



# Säkerhetsaspekter med E85 som drivmedel

Oktober 2006, Stockholm



**Project leader:** Eva Sunnerstedt, Clean Vehicles in Stockholm, Environment and Health Administration  
Phone: +46 8 508 289 13  
E-mail: [eva.sunnerstedt@miljo.stockholm.se](mailto:eva.sunnerstedt@miljo.stockholm.se)  
**Authors:** Bengt Sävbark, Egon Larsson, Lars Eriksson; Peter Ahlvik and Åke Brandberg, Ecotraffic  
ERD<sup>3</sup> AB  
**Language:** Swedish

## FÖRORD

EU-projektet Trendsetter demonstrerar åtgärder som bidrar till hållbara transportsystem i städer. Projektet syftar till att förbättra mobiliteten, luftkvaliteten och livskvaliteten samtidigt som bullernivåerna och trängseln minskar. Åtgärderna handlar bl.a. om rena fordon och bränslen, samlastning, transportstyrning, miljözoner, parkeringsåtgärder, mobility management och attraktiva kollektivtrafik. I projektet deltar de fem städerna Stockholm, Lille, Graz, Prag och Pécs. I Stockholm har ett 20-tal åtgärder genomförts av SL, Vägverket, Miljöförvaltningen, Trafikkontoret, Markkontoret, Renhållningsförvaltningen, Home 2 You AB, Aga Gas AB samt Statoil Detaljhandel AB.

Frågor kring etanolens egenskaper som bränsle med hänsyn brand- och explosionsrisk har förekommit i media. Vidare får Miljöförvaltningen ofta frågor rörande säkerhetsaspekter med etanol från allmänhet samt andra städer i Sverige och Europa. Det ökande intresset för etanolbilar och det ökande antalet etanoltankstationer i såväl Sverige och Europa är orsaker till det ökande informationsbehovet.

Miljöförvaltningen gav därför Ecotrafic ERD<sup>3</sup> AB i uppdrag att göra en faktasammanställning rörande säkerhetsaspekterna med etanol som fordonsbränsle. Föreliggande rapport har tagits fram av Bengt Sävbark, Egon Larsson, Lars Eriksson, Peter Ahlvik and Åke Brandberg på Ecotrafic ERD<sup>3</sup> AB. Eva Sunnerstedt har varit ansvarig projektledare på Miljöförvaltningen.

Rapporten har skickats på remiss till Räddningsverket, Vägverket, Svenska Petroleum Institutet och Brandförsvaret i Stockholm. Rapporten har även diskuterats på ett seminarium i april 2006 med inbjudna från ovanstående organisationer samt Naturvårdsverket, Ford, Saab, Sekab och Miljödepartementet. Inkomna synpunkter har så långt möjligt införts i denna slutversion.

Huvuddelen av rapporten finns översatt till engelska och kan rekvireras från Miljöförvaltningen.

Stockholm i oktober 2006

Gustaf Landahl  
Avdelningsdirektör  
Miljöförvaltningen

Eva Sunnerstedt  
Projektledare ”Miljöbilar i Stockholm  
Miljöförvaltningen

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER .....</b>	<b>V</b>
<b>2</b>	<b>INLEDNING OCH BAKGRUND .....</b>	<b>1</b>
2.1	SAMMANSTÄLLNING AV KEMISKA OCH FYSIKALISKA DATA .....	4
<b>3</b>	<b>BRANDRISKER .....</b>	<b>5</b>
3.1	ALLMÄNT .....	5
3.2	ÖPPNA UTRYMMEN .....	6
3.3	SLUTNA UTRYMMEN .....	7
<b>4</b>	<b>SÄKERHETSHÖJANDE ÅTGÄRDER.....</b>	<b>9</b>
4.1	ALLMÄNT .....	9
4.2	VOLVO – SAAB – FORD .....	9
4.3	SPI:S REKOMMENDATIONER .....	10
4.4	ÅTERFÖRINGSSYSTEM FÖR GASER .....	11
<b>5</b>	<b>VID BRAND .....</b>	<b>12</b>
5.1	BRANDENS SVÅRIGHETSGRAD.....	12
5.2	BRANDENS SYNLIGHET .....	13
5.3	SLÄCKNINGSMÖJLIGHETER.....	14
5.4	EXEMPEL PÅ INTRÄFFADE OLYCKOR .....	15
<b>6</b>	<b>REGELVERK FÖR HANTERING AV DRIVMEDEL.....</b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>ERFARENHETER FRÅN HANTERING AV ETANOL .....</b>	<b>17</b>
<b>8</b>	<b>MATERIALKOMPABILITET .....</b>	<b>18</b>
8.1	LAGRING OCH TANKNING .....	18
8.2	PUMPUTRUSTNING MM. ....	19
<b>9</b>	<b>REFERENSER.....</b>	<b>21</b>
<b>BILAGA 1 - REKOMMENDATIONER FÖR HANTERING AV E85 PÅ BENSINSTATIONER (SPI).....</b>		<b>1</b>
<b>BILAGA 2 - KEMISKA OCH FYSIKALISKA DATA OCH EGENSKAPER.....</b>		<b>4</b>
	KOKPUNKT (°C) .....	4
	ÅNGTÄTHET (RELATIVT LUFT) .....	4
	ELEKTRISK LEDNINGSFÖRMÅGA (KONDUKTIVITET) .....	5
	ÅNGTRYCK (KPA) .....	5
	FLAMPUNKT (°C) .....	7
	TERMISK TÄNDTEMPERATUR (°C) .....	7
	BRÄNNBARHETSOMRÅDE (% I LUFT).....	7

BRÄNNBARHETSOMRÅDE (°C) .....	8
FÖRÅNGNINGSVÄRME (KJ/KG) .....	10
DIFFUSIONSKOEFFICIENT (CM <sup>2</sup> /H) .....	10
FÖRBRÄNNINGSENERGI (EFFEKTIVT VÄRMEVÄRDE) (KWH/LITER).....	10
FLAMSPRIDNINGSHASTIGHET (M/S) .....	11
LÄGSTA ANTÄNDNINGSENERGI (MJ).....	11
<b>BILAGA 3 - KOMMENTAR TILL REFERENS 10 .....</b>	<b>14</b>

# 1 SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

**Drivmedel E85 (85 % etanol och 15 % bensen) har under de senaste åren ökat kraftigt i Sverige. I slutet av år 2006 fanns ca 600 tankstationer för E85 och ca 50 000 E85 bilar. Den ökande användningen och hanteringen av E85 i Sverige har lett till frågor och funderingar kring säkerheten. Sammantaget bedöms E85 inte vara farligare – ur brand- och explosions-synpunkt – än de konventionella bränslena bensen och diesel. Riskerna ser dock annorlunda ut: E85 ger upphov till brännbara ångor i slutna utrymmen (t ex bilens bränsletank, cisterner) vid högre omgivningstemperaturer än bensen. De råd som SPI tagit fram, tillsammans med de konstruktionsanpassningar som gjorts på dagens E85-bilar, bedöms vara fullt tillräckliga för att kompensera för detta. E85-bränder ger sannolikt mindre skador på personer och egendom och är också lättare att släcka än bensen- och dieselbränder. Några allvarliga bränder eller explosioner har inte heller inträffat trots den numera relativt omfattande användningen. Detta faktum stärker de bedömningar som författarna av rapporten gjort – dvs. att E85 inte är farligare än bensen ur brandsäkerhetssynpunkt. Tvärtom bedöms E85 ha goda förutsättningar till att förbättra säkerheten ur brand- och explosions-synpunkt i vårt transportsystem. Synpunkter på rapportens slutsatser har inhämtats från berörda brand- och säkerhetsmyndigheter.**

En bensintank innehåller bensen samt en blandning av luft och bensenångor ovanför vätskan i bensintanken. I normala fall (när det inte är för kallt) innehåller blandningen av luft och bensenångor mest bensenångor och är då inte brännbar, blandningen är för fet. När temperaturen sänks minskar bensenavdunstningen och andelen brännbart i ångfasen minskar. Till slut blir avdunstningen så låg att ångan inte längre är för fet för att antändas.

Svensk bensen av sommarkvalitet bildar brännbara ångor i intervallet från cirka  $-45^{\circ}\text{C}$  till  $-10^{\circ}\text{C}$ . E85 bildar på motsvarande sätt brännbara ångor från cirka  $-35^{\circ}\text{C}$  upp till flera plusgrader (från  $+5$  till  $+11^{\circ}\text{C}$ ). Exakt var den övre gränsen går är inte helt utrett utan fler tester behövs för att klargöra detta. Den svenska debatten om brand- och explosionsriskerna med E85 som drivmedel har till stora delar handlat om just var denna gräns går. Helt klart är att E85 bildar brännbara ångor vid högre temperaturer än bensen. Det betyder att risk för brand eller explosion i ett slutet utrymme finns under fler dagar per år för E85 än för bensen. I Sverige är det vintertid ofta så kallt att brännbara ångor då även finns i vanliga bensintankar (kallare än ca  $-10^{\circ}\text{C}$  för sommarbensen och kallare än ca  $-20^{\circ}\text{C}$  för vinterbensen).

E85 har mycket högre elektrisk ledningsförmåga än bensen. Detta är bra ur säkerhetssynpunkt eftersom risken för att statisk elektricitet ska bildas genom friktion mellan exempelvis vätska och slangar är mycket låg. Om en gnista ändå bildas är emellertid sannolikheten för att denna gnista ska tända tankångorna högre för E85 än bensen (eftersom E85-ångor är antändningsbara under fler dagar per år). Antänds tankångorna kan branden sprida sig ner i tanken. De biltillverkare som säljer E85-bilar har gjort konstruktionsanpassningar som hindrar att en gnista kan skapa en brand i fordonets bränsletank.

Tankstationer för E85 är speciellt anpassade för etanol enligt rekommendationer från SPI och Räddningsverket. Ett exempel på en sådan anpassning är att E85-pumpar inte har någon upphakningsmekanism. Det betyder att den som tankar måste hålla i pumphandtaget under hela tankningen och kan inte lämna platsen för att ”ladda upp sig” med statisk elektricitet. I dagsläget tas inte tankångor från E85 omhand på tankstationerna utan släpps ut i det fria vid tankning. Natur-

vårdsverket arbetar just nu med föreskrifter och rekommendationer och kommer förmodligen inom kort att kräva gasåterföring vid etanoltankning. Saab har emellertid redan löst detta problem i sina E85-bilar med ett system där tankångorna tas omhand i bilen.

E85 innehåller ungefär 30 % mindre energi än bensin per liter. Detta innebär att en E85-bil måste tankas oftare än motsvarande bensinbil. Volymen bränsle som ska distribueras och hanteras i samhället ökar även med E85 i jämförelse med bensin, vilket ger fler transporter med farligt gods osv. Den ökande volymen innebär att antalet tillfällen för olyckor ökar. Antalet tankställen kommer dock inte att behöva öka eftersom det redan i dag finns en överetablering av tankstationer i landet.

E85 har en rad fördelar jämfört med bensin som t.ex. att en E85 brand sprids långsammare, är mindre häftig och mer lättkontrollerad än en bensinbrand.

I denna rapport har författarna försökt kvantifiera och jämföra skillnader mellan E85 och bensin ur ett brandsäkerhetsperspektiv. Som jämförelse har även ren etanol (E100) och dieselbränsle tagits med. Författarnas sammanfattande slutsatser redovisas i tabellen nedan. Siffrorna i tabellen ger inte någon exakt jämförelse utan ska tolkas som en kvalitativ bedömning. Tabellvärden kan inte heller adderas för att beräkna ett totalt farlighetsmått.

	Diesel	Bensin	Etanol	E85
Antändningsbenägenhet Öppen situation	2	9	4	7
Antändningsbenägenhet Sluten situation	5	2	8 (2-4)*	3 (2)*
Relativ skaderisk vid brand	8	10	3	4
Relativ skaderisk vid brand släckningsaspekt	9	10	7	8
Relativ skaderisk vid brand brandens synlighet	1	1	7	3

### 1 är låg risk och 10 är extremt hög risk

Sammanfattande riskvärdering av jämförda bränslen på en skala från 10 till 1. Ju högre siffra – desto högre risk.

\* Efter konstruktionsanpassningar

Det finns i Sverige idag en lång erfarenhet av att hantera bensin och etanol på ett säkert sätt. Detta talar för att även blandningar av dessa komponenter kan hanteras säkert. Sammantaget bedöms E85, av författarna, inte vara farligare – ur brand- och explosionssynpunkt – än de konventionella bränslena bensin och diesel. Som nämnts ovan ger E85 upphov till brännbara ångor i slutna utrymmen vid högre omgivningstemperaturer än bensin. De råd som SPI tagit fram, tillsammans

med de konstruktionsanpassningar som gjorts på dagens E85-bilar, är fullt tillräckliga för att kompensera för detta. E85 bedöms ha goda förutsättningar till att ge en förbättrad säkerheten ur brand- och explosionssynpunkt i vårt transportsystem. E85-bränder är sannolikt mindre skadegenererande för människor och egendom och lättare att släcka än bensin- och dieselbränder.

Under det senaste åren har försäljningen av E85-bilar och tankställen som erbjuder detta bränsle ökat kraftigt, detta utan att några allvarliga bränder eller explosioner inträffat. Detta faktum stärker de bedömningar som författarna av rapporten gjort – dvs. att E85 inte är farligare än bensin ur brandsäkerhetssynpunkt.



