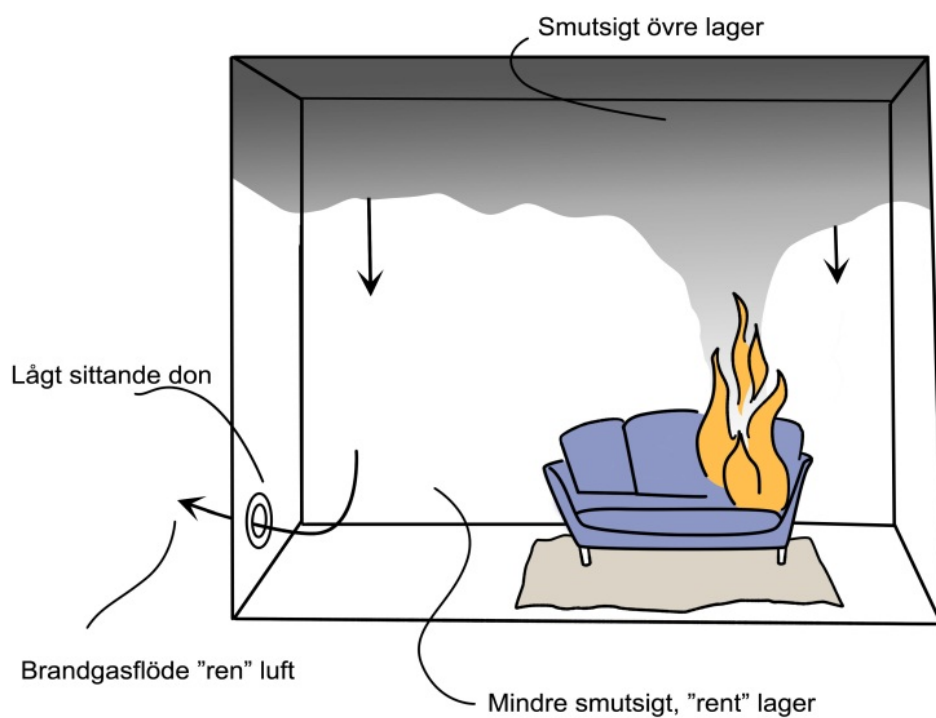


Rumsbrand med lågt placerade ventilationsdon - modellskaleförsök

Hans Nyman
Haukur Ingason



Rumsbrand med lågt placerade ventilationsdon - modellförsök

Hans Nyman
Haukur Ingason

Abstract

The purpose of the project presented in this report was to study whether it is possible to design the ventilation system with low-placed inlet ducts in such a way that adjacent rooms not are affected from toxic smoke. The studied parameters are among others temperature, soot and CO.

Experiments were carried out in a model scale, 1:2, with the dimensions 2 x 2,5 x 1,2 meters, corresponding to a full scale room with the dimensions 4 x 5 x 2,4 meter. Ventilation ducts were connected to the room and the fire source consisted of wood cribs and heptane pool. The outlet duct were placed at ceiling level and the adjustable inlet duct at floor level. Temperature, pressure, flow and visibility were measured in different places.

The results show that in the initial stage of a fire, with a fast growth, when the pressure is increasing the soot spread is limited and the temperature rise is low if the inlet duct is placed close to the floor. The fire development will be restricted by the oxygen level in a room (20 m² and 2,4 meter height). The smoke spread lasted for about 3 minutes (full scale situation).

The results presented are the results from the initial model scale experiments and should be validated with full scale tests.

Key words: Ventilation system, inlet-ducts, model scale test, pressure, temperature, flow and smoke.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2014:17
ISBN 978-91-88001-26-9
ISSN 0284-5172
Borås 2014

Innehållsförteckning

	Abstract	3
	Innehållsförteckning	4
	Förord	5
	Sammanfattning	6
1	Inledning	7
2	Problemformulering och metodbeskrivning	8
2.1	Bakgrund	8
2.2	Syfte	8
2.3	Metod	8
2.4	Branden	8
2.5	Ventilationssystem	9
2.6	Regelverk och klassning	11
3	Tidigare utförda arbeten	13
4	Teori	14
4.1	Branden	14
4.2	Sikt	15
4.3	Skalteori	15
5	Utförda försök	17
5.1	Branden	17
5.2	Försöksupställning	19
5.3	Utförande	20
6	Resultat av modellförsök	22
6.1	Branden	22
6.2	Sot	24
6.2.1	Öppna kanaler	25
6.2.2	Fläktanslutna kanaler	27
6.2.3	Sot – sammanfattning av resultat	29
6.3	Temperatur	29
6.3.1	Öppna kanaler	30
6.3.2	Fläktanslutna kanaler	32
6.3.3	Temperatur - sammanfattning av resultat	32
6.4	Kolmonoxid, CO	33
7	Diskussion och resultat	35
8	Slutsats	37
9	Fortsatt arbete	38
10	Referenser	39
	Bilagor – diagram	40

Förord

Projektet är finansierat av Brandforsk och utfört av Brandskyddslaget och SP. Projektledare var Hans Nyman Brandskyddslaget och försöksplanerare var Haukur Ingason SP Fire Research. Utförare av försök och analys var Hans Nyman. Referensgruppen bestod av Tomas Fagergren (Brandskyddslaget), Henrik Braatz (Scania) och Anders Johansson (Boverket).

Ett stort tack till Tomas Fagergren som framfört den ursprungliga idén avseende lågt placerade tilluftsdon som skydd mot brandgasspridning och till Ying Zhen Li, SP Fire Research, för teoretisk vägledning och analys vid brandförsöken. Ett särskilt stort tack till SP:s tekniker. Tack också till Bengt Hägglund, Brandskyddslaget, som utförde tidiga försök inom området och för stöd med beräkningar.

Sammanfattning

Brandgaser är ofta det som i första hand påverkar människor vid brandsituationer. Idag förekommer flera olika metoder för förhindra brandgaser att spridas via ventilationssystem i byggnader. Exempel på dessa är olika former av brandspjäll eller metoder med fläktar i drift. I handböcker har en metod med att placera tilluftsdonen lågt föreslagits. Projektets syfte är att med inledande modellskaleförsök och beräkningar studera om det går att utforma ventilationssystem med lågt sittande don på ett sådant sätt att närliggande brandceller inte drabbas utan att använda spjäll. De parametrar som främst studerats är temperatur och sotinnehåll i de spridda brandgaserna.

När en rumsbrand uppstår kommer på grund av den ökande temperaturen en expansion att ske. Detta innebär att brandgaser och luft kommer att tryckas ut ifrån brandrummet genom alla öppningar, inkluderat ventilationssystemet. I det inledande skedet kommer en skiktning att ske. Varma brandgaser kommer att ansamlas i taknivå och mindre varma gaser vid golvnivå.

I projektet genomfördes försök i modellskala. Modellskalan var 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 höjdlängd från golvnivå och upp till halva rumshöjden. Vid mätningarna registrerades temperatur, tryck, flöde och sikt på olika platser. Branden utgjordes av träribbstaplar och antändningskällan av mindre mängder heptan placerade i kärl.

Resultaten visar att branden begränsas av syretillgången i brandrummet. Tilluftsdonets placering ovan golvnivå har stor betydelse för temperatur och sotspridning. Vid en hög placering från golv, vilket är det normala, sprids mer sot och temperaturen är högre jämfört med en låg placering.

Vid en låg placering (vid golvnivå) av tilluftsdonet med öppna trycklösa kanaler på avståndet 6,3 cm (12,6 cm i fullskala) från golv erhöles med den största branden den maximala spridda sotmängden per tidsenhet av ca 2 mg/s (ca 11 mg/s i fullskala). Sotspridningen skedde under ca 2 minuter (svarande mot ca 3 minuter i fullskala). Temperaturhöjningen i detta fall var ca 20 °C (i både modell- och fullskala).

Resultaten visar att i det inledande skedet av en brand då en tryckuppbyggnad är aktuell är den spridda sotmängden och temperaturhöjningen med lågt placerade tilluftsdon begränsad med en brandtillväxt svarande mot en "fast"-kurva. Branden kommer att bli begränsad av syrenivån i ett rum svarande mot ca 20 m² och normalhöjd. Spridningstiden innan branden avtar är ca 3 minuter i fullskala.

De presenterade resultaten är resultat från inledande modellskaleförsök och bör valideras med fullskaleförsök innan allmängiltiga generella slutsatser kan fastställas.

1 Inledning

Vid en brand genereras värme och brandgaser. Brandgaserna innehåller bland annat giftiga gaser och sotpartiklar. För att en brand ska uppstå krävs brännbart material, antändningskälla och syre. I byggnader sammanbinder komfortventilationssystem olika lokaler och brandavskiljda utrymmen (brandceller). För att skydda människor från att skadas av brandgaserna används idag ofta olika former av brandspjäll som hindrar brandgaserna att spridas mellan brandceller via ventilationssystemet.

Brandutvecklingen vid en rumsbrand kan delas in i två skeden; ett inledande skede med tryckuppyggnad och ett efterföljande skede med fullt utvecklad brand. Vid en brand kommer temperaturen i ett rum att öka när branden utvecklas. Så länge som rummet är tätt, det vill säga fram till dess ett fönster går sönder, innebär värmeutvecklingen att densiteten kommer att sjunka. Detta innebär att volymen kommer att vilja expandera och trycket i rummet kommer att öka. Brandgaser och luft kommer att tryckas ut genom alla öppningar i rummet, inkluderat ventilationssystemet. Brandgaserna kommer i ett tillfrånluftsventilationssystem spridas först via tilluftskanalerna till andra rum och brandceller eftersom det i normalfallet är ett undertryck frånluftskanalsystemet och ett övertryck i tilluftskanalsystemet. Så fort övertrycket i brandrummet är större än övertrycket i tilluftskanalsystemet finns det risk för spridning till andra rum. Efter en fönsterkollaps tryckavlastas brandrummet. Detta skede är enklare att hantera ur ett ventilations-brandperspektiv. Fläktar och kanalsystem ska dimensioneras utifrån temperaturpåverkan, men ingen tryckpåverkan är aktuell. Ofta innebär detta t.ex. krav på kanalisering.

I det inledande skedet kommer också en skiktning att ske med ett varmt övre ”smutsigt” brandgaslager och ett kallare undre ”renare” skikt. Syftet med projektet är att studera brandgasspridningen via ventilationssystemet med lågt placerade tilluftsdon. De spridda brandgaserna analyseras utifrån temperatur och sotinnehåll.

I rapporten redovisas inledande modellskaleförsök och analyser där brandgasspridning via ett lågt placerat tilluftsdon studeras i ett slutet brandrum.

2 Problemformulering och metodbeskrivning

2.1 Bakgrund

I Boverkets byggregler beskrivs det lägsta skydd avseende brand som ska uppfyllas avseende personskydd i byggnader. Något förenklat beskriver regelverket hur byggnaden och dess tekniska system ska utformas så att när en brand uppstår ska skadan begränsas och räddningstjänsten ska ha en rimlig chans att kunna göra en insats. Kraven som formuleras i byggreglerna innefattar bland annat avskiljning i form av brandceller och brandmotstånd i byggnadsdelar. Brandmotståndet innefattar både temperatur, brandgasspridning och krav på hållfasthet. Dessa krav formuleras i form av olika brandklasser.

2.2 Syfte

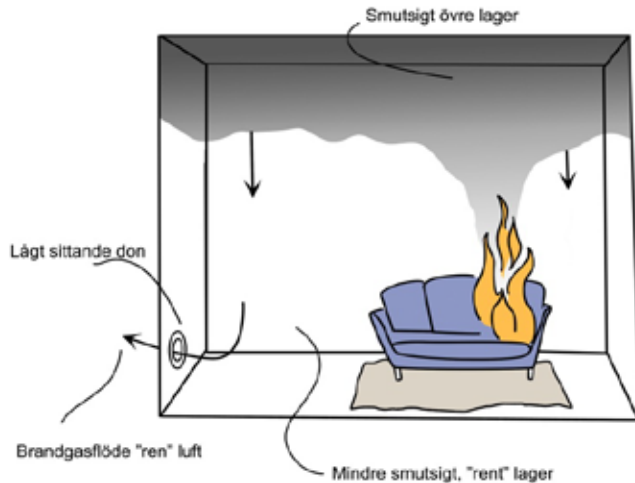
Syftet med projektet är att undersöka en rumsbrand med lågt placerade ventilationsdon (tilluftsdon) med avseende på brandgasspridning. Att enbart tilluftssidan studeras beror på att tryckförhållandena är sådana att brandgasspridningen till andra rum först kommer att ske på tilluftssidan. Kvaliten på den förväntade brandgasspridningen beskrivs utifrån temperatur och sotinnehåll.

2.3 Metod

Projektets metod är att via skalförsök och beräkningar undersöka möjligheten att utnyttja lågt sittande ventilationsdon som skydd mot brandgasspridning i rumsbränder. I projektet ingår att formulera ingenjörsmässiga principer, riktlinjer och begränsningar för användning av metoden. Genom att genomföra nedskalade försök kan antalet parametrar variera i större utsträckning jämfört med om fullskaleförsök genomförs, eftersom fler försök ryms inom den givna budgeten. Metoden får betraktas som första steg i en valideringsprocess där fullskaleförsök bör ingå innan allmängiltiga generella slutsatser kan fastställas.

2.4 Branden

Vid en brand kommer temperaturen i ett rum att öka snabbt om branden utvecklas snabbt. Detta innebär att densiteten kommer att sjunka och en volymökning kommer att ske. Redan vid 300 °C har densiteten halverats. Detta kommer att resultera i en tryckökning vars storlek kommer att bero på hur tätt rummet är. Ju tätare rum desto högre resulterande tryck. I många fall kommer fönster att kollapsa på grund av värmen vilket innebär att brandrummet kommer att tryckavlastas. De höga trycken, som teoretiskt kan bli så höga som 1000 Pa [1] eller mer, kommer alltså bara att uppstå i den inledande brandfasen då fönster är hela. Samtidigt kommer det bildas ett varmt övre brandgasskikt och ett undre kallare skikt. Efter ett tag kommer det varma skiktet att sjunka ner mot golvet. I vissa fall kan också det varma brandgasskiktet (röken) kväva branden. Men brandförloppet kan i dessa situationer också ta fart igen om syre kommer in i rummet. Under det inledande skedet kommer luft att pressas ut genom de otätheter som finns. Detta flöde som uppstår på grund av det höjda trycket (temperaturökningen) brukar kallas för brandflöde. Se figur 1.



Figur 1 Rumsbranden där ren luft trycks ut från brandrummet.

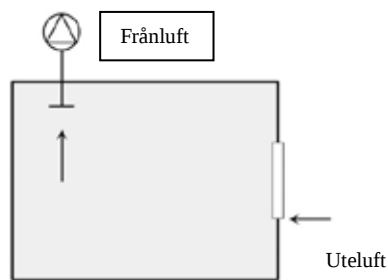
Det är detta inledande förlopp som har studerats i projektet. Efter det att brandrummet tryckavlastats då fönster kollapsar erhålls i princip ingen tryckökning (maximalt ca 20 Pa på grund av temperaturskillnaden i höjddled). I detta skede kan brandgaser spridas via ventilationskanaler om de är trycklösa, de fungerar i princip som "hål" mellan brandcellerna. Men om fläktarna bibehålls i drift kommer ett undertryck skapas i frånluftssystemet och ett övertryck i tilluftssystemet i storleksordningen 100 Pa vilket är tillräckligt högt för att förhindra att röken inte sprids till olika brandceller via ventilationssystemet. Detta andra skede är inte intressant att studera eftersom fläktar i drift säkerställer skyddet mot rökspridning via ventilationssystemet. När och om fönster går sönder (kollapsar) beror bland annat på fönsterutförande, infästningar, tryck och temperatur.

Om rummet inte tryckavlastas, det vill säga om fönster och dörrar är stängda kommer branden begränsas av syretillgången. I referens [12] redovisas statistik över när räddningstjänsten anländer till lägenhetsbränder. Där anges det att en stor del av lägenhetsbränderna är ventilationskontrollerade. Ofta är de också begränsade till rummet och startföremålet.

2.5 Ventilationssystem

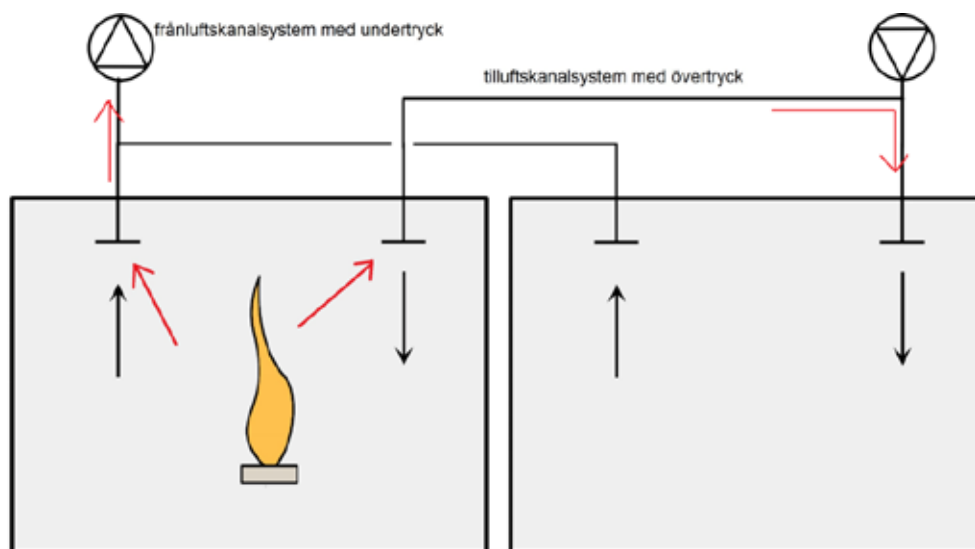
De vanligaste ventilationssystemen idag är antingen frånluftsventilationssystem (F) eller till- och frånluftsventilationssystem (TF) (se figur 2 och 3).

Frånluftsventilationssystemen består ofta av en fönsterventil, ett "hål i väggen" där uteluft tas in och ett kanalbaserat frånluftskanalsystem med don, kanal och fläkt där frånluft tas ut.



Figur 2 Schematisk bild på frånluftssystem.

Till- och frånluftssystemet består av två olika kanalsystem. Ett tillför luft till lokalen och det andra bortför luft. Med detta system finns stora möjligheter för värmeåtervinning. Tilluftkanalsystemet arbetar med ett litet övertryck och frånluftkanalsystemet med ett undertryck. Tryckfallen över till- respektive frånluftsdonen är i storleksordningen 100 Pa, det vill säga långt under de övertryck som kan uppstå på grund av brand.



Figur 3 Schematisk bild på till- och frånluftssystem vid normalfall (svarta pilar) och brand (röda pilar).

Detta innebär att utan särskilda brandtekniska åtgärder kommer övertrycket på grund av brand orsaka att rök i första hand sprids via tilluftsventilationssystemet (se figur 3, röda pilar). De vanligaste placeringarna av donen i rummen är vid tak. Men i vissa lokaler och med vissa system förekommer tilluftsdon placerade på golv, lågt placerade. Ett exempel på detta är så kallade lågimpulsdon se figur 4. Dessa don är golvplacerade och finns i olika höjder.



Figur 4 Exempel på lågimpulsdon.

2.6 Regelverk och klassning

I boverkets byggregler (BBR) under kapitel 5:1 "Allmänna förutsättningar" referens [15] anges :

"Byggnader ska utformas med sådant brandskydd att brandsäkerheten blir tillfredsställande. Utformningen av brandskyddet ska förutsätta att brand kan uppkomma.

Brandskyddet ska utformas med betryggande robusthet så att hela eller stora delar av skyddet inte slås ut av enskilda händelser eller påfrestningar."

Detta gäller generellt. Men det finns också riktlinjer för skyddet mot brandgasspridning via ventilationssystemet. Brandskyddet kan generellt utföras med förenklad eller analytisk dimensionering. I BBR finns riktlinjer avseende brandgasspridning för båda metoderna.

I kapitel 5:533 Luftbehandlingsinstallationer anges för den förenklade dimensioneringen att:

"luftbehandlingsinstallationer ska placeras, utformas och hängas upp så att skyddet mot brand- och brandgasspridning mellan brandceller upprätthålls"

I rådtexten anges också:

"Om luftbehandlingsinstallationerna inte är separata för varje brandcell bör ventilationskanalerna förses med spjäll med motsvarande avskiljande förmåga som aktuell brandcellsgräns har. Spjällen bör utformas så att deras funktion kan upprätthållas utifrån den påfrestning de kan förväntas utsättas för."

Förenklad dimensionering enligt ovan innebär alltså att antingen använda separata ventilationssystem för varje brandcell eller att använda brandspjäll.

Idag (2014) finns det tre grundbegrepp inom brandklassning för brandspjäll. Grunden är en EU-anpassning till EU:s byggproduktförordning som gäller från och med 1 juli 2013 [16].

I denna standard [16] beskrivs brandteknisk klassificering för integritet (E), isolering (I) och brandgastäthet (S) vid brandprov enligt standardbrandkurvan (ISO 834). Integritetsklassningen (E) innebär att spjället maximalt får läcka $360 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ vid

tryckskillnaden 300 Pa men obegränsat i kallt tillstånd. Isolering (I) innebär ett krav på en maximal temperaturstegring som inte får överstiga $+140^{\circ}\text{C}$ (medeltemperatur) samt $+180^{\circ}\text{C}$ på enstaka punkt. Brandgastäthet (S) används för spjäll med särskilda krav på täthet och anger ett maximalt läckage om $200 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ vid 300 Pa.

Ett brand-/brandgasspjäll med en brandmotståndstid av 60 minuter utan särskilt krav på brandgastäthet betecknas EI 60. Motsvarande spjäll med krav på brandgastäthet betecknas EI 60-S.

Den analytiska dimensioneringen för ventilationsbrandskydd finns beskrivet i (BFS 2013:12 BBRAD 3) Boverkets ändring av verkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, referens [17]. I kapitel 4.2 "Ventilationstekniskt brandskydd" beskrivs en analysmodell och riktlinjer för olika brandscenarier. I analysmodellen ges ett antal exempel på lösningar för ventilationsbrandskyddet:

- Fläkt i drift
- Tryckavlastning av brandrum
- Tryckavlastning av ventilationskanalsystemet

Dessutom introduceras två olika skyddsnivåer beroende på verksamhet, skyddsnivå 1 och 2. Skyddsnivå 1 är den högre nivån och gäller för utrymningsvägar och lokaler där det kan finnas sovande personer. Skyddsnivåerna är baserade på "godtagbar exponering vid brandgasspridning i ventilationssystem" och beskrivs med ett procentuellt accepterat gräsvärde av den mottagande brandcellens volym:

"För brandceller i skyddsnivå 1 bör acceptabelt gränsvärde för brandgasspridning vara 1 % av den mottagande brandcellens volym. För brandceller i skyddsnivå 2 bör acceptabelt gränsvärde för brandgasspridning vara 5 % av den mottagande brandcellens volym."

När det gäller brandförloppet så ska hänsyn tas till brandtillväxt där tillväxthastigheten anges till $0,047 \text{ kW/s}^2$ (en så kallad fast-kurva, där "fast" är ett engelskt begrepp). Brandflödet kan begränsas till att gälla vid en tryckupbyggnad på 1500 Pa och den maximala temperaturen i det tidiga brandförloppet kan begränsas till 350°C .

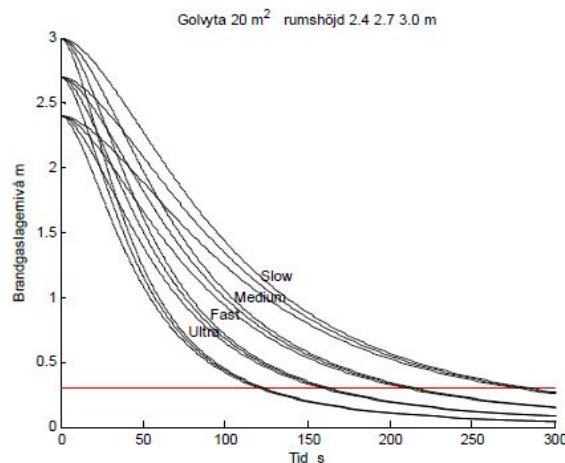
Det aktuella systemet är en variant på att använda fläktar i drift vid brandfall. Dessa lösningar kräver generellt ett antal brandsäkerhetsåtgärder som t.ex. säkrad elmatning och hänsyn tagen till temperaturhöjning i frånluftskanalsystemet [1]. En vanlig metod idag för bostäder är att utnyttja fläktar i drift i kombination med självverkande backströmningsspjäll. Detta system är i uppbyggnad och funktion likt ett system med fläktar i drift och lågt placerade tilluftsdon. Skillnaden mellan systemen är frånvaron av backströmningsspjäll och att risken för brandgasspridning via frånluftssystemet minskar eftersom det låga tilluftsdonet i det inledande skedet har en tryckavlastande funktion. Det resulterande trycket i det inledande skedet blir alltså lägre med ett system där tilluftsdonen är lågt placerade jämfört med att använda backströmningsspjäll. Inte i något av de två systemen krävs särskilda aktiveringar av brandfunktioner i brandcell. Det kan dock behövas vid ventilationsaggregatet om sotigensättning eller höga temperaturer ska beaktas.

Den aktuella undersökning studerar sammansättningen på brandgaserna i form av bland annat temperatur och sotinnehåll eftersom dessa parametrar är intressanta.

3 Tidigare utförda arbeten

En litteratursökning som berör forskningsområdet har genomförts i olika databaser. Få artiklar hittades. Det vanligaste sättet i de flesta länder är att hindra rök att spridas via ventilationssystem genom att använda spjäll. Detta kan vara en av anledningarna till det inte har funnits någon forskning inom området tidigare.

I rapporten ”Dimensionering av utspädning för skydd mot brandgasspridning” [6] av Lars Jensen beskrivs teoretiska röknivåer (brandgaslager) som funktion av olika bränder, se figur 5. Resultaten bygger på en enkel tvåzonsmodell som förenklar brand- och rökförloppet i figur 1 till en varm övre zon och en kallare nedre zon. Kurvorna visar att det teoretiskt går att beskriva det varma brandgaslagrets rörelse från taket och ner mot golvet som funktion av tiden. I figur 5 tas ingen hänsyn till syrehalten i rummet. Denna är avgörande för brandutvecklingen och brandgaslagrets (rökens) nivå ovan golv. Röken kommer att inertera eller ”kväva” branden vid en viss syrenivå. Detta är en av de parametrar som studeras i modellförsöken.



Figur 5 Brandgaslagernivå för olika bränder och rumshöjd med golvytan 20 m² [6].

Ett av de få experimentella studierna av brandflöde och tryckuppbyggnad i rumsbränder som utförts är fullskaleförsök redovisade i ”Pressure rise due to fire growth rate in a closed room” från 1996 [2]. I dessa försök testades tre bränder i ett rum med de ungefärliga dimensionerna 4 x 5 x 2,6 m. Rummet var försedd med en öppning på 0,6 m från golvnivå där brandflödet mättes. Övertryck upp till 200 Pa uppmättes i rummet och brandflöden på ca 500 l/s observerades vid bränder upp till ca 1,2 MW.

I dessa försök med den relativt högt placerade öppningen ovan golv (0,6 m) uppmättes temperaturen till 160 °C i utloppet samtidigt som temperaturen i taket var 400°. I detta fall spreds alltså en del av de varma brandgaserna via donet på höjden 0,6 m.

Metoden med lågt placerade tilluftsdon som skydd mot skadliga brandgaser har diskuterats i litteraturen (t.ex. i referens [1]). Det har också förekommit undersökningar och experiment inom området utförda av företag vars resultat inte är officiella.

I rapporten redovisas inledande resultat för metoden baserade på modellskaleförsök.

4 Teori

4.1 Branden

Som redan nämnts kan rumsbranden förenklat beskrivas med vad som ofta kallas en tvåzonsmodell där de två zonerna utgörs av ett övre varmt brandgaslager och ett undre kallt [7]. När branden startar kommer varma brandgaser att stiga och samtidigt dra med sig kall luft in i brandplymen. Om det finns en öppning som t.ex. ett fönster eller dörr kommer brandgaserna från de övre skiktet att transporteras ut i öppningens övre del samtidigt som ett inflöde kommer att ske i dess undre del. Detta svarar mot ett tryckavlastat fall.

Ur ett brandgasspridningsperspektiv är detta fall ett enklare fall att lösa eftersom det inte finns någon tryckupbyggnad i brandrummet.

Men det fall som är intressant ur ett brandgas-ventilationsperspektiv är det inledande skedet då det inte finns några stora öppningar. Så länge branden tillväxer kommer temperaturen att öka i det övre brandgaslagret vars nedre gränsskikt kommer att sjunka ner mot golvet. Brandgaser kommer att flöda ut både från den övre öppningen (frånluftsdonet) såväl som den nedre öppningen (tilluftsdonet). Om öppningarna är anslutna till fläktar är tryckskillnaderna avgörande för brandflödet.

Brandflödet, dvs. det flöde som på grund av expansion och brandgaslagrets rörelse är bland annat beroende av densitetsskillnaden och brandgaslagrets höjd och storlek.

De bakomliggande ekvationerna i tvåzonsmodellen finns noggrant beskrivna i litteraturen som t.ex. i referens [7,13]. I referens [8] presenteras förenklade beräkningar av brandflödet utifrån tillväxthastighet (hur snabbt brandeffekten ökar) och rumsvolym. Brandflödet, q_b , och temperaturen i brandgaslagret, T_b , kan beräknas enligt [8]:

$$q_b = 0,0081 \cdot \alpha^{0,42} \cdot A^{0,50} \cdot h^{1,04} \quad (1)$$

$$T_b = 409,3 \cdot \alpha^{0,07} \cdot A^{0,005} \cdot h^{-0,074} \quad (2)$$

där

q_b = maximalt brandflöde	[m ³ /s]
α = tillväxthastighet	[W/s ²]
A = area	[m ²]
h = takhöjd	[m]

Med ekvationerna (1) och (2) kan alltså det på grund av expansionen alstrade brandflödet överslagsmässigt beräknas.

4.2 Sikt

Sikten kan beskrivas utifrån den optiska densiteten OD [7]:

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

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

OD kan också skrivas som

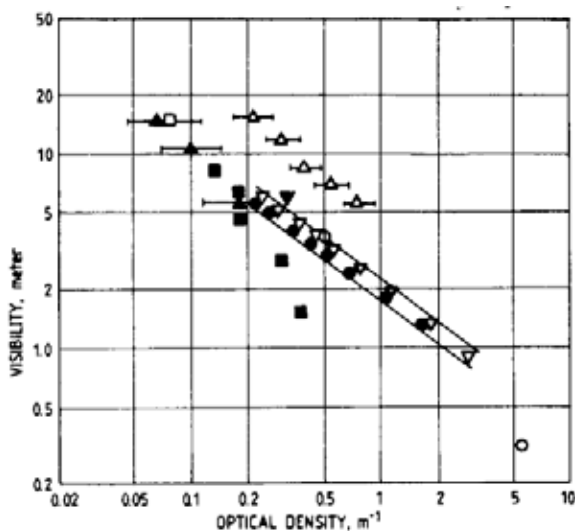
$$OD = \alpha_s \cdot C_s \quad (4)$$

där α_s är en materialkonstant (smoke extinction coefficient) och C_s är masskoncentrationen (kg/m^3). Det är ett antal parametrar som kan påverka materialkonstanten α_s som t.ex. tillgång på syre, materialets sammansättning och struktur. I den aktuella undersökningen har ett värde från referens [7], $3300 \text{ m}^2/\text{kg}$, använts.

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

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

I de aktuella modellförsöken mäts den relativa intensiteten (I_0/I), L är känt vilket innebär att OD kan beräknas. Materialkonstanten α_s är i beräkningarna antagen vilket ger C_s enligt (4). Volymflödet $\dot{V}_t$ i den lågt sittande kanalen mäts vilket innebär att den spridda sotmängden $\dot{m}_s$ kan beräknas enligt (5). Utifrån en mottagande volym kan en ny masskoncentration (via ett antaget α_s) och OD beräknas.



Figur 6 Diagram översambandet mellan optisk densitet (OD) och sikt (Visibility) [7].

Sikten (i meter) i den mottagande volymen kan t.ex. erhållas från figur 6 [7].

4.3 Skalteori

Modellen är i skala 1:2, storleken är alltså geometriskt nedskalad och resultaten bygger på

så kallad Froudeskalning vilken är en etablerad metod [9-11]. I tabell 1 redovisas skalfaktorer för ett antal enheter. Index M betecknar modellskala och F fullskala.

Tabell 1 Skalfaktorer

Enhet	Skalfaktor
Brandeffekt (HRR),(kW)	$Q_M/Q_F = (L_M/L_F)^{5/2}$
Hastighet (m/s)	$u_M/u_F = (L_M/L_F)^{1/2}$
Tid (s)	$t_M/t_F = (L_M/L_F)^{1/2}$
Temperatur (°C)	$T_M/T_F = 1$
Kraft (N)	$F_M/F_F = (L_M/L_F)^3$
Tryck (Pa)	$P_M/P_F = L_M/L_F$
Tillväxthastighet ¹⁾	$\alpha_M/\alpha_F = (L_M/L_F)^{3/2}$
Volymflöde (m ³ /s)	$\dot{V}_M/\dot{V}_F = (L_M/L_F)^{5/2}$
Massflöde (kg/s)	$\dot{m}_M/\dot{m}_F = (L_M/L_F)^{5/2}$
Massa (kg)	$m_M/m_F = (L_M/L_F)^3$
Acceleration (m/s ²)	$a_M = a_F$

¹⁾Sambandet gäller då sambandet mellan brandeffekt och tillväxthastighet är $\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$.

I modellförsöken är bland annat temperaturen och sotmängden (massflödet) och temperaturen intressanta parametrar. Med den aktuella skalan 1:2 ger det skalfaktorerna (se tabell 2).

Tabell 2 Exempel på skalfaktorer.

Parameter	Skalfaktor	Exempel
Längd	2	6,3 cm i modellskala svarar mot 12,6 cm i fullskala
Volym	$2^3=8$	1 m ³ i modellskala svarar mot 8 m ³ i fullskala
Temperatur	1	100 i modellskala är 100 i fullskala
Volymflöde	$2^{5/2}=5,7$	0,1 m ³ /s i modellskala är 0,57 m ³ /s i fullskala
Massflöde	$2^{5/2}=5,7$	0,1 kg/s i modellskala är 0,57 kg/s i fullskala
Tryck	2	20 Pa över tilluftkanalen i modellen svarar mot 40 Pa i fullskala
Tid	$2^{1/2}=1,4$	100 s i modellskalan svarar mot 140 s i fullskala

5 Utförda försök

Modellskaletförsöken utfördes på SP Fire Research:s anläggning i Borås. Modellen representerar ett rum i t.ex. en lägenhet eller ett hotell. SP Fire Research har lång erfarenhet av brandmodellförsök [3-5].

Modellskalan var 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 lågt placerad och justerbar i höjdlängd (från 6,3 cm till 60 cm över golv). Till rummet fanns också ytterligare en kanal ansluten där läckageflödet från rummet kunde justeras. På tillufts- och frånluftskanalen fanns möjlighet att installera fläktar.

Vid mätningarna registrerades bland annat temperatur, tryck, flöde på olika platser.

