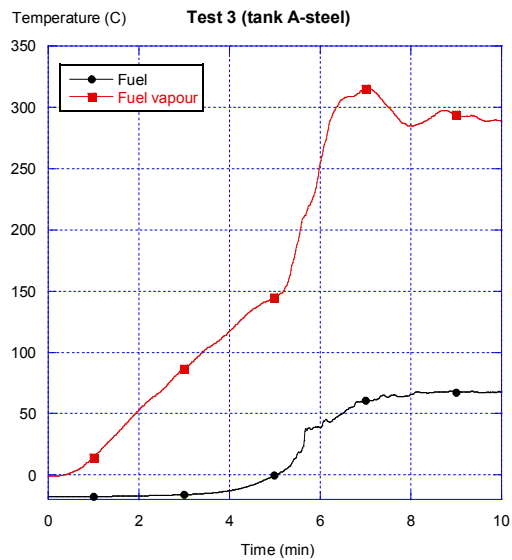
Figur 32 Bränsle- respektive bränsleångornas temperatur under brandexponeringen i försök 2 med tanktyp D (plast). (x-axeln anger tid från start brandexponering).

6.3.3 Försök 3-Brandexponering tanktyp A (plåt)

I försök 3 började tanken att monteras ca -6:00 min:s (före) start av brandexponeringen. Tankningen genomfördes under perioden ca -2:15 min:s till -1:05 min:s. Vid tiden 4:55 min:s efter start av brandexponeringen började bränsle strömma ut genom avluftningsslangen ansluten till påfyllningsröret. Bränslet antändes 5:03 min:s, vilket skapade en ca 1-1,5 m² poolbrand på golvet under tanken vilket ledde till ökad brandexponering (Figur 33). Vid tiden 5:15 min:s hade poolbranden ökat till ca 2-3 m² vilket medförde att hela tanken exponerades för flammor. Vid ca 5:50 min:s hade spillbranden minskat igen till ca 1 m². Detta tyder på att tanken är helt tät och att bränslet pressats ut av övertrycket inne i tanken. Vid ca 6:00 min:s noterades en ca 1,5-2 m ”jetlåga” snett uppåt från tankens översida under ca 10-12 sekunder varefter den inte kunde urskiljas från övriga lågor längre. Vid tiden ca 6:45 min:s hade bränslespillret på golvet i stort sett förbrukats vilket ledde till reducerad brandintensitet igen. Två intensiva flammor kunde dock noteras från tankens ovalsida. Branden släcktes manuellt efter ca 13:50 min:s.

Både de visuella observationerna och mätningarna indikerar att det aldrig erhöles en antändning av gaserna inne i tanken då bränsleångorna sannolikt var för feta på grund av den långa uppvärmningstiden och den höga bränsletemperaturen.

Efter försöket kunde konstateras att den observerade jetlågan kom ifrån en genomföring på bränsletankens ovansida där ett hål smälts i gummitätningen vilket medförde att bränsleångor inne i tanken kunde strömma ut denna väg. Även de två intensiva flammor som noterades senare under försöket kom från utströmmande bränsleångor genom detta och ytterligare ett hål som uppstått.



Figur 33 Bränsle- respektive bränsleångornas temperatur under brandexponeringen i försök 3 med tanktyp A (plåt). (x-axeln anger tid från start brandexponering).

7 Etapp 5-Bränslekonzentrationer och bränslesammansättning runt påfyllningsröret vid tankning

Syftet med etapp 5 var att kartlägga koncentrationerna och sammansättningen av de bränsleångor som trycks ut ur påfyllningsröret i samband med tankning, både med och utan gasåterföringssystem (steg 2) aktiverat. Provningsen avsåg att ge en uppfattning om hur gassammansättningen skiljer sig från den som erhålls i jämviktstillstånd (Etapp 1) samt hur "riskområdet" ser ut runt påfyllningsöppningen. Vidare var förhoppningen att resultaten skulle kunna ge viktig information kring frågan om behov/risker/miljöförtjänster med gasåterföringssystem för E85.

Försöken har varit uppdelade i två faser. I den första fasen användes en typ av IR-kamera som reagerar på kolväten och därmed kunde ge en visuell bild av gasemissionerna runt påfyllningsöppningen vid tankning.

Denna information användes sedan som grund för planering av fas 2 av försöken där gas samlades i olika positioner runt påfyllningsöppningen under pågående fyllning för att sedan analyseras med avseende på koncentration och sammansättning.

7.1 Inledande försök med GasFindIR-kameran

För att på ett enkelt sätt få en grov bild av gasemissionerna runt påfyllningsöppningen i samband med tankning lånades en IR-kamera betecknad GasFindIR från FLIR Systems AB.

GasFindIR är en nyutvecklad IR-kamera som gör det möjligt att hitta gasläckor av flyktiga kolföreningar (VOC) på ett enkelt sätt, se Figur 34 [29].



Figur 34 a) IR-kameran GasFindIR från FLIR Systems AB som användes för att få en grov bild av gasemissionerna runt påfyllningsöppningen vid tankning. b) Ett exempel på den typ av bild som kameran visar där det mörkgrå området till vänster om påfyllningsöppningen indikerar bränsleångor.

Kameran arbetar i realtid med 25 bilder per sekund och kan anslutas till en vanlig videobandspelare för arkivering och dokumentering. Gasläckorna syns som en grå-svart "rök" på bildskärmen.

Kameran användes dels för att filma tankningsförloppet hos ett antal bilmodeller ute på en bensinstation, dels för att filma några tankningsförlopp med en fristående ”försökstank” som används vid vätskemätningenslaboratoriet vid SP i samband med olika provningar.

Med hjälp av inspelade tankningsförlopp kunde en allmän bild av emissionerna erhållas vilket sedan användes för detaljplaneringen av de konkreta gasmätningarna i fas 2.