## 2 INLEDNING OCH BAKGRUND

Historiskt sett har inte säkerhetsfrågorna avgjort valet av drivmedel. I stället har tillräcklig säkerhet byggts in i fordon och i bränslehanteringskedjan. Den omfattande användningen av bensin och diesel under många år har lett till stora erfarenhetsbaserade säkerhetskunskaper. Då nya drivmedel ska introduceras finns däremot inte tillgång till motsvarande erfarenhetsvärden utan andra metoder krävs för att bedöma risker. Som ett led i att finna alternativ till bensin och diesel har etanol i form av E85 (15 % bensin och 85 % etanol) **not 1, not 2** introducerats som fordonsbränsle på den svenska marknaden. Under senare tid har frågan rests om drivmedlet E85 är behäftat med högre brand- och explosionsrisker än bensin. Anledningen till oron är att temperaturområdet där brännbar ångfas i slutna utrymmen kan bildas är större och är förskjutet mot högre temperaturer jämfört med bensin. I praktiken innebär detta att förutsättning för brand eller explosion i ett slutet utrymme (tankar och cisterner) föreligger under en större del av årets dagar för E85 än för bensin. I normala fall i en bensintank (när det inte är allt för kallt) är det för stor andel bränsle (för fet blandning) i ångfasen för att antändning skall ske. Sänks temperaturen så avdunstar mindre vätska (och mängden brännbart i ångfasen minskar). Till slut blir avdunstningen så låg att ångfasen inte längre är fet och blandningen blir brännbar.

- I fallet med bensin (sommarmkvalitet) bildas brännbar blandning i temperaturintervallet ca – 45 till ca – 10°C.
- För E85 är motsvarande intervall ca – 35°C upp till flera plusgrader (se bilaga 2 och3).

Mängden relevanta data om temperaturintervallet för E85 är knapphändiga varför det är osäkert var den övre gränsen går. Helt klart är dock att väderleken i Sverige är sådan att man kommer att ha explosiva bränsleångor i fordonstankarna från tid till annan vare sig det rör sig om E85 eller bensin – dock vid betydligt fler tillfällen för E85. Att E85 (i slutna utrymmen) bildar brännbara blandningar vid högre utomhustemperaturer än i bensinfallet är alltså bakgrunden till hela debatten. Om en gnista bildas vid påfyllningsrörets mynning skulle den kunna krypa ner i tanken och orsaka antändning. Ett värsta fall skulle kunna representeras av en kombination av nära tom tank, lågflyktig sommarbensin och kall väderlek. Med begreppet tom tank **not 3** menas här att endast ytterst lite bränsle finns i tanken (någon deciliter). Detta är mycket ovanligt eftersom fordonstankar är konstruerade så att de innehåller flera liter bränsle då man som förare uppfattar att bränslet är slut (bensinstopp) De temperaturgränser som anges ovan för E85 kommer från en kanadensisk studie (10) och där en basbensin med lågt ångtryck använts. Om bensin med högre ångtryck skulle ha använts så hade temperaturerna förskjutits nedåt. Som exempel kan nämnas att för svensk vinterbensin (högre ångtryck) så förskjuts övre brännbarhetsgränsen nedåt storleksmässigt ca 10 grader jämfört med sommarbensin.

Själva poängen med ett drivmedel är att det ska kunna brinna och (via fler steg i motor och kraftöverföring) omvandlas till mobil energi. För att ett flytande bränsle (t.ex. bensin, etanol och E85) ska kunna brinna, krävs att det förångas och blandas med luftens syre. Halten luft (som innehåller 21 % syre) i förhållande till halten bränsleånga ska därvid vara lagom stor för att antändning skall ske. Om blandningen innehåller för lite bränsleånga, kallas den mager, om blandningen innehåller för mycket bränsleånga kallas den fet. Mellan denna magra och feta sammansättning finns ett temperaturintervall, där blandningen av bränsleånga och luft finns i för antändning gynnsamma proportioner. Detta intervall kallas brännbarhetsområdet (eller mer dramatiskt ”explosionsområdet”).

För att förbränningsprocessen (diesel- eller bensinmotorprocessen) ska fungera optimalt och kontrollerbart ställs stora krav på drivmedlets förbränningsegenskaper. Andra krav på ett drivmedel är att det ska kunna distribueras och lagras på ett säkert sätt, kunna tankas på ett snabbt och säkert sätt, inte orsaka skador på material, med vilka det kommer i kontakt etc. De fysikalisk/kemiska egenskaperna hos ett bränsle bestämmer hur det ska hanteras för att minimera säkerhetsriskerna. Viktigt är att beakta säkerheten i hela kedjan. I detta arbete fokuseras på de egenskaper som har betydelse för uppkomst av brand- och explosionsrisker. **I rapporten beskrivs och förklaras på ett något förenklat sätt i vad mån dessa egenskaper är viktiga. Vi har avsiktligt utelämnat exakta definitioner (så som de förekommer i läroböcker mm) och istället försökt förklara vad dessa innebär rent praktiskt.** Risken är annars att framställningen blir alltför akademisk och abstrakt. I bränslehanteringskedjan, som avslutas med att bränslet förbrukas i ett fordon, kan man givetvis tänka sig många olika scenarier. I denna rapport ligger fokus på att beskriva skillnader mellan E85 och bensin utifrån skillnader i brand och explosionsrisk i situationer på tankställen och vid normal användning av fordonen. För jämförelsens skull är etanol och diesels egenskaper medtagna. I vissa fall beskrivs extremfall men tonvikten i rapporten ligger alltså på vad som kan bedömas vara normalfall ur jämförelsesynpunkt. Rapporten är skriven med målsättningen att den ska kunna läsas med behållning även av personer utan fackkunskap inom det kemiska området. I vissa fall har förtydliganden gjorts som kräver fackkunskap.

*Not 1. För bensin, etanol och diesel finns standarderna SS 15 54 22 (bensin), SS 15 54 37 (etanol) och SS 15 54 35 (diesel). En arbetsgrupp inom SIS (SIS/TK 415) har nyligen tagit fram en standard för E85 (SS 155480). En mycket viktig egenskap för ett motorbränsle som ska användas i en bensinmotor är att ångtrycket är tillräckligt högt. Om ångtrycket är för lågt blir motorn svårstartad i kall väderlek. För att få god körbarhet vintertid kan en möjlighet vara att blanda i mer bensin. I den nya E85-standardens medges att E85 får innehålla mellan 14 – 25 % bensin sommartid och mellan 14 – 30 % vintertid. Vidare innehåller E85, förutom etanol och bensin också mindre mängder av tillsatser som fungerar som denaturering.*

*Not 2. Ca 90 % av all svensk bensin innehåller i dag 5 % etanol i form av låginblandning. Denna halt är för låg för att på ett praktiskt sätt påverka brandrisker med mera. Låginblandningsalternativet behandlas därför inte i denna rapport.*

*Not 3. Som indikerats varierar antändningsrisken av ångfasen i en tank även med dess fyllnadsgrad, eftersom bränslets sammansättning (och därmed även bränsleångans sammansättning) förändras allteftersom fyllnadsgraden sjunker (dessutom "andas" tanken, varvid lättflyktiga komponenter avdunstar). Enligt en Kanadensisk undersökning (10) befanns således (för E85) maxtemperaturen för antändningsrisk i det feta området öka från ca +5°C för fyllnadsnivåer under ca 10 %, till ca +30°C vid mycket nära tom tank. För E85 med vinterbensin befanns antändning kunna ske mellan ca + 5°C och +20°C för tankfyllnadsnivåer under (ca) 5 %. Som omnämns ovan är dock dessa temperaturgränser för antändning beroende av bensinens sammansättning, något som klart bekräftas av de olika temperaturangivelserna för sommar- resp vinterbensin. Det förtjänar här också påpekas, att en liknande utvidgning av området för antändningsbarhet inträffar även för ren bensin vid låga till mycket låga tankfyllnadsnivåer, då antändning kan ske ända upp till ca + 10°C för nästan tom tank och lågflyktig sommarbensin*



## 2.1 Sammanställning av kemiska och fysikaliska data

(se även bilaga 2 och 3)

		Etanol E100	E85	Bensin	Diesel MK1
Densitet, vätska	Kg/m <sup>3</sup>	794	765 - 785	720 – 775	800 – 820
Densitet (ångtäthet)	Rel.luft	1.6	2-4	3-4	5-6
Kokpunkt	°C	78.5	>35 – 205*	25 - 220	180 – ca330
El. Konduktivitet	pS/m	134.500	som E100	> 50	>50
Ångtryck (DVPE)	kPa	17	35 - 95	45 - 95	0.4
Flampunkt	°C	12	< - 30	< - 40	(56) 60****
Brännbarhetsområde	% i luft	3.3 - 19	1.4 - < 19	1 - 8	0.6 – 7.5
Brännbarh.område, sommar* vinter*	°C	+12 till +40	-33 till +5* -45 till +5	- 45 till -10 -45 till -20	>56
Termisk tändtemperatur	°C	363		250 – 280	220 – 320
Stökiometriskt luftbehov	kg/kg	9,0	10	14,6	14,8
Förångningsvärme	kJ/kg	910	825	335	251
Förbränningsenergi, LHV	kWh/lit	5.9	6.3	9.1	9.8
Förbränningsenergi, LHV	MJ/lit	21,2	22,7	32,8	35,3
Flamspridningshastighet	m/s	2 - 4		4 - 6	0.02 – 0.08
Diffusionskoefficient	cm <sup>2</sup> /s	0,137	mellan bensin och etanol	0,05	0,05
Antändningsenergi min**	mJ	0.24	ca bensin	0.20 – 0.24	0.20 – 0.24

\* Var gränserna går beror på en rad olika faktorer såsom hur mycket bränsle som finns i tanken, bränslets sammansättning som ändras med tiden (avdunstning) osv. Se bilaga 2 och 3 om hur värdet + 5 °C är framtaget

\*\* Vid stökiometrisk blandning av luft och bränsle

\*\*\* För marina applikationer krävs 60°C. För att slippa ha två sorters diesel så gäller 60°C även på land.

Data är insamlade från olika håll: Bland annat från SPI, oljebolagen, SEKAB, SS 15 54 22 (bensin), SS 15 54 80 (E85) och SS 15 54 35 (diesel) [Svensk och europeisk standard]. Data skiljer sig ibland åt mellan de olika källorna och vissa data är svåra att få tag på. Av dessa anledningar läggs en brasklapp in om att vissa värden kan behöva justeras eller komma att ändras då fler analyser och experiment gjorts. Det viktiga i denna rapport är dock att visa på storleksordningar och peka på skillnader mellan olika bränslen och utifrån detta försöka uppskatta risknivåerna i jämförelse med konventionella bränslen. Förklaringar finns i bilaga 2. Bensin och diesel kan även beskrivas med angivande av typvärden (resultat från analyser). Här har svensk standard valts eftersom produkterna kan falla inom dess gränser.

## 3 BRANDRISKER

### 3.1 Allmänt

Som framgår av tabellen i kapitel 2.1 så varierar de olika bränslenas fysikaliska och kemiska egenskaper kraftigt. Var och en av dessa egenskaper spelar en viktig roll vid riskbedömning av brandrisker. Egenskaperna talar även om hur omfattande och vilken typ av brand eller explosion man kan vänta sig. För att en antändning skall kunna ske måste bränsleångornas andel i blandningen med luft ligga inom brännbarhetsgränserna. Är den för mager eller för fet låter den sig inte antändas. För att spontan antändning ska ske så måste temperaturen överstiga den termiska tändtemperaturen. Tändorsak vid lägre temperaturer kan vara närvaro av brinnande låga, het yta eller gnista från urladdning av statisk elektricitet eller från elektroderna i tändstift i motorer. En viss minsta energimängd måste tillföras för att antändning skall ske. Normalt sker förbränning genom blandning av luft och bränsleångor, men det kan förekomma att dimmor (små vätskedroppar) kan antändas genom att det lokalt runt vätskedropparna bildas en antändbar blandning av luft och bränsleångor.

När det gäller uppskattning av hur lätt en brand kan uppstå för de olika bränslena, skiljer man på slutna och öppna utrymmen.

- Med **öppna utrymmen** menas oftast utomhussituationer, där ventilationen gör att brännbara ångor inte ackumuleras särskilt lätt.
- Med **slutna utrymmen** definieras i detta sammanhang sådana områden, som är inneslutna (omgärdade) på alla sidor. Exempel är bränslecisterner och bränsletankar.

I slutna utrymmen förekommer ingen utspädning eller ventilering, varför antändningsbenägenheten helt kommer att bestämmas av flyktigheten, volymsgränserna för antändning, antändningsbenägenheten, och i vissa fall också av kokpunkten. Eftersom i slutna utrymmen enligt denna definition förvarat bränsle inte är exponerat för omgivningen blir antalet möjliga antändningskällor lägre. Exempel på möjliga källor för antändning kan då utgöras av felaktigt fungerande, eldrivna bränslepumpar eller nivåmätare inuti tankarna/cisternerna. Dessutom kan yttre antändning ske invid påfyllningsrör, avluftningsrör och liknande genom öppen låga, cigarettglöd, eller genom gnistbildning p g av urladdning av statisk elektricitet. Även om en slutna situation skiljer sig från en öppen, så kan man ändå säga att samma principer gäller för bedömningen av fara för bränder i de båda olika situationerna, men att det finns en skillnad i att bränslenas diffusionskoefficient och ångtäthet spelar en större roll i det slutna utrymmet än i det öppna, där ventilationen (omblandningen) spelar en avgörande roll för bedömning av riskbilden.

## 3.2 Öppna utrymmen

### 3.2.1 Diesel

Dieselbränsle är det bränsle som har minst benägenhet att antändas i öppna områden (av de bränslen som ingår i denna studie). Orsaken är framförallt den extremt låga flyktigheten, vilket innebär att tillräckligt med ångfas inte bildas för tillskapande av en brännbar blandning förrän en temperatur av omkring 56°C har uppnåtts. Kombinerat detta med god ventilation i öppna utrymmen, så måste ett antändningsmedel föras direkt in i bränslet för att antändning skall ske. Dessutom behöver antändningsmedlet (t ex tändsticka) tillföra energi som räcker för att förångas tillräckligt med ångfas för uppkomst av en brännbar bränsleblandning (annars kvävs antändningsförsöket). Om däremot bränsleångor kommer i kontakt med heta ytor, medför den låga termiska tändtemperaturen för dieselbränsle, att detta bränsle är det som antänds lättast på detta sätt.

