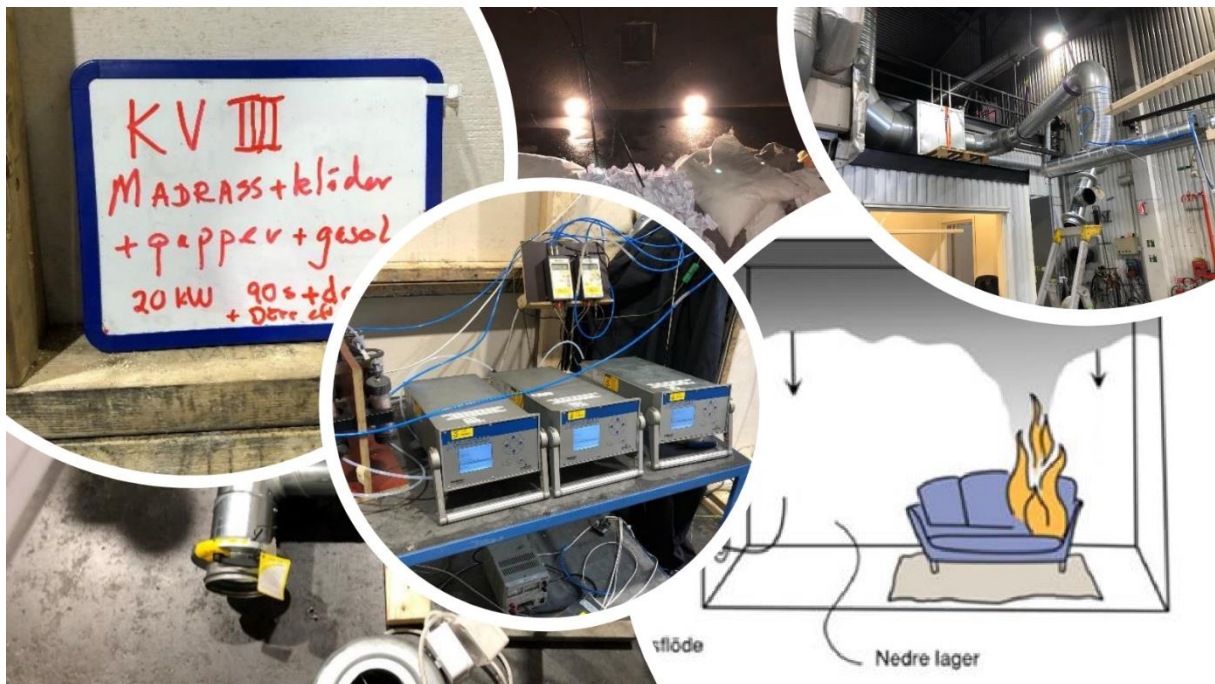


# RAPPORT

## Lågt placerade tilluftsdon

Lärdomar från fullskaleförsök



**Dokumenttyp:** Forskningsrapport

**Rapportnamn:** Lågt placerade tilluftsdon – Lärdomar från fullskaleförsök

**Rapportnummer:** BSL 2021:1

**Årtal för utgivning:** 2021

**Författare:** Hans Nyman, Brandskyddslaget  
Johan Rönnbäck, Briab  
Axel Mossberg, Bengt Dahlgren Brand & Risk

**Finansiär:** SBUF, SKB (Stockholms Kooperativa Bostadsförening), Kriminalvården,  
Hallströms

## Sammanfattning

Idag förekommer flera olika metoder för att begränsa spridningen av brandgaser via ventilationssystem mellan brandceller i byggnader. Några vanliga sådana metoder är olika former av brand- och/eller brandgasspjäll eller att låta fläktarna vara i drift under branden, normalt i kombination med backströmningsskydd på tilluftskanalen. En variant på den senare metoden som diskuterats i handböcker och forskning tidigare är att placera tilluftsdonen lågt i rummet istället för att installera ett backsströmningsskydd på tilluftskanalerna.

Teorin bakom metoden med lågt sittande tilluftsdon utan backströmningsspjäll baseras på de grundläggande teorierna om brand- och brandgasutveckling i ett utrymme. I grunden så bildar en rumsbrand en initial tryckökning i rummet på grund av den ökande temperaturen som skapar en expansion av luftvolymen i rummet. Detta innebär alltså att trycket i det brandutsatta rummet ökar och luft och brandgaser kommer att tryckas ut ifrån brandrummet genom alla tillgängliga öppningar, inkluderat ventilationssystemet. I det inledande skedet kommer en skiktning ske mellan den varma och kalla gasblandningen, vilket är grunden till de så kallade tvåzonsmodellerna som ofta används vid beräkning av bränder. Detta innebär att varma brandgaser kommer att stiga uppåt mot taket och sedan succesivt sjunka mot golvet. När brandgaserna når golvet kommer branden att påverkas av låga syrenivåer i rummet eller runt branden och avta om inte en tryckavlastning sker av brandrummet på något sätt. Detta innebär att när brandgaslagret närmar sig golvnivån kommer branden att avta. Sker ingen tryckavlastning kan branden antingen slockna eller börja pulsera, vilket sker genom att brandeffekten kortvarigt ökar när syrenivåerna runt branden kommit upp i tillräckligt hög nivå för att underhålla en ökad förbränning och sedan mattas branden av igen när syrenivåerna åter sjunker till följd av den åter ökade mängden brandgaser. Detta kan ge upphov till ett antal tryckvariationer i rummet med lägre intensitet än den initiala tryckökningen.

För att utreda metoden med lågt sittande tilluftsdon vidare utfördes i detta projekt ett antal försök på RISE brandlaboratorium i Borås. Försöken utfördes med olika brandbelastning och ventilationslösningar i ett rum med storleken 4 x 5 x 2,4 m. Ventilationssystemets utformning varierades avseende tilluftsdonets placering och tryckfallet samt flödet över både till- och frånluftsdon. De olika brandscenarier som användes kan grovt delas in i tre olika kategorier; Kriminalvårdsbränder, bränder med större mängder brännbart material och bränder med tillväxthastigheter svarande mot de tillväxthastigheter som beskrivs i Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BBRAD).

Resultaten visar att branden kan ge upphov till relativt höga tryck i brandrummet och att branden begränsas av den begränsade syretillgången i brandrummet om inte tryckavlastning sker. Vid kortvarig tryckavlastning/öppning till brandrummet ökar brandeffekten efter detta kortvarigt men sjunker igen när syret åter begränsas. Resultaten visar även att tilluftsdonets placering samt tryckfall och flöde har stor betydelse för spridningen av luft och brandgaser via tilluftssystemet. I rapporten redovisas tryck, temperatur, sotspridning, syrenivåer och brandgasmätningar (CO och CO<sub>2</sub>) i rummet samt i kanalsystemen från de utförda försöken.



## Förord

Projektet är finansierat av SBUF, SKB (Stockholms Kooperativa Bostadsförening), Kriminalvården och Hallströms. Projektet är ett samarbete mellan tre brandkonsultfirmor; Brandskyddslaget, Briab och Bengt Dahlgren. Projektledare är Kristin Andreé (Brandskyddslaget). Projektgruppen består av Hans Nyman (Brandskyddslaget), Johan Rönnbäck (Briab), Axel Mossberg (Bengt Dahlgren Brand & Risk) och Bengt Gåvels NCC Buildings SE. Vid försökens genomförande deltog också Magnus Thorhede från Briab.

Referensgruppen bestod av:

Christer Lindoff, SKB (Stockholms Kooperativa Bostadsförening)

Patrik Gruvesäter, Kriminalvården

Erik Lyckeback, Räddningstjänsten Östra Skaraborg

Nils Johansson, LTH

Michael Forsth LTH

Robert McNamee, RISE

Tomas Egerskog, Ventpartner

Anders Lönnermark, RISE

Petter Lundgren, Invent Air

Ett stort tack till Robert McNamee och Örjan Westlund på RISE.



## Innehållsförteckning

<b>SAMMANFATTNING .....</b>	<b>3</b>
<b>FÖRORD .....</b>	<b>5</b>
<b>1. INLEDNING .....</b>	<b>8</b>
1.1 Bakgrund .....	8
1.2 Syfte och mål.....	10
<b>2. METOD .....</b>	<b>11</b>
2.1 Försökupställning .....	11
2.2 Mätutrustning .....	12
2.3 Sikt och sot .....	13
2.4 Studerade brandscenarier .....	13
<b>3. RESULTAT .....</b>	<b>18</b>
3.1 Kriminalvårdsbränder .....	18
3.2 Verklighetsbaserade bränder.....	31
3.3 Bränder enligt BBRAD .....	44
<b>4. ANALYS.....</b>	<b>66</b>
4.1 Kriminalvårdsbränder .....	66
4.2 Verklighetsbaserade bränder.....	66
4.3 Bränder enligt BBRAD .....	67
<b>5. DISKUSSION .....</b>	<b>69</b>
<b>6. SLUTSATS.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERENSER.....</b>	<b>72</b>

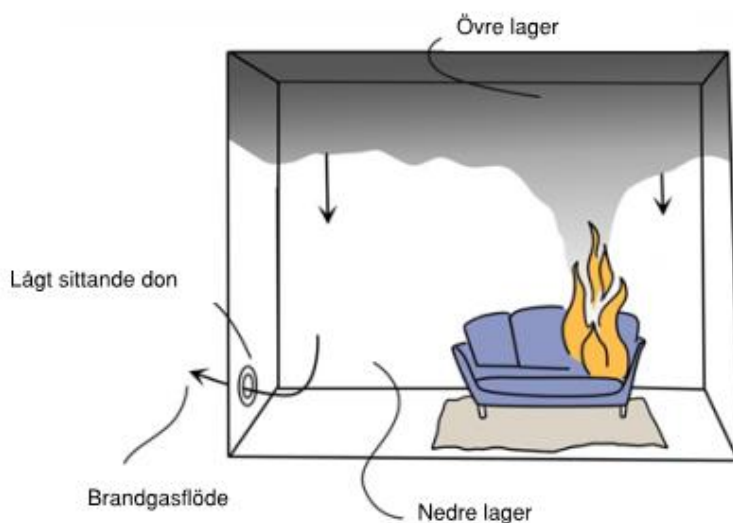
## 1. Inledning

Brandgaser och brandgasspridning är en viktig faktor vid brandsituationer. I brandens inledande skede kommer temperaturökningen i rummet innebära en expansion av luftvolymen som i sin tur innebär att luftvolymen kommer tryckas ut i alla otätheter från brandrummet, inkluderat ventilationssystemet. Grundtanken med metoden med lågt placerade tilluftsdon innebär att viss luftvolym från brandrummet tillåts spridas i det inledande skedet av en brand. Denna rapport redovisar utförda fullskaleförsök med avsikten att öka kunskapen kring den spridning av luft och brandgaser som sker med lågt sittande tilluftsdon.

### 1.1 Bakgrund

Spridningen av brandgaser i det tidiga skedet av brandutvecklingen är ofta det som försvårar utrymning vid bränder vilket gör att detta är en viktig fråga. Vid en brand kommer temperaturen i ett rum att öka snabbt när branden ökar i effekt. Denna uppvärmning innebär att densiteten på luften i rummet kommer att minska och en volymökning av luften kommer att ske. Detta kommer att resultera i en tryckökning vars storlek kommer att bero på hur tätt rummet är samt hur hög brandeffekt som nås. Ju tätare rum, och ju högre effekt, desto högre resulterande tryck. Dessa tryck och flöden ut från brandrummet kommer att fortgå tills branden begränsas av antingen syrebrist eller bränslebrist alternativt att brandrummet tryckavlastas, exempelvis genom att fönster kollapsar.

De tryck som kan uppstå vid en brand kan bli relativt höga [1, 2] men kommer alltså bara att uppstå i den inledande fasen av branden då rummet inte är tryckavlastat samtidigt som det finns tillgång till både syre och bränsle. Samtidigt som trycket byggs upp kommer det bildas ett varmt övre brandgasskikt och ett undre kallare skikt på grund av den lägre densiteten hos varma gaser. Efter ett tag kommer dock det varma skiktet med brandgaser att sjunka ner mot golvet [3,4]. I vissa fall kan också brandgaserna kväva branden genom att begränsa dess tillgång till syre. Brandförloppet kan dock i dessa situationer ofta ta fart igen om syre kommer in i rummet, detta förutsätter dock att en tryckavlastning sker i någon form. Under det inledande skedet kommer luft att pressas ut genom de otätheter som finns. Det flöde som uppstår på grund av det höjda trycket brukar benämnas brandgasflöde. Se figur 1.



Figur 1. Rumsbranden med illustration av var luftmängder trycks ut.



Ett brandförlopp har två väsentliga delar för ventilationsbrandskyddet; en inledande del med högt tryck och relativt låga temperaturer och ett andra skede med högre temperaturer men utan tryckupbyggnad (eftersom branden tryckavlastats). Det är primärt det första skedet av branden som kräver t.ex. backströmningsspjäll eller brandspjäll i ventilationssystemet [5,6]. Den vanligaste metoden idag är att använda backströmningsspjäll på tilluftskanalen i kombination med att bibehålla fläktar i drift. Backströmningsspjällen hindrar brandgaser att strömma ut från brandrummet till närliggande brandceller via tilluftssystemet. Metoden med lågt placerade tilluftsdon skulle alltså kunna ses som ett alternativ till backströmningsspjäll i enlighet med de teorier som redovisats ovan. Detta innebär då att luft kommer tryckas ut genom systemet i tryckupbyggnadsfasen, men teoretiskt sett skulle denna luft då vara relativt fri från brandgaser. I det andra skedet med högre temperaturer är den ventilationstekniska problemställningen annorlunda och normalt enklare att hantera då det i första hand handlar om frånluftskanaler som blir väldigt varma.

Huruvida denna teori stämmer har diskuterats i olika format i branschen. I en artikel i Bygg & Teknik från 2011 genomförde författarna ett antal förenklade brandgasfyllnadsberäkningar och uttryckte oro för lösningen då deras resultat visade på höga tryck även efter att brandgaslagret slagit i golvet, vilket då innebar risk för spridning av brandgaser [7]. Det är dock uppenbart i dessa beräkningar att syrets roll för en brands tillväxt och fortgång inte beaktats i beräkningarna, eftersom brandtryck och temperaturer var evigt stigande (fortsatte förbi 3500 Pa) i de redovisade beräkningsresultaten trots att syretillgången borde påverkat brandens tillväxt.

Några år senare utfördes en serie experiment i modellskala på dåvarande SP i Borås [8]. Försöken utfördes i skala 1:2 med dimensionerna 2 x 2,5 x 1,2 svarande mot ett rum med dimensionerna 4 x 5 x 2,4 meter. Till rummet fanns till- och frånluftskanaler anslutna. Frånluftskanalen var högt placerad och tilluftskanalen justerbar i höjddled från golvnivå och upp till halva rumshöjden. Vid mätningarna registrerades temperatur, tryck, flöde och sikt på olika platser. Branden utgjordes av träribbstaplar som antändes med mindre mängder heptan placerade i kärl. Resultaten visade att branden begränsas av syretillgången i brandrummet samt att tilluftsdonens höjd har stor betydelse för brandgasspridningen via tilluftskanalen. Ju lägre placering desto mindre spridning av värme och sot. Med fläktanslutna kanaler minskades sot- och temperaturspridningen ytterligare.

Det har även utförts försök i större skala av Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund som testade skyddsmetoden genom att sammankoppla två containrar om cirka 14 m<sup>2</sup> vardera med en lågt sittande öppen 125 mm kanal [9]. Även i dessa försök var brandkällan trämaterial och heptan. Tryck och CO-mätningar genomfördes i den icke branddrabbade containern. Resultaten i dessa försök var i linje med de i mellanskala, det vill säga branden begränsades av syrehalten i rummet och det uppmättes ingen spridning av CO i tryckupbyggnadsfasen. Dock uppmättes viss spridning av CO i korta stötar när branden gått över i ett pulserande skede. Denna spridning skedde dock vid väldigt låga tryck över den öppna kanalen, som alltså inte gav något mottryck likt tilluften i ett normalt ventilationssystem.

I rapporten "Säker brandgasspridning vid låga tilluftsdon" [13] av Lars Jensen analyseras några av ovanstående utredningar och försök. I rapporten konstateras bland annat att brandgasspridningen kan begränsas med lämpliga dontryckfall. Men också att brandtrycket inte bestämmer brandgasspridningen utan brandrummets geometri och tillgång på luft och syre avgör hur stor effekten blir. Brandeffekten i sin tur bestämmer brandflödet som beroende av tryckfall i ventilationsdon och läckage som i sin tur ger brandtrycket. I rapporten konstateras att "säker brandgasspridning med låga tilluftsdon är möjligt oberoende av brandtrycket".

Det kan av ovanstående försök och beräkningar konstateras att syrenivåerna i rummet är avgörande för att branden ska kunna fortsätta utvecklas. Det kan även konstateras att spridning av luft och brandgaser kan ske med lågt sittande tilluftsdon men det behöver studeras vidare under vilka förutsättningar samt i vilken omfattning och vilken sammansättning dessa gaser har.

Om skydd med lågt sittande tilluftsdon visar sig fungera så finns det en stor fördel i att skyddet är passivt, det vill säga det finns alltid där, till skillnad från exempelvis brand- och brandgasspjäll som behöver en aktiv stängningssignal för att fungera. Aktiva system, speciellt sådana som inte används i byggnadens vardagliga drift, löper alltid en större risk för att fallera. Brandskyddstekniska installationer som brandgasfläktar, backströmningsspjäll och brandspjäll måste skötas och underhållas över tid. Detta beaktas sällan vid nybyggnation eller vid ventilationsteknisk brandskydd. Ett icke-fungerande brandspjäll i samband med en rumsbrand kan få stora konsekvenser. Det finns även en miljövinst i att minska materialkonsumtionen i byggnader, vilket vidare bidrar till intresset av skyddsmetoden.

I och med att brandrummets syrenivåer är låga och att spridning av både friskluft och brandgaser sker under förloppet är dock systemet svårt att studera i de brandtekniska beräkningsmodeller som finns tillgängliga idag. Därav bedömdes försök i stor skala vara viktigt för att öka kunskapen om metoden.

## **1.2 Syfte och mål**

Syftet med projektet är att utifrån fullskaleförsök studera metoden att använda lågt placerade tilluftsdon som skydd mot brandgasspridning via ventilationssystemet. Syftet är vidare att studera sammansättningen av brandgaser och luft som sprids i till- och frånluft vid en brand i ett rum med lågt placerad tilluft.

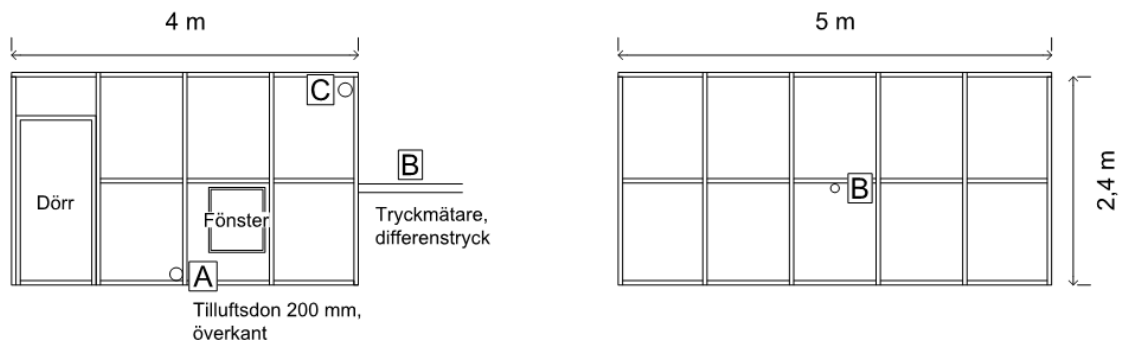
Målet är att genom försöken öka kunskapen kring risken för brandgasspridning i system med lågt sittande tilluftsdon. Målet är även att resultatet från försöken ska kunna utgöra kunskapsunderlag vid verifiering av sådana system.

## 2. Metod

Nedan redovisas försöksupställning, mätutrustning, studerade brandscenarier och utförandet för försöken.

### 2.1 Försöksupställning

Fullskaleförsöken utfördes på RISE brandlaboratorium i Borås. Försöksupställningen visas i figur 2 nedan. Rummet är en fullskaleversion av det rum som användes i tidigare utförda modellförsök [8]. Väggar och tak byggdes på stommar av träreglar. Invändigt var stommarna beklädda med skivor av obrännbart material (brandgips). I skarvarna mellan stommarna samt mellan stommar och betonggolv, utfördes isolering med glasull. Tätningsmassa användes för att tätta skarvar och otätheter mellan skivor.



Figur 2. Principskiss av provupställningen för fullskaleförsöken.

A i figuren var en tilluftskanal med diametern 125 mm och på denna placerades tilluftsdonet. I alla försök utom två var höjden på överkant tilluftsdon 20 cm ovan golv. Donplaceringen justerades i höjddled med hjälp av en 90 böj på insidan av rummet i två av försöken. Donet blev då nedvänt mot golvet med höjden 2,5 cm ovan golv. C var frånluftskanalen med diametern 125 mm. B är anslutningen där läckageflödet uppmättes mellan testerna. Temperaturer mättes i kanalerna A och C samt i ett termoelementtråd i brandrummet med termoelement var 10:e cm från golv till tak. Ett antal tryckgivare var också installerade, dels i kanalerna men också för statisk tryckmätning i brandrummet. CO, CO<sub>2</sub> och O<sub>2</sub> mättes i kanalerna A och C samt i brandrummet. Mer detaljer kring mätutrustning ges i avsnitt 2.2.

I de fall fläktar användes anslöts dessa till kanalerna A och C. Kanal A anslöts då till en tilluftsfläkt som försåg rummet med luft och C anslöts mot en frånluftsfälkt som då drog luft ut ur rummet. I fallen med till- och frånluft justerades flöden och tryckfall över don in på olika nivåer. I både kanal A och C mättes också sikten med hjälp av lasermätare. På både till- och frånluftskanal installerades mätdon för flöde. Injusteringen av tilluftens flöde och tryck utfördes med en kanalfläkt monterad på en tänkt samlingskanal därifrån kanalen till brandrummet monterades via ett T-stycke. Luften från fläkten fördelas således mellan tilluftskanalen och ut till det fria. Detta utförande valdes till förmån för en fläkt direkt monterad på tilluftskanalen eftersom mottrycket vid fläkten annars ökar i takt med att tryckuppbyggnaden i brandrummet närmar sig 50 Pa och flödet närmar sig noll. Den valda utformningen gör denna påverkan mindre. Detta fungerar mer som ett normalt tilluftssystem där mottrycket i kanalen inte heller påverkas i samma omfattning av mottryck i en enstaka tilluftskanal från en brand.

Frånluften utfördes på likande sätt men i detta fall på grund av att frånluftsfläkten var kraftigt överdimensionerad vilket innebar att luft från det fria behövde ledas in i systemet för att belasta fläkten på ett bra sätt.

Figur 3 redovisar framsidan av modellrummet med dörr, fönster och den lågt placerade tilluftskanalen med spjäll och fläkt. I bildens övre högra del är frånluftsfläkt med spjäll installerat.



Figur 3. Modellrum med lågt placerat tilluftsdon, spjäll och tilluftsflykt och högt placerat frånluftsdon med don och frånluftsflykt.

Som visats i figur 2 byggdes rummet upp med invändiga mått, 4 m × 5 m × 2,4 m (bredd x längd x höjd). Väggar och tak byggdes på stommar av träreglar. Invändigt var stommarna beklädda med skivor av obrännbart material. I skarvarna mellan stommarna samt mellan stommar och betonggolv, utfördes isolering med glasull. En mjuk tätningssmassa användes även för tätning av skarvar med fogpistol. En dörr, 1 m × 2 m (Bredd x Höjd), för åtkomst till rummet samt två fönsterrutor med brandklassat glas för visuell kontroll var monterade.

## 2.2 Mätutrustning

Temperaturer, gasmätningar, siktmätning samt beräknade hastigheter i kanaler genomfördes under varje försök. Temperaturmätningar utfördes med termoelementtråd typ K, tjocklek 0,5 mm, svetsad i mätpunkten, på följande positioner:

- ett temperaturtråd i rummet (mätning var 10:e cm från golv till tak)
- i tilluftskanalen (kanal A)
- i frånluftskanalen (kanal C)
- i kanal B

Gasmätningar utfördes på följande positioner:

- i tilluftskanalen (kanal A)
- i frånluftskanalen (kanal C)
- i provrummet vid temperaturtrådet, höjd 25 cm från golv

Siktmätningar med laser, utfördes på följande positioner:

- i tilluftskanalen (kanal A)

- i frånluftskanalen (kanal C)

Kanalhastigheter beräknades med så kallad Bi-directional probe på följande positioner:

- i tilluftskanalen (kanal A)
- i frånluftskanalen (kanal C)
- i kanal B

Syrgasmätningar utfördes även med hjälp av en lambdasond på följande positioner:

- I rummet vid temperaturträdet, höjd 10 cm under tak
- I frånluftskanalen, i serie med ordinarie gasmätning

### 2.3 Sikt och sot

Sikt kan vara ett kriterium för att avgöra brandgasspridning. Sikten bestäms av sotinnehållet i en volym. I försöken användes lasermätare på tilluftskanalen för att under de perioder då flödet vände också mäta sikt och därigenom också den spridda sotmängden. Sikten kan beskrivas utifrån den optiska densiteten  $OD$  [11]:

$$OD = \frac{1}{L} \cdot \log_{10} \frac{I_0}{I} \quad (3)$$

$I_0$  är initial intensitet som reduceras till  $I$  över längden  $L$  (m).

$OD$  kan också skrivas som

$$OD = \alpha_s \cdot C_s \quad (4)$$

där  $\alpha_s$  är en materialkonstant (smoke extinction coefficient) och  $C_s$  är masskoncentrationen ( $\text{kg/m}^3$ ). Det är ett antal parametrar som kan påverka materialkonstanten  $\alpha_s$  som t.ex. tillgång på syre, materialets sammansättning och struktur. I den aktuella undersökningen har ett värde från referens [11],  $3300 \text{ m}^2/\text{kg}$ , använts. Ytterligare värden finns i [12].

Mängden sot  $\dot{m}_s$  ( $\text{kg/s}$ ) beskrivs utifrån masskoncentrationen  $C_s$  och volymflödet  $\dot{V}_t$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ):

$$\dot{m}_s = C_s \cdot \dot{V}_t \quad (5)$$

I de aktuella försöken mäts den relativa intensiteten ( $I_0/I$ ),  $L$  är känt (kanaldiameterna 125 mm) vilket innebär att  $OD$  kan beräknas. Materialkonstanten  $\alpha_s$  är i beräkningarna antagen vilket ger  $C_s$  enligt (4). Volymflödet  $\dot{V}_t$  i den lågt sittande tilluftskanalen mäts vilket innebär att den spridda sotmängden  $\dot{m}_s$  kan beräknas enligt (5). Utifrån en mottagande volym (i detta fall ett rum lika stort som testrummet) kan en ny masskoncentration (via ett antaget  $\alpha_s$ ) och  $OD$  beräknas.

### 2.4 Studerade brandscenarier

Som tidigare nämnts delades de studerade brandscenarierna upp i tre kategorier:

1. Kriminalvårdsbränder
2. Verklighetsbaserade bränder
3. Bränder enligt BBRAD

De tre olika kategorierna av brandscenarier avser att studera olika situationer som kan vara aktuella vid en rumsbrand. I den första kategorin, Kriminalvårdsbränder, studeras de brandscenarier som ofta är aktuella i vissa speciella verksamheter där hög kontroll finns över materialet i ett utrymme, t.ex. boenderum inom anstaltslokaler eller liknande. I dessa utrymmen är normalt kontrollen över brännbart material avsevärt högre än i ett normalt utrymme.



Den andra kategorin, verklighetsbaserade bränder, studerades bränder som kan uppstå i en vanlig bostad, hotellrum eller liknande. Bränderna utformades med avsikten att utmana skyddsmetoden så mycket som möjligt. Detta genom att ge branden en långsam initial tillväxt som sedan accelererades en bit in i förloppet när mycket brandgaser redan hade bildats. Avsikten var att den tryckökning som sker i brandrummet alltså skulle ske när det fanns mycket brandgaser i rummet. Avsikten var även att ha material som kan förekomma i en lägenhet eller liknande och som kan ge upphov till stora mängder brandgaser.

Den sista kategorin fokuserade på de tillväxthastigheter som finns angivna i BBRAD. Här användes gasolbrännare för att få branden att följa en förinställd tillväxtkurva i enlighet med de brandförlopp som anges i det allmänna rådet från Boverket.

Ytterligare detaljer om respektive brandscenario redovisas även nedan.

#### 2.4.1 Kriminalvårdsbränder

Det brännbara materialet i dessa tester utgick från en inventering av vilka brännbara material som kan förekomma i ett boenderum på en anstalt. Det brännbara materialet i respektive försök bestod av brandskyddsbehandlade men vandaliserade madrasser med måtten 0,8 x 2,0 m (1-2 stycken) som vägde 8,5 kg styck samt sängkläder, kläder, handdukar och vanligt utskriftspapper. Totalt vägde tygmaterialet för respektive försök cirka 17 kg och pappret för varje försök vägde cirka 0,3 kg (60 st ihopskyndade A4-ark).

Tändkällan i dessa tester var en mindre gasolbrännare på 20-30 kW som var i drift i 90 sekunder i brandens inledande skede. Denna satte eld på pappret som hade skrynklats ihop till en hög av pappersbollar som hade lagts mellan högar av det övriga materialet på madrassen. Detta för att efterlikna hur en anlagd brand skulle kunna tänkas initieras i denna typ av miljö. Brandkällan i dessa försök visas i figuren nedan.



Figur 4. Brandkällan för Kriminalvårdsbränderna.

Brandkällan placerades på sängnivå (ca 40 cm ovan golv i dessa försök).

#### 2.4.2 Verklighetsbaserade bränder

Det brännbara materialet i dessa bränder var 2–4 skummadrasser med måtten 0,8 x 2,0 meter beroende på försök. I dessa försök eftersträvades bränder med utdragna brandförlopp och med hög sotproduktion. Madrasserna var inhandlade på ett större varuhus och var billiga, enkla varianter utan madrasskydd eller brandskyddande behandling. I dessa fall användes en manuell gasoltändare som antände ett hörn på en madrass.



Figur 5. Ett exempel på brandbelastning i ett försök med verklighetsbaserad brand.

I scenarierna varierades brandlasten mellan två madrasser i scenario VB 1-3, tre madrasser i scenario VB 4 och fyra madrasser i scenario VB 5. Tiden varierades mellan 30 minuter i scenario VB 3-4 och 40 minuter i scenario VB 1-2 och scenario VB 5. För scenario VB 1-2 samt scenario VB 5 öppnades dörren efter 30 minuter för att släppa in ytterligare syre i rummet. Dörren var öppen i 30 sekunder och stängdes sedan igen. Se även sammanställningen i avsnitt 2.4.4.

#### 2.4.3 Bränder enligt BBRAD

I dessa fall var fokus på tillväxthastigheter där brandkällan var en större gasolbrännare med möjlighet att programmera tillväxthastigheter. De tillväxthastigheter som användes var 0,0029 kW/s<sup>2</sup> (slow), 0,012 kW/s<sup>2</sup> (medium) och 0,047 kW/s<sup>2</sup> (fast). Bränderna tilläts fortgå till dess att tydliga tecken på underventilerade förhållanden uppvisades och då stoppades flödet till gasolen.



Figur 6. Gasolbrännaren som användes i försöken med bränder enligt BBRAD. Gasoltillförseln skyddas i bilden med en stenullsmatta.

#### 2.4.4 Försökssammanställning

I tabellen nedan redovisas en sammanställning av de utförda försöken.

Tabell 1. Försökssammanställning.

Benämning	Höjd TL (ÖK) [cm]	Flöde i TL [l/s]	Tryckfall över don [Pa]	Tid [s]	Brandlast	Kommentar
KV1	20	Öppen kanal	Inget don på kanal, ingen fläkt	1044	Se avsnitt 2.3.1	Läckagekanalen var öppen
KV2	20	Öppen kanal	Inget don på kanal, ingen fläkt	960	Se avsnitt 2.3.1	
KV3	20	30	50	960	Se avsnitt 2.3.1	
KV4	20	30	50	960	Se avsnitt 2.3.1	Dörr öppnades i 30 sekunder efter 2 minuter
VB1	20	Öppen kanal	Inget don på kanal, ingen fläkt	2463	Två madrasser	Dörr öppnades i 30 sekunder efter 30 minuter



VB2	20	25	50	2461	Två madrasser	Dörr öppnades i 30 sekunder efter 30 minuter
VB3	2,5	Öppen kanal	Inget don på kanal, ingen fläkt	1878	Två madrasser	
VB4	2,5	25	50	1863	Tre madrasser	
VB5	20	25	50	2464	Fyra madrasser	Dörr öppnades i 30 sekunder efter 30 minuter
BBRAD1	20	Öppen kanal	Inget don på kanal, ingen fläkt	760	Gasol – Slow	Maxeffekt 400 kW
BBRAD2	20	25	50	800	Gasol – Slow	Maxeffekt 500 kW
BBRAD3	20	Öppen kanal	Inget don på kanal, ingen fläkt	604	Gasol – Medium	Maxeffekt 900 kW
BBRAD4	20	25	50	482	Gasol – Medium	Maxeffekt 1300 kW
BBRAD5	20	Öppen kanal	Inget don på kanal, ingen fläkt	430	Gasol – Fast	Maxeffekt 1800 kW
BBRAD6	20	25	50	423	Gasol – Fast	Maxeffekt 600 kW
BBRAD7	20	25	50	319	Gasol – Fast	Maxeffekt 1500 kW
BBRAD8	20	25	50	479	Gasol – Fast	Maxeffekt 1800 kW
BBRAD9	20	25	25	422	Gasol – Fast	Maxeffekt 2300 kW

Observera att BBRAD6 och 7 hade strypt gasol, vilket gav lägre effekter i dessa scenarier. De är i övrigt samma scenario som BBRAD8.

### 3. Resultat

I nedanstående avsnitt presenteras resultaten från de utförda försöken. Observera att brandkällan startades en minut in i respektive försök. Branden startar alltså vid 1:00 inte vid 00:00 i figurerna i detta avsnitt.

#### 3.1 Kriminalvårdsbränder

För Kriminalvårdsbränderna utfördes, som nämnt ovan, fyra försök. Läckaget i rummet uppmätt innan försöken visas i tabellen nedan. Som jämförelse läcker dagens fasader i välbyggda hus med bra energiprestanda cirka 0,3-0,6 l/sm<sup>2</sup> vid 50 Pa övertryck.

Tabell 2. Läckage innan försöken med Kriminalvårdsbränder.

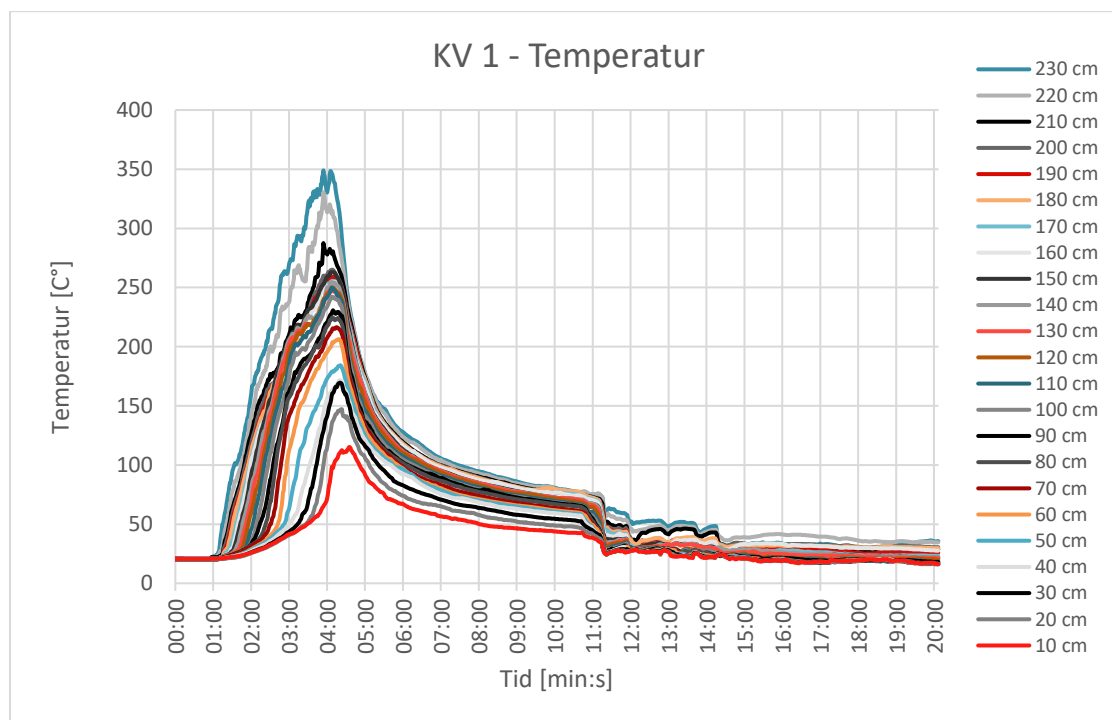
Scenario	Läckage före försök vid 50 Pa [l/sm <sup>2</sup> ]
Kv1	0,82
Kv2	0,65
Kv3	0,47
Kv4	0,47

I det första försöket, KV1, var läckagekanalen i rummet öppen (utan don), vilket påverkade tätheten och även resultaten.