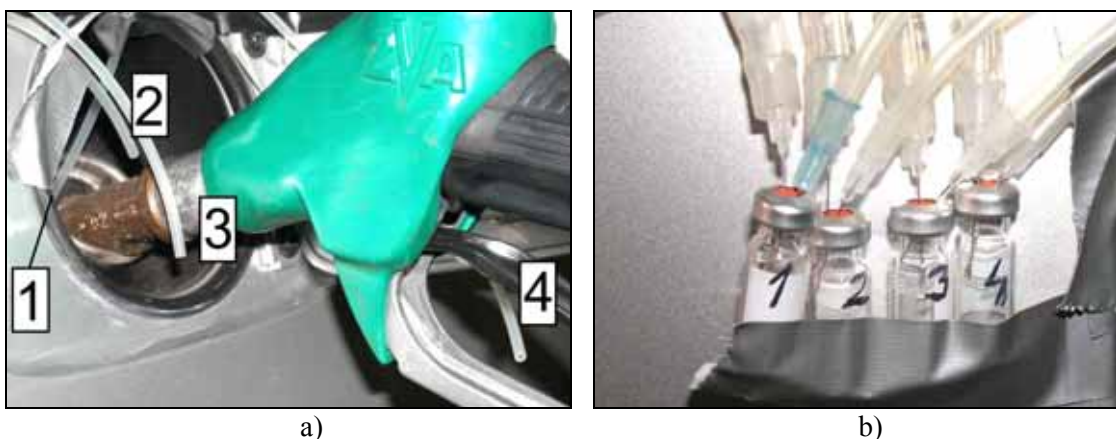
7.2 Gasanalyser runt påfyllningsöppningen

Med stöd av informationen från IR-filmerna valdes fyra punkter ut för sampling av bränsleångor under tankningsförloppet. Dessa punkter var belägna i följande positioner.

- Position 1 - ca 20 mm in från påfyllningsrörets mynning (strax utanför ”inre” genomföring för pistolventil)
- Position 2 - ca 20 mm innanför karosskanten strax ovanför pistolhandtagets rör
- Position 3 - i nivå med karosskant strax under pistolhandtagets rör
- Position 4 - strax under påfyllningshandtaget på pistolventilen

Positionerna framgår av fotot i Figur 35 a) där man ser ändarna på samplingslangarna (ej position 1).

Efter diverse förförsök med olika samplingsmetodik valdes en teknik där en vakuumpump via förgreningar sög luft/bränsleångorna genom septum-proppade glasburkar (”vialer”). I varje vial gjordes två kanylgenomföringar, en kopplad till vakuumpumpen och en via en smal slang i inert material till samplingspositionen, se Figur 35 b). Vialerna hade vardera en volym av 2 ml och provtagningsflödet kontrollerades till 100 ml/min per vial. Gassamlingen till vialerna startades 5 sekunder efter bränslepåfyllningen inletts och pågick därefter i 30 sekunder. Detta gav en teoretisk luftomsättning på ca 25 ggr i vialen. Det uppsamlade och senare analyserade gasprovet härrör således från den senare delen av tankningsförloppet. Enligt IR-filmerna i fas 1 är dock sannolikt halterna relativt likformiga under större delen av tankningsförloppet. Direkt efter att vakuumpumpen stoppats rycktes kanylerna ut för att säkra atmosfären i vialerna. Gasfasen i dessa analyserades därefter med hjälp av gaskromatografi på samma sätt som gjordes i projektetapp 1.



Figur 35 Foton som visar a) provtagningspunkterna under tankningsförloppet (pos 1 syns ej helt) b) de vialer som användes för uppsamling av gasproverna för efterföljande analys.

Tankningsförsök enligt detta förfarande gjordes vid tre tillfällen på två olika bilmodeller (tanktyp C respektive D enligt kapitel 5). Den ena bilmodellen (tanktyp C) provades både med och utan drivmedelsmätarens gasåterföringssystem inkopplat.

Den andra bilmodellen (tanktyp D) var försedd med ett ORVR-system (On board Refueling Vapour Recovery system). Gasen från dess tank leds då under fyllningen via en kolkanister som fångar upp de kolväten som följer med utventilerad luft. Denna bilmodell provades endast utan gasåterföringssystem.

Den drivmedelsmätare respektive det gasåterföringssystem (steg 2) som användes tillhör laboratoriets provutrustning men har samma funktion som ett standardsystem. Drivmedelpumpen hade ett flöde av 40 l/min och pistolventilen var av typ Elaflex ZVA 200 GRV3. Gasvolymåterföringsgraden (återförd gasvolym / levererad vätskevolym), var 102 % då gasåterföringssystemet var aktiverat vilket kan anses representativt för förekommande gasåterföringssystem.

Tankningarna gjordes inomhus i ett kallförråd, dvs vindskyddat. Temperaturen på E85-bränslet (E85S) som tankades var mellan 8 °C och 9 °C vilket sannolikt är en relativt normal temperatur för bränslet i en underjordscistern. Direkt före tankningarna kördes bilarna på väg under ca 10 minuter för att ”konditionera” förhållandena inne i bränsletanken så att dessa efterliknade förhållandena vid en normal tankning på en station.

7.3 Resultat av tankningsförsök

I denna projektetapp genomfördes totalt sett sju filmningar av tankningsförloppet med fem olika bil/tanktyper med hjälp av GasFindIR-kameran. På basis av denna information och efter diverse metodutvecklingsförsök gjorde därefter tre analyser av gaserna runt påfyllningsröret under pågående tankning.

7.3.1 Observationer på basis av GasFindIR-filmer

Filmsekvenserna från de olika tankningsförloppen visar på i stort sett likartade förhållanden. Nästan omedelbart efter att tankningen inletts kan ett ”gasmoln” av kolväteprodukter observeras runt påfyllningsöppningen i form av grå-svart rök. Molnets läge och utbredning varierar något under tankningsförloppet sannolikt på grund av lufrörelser. Ett försök genomfördes med gasåterföringssystemet inkopplat och visade på att betydligt mindre gas emitterades. I Figur 36 visas några utplockade stillbilder från videofilmen från ett tankningsförlopp utan gasåterföringssystemet inkopplad.



Figur 36 Exempel på bildsekvens från GasFindIR-kameran under ett tankningstillfälle utan gasåterföringssystemet aktiverat. Emissionen av bränsleångor syns som grå-svart rök på bilderna. (utplockade stillbilder från 6 sekunder av videosekvensen).

7.3.2 Resultat av gasanalyser vid tankning

Resultaten från försöken med efterföljande analyser sammanfattas i Tabell 14 till Tabell 16. Före respektive tabell sammanfattas dessutom lite uppgifter kring provtagningsförloppet. Som framgår av resultaten kan man notera en markant skillnad i gaskoncentrationer utanför påfyllningsröret beroende på om gasåterföringssystemet är aktiverat eller ej. Då analysresultaten från tanktyp D

(med ORVR) inte gav detekterbara halter ens inne i påfyllningsröret (Pos 1) analyserades ej gasproverna i övriga provtagna vialer.