### 3.2.2 Bensin

I motsats till dieselbränsle antänds bensin mycket lätt i öppna utrymmen. Den höga flyktigheten medför hög förångningsbenägenhet. Den låga diffusionskoefficienten och den höga ångtätheten orsakar att bränsleångor kan röra sig sakta utefter marken (golvet; ansamlas i gropar i verkstäder med mera) fram till en antändande källa med risk för att brand uppstår. Därvid krävs – på grund av att bensin kan antändas vid låg ångkoncentration (ned till 1,5 vol-%) – endast låg koncentration av bränsleånga för att antändning skall kunna äga rum. Resultatet blir att bensin är mycket antändningsbenäget i öppna (eg. begränsat öppna – såsom gropar i golv etc) utrymmen. Dessutom har bensin liksom dieselbränsle låg termisk tändtemperatur, vilket innebär stor risk för antändning mot heta ytor. Brandrisken är relativt snabbt övergående då det rör sig om småspill av bensin. Detta för att bensinen snabbt förångas.

### 3.2.3 Etanol (E100)

Ren etanol är mindre antändningsbenägen än bensin och diesel i öppna utrymmen. Det finns flera förklaringar till detta. Några av förklaringarna är:

- Den lägre flyktigheten medför att mindre mängd ångfas bildas per tidsenhet än för bensin.
- Ångtätheten (densiteten) är lägre än för bensin. Detta i kombination med hög diffusionskoefficient gör att ”ången diffunderar bort” snabbare
- Högre termisk tändtemperatur medför lägre antändningsrisk i kontakt med heta ytor
- Hög koncentration (i luft) behövs för att antändning ska kunna ske.

### 3.2.4 E85

Information om riskbilden för E85 är fortfarande tämligen mager. Bränsleegenskaperna antyder dock att bränslet har en något gynnsammare riskbild än bensin i öppna utrymmen. Flyktigheten är t ex något lägre för E85 än för bensin vilket leder till att volymkoncentrationen ånga blir lägre än för bensin vid samma temperaturexponering och dessutom består en del av ångan av etanol med lägre antändningsbenägenhet. Till detta kommer att bensinkoncentrationen i E85 måste minska med tiden, vilket resulterar i ett gradvis fortskridande närmande till den lägre riskbilden för E100. Dispergeringen av E85-ånga sker betydligt snabbare än för bensin (men långsammare än för mot-

svarande rena alkoholer) med lägre risk som följd jämfört med bensin men högre jämfört med den rena alkoholen.. Brandrisken är relativt snabbt övergående då det rör sig om småspill av E85. Detta för att bensinen snabbt förångas.

### **3.3 Slutna utrymmen**

#### **3.3.1 Bensin**

Bensin är oftast obenägen att antändas i en sluten cistern eller tank. Detta kan – ytligt sett – upplevas som förvånande och kanske också överkligt av många, som sett eller t o m upplevt en bensinbrand. Förklaringen är att bensin avdunstar så lätt att bensinångorna i ett slutet utrymme genast blir alltför mättade (för feta) för att antändas. Först vid låga temperaturer blir avdunstningen så långsam att det finns risk för antändning (ca -10 för sommarbensin och ca - 20 för vinterbensin). En bensintank måste i princip vara omgiven av brand för att "explodera". Då kan nämligen tanken brista av bensinens värmeutvidgning och bensinångor som läcker ut späds med luft till en brännbar ånga. Det finns också en viss risk för att "tomma" bensintankar exploderar när det finns för lite bensin i tanken för att åstadkomma en mättad (fet) ånga.

#### **3.3.2 Etanol (E100)**

Ren etanol representerar – beroende på bränsleegenskaperna – den största risken bland här behandlade drivmedel för att antändas eller explodera i slutna cisterner och tankar. E100 bildar antändningsbara ångor under en stor del av året då temperaturintervallet sträcker sig från + 12 till + 41°C. Bränsleåterföring (returflöde från motor till tank) gör att bränsletemperaturen i tanken stiger. Ju mindre mängd bränsle i tanken desto större inverkan på temperaturen får returflödet. Bränsletemperaturen bedöms kunna stiga ca 10°C som mest.

#### **3.3.3 Diesel**

Dieselbränsle representerar en liten (men inte obefintlig) risk för antändning i en sluten cistern eller tank. Den nedre temperaturgränsen för antändning ligger vid omkring + 56°C, men kan – beroende på bränslets specifikation – anta lägre värden. Miljöklass 1 dieselbränsle är dock bättre i detta avseende än Miljöklass 3 diesel (samma som EU:s specifikation). I ett sådant fall skulle en antändningsbar och explosiv bränsleblandning kunna uppstå i en sluten cistern eller tank med diesel vid höga (men inte orealistiskt) höga omgivningstemperaturer. Eftersom uppvärmt bränsle återförs från motorn (bränsleretur) så stiger dessutom temperaturen i tanken. Ju mindre bränsle som då finns i tanken desto större inverkan får återflödet på bränsletemperaturen. Flertalet moderna dieselfordon med högtrycksinsprutning – och därmed högre temperatur på returflödet – har av nämnda anledning försetts med bränslekylare i returflödet för att minska eller eliminera denna risk.

#### **3.3.4 E85**

E85 kan förväntas bete sig som bensin. E85 är dock antändningsbart i slutna utrymmen under större delen av året i Sverige. Resultat från en Kanadensisk undersökning (10), som genomfördes med syftet att bestämma om E85 innebär större säkerhetsrisk än konventionell bensin visade, att även med lågt bensininnehåll i alkoholen påverkas ångans sammansättning starkt av den flyktigare bensinkomponenten. Antändningsområdet breddas och förskjuts mot högre temperaturer allteftersom mängden bränsle i tanken minskar. Slutsatsen blir att brand- och explosionsrisk inte

bara beror på bränslets sammansättning utan även av mängden bränsle i tanken. Exakt var och hur temperaturgränserna för brännbarhet går i slutna utrymmen för E85 beror som synes på en rad faktorer, såsom hur mycket bränsle som finns i tanken, bensinens sammansättning (vinter/sommar mm), hur stor del som avdunstat. Med andra ord så är frågeställningen komplex. Se även bilaga 3.



## 4 SÄKERHETSHÖJANDE ÅTGÄRDER

### 4.1 Allmänt

Drivmedel är per definition brännbara och kan vid felaktig användning och felaktiga konstruktioner få mycket allvarliga följder. En skillnad med E85 och bensin är som nämnts tidigare att E85 bildar brännbara ångor i slutna utrymmen i ett större temperaturintervall (och förskjutet mot högre temperaturer) än bensin. För att kompensera för detta har fordonstillverkarna vidtagit åtgärder och gjort konstruktionsanpassningar som kompenserar för detta. Vidare har SPI tillsammans med Räddningsverket tagit fram rekommendationer för hur E85 ska hanteras på tankstationerna. I detta kapitel beskrivs exempel på åtgärder som vidtagits för att förbättra säkerheten.

### 4.2 Volvo – Saab – Ford

På den svenska marknaden säljs bilar speciellt framtagna för E85-bränsle, FFV-fordon. För att se vilka modeller som finns rekommenderas att besöka [www.miljofordon.se](http://www.miljofordon.se) på nätet. Rubricerade tillverkare har anpassat sina bilar till E85-bränsle. En rad åtgärder har vidtagits och skillnaderna mot rena bensinmodeller är relativt stora. Eftersom E85 innehåller mindre energi än ren bensin så måste motorn förses med mer bränsle vid lika transportarbete. Alkoholer är f ö relativt bensin aggressiva (korrosiva) kemikalier. Detta gör att material som kommer i kontakt med bränslet har valts så att de klarar etanol. Företag, som säljer FFV-fordon på den svenska marknaden, har valt olika lösningar, som framgår av informationen nedan:

Saab (källa Magnus Nilsson, GM) har infört ett system som uppfyller amerikanska ORVR-regler (miljölagstiftning i USA sedan några år tillbaka). (ORVR = On-board Refuelling Vapor Recovery)

Enligt denna lagstiftning (inte en säkerhetslag) ska bränsleångor tas om hand ombord på fordonet vid tankning. I Sverige tas dessa ångor om hand på tankstället (dock inte på E85-pumpar). På E85-fordon är vidare tankröret gjort i metall och jordat. Röret är smalt (bara något större än pistolmunstycket). När tanken är tom så finns mycket ånga i tanken. Denna ånga pressas ut när den ersätts av flytande bränsle. På Saabs FFV-bilar leds bränsleångorna genom en ”stor” kolkkanister (består av aktivt kol). När motorn sedan startar så suges luft genom denna kanister varvid den töms på lagrade kolväten. Där tankröret mynnar i tanken finns en backventil som hindrar bränsleångor att gå ut bakvägen (d.v.s. genom tankröret – som det gör på alla andra bilar på den Svenska marknaden)

Volvo och Ford har gjort säkerhetsanpassningar på ett annat sätt. Ford modeller är mycket lika. Volvos med avseende på bränslesystem.(Källa Niklas Gustavsson, Volvo Cars). Den höga etanolinblandningen i bensinen ställer nya krav på bränslesystemet. För att upprätthålla eller förbättra system, prestanda och livslängd har materialbyte skett i stora delar av bränsledistributionssystemet. Områden i bränsledistributionssystemet som berörts är bl.a. gummi- och plastsorter på ledningar, packningar, bränslepump. Förändringar av elkontakter för att bl.a. undvika oxidering. Ändring av andra pumpkomponenter för bibehållen livslängd. Dessutom är ventilsåten och ventilstyrningen modifierade. Spridare och mjukvaran för motorstyrningen är också unik. Vad gäller konstruktion och verifiering av bränslesystem så konstrueras dessa utifrån scenariot, ingen

ESD/gnistbildning får förekomma. Skillnaderna mellan etanol och mer klassisk bensin är med den utgångspunkten jämförbara, även med temperaturomfånget i beaktande. Volvo har i sina basmotorer mycket höga krav på brandsäkerhet, med bl a tankrör i metall jordat i bilens kaross vilket väsentligt minskar risken för att statisk elektricitet uppstår vid tankning. Naturligtvis har vi samma krav på våra 1.8 Flexifuel-varianter.

### 4.3 SPI:s Rekommendationer

Det Svenska PetroleumInstitutet (SPI) har kommit ut med rekommendationer **not 1, not 2** angående säkerheten kring E85 (se bilaga 1). Nedan redovisas de säkerhetsåtgärder som föreslås i rekommendationen. Vid val av material till olika delar i anläggningen måste hänsyn tas till E85:s korrosiva egenskaper. Från oljebolagens sida gäller att berörda leverantörer skriftligen anger att de material som används i olika delar av systemet är lämpliga för E85. Detta sker lämpligen med ett certifikat, intyg eller genom annan skriftlig dokumentation.

- Cisternen ska vara tillverkad av lämpligt material eller försedd med en inre ytbehandling som är godkänd för E85. På bensincisterner förekommer att botten rostskyddsbehandlas till 1/3. Detta är inte tillräckligt för E85. Hela behållaren ska vara av ett material som är godkänt för E85.
- Påfyllningsröret bör vara av lämpligt plastmaterial eller varmgalvaniserat stål. Varmgalvaniserat stål kan accepteras i detta fall då påfyllningsledningen normalt står tom.
- Distributionsledningen bör vara av lämpligt plastmaterial.
- Packningar och annat material i mätarskåpet bör vara av sådant material som är lämpligt för E85
- Slangen och pistolventilen bör vara av material som är lämpliga för E85.
- Överfyllningsskyddet på en installation för E85 ska vara anpassat för E85. Samma typ av överfyllningsskydd som används för bensin fungerar inte.

Eftersom gasblandningen i ett (slutet) E85-system kommer att ha en sammansättning inom explosionsområdet oftare än vad som är fallet för bensin rekommenderas följande åtgärder för att hindra en antändning att fortplanta sig i systemet.

- Flamskydd ska finnas på avluftningen från cisternen i enlighet med SÄIFS 1997:9 punkt 4.2.6. Eftersom detta avser nyinstallationer så gäller enligt de nya reglerna baserade på ATEX-direktivet att flamskydd ska vara utförda enligt gällande EU-standard. Flamskydd enligt klass IIB1 rekommenderas.
- Någon form av flamspärr bör också finnas vid påfyllningen av cisternen. Detta kan antingen vara ett flamskydd, en väl fungerande förreglad avstängningsventil eller ett vätskelås.
- Det är sällsynt men det förekommer att statisk elektricitet orsakat mindre bränder eller puffar vid tankning av bilar. För att så långt möjligt eliminera denna risk bör pistolventilerna på E85 pumpar inte förses med någon upphakningsmekanism.

*Not 1. Det Amerikanska Petroleuminstitutet (API) gav redan 1986 ut rekommendationer rörande hanteringen av etanol och blandningar och tar upp frågan om ångåterföringssystemen vid tankning (20). Detta gällde för amerikanska förhållanden. SPI måste givetvis ta fram rekommendationer som fyller gällande europeiska och svenska regler.*

*Not 2. En uppdatering av rekommendationen kommer inom ett par veckor (oktober 2006) att ges ut av SPI*

## 4.4 Återföringssystem för gaser

Naturvårdsverkets föreskrifter (SNFS 1991:1) innehåller krav på gasåtervinning av motorbensin. E85 omfattas inte av dessa krav. Det finns således inget krav för gasåterföring och återvinning av E85. Som nämnts ovan så släpps i dagsläget ångor ut vid tankning av E85. Endast de FFV-bilar som säljs av Saab har ett system som kan ta hand om dessa bränsleångor ombord på fordonet.