##### 3.1.1 Temperatur och syrenivå i rum

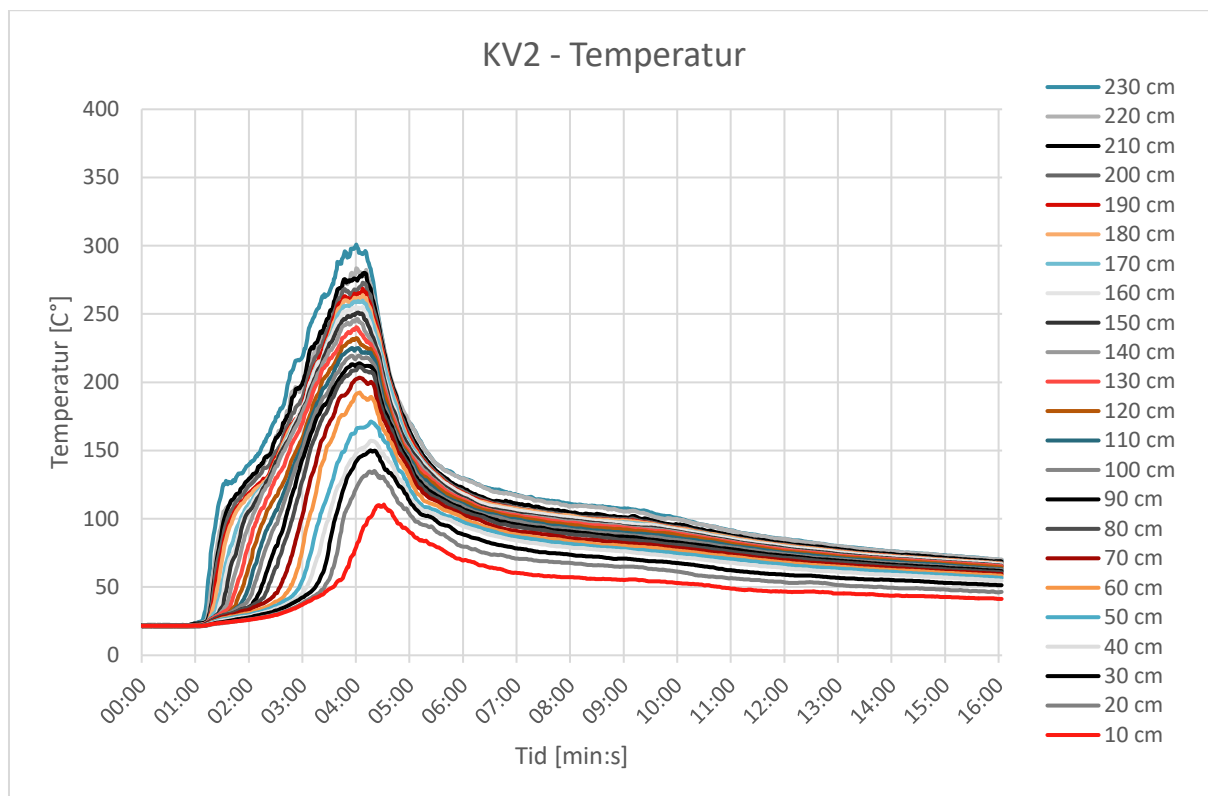
Temperaturerna i försöken mättes i rummet samt i till- och frånluftskanalerna. Nedan visas dessa temperaturer.

Temperaturen i rummet mättes i Kv1 som mest upp till cirka 350 °C vid taknivå i rummet. Syrenivån sjönk till cirka 15 % samtidigt som maxtemperaturer uppnåddes. Efter den lägsta nivån återhämtade sig syrenivån succesivt i rummet tack vare den öppna kanalen.



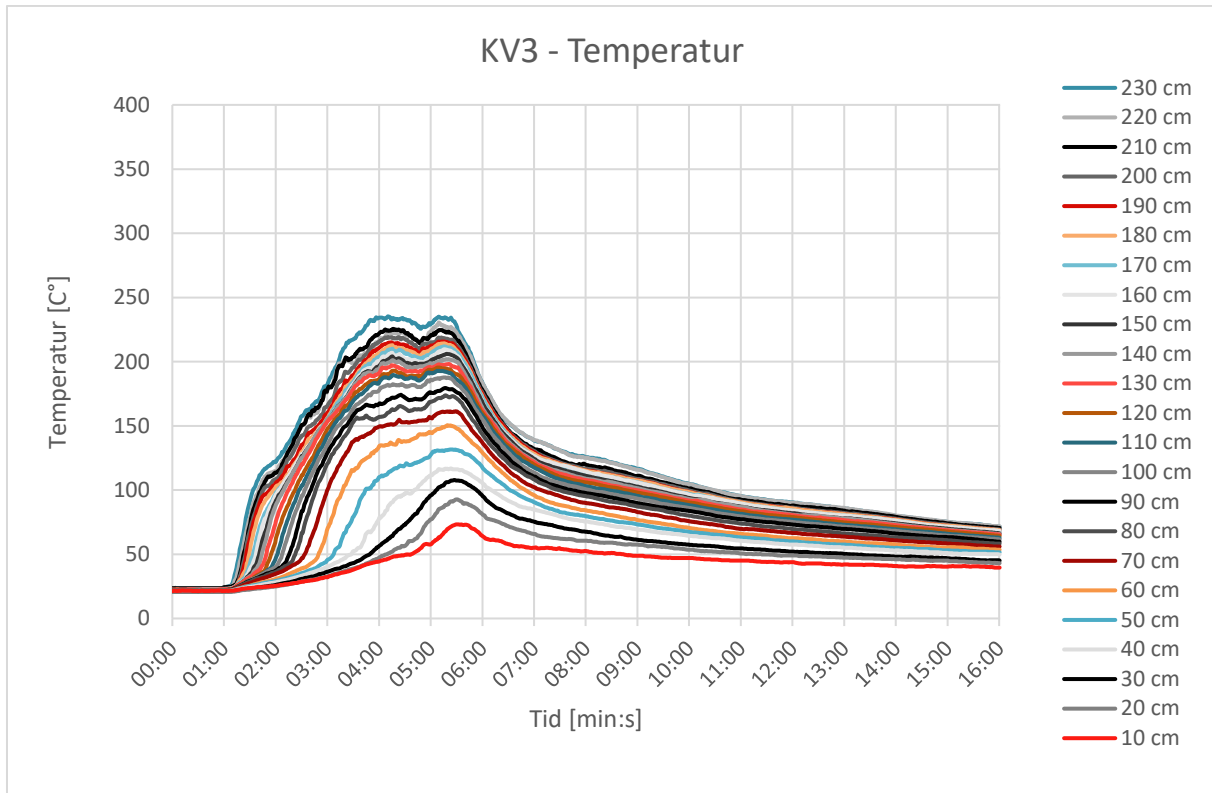
Figur 7. Temperatur i rummet vid försök KV1. Inga don, inga fläktar.

I KV2 mättes temperaturen i rummet som mest till cirka 300 °C vid taknivå. Syrgasnivåerna var liknande, med en lägstanivå runt 15 %, men utan samma återhämtning i rummet eftersom läckagekanalen i detta fall inte var öppen. Dock var både till- och frånluftskanalerna helt öppna i försöket.



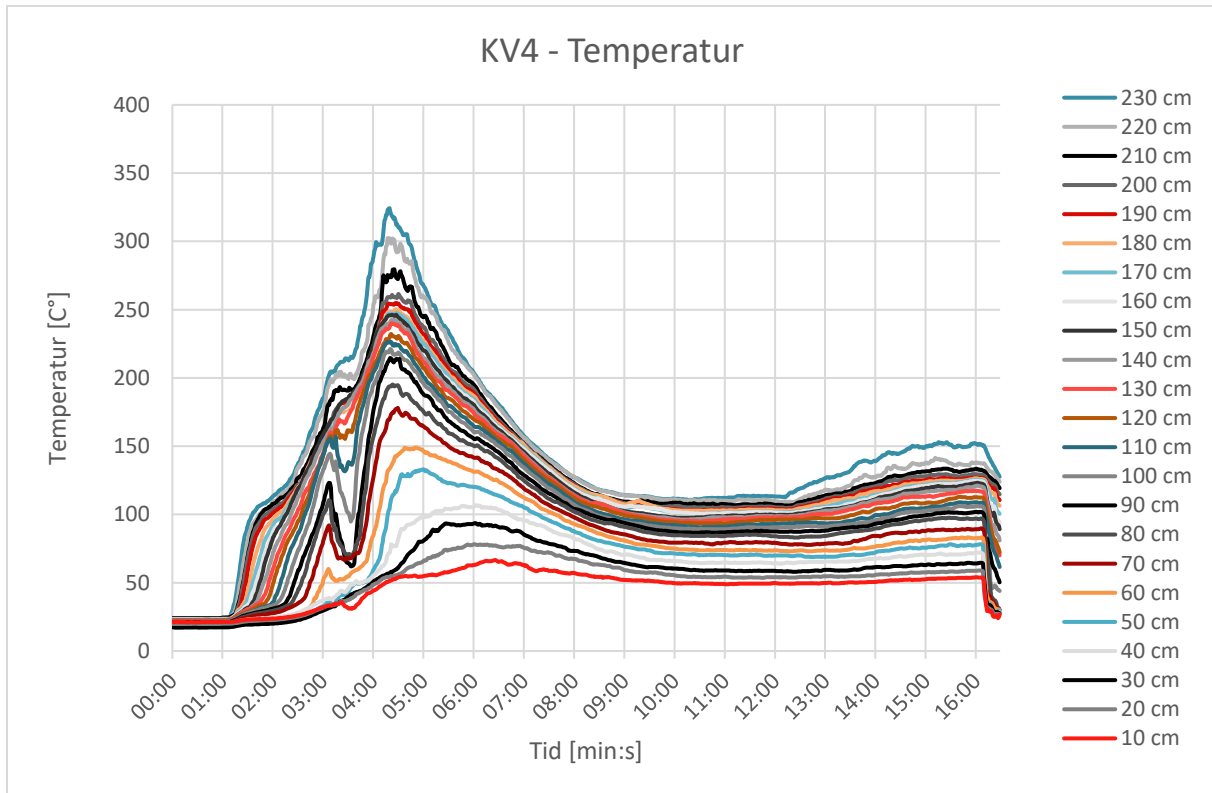
Figur 8. Temperatur i rummet vid försök KV2. Inga don, inga fläktar.

I KV3 var den maximalt uppmätta temperaturen i rummet cirka 230 °C. Även om temperaturl toppen var lägre så var syrenivåerna liknande som i KV2.



Figur 9. Temperatur i rummet vid försök KV3.

I KV4 uppmättes temperaturerna som mest till cirka 320 °C. I figuren nedan ses när dörren öppnas, primärt genom att temperaturen på nivåer under dörrens överkant sjunker och temperaturstigningen på ovanliggande punkter stannar av något. Temperaturerna stiger sedan snabbt när dörren stängs igen cirka 3,5 minuter in i försöket.



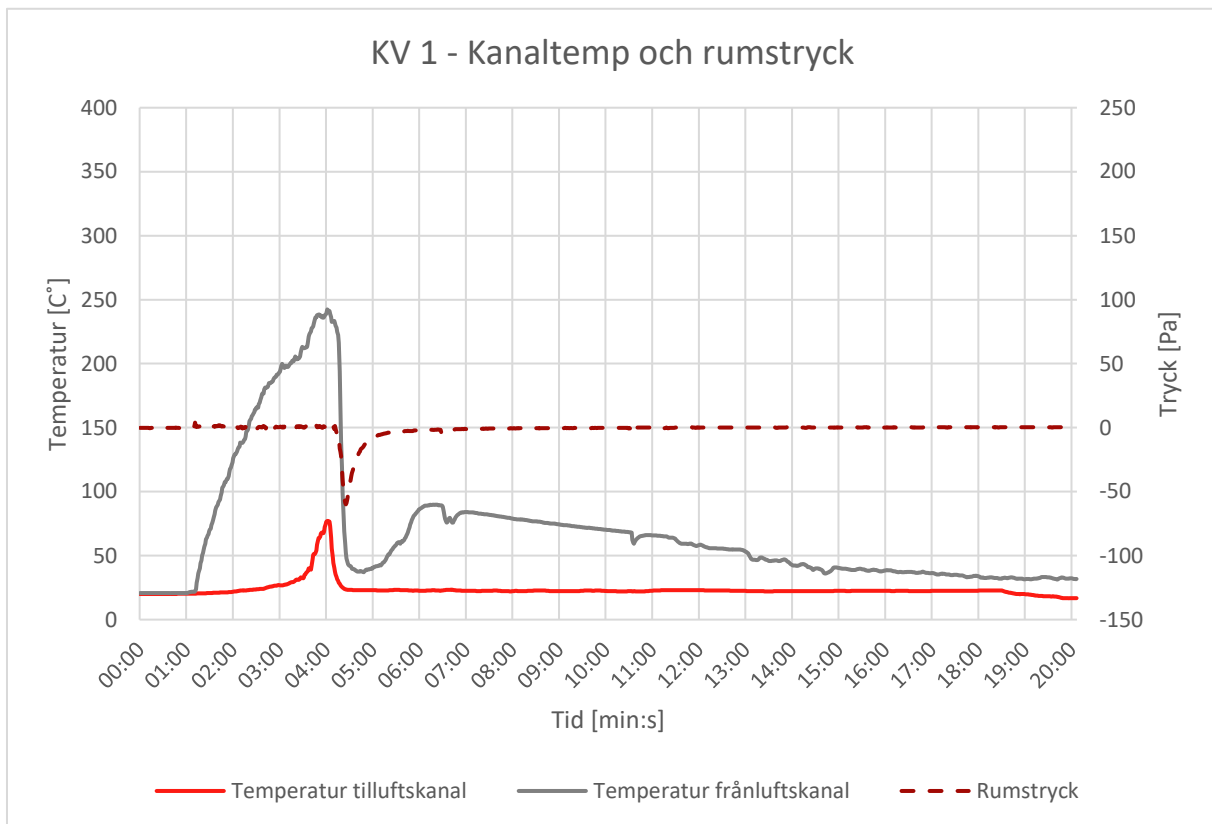
Figur 10. Temperatur i rummet vid försök KV4.

### 3.1.2 Temperatur i till- och frånluftskanaler samt rumstryck

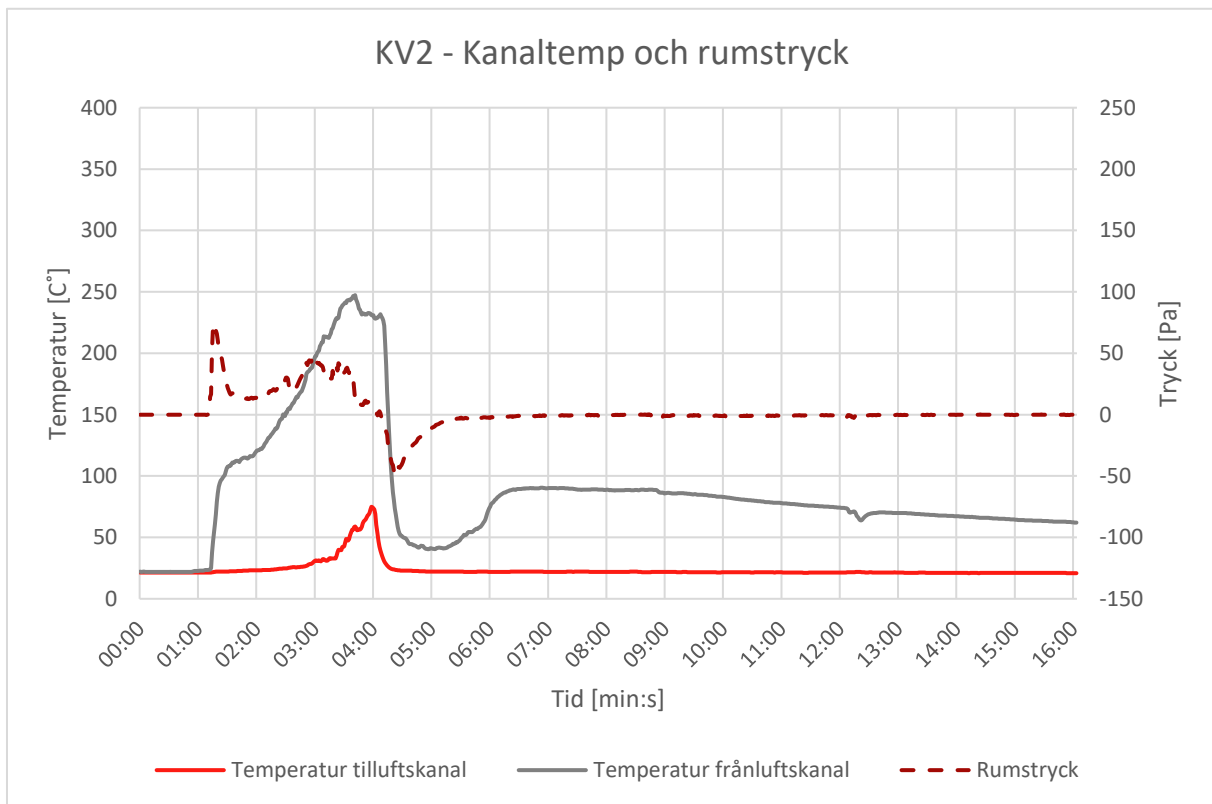
Temperaturerna i till- och frånluftskanaler redovisas i figurerna nedan tillsammans med rumstrycket. Här ses att temperaturerna i frånluften för samtliga försök är något lägre än de högsta temperaturerna som mäts upp i rummet. För KV1 och KV2 ses också att temperaturerna snabbt sjunker efter att de nått sin topp för både till- och frånluftskanal, vilket beror på att flödet i kanalerna då vänder och friskluft dras in genom kanalsystemet. Detta ses genom att rumstrycket sjunker drastiskt i figur 11. Kanalflödet vänder inte på samma sätt i KV3 och KV4 eftersom fläktsystemen i dessa försök ger tillräckligt motstånd för att hålla frånluftsflödet positivt genom försöken trots att rumstrycken är förhållandevis höga.

I figuren ses även att tilluftstemperaturen i KV1 och KV2 ökar med temperaturen i brandrummet och når cirka 75 °C i båda försöken. Temperaturstigningen sker under en period då trycket gör att luft pressas ut ur rummet genom tilluftskanalen och därför slutar även den tvärt när rummet sedan kyls av och luft istället dras in i kanalsystemet. I KV3 och KV4 är mottrycket i tilluftssystemet tillräckligt högt för att till stor del hålla emot expansionen i rummet, som alltså till största del trycks ut genom frånluften. Därav sker endast begränsat luftflöde från rummet genom tilluftskanalen och temperaturen i kanalen är i princip oförändrad.

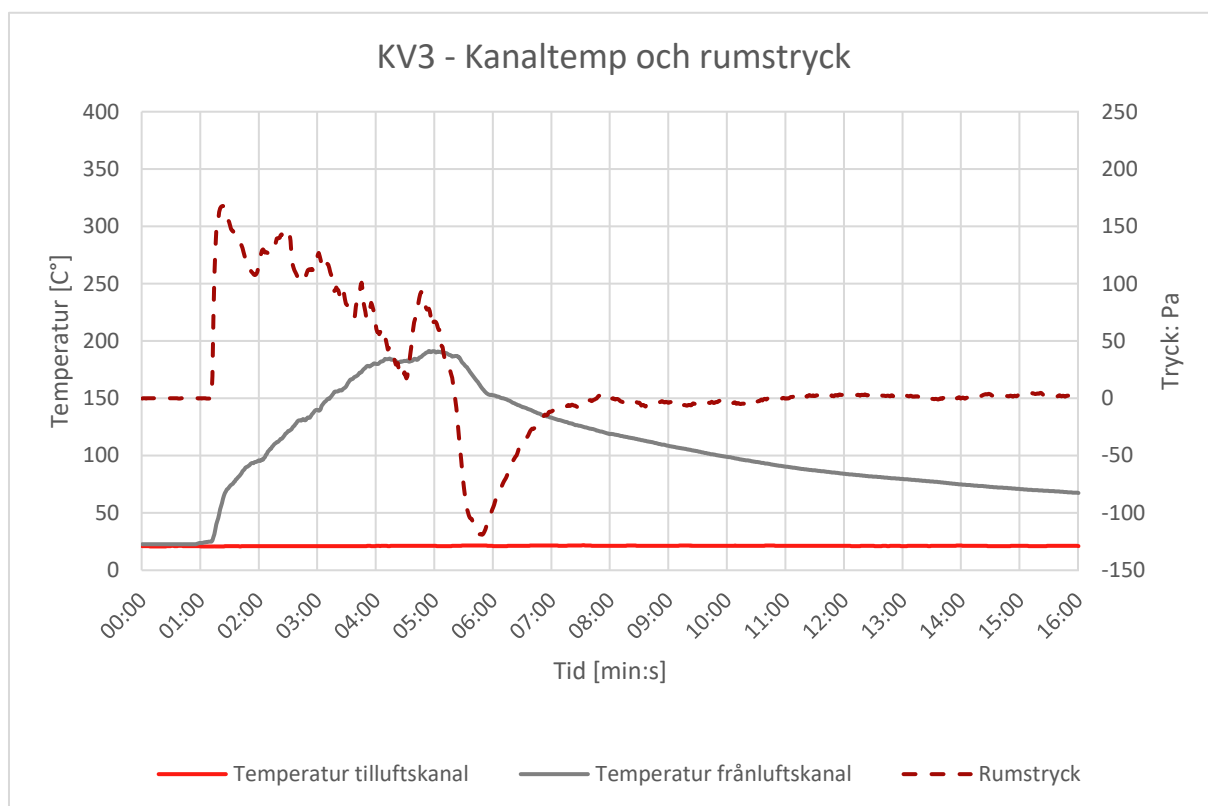
Rumstrycken i försöken uppgår som mest till cirka 200 Pa i KV4. Försöken med aktiva till- och frånluftsflöden (KV3 och KV4) har avsevärt högre rumstryck än försöken med öppna kanaler (KV1 och KV2).



Figur 11. Rumstryck och temperaturer i kanaler vid försök KV1. Inga don, inga fläktar.

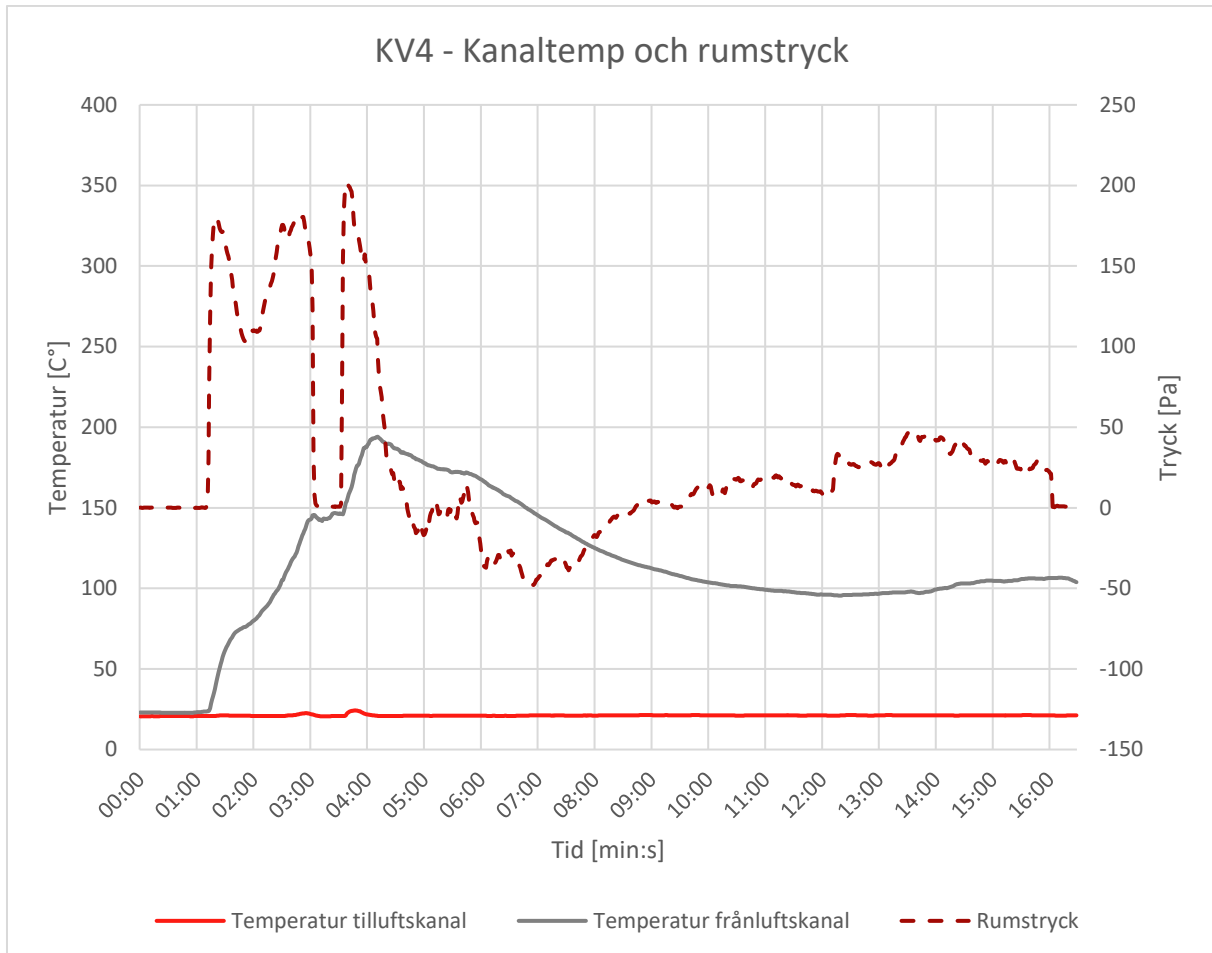


Figur 12. Rumstryck och temperaturer i kanaler vid försök KV2. Inga don, inga fläktar.



Figur 13. Rumstryck och temperaturer i kanaler vid försök KV3.





Figur 14. Rumstryck och temperaturer i kanaler vid försök KV4.

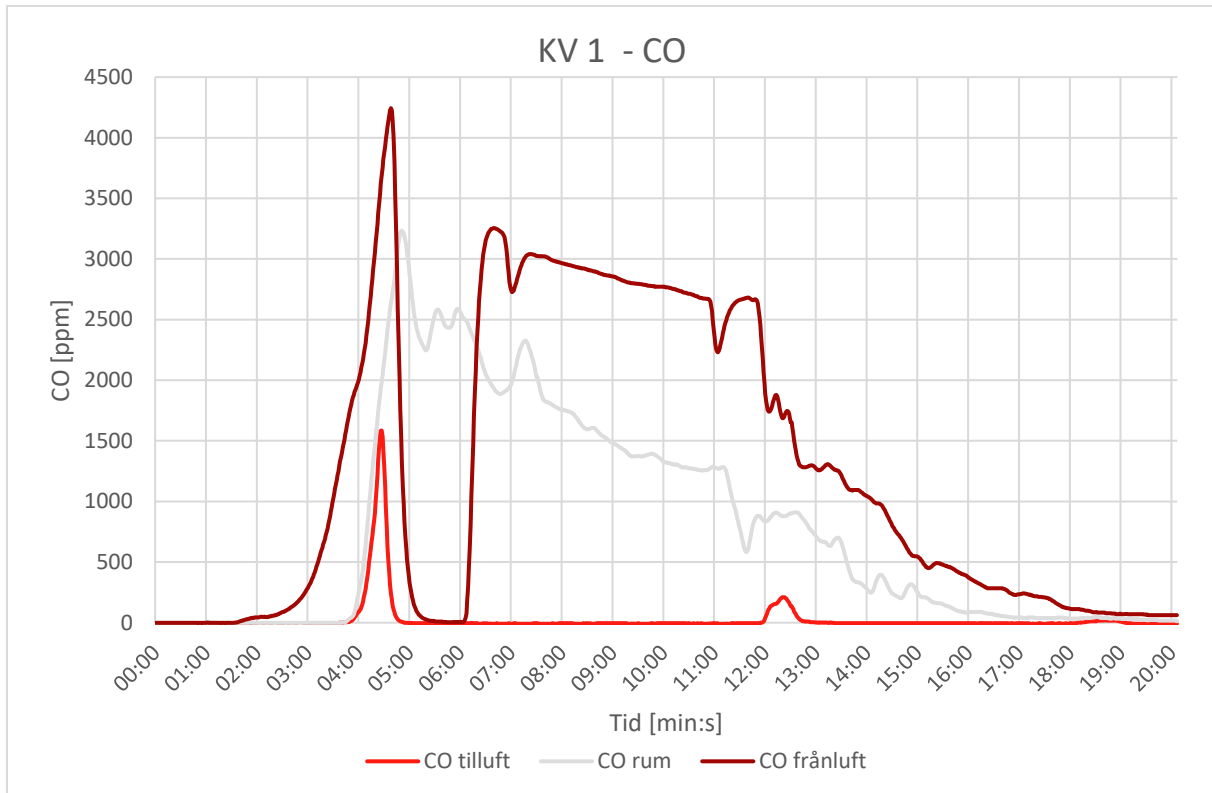
Som figurerna ovan visar uppmättes högst brandtryck i de försök där det fanns ett flöde i kanalsystemet (KV3 och KV4). Observera dörröppningen efter två minuter in i brandförloppet i KV4 när trycket i rummet går ner till noll för att sedan hastigt stiga igen. Figurerna visar även att brandrummet i samtliga fall går in i ett undertryck efter ett tag. För KV1 och KV2 där kanalsystemet var öppet innebär detta att friskluft dras in i rummet genom både till- och frånluftskanalerna.

I försök KV4 iaktogs att konstruktionen påverkades av trycket och förstärkningar av testriggen fick utföras efteråt.

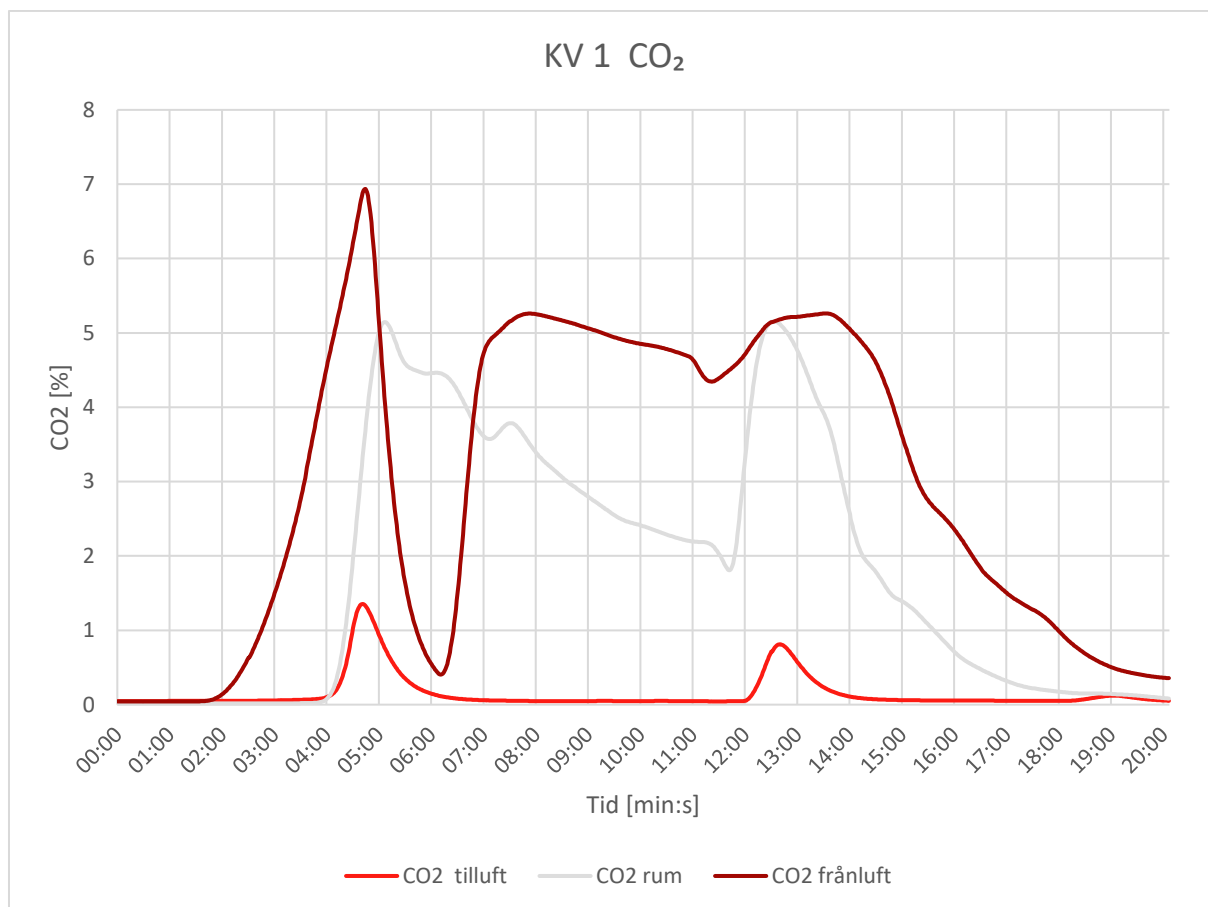
### 3.1.3 Brandgaser och spridd luftvolym

I försöken uppmättes även brandgaser inom rummet samt i ventilationskanalerna. I diagrammen nedan redovisas därför endast värden för CO och CO<sub>2</sub> i till- och frånluftskanalerna.

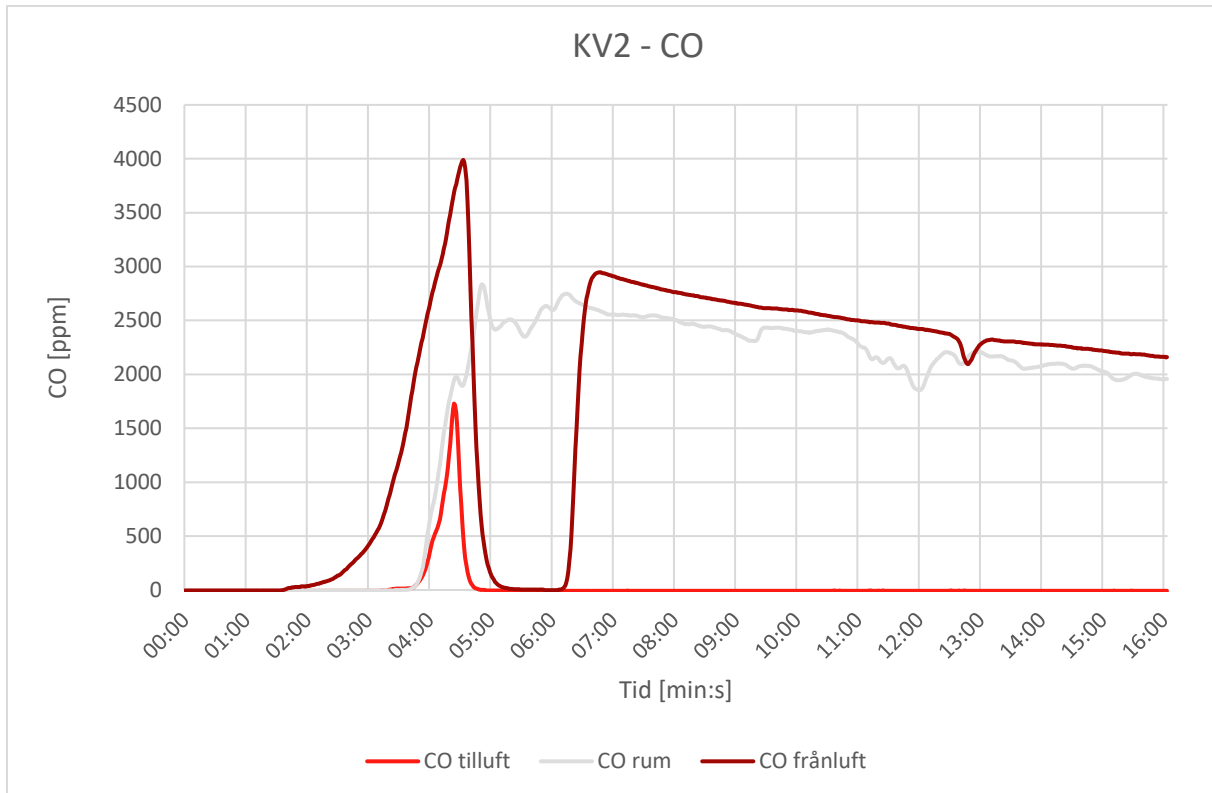
I KV1 och KV2 som utfördes utan tryck och flöde i kanalsystemet uppmättes kortvarigt relativt höga brandgaskoncentrationer i tilluftskanalen. Som mest uppmättes momentant cirka 1500 ppm CO och cirka 1,5 % CO<sub>2</sub> i KV1 och KV2. För scenarierna med flöde i kanalsystemet, det vill säga KV3 och KV4, uppmättes inga koncentrationer av CO eller CO<sub>2</sub> i tilluftskanalen. I figurerna för KV1 och KV2 ses hur rummet går in i undertryck genom att koncentrationen i frånluftskanalen går ner till noll.



