

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
Att. Yvonne Näsman
651 81 Karlstad

Brandprov på Li-Ion batterier

(3 bilagor)

Enheten för Brandteknik vid SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut har på uppdrag av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap utfört brandprov på Li-Ion batterier.

Brandproverna utfördes i två provomgångar dels i mindre skala, mellanskala, där flera försök utfördes med ett fåtal celler och dels i stor skala där ett komplett batteripack till Volvo plug-in hybrid användes som provobjekt.

Förfarande samt resultat för respektive provomgång redovisas var för sig.

Provdatum

Brandproven i mellanskala genomfördes 2013-05-28 i SP Brandtekniks mellanskala lab.

Brandprovet i stor skala genomfördes 2013-06-19 i SP Brandtekniks stor brandhall.

Syfte

Syftet med brandproven har varit att förvärva kunskap om vilken brandeffekt som avges vid olika laddningsgrad samt vilka gaser som emitteras.

Vidare har syftet varit att studera brandförloppet i ett batteripack då det utsätts för en kraftig brand motsvarande vad som kan förväntas vid en fullt utvecklad brand i en personbil.

Mätningar

Brandeffekten mättes med "oxygen consumption calorimetry" som baseras på mätning av O₂ samt CO och CO₂.

För gasanalysen användes en Fourier Transform Infrared (FTIR) spektrometer. FTIR utrustningen som användes vid försöken var kvantitativt kalibrerad för följande ämnen: H₂O, CO₂, CO, HCN, NH₃, NO, NO₂, N₂O, HCl, HBr, HF, POF₃ och SO₂, samt kvalitativt för PF₅. Av dessa är det HF, POF₃ och PF₅ som är intressant för bränder i Li-Ion batterier.

I försöket i stor skala med komplett batteripack mättes dessutom temperaturen på batteripacket.

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.

Brandprov i mellanskala

Provföremål

Provföremålen levererades till SP Brandteknik av Lars Hoffmann. Cellerna var då laddade till önskad SOC (State of Charge).

Försökuppställning och testbeskrivning mellanskala

Provföremålet placerades på ett litet bord 45 x 45 x 38 cm som placerades ovan en gasolbrännare 31 x 31 cm. Avståndet mellan brännaren och cellerna var 8 cm.

Försökuppställningen var placerad i SBI (Single Burning Item, EN 13823) utrustningen för att samla upp rökgaserna, mäta effektutveckling samt analysera gaser. Försökuppställningen syns i Figur 1.



Figur 1: Försökuppställning.

Totalt gjordes 4 tester i mellanskala. Testerna listas i Tabell 1.

Tabell 1: Testbeskrivning.

Test nr/namn	Beskrivning
Blank	Blanktest förförsök, 15 kW 5-15 minuter, 27 kW 15-20 minuter
A1	5 celler ihop buntade med ståltråd, SOC = 25 %.
B1	5 celler ihop buntade med ståltråd, SOC = 50 %.
C1	5 celler ihop buntade med ståltråd, SOC = 75 %.

Följande testprocedur följdes:

1. Mätdatainsamling startades (t = -5:00 min:sek)
2. Pilot flammor placerades på brännaren (t = -1:30)
3. Video start (t = -1:00)
4. Propan öppnad för 15 kW (t = 0:00)
5. Brännare 15 kW (0:00 < t < 10:00)
6. Brännarens effekt ökas till 30 kW (t = 10:00)
7. Brännare stängs av när 30 kW perioden slut (t = 25:00)
8. Stäng av video (t > 25:00)
9. Mätdatainsamling stoppas (t = 30:00)

Battericellerna vägdes före och efter test. Värmeeffektutvecklingen mättes med "oxygen consumption calorimetry" som baseras på mätning av O₂ samt CO och CO₂. Dessutom användes en Fourier Transform Infrared (FTIR) spektrometer för att mäta halten av CO₂ och CO, samt fluorinnehållande emissionsprodukter i rökgaserna, framförallt vätefluorid (HF), men också POF₃ och PF₅.

Resultat brandeffekt mellanskala

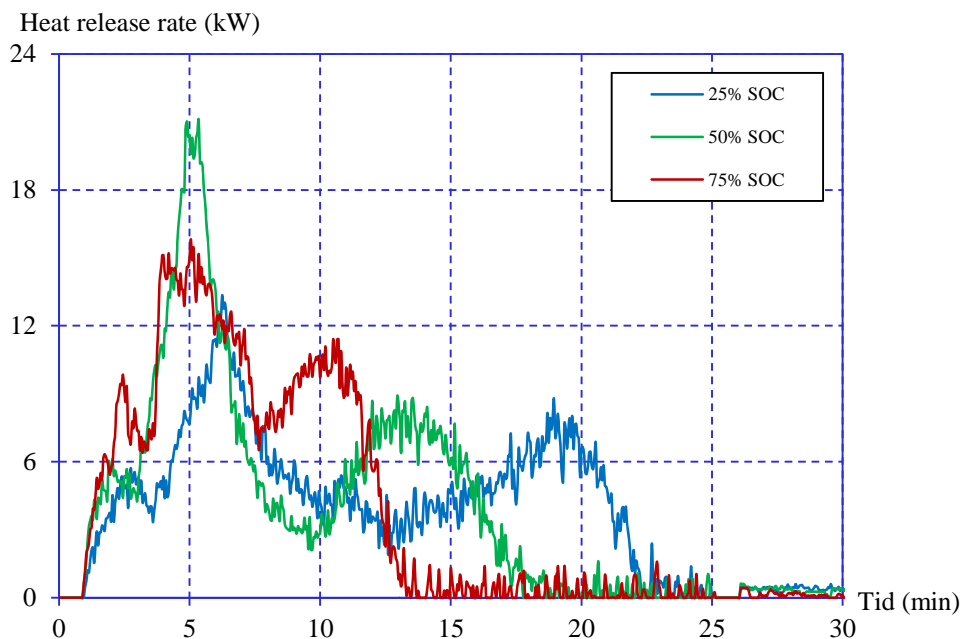
Den nominella brandeffekten från brännaren på 15 kW befanns vara 15,1 kW i blanktestet. Den nominella brandeffektutvecklingen från brännaren på 27 kW befanns vara 27,4 kW i blanktestet. Dessa effektutvecklingar har dragits bort från kurvorna nedan och det är endast värmeeffektutvecklingen och emissioner från cellerna som redovisas nedan.

Vikt före och efter test redovisas för samtliga test med celler i Tabell 2.

Tabell 2: Massförlust.

Test	Massförlust (%)	Massförlust g/cell
A1	22	50,2
B1	29	71,4
C1	28	68,0

Resultaten från testerna ses i Figur 2. Man ser tydligt den snabbare förbränningen i fallet med 50% SOC och 75% SOC. Dessutom ser man tydligt att värmeeffekten ökar två gånger. Andra toppen kommer tidigare och har ett högre maximivärde med ökande SOC. Det verkar som att den utvecklade effekten inte beror på brandbelastning från brännaren eftersom ökningen vid försöket med 75% SOC börjar redan innan brännaren ökas till 30 kW.



Figur 2: Värmeeffektutvecklingen i test A1 (25% SOC), B1 (50% SOC) och C1 (75% SOC).

Integrerar man ytan under de olika kurvorna får man totalt avgiven energimängd (THR - Total Heat Release, kJ). Resultatet av denna integration redovisas i Tabell 3. Det visar sig att totalt avgiven energimängd blir ungefär densamma oavsett laddning om allt material tillåts brinna upp, men förloppet beror på SOC.

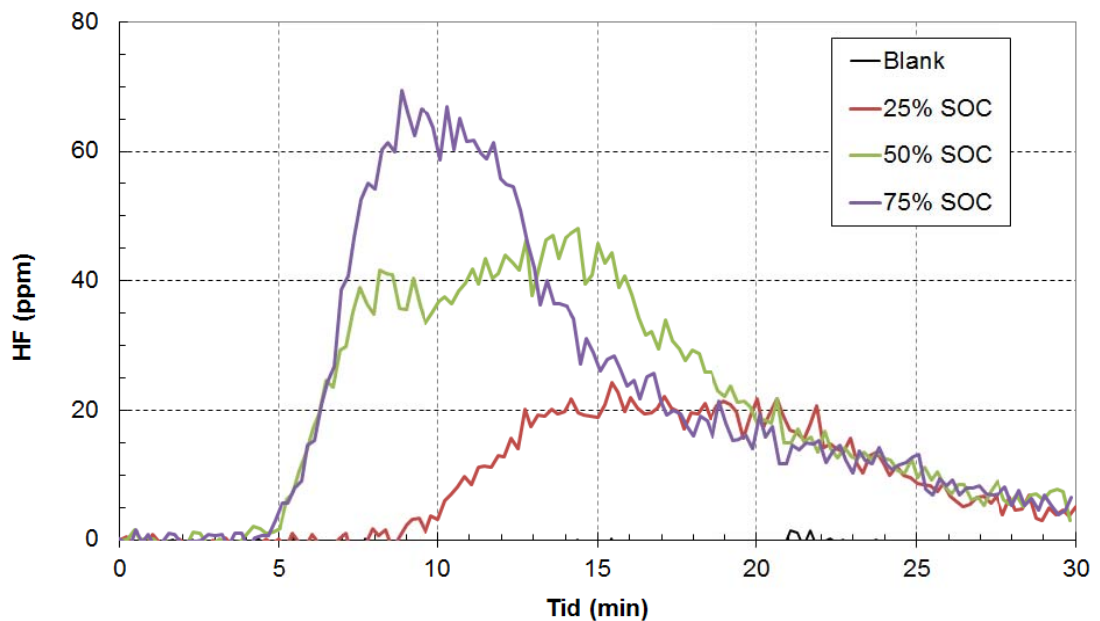
Tabell 3: Totalt avgiven energimängd.

Test	THR (kJ)	THR/cell (kJ)
A1	6891	1378
B1	7023	1405
C1	6826	1365

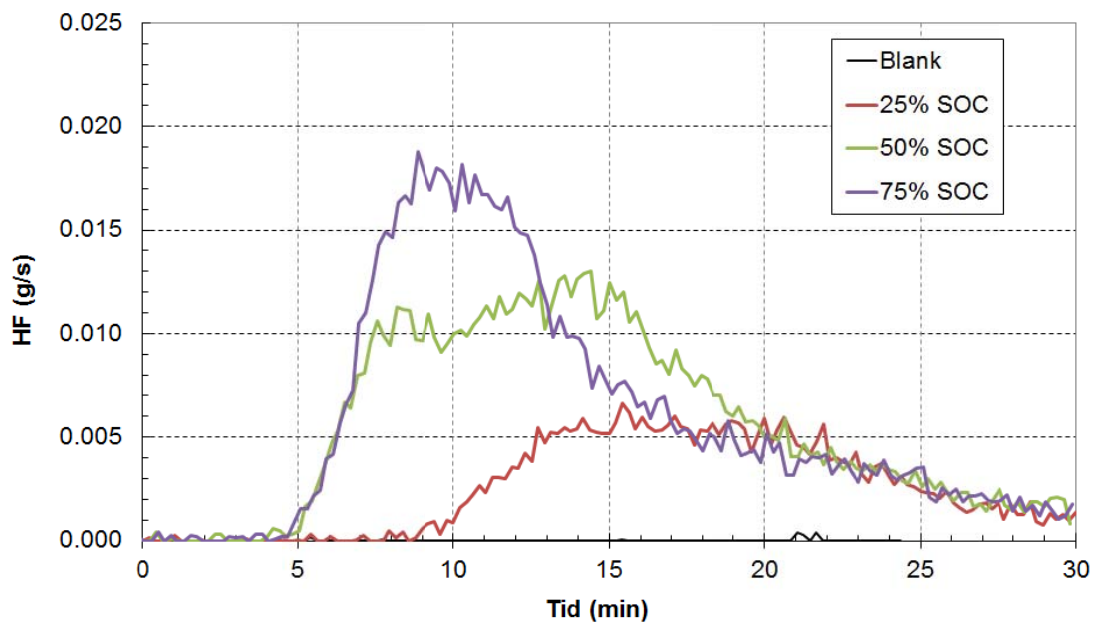
Resultat gasanalys för mellanskala

FTIR utrustningen som användes vid försöken är kvantitativt kalibrerad för följande ämnen: H₂O, CO₂, CO, HCN, NH₃, NO, NO₂, N₂O, HCl, HBr, HF, POF₃ och SO₂, samt kvalitativt för PF₅. Av dessa är det HF, POF₃ och PF₅ som är intressant för bränder i Litiumjonbatterier. Uppmätt HF-koncentration i rökgaskanalen från samtliga försök ges i Figur 3. Dock hittades ingen PF₅ eller POF₃ i något av försöken.

