



LUND UNIVERSITY

Brandprovning av gasolflaskor Med respektive utan tryckavlastning Svensson, Stefan; Madsen, Dan

2016

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Svensson, S., & Madsen, D. (2016). *Brandprovning av gasolflaskor: Med respektive utan tryckavlastning.* (Institutionsrapporter). Division of Fire Safety Engineering.

Total number of authors:
2

Creative Commons License:
Ospecificerad

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Brandprovning av gasolflaskor, med respektive utan tryckavlastning

Stefan Svensson
Dan Madsen

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Fire Safety Engineering
Lund University
Sweden

Rapport 3201, Lund 2016

Arbetet har finansierats av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandprovning av gasolflaskor, med respektive utan
tryckavlastning

Stefan Svensson
Dan Madsen

Lund 2016

Brandprovning av gasolflaskor, med respektive utan tryckavlastning

Stefan Svensson
Dan Madsen

Report 3201
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB--3201--SE

Number of pages: 50
Illustrations: Stefan Svensson, Dan Madsen

Keywords

Propane bottle, LPG, testing, explosion

Sökord

Propanflaska, propan, försök, explosion

Abstract

The purpose of this work was to experimentally examine the importance of safety devices (pressure valve and melting fuse) on propane bottles for consumer use (5 – 6 kg propane). The bottles tested included construction types based on composite (PK5, two different types), aluminum (PA6), and steel (P6). Bottles were tested with and without safety devices. The tests were made as a comparative study. Bottles were exposed to a pool fire with a rate of heat release of approximately 420 kW, resulting in a temperature of approximately 800 - 1000°C and a heat flux of approximately 50 kW/m² towards bottom and leeward side of each bottle. The results suggest that propane bottles for consumer use (5 – 6 kg) should be equipped with safety devices (pressure valve or melting fuse). Also, recommendations concerning location as well as anchoring bottles should be considered. Proposals for future work include studies on the function of safety devices for bottles laying on its side or upside down, reaction forces during depressurization and the risk of bottle overturn. Furthermore, a model for calculating/estimating the activation of safety devices should be developed. Such work requires more tests, in order to retrieve more data as a basis for calculation and model evaluation.

© Copyright: Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 2016.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Sammanfattning

Syftet med studien som beskrivs i denna rapport var att undersöka betydelsen av tryckavlastande anordning, i form av säkerhetsventil eller smältsäkring, på gasflaskor med gasol när de utsätts för brand. Vid försöken provades flaskor för konsumentbruk av kompositmaterial (PK5, två olika typer), aluminium (PA6) samt stål (P6). Samtliga flaskor provades såväl med som utan säkerhetsventil/smältsäkring. Försöken genomfördes som en jämförande studie.

Under försöken placerades respektive flaska på en ställning ovanför en pölbrand med effektutveckling cirka 420 kW. Samtliga försök videofilmades samt att temperatur mättes kontinuerligt, på flaskans botten, på flaskans sida, på flaskans översida samt på flaskventilen. Även två plattermoelement monterades vid respektive flaskas botten.

Den temperatur flaskan har utsatts för tycks vid samtliga försök ha varit i storleksordningen 800 – 1000°C mot flaskans botten, och strålningen var i storleksordningen cirka 50 kW/m² mot botten och brandutsatt sida.

Resultaten från försöken tyder på att gasolflaskor för konsumentbruk bör vara försedda med tryckavlastande anordning. Man bör även överväga rekommendationer kring såväl placering som förankring av flaskor.

Förslag till fortsatt arbete omfattar bland annat studier kring funktionen hos tryckavlastande anordning för flaskor som ligger ner samt reaktionskrafter vid tryckavlastning och risken för att flaska välter.

Dessutom bör en enklare modell för beräkning av tid till aktivering av tryckavlastande anordning samt tid till flaskbrott tas fram. Ett sådant arbete kräver dock fler försök, för mer data som underlag för beräkning och modellutvärdering.

Summary (English summary)

The purpose of the work as described in this report was to experimentally examine the importance of safety devices (pressure valve and melting fuse) on propane bottles for consumer use (5 – 6 kg propane). The bottles tested included construction types based on composite (PK5, two different types), aluminum (PA6) and steel (P6). Bottles were tested with and without safety devices. The tests were made as a comparative study.

During the experiments a bottle was put on a steel structure on top of a pool fire with a rate of heat release of approximately 420 kW. The experiments were documented using video as well as temperature measurements, at the bottom, the side, on top of the bottle and on the cylinder valve. Also, two plate thermocouples were mounted close to the bottom of the bottle.

Each bottle was exposed to a temperature of approximately 800 - 1000°C on the bottom and the leeward side of the bottle, and the heat flux was in the order of approximately 50 kW / m² towards bottom and leeward side of each bottle.

The results from the experiments suggest that propane bottles for consumer use (5 – 6 kg) should be equipped with safety devices (pressure valve or melting fuse). Also, recommendations concerning location as well as anchoring bottles should be considered.

Proposals for future work includes studies on the function of safety devices for bottles laying on its side or upside down, reaction forces during depressurization and the risk of bottle overturn.

Furthermore, a model for calculating/estimating the activation of safety devices should be developed. Such work requires more tests, in order to retrieve more data as a basis for calculation and model evaluation.

Förord

Många hushåll i Sverige har idag gasflaskor med gasol för användning i t.ex. husvagn, husbil eller för drift av exempelvis grill eller kamin. Trycket i en gasflaska med gasol är ca 7 bar vid normal temperatur, dvs. vätskans ångtryck, eftersom gasol är i vätskefas då den lagras eller transporteras i flaskor för konsumentbruk. Om temperaturen stiger ökar trycket snabbt och redan vid relativt måttliga temperaturer kan det finnas risk för att gasflaskan exploderar. Det är därför svensk branschpraxis att förse gasflaskor för gasol med säkerhetsventil, och ibland även med smältsäkring, i syfte att tryckavlasta gasflaskan vid ett eventuellt för högt tryck.

Godkännandekrav, bestämmelser för transport och användning av gasflaskor för gasol är idag till stora delar harmoniserade genom internationella regelverk inom FN och EU. De internationella regelverken saknar dock krav på tryckavlastning på gasflaskor för gasol.

Syftet med studien var att undersöka betydelsen av säkerhetsventil, och i förekommande fall smältsäkring, på gasflaskor med gasol när de utsätts för brand.

Vid försöken provades flaskor för konsumentbruk av kompositmaterial (PK5, två olika typer), aluminium (PA6) samt stål (P6). Samtliga flaskor provades såväl med som utan säkerhetsventil/smältsäkring. Försöken genomfördes som en jämförande studie.

Vi vill samtidigt passa på att tacka Henrik Wilhelmsson vid Primagaz Sverige AB för hjälp med flaskor och anslutningsventiler, Christer Sandqvist vid MSB för medverkan vid försöken samt inte minst personalen vid P7 för vänligt bemötande och ytterst professionell hjälp. Dessutom uppskattade vi lunchen som serverades båda dagarna (bruna bönor med fläsk respektive ärtsoppa och pannkakor).

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
Summary (English summary).....	2
Förord.....	5
Innehållsförteckning.....	7
Introduktion.....	9
Försöksbeskrivning.....	11
Resultat.....	15
Försök 1.....	15
Visuella observationer.....	15
Mätningar.....	16
Försök 2.....	16
Visuella observationer.....	17
Mätningar.....	17
Försök 3.....	18
Visuella observationer.....	19
Mätningar.....	19
Försök 4.....	19
Visuella observationer.....	20
Mätningar.....	21
Försök 5.....	21
Visuella observationer.....	21
Mätningar.....	22
Försök 6.....	23
Visuella observationer.....	23
Mätningar.....	23
Försök 7.....	23
Visuella observationer.....	24
Mätningar.....	24
Försök 8.....	25
Mätningar.....	26
Sammanställning av resultat.....	27
Beräkningar.....	29
Diskussion.....	33
Slutsatser.....	35

Förslag till fortsatt arbete	37
Referenser.....	39
Bilaga 1: Beräkning och bedömning av skyddsavstånd.....	41
Bilaga 2: Riskbedömning	42
Bilaga 3: Mätdata från samtliga försök	43

Introduktion

Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola har under en period genomfört forskningsuppdrag åt Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) med syfte att bland annat studera hur olika typer av hushållsprodukter innehållande brännbar gas beter sig i samband med brand (MSB d.nr. 2015-5973). Under 2015 genomfördes inom ramarna för detta arbete bland annat ett antal prov med gasolbehållare som är godkända för konsumentbruk i Sverige. Det rörde sig då om propanflaskor av typen PA6 (6 kg gasol i aluminiumflaska) samt PC5 (5 kg gasol i kompositflaska). Provningarna utfördes vid Kabusa skjutfält strax öster om Ystad 2015-10-27.

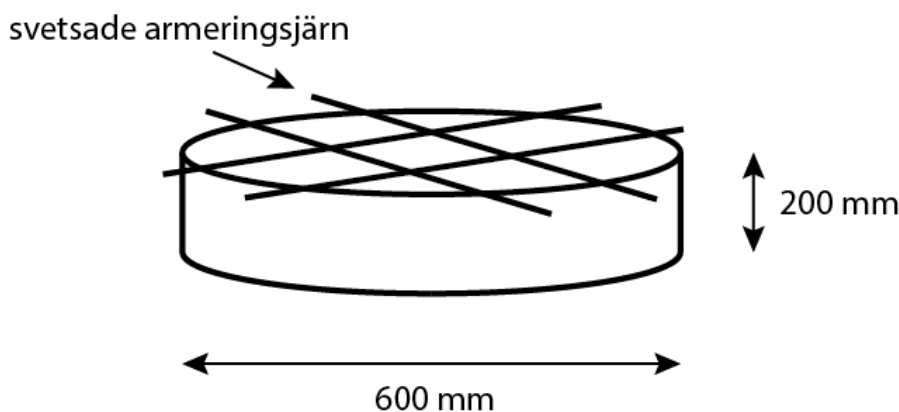
I det uppdrag som beskrivs i denna rapport utfördes provningar med syfte att undersöka betydelsen av säkerhetsventil, och i förekommande fall smältsäkring, på flaskor med gasol när de utsätts för brand. Det finns inga krav på säkerhetsventil/smältsäkring i internationella regelverk. Försöken genomfördes som en jämförande studie och jämförelser med andra försök bör ske med viss försiktighet.

Försöken är angelägna för utveckling av regler och riktlinjer för hantering av brännbara hushållsprodukter, inte minst med tanke på att det inträffat ett antal bränder under senare tid där den här provade typen av gasolflaskor varit inblandade.

Försöksbeskrivning

Försöken genomfördes 2016-10-05—06 vid Försvarmaktens skjutfält i Ravlunda, strax norr om Kivik på Skånes ostkust.

Under försöken placerades respektive flaska på en ställning ovanför ett kärl med invändig diameter 560 mm och höjd cirka 200 mm (se figur 1), tillverkat av ett avsågat plåtfat. Som bränsle används heptan (även benämnt industribensin, vilket främst används som avfettningsmedel) och i varje försök användes cirka 18 liter heptan, vilket fritt brinnande ger en effektutveckling på cirka 420 kW (Madsen, et.al., 2015) under en tid av cirka 21 minuter. Dock, brinntiden vid försöken var snarare i intervallet 7 – 10 minuter, vilket påverkades bland annat av respektive flaskas hölje och dess innehåll samt framförallt vindförhållanden. Då gasol medverkar i förbränningen kan man anta att förbränningshastigheten ökar väsentligt för heptanet. I de fall flaska exploderade finfördelades också heptan samt att det kastades upp i luften och spreds över en större yta, vilket medförde att det brann upp fortare.



Figur 1: Primärbrand (heptanbål) samt ställning för placering av flaskor. Endast ungefärliga mått.

