

Handläggare, enhet  
Henry Persson  
Brandteknik  
010-516 51 98, henry.persson@sp.se

Svenska Petroleum Institutet  
Nybrogatan 11  
114 39 STOCKHOLM

## Antändningsförsök i nedgrävd cistern innehållande E85

(3 bilagor)

Enheten för Brandteknik vid SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut har på uppdrag av Svenska Petroleum Institutet utfört en serie antändningsförsök i en nedgrävd cistern delvis fylld med E85.

Syftet med försöken har varit att studera om förvaringen av E85 istället för bensin kan påverka riskbilden, t ex på en bensinstation, samt att se vilka konsekvenserna blir om en gasblandning antänds i en cistern.

Antändningsförsök genomfördes både i påfyllningsröret respektive inne i cisternen. Antändningen i påfyllningsröret var tänkt att simulera t ex en statisk urladdning i samband med fyllning. Något sannolikt scenario för antändning inne i en sluten cistern har inte förutsatts utan detta scenario var inriktat mot att studera möjligheten till och konsekvenserna av en sådan antändning.

Försöken har genomförts vid två tillfällen då antändning ej kunde erhållas inne i cisternen vid det första provningstillfället. Inför det andra provningstillfället "stressades" förutsättningarna ytterligare för att om möjligt framtvunga en antändning. Förutsättningar respektive resultat redovisas därför separat för respektive försöksserie.

### Datum för provningar

Provningarna har utförts vid två tillfällen, 2006-10-26 respektive 2007-04-11, på Bråt Skjutfält strax utanför Borås.

### Försöksobjekt, instrumentering och förberedelser inför första försöksserien

En 6 m<sup>3</sup> stålcistern användes vid försöken. Innan cisternen grävdes ner förbereddes denna på SP Brandteknik. Rörsystemet för påfyllningsrör, avluftningsrör samt pejlrör tillverkades och förbereddes för montage av Bensin & Rörtjänst i Göteborg AB. Avluftningsröret var försett med en tryck-vakuumventil men ej flamspärr.

Cisternen instrumenterades med tändsystem, termoelement, tryckgivare samt slangar till gasanalysinstrument.

För antändning av gaserna monterades två tändstift, ett inne i cisternen ca 300 mm under manluckan samt ett i påfyllningsröret strax nedanför första 90° böjen. Tändstiften matades med ett kommersiellt elstängselaggregat (Alfa Laval Agri STOP 1500B, Stored energy

### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Postadress  
SP  
Box 857  
501 15 Borås

Besöksadress  
Västeråsen  
Brinellgatan 4  
504 62 Borås

Tfn / Fax / E-post  
010-516 50 00  
033-13 55 02  
info@sp.se

Detta dokument får endast återges i sin helhet, om inte SP i förväg skriftligen godkänt annat.

1500 mJoule), vilket drivs med ett 12V bilbatteri. Aggregatet genererade gnistor med en frekvens av ca 1 Hz.

Totalt instrumenterades cisternen med åtta termoelement i fyra olika positioner enligt tabell 1 nedan. Dubbleringen av termoelement i varje position gjordes för att säkerställa funktionen.

För att efterlikna en verklig cisterninstallation på en bensinstation grävdes cisternen ner i marken (2006-10-05) så att manluckan var ca 1,0 m under marknivå. Finsand fylldes närmast cisternen och för att säkerställa att ingen miljöpåverkan skulle erhållas placerades en presenning under tanken för att hålla kvar eventuellt utläckande bränsle.

Efter nedgrävningen fylldes cisternen med 1153 liter E85 (2006-10-10) (bränslespecifikation, se nedan) vilket motsvarar knappt 20% fyllnadsgrad. Påfyllningshastigheten var ca 100 l/min. Cisternen fick därefter stå orörd för "konditionering", dvs temperaturanpassning relativt marktemperaturen, fram till det första provningstillfället (2006-10-26).

Foton från instrumentering, nedgrävning och uppställning vid det första försökstillfället presenteras i Bilaga 2, foto 1-10.

*Tabell 1 Numrering och placering av termoelement*

| Kanal | Typ av TC *  | Placering                |
|-------|--------------|--------------------------|
| 1     | Mantlad      | 50 mm ovan botten        |
| 2     | Mantlad      | 100 mm ovan botten       |
| 3     | Mantlad      | Luft i mitten av cistern |
| 4     | Svetsad 0.25 | Luft i mitten av cistern |
| 5     | Svetsad 0.50 | Vägg i mitten av cistern |
| 6     | Svetsad 0.50 | Vägg i mitten av cistern |
| 7     | Svetsad 0.25 | Påfyllningsrör           |
| 8     | Svetsad 0.25 | Påfyllningsrör           |

\*) Samtliga termoelement var av typ K.

För registrering av trycket inne i cisternen kopplades en tryckgivare (typ Kistler, mätområde 0 – 10 bar) till ett rör anslutet mot cisternens manlucka.

Vid försöksserie 1 (2006-10-26) mättes gaskoncentrationen inne i cisternen med ett totalkolväteinstrument (fabrikat Bernard Atomic, modell 3006) av typ FID (Flame Ionisation Detector). Gaser till FID-instrumentet togs omväxlande nere i cisternen via ett rör monterat på manluckan, och via ett uttag i påfyllnadsröret. I båda fallen befann sig utsugningspunkten nära respektive tändstift.

### Bränslespecifikation

Det E85-bränsle som användes vid försöken innehöll 81% etanol, 4,2% MTBE, 0,5% isobutanol och resten bensin. Vid provtagning 2006-09-27 uppmättes ett ångtryck av 35,5 kPa.<sup>1</sup>

### Genomförande

Temperaturmätningar inuti cisternen genomfördes dels i samband med tankning och dels vid två tillfällen under konditioneringsperioden.

Under försöksdagen inkopplades all instrumentering, dvs samtliga termoelement, tryckgivare samt totalkolväteinstrumentet (FID) (se foto 7-9 i bilaga 2). FID-instrumentet har en inbyggd

<sup>1</sup> Roger Mattebo, SEKAB, 2006-10-25.

provgaspump och under försöken växlad mellan de separata slangar av PTFE som monterats i närheten av respektive tändpunkt. Responstiden för fullt mätutslag från aktuell mätpunkt fastställdes till 30-35 sekunder. Vid några tillfällen togs också gasprover i gaspåsar av typ aluminiserad Tedlar för efterföljande analys i en gaskromatograf (GC) för haltbestämning av enskilda ämnen samt för "kalibrering" av FID-signalen.

Vid provningarna användes två separata mätinsamlingssystem, ett för att mäta temperaturer och ett för att mäta trycket i cisternen. Vid varje provning i försöksserie 1 startades temperaturmätningen två minuter innan tändsystemet aktiverades. I försöksserie 2 så startades temperaturmätningen 1 minut innan tändsystemet aktiverades.

Temperaturerna registrerades med en frekvens av ca 1 Hz medan trycket registrerades med en frekvens av ca 3 kHz. På grund av den höga mätfrekvensen kunde varje tryckregistrering bara pågå i ca 25 sekunder. Om antändning ej erhöles vid första "tändsekvensen" (2:00 min:s till ca 2:25 min:s) startades tryckmätningssutrustningen upp igen vid 3:00 och en ny ca 25 sekunder lång tändsekvens inleddes.

FID-instrumentet avlästes manuellt.

För att dokumentera händelseförloppet vid respektive antändningssekvens videofilmades försöken med två videokameror.