Branden utgjordes av trästaplar och antändningskällan av mindre mängder heptan placerade i kärl, se figur 8.

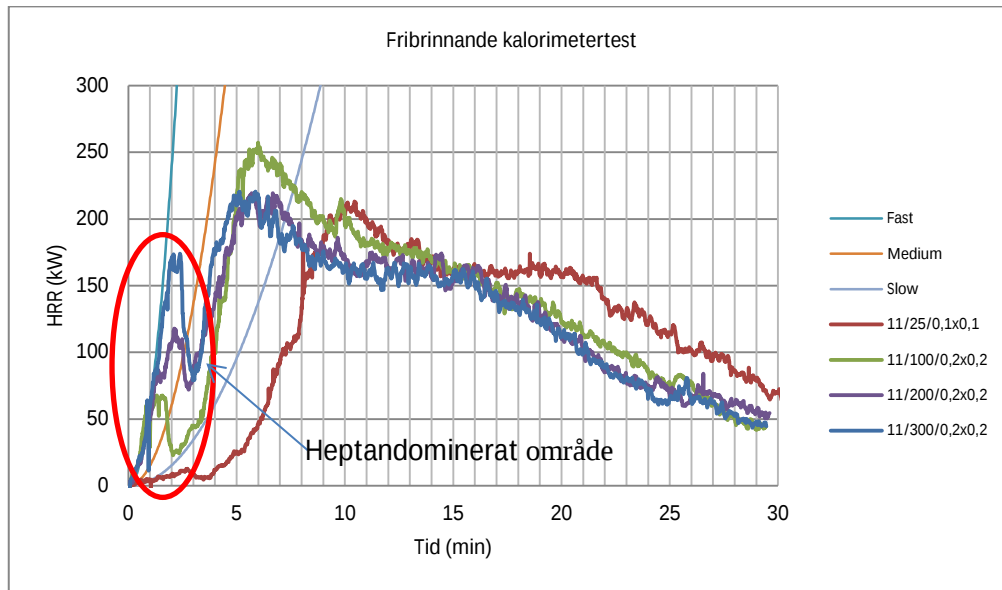
5.1 Branden

Branden i modellförsöken utgjordes av en initialbrand av heptan och träribbstaplar. Heptankärlens dimensioner var 0,2 m x 0,2 m och 0,1 m x 0,1 m. Träribbstapeln var uppbyggd med ribbor (0,38 m x 0,38 m) i 9 eller 11 lager. Se figur 8. De aktuella bränderna redovisas i tabell 3. Branden 11/300/0,2 x 0,2 är alltså en träribbstapel med 11 lager, antändningskällan utgörs av 300 ml heptan i ett kärl med 0,2 m x 0,2 m.

Tabell 3 Bränder i modellförsöken.

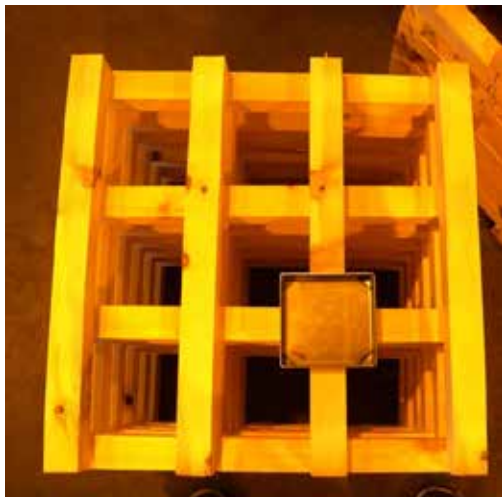
Brand (x staplar/y ml heptan/ z x z kärldimension)
11/300/0,2 x 0,2
11/200/0,2 x 0,2
11/100/0,2 x 0,2
11/25/0,1 x 0,1

Innan modellförsöken utfördes kalorimetertest med de fyra olika brandfallen, se figur 7. I figuren redovisas också tillväxthastigheterna ”fast, medium och slow” som är vedertagna tillväxthastigheter svarande mot 0,047 kW/s²; 0,012 kW/s², 0,003 kW/s² [18]. De maximala brandeffekterna i dessa fritt brinnande fall är 200-250 kW. Detta svarar mot 1,1-1,4 MW i fullskala.



Figur 7 Fribrinnande bränder i modellförsöken (kalorimetertest med huv).

I början av brandförkoppet kommer heptanet att förbrukas, detta svarar mot det relativt branta inledande förloppet av brandkurvan i figur 7. I tre av de testade bränderna sjunker brandeffekten tillfälligt. I detta förlopp har troligtvis heptanet brunnit av men trästaplarna deltar inte fullt ut i brandförloppet. Men efter en kortare tid deltar större mängder av trämaterialen i förbränningen och brandeffekten ökar. Tillväxthastigheten i det heptandominerade området svarar mot en "fast-kurva".

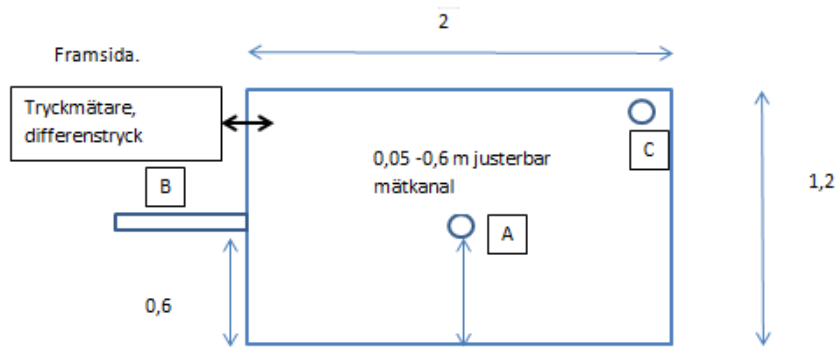


Figur 8 Heptankärl och träribbstapel.

I figur 8 visas ett exempel på heptankärl och träribbstapel. I bilden är heptankärlat ovanpå träribbstapeln för bildens skull. I försöken var heptankärlat placerat under träribbstapeln.

5.2 Försökuppställning

I figur 9 redovisas en skiss över försökuppställningen. (A) är den justerbara tilluftskanalen med diameter 63 mm. (C) är frånluftskanalen, också med diameter 63 mm. (B) är anslutningen där läckageflödet kan justeras.



Figur 9 Skiss över försökuppställning.

I figur 9 redovisas en principskiss av modellens framsida svarande mot den högra delen i figur 10.

Modellen var i skala 1:2 och dimensionerna var 2,0 m x 2,5 m x 1,2 m. Temperaturer mättes i kanalerna (A, B, C) och i en stapel i brandrummet på 12 olika höjder från golv (från 0,05 till 1,15 meter från modellgolv). Ett antal tryckgivare fanns installerade, dels i kanalerna, två stycken i kanal (A) i kanalerna (B, C) men också för statisk tryckmätning i brandrummet på höjden 0,29 meter. CO, CO₂ och O₂ uppmättes i kanalerna (A, C) och på höjden 0,25 meter från golv i brandrummet. Branden var placerad 0,13 meter från modellgolv på en våg där bränslets viktförändringar registreras.



Figur 10 Till vänster visas modellrummets framsida med lucka och fönster. Den högra bilden visar kanalerna (A, C) svarande mot tilluft- och frånluftskanal.

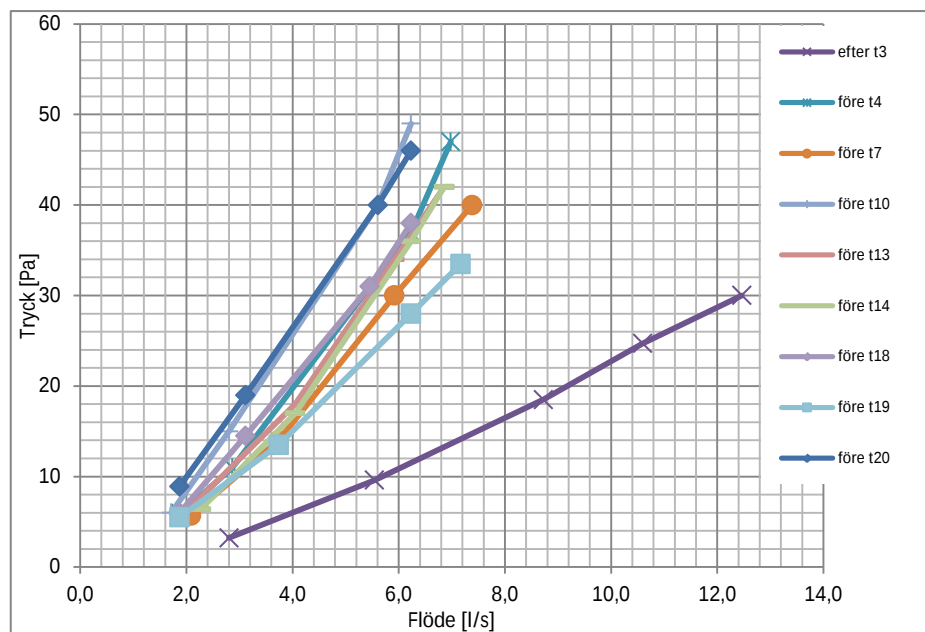


Figur 11 I bilden visas modellrummets baksida med kanal (B) och mätutrustning för CO, CO₂ och O₂.

I de fall fläktar användes anslöts dessa till kanalerna (A) och (C) där (A) svarade mot tilluftsanslutning och (C) mot frånluft. (A) var justerbar i höjddled. I kanal (A) mättes också sikten via den relativa intensiteten (I_0 / I) med hjälp av en lasermätare. På både till- och frånluftskanal fanns också mätton för flödes-tryckfallsmätning installerade. Dessa användes med fläktar då ett tryckfall över mättonet injusterades. Dessa försök svarar mot de verkliga fall då fläktar är i drift och till- och frånluftsdon med injusterade tryckfall är aktuella.

5.3 Utförande

Under försöken provtrycktes regelbundet det slutna brandrummet och läckageflödet uppmättes. I alla byggnader förekommer läckageflöden och det resulterande trycket i brandrummet kommer bland annat vara beroende av läckageflödet från modellen. Material och tätningar (som t.ex. väggar, golv och skarvar i mellan dessa) i brandrummet kan förändras under testerna. Syftet med provtryckning var att säkerställa att förändringarna inte blev för stora.



Figur 12 Diagram över läckageflöden före tester.

Efter varje test tätades brandrummet, främst skarvar mellan golv och tak. Det första testet var test 1 (t1) det sista testet var test 20 (t20). Figur 12 visar att läckageflödet trots detta ökade med tiden, dvs läckageflödet vid test 1 var lägre jämfört med test 20.

Brandförsöken utfördes enligt tabell 4.

Tabell 4 Försökshändelser

<i>Tid [min:sek]</i>	<i>händelse</i>
1:00	mätstart
2:00	brandstart
13-14:00	stopp

I tabell 5 redovisas de genomförda modellskaleförsöken. Totalt utfördes 20 försöken med olika konfigurationer avseende brand, tilluftsdonets höjd över golv och med eller utan fläktar. (A) svarar mot tilluftskanalen och (C) mot frånluftskanal. (ö) innebär att kanalen är öppen, (Fläkt) innebär att en fläkt är installerad. I kolumnen "Brand" anges trästapelhöjden och heptanmängd. 9/100 innebär att branden bestod av en träribbstapel med 9 enskilda träribbor och mängden heptan utgjordes av 100 ml. Kolumnen "Höjd ö golv" anger tilluftskanalens placering ovan golv i modellrummet, mätt till kanalens övre kant.

Tabell 5 Sammanställning av genomförda tester.

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
1	ö	ö	9/100	18,2
2	ö	ö	11/300	18,2
3	ö	s	11/300	18,2
4	Fläkt (20Pa)	Fläkt(15Pa)	11/300	18,2
5	ö	ö	11/100	18,2
6	ö	ö	11/200	18,2
7	ö	ö	11/300	40,0
8	ö	ö	11/100	40,0
9	ö	ö	11/25	40,0
10	ö	ö	11/300	60,0
11	ö	ö	11/100	60,0
12	ö	ö	11/25	60,0
13	ö	ö	11/25	18,2
14	ö	ö	11/300	6,3
15	ö	ö	11/100	6,3
16	ö	ö	11/25	6,3
17	Fläkt (18 Pa)	Fläkt (19 Pa)	11/300	6,3
18	Fläkt (42 Pa)	Fläkt (40 Pa)	11/300	18,2
19	Fläkt (19 Pa)	Fläkt (20 Pa)	11/300	40,0
20	Fläkt (20 Pa)	Fläkt (20 Pa)	11/300	60,0

Med branden 11/300 utfördes tio försök där fläktar användes i fem fall. Tilluftskanalens placering varierades på fem olika höjder; 6,3; 18,2; 40 och 60 cm över golv. Detta svarar i fullskala mot 12,6; 36,4; 80 och 120 cm. I de fall fläktar var installerade varierades tryckfallet. Totalt studerades fem olika bränder.

Branden studerades också visuellt där observationer under försökens gång noterades.

6 Resultat av modellförsök

Nedan redovisas resultat från modellförsöken. Ett antal försök redovisas i mer detalj i följande avsnitt. Resultaten från övriga försök finns redovisade i bilaga.

I försöken varierades brandstorlek, tilluftskanalens läge i höjddled och i vissa fall användes fläktar på både till- och frånluftssida. Vid försöken startades branden efter två minuter och öppningen mot brandrummet sattes fast manuellt med skruvdragare. Detta visade sig påverka vågen (modellen och därigenom vågen påverkades av vibrationerna) så att data från de första 30-40 s var påverkade och kunde inte användas i analysen. Vid försöken konstaterades också att lasermätaren som indirekt mäter sothalten under försöken blev nedsmutsad. Detta resulterade att nollpunkten under ett försök kunde förändras. I resultaten har detta justerats genom att dra bort den offset som uppstod efter försöken. De ojusterade och justerade diagrammen redovisas i bilaga. Tiden för den justerade nollpunkten är grundat på luftflödets riktning och den resulterade temperaturen efter det att branden avstannat.

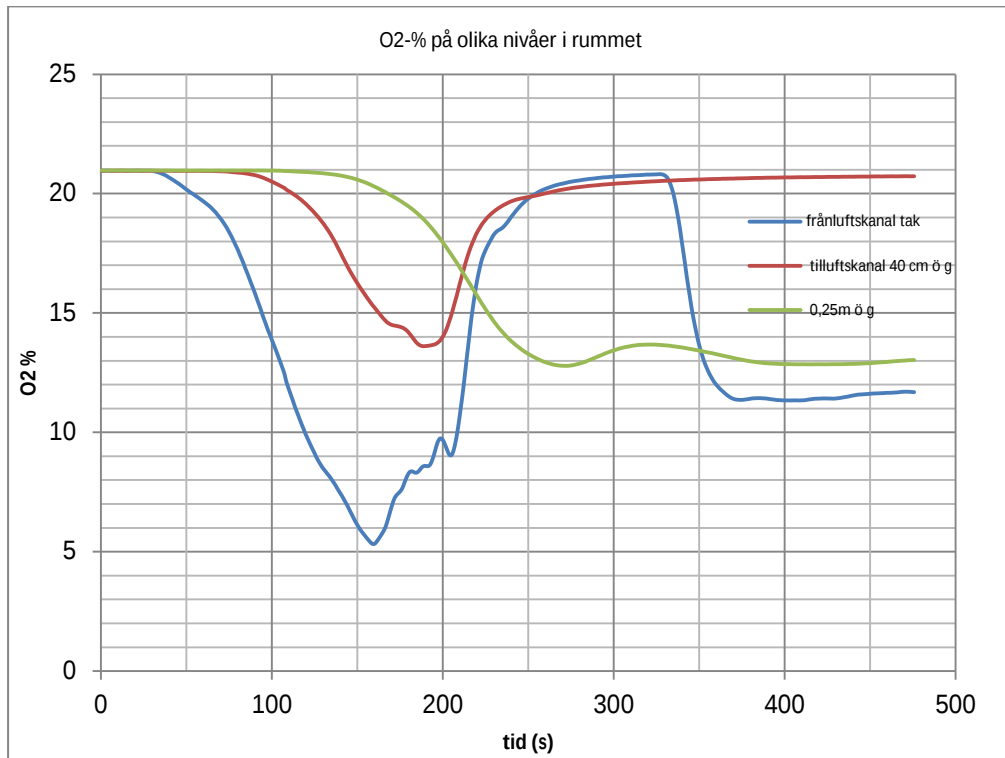
I alla försök avtog den högst uppmätta temperaturen i taket på rummet snabbt efter ca 80-120 sekunder beroende på brand. Vid dessa tillfällen observerades också att branden flämtade. Detta är indikationer på att bränderna relativt snabbt blev underventilerade på grund av intertering (syret trängs bort av bland annat koldioxid) vilket innebär att endast delar resultaten från de fribrinnande testerna (se figur 7) kunde användas.

I försöken observerades också att riktningen på flödet i tilluftskanalen varierade under brandförloppet. I det tidiga skedet av branden är flödet riktat från rummet men efter det att brandens förlopp avstannat erhöles ett flöde in mot brandrummet.

Resultaten av modellförsöken beskrivs med hjälp av diagram där sotinnehållet och temperaturen i den lågt sittande kanalen redovisas. Syftet är att beskriva egenskaperna på de brandgaser som sprids via den lågt placerade tilluftskanalen.

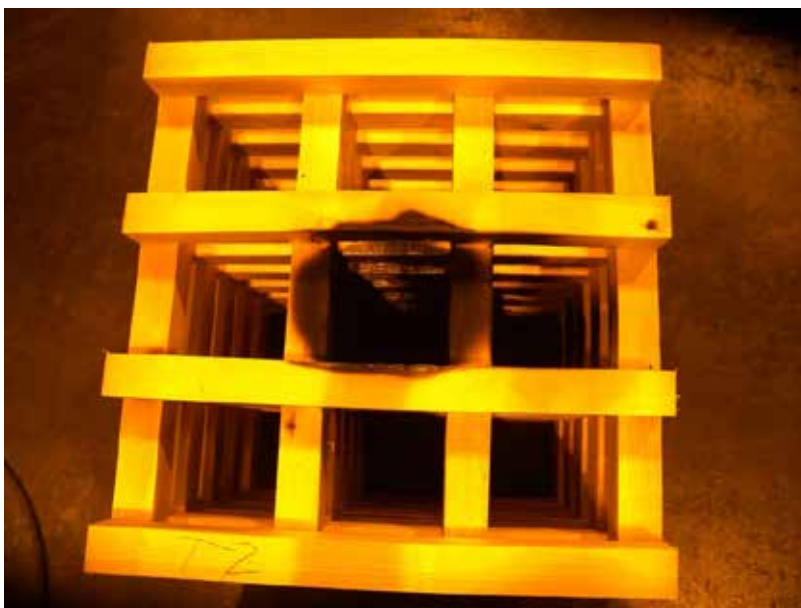
6.1 Branden

Som redan nämnts visade resultaten från modellförsöken att branden relativt snabbt blev underventilerad. I Figur 13 redovisas syrenivåerna på tre olika höjder med den större branden 11/300 (en träribbstapel med 11 enskilda träribbor och 300 ml heptan). Branden var placerad 13 cm ovan golv (heptanfatet) och träribbstapeln översta del ca 55 cm från golvnivå.



Figur 13 Test med branden 11/300, fläktar i drift.

Figur 13 redovisar syrenivån på tre olika höjder i brandrummet, frånluftskanal i tak, tilluftskanal 40 cm över golv och en fast mätpunkt 0,25 m över golv (den gröna kurvan). I brandgaslagret i taknivå, svarande mot de uppmätta syrenivåerna i frånluftskanalen, sjunker syrenivåerna snabbt. Men samtidigt är de oförändrade på de lägre nivåerna i rummet. De låga syrenivåerna är lokala och koncentrerade till de regioner där brandgaslagret finns. Efter ca 150 sekunder vänder flödet in mot rummet i den lågt placerade tilluftskanalen. Syrenivåerna ökar igen. Vid denna tidpunkt hade antingen heptanet brunnit upp eller så hade branden självlocknat på grund av inertering. I de flesta fall hade inte initialbranden fått fäste i träribbstaplarna vilket betyder att påverkan på träribbstapeln var minimal, se figur 14.



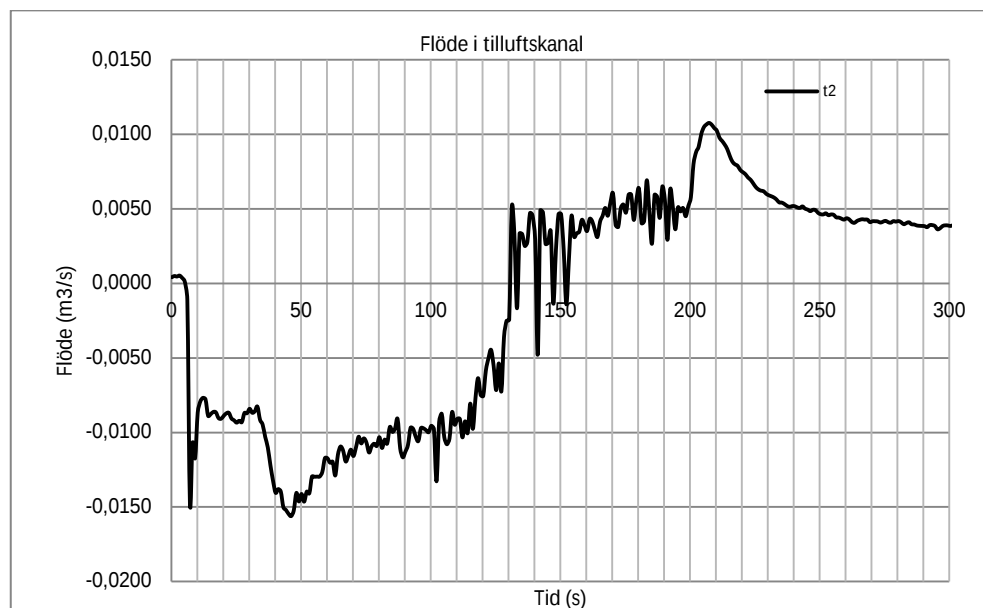
Figur 14 Träribbstapel efter brand.

Brandgaslagret består av bland annat kolmonoxid (CO) och koldioxid (CO₂) som är en inert gaser. Dessa kommer att dominera regionen nära branden då brandgaslagret når branden. Brandgaslagret tränger undan syret runt branden i en uppblandningsprocess. I vissa av försöken konstaterades att heptan fanns kvar i kärlet då branden slocknat. Brandscenariot att branden självslocknar har diskuterats tidigare t.ex. i referens [12].

I figur 7 redovisas brandkurvorna för de fribrinnande fallen. Fram till ca 150 s följer branden 11/300 en fast-kurva. Efter ca 100-150 s kommer brandgaslagrets nivå och relativt låga syrehalterna påverka brandförloppet som avviker från det fribrinnande fallet.

I figur 15 redovisas flödet ut ur tilluftskanalen. Flödet i negativ riktning svarar mot den tidsperiod då spridning från brandrummet kan ske via tilluftskanalen. Men då flödet vänder igen in mot brandrummet finns det ingen möjlighet för spridning. Brandens intensitet har avtagit, ingen expansion sker, utan tvärtom ett inflöde till brandrummet sker.

Brandens expansion skapar ett övertryck och ett utflöde. I ett av försöken (test t3) uppmättes det statiska trycket i brandrummet till drygt 50 Pa i det inledande skedet (svarande mot drygt 100 Pa i fullskala). Detta var alltså i ett fall med öppen tilluftskanal och läckage från konstruktionen enligt figur 12.



Figur 15 Flöde i tilluftskanal för test t2. Ett positivt flöde motsvarar ett flöde in till brandrummet.

Analysen av brandgasernas beskaffenhet (sot innehåll, temperatur och kolmonoxid) utförs under den tid då flödet är utåtriktat i kanalen (negativt). I detta fall från 0-130 sekunder. Det är under denna period spridningen sker via tilluftskanalen.

6.2 Sot

Sot innehåll i de spridda luftvolymerna är intressant då det är ett mått på flödet av brandgas. Under försöken konstaterades att lasermätaren påverkades av nedsoiningen så att nollpunkten försköts något, dvs. efter det att testerna avslutas var den uppmätta signalen lägre än vid försökens början, trots att effekten från lasern var nominellt konstant. I vissa fall har detta korrigerats i diagrammen. Detta innebär att de resulterande

värdena kan vara något missvisande eftersom sotlagringen på lasermätaren byggs upp kontinuerligt under testet. De resulterande uppmätta sotmängderna är något högre än de verkliga. I resultaten redovisas den spridda sotmängden per tidsenhet under den tid då flödet i tilluftskanalen är utåtriktad från rummet, det vill säga under den tid brandgasspridningen sker.

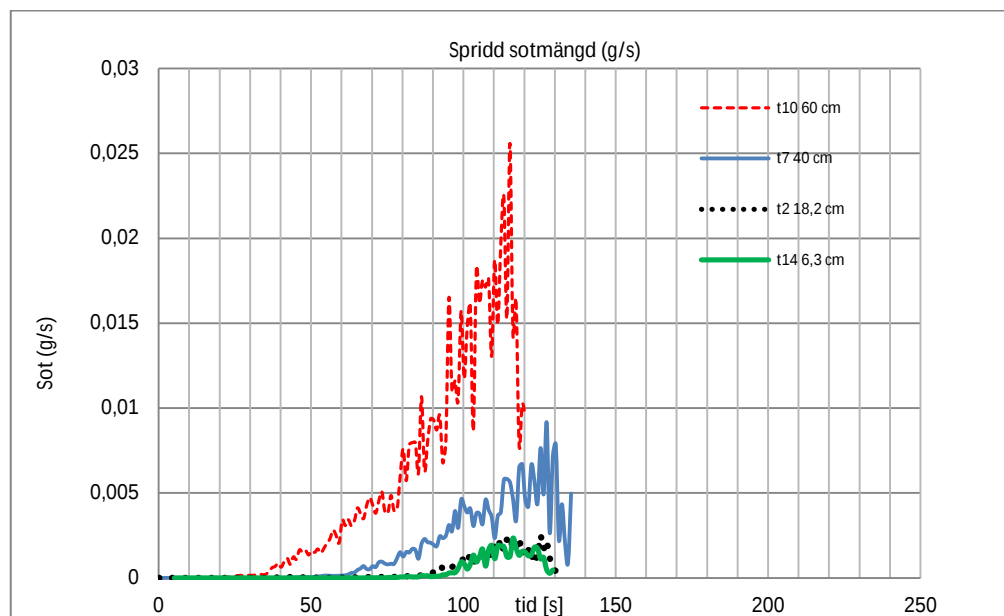
Som tidigare beskrivits (se kapitel 4.2 "Sikt") beräknas sotmängden $\dot{m}_s$ (kg/s) via masskoncentrationen C_s och det uppmätta volymflödet $\dot{V}_t$ med den antagna ämnesspecifika konstanten α (smoke extinction coefficient). I referens [7] anges den för förbränning med flammor till $\alpha_s = 3300 \text{ m}^2/\text{kg}$ som riktvärde. Ytterligare värden finns i referens [14].

6.2.1 Öppna kanaler

I testerna t2, t7, t10 och t14 användes branden 11/300. I dessa försök var både tilluftsöppningen (A) och frånluftsöppningen (C) helt öppna. Tilluftskanalen höjd över golvet varierades mellan 6,3 cm och 60,0 cm från golvet.

Tabell 6 Test med öppna kanaler och brand 11/300.

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
2	ö	ö	11/300	18,2
7	ö	ö	11/300	40,0
10	ö	ö	11/300	60,0
14	ö	ö	11/300	6,3



Figur 16 Spridd $\dot{m}_s$ sotmängd, öppna kanaler (brand 11/300).

I figur 16 visas testförloppet från brandstart fram till att flödet vänder i tilluftskanalen. Den största sotmängden sprids i test 10 då den öppna tilluftskanalen är placerad på det största avståndet från golvet (60 cm). I fullskala motsvarar detta avstånd 1,2 m från golvnivå. Den minsta sotmängden sprids i test 2 och test 14 som låg på 18,2 cm och 6,3 cm från golvnivå. Detta motsvarar 0,36 m och 0,12 m från golvnivå. Skillnaden i spridd

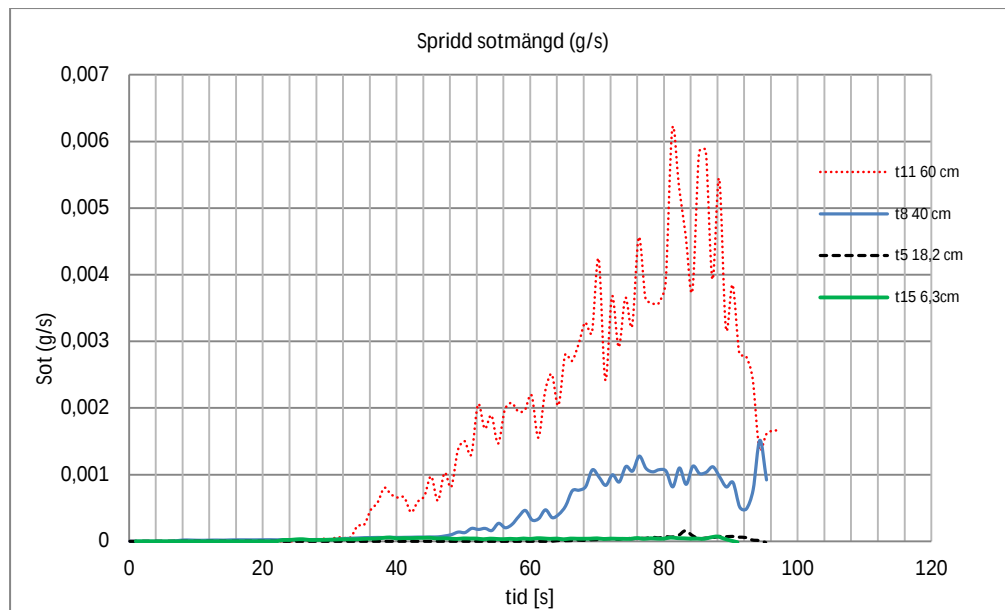
sotmängd mellan dessa test, det vill säga de två test då tilluftskanalen är placerad närmast golvet (18,2 cm och 6,3 cm), är liten. Spridningen till tilluftskanalen då den är placerad på den högre höjden sker tidigare i brandförloppet jämfört med då den är placerad närmare golvet. De högsta sotmassflödena varierar i försöken mellan ca 2-25 mg/s.

I testerna t5, t8, t11 och t15 användes branden 11/100. Initialbranden och den del av brandförloppet som dominerar testet bestod av 100 ml heptan. En mindre brand än den som beskrevs ovan. Också i dessa fall var både till- och frånluftskanalerna öppna, se tabell 7.

Tabell 7 Test med öppna kanaler och brand 11/100.

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
5	Ö	Ö	11/100	18,2
8	Ö	Ö	11/100	40,0
11	Ö	Ö	11/100	60,0
15	Ö	Ö	11/100	6,3

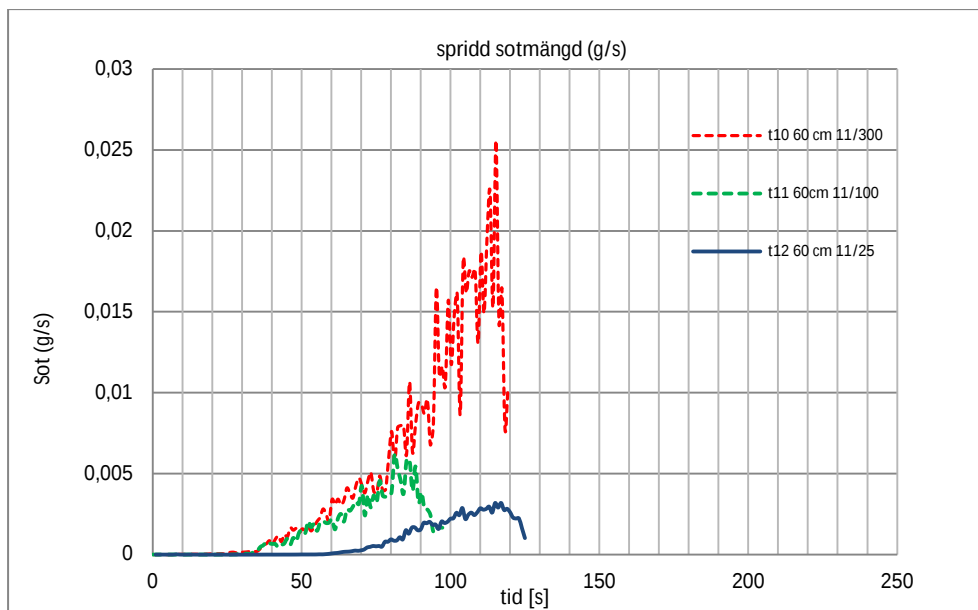
I figur 17 visas testförloppet från brandstart för testerna 5, 8, 11 och 15. Den största sotmängd som sprids är också i denna försöksserie i det fall då tilluftskanalen är placerad på det största avståndet från golvet (t11).



Figur 17 Test med öppna kanaler och brand 11/100.

Den minsta sotmängden spreds i test t5 och test 15, det vill säga de med tilluftsdonet placerat lägst. Branden 11/100 innebär att 100 ml heptan användes vilket gav ett kortare inledande brandförlopp. Sotspridningen var med den mindre branden 11/100 (100 ml) betydligt lägre jämfört med 300 ml (11/300). Med den mindre branden varierade sotmassflödet mellan 0 och 6 mg/s.

I figur 18 redovisas tre olika bränder i de fall då de båda kanalerna (A, C) var öppna och tilluftskanalen placerad 60 cm ovan golv.



Figur 18 Test med olika bränder, öppna kanaler och tilluftskanal 60 cm från golv.

I det tidiga skedet av brandförloppet är skillnaden mellan 100 ml (11/100) och 300 ml heptan (11/300) liten. Branden 11/25 (25 ml heptan) ger en betydligt mindre mängd sot.

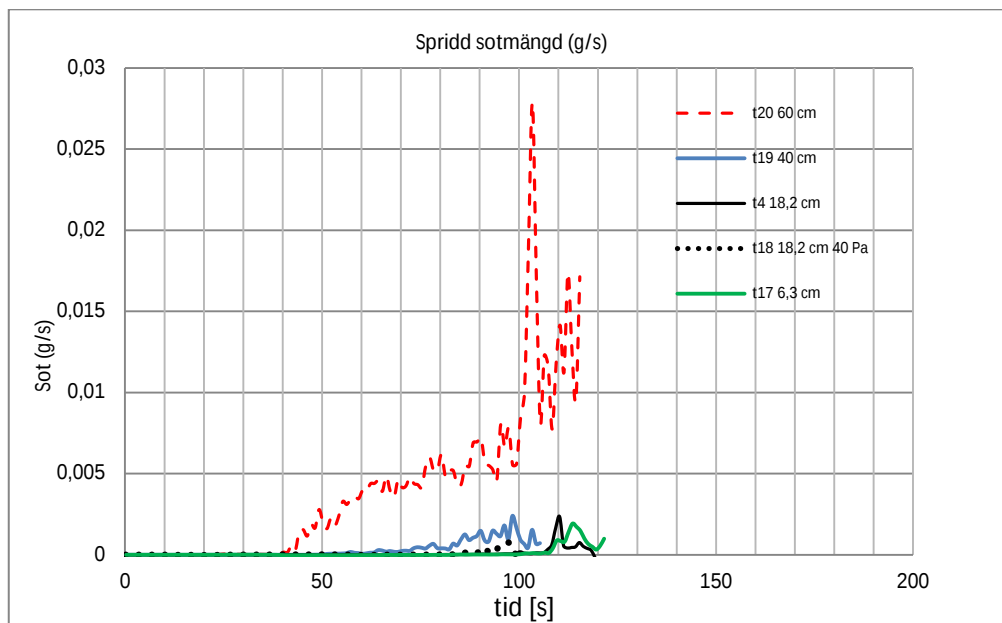
6.2.2 Fläktanslutna kanaler

I testerna t4, t17-t20 utfördes försök med fläktar anslutna på både till- och frånluftskanaler. Fläktarna var enkla kanalfläktar (Östbergs fläkt, CK100 A Man, 1730 rpm) och de installerade mätdonen (mätdon DIRU80 av fabrikatet Lindab) justerades in till ett givet tryckfall (se tabell 8 nedan) innan brandstart. Höjden över golv varierades och i ett fall varierades också tryckfallet över kanalerna vid en höjd över golv (t4 och t18).