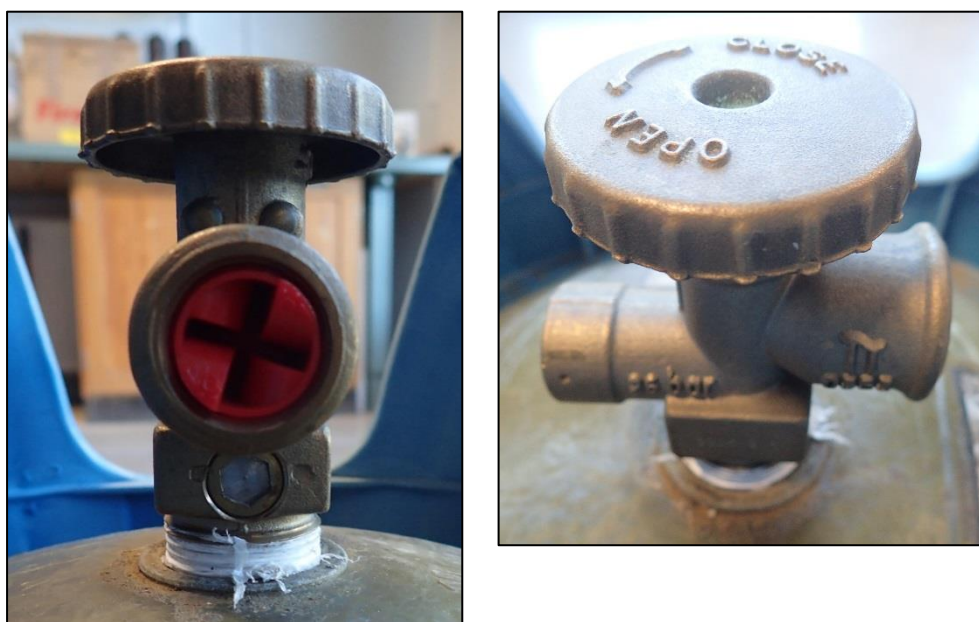
Vid försöken provades åtta (8) flaskor av olika typ eller konfiguration, se tabell 1. Säkerhetsventilen på flaskorna var angivet att utlösa vid 26 bar övertryck i flaskan. För smältsäkringen angavs att den utlöser vid cirka 115 – 130°C. Uppgifter om sprängtryck för flaskorna har angivits som minst 67.5 bar för 11 kg stålflaska (enligt tillverkningsstandard EN1442) men i realiteten troligen närmare 100 bar, för komposit typ Ragasco cirka 160 bar (Wilhemsson, personlig kommunikation, hösten 2016).

Samtliga försök videofilmades från flera håll och avstånd samt att temperatur på respektive flaska mättes kontinuerligt med termoelement typ K. Termoelement var monterade på flaskans botten (undersida), på flaskans sida (på vindsidan), på flaskans översida samt på flaskventilen. Syftet med termoelementen var att få en uppfattning om flaskans temperatur under försöken och att jämföra detta med visuella observationer.

Tabell 1: Sammanställning över provade flaskor.

Försök	Material i flaska	Typ	Totalvikt [kg] (vägt)	Tomvikt [kg] (angivet)	Volym [l] (angivet)	Mängd gasol [kg]	Säkerhetsventil	Smältsäkring
1	Helspunnen komposit	PK5, Ragasco	8,7	3,4	12,2	5,3	Ja	Nej
2	Tvådelat ytterhölje av komposit med limförband	PK5, Composite Scandinavia	10,5	5,4	14,3	5,1	Ja	Ja
3	Aluminium	PA6	11,1	5,2	14,3	5,9	Ja	Ja
4	Stål	P6	15,4	9,5	14,3	5,9	Ja	Nej
5	Helspunnen komposit	PK5, Ragasco	9,7	4,6	12,2	5,8	Nej	Nej
6	Tvådelat ytterhölje av komposit med limförband	PK5, Composite Scandinavia	10,4	5,4	14,3	5	Nej	Nej
7	Aluminium	PA6	11,1	5,5	14,3	5,6	Nej	Nej
8	Stål	P6	15,7	9,9	14,3	5,8	Nej	Nej

I försök 1 – 4 användes även två (2) stycken plattermoelement som monterades på ställningen vid respektive flaskas botten riktade nedåt mot bålet, på ömse sidor om respektive flaska. Syftet med plattermoelementen var att få underlag till beräkningar av bland annat den värme flaskorna utsattes för. Det bör noteras att flera termoelement vid flera av försöken troligen inte satt kvar på respektive flaska under hela förloppet, på grund av den valda monteringsmetoden, den kraftiga värme flaskorna utsattes för samt hur flaskorna och deras respektive innehåll betedde sig under försöken. Detta kan dock inte sägas ha påverkat varken resultaten eller slutsatserna i någon större utsträckning. Se även figur 4.



Figur 2: Flaska med smältsäkring (bild till vänster, grå "cirkel" under röd transportsäkring) och säkerhetsventil (bild till höger, "röret" som sticker ut till vänster). Notera att säkerhetsventilen är märkt "26 bar", vilket anger utlösningstrycket för PA6.

Respektive flaska fixerades vid bålet med hjälp av kätting. Syftet med detta var att undvika att flaskan skulle välta och eventuellt flyga iväg då säkerhetsventil/smältsäkring utlöste. Flaskor som ej var försedda med tryckavlastande anordning fixerades ej, eftersom riskerna för kringflygande delar vid eventuell explosion ansågs som hög.

Antändning skedde med fjärrutlösning (radio) från cirka 50 m, varefter personalen skyndsamt förflyttade sig till cirka 250 m från bålet. Ett område om cirka 300 m var avlyst för annan verksamhet (annan övningsverksamhet pågick samtidigt på Ravlunda skjutfält). Se bilaga 1 för beräkning och bedömning av skyddsavstånd. Tillåtna skjutvinklar samt tillåtet område för personalen att föra sig inom angavs av personal från P7.

Försöken observerades även med kikare.



Figur 3: Flaskventil utan varken säkerhetsventil eller smältsäkring. Denna typ var monterad på flaskorna i försök 5 - 8.

Flaska som ej rämnade eller som bedömdes fortfarande kunna innehålla propan då heptanet slocknade, besköts med gevär i kaliber 30-06 (helmantlad ammunition) från cirka 100 m avstånd. Detta skedde endast vid ett tillfälle (försök 5), som en extra säkerhetsåtgärd. Skjutning av flaska påverkade inte försökens resultat.

Under försöken rådde en kraftig nordostlig vind med cirka 10 – 12 m/s. Den första försöksdagen var det molnfritt medan det var mulet den andra dagen. Temperaturen båda dagarna var cirka 11°C. Väderförhållanden kan dock betraktas som likvärdiga vid båda dagarna.

Den här typen av försök är också förknippat med ett antal risker. Bilaga 2 redogör för dessa risker samt de åtgärder som vidtogs för att förebygga eller minimera riskerna. Observera att personal vid Brandteknik har god vana vid försök med brännbara ämnen i såväl laboratoriemiljö som i fält.



Figur 4: Försöksupställning med fat, termoelement, plattermoelement, flaska samt förankring (kätting och jordspett). Utloppsventil vinklades i respektive försök för bästa visuella resultat.

Resultat

Såväl visuella observationer under försöken samt flaskornas utseende efter branden (förutom i de fall då flaska exploderade och spreds i mindre delar) tyder på att flaskorna har varit utsatt för flammor på cirka halva den omslutande ytan, som en följd av vindens påverkan. Det har således främst varit respektive flaskas botten samt läsida som varit flamutsatt. I de fall säkerhetsventil/smältsäkring utlöste medförde detta att flaskan då troligen utsattes för ytterligare värmepåverkan som en följd av den jetflamma som uppstod. I samband med detta bör temperaturen på själva ventilen också sjunka till följd av förångningen av den utströmmande gasolen.

Den temperatur flaskan har utsatts för tycks vid samtliga försök ha varit i storleksordningen 800 – 1000°C mot flaskans botten (se nedan, samt bilaga 3).

De visuella observationer som är angivna nedan är sammanställningar och sammanvägningar från observationer på plats samt observationer utifrån videomaterialet.

Försök 1

Vid försök 1 provades en kompositflaska av tillverkaren Ragasco, vilken är en helspunnen flaska dvs. att flaskan är tillverkad i ett stycke. Flaskan var försedd med säkerhetsventil.



Figur 5: Flaska av komposit, modell Ragasco med säkerhetsventil.

Visuella observationer

Vid 3 min 30 sek efter antändning tycktes flaskan läcka gasol från ventil/ventilinfästning, eftersom väsande ljud kunde höras. Vid 5 min 48 sek strömmar gasol ut från behållarens nedre del, troligtvis från konstruktionshål i botten. Detta noterades framförallt som en ökning i effektutvecklingen och var svårt att på observationsavstånd urskilja från primärbranden (bålet). När såväl gasolen som primärbranden (heptan) hade brunnit ut, återstod främst brand i rester av plasten från flaskan.

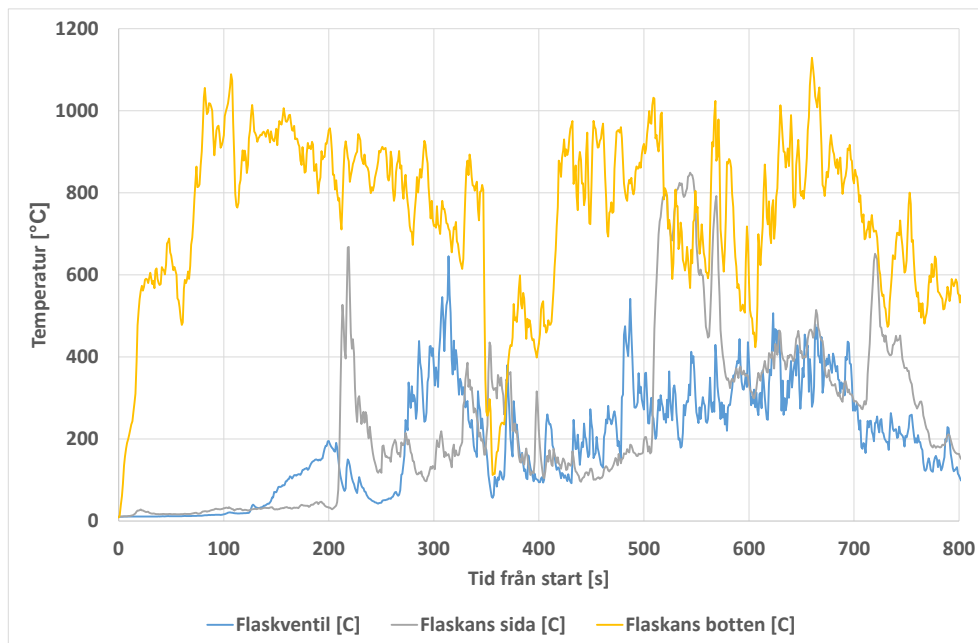
Efter försöket visade sig ventilinfästningen på flaskans topp vara lös samt att ett konstruktionshål i botten var öppet.

Mätningar

Mätningarna tyder på att flaskans botten utsattes för en relativt hög temperatur på cirka 800 - 1000°C. Temperaturmätningar på flaskans sida och övre del är mer tvetydiga. Men strax efter tiden 210 sekunder, då det tycktes läcka gasol som brann från ventil/ventilinfästning, syns en ökning av temperaturen. Motsvarande sker strax efter tiden 348 sekunder, då gasol troligen strömmade ut från ett konstruktionshål i flaskans botten. Eventuellt syns en kylande effekt till följd av den utströmmande gasolen ungefär i intervallet 350 - 420 sekunder efter antändning.

Generellt kan sägas att temperaturmätningarna tyder på att gasol strömmar ut genom flaskans skal, allteftersom skalet försvagas och brinner upp. Samtidigt är det svårt att avgöra om termoelementen satt kvar under hela förloppet, men de bör ändå ha varit mer eller mindre flamutsatta.

Mätningen på flaskans sida, på vindsidan, tyder på att flaskan har varit utsatt för en tämligen stor kylning till följd av den kraftiga vinden.



Figur 6: Temperaturmätningar på flaskan.

Försök 2

Vid försök 2 provades en kompositflaska av tillverkaren Composite Scandinavia. Flaskan är tillverkad i två delar, en övre del med anslutningsventil samt en bottendel. De båda delarna är därefter sammanfogade med ett limförband. Flaskan var försedd med säkerhetsventil och smältsäkring.



Figur 7: Flaska av komposit, modell Composite Scandinavia med säkerhetsventil och smältsäkring.

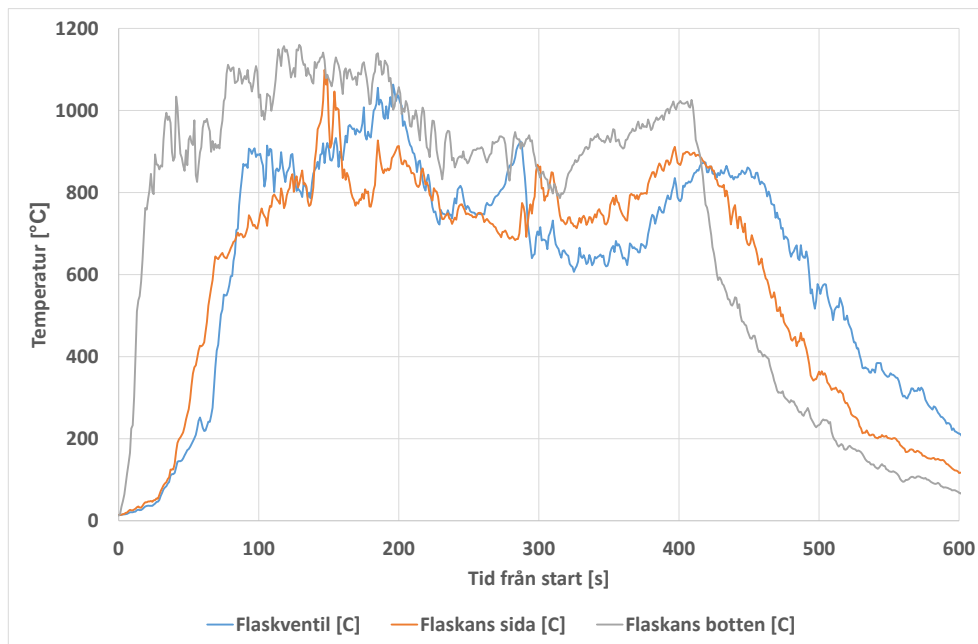
Visuella observationer

Cirka 54 sekunder efter användning kunde ett väsende ljud höras och smältsäkringen aktiverades efter 57 sekunder. Därvid uppstod en mindre jetflamma. Flamman från aktiverad smältsäkring kvarstod under cirka 3 minuter. När såväl gasolen som primärbranden (heptan) hade brunnit ut, återstod främst brand i rester av plasten från flaskan.