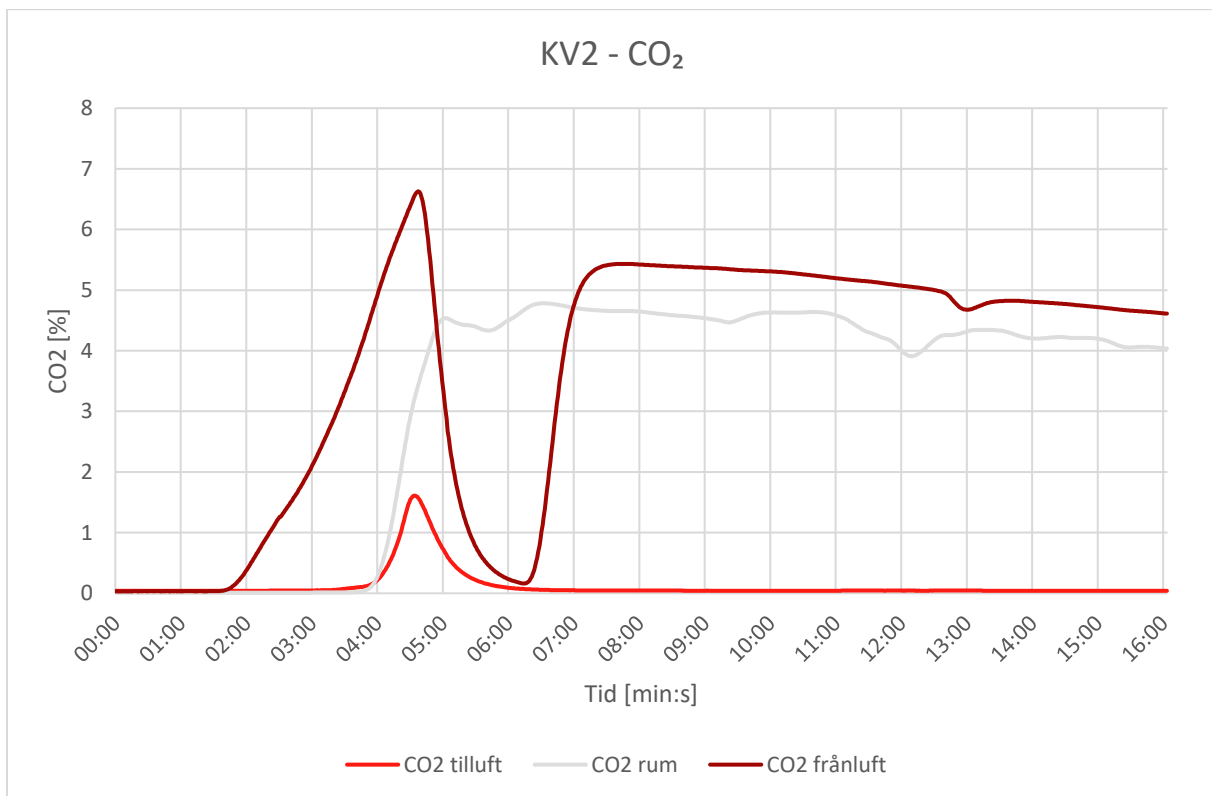
Figur 15. CO i kanaler och i rummet vid försök KV1. Inga don, inga fläktar.



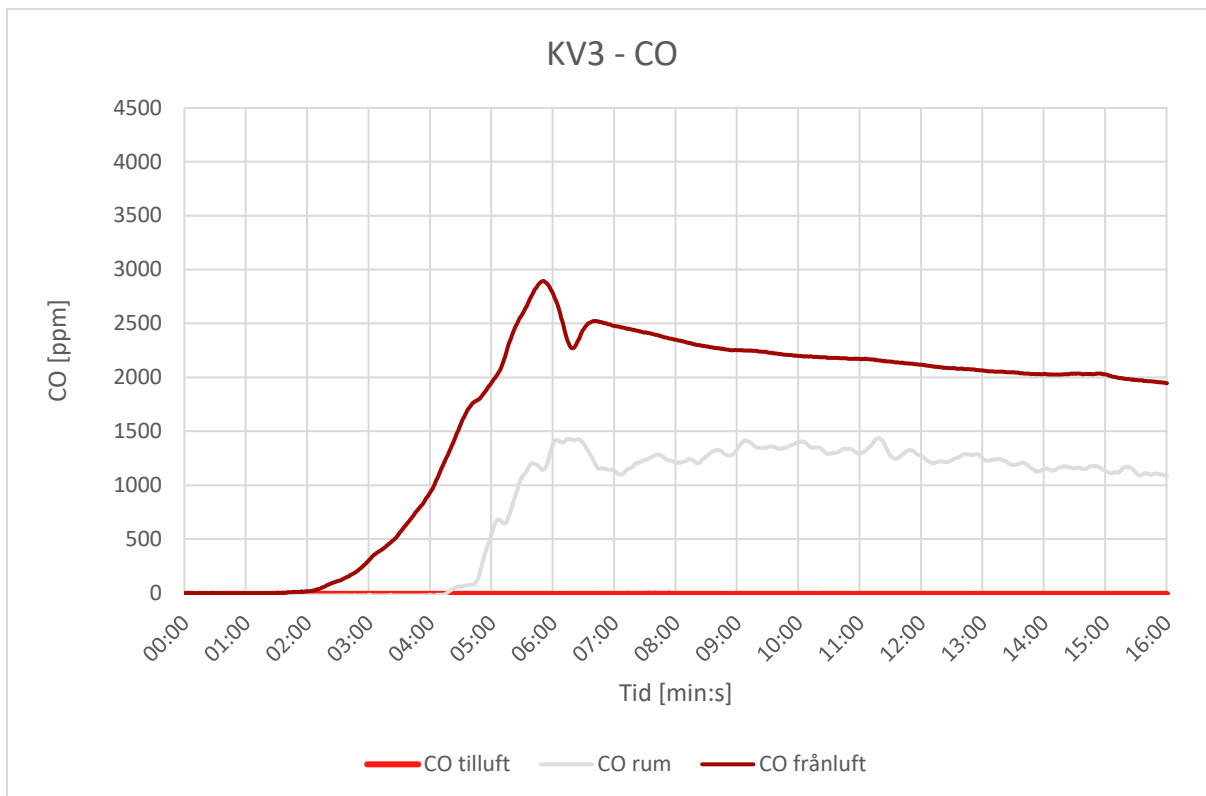
Figur 16. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök KV1. Inga don, inga fläktar.



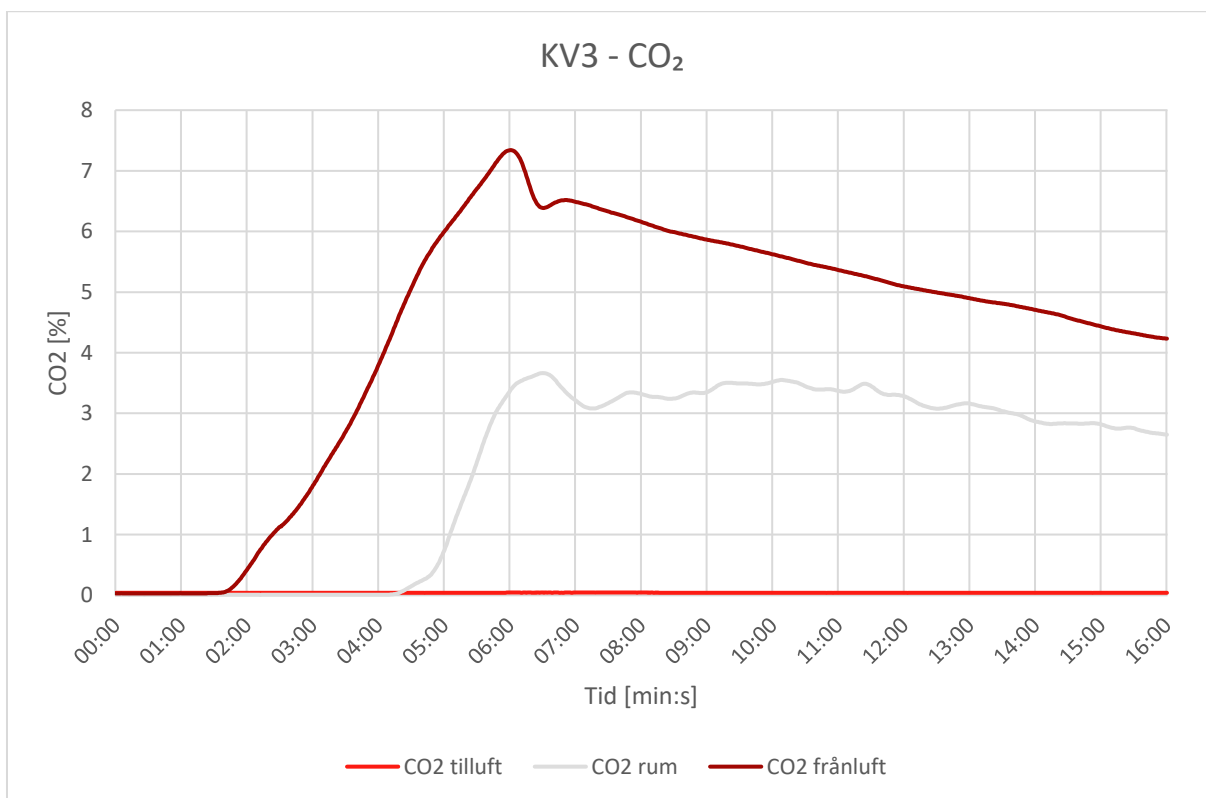
Figur 17. CO i kanaler och i rummet vid försök KV2. Inga don, inga fläktar.



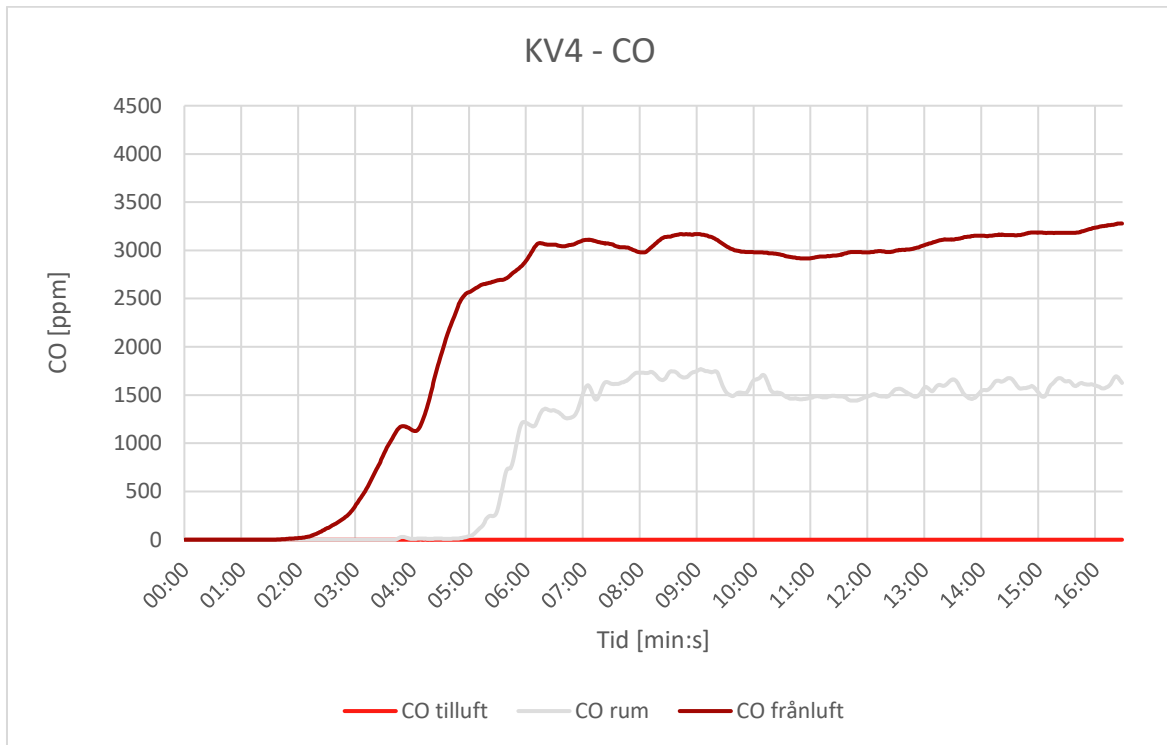
Figur 18. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök KV2. Inga don, inga fläktar.



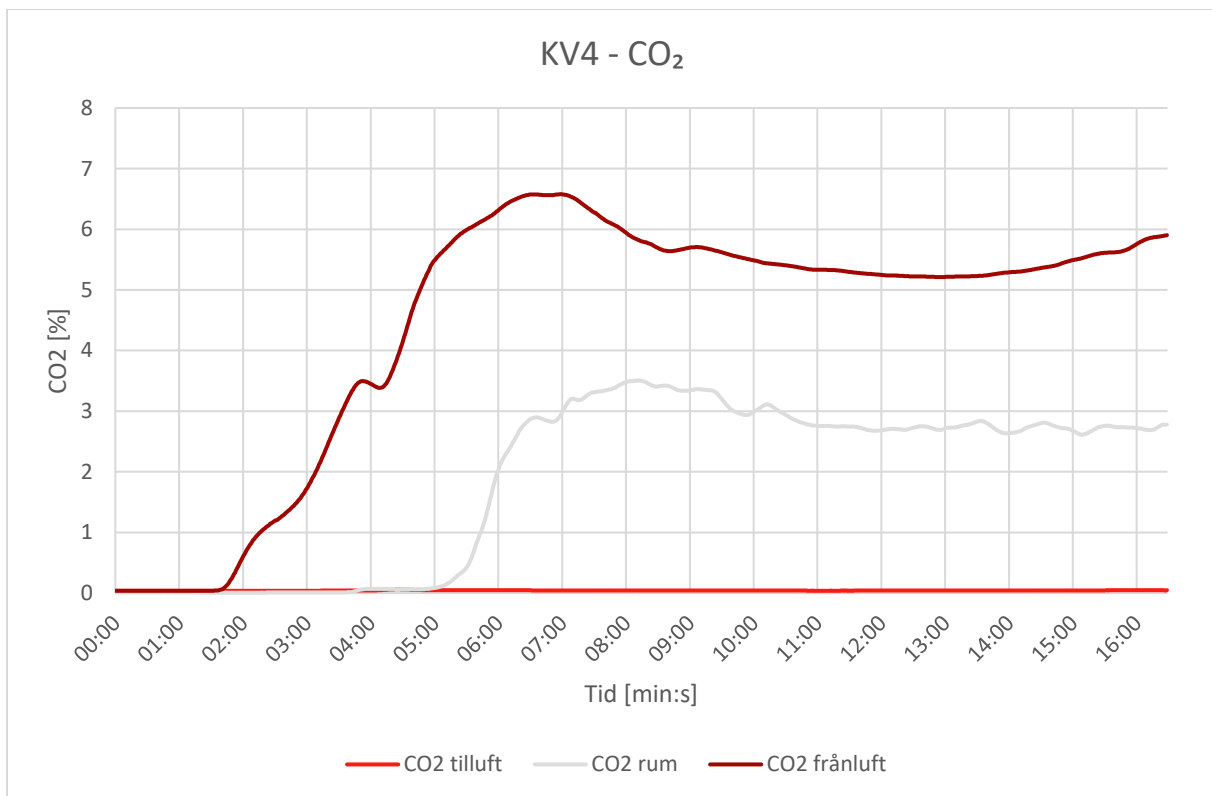
Figur 19. CO i kanaler och i rummet vid försök KV3.



Figur 20. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök KV3.



Figur 21. CO i kanaler och i rummet vid försök KV4.



Figur 22. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök KV4.

Som resultaten visar sker spridning av CO i tilluften i KV1 och KV2 där tilluftskanalen saknar både mottryck och don men inte i KV3 och KV4 där det finns ett injusterat tilluftsflöde över donet. I KV1 och KV2 är det momentant relativt höga koncentrationer på kolmonoxiden i kanalen, men detta kan vara missvisande då mätningen görs i en relativt begränsad volym. Total spridning till intilliggande volym beror både på koncentrationen av CO i luften som sprids via tilluftskanalen och på flödet ut ur rummet genom tilluftskanalen. Genom att kombinera dessa faktorer har en total spridd CO-mängd beräknats i tabellen nedan. På grund av problem med flödesmätaren i försök KV1 registrerades dock inga flödesvärden för detta försök och beräkningen har därför inte gått att genomföra.

**Tabell 3. Spridd luftvolym och CO i KV-försöken.**

Scenario	Total spridd luftvolym via tilluften [l]	Total spridd CO [g]
Kv2	22 033	1,98
Kv3	245	0,0
Kv4	504	0,0

I tabellen ovan är alltså luftvolymen den totala volymen, oberoende av brandgaskoncentrationer. Som ses i tabellen så är det avsevärd skillnad på spridningen i ett trycklöst system utan till- och frånluftsdon (KV2) jämfört med systemen där det finns till- och frånluftsdon med injusterat tryck och flöde i kanalerna (KV3 och KV4).

I samtliga försök beräknades sotspridning och sikt genom lasermätningar. Mätningarna indikerade dock så låga nivåer i samtliga fall att det inte hade påverkat sikten alls i en mottagande volym. Detta bekräftades även visuellt på plats där röken ur tilluften vid spridning var knappt märkbar.

### 3.2 Verklighetsbaserade bränder

För de verklighetsbaserade bränderna utfördes fem försök. Läckaget i rummet uppmättes innan försöken och visas i tabellen nedan.

**Tabell 4. Läckage innan försöken med verklighetsbaserade bränder.**

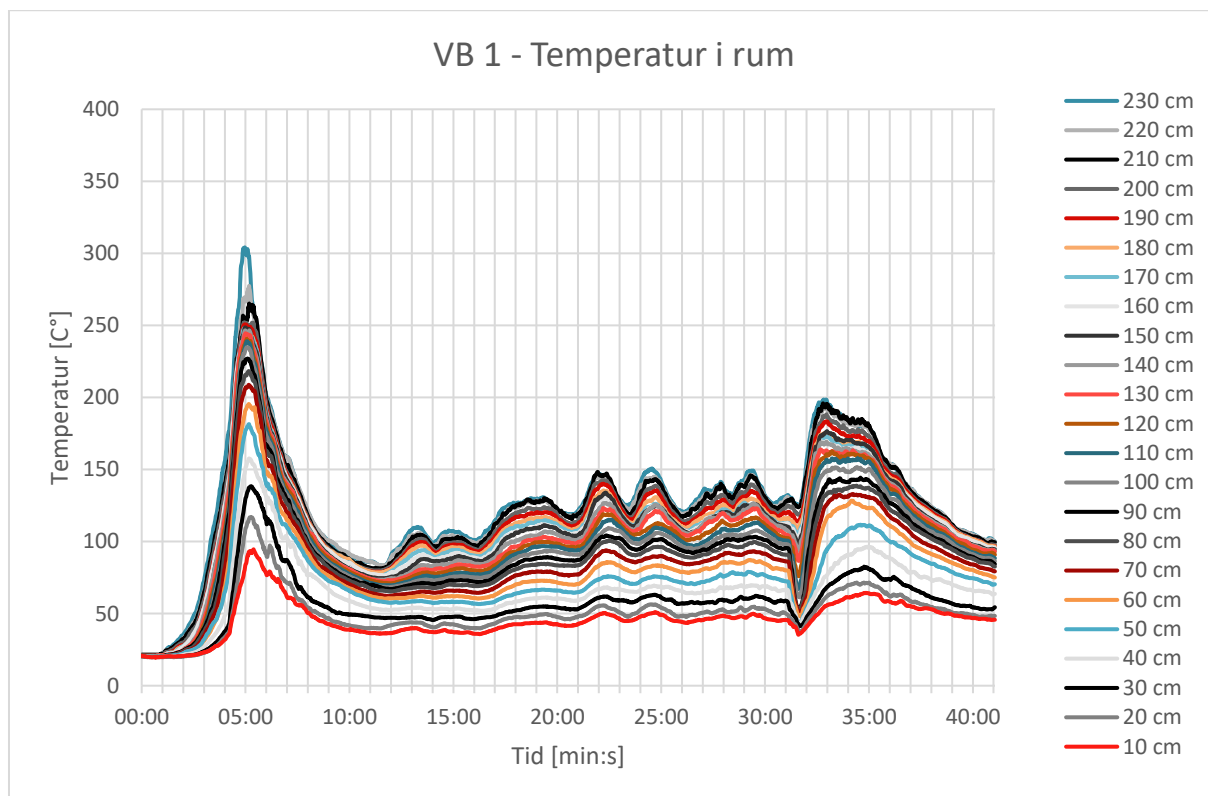
Scenario	Läckage före försök vid 50 Pa [l/sm <sup>2</sup> ]
VB1	0,35
VB2	0,33
VB3	0,32
VB4	0,24
VB5	0,33

#### 3.2.1 Temperaturer och syrenivå i rum

I de verklighetsbaserade bränderna uppmättes som mest cirka 370 °C vid taknivå i VB5. Syrenivåerna var som lägst cirka 16 % för VB1 och VB2. När donet sänktes i VB3 och VB4 minskade även syrenivåerna till som lägst cirka 10 % i VB 4. När donet återställdes till ÖK 0,2 m men brandbelastningen utökades i VB5 minskade syrenivåerna i förhållande till VB1 och VB2 och nådde som lägst cirka 12 %.

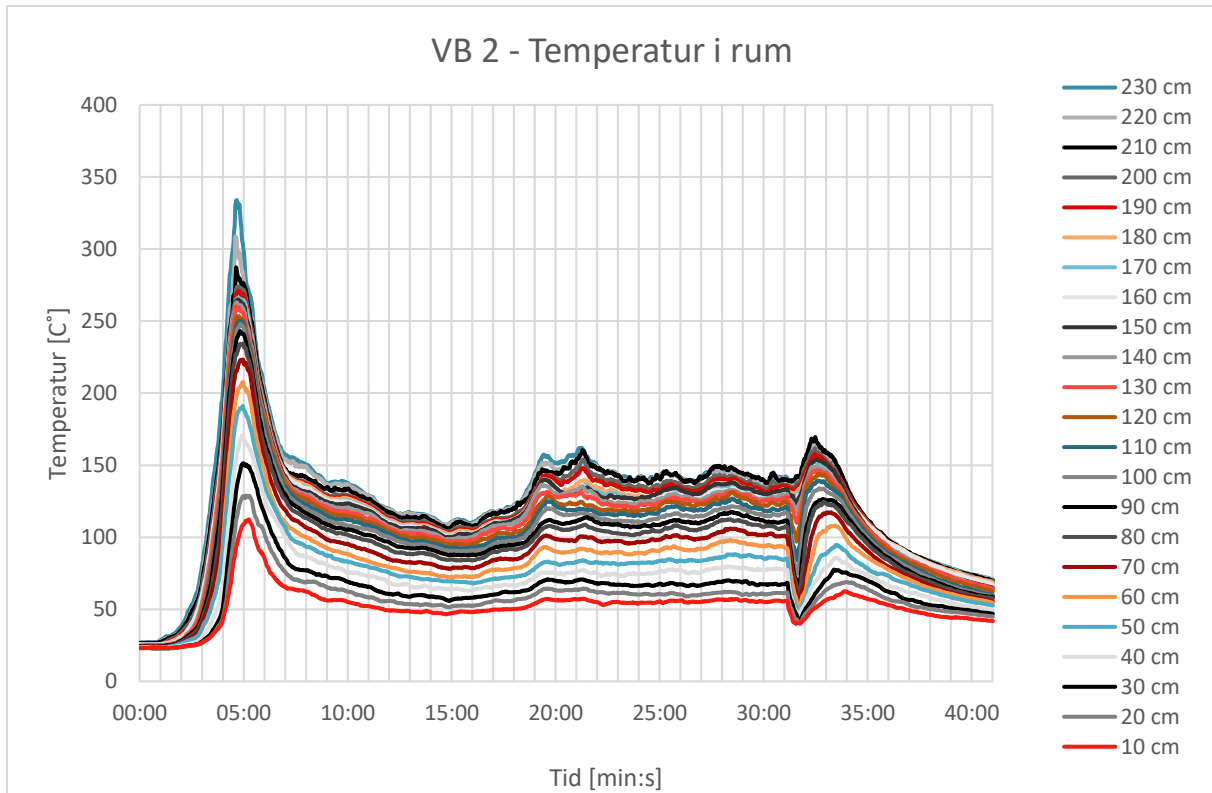
I VB1 och VB2 syns tydligt när dörren öppnas efter 30 minuters brand (dvs 31 minuter in i mätningen). För VB5 öppnades också dörren men branden hade då redan slocknat, vilket gör att dörröppningen inte syns lika tydligt i mätningarna.

Resultaten visar även att branden åter flammar upp cirka 12 minuter in i brandförloppet i VB4. Detta sker efter att syrenivåerna tillfälligt återhämtat sig till cirka 15-16 % från 13 % efter den initiala temperaturstegringen. Efter den andra temperaturstigningen sjunker syrenivåerna till 10 % när brandförloppet stannar av.

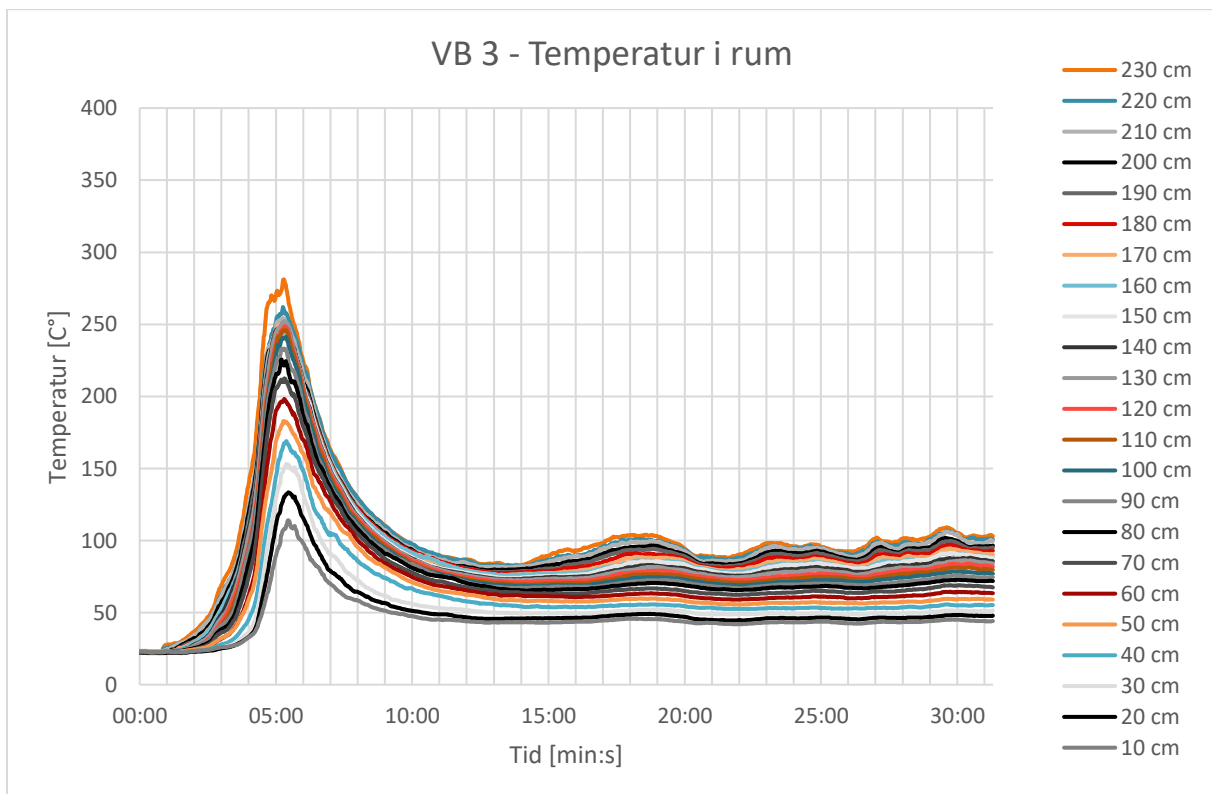


Figur 23. Temperatur i rummet vid försök VB1. Inga don, inga fläktar.

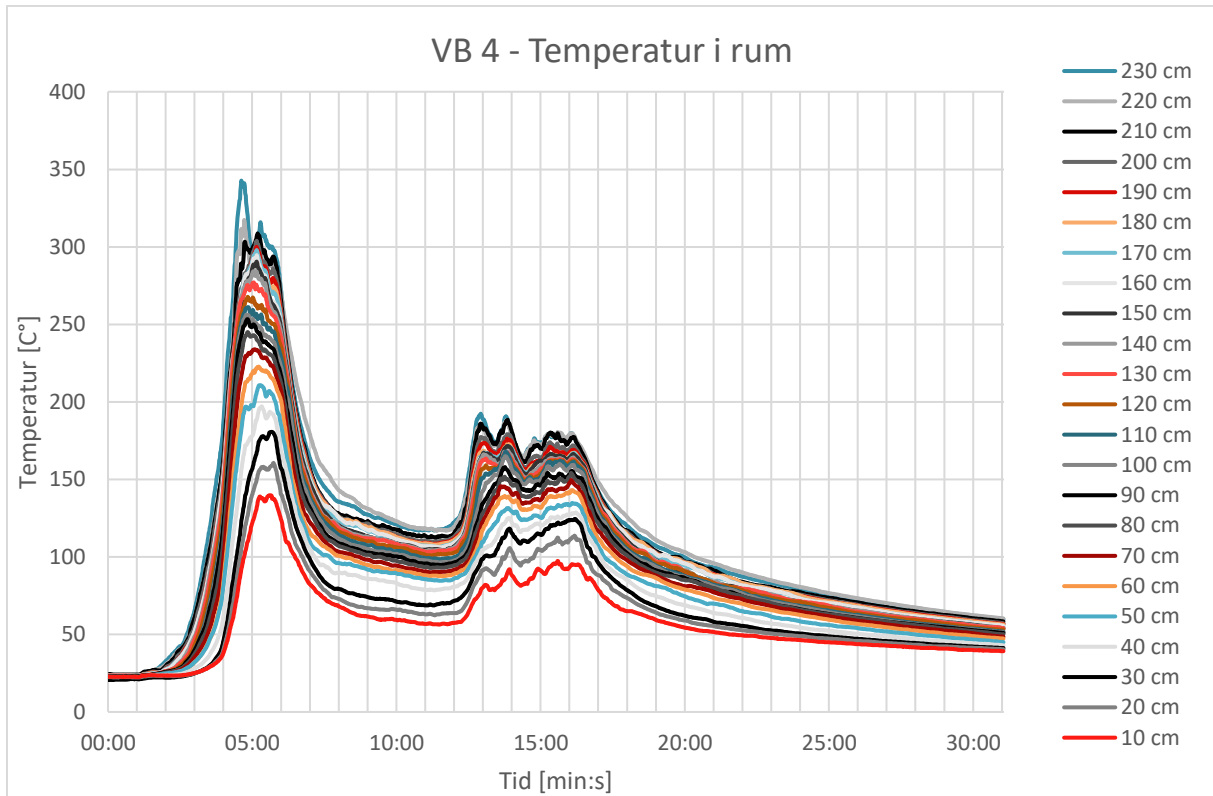




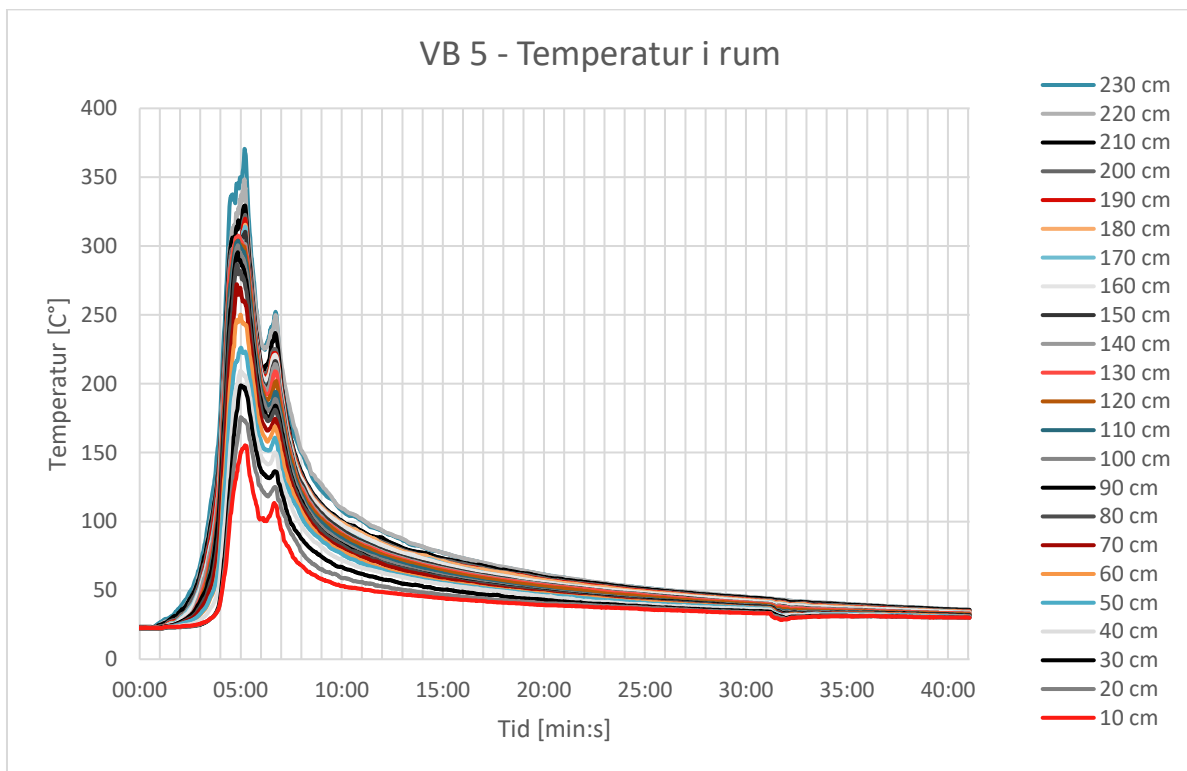
Figur 24. Temperatur i rummet vid försök VB2.



Figur 25. Temperatur i rummet vid försök VB3. Inga don, inga fläktar.



Figur 26. Temperatur i rummet vid försök VB4.



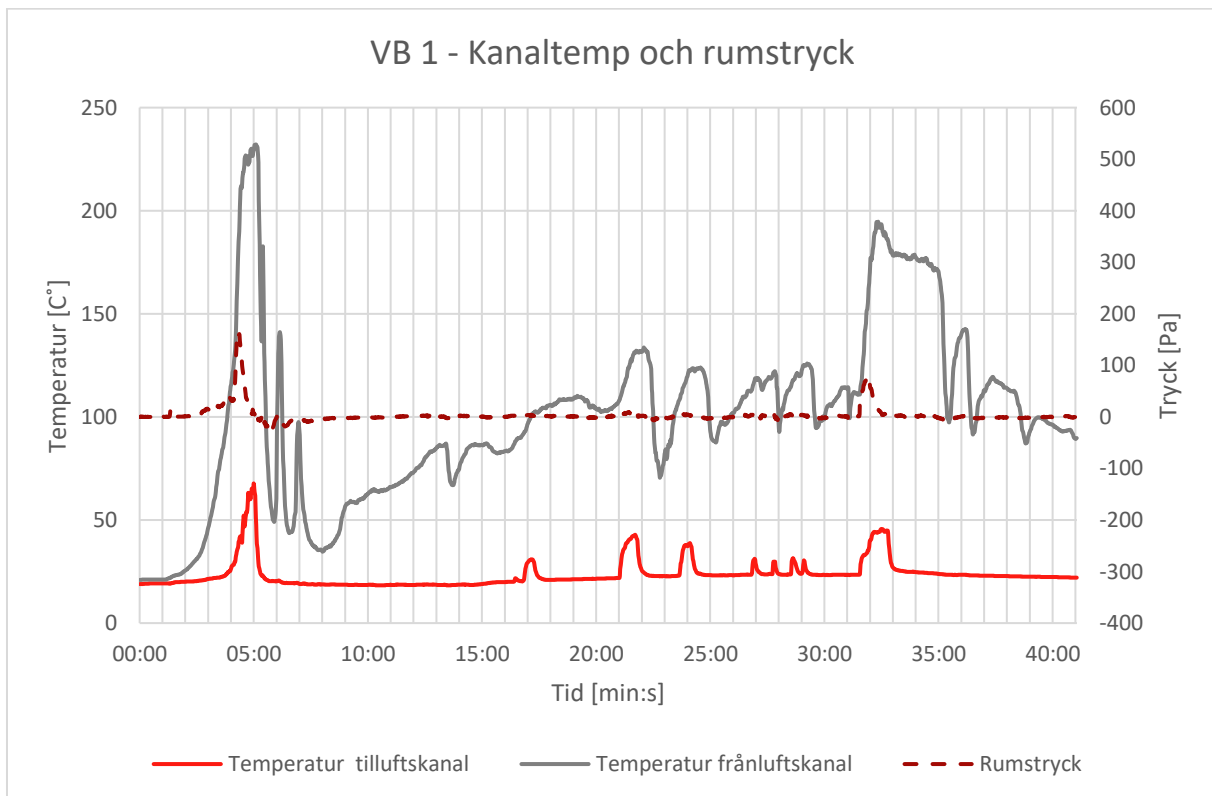
Figur 27. Temperatur i rummet vid försök VB5.