I figur 19 redovisas sotspridningen i fall med fläktar i drift.

Tabell 8 Test med kanaler anslutna till fläkt och brand 11/300.

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
17	Fläkt (18 Pa)	Fläkt (19 Pa)	11/300	6,3
4	Fläkt (20Pa)	Fläkt(15Pa)	11/300	18,2
18	Fläkt (42 Pa)	Fläkt (40 Pa)	11/300	18,2
19	Fläkt (19 Pa)	Fläkt (20 Pa)	11/300	40,0
20	Fläkt (20 Pa)	Fläkt (20 Pa)	11/300	60,0

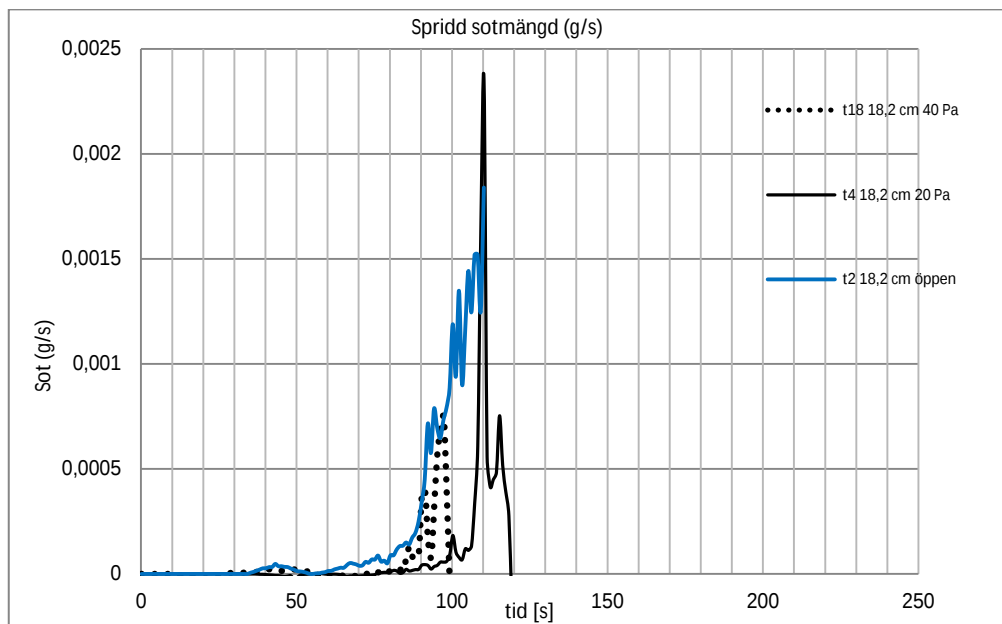


Figur 19 Test med branden 11/300, fläktar i drift.

I figur 19 visas testförloppet från brandstart för testerna t4, t17-20. I figuren redovisas det tidsförlopp då flödet är riktat ut från rummet, dvs under den tid som spridningen kan ske till andra rum som sammanbundna via tilluftskanalsystemet. I dessa fall sker detta efter ca 110-120 s. Se också tabell 8.

Den högsta sotmängden som sprids är också i denna försöksserie i det fall då tilluftskanalen är placerad på det största avståndet från golvet (t20). Den lägsta spridningen erhålls med de fall då tilluftskanalen är närmast golvet, t17, t4 och t18.

I figur 20 redovisas resultatet från tre försök med samma brand (11/300). Test t2 utfördes med öppna kanaler, t4 med ca 20 Pa och test t18 med ca 40 Pa. I figuren visas att sotspridningen med den öppna kanalen är större jämfört med fallen med fläktar i drift och tryckfall över tilluftskanalen. Observera att skalan är ändrad jämfört med figur 19.



Figur 20 Test t2, t4, t18, en brand (11/300) med två olika tryckfall över till- och frånluftskanal och ett öppet fall.

6.2.3 Sot – sammanfattning av resultat

Sotinnehållet ut från den lågt placerade tilluftskanalen är ett mått på mängden brandgaser som sprids. I dessa fall har sotinnehållet beräknats utifrån siktmätningar med den antagna ämnesspecifika konstanten $\alpha_s = 3300 \text{ m}^2/\text{kg}$ (smoke extinction coefficient).

Resultaten visar att tilluftskanals höjd över golv har stor betydelse för sothalten i de spridda brandgaserna. I alla fall, oavsett om kanalen är öppen eller fläktansluten, är den spridda sotmängden mindre desto närmare golvet kanalen är placerad. I fallet med de öppna kanalerna är skillnaden mellan spridd sotmängd med branden 11/300 liten då kanalerna är placerade närmast golvet; 18,2 cm och 6,3 cm (fullskala 36,4 cm; 12,6 cm). I dessa fall är den maximala spridda sotmängden per tidsenhet ca 2 mg/s (ca 11 mg/s i fullskala). Se figur 16. Spridningen sker i dessa fall fram tills dess branden minskar i intensitet på grund av inertering då flödet i tilluftskanalen är riktat från brandrummet. I dessa fall 100-120 sekunder efter brandstart (svarande mot 140-170 sekunder i fullskala).

Med de mindre bränderna blir det maximala värdet på den spridda sotmängden lägre.

Resultaten visar också att den spridda sotmängden blir lägre om fläktarna är i drift och ett tryckfall skapas över tilluftskanalen. I fallet då tilluftskanalen är placerad 18,2 cm ovan golv reduceras sotspridningen nästan helt med såväl 20 som 40 Pa tryckfall. I fullskala svarar detta mot höjden 36,4 cm, samt tryckfallen 40 Pa och 80 Pa.

6.3 Temperatur

Förutom sotinnehållet är också temperaturen på den luft som strömmar ut från brandrummet intressant. Nedan redovisas temperaturen i tilluftskanal (A) vid motsvarande fall som redovisats för sotinnehållet ovan.

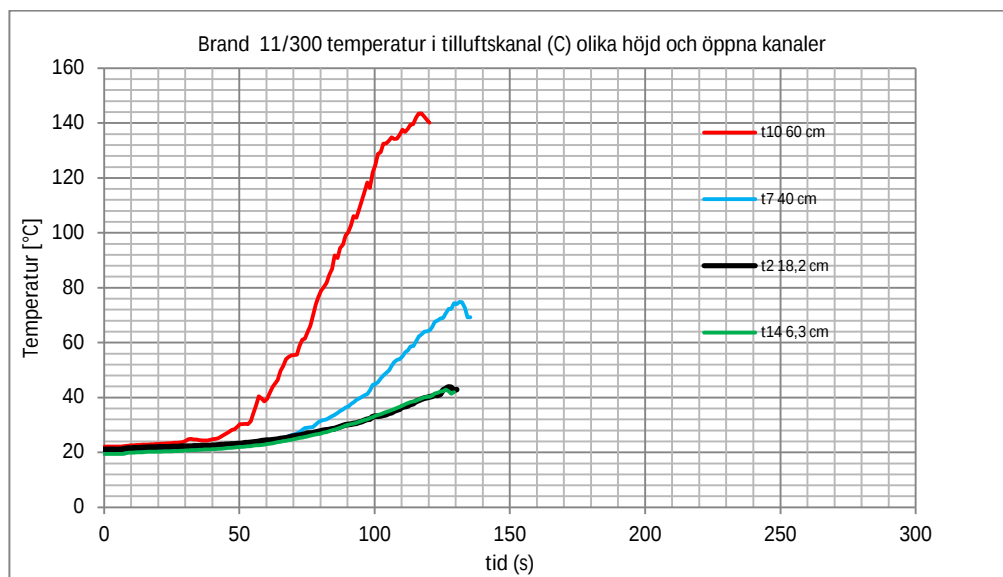
6.3.1 Öppna kanaler

I figur 21 redovisas temperaturen vid testerna t2, t7, t10, t14. (Jämför figur 16).

Tabell 9 Test med öppna kanaler och brand 11/300.

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
2	ö	ö	11/300	18,2
7	ö	ö	11/300	40,0
10	ö	ö	11/300	60,0
14	ö	ö	11/300	6,3

Temperaturhöjningen i tilluftskanalen är beroende av kanalplaceringen ovan golv.



Figur 21 Temperaturhöjning i tilluftskanal vid olika höjder med brand 11/300.

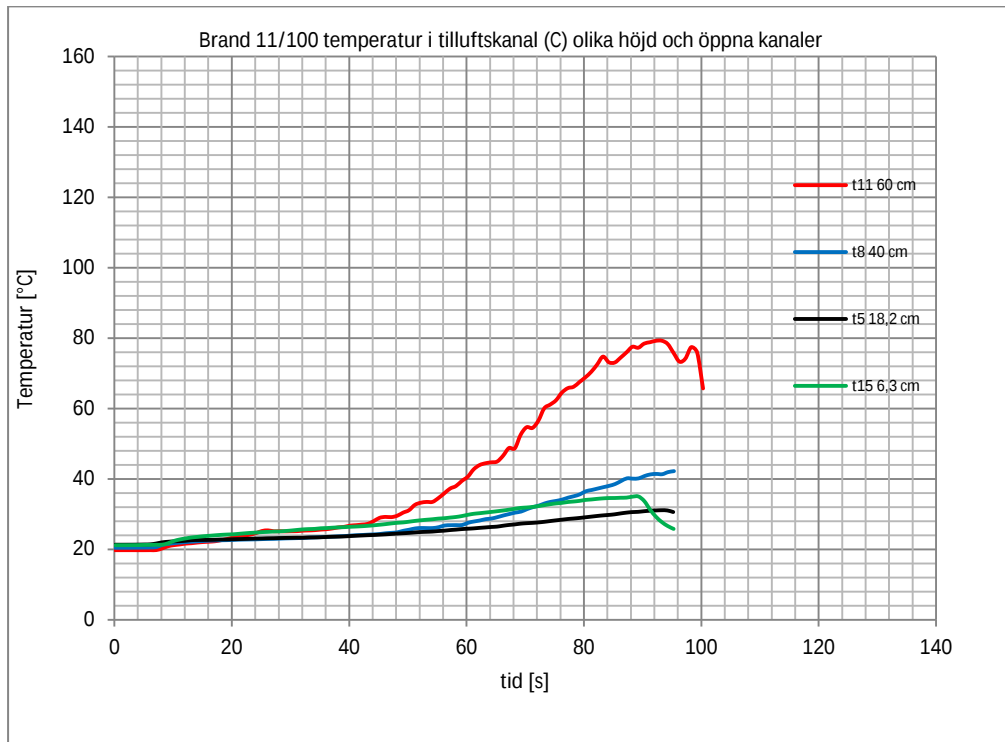
Den högsta temperaturhöjningen (en höjning till 140 °C) erhålls vid det största avståndet från golv (t10) 60 cm och de lägsta (ca 20 °C höjning) vid de tillfällen då tilluftskanalen är placerad närmare golvet.

Testerna t5, t8, t11, t15 utfördes med den mindre branden 11/100. Se tabell 10.

Tabell 10 Öppna kanaler och branden 11/100.

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
5	Ö	Ö	11/100	18,2
8	Ö	Ö	11/100	40,0
11	Ö	Ö	11/100	60,0
15	Ö	Ö	11/100	6,3

I figur 19 redovisas de resulterande temperaturerna i den öppna tilluftskanalen för de fyra testerna med den mindre branden.



Figur 22 Temperaturen i tilluftskanal med branden 11/100.

Den maximala temperaturen erhålls också i detta fall då tilluftskanalen var placerad på det största avståndet från golvet (ca 80 °C). De lägsta temperaturerna erhöles också då tilluftskanalen var placerad närmast golv 30-35°C.

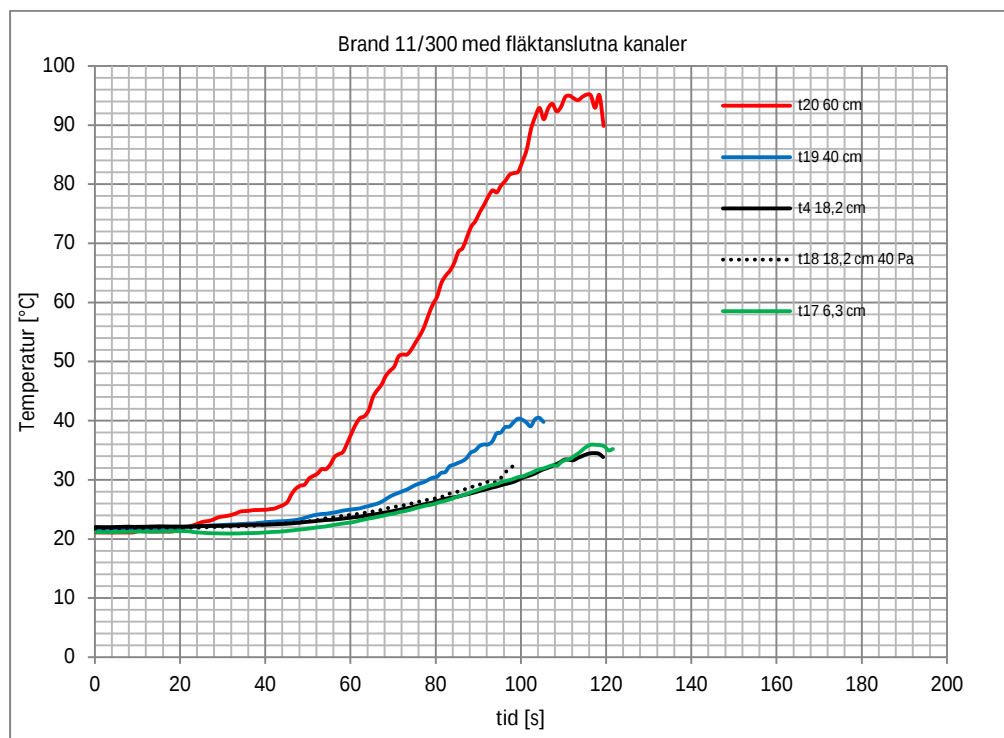
6.3.2 Fläktanslutna kanaler

Nedan redovisas de fall då fläktar var anslutna till till- och frånluftskanalerna. Se tabell 11.

Tabell 11 Modellförsök med fläktanslutning .

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
17	Fläkt (18 Pa)	Fläkt (19 Pa)	11/300	6,3
4	Fläkt (20Pa/6,2 l/s)	Fläkt(15Pa/6,9 l/s)	11/300	18,2
18	Fläkt (42 Pa)	Fläkt (40 Pa)	11/300	18,2
19	Fläkt (19 Pa)	Fläkt (20 Pa)	11/300	40,0
20	Fläkt (20 Pa)	Fläkt (20 Pa)	11/300	60,0

I figur 23 redovisas de resulterande temperaturerna i de fall då fläktarna var i drift med den större branden 11/300.



Figur 23 Temperaturen i tilluftskanal med branden 11/300 och fläkt.

Den högsta temperaturen, ca 100 °C, nås vid 60 cm ovan golvet och denna temperatur är lägre än motsvarande fall utan fläktanslutning (se figur 18), 140 °C. Den minsta temperaturökningen fås då tilluftskanalen är placerad nära golvet (6,3 och 18,2 cm).

6.3.3 Temperatur - sammanfattning av resultat

Resultatet från temperaturanalysen av de spridda luftvolymerna konfirmerar resultaten från analysen av sotet. Om tilluftskanalen är högt placerad blir den resulterande temperaturen i de spridda luftvolymerna högre jämfört med om tilluftskanalen är lågt

placerad. De högsta temperaturerna som uppnås är ca 140 °C och de lägsta ca 40 °C med den större branden 11/300 och helt öppna kanaler. I dessa fall uppmättes temperaturerna till ca 400 °C i tak i själva brandrummet. Då fläktar ansluts sjunker temperaturerna i tilluftskanalen. Motsvarande resultat erhöles med den mindre branden. Den högsta temperaturen (ca 80 °C) erhålls också i detta fall då tilluftskanalen var placerad på det största avståndet från golvet. De lägsta temperaturerna erhöles också i dessa fall då tilluftskanalen var placerad närmast golv, ca 30-35°C.

6.4 Kolmonoxid, CO

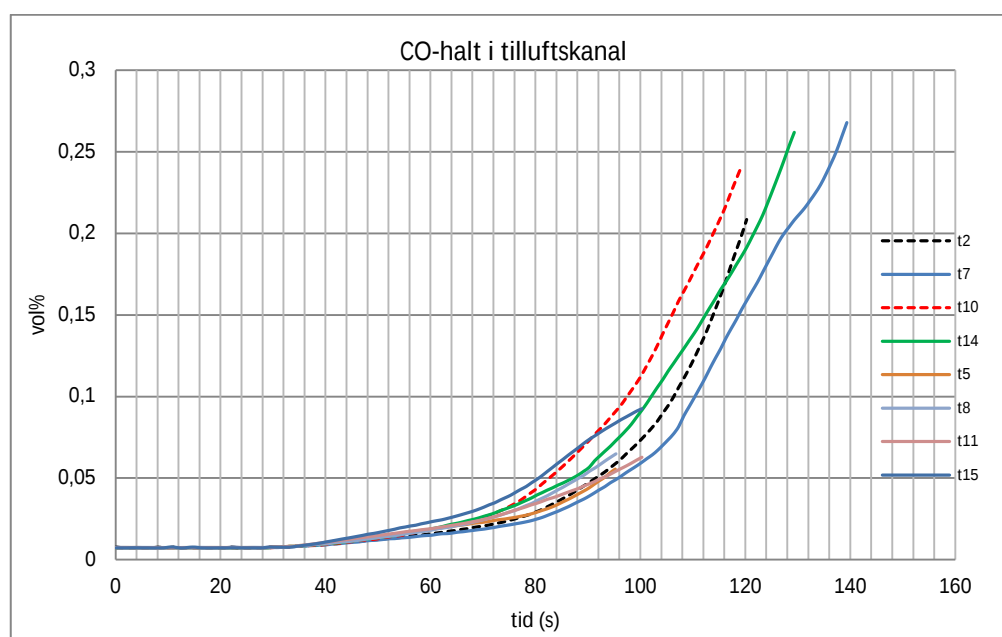
CO-koncentrationen uppmättes i tilluftskanalen. Nedan redovisas fallen med öppna kanaler, se tabell 12.

I figur 24 redovisas CO vid testerna t2, t7, t10, t14 som är de öppna fallen och t5, t8, t11, t15 som är test med fläktanslutningar.

Tabell 12 Test med öppna kanaler och bränderna 11/300 och 11/100.

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
2	ö	ö	11/300	18,2
7	ö	ö	11/300	40,0
10	ö	ö	11/300	60,0
14	ö	ö	11/300	6,3
5	ö	ö	11/100	18,2
8	ö	ö	11/100	40,0
11	ö	ö	11/100	60,0
15	ö	ö	11/100	6,3

De maximala uppmätta koncentrationerna i tilluftskanalen som uppnås under spridningstiden är ca 0,2-0,25 volymprocent i dessa försök. Värdena svarar mot den större branden 11/300.



Figur 24 Kolmonoxidhalt i tilluftskanal t2, t7, t10, t14 och t5, t8, t11, t15. Se också tabell 12.

Kolmonoxidhalterna är lägre för den mindre branden 11/100 med de högsta värdena ca 0,05-0,1 vol% beroende på placering av tilluftskanalen.

Resultaten visar att de spridda brandgaserna med de öppna kanalerna maximalt når ca 0,25 vol% CO. Den resulterande kolmonoxidhalten i en mottagande volym kan beräknas via de i tilluftskanalen uppmätta halterna, volymflödet och spridningstiden.

7 Diskussion och resultat

I rapporten redovisas modellskaleförsök av det inledande skedet för en rumsbrand med lågt placerade tilluftsdon. Metoden har föreslagits i litteraturen utan någon validering genom praktiska försök. Syftet var att ta första steget och genom modellskaleförsök studera brandgasspridningen vid olika fall men också att studera innehållet i de brandgaser som sprids. Detta gjordes genom att mäta sotinnehåll, temperatur och kolmonoxidhalter vid olika brandfall.

De utförda försöken ska betraktas som inledande och bör valideras med fullskaleförsök innan allmängiltiga generella slutsatser kan fastställas.

Modellskaleförsöken visar att i det inledande skedet av en brand kommer brandeffekten, tryckuppbyggnaden, brandflödet och brandgasspridningen att avgöras av syrenivån och en eventuell fönsterkollaps.

Den tid då flödet är utåtriktat från brandrummet var i testerna ca 2 minuter.

Sotinnehållet i de spridda luftvolymerna är en intressant parameter för att beskriva sammansättningen på brandgaserna. Utifrån lasermätningarna beräknades den relativa intensiteten. I resultaten redovisas den spridda sotmängden per tidsenhet under den tid då flödet i tilluftskanalen är utåtriktat från rummet, det vill säga under den tid brandgasspridningen sker. Sotmassflödet $\dot{m}_s$ (kg/s) beräknades via masskoncentrationen C_s och volymflödet $\dot{V}_t$ med den ämnesspecifika konstanten α_s (smoke extinction coefficient) antagen till $\alpha_s = 3300 \text{ m}^2/\text{kg}$.

Vid en jämförelse med den större branden 11/300 som motsvarar en så kallad fast-brand visade modellförsöken att den största sotmängden spreds i de test där tilluftskanalen var placerad på det största avståndet från golvet (60 cm). Den minsta sotmängden spreds när tilluftskanalen var placerad närmast golvet (18,2 cm och 6,3 cm). Skillnaden i den maximala spridda sotmängd mellan dessa två test var liten. De största spridda sotmassflödena varierar i försöken mellan ca 2-20 mg/s. Resultaten visar också att den spridda sotmängden blir lägre om fläktarna är i drift och ett tryckfall skapas över tilluftskanalen.

Resultatet från temperaturanalysen av de spridda luftvolymerna konfirmerar resultaten från analysen av sotet. När tilluftskanalen är placerad på stora avstånd från golvnivå har de spridda luftvolymerna högre temperaturer jämfört med då den är placerad nära golv. De högsta temperaturerna som uppnås är ca 140 °C och de lägsta ca 40 °C med den större branden 11/300 och helt öppna kanaler. I dessa fall uppmättes temperaturerna till ca 400 °C i själva brandrummet. De lägsta temperaturerna erhöles också i dessa fall då tilluftskanalen var placerad närmast golv ca 30-35°C.

Ca 0,2-0,25 volymprocent kolmonoxid uppmättes i tilluftskanalen under spridningstiden med den större fast-branden. Dessa värden är alltså inte de resulterande värdena i det anslutande rummet, utan i kanalen.

I ett fall med öppna kanaler och tilluftsdonen placerade 6,3 cm och den större branden 11/300 (fast-branden, test t14) är spridningstiden ca 130 s, medelvärdet på den spridda sotmängden ca 0,33 mg/s och ger ca 43 mg spridd sot. Detta svarar mot $2^3 \cdot 43 \cdot 10^{-3} = 0,34 \text{ g}$ i fullskala. I ett teoretiskt fall kan via den spridda sotmängden t.ex. sikt beräknas i de volymer som brandgaserna sprids till.

Resultatet av modellförsöken visade att branden relativt snabbt självslocknade. Spridningstiden, dvs. den tid då brandflödet är utåtriktat från brandrummet var i försöken relativt kort (ca 2-3 minuter). Efter detta tidsspann hade branden gått ner i effekt och flödet i tilluftskanalen var riktad in mot brandrummet. Försöken visade att tilluftsdonens höjd har stor betydelse för brandgasspridningen via tilluftskanalen. Ju lägre placering desto mindre spridning av värme och sot. Med fläktanslutna kanaler minskades också sot- och temperaturspridningen.

8 Slutsats

Det inledande brandskedet med kraftig tryckuppbyggnad har studerats via modellskaleförsök. I modellskaleförsöken innebär de lågt placerade tilluftsdonen att mindre mängder varma och sotiga brandgaser sprids via tilluftssystemet. Försöken visar att branden relativt snabbt avtar då brandgaslagret når branden. Minsta mängder sot och de lägsta temperaturerna uppmättes då överkanten på tilluftsdonet var placerat på höjderna 6,3 och 18,2 cm ovan golv (svarande mot 12,6 och 36,4 cm i fullskala). Spridningstiderna var relativt korta innan branden avtog ca 2 minuter (ca 3 minuter i fullskala). Fläktar i drift och höga tryckfall över don förbättrar situationen.

Resultaten bör användas med försiktighet innan ytterligare studier, t.ex. fullskaleförsök, konfirmerat resultaten.

9 Fortsatt arbete

De inledande modellskaleförsöken visar på goda resultat avseende den föreslagna metoden med lågt placerade tilluftsdon. Men dessa försök bör följas upp med fullskaleförsök med komfortventilationssystem installerade.

Det studerade fallet är ett utfall av det inledande brandskedet; det fall då brandrummet är slutet, branden blir ventilationskontrollerad och avtar. Som redan nämnts kan också fönster i brandrummet kollapsa. Det saknas studier inom detta område och en eventuell fönsterkollaps påverkar brandförloppet. Ytterligare fördjupning bör ske avseende tillväxthastigheter och rumsvolymers påverkan.

Även sprinklerpåverkan på brandförloppet och sotspridning bör utredas. Det saknas idag studier avseende sprinklers påverkan på sotinnehåll. De delar i Boverkets byggregler som berör skydd mot brandgasspridning via ventilationssystemet saknar idag tillåtna riktvärden avseende kvalitén på brandgaser. Detta bör vidareutvecklas för att optimerade säkra brandskyddslösningar ska kunna användas.

10 Referenser

- [1] Backvik, B., Fagergren, T., Jensen, L. (2008), *Installationsbrandskydd*, ISBN 978-91-633-1723-1.
- [2] Hägglund, B., Nireus, K., Werling, P. (1996) "Pressure rise due to fire growth rate in a closed room", ISSN 1104-9154.
- [3] Ingason, H., *Model scale tunnel tests with water spray*. Fire Safety Journal, 2008. 43(7): p. pp 512-528.
- [4] Ingason, H., *Model Scale Railcar Fire Tests*. Fire Safety Journal, 2007. 42(4): p. 271-282.
- [5] Ingason, H. and Y.Z. Li, *Model Scale Tunnel Fire Tests with longitudinal ventilation*. Fire Safety Journal, 2010, (Submitted 17th of February).
- [6] Jensen, L., *Dimensionering av utspädning för skydd mot brandgasspridning*. TVIT 7056, LTH, 2010.
- [7] Hägglund, B. (1986), *Simulation fires in natural and forced ventilated enclosures*, FOA-report C 20637-2.4, ISSN 0347-3694.
- [8] 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.
- [9] J.G. Quintiere, Scaling applications in fire research, Fire Safety Journal 15 (1989) 3–29.
- [10] N. Saito, T. Yamada, A. Sekizawa, E. Yanai, Y. Watanabe, S. Miyazaki Experimental study on fire behavior in a wind tunnel with a reduced scale model: Proceedings of the Second International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Granada, Spain, 3-6 April 1995, pp. 303-310.
- [11] Heskestad G., Physical modeling of fire, Journal of Fire & Flammability 6 (1975) 253–273.
- [12] Bengtsson, Lars-Göran , *Inomhusbrand*, , Räddningsverket 2001 ISBN 91-7253-103-7.
- [13] Drysdale.D, Paperback , *An Introduction to Fire Dynamics*, ISBN : 978-0-470-31903-1.
- [14] 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.
- [15] Boverkets Byggregler, BFS 2014:3 - BBR 21, www.boverket.se.
- [16] Byggproduktförordningen, <http://eur-lex.europa.eu>, se också www.boverket.se.
- [17] Boverkets ändring av verkets allmänna råd (2011:27) om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BFS 2013:12 - BBRAD 3, www.boverket.se.
- [18] B. Karlsson, J.G. Quintiere, *Enclosure fire dynamics*, ISBN: 0-8493-1300-7.

Bilagor – diagram

Rumsbrand med lågt placerade ventilationsdon – modellskaleförsök

I diagrammen nedan redovisas den ojusterade och den justerade optiska densiteten för varje test (a). I diagram (b) redovisas den spridda sotmängden (med antaganden enligt rapport). Diagram (c) redovisar den uppmätta temperaturen i tilluftskanalen under spridningsförloppet. Diagram (d) redovisar det uppmätta flödet i tilluftskanalen, i detta diagram representerar det negativa flödet det flöde som sprids ut från tilluftskanalen under spridningsförloppet.