Mätningar

Även mätningarna i försök 2 visar på att flaskans botten utsattes för relativt höga temperaturer i intervallet 800 – 1100°C. Även flaskans sida och flaskventil har varit utsatt för temperaturer i motsvarande storlek. Skillnaden mellan försök 1 och försök 2 beror troligen mer på monteringen av termoelement, än på faktiska skillnader i temperatur. Men det kan också bero på att flaskans smältsäkring utlöste redan efter cirka 57 sekunder och att detta då har ökat temperaturen kring och på flaskan. Konsekvensen av detta torde vara att utströmningen av gasol blir relativt hög, eftersom trycket i flaskan upprätthålls, eller rent av ökar, trots utlöst smältsäkring. Ökad effektutveckling från flaskans jetflamma torde även öka förbränningshastigheten av heptan (mer strålning, högre temperatur, mm.).

Mätningen på flaskans sida, på vindsidan, tyder på att flaskan har varit utsatt för en tämligen stor kylning till följd av den kraftiga vinden.



Figur 8: Temperurmätningar på flaskan.

Försök 3

Vid försök 3 provades en aluminiumflaska försedd med säkerhetsventil och smältsäkring.



Figur 9: Flaska av aluminium med säkerhetsventil och smältsäkring.

Visuella observationer

Säkerhetsventilen öppnade stötvis från 1 min 27 sek efter antändning ungefär varannan sekund. Efter 1 min 42 sek öppnar säkerhetsventilen stötvis varje sekund till 2 min 2 sek då säkerhetsventilen öppnar kontinuerligt under cirka 15 sekunder varefter smältsäkringen aktiveras vid 2 min 17 sek.

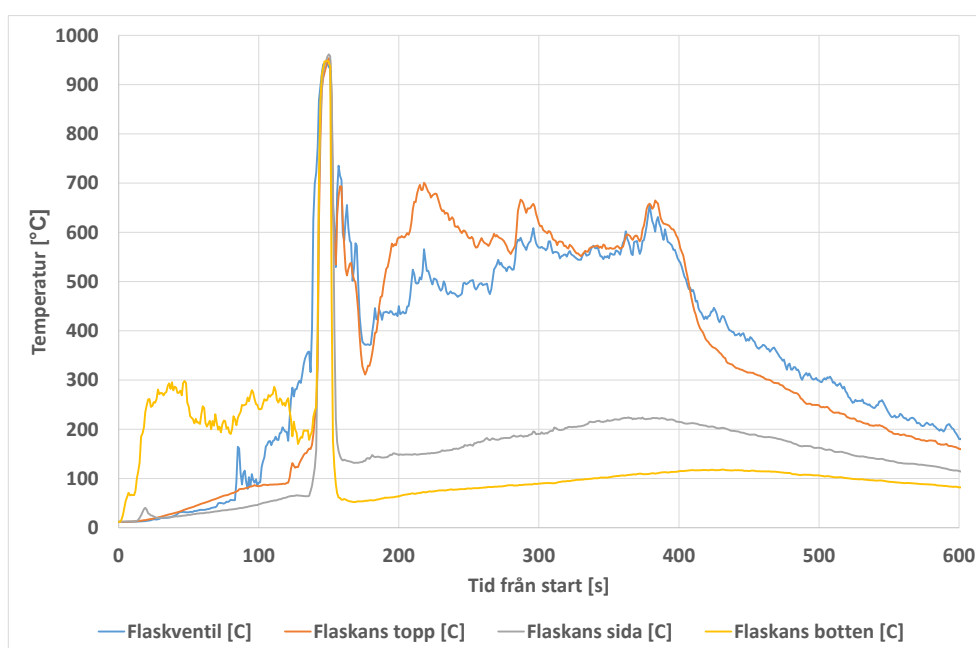
Det tog knappt 7 minuter för behållaren att tömmas på sitt innehåll.

Flaskan var förankrad med kedja och tre jordspett vilket var tillräckligt för att behållaren inte skulle välta då säkerhetsventilen avlastade. Då smältsäkringen utlöste blev krafterna så stora från behållarens topp att fatet med brännbar vätska sköts iväg någon meter. Flaskan hamnade på marken med öppningen för smältsäkringen nedåt, vilket gav upphov till en tydlig grop i marken.

Mätningar

Vid mätningen av försök 3 har termoelementen troligen lossnat relativt tidigt, vilket kan bero på att säkerhetsventilen har öppnat stötvis. Termoelementen har helt enkelt skakat loss. Då smältsäkringen utlöste efter cirka 137 sekunder välte flaskan och knuffade iväg bålet, vilket troligen också påverkat temperaturmätningarna.

Mätningen på flaskans sida, på vindsidan, tyder på att flaskan har varit utsatt för en tämligen stor kylning till följd av den kraftiga vinden.



Figur 10: Temperaturmätningar på flaskan.

Försök 4

Vid försök 4 provades en stålflaska försedd med säkerhetsventil.



Figur 11: Flaska av stål, med säkerhetsventil.

Visuella observationer

Efter antändning öppnade säkerhetsventilen stötvis efter cirka 1 min 35 sek. Därefter öppnade säkerhetsventilen enligt tabell 2.

Tabell 2: Öppentider för säkerhetsventil i försök 3.

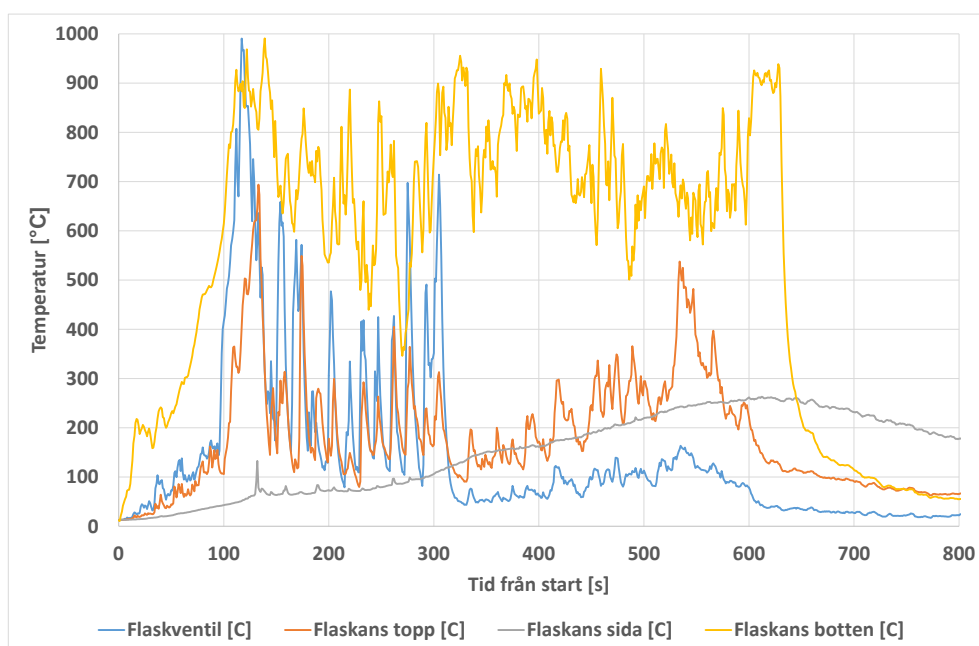
Tidpunkt	Öppentid
2 min 11 sek	6 sek
2 min 23 sek	1 sek
2 min 35 sek	2 sek
2 min 50 sek	3 sek
3 min 06 sek	2 sek
3 min 21 sek	3 sek
3 min 36 sek	3 sek
3 min 49 sek	3 sek
4 min 03 sek	3 sek
4 min 19 sek	2 sek
4 min 34 sek	2 sek
4 min 51 sek	90 sek, svagt öppen

Det var kraftiga reaktionskrafter då säkerhetsventilen öppnade och flaskan hade troligen vält om den inte varit fastkedjad. Säkerhetsventilen avlastade i regelbundna sekvenser till dess att trycket inte översteg säkerhetsventilens öppningstryck. Efter försöket, då branden hade slocknat, kunde en tydlig doft av propan kännas från flaskan. Troligen har flaskventilen skadats av branden, så att inte riktigt all gasol läckt ut under brandförloppet. Doften avtog dock snabbt, efterhand som den allra sista gasolen förångades. Det bör också noteras att det luktämne som är tillsatt gasolen är mycket kraftigt och det är tillräckligt med endast en mindre mängd gasol för att en kraftig doft ska kännas.

Mätningar

Återigen visar temperaturmätningar på flaskans botten att den varit utsatt för relativt höga temperaturer, i intervallet 700 – 900°C. Mätningen på såväl flaskventilen som på flaskans topp tycks visa hur säkerhetsventilen utlöst och stängt i sekundlånga intervall (se tabell 2), där det första intervallet är längst (förutom den sista, där ventilen troligen stannat i öppet läge).

Mätningen på flaskans sida, på vindsidan, tyder på att flaskan har varit utsatt för en tämligen stor kylning till följd av den kraftiga vinden.



Figur 12: Temperaturmätningar på flaskan.

Försök 5

Vid försök 5 provades en kompositflaska av typ Ragasco, vilken är en helspunnen flaska dvs. att flaskan är tillverkad i ett stycke. Flaskan var inte försedd med varken säkerhetsventil eller smältsäkring.

Visuella observationer

Efter antändning intensifierades branden långsamt, troligen på grund av plast samt läckande gasol. Efter cirka 3 minuter hörs ett väsende ljud från läckage i behållaren. Det syntes inga reaktionskrafter på behållaren, den står stilla under hela brandförloppet även då behållaren tryckavlastar genom allmänt läckage genom skalet. När primärbranden (heptan) hade brunnit ut, återstod främst brand i rester av plasten från flaskan. Flaskan exploderade inte. Beslut togs om att beskjuta flaskan innan personal närmade sig.



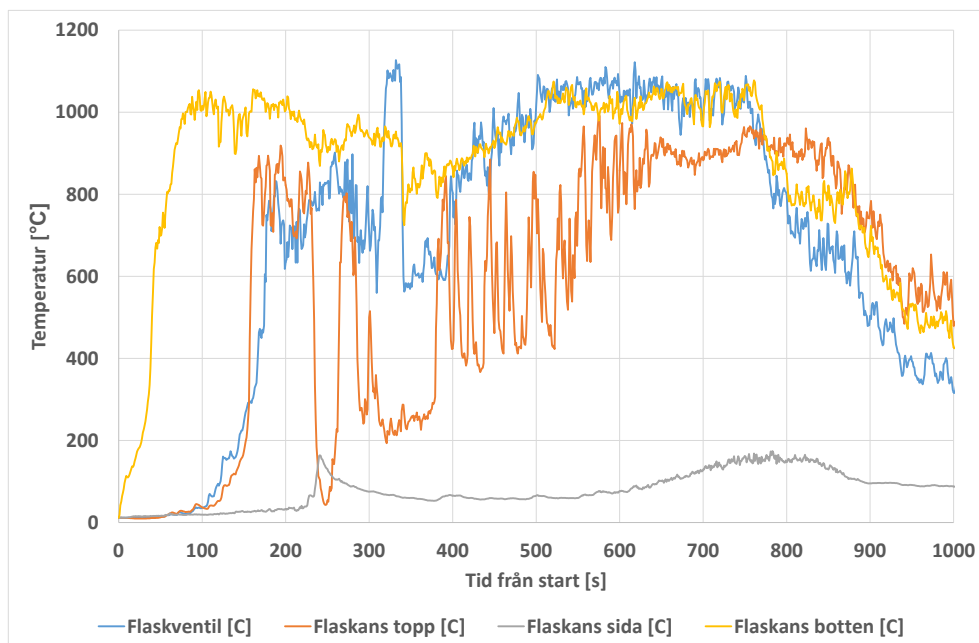
Figur 13: Bild vid cirka 4 minuter från brandstart under en period då brandförloppet visuellt uppfattades som intensivast.