Sammanfattning av provtagningsförloppet-Tanktyp C

Tankningen genomfördes 2007-04-25 utan gasåterföringssystemet aktiverat. Kvarvarande bränslevolym i tanken var 16 l och omgivningstemperaturen ca 20 °C. Provtagningen påbörjades ca 5 sekunder efter tankningen inletts och pågick i ca 30 sekunder. Tankningen avbröts automatiskt efter 59 sekunder och tankad volym uppgick till ca 39 l.

Vid detta tankningstillfälle togs två gasprov ut i sekvens nere i tankröret (Pos 1) för att studera repeterbarhet. Gasprov 1 samlades under de första ca 30 sekunderna och gasprov 2 under det resterande tankningsförloppet. Uppmätt totalhalt i dessa två gasprover uppgick till 10,2 % respektive 12,9 % och redovisade värden för Position 1 i Tabell 14 är ett medelvärde av dessa två gasprover.

Tabell 14 Sammanfattning av analysresultat (%-vol) från de fyra samplade positionerna för tanktyp C utan gasåterföring inkopplad.

Ämne/ämnegrupp	Position			
	1 I tankrör (*)	2 Innanför kaross	3 I nivå med kaross	4 Vid pistol- handtag
Summa C3 (alkaner och alkener)	0.04	0.02	0.00	0.00
Summa C4 (alkaner och alkener)	2.33	1.09	0.15	0.05
Summa C5 (alkaner och alkener)	4.23	2.02	0.28	0.10
Summa C6 (alkaner och alkener)	1.35	0.71	0.09	0.04
Summa C7 (alkaner och alkener)	0.15	0.06	0.01	0.00
Summa C8 (alkaner och alkener)	0.07	0.03	0.00	0.00
Summa alifatiska kolväten (C3 till C8)	8.17	3.93	0.53	0.20
Summa aromatiska kolväten (C6 + C7 + C8)	0.08	0.02	0.00	0.00
MTBE	0.25	0.19	0.03	0.01
Etanol	3.19	1.47	0.15	0.04
Total summahalt organiska ämnen (%-vol)	11.7	5.6	0.7	0.3

*) Medelvärde från två gasprover tagna i sekvens efter varandra under tankningsförloppet.

Sammanfattning av provtagningsförloppet-Tanktyp C

Tankningen genomfördes 2007-05-10 med gasåterföringssystemet aktiverat. Kvarvarande bränslevolym i tanken var 5 l och omgivningstemperaturen ca 11 °C. Provtagningen påbörjades ca 5 sekunder efter tankningen inletts och pågick i ca 30 sekunder. Tankningen avbröts automatiskt efter 75 sekunder och tankad volym uppgick till ca 50 l.

Tabell 15 Sammanfattning av analysresultat (%-vol) från de fyra samplade positionerna för tanktyp C med gasåterföring inkopplad.

Ämne/ämnesgrupp	Position			
	1 I tankrör	2 Innanför kaross	3 I nivå med kaross	4 Vid pistol- handtag
Summa C3 (alkaner och alkener)	0.05	0.01	0	0
Summa C4 (alkaner och alkener)	2.13	0.25	0.06	0.01
Summa C5 (alkaner och alkener)	4.01	0.49	0.12	0.01
Summa C6 (alkaner och alkener)	1.27	0.16	0.04	0
Summa C7 (alkaner och alkener)	0.12	0.02	0	0
Summa C8 (alkaner och alkener)	0.04	0.01	0	0
Summa alifatiska kolväten (C3 till C8)	7.60	0.94	0.22	0.02
Summa aromatiska kolväten (C6 + C7 + C8)	0.07	0.01	0	0
MTBE	0.66	0.06	0.01	0
Etanol	2.22	0.32	0.05	0
Total summahalt organiska ämnen (%-vol)	10.5	1.3	0.3	0.02

Sammanfattning av provtagningsförloppet-Tanktyp D

Tankningen genomfördes 2007-05-10 utan gasåterföringssystemet aktiverat. Kvarvarande bränslevolym i tanken var 10 l och omgivningstemperaturen ca 14 °C. Provtagningen påbörjades ca 8 sekunder efter tankningen inletts och pågick i ca 35 sekunder. Tankningen avbröts automatiskt efter 87 sekunder och tankad volym uppgick till ca 58 l.

Tabell 16 Sammanfattning av analysresultat (%-vol) från de fyra samplade positionerna för tanktyp D (ORVR-system) utan gasåterföring inkopplad.

Ämne/ämnesgrupp	Position			
	1 I tankrör	2 Innanför kaross	3 I nivå med kaross	4 Vid pistol- handtag
Summa C3 (alkaner och alkener)	0	-	-	-
Summa C4 (alkaner och alkener)	0	-	-	-
Summa C5 (alkaner och alkener)	0	-	-	-
Summa C6 (alkaner och alkener)	0	-	-	-
Summa C7 (alkaner och alkener)	0	-	-	-
Summa C8 (alkaner och alkener)	0	-	-	-
Summa alifatiska kolväten (C3 till C8)	0	-	-	-
Summa aromatiska kolväten (C6 + C7 + C8)	0	-	-	-
MTBE	0	-	-	-
Etanol	0	-	-	-
Total summahalt organiska ämnen (%-vol)	<0,02	-*)	-*)	-*)

*) På grund av att gaskoncentrationerna inne i påfyllningsröret (Pos 1) låg under detektionsgränsen ansågs det inte relevant att analysera gasproverna i övriga vialer.

8 Summerande kommentarer och diskussion

Projektet hade som övergripande syfte att ge svar på flera frågeställningar kring brand- och explosionsegenskaperna hos E85 samt hur detta eventuellt påverkade riskbilden vid användning, primärt jämfört med bensin.

Projektet har därför varit relativt omfattande och uppdelat i flera etapper med syfte att ge svar på olika delfrågor. Projektetapp 1 och 2 har varit inriktade mot mer grundläggande frågeställningar kring E85 medan projektetapp 3 till 5 har varit av mer tillämpad karaktär och inriktade mot riskerna vid användning, primärt i personbilar.