Återföring och återvinning av gaser från bensin i distributionssystemet delas in i två steg:

- Steg 1- återföring från bensinstationer vid lossning av tankbilar och återvinning av gaser vid lastning av tankbilar. Reglerna för detta steg baseras på ett EU-direktiv. SPI utreder tillsammans med Räddningsverket om steg 1-återföring kan införas på ett säkert sätt. (SPI kommer inom kort (oktober 2006) att ge ut en anvisning om hur gasåterföring kan anslutas på bensinstationer)
- Steg 2 – återföring av gaser vid tankning av personbilar. Detta steg regleras i en föreskrift från Naturvårdsverket. En översyn av föreskriften pågår.

### **Bedömning**

Då en bil med tom tank tankas släpps motsvarande gasvolym ut i det fria (exempelvis om 50 liter E85 fylls på så släpps 50 liter bränsleångor ut i det fria). Eller – utsläppen av bränsleångor vid tankstationerna blir minst lika stor som volymen E85 som säljs. Ett alternativ till steg 2 enligt ovan kan vara att framtidens FFV-bilar anpassas så att de kan ta hand om ångorna ombord (OVRV) på fordonet (så som Saab gör).

Att ha både steg 2 återföring på tankstället och OVRV-system på fordonen (se kap 4.2) samtidigt är inte en bra lösning då dessa system kan motverka varandra. Frågeställningen om hur man ska göra blir således komplex eftersom man måste finna en gemensam lösning.

## 5 VID BRAND

Hur lätt en bränslebrand uppstår är bara en aspekt på riskbilden för motorbränslen. Andra aspekter utgörs av de person- och egendomsskador som blir följden av uppkomna bränder. En brand, som är mindre häftig, och lätt att upptäcka, är mindre skadealstrande och lättare att släcka än den som brinner häftigt (mer turbulent) eller är svår att upptäcka och därmed också svårare att släcka.

### 5.1 Brandens svårighetsgrad

En drivmedelsbrands skadealstrande förmåga bestäms inte bara av graden av dess häftighet utan också av den värmemängd, som avges vid branden och mängden rök, som den producerar.

#### 5.1.1 Dieselbrand

Startar långsamt och på ett kontrollerbart sätt p.g.a. dieselbränslets låga flyktighet och låga flamspridningshastighet. Samtidigt kombineras dieselns höga förbränningsvärme med dess låga förångningsvärme (kvot: ca 150/1). Härigenom tillförs en brand större mängd brännbar ånga, varvid förbränningsprocessen snabbt utvecklas upp till hög våldsamhetsgrad. Den i detta ögonblick enda "tillbakahållande" brandfaktorn består i att dieselbränsle består av kolväteföreningar med höga kokpunkter innebärande att bränslets förångningsgrad "hålls tillbaka" i viss, begränsad utsträckning. Det höga förbränningsvärmets och värmestrålningens från lågan medför också att stora värmemängder avges av branden till omgivningen med resultat att branden lätt sprids och antänder material i sin omgivning samt kan orsaka brännskador på de människor, som råkar bli exponerade för brandens intensiva värmeutstrålning. Till detta kommer att tjock rök bildas vid en dieselbrand, något som kan innebära allvarlig, potentiell risk för inandning av personer i brandens närhet (även om dessa personer aldrig blir brända). Den sotande gula flammen ger också upphov till en kraftig värmestrålning.

#### 5.1.2 Bensinbrand

Den höga flyktigheten hos *bensin* orsakar att då en brand bryter ut att branden utvecklas snabbt - också beroende på den snabba flamspridningshastigheten, som är ca 100 ggr snabbare än den för dieselbränsle. I likhet med dieselbränsle orsakar - då en brand uppstår - det höga förbränningsvärmets i kombination med lågt förångningsvärme (kvot: ca 120:1) samt också p.g.a. låga kokpunkter för bensinens kolväteföreningar, att bensinbranden fortsätter - ofta på ett okontrollerbart sätt. Det snabba förloppet med hastigt förlöpande förbränning, höga flamtemperaturer, hög värmefrigörelse, värmestrålning och kraftig rökbildning gör att bensin representerar det allvarligaste hotet bland här nämnda fyra olika bränslen med avseende på spridning av brand till ämnen och material lokaliserade i brandens närhet samt med avseende på risken för uppkomst av allvarliga brännskador på exponerade personer i brandens närhet (värmestrålning), samt med avseende på risken för skador p.g.a. inhalering av producerad brandrök.

#### 5.1.3 Alkoholbrand

Denna brandtyp representerar den motsatta bilden jämfört med diesel och bensin: Ren etanol brinner på ett kontrollerat sätt med knappt någon rökutveckling alls. Den "kontrollerade" förbränningen av alkoholen är ett resultat av förhållandevis höga kokpunkter, låg flyktighetsgrad, lågt förbränningsvärme och mycket högt förångningsvärme (kvot för etanol - endast 29:1). För-

bränningsvärmets för etanol är ca 60 % av det för bensin, medan den energimängd som behövs för att förånga ytterligare bränsle till underhåll av branden för etanol ca 2,7 ggr högre än för bensin. Resultatet blir att mycket mindre mängd bränsle förångas per tidsenhet, och att bränslet därför brinner på ett betydligt lugnare sätt. Branden frisätter härigenom mindre värmeenergi långsammare, vilket leder till lägre benägenhet att spridas och antända brännbart material i omgivningen.

Det finns prov (3) som utförts och som visar skillnaderna vid explosion av ångor i tankar med bensin resp. alkohol (metanol), som antänts med gnistor från elektrisk pump inuti tankar och med flamma utifrån i röröppningar. Resultaten har visat lägre "explosionshäftighet" för alkoholen, dvs att energifrigörelsen vid en bensinexplosion är snabbare än den som sker vid alkoholexplosioner. Det framkom också att antändning kunde förhindras med flamskydd i öppningen. Det finns vidare rikliga erfarenheter från hantering av alkoholer i produktionsledet och de skyddsåtgärder som där vidtagits.

#### **5.1.4 E85-brand**

Hur E85 brinner bestäms initialt av bensininnehållet och branden liknar en bensinbrand beroende på den relativt höga flyktigheten hos bensinkomponenten - men snart nog övergår branden till att bli endast föga mer våldsam än den för ren etanol beroende på att förbränningsvärmets är endast obetydligt högre (ca 7 %) än det för ren etanol, samtidigt som förångningsvärmets endast är något lägre (ca 10 %) än det för alkoholen. En ytterligare fördel för bränslet är att rökutvecklingen blir lägre än för motsvarande bensinbrand.

## **5.2 Brandens synlighet**

Ju tidigare en brand upptäcks ju större är möjligheterna att begränsa skadeverkningarna av den. Man kan t ex inte börja släckningsarbetet förrän det är känt att branden har uppstått. Brandens synlighet (visibilitet) är därvid av stor betydelse.

### **5.2.1 Bensin och dieselbrand**

Bensin och dieselbränsle brinner med mörkt gula flammor, som är synliga under alla förhållanden. Dessutom signalerar den mörka och kraftiga rökutvecklingen vid bensin- och dieseloljebränder från långt håll att en brand uppstått.

### **5.2.2 Alkoholbrand**

Till skillnad från bensin och dieselbränsle är brinnande etanol endast svagt synlig i dagsljus (brandhårdens synlighet är naturligtvis bättre i mörker). Att brand har uppstått kan i dagsljus dock erfaras genom brandens värmeutstrålning eller t o m kan ses som "värmevågor". Om endast alkoholen brinner (t ex spill på hårdgjorda ytor) finns risk för personskador genom att människor ovetande kan komma att trampa in på det brinnande området (värmeutstrålningen kan vara låg p.g.a. alkoholernas låga förbränningsvärde och låga sotbildning, något som ökar här påtalad risk för personskador). Trots att en mer eller mindre osynlig brand utgör en allvarlig risk under välupplysta förhållanden måste ändå påpekas, att bränder sällan kan förväntas uppstå i sådana - nästan kliniskt rena - förhållanden, som krävs för att endast ren alkohol skall antändas och brinna. Vid t ex uppkommet bränslespill sker spillet mest sannolikt på något material, som kommer att brinna tillsammans med alkoholen och därvid avge både rök och synligt ljus. Det har även framförts att plastmaterial, färger med flera material i en bil inom tämligen kort tid kommer att ge

färg åt lågorna vid en bilbrand. Utförda praktiska tester har dock indikerat, att kunskapen härom behöver ökas för att klargöra denna aspekt. Det finns därför anledning att öka säkerheten genom att medvetet - genom additivering med lämpligt ämne - ge alkoholerna en visibilitet vid uppkommen brand. Vid stora bränder bildas dock ett syreunderskott vilket medför att man, trots alkoholernas goda egenskaper i detta avseende, får en ökad rökutveckling (sotbildning).

Alla som någon gång använt ett alkoholeldat stormkök vet att det kan vara svårt att se om det brinner eller ej. Olyckor har hänt då man fyllt på nytt bränsle i ett sådant brinnande kök.

### **5.2.3 E85-brand**

Den 15-procentiga inblandning av högaromatisk bensin, som tillsätts alkoholerna i E85, är oftast fullt tillräcklig och effektiv för att få tillräcklig visibilitet vid brand. E85-bränsle brinner därvid med blågul flamma. Färgen minskar emellertid efterhand som branden pågår, eftersom bensintillsatsen brinner bort fortast. Färgen har dock visat sig inte försvinna helt eftersom viss del av (den ofta högaromatiska) bensintillsatsen finns kvar och ger viss färg till branden under hela brandförloppet tills allt bränsle brunnit upp.

## **5.3 Släckningsmöjligheter**

Alla bränder kan orsaka stora egendomsskador, om de tillåts brinna och brännbart material finns i närheten. Därför är det viktigt att kunna släcka så lätt, snabbt och effektivt som möjligt.

### **5.3.1 Bensin och dieselbrand**

Bensinbränder är mer våldsamma än dieselbränder och är därför svårare att släcka. Släckningsförfarandet är dock ungefär detsamma för dessa olika brandsituationer. För småbränder kan t ex CO<sub>2</sub>-släckare användas även om skumsläckning rekommenderas. För större bränder gäller att skum är att föredra framför t ex vattenspray (dimma). Vid mer massiva bränder kan det vara nödvändigt att avstå från släckningsförsök över huvud taget och att försöka avlägsna sig från branden. Svårigheterna att släcka bensin- och dieselbränder är alltså stora och beror på dessa bränslens speciella egenskaper. De är t ex inte blandbara med vatten och kan därför inte släckas med vatten. De tenderar att flyta ovanpå vattnet och bränderna kan därför också lätt spridas som resultat av vattenbesprutning. En annan faktor är brandförloppets häftighet och den intensiva värmestrålningen, som gör det svårt för släckningspersonalen att närma sig sådana bränder. Dessutom försvåras släckningsarbetet av att omfattande svart rök utvecklas och nedsätter visibiliteten med resultatet att släckningsarbetet går långsammare och risken för olyckor ökar.

### **5.3.2 Alkoholbrand**

Etanolbränder kan släckas med samma metoder som för bensin och diesel. Eftersom alkoholer är obegränsat lösliga i vatten kan vattensläckning ske (alkoholerna flyter inte ovanpå vattnet). Dock måste ihågkommas, att alkoholerna brinner även i relativt vattenutspädd form, vilket medför att andra metoder föredras, såsom släckning med alkoholresistent skum. Det är en fördel för släckningsarbetet, att alkoholerna brinner med relativt låg värmeutstrålning, vilket medför att släckningspersonalen kan komma närmare brandhårdarna med mindre risk för skador än vad fallet är för bensin- och dieselbränder. En komplicerande faktor består dock i att om endast ren etanol brinner så kan det ske tämligen osynligt i väl upplysta situationer, vilket medför ökad risk för släckningspersonal. Därför anses speciell träning och utbildning vara nödvändig för att mer risk-

fritt kunna släcka sådana bränder. Brinnande E85-bränsle kan släckas på ungefär samma sätt som etanolbränder med den skillnaden att vatten är än mer otjänligt som släckningsmedel i dessa fall (etanol och E85) än i fallet med bensinbränder. Skälet är att med vattensläckning sker en fassetparation (en fas med vatten och etanol och en fas med bensin) och brinnande bensin flyter då upp ovanpå denna. Dessutom är etanol-vattenfasen brännbar ned till ganska låga halter alkohol. E85 brinner på ett kontrollerat sätt med såväl låg värmeutstrålning som liten rökutveckling, något som innebär att man kan närma sig sådana bränder utan stor risk för skador, i synnerhet som synligheten (luminositeten) är tillräcklig p.g.a. bensininnehållet. Viss fara består dock trots detta i situationer, där bensinfasen kan brinna upp innan alkoholerna har gjort det, något som kan medföra, att brandpersonal kan komma att tro att en brand är slutligen färdigsläckt, trots att alkoholfasen fortsätter att brinna.

## 5.4 Exempel på inträffade olyckor

Drivmedelsbränder kan uppstå vid bensinstationer vid tankning. Sådana bränder kan orsakas av statisk elektricitet. I USA ger Petroleum Equipment Institute (PEI) ut rapporter i syfte att eliminera sådana händelser genom att samtidigt upplysa om hur man skall bete sig för undvikande av antändning i samband med tankning. I en rapport från januari 2005 anges, att mellan åren 1992 – 2005 hade 162 bensinbränder rapporterats med statisk elektricitet som trolig orsak (13). Eftersom det totala antalet tankningar i USA ligger på nivån 11-12 miljarder per år framstår därför bränder orsakade av statisk elektricitet som mycket sällsynta händelser. Eftersom alkoholors elektriska ledningsförmåga är mycket högre än för bensin så är risken för att statisk elektricitet bildas mindre vid tankning av E85 än av bensin genom exempelvis friktion mellan vätska och slangar.