## Resultat

### Tankning 2006-10-10

Temperaturen registrerades inne i cisternen i samband med fyllningen. Ca 1:40 (min:s) efter mätningen startats inleddes fyllningen med ett flöde på ca 100 l/min. Tankningen avslutades vid ca 14 min och mätningen avbröts efter ca 45 min.

Som framgår av diagram 1 i Bilaga 3 var cisternens temperatur (både luft och mantel) knappt 12 °C innan fyllningen inleddes och det påfyllda bränslets temperatur var drygt 18 °C.

### Mätningar under konditioneringsperiod

Under konditioneringsperioden kontrollerades temperaturen inne i cisternen vid några tillfällen och resultaten presenteras i tabell 2 nedan.

*Tabell 2 Uppmätta temperaturer under konditioneringsperioden*

| Datum      | Bränsle (°C) |      | Luft/gas (°C) |      | Mantel (°C) |
|------------|--------------|------|---------------|------|-------------|
|            | TC1          | TC2  | TC3           | TC4  | TC5         |
| 2006-10-16 | 11,3         | 11,3 | 11,8          | 11,8 | 11,6        |
| 2006-10-19 | 10,9         | 11,0 | 11,4          | 11,2 | 11,3        |

## Försöksserie 1

Totalt genomfördes 14 antändningsförsök fördelat på fyra olika "scenarier" och resultaten sammanfattas i tabell 3 nedan.

Som framgår av sammanställningen inleddes försöken med antändningsförsök med cisternen helt opåverkad, dvs i "normaltillstånd". Under dessa förutsättningar erhöles antändning i påfyllningsröret (T1) vilket resulterade i en synbar flamma i påfyllningsrörets mynning och ett dovt ljud. Flamman spreds dock inte ner i cisternen.

I nästa scenario genomfördes antändningsförsök i cisternen, dock utan att tändning erhöles. Baserat på dessa resultat gjordes antagandet att gasblandningen inne i cisternen var för fet varför cisternen luftades genom att blåsa in luft med hjälp av en liten kompressor. Det skall påpekas att FID-analysatorn inte var kalibrerad för den okända gassammansättning som fanns inne i cisternen och visade därför inte bränslekonzentrationen i absoluta tal. Avlästa värden, uttryckt som "FID (%)" i tabell 3, skall därför endast användas i relativa termer.

Efter ca 1,5 timme indikerade FID-mätaren att bränslekonzentrationen sjunkit till ca halva värdet jämfört med "normaltillståndet" och nya antändningsförsök utfördes i cisternen (scenario 3, T4-T5). När dessa inte gav antändning gjordes även antändningsförsök i påfyllningsröret (scenario 4, T6-T7), dock utan antändning. Då gasblandningen fortfarande antogs vara för fet blåstes ytterligare luft in i cisternen, denna gång från en 50 liters gasflaska fylld till 150 bar med luft (ca 7,5 m<sup>3</sup> fri luft). Under väntetiden mellan scenario 4 och 5 steg bränslekonzentrationen inne i cisternen igen vilket innebar att koncentrationen vid försöksstart var ungefär lika med scenario 4. Antändningsförsöken inleddes i påfyllningsröret (scenario 5, T8-T12) och i två av dessa försök erhöles tecken till antändning. I försök T11 kunde en liten antydan till låga noteras i påfyllningsrörets mynning medan antändningen i T10 bara kunde noteras via temperaturmätningen i röret. Inte i något fall erhöles spridning ner i cisternen.

I scenario 6 genomfördes slutligen två antändningsförsök i cisternen (T13-T14) dock utan att antändning erhöles. Då ingen antändning erhöles gjordes antagandet att bränslekonzentrationen inne i cisternen fortfarande var för fet varför provningen avbröts.

*Tabell 3 Resultatsammanställning*

| Scenario/<br>tänd-<br>försök | Tänd-<br>plats         | Preparering                                                        | Temp<br>Gas/<br>bränsle<br>(°C) | FID<br>(%) | Antänd<br>ning | Mätdata |
|------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------|----------------|---------|
| <i>Dagen<br/>före test</i>   | <i>Påfylln<br/>rör</i> | <i>Mät punkt något ovanför<br/>tändstift</i>                       |                                 | 1,6*       | -              |         |
| <i>Dagen<br/>före test</i>   | <i>Cistern</i>         |                                                                    |                                 | 6,4        | -              |         |
| 1-T1                         | Påfylln<br>rör         | Cisternen orörd efter<br>konditionering                            |                                 | 2,6        | Ja             | Bil 3   |
| 2-T2                         | Cistern                | Cisternen orörd efter<br>konditionering                            |                                 | 6,0        | Nej            |         |
| 2-T3                         | Cistern                | - " -                                                              |                                 | 6,0        | Nej            |         |
| 3-T4                         | Cistern                | Cistern ventilerad med luft<br>under ca 1,5 tim                    |                                 | 3,0        | Nej            |         |
| 3-T5                         | Cistern                | - " -                                                              |                                 | 3,0        | Nej            |         |
| 4-T6                         | Påfylln<br>rör         | Cisternen ventilerad ytterligare<br>med ca 7,5 m <sup>3</sup> luft |                                 |            | Nej            |         |
| 4-T7                         | Påfylln<br>rör         | - " -                                                              |                                 |            | Nej            |         |
| 5-T8                         | Påfylln<br>rör         | - " -                                                              |                                 |            | Nej            |         |
| 5-T9                         | Påfylln<br>rör         | - " -                                                              |                                 |            | Nej            |         |
| 5-T10                        | Påfylln<br>rör         | - " -                                                              |                                 |            | Ja             | Bil 3   |
| 5-T11                        | Påfylln<br>rör         | - " -                                                              |                                 |            | Ja             | Bil 3   |
| 5-T12                        | Påfylln<br>rör         | - " -                                                              |                                 |            | Nej            |         |

|       |         |       |  |  |     |  |
|-------|---------|-------|--|--|-----|--|
| 6-T13 | Cistern | - " - |  |  | Nej |  |
| 6-T14 | Cistern | - " - |  |  | Nej |  |

Utvärderingen av tryckmätningarna visade att det endast i försök T1 fanns tecken till tryckförändring utöver "bakgrundsbruset". Maximalt tryck i försök T1 var ca 0,5 bar.

Videodokumentationen har redigerats till en DVD som redovisar försök T1, T2, T10, T11.

### Kemiska analyser

De gasprover som togs ut i gaspåsarna har analyserats genom direktinjektion med gasspruta på en gaskromatograf (Varian) försedd med lämplig kolonn och flamjonisationsdetektor, FID. För identifiering utnyttjades även ett GCMS-system där gasprov överfördes via adsorbenten Carbosieve och termisk desorption. För kalibrering utnyttjades kända halter av aktuella kolväten, etanol och MTBE. Resultaten från analyserna redovisas i tabell 4 nedan. Som jämförelse redovisas även de halter som avlästes på FID-instrumentet, dels i direkt anslutning till provtagningen i gaspåsarna samt dels i en efterföljande mätning på den provtagna gasen i påsarna.

