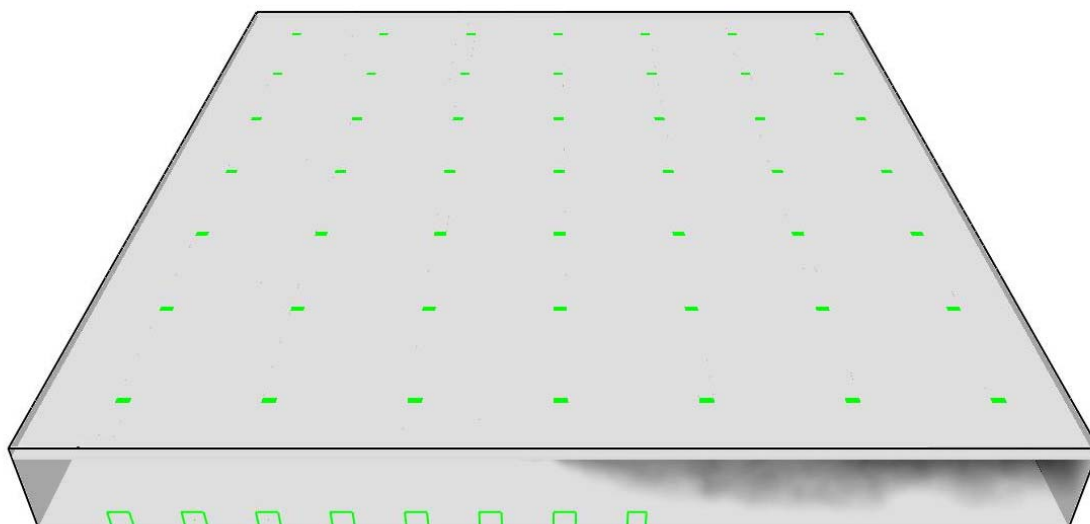


## OPTIMERING AV BRANDGASVENTILATION I STORA INDUSTRIER

**SBUF utvecklingsprojekt**



Projektledare: Erik Grahn  
Författare: Karin af Geijerstam

Bengt Dahlgren AB  
Malmö 2008-02-14  
SBUF projektnummer: 11958  
BDAB projektnummer: 407 23 01

[www.bengtdahlgren.se](http://www.bengtdahlgren.se)

**GÖTEBORG**

**BENGT DAHLGREN AB**

Victor Hasselblads gata 16  
421 31 V FROLUNDA  
Telefon: 031-720 25 00  
Telefax: 031-720 25 01  
Org.nr: 556285-9370

**LINKÖPING**

**BENGT DAHLGREN LINKÖPING AB**

Runstensgatan 5  
582 78 LINKÖPING  
Telefon: 013-37 40 50  
Telefax: 013-37 40 69  
Org.nr: 556091-0431

**MALMÖ**

**BENGT DAHLGREN MALMÖ AB**

Sallerupsvägen 11D  
212 18 MALMÖ  
Telefon: 040-635 17 00  
Telefax: 040-635 17 01  
Org.nr: 556607-2087

**STOCKHOLM**

**BENGT DAHLGREN STOCKHOLM AB**

Sickla Industriväg 6  
131 34 NACKA  
Telefon: 08-588 88 100  
Telefax: 08-588 88 101  
Org.nr: 556150-0751

GÖTEBORG

**BENGT DAHLGREN AB**

Victor Hasselblads gata 16  
421 31 V FROLUNDA  
Telefon: 031-720 25 00  
Telefax: 031-720 25 01  
Org.nr: 556285-9370

LINKÖPING

**BENGT DAHLGREN LINKÖPING AB**

Runstensgatan 5  
582 78 LINKÖPING  
Telefon: 013-37 40 50  
Telefax: 013-37 40 69  
Org.nr: 556091-0431

MALMÖ

**BENGT DAHLGREN MALMÖ AB**

Sallerupsvägen 11D  
212 18 MALMÖ  
Telefon: 040-635 17 00  
Telefax: 040-635 17 01  
Org.nr: 556607-2087