Notera att HF-koncentrationen vilken anges i Figur 3 är beroende av flödes hastigheten i rökgaskanalen. Flödes hastigheten var 0,33 m³/s (volymflöde vid 25 °C) vid samtliga försök. I Figur 4 har den uppmätta koncentrationen av HF omräknats till produktions hastighet vilket är oberoende av flödes hastigheten. Grafer med produktions hastighet för CO₂ (inklusive bidraget från brännaren), CO samt HF ges i Bilaga 1.



Figur 3: HF koncentrationer i rögskanalen uppmätta med FTIR i test A1 (25% SOC), B1 (50% SOC) och C1 (75% SOC). Observera att koncentrationen är beroende av flödes hastigheten i rögskanalen.



Figur 4: HF koncentrationer omräknade till produktionshastighet i test A1 (25% SOC), B1 (50% SOC) och C1 (75% SOC).

Innan gaserna kommer in i FTIR:en passerar de ett keramiskt filter. En viss mängd HF fångas upp av filtret och når inte mätcellen i FTIR:en. Detta filter byttes efter varje försök och analyserades för totalmängd uppfångad HF. Total mängd (gram) HF uppmätt med FTIR:en samt totalmängd i filtren redovisas i Tabell 4.

Tabell 4: Totalmängd HF producerad.

Test	Totalmängd HF i rökgaser från FTIR- analys (g)	Totalmängd HF i filter (g)	Totalmängd producerad HF (g)	Mängd producerad HF per cell (g)
A1	4,2	1,4	5,6	1,1
B1	10,0	1,7	11,7	2,3
C1	10,7	1,3	12,0	2,4

Brandprov i stor skala

Provföremål

Som provföremål i brandprovet i stor skala användes ett komplett batteripack till Volvo plug-in hybrid. Se Figur 5 samt Bilaga 3.

Batteripacket levererades till SP Brandteknik av Lars Hoffmann.

Batteripackets dimension mättes till 119x63x22 cm (LxBxH). Följande information om batteripacket lämnades av Lars Hoffman:

- Batteripacket innehåller tio moduler om tjugo celler, dvs totalt 200 celler. Cellerna ligger parallella två och två så att de bildar 100 cellsteg.
- Vikt ca 200 kg.
- Batteripacket är på totalt på 11,8 kWh om det är fulladdat. Batteripaket var vid leverans laddat till ca 50% (50 % SOC), dvs ca 6 kWh.
- Battericellerna är energioptimerade och av ”påstyp” med NMC katod (Nickel Manganese Cobalt Oxide).

Försöksuppställning

Batteripacket placerades på ett gallerbord som placerades ovanför en gasolbrännare med måtten 140 x 90 cm. Avståndet mellan brännaren och batteripackets undersida var ca 40 cm, se Figur 5.



Figur 5: Försöksuppställning med batteripack på ett gallerbord ovanför sandbäddsbrännaren.

Gasolbrännaren designades och tillverkades speciellt för provet. Utgångspunkt för designen var att batteripacket skulle utsättas för en kraftig brand motsvarande vad man kan förvänta sig då fordonet där batteriet är monterat är övertänt. Vidare togs hänsyn till att ytan på gasolbrännaren skulle vara större än den horisontellt projicerade ytan från batteripacket, på samma sätt som beskrivs i förslag till tillägg i UN-ECE R100.

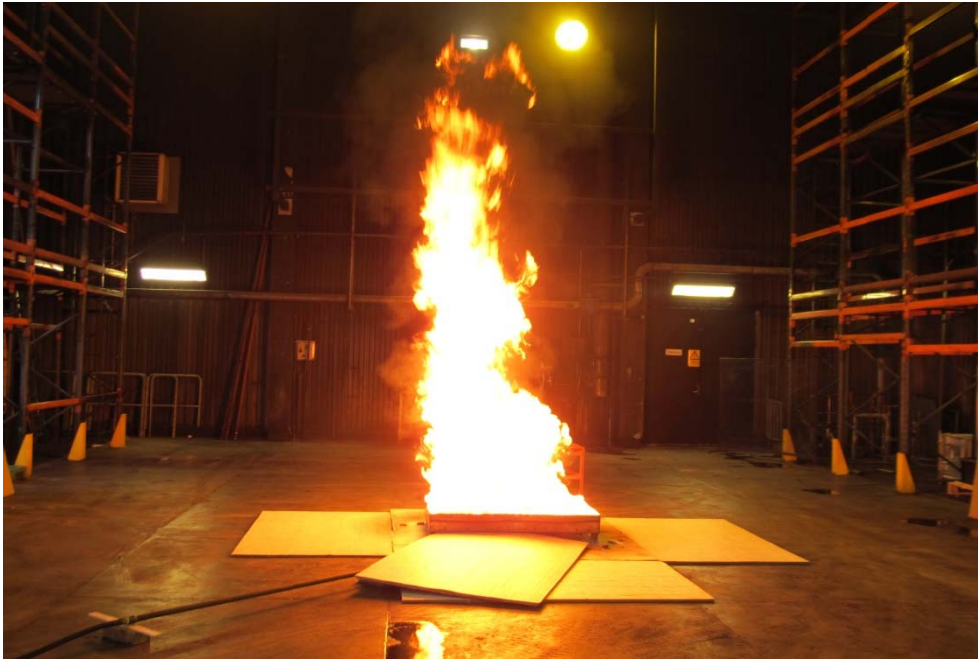
Gasolbrännaren tillverkades i 2 mm stålplåt som en ”sandbäddsbrännare, se Figur 6. Ca 4 cm sandbädd placerades på en perforerad plåt placerad ca 5 cm från botten. För att få en jämnare fördelning av branden över ytan fanns plåtar under den perforerad plåten som delade in ytan i fyra sektionen.

Varaktigheten på branden från gasolbrännaren var 15 minuter vilket skall motsvara, med marginal, den tid man normalt räknar med att räddningstjänsten skall vara på plats vid en olycka.

Den nominella brandeffekten (HRR) från brännaren trimmades in att vara ca 1,5 MW, se Figur 7. Brandeffekten från en fullt utvecklad brand från en personbil är i storleksordningen 4 MW.

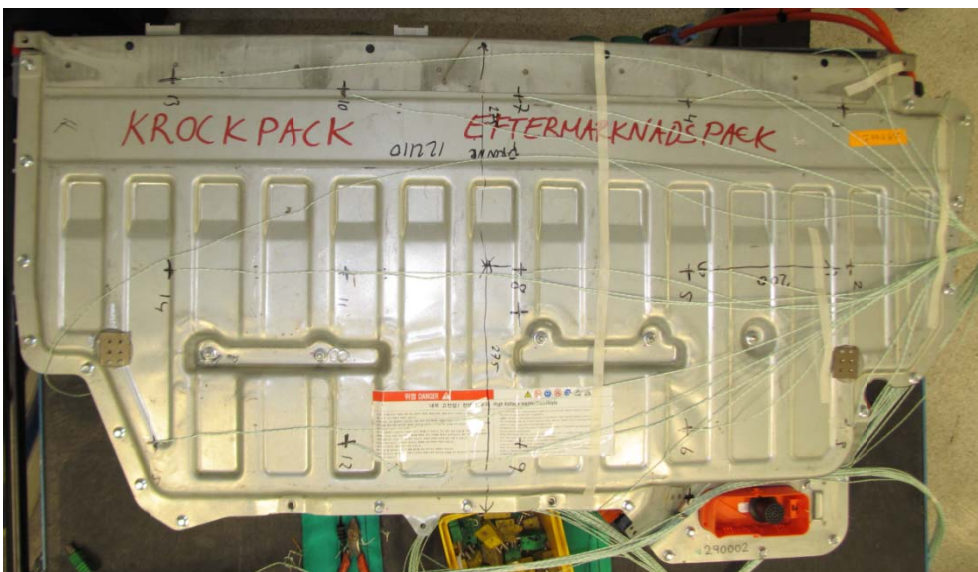


Figur 6: Sandbäddsbrännaren med ytan 140x90 cm. Brännaren matas med gasol som fördelas ut i fyra sektioner.



Figur 7: Branden från sandbäddbrännaren i ett av de förtester som gjordes för att trimma in brandeffekten på 1,5 MW.

Batteripacket preparerades med 20 st termoelement (0,5 mm Type K) för att bevaka temperaturfördelningen under och efter provet. Figur 8 visar placeringen av termoelement på batteripacket. Samtliga utom TC17 svetsades på batteripackets yta. TC17 stacks in ca 18 cm genom en gummiplugg på batteripackets ena kortända.



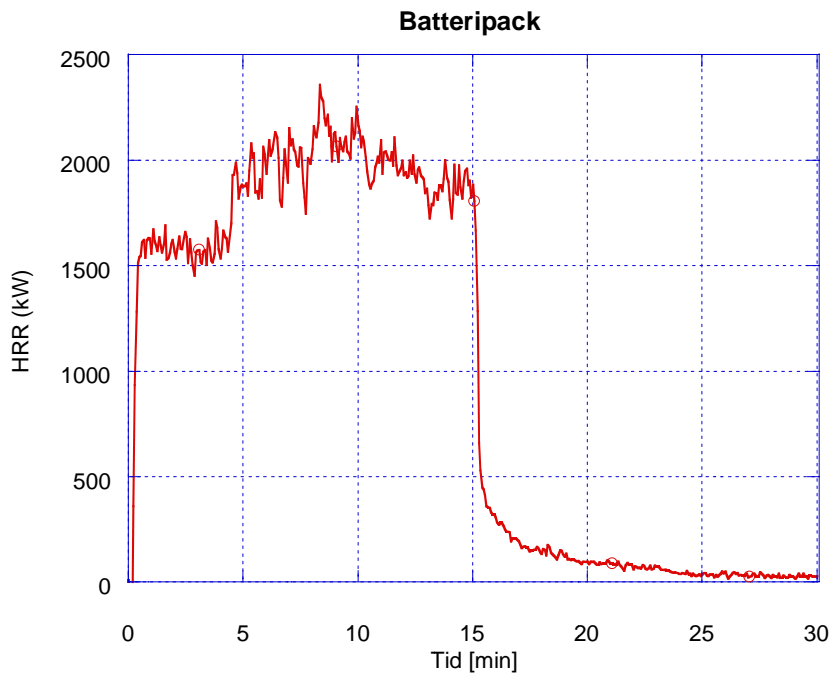
Figur 8: Batteripacket sett ovanifrån. På ovensidan svetsades 15 st TC (TC1-TC15) jämnt fördelade, med 20 cm inbördes avstånd. TC1 upp till höger i figuren. TC16 mitt på långsidan, nedre del av figuren. TC18 t på långsidan, övre del av figuren. TC19 mitt på kortsidan, höger i figuren. TC20 bredvid servicebrytaren, ned till höger i figuren. TC17 stacks in ca 18 cm genom en gummiplugg på batteripackets ena kortända (ned vänster i figuren).