*Tabell 4 Summering av analysdata (%-vol)*

|                                      | <b>Påse 1-<br/>Påfyllningsrör</b> | <b>Påse 2-<br/>I cistern</b> | <b>Påse 3-<br/>I cistern<br/>efter<br/>spädning</b> |
|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Summa C3 (alkaner och alkener)       | 0,00                              | 0,03                         | 0,01                                                |
| Summa C4 (alkaner och alkener)       | 0,21                              | 0,90                         | 0,47                                                |
| Summa C5 (alkaner och alkener)       | 0,59                              | 3,33                         | 1,58                                                |
| Summa C6 (alkaner och alkener)       | 0,34                              | 1,38                         | 0,70                                                |
| Summa C7 (alkaner och alkener)       | 0,00                              | 0,09                         | 0,03                                                |
| Summa C8 (alkaner och alkener)       | Ej utvärderad                     | Ej utvärderad                | Ej utvärderad                                       |
| Summa aromater (C6 + C7 + C8)        | 0,05                              | 0,13                         | 0,05                                                |
| <b>Summa C3-C8</b>                   | 1,19                              | 5,86                         | 2,84                                                |
| Etanol                               | 1,96                              | 2,41                         | 1,65                                                |
| MTBE                                 | 0,11                              | 0,36                         | 0,20                                                |
| <b>Summa bränsleångor</b>            | 3,26                              | 8,63                         | 4,69                                                |
| FID-värde i samband med provtagning  | 2,7                               | 6,0                          | 3,0                                                 |
| FID-värde från innehåll i gaspåsarna | 3,1                               | 6,6                          | 4,3                                                 |

Vid försöken erhöles endast antändning i påfyllningsröret vilket kan antas ungefärligt motsvaras av den gassammansättning som redovisas för påse 1 i tabell 4. I detta fall var den totala bränslekoncentrationen relativt låg, 3,26% och av dessa utgjordes 60% av etanolångor.

Påse 2 motsvarar sammansättningen i cisternen i dess jämviktstillstånd och en temperatur på ca 11°C. I detta fall var den totala bränslekoncentrationen 8,63% och andelen etanolångor ca 28% och under dessa förutsättningar var alltså gasblandningen ej brännbar. Så var fallet även efter spädning då bränslekoncentrationen reducerats till 4,69% och där andelen etanolångor var ca 35%.

Som framgår av påsanalyserna resp FID-mätningarna finns en viss skillnad mellan resultaten. Detta beror delvis på att FID-instrumentet inte var kalibrerat för den aktuella gassammansättningen, dels att avlästa värden på plats är något mer osäkra på grund av bl a långa slangar och därmed tidsdifferens mellan provtagning och respons på instrument.

## Försöksserie 2

För att få svar på frågan om vad konsekvensen blir vid en antändning inne i en cistern beslutade SPI att genomföra ytterligare en försöksserie med syfte att försöka forcera fram en antändning. Då bränsleblandningen uppenbarligen var för fet vid försöksserie1 beslutades att låta cisternen ligga kvar med bränsle över vintern för att erhålla en lägre temperatur och därmed ökade förutsättningar att erhålla en brännbar bränsleblandning.

För att ytterligare verifiera förutsättningarna vid provningen och att säkerställa att cisternen vid nästa provtillfälle innehöll en brännbar gasblandning genomfördes en serie gasanalyser, explosionsprovningar i en explosionsbomb samt åtgärder vilka summeras i tabell 5 nedan.

*Tabell 5 Förberedande analyser, explosionsprovningar och åtgärder inför försöksserie 2*

| Datum      | Åtgärd                                                                     | Kommentar                                                                                                                                                                     |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2007-03-06 | Temperaturmätning, pejla djup                                              | Ca 3°C, 380 mm djup                                                                                                                                                           |
|            | Uttag bränsleprov, vätskefas för efterföljande analys av gassammansättning | Flaskan med referensbränsle från fyllningstillfället troligen ej helt tät, visade onormalt låga halter (se detaljresultat tabell 6)                                           |
|            | Uttag påsprov för gasanalys                                                | Gasprov 8,1% (se detaljresultat tabell 6)                                                                                                                                     |
|            | Uttag gasprov för prov i explosionsbomben                                  | Ej antändning                                                                                                                                                                 |
| 2007-03-23 | Tanka ur cistern                                                           | Ca 5-6 cm bränsledjup (återstod 100-150 l)                                                                                                                                    |
| 2007-03-26 | Temperaturmätning                                                          | Ca 3,5-4°C                                                                                                                                                                    |
|            | Uttag påsprov för gasanalys                                                | Gasprov 7,6% (se detaljresultat tabell 6)                                                                                                                                     |
|            | Uttag gasprov för prov i explosionsbomben                                  | Ej antändning                                                                                                                                                                 |
| 2007-04-02 | Tanka ur cistern ytterligare                                               | Ca 1-2 cm bränsledjup (återstod troligen <50 l)                                                                                                                               |
| 2007-04-04 | Temperaturmätning                                                          | Ca 4-4,5°C                                                                                                                                                                    |
|            | Uttag gasprov för prov i explosionsbomben                                  | 100% bränsleångor-mkt långsam antändning (max ca 0,5 bar)<br>90% bränsleångor+10% luft-explosion<br>75% bränsleångor+25% luft-snabb explosion (max explosionsstryck ca 6 bar) |

Som framgår av tabell 5 hade temperaturen sjunkit under vintern till ca 3°C i tanken (6/3-07).

En kontroll av sammansättningen av bränsleångorna genomfördes dels genom ett direkt uttag till en gaspåse, dels genom uttag av lite bränsle i cisternen som sedan konditionerades i en sluten gasflaska på kemilaboratoriet. Ett prov av gasfasen i denna provflaska togs därefter ut och analyserades på samma sätt som gaspåsprovet. Analyserna genomfördes på samma sätt som tidigare beskrivits för försöksserie 1. För att få en uppfattning om en eventuell åldringseffekt av bränslet under vintern gjordes även en analys med bränsle som provtagits i samband med fyllningen av cisternen.

För att verifiera om bränsleångorna i cisternen var brännbara togs även ett gasprov i en 40 l gaspåse som sedan användes för provning i en explosionsbomb med volymen 8 liter (se foto 11 i bilaga 2). Explosionsbomben vakuumpumpades helt varefter gasblandningen sögs in från provpåsen. Gasen antändes med en gnista och explosionsstrycket registrerades. Explosionsförloppet kunde också studeras visuellt genom två glasrutor.

### Resultat av gasanalyser och förberedande provningar

Resultaten av de genomförda gasanalyserna presenteras i tabell 6.

Som framgår av resultaten från de konditionerade bränsleflaskorna visade det bränsleprov som tagits vid leveransen av bränslet onormalt låga värden av de lättaste bensinfraktionerna. Detta tyder på att denna flaska sannolikt inte varit helt tät under förvaringen och därmed "åldrats". Det bränsleprov som togs ut 070306 visar dock mer rimliga värden även om dessa generellt sett ligger något lägre än koncentrationerna uppmätta från motsvarande påsprov. En liten skillnad kan bero på att bränslet konditionerades till 0°C medan temperaturen vid provtagningen till påsen var ca +3°C. Skaleffekten mellan den lilla provflaskan och cisternen på 6 m<sup>3</sup> kan sannolikt också ha en inverkan.

Jämförs analysvärdena från de olika påsproven så indikerar dessa inga stora skillnader. Den totala bränslekoncentrationen var något lägre 070326 jämfört med 070306 vilket sannolikt mest beror på tömningen av bränsle. Påsprovet från försöksdagen, 070411, visar på ytterligare något högre totalkoncentration vilket kan vara en kombination av den ytterligare tömning av bränsle som gjorts och en viss temperaturökning. Jämförs koncentrationerna med påsprov 2 i försöksserie 1 så är totalhalten relativt likvärdig men man kan notera en svag tendens till minskning av de lättare fraktionerna. Man bör dock notera att temperaturskillnaden mellan provtagningstillfällena kan ha en viss inverkan. Det går dock inte att peka på någon markant "åldringseffekt".