Test 1

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
1	ö	ö	9/100	18,2

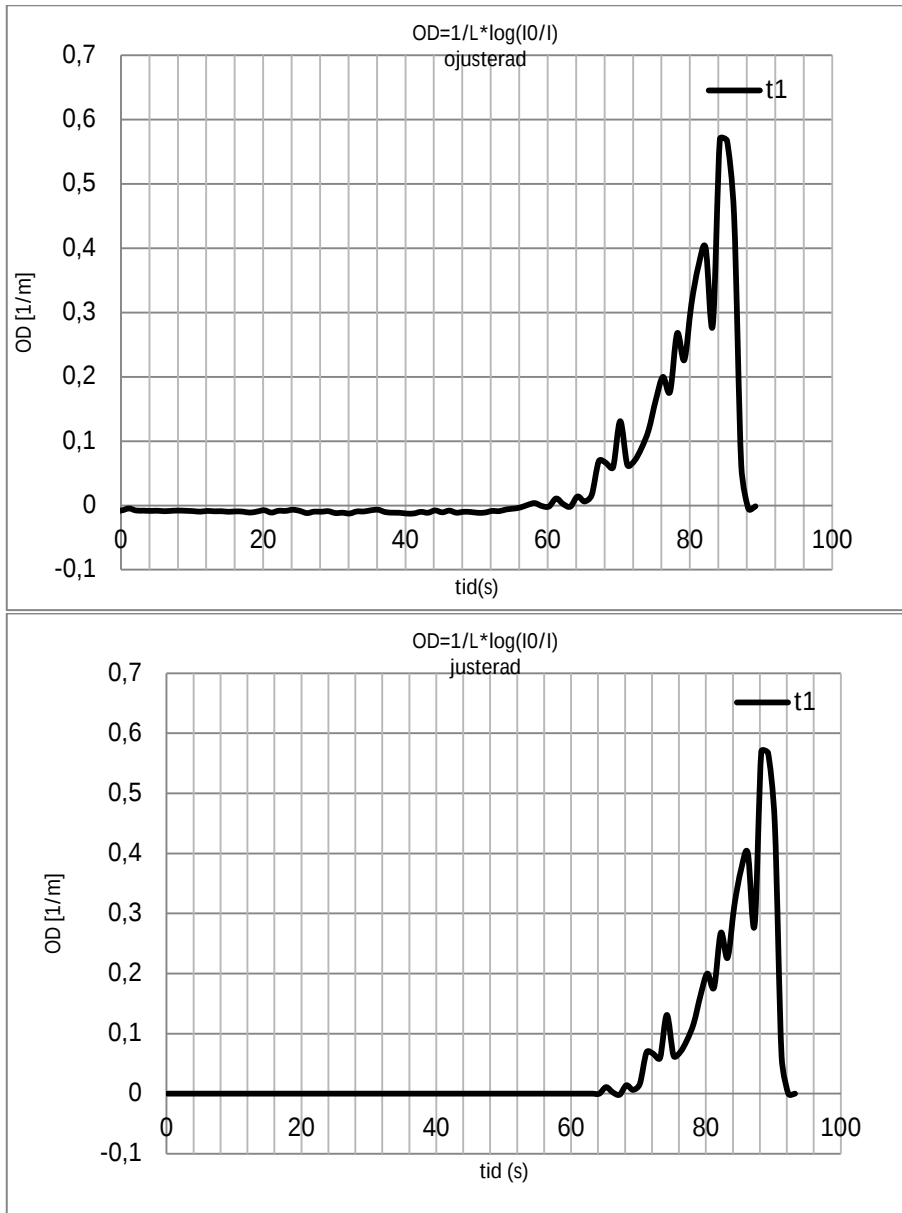


Diagram 1a. Test 1. Ojusterad och justerad OD

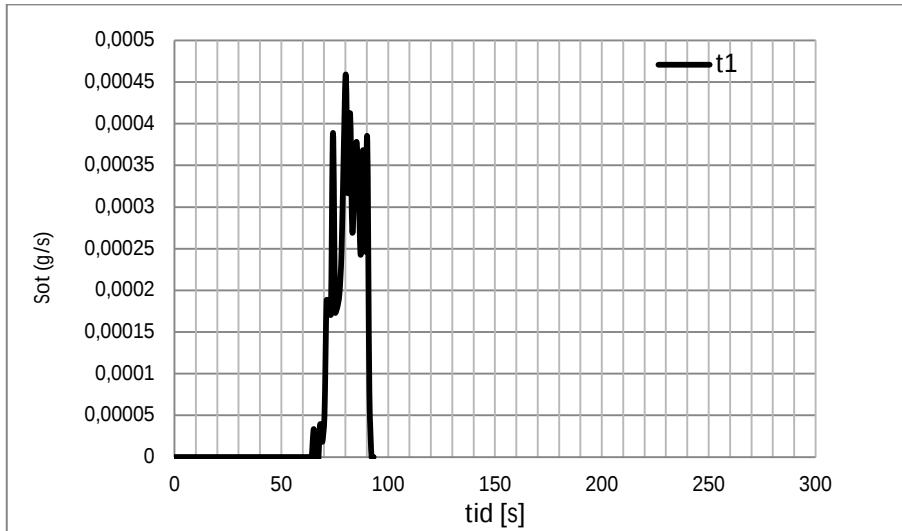


Diagram 1b. Test 1. Spridd sotmängd per sekund

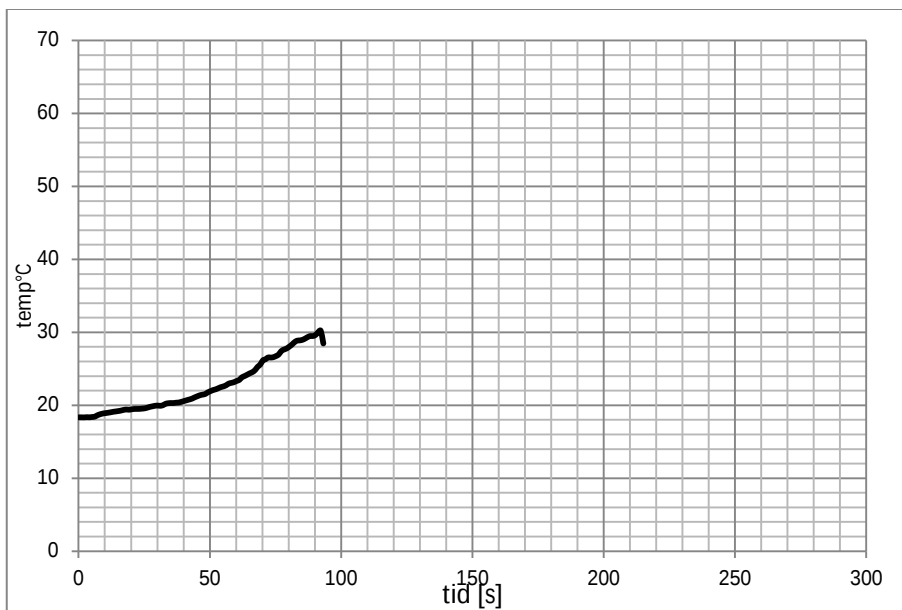


Diagram 1c. Test 1. Temperatur i tilluftskanal

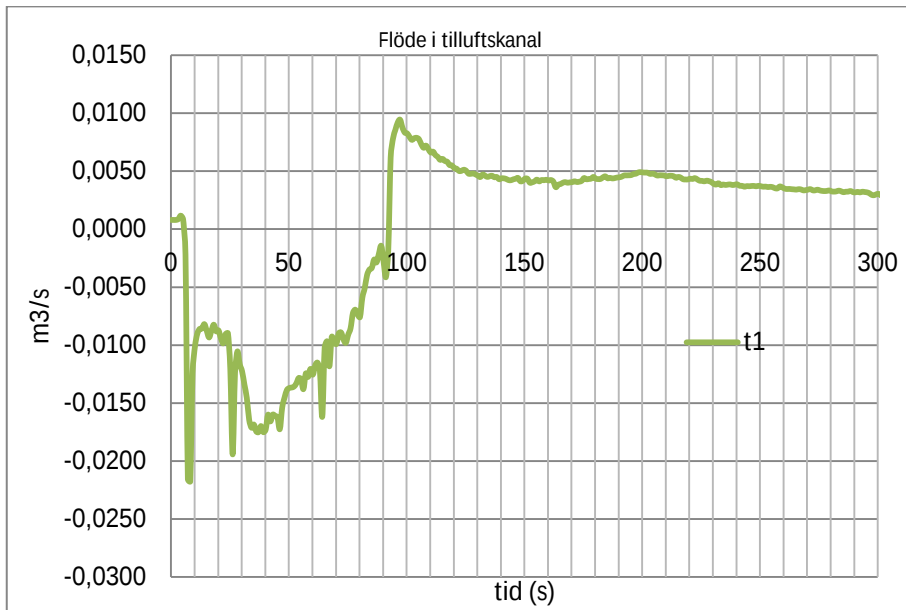


Diagram 1d. Test 1. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 2

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
2	ö	ö	11/300	18,2

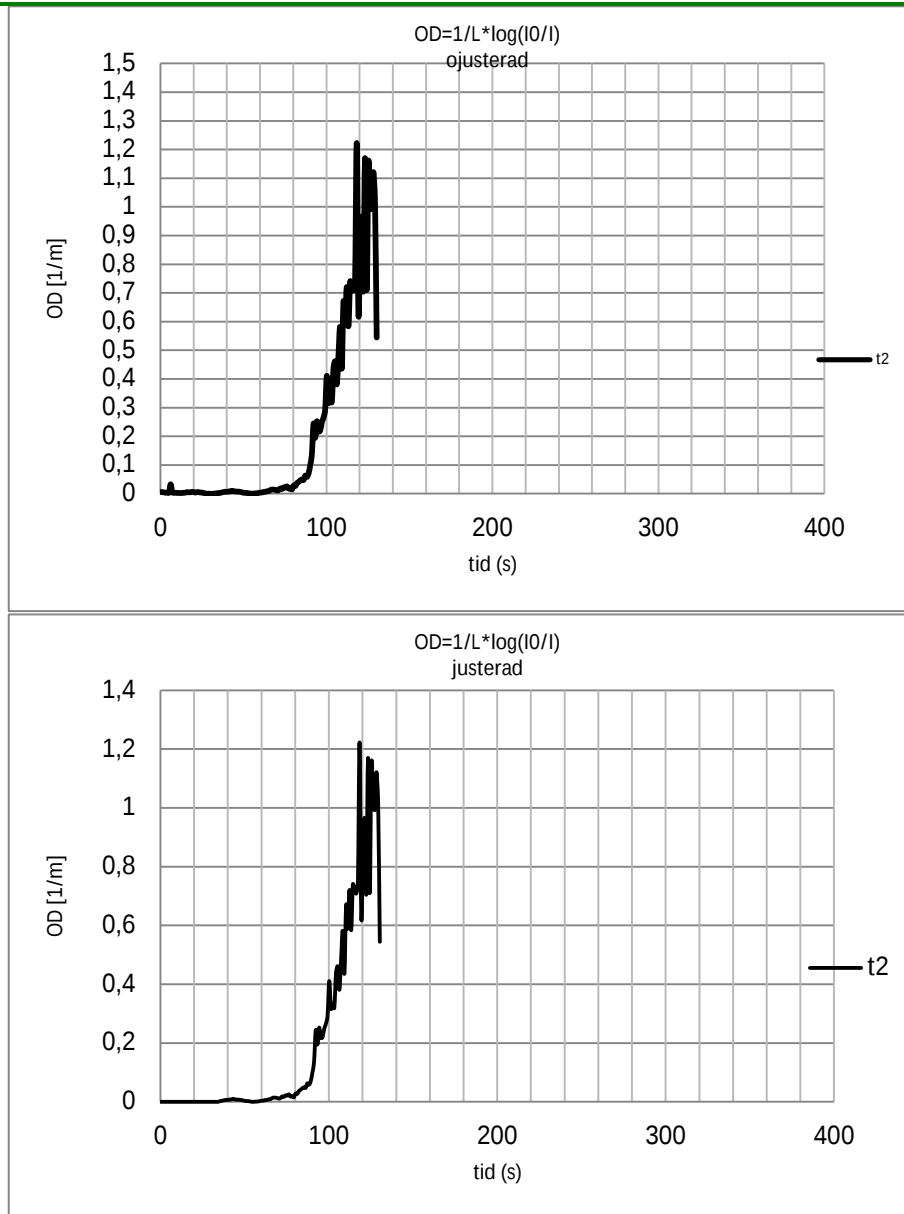


Diagram 2a. Test 2. Ojusterad och justerad OD

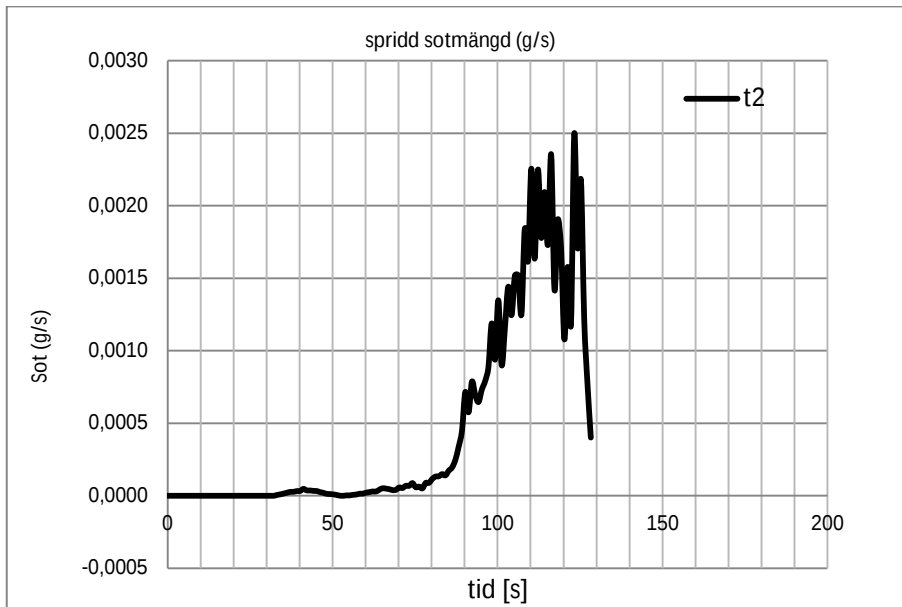


Diagram 2b. Test 2. Spridd sotmängd per sekund

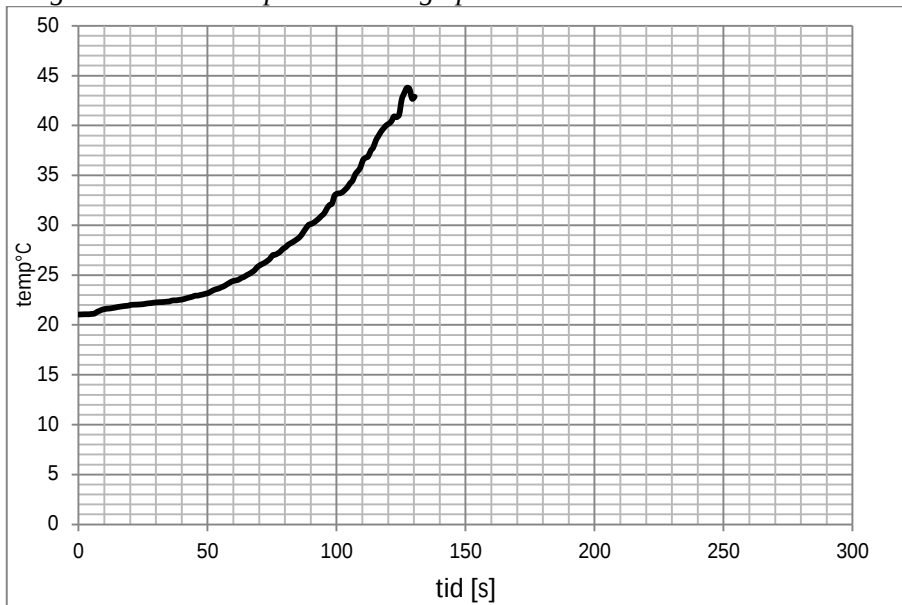


Diagram 2c. Test 2. Temperatur i tilluftskanal

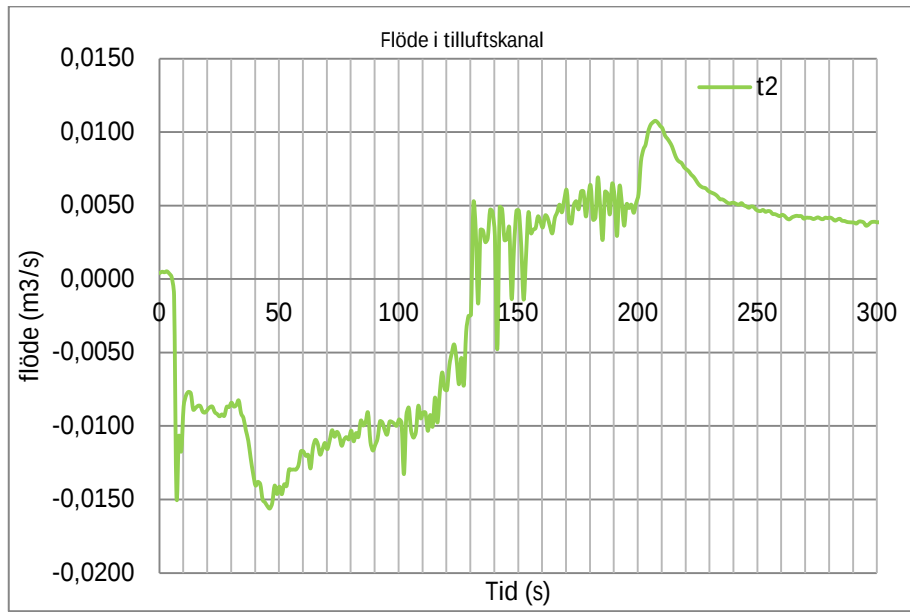


Diagram 2d. Test 2. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 3

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
3	ö	s	11/300	18,2

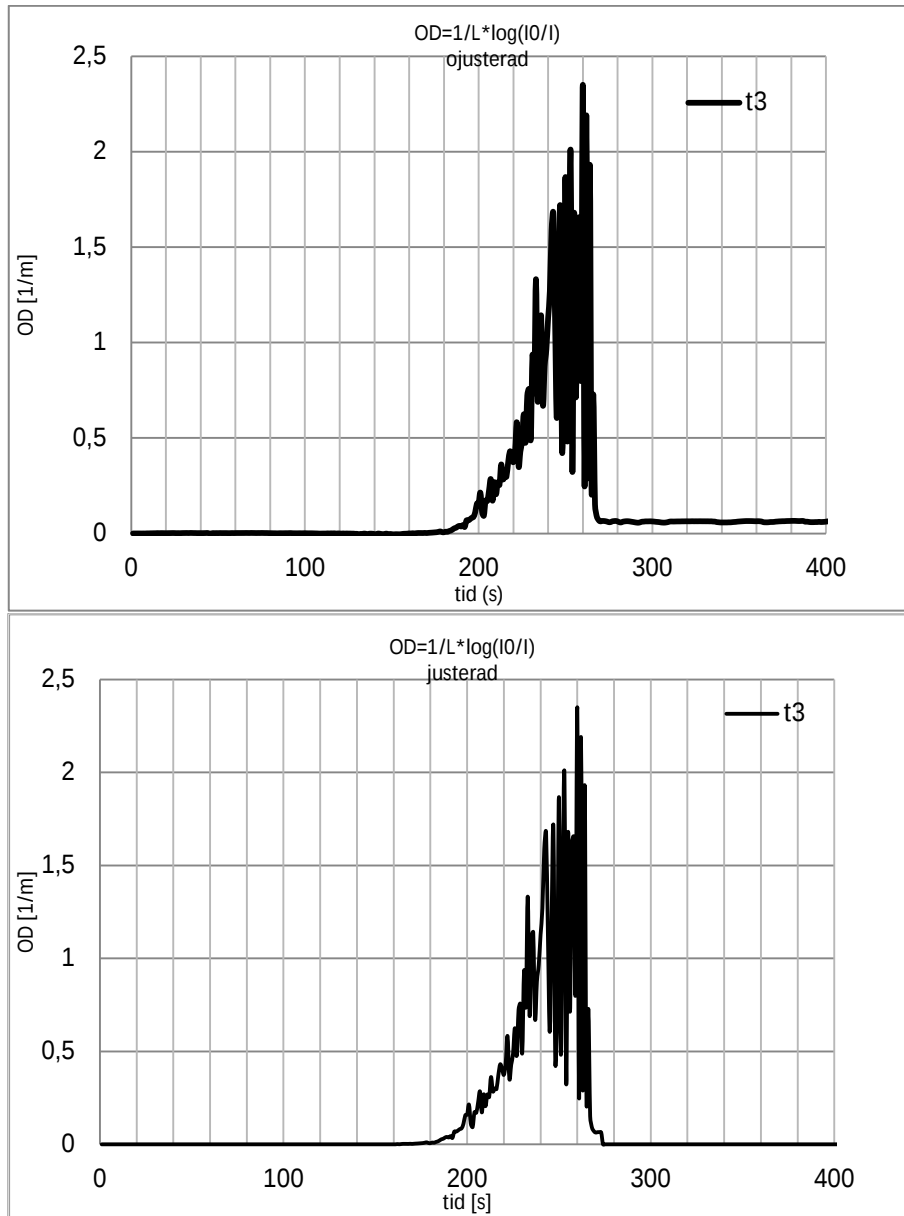


Diagram 3a. Test 3. Ojusterad och justerad OD

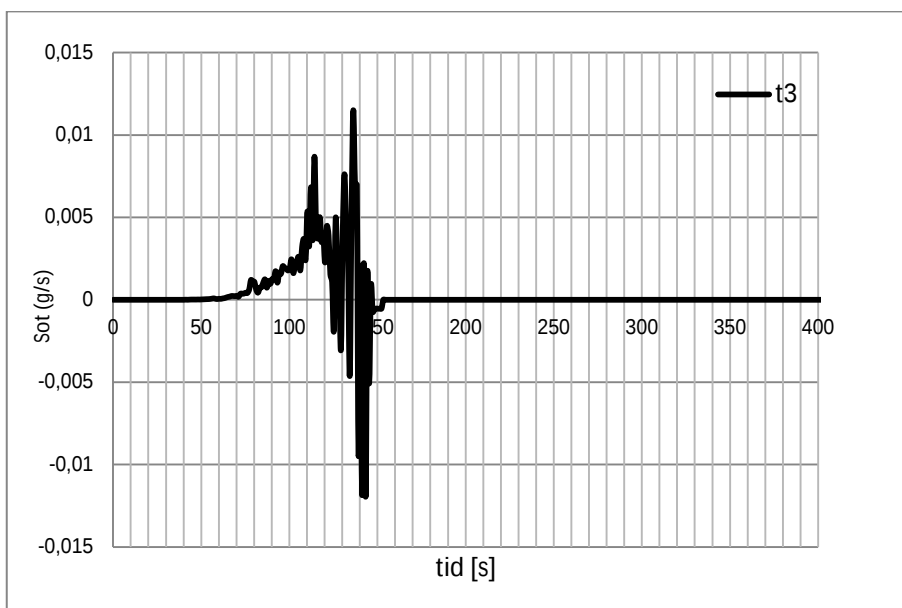


Diagram 3b. Test 3. Spridd sotmängd per sekund

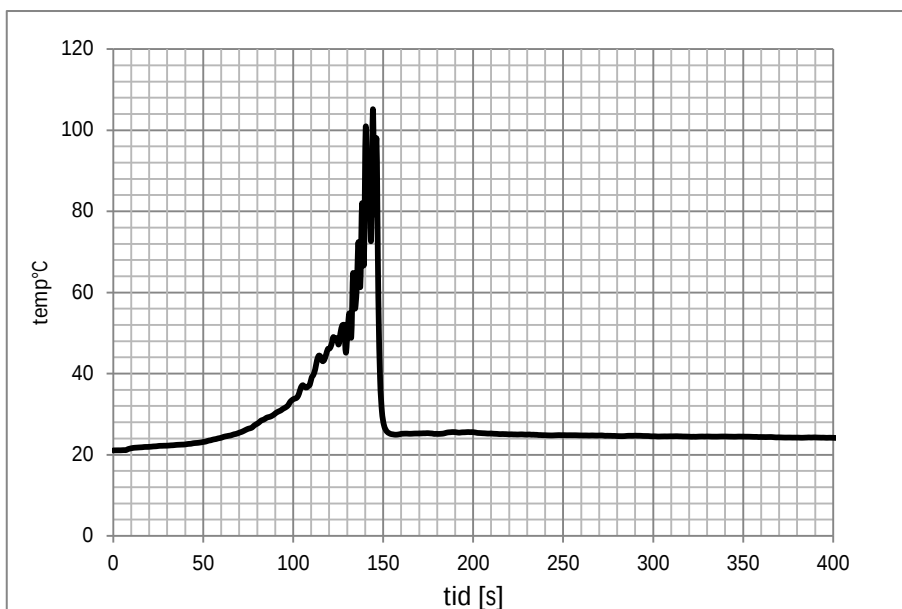


Diagram 3c. Test 3. Temperatur i tilluftskanal

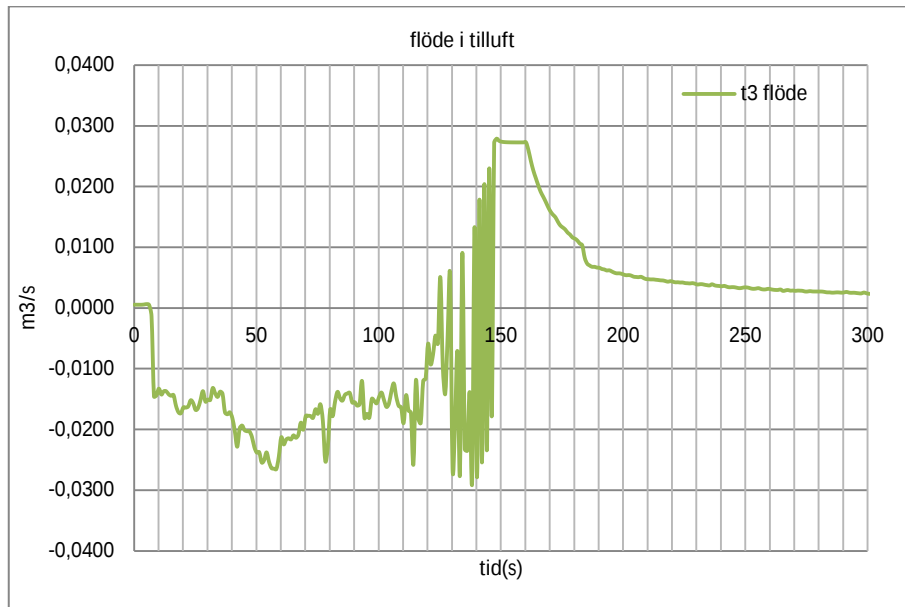


Diagram 3d. Test 3. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 4

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
4	Fläkt (20Pa/6,2 l/s)	Fläkt(15Pa/6,9 l/s)	11/300	18,2