Mätningar

Temperaturen mot flaskans botten har, precis som vid tidigare försök, varit hög, i storleksordningen 800 – 1000°C. Efter 180 sekunder, då ett väsende ljud kunde höras från flaskan, syns också en tydlig ökning av temperaturen på flaskventilen och på flaskans topp. På något sätt har då gasol läckt ut ur flaskan, troligen genom såväl det försvagade skalet som genom flaskventilens infästning. Temperatursänkningen på flaskans topp kan ha berott på kyleffekten av den utströmmande gasolen.

Därefter har flaskan, dess innehåll och heptanbålet brunnit ut odramatiskt.

Mätningen på flaskans sida, på vindsidan, tyder på att flaskan har varit utsatt för en tämligen stor kylning till följd av den kraftiga vinden.



Figur 14: Temperaturmätningar på flaskan.

Försök 6

Vid försök 6 provades en kompositflaska av typen Composite Scandinavia. Flaskan är tillverkad i två delar, en övre del med anslutningsventil samt en bottendel. De båda delarna är därefter sammanfogade. Flaskan var inte försedd med varken säkerhetsventil eller smältsäkring.

Visuella observationer

Efter cirka 2 min 5 sek hörs ett väsande ljud från flaskan och den exploderar efter 2 min 52 sek. Flaskans övre del flög vid explosionen cirka 80 meter rakt upp i luften och landade cirka 70 m från bålet (förvånande nog i princip mot vindriktningen).

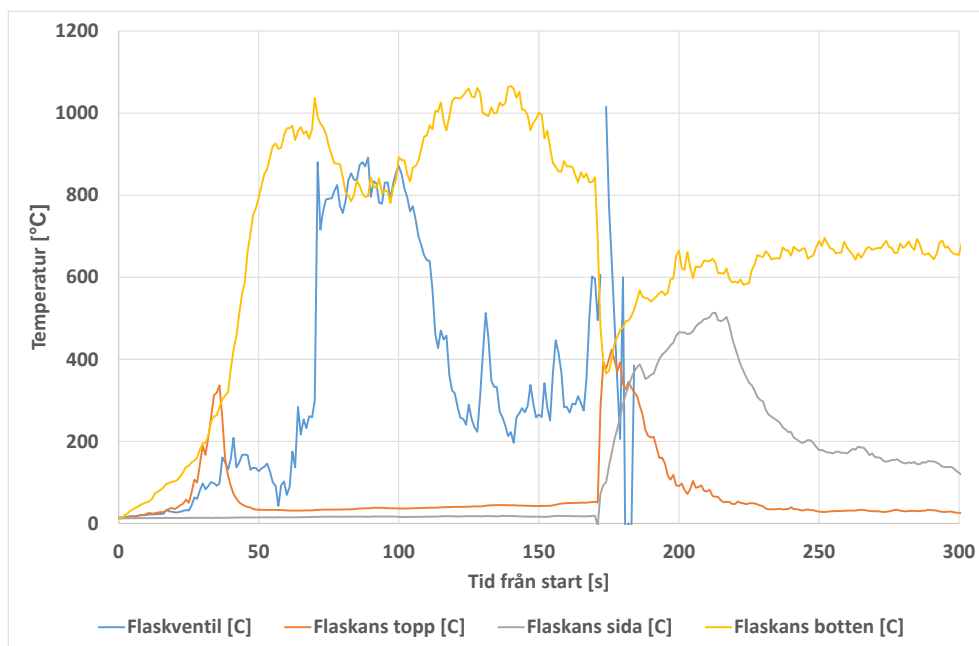
Ljudet från explosionen uppfattades som relativt dovt. Eldklotet uppskattades till cirka 25 m i diameter.

Mätningar

Temperaturen mot flaskans botten har varit hög, i storleksordningen 800 – 1000°C. Temperaturen mot flaskventilen sjunker kraftigt efter ungefär 120 sekunder, i samband med att ett väsande ljud hörs från flaskan. Troligen har flaskventilens infästning delvis släppt och att den utströmmande gasolen har då haft en kylande effekt.

Efter knappt 3 minuter brister flaskans sammanfogning och den övre delen försvinner uppåt. Efter detta kvarstår endast mindre mängder plast och heptan som brinner ut.

Mätningen på flaskans sida, på vindsidan, tyder på att flaskan har varit utsatt för en tämligen stor kylning till följd av den kraftiga vinden.



Figur 15: Temperaturmätningar på flaskan.

Försök 7

Vid försök 7 provades en aluminiumflaska som inte var försedd med varken säkerhetsventil eller smältsäkring.

Visuella observationer

Vid försök 7 exploderade flaskan efter cirka 2 min 57 sek. Flera delar av flaskan flög iväg i en relativt brant vinkel, där delar efteråt hittades upp till cirka 70 m från primärbranden. Bottendelen av flaskan flög iväg och träffade ett stativ till en kamera, i form av en tom jeepdunk vilken blev rejält deformerad. Kameran överlevde dock upplevelsen. Explosionen deformerade även ställningen som flaskan stod på samt rätade ut plåtfatets väggar så att fatet blev platt (se figur 16).

Ljudet från explosionen uppfattades som relativt dovt men med en viss snärt. Eldklotet uppskattades till cirka 40 m i diameter.

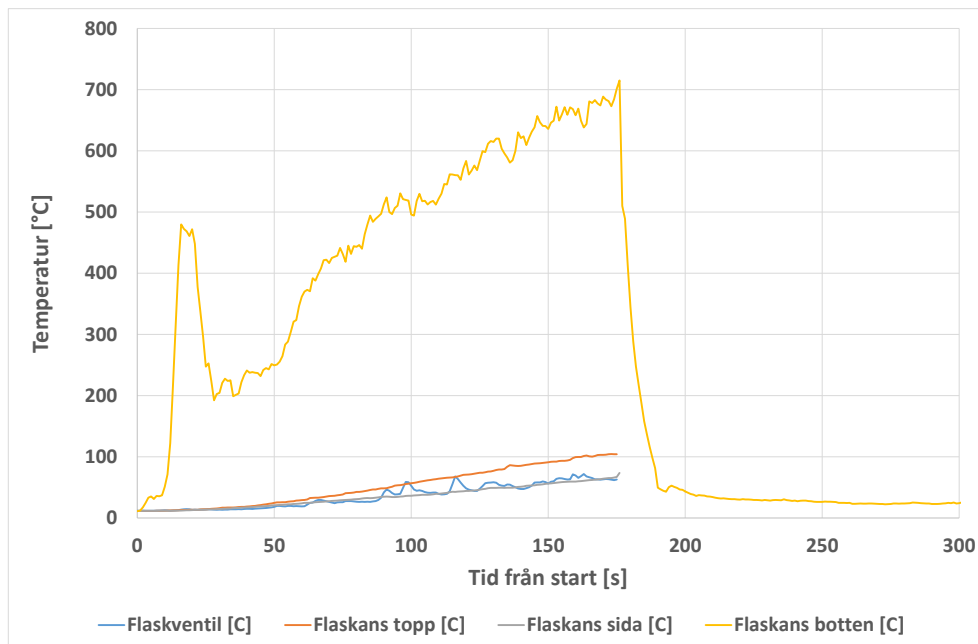
Mätningen på flaskans sida, på vindsidan, tyder på att flaskan har varit utsatt för en tämligen stor kylning till följd av den kraftiga vinden.



Figur 16: Ställning och plåtfat efter explosion av aluminiumflaska.

Mätningar

Mätningarna i försök 7 kan sägas vara något begränsade, eftersom delar av mätutrustningen delvis var påverkad och det fanns svårigheter med återställning. Det enda som egentligen kan sägas, är att mätningen bekräftar flaskbrott och explosion efter knappt 3 minuter.



Figur 17: Temperaturmätningar på flaskan.

Försök 8

Vid försök 8 provades en stålflaska som inte var försedd med varken säkerhetsventil eller smältsäkring.

Visuella observationer

Under försökets första minuter ändrade flaskan form och antog en rundare profil allteftersom trycket ökade i flaskan.

Flaskan i försök 8 exploderade efter cirka 4 min 6 sek. Flera delar av flaskan flög iväg i en relativt brant vinkel, där delar efteråt hittades upp till cirka 70 m från primärbranden, se figur 18. Fatet för primärbranden plattades ut mot marken och stativet var efter explosionen oanvändbart.

Ljudet från explosionen uppfattades som skarpt och med en ljudlig knall. Eldklotet uppskattades till cirka 50 m i diameter.

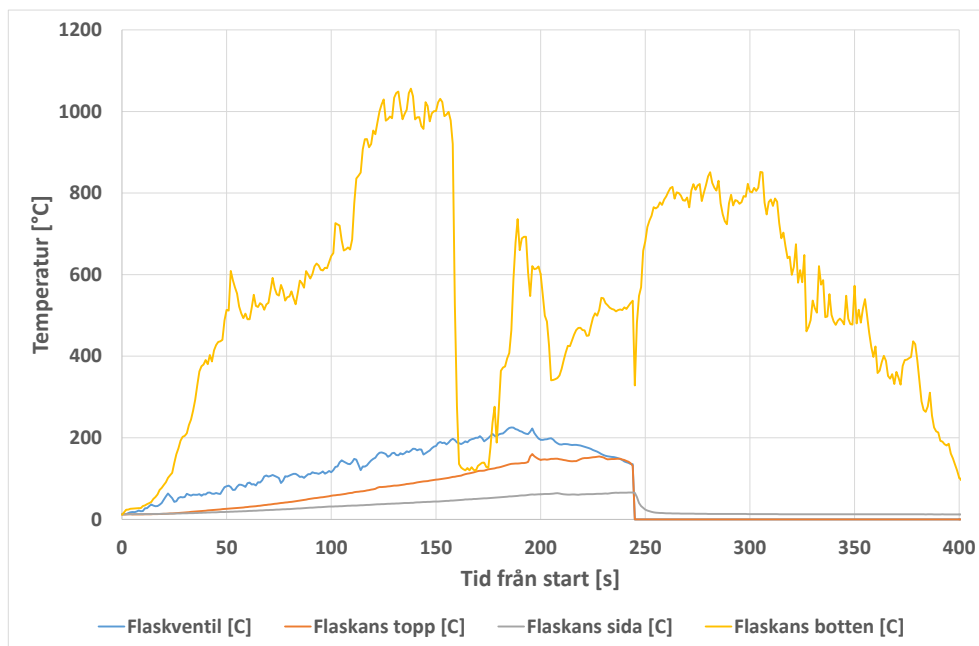


Figur 18: Ihopsamlade delar av stålflaskan.

Mätningar

Även i detta fall har monteringen av termoelement varit tveksam. Dock tyder mätningen, återigen, på att flaskans botten har varit utsatt för temperaturer i storleksordningen 1000°C. Flaskan brister och exploderar vid cirka 240 sekunder, vilket syns tydligt i temperaturmätningen.

Mätningen på flaskans sida, på vindsidan, tyder på att flaskan har varit utsatt för en tämligen stor kylning till följd av den kraftiga vinden.



Figur 19: Temperaturmätningar på flaskan.

Sammanställning av resultat

I tabell 3 nedan finns en sammanställning över den viktigaste mätdata och observationerna.

Tabell 3: Sammanställning över de viktigaste resultaten.

Försök	Läckage [s]	Säkerhetsventil [s]	Smältsäkring [s]	Flaskbrott [s]	Övrigt
1	210				
2	54		57		
3		87	137		
4		131			Öppnar stötvis under nästan 3 minuter
5	180				
6	125			172	
7				173	
8				246	

Beräkningar

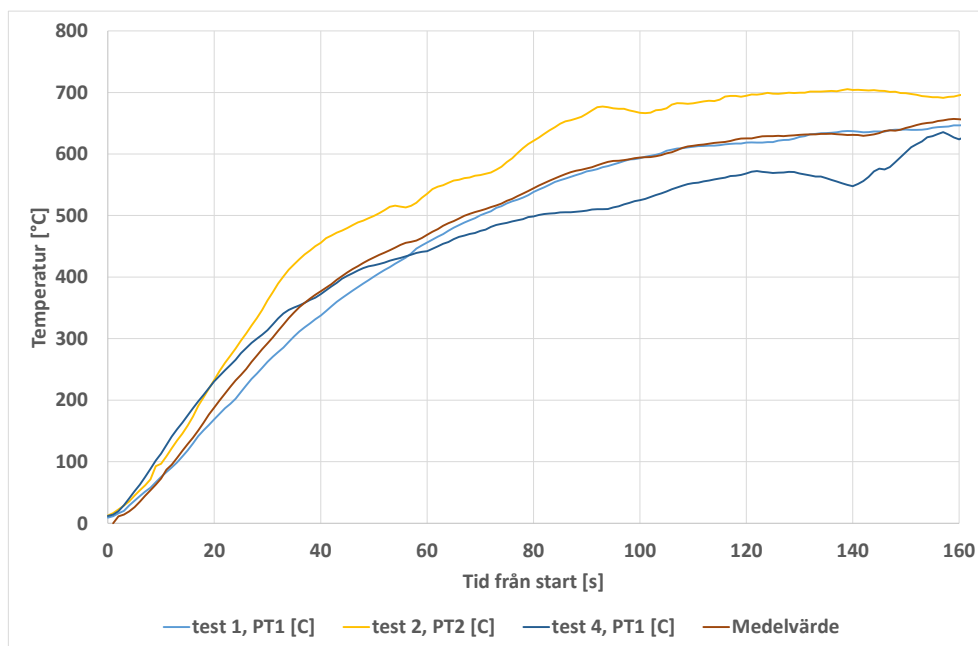
Värme överförs till brandutsatta föremål framförallt genom konvektion och strålning. Den konvektiva värmeöverföringen är beroende på temperaturskillnader mellan den värmeutsatta ytan (föremålet) och den omgivande gasens temperatur samt gasernas hastighet (dvs. med vilken hastighet gaserna strömmar förbi den utsatta ytan). Värmeöverföring genom strålning beror på omgivande flammor, gasers och ytors temperatur och avstånd till ytan (föremålet) (Wickström et.al. 2009).