Projektet har gett mycket värdefull information vilket gett en ökad förståelse för skillnaderna mellan E85 och bensin. Det finns fortfarande mycket mer detaljkunskap att inhämta, t ex avseende inverkan av olika bränslekvaliteter, och i detta fall kan i princip samma metodik nyttjas som nu använts i detta projekt.

När det gäller de mer tillämpade undersökningarna i projektetapp 3-5 så har även dessa gett mycket värdefull information men dessa resultat får trots allt betraktas som mer av orienterande karaktär. Provningarna har här genomförts med endast 2-4 olika typer av bränsletankar/fordonsmodeller, och med tanke på alla tänkbara konstruktionslösningar som existerar, så måste slutsatser dras med stor försiktighet.

Nedan kommenteras och diskuteras de resultat och erfarenheter som erhållits i respektive projektetapp. Även begränsningen av genomförda försök och erhållna resultat berörs. Summerande slutsatser presenteras i kapitel 9 och områden där fortsatta forskningsinsatser bedöms som viktiga presenteras i kapitel 10.

8.1 Etapp 1-Bränslesammansättning

Syftet med projektetapp 1 var att bestämma sammansättning och halter av bränsleångor som erhålls i slutna behållare vid olika jämviktstemperaturer. E85S provades vid sex temperaturnivåer inom temperaturområdet -25 °C till $+20\text{ °C}$, bensin vid fyra nivåer inom området -25 °C till 0 °C och övriga E85-kvaliteter endast vid 0 °C . Resultaten av analyserna bl a att;

- Det kan vara stor skillnad mellan sammansättningen av vätskefasen respektive sammansättningen av bränsleångor som bildas i ett slutet kärl, såsom en bränsletank, innehållande E85.
- Trots att bensininnehållet i E85 bara är ca 15 % så domineras bränsleångorna av olika bensinfraktioner på grund av att bensinen har betydligt högre ångtryck jämfört med etanol.
- Påverkan av ångtrycket innebär att sammansättningen av bränsleångorna varierar markant mellan E85 av sommar- respektive vinterkvalitet och att andelen bensinångor är ännu mer dominant i E85V jämfört med E85S.

Försöken är gjorda under mycket kontrollerade förutsättningar och trots detta kan man notera vissa skillnader, t ex beroende på konditioneringstiden. Det är därför viktigt att vara medveten om att skillnaderna sannolikt kan vara ännu större i praktiken. Analyserna i projektet är baserade på mycket små provvolymmer där man kan anta en relativt jämn koncentration men i praktiska applikationer, t ex bränsletankar eller stora cisterner, kan det sannolikt uppstå gradienter som medför att koncentrationerna kan skilja på olika positioner i tanken/cisternen. I bränsletankar som är i rörelse eller där fyllning pågår kan sannolikt omrörningen av bränslet leda till ytterligare variationer.

Andra faktorer som ej kunnat utredas till fullo är inverkan av alla tänkbara bränslekvaliteter (kombinationer av etanol/bensin) som kan förekomma i praktiken, dels vid leverans och dels ute i fordon som är i trafik då många etanolbilar även tankas med bensin vid behov. Även de antalet temperaturnivåer som använts har varit begränsade. Vidare genomfördes endast analyser av gas-halterna vid fyllnadsgraden 25 %, dvs provkärlet var fyllt med bränsle till 25 % av dess totala volym.

8.2 Etapp 2-Brännbarhetsegenskaper

Syftet med projektetapp 2 har varit att bestämma det temperaturområde där E85-ångor är brännbara, dvs övre respektive undre brännbarhetspunkten. Syftet var även att se hur E85-ånga kan representeras av en provgasblandning. Totalt genomfördes 26 försöksserier med normalt sett tre antändningsförsök i varje serie. Resultaten av genomförda bombförsök visar bl a att;

- Bränsleångor från E85S är brännbara inom ett temperaturområde från ca -18 °C (LEP) upp till ca +2 °C till +5 °C (UEP). En viss osäkerhet råder kring de exakta temperaturangivelserna, dels med hänsyn till det begränsade antalet försök som genomförts, dels med tanke på att variationer i bränslekvaliteten kan påverka dessa temperaturer.
- Optimala förbränningsförhållanden för E85S, då snabbast tryckstegringshastighet och högst explosionstryck erhöles, inträffade vid ca -8 °C.
- Övre brännbarhetspunkten (UEP) för E85V bedöms vara ca -8 °C till -9 °C. För bensin, BF95S, bedöms motsvarande temperatur vara ca -20 °C. Fastställande av undre brännbarhetspunkten (LEP) respektive temperatur för optimala förbränningsförhållanden har ej ingått i försöksprogrammet för dessa två bränslen.
- Enligt analyserna i etapp 1 motsvarar brännbarhetspunkterna för E85S en total bränslekonzentration på ca 3 % vid LEP och ca 9 % vid UEP. Bränslekonzentrationen vid UEP för E85V respektive BF95S kan på motsvarande sätt uppskattas till ca 7 % medan uppgift alltså saknas om LEP. Sammansättningen av bränsleblandningen och ingående komponenters ångtryck tycks dock ha en stor betydelse varför det ur praktisk synpunkt är bättre att referera till brännbarhetspunkterna, UEP respektive LEP (°C).
- Försök med provgasblandningarna, propan/luft respektive eten/luft, visar på markanta skillnader mellan dessa, främst avseende tryckstegringshastighet där tiden till första trycktopp för propan var ca 70 ms medan den var ca 35 ms för eten. Tryckstegringshastigheten för E85-ångorna var som lägst 73 ms vilket visar att de har egenskaper liknande propanblandningen ((4,6±0,3) % propan i luft) vilken kategoriseras som explosionsgrupp IIA. Maximalt uppmätt explosionstryck var i stort sett lika.

Försöken i bombtrustningen har fungerat mycket bra och varje försök ger både information om bränsleångornas antändbarhet och förbränningsegenskaper. Genom konditionering av bränslet i ett slutet kärl har också säkerställts att sammansättningen är representativt för aktuell temperatur. En förenkling av metodiken vore att evakuera bränsleångorna direkt ifrån konditioneringskärlet till bomben, såsom gjordes i några enskilda försök. Även fyllnadsgraden i tanken/kärlet kan vara av avgörande betydelse, speciellt om dessa understiger 20 %, då framförallt UEP-gränsen förskjuts mot högre temperaturer [3, 6]. Försöken i denna projektetapp genomfördes med 25 % fyllnadsgrad.