Vid gnisttända explosioner har bränsleångor antänts med relativt begränsad mängd brännbart material, något som begränsar uppkomna skador till följd av sådana händelser. *Enligt samma källa (13) är den vanligaste orsaken till att statisk elektricitet bildas att man vid tanktillfället använder automattankning (upphakningsmekanismen på pumphandtaget). Under tiden sätter man sig i bilen och gnider sig mot bilstolen. När man sedan ska ta bort munstycket så är man uppladdad och en urladdning kan ske. Detta är förklaringen till framställda förslag om att möjligheten till automattankning av E85 bör tas bort. Givetvis finns även andra tänkbara källor till statisk elektricitet på bensinstationer, exv friktioner mellan vätskor, rör och slangar, potentialskillnader mm.*

## 6 REGELVERK FÖR HANTERING AV DRIVMEDEL

Det finns i Sverige omfattande allmän lagstiftning, som rör skydd och säkerhet vid hantering av hälso- miljö- och brandfarliga ämnen, vilka innefattar bensin, dieselbränsle och alkoholer (Regeringen utfärdar förordningar och myndigheter ger ut föreskrifter). Med hantering innefattas i lagar oftast tillverkning, bearbetning, behandling, förpackning, förvaring, transport, användning, omhändertagande, destruktion, konvertering och jämförliga förfaranden. För etanol finns dessutom särskild lagstiftning som skall motverka/eliminera tillgrepp och missbruk av teknisk etanol som dricksprit. Lagarna kompletteras kontinuerligt med ändringar och tillägg genom att ansvariga myndigheter utfärdar förordningar och kungörelser med tillämpningsföreskrifter och allmänna råd med kommentarer. Det krävs tillstånd för hantering av brandfarliga varor på bensinstationer (*källa SPI*). Ett tillstånd som meddelats för hantering av bensin gäller inte också automatiskt för hantering av E85. Vid en utökning av verksamheten med E85 måste tillståndet kompletteras. Anläggningen för hantering av E85 får inte tas i drift förrän den avsynats och förklaras uppfylla de tekniska kraven för en säker hantering. Detta gäller naturligtvis även vid nyetablering av en anläggning antingen med enbart E85 eller både E85 och bensin. E85 är liksom bensin en brandfarlig vätska klass 1 och omfattas bland annat av reglerna i SÄIFS 1997:9 och SRVFS 2004:7. De klassningsplaner som ska upprättas för varje bensinstation och som styr valet av utrustning ser likadan ut oavsett om endast bensin hanteras eller om både bensin och E85 hanteras. Vid tillämpningen av reglerna bör man dock ta hänsyn till vissa skillnader i produktens egenskaper hos E85 jämfört med bensin, vilka gör att vissa extra försiktighetsåtgärder rekommenderas för E85-installationerna.



## 7 ERFARENHETER FRÅN HANTERING AV ETANOL

Historisk sett har alkohol (etanol) inte använts som drivmedel i någon större utsträckning i Sverige. Etanol har introducerats i Sverige, först som låginblandning i bensin och på senare tid även som E85 (85–70) procent etanol, resten bensin. Sannolikt kommer tillåten låginblandningshalt av etanol att öka i kommande EU-direktiv för kvalitet på bensin och dieselbränslen. Samtidigt ser vi en storskalig utbyggnad av antalet tankställen för E85. Summa summarum leder detta till att stora mängder etanol kommer att hanteras i drivmedelskedjan i framtiden. Alkoholer är dock inget nytt fenomen utan tillverkas, distribueras och används i stor skala inom den kemiska industrin sedan lång tid tillbaka. Den mest kända alkoholen är antagligen etanol eftersom den finns i alkoholhaltiga drycker. Förutom att dricka etanol så har den massvis med användningsområden inom den kemiska industrin. Metanol är en annan alkohol som många känner till (kallas ibland för träsprit). Metanol är en viktig råvara inom den kemiska industrin. Kan användas som drivmedel på ungefär samma sätt som etanol. Andra kända alkoholer är propanol och butanol. För att ta reda på erfarenheter från företag som hanterar stora volymer etanol togs kontakt med säkerhetsansvarig (eller motsvarande) hos tre stora Svenska aktörer. Förutom dessa tre finns givetvis många fler företag som hanterar stora mängder etanol. Som exempel kan nämnas att man förr i tiden tillverkade signifikanta volymer etanol på landets sulfitbruk. I dag finns denna typ av tillverkning bara kvar på Domsjöns fabriker utanför Örnsköldsvik.

- **KEMETYL AB** har under de senaste 10 åren hanterat ca 30.000 ton etanol per år i sin anläggning i Jordbro söder om Stockholm. Innan dess var företaget placerat i Årstadal (även det strax utanför Stockholm). Under företagets historia har inga olyckor i form av brand eller explosioner inträffat.
- **Vin & Sprit (Absolut)** tillverkar etanol för att dricka. De har kapacitet för att lagra upp till 5.000 m<sup>3</sup> etanol. Företaget har rigorösa regler för att förhindra brand- och explosion. Säkerhetsansvarig delade med sig av viktiga råd för att minimera risker med etanolhantering. Inga olyckor i form av brand eller explosioner har inträffat.
- **SEKAB** är en mycket stor aktör i fråga om etanol för drivmedel. Etanolen används som låginblandning och i E85. Företaget har omfattande säkerhetsregler kring hantering av brandfarliga ämnen. Under åren har inga brand- eller explosionsolyckor inträffat.

### Bedömning

Ovan nämnda företag representerar en professionell hantering och distribution av etanolprodukter. En viktig skillnad är att E85 kommer att hanteras av gemene man i en helt annan omfattning än tidigare. Eftersom E85 tankas på samma sätt som diesel och bensin så är det sannolikt att gemene man kommer att också hantera E85 på samma sätt som dessa drivmedel.

## 8 MATERIALKOMPABILITET

För alla flytande drivmedel är det viktigt att hanteringen av bränslet sker på ett med de materialsystem, som bränslet kommer i kontakt med, kompatibelt (förenligt) sätt för att förhindra att föroreningar kommer in i bränslesystemen. Om material, som exponeras för bränslet, påverkas negativt ("korroderar"), kan också läckage inträffa ledande till att utläckande bränsle i motorn orsakar brand genom t ex antändning mot heta ytor. Olämpligt val av metalliska konstruktionsmaterial för en motor kan också leda till motorskador och nedsatta prestanda även om inte motorhaveri skulle inträffa. Vissa material som vanligtvis kan användas med bensin kan vara oförenliga med alkoholbränslen med höga halter alkohol. Metaller som Zink, Mässing (legeringar mellan Koppar och Zink), Bly och Aluminium är känsliga för E85. En legering mellan Bly och Tenn ("Terne"), som kan användas för ytbeläggning av stål i bensintankar, är oförenlig med E85. Däremot har opläterat stål, rostfritt stål, vanligt svartjärn, och Brons (legering mellan Koppar och – vanligen – Tenn) acceptabel resistens mot etanolkorrosion. Icke-metalliska material, som försämras i kontakt med bränsleetanol (t ex E85), inkluderar naturgummi, polyuretan, korkpackningar, läder, polyvinylklorid (PVC), polyamider, och plaster av metylmetakrylat. Däremot kan glasfiberförstärkt, värmebeständigt plastmaterial användas i utrustning för att lagra och rörtransportera bränsleetanol. Andra material, som också är förenliga med E85, är Buna-N, Neoprengummi, polypropylen, nitril, Viton, och Teflon. (Ref 19).

### 8.1 Lagring och tankning

Enligt ref 19 kan samma teknik, som används för att lagra och tanka bensin och dieselbränsle, också användas för E85, under förutsättning att E85-kompatibla material kommer till användning överallt där "konstruktionsmaterial möter bränsle". Detta är betydelsefullt inte minst av det skälet att man funnit, att de flesta körbarhetsproblem som uppstått vid körning på E85, har haft sin grund i förorenat bränsle. Det är således viktigt att man väljer rätt material för lagring och tankning av E85 på bensinstationerna. Då en bensinstation avser att utrustas för E85-lagring och – tankning, bör – om inte en ny tillverkad cistern skall användas, den avsedda cisternen, som tidigare använts för annan typ av bränsle, rengöras noggrant. Vid den tidigare användningen kan nämligen en sörja av föroreningar och partiklar ha bildats på botten av cisternen – material som vid användning av E85 kan komma att förorena bränslet på grund av att etanol har förmåga att lösa upp föroreningar och föra ut dem i bränslet. Vid cisternrengöringen kan olika metoder komma till användning. Vid en av metoderna används ett patenterat system för "Optic Sweep", där en fiber-optisk kamera och en kontrollerbar sond med en extraktionsanordning används för okulär inspektion och rensning av cisternbotten från vatten, sörja, bakterier eller rostpartiklar utan att någon "downtime" uppstår, dvs t o m under pågående tankning. Bland andra metoder kan nämnas

- Rening med hjälp av ånga. En operatör måste härvid gå in i tanken, något som kräver extra försiktighet. Bli måste tanken torkas noggrant.
- En anordning för omrörning av bränsle och "debris" sänks ned i tanken. Vätskan cirkuleras och föroreningarna avlägsnas via ett filtersystem.
- Ett kemiskt lösningsmedel används för att avlägsna flagor och partiklar.

Vad beträffar nedgrävda cisterner för E85, så kan dubbelväggiga, köldhårdade lågkolstältankar användas. Svetsade tankar föredras. Korrosionsskydd skall användas. Pläterade metalltankar får

ej användas. Glasfibertankar med enkel eller dubbel vägg kan också användas i vissa fall. Vad beträffar ovanjordcisterner för lagring av E85, så kan konstruktionsmaterialet bestå av rostfritt stål, av köldhärdat stål eller av fiberglas.

## **8.2 Pumputrustning mm.**

Enligt ref. 19 kan man finna information om företag, som producerar och levererar E85-kompatibla pumpar och pumputrustning på hemsidan [www.pei.org/e85/](http://www.pei.org/e85/). Ett exempel kan vara företaget DRESSER Wayne i USA, som lanserar godkända dispensrar för E85 för andra kvartalet 2006 (se t ex deras hemsida [www.wayne.com](http://www.wayne.com)). Järn, opläterat stål eller rostfritt stål måste användas i ”bränslelinjen”. Om propellerpumpar används måste användning av mjuka metaller som Zink, Mässing, Bly eller Aluminium undvikas som propellermaterial. Istället bör stål användas eller något polymert konstruktionsmaterial med hög kemisk motståndskraft. Vad beträffar utrustning generellt gäller att kravet på materialval för slangar, munstycken och annan utrustning i bränslelinjen är detsamma för nedgrävda och ovanjordscisterner. Mjuka metaller (såsom Zink, Mässing, Bly och Aluminium) skall undvikas. Slangar, Packningar, påfyllningsrör, kranar mm skall vara kompatibla med etanol. Aluminium skall t ex inte användas för munstycken. Däremot duger material som rostfritt stål eller Nickelbelagda material. Rörledningar kan med fördel vara gjorda av icke-metalliskt, korrosionsbeständigt material, såsom fiberglas. Tätningsmaterial såsom Teflontape anses vara tillfyllest. F ö kan hänvisas till företag som ”Goodyear Tire & Rubber Company”, som är en välkänd producent av alkoholresistent material för t ex slangar.

Bränslefilter för E85 bör vara 1- eller 2 mikronfilter (för bensin används vanligen 10-mikronfilter). Detta är särskilt viktigt, om tankar används, vilka tidigare har använts för andra bränslen och konverterats för E85.



## 9 REFERENSER

- 1) "Flammability and Toxicity Tradeoffs with Methanol Fuels", SAE Paper 872064, presented at the International Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, Toronto, Kanada, November 1987.
- 2) "Alcohols and alcohol blends as motor fuels", Kapitel 9. Information no 580-1986 från "Swedish National Board for Technical Development" (STU) och Svensk Drivmedelsutveckling AB (SDAB).
- 3) "Simulated safety testing of methanol fuels", V. Battista, H. Campbell, I. Smith, Transport Canada. Ottawa, and ORTECH International, Mississauga, Canada. Paper presented at IX International Symposium on Alcohol Fuels, ISAF – Firenze '91, November 12-15, 1991 (sid 824-9)
- 4) Brandberg, Johansson (Ecotraffic AB). Motoralkoholer - REGELVERK. sammanställning för Stiftelsen Svensk EtanolUtveckling (SSEU). Juni 1992. KFB dnr 91-315742.
- 5) Brandberg, Sävbark (Ecotraffic R&D AB). DISTRIBUTION - MOTORALKOHOLER. Rapport för KFBs systemstudiegrupp - Mars 1996.
- 6) Furey & King (GM) Evaporative and exhaust emissions from cars fueled with gasoline containing ethanol or methyl tert-butyl ether", SAE Paper 800261
- 7) Perry: Chemical Engineers Handbook, Chapter "Distillation. Table of Hydrocarbon Azeotropes"
- 8) "White Paper on Fuel Alcohol Formulations" Svensk Drivmedelteknik AB (SDAB) 1987-10-29
- 9) SÄIFS 2000:2 "Hantering av brandfarliga vätskor"
- 10) Vaivads, R.H., Bardon, M.F., Rao, V.K., Battista, V.: "Flammability tests of alcohol/gasoline vapours". SAE Technical Paper 950401.
- 11) Gülder Ö.L. m fl.: "Flame luminosity enhancement of neat methanol fuel by non-aromatic hydrocarbon additions". SAE Technical Paper 950402.
- 12) Jerome Panzer, Exxon Research and Engineering Co.: "Characteristics of Primed Methanol Fuels for Passenger Cars". SAE Paper 831687, presented at the International Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, San Francisco, California, October 1983.
- 13) Petroleum Equipment Institute: Refuelling Fire Reports, "Stop Static, Fires at refuelling sites that appear to be static related", January 19, 2005.
- 14) Stefan Lamnevik, Intressentföreningen för processsäkerhet, Ersta, 640 51 Stjärnhov, "Gas-explosioner" (2002).
- 15) Roger Mattebo, SEKAB, Muntliga referenser
- 16) Börje Gevert, Chalmers Tekniska Högskola. Muntliga referenser
- 17) Bjarne Lindberg, Statoil. Muntliga referenser
- 18) Ebba Tamm, SPI. Muntliga referenser