Förutom vanliga termoelement monterade på flaskan, mättes temperaturen även med så kallade plattermoelement vid flaskornas botten under försök 1 – 4. Den temperatur som uppmäts med hjälp av sådana plattermoelement kan approximativt antas vara den adiabatiska yttemperaturen, AST (Wickström, et.al., 2007). Även den totalt tillförda värmen (total heat flux) kan beräknas utifrån dessa mätningar (Ingason, et.al. 2007).

Plattermoelementen monterades på ömse sidor om respektive flaska i höjd med flaskans botten, riktade nedåt.

Vid mätningarna var det flera plattermoelement som antingen inte fungerade överhuvudtaget, eller som slutade fungera efter endast någon minut. Anledningen till detta var troligen kraftig påverkan från branden, bristfällig montering eller att plattermoelementen var skadade från tidigare försök. Observera att mätningarna med plattermoelement inte utgjorde något huvudsyfte, utan togs med i syfte att kunna göra utökade beräkningar och bedömningar av den värme flaskorna utsattes för.

För beräkningarna användes plattermoelement 1 från försök 1 och 4 samt plattermoelement 2 från försök 2. Resultaten från dessa mätningar visas i figur 20, inklusive medelvärden.



Figur 20: Utvalda mätvärden från plattermoelementen, samt medelvärde av dessa. Observera att temperaturen tycks närma sig cirka 700°C asymptotiskt.

Den infallande strålningen mot plattermoelementen, vilket här antas vara samma som mot respektive flaska, kan beräknas med hjälp av (Häggkvist, et.al., 2012)

$$\dot{q}_{inc} = \frac{\epsilon_{PT}\sigma T_{PT}^4 + (h_{PT} + K_{cond})(T_{PT} - T_{\infty}) + c_{PT}(\Delta T_{PT}/\Delta t)}{\epsilon_{PT}}$$

Ekvation 1

där

\dot{q}_{inc}	infallande strålning	[kW/m ²]
ϵ_{PT}	emissionstal för plattermoelement, 0.9	
σ	Stefan-Boltzmanns konstant, 5.67×10^{-8} W/m ² K ⁴	
T_{PT}	plattermoelementets temperatur	[K]
h_{PT}	värmeövergångstal för plattermoelementet	[W/m ² K]
K_{cond}	korrektionsfaktor, 8 W/m ² K	
T_{∞}	omgivande gastemperatur (här: mätvärden från flaskans botten)	[K]
ρ_{st}	densitet (plattermoelementet)	8100 kg/m ³
c_{PT}	värmekapacitet (plattermoelementet),	4200 J/kgK
δ	tjocklek (plattermoelement),	0.7 mm
Δt	tidssteg	

Värmeövergångstalet ges av

$$h = \sqrt{\frac{k_{st}\rho_{st}c_{st}}{t}} \quad \text{för } t < t_p \quad \text{Ekvation 2}$$

$$h = \frac{k_{st}}{\delta} \quad \text{för } t > t_p$$

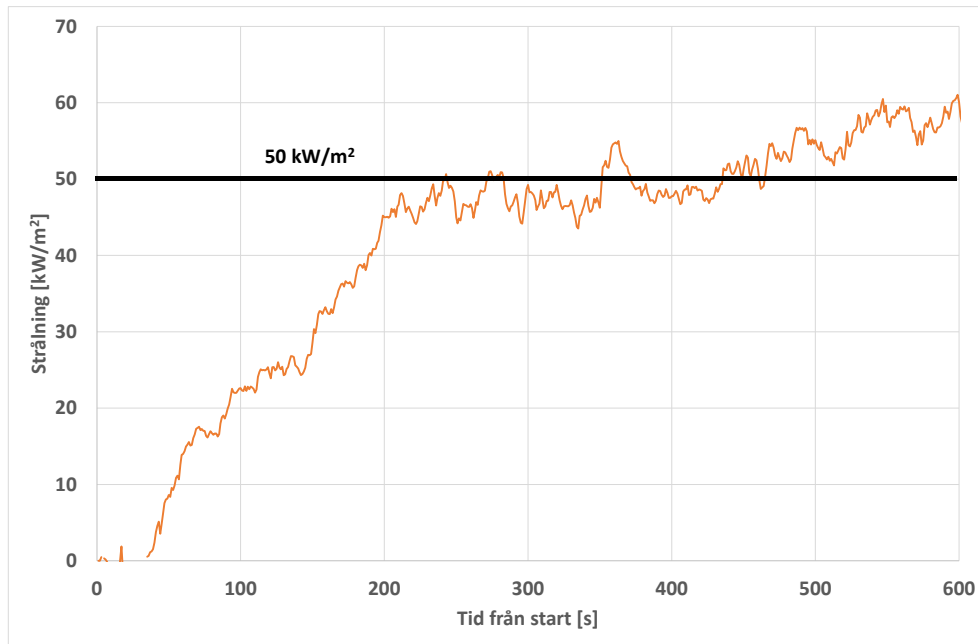
där

$$t_p = \left(\frac{\rho_{st}c_{st}}{k_{st}}\right) \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \quad \text{termisk penetrationstid}$$

$$k_{pt} \quad \text{värmeledningsförmåga, 17 W/mK}$$

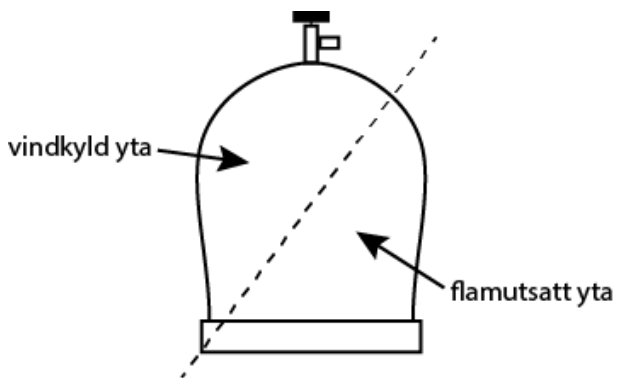
Utifrån mätresultaten från plattermoelementen, figur 20, kan plattermoelementens temperatur antas nära sig cirka 700°C asymptotiskt. Den adiabatiska yttemperaturen (AST) kan därför antas ha varit 700°C.

Ekvation 1 och ekvation 2 ger då en approximativ infallande strålning (total heat flux) mot flaskans flamutsatta sidor enligt figur 21, på cirka 50 kW/m², vilket förefaller vara rimligt utifrån visuella observationer.



Figur 21: Beräknad, approximativ, infallande total strålning mot flaskans flamutsatta sidor. Den flackare delen av kurvan, mellan cirka 200 - 400 s tyder på cirka 50 kW/m².

Baserat på observation under samt även efter försöken kan antas att flaskan är flamutsatt och värms upp på halva dess omslutande yta och kyls av vinden på resterande halva, se figur 21. Trots denna till synes relativt kraftiga avkylning av flaskan, utlöste tryckavlastande anordning alternativt att flaskan sprängdes inom en relativt kort tidsrymd.



Figur 22: Flaskan kan antas ha varit flamutsatt på halva den omslutande ytan och vindkyld på andra halvan. Bild till höger från försök 5.

Utifrån dessa förutsättningar och antaganden borde det vara möjligt att även beräkna förväntad tid till flasksprängning alternativt tid till aktivering av tryckavlastning. Detta har dock inte legat inom ramarna för projektet.

Diskussion

Försöken har utförts på enstaka flaskor och resultatet blir därmed gällande för endast en enskild flaska. För att säkerställa att resultatet blir mer rättvisande för den specifika flaskmodellen bör en större provserie av samma modell utföras.

Vid fältförsök uppstår så gott som alltid problem som är specifika för situationen. Inte minst är man utlämnad åt väder och vind, och med tanke på tidsförhållanden mm medför detta att man ofta måste genomföra försök oavsett väder. I det aktuella fallet var vinden relativt kraftig, men stabil, och den var likartad båda försöksdagarna. Detta medför att de försök som är genomförda inom ramarna för detta arbete är jämförbara.

Dock, vinden bör ha haft en viss kylande effekt. Detta syntes tydligt efter vissa försök, där flaskan endast tycks ha varit brandpåverkad del av dess omslutningsyta. I samtliga fall har flaskorna varit utsatta för en relativt hög värmepåverkan mot botten och läsida. Grovt kan man då anta att flaskan har varit utsatt för värme mot dess respektive halva omslutningsyta. Beräkningar tyder på att värmen har varit i storleksordningen 50 kW/m^2 , vilket inte förefaller orimligt baserat på visuella observationer under försöken. Den andra halvan av respektive flaskas omslutningsyta har då varit kyld av den kraftiga vinden.

Beräkningen av den värme respektive flaska utsatts för bygger på en metod som dels är relativt oprövad och dels är avsedd för brandprovningar i ugnar. Dessa beräkningsresultat får därför betraktas som approximativa, även om de förefaller rimliga. Men de tyder också på en värdefull fältmässig metod för fortsatta försök, där det kan finnas behov av att kunna avgöra strålning eller den totala värme ett föremål utsätts för.

Samtliga flaskor har på något sätt påverkats av branden inom en relativt kort tidsrymd. Flaskorna har också gett något olika resultat eller effekter. Dock, flaskor med tryckavlastande funktion (som i försök 1 – 4) har i samtliga fall tömts på sitt innehåll relativt snabbt, via den tryckavlastande funktionen eller via flaskans skal/ventilinfästning. Flaskorna tillverkade av kompositmaterial kan dock sägas generellt ha uppfört sig "lugnare", medan såväl aluminiumflaska som stålflaska har gett upphov till kraftiga jetflammar. Detta har på olika sätt påverkat den närmaste omgivningen, eller att det åtminstone funnits potential för sådan påverkan eftersom flaskorna var fastkedjade.

Då säkerhetsventil eller smältsäkring utlöser uppstår en större eller mindre jetflamma med tillhörande reaktionskrafter. Denna jetflamma kan vara flera meter lång och hålla hög temperatur. Detta gör att det finns risk för såväl brands spridning som personskador då sådana tryckavlastande anordningar utlöser. Samtidigt bör det normalt ta viss tid innan en tryckavlastande funktion utlöser för en brandutsatt flaska, vilket bör ge viss tid för personer att sätta sig i säkerhet. Reaktionskrafter då säkerhetsventil eller smältsäkring öppnar bedöms för vissa flaskor förorsaka att flaskan välter och gasol i vätskeform kan belasta en tryckavlastande anordning. Konsekvenser av att flaska välter har inte studerats vid denna utförda brandprovning, men torde rimligtvis kunna ge ökad risk för brands spridning eller andra typer av skador. Med en väl genomtänkt placering och eventuellt förankring av gasolflaskor, kan brands spridning eventuellt begränsas, även om tryckavlastande anordning utlöser.

Flaskor utan tryckavlastande funktion har gått till flaskbrott och exploderat inom någon enstaka minut. Undantaget är den helspunna kompositflaskan, som har läckt i infästning eller genom skalet. Men det går troligen inte att utesluta möjlighet till flaskbrott även för denna typ av flaska. Frågan är då hur splitter från en sådan flaska ser ut och beter sig.

Vid flaskbrott har de olika flasktyperna reagerat något olika. Gemensamt är att det bildats ett större eldklot, vilket medför mycket hög risk för såväl brands spridning som personskador. Det har även varit kringflygande splitter som har flugit upp emot 70 meter från primärbranden. I försök 7 (aluminiumflaska) flög bottendelen av flaskan iväg och träffade en plåtdunk cirka 4 m från flaskan, varvid dunken deformerades kraftigt. Riktningen som splitter flyger iväg i, går ej heller att avgöra i förväg. Vissa av delarna som flög iväg under försöken var, beroende på flasktyp, tämligen stora och tunga. Risken att träffas av sådant splitter med personskador som följd, kan sägas vara mycket hög vid flaskbrott.