STOCKHOLM

**BENGT DAHLGREN STOCKHOLM AB**

Sickla Industriväg 6  
131 34 NACKA  
Telefon: 08-588 88 100  
Telefax: 08-588 88 101  
Org.nr: 556150-0751

## **Förord**

Detta projekt har utförts under hösten 2007 av Bengt Dahlgren AB i samarbete med NCC Teknik – Thomas Järphag. Projektet har fått ekonomiskt stöd från SBUF, Svenska byggbranschens utvecklingsfond, som är byggbranschens organisation för forskning och utveckling. Total arbetstid har varit ca 3 månader och arbetet har letts av Erik Grahn, brandingenjör och civilingenjör i riskhantering på Bengt Dahlgren. Största delen av arbetet har utförts av Karin af Geijerstam, brandingenjörs- och riskhanteringsstudent samt projektanställd på Bengt Dahlgren. Under projektets gång har det funnits en referensgrupp till hjälp med representanter från bland annat byggbranschen, konsultbranschen och räddningstjänsten.

Ett stort tack riktas till deltagare i referensgruppen samt andra som hjälpt till med information under projektets gång.

Malmö 14 februari 2008

Erik Grahn och Karin af Geijerstam

## Sammanfattning

Projektet behandlar dimensionering av brandgasventilation och går ut på att med hjälp av simuleringsprogram undersöka hur brandgasventilation i form av fläktar och luckor fungerar i stora industrier. Målet är att bidra till mer kostnadseffektiva lösningar vilket kan vara till nytta för både industrin, byggbranschen och försäkringsbranschen.

Två olika typer av verksamheter har undersökts, lager och produktion. För respektive verksamhet har simuleringar gjorts på tre lokalstorlekar: 3000 m<sup>2</sup>, 10 000 m<sup>2</sup> samt 20 000 m<sup>2</sup>. Simuleringar har gjorts för sprinklade bränder och beräkningar har utförts med hjälp av programmet FDS 5 (Fire Dynamics Simulator). Inget ställningstagande tas till brandgasventilationens nytta i sprinklade lokaler, fokus ligger på olika teknikval då brandgasventilation installeras i sprinklad industrimiljö.

Genom simuleringar kunde flöden för den termiska brandgasventilationen tas fram. Detta gjordes för luckor vars area motsvarade 0,5 % av golvarean. Flödena ger ett mått på brandgasluckornas effektivitet som sedan är direkt jämförbart med olika fläktkapaciteter vilket kan ge vägledning då det finns en valmöjlighet mellan luckor och fläktar. Även utnyttjandet av normalventilation diskuteras i samband med luckor och fläktar.

Resultaten från simuleringarna visade att den termiska brandgasventilationen hade relativt liten effekt på brandgaserna eftersom brandgaserna blev kalla på grund av de stora volymerna och sprinklernas nedkylning. Det totala volymflödet genom luckorna hamnade på mellan 10 och 35 m<sup>3</sup>/sek beroende på vilken verksamhet och lokalstorlek som studerades. Lägst flöde blev det i lagerlokalen på 3000 m<sup>2</sup> och högst flöde uppstod för lokaler på 20 000 m<sup>2</sup>. Skillnaden mellan de olika lokalstorlekarna förklaras framför allt av antalet luckor. Om flödena räknas om till luftomsättningar per timme fås värden mellan 0,4 luftomsättningar/timme i de största lokalerna upp till ca 3 luftomsättningar/timme i de minsta. Simuleringar med fläktar har genomförts med flöden mellan 10 m<sup>3</sup>/sek och 100 m<sup>3</sup>/sek. Simuleringarna visar att fläktar kan ge minst lika bra effekt som luckor. Framför allt kan det vara kostnadseffektivt att investera i fläktar i de större industrilokalerna där det krävs många luckor och luckorna har en förhållandevis liten effekt.

I viss utsträckning har även effekterna av brandgasskärmar undersökts. Resultaten visar att brandgasskärmar har en begränsad effekt på brandgasernas spridning eftersom brandgaserna blir kalla och trycks ner under skärmarna av sprinklervattnet.