Resultat från brandprov i stor skala

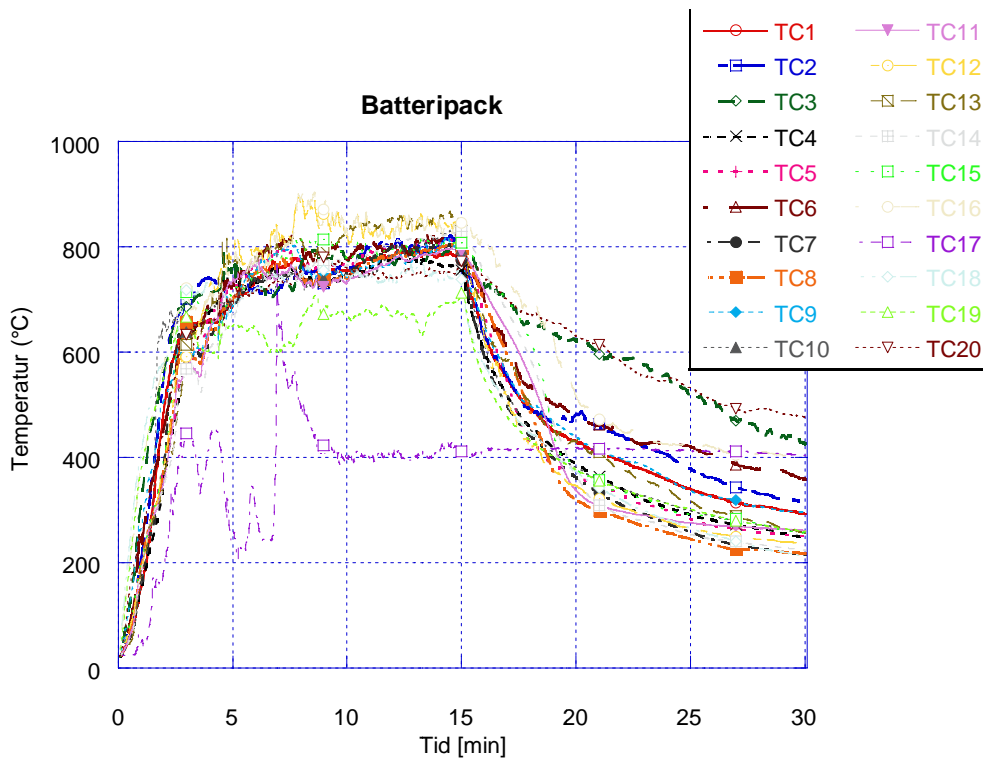
Resultaten presenteras i ett testprotokoll, se Tabell 5, samt i diagramform med effekten (HRR) som funktion av tiden, se Figur 9, och temperaturen som funktion av tiden, Figur 10. Därefter presenteras metodbeskrivning samt resultat från rökgasanalys med FTIR.

Tabell 5: Testprotokoll från brandprov i stor skala

Tid	Iakttagelser och noteringar
-02:00	Effektmätning och FTIR-mätning startar (FTIR startade innan men tiden synkas med effektmätning)
00:00	Gasolbrännaren antänds
02:40	Packningen mellan den övre och undre delen av lådan brinner
04:00	En lysande punkt observeras i närheten av service brytaren. Troligtvis kortslutning.
04:07	En knall/smäll från den lysande punkten observeras.
04:20-7:18	Flera knallar/smällar med mindre blixtrar observeras fån och till. Periodvis smatter med flera knallar/smällar i sekunden.
07:30	Svartare rök observeras
08:15	Brinner med stadiga flammor genom skarvar/hål i lådan
12:00	Branden avtar något
15:00	Gasolen stängdes av
16:00	Lågor ca 1 m över batteripacket
21:00	Branden har avtagit
30:00-32:00	Batteriet vattenbegjuts med en slang från ca 6 m avstånd. Lågorna slogs ut i princip omedelbart.
48:40-55:40	Vattenbegjutning på när håll
01:07:00	Betydligt mindre rökutveckling
	Batteripacket övervakades med temperaturmätning i mer än 3 timmar. Temperaturen gick stadig nedåt



Figur 9: Brandeffektutvecklingen från brandprovet i stor skala. Sandbäddsbrännarens effekt är ca 1,5 MW.



Figur 10: Avläst temperatur under provets första 30 minuter.

I Figur 11-13 visas branden vid två tidpunkter samt batteripacket efter brandprovet. I Bilaga 3 redovisas fler bilder.



Figur 11: Branden vid ca 6:30. Till höger syns en av ”knallarna/smällarna”.



Figur 12: Branden ca 1 minut efter brännaren stängts av.



Figur 13: Batteripacket efter brandprovet (fler foton i Bilaga 3).

Resultat gasanalys brandprov i stor skala

FTIR utrustningen som användes vid försöken var den samma som den som användes vid försöken i mellanskalan. Den enda skillnaden var längden på den uppvärmda samplingsledningen mellan mätsonden och FTIR utrustningen. Vid försöken i mellanskalan hade samplingsledningen en längd av 9,5 m; längden vid försöket i stor skala var 12,5 m.

Vid försöket i stor skala kunde enbart CO₂ och CO detekteras med FTIR mätningen. Grafer över uppmätta koncentrationer från det storskaliga försöket samt beräknad produktion ges i Bilaga 2. Här ges också motsvarande information från det blankförsök med enbart brännare som utfördes dagen innan. Flödes hastigheten i rökgaskanalen var 2,5 m³/s (volymflöde vid 25 °C) både vid blankförsöket och försöket med batteripacket.

Inga fluorinnehållande förbränningsprodukter kunde detekteras med FTIR. Analysen av det keramiska filtret som är placerat före FTIR mätcellen visade på en liten mängd HF, vilken var i nivå med vad analys av ett oanvänt filter tidigare visat. HF kunde alltså inte detekteras vid försöket med batteripacket.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut Brandteknik - Branddynamik