- 19) "Handbook of Handling, Storing, and Dispensing E85", US Department of Energy, [www.doe.gov](http://www.doe.gov)
- 20) "Storing and Handling Ethanol and Gasoline-Ethanol Blends at Distribution Terminals and Service Stations", API Recommended Practice, 1626, April 1986.
- 21) American Petroleum Institute and Petroleum Equipment Institute, Susan L. Hahn, API, and Robert Renkes, PEI: Press release Washington Oktober 3, 2002.
- 22) Dean, "J.A. Lange's handbook of chemistry", 14<sup>th</sup> ed., Mc Graw-Hill Inc., 1992
- 23) Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 4<sup>th</sup> edition, Vol 1, sid. 828-9
- 24) Speedway/Superamerica LLC, Material Safety Data Sheet ID: 0137SPE012
- 25) H. Menrad, A. König, "Alkoholkraftstoffe", Springer-Verlag, Wien New York, 1982

# BILAGA 1 - REKOMMENDATIONER FÖR HANTERING AV E85 PÅ BENSINSTATIONER (SPI)

*En uppdatering av rekommendationen kommer inom kort (oktober 2006) att ges ut av SPI*

## **Bakgrund.**

Allt fler väljer att köra bilar som kan drivas med etanol (E85). För att tillhandahålla E85 till det växande antalet kunder finns det i landet ett flertal nya installationer för E85 på bensinstationerna. Antalet anläggningar för E85 väntas öka markant de närmaste åren.

Syftet med dessa rekommendationer är att ge anvisningar om vilka speciella åtgärder som från säkerhetssynpunkt behöver vidtas på bensinstationer som säljer E85. Som grund för rekommendationerna har en riskvärdering gjorts baserat på E85:s egenskaper jämfört med bensin.

Rekommendationerna har tagits fram av Svenska Petroleum Institutet efter samråd med Räddningsverket. Rekommendationerna vänder sig till branschen och kommunerna som tillstånds- och tillsynsmyndigheter. Följs dessa rekommendationer anser Räddningsverket att hanteringen sker på ett säkert sätt och därmed uppfyller kraven i lagstiftningen om brandfarliga och explosiva varor. Om andra tekniska lösningar väljs måste anläggningsägaren genom en specifik riskutredning för anläggningen visa att dessa lösningar ger en från brand- och explosionssynpunkt säker hantering. I samband med uppförandet av nya anläggningar kan rekommendationerna följas direkt. Befintliga anläggningar måste snarast kompletteras i enlighet med dessa rekommendationer i fråga om flampärr, gasåterföring och pejling. Anpassning av dessa anläggningars materialval och ytbehandling till rekommendationerna bör från risksynpunkt kunna dröja något.

## **Lagliga krav**

Det krävs tillstånd för hantering av brandfarliga varor på bensinstationer. Ett tillstånd som meddelats för hantering av bensin gäller inte också automatiskt för hantering av E85. Vid en utökning av verksamheten med E85 måste tillståndet kompletteras. Anläggningen för hantering av E85 får inte tas i drift förrän den avsynats och förklarats uppfylla de tekniska kraven för en säker hantering. Detta gäller naturligtvis även vid nyetablering av en anläggning antingen med enbart E85 eller både E85 och bensin. E85 är liksom bensin en brandfarlig vätska klass 1 och omfattas bland annat av reglerna i SÄIFS 1997:9 och SRVFS 2004:7. De klassningsplaner som ska upprättas för varje bensinstation och som styr valet av utrustning ser likadan ut oavsett om endast bensin hanteras eller om både bensin och E85 hanteras. Vid tillämpningen av reglerna bör man dock ta hänsyn till vissa skillnader i produkttegenskaperna hos E85 jämfört med bensin, vilka gör att vissa extra försiktighetsåtgärder rekommenderas för E85 installationerna.

- E85 har andra korrosionsegenskaper än bensin vilket man måste ta hänsyn till vid val av material till olika delar av en anläggning. Olämpliga material tillsammans med E85 är t.ex. aluminium, zink och mässing. E85 påverkar också vissa plast- och gummi-material på ett annat sätt än bensin.
- Etanol och bensin har olika explosionsgränser vilket innebär att explosiv gasblandning i en E85 behållare kommer att finnas inom ett vidare temperaturintervall än i en bensincistern. Det finns olika uppgifter om temperaturintervallet men enligt SAE Technical Papers Series; 950401; Flammability Tests of Alcohol/Gasoline Vapours” anges temperaturintervallet då gasblandningen i en sluten behållare är explosiv från -41°C till -10°C för bensin och från -33°C till +11°C för E85. Exakt vilket temperatur-

området är påverkar inte utformningen av de praktiska extra försiktighetsåtgärder som här rekommenderas.

## **Utförande av bensinstationer med E85**

### ***Materialval.***

Vid val av material till olika delar i anläggningen måste hänsyn tas till E85:s korrosiva egenskaper. Från oljebolagens sida gäller att berörda leverantörer skriftligen anger att de material som används i olika delar av systemet är lämpliga för E85. Detta sker lämpligen med ett certifikat, intyg eller genom annan skriftlig dokumentation.

- Cisternen ska vara tillverkad av lämpligt material eller försedd med en inre ytbehandling som är godkänd för E85. På bensincisterner förekommer att botten rostskyddsbehandlas till 1/3. Detta är inte tillräckligt för E85. Hela behållaren ska vara av ett material som är godkänt för E85.
- Påfyllningsröret bör vara av lämpligt plastmaterial eller varmgalvaniserat stål. Varmgalvaniserat stål kan accepteras i detta fall då påfyllningsledningen normalt står tom.
- Distributionsledningen bör vara av lämpligt plastmaterial.
- Packningar och annat material i mätarskåpet bör vara av sådant material som är lämpligt för E85
- Slangen och pistolventilen bör vara av material som är lämpliga för E85.
- Överfyllningsskyddet på en installation för E85 ska vara anpassat för E85. Samma typ av överfyllningsskydd som används för bensin fungerar inte.

### **Förhöjd antändningsrisk**

Eftersom gasblandningen i ett E85 system kommer att ha en sammansättning inom explosionsområdet oftare än vad som är fallet för bensin rekommenderas följande åtgärder för att hindra en antändning att fortplanta sig i systemet.

- Flamskydd ska finnas på avluftningen från cisternen i enlighet med SÄIFS 1997:9 punkt 4.2.6. Eftersom detta avser nyinstallationer så gäller enligt de nya reglerna baserade på ATEX-direktivet att flamskydd ska vara utförda enligt gällande EU-standard. Flamskydd enligt klass IIB1 rekommenderas.
- Någon form av flamspärr bör också finnas vid påfyllningen av cisternen. Detta kan antingen vara ett flamskydd, en väl fungerande förreglad avstängningsventil eller ett vätskelås.
- Det är sällsynt men det förekommer att statisk elektricitet orsakat mindre bränder eller puffar vid tankning av bilar. För att så långt möjligt eliminera denna risk bör pistolventilerna på E85-pumpar inte förses med någon upphakningsmekanism.

### **Återföringssystem för gaser**

Naturvårdsverkets föreskrifter (SNFS 1991:1) innehåller krav på gasåtervinning av motorbensin. E85 omfattas inte av dessa krav. Det finns således inget krav för gasåterföring och återvinning av E85.



Gasåtervinningsystemet brukar delas in i två steg, Steg I avser återföring av gaserna från cisternen till depån för återvinning och steg II avser återföring av gaserna till cisternen på bensinstationen vid tankning av bilar. Om gasåtervinningsystemet ansluts till en E85-anläggning ska hänsyn tas till säkerhetsriskerna. Tills frågan är ytterligare utredd rekommenderas att steg II inte ansluts till gasåtervinningsystemet. Om E85 ansluts till steg I bör ansvarig för anläggningen säkerställa med leverantören av gasåtervinningsanläggningen på berörd depå att detta inte innebär några säkerhetsrisker och att funktionen upprätthålls. Detta bör dokumenteras på lämpligt sätt.

### **Pejling**

Vid manuell pejling ska den ökade risken för antändning beaktas. Som en extra försiktighetsåtgärd bör en trästicka användas och det ska finnas skriftliga instruktioner om hur arbetsmomentet utförs på ett säkert sätt. Det finns alternativ till nivåmätning med mätsticka, t.ex. automatisk tankmätning (ATM), som är att föredra från säkerhetssynpunkt.

### **Släckmedel**

I räddningstjänstens bedömning bör även hänsyn tas till behovet av speciellt alkoholbeständigt brandsläckningsskum för E85 eftersom detergentskumvätska inte har tillräcklig släckeffekt på E85.

**Stockholm den 3 oktober 2005**

## BILAGA 2 - KEMISKA OCH FYSIKALISKA DATA OCH EGENSKAPER

### Kokpunkt (°C)

Med kokpunkt menas den temperatur, vid vilken vätskan kokar (normalt vid atmosfärstryck). Alkoholer har i förhållande till sina molekylvikter mycket höga kokpunkter, vilket beror på starka bindningar mellan molekylerna (s k vätebindningar). Alkoholer kan betecknas som lätthanterliga vätskor. Bensin och diesel består till skillnad från ren etanol av många olika kolväteföreningar var och en med sin egen karaktäristiska kokpunkt. De allra lättaste kolvätena har låga kokpunkter medan tyngre kolväten har högre. Ibland anger man som lägsta värde för kokpunkten för bensin det värde då de första kolvätena förångas vid destillation enligt en standardiserad testmetod. I dagligt tal menar man med lägsta kokpunkt när det "börjar bubbla". När föreningar med högst denna lägsta kokpunkt lämnat bensinvätskan, slutar denna att koka (vid konstanthållande av temperaturen). Vid varje högre temperatur lämnar sedan de olika kvarvarande föreningarna vätskan. För E85 finns få kokpunktsvärden att tillgå men uppskattningsvis kan man anta att kokpunktsintervallet blir ungefär detsamma som för bensin. **Källor** Svensk standard för bensin, diesel, E85 och E100, OKQ8 säkerhetsdatablad.

<b>Bensin</b>	25 – 225°C
<b>E85</b>	>35 – 205°C
<b>E100</b>	78.5°C
<b>Diesel (MK1)</b>	180 – ca 330°C

### Ångtäthet (relativt luft)

Om en ånga har en täthet (densitet) högre än den för luft kommer den att ansamlas och spridas längs marken. Om tätheten däremot är lägre än för luft så kommer ångan att stiga uppåt. Värden över 1 representerar att ånga ansamlas längs marken (i gropar mm): Alla här aktuella bränslen har värden över 1.. **Källa:** Sekab, OKQ8 säkerhetsdatablad för E85, Ref (19)

<b>Bensin</b>	4	
<b>E85</b>	2-4	Ref.19, Appendix C
<b>E100</b>	1.6	
<b>Diesel</b>	7	

---

## Elektrisk ledningsförmåga (konduktivitet)

Ur brandsäkerhetssynpunkt är hög elektrisk ledningsförmåga önskvärt. Anledningen till detta är att ledande material har hög förmåga att avleda statisk elektricitet, vilket motverkar uppkomst av statiska potentialskillnader, som kan uppstå exempelvis genom friktion mellan fast material och (strömmande) vätska (i rör, slangar osv). Alkohol har mycket högre elektrisk ledningsförmåga än bensin och diesel. Vad gäller E85 så finns inga specifika data att tillgå men dess ledningsförmåga torde vara ungefär densamma som för E100 på grund av etanolkomponentens stora dominans. **I bensin tillsätts additiv för att höja den elektriska ledningsförmågan.**

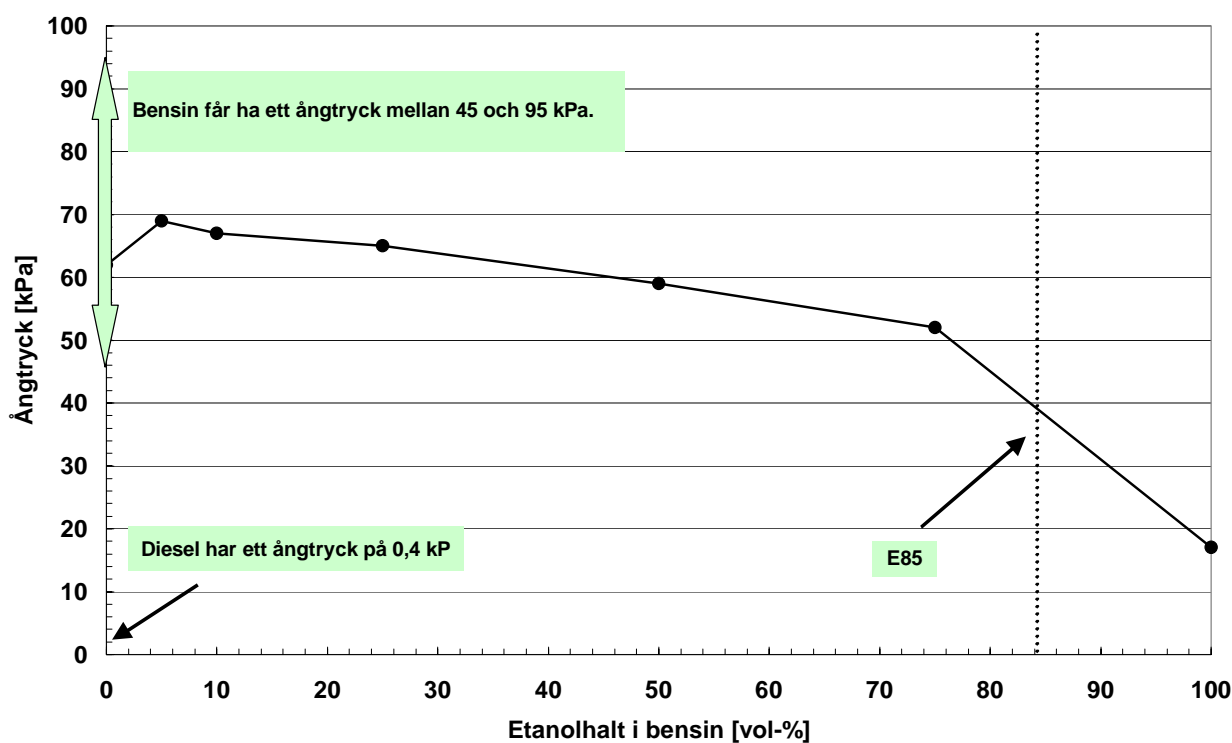
<b>Bensin</b>	50 pS/m	
<b>E85</b>	som för E100	
<b>E100</b>	134 500 pS/m	(Ref 22)
<b>Diesel</b>	>50 pS/m	

Alkoholer har högre elektrisk ledningsförmåga vilket gör att risk för uppkomst av statiska elektriska potentialskillnader vid friktion mellan vätska och slangar är lägre än för bensin. Dock består faran med uppkomst av statisk elektricitet genom att personen som tankar har "laddat upp sig själv".