Tabell 6 Sammanställning av gasanalyser från försöksserie 2.

|                                | <b>Bränsle<br/>leverans<br/>061010<br/>1)</b> | <b>Bränsle<br/>070306<br/>1)</b> | <b>Gaspåse<br/>070306<br/>2)</b> | <b>Gaspåse<br/>070326<br/>3)</b> | <b>Gaspåse<br/>070411<br/>4)</b> | <b>Gaspåse<br/>070411<br/>efter<br/>spädning<br/>4)</b> |
|--------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Summa C3 (alkaner och alkener) | 0,00                                          | 0,01                             | 0,01                             | 0,01                             | 0,01                             | 0,00                                                    |
| Summa C4 (alkaner och alkener) | 0,00                                          | 0,50                             | 0,70                             | 0,62                             | 0,56                             | 0,29                                                    |
| Summa C5 (alkaner och alkener) | 0,56                                          | 2,86                             | 3,50                             | 2,84                             | 3,46                             | 1,80                                                    |
| Summa C6 (alkaner och alkener) | 0,89                                          | 1,28                             | 1,52                             | 1,54                             | 1,38                             | 0,67                                                    |
| Summa C7 (alkaner och alkener) | 0,08                                          | 0,08                             | 0,10                             | 0,11                             | 0,12                             | 0,07                                                    |
| Summa C8 (alkaner och alkener) | 0,01                                          | 0,01                             | 0,01                             | 0,00                             | 0,05                             | 0,03                                                    |
| Summa aromater (C6 + C7 + C8)  | 0,11                                          | 0,11                             | 0,13                             | 0,14                             | 0,07                             | 0,04                                                    |
| <b>Summa C3-C8</b>             | 1,65                                          | 4,85                             | 5,97                             | 5,26                             | 5,65                             | 2,90                                                    |
| Etanol                         | 1,67                                          | 1,62                             | 1,83                             | 1,97                             | 2,93                             | 2,05                                                    |
| MTBE                           | 0,22                                          | 0,29                             | 0,34                             | 0,37                             | 0,45                             | 0,36                                                    |
| <b>Summa bränsleångor</b>      | 3,54                                          | 6,76                             | 8,14                             | 7,60                             | 9,03                             | 5,31                                                    |

- 1) Bränsle konditionerat till 0°C. Medelvärde av analyser efter 3 tim resp 22 tim konditionering.
- 2) Bränsleångor uttagna vid ca +3,0°C. Medelvärde av två analyser.
- 3) Bränsleångor uttagna vid ca +3,5-4,0°C. Medelvärde av två analyser.
- 4) Bränsleångor uttagna vid ca +4,5°C.



Jämförs koncentrationerna efter spädning mellan försöksserie 1 och 2 så visar båda dessa på en spädning med knappt 50% och där totalhalten bränsleångor blev runt 5%.

Försöken i explosionsbomben visade att uttagna gasprover 070306 resp 070326 ej var brännbara. Efter att cisternen tömts nästan helt på bränsle visade provningen 070404 att gasblandningen var precis på övre brännbarhetsgränsen. För att bekräfta detta spädades gasblandningen ut med olika mängd luft vilket visade en ökande förbränningsintensitet.

#### Resultat från antändningsförsök 2007-04-11

Cisternarrangemanget var oförändrat sedan försöksserie 1 med den skillnad att cisternen tömts på bränsle så att det endast återstod uppskattningsvis max 50 l. För att på ett helt säkert sätt kunna verifiera att gasblandningen var brännbar när antändningsförsöket genomfördes togs explosionsbomben med ut till försöksplatsen. På detta sätt kunde gasblandningen inne i cisternen sugas in direkt i explosionsbomben och gasblandningen antändas. Någon mätning av explosionstrycket genomfördes inte utan förloppet registrerades endast visuellt genom explosionsbombens glastrutor.

Det första försöket i explosionsbombutrustningen visade att gasblandningen inne i cisternen ej var brännbar. Ett antal ytterligare försök genomfördes med olika spädningsgrad av luft och visuellt bedömdes ca 40-50% spädning ge optimal förbränningsintensitet.

Spädning av cisternen gjordes därefter genom att tömma gasflaskor med komprimerad luft ner i cisternen. Totalt tömdes en gasflaska på 10 l och en på 5 l (200 bar ner till 15 bar) samt ca 50% av ytterligare en 5 l gasflaska (200 ner till 100 bar). Totalt sett innebar detta en spädning med ca 3,3 m<sup>3</sup> luft. Luften matades ner i ett av rören monterat på manluckan och avluftningen skedde genom att locket på pejlröret öppnades. Eftersom det var svårt att beräkna "nettopädningen" av gasblandningen gjordes ett antal kontroller i explosionsbomben under spädningsförloppet och den genomförda spädningen bedömdes återigen ge optimal förbränningsintensitet.

Påproverna för den efterföljande gasanalysen togs dels ut direkt efter att första försöket i explosionsbomben genomförts, dels direkt efter det sista försöket i explosionsbomben genomförts efter spädning.

Det slutliga iordningställandet av tändsystem och mätsystem gjordes därefter så snabbt som möjligt. Locket på pejlröret monterades och efter ca 15 min genomfördes slutligen själva antändningsförsöket i cisternen. I detta fall skedde antändningen med hjälp av det tändstift som var monterat ca 300 mm under manluckan.

Försöksförloppet var följande:

| Tid (ca) | Åtgärd/observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -2:00    | Start av videoutrustning                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 0:00     | Start mätning av temperatur, temperatur ca 4,5 °C i cisternen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 0:57     | Start mätning av tryck                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1:02     | Antändning. Förbränningen inne i cisternen ledde till en momentan tryckstegring och en svart rök trycktes ur avluftningsröret med hög hastighet under ett antal sekunder. Regnskyddet (och ventilarrangemanget?) på P/V-ventilen flög iväg och kunde ej återfinnas. Även tätningar i de rör som var monterade på manluckan flög ur på grund av tryckstöten. Tyvärr medförde den stöt som uppstod att tryckmätaren lossnade (monterad med standard tryckluftskoppling) vilket medförde att tryckmätningen avbröts när trycket i cisternen uppgick till ca 7 bar (se tryck- och temperaturdiagram i Bilaga 4) |



Direkt efter provningen konstaterades att avluftningsröret var varmt och gick ej att beröra mer än ca 1-2 sekunder. Påfyllningsrör och övriga rör var dock ej uppvärmda. Man kunde också konstatera att alla rör skakat till vid tryckstöten så att dessa ”glappade” i sanden som packats runt dessa men i övrigt kunde inga visuella effekter noteras av antändningen.

### **Observationer vid uppgrävning av cistern**

Cisternen togs upp ur marken ca 1 månad efter provningen (070507). Inga visuella skador kunde noteras och när manluckan demonterats kunde det också konstateras att cisternen i princip var helt tom. Endast lite fukt återstod på cisternbotten. Sannolikt hade kvarvarande bränsle förångats av den temperaturstegring som erhöles vid provningen i kombination med att ventilarrangemanget i P/V-ventilen också blåst bort på grund av den kraftiga gasutströmningen vid antändningen vilket underlättat avdunstningen fram till uppgrävningen.

### **Sammanfattning**

Försöken visar att bränsleångorna inne i en nedgrävd cistern med stor sannolikhet är för feta för att medge antändning. I dessa försök (försöksserie 2) var temperaturen i cisternen ca 4,5°C.