8.3 Etapp 3-Antändningsförsök i tank

Syftet med projektetapp 3 har varit att undersöka konsekvenserna vid antändning av en brännbar gasblandning, dels i själva bränsletanken och dels vid påfyllningsöppningen. Totalt genomfördes åtta försök med fyra tanktyper för olika personbilsmodeller, tre plasttankar och en plåttank. Resultaten från genomförda antändningsförsök visar att;

- Samtliga plasttankar sprack av tryckstöten i de fall provgasblandningen inne i tanken antändes. I samband med detta erhöles en kortvarig flamma (<1 sek) genom den spricka som bildades. Sprickorna var ca 40-90 cm långa. Plåttanken sprack inte men dess tankarmatur slungades iväg och en kortvarig flamma kom genom tankens hål för armaturen. Flamlängden i den enskilda försöken varierade mellan <0,5 m till 2-5 m.
- Antändning av provgasblandningen inne i bränsletankarna gav upphov till ett övertryck i tankarna på i storleksordningen 2-8 bar. I påfyllningsrören registrerades relativt höga tryck, i storleksordningen 5-37 bar, dock utan synlig skada eller deformation av själva rören.
- Alla, utom ett försök, genomfördes med bränsletankarna fritt upplagda på ett mjukt underlag. Ett försök genomfördes med tanken monterad i en riktig bottenplatta. Antändningen medförde här att övertrycket i bränsletanken deformerade bottenplattan med ca 10-15 cm. Tankens infästningspunkter i bottenplatta deformerades också.

Det bör här observeras att försöken var inriktade mot att simulera värsta tänkbara förhållanden (worst-case) utan hänsyn tagen till sannolikheten för antändning. Det primära syftet var istället att studera konsekvenserna av en sådan antändning vid en optimal bränsle/luftblandning. Resultaten visar att utformningen av både tank och påfyllningssrör kan ha avgörande inverkan på konsekvenserna. Om t ex en backventil förekommer i påfyllningsröret kan den, beroende på utformning, bidra till att en antändning vid påfyllningsrörets mynning inte sprids ner i tanken. Endast ett försök har gjorts med en tank monterad i en riktig bottenplatta. Därför är kunskapen om inverkan av montage i en verklig bilkaross mycket begränsad liksom eventuella effekter av bränsle i tanken. Generella slutsatser av resultaten skall därför dras med viss försiktighet.

8.4 Etapp 4-Brandexponering av tank

Syftet med projektetapp 4 var att studera eventuella skillnader i brandförlopp vid en spillbrand under en bränsletank innehållande E85 jämfört med bensin. Totalt genomfördes tre brandförsök med tre olika tanktyper för olika personbilsmodeller och resultaten från dessa visar att;

- Plast- respektive plåttankar uppträder olika vid en brandexponering. Plastmaterialet isolerar bra vilket gör att bränslet och bränsleångorna inne i tanken inte reagerar lika snabbt på temperaturändringar som om det är en plåttank. Plasten smälter dock snabbt vid en yttre, kraftig brandpåverkan och kan medföra ett hål i tankväggen inom några minuter (knappt 2 minuter i dessa försök).
- I båda försöken med plasttankar erhöles en antändning av bränsleångorna inne i tanken i samband med att plasten smälte hål. En kortvarig flamma (<1-3 sekunder) med några meters längd erhöles. I ett av försöken erhöles dessutom bränsletänk som medförde en mindre och kortvarig spillbrand. Före brandexponeringen var bränslet och tankarna konditionerade till ca -20 °C.

- Vid försöket med plåttanken steg temperaturen hos bränsleångorna inne i tanken relativt snabbt. Därmed erhöles en tryckökning inne i tanken som medförde att bränsle pressades ut via en avluftningsslang och bildade en spillbrand. En jetlåga erhöles också i samband med att en gummitätning till en genomföring smälte så att bränsleångor strömmade ut. Någon antändning av bränsleångorna inne i tanken kunde dock ej noteras vid detta försök.
- Resultaten från försöken är starkt kopplade till de försöksförutsättningar och de tanktyper som användes. Även om ingen antändning erhöles av bränsleångorna inne i plåttanken under genomfört försök så är inte detta en garanti för att inte detta kan inträffa vid ”ogynnsamma” förhållanden.

Även dessa spillbrandförsök var inriktade mot att simulera worst-case-förhållanden utan hänsyn tagen till sannolikheten för att dessa förhållanden kan uppstå. För att uppnå detta kördes försöken med både nedkylda tankar och nedkylt bränsle samtidigt som brandpåverkan styrdes för att minimera uppvärmningen av bränslet. Sannolikheten för att detta skall uppträda i verkligheten är svår att avgöra men klart är att antalet tänkbara brandscenarier är mycket stort. Med tanke på att endast tre försök genomfördes, samtliga med E85 som bränsle så är det uppenbart att man måste vara försiktig med generella tolkningar. Det som kan noteras från de genomförda försöken är att E85-ångorna antändes i båda försöken med plasttankar. Vår bedömning, baserat på lång erfarenhet av brandprovningar av plasttankar enligt ECE reglemente 34, är att detta sannolikt inte inträffat om försöken genomförts på samma sätt med bensen.

Effekten av de antändningar som erhöles var inte dramatiska men samtidigt är det oklart vilken bränsleblandning som fanns i tanken när antändning inträffade. Inverkan av placeringen i en provningsrigg jämfört med en verklig installation i en bil är också svår att bedöma helt entydigt. När det gäller plåttanken är effekterna också starkt beroende av hur anslutande slangar, genomföringar, etc påverkas varför det är svårt att göra en generell tolkning av detta enskilda försök.

Baserat på erhållna resultat i föregående projektetapper kan man dock utgå ifrån att risk för mer omfattande konsekvenser förutsätter relativt extrema förhållanden med stark kyla i kombination med en begränsad/punktformig brandpåverkan. Även bensen kan dock under sådana förhållanden utgöra en risk. Totalt sett kan en antändning av bränsleångorna i en bränsletank, oavsett bränsle, innebära en viss risk för t ex insatspersonal som befinner sig alldeles i bilens närområde men konsekvensen påverkar sannolikt inte den totala riskbilden av en personbildbrand.