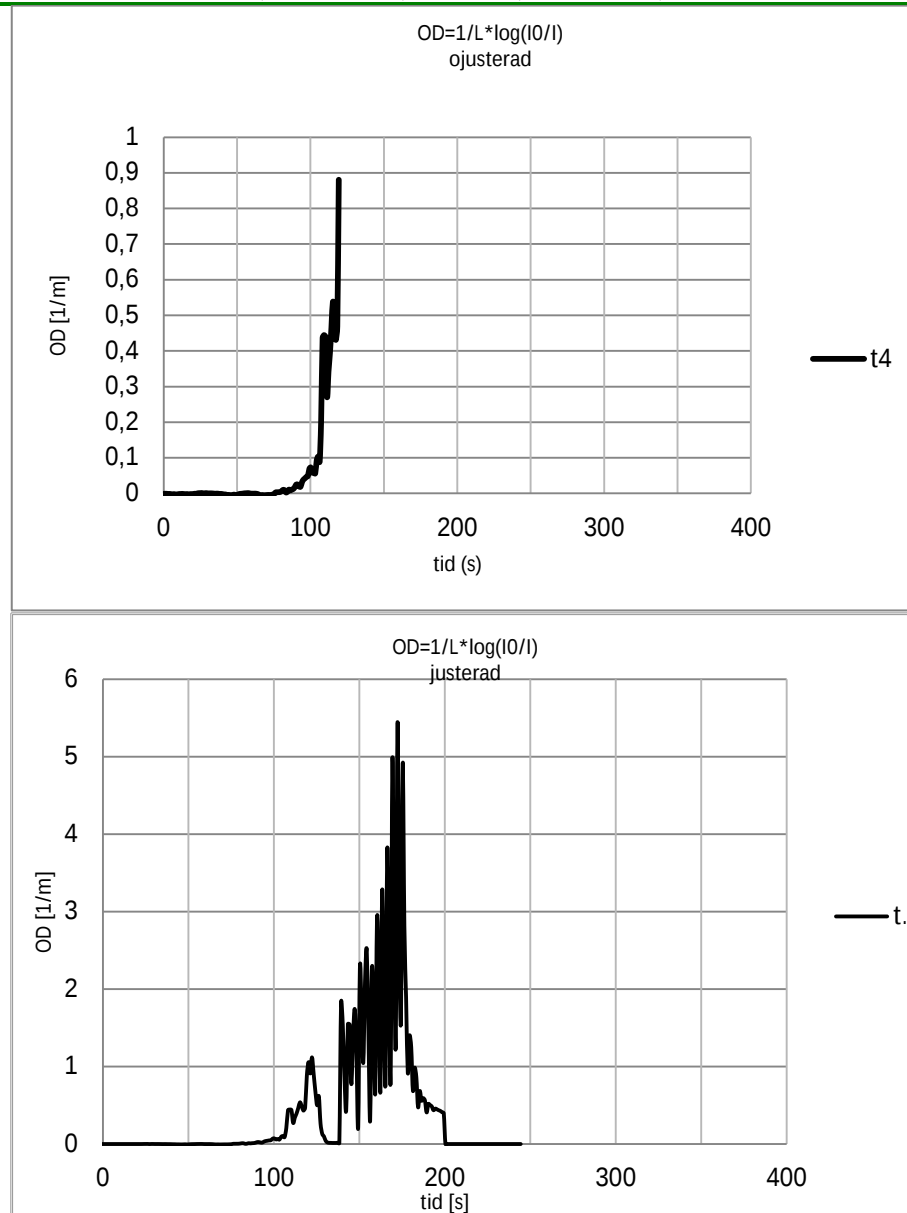


Diagram 4a. Test 4. Ojusterad och justerad OD

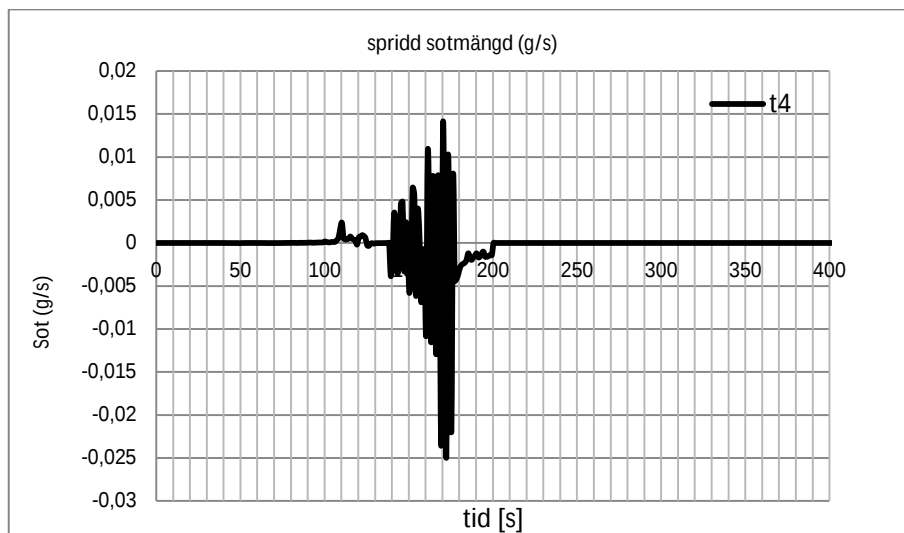


Diagram 4b. Test 4. Spridd sotmängd per sekund

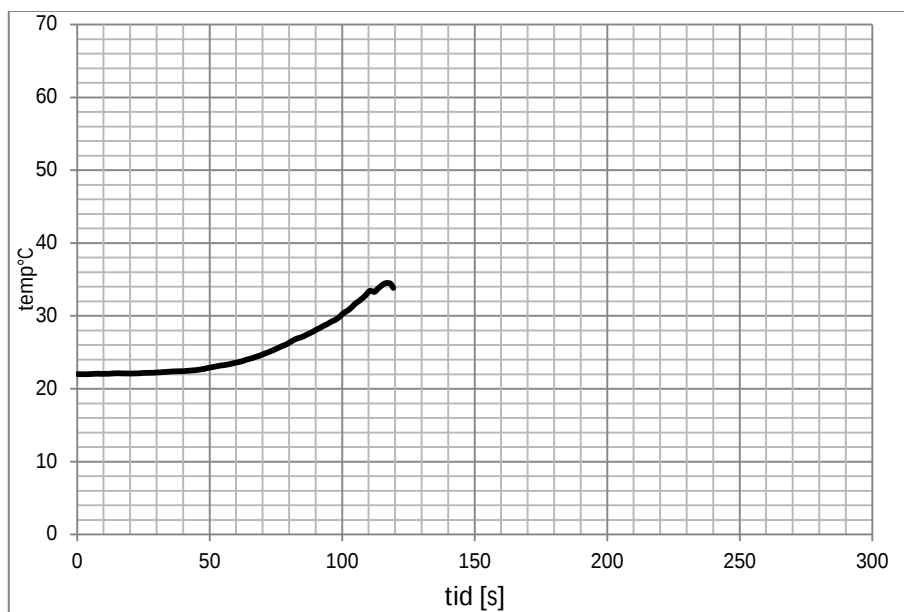


Diagram 4c. Test 4. Temperatur i tilluftskanal

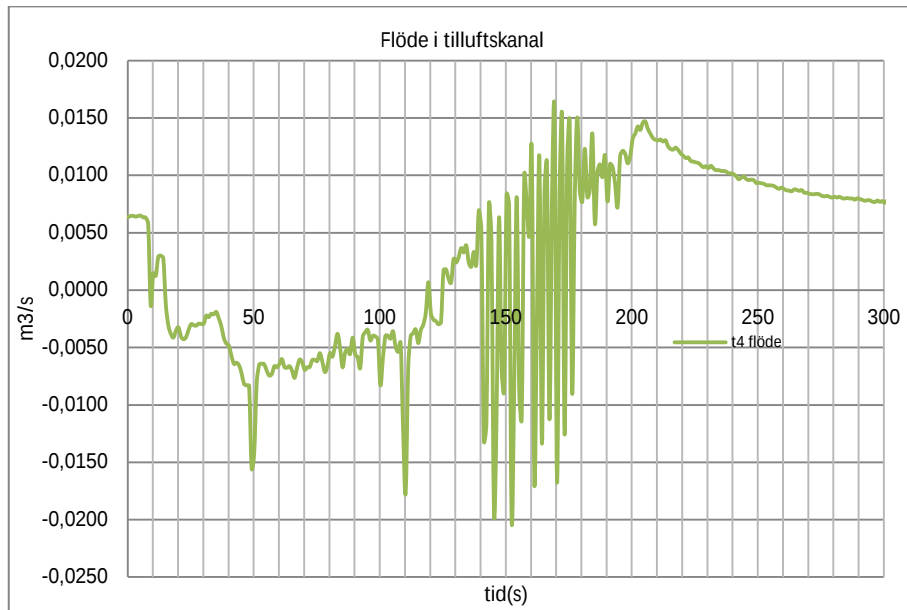


Diagram 4d. Test 4. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 5

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
5	Ö	ö	11/100	18,2

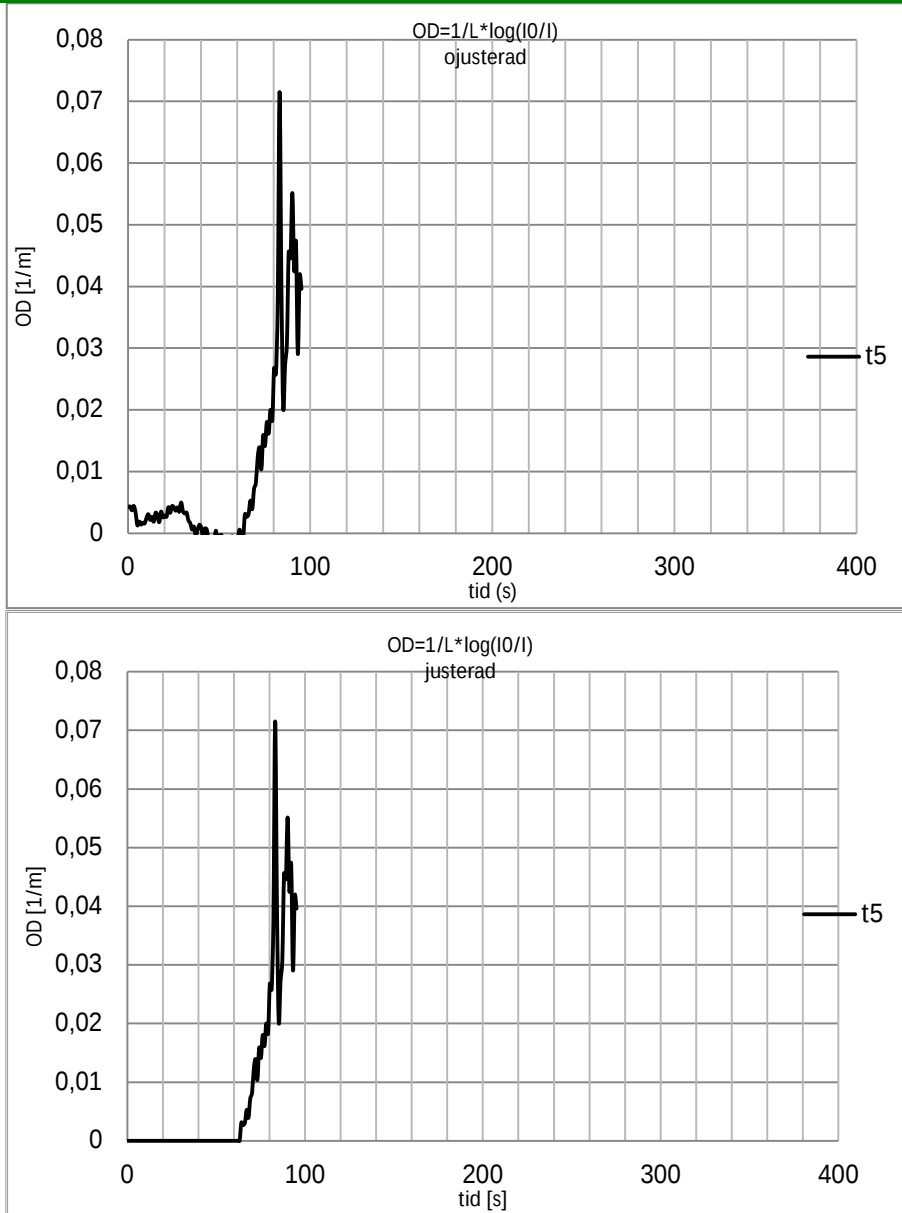


Diagram 5a. Test 5. Ojusterad och justerad OD

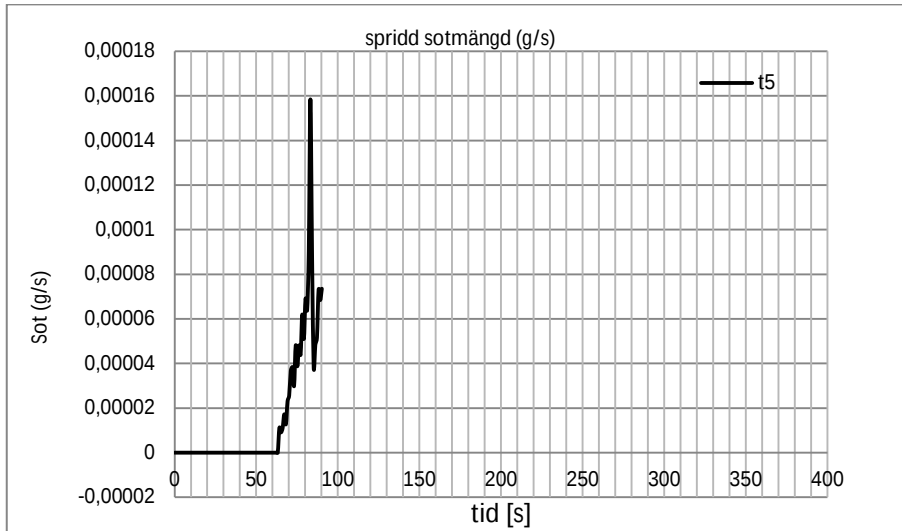


Diagram 5b. Test 5. Spridd sotmängd per sekund

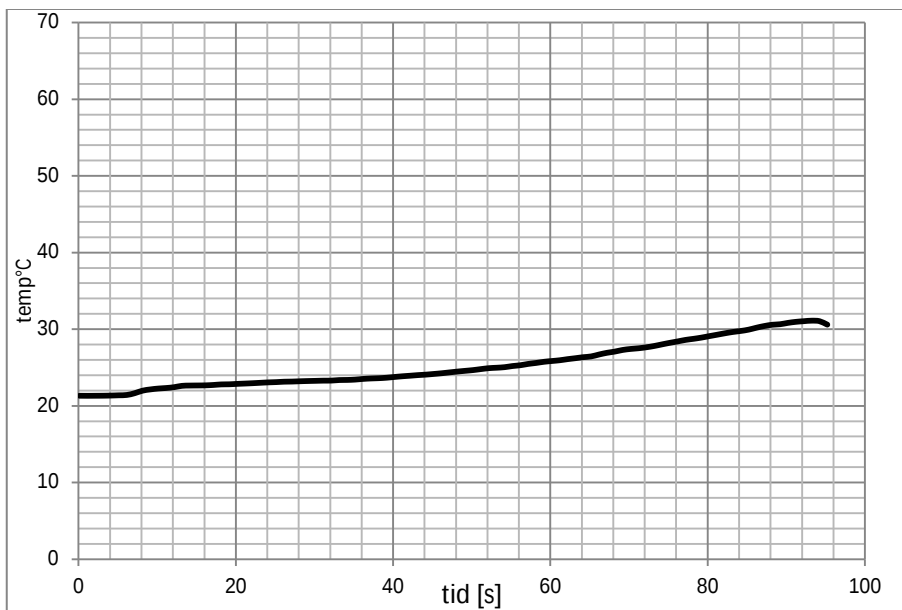


Diagram 5c. Test 5. Temperatur i tilluftskanal

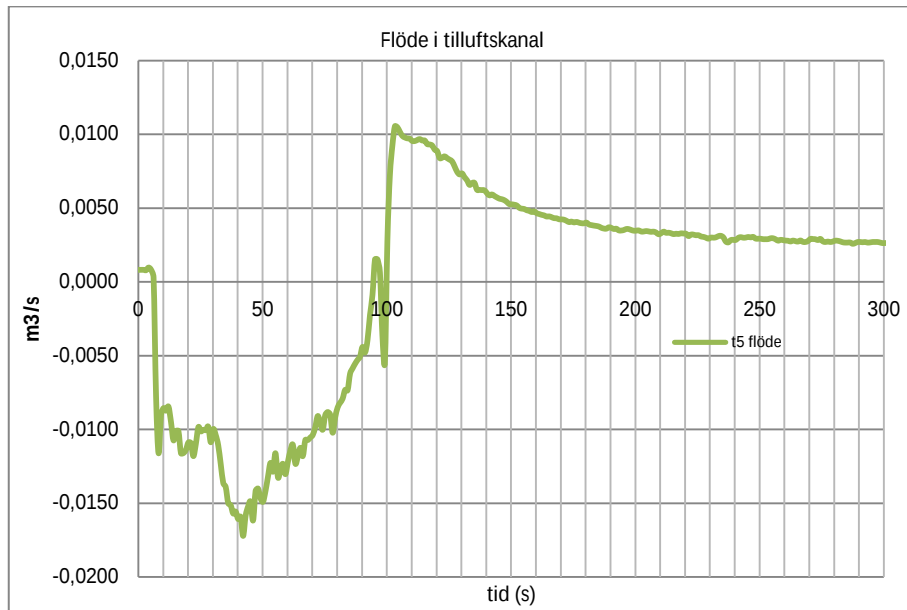


Diagram 5d. Test 5. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 6

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
6	ö	ö	11/200	18,2

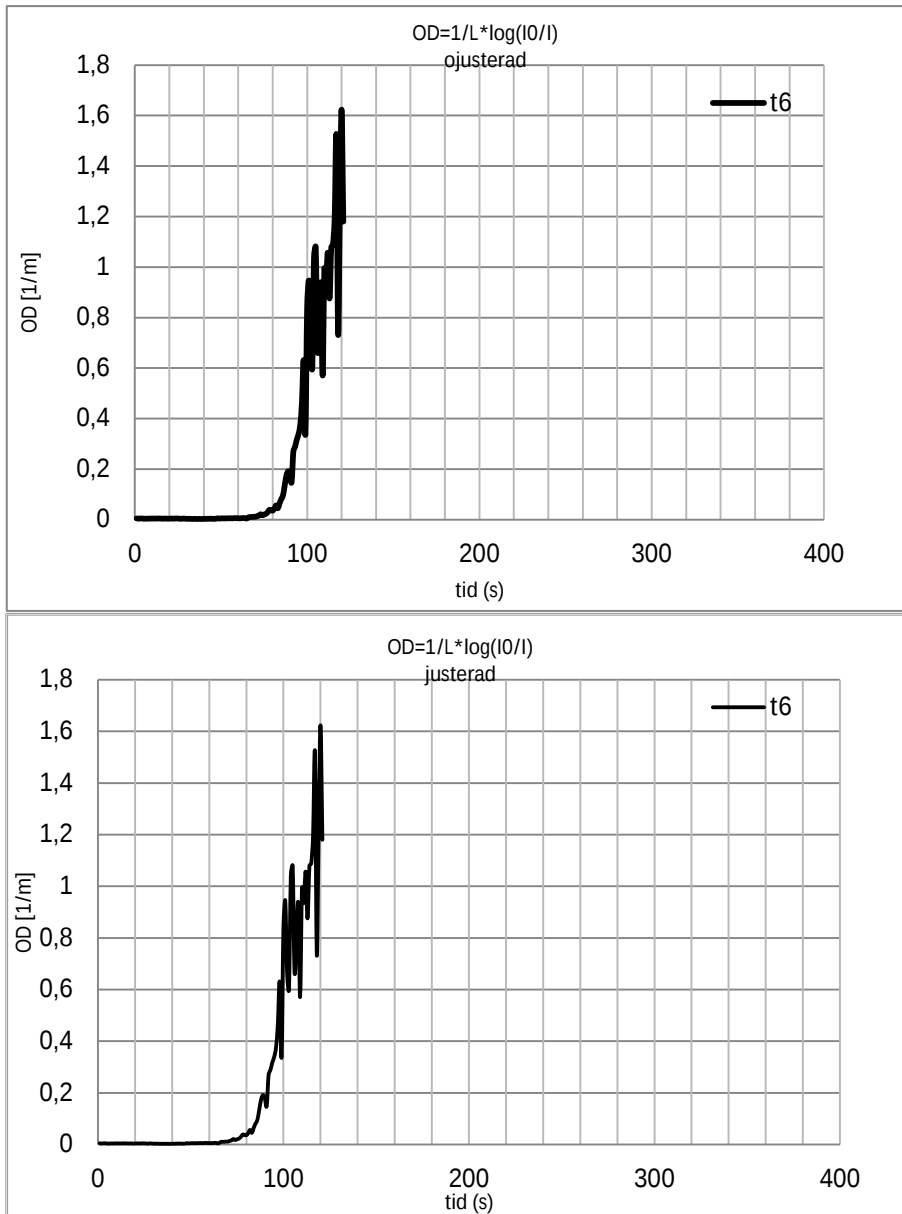


Diagram 6a. Test 6. Ojusterad och justerad OD

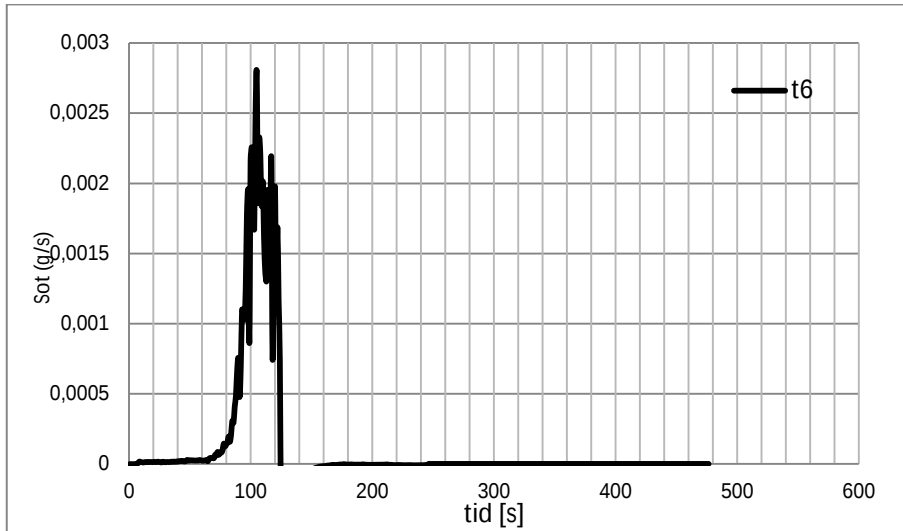


Diagram 6b. Test 6. Spridd sotmängd per sekund

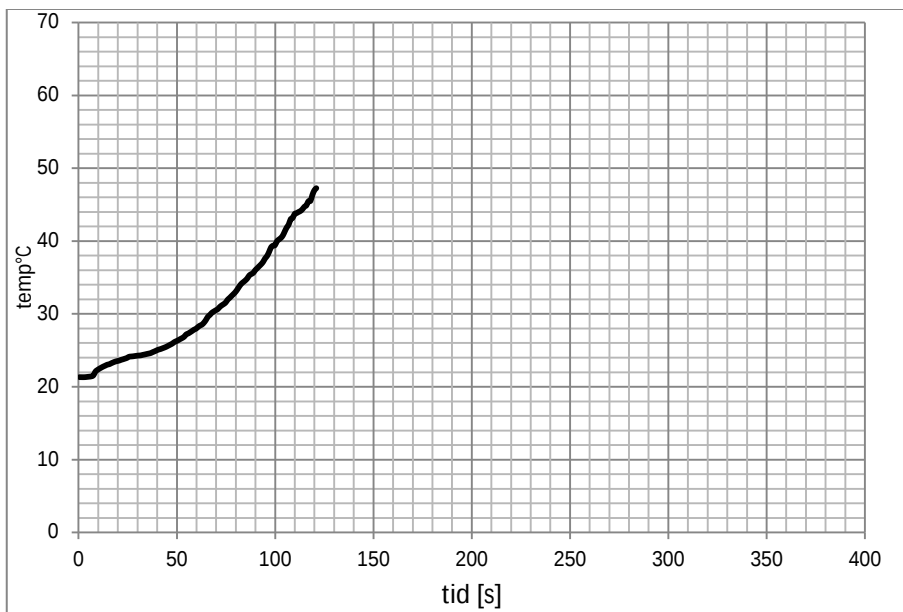


Diagram 6c. Test 6. Temperatur i tilluftskanal

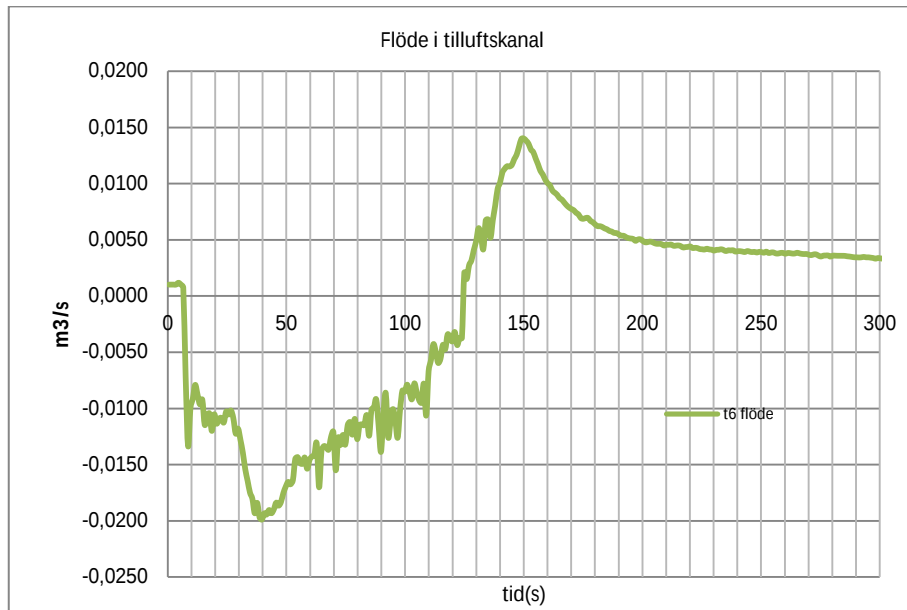


Diagram 6d. Test 6. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 7

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
7	ö	ö	11/300	40,0

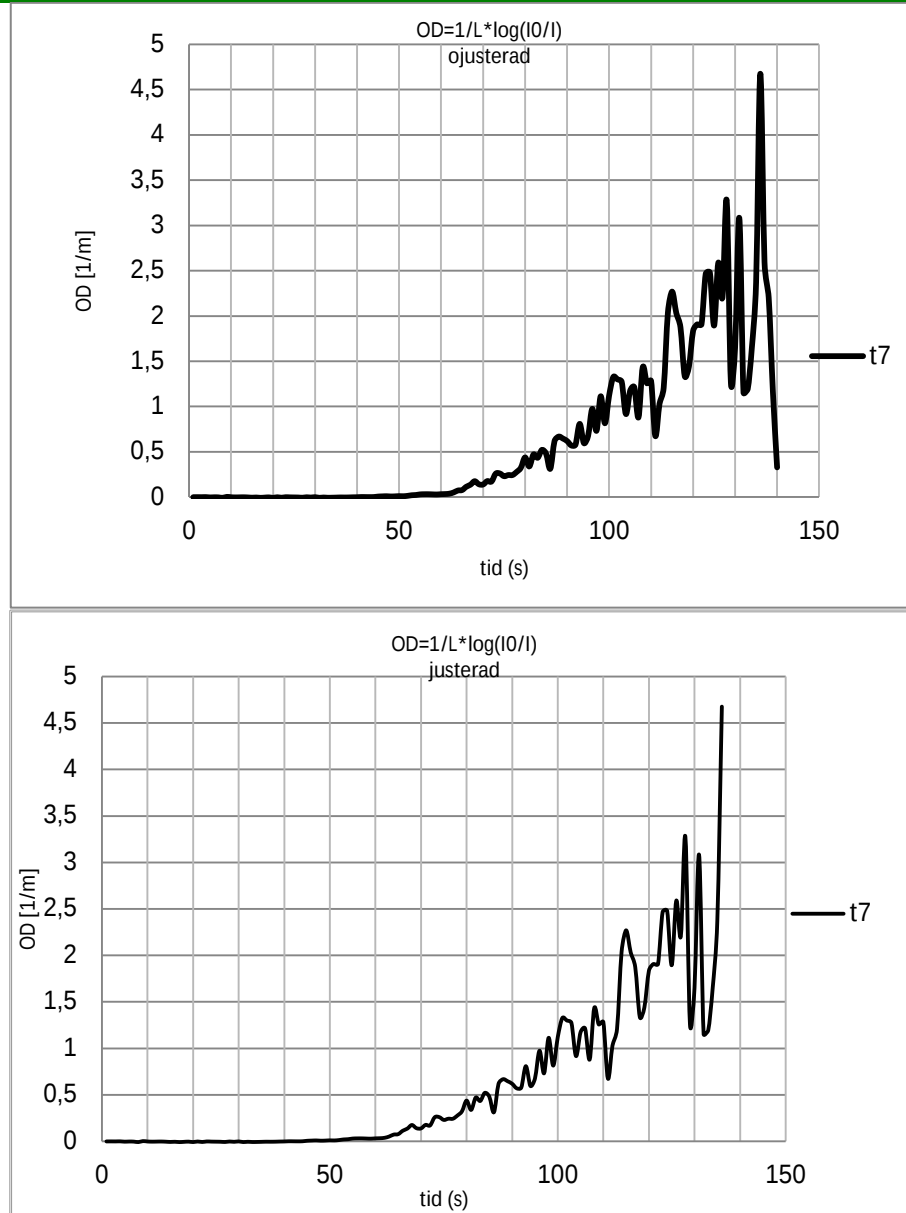
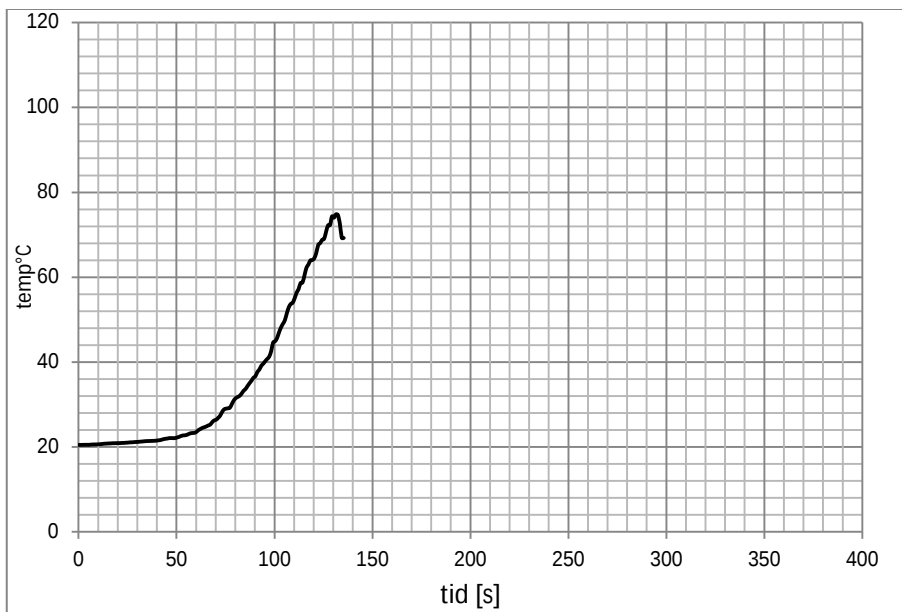
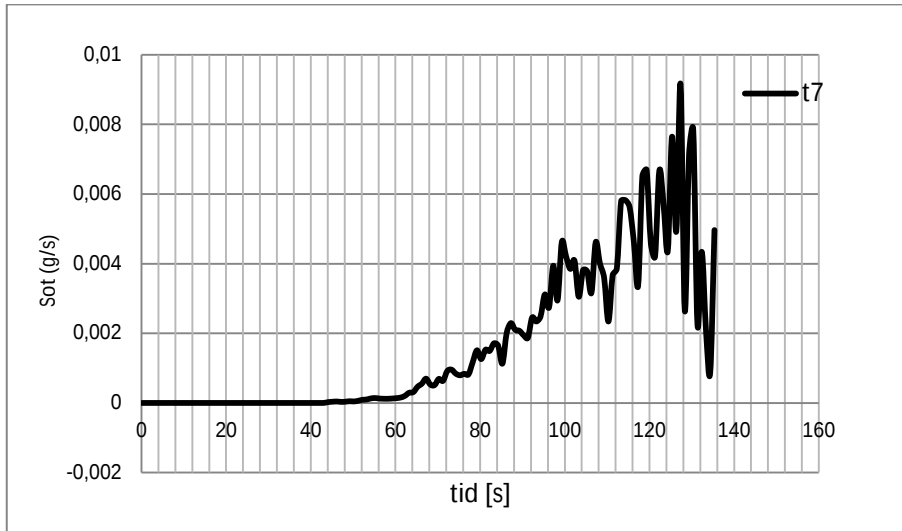