Resultaten överensstämmer väl med de erfarenheter som framkommit i ett pågående forskningsprojekt kring brand- och explosionsrisker kring E85<sup>2</sup> där övre temperaturgränsen för brännbar gasblandning uppmätts till ca +2°C för E85 av sommarkvalitet och där optimal förbränningsintensitet erhålls runt ca -8 till -10°C.

För att åstadkomma en optimalt brännbar blandning inne i cisternen behövde bränsleångorna spädas med ca 50% luft så att totalkoncentrationen motsvarade ca 5%. Baserat på analysdata från E85-projektet motsvarar denna spädning den koncentration som erhålls vid jämviktsförhållanden vid ca -8 till -10°C.

Antändningsförsök med utspädda bränsleångor genomfördes både vid försöksserie 1 och 2. Gasanalysdata visar på den totala bränslekoncentrationen var i samma storleksordning, ca 5%, efter spädningen. Det är därför oklart varför antändning ej erhöles vid försöksserie 1 men i försöksserie 2. Den mest markanta skillnaderna var dock att fyllnadsgraden var ca 20% i försöksserie 1 medan den var knappt 1% i försöksserie 2. Vidare var temperaturen i bränslet och cisternen ca +11°C i försöksserie 1 medan den endast var ca +4,5°C i försöksserie 2. Den högre fyllnadsgraden och något högre temperatur kan ha bidragit till en snabbare förångning av bränslet vilket gjorde att förhållandena han ändras mellan gasprovet togs ut och själva antändningsförsöket genomfördes.

Antändning kunde dock erhållas i påfyllningsröret vid några av antändningsförsöken (försöksserie 1) då luft och bränsleångor i någon punkt kommer att blandas så att brännbar gasblandning erhålls. De antändningsförlopp som erhöles var dock mycket odramatiska och förbränningen upphörde när flammen kommit en bit in i påfyllningsröret. Med de nya kopplingar som används för E85 mellan tankbil och cistern är detta scenario i praktiken eliminerat.

---

<sup>2</sup> Pågående projekt, ”Utvärdering av brand- och explosionsrisker med E85”, SP projekt BRs 6121.

Den antändning som erhöles i cisternen efter spädning med luft i försöksserie 2 gav upphov till en snabb tryckökning i cisternen som medförde en kraftig utströmning av förbränningsgaser med hög hastighet via avluftningsröret under ett antal sekunder. Några delar i P/V-ventilen lossade på grund av detta men i övrigt uppstod inga skador eller visuellt märkbara "explosionseffekter" ovan mark. Efter uppgrävning och en inspektion av cisternen kunde konstateras att denna inte uppvisade några visuella skador.

Slutsatsen är att, överfört till en motsvarande tänkt situation på en bensinstation, så kan man anta att eventuella skador skulle begränsa sig till vissa egendomsskador på cisternen och en del tillhörande utrustning medan risken för personskaador eller skador på annan utrustning liksom brandspridning till omkringliggande objekt måste betecknas som mycket liten.