### 3.2.2 Temperatur i till- och frånluftskanal samt rumstryck

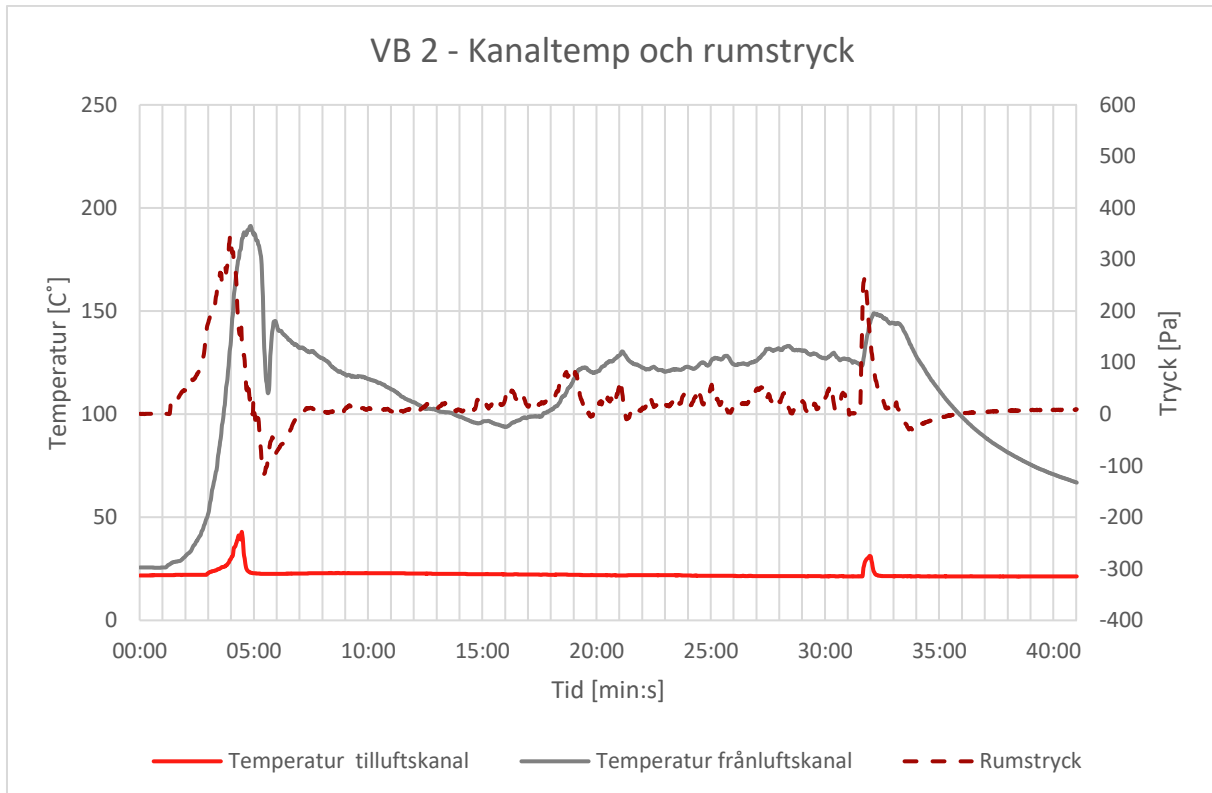
Temperaturerna i till- och frånluftskanaler redovisas i figurerna nedan tillsammans med rumstrycket. Här ses att temperaturerna i frånluften för samtliga försök är något lägre än de högsta temperaturerna som mäts upp i rummet. För VB1 och VB3 där kanalerna är öppna utan don och utan inkopplade fläktar kan brandens "flämtningar" iakttas på temperaturen i tilluften. Branden drar då ömsom in och skjuter ömsom ut luft ur både till- och frånluft.

I VB3 och VB4 (med det extra lågt sittande donet överkant 2,5 cm ovan golv) är förloppet likt VB1 och VB2 med något högre don fast i ett något förskjutet skede. Temperaturökningen i tilluften för VB3 och VB4 är även något högre än den för VB1 och VB2. En viss temperaturökning i tilluften och således ett utflöde av varma brandgaser från brandrummet iaktogs i samtliga försök i denna försöksserie.

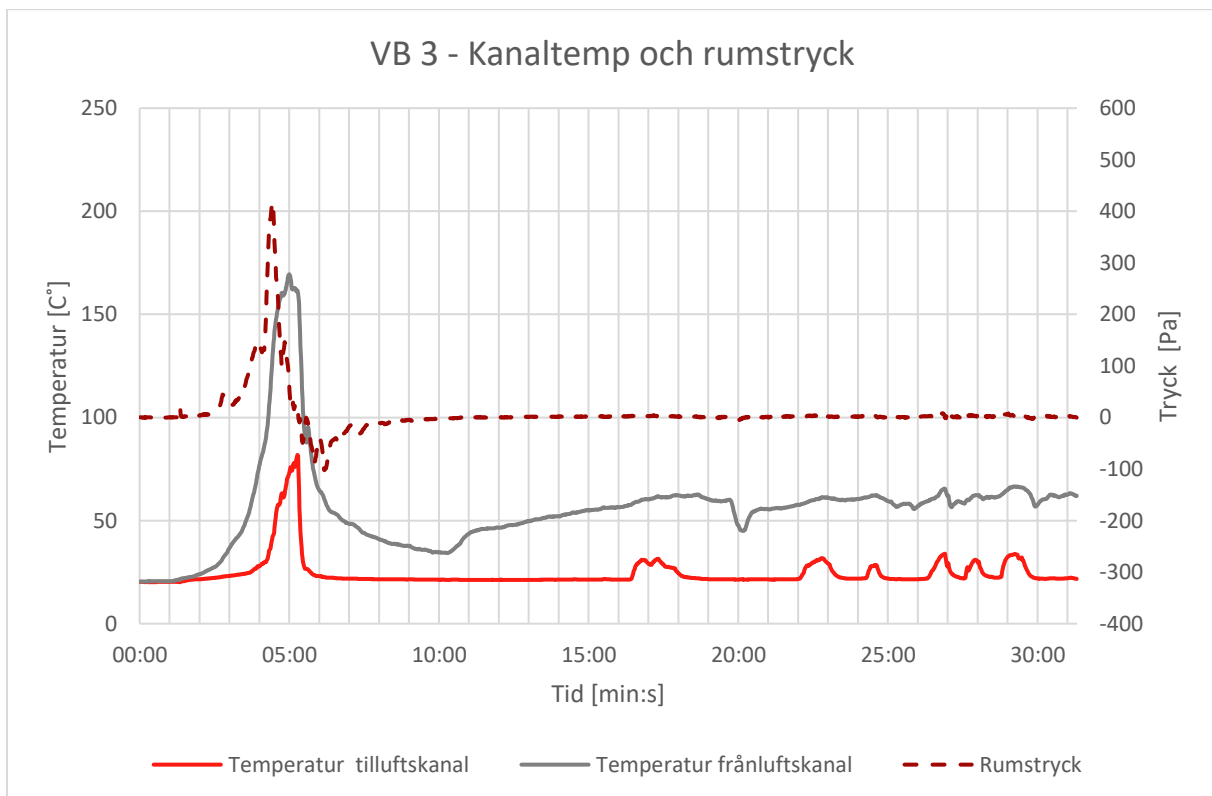
En tydlig tryckskillnad kunde iaktas mellan försök VB3 (inget don, avstängd fläkt, extra lågt monterad kanal) och VB1. I VB3 uppgick trycket till som mest 417 Pa i jämförelse med 162 Pa i VB1 (högre kanal, inget don). En skillnad kan även ses i fallet med ökad brandbelastning och trycket uppgick till som mest 347 Pa i VB2 där brandbelastningen var två madrasser i jämförelse med 624 Pa i VB5 som var motsvarande scenario fast med fyra madrasser. Noterbart är att det var cirka två madrasser kvar som var oförbrända i VB5. I VB4, med extra lågt sittande don och aktiv ventilation uppgick rumstrycket som mest till 584 Pa.



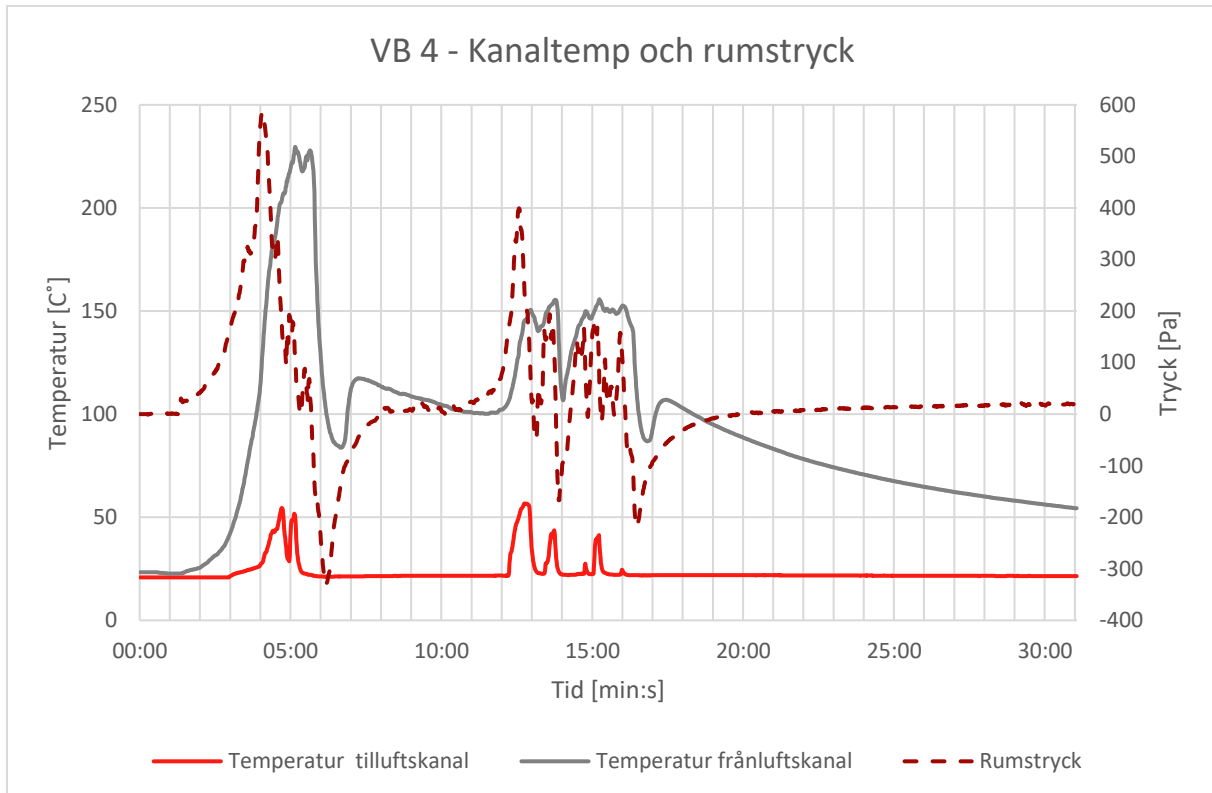
Figur 28. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök VB1. Inga don, inga fläktar.



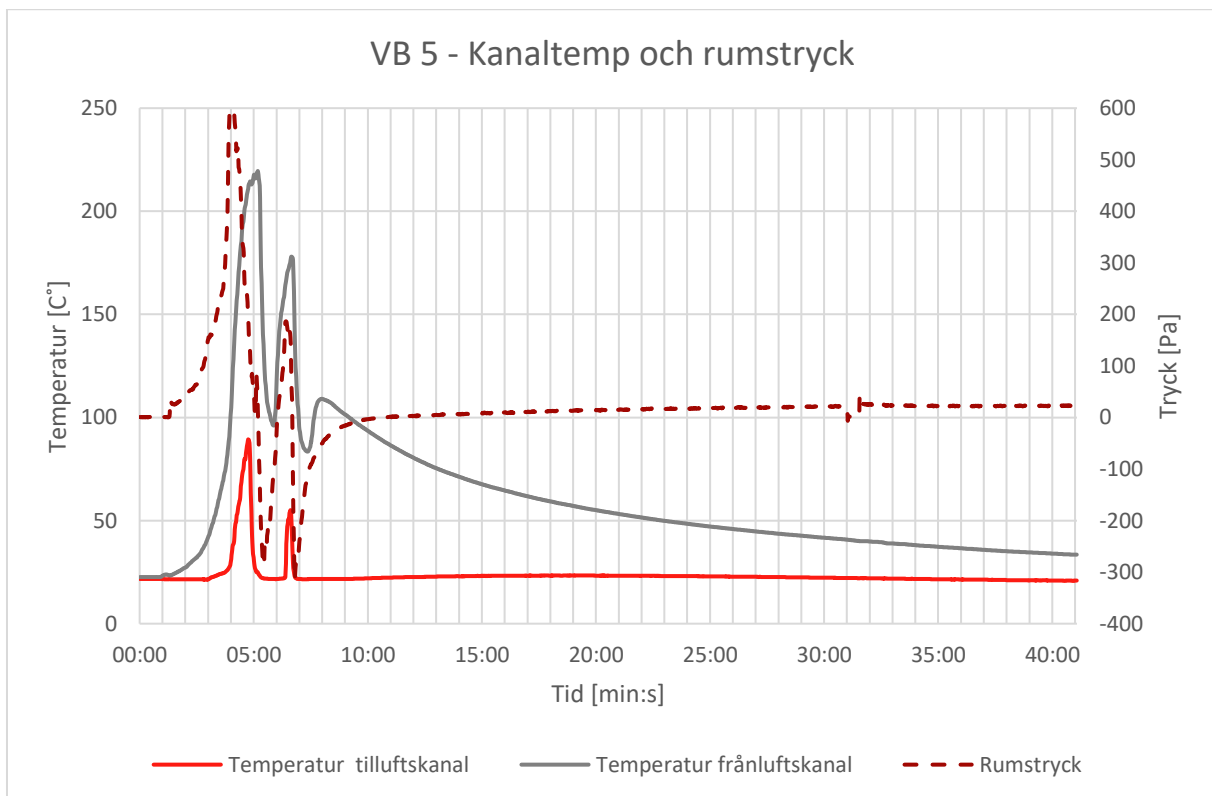
Figur 29. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök VB2.



Figur 30. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök VB3. Inga don, inga fläktar.



Figur 31. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök VB4.



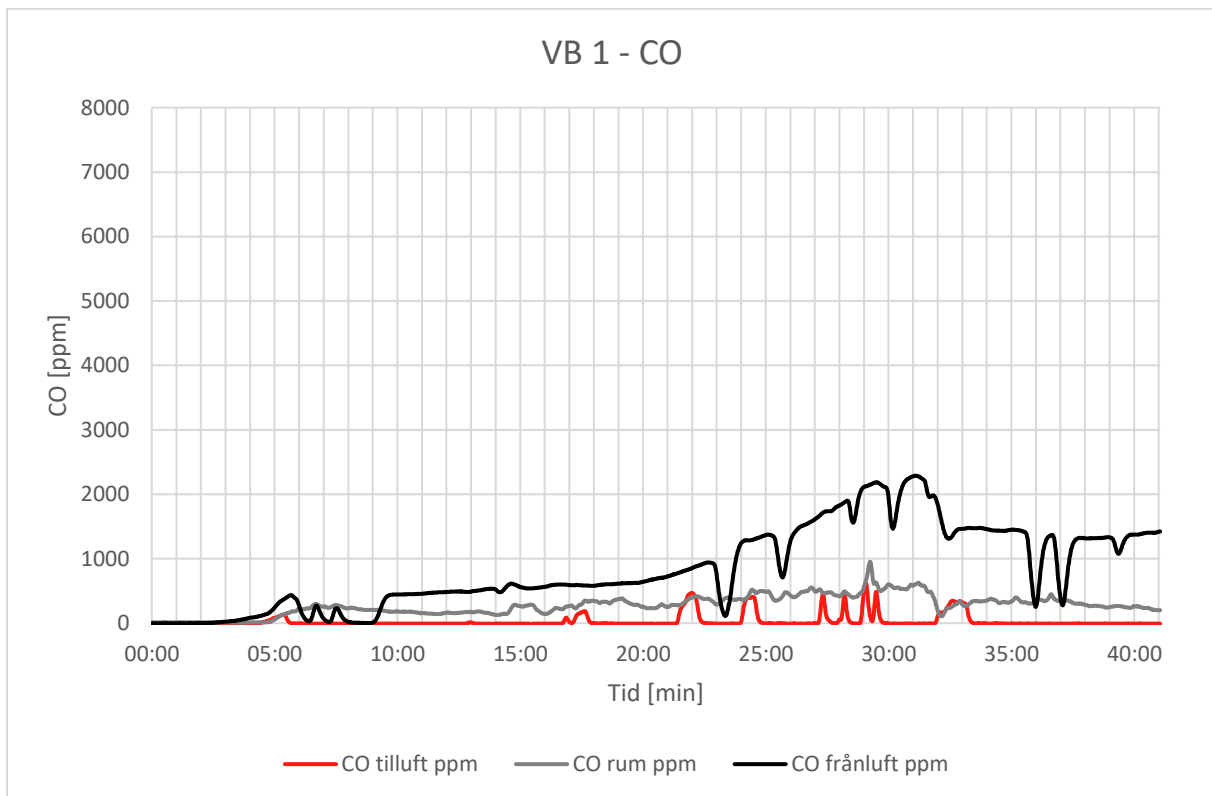
Figur 32. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök VB5.

### 3.2.3 Brandgaser och spridd luftvolym

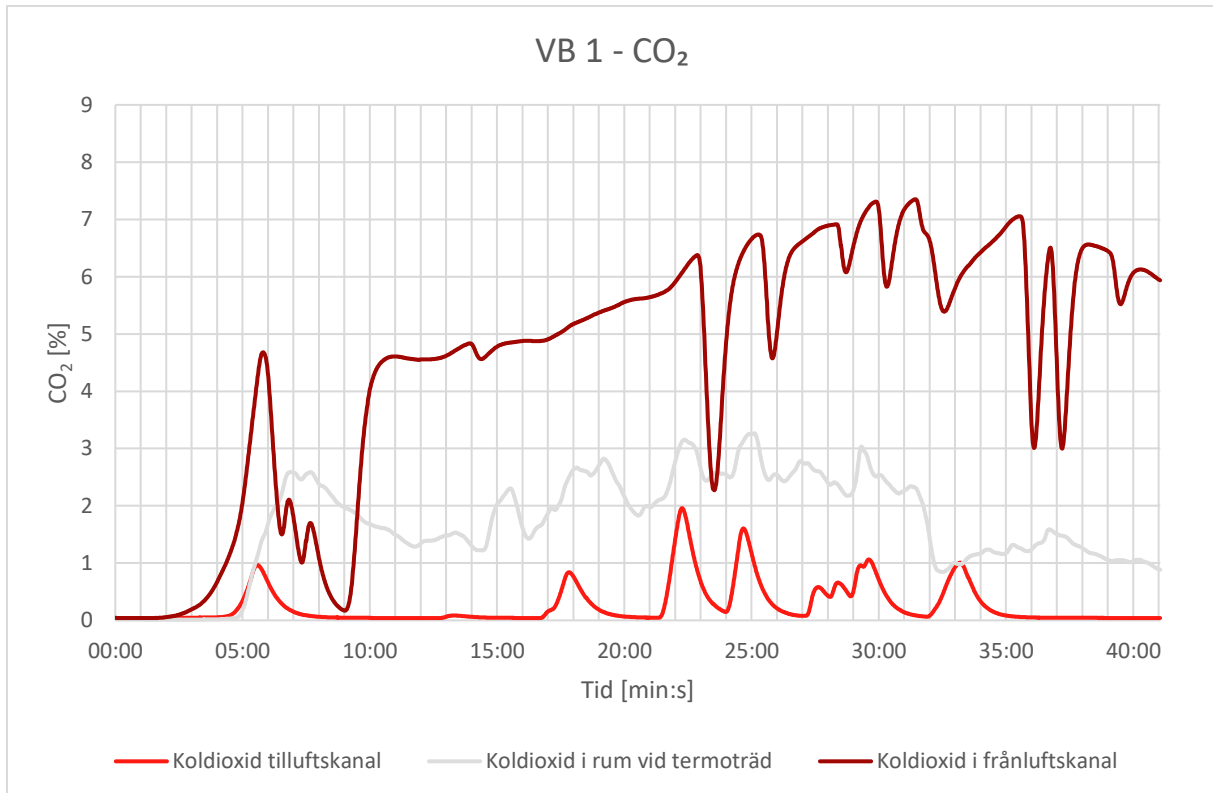
I försöken uppmättes även brandgaser inom rummet samt i ventilationskanalerna.

I scenarierna med öppna kanaler (VB1 och VB3) ses tydligt hur branden flämtar efter cirka 15 minuter in i förloppet och fram tills försöken avbryts. I fallen med aktiv ventilation ses inte detta på samma sätt, men i VB4 med aktiv ventilation och extra lågt sittande don ses hur branden flamar upp igen cirka 13-14 minuter in i brandförloppet. Då sker en drastisk ökning av CO-nivåerna i rummet samtidigt som brandgaser stötviss pressas ut genom tilluftssystemet. I VB2 och VB5, försök med aktiv ventilation, sker viss spridning av CO och CO<sub>2</sub> i tilluften men denna är av mer kortvarig karaktär i början av brandförloppet.

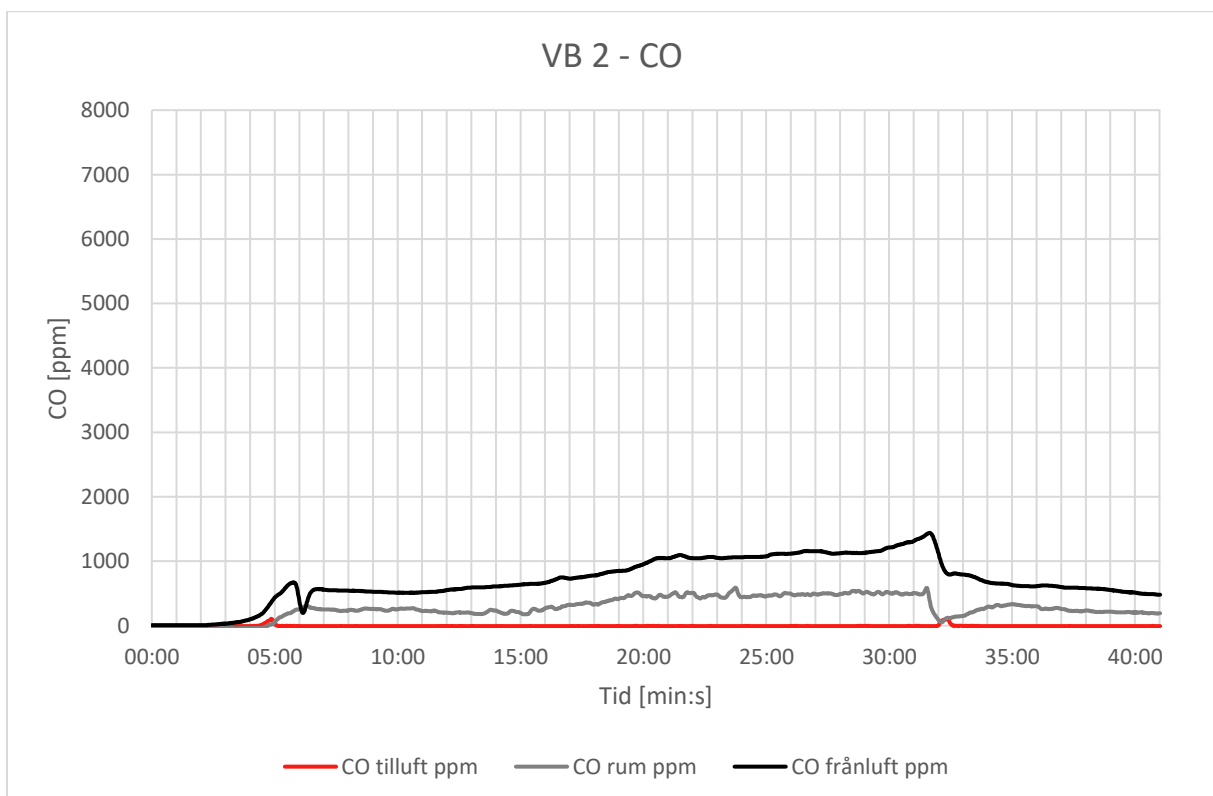
Noterbart är att nivåerna på CO<sub>2</sub> inte varierar i samma utsträckning mellan försöken som nivåerna på CO (både i rum och i kanaler).



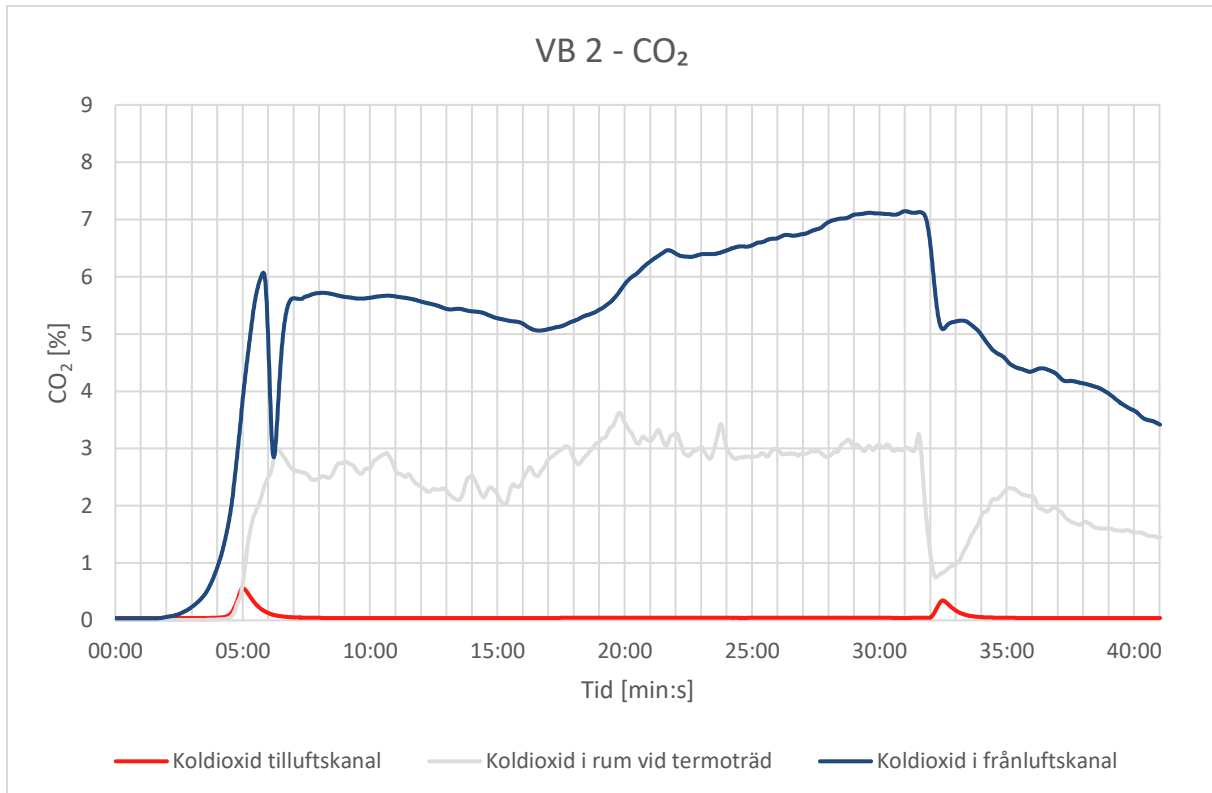
Figur 33. CO i kanaler och i rummet vid försök VB1. Inga don, inga fläktar.



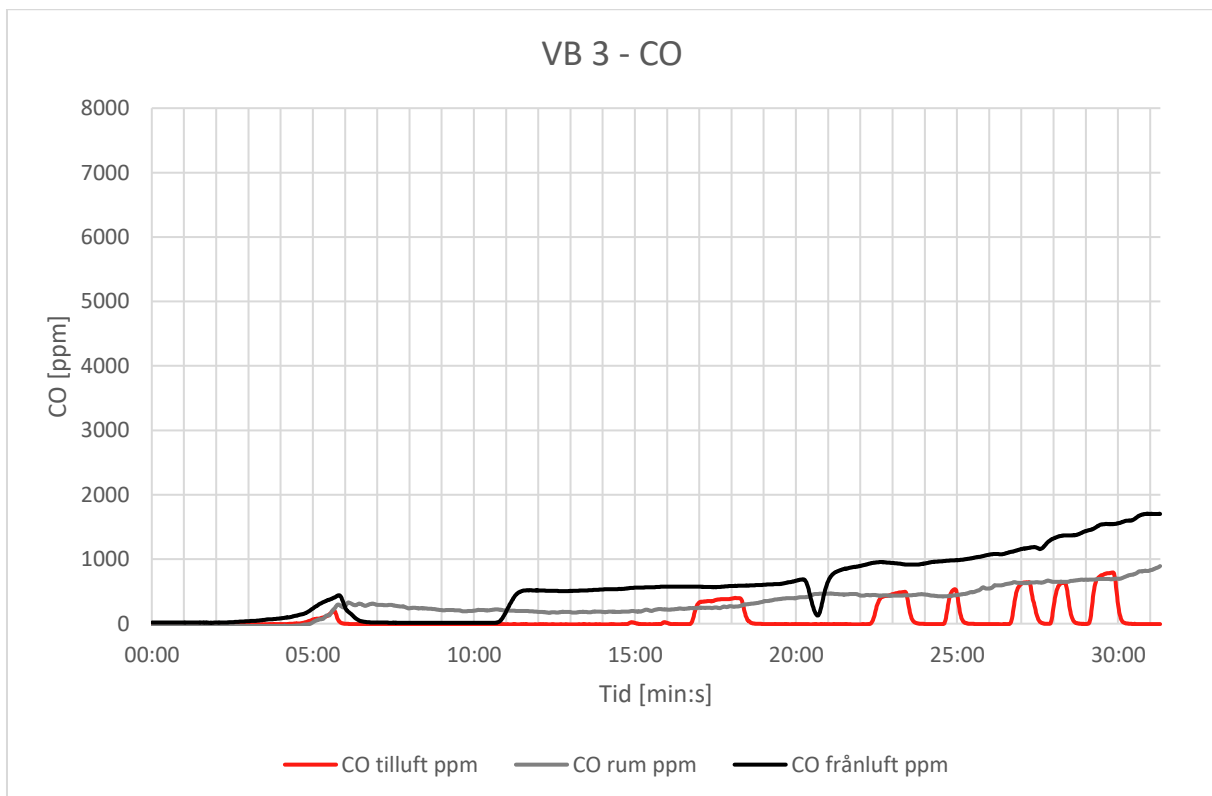
Figur 34. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök VB1. Inga don, inga fläktar.



Figur 35. CO i kanaler och i rummet vid försök VB2.

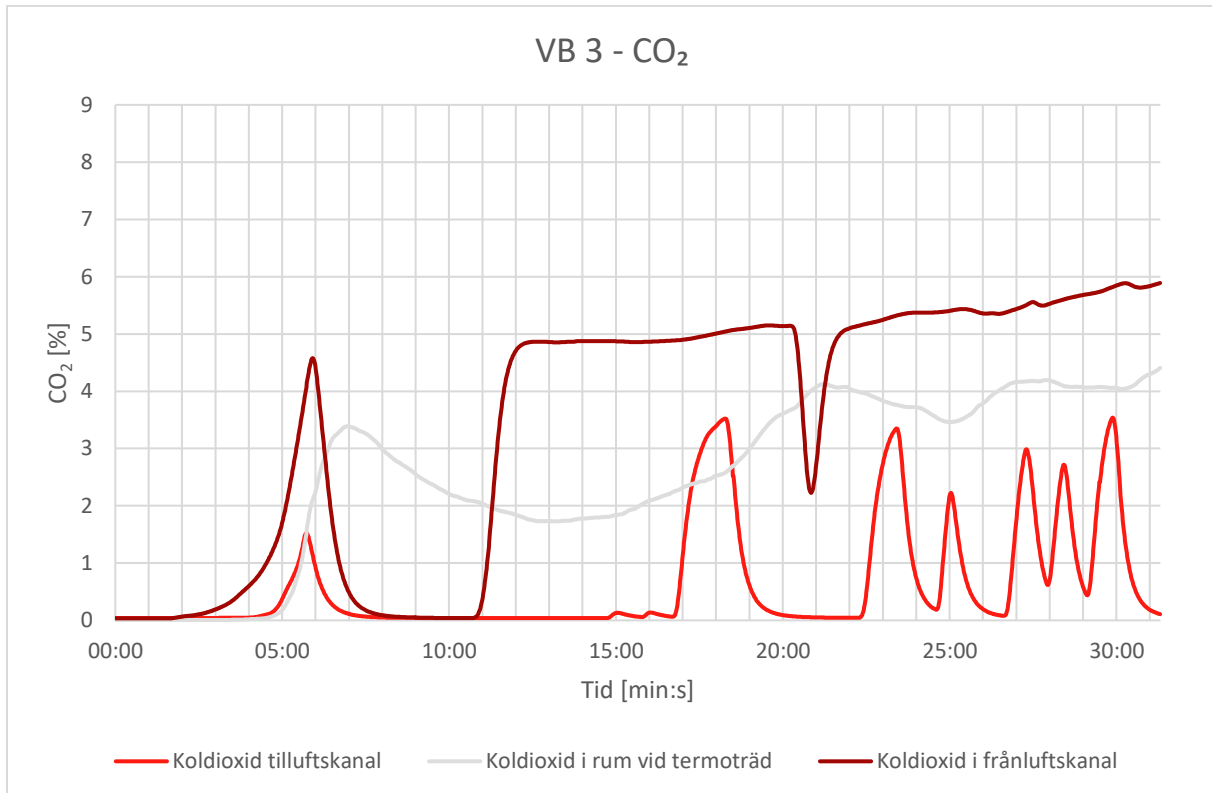


Figur 36. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök VB2.

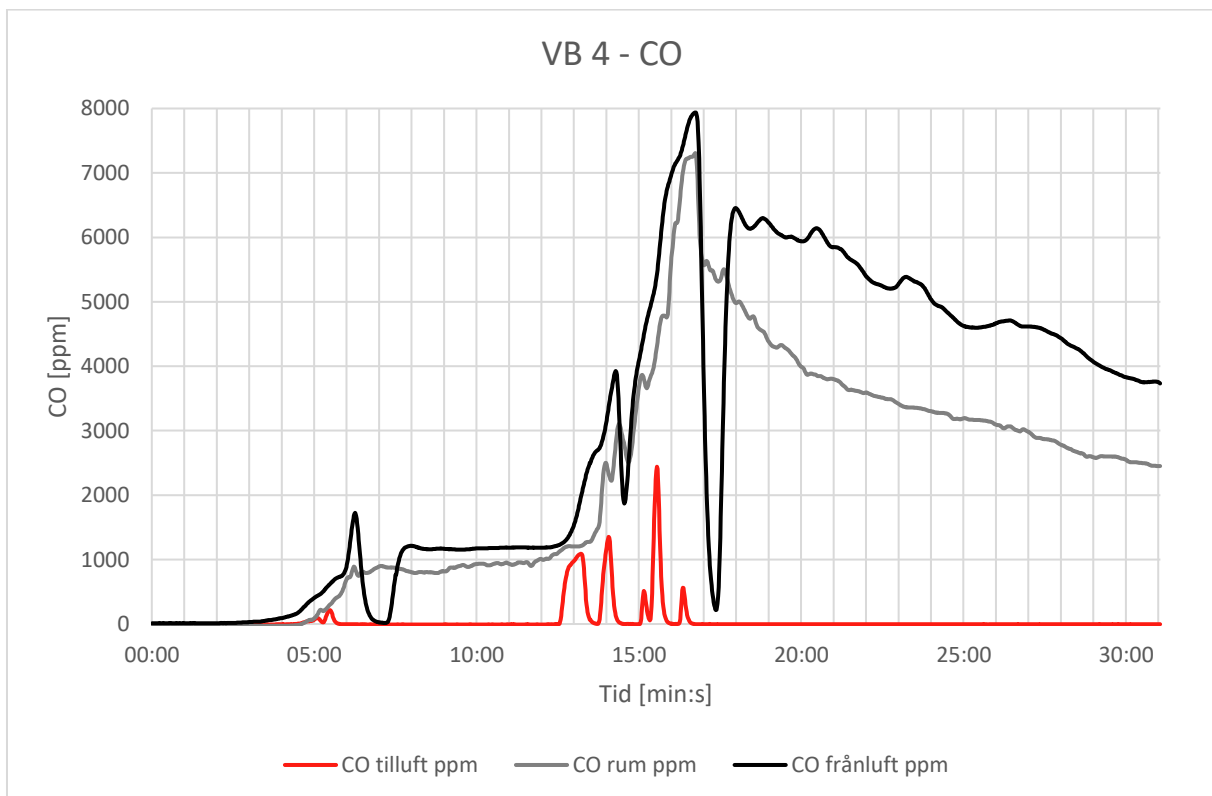


Figur 37. CO i kanaler och i rummet vid försök VB3. Inga don, inga fläktar.