Några direkta riktlinjer för när luckor respektive fläktar ska användas och i vilken omfattning ges inte eftersom detta är beroende av flera olika parametrar, bland annat hur fort verksamheten vill kunna vädra ut brandgaserna. Dock ger rapporten en vägledning om de olika systemens effektivitet vilket kan fungera som grund när olika alternativ för brandgasventilation diskuteras.

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	7
1.1	Bakgrund.....	7
1.2	Syfte och mål.....	7
1.3	Metod.....	7
2	Teori.....	9
2.1	Brandgasventilation.....	9
2.2	Kunskap på området idag.....	9
2.3	Simuleringsprogrammet FDS och Smokeview.....	10
2.4	Detact T2.....	10
3	Avgränsningar och begränsningar.....	11
4	Indata.....	13
4.1	Produktionslokaler.....	13
4.2	Lagerlokaler.....	14
4.3	Generell indata.....	15
5	Resultat och diskussion.....	17
5.1	Temperatur och sikt.....	17
5.2	Luckor.....	19
5.3	Fläktar.....	22
5.4	Luckor kontra fläktar.....	25
5.5	Brandgasskärmar.....	28
5.6	Osäkerheter.....	30
6	Slutsats och riktlinjer.....	32
	Källförteckning.....	34
	Bilaga A. Antaganden och osäkerheter.....	39
	Bilaga B. Materialberäkning.....	43
	Bilaga C. Geometrier för typlokalerna.....	44
	Bilaga D. Effektkurvor.....	51
	Bilaga E. Beräkning av bränsletyp.....	53
	Bilaga F. Sprinkleraktivering.....	54
	Bilaga G. Resultat från simuleringar.....	55

## Ordförklaringar

<b>Brandgasskärm</b>	Skärm från tak som ska hindra brandgaser att sprida sig i en lokal. Kallas också bl.a. flamskärm och på engelska smoke screen, draft curtain eller smoke curtain.
<b>CFD</b>	Computational Fluid Dynamics
<b>Detact T2</b>	Simuleringsprogram för aktiveringstider
<b>ESFR</b>	Early Supression Fast Response
<b>FDS</b>	Fire Dynamics Simulator, CFD-program skapat av National Institute of Standards and Technology (NIST).
<b>Grid</b>	Rutnät som FDS delar upp i beräkningsvolym i. Ju finare grid desto noggrannare beräkningar.
<b>Mesh</b>	Beräkningsvolym i FDS.
<b>Smokeview</b>	Programvara för att visa resultat från FDS grafiskt

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Idag finns en stor spridning i hur brandgasventilation dimensioneras i industrier. Detta bidrar till att säkerheten i en del lokaler blir otillräcklig och att brandgasventilationen i en del andra lokaler överdimensioneras. Brandgasventilationen är en stor investeringskostnad och bättre riktlinjer för dimensioneringen skulle kunna bidra till mer kostnadseffektiva lösningar.

Under 1970-talet tog Svenska Brandförsvärsföreningen (SBF) fram en beräkningsmetodik där man med hjälp av tabeller och beräkningsformler bestämmer brandgasventilationens omfattning utifrån verksamhet och yttre förutsättningar.<sup>1</sup> Under 1980- och 90-talet blev det allt vanligare att använda handberäkningsmodeller som t.ex. Tanaka Yamana<sup>2</sup> och enklare beräkningsprogram (tvåzonsmodeller).

Problemen med de äldre modellerna är att de är giltiga under vissa givna kriterier och att de bland annat inte tar hänsyn till hur flödets rörelser påverkas vid väggar. Under det senaste decenniet har mer avancerade beräkningsmodeller, s.k. CFD-modeller (Computational Fluid Dynamics), börjat användas. Idag finns tillgång till både programvara och beräkningskapacitet som inte funnits tidigare. Detta gör det möjligt att utföra större och mer komplicerade beräkningar med CFD-modeller och därmed utföra de simuleringar som krävs i detta projekt.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet var att med hjälp av simuleringsprogram jämföra hur brandgasventilation i form av luckor och fläktar fungerar i stora sprinklade industrilokaler.

Målet var att hitta mer kostnadseffektiva lösningar. Förhoppningsvis kan resultaten vara till nytta både för byggindustrin och för försäkringsbranschen när det gäller praktisk utformning av brandgasventilation i industrilokaler. Att använda rätt system i rätt omfattning kan leda till att stora pengar sparas.