## Ångtryck (kPa)

Bränslen i vätskeform avger alltid ångor, och hur mycket ångor som avges bestäms bl a av vätsketemperaturen - ju högre temperatur desto högre halt ånga ovanför vätskan. Ångtrycket beror på vätskans kemiska sammansättning och – som nämnts - på vätskans temperatur. När ångtrycket hos en vätska blir detsamma som det omgivande lufttrycket, börjar vätskan koka. Ren bensin har ett relativt högt ångtryck, vilket medför att den blandning av bensinånga och luft som finns i en sluten behållare vid normala utomhustemperaturer oftast är för fet för att kunna brinna. Ren etanol och ren diesel har låga ångtryck under sådana förhållanden.

Man använder olika bensinkvaliteter på vintern och sommaren. Svensk sommarbensin skiljer sig från bensin i andra länder, då högsta tillåtna ångtryck (DVPE) är 70 kPa i stället för 60 (anpassning till kallare sommartemperaturer än generellt i Europa). På vintern höjs ångtrycket ytterligare (för att förbättra kallstartegenskapen) upp till maximalt tillåtna 95 kPa. I praktiken tillsätts butan för att höja ångtrycket i bensin; ju högre ångtryck – desto mer bränsleångor vid en given temperatur. Risken för gnisttändning minskar därmed vid det ökade ångtrycket. Enligt den nya E85 standarden är intervallet för sommarkvalitet av E85 satt till 35 – 70 kPa och för vinterkvalitet 50 – 95 kPa. Källa: Ford, Svensk standard för bensin.



**Ångtryck som funktion av etanolhalt i bensin.** Observera att kurvan bara ska ses som ett kvalitativt mått på hur ångtrycket ändras med ökad etanolinblandning. Vid låginblandning går ångtrycket upp för att sedan minska med etanolhalten.

*Kolvätena i bensin måste ha högre molekylvikter (längre kolkedjor) för att vara lätthanterliga vätskor. Vid blandning av alkoholer och kolväten ökar blandningens ångtryck (genom att antalet starka bindningar mellan alkoholmolekylerna blir färre) och når vid endast några få procents tillsats av alkohol till bensin sitt maximala värde på RVPE (Reid Vapour Pressure”, som mäts enligt standardiserad metod) med 7 - 23 kPa (lägst värde för etanol och högst värde för metanol). Inblandning av kolväten till ren alkohol höjer, å andra sidan, blandningens ångtryck och därmed ökar flyktigheten för blandningen kraftigt, t.ex. för E85 ca 25 kPa över ångtrycket för E100. Detta påverkar antändningsgränser och därigenom både brandriskbild och motorers startbarhet.*

## Flampunkt (°C)

Avser den temperatur som vätskan minst måste ha för att ångan över densamma ska kunna antändas av öppen låga (tändsticka). Lågan ska därvid inte doppas i vätskan utan hållas precis ovanför ytan. Ur brandsäkerhetssynpunkt är höga värden bra.

<b>Bensin</b>	< - 40°C
<b>E85</b>	< - 30°C
<b>E100</b>	+ 12°C
<b>Diesel</b>	+ 56°C (60°C v. mar. bruk)

## Termisk tändtemperatur (°C)

Termisk tändtemperatur är den lägsta temperatur, då självantändning av bränsleångfasen sker. Genom att upphetta bränsleångan till denna temperatur kommer den att självantända (vid närvaro av luft). Det förekommer flera olika värden i litteraturen och på datablad från olika tillverkare. Ur brandsäkerhetssynpunkt är det positivt med en hög termisk tändtemperatur.

<b>Bensin</b>	250 – 280°C
<b>E85</b>	(ca) 260°C (Ref 24)
<b>E100</b>	363°C (SEK Handbok 426)
<b>Diesel</b>	220 - 320°C (Svensk standard för dieselbränsle)

## Brännbarhetsområde (% i luft)

För att en brand (explosion) ska vara möjlig måste ångans koncentration i luft ligga inom vissa gränser, mellan den nedre och den högre brännbarhetsgränsen.. Ju bredare intervall - desto större sannolikhet att tillräcklig förutsättning för brand uppnås. **Källa:** Sekab och OKQ8.

<b>Bensin</b>	1 – 8 vol-%
<b>E85</b>	1.4 – 19 vol-% *
<b>E100</b>	3.3 – 19 vol-%
<b>Diesel</b>	0.6 – 5.6 vol-%

\* I avsaknad av experimentella data för E85 är den övre gränsen här angiven som om ångan bestod endast av etanol. Detta är dock inte fallet – särskilt inte vid de relativt höga temperaturer som gäller vid den övre, feta gränsen. Den feta gränsen för antändning av ångan (som är starkt anrikad på bensinkomponenter) blir därmed lägre än de 19 % som angetts härövan.

---

## Brännbarhetsområde (°C)

Koncentrationen av bränsleånga beror på temperaturen. Ju högre temperatur – desto högre koncentration brännbar ånga ovanför en vätska. Vid normala temperaturer finns i bensinfallet alldeles för mycket brännbar ånga för att bensin ska kunna antändas i en sluten tank (blandningen med luft är då alltför fet). Däremot: I en öppen situation (fritt tillflöde av luft) har man alltid att räkna med risk för brand med bensin. Då temperaturen faller under ca – 10°C (för sommarbensin) alt. under ca -20°C (vinterbensin) blir avdunstningen så låg att koncentrationen av bränsleångor i luft hamnar inom brännbarhetsområdet (se ovan). När det blir allt för kallt (kallare än ca – 45°C) blir koncentrationen av bränsleångor alltför låg (mager blandning) för att brand skulle kunna uppstå.. Brännbarhetsområdet för bensin är alltså ca – 45 till ca – 10°C (sommarbensin) och ca – 45 till ca -20°C (vinterbensin). **Källa:** Sekab, OKQ8, Referens (16), egna bedömningar.

<b>Bensin, sommar</b>	- 45 till – 10°C
<b>Bensin, vinter</b>	- 45 till – 20°C .
<b>E85, sommar</b>	- 33 till + 5°C (se bilaga 3 och kommentar nedan)
<b>E85, vinter</b>	- 45 till – 5°C
<b>E100</b>	+12 till + 40°C
<b>Diesel</b>	> +56°C

Gränserna varierar, som angetts i tabellen ovan, och beror på en rad faktorer såsom tankens fyllnadsgrad nära ”tom tank”, på bränslets sammansättning (som ändras med tiden gm avdunstning), på bensinkomponenternas flyktighet (sommar- alt. vinterkvalitet) osv. **Då innehållet av flytande bränsle i ett slutet utrymme går mot 0 vidgas brännbarhetsområdet genom att den övre temperaturgränsen höjs. Se bilaga 3. Fordonstankar är konstruerade på ett sådant sätt att då man upplever att bränslet är slut – återstår ändå flera liter bensin i tanken. Detta innebär att verkliga ”tom tank”-situationer är något mycket ovanligt. Detta innefattar även tom tank i form av bensinstopp (”soppatorsk”). Värden i tabellen ovan representerar normala tanknivåer.**

### Bedömning

Hur temperaturintervallet ser ut för främst E85 har varit föremål för livliga diskussioner under det senaste året. Mängden mätdata är ringa och resultatet av de studier som gjorts har tolkats på olika sätt av olika bedömare. De data som presenteras ovan är Ecotraffics tolkning och bedömning av de data som finns tillgängliga. Vidare hoppas vi att det inom kort kommer fram data som bättre representerar svenska E85-kvaliteter.

*Någon exakt gräns (som hela debatten handlat om) är i alla hänseenden svår att ta fram då detta åtminstone skulle kräva att bensinens sammansättning och halt samt tändenergin är specificerad.*



## Förångningsvärme (kJ/kg)

Definition: Den energi som åtgår för att förånga ett kg av bränslet i vätskeform. Ju lägre värde – desto lättare går det att förånga vätskan. Lågt värde i kombination med högt energiinnehåll ger vid antändning upphov till högintensiv brand eftersom ångfasen snabbt förses med brännbart material.

<b>Bensin</b>	335 kJ/kg	(Ref. 25, Tab. 6.4)
<b>E85</b>	(ca) 825 kJ/kg	Interpolerat värde
<b>E100</b>	910 kJ/kg	(Ref. 25, Tab. 6.4)
<b>Diesel</b>	251 kJ/kg	(Ref. 25, Tab. 6.1)

## Diffusionskoefficient (cm<sup>2</sup>/h)

Definition: Ett mått på ångans diffusionshastighet.

Höga värden indikerar att ångan diffunderar snabbt bort från ”källan” och späds därvid ut snabbt. Höga värden ökar brandsäkerheten genom den utspädning av brännbart material som sker genom diffusionen.

<b>Bensin</b>	0.05 cm <sup>2</sup> /s
<b>E85</b>	mellan E100 och bensin
<b>E100</b>	0.137 cm <sup>2</sup> /s
<b>Diesel</b>	0.05 cm <sup>2</sup> /s

## Förbränningsenergi (effektivt värmevärde) (kWh/liter)

Den värmeenergi som avges vid förbränning av 1 liter av drivmedlet. Ju högre värde – desto varmare kan det bli, när det brinner. Andra faktorer som påverkar värmeutvecklingen vid brand är också mängden tillförd brännbar ånga (per tidsenhet) till en brand. Denna beror i sin tur på ångbildningsvärmets, som är betydligt lägre för bensin än för E85. Ju varmare det blir desto större problem. **Källa:** Oljebolagen för bensin och diesel, Sekab för E100, E85 uträknat värde utifrån den blandning som Sekab har tillstånd för hos Läkemiddelsverket, (86 % E100, 2 % MTBE, 0.4 % Isobutanol, 11.6 % bensin (allt som vikt-%)); äv. ref 25, tab. 6.3

<b>Bensin</b>	9,1 kWh/liter
<b>E85</b>	6,3 kWh/liter
<b>E100</b>	5,9 kWh/liter
<b>Diesel MK1</b>	9,8 kWh/liter

---



## Flamspridningshastighet (m/s)

Från antändningspunkten sprider sig en flamma åt alla håll. Hastigheten beror bland annat på vilken koncentration brännbart material som finns i gasblandningen. Värdet för E85 har inte hittats. Att värdet för diesel är så mycket lägre än bensin som diskuteras här har att göra med att det finns mindre mängd brännbart material i ångfasen. I praktiken är flamspridningshastigheten ett mått på hur snabbt en flamfront breder ut sig om bränsle exv läckt ut och fattat eld. *Ibland talar man om flamhastighet men detta har t.ex. att göra med flammans hastighet i en motor och skall inte här förväxlas med flamspridningshastighet.* Källa: Ref 1, tab. 1

<b>Bensin</b>	4 – 6 m/s
<b>E85</b>	
<b>E100</b>	2 – 4 m/s
<b>Diesel</b>	0.02 – 0.08 m/s

## Lägsta antändningsenergi (mJ)

Definition: Den lägsta energi som krävs för att tända en ånga (under förutsättning att bränsleångor och luft finns i rätta, stökiometriska proportioner, dvs då ”ingenting blir över”, vare sig brännbart material eller syre).

Ju lägre värde – desto lättare tänds ångan. Nedan visas exempel på energier som kan ge tändning. Den energi, som krävs för antändning av E85 under stökiometriska förhållanden torde vara ungefär lika stor som den som krävs för de övriga, d.v.s. 0.20 – 0.24 mJ. Lägsta energi för antändning av en ”icke-stökiometrisk” bränsle/luft-blandning ökar kraftigt mot brännbarhetsgränserna (det kan därvid röra sig om flera tiopotenser högre energi för antändning nära dessa gränser). Explosionsgränserna bestäms experimentellt. De är inga naturkonstanter utan beror på energibalansen mellan tillförd energi, reaktionsvärmets och kylförlusterna (ref 14). Langnevik (14) ger ett illustrativt exempel för detta förhållande för blandningen metan/luft: Vid 1 J tändenergi ligger nedre expl.gränsen på 4,9°C och den övre på 13,8°C. Vid tiotusen gånger högre tändenergi (dvs vid 10 kJ) blir motsvarande värden 3,6 resp 17,5°C.