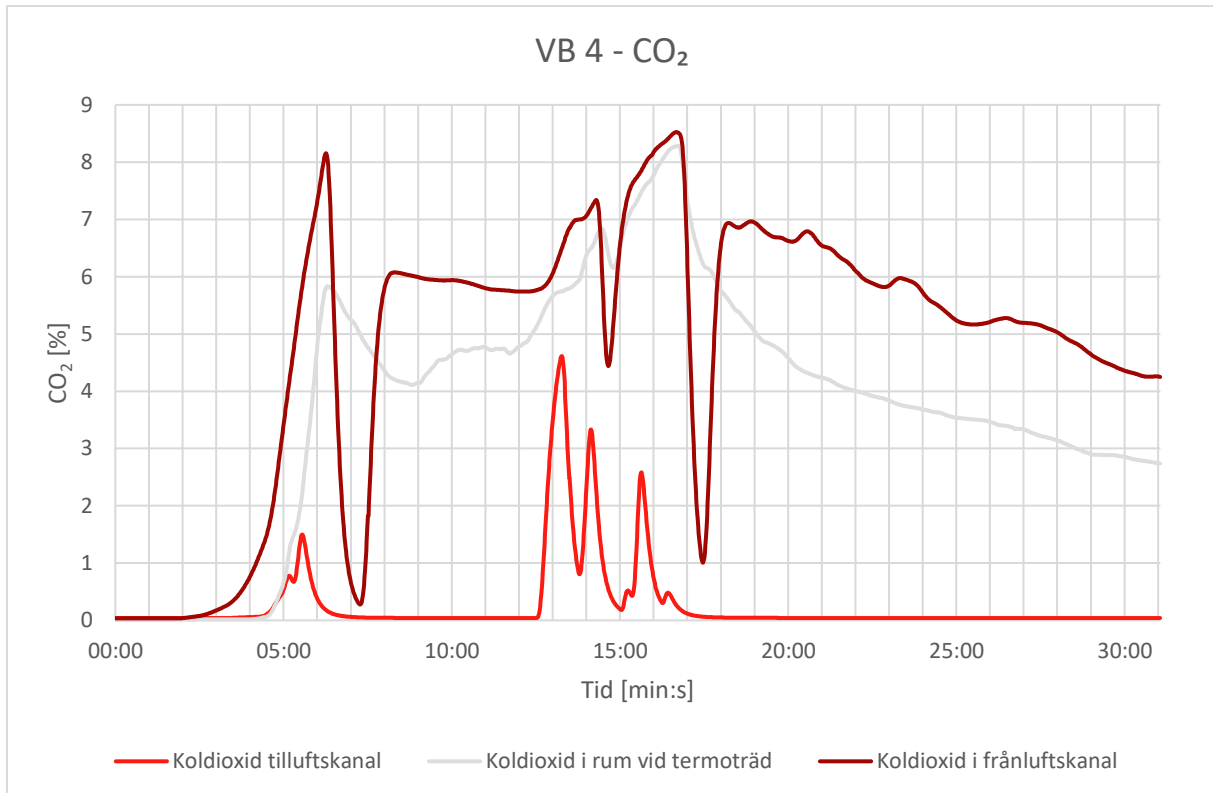




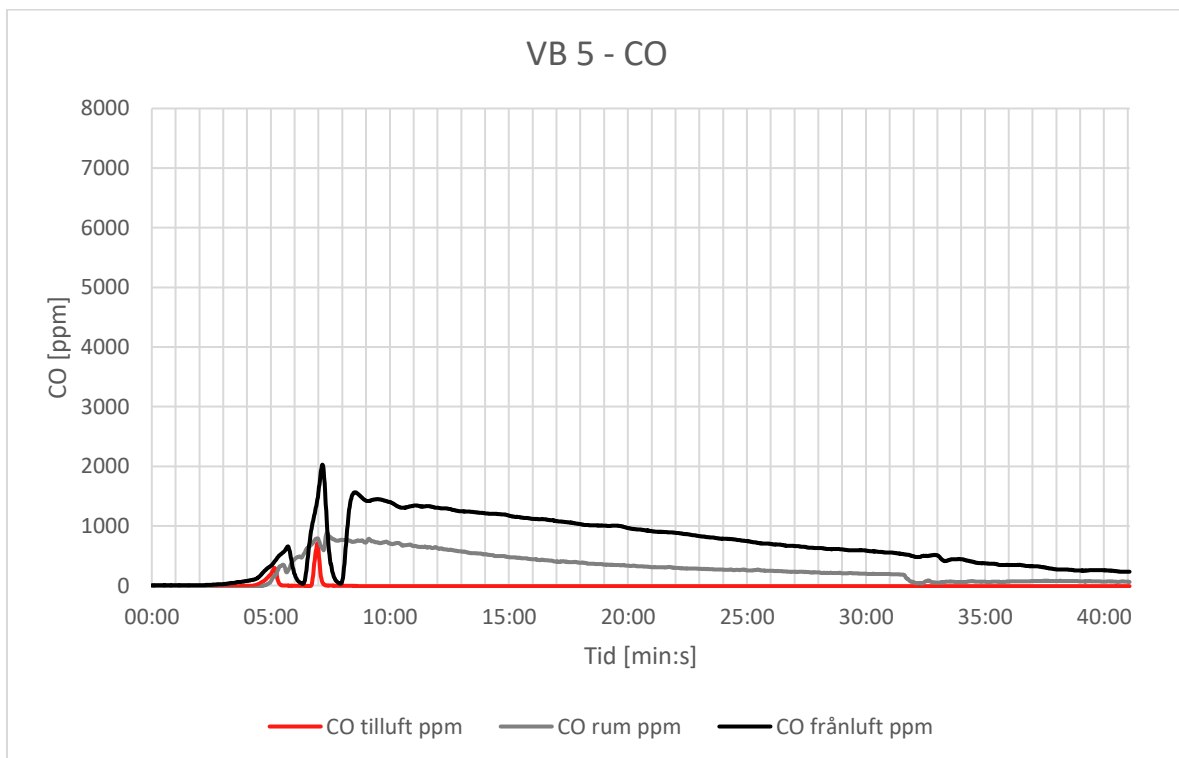
Figur 38. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök VB3. Inga don, inga fläktar.



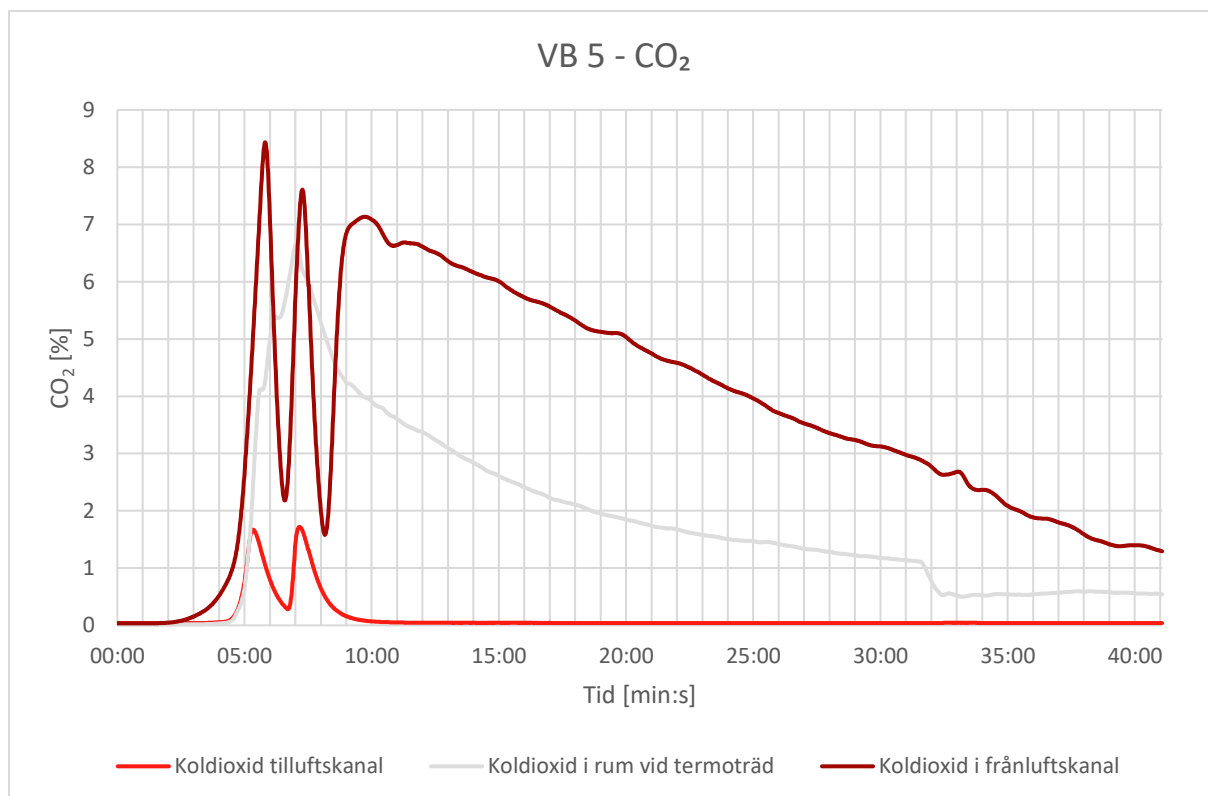
Figur 39. CO i kanaler och i rummet vid försök VB4.



Figur 40. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök VB4.



Figur 41. CO i kanaler och i rummet vid försök VB5.



Figur 42. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök VB5.

Som resultaten visar sker spridning av CO i tilluften i samtliga fall med verklighetsbaserade bränder. Även i dessa scenarier är det momentant höga koncentrationer på kolmonoxiden i tilluftskanalen. Total spridning till intilliggande volym beror både på koncentrationen av CO i luften som sprids via tilluftskanalen och på flödet ut ur rummet genom tilluftskanalen. Genom att kombinera dessa faktorer har en total spridd CO-mängd beräknats i tabellen nedan.

Tabell 5. Spridd luftvolym och CO i VB-försöken.

Scenario	Total spridd luftvolym via tilluften [l]	Total spridd CO [g]
VB1	17 649	2,64
VB2	2437	0,10
VB3	15 906	1,67
VB4	4947	1,10
VB5	3329	0,37

Som ses i tabellen så är det avsevärd skillnad på spridningen i ett trycklöst system utan till- och frånluftsdon (VB1 och VB3) jämfört med systemen där det finns till-och frånluftsdon med ett injusterat tryck och flöde i kanalerna (VB2, VB4 och VB5).

En tänkbar anledning till att trycket blir högre när kanalen är extra lågt placerad kan vara att i de fallet så monteras en 90 graders böj på kanalen så att öppningen hamnar 2,5 cm från golvet. I praktiken innebär detta att öppningen kan liknas med en tallriksventill med en 2,5 cm springa. Detta medför att kanaländan inte är lika öppen som en kanalända som mynnar i väggen på rummet.

I samtliga försök beräknades sotspridning och sikt genom lasermätningar. Mätningarna indikerade dock så låga nivåer i samtliga fall att det inte hade påverkat sikten alls i en mottagande volym. Detta bekräftades även visuellt på plats där röken ur tilluften vid spridning var knappt märkbar. Brandgasspridningen visas i figuren nedan.



Figur 43. Bild på när brandgasspridning sker genom tilluften i VB1. Notera även brandgasflödet ur frånluften högst upp i bilden.

### 3.3 Bränder enligt BBRAD

För de verklighetsbaserade bränderna utfördes fem försök. Läckaget i rummet uppmätt innan försöken visas i tabellen nedan. Som jämförelse läcker dagens välbyggda hus med bra energiprestanda cirka 0,3–0,6 l/sm<sup>2</sup> vid 50 Pa övertryck.

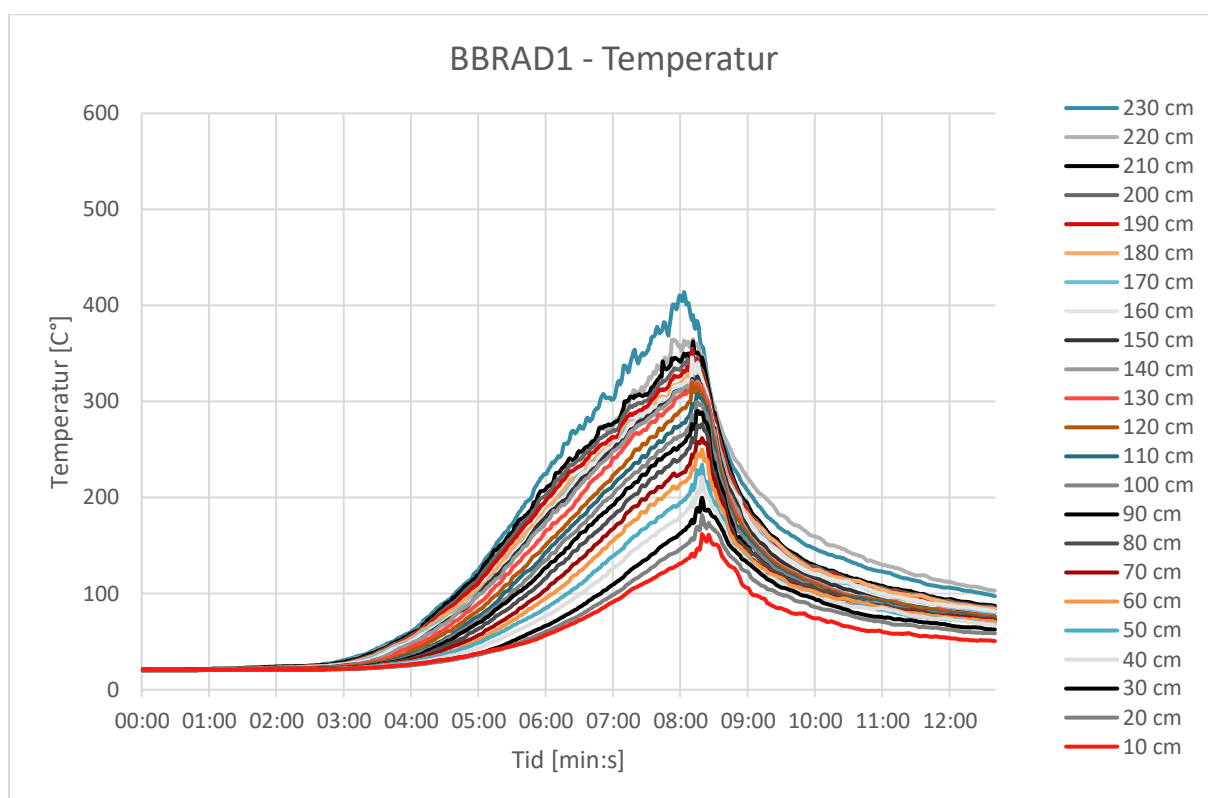
Tabell 6. Läckage innan försöken med BBRAD-bränder samt tillväxt och kanaluppsättning.

Scenario	Läckage före försök vid 50 Pa [l/sm <sup>2</sup> ]	Tillväxt	Flöde och tryck i kanaler
BBRAD1	0,33	Slow	-
BBRAD2	0,16	Slow	25 l/s vid 50 Pa
BBRAD3	0,30	Medium	-
BBRAD4	0,28	Medium	25 l/s vid 50 Pa
BBRAD5	0,36	Fast	-
BBRAD6	0,24	Fast	25 l/s vid 50 Pa
BBRAD7	0,36	Fast	25 l/s vid 50 Pa
BBRAD8	0,36	Fast	25 l/s vid 50 Pa
BBRAD9	0,25	Fast	25 l/s vid 25 Pa

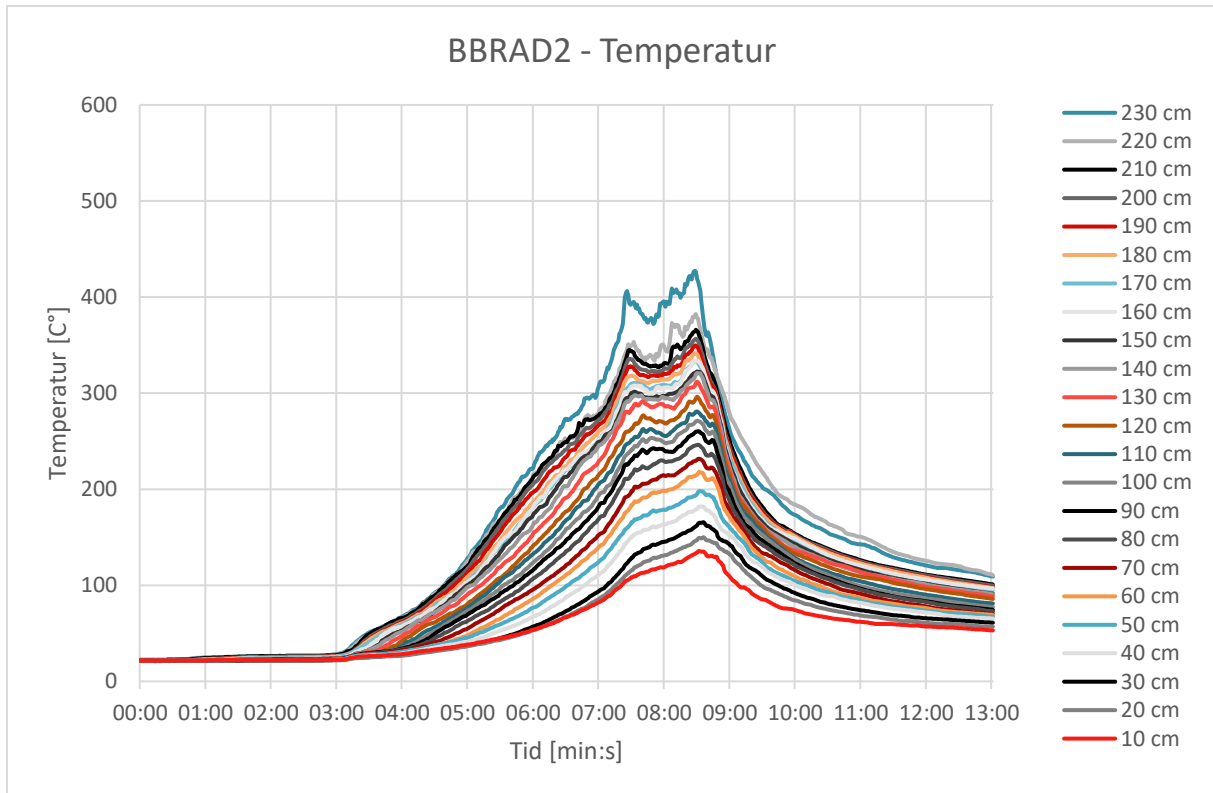
I försök BBRAD6 och 7 ströps gasoltillförseln vilket innebär lägre effekt än i BBRAD8. I övrigt var dessa försök identiska.

### 3.3.1 Temperatur och syrenivå i rum

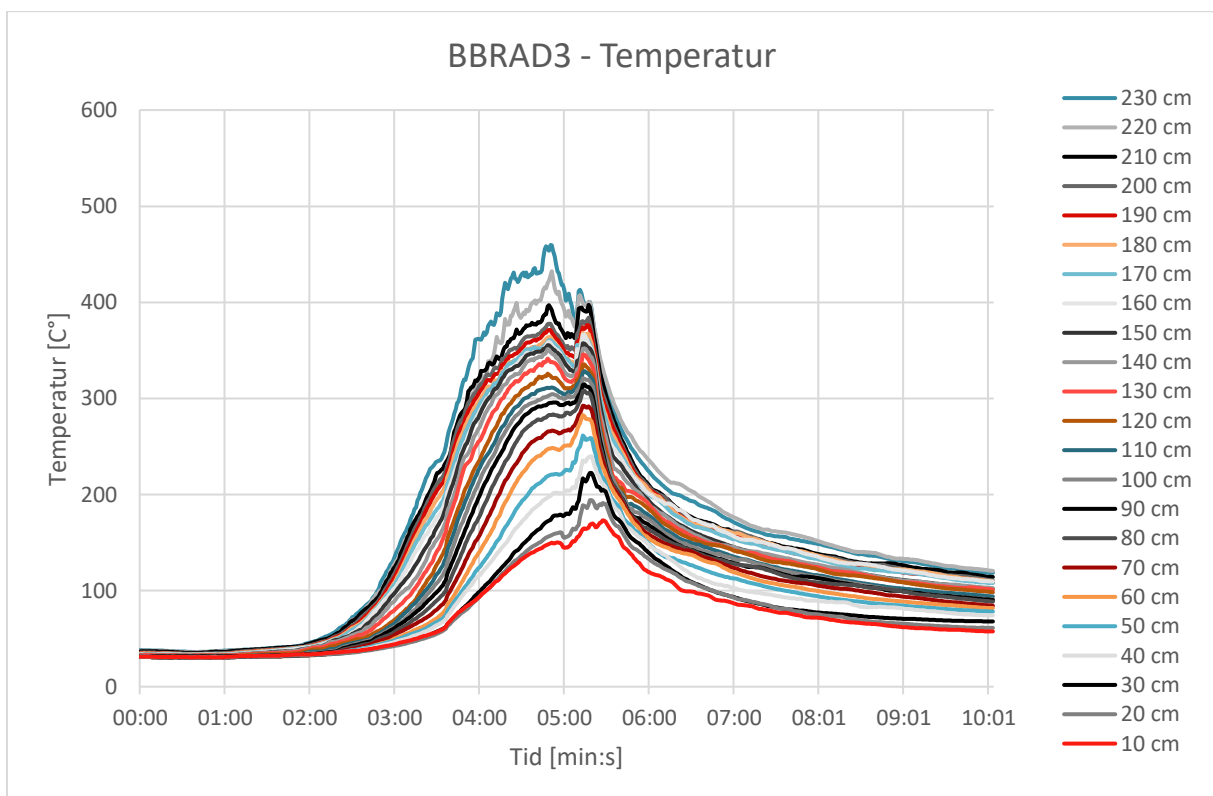
I BBRAD-bränderna, som genomfördes med gasol som bränsle, uppmättes som mest cirka 500 °C vid taknivå i BBRAD8 och BBRAD9. I dessa försök var även syrenivåerna generellt lägre och i BBRAD3-6 samt 8–9 var nivåerna nere på runt 4–6 % när gasolen stoppades. I BBRAD2 och BBRAD7 var nivåerna 11–16 %. De lägre syrenivåerna beror sannolikt på att gasol har ett relativt stort brännbarhetsområde vilket möjliggör förbränning även vid låga syrenivåer. Den undre brännbarhetsgränsen för gasol (propan) är 2,2 % syre, vilket är väldigt lågt relativt andra gaser och bränslen [10].



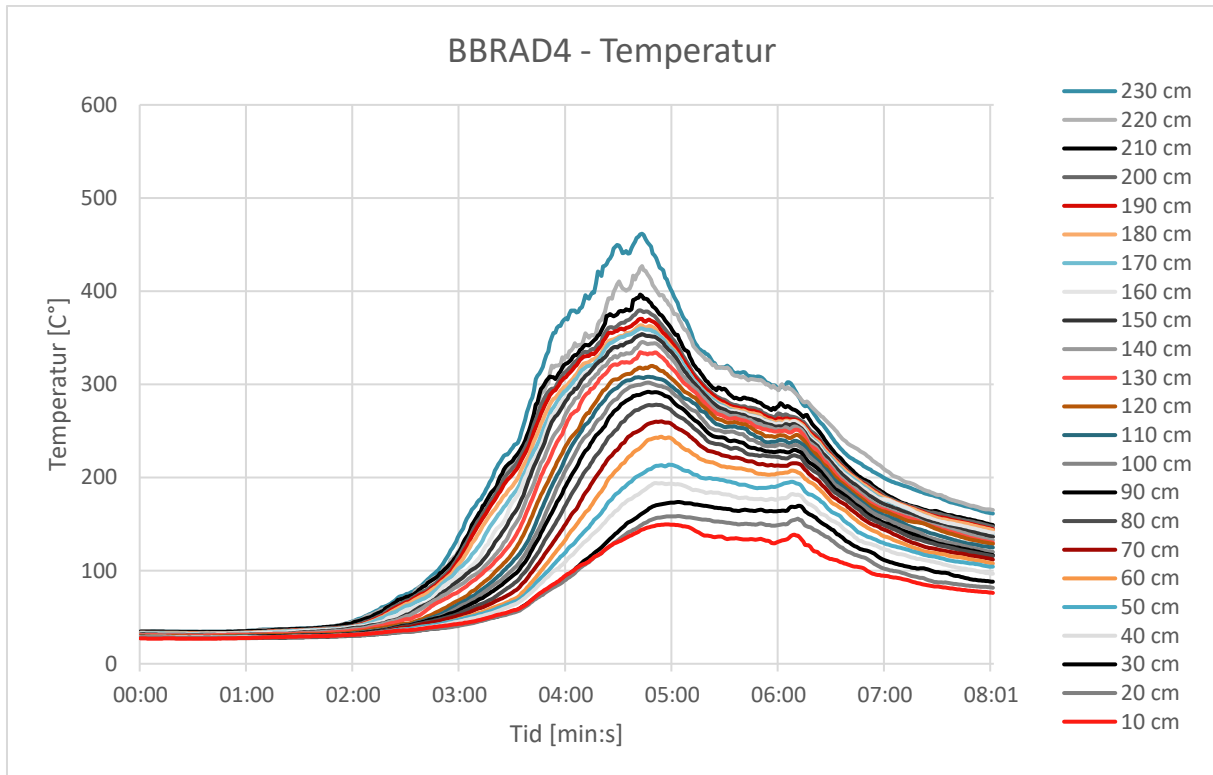
Figur 44. Temperatur i rummet vid försök BBRAD1 (slow). Inga don, inga fläktar.



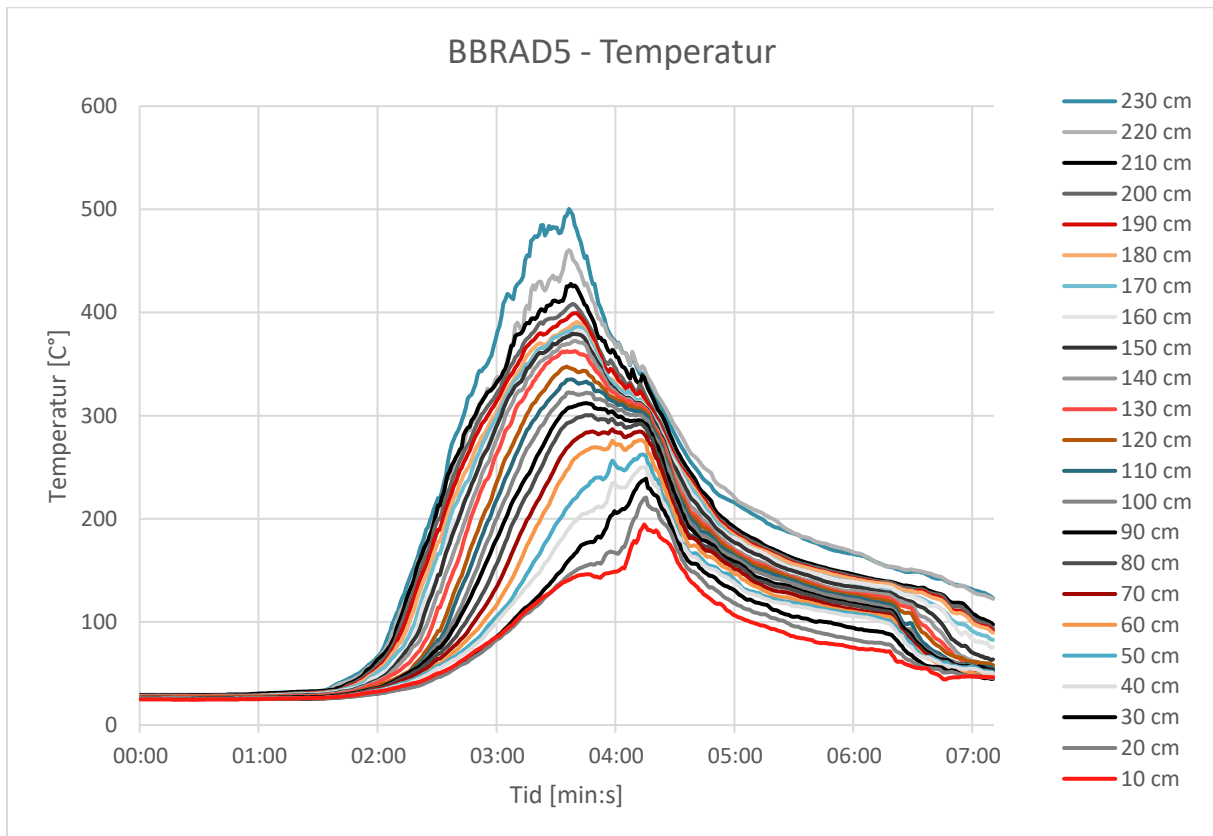
Figur 45. Temperatur i rummet vid försök BBRAD2 (slow).



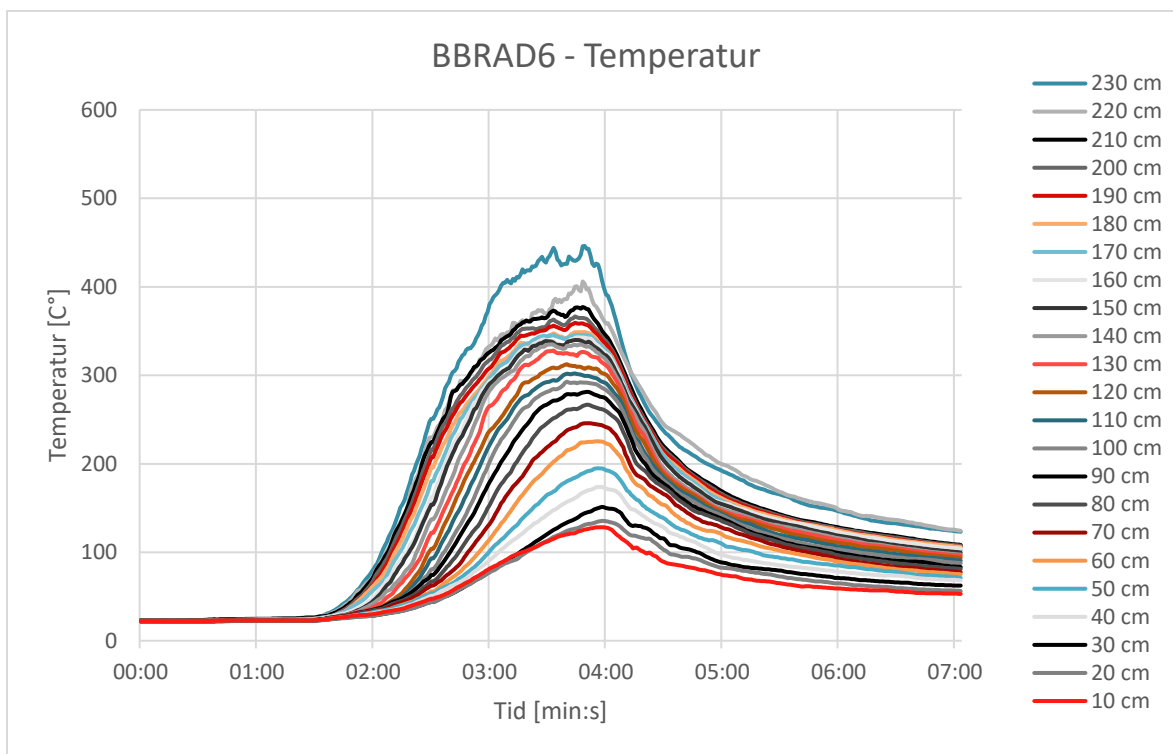
Figur 46. Temperatur i rummet vid försök BBRAD3 (medium). Inga don, inga fläktar.



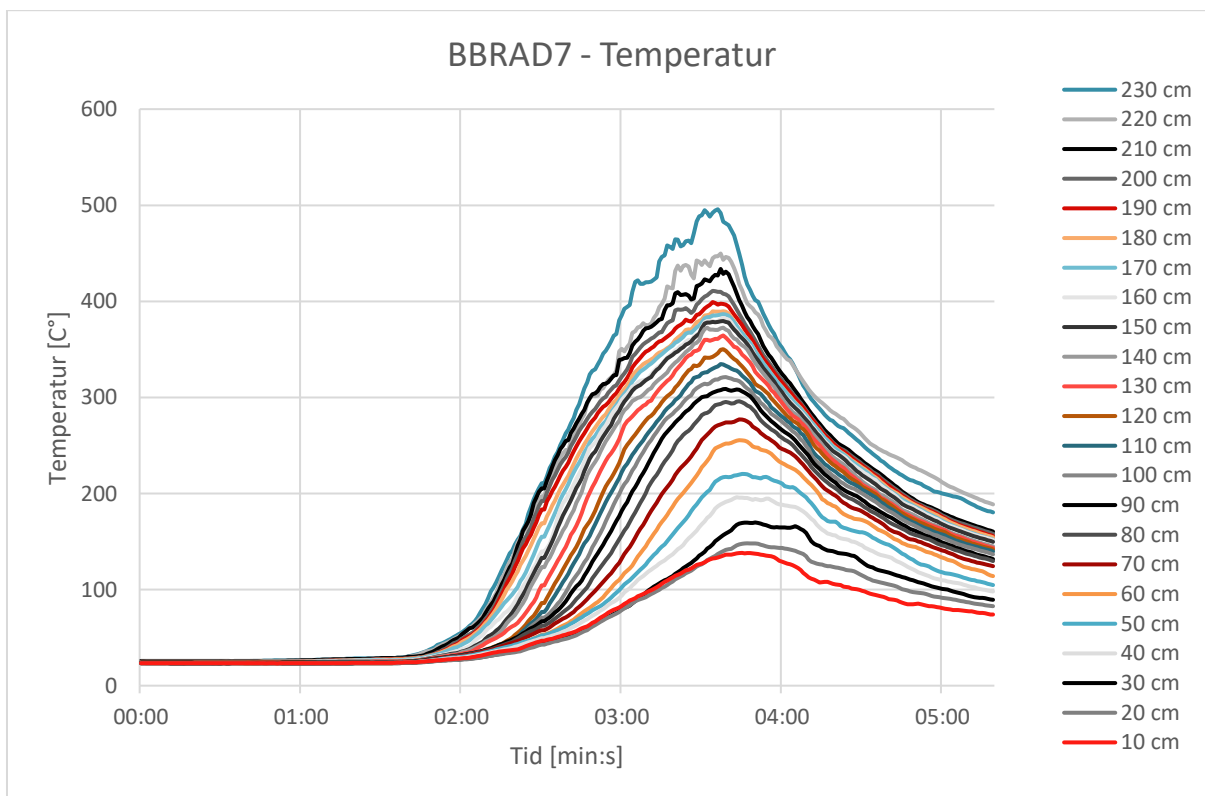
Figur 47. Temperatur i rummet vid försök BBRAD4 (medium).



Figur 48. Temperatur i rummet vid försök BBRAD5 (fast). Inga don, inga fläktar.

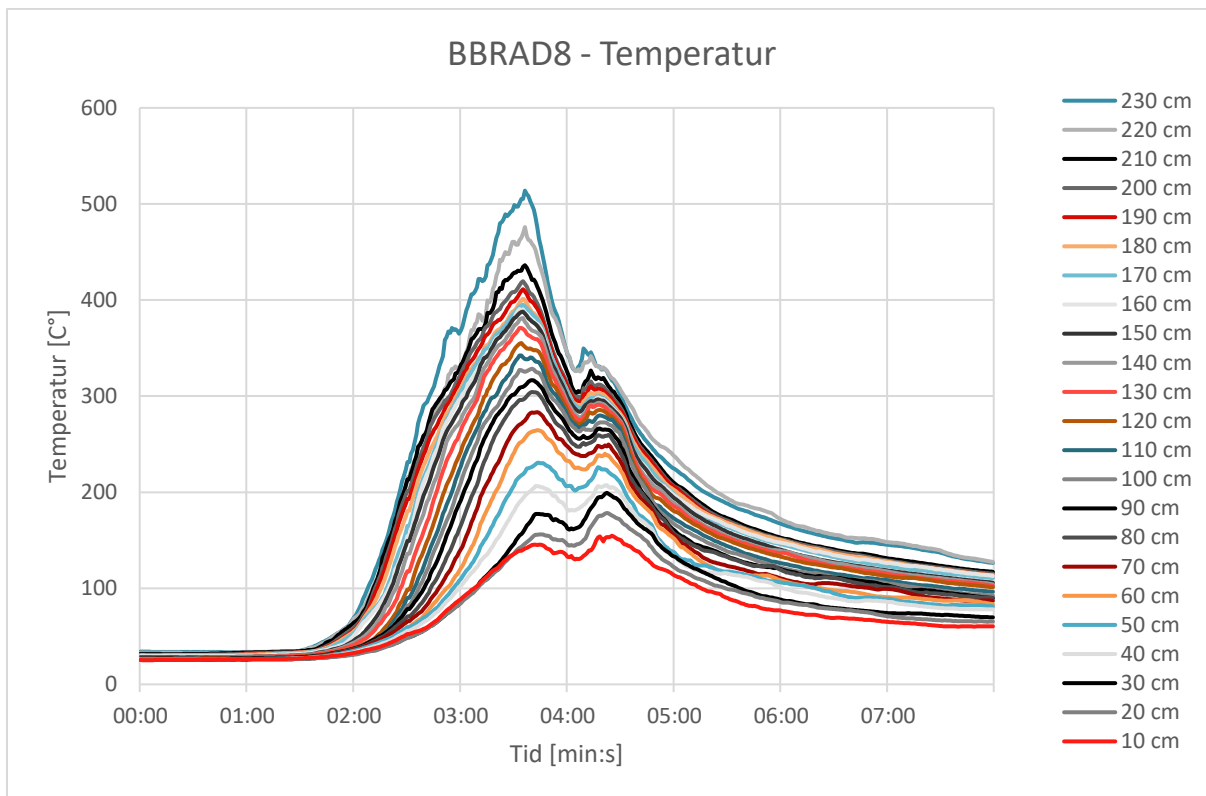


Figur 49. Temperatur i rummet vid försök BBRAD6 (fast).