Det finns också ett allmänt pedagogiskt och praktiskt värde i att bättre förstå hur brandgasventilation fungerar och att kunna optimera den utifrån den önskade funktionen.

## 1.3 Metod

I princip följdes arbetsgången litteraturstudier, bestämning av indata, simuleringar och tolkning av simuleringsresultat.

För att få en översikt över de dimensioneringsmetoder som används idag och vilka idéer kring brandgasventilation som finns har böcker, artiklar, rapporter, regelverk och standards studerats.<sup>3</sup> Litteraturstudien gav också viktig information om vilken indata till simuleringarna som var viktig att beakta. När det gäller regelverk och standards är det framför allt material

---

<sup>1</sup> SBF (1982)

<sup>2</sup> Karlsson, B. och Quintere, J.G.(2000)

<sup>3</sup>Se avsnittet "Övrigt material" i källförteckningen.

från USA, Storbritannien och Australien som har använts eftersom dessa länder har relativt mycket material inom området som dessutom är ganska lättillgängligt.

Tidigt i projektet utsågs en referensgrupp bestående av personer från bland annat byggbranschen, industrin och forskningsområdet. Referensgruppen utsågs av projektledaren i samråd med SBUF och bidrog under projektets gång med sina kunskaper genom möten och telefonsamtal. Även personer utanför referensgruppen, t.ex. konsulter internationellt, kontaktades.<sup>4</sup>

Deltagare i referensgruppen:

Bengt Andreasson - Brandingenjör, Bengt Dahlgren AB Linköping (f.d. Factory Mutual)  
Henrik Johansson - Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola (forskar på industribrandskydd)  
Rolf Jonsson - konsult, representerar Wästbygg  
Claes Josefsson - Skanska Teknik  
Thomas Järphag - NCC Teknik  
Arben Krasniqi - Volvo Lastvagnar, Säkerhet Göteborg  
Samuel Nyström - Räddningstjänsten Jönköping  
Torbjörn Schwartz - Fire Protection Coordinator, General Motors Europe (Bengt Dahlgren AB fr.o.m. februrari 2008)

Innan simuleringarna startade hade referensgruppen ett möte där alla indataparametrar diskuterades och värderades. Efterhand som provsimuleringar och diskussioner fortgick sattes vissa parametrar konstanta medan andra varierades på olika sätt. Personer med specialkunskap inom bland annat ventilation och sprinkler kontaktades för att bidra med idéer kring lämpliga generaliseringar.<sup>5</sup> Det gjordes också ett studiebesök i Volvos lokaler i Göteborg för att knyta antagandena till verkliga miljöer.

När tillräckligt mycket kunskap om nödvändig indata hade samlats in påbörjades simuleringar. Simuleringsscenarier bestämdes i förväg men förändrades i takt med att nya resultat skapade nya behov av simuleringar.

För att utföra simuleringar har CFD-programmet FDS<sup>6</sup> använts. Simuleringarna visas grafiskt i programmet Smokeview<sup>7</sup>. Aktiveringstider för sprinkler erhöles bland annat genom programmet Detact T2<sup>8</sup>. För en utförligare beskrivning av programmens funktion, se respektive teoriavsnitt i kapitel 2.

---

<sup>4</sup> Se avsnittet ”Muntliga referenser” i källförteckningen

<sup>5</sup> Arvidson M. (2007), Cottman P. (2007), Eriksson L-G. (2007), Holmberg K. (2007), Jäderholm C. (2007), Rehnby M. (2007).

<sup>6</sup> FDS 5.0.1-5.0.3 (2007).

<sup>7</sup> Smokeview 5.0.5 (2007).

<sup>8</sup> Detact T2 (1986).



## 2 Teori

### 2.1 Brandgasventilation

Naturlig brandgasventilation bygger på de termiska stigningarna som skapas. Brandgaserna är varmare än den omgivande luften och stiger mot taket.