Diagram 7a. Test 7. Ojusterad och justerad OD



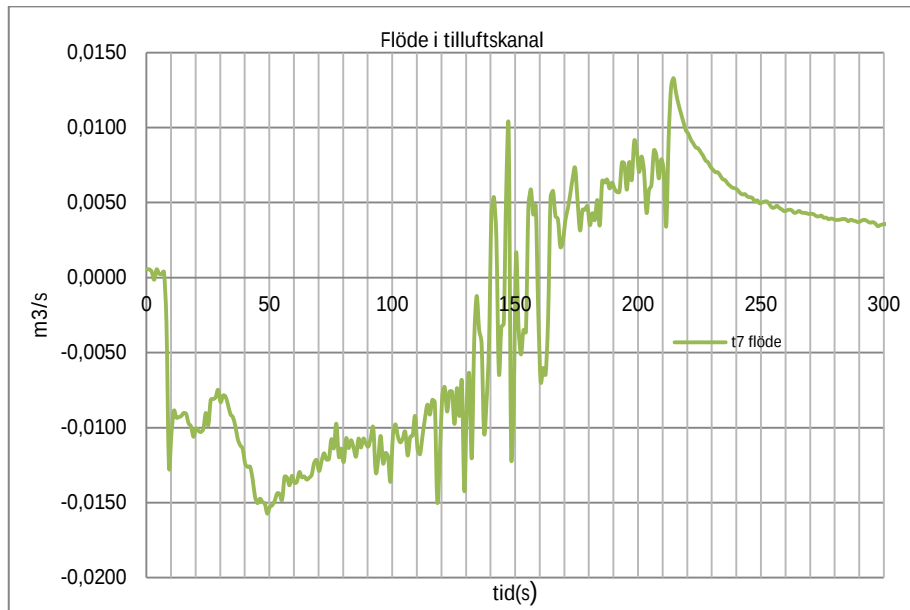


Diagram 7d. Test 7. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 8

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
8	ö	ö	11/100	40,0

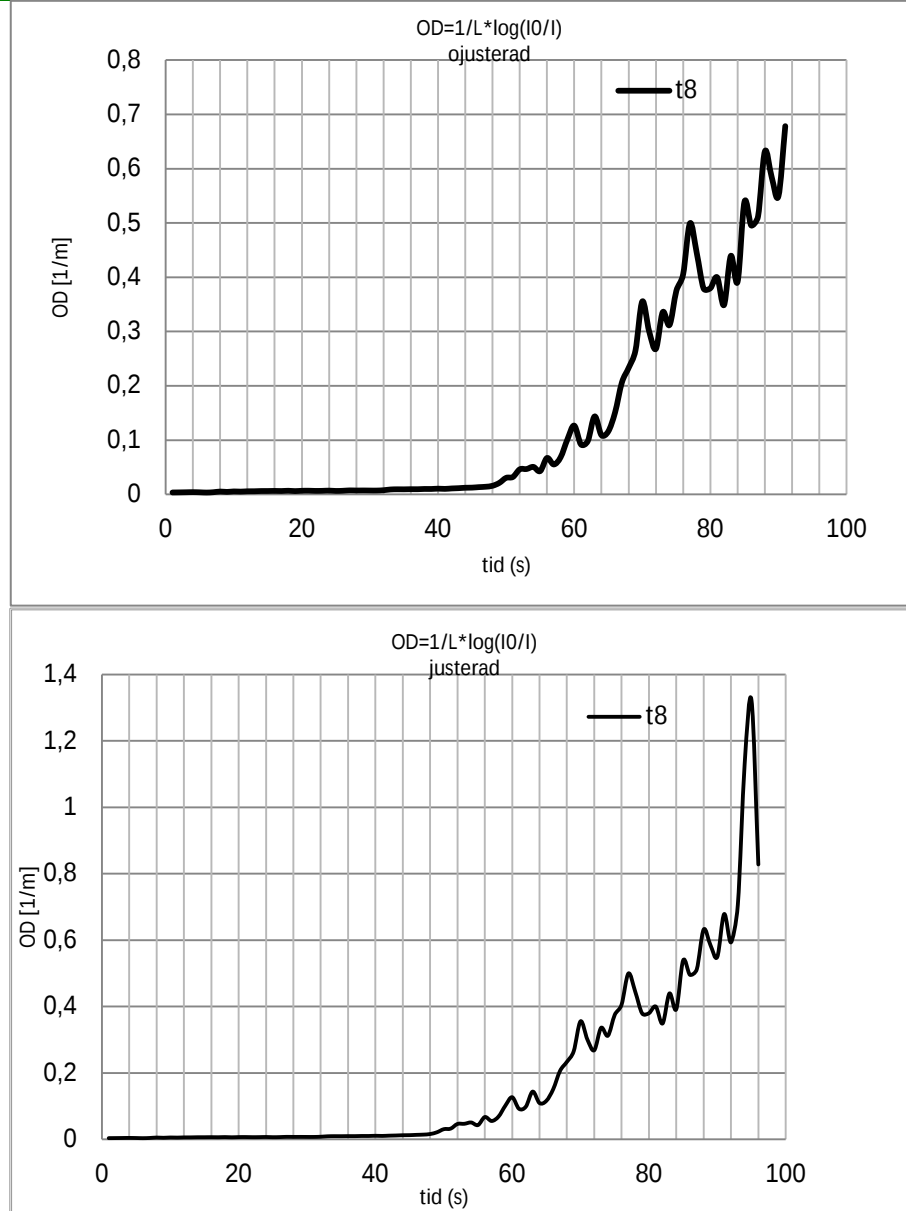


Diagram 8a. Test 8. Ojusterad och justerad OD

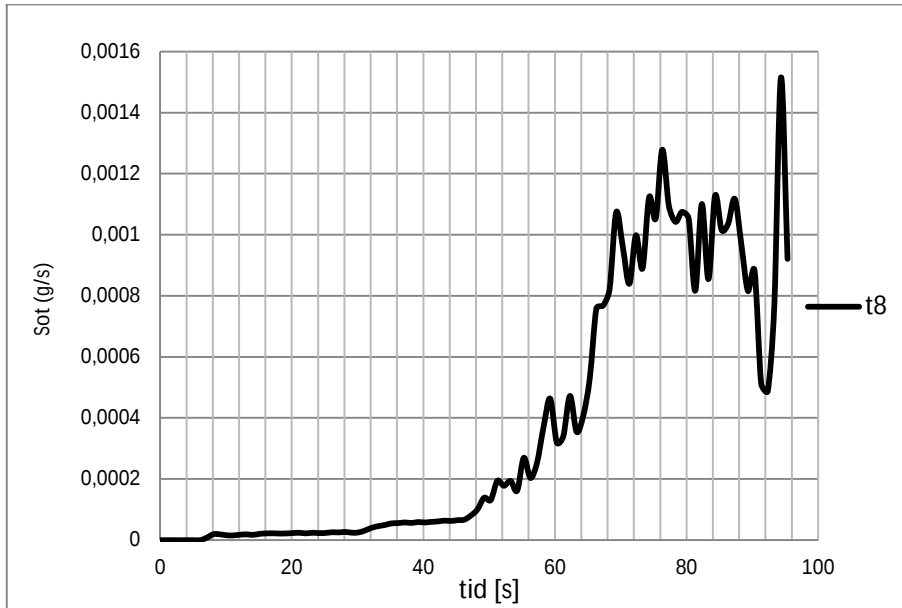


Diagram 8b. Test 8. Spridd sotmängd per sekund

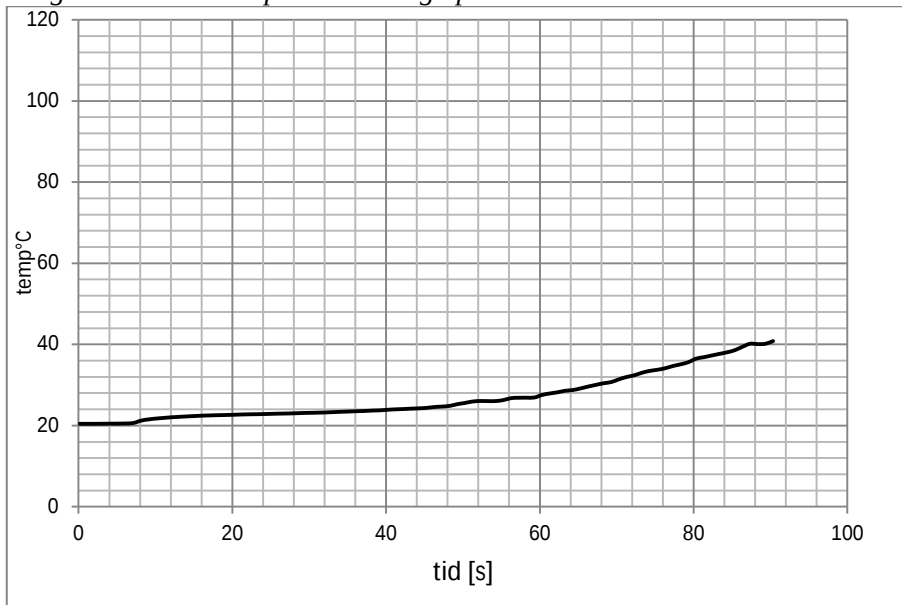


Diagram 8c. Test 8. Temperatur i tilluftskanal

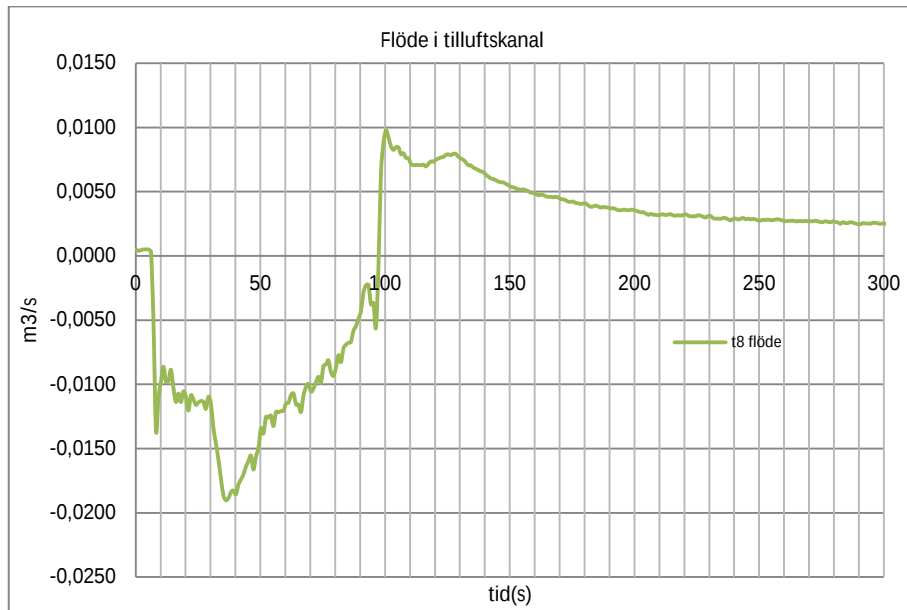


Diagram 8d. Test 8. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 9

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
9	ö	ö	11/25	40,0

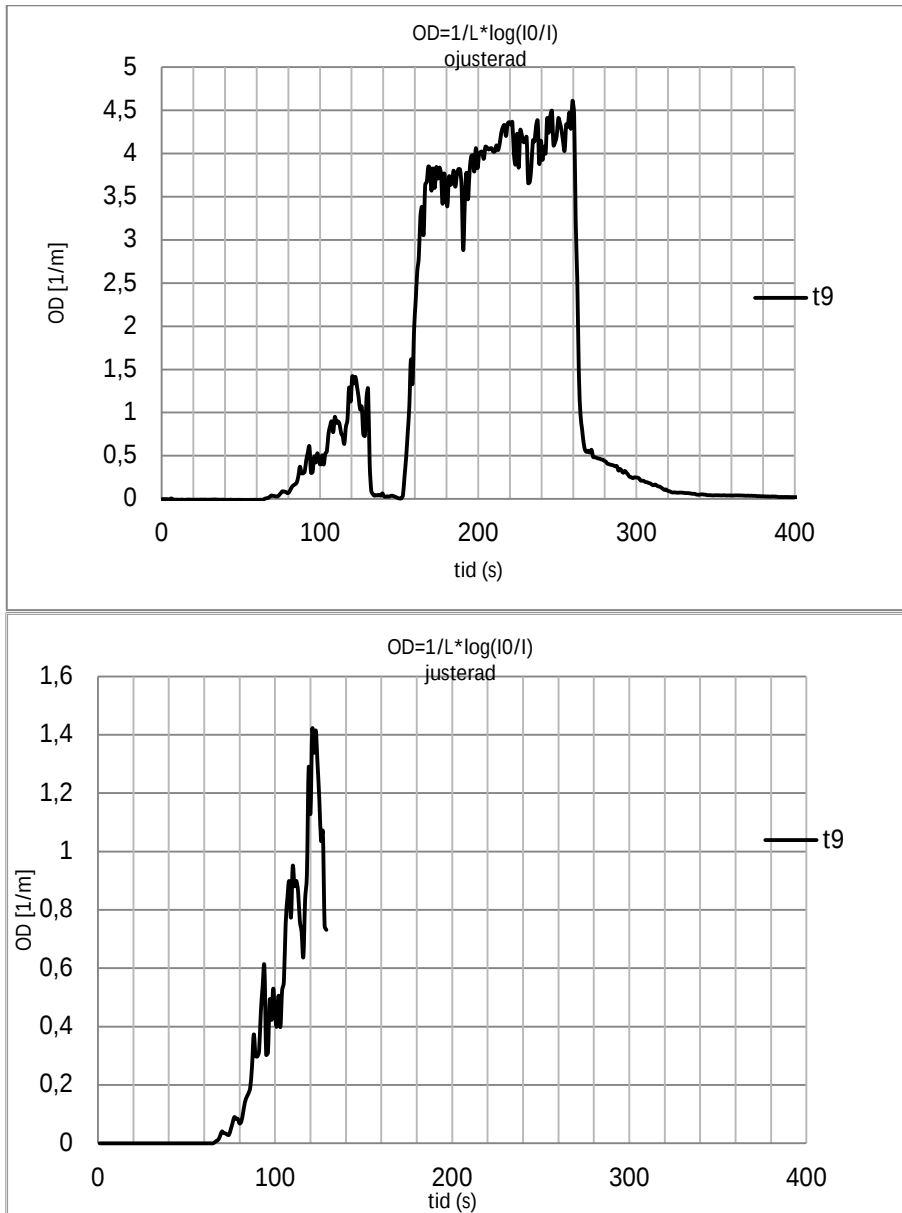


Diagram 9a. Test 9. Ojusterad och justerad OD

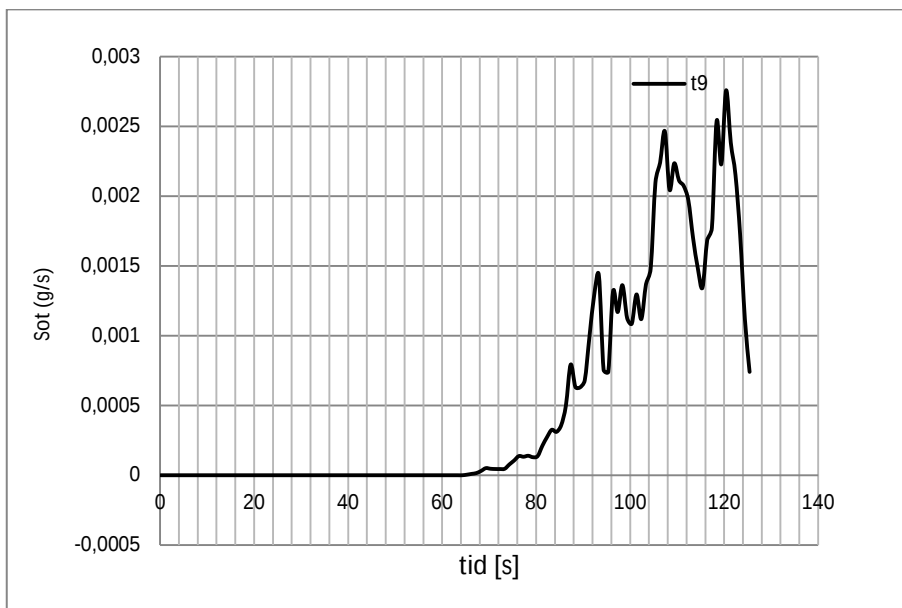


Diagram 9b. Test 9. Spridd sotmängd per sekund

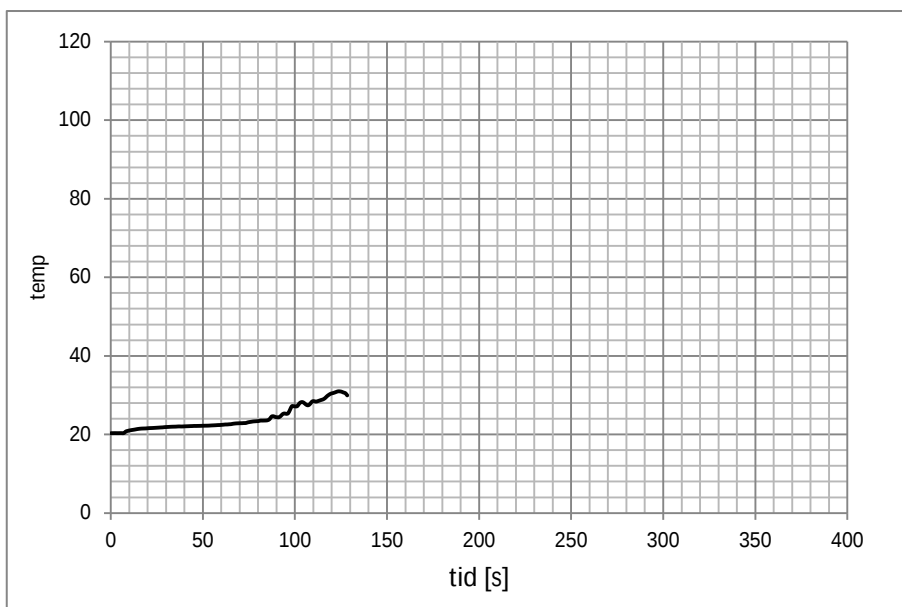


Diagram 9c. Test 9. Temperatur i tilluftskanal

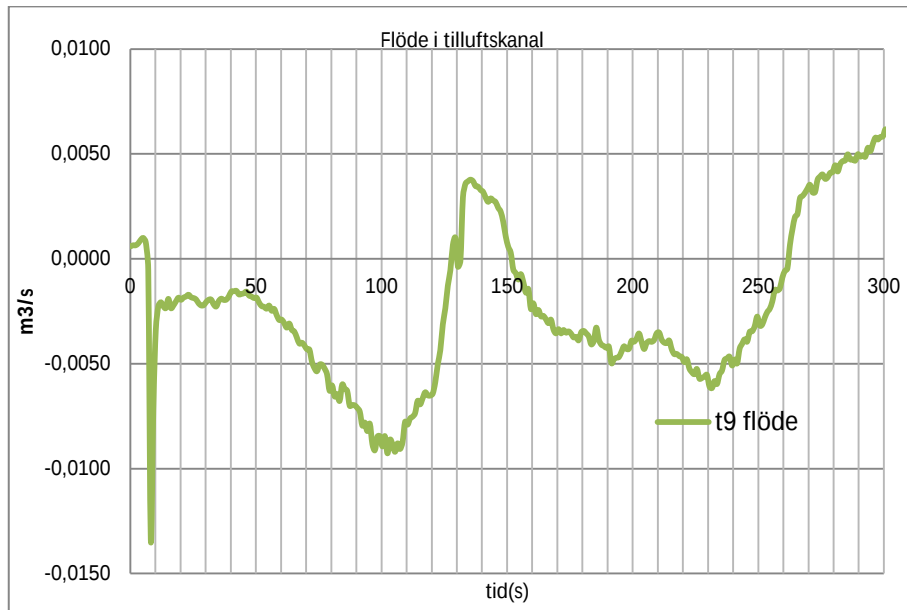


Diagram 9d. Test 9. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 10

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
10	ö	ö	11/300	60,0

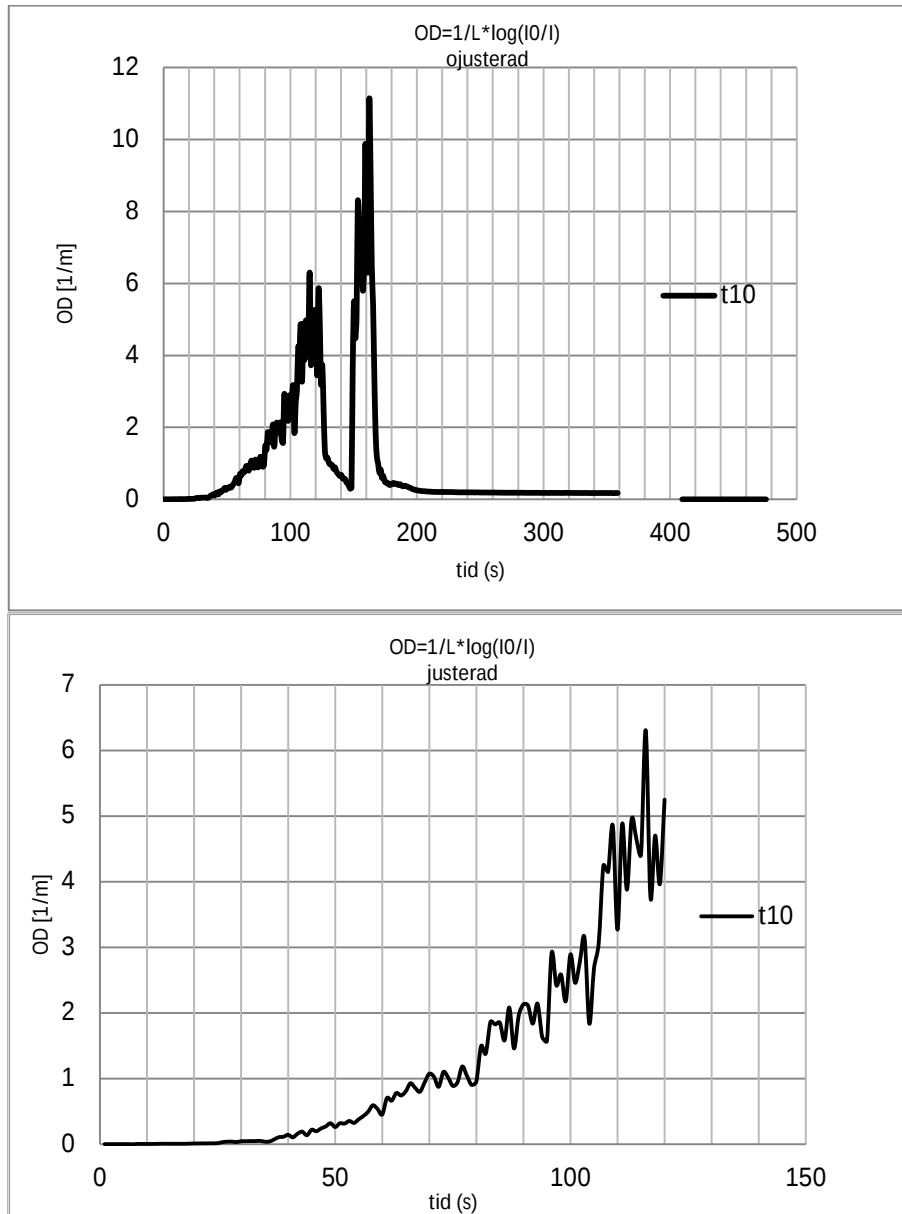


Diagram 10a. Test 10. Ojusterad och justerad OD

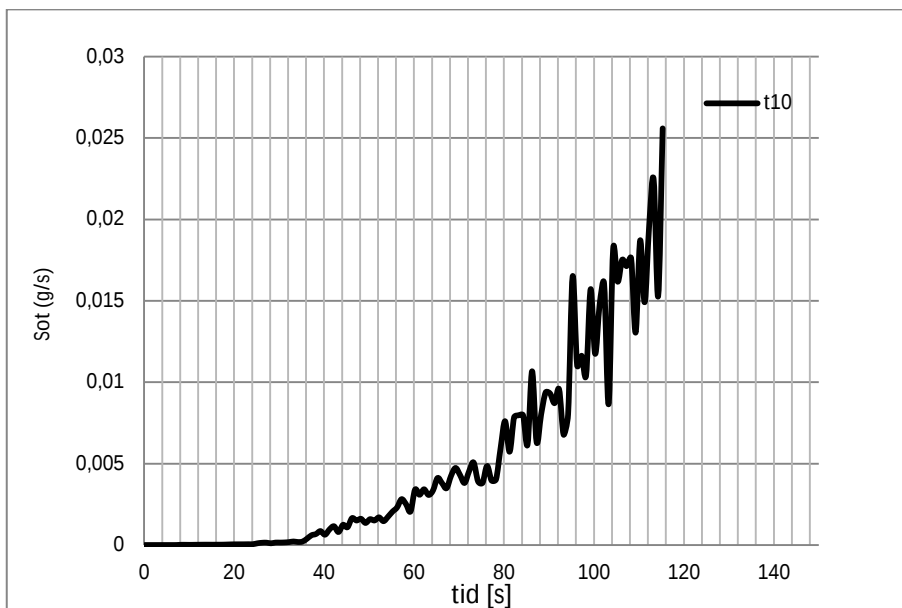


Diagram 10b. Test 10. Spridd sotmängd per sekund

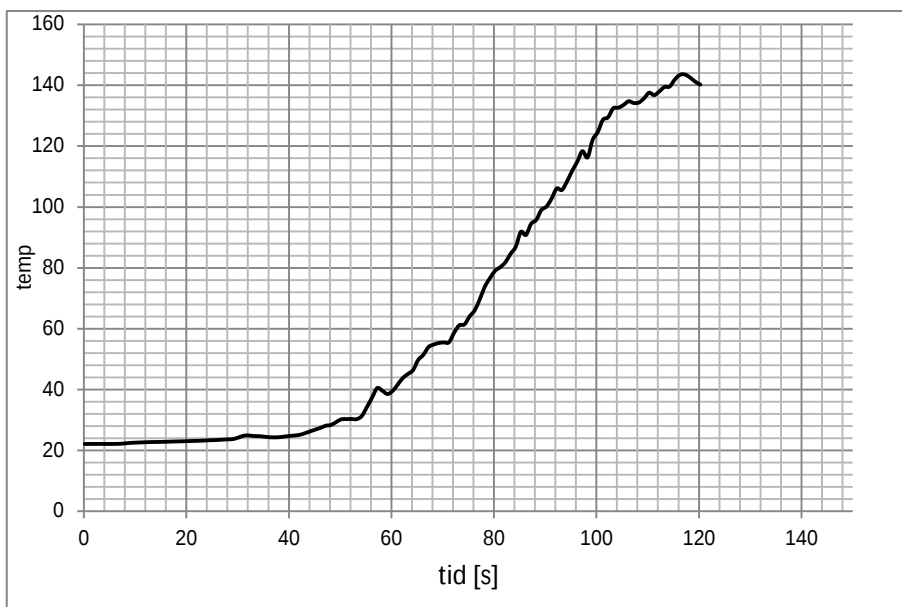


Diagram 10c. Test 10. Temperatur i tilluftskanal

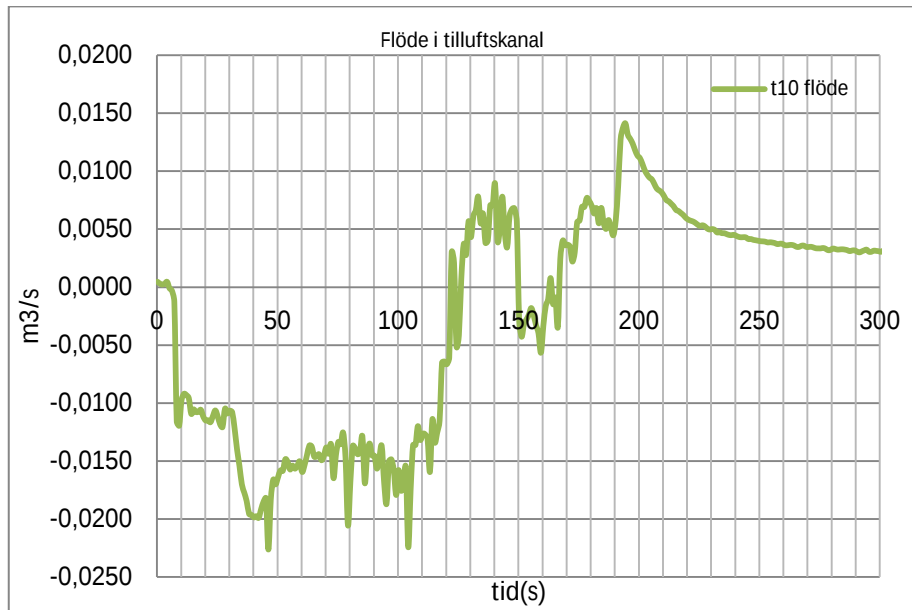


Diagram 10d. Test 10. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 11

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
11	ö	ö	11/100	60,0

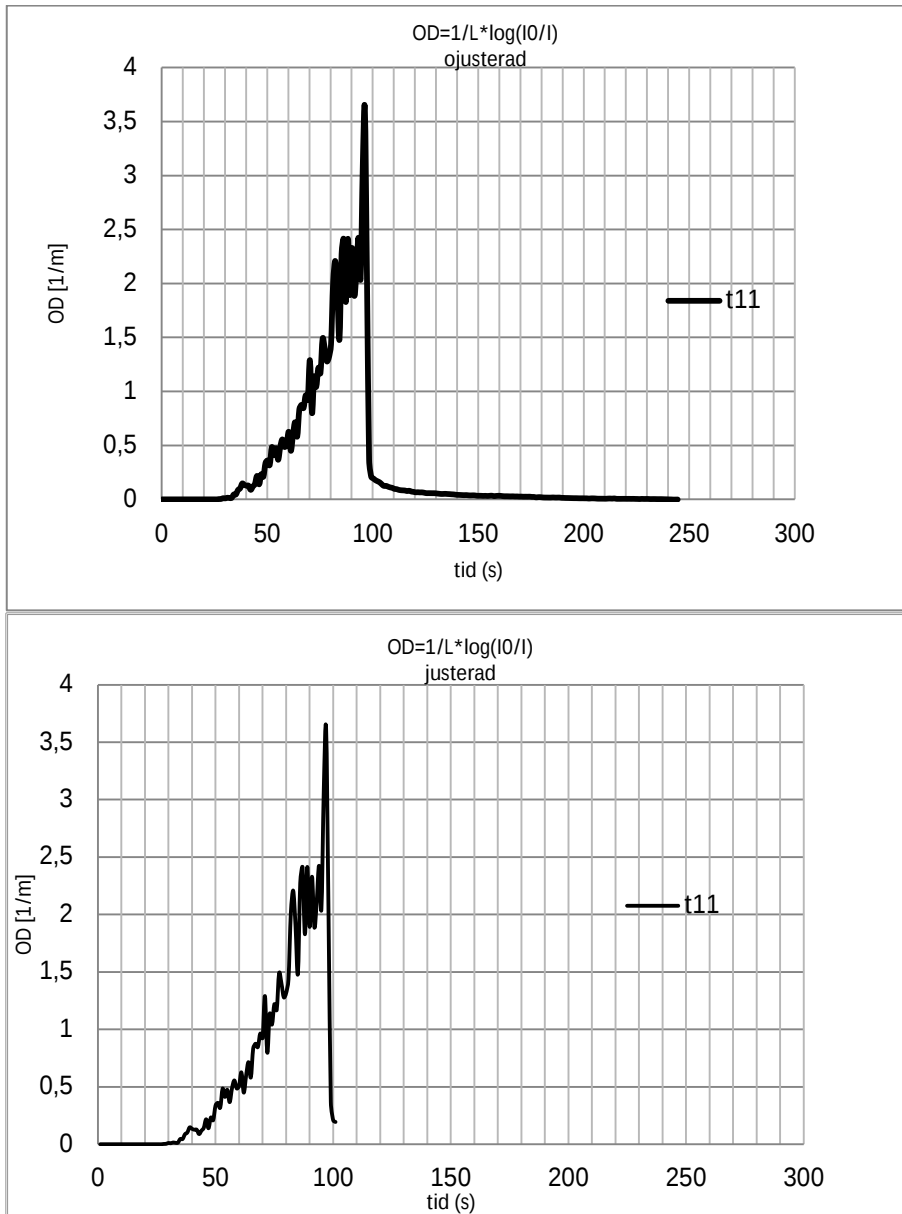


Diagram 11a. Test 11. Ojusterad och justerad OD

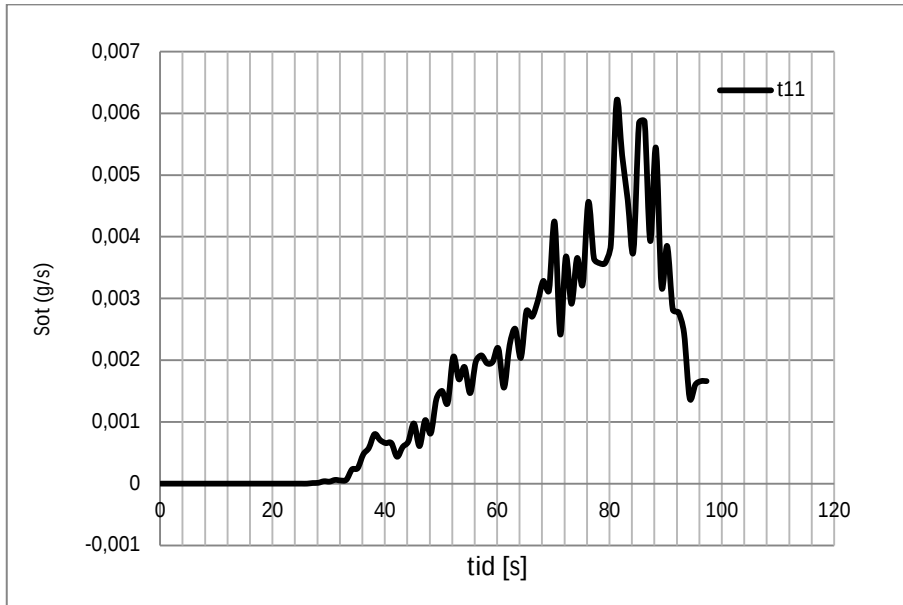


Diagram 11b. Test 11. Spridd sotmängd per sekund

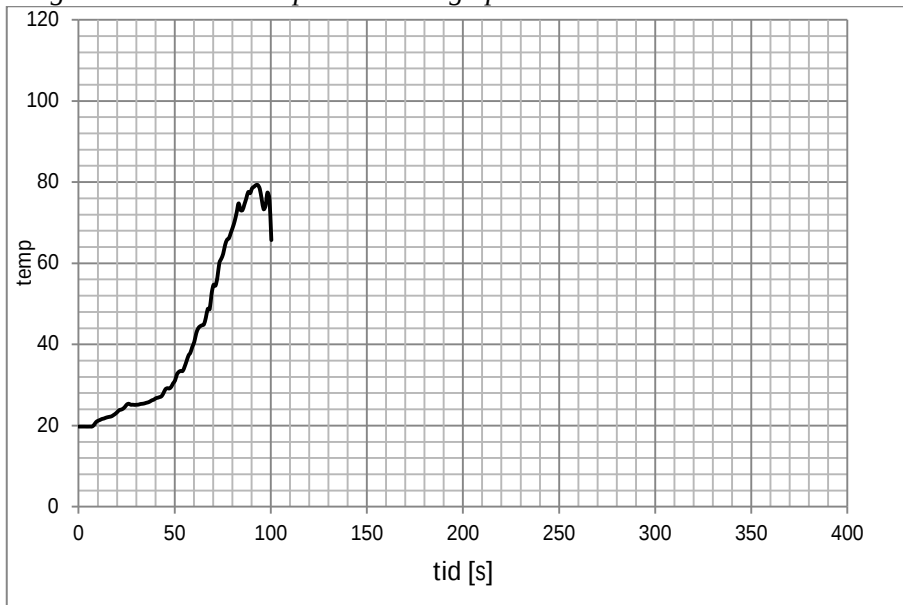


Diagram 11c. Test 11. Temperatur i tilluftskanal

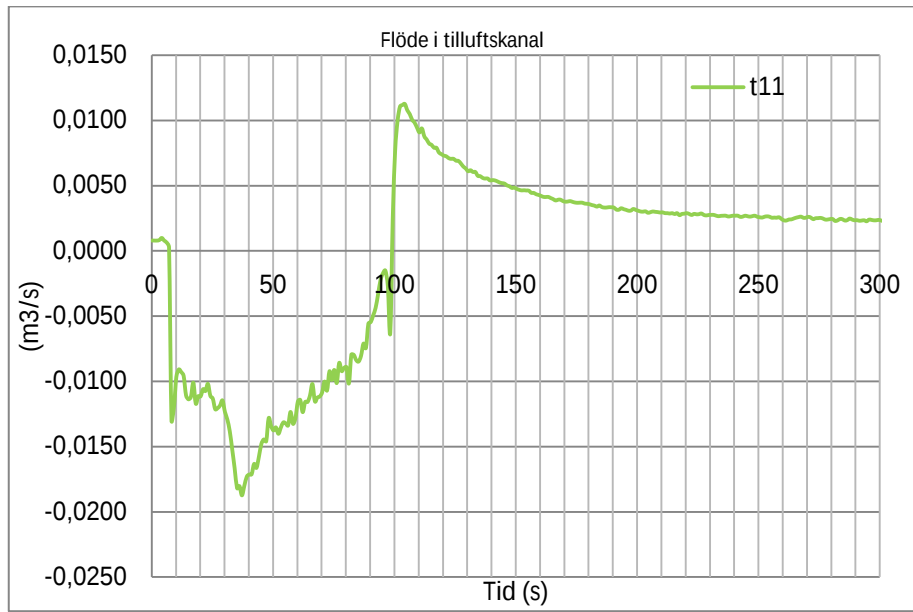


Diagram 11d. Test 11. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 12

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
12	ö	ö	11/25	60,0

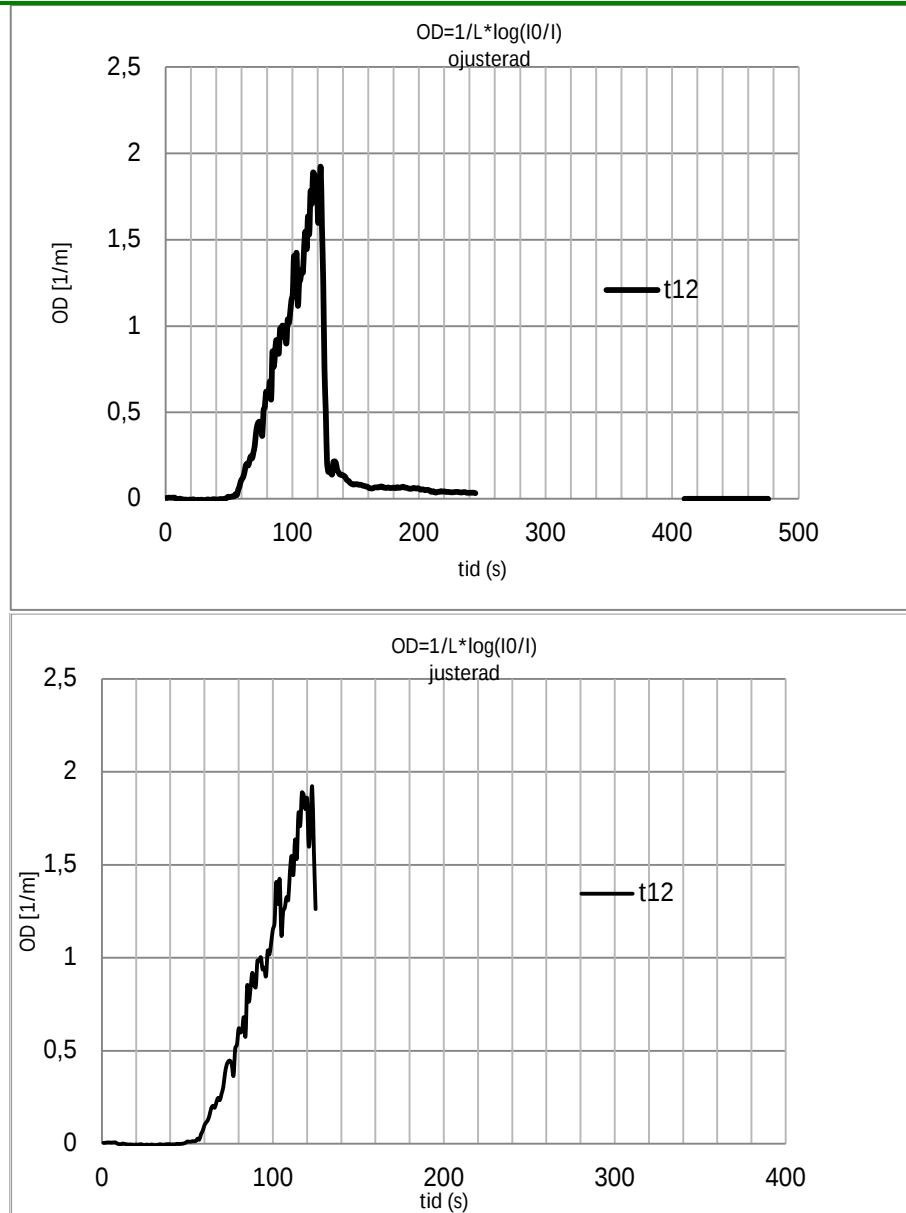


Diagram 12a. Test 12. Ojusterad och justerad OD

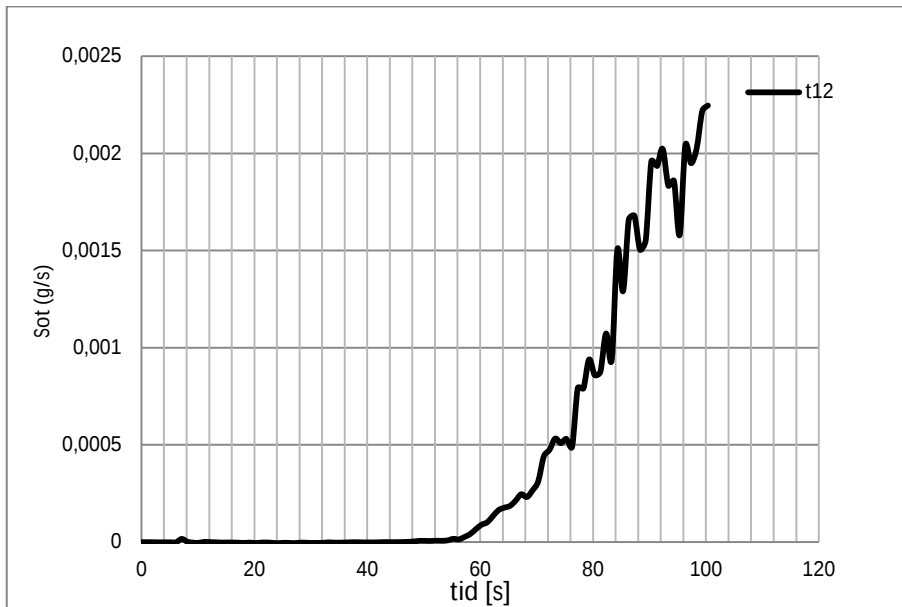