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
**Brandteknik - Skydd**



Henry Persson  
Tekniskt ansvarig/handläggare

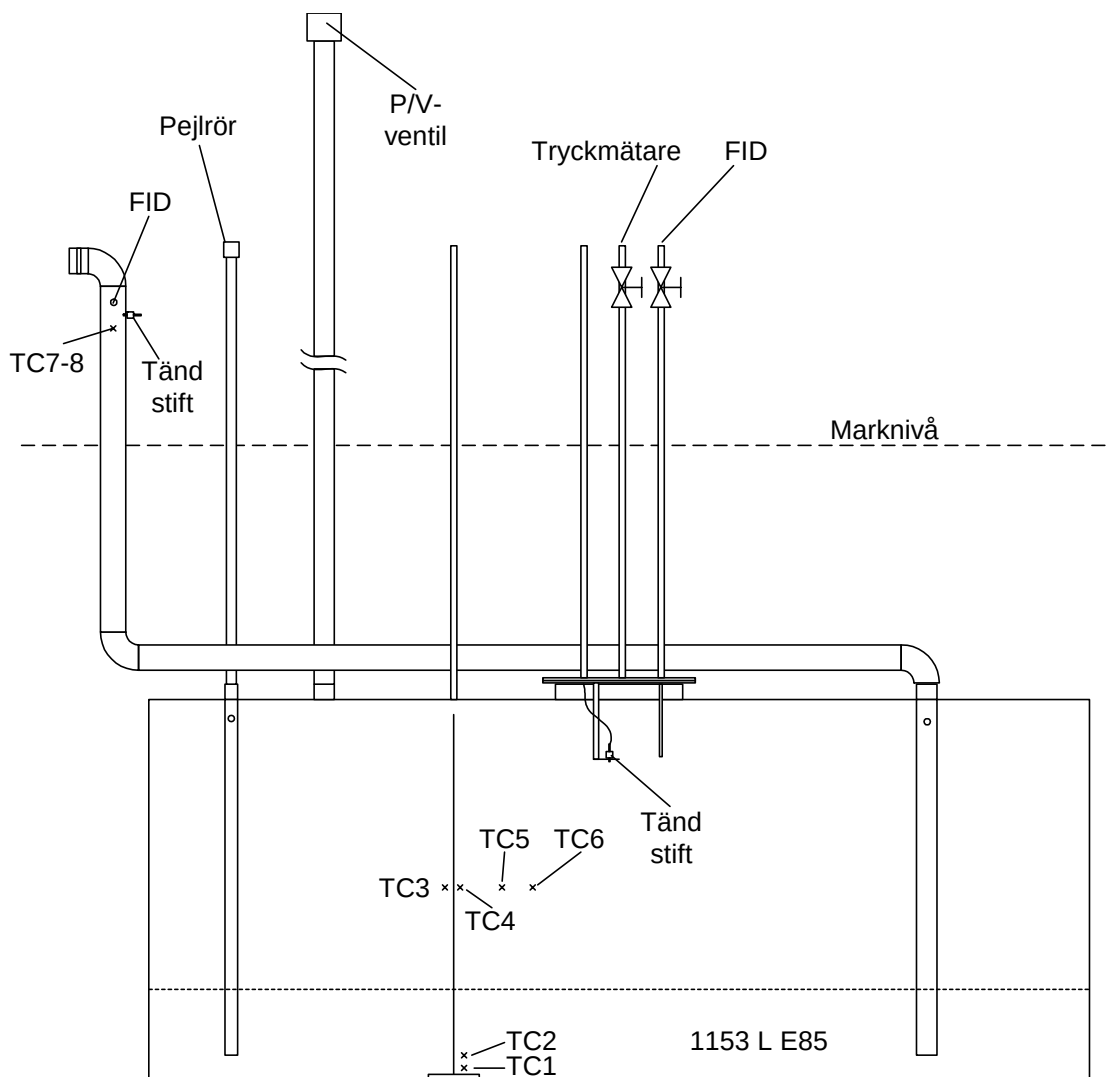


Joel Blom  
Handläggare

**Bilagor**

- 1 Principskiss cistern
- 2 Foton
- 3 Temperaturdiagram

## Principskiss av cistern och instrumentering



**Foton från förberedelser och försök**



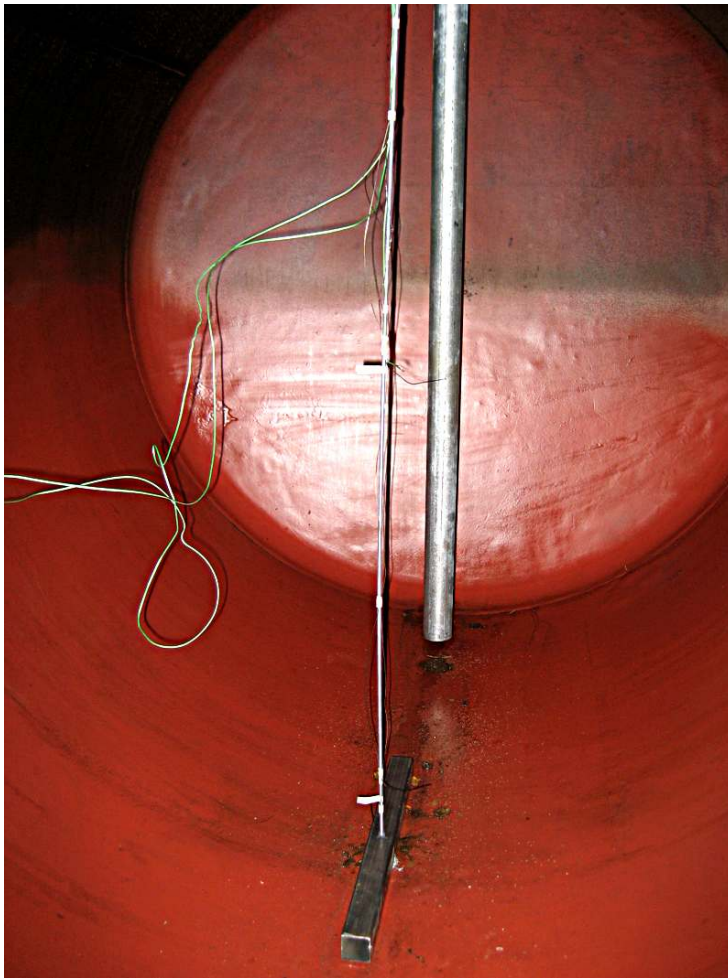
*Foto 1 Rörsystemen och uttag för mätningar kopplas*



*Foto 2 Återfyllnaden runt cisternen nästan klar*



Bilaga 2



*Foto 3 Termoelement för mätning av gas respektive vätsketemperatur*



*Foto 4 Termoelement för mätning av manteltemperatur*





*Foto 5 Tändstift inne i cistern*



*Foto 6 Tankning.*

Bilaga 2



*Foto 7 Instrumentering under försöksdagen i försöksserie 1.*



*Foto 8 Detaljbild av påfyllningsrör där uttaget för gasanalys sitter strax över tändstiftet. Termoelementen är monterade strax under tändstiftet.*



Bilaga 2



Foto 9 Mätdatorer och FID-analysator inne i mätvagnen



Foto 10 Inmatning av luft i cisternen från gasflaska. Kompressorn i förgrunden användes också.

**Foton från försöksserie 2**



*Foto 11 Explosionsbomb för att prova gasblandningens antändbarhet.*



*Foto 12 Cistern efter upptagning ur mark (07-05-07). Inga synliga skador kunde noteras.*

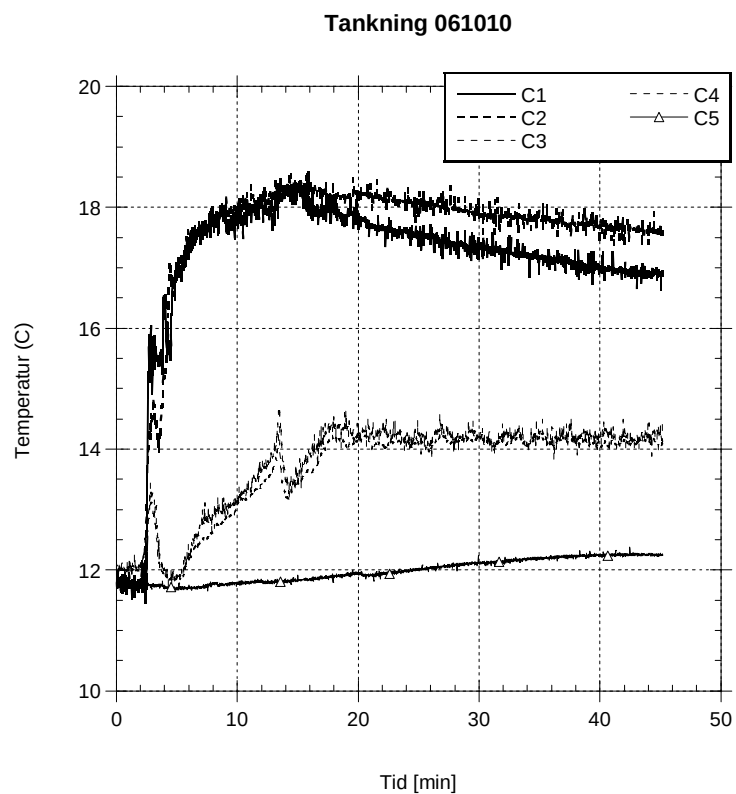




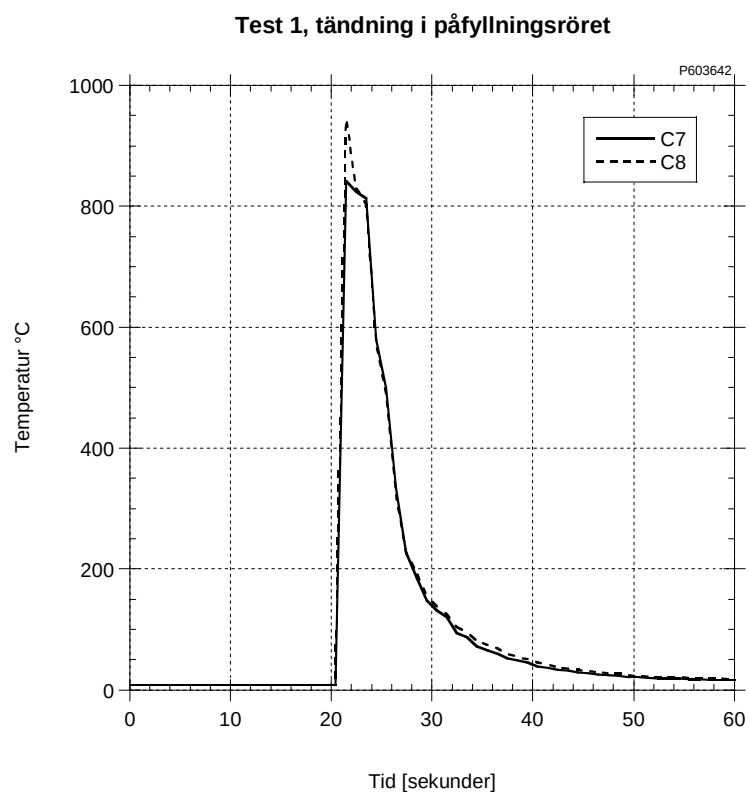
*Foto 13 P/V-ventil på avluftsledning efter försöken. Regnskyddet blåste av vid antändningsförsöket.*



*Foto 14 Inne i cisternen efter upptagning ur mark (07-05-07). Endast lite fukt av bränsle återstod på cisternbotten.*