Utfört av



Magnus Bobert

Granskat av



Per Thureson

Bilagor

Resultat från FTIR mellanskala

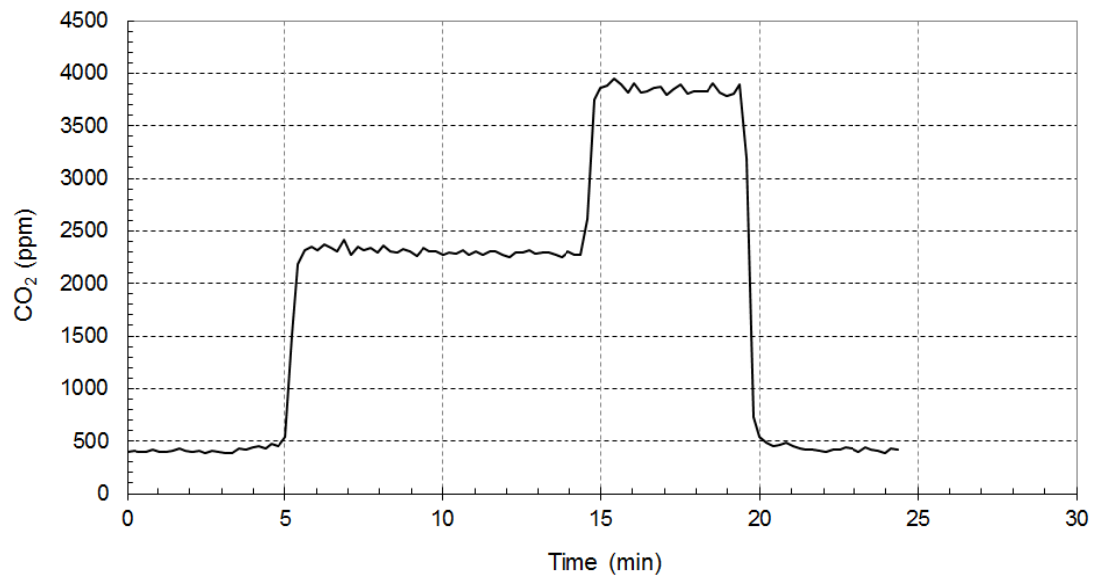
Resultat från FTIR stor skala

Foton på batteripack före och efter brandprov i stor skala

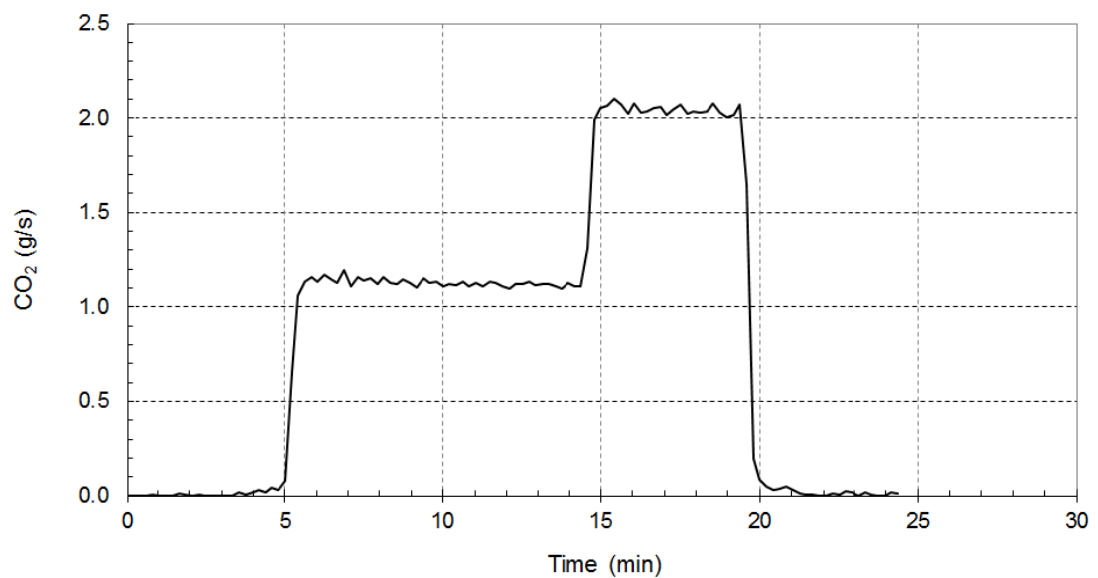
Bilaga 1

Resultat från FTIR mellanskala

Blankförsök, mellanskala

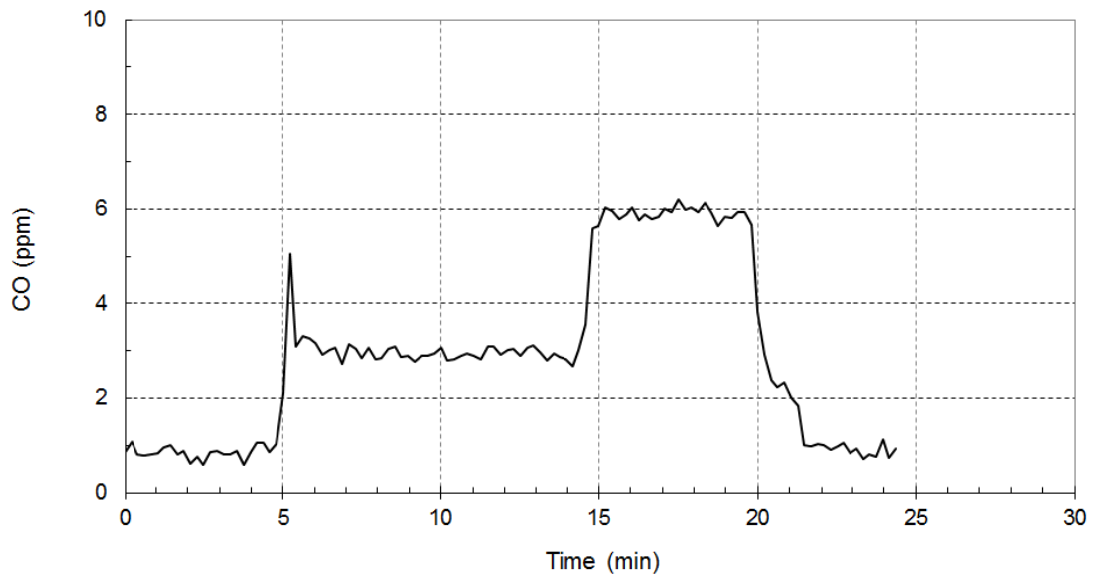


Blankförsök, mellanskala

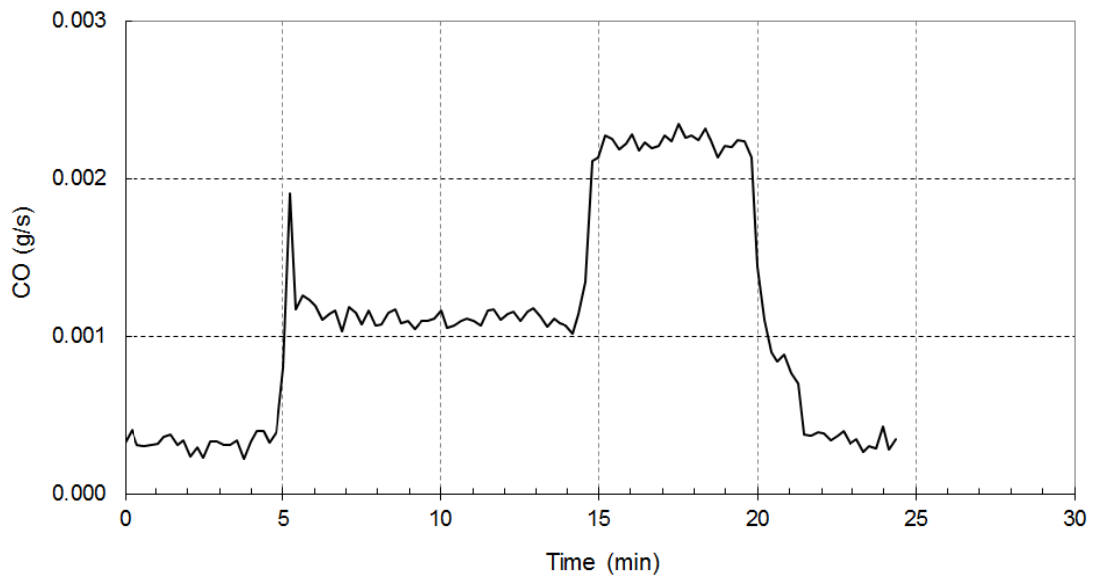


Bilaga 1