Diagram 12b. Test 12. Spridd sotmängd per sekund

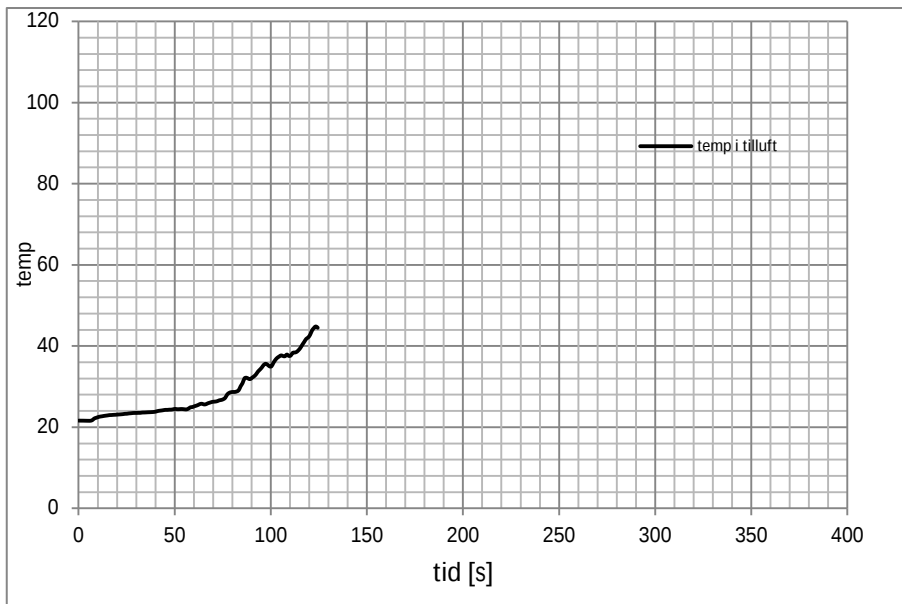


Diagram 12c. Test 12. Temperatur i tilluftskanal

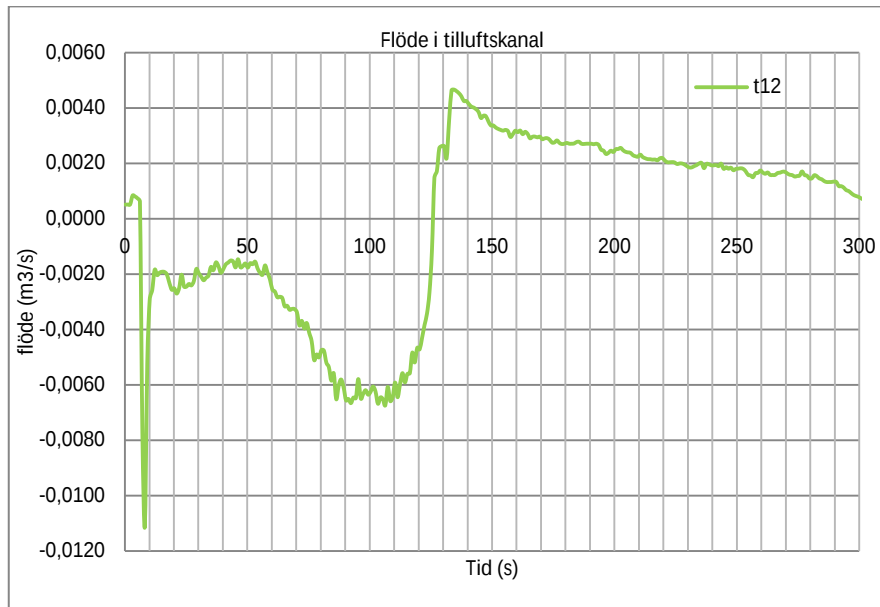


Diagram 12d. Test 12. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 13

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
13	ö	ö	11/25	18,2

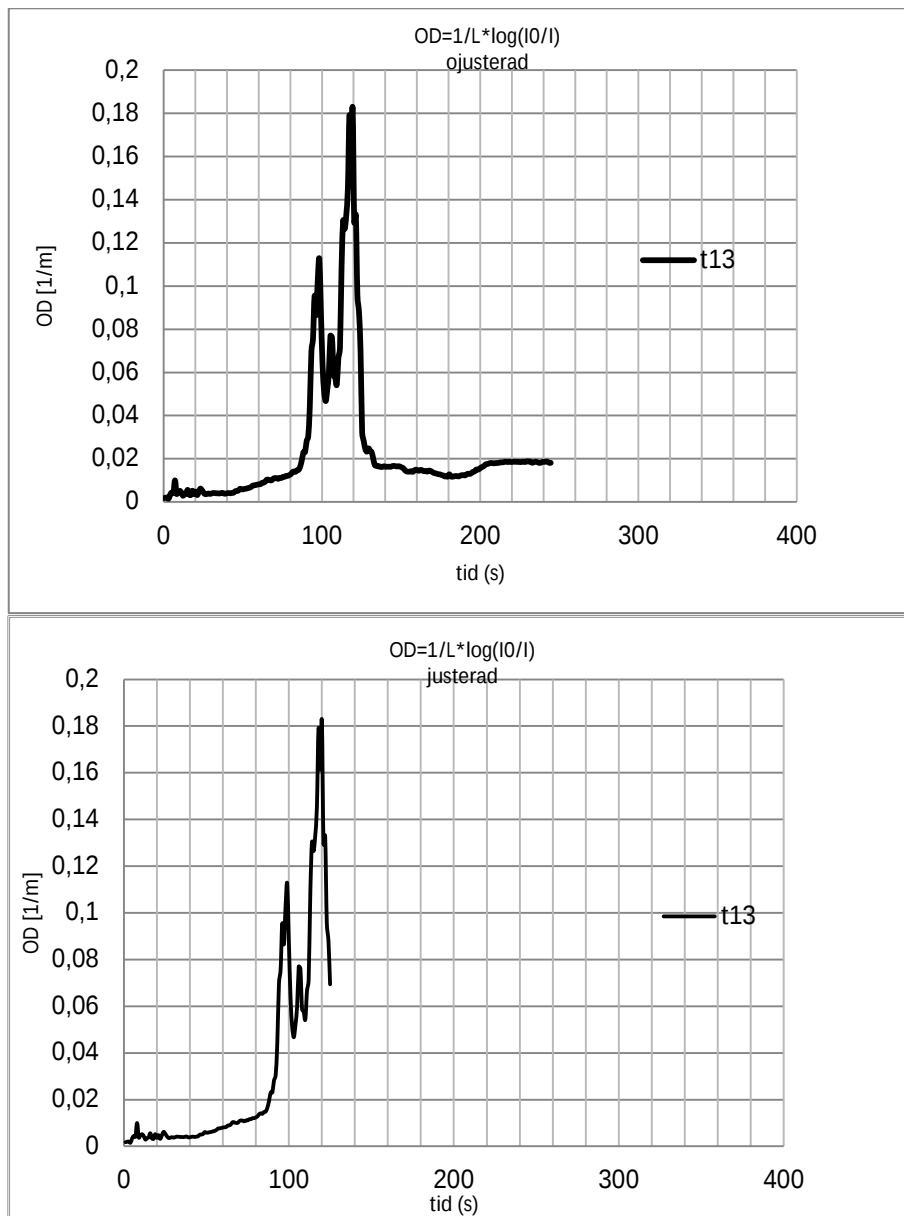


Diagram 13a. Test 13. Ojusterad och justerad OD

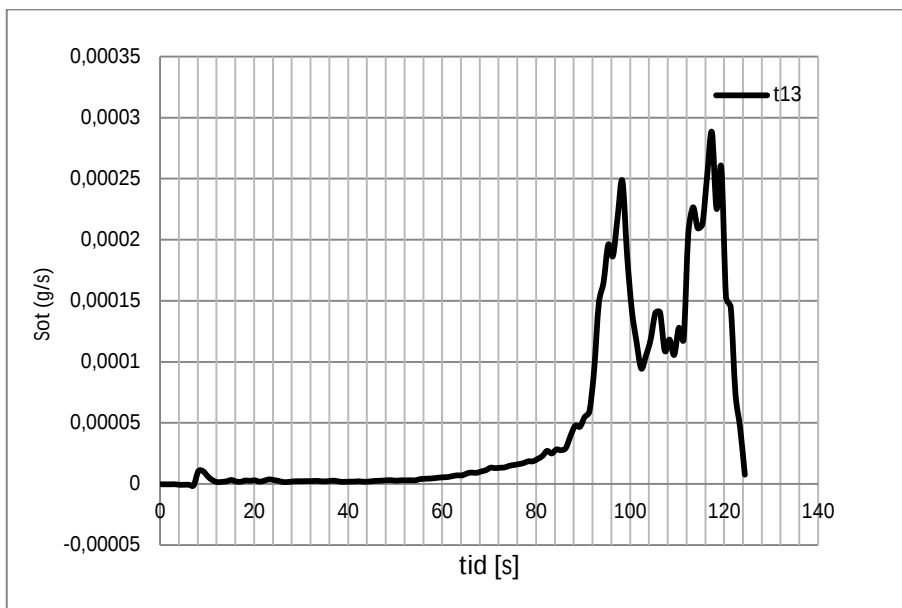


Diagram 13b. Test 13. Spridd sotmängd per sekund

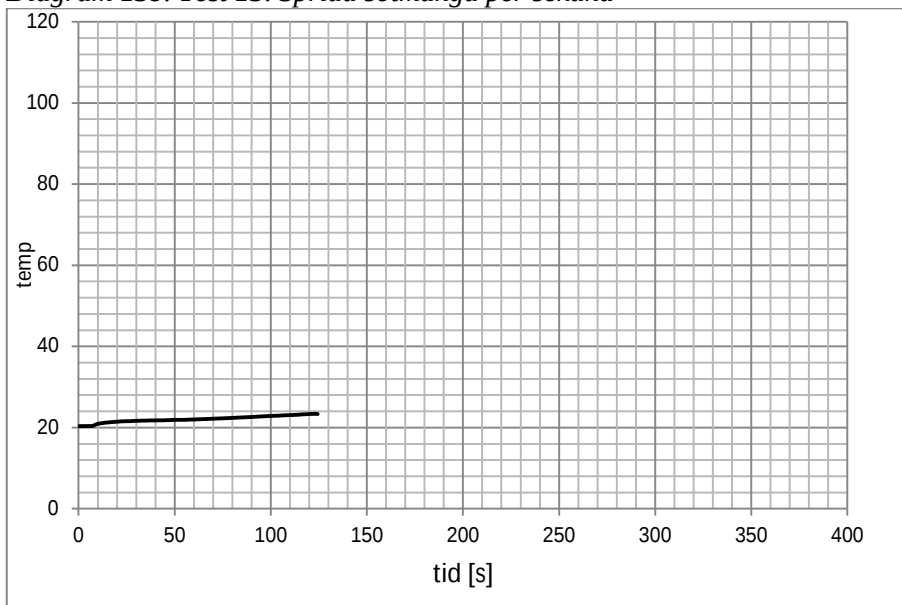


Diagram 13c. Test 13. Temperatur i tilluftskanal

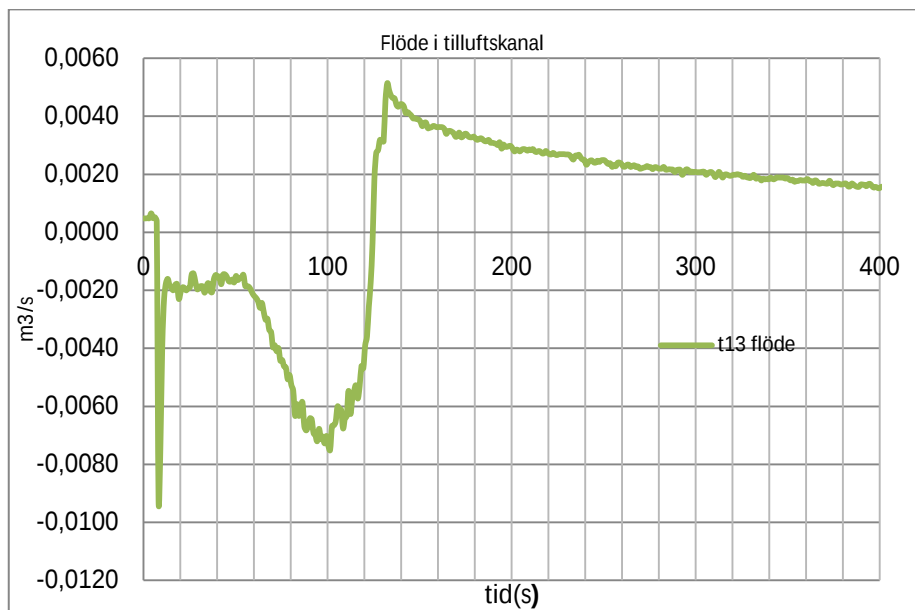


Diagram 13d. Test 13. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 14

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
14	ö	ö	11/300	6,3

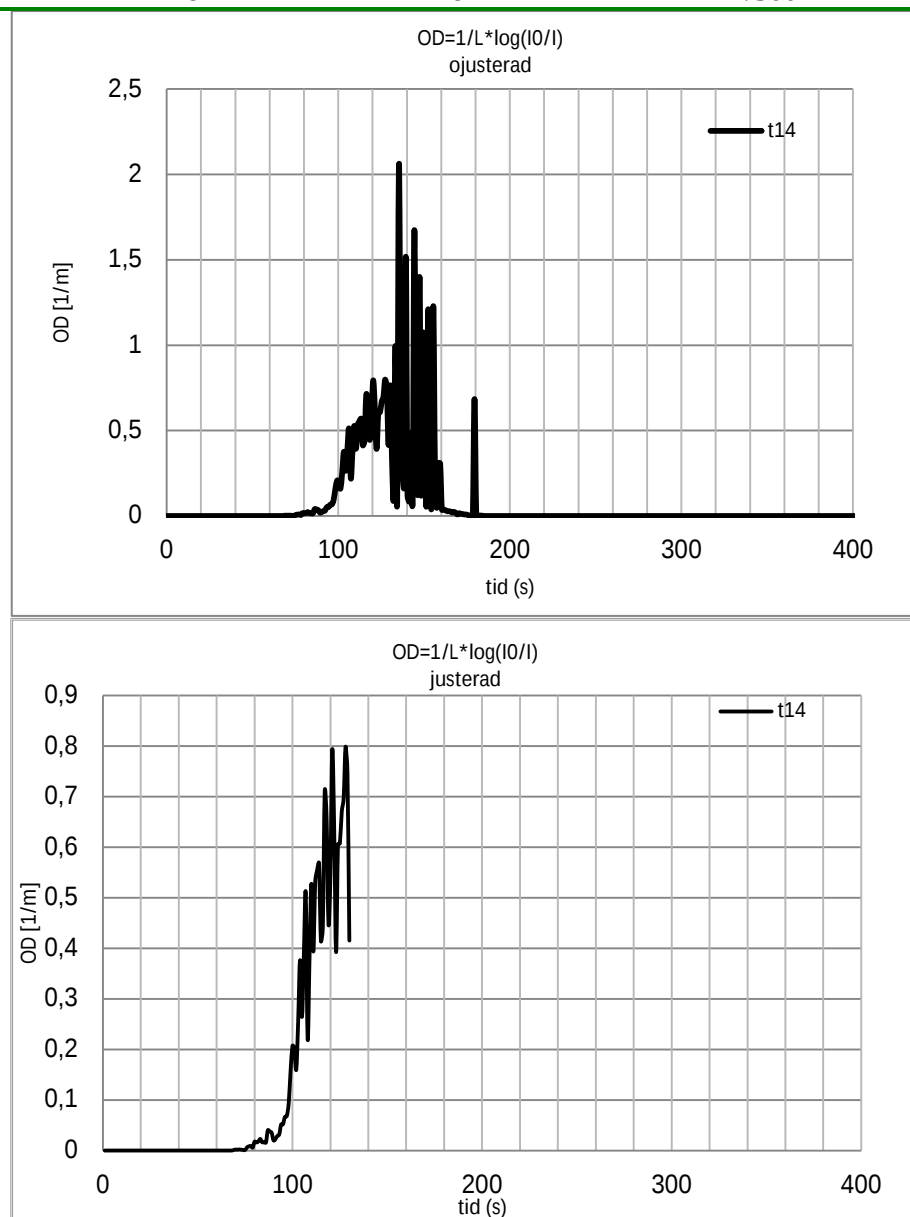


Diagram 14a. Test 14. Ojusterad och justerad OD

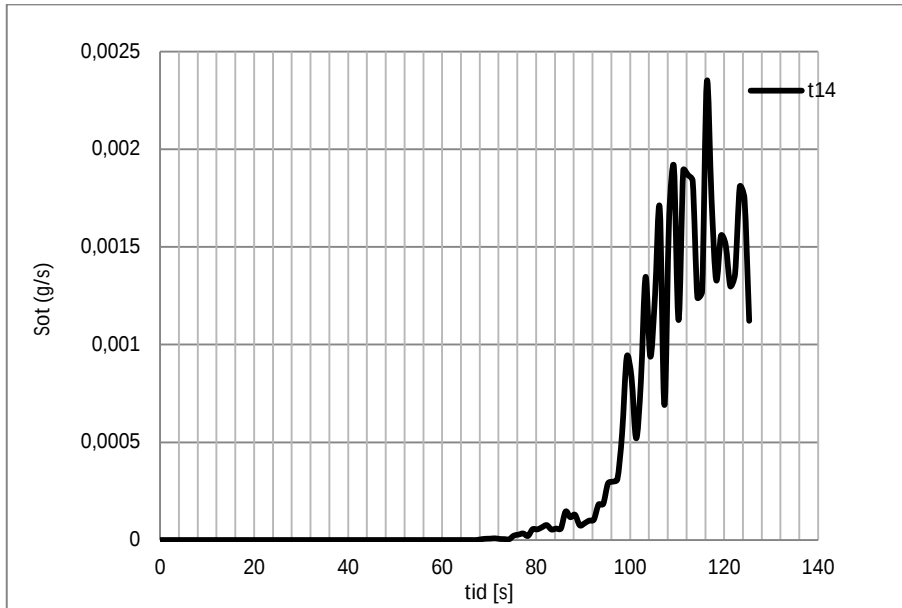


Diagram 14b. Test 14. Spridd sotmängd per sekund

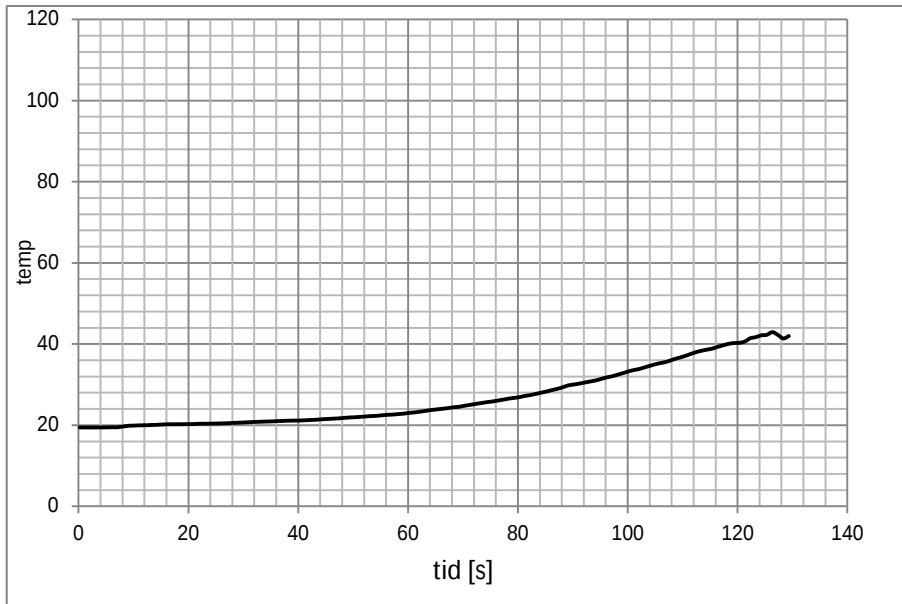


Diagram 14c. Test 14. Temperatur i tilluftskanal

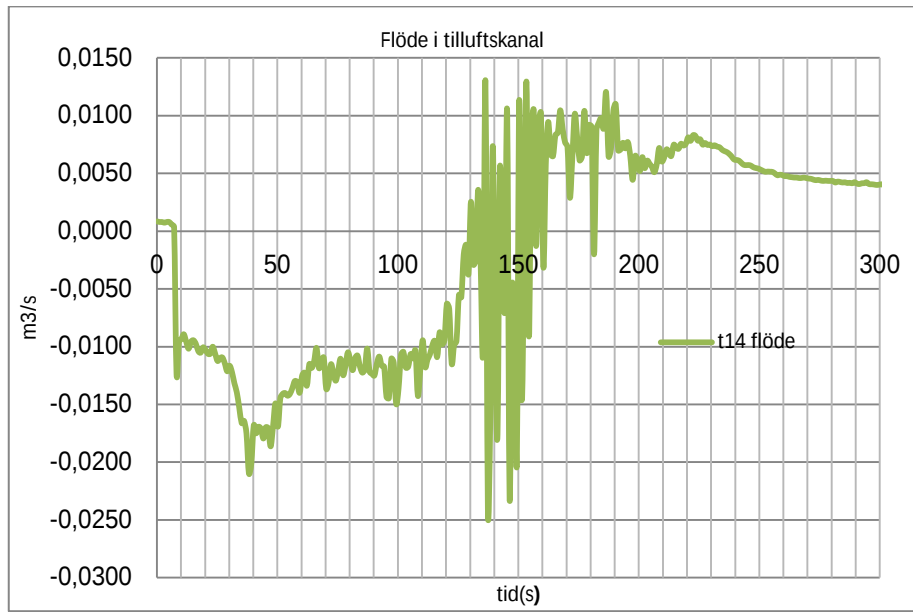


Diagram 14d. Test 14. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 15

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
15	ö	ö	11/100	6,3

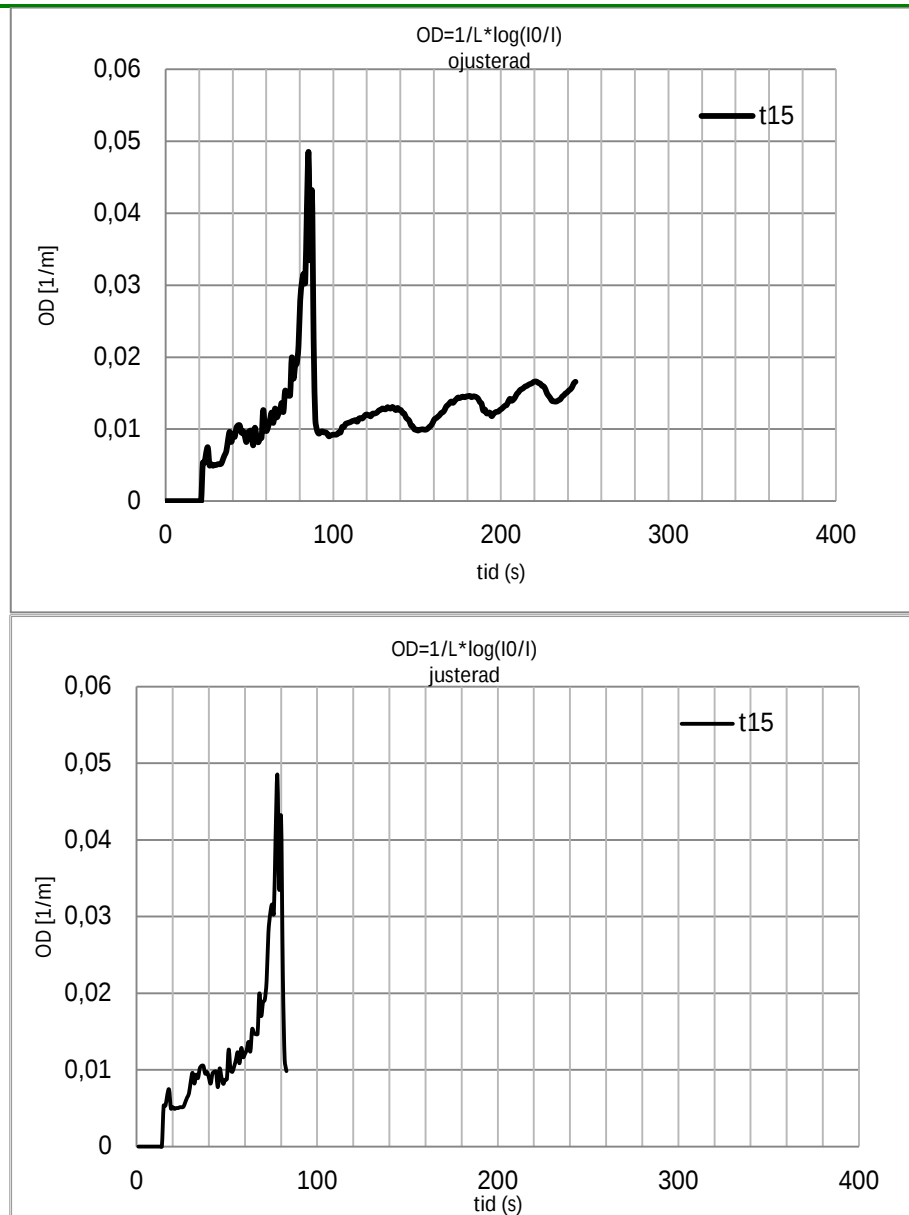


Diagram 15a. Test 15. Ojusterad och justerad OD

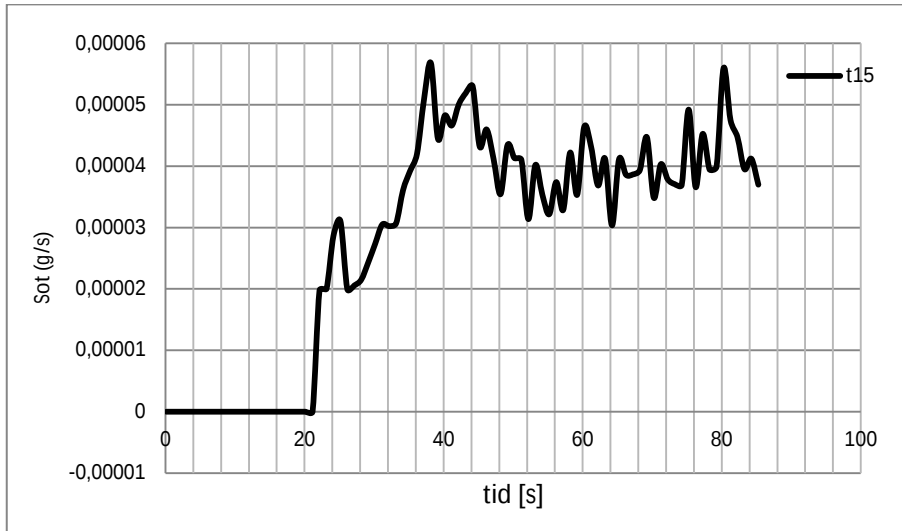


Diagram 15b. Test 15. Spridd sotmängd per sekund

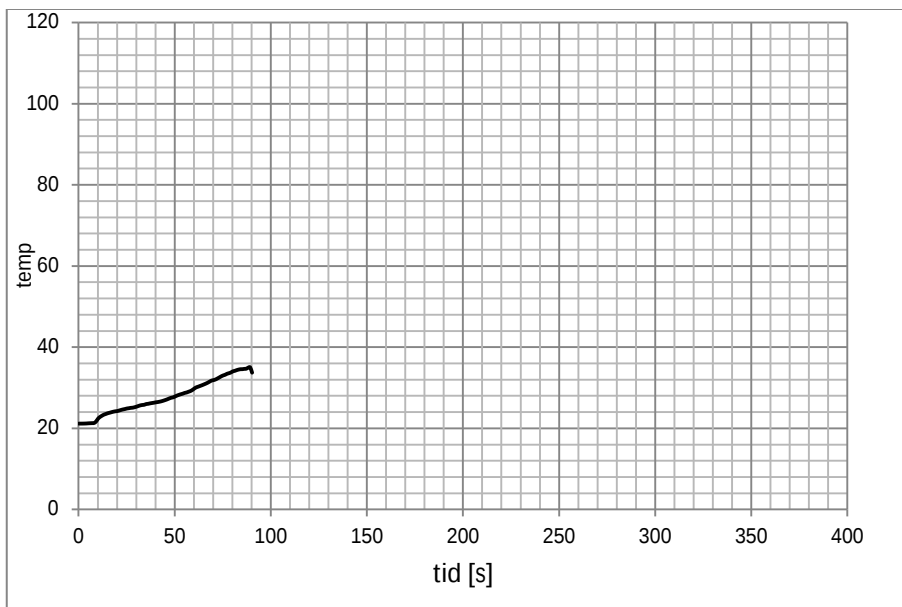


Diagram 15c. Test 15. Temperatur i tilluftskanal

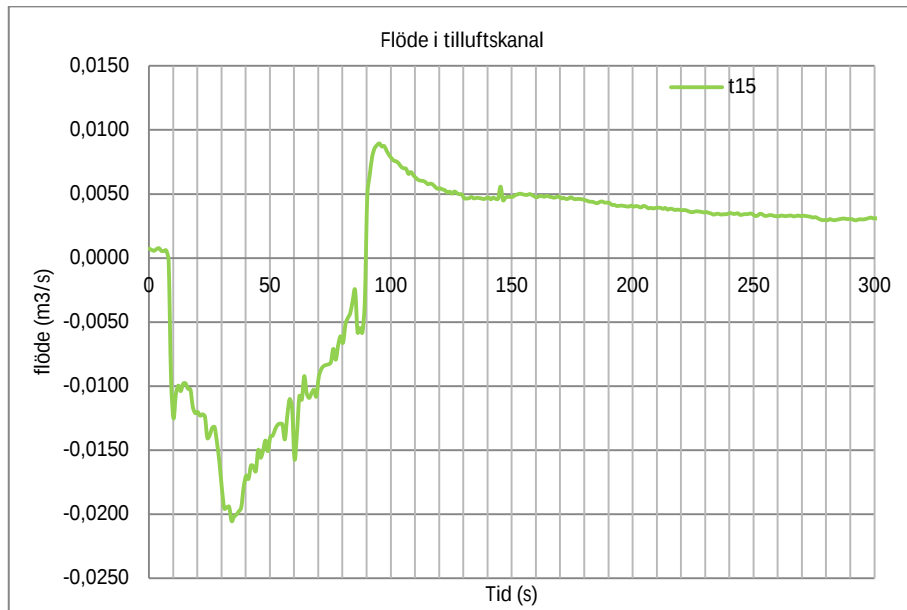


Diagram 15d. Test 15. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 16

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
16	ö	ö	11/25	6,3

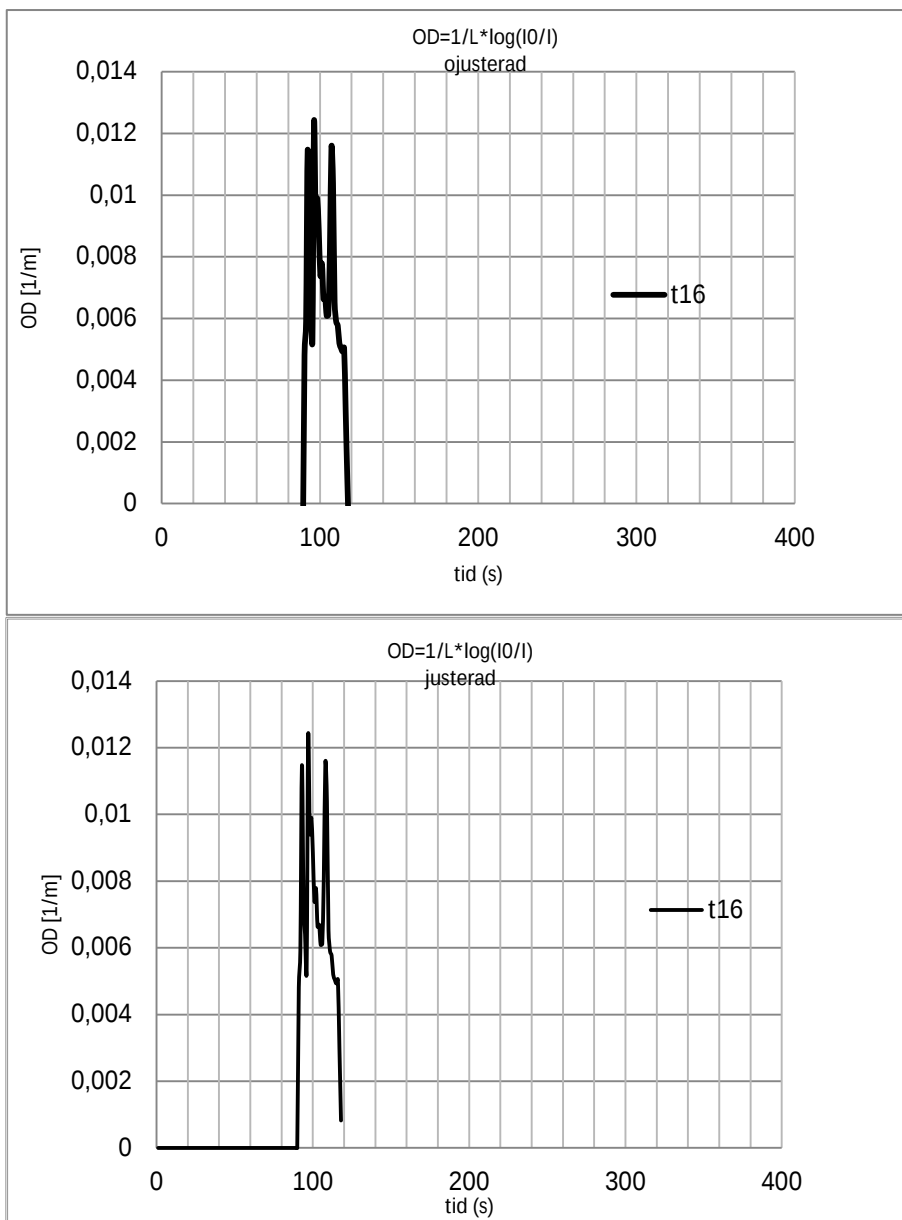


Diagram 16a. Test 16. Ojusterad och justerad OD

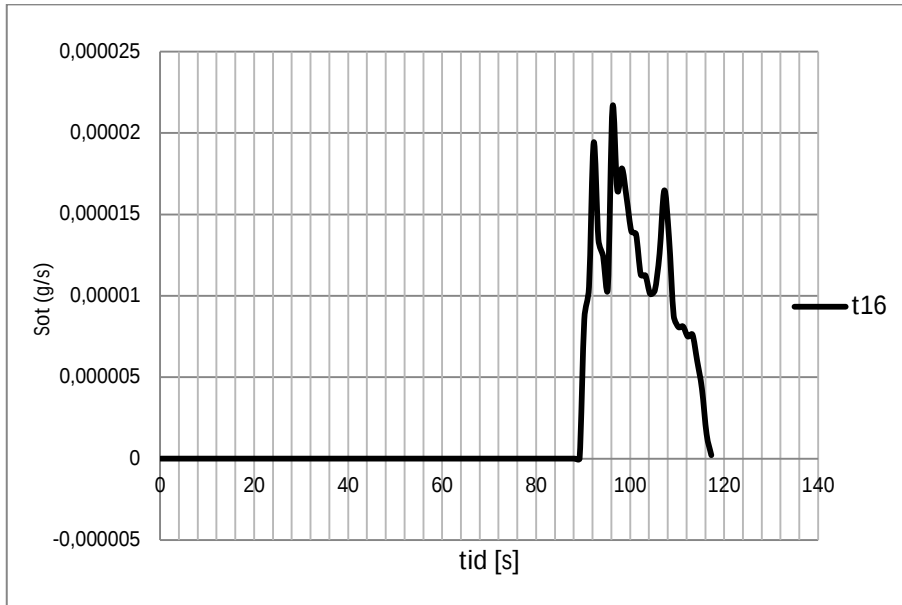


Diagram 16b. Test 16. Spridd sotmängd per sekund

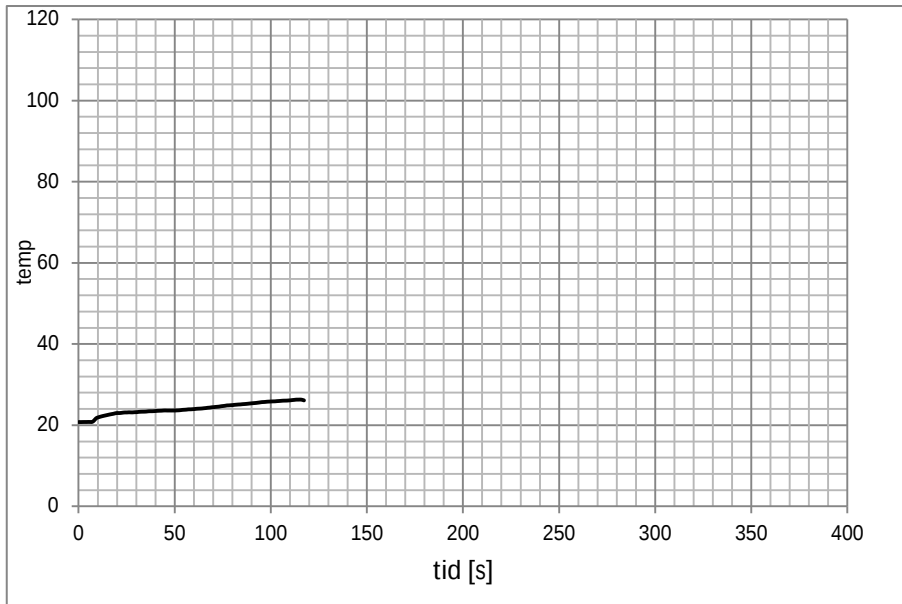


Diagram 16c. Test 16. Temperatur i tilluftskanal

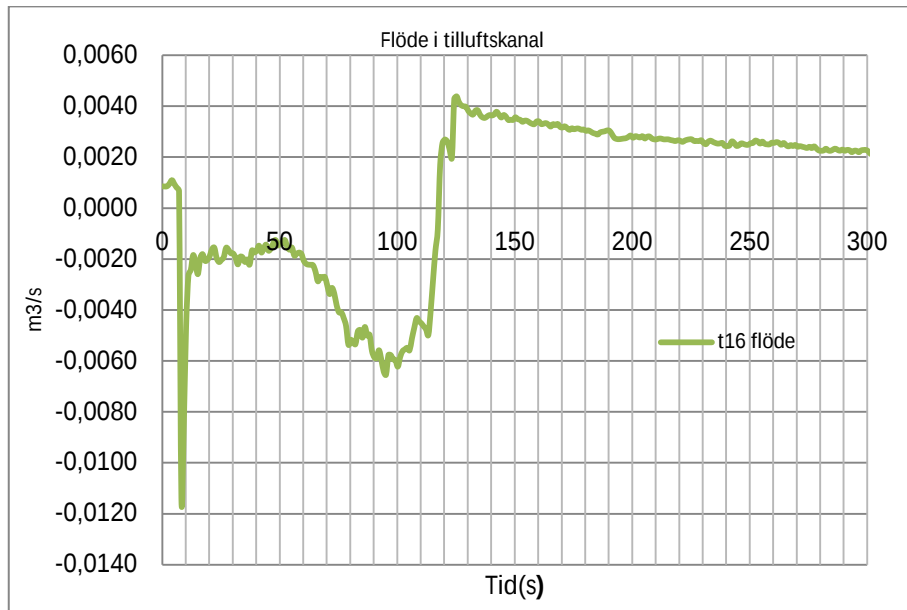


Diagram 16d. Test 16. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 17

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
17	Fläkt (18 Pa)	Fläkt (19 Pa)	11/300	6,3