Brandgasventilationens syfte är normalt framför allt att möjliggöra utvädring av varma brandgaser för att förhindra övertändning i lokaler. Den förbättrar också sikten för räddningstjänsten vid insats. Brandgasventilation kan vara manuellt öppningsbar eller automatisk. Vid sprinklade lokaler används oftast brandgasluckor som öppnas manuellt eller genom ett smältbleck som har högre aktiveringstemperatur än sprinklerna. Diskussion pågår inom branschen kring när brandgasventilationen ska öppna i samband med sprinklade bränder för att göra störst nytta. Majoriteten av det material som studerats inför det här projektet förespråkar aktivering av brandgasventilation efter sprinklernas aktivering. Anledningen till detta är att inte riskera en fördröjning av sprinkleraktiveringen på grund av att temperaturen i lokalen sänks då luckor öppnas.<sup>9</sup> Brandgasventilationens funktion är också beroende av mängden tilluft, placering av öppningar och vindförhållanden.

Ett alternativ till luckor är att använda fläktar. Idag används fläktar som brandgasventilation i industrilokaler i liten omfattning.

Det finns olika åsikter om nyttan med brandgasventilation i sprinklade lokaler. I denna rapport ligger fokus på teknikval och inget ställningstagande tas till brandgasventilationens nytta.

### 2.2 Kunskap på området idag

Kunskapen kring brandgasventilation i stora och sprinklade lokaler är begränsad både inom Sverige och internationellt. Det har förekommit en hel del diskussioner kring sprinkler och brandgasventilation.<sup>10</sup> Dock har dessa ofta fokuserat på interaktionen mellan sprinkler och brandgasventilation och vilket system som bör aktiveras först. Ofta har diskussionerna slutat i nya frågetecken. Inga simuleringar med flödesberäkningar verkar ha genomförts och dokumenterats och antalet verkliga försök är få. En del praktisk kunskap finns givetvis hos räddningstjänsterna men de flesta erfarenheter är dåligt dokumenterade. Olycksrapporter fokuserar ofta på brandorsak och larmgång och inte på hur t.ex. räddningstjänsten arbetat med brandgasventilation eller vilka iakttagelser de gjort i lokaler med sprinkler.<sup>11</sup>

Regelverk och standards i olika länder tar upp brandgasventilation i olika stor omfattning. I vissa länder, t.ex. Nya Zeeland, är reglerna kring brandgasventilation mycket begränsade<sup>12</sup>. I bland annat USA och Australien finns däremot regler om storlek, avstånd m.m. både när det gäller brandgasluckor och brandgasskärmar<sup>13</sup>. Reglerna bygger oftast på någon form av riskklassificering av verksamheten och de flesta regelverk är relativt lika varandra.

---

<sup>9</sup> Se avsnittet "Övrigt material" i källförteckningen.

<sup>10</sup> Se bl.a. Ingason, H. och Arvidson, M. (2001) samt Beyler, L. och Cooper, L.Y. (1999).

<sup>11</sup> SRV (2007) samt Erlandsson, U. (2007).

<sup>12</sup> Edwards, A.P.R. m.fl. (2007).

<sup>13</sup> IBC (2006) och BCA (2007).

Ett undantag är IBC (International Building Code)<sup>14</sup> som inte ställer krav på brandgasventilation alls i ESFR-sprinklade byggnader. Enligt de samtal som förts med yrkesverksamma konsulter i flera olika länder<sup>15</sup> finns det inte någon generell praxis för hur brandgasventilation i stora industrilokaler bör lösas.

Kunskapen som behövs för att kunna genomföra ett projekt inom det här området finns hos en mängd olika aktörer. Detta märktes vid litteraturstudien där det var svårt att hitta litteratur som fångade alla delar av problemet. Framför allt var det svårt att hitta litteratur om sprinklers effekt på brandgaser och hur sprinklerfunktionen fungerar i FDS.

## 2.3 Simuleringsprogrammet FDS och Smokeview

FDS 5<sup>16</sup> (Fluid Dynamics Simulator) är ett CFD-simuleringsprogram som beräknar flöden av gaser. Programmet är utvecklat av NIST (National Institute of Standards and Technology) och är ett av de mest använda programmen för brandgassimulering.