8.5 Etapp 5-Bränslekonzentrationer vid tankning

Syftet med projektetapp 5 var att bestämma bränslekonzentrationer/bränslesammansättning runt påfyllningsröret på ett fordon i samband med tankning. Totalt genomfördes tre fullständiga försök med två principiellt olika tanktyper och resultaten från dessa visar att;

- Vid tanktyp C (och sannolikt motsvarande ”konventionella” tanktyper) kan man konstatera att bränslekonzentrationen inne i påfyllningsröret innehöll ca 10-12% bränsleångor vilket sannolikt är över brännbar koncentration. Bränslekonzentration strax utanför påfyllningsröret var inom brännbart område (ca 5-6% bränsleångor) när gasåterföringssystemet (GÅF) ej var inkopplat. Med GÅF-systemet inkopplat uppmättes låga bränslekonzentrationer i samliga punkter utanför påfyllningsröret. Dessa halter var sannolikt under brännbar koncentration.
- Försöken med tanktyp D, med ORVR-system, visade att bränslekonzentrationerna till och med inne i påfyllningsröret låg under analysinstrumentens detektionsnivå. Baserat på detta kan man dra slutsatsen att risken för antändning avsevärt reducerad under förutsättning att systemet fungerar korrekt.

- Ur miljösynpunkt kan det vara intressant att konstatera att emitterade bränsleångor i samband med tankning överensstämmer relativt väl med analysdata från projektetapp 1. Detta innebär att bränsleångorna innehåller en övervägande andel bensinfraktioner trots den höga etanolhalten i bränslets vätskefas.

Även i denna försöksserie är antalet försök och tanktyper mycket begränsade med tanke på alla förekommande bilmodeller. Eftersom i stort sett alla bränslekombinationer kan förekomma inne i bränsletanken vid fyllning, kan också variationen av gassammansättningen variera avsevärt. Vidare kommer naturligtvis temperatur, vindpåverkan, gasåterföringssystemets funktion, etc. också ha en direkt påverkan på utbredningen av ”molnet” med bränsleångor. Det är dock uppenbart att brännbar blandning kan finnas runt påfyllningsmynningen, speciellt om gasåterföringssystemet ej är aktiverat varför det är starkt motiverat att i möjligaste mån eliminera riskerna för uppkomst av statisk elektricitet. Detta gäller både konstruktionen av fordonet i sig och utformningen av tankstationen med tillhörande utrustning.

8.6 Jämförelse med andra experimentella undersökningar

Vissa jämförelser av resultaten, primärt från projektetapp 1 och 2, kan också göras med de resultaten och slutsatserna från övriga experimentella insatser som redovisats i kapitel 2. Man måste här naturligtvis beakta att både provningsmetodik och bränslekvaliteter skiljer, men man kan dock konstatera följande;

- I SAE-rapporten [3] visar beräkningarna att brännbarhetsområdet för undersökt E85-bränsle ligger inom temperaturområdet ca -35 °C (LEP) upp till ca +3 °C (UEP). För fyllnadsgrader under ca 20 % förskjuts den övre brännbarhetspunkten uppåt och vid t ex 10 % fyllnadsgrad är den beräknad till ca 10 °C och vid 1 % till ca 20 °C. Även den undre brännbarhetspunkten förskjuts något uppåt, men inte lika markant. Jämfört med resultaten från detta projekt, så överensstämmer UEP mycket bra medan LEP i SAE-rapporten är betydligt lägre
- PTB [6] anger UEP till ca 3,5 °C för E85, sommarkvalitet vid 20 % fyllnadsgrad. UEP för E85, vinterkvalitet anges till -6 °C och gäller för 10 % fyllnadsgrad. Som redovisats i Tabell 1 i kapitel 2.1, ökar sedan UEP med minskad fyllnadsgrad och uppgår till +18 °C respektive +17 °C för respektive E85-kvalitet vid 1 % fyllnadsgrad. Jämfört med resultaten från detta projekt, så överensstämmer UEP för E85 sommarkvalitet mycket bra medan UEP för vinterkvaliteten är någon grad högre. Bestämning av LEP har ej gjorts vid PTB.
- De provningar av MESH som genomförts visar att E85-ångor från bensin/etanolblandningar med en etanolhalt i vätskefasen ≤ 97 %-vol kan klassas som IIA, medan högre etanolinnehåll innebär klassning IIB1 [7]. Detta stämmer väl överens med detta projekt som visade på bäst överensstämmelse mellan bränsleångor av E85 och provgasblandningen med propan/luft, vilken tillhör explosionsgrupp IIA.
- De antändningsförsök av E85-ångor som genomförts åt SPI inne i en nedgrävd cistern visar också på relativt bra överensstämmelse med projektet [12]. Försök med en bränsletemperatur på ca 11 °C och en fyllnadsgrad på ca 20 % visade att bränsleångorna ej kunde antändas, även efter utspädning av bränsleångorna med luft. Vid en bränsletemperatur på ca 4 °C och en fyllnadsgrad på < 1 % kunde antändning erhållas, men först efter viss utspädning av luft. Med tanke på skillnaden i försöksskala får överensstämmelsen anses mycket bra. Jämfört med angivna värden för UEP vid 1 % fyllnadsgrad, både i SAE-rapporten respektive i PTBs undersökningar, så indikerar cisternförsöket ett betydligt lägre UEP, dvs en viss säkerhetsmarginal jämfört med specificerade värden.

9 Slutsatser

Nedan summeras de viktigaste slutsatserna som kan dras av det genomförda projektet.

När det gäller specificerade data för E85 och bensen i punkterna 3-7 nedan, så gäller dessa för provade bränslekvaliteter (batcher) och kan således variera beroende på aktuell kvalitet. Vidare var fyllnadsgraden vid försöken 25 % och lägre fyllnadsgrad kan medföra att brännbarhetsområdet (UEP) förskjuts mot högre temperaturer. Detta innebär att risk för antändning kan uppstå vid högre omgivningings-/bränsletemperaturer än de som redovisas här.

Det är också viktigt att notera att resultaten från de tillämpade försöken är kopplade till aktuella försöksobjekt och den provningsmetodik som användes. Antalet försök var dessutom mycket begränsat. Detta innebär att slutsatserna i punkterna 8-10 nedan inte nödvändigtvis behöver vara representativa för samtliga på marknaden förekommande bilmodeller/bränsletankar och tänkbara antändnings-/brandscenarier.