Blankförsök, mellanskala

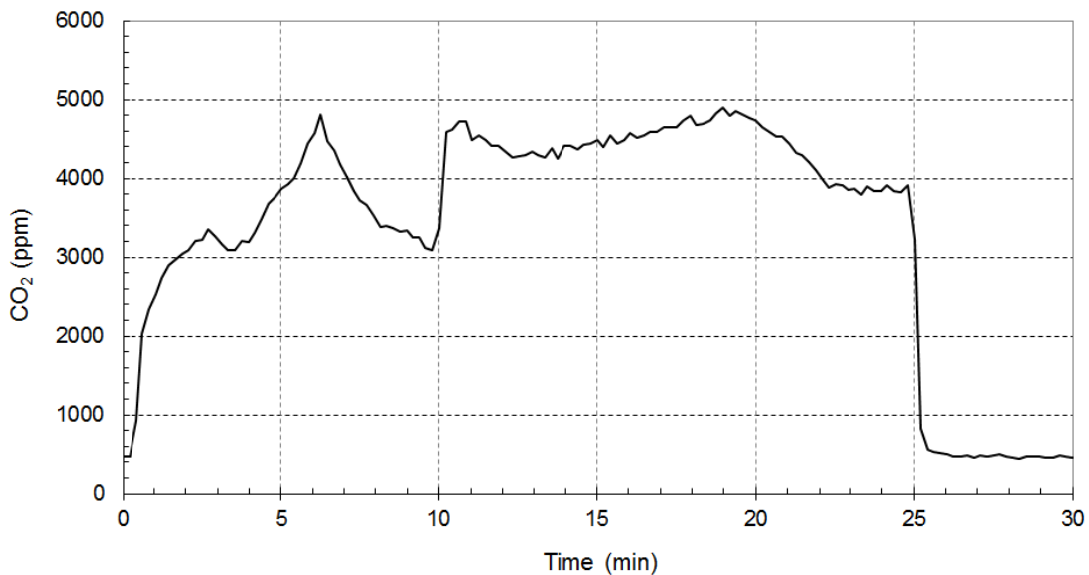


Blankförsök, mellanskala

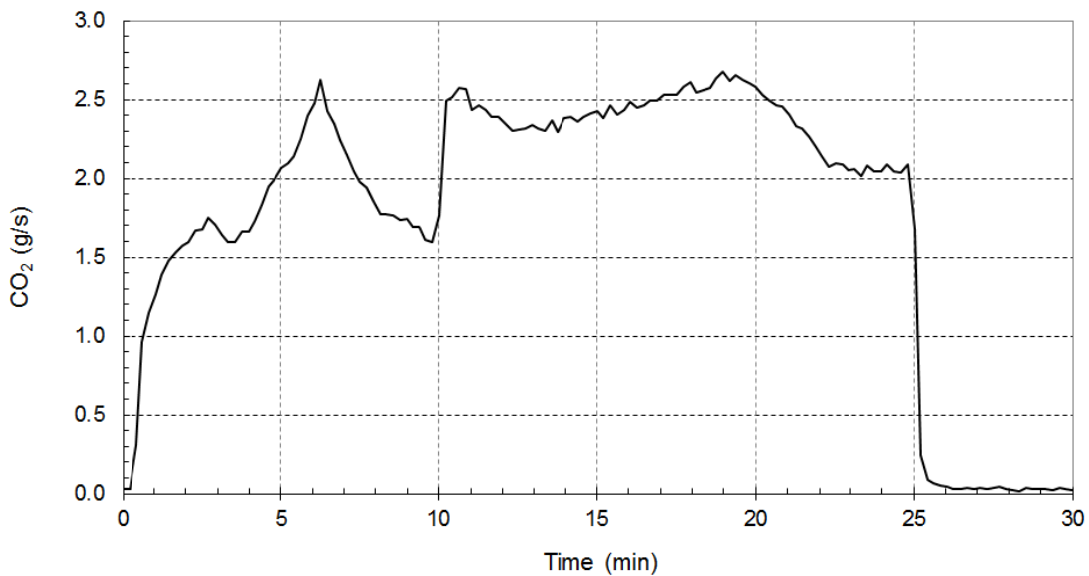


Bilaga 1

Test A1

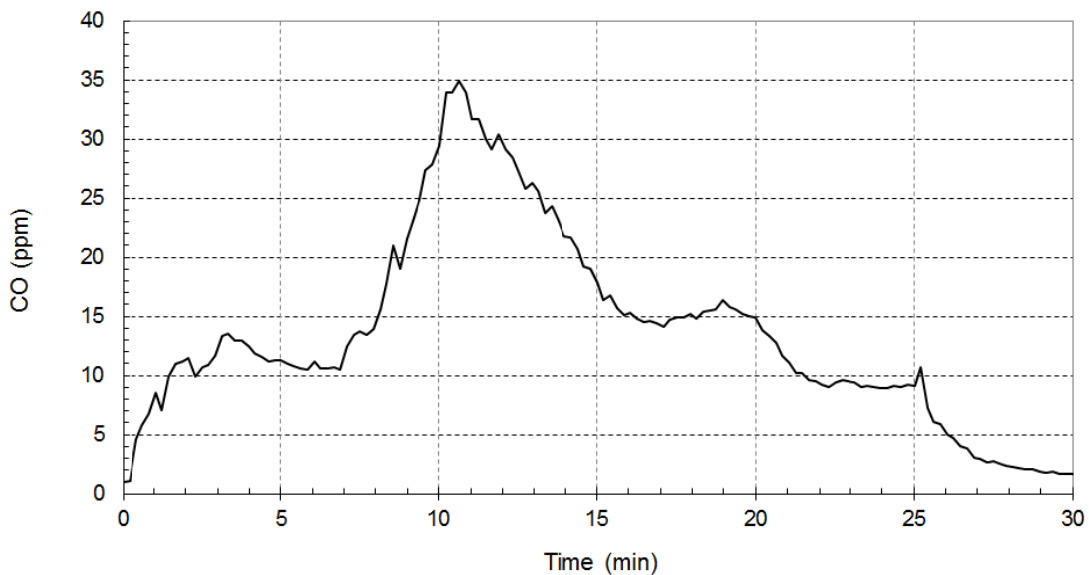


Test A1

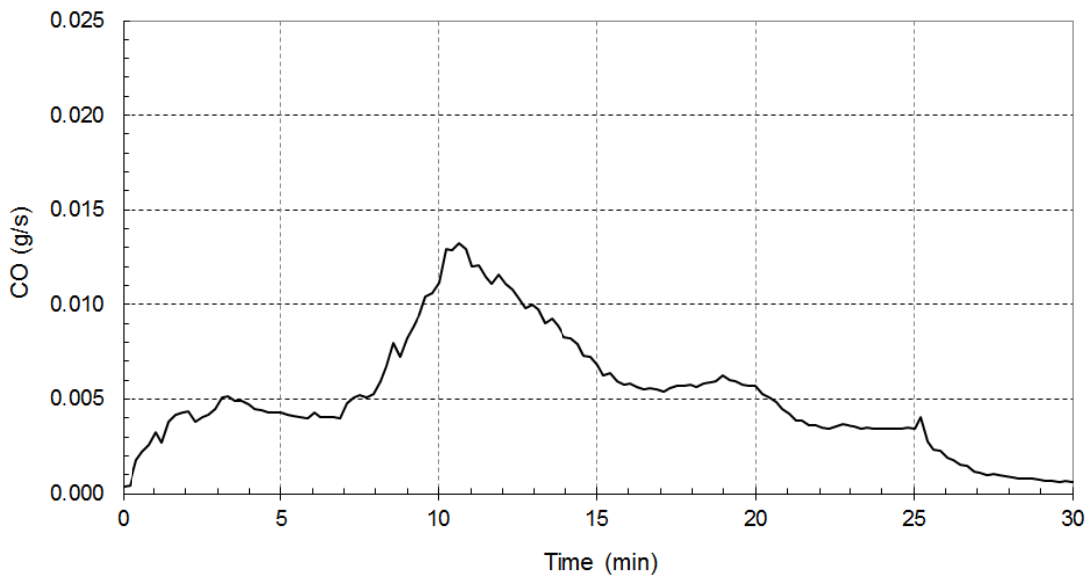


Bilaga 1

Test A1

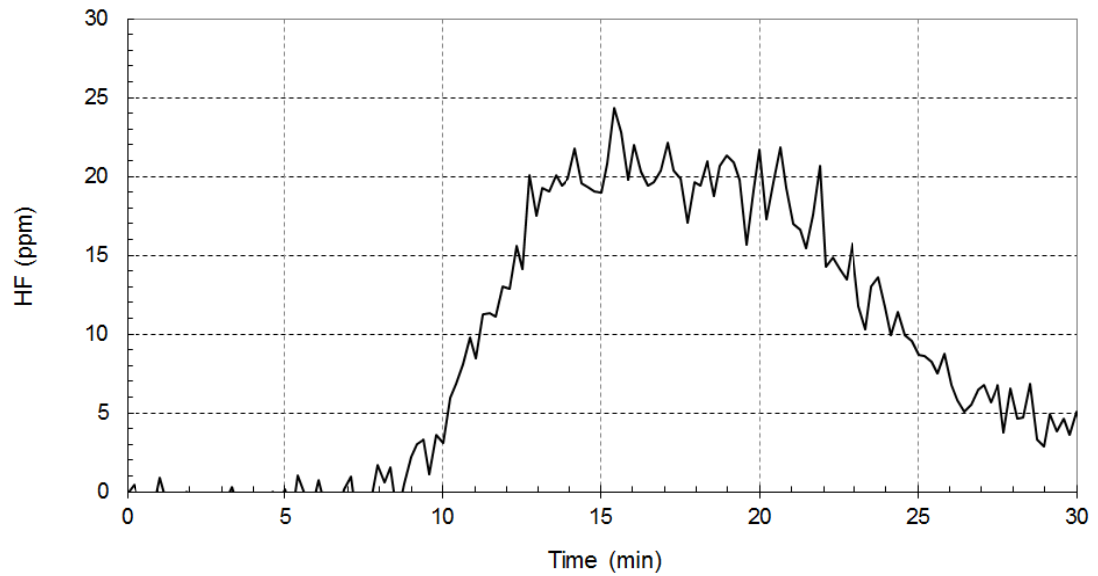


Test A1

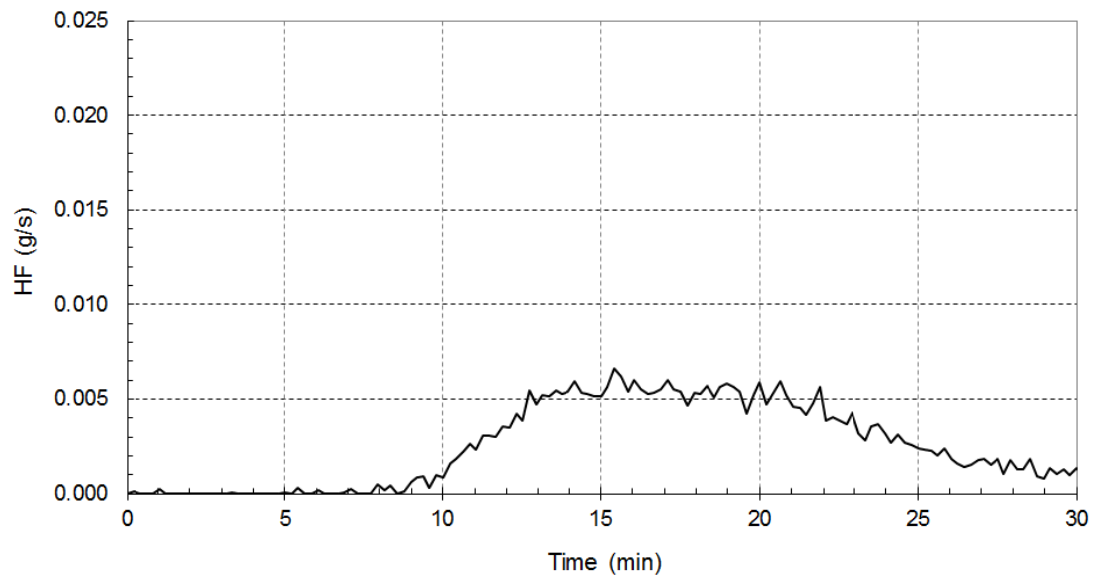


Bilaga 1

Test A1

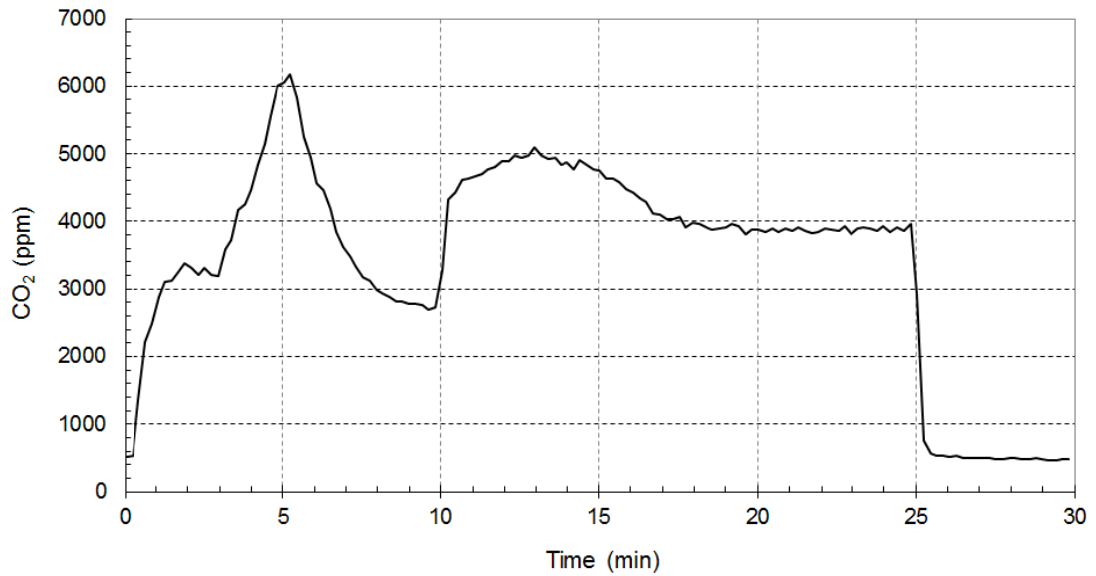


Test A1