**Resultatdiagram**


*Diagram 1 Uppmätt temperatur vid fyllningen av cisternen*



*Diagram 2 Temperatur i påfyllningsröret vid antändningssekvens T1*



Bilaga 3

**Test 10 - 11, tändning i påfyllningsröret**

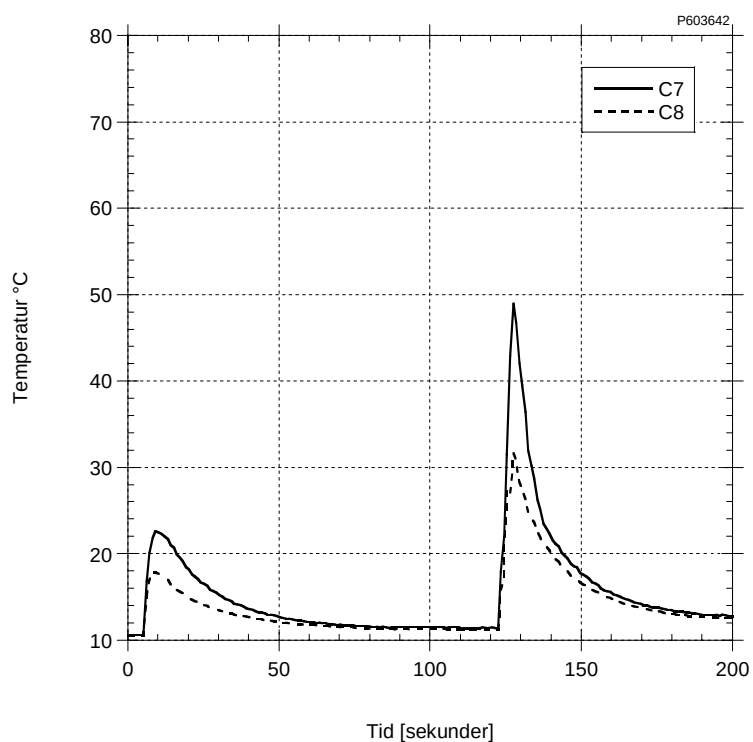
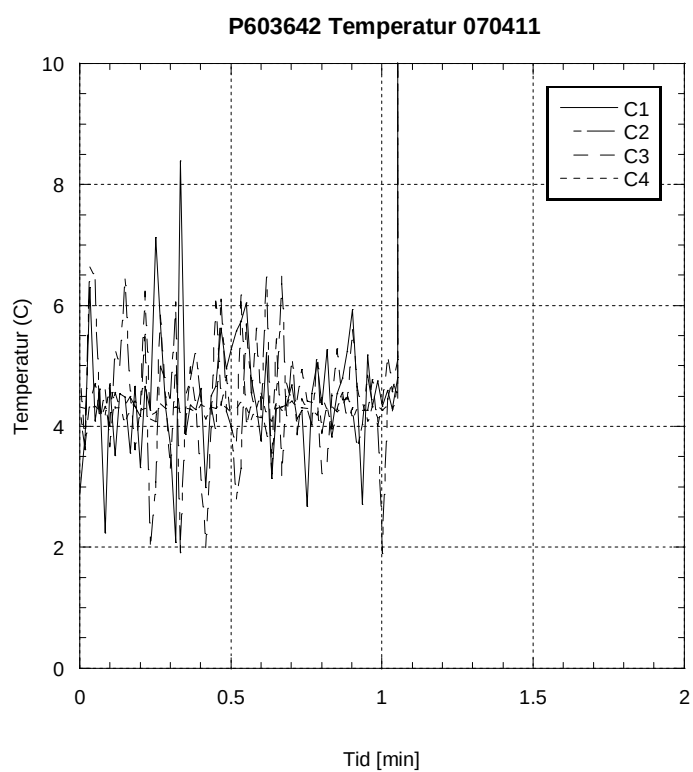
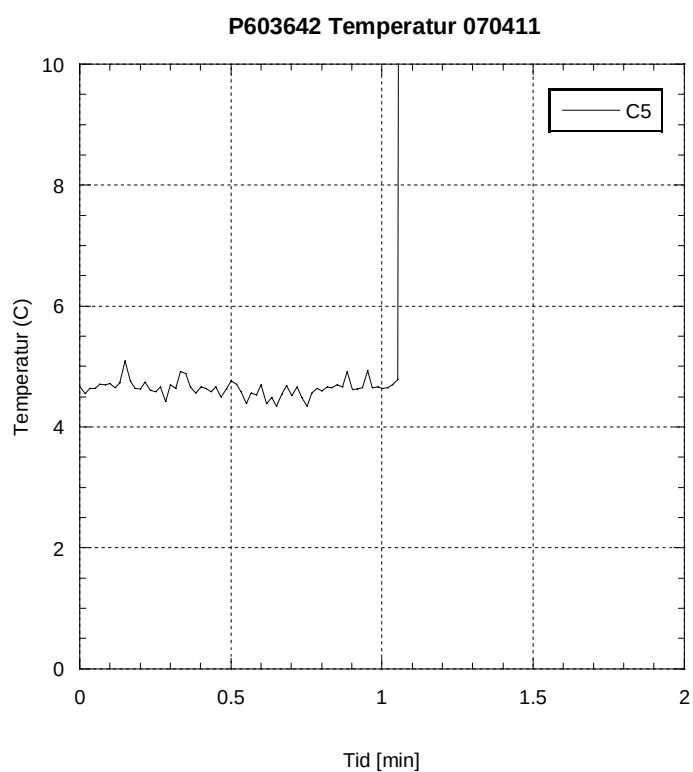


Diagram 3 Temperatur i påfyllningsröret vid antändningssekvens T10-T11

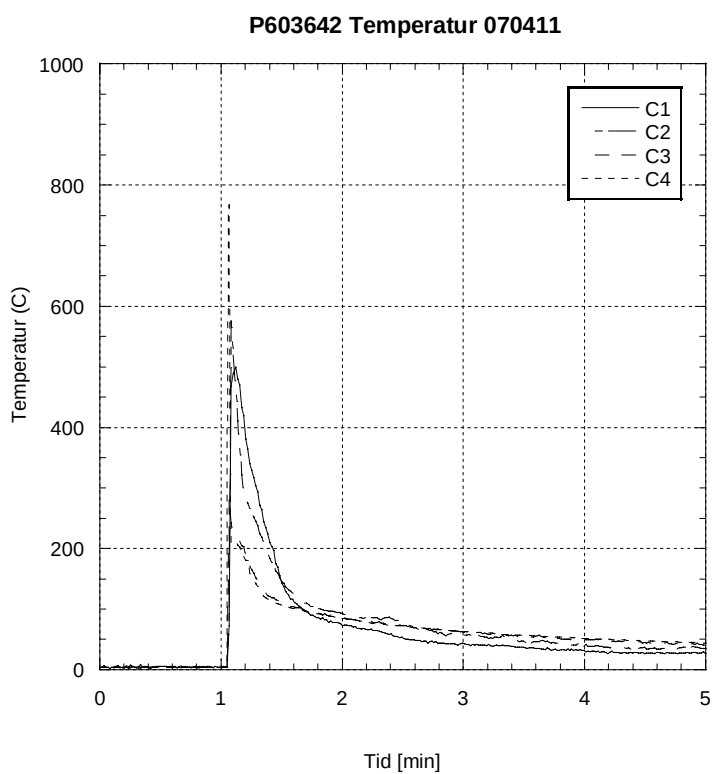
**Resultatdiagram från försöksserie 2, 2007-04-11**