Utifrån visuella observationer för flaskbrott vid dessa försök, kan man säga att motsvarande flaskbrott och explosion inomhus, troligen hade åsamkat såväl en byggnad som eventuella personer som befinner sig i byggnaden mycket stora skador. Expansion vid den förångningen samt förbränningen hade inomhus förorsakat en snabb tryckökning och ett högt tryck som även hade kunnat påverka byggnadens konstruktion.

Utifrån resultaten från dessa försök, kan man säga att flaskor med tryckavlastande funktion inte bör gå till flaskbrott och explosion. Däremot tycks risken för flaskbrott och explosion av brandutsatta flaskor utan tryckavlastande funktion vara hög eller rent av mycket hög. Samtidigt kan man anta att tryckavlastande funktioner även är beroende av hur fort en flaska värms upp, åtminstone till viss del. Om en flaska värms upp mycket fort, är det inte säkert en tryckavlastande funktion är tillräcklig och att en flaska ändå går till brott.

Slutligen bör nämnas att man vid fältförsök normalt måste ha med sig extra utrustning för reparation och byten. Det finns då en gräns för hur mycket extra utrustning som kan medföras. Plattermoelementen användes endast i de fyra första försöken, eftersom de dels redan var delvis påverkade av värmen efter försök 1 – 4 samt att förväntade krafter vid eventuellt flaskbrott i försök 5 – 8 troligen skulle förstöra dem helt.

Även kärnen som användes som bål (avsågat plåtfat) antogs kunna förstöras vid eventuellt flaskbrott. Detta skedde vid försök 7, men eftersom ett extra kärn hade tagits med, kunde även det sista försöket genomföras (dock efter viss justering av ställningen som flaskan stod på).

I samband med försöken fördes en hel del diskussioner med inblandad personal, inklusive åskådare. I dessa diskussioner har det framkommit att ett problem med gasolflaskor för konsumentbruk kan hänga samman med att vissa gasolgrillar säljs i princip som byggsats, där konsumenten själv monterar ihop grillen. Man skulle då kunna misstänka att bristande monteringskunskaper eller där konsumenten tillför egenhändiga lösningar på monteringsproblem, leder till förhöjd risk vid användningen av gasolflaskor.

Slutsatser

De försök som redogörs för i denna rapport är begränsade till sin omfattning. Trots detta kan slutsatsen dras att gasolflaskor för konsumentbruk bör vara försedda med tryckavlastande anordning.

Man bör också överväga rekommendationer kring placering av flaskor, så att en jetflamma från utlöst tryckavlastande anordning inte påverkar omgivningen.

Även rekommendationer kring förankring av flaskor bör eventuellt övervägas, vilket dock är en slutsats som kräver ytterligare studier för att säkerställa.

Bortsett från skydds- och säkerhetsavstånd, går det ej att göra bedömningar som berör splitter i samband med flaskbrott, som till exempel storlek på splitter eller riktning som splitter kastas i.

Förslag till fortsatt arbete

Funktionen hos tryckavlastande anordning för flaskor som ligger ner bör studeras ytterligare.

En enklare modell för beräkning av tid till aktivering av tryckavlastande anordning samt tid till flaskbrott bör tas fram. Ett sådant arbete kräver dock fler försök, för att få mer data för beräkningsunderlag och modellutvärdering.

Vid fortsatta provningar bör trycket i flaskan mätas kontinuerligt under brandprovning.

Fortsatta provningar bör även omfatta reaktionskrafter vid tryckavlastning och risken för att flaska välter.

Referenser

Häggkvist, A., Sjöström, J. & Wickström, U. Using plate thermometer measurements to calculate incident heat radiation. *Journal of Fire Sciences* 31(2) 166–177. DOI: 10.1177/0734904112459264

Ingason, H. & Wickström, U. Measuring incident radiant heat flux using the plate thermometer. *Fire Safety Journal* 42 (2007) 161–166. DOI:10.1016/j.firesaf.2006.08.008.

Madsen, D. Barton, J. Svensson, S. & van Hees, P. *Brandprovning av aerosol- och gasolbehållare – en studie för MSB* (rapport 3195). Lund: Lunds Tekniska Högskola. 2015.

Wickström, U., Jansson, R. & Tuivonen, H. *Validation fire tests on using the adiabatic surface temperature for predicting heat transfer* (SP Report 2009:19). SP Technical Research Institute of Sweden. 2009.

Wickström, U., Duthinh, D. & McGrattan, K.B. Adiabatic Surface Temperature for Calculating Heat Transfer to Fire Exposed Structures. *In proceedings: 9th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam'07), 3 – 5 September*, InterScience Communications, London, 2007.

Willhelmsson, H. Operational Manager vid Primagaz Sverige AB. Personlig kommunikation (telefon och mail), hösten 2016.

Bilaga 1: Beräkning och bedömning av skyddsavstånd

Kanadensiska myndigheter (Transport Canada, <http://wwwapps.tc.gc.ca/saf-sec-sur/3/erg-gmu/erg/bleveintro.aspx>) anger bland annat följande för risker i samband med propanflaskor som utsätts för brand:

Propan	Minsta tid för då flaska bryter (direkt påverkan)	Ungefärlig tömningstid för brandutsatt flaska	Eldklot, radie	Minsta utrymningsavstånd (säkerhetsavstånd)	Normalt utrymningsavstånd (skyddsavstånd)
Kilogram	Minuter	Minuter	Meter	Meter	Meter
40	4	8	10	154	307
160	4	12	16	244	488
800	5	18	28	417	834
1600	5	20	35	525	1050
3200	6	22	44	661	1323
8800	7	28	62	926	1852
16800	7	32	77	1149	2200
32800	8	40	96	1435	2200
56000	9	45	114	1715	2200

Tabellen gäller för BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) och kan anses som ett värsta tänkbara scenario, dvs. där kärlet rämnar och ger upphov till dels ett eldklot och dels projektiler från behållaren. Observera då att såväl eldklot som projektiler utbreder sig i vindens riktning. Materialet i behållare är inte specificerat, men med tanke på den minsta storlek som anges i tabellen bör materialet rimligtvis vara stål (dvs. värsta tänkbara scenario).

Referensen anger inga värden för behållare av den storlek som avses i de här aktuella försöken. Men tabellen ovan ger att beräkningar kan ske enligt följande (extrapolering):

$$\text{Säkerhetsavstånd} = 45,093 * (\text{mängd propan})^{0,3328}$$

För 6 kg propan ger detta cirka 81 meter.

$$\text{Skyddsavstånd} = 117,05 * (\text{mängd propan})^{0,2891}$$

För 6 kg propan ger detta cirka 196 meter.

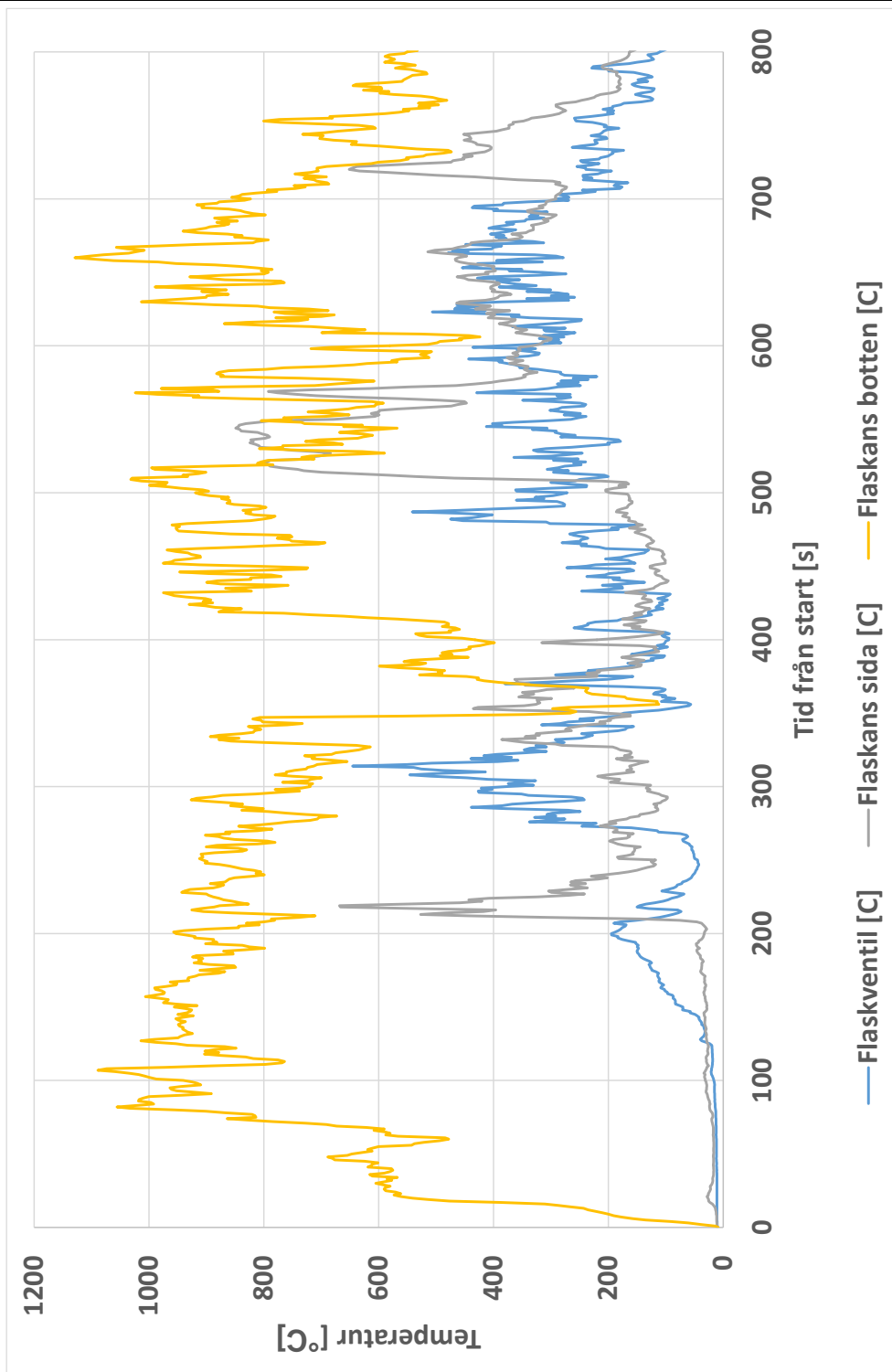
Utifrån detta bedöms 100 meter säkerhetsavstånd (dvs. för inblandad personal) samt 300 meter skyddsavstånd (avlyst område) vara rimligt.