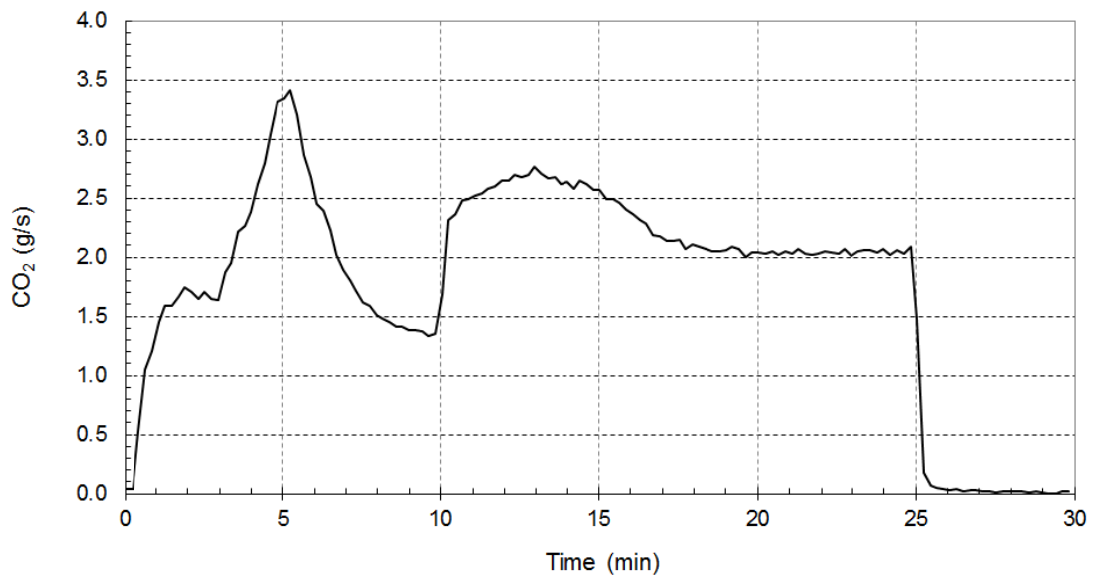


Bilaga 1

Test B1

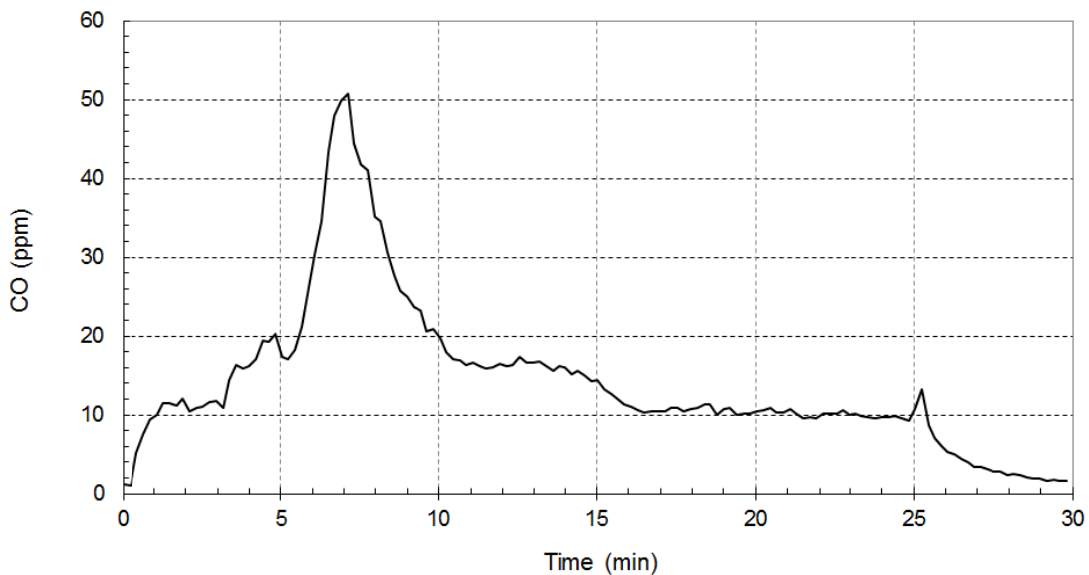


Test B1

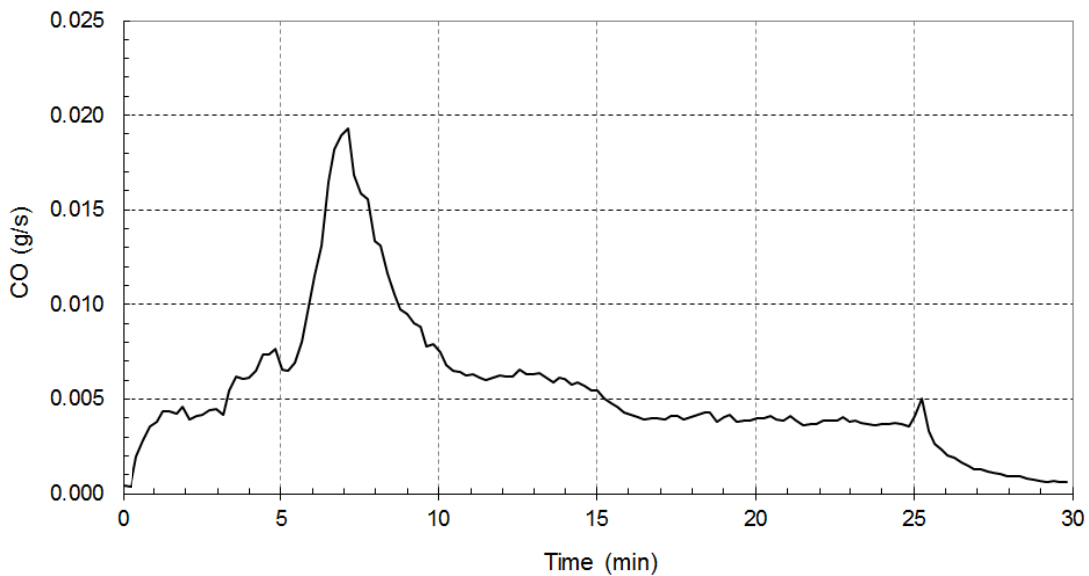


Bilaga 1

Test B1

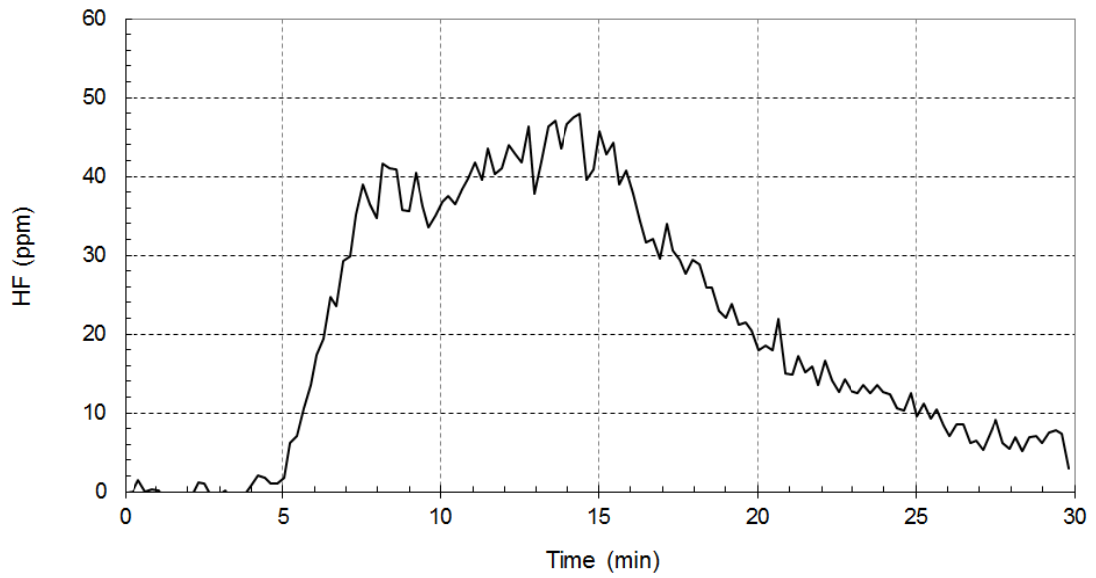


Test B1

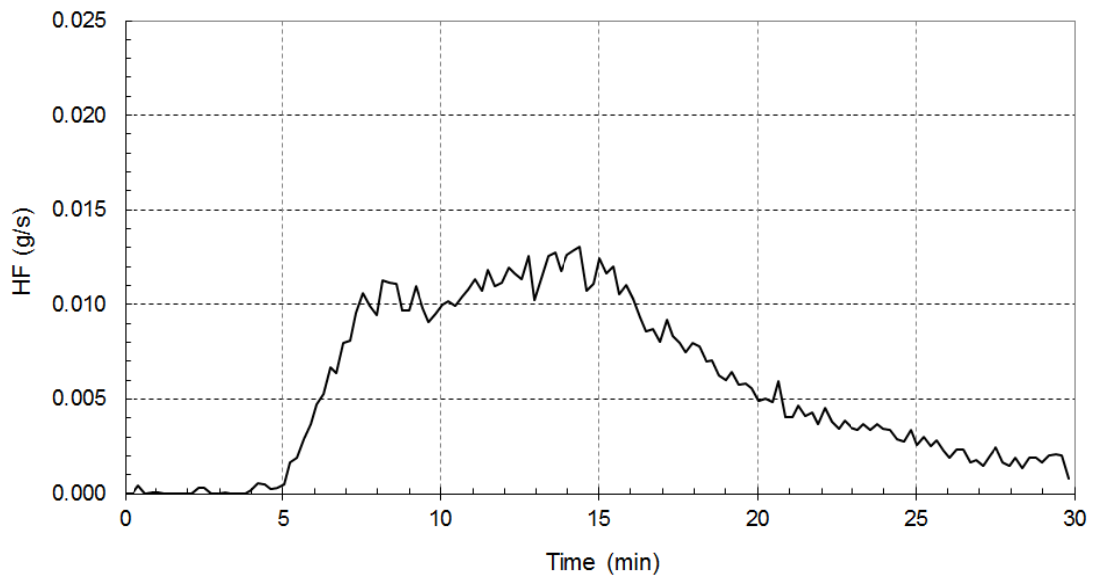


Bilaga 1

Test B1

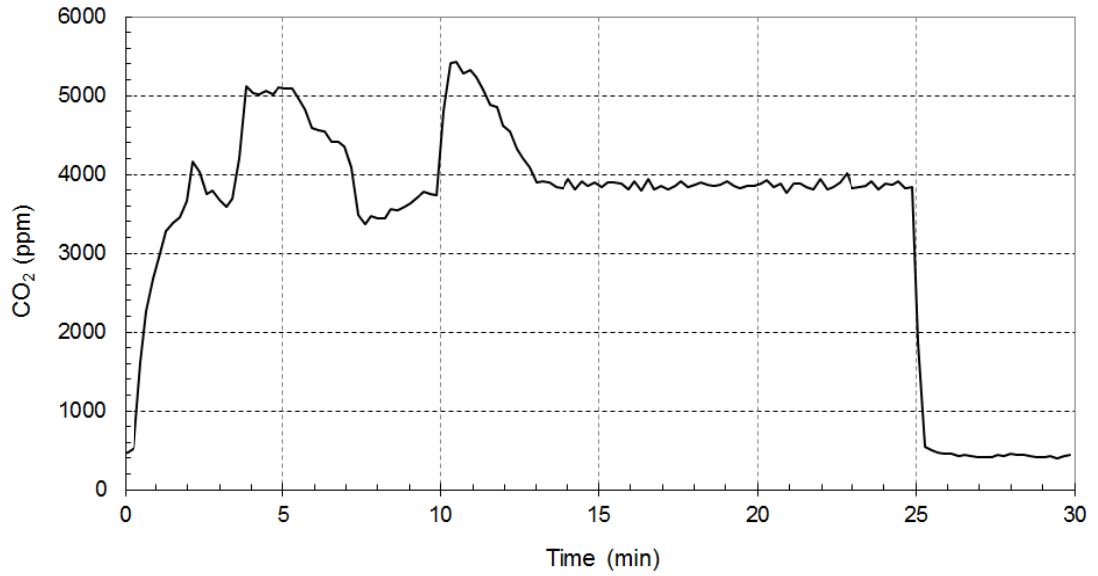


Test B1

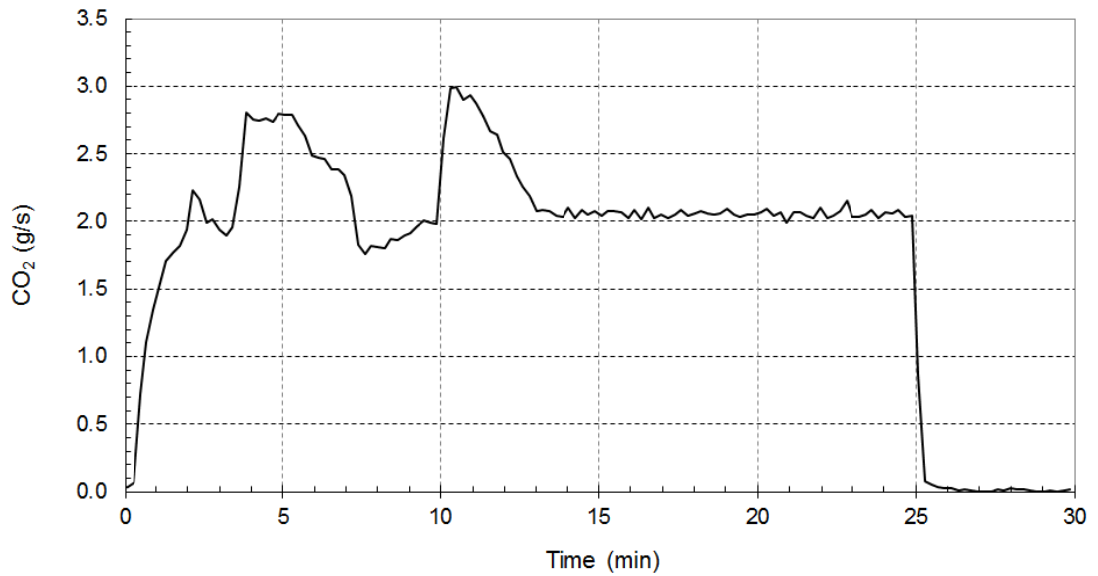


Bilaga 1

Test C1

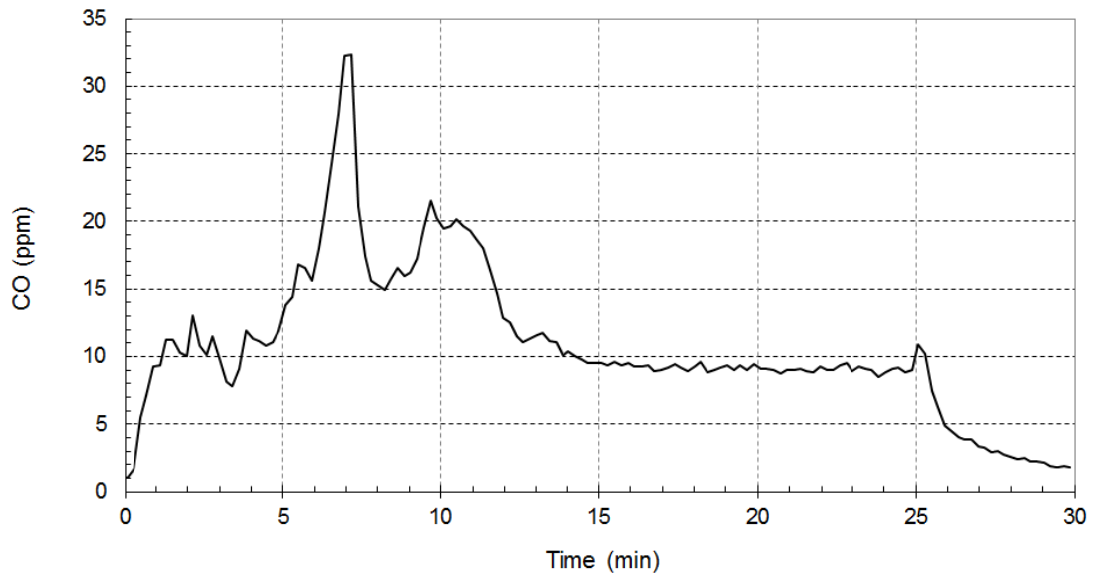


Test C1