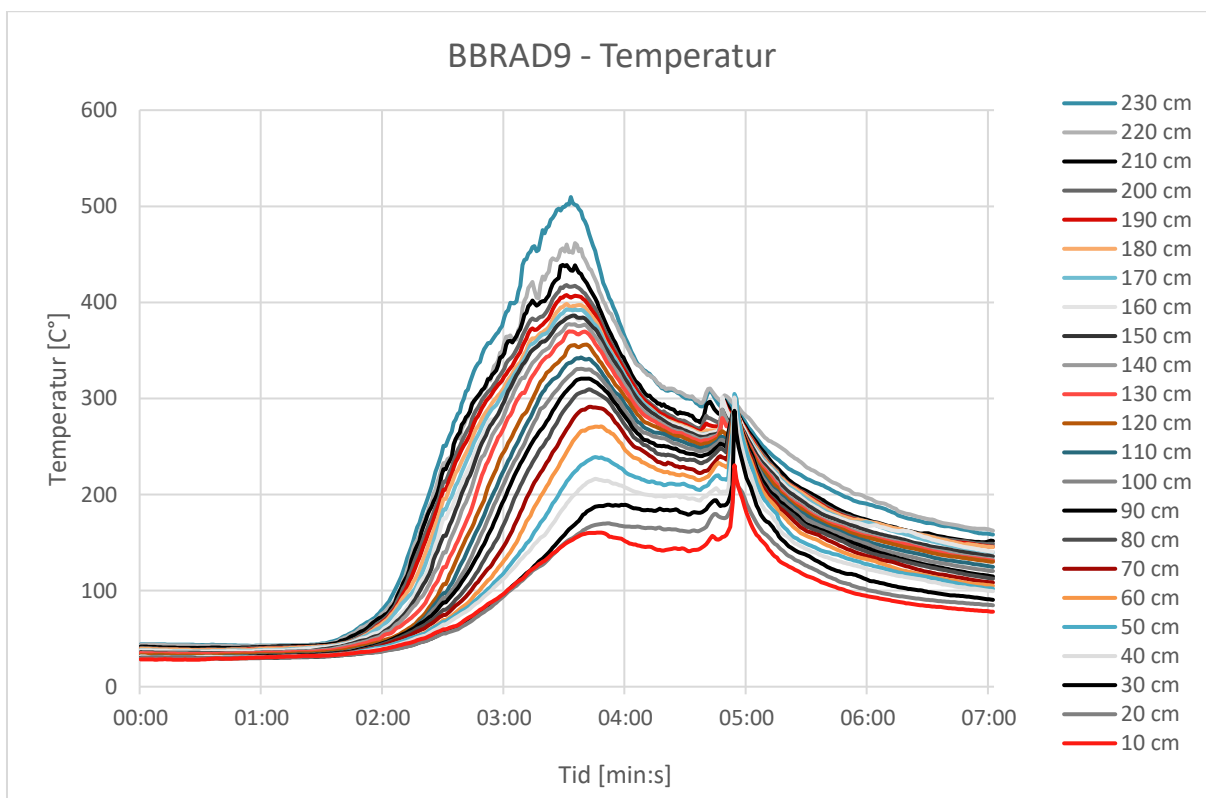


Figur 50. Temperatur i rummet vid försök BBRAD7 (fast).





Figur 51. Temperatur i rummet vid försök BBRAD8 (fast).



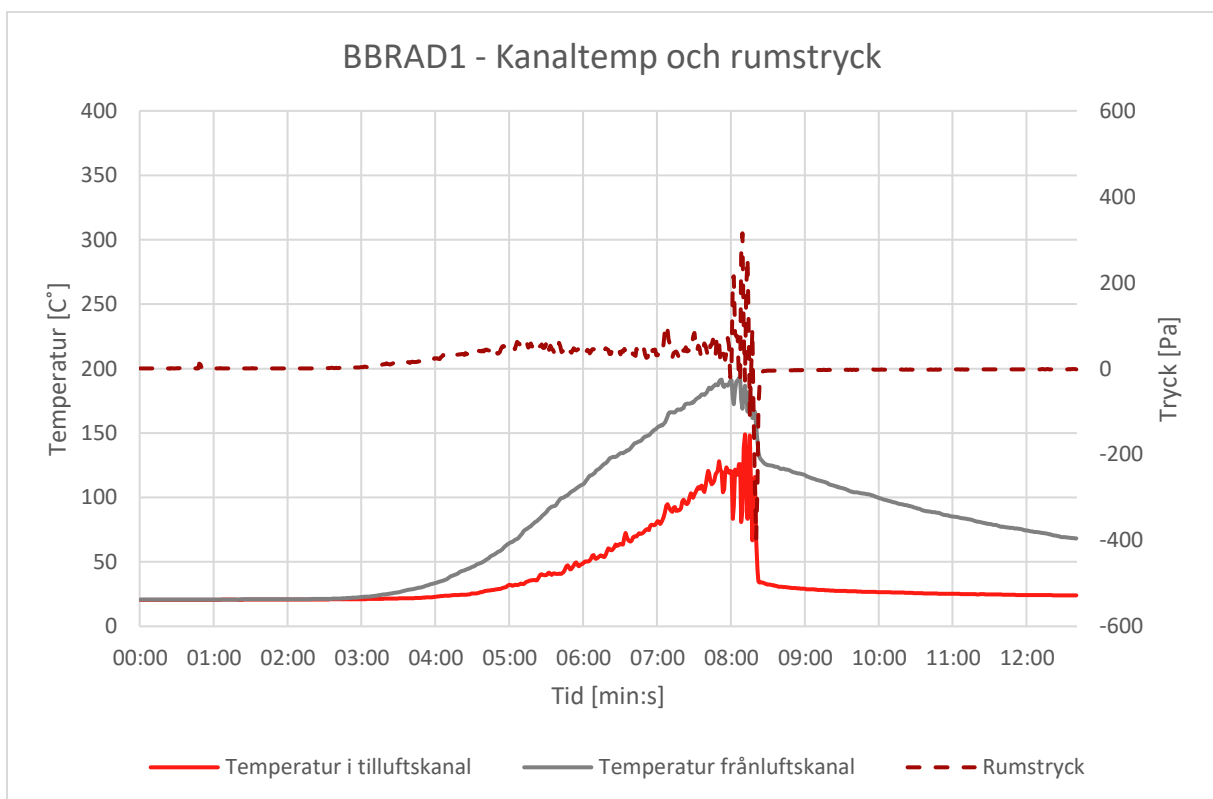
Figur 52. Temperatur i rummet vid försök BBRAD9 (fast).

### 3.3.2 Temperatur i till- och frånluftskanaler samt rumstryck

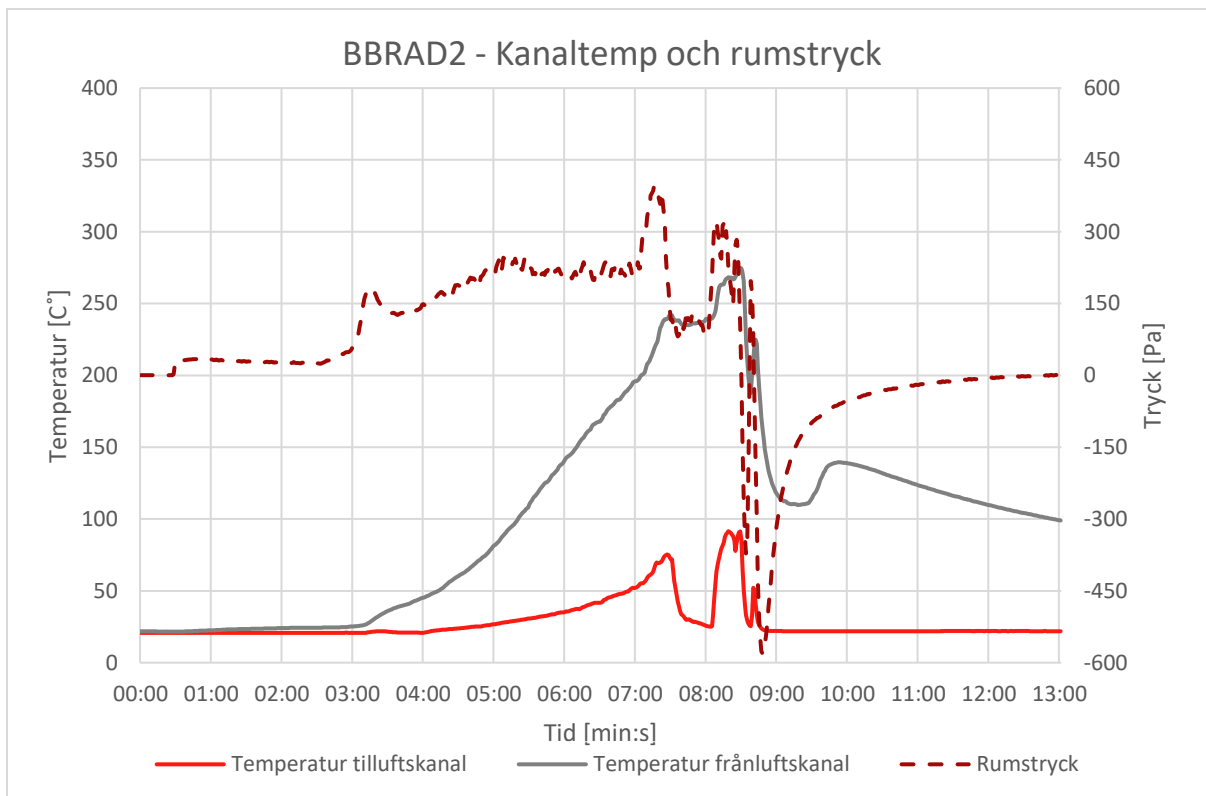
Temperaturerna i till- och frånluftskanaler redovisas i figurerna nedan tillsammans med rumstrycket. Även här ses att temperaturerna i frånluften för samtliga försök är något lägre än de högsta temperaturerna som mäts upp i rummet.

I försöken ses att relativt höga temperaturer nås i tilluften, speciellt i de försök som utförts med öppna kanaler utan inkopplade fläktar (BBRAD1, 3 och 5). Temperaturerna i tilluften i dessa försök är cirka 150–180°C. För försöken med flöde i kanalsystemet är temperaturen i tilluften lägre men i samtliga fall sker någon form av temperaturstegring.

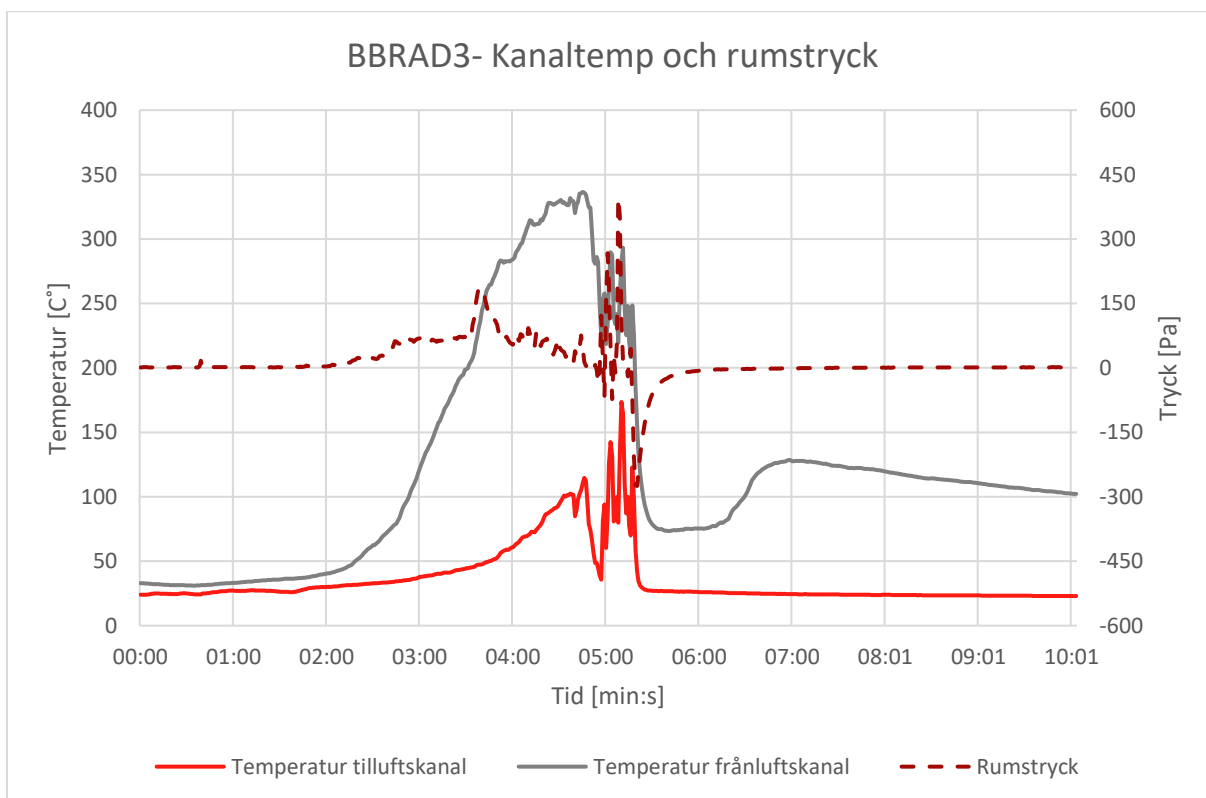
Generellt är det relativt höga tryck i dessa försök med en tydlig skillnad mellan försöken med öppna kanaler (BBRAD1, 3 och 5) och försöken med flöde i kanalsystemet.



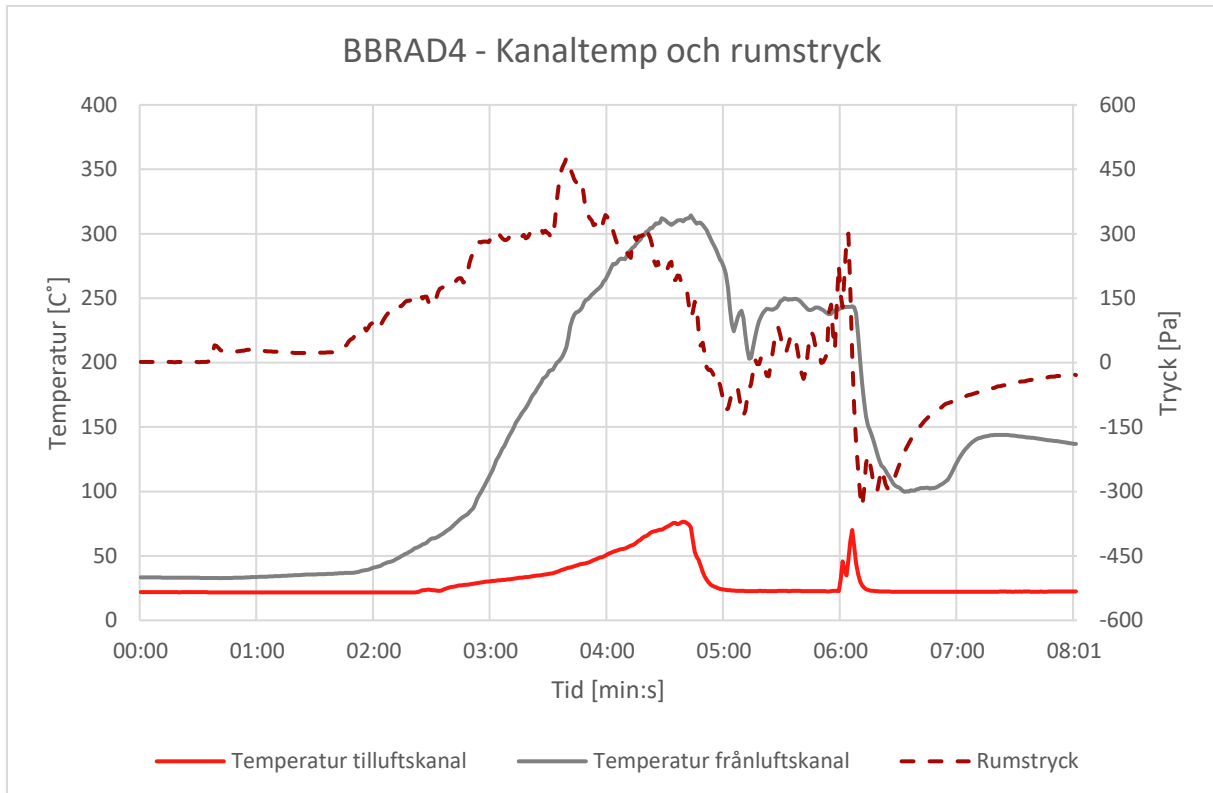
Figur 53. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök BBRAD1 (slow). Inga don, inga fläktar.



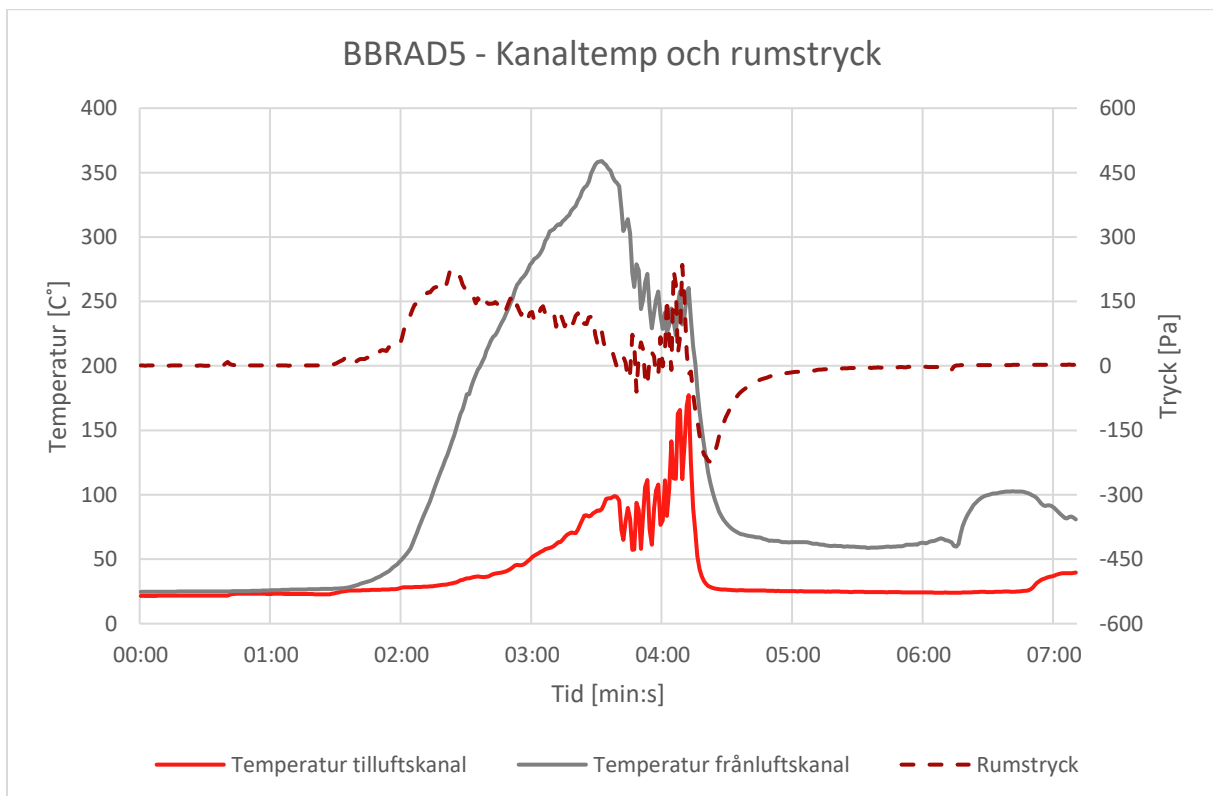
Figur 54. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök BBRAD2 (slow).



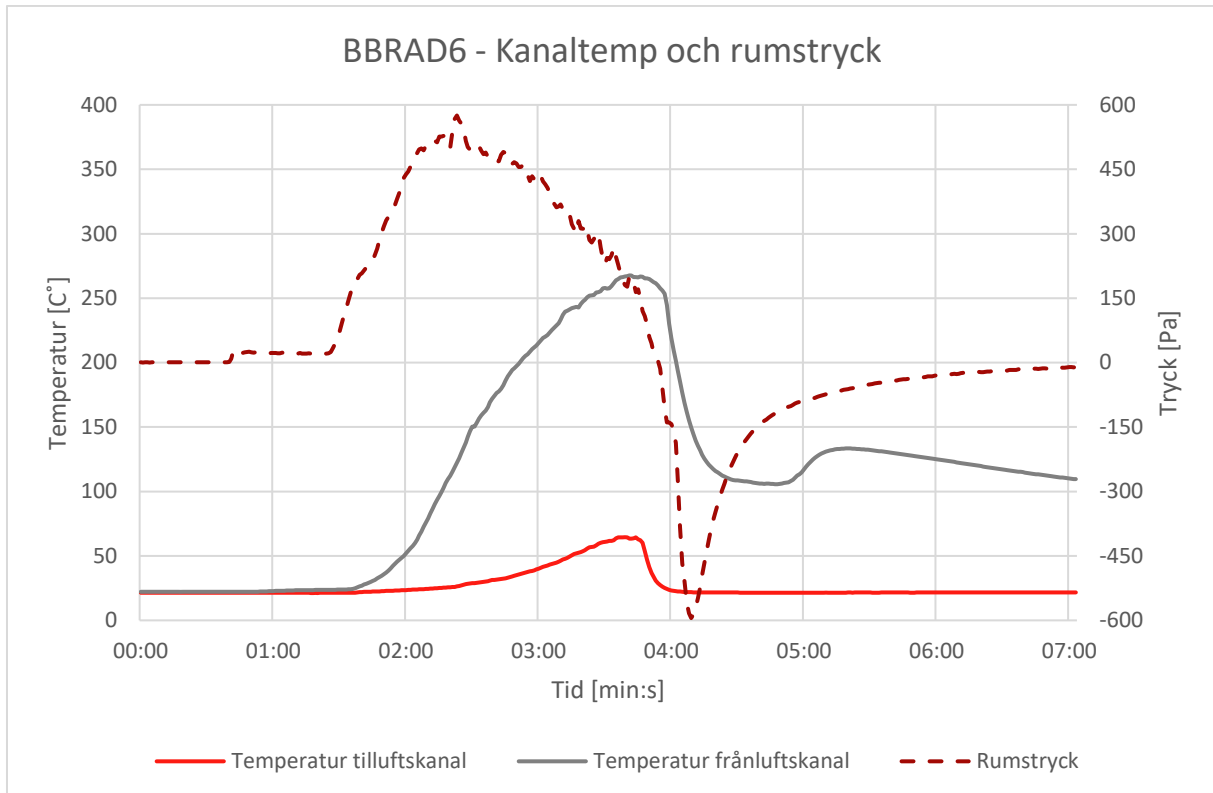
Figur 55. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök BBRAD3 (medium). Inga don, inga fläktar.



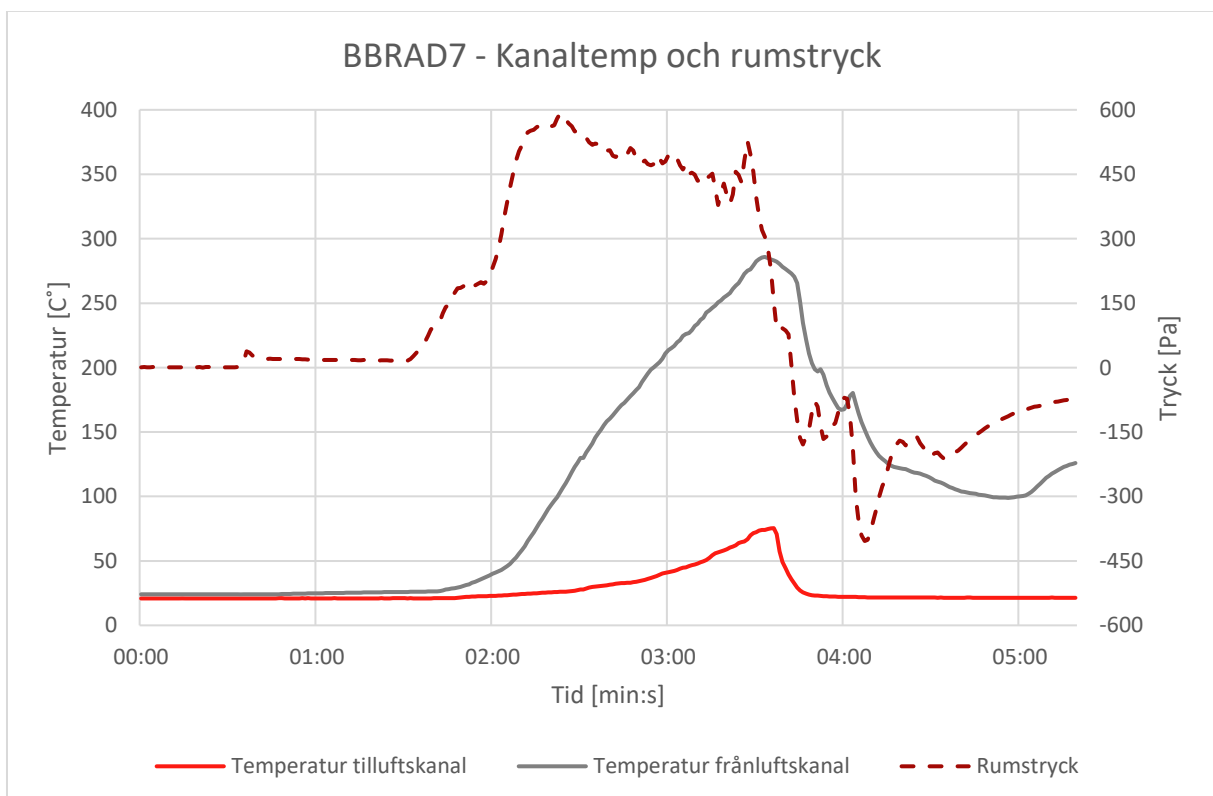
Figur 56. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök BBRAD4 (medium).



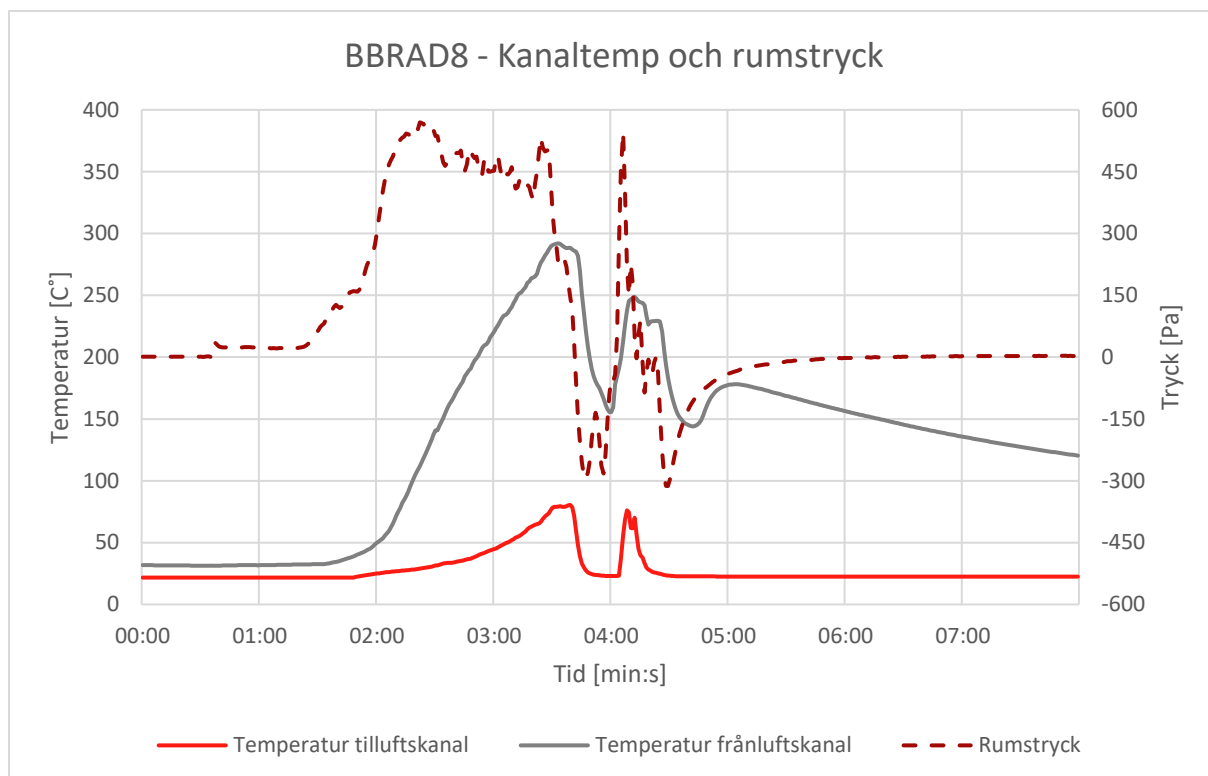
Figur 57. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök BBRAD5 (fast). Inga don, inga fläktar.



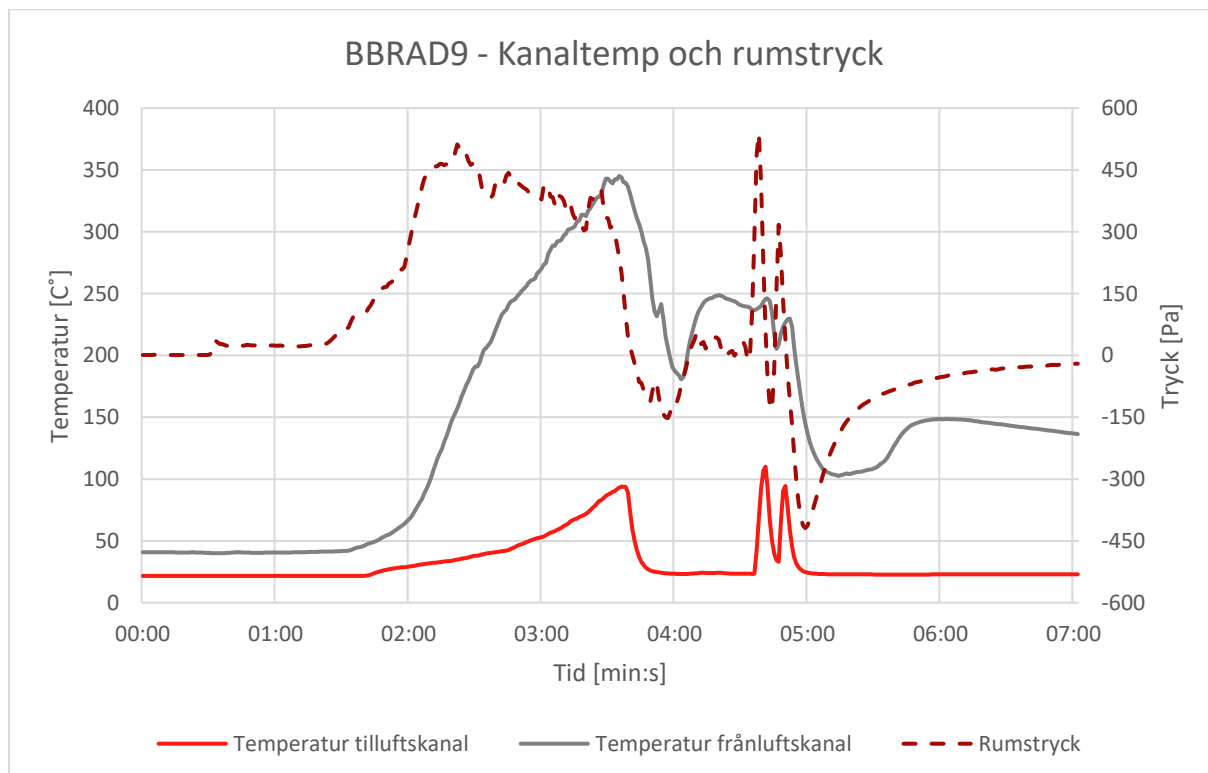
Figur 58. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök BBRAD6 (fast).



Figur 59. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök BBRAD7 (fast).



Figur 60. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök BBRAD8 (fast).



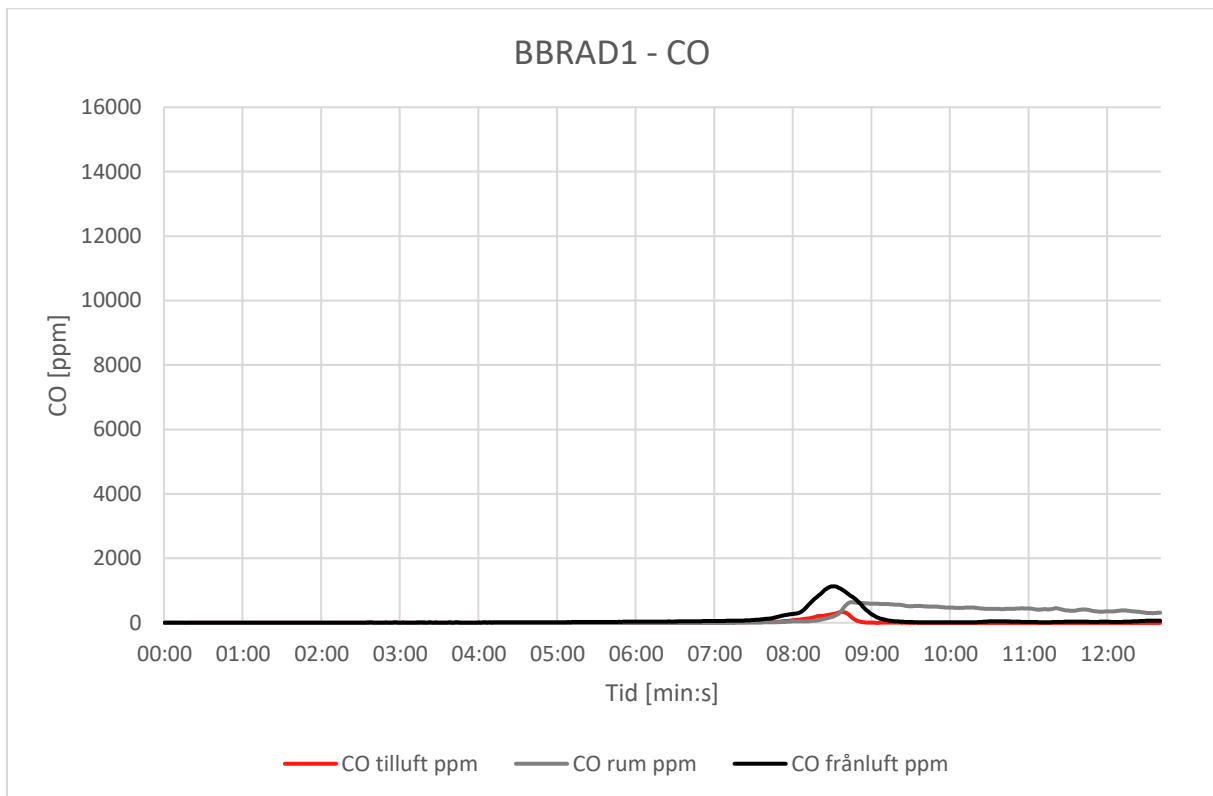
Figur 61. Temperaturer i kanaler och rumstryck vid försök BBRAD9 (fast).

### 3.3.3 Brandgaser och spridd luftvolym

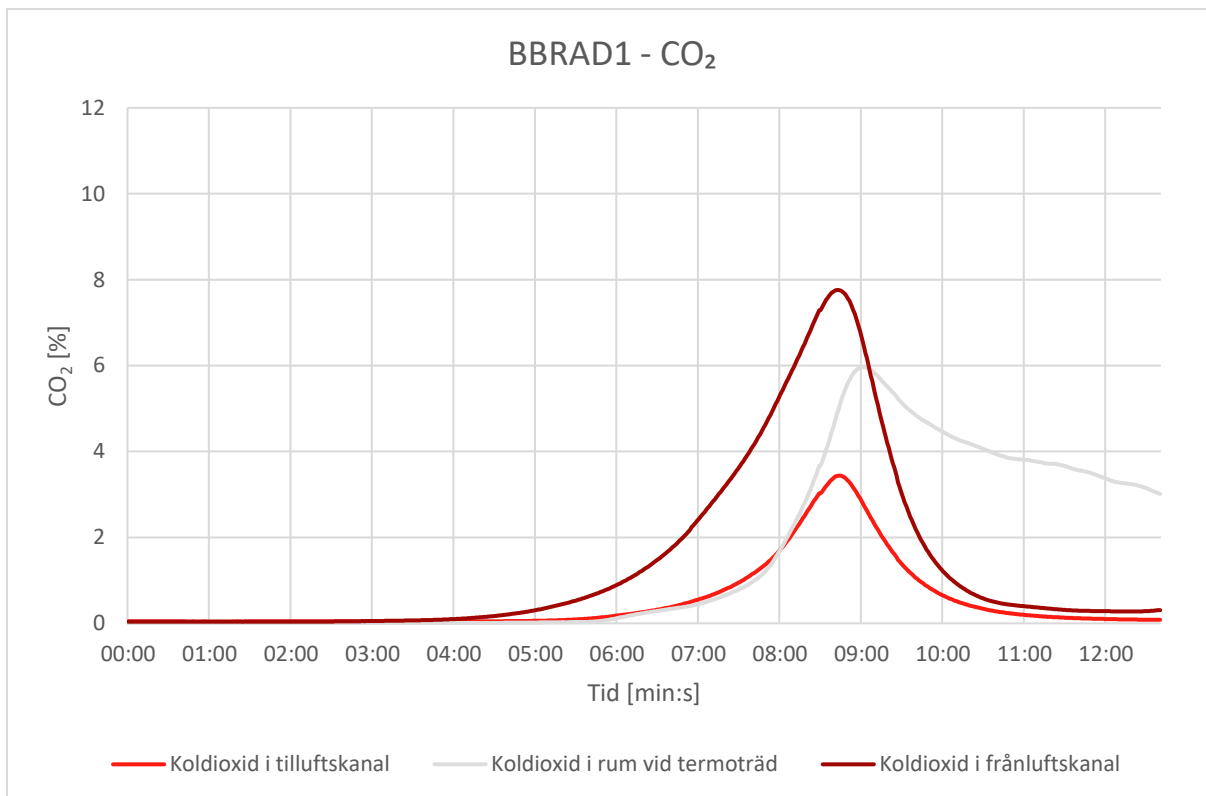
I försöken uppmättes även brandgaser inom rummet samt i ventilationskanalerna.