Bilaga 2: Riskbedömning

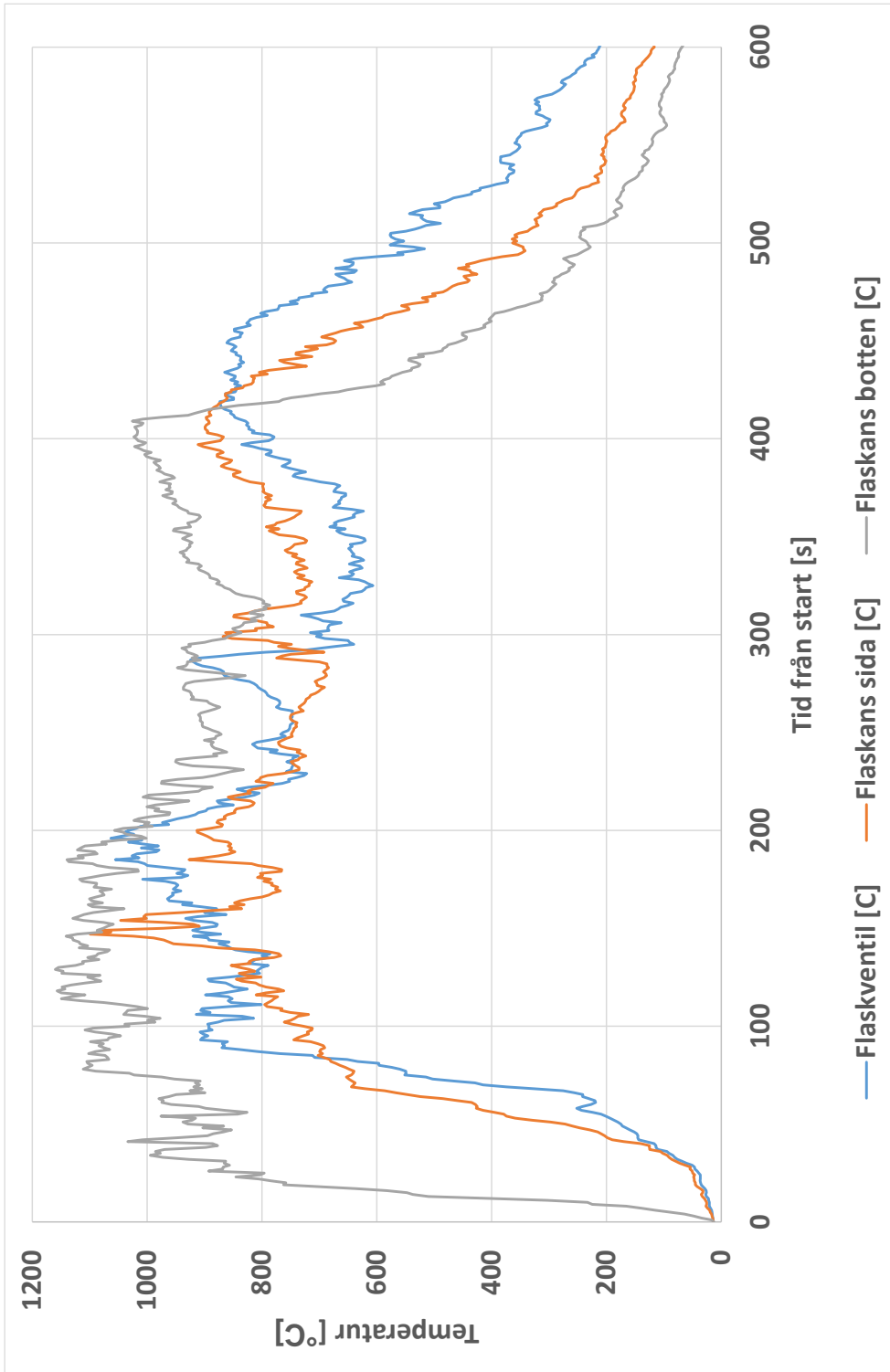
Risk	Åtgärd	Kommentar
Spill av heptan utanför bål.	Heptan hanteras endast i slutna dunkar och tappas i bålet i direkt anslutning till försök. Eventuellt spill i närheten av bål kommer att brinna av vid försöket alternativt avdunsta inom någon minut.	Avdelningen för Brandteknik har stor erfarenhet av att hantera brännbara vätskor och gaser, såväl utomhus som inomhus, i stora kärl såväl som i små.
Antändning av bål misslyckas.	Personal avvaktar minst 10 minuter innan ny tändanordning förbereds och appliceras. Personal som applicerar ny tändanordning ska vara iklädd fullständig brandskyddsutrustning, inklusive friskluftsapparat.	Personal vid Avdelningen för Brandteknik har stor erfarenhet som brandinstruktör och arbete med friskluftsapparat samt är yrkesverksam som deltidbrandman.
Bålet slocknar innan bränslet är slut.	Personal avvaktar minst 20 minuter innan ny tändanordning förbereds och appliceras. Eventuellt fylls bålet med mer bränsle. Personal som applicerar ny tändanordning ska vara iklädd fullständig brandskyddsutrustning, inklusive friskluftsapparat. Bränsle får ej fyllas i varmt kärl!	Personal vid Avdelningen för Brandteknik har stor erfarenhet som brandinstruktör och arbete med friskluftsapparat samt är yrkesverksam som deltidbrandman. Observera också att upphettad propanflaska som svalnar inte utgör någon risk.
Flaska välter under pågående försök.	Respektive flaska kommer att vara förankrad i ställningen på bålet med kätting. Ställningen är svetsad i bålet. Bålet kommer eventuellt även vara förankrat i mark med jordspett.	Resultat som visar flaska som välter kan vara av stort värde. Kätting bör därför tillåta visst rörelseutrymme.
Flaska rämnar.	Tillgängliga data tyder på att 100 m skyddsavstånd för behörig personal bör vara tillräckligt. Personal kommer att befinna sig i skydd bakom fordon (eller motsvarande), iförd skyddsutrustning (hjälm och hörselskydd).	Ett av syftena med försöken är att få mätdata så att risken för att flaska rämnar kan bedömas. Risken för kringflygande föremål är hög och kräver vaksamhet.
Flaska rämnar inte eller det bedöms finnas mer propan kvar i flaska då bålet brunnit ut.	Flaska beskjuts (kaliber 30-06, helmantlad ammunition). Eventuellt beskjuts samtliga flaskor efter avslutat försök, oavsett resultat.	Personal vid Brandteknik är van skytt (såväl jaktvapen som enhandsvapen).
Flaska beskjuts.	Beskjutning kräver säkert kulfång, vilket bedöms tillsammans med personal från P7 innan försök.	Hur beskjutning får ske bestäms i samråd med personal från P7 innan försök.

Bilaga 3: Mätdata från samtliga försök

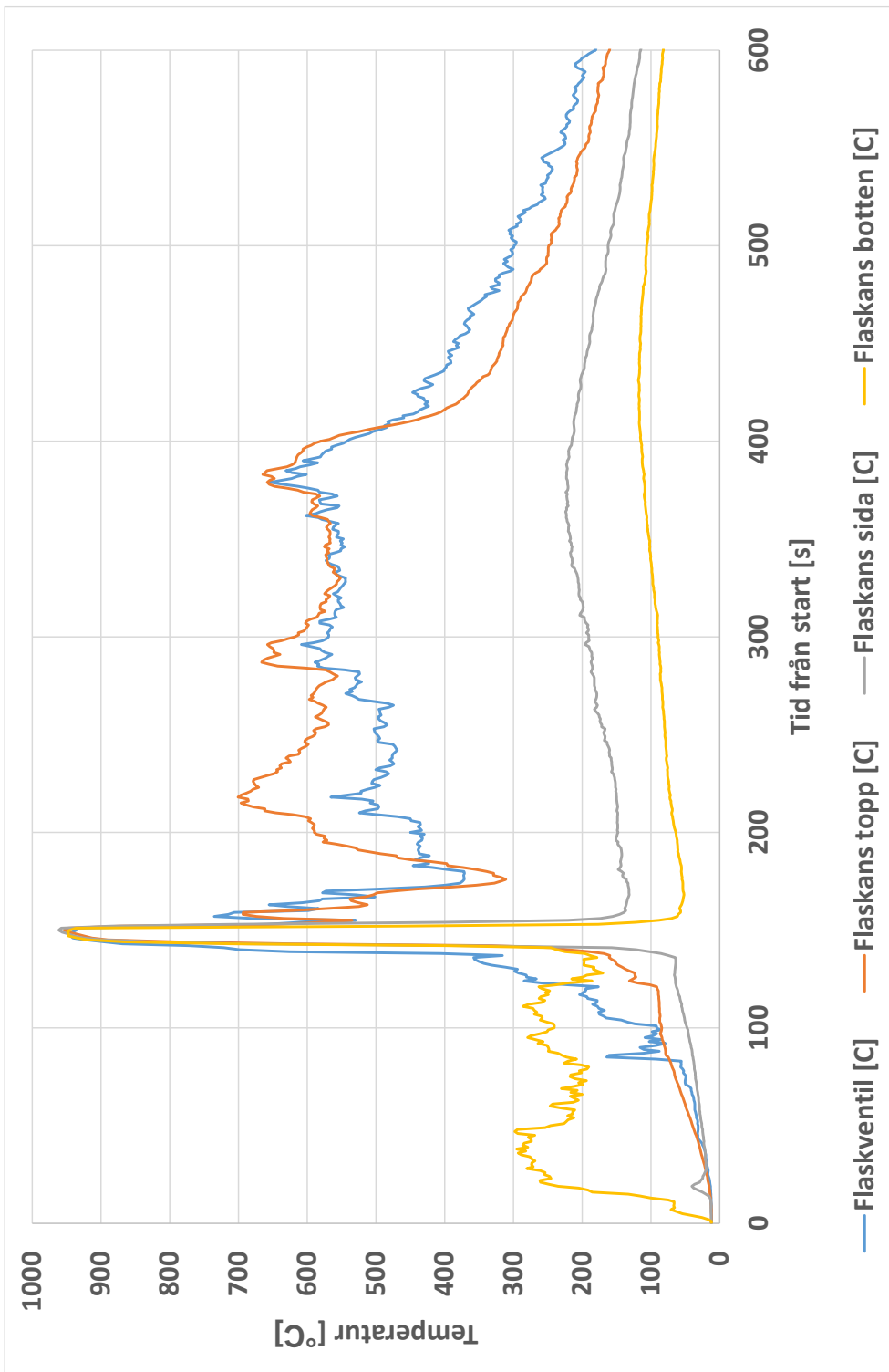
Försök	Material i flaska	Typ	Totalvikt (vägt)	Tomvikt (angivet)	Volym (angivet)	Mängd gasol	Säkerhetsventil	Smältsäkring
1	Helspunnen komposit	PK5, Ragasco	8,7	3,4	12,2	5,3	Ja	Nej



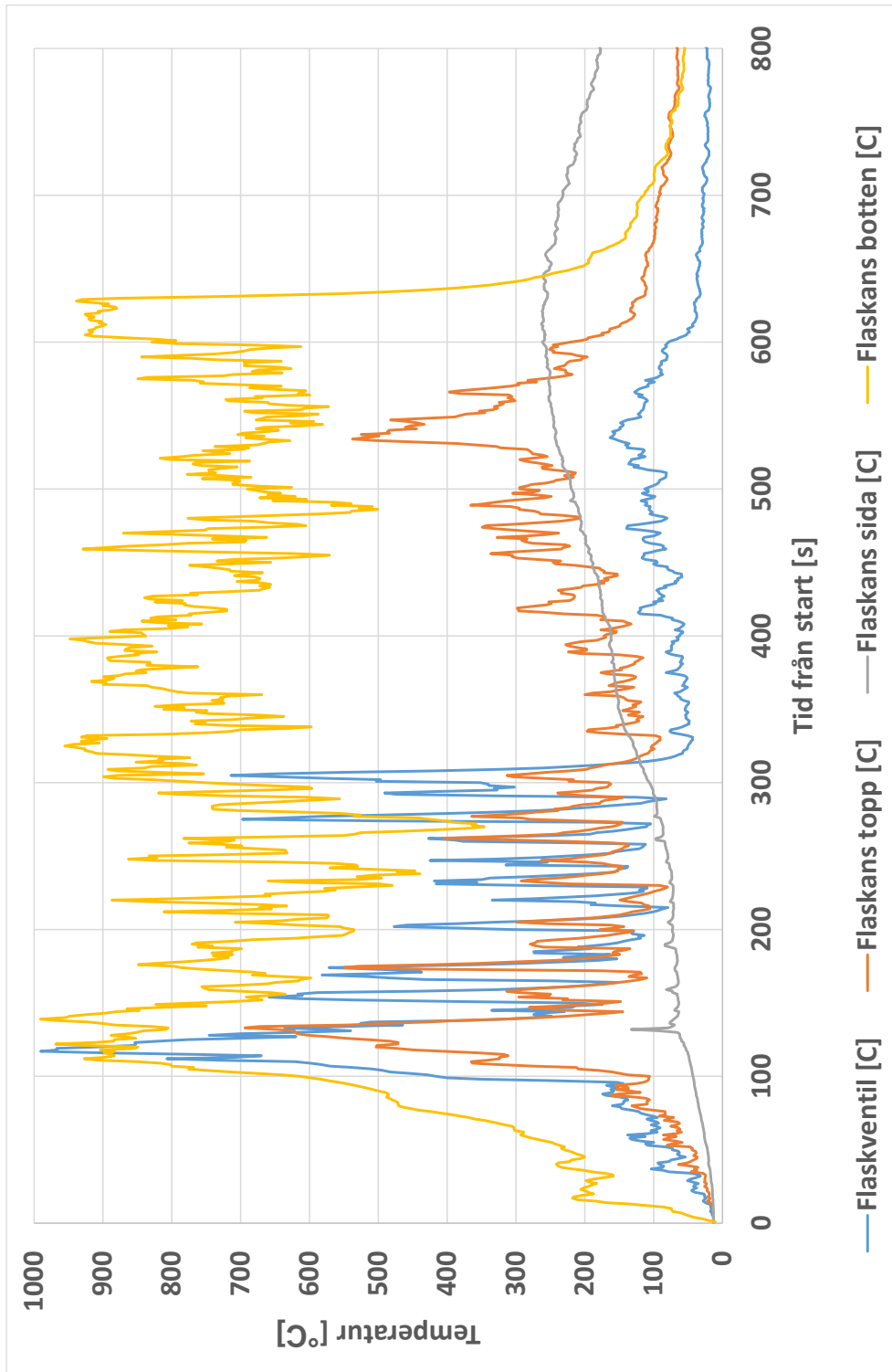
Försök	Material i flaska	Typ	Totalvikt (vägt)	Tomvikt (angivet)	Volym (angivet)	Mängd gasol	Säkerhetsventil	Smältsäkring
2	Tvådelat ytterhölje av komposit med limförband	PK5, Composite Scandinavia	10,5	5,4	14,3	5,1	Ja	Ja