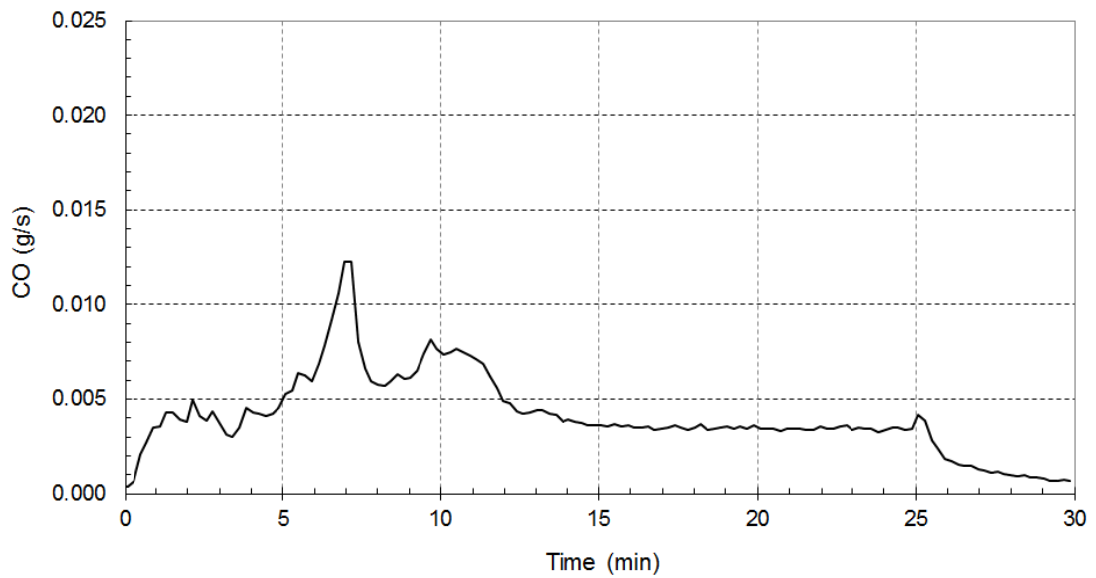


Bilaga 1

Test C1

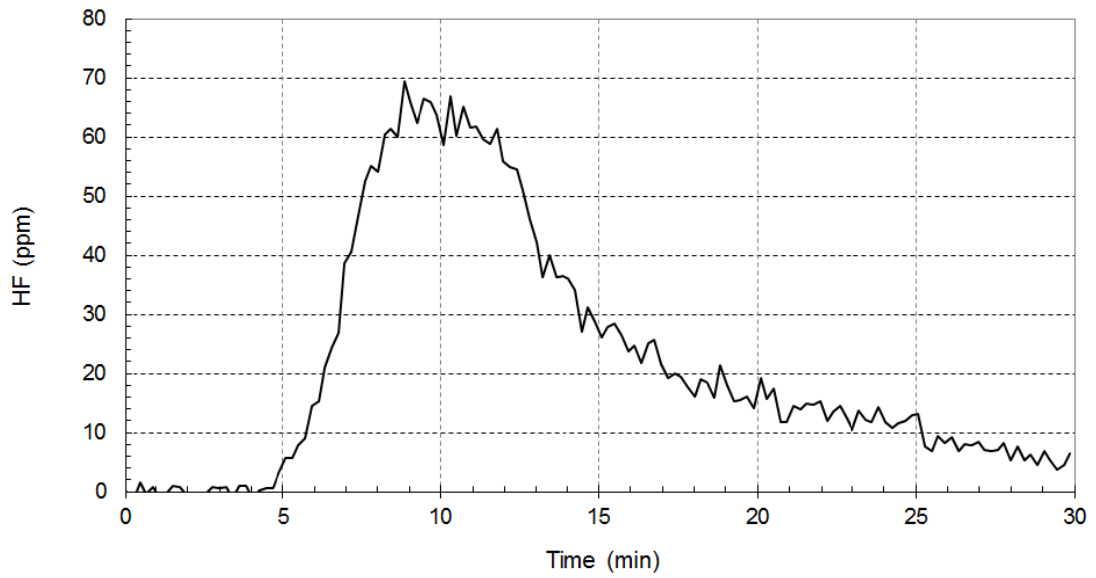


Test C1

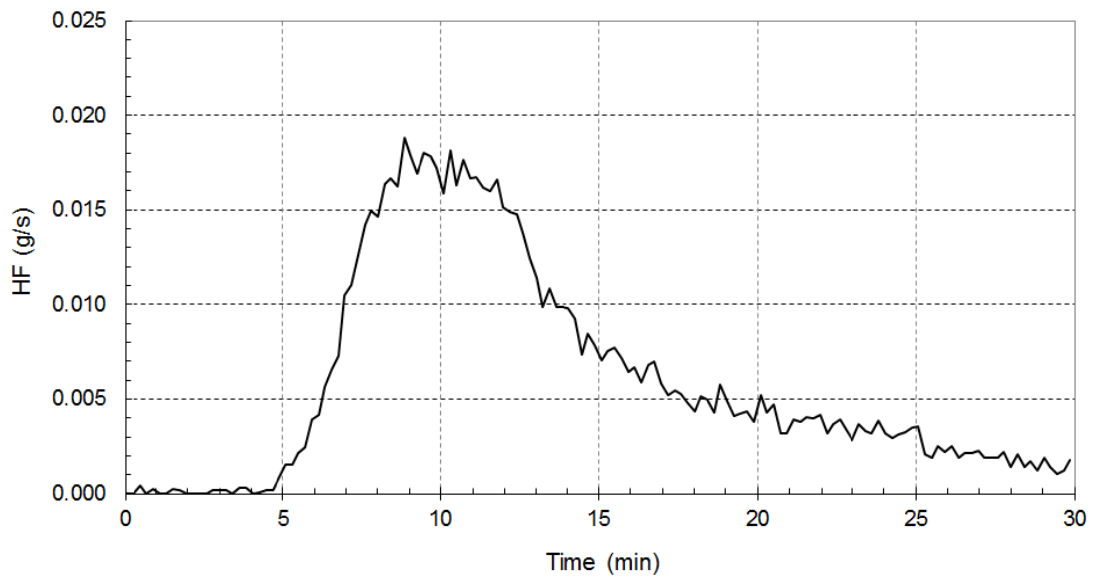


Bilaga 1

Test C1



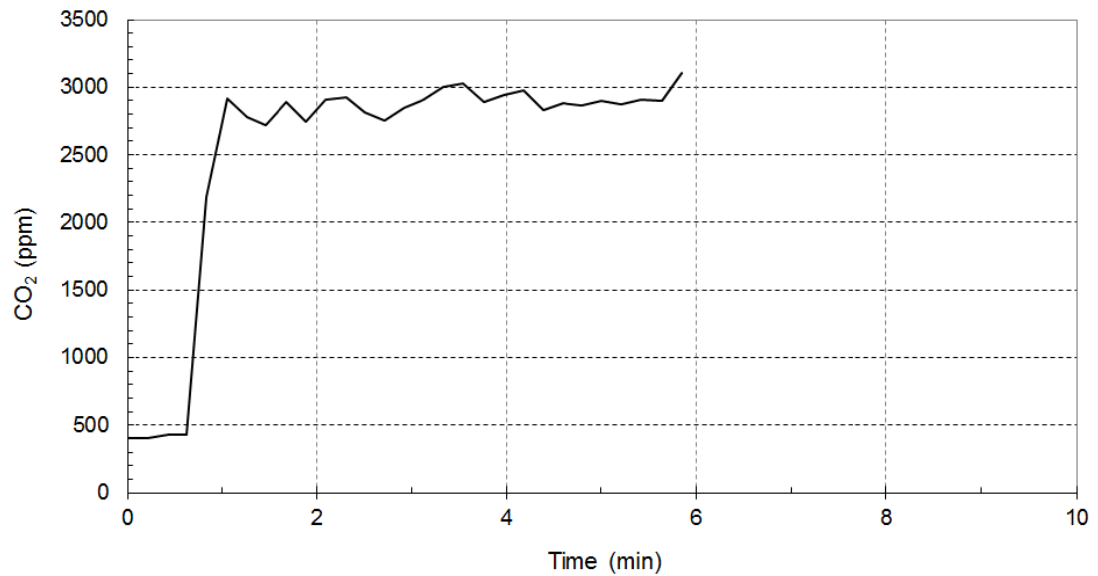
Test C1



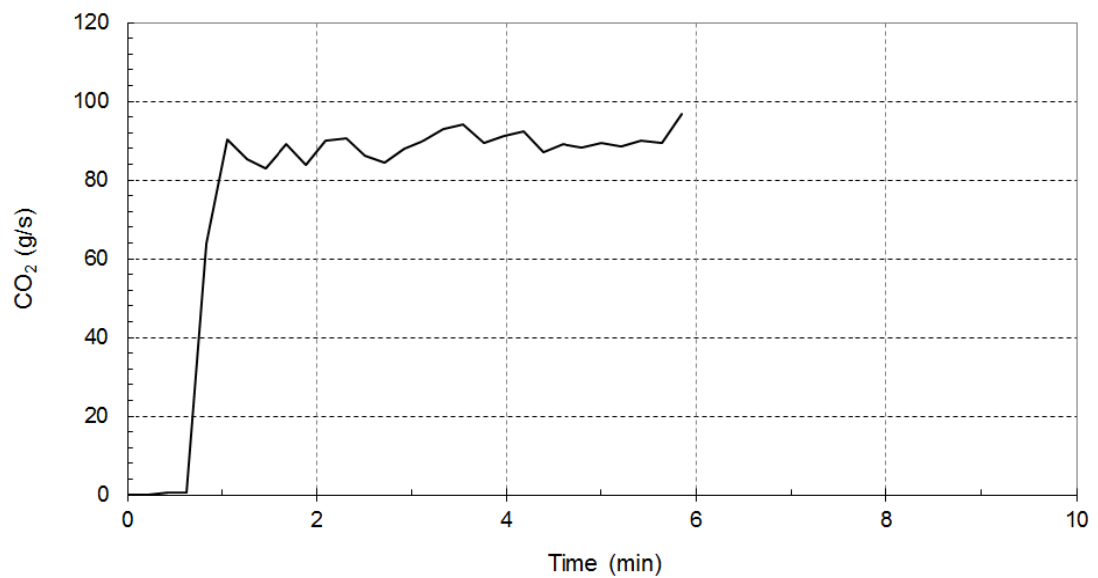
Bilaga 2

Resultat från FTIR stor skala

Blankförsök, stor skala

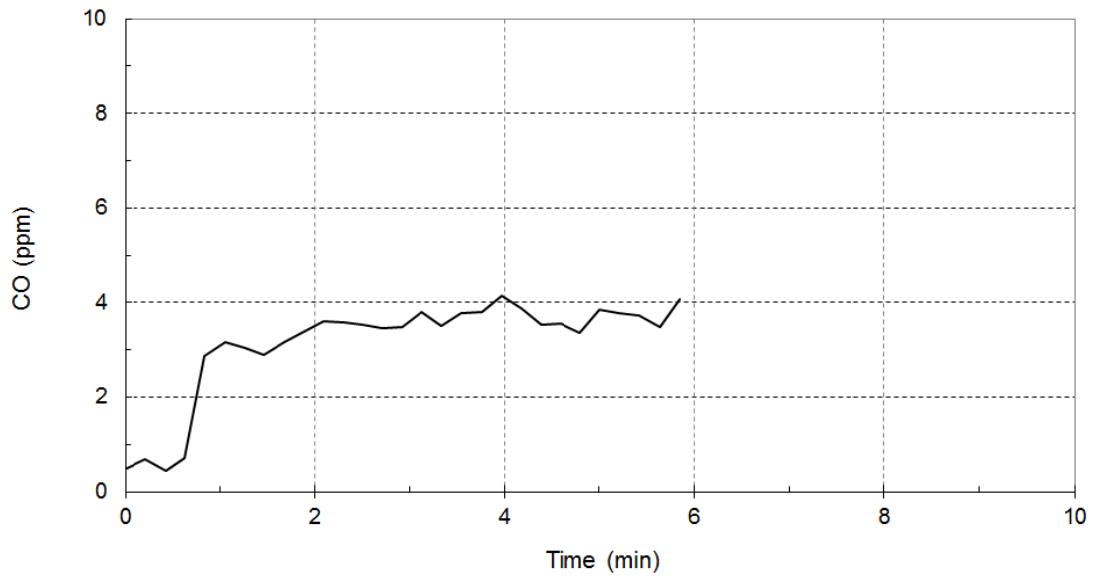


Blankförsök, stor skala

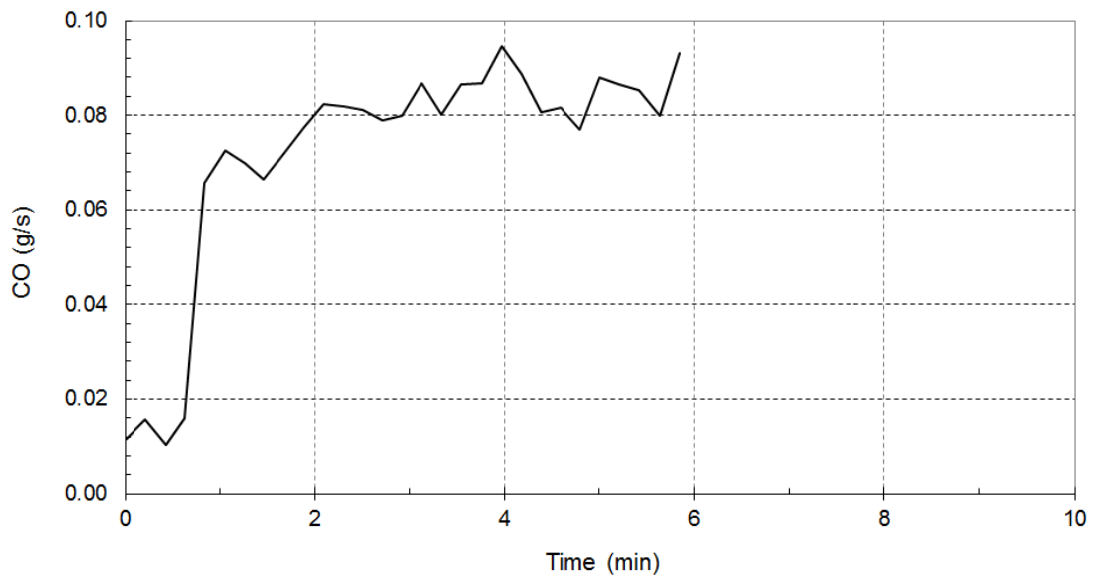


Bilaga 2

Blankförsök, stor skala