- 1) Bränsleångorna i ett slutet kärl med E85 innehåller till största delen bensinfraktioner, i storleksordningen 70-90%. Halten varierar bl a med sommar- respektive vinterkvalitet samt temperaturen.
- 2) Den höga andelen bensinfraktioner i bränsleångorna innebär att brännbarhetsområdet påverkas kraftigt i förhållande till ren etanol.
- 3) Den nedre brännbarhetspunkten (LEP) för E85 av sommarkvalitet (E85S) uppmättes till ca -18°C och den övre brännbarhetspunkten (UEP) till ca +2°C till +5°C.
- 4) Den övre brännbarhetspunkten (UEP) för E85 av vinterkvalitet (E85V) bedöms vara ca -8 °C till -9 °C
- 5) Den övre brännbarhetspunkten (UEP) för blyfri, 95-oktanig bensen av sommarkvalitet, (BF95S) bedöms vara ca -20 °C
- 6) E85 kan, i likhet med bensen, klassas i explosionsgrupp IIA.
- 7) Bränsleångorna från E85 är brännbara vid högre temperaturer än bensen vilket innebär ett viss förhöjd risk jämfört med bensen. Övergången till E85 av vinterkvalitet under den kalla delen av året kompenserar denna skillnad till viss del men ej helt.
- 8) En antändning av bränsleångorna vid påfyllningsröret eller inne i bränsletanken kan i värsta fall leda till en tryckökning inne i tanken så att denna deformeras eller brister. Även bilens bottenplatta kan deformeras. Kortvariga flammor från påfyllningsrör och/eller sprickor i tanken kan förväntas. Beroende på konstruktion, kan dock spridning av flammorna i tanken förhindras.
- 9) En spillbrand under en bränsletank med E85 kan, under mycket ogynnsamma temperaturförhållanden och brandpåverkan, leda till antändning inne i tanken, kortvariga flammor och vissa stänk av brinnande bränsle. Samma förutsättningar kan även finnas för bensen. Detta kan innebära en viss risk för t ex insatspersonal som befinner sig alldeles i bilens närområde men påverkar sannolikt inte den totala riskbilden av en personbildbrand.
- 10) Bränsleångorna kan vara brännbara strax utanför påfyllningsrörets mynning, framförallt om gasåterföringssystemet ej är inkopplat. Denna risk är sannolikt avsevärt mindre hos fordon med ORVR-system.

10 Förslag fortsatta insatser

- Om behov föreligger av en fullständig och mer detaljerad bild av brännbarhetsområdet för E85 och bensin, samt inverkan av de kvalitetstyper/variationer som kan förekomma, bör ytterligare provningar genomföras.
- Försöken i projektetapp 1 och 2 har utförts i en relativt liten skala och med en fyllnadsgrad på 25%. Konditioneringsförsök och gasanalyser borde genomföras i större skala, dels för att undersöka eventuella direkta skaleffekter och dels för att studera i vilken mån det förekommer stora koncentrationsvariationer i större tankar/cisterner. Vidare borde utredas inverkan av fyllnadsgraden i större skala.
- Genomförda undersökningar i projektet har gett mycket information om den sammansättning och de antändningsegenskaper som bränsleångor har i ett slutet kärl med E85. Resultaten har visat att egenskaperna kan påverkas kraftigt, även av komponenter som förekommer i relativt små mängder (t ex 15% bensin i förhållande till 85% etanol). I strävan att övergå till förnyelsebara bränslen utvecklas även andra bränsletyper parallellt med E85, t ex för dieselfordon. Samma utvärderingsprinciper borde användas för att även utvärdera antändnings-/brandegenskaperna hos dessa bränslen för att utgöra grund för korrekta riskhänsyn.
- Innan gasåterföringssystemen eventuellt aktiveras på E85-pumpar bör klassningen/funktionen hos förekommande flamsskyddssystem kontrolleras så att de även ger fullgott skydd vid en antändning av bränsleångorna vid pistolmunstycket.
- I projektetapp 3 undersöktes konsekvenserna av en antändning av bränsleångorna i tanken eller vid påfyllningsrörets mynning utan hänsyn till sannolikheten för närvaron av någon form av tändkälla. En dominant tändkälla är sannolikt statisk elektricitet. Den undersökning som genomförts av bl a UK IP [20] visar att även om antalet rapporterade bränder i samband med tankning är relativt få så finns det flera yttre faktorer som kan ha en mycket markant påverkan. Utförandet av bränsletankssystemet i sig är naturligtvis viktigt men även fordonets konstruktion i övrigt, typ av inredningsmaterial, däckens egenskaper, typ av underlag vid tankningsplatsen kan vara viktiga faktorer. Man borde undersöka sannolikheten för olika tändkällor mer systematiskt samt eventuell inverkan av olika bränslekvaliteter för att reducera riskerna ytterligare. Vidare finns det finns förmodligen inga eller få rapporterade antändningar orsakad av en tändkälla inne i bränsletankar för bensin, eftersom bränsleångorna från bensin normalt är för bränslerika för att kunna antändas. Såsom framgår av denna rapport, ökar emellertid sannolikheten för antändbar blandning inne i en bränsletank fylld med E85. Därför är sannolikheten för att det kan förekomma tändkällor inne i tanken av intresse. Det mest sannolika är förmodligen gnistor eller varma ytor hos elektriska kretsar och komponenter i tankarna. Även fel som kan tänkas uppstå i sådana kretsar behöver beaktas.