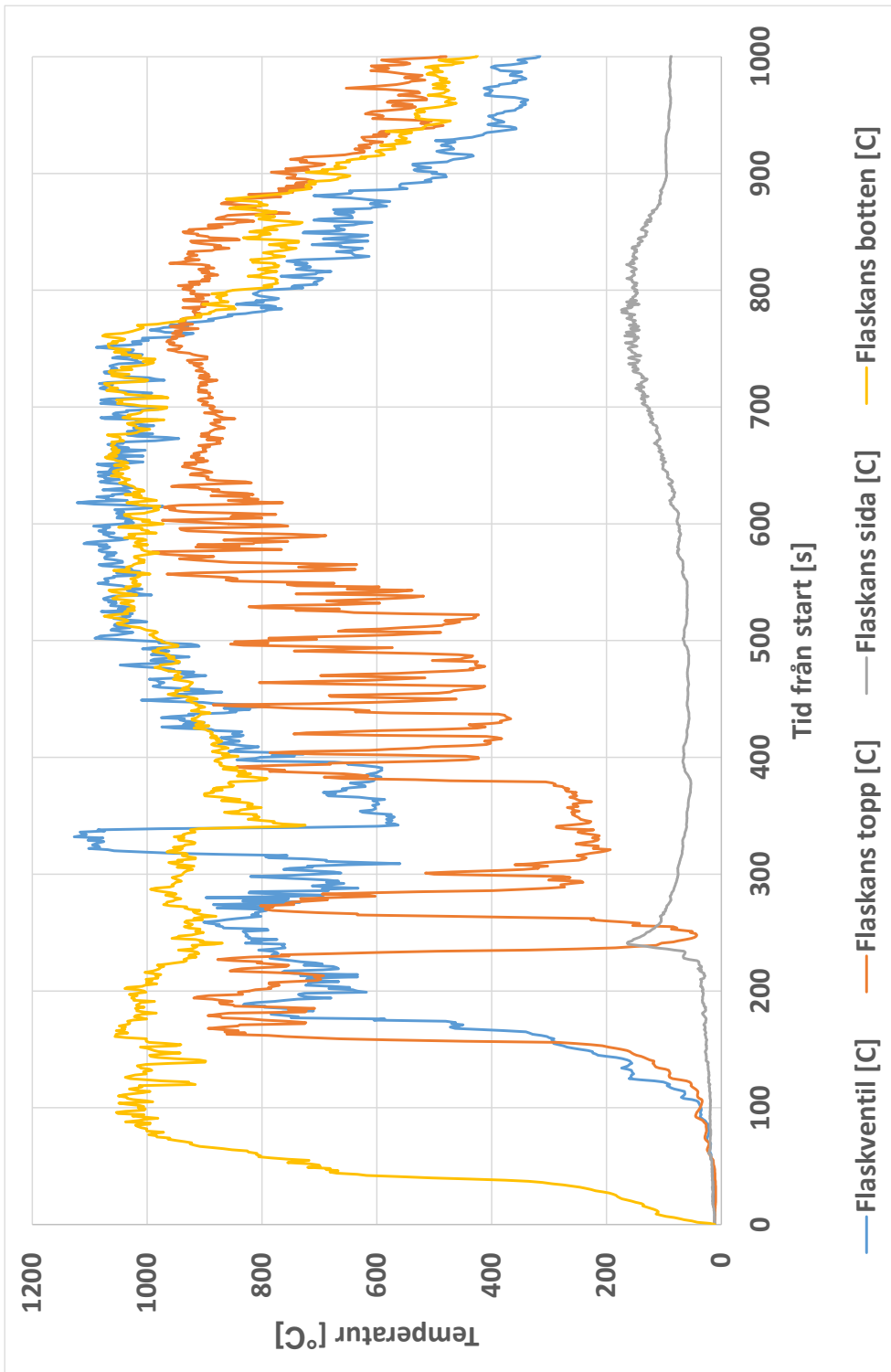
Försök	Material i flaska	Typ	Totalvikt (vägt)	Tomvikt (angivet)	Volym (angivet)	Mängd gasol	Säkerhetsventil	Smältsäkring
3	Aluminium	PA6	11,1	5,2	14,3	5,9	Ja	Ja



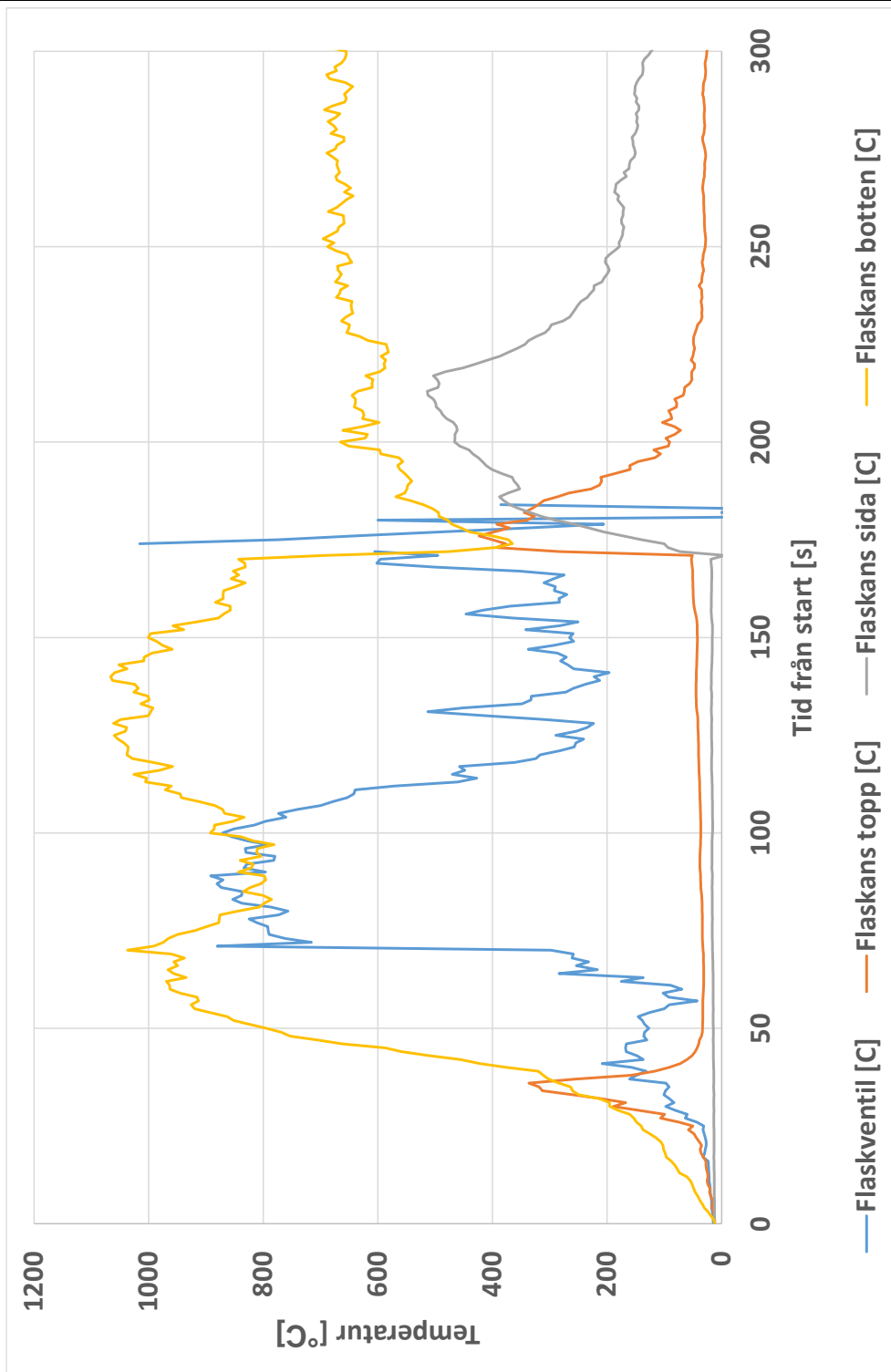
Försök	Material i flaska	Typ	Totalvikt (vägt)	Tomvikt (angivet)	Volym (angivet)	Mängd gasol	Säkerhetsventil	Smältsäkring
4	Stål	P6	15,4	9,5	14,3	5,9	Ja	Nej



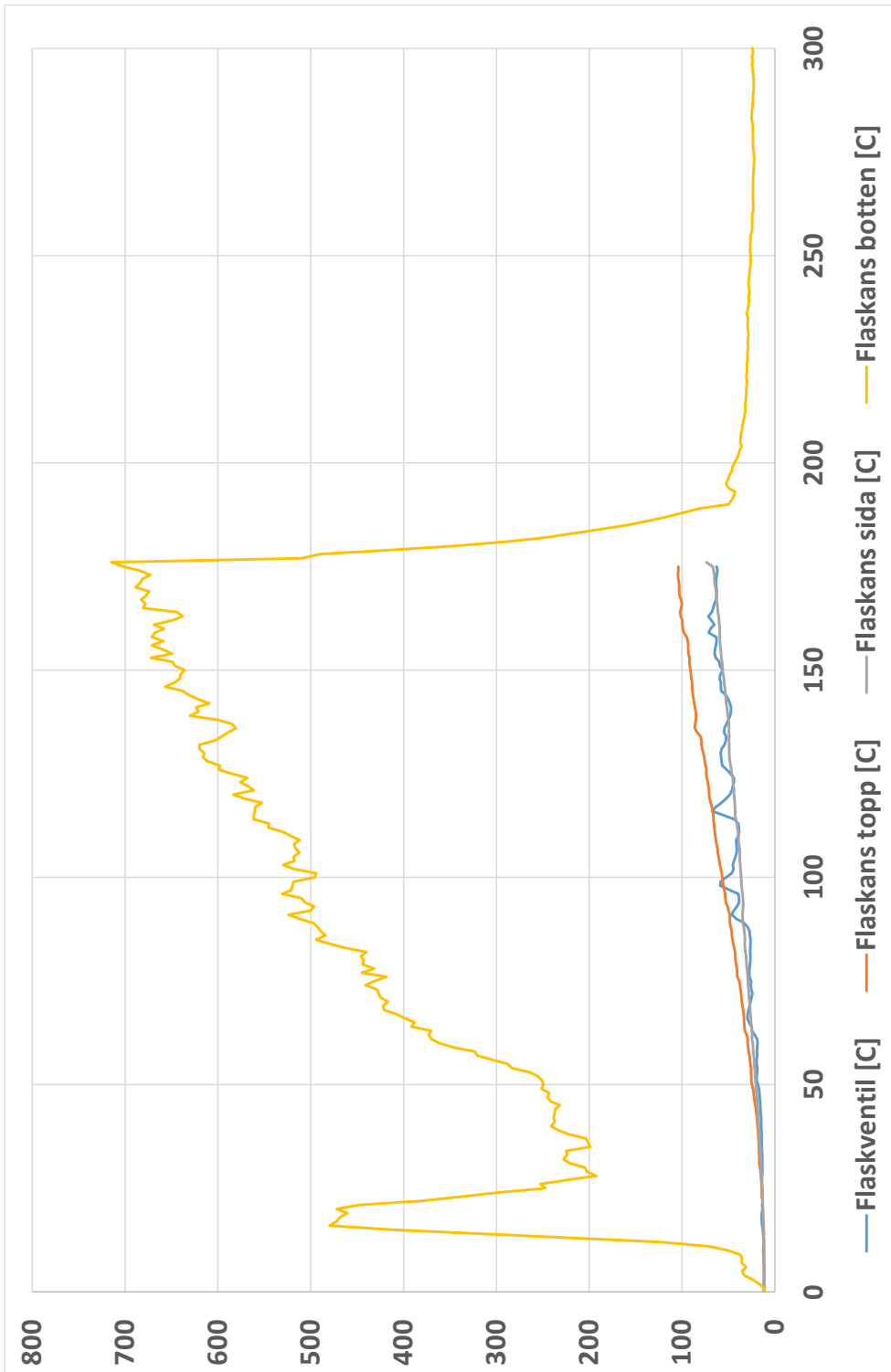
Försök	Material i flaska	Typ	Totalvikt (vägt)	Tomvikt (angivet)	Volym (angivet)	Mängd gasol	Säkerhetsventil	Smältsäkring
5	Helspunnen komposit	PK5, Ragasco	9,7	4,6	12,2	5,8	Nej	Nej



Försök	Material i flaska	Typ	Totalvikt (vägt)	Tomvikt (angivet)	Volym (angivet)	Mängd gasol	Säkerhetsventil	Smältsäkring
6	Tvådelat ytterhölje av komposit med limförband	PK5, Composite Scandinavia	10,4	5,4	14,3	5	Nej	Nej



Försök	Material i flaska	Typ	Totalvikt (vägt)	Tomvikt (angivet)	Volym (angivet)	Mängd gasol	Säkerhetsventil	Smältsäkring
7	Aluminium	PA6	11,1	5,5	14,3	5,6	Nej	Nej



Försök	Material i flaska	Typ	Totalvikt (vägt)	Tomvikt (angivet)	Volym (angivet)	Mängd gasol	Säkerhetsventil	Smältsäkring
8	Stål	P6	15,7	9,9	14,3	5,8	Nej	Nej