Även i dessa försök finns skillnader mellan fallen med öppna kanaler och fallen med aktiv ventilation. Generellt sprids mindre brandgaser i fallen med aktiv ventilation än i de med öppna kanaler.

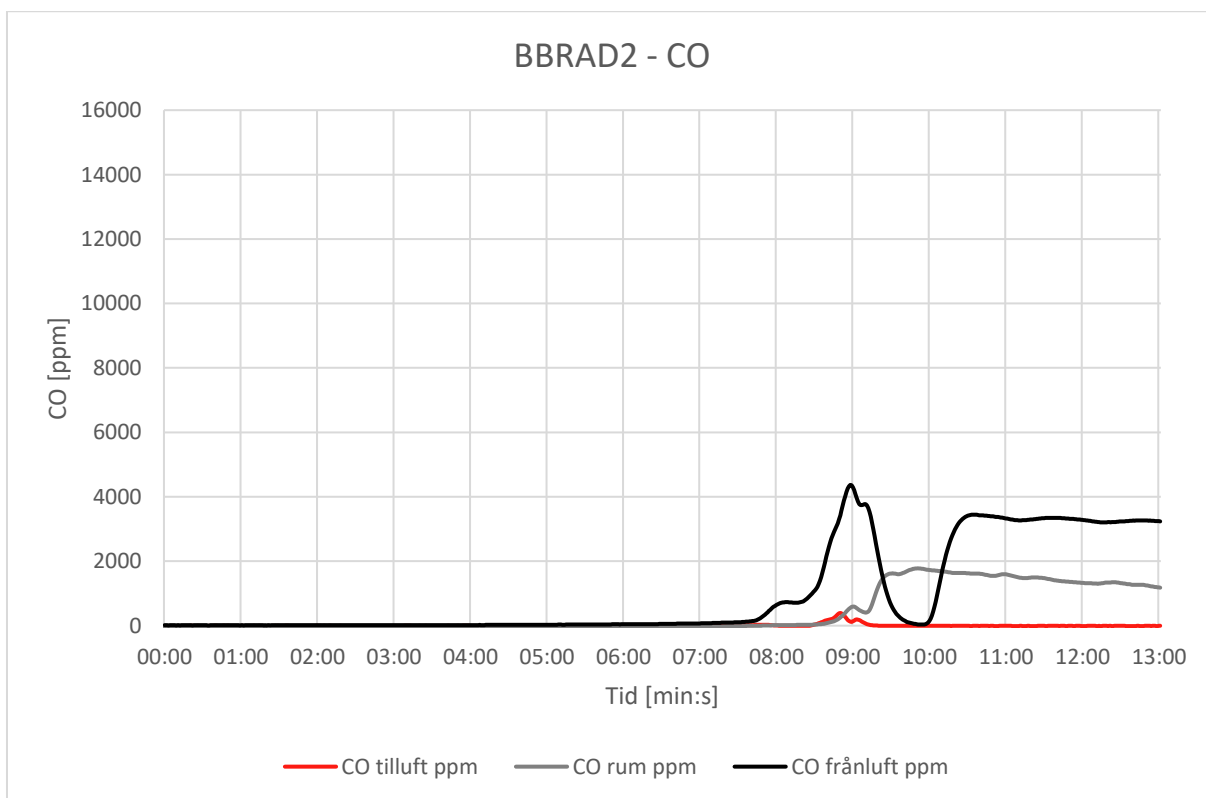
I dessa försök är koncentrationerna av både CO och CO<sub>2</sub> generellt relativt höga. Detta beror sannolikt på gasols brännbarhetsområde som möjliggör förbränning vid relativt låga syrenivåer.



Figur 62. CO i kanaler och i rummet vid försök BBRAD1. Inga don, inga fläktar.

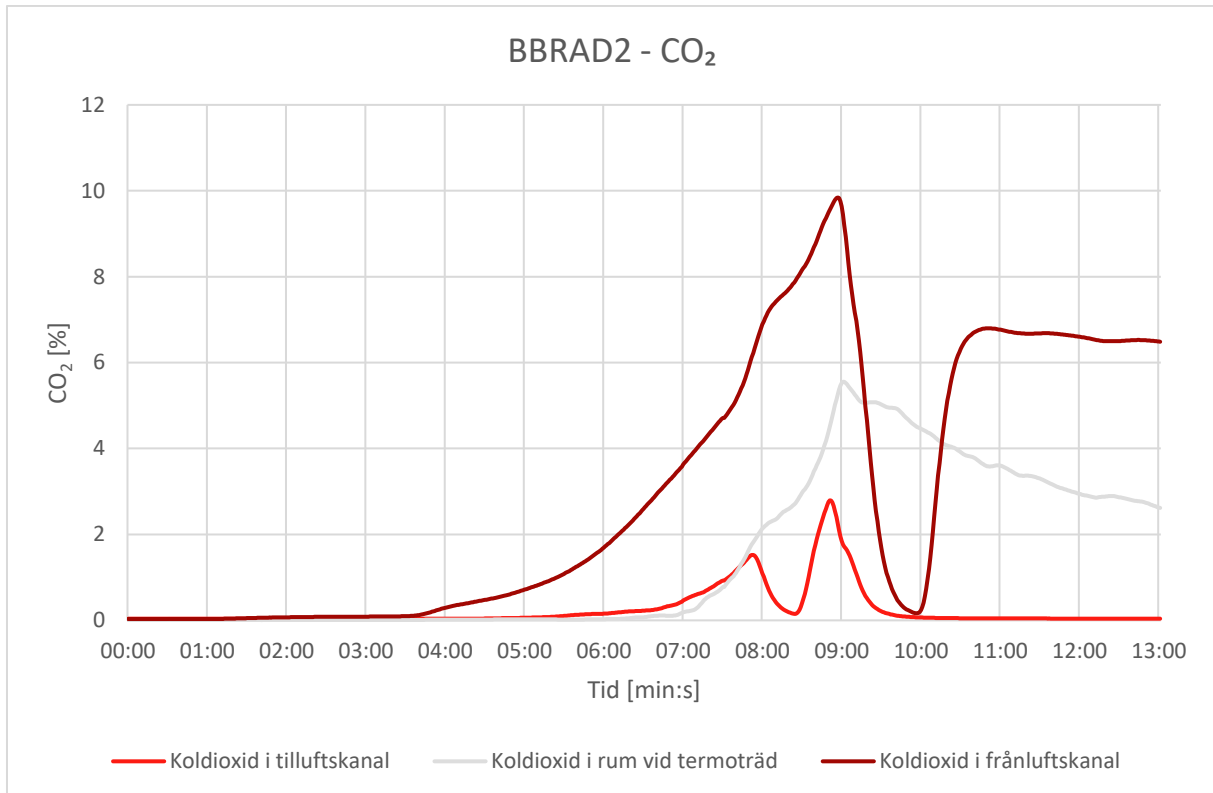


Figur 63. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök BBRAD1. Inga don, inga fläktar.

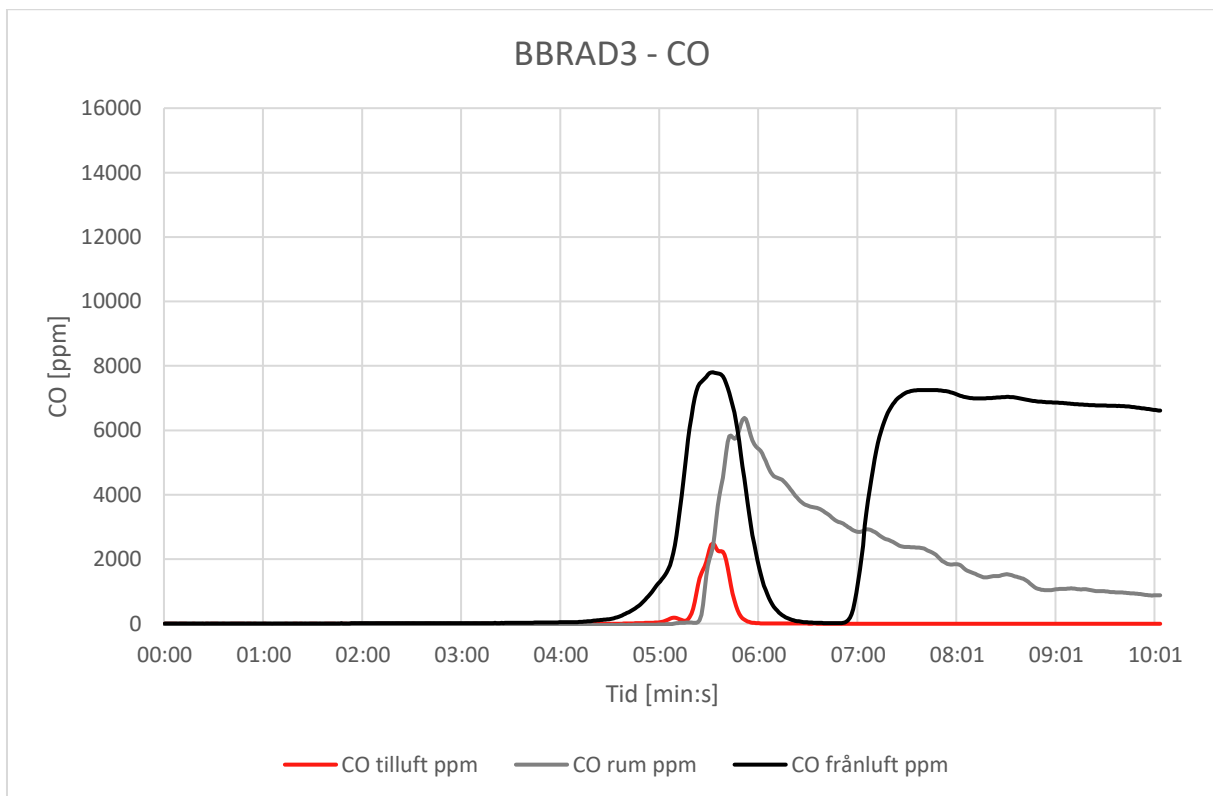


Figur 64. CO i kanaler och i rummet vid försök BBRAD2.

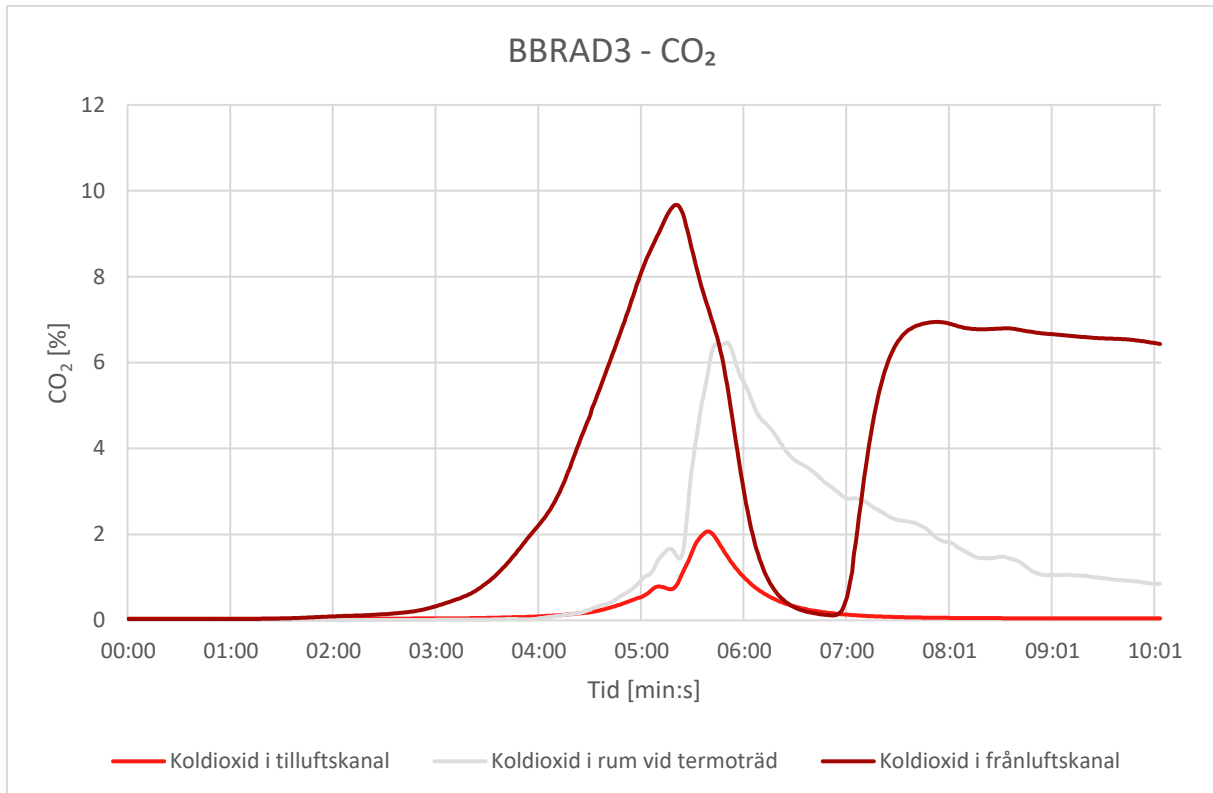




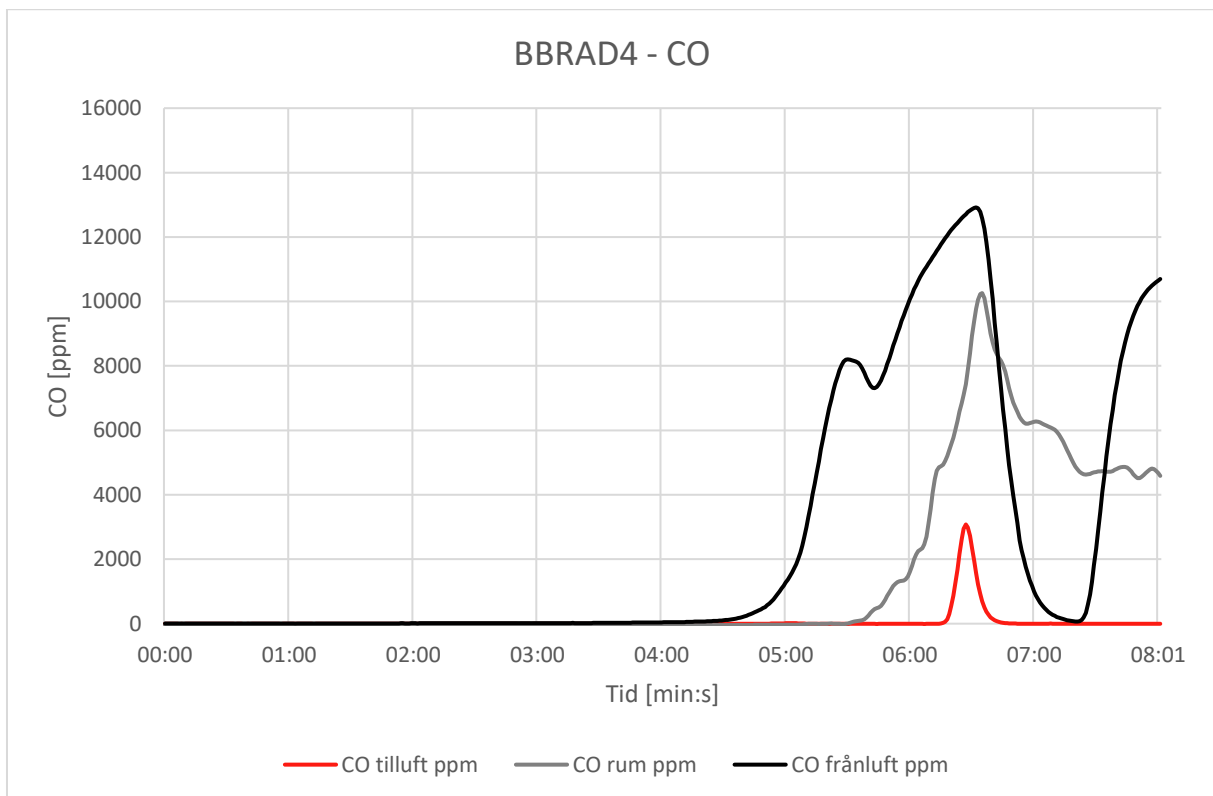
Figur 65. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök BBRAD2.



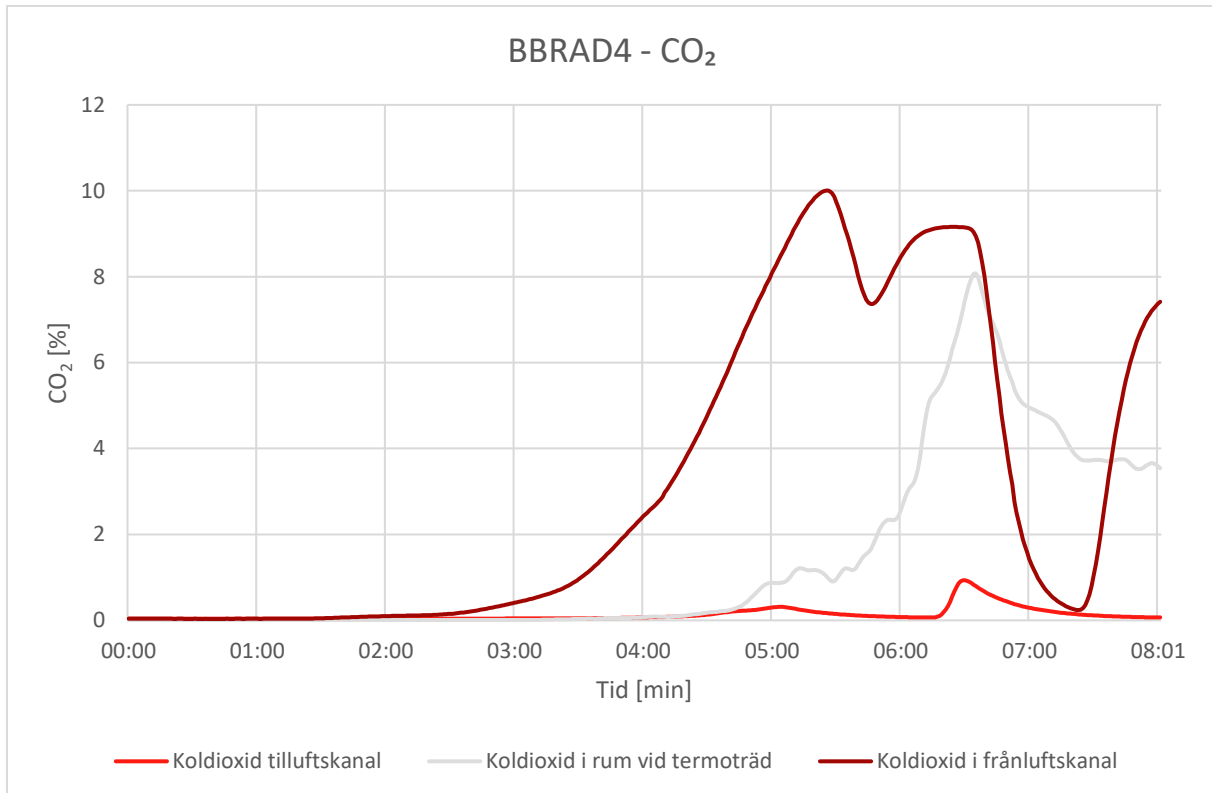
Figur 66. CO i kanaler och i rummet vid försök BBRAD3. Inga don, inga fläktar.



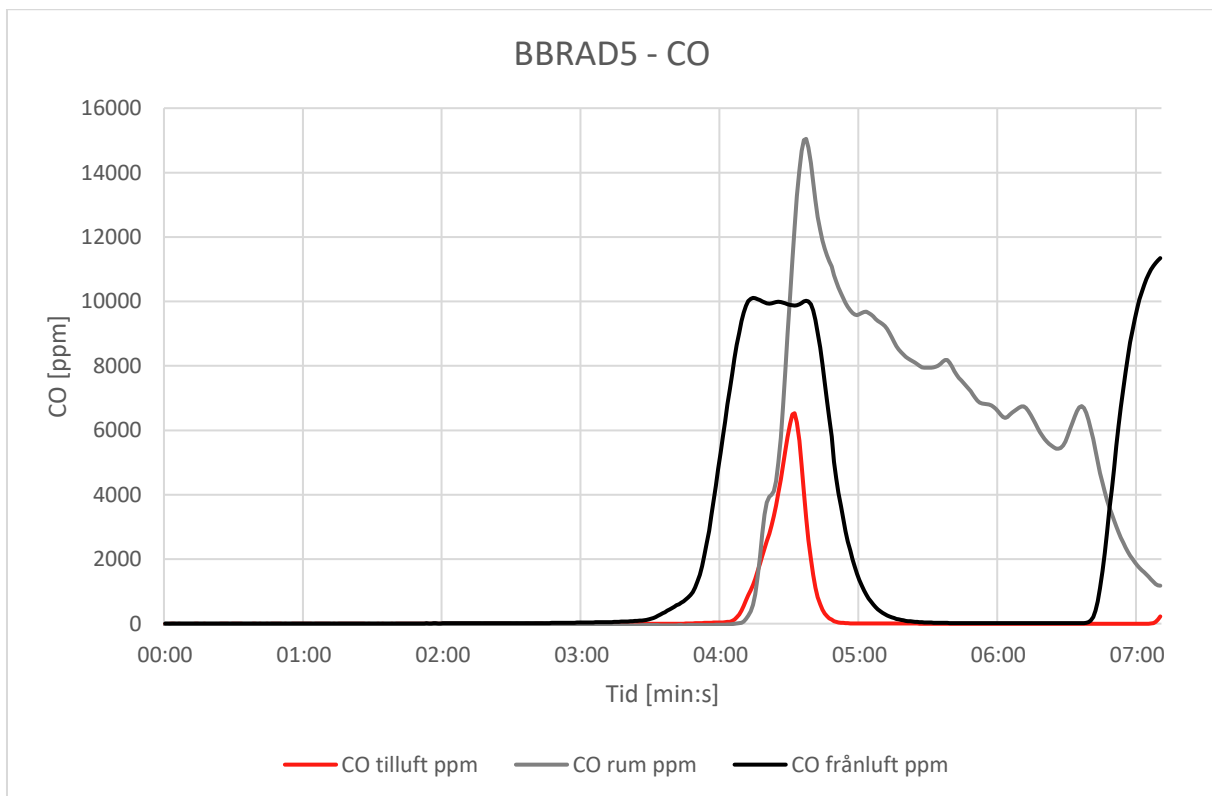
Figur67. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök BBRAD3. Inga don, inga fläktar.



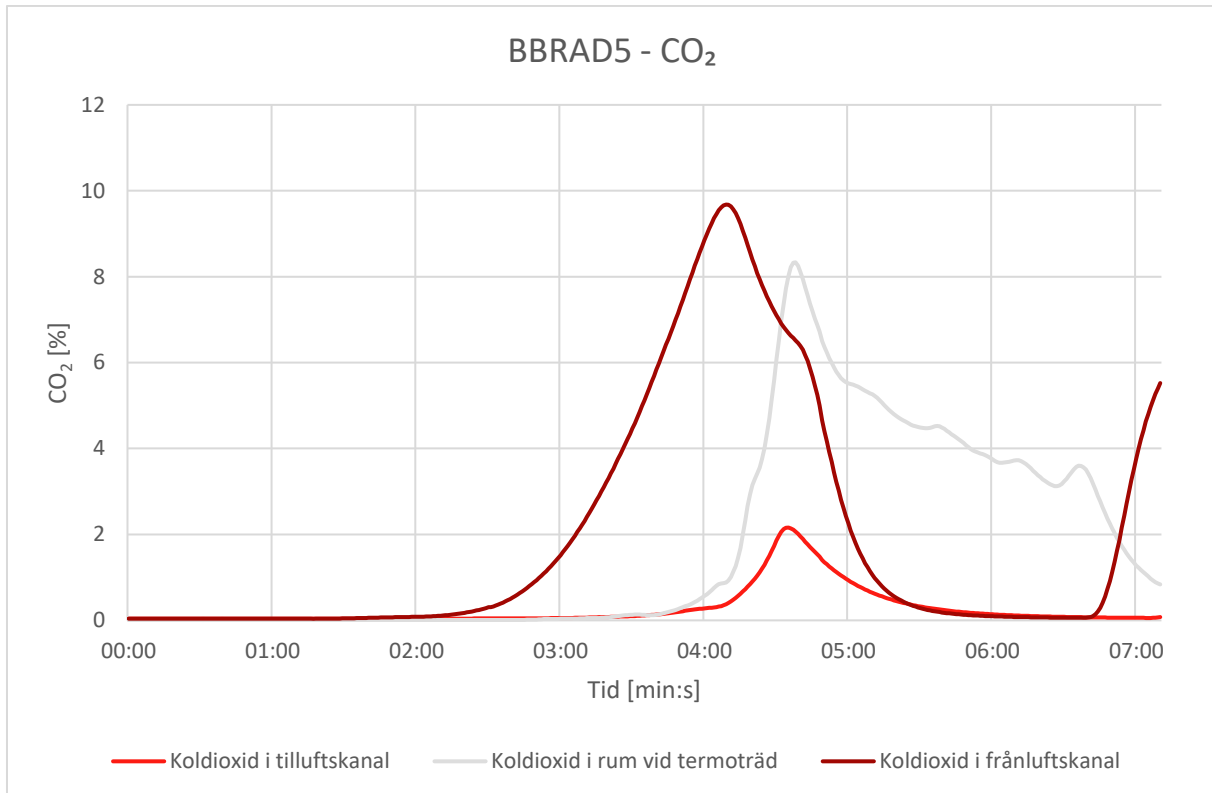
Figur 68. CO i kanaler och i rummet vid försök BBRAD4.



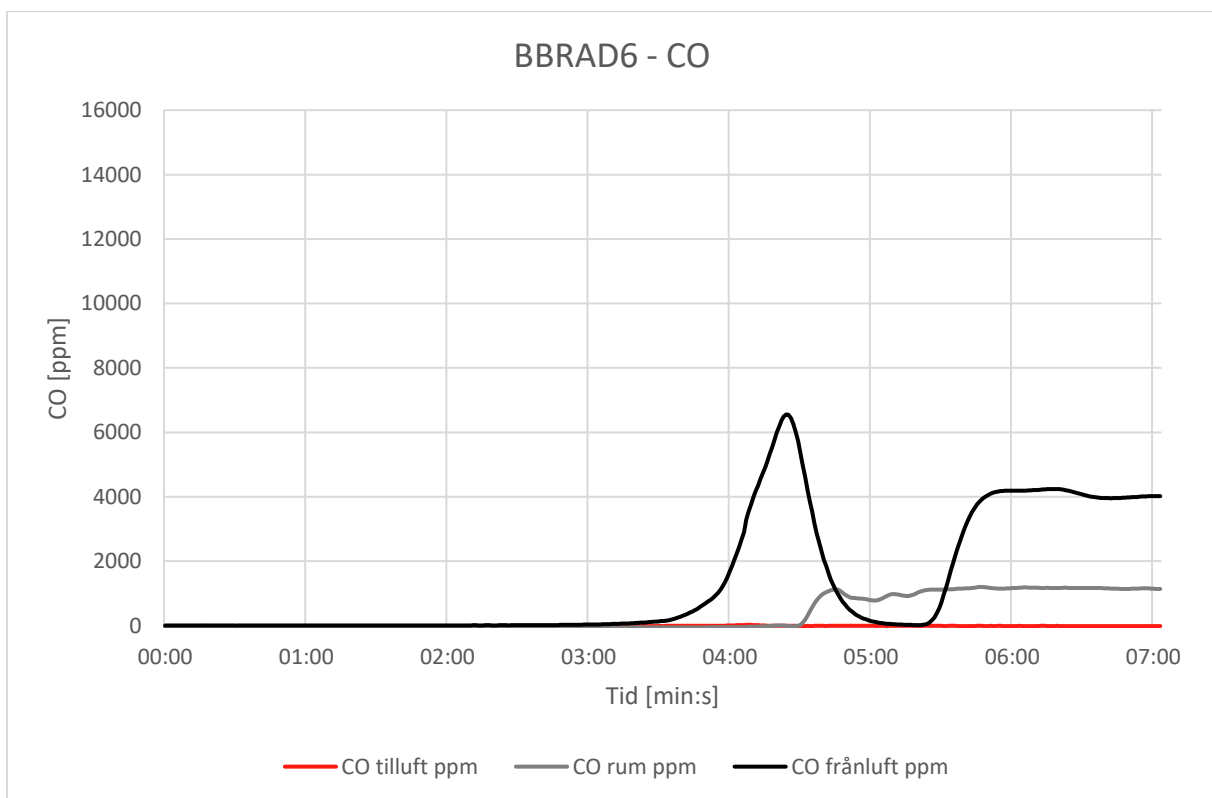
Figur 69. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök BBRAD4.



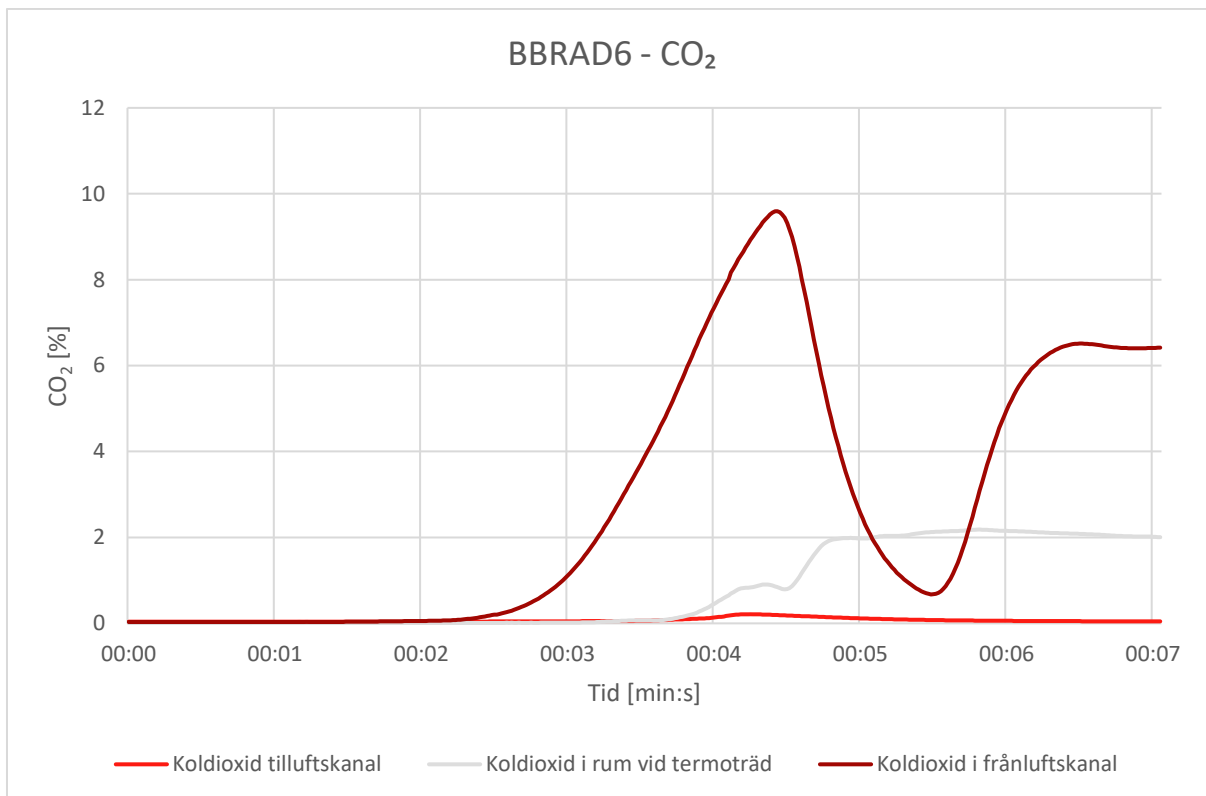
Figur 70. CO i kanaler och i rummet vid försök BBRAD5.



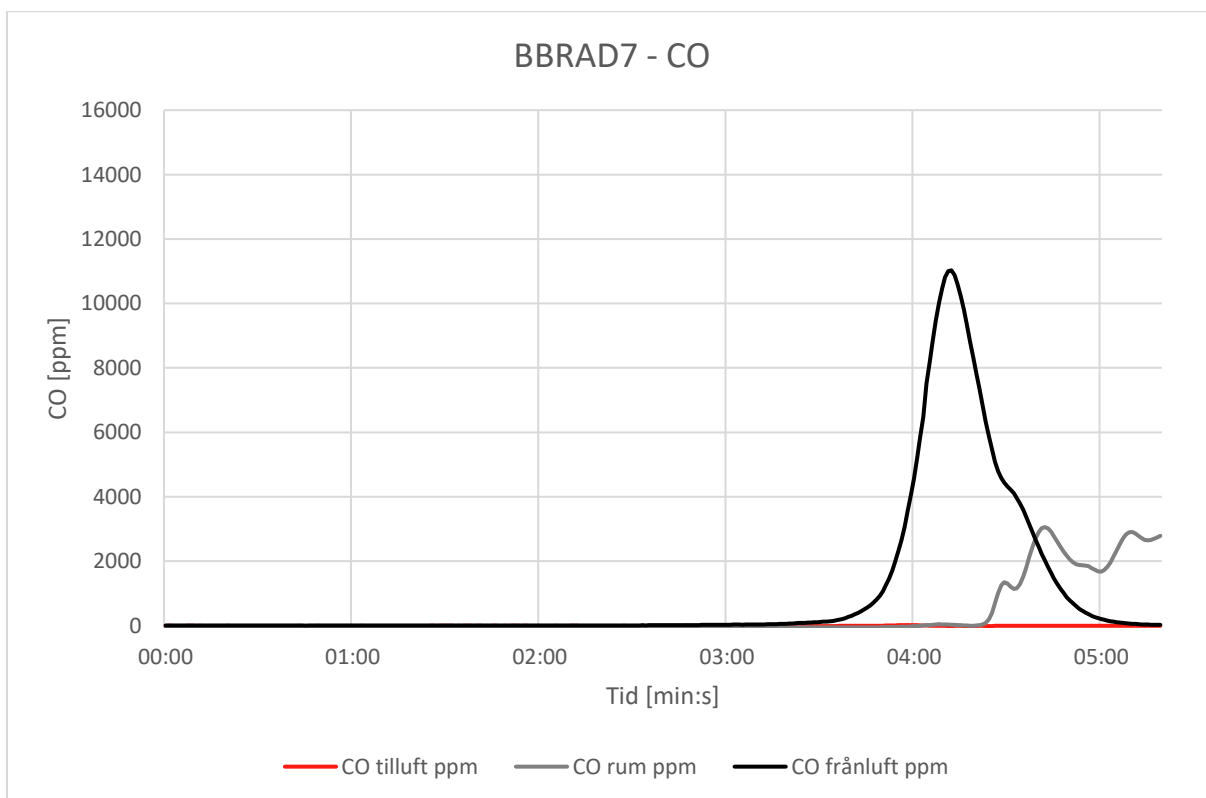
Figur 71. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök BBRAD5.