11 Referenser

1. Vägverket, "Statistik-Antal miljöbilar i Sverige", <http://www.vv.se>, 2007.
2. Ljung, L., "Personal communication", SPI Svenska Petroleum Institutet, 2007.
3. Vaivads, R. H., Bardon, M. F., Rao, V. K., and Battista, V., "Flammability Tests of Alcohol/Gasoline Vapours", SAE Society of Automotive Engineers, Inc., SAE Technical Paper Series 950401, 1995.
4. Dodge, L., Bourn, G., Callahan, T., Grogan, J., Leone, D., Naegeli, D., Shouse, R., Thring, R., and Whitney, K., "Development of a Dedicated Ethanol Ultra-Low Emission Vehicle (ULEV): Final Report", NREL National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-540-24603, 1998.
5. Brandes, E., Frobese, D.-H., and Mitu, M., "Sicherheitstechnische Kenngrößen ethanolhaltiger Ottokraftstoffe", *Technische Überwachung*, September 2006.
6. Brandes, E., Frobese, D.-H., and Mitu, M., "Safety Characteristics of Ethanol/Automotive Petrol Mixtures", *OIL GAS European Magazine*, 4/2006.
7. Brandes, E., Frobese, D.-H., and Mitu, M., "Safety Characteristics of Ethanol/Automotive Petrol Mixtures, Additional Information", PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt.
8. CEN, "First working draft-Determination of explosion points of combustible liquids", CEN/TC305 N 563.
9. Sävbark, B., Larsson, E., Eriksson, L., Ahlvik, P., and Brandberg, Å., "Säkerhetsaspekter med E85 som drivmedel", Ecotraffic ERD3 AB.
10. SPI, "Etanol-E85, Preliminär utgåva, Rekommendationer till medlemsföretagen angående god praxis för säker hantering av Etanol E85", SPI Svenska Petroleum Institutet.
11. SPI, "Jämförelse av E85 respektive bensins brandegenskaper", SPI Svenska Petroleum Institutet, SP rapport P603373, 2006.
12. SPI, "Antändningsförsök i nedgrävd cistern innehållande E85", SPI Svenska Petroleum Institutet, SP Rapport P603642, 2007.
13. SRV, "Utkast-Bensinstationer, Handbok om hur Räddningsverkets föreskrifter om hantering av brandfarliga gaser och vätskor bör tillämpas på bensinstationer", Statens Räddningsverk.
14. DOE, "Handbook for Handling, Storing, and Dispensing E85", Department of Energy, DOE/GO-1002001-956.
15. "TRbF 40, Tankstellen", BARbBI. 6/2002.
16. "LV47, Ausgabe 5/2007, Anforderungen an Anlagen für bioethanolhaltige Kraftstoffe", Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI).
17. Brandes, E., "Personal communication", PTB, Aug 2007.
18. "EN 12874, Flame arresters-Performance requirements, test methods and limits for use", 2001.
19. SIS, "SS 155480:2006 Motorbränslen-Etanol E85-Krav och provningsmetoder", 2006.
20. "Report on the risk of static ignition during vehicle refuelling, A study of the available relevant research", The Institute of Petroleum, London, 2001.
21. IEC, "IEC 60079-1-1:2002 Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Part 1-1: Flameproof enclosures "d"-Method of test for ascertainment of maximum experimental safe gap." 2002.
22. IEC, "IEC 60079-1:2007 Explosive atmospheres-Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures "d"." 2007.
23. "EN 1839 Determination of explosion limits of gases and vapours", 2003.
24. "EN 13673-2 Determination of maximum explosion pressure and the maximum rate of pressure rise of gases and vapours-Part 2: Determination of the maximum rate of explosion pressure rise." 2005.
25. ECE, "Testing och plastic fuel tanks, ECE Regulation No.34, annex 5, paragraph 5".

26. EEC, "Council Directive 70/221/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to liquid fuel tanks and rear underrun protection of motor vehicles and their trailers".
27. EEC, "Directive 2000/8/EC of the EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 20 March 2000 amending Council Directive 70/221/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to liquid fuel tanks and rear underrun protection of motor vehicles and their trailers", 2000.
28. TRIAS, "TRIAS document Attachment 11, Technical Standard For Plastic Fuel Tanks For Passenger Motor Vehicles, Fire resistance test, Release 7.8.2001."
29. "ThermaCAM™ GasFindIR", FLIR Systems AB,
<http://www.flirthermography.com/sweden2/cameras/camera/1075/>, 2007.

Bilaga 1-Bränslespecifikationer

Nedan ges en summering av specifikationerna för de bränslen som använts i projektet.

11.1.1 E85S (sommarkvalitet)

Bränslet levererades av Svensk Etanol kemi AB (SEKAB) och från SEKAB har följande information erhållits för aktuell batch.

- Receptur: 85,2 vol% etanol, 12,3 vol% bensin, 2,1 vol% MTBE, 0,4 vol% isobutanol samt 1 ppm rött färgämne.
- Ingående bensin: Ångtryck 61,8 kPa.
- Ingående etanol: Vattenhalt 0,1 vikts%, indunstningsrest 0,25 mg/l, högre alkoholer 2 g/l, metanol 0,8 vol%.
- Resultat av bränsleanalys: pH 7,0, initial kokpunkt 58 °C, densitet 0,783 kg/liter. Beräknat ångtryck 36 kPa.

11.1.2 E85V (vinterkvalitet)

Bränslet levererades av Svensk Etanol kemi AB (SEKAB) och från SEKAB har följande information erhållits för aktuell batch.

- Receptur: 78 vol% etanol, 2,1 vol% MTBE, 0,4 vol% isobutanol och resten bensin (19,5%)
- Ingående bensin: Ångtryck ca 88 kPa.
- Resultat av bränsleanalys: Initial kokpunkt 51,6 °C, densitet 0,7777 kg/liter, vattenhalt 0,26 vikts%, ledningsförmåga 0,48 µS/cm. Beräknat ångtryck ca 50 kPa.

11.1.3 Blyfri bensin 95 (sommarkvalitet)

Bensinen har levererats av Norsk Hydro Olje AB och är tillverkad vid Preem raffinaderi i Lysekil. Nedan ges ett utdrag av analysresultaten från Preem vid utlastning av aktuell batch till båt för leverans till Hydro's depå.

- Referens/beteckning: Ship ref: 34373, fartyg M/T Oktavius, beteckning: M95 E5-bas Sommar ua
- Aromatic content 34,7 %V/V, benzene content 0,7 %V/V, density at 15°C 743,9 kg/m³, octane, RON 95,3, Oxyg: MTBE content <0,2%V/V, vapour pressure (DVPE) 61,3 kPa, water content 70 mg/kg.

Enligt uppgift har därefter 5% etanol tillsats hos Hydro före leverans.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut utvecklar och förmedlar teknik för näringslivets utveckling och konkurrenskraft och för säkerhet, hållbar tillväxt och god miljö i samhället. Vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling. Vår forskning sker i nära samverkan med högskola, universitet och internationella kolleger. Vi är drygt 850 medarbetare som bygger våra tjänster på kompetens, effektivitet, opartiskhet och internationell acceptans.



SP är organiserat i åtta tekniska enheter och fyra dotterbolag.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Brandteknik

SP Rapport 2007:39

ISBN 978-91-85533-99-2

ISSN 0284-5172

A Member of

 **United Competence**