<b>Bensin</b>	0,20-0.24 mJ
<b>E85</b>	(som bensin)
<b>E100</b>	0,24 mJ
<b>Diesel</b>	0,20-0.24 mJ

Nedan redovisas (från ref 14) typiska energinivåer som alstras vid olika typer av aktivitet. Som parentes kan nämnas att på anläggningar som hanterar ren etanol (exv Vin & Sprit och Sekab) är användning av mobiltelefon inte tillåten. De energier som anges i tabellen nedan kan dock (enligt Sekab) uppstå bara om mobiltelefonen tappas och batteriet faller ut. Vid enbart ringning kan dock inte så kraftiga urladdningar uppstå.

---

Slipsprut (en glödande järnpartikel)	1 – 10 mJ
Uppladdad människa sommartid, inomhus	ca 15 mJ
Uppladdad människa vintertid, inomhus	10 – tal mJ
Mobiltelefon som ringer, hanteras, tappas	ca 60 mJ
0.1 kg föremål som faller från 1 meters höjd	1 J
Ljusbåge i elkontakt vid brytning av strömmen	Flera J
Svetsloppa (1 droppe flytande järn)	10 – tals J
Brinnande tändsticka	5 kJ

---



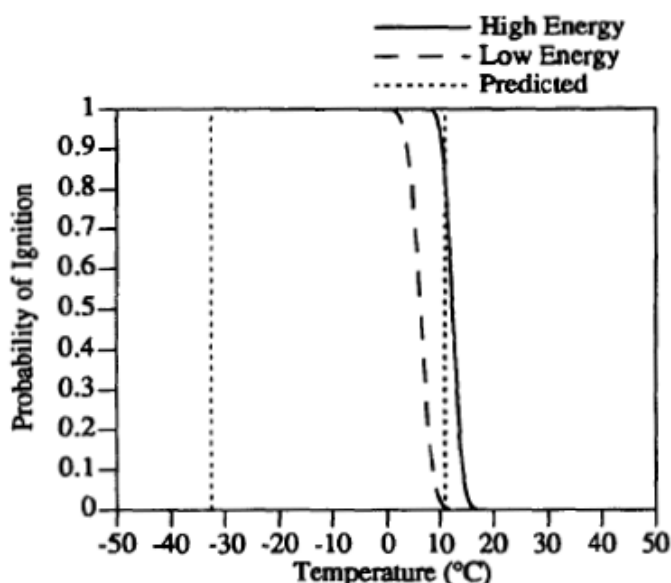
## BILAGA 3 - KOMMENTAR TILL REFERENS 10

Referens 10 innehåller slutsatser beträffande säkerhetsaspekterna på E85 som är viktig bakgrund till resonemanget i rapporten. Under arbetets gång med aktuell rapport har den nämnda referensen citerats på olika sätt. Vilket sätt som skall anses vara det korrekta kan inte fastställas på ett enkelt sätt men det kan vara av intresse att något mer i detalj gå igenom förutsättningarna och dessutom beskriva på vilket sätt Ecotraffic resonerat för att komma fram till de siffror som används i rapporten (brännbarhetsområde). Detta redovisas här trots att en mindre ändring av denna siffra knappast har någon större relevans för diskussion och slutsatser i rapporten.

I referens 10 används både experimentella och beräknade värden.

**Table 1**  
**Predicted Flammability Limits for Fuels**  
**Used in Bruceton Tests**

Fuel	Temp. (°C) for $\phi_L=0.5$	Temp. (°C) for $\phi_R=2.8$
E100	11.5	38.5
M100	8.0	35.5
SE85	-32.5	11.0
SM85	-33.0	8.75
SE10	-41.0	-8.5
Summer Gasoline	-41.0	-9.75



**Figure 7: Flammable Range of SE85**

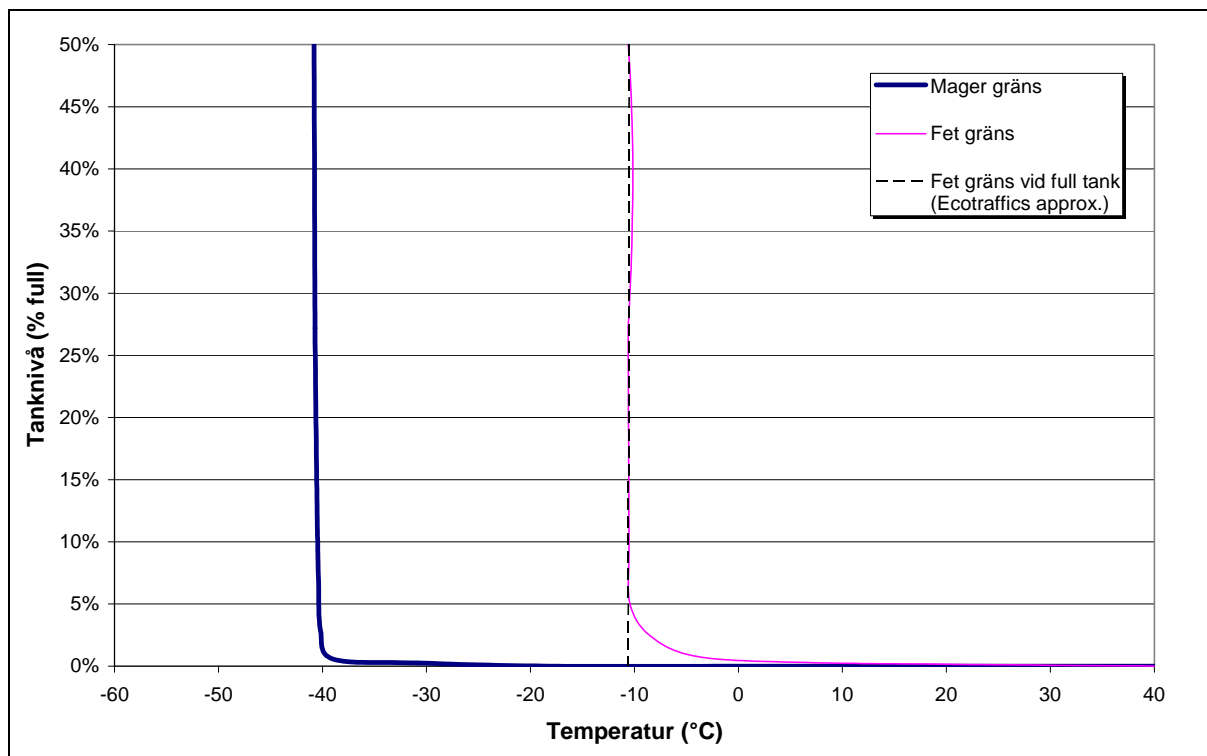
I flera diagram har jämförelser mellan beräknade och experimentella data gjorts. Den så kallade "Bruceton test method", jfr ref A nedan, som använts innebär att antändningsproblemet kan behandlas på ett systematiskt, statistiskt sätt för bestämning av sannolikheten för antändning snarare än att ange ett bestämt temperaturvärde vid vilket antändning kan ske.

I Table 1 (visas ovan) i referens 10 hänvisas till *beräknade* värden. Enligt dessa värden ligger den övre gränsen för antändning på 11°C. Många har refererat till denna siffra.

I Figure 7 visas både beräknade data (samma som i Table 1 ovan) och experimentella data för antändning med både hög (high energy) och låg (low energy) tändenergi. Kurvorna visar dessutom sannolikheten för antändning. Vid en sannolikhet på 50 % och en tändenergi mellan hög och låg ligger gränsen snarare omkring +9,5°C än +11°C enligt ovan.

Utöver bränslets egenskaper har också nivån i tanken betydelse för explosionsrisken. I referens 10 har också en sådan beräkning genomförts. Beräkningsresultaten finns redovisade i tabeller i referens 10. Som nämnts även tidigare finns ingen absolut temperaturgräns för när explosionsrisk inte skulle förekomma när tanken närmar sig tom. För att tydliggöra det hela

och kunna göra en subjektiv bedömning av var gränsen ligger med mer bränsle i tanken har figurerna 21 (sommARBENSIN) och 26 (sommAR E85) digitaliserats. Dessa visas i figur B3.1 och B3.2 nedan. Som tillägg till kurvorna i referens 10 har en rätlinjig approximation gjorts av Ecotraffic för den feta gränsen.

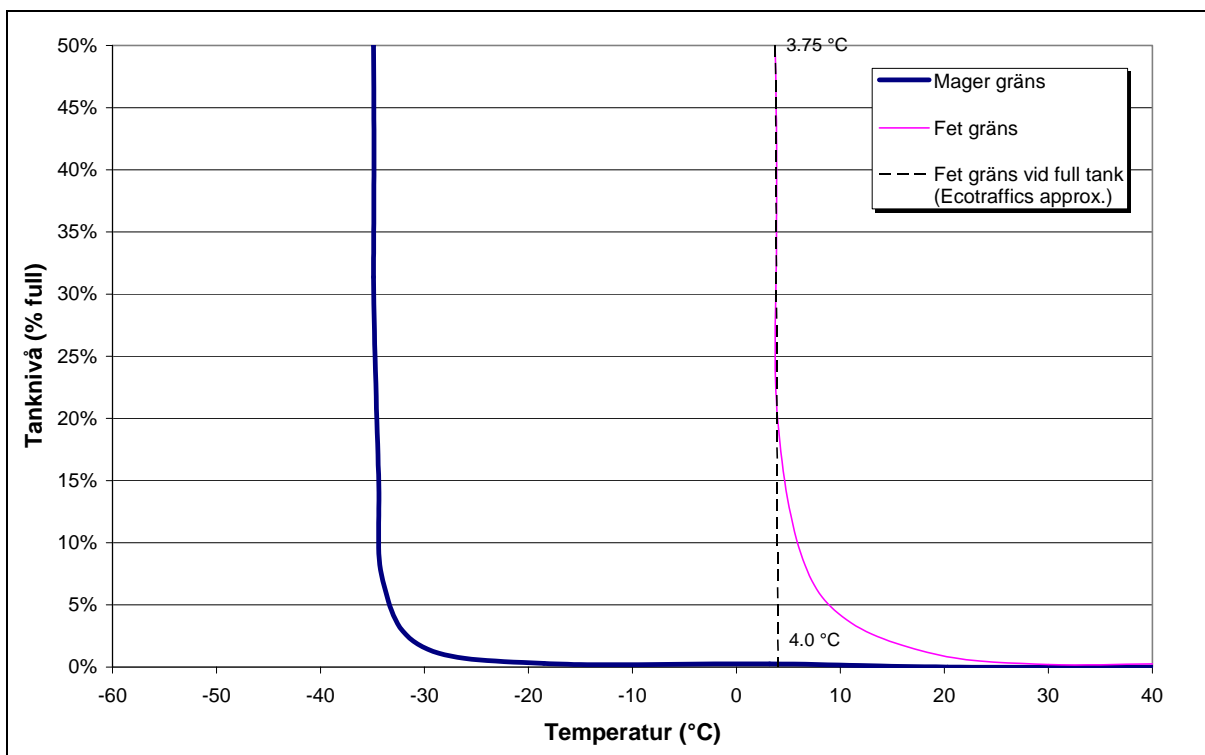


Figur B3.1 Brännbarhetsgränser för sommarbensin

Som framgår av figur B3.1 tycks den feta gränsen extrapolerat ned till noll ligga vid ca -9,5°C. I detta fall är det enkelt att göra approximationen eftersom kurvan är så brant.

Motsvarande diagram för sommar E85 visas i figur B3.2 nedan. I detta fall kan den feta gränsen extrapoleras till +4°C. Ecotraffic har tidigare avrundat detta värde till +5°C och det är detta värde som använts i rapporten. Som framgår av kurvans utseende är det här något svårare att avgöra var gränsen ligger jämfört med sommarbensin enligt ovan. Dessutom är kurvans ”knä” mer avrundat.

Som framgått av exemplen här är det svårt att fastställa definitiva temperaturgränser för när explosionsrisk inte längre föreligger. Ecotraffic har valt att inte referera till de +11°C som finns i tabell 1 i referens 10. Det är där fråga om *beräknade* värden. Andra figurer i referens 10 ger något annorlunda resultat och värden ända ner till +4°C kan man finna stöd för i studien. Tyvärr finns inte experimentella värden att tillgå för alla kombinationer av de relevanta parametrarna. Vidare så har parametrar som tändenergi och tanknivå stor betydelse för explosionsrisken. Bränslets sammansättning torde också ha stor inverkan. Strängt taget finns vid låg tanknivå inget ”säkert” område för något av de diskuterade drivmedlen. Att försöka hitta en definitiv gräns är vanskligt. **Strängt taget har det heller ingen avgörande betydelse för resonemanget om gränsen ligger på t.ex. +5°C eller +11°C. Det viktiga är att denna gräns är högre än för bensin, vilket ökar sannolikheten för att utomhustemperaturen ligger inom det explosiva intervallet för E85. Vidare så framgår av figurerna att brännbarhetsområdet vidgas mot högre temperaturer som funktion av låg tanknivå snabbare för E85 än för bensin. Förskjutningen börjar redan då man går under ca 15 % tanknivå för E85 - jämfört med att man måste gå under 5 % för bensin för att det ska påverka brännbarhetsområdet.**



Figur B3.2 Brännbarhetsgränser för sommar E85

Att bensinen som användes i den kanadensiska studien avviker från svenska bensinkvaliteter är också viktigt att betona. Om svensk bensin hade använts hade andra värden erhållits.

**Ref A:** NAVORD 2101, "Statistical Methods Appropriate for Evaluation of the Fuze Explosive Train Safety and Reliability", The Bruceton Method of Sensitivity Testing, 13 Oct 1953, Defence Technical Information Centre, Alexandria, VA.