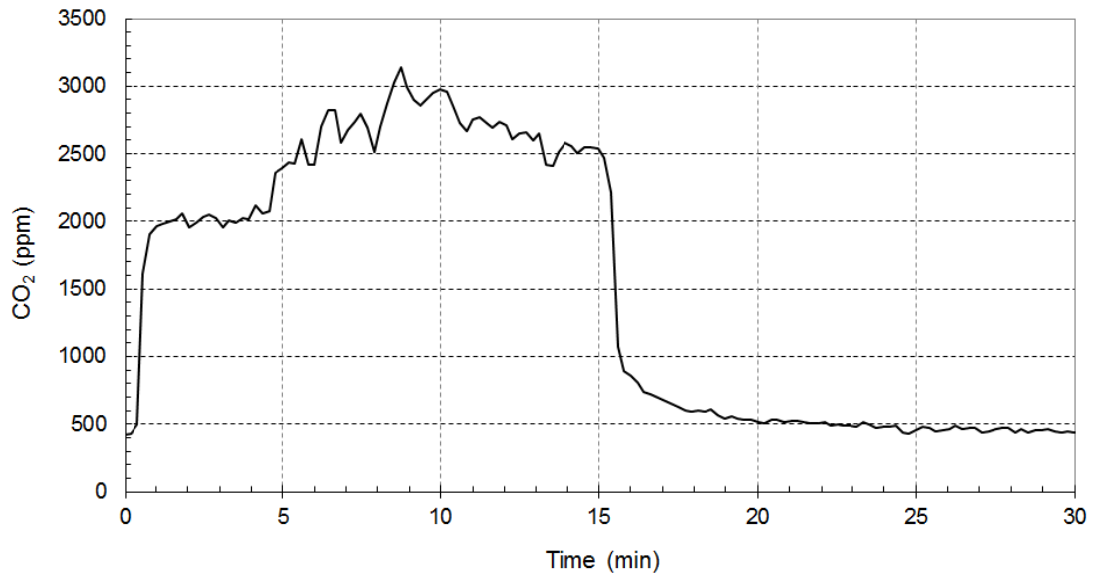


Blankförsök, stor skala

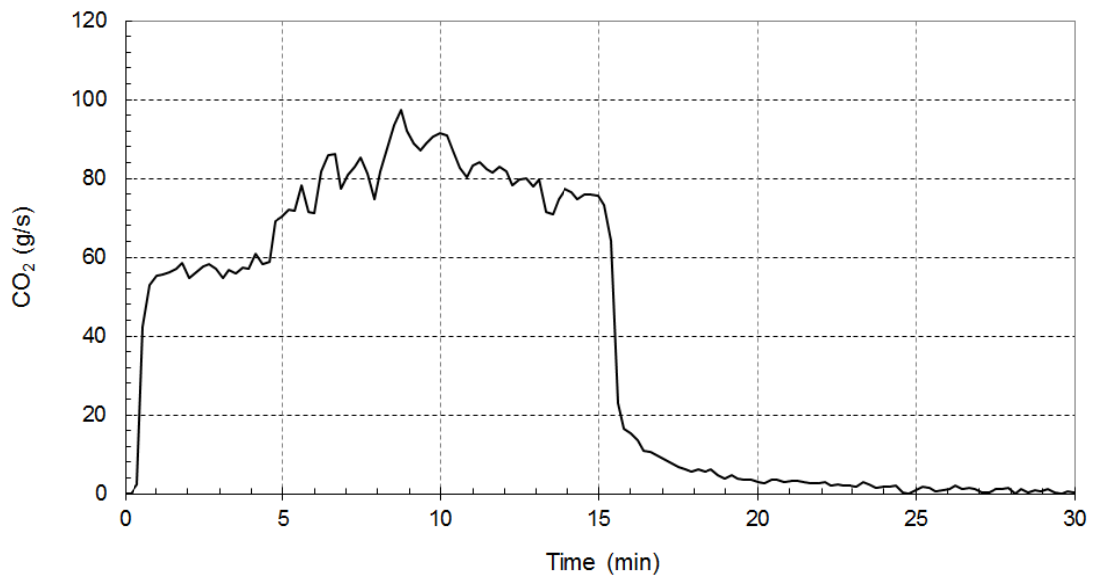


Bilaga 2

Batteripack

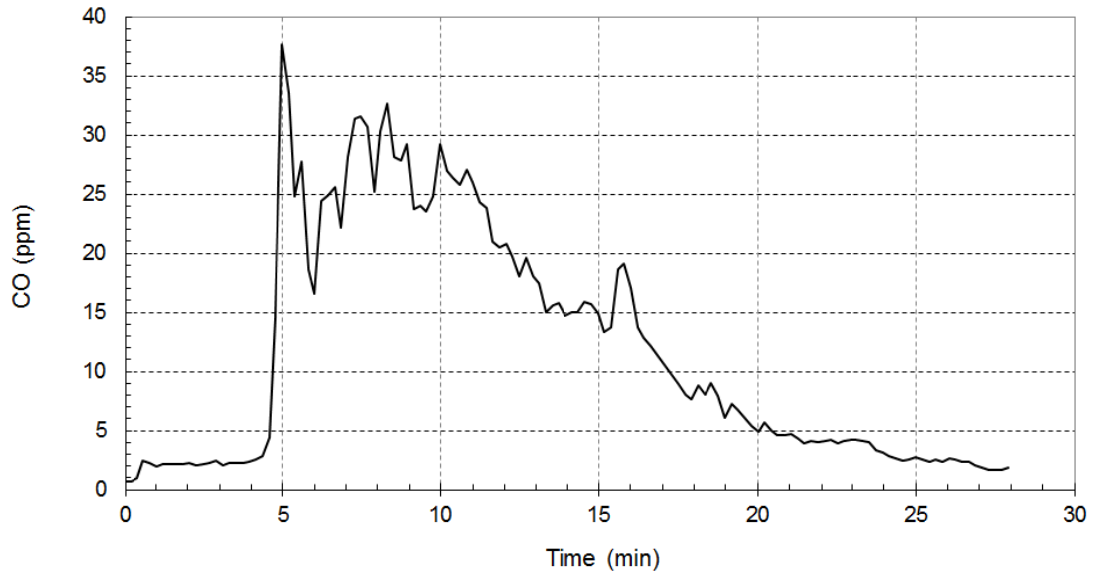


Batteripack

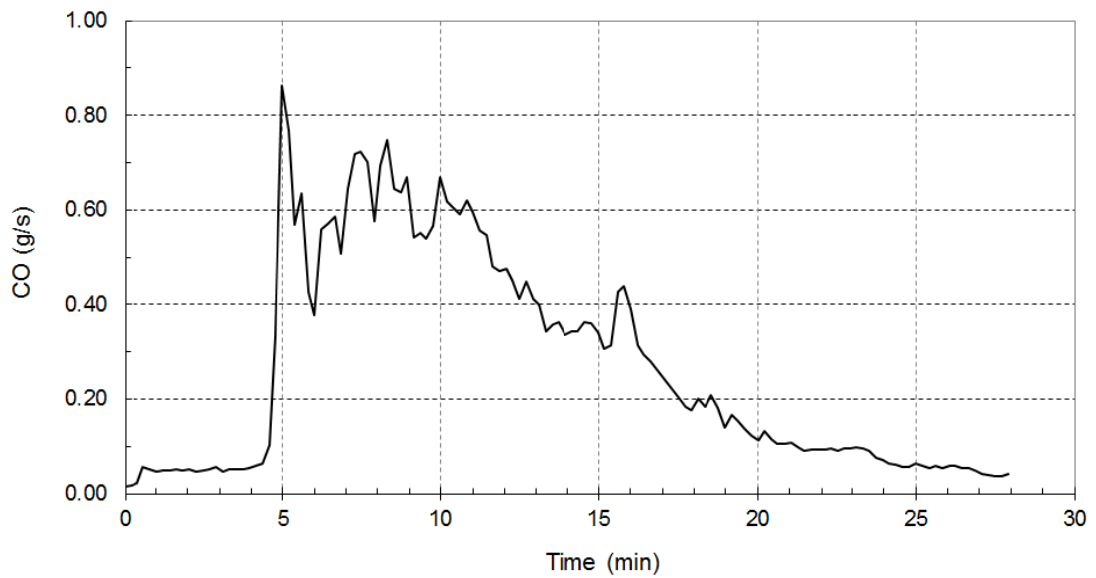


Bilaga 2

Batteripack



Batteripack

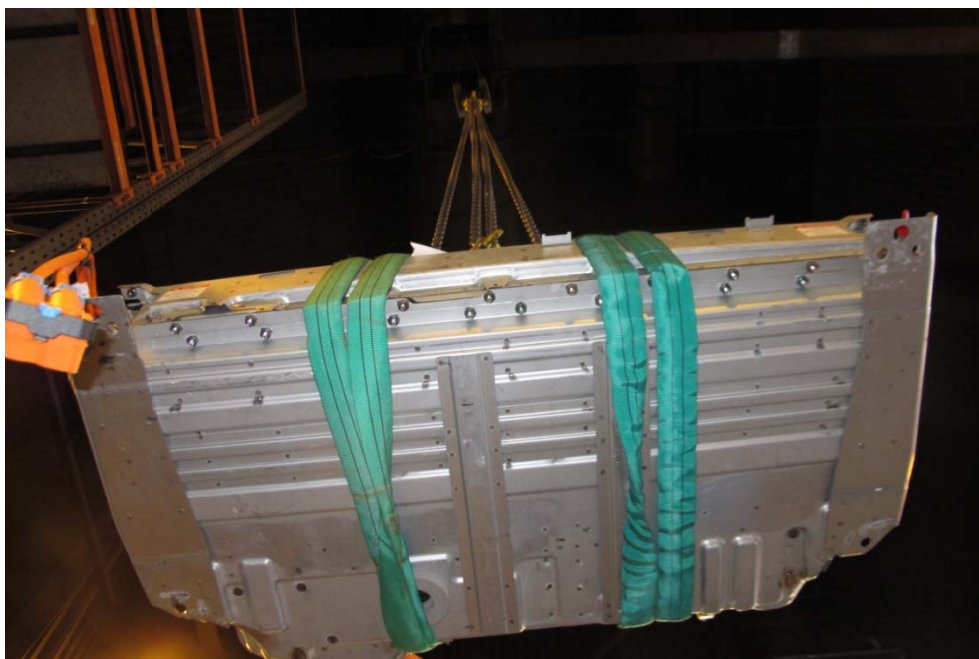


Bilaga 3

Foton på batteripack före och efter brandprov i stor skala



Bilaga 3



Bilaga 3



Bilaga 3



Bilaga 3



Bilaga 3