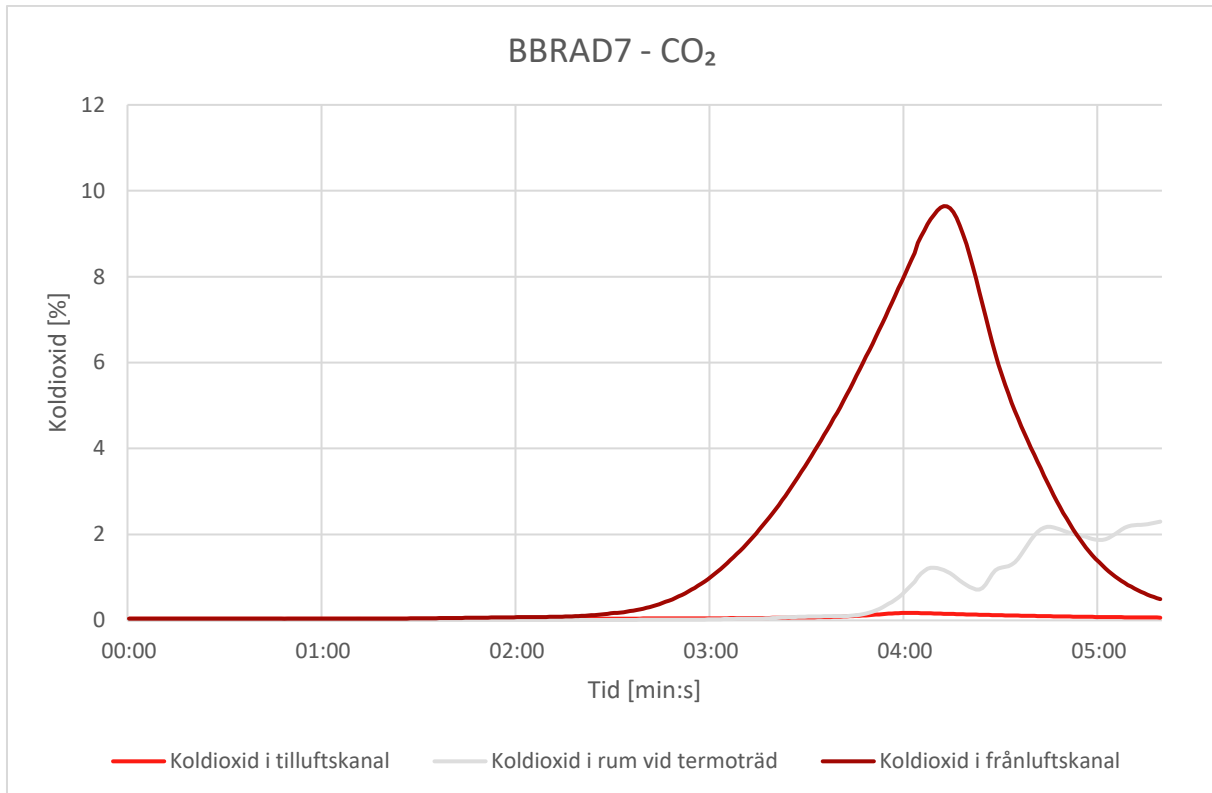
Figur 72 CO i kanaler och i rummet vid försök BBRAD6.



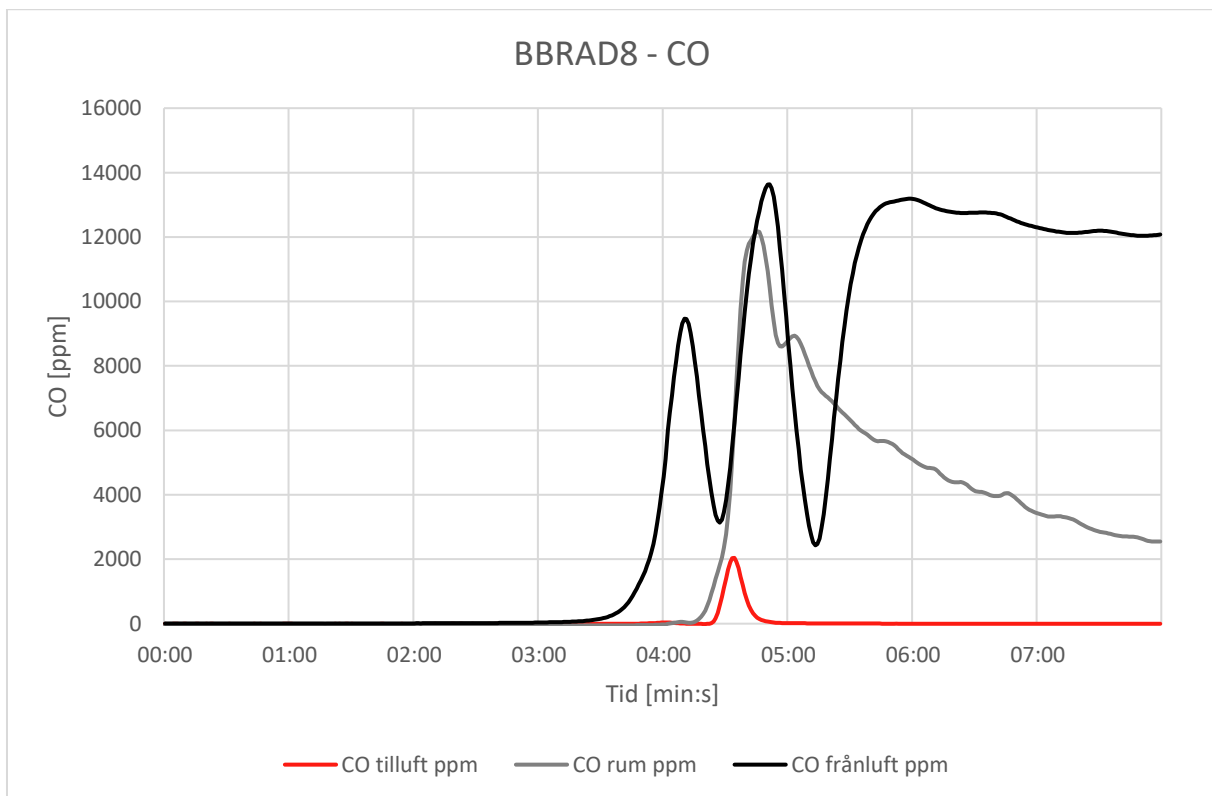
Figur 73. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök BBRAD6.



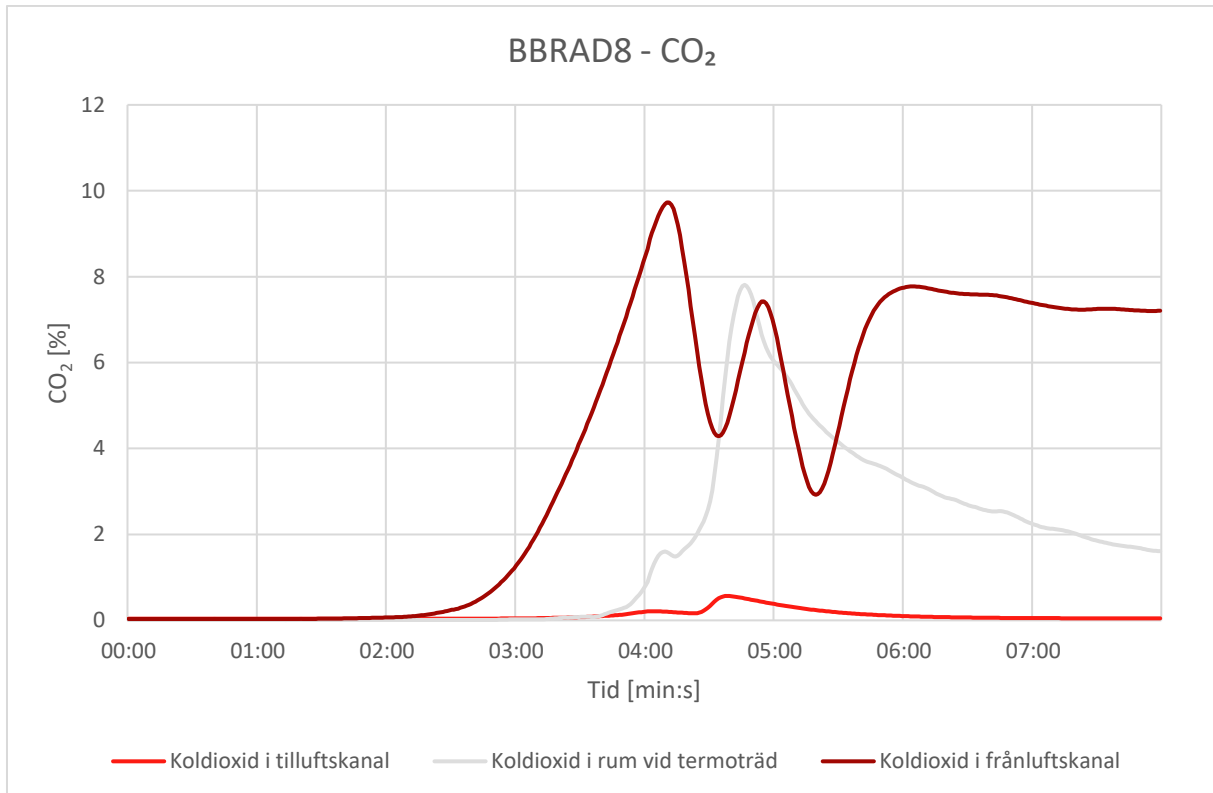
Figur 74. CO i kanaler och i rummet vid försök BBRAD7.



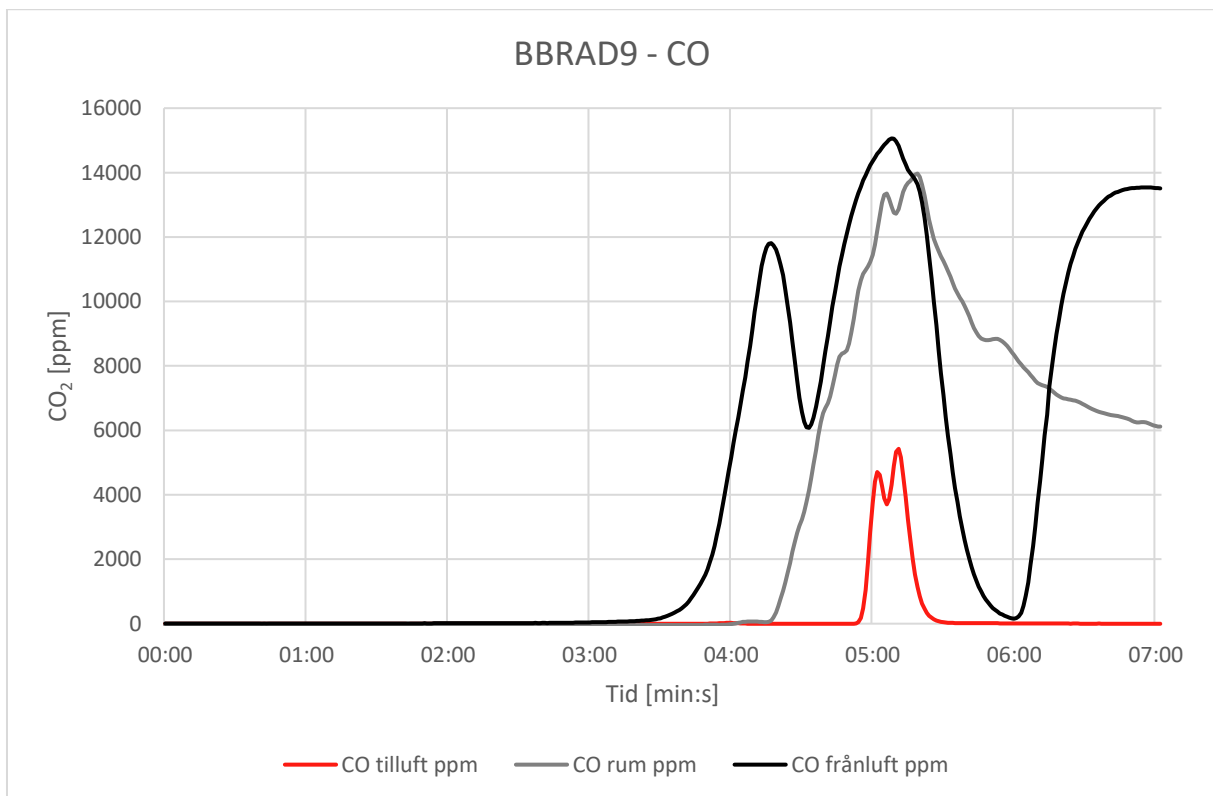
Figur 75. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök BBRAD7.



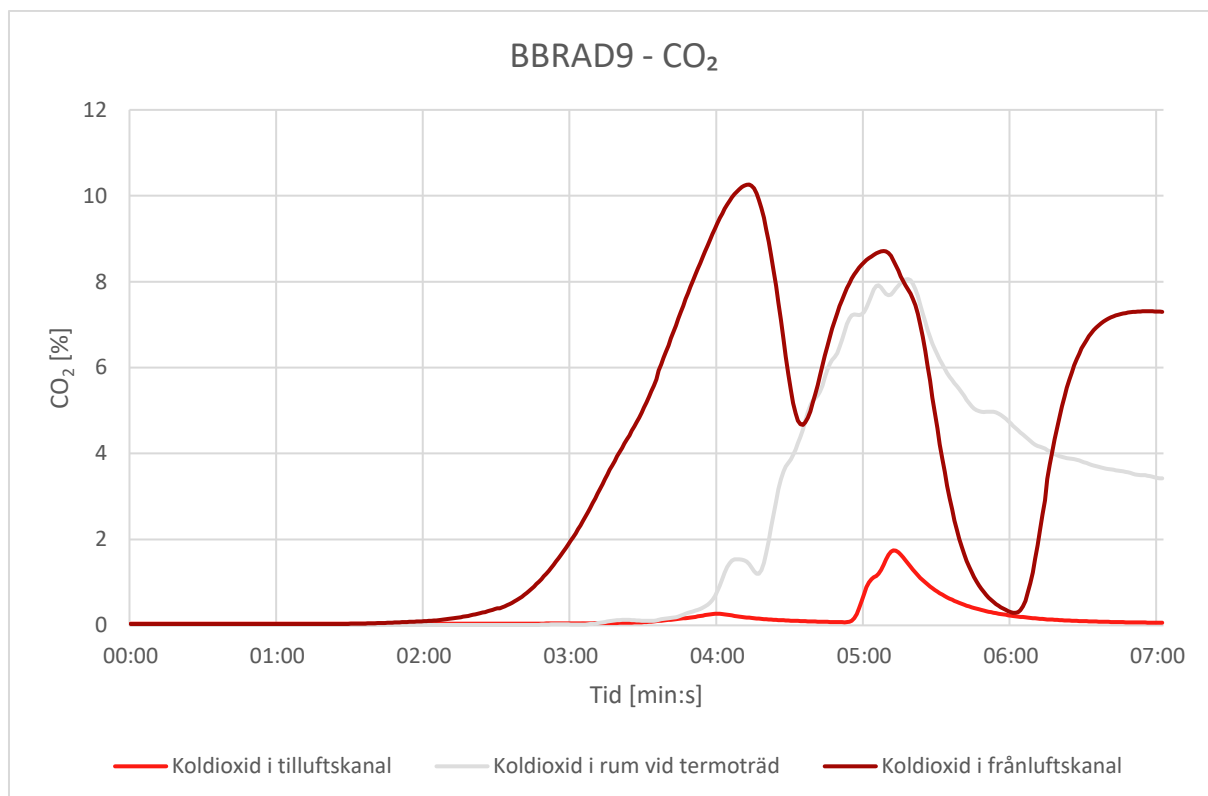
Figur76. CO i kanaler och i rummet vid försök BBRAD8.



Figur 77. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök BBRAD8.



Figur 78. CO i kanaler och i rummet vid försök BBRAD9.



Figur 79. CO<sub>2</sub> i kanaler och i rummet vid försök BBRAD9.

Som resultaten visar sker viss spridning av CO i tilluften i samtliga fall med bränder enligt BBRAD. Även i dessa scenarier är det momentant höga koncentrationer på kolmonoxiden i tilluftskanalen. Total spridning till intilliggande volym beror både på koncentrationen av CO i luften som sprids via tilluftskanalen och på flödet ut ur rummet genom tilluftskanalen. Genom att kombinera dessa faktorer har en total spridd CO-mängd beräknats i tabellen nedan.

Tabell 7. Spridd luftvolym och CO i BBRAD-försöken.

Scenario	Total spridd luftvolym via tilluften [l]	Total spridd CO [g]
BBRAD1	24 978	1,04
BBRAD2	5 335	0,21
BBRAD3	17 812	2,68
BBRAD4	3 486	0,04
BBRAD5	18 654	5,20
BBRAD6	4 457	0,01
BBRAD7	4 376	0,02
BBRAD8	4 567	0,08
BBRAD9	5 461	0,57



Som ses i tabellen så är det avsevärd skillnad på spridningen i ett trycklöst system (BBRAD1, 3 och 5) jämfört med systemen där det finns ett tryck och injusterat flöde i kanalerna (övriga). Det ses även en skillnad mellan BBRAD8 och BBRAD9 som är identiska försök med skillnaden att tryckfallet över tilluftsdonet var halverat till 25 Pa i BBRAD9. Ett lägre tryckfall över tilluftsdonet innebär alltså att mer spridning sker än med ett högre tryckfall. Dock är den spridda volymen fortfarande avsevärt lägre än i motsvarande scenario med helt öppen kanal (BBRAD5).

I samtliga försök beräknades sotspridning och sikt genom lasermätningar. Mätningarna indikerade dock så låga nivåer i samtliga fall att det inte hade påverkat sikten alls i en mottagande volym. Detta bekräftades även visuellt på plats där röken ur tilluften vid spridning var knappt märkbar.

## 4. Analys

Nedan analyseras resultaten som presenterats ovan.

### 4.1 Kriminalvårdsbränder

För Kriminalvårdsbränderna kan det konstateras att det sker en relativt stor luftspridning i fallet med öppna kanaler. I KV2 sprids ca 22 m<sup>3</sup> luft via tilluftssystemet, vilket motsvarar 46 % av volymen i ett rum med motsvarande storlek som brandrummet. Detta kan jämföras med KV3 som var samma scenario fast med ett flöde i kanalsystemet där cirka 0,25 m<sup>3</sup> luft sprids. Detta motsvarar cirka 0,5 % av volymen i ett rum med motsvarande storlek som brandrummet. I KV4 som var samma scenario som KV3 fast med en dörröppning efter 2 minuter provocerades trycket ytterligare och cirka 0,5 m<sup>3</sup> luft sprids. Detta motsvarar cirka 1 % av volymen i ett rum med motsvarande storlek som brandrummet. Det kan alltså konstateras att spridda luftmängder i dessa scenarier var relativt begränsade i de fall som ett flöde fanns i kanalsystemet.

Det kan även konstateras att det för KV3 och KV4 sprids i princip ingen CO eller CO<sub>2</sub> via tilluftssystemet. Det sker heller inga temperaturökningar på den luft som trycks ut i tilluftssystemet. Med hänsyn till dessa faktorer kan det konstateras att den spridda luftmängden i dessa försök är ren luft utan brandgasinnehåll.

I KV2 uppmättes momentant cirka 1500 ppm CO i de brandgaser som sprids via tilluftssystemet. Totalt sprids cirka 1,98 gram CO via tilluftssystemet under den tryckstöt som försöket uppvisade. Om all brandgasspridning sker mot ett helt slutet mottagande rum utan luftomblandning innebär detta en koncentration på 36 ppm CO i den mottagande volymen.

### 4.2 Verklighetsbaserade bränder

De verklighetsbaserade bränderna var utformade för att pröva systemet med lågt sittande ventilationsdon på ett så utmanande sätt som möjligt inom ramarna för en verklig brandbelastning. Brandlasten var därför madrasser, som har stor brandgaspotential, och antändning skedde i ett hörn av en madrass med en, eller flera, madrasser delade och staplade på motstående sida. Detta för att ge branden en långsam initial tillväxt med mycket brandgasproduktion och sen generera en tryckstöt när rummet redan hade stor mängd brandgaser i sig.

I försöken ses lägre syrenivåer än i Kriminalvårdsbränderna, vilket sannolikt beror på att de verklighetsbaserade bränderna i större utsträckning blir ventilationskontrollerade. Tydliga tecken på detta sågs när dörren öppnades i VB1 och 2 där förbränning återupptogs när dörren öppnades efter 30 minuter. I VB5 var branden redan sloknad när dörren öppnades efter 30 minuter. I VB4 fanns det en hel madrass kvar efter försöket som inte blivit förbränd. Det kan därför konstateras att det är syrenivåerna i rummet i dessa försök som begränsar brandens tillväxt.

I VB1 och VB3 med öppna kanaler utan inkopplade fläktar ses tydliga fluktuationer i flödena i båda kanalerna. Branden går in i ett läge där den "flämtar" och drar in syre genom båda kanalerna tills den fått tillräckligt för att återuppta förbränning, varpå trycket återigen höjs något i brandrummet och brandgaser trycks ut genom båda kanalerna fram tills branden åter begränsas av syrenivåerna. I VB 4 antändes den madrass som låg under sängen. I detta försök tar sig branden igen cirka 12 minuter in i brandförloppet och fortsätter brinna i cirka 3–4 minuter med en lägre intensitet än i den initiala förbränningstoppen. Madrassen på golvet under sängen låg då sannolikt så lågt i rummet att det fanns tillräckligt med syre för att branden skulle få en kortvarig återuppbyggnad. Motsvarande situation uppstod dock inte i VB5 där det fanns fyra madrasser varav en placerad på golvet, likt VB4. Den madrass som låg på golvet under sängen i VB5 antändes dock aldrig, sannolikt för att syrenivån i detta försök var för låg. Denna skillnad är troligtvis anledningen att spridningen i VB4 är högre än i VB5.

I flera av försöken uppvisas även stora undertryck i brandrummet efter att den initiala tryckupbyggnaden i rummet släpper. Att visst undertryck skulle uppstå var väntat. I VB 2 och VB3 uppgick undertrycket till ca 100 Pa. I VB4 och VB5 uppmättes undertryck på ca 300 Pa vilket var oväntat.

Luftmängderna som sprids i dessa försök är i fallen med öppna kanaler, det vill säga VB1 och VB3, relativt lika försöket med öppna kanaler och Kriminalvårdsbrand, det vill säga KV2. I VB1 och VB3 sprids cirka 18 respektive 16 m<sup>3</sup> luft, vilket motsvarar cirka 37 respektive 33 % av en mottagande volym i motsvarande storlek. För fallen med flöde i kanalsystemet sprids istället cirka 2-5 m<sup>3</sup>, vilket motsvarar cirka 5–10 % enligt motsvarande beräkning. För fallen med flöde i kanalsystemet är alltså de spridda luftmängderna i dessa försök större än i motsvarande försök med Kriminalvårdsbränder.

Koncentrationerna av kolmonoxid och koldioxid i tilluftskanalerna var momentant relativt höga och spridning av brandgaser skedde i samtliga fall. I fallen med öppna kanaler uppmättes som mest en spridning om 2,64 g CO via tilluften i VB1. Detta motsvarar cirka 48 ppm i en mottagande volym av samma storlek som brandrummet. I fallen med injusterade flöden och tryck i kanalsystemet var spridningen lägre och som mest uppmättes en spridning 1,1 g CO i VB4, vilket var fallet med det extra lågt sittande tilluftsdonet. Detta var förvånande och troligtvis en effekt av det fluktuerande beteendet som branden hade i detta scenario. Denna spridning motsvarar cirka 20 ppm i en mottagande volym av motsvarande storlek. För VB2 och VB5 med flöde i kanalsystemet och donet med en överkant på 0,2 meter motsvarar spridningen ungefär 2 respektive 7 ppm CO i en mottagande volym. Observera att samtliga av dessa siffror är beräknade utan hänsyn till den utspädande effekt som ordinarie ventilation har i mottagande brandcell. Verkliga värden skulle alltså vara lägre än dessa.

I VB4 kan det noteras att branden tar sig igen cirka 12 minuter in i förloppet. Branden ger då upphov till lägre temperaturer men under en något längre tid än i den initiala tillväxten.

#### **4.3 Bränder enligt BBRAD**

Bränderna med gasol var utformade för att följa de standardiserade tillväxthastigheter som anges i BBRAD på ett sätt som inte är möjligt med andra typer av bränslen. Brännbarhetsområdet för gasol, det vill säga det område med gas/luft-blandning som gasen kan brinna är avsevärt större än för fasta bränslen. Den lägsta koncentrationen syre som gasol kan vidhålla förbränning i är cirka 10 %, vilket är avsevärt lägre än de syrehalter som fast bränslen kan förväntas fortsätta brinna vid. Detta förklarar varför syrenivåerna i rummet blev avsevärt lägre i flera av försöken med gasol jämfört med de andra genomförda försöken.

Av säkerhetsskäl behövde gasolen även stängas av när branden blev underventilerad för att undvika en ackumulering av gasol som kunde förorsaka en explosion av hela brandrummet. Detta då höga koncentrationer gasol i rummet tillsammans med den syre som dras in i perioden med undertryck efter den initiala brandexpansionen skulle kunna ge stora volymer med explosiv blandning. I och med att gasol var det enda bränslet förekom inga glödbränder eller liknande som i de övriga försöken, vilket ledde till att BBRAD-bränderna avslutades tidigare än vid övriga försök.

I BBRAD-bränderna uppstår relativt höga övertryck och i flera försök är perioderna med höga övertryck relativt långa. Efter att de höga övertrycken nått sin topp övergår det till relativt stora undertryck i rummet. I ett par scenarier uppgår undertrycket till cirka 600 Pa, vilket är anmärkningsvärt.

Luftmängderna som sprids via tilluftssystemet i dessa försök är liknande de i försöken med de verklighetsbaserade bränderna. Med öppna kanaler (BBRAD1, 3 och 5) så sprids 18–25 m<sup>3</sup> luft, vilket motsvarar cirka 37–52 % av volymen i en mottagande volym av motsvarande storlek. För försöken med flöde i kanalsystemet är den spridda luftmängden också i linje med de verklighetsbaserade bränderna och varierar mellan cirka 3–5 m<sup>3</sup> vilket motsvarar cirka 7-11 % av luftvolymen i en mottagande volym av motsvarande storlek.

I försök BBRAD5 uppmättes den högsta spridningen av kolmonoxid via tilluftssystemet av samtliga utförda försök. I detta försök spreds 5,2 gram CO via tilluftssystemet, vilket är avsevärt högre än för övriga utförda försök. Detta motsvarar cirka 95 ppm i en mottagande volym av motsvarande storlek utan luftomblandning.

Det bör noteras att på grund av egenskaperna hos gasol så beter sig bränderna i försöken med bränder enligt BBRAD på ett sätt som inte är realistiskt för en rumsbrand. Stora delar av brandgasspridningen sker i ett läge där brandens effektutveckling accelererar trots att syrehalten är låg. Detta gör att brandtrycket fortsätter öka kraftigt även i väldigt syrefattig miljö. Detta ses inte i de övriga försöken, på grund av att den sortens förbränning inte är möjligt på samma sätt med fasta bränslen. Dessa scenarier utgör därför antagligen relativt konservativa värden på den brandgasspridning som kan ske med olika teoretiska tillväxthastigheter.

## 5. Diskussion

Dessa försök är utförda för att undersöka brandgasspridning i ventilationssystem med lågt sittande ventilationsdon. Försöken utformades för att vara så prövande och representativa som möjligt för ett rumsbrandsscenario. Bränslet varierades men det mest representativa för ett rum med normal brandbelastning (t.ex. bostad eller liknande) är de verklighetsbaserade bränderna. De madrasser som använts som bränsle i dessa scenarier bedöms vara ett konservativt val. Att mer realistiskt möblera upp ett rum eller använda mer träbaserade material som bränsle bedöms ge mindre konservativa bränder.

De brandtryck som uppvisas i försöken når som mest ca 600 Pa. I flera av de högsta trycken påverkades konstruktionen och läckage noterades i springor och liknande. Detta trots att rummet får betraktas som relativt tätt vid täthetsprover. I BBRAD anges att vid bestämning av brandflöde och brandförlopp ska hänsyn tas till brandtillväxt, brandrummets geometri och ventilationsförhållanden. Brandflödet kan begränsas av en maximal tryckupbyggnad som kan antas till 1500 Pa om inget annat påvisas. Att uppnå ett sådant tryck i den typ av konstruktion som försöken genomförts i bedöms med grund i dessa försök inte vara möjligt. Dels på grund av att det tillgängliga syret inte tillåter förbränning tillräckligt länge för att nå sådana tryck (inte ens ifall med gasol som bränsle), dels på grund av att konstruktionen bedöms kollapsa i delar innan trycket uppstår. Dessutom är läckaget via kanalerna sannolikt för stort för att sådana tryck ska kunna uppstå om ventilationsöppningar/ventiler finns i konstruktionen. Detta kan även ses i skillnaderna i trycknivåer mellan försöken med öppna kanaler och med anslutna kanalsystem där de tidigare inte gav upphov till speciellt höga tryck på grund av läckaget. Det är inte säkert att spridningen blir större när trycket i rummet är högre eftersom ett ökat spridningsflöde till viss del även tryckavlastar brandrummet. Därför är det svårt att i ett verkligt test att skapa förutsättningar för trycket att nå 1500 Pa samtidigt som spridningen av brandgaser blir högt. Förutsättningarna för sådana trycknivåer är alltså bättre vid en lösning med brandspjäll. Det kan vidare konstateras att det högsta brandtrycket skapas tidigt i brandförloppet innan syrenivåerna börjar påverka branden. Det utflöde som sker via tilluftskanalerna har då ett relativt begränsat innehåll av brandgaser. För att uppnå 1500 Pa vid en brand behövs alltså sannolikt höga syrenivåer i rummet, vilket i sin tur sannolikt innebär att det största utflödet via ett tilluftsdon är luft med relativt låga nivåer av brandgaser.

I samtliga bränder avtog brandförloppet på grund av minskade syrenivåer. När detta inträffade varierade dock beroende på försöksuppställning och bränsle. I flera av försöken provocerades även brandgasspridningen av att en dörr öppnades och tilläts vara öppen en viss tidsperiod för att släppa in nytt syre till brandrummet innan den sedan åter stängdes. Detta bedöms ge konservativa effekter på nivåerna av brandgaser som spridits i försöken.

Noterbart från resultaten är att det rumstryck som krävs för att vända på ett tilluftsflöde är högre än det injusterade tryckfallet över donet på tilluften. I flera fall visas positiva flöden in till rummet via tilluften även då rumstrycket överstiger det injusterade värdet på tilluften (50 Pa i de flesta fall). Detta beror dels på att fläkten får ett ökat mottryck som förskjuter fläktens arbetspunkt och dels på att luftexpansionen har enklare vägar att lämna rummet, vilket bekräftas av ett avsevärt ökat frånluftsförlopp vid motsvarande tidpunkter.

Försöken visar att i försök med öppna kanaler sprids relativt mycket luftvolym via tilluften. En viss del av denna volym är i samtliga dessa fall av sådan sammansättning att det bör betraktas som brandgaser. Dock är spridningstiderna korta och spridningsmängderna relativt begränsade, vilket innebär relativt låga koncentrationer i en mottagande volym även i fallen med öppna kanaler. I det scenario med högst spridning av kolmonoxid är den beräknade koncentrationen i en mottagande volym cirka 95 ppm. Detta kan jämföras med de gränsvärden som USA:s myndighet Environmental Protection Agency (EPA) kallar Acute Exposure Guideline Levels (AEGL), som anger att koncentrationer på 83 ppm CO kan innebära allvarliga effekter vid exponering i 60 minuter. I och med att koncentrationen minskar över tid i samband med ventilationsomsättningarna i rummet skulle sådana förutsättningar inte uppstå med de utförda försöken (koncentrationen efter en timme med 25 l/s är cirka 20 ppm). Detta bör dock beaktas i fall med lågt sittande öppna överluftsdon. I fallen med flöde i kanalerna blir koncentrationen i mottagande volym som mest ca 20 ppm och avsevärt mindre om utspädning beaktas. För referens så är detta en tillåten miljö att vistas upp till 8 timmar i enligt arbetsmiljöverket och det finns inga tider då detta anges vara skadligt i några kända gränsvärden. Detta baseras dock på en mottagande volym i motsvarande storlek, och med andra volymförhållandena (dvs mindre mottagande volym) skulle koncentrationen kunna bli högre.

Koldioxid och sotnivåer har inte analyserats ytterligare då nivån på dessa är lägre i förhållande till skadliga nivåer än de för kolmonoxid. För sotnivåerna genomfördes dock beräkningar för att studera spridda sotmängder och siktsträckor i mottagande volym. Dessa beräkningar baserades på lasermätningar i kanalen. Beräkningarna visade dock att även i fallen med störst spridning var sotmängderna så små att sikten inte påverkats i mottagande volym. Detta bekräftades även visuellt genom att endast väldigt lätt rök kunde iakttas i korta stunder för de försök med störst spridning. Se bilden i avsnitt 3.2.3. För koldioxid uppmättes som mest koncentrationer om cirka 2-4 % momentant i tilluftskanalen. Detta är inte värden som i sig inte är skadliga och eftersom de späds ut avsevärt i intilliggande volym utfördes inga vidare analyser av dessa värden.

Resultaten från de utförda försöken visar relativt stor överensstämmelse med tidigare utförda modellskaletförsök [8] och även de containerförsök som utförts [9]. Även i dessa försök har branden avtagit på grund av syrenivåer och brandgasspridning via de lågt sittande donen är relativt jämförbar. Det finns dock skillnader mellan försöken i avgörande delar, exempelvis bränsle och konstruktion, vilket gör att endast begränsade jämförelser kan göras.

## 6. Slutsats

De utförda försöken visar att bränder i rum med mindre ventilationsöppningar kommer att begränsas av det tillgängliga syret i rummet om inte tryckavlastning sker. En brand i ett begränsat brandrum som inte tryckavlastas och som endast har mindre ventilationsöppningar kommer därför självslockna på grund av syrebrist. Om en dörr eller liknande öppnas en bit in i förloppet och sedan stängs igen kan branden tillfälligt flamma upp. I de utförda försöken ger dock denna typ av öppning inte några större brandtryck.

Försöken visar att bränder med lågt sittande tilluftsdon kan ge upphov till luftspridning och att denna luft till viss del består av brandgaser. De utförda försöken utformades för att utgöra en så utmanande brand som möjligt för skyddssystemet och i fall med öppna kanaler och avstängda fläktar kan spridningen av luft vara relativt stor men brandgasmängderna i denna luftvolym är fortfarande relativt begränsade. I fall med injusterade flöden och tryck i ventilationssystemet begränsas spridningen avsevärt och så även brandgasmängden. Med flöde i kanalsystemet är spridningen av brandgaser i många fall försumbar. I fall med injusterade flöden och tryck i kanalsystemet uppvisades i Kriminalvårdsbränderna låga mängder luftspridning och den luft som spreds innehöll inga brandgaser. Det bör dock noteras att i fallen med öppna kanaler och avstängda fläktar utan luftomsättning i den mottagande volymen skulle brandgaskoncentrationerna kunna nå skadliga nivåer vid lång exponering. I dessa fall behöver dock även spridning via frånluftskanalerna beaktas.

Försöken visar även att brandgasspridningen ökar om tryckfallet över tilluftsdonet minskas även vid bibehållet tilluftflöde. Detta förhållande är inte linjärt vilket innebär att det är svårt att generalisera slutsatserna från dessa försök till andra tryckfall och flöden än de som testats. Det som dock framgår är att ett högre mottryck på tilluften ger ett bättre skydd mot spridning, vilket var väntat. Ett ökat tryckfall medför två positiva aspekter; ett högt mottryck ger en minskad spridning och att donets öppningsarea är mindre.

De utförda försöken visar att skyddsmetoden låga don kan vara ett möjligt alternativ till backströmningsspjäll. Resultaten i denna rapport kan då ge underlag för att bedöma när metoden kan användas och om ytterligare åtgärder kan vara nödvändiga. Faktorer att väga in en sådan bedömning är då brandcellsstorlek, möjlig tryckupbyggnad, storlek på mottagande volym, luftomsättning och liknande. Det bör noteras att ytterligare åtgärder, i tillägg till lågt sittande ventilationsdon, skulle kunna införas för att förbättra situationen om det bedöms nödvändigt. Sådana åtgärder skulle kunna vara att skapa spridningspunkter på tilluftssidan, exempelvis i form av fördelningslådor där flera tilluftskanaler ansluter, en åtgärd som gör att den totalt spridda mängden till respektive brandcell minskar. Ytterligare åtgärder som kan påverka situationen positivt är att öka trycket på tilluftssidan vid branddriften av aggregatet och/eller minska tryckfallet över frånluftsdonen i normaldriften av aggregatet.

## Referenser

- [1] Hägglund et al, 1996, "Pressure rise due to fire growth rate in a closed room", ISSN 1104-9154
- [2] Hostikka et al, 2016, Fire Modelling of Energy-efficient Buildings (FEMTECH)
- [3] Hägglund, B., 1986, Simulation fires in natural and forced ventilated enclosures, FOA-report C 20637-2.4, ISSN 0347-3694
- [4] Drysdale.D, Paperback , An Introduction to Fire Dynamics, ISBN : 978-0-470-31903-1
- [5] Jensen, L."Skydd mot rökspridning via ventilation med stoppade fläktar och förbigångar riskbedömning och dimensionering" Slutrapport - BRANDFORSK 313-001, Avdelningen för installationsteknik, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, 2006, Rapport TVIT--06/3003
- [6] Installationsbrandskydd, 2008, Fagergren et al. ISBN 978-91-633-1423
- [7] Georgsson, Palmberg & Borgström, (2011). Ventilationsbrandskydd – strävar vi framåt eller bakåt? Bygg & Teknik.
- [8] Nyman, Ingason. Rumsbrand med lågt placerade ventilationsdon SP-rapport 2014:79
- [9] Lovén, F. Brandförsök – Låga don. (2020). Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund.
- [10] Hurley, M. "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering" . 5<sup>th</sup> edition. (2016). Springer. New York.
- [11] Hägglund, B. (1986), *Simulation fires in natural and forced ventilated enclosures*, FOA-report C 20637-2.4, ISSN 0347-3694
- [12] Tewarson, A., *Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires*, in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, P.J. DiNenno, et al., Editors. 1995, The National Fire Protection Association: USA
- [13] L.Jensen, Säker brandgasspridning med låga tilluftsdon, Avdelningen för installationsteknik, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, 2021, Rapport TVIT--21/7126