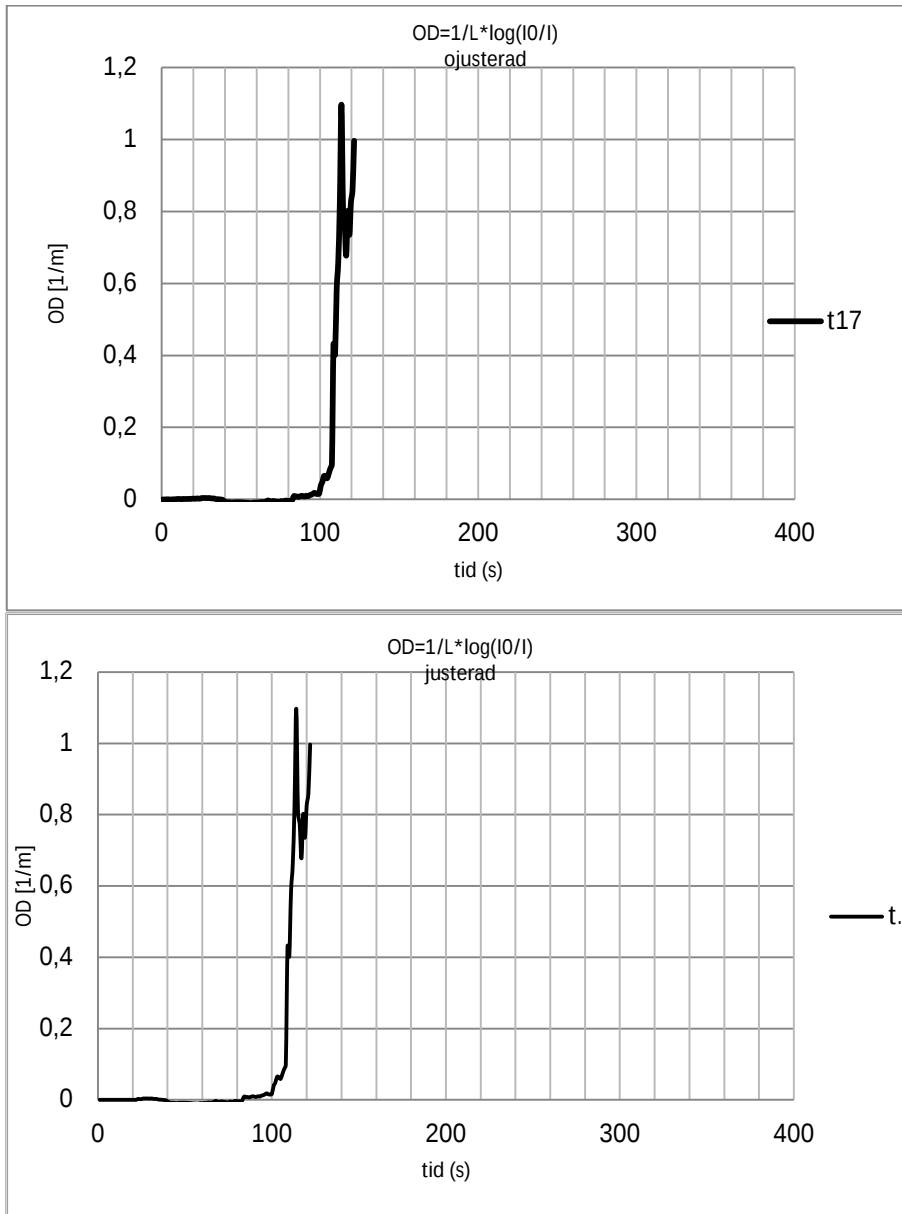


Diagram 17a. Test 17. Ojusterad och justerad OD

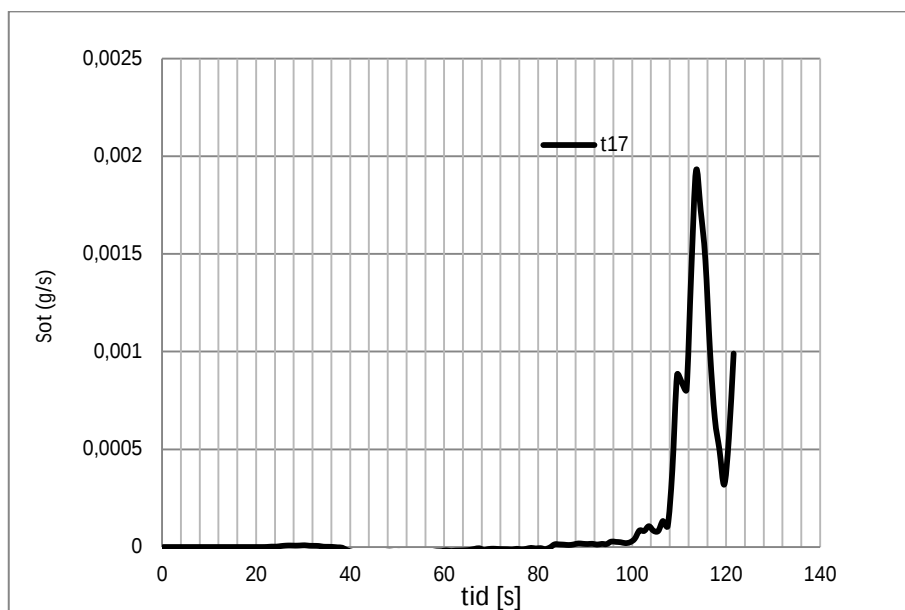


Diagram 17b. Test 17. Spridd sotmängd per sekund

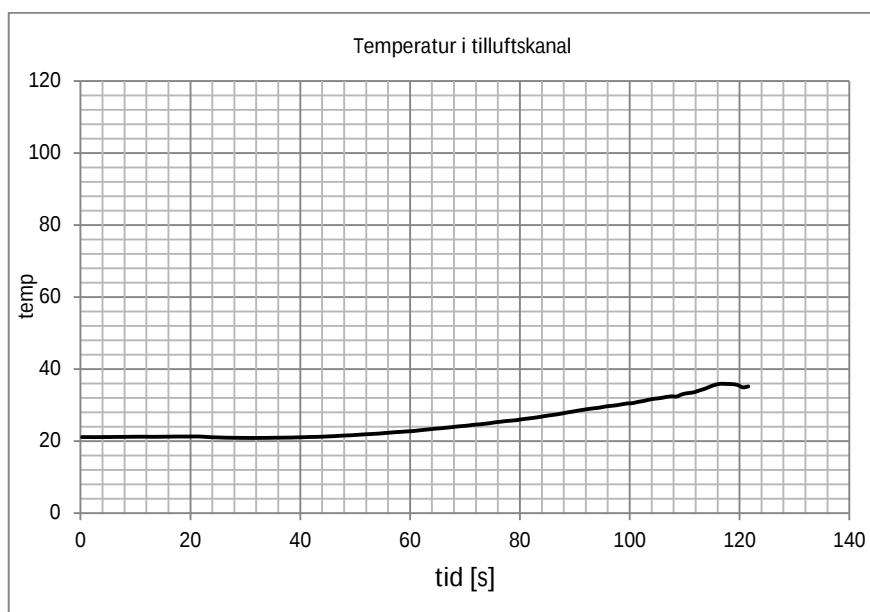


Diagram 17c. Test 17. Temperatur i tilluftskanal

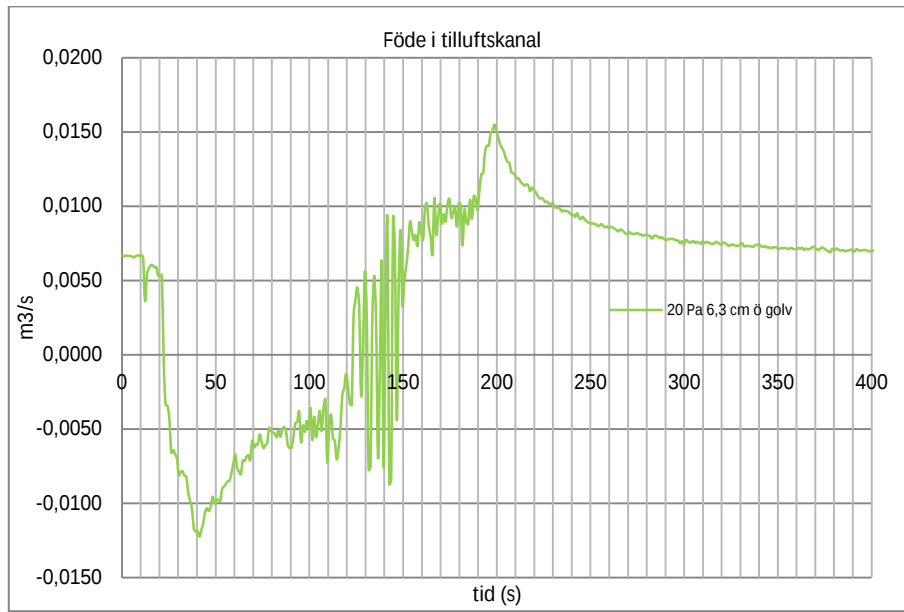


Diagram 17d. Test 17. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 18

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
18	Fläkt (42 Pa)	Fläkt (40 Pa)	11/300	18,2

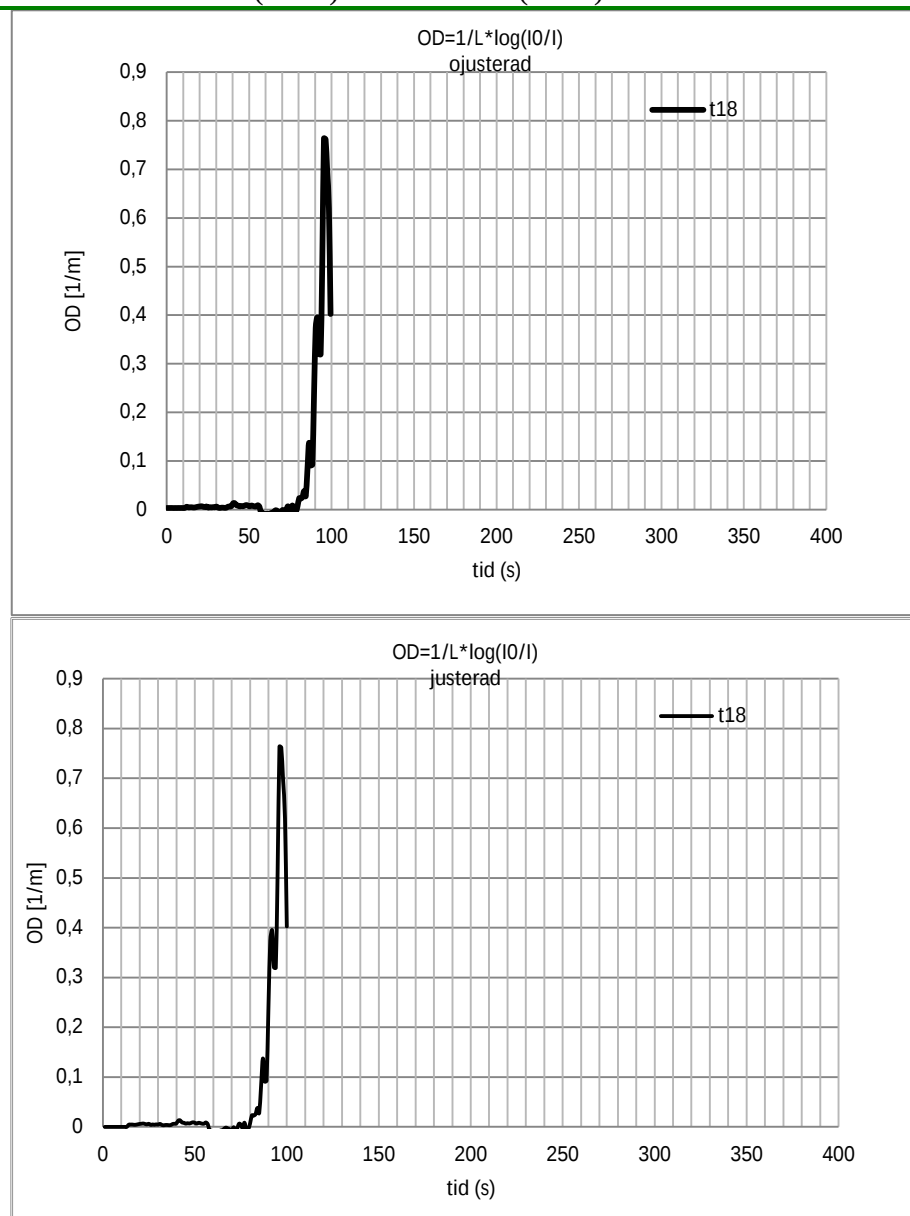


Diagram 18a. Test 18. Ojusterad och justerad OD

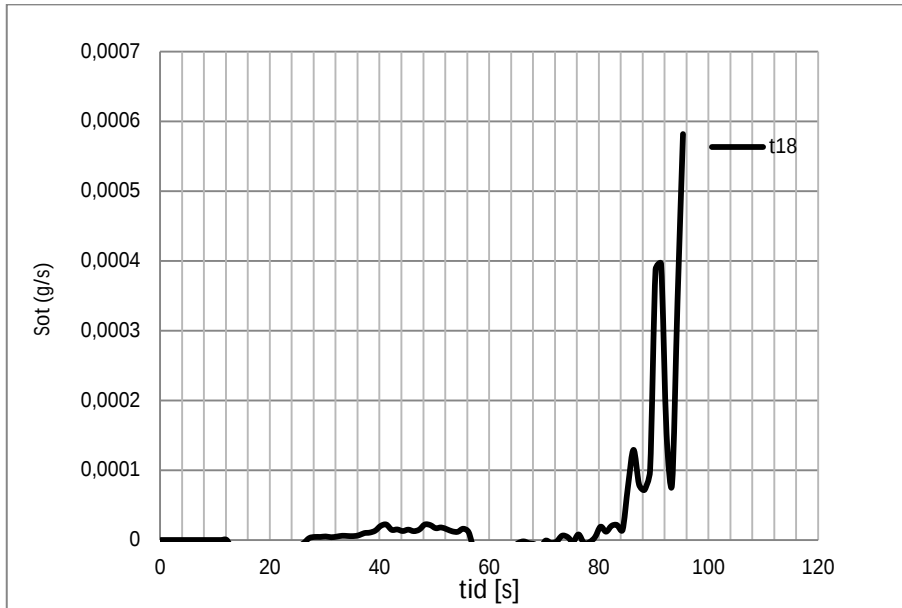


Diagram 18b. Test 18. Spridd sotmängd per sekund

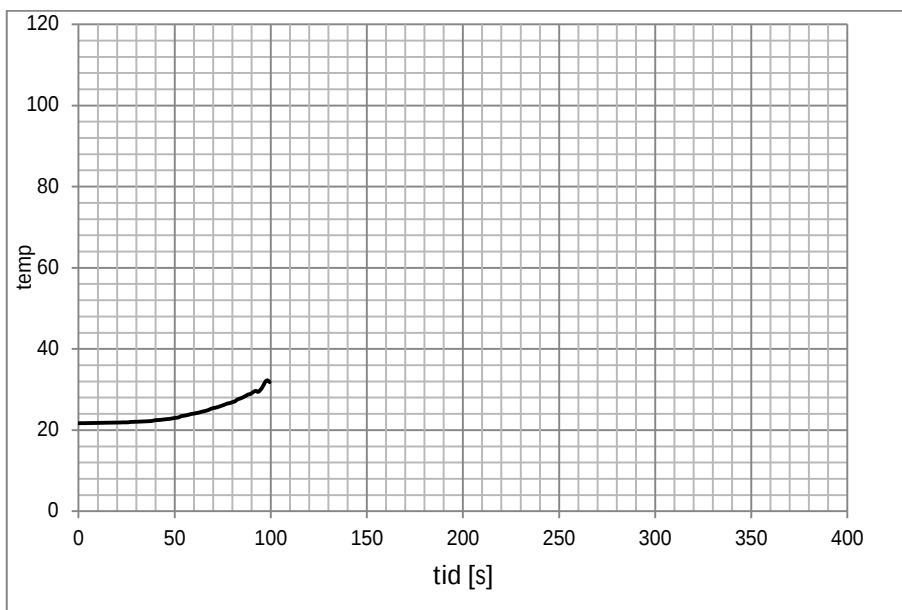


Diagram 18c. Test 18. Temperatur i tilluftskanal

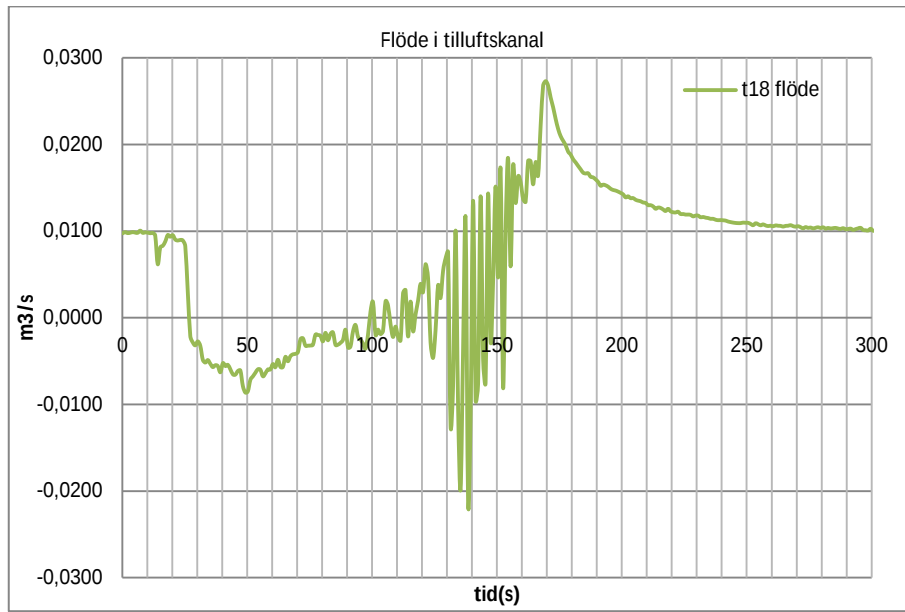


Diagram 18d. Test 18. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
19	Fläkt (19 Pa)	Fläkt (20 Pa)	11/300	40,0

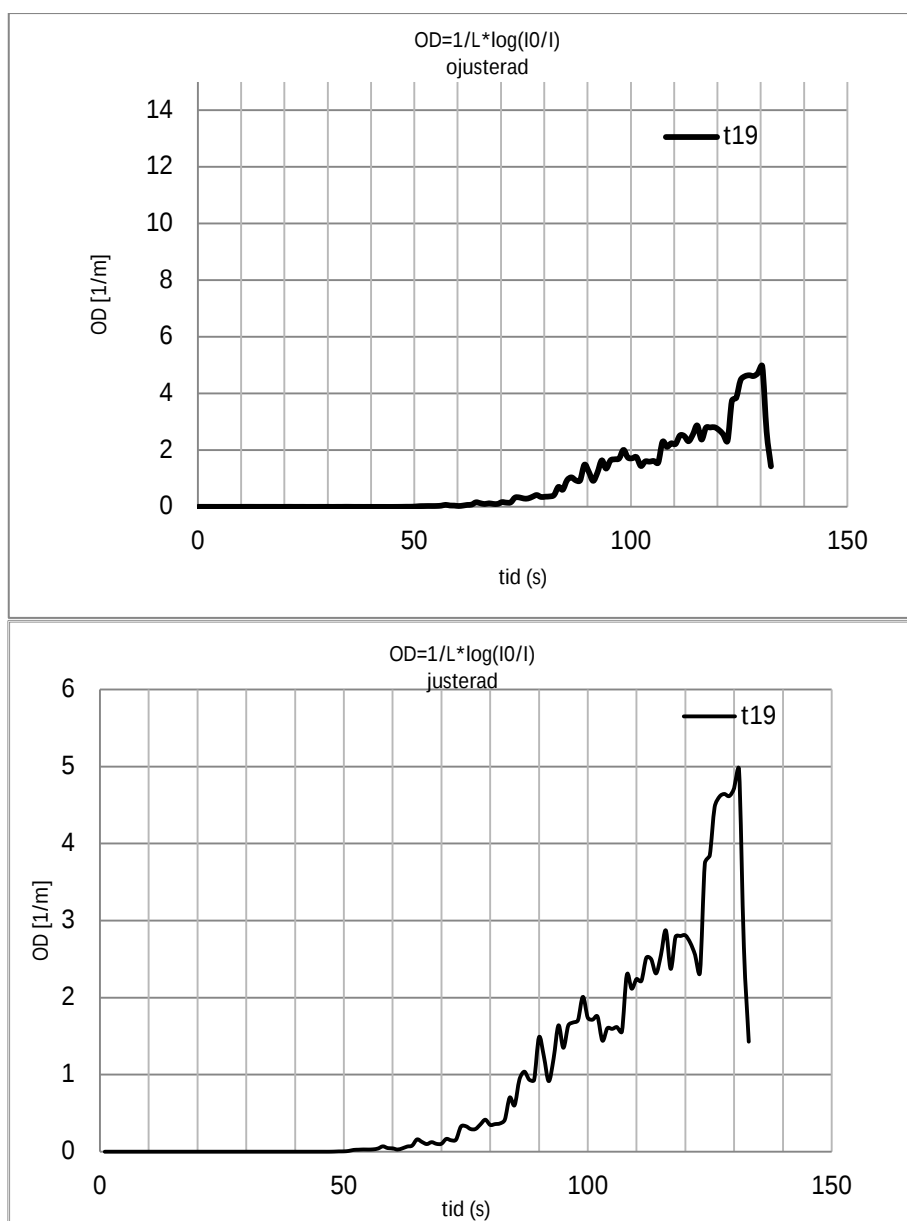


Diagram 19a. Test 19. Ojusterad och justerad OD

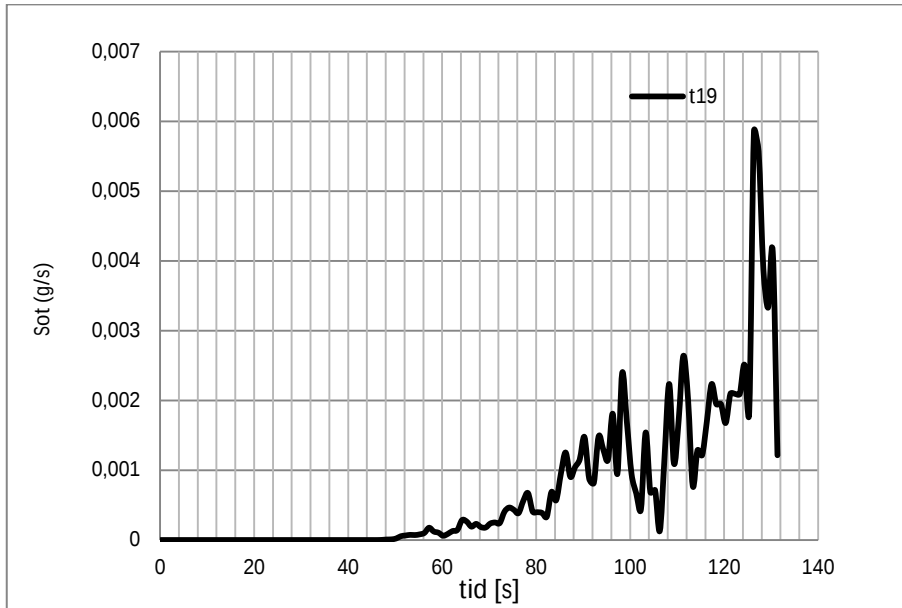


Diagram 19b. Test 19. Spridd sotmängd per sekund

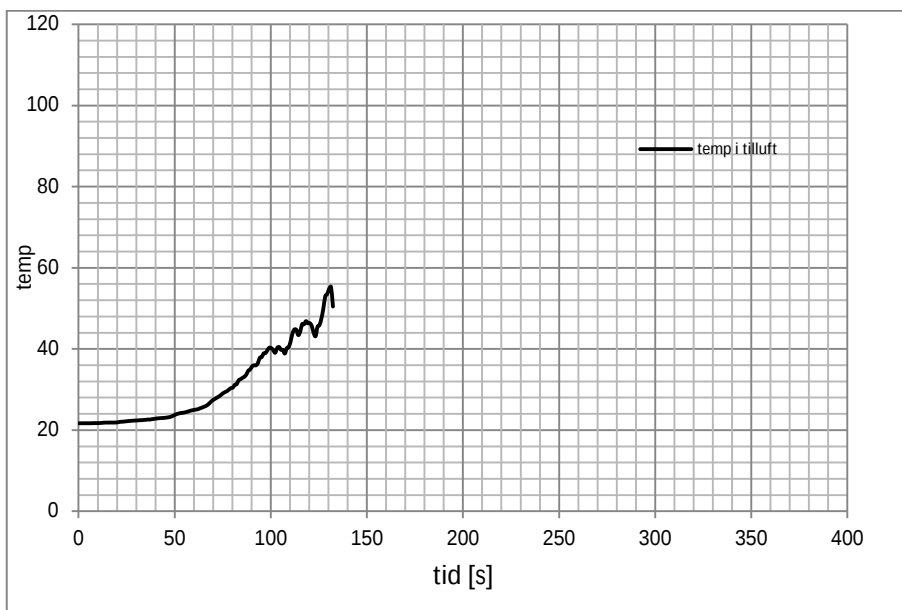


Diagram 19c. Test 19. Temperatur i tilluftskanal

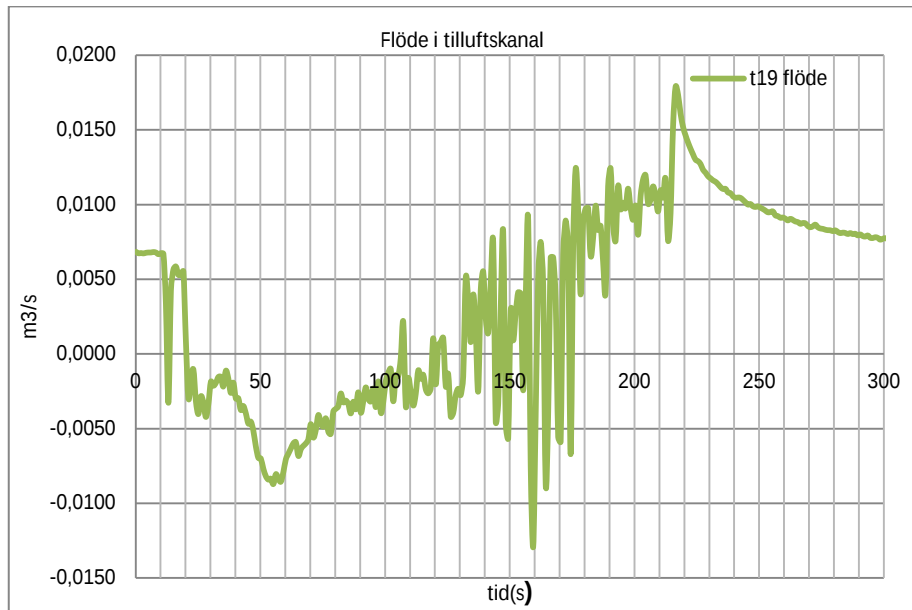


Diagram 19d. Test 19. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

Test 20

Test	A(tilluft)	C(frånluft)	Brand (stapel/ml)	Höjd ö golv (cm)
20	Fläkt (20 Pa)	Fläkt (20 Pa)	11/300	60

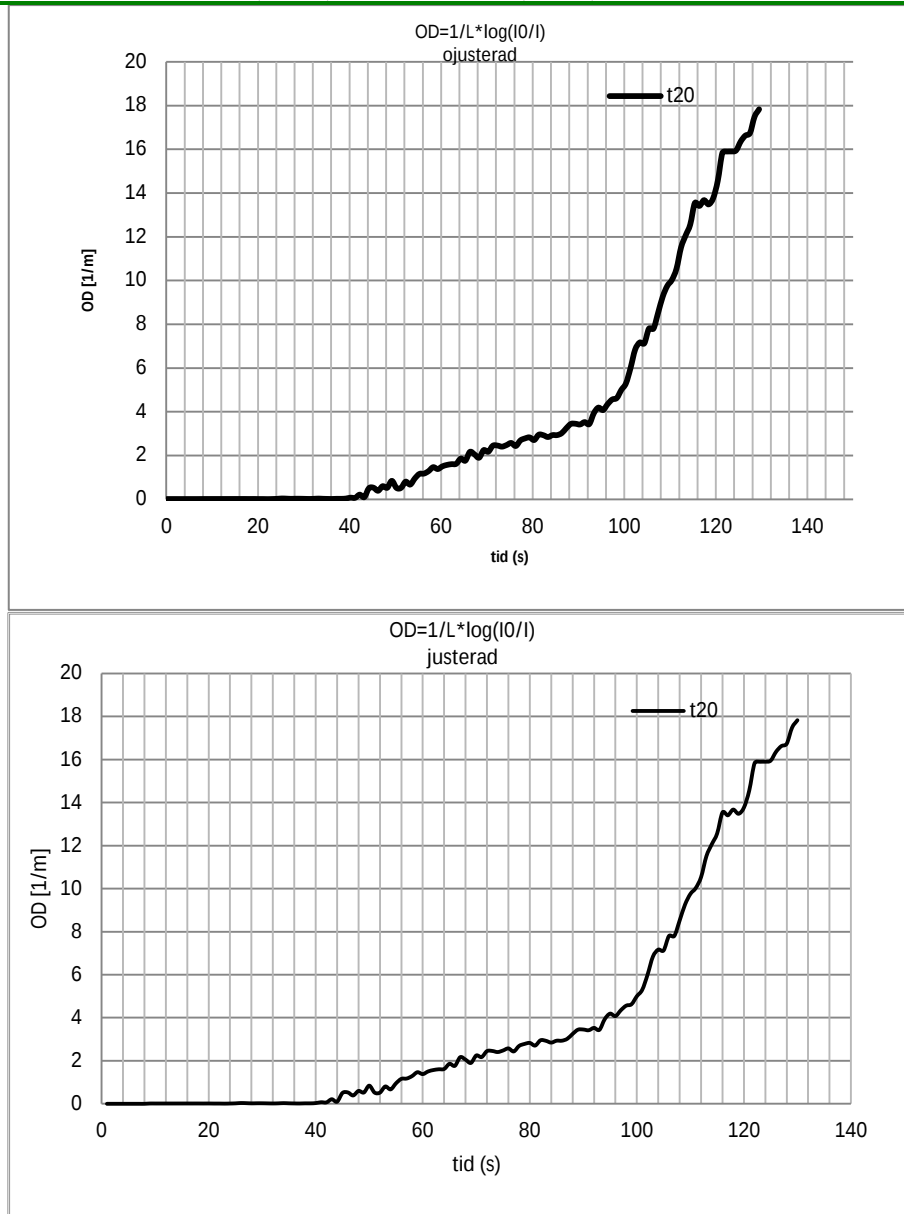


Diagram 20a. Test 10. Ojusterad och justerad OD

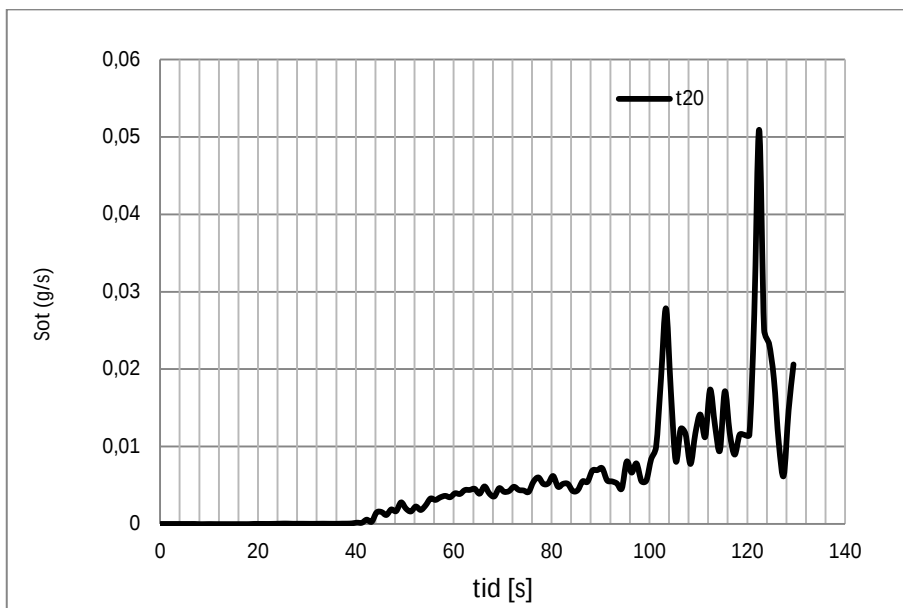


Diagram 20b. Test 20. Spridd sotmängd per sekund

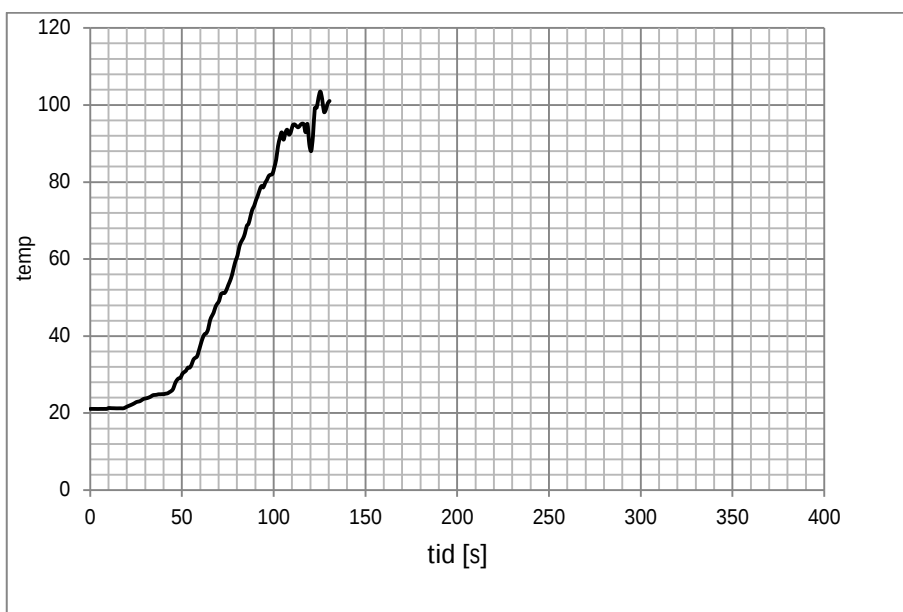


Diagram 20c. Test 20. Temperatur i tilluftskanal

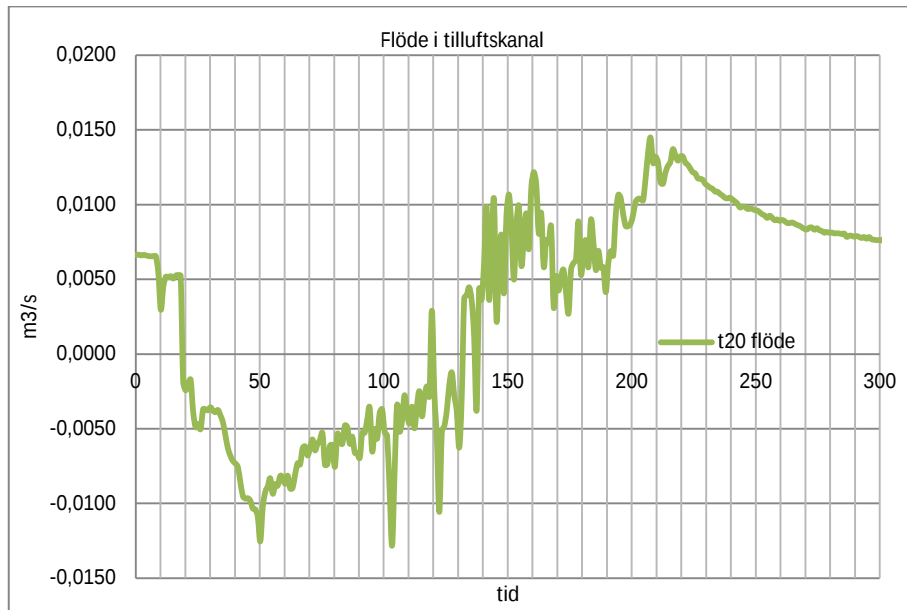
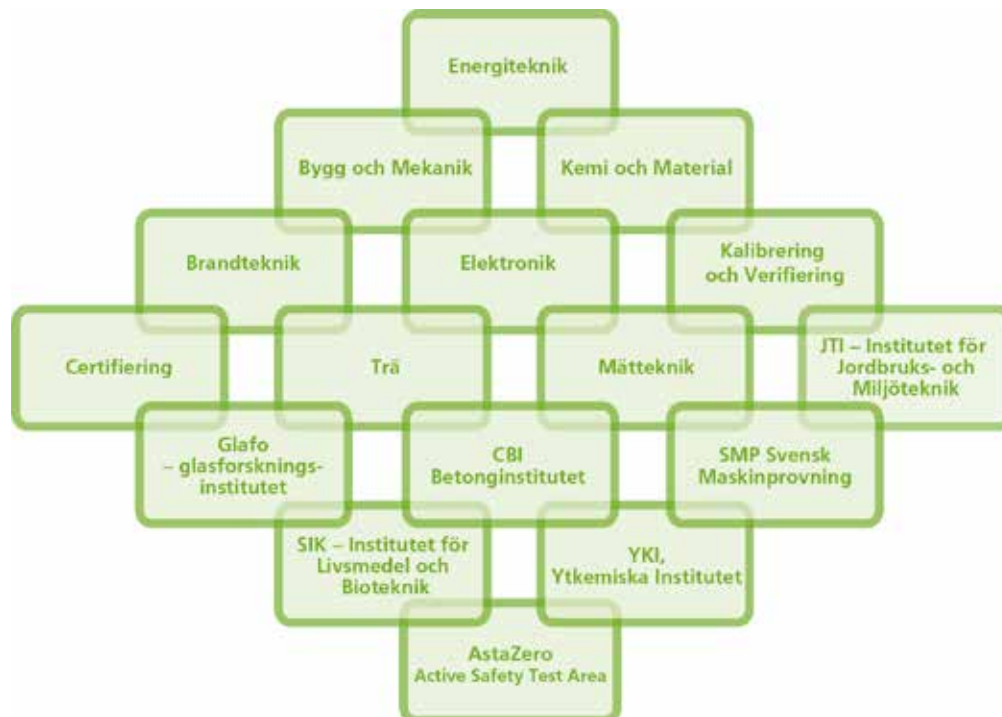


Diagram 20d. Test 20. Uppmätt volymflöde i tilluftskanal

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 10000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

Fire Research

SP Rapport 2012:17

ISBN 978-91-88001-26-9

ISSN 0284-5172