*Diagram 4 Lufttemperaturer i cisternen fram till antändning*

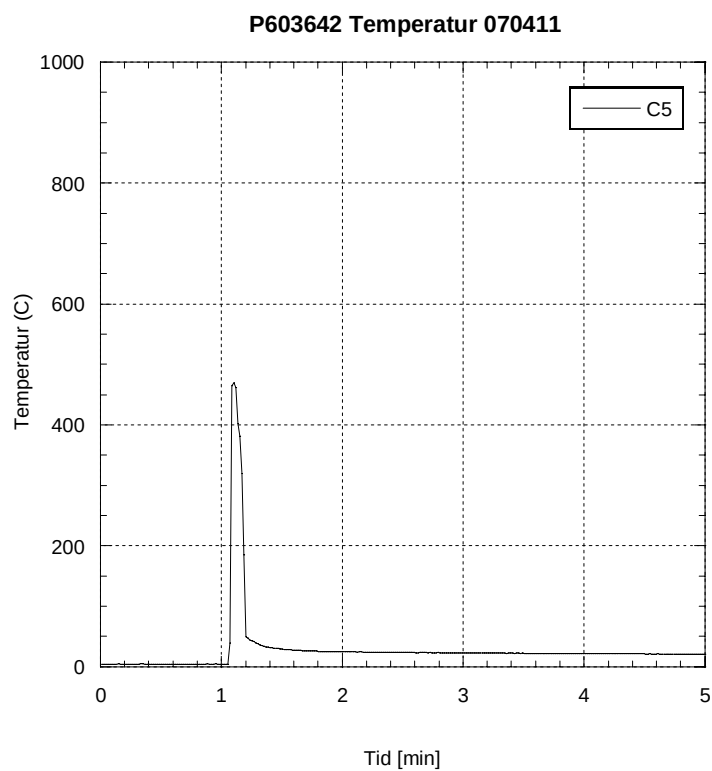


*Diagram 5 Vägtemperaturer i cisternen fram till antändning*

## Bilaga 3

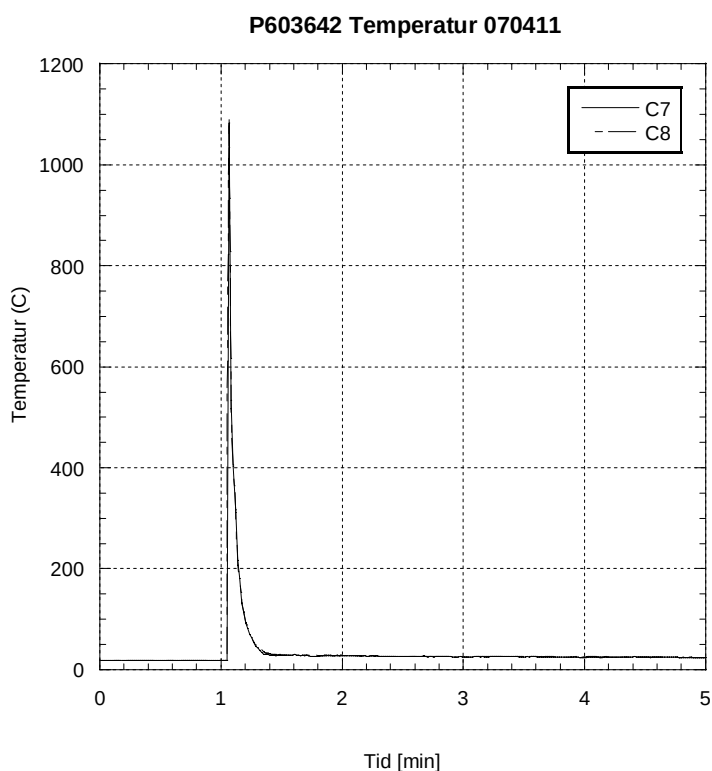


*Diagram 6 Lufttemperaturer i cisternen efter antändning*

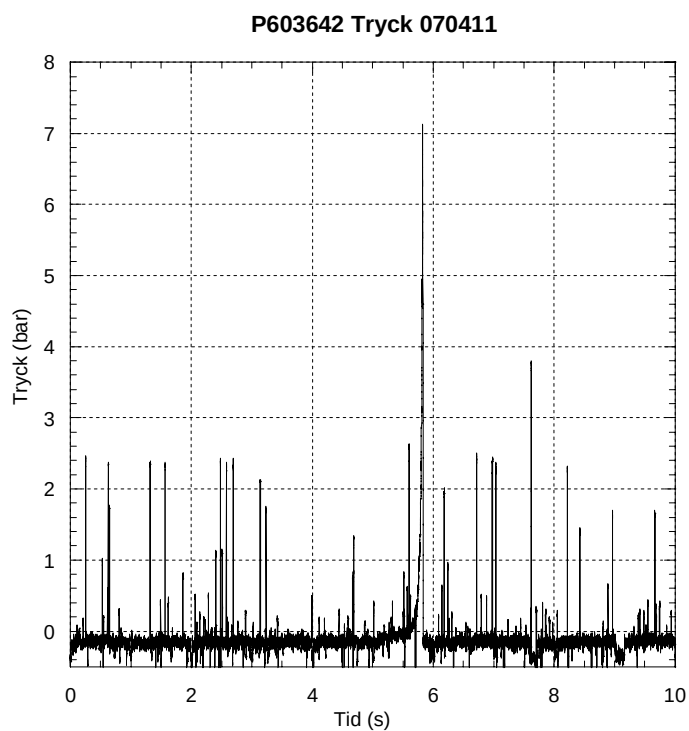


*Diagram 7 Vägtemperaturer i cisternen efter antändning*

## Bilaga 3



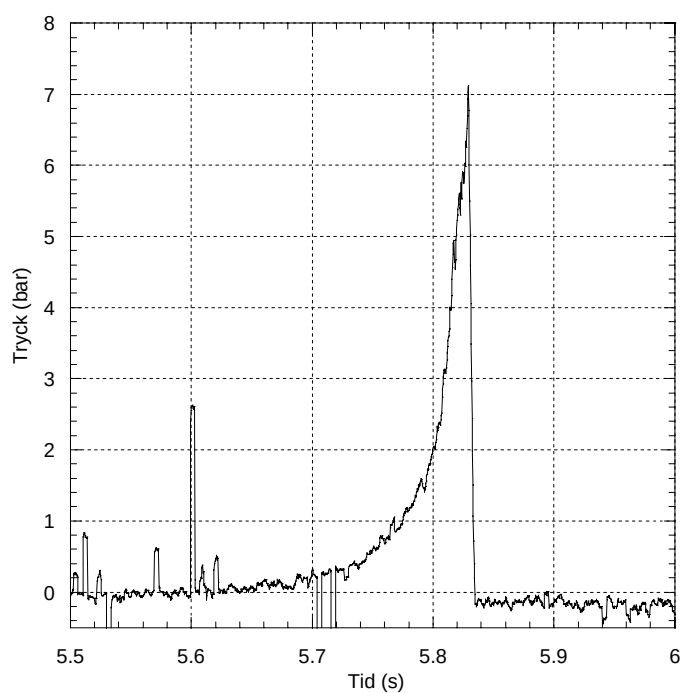
*Diagram 8 Lufttemperatur i påfyllningsröret efter antändning*



*Diagram 9 Uppmätt tryck i cisternen vid antändning. (Tryckkurvan är filtrerad genom en löpande medelvärdesbildning över 10 mätvärden)*



## Bilaga 3

**P603642 Tryck 070411**


*Diagram 10 Detalj av tryckkurva för tidsintervallet 5,5 till 6 sekunder vid antändningsförsöket. Gnistan aktiveras sannolikt vid 5,6 sekunder vilket innebär en tryckstegringstid till ca 7 bar på ca 0,2 sekunder. (Tryckkurvan är filtrerad genom en löpande medelvärdesbildning över 10 mätvärden)*