Simuleringarna görs genom att beräkningsvolymen delas in i en stor mängd små kuber med en bestämd storlek som programmet utför beräkningar över. Informationen sätts sedan samman till utdata som kan visas grafiskt i programmet Smokeview. I FDS finns bland annat möjlighet att använda sprinkler, detektorer och fläktar.

Programmet gör det möjligt att utföra beräkningar på stora volymer och komplicerade geometrier. Nackdelen är att programmet behöver mycket datorkraft för de stora beräkningarna. En del funktioner är också relativt otestade, bland annat sprinklerfunktionen. Det finns dock data som verifierar funktionen<sup>17</sup>. En utförlig beskrivning av funktionerna i FDS 5 finns i användarmanualerna<sup>18</sup>.

I Smokeview<sup>19</sup> finns möjlighet att visa utdata från FDS grafiskt. Vad som kan visas styrs av vilken utdata som bestämts att FDS ska beräkna. Det går bland annat att titta på temperaturfördelningar i rummet, strömningshastigheter vid brandgasluckor, siktförhållanden och hur brandgaslagret sänker sig i lokalen.

## 2.4 Detact T2

Detact T2<sup>20</sup> är ett program som kan användas för att beräkna aktiveringstiden för bland annat sprinkler vid  $\alpha^2$ -bränder<sup>21</sup>. Programmet antar att sprinklern finns i ett stort rum och att det bara är takbrandplymen som värmer sprinklerbulben. Ingen uppvärmning sker från brandgaserna som samlas i rummet vilket ger ett konservativt värde på aktiveringstiden. För att kunna utföra beräkningar behöver man bland annat höjden till taket ovanför branden, avståndet mellan sprinklerna och RTI-värdet.

---

<sup>14</sup> IBC (2006).

<sup>15</sup> Ahmed, V. (2007), Arvidsson, M. (2007), Lundqvist, M. (2007), Roberts, C. (2007), Svensson, H. (2007) och Vinberg, D. (2007).

<sup>16</sup> FDS 5.0.1- FDS 5.0.3 (2007).

<sup>17</sup> Mc Grattan, K. (2007).

<sup>18</sup> FDS 5 Users Guide (2007) och FDS 5 Technical Guide (2007).

<sup>19</sup> Smokeview 5.0.5 (2007).

<sup>20</sup> Detact T2 (1986).

<sup>21</sup>  $\alpha^2$ -brand behandlas bl.a. i Karlsson, B och Quintere, J.G. (2001).

### 3 Avgränsningar och begränsningar

För att hålla projektet inom rimliga ramar görs en del avgränsningar bland annat när det gäller brandgasventilationens funktion. Dessutom leder programvaran till begränsningar, till exempel när det gäller lokalutformning i FDS 5.

#### Avgränsningar

<i>Andra byggnader</i>	Ingen hänsyn tas till spridningsrisker till andra byggnader. Det är endast konsekvenser för den aktuella byggnaden som beaktas.
<i>Horisontellt placerad brandgasventilation</i>	Simuleringarna utgår från att det går att använda sig av horisontellt placerad brandgasventilation i taket. Simuleringarna med fläktar utgår från att det är möjligt att placera fläktarna i vägg.
<i>Indata</i>	En hel del avgränsningar görs när det gäller indata, framför allt med syfte att begränsa antalet simuleringar. Se avsnitt 3.2 för en mer detaljerad genomgång av antaganden gällande indata.
<i>Kritiska förhållanden</i>	Inga ställningstagande görs till gränsvärden för att avsedd funktion skall uppnås. Det är svårt att hitta konsensus i branschen för en definition av när brandgasventilationen lyckats och misslyckats. Fokus har istället legat på teknikjämförelsen mellan luckor och fläktar.
<i>Tillförlitlighet hos de tekniska systemen</i>	Utgår från att systemen fungerar som de ska samt att sprinkler begränsar branden och håller den nere på en relativt låg, kontrollerad nivå.
<i>Sprinkler och brandgasventilation</i>	Brandgasventilationen aktiveras efter sprinklern. Frågan om hur luckor/fläktar påverkar sprinklerns funktion har ej studerats.
<i>Sprinklad brand</i>	Simulerar endast sprinklade bränder då många stora industribyggnader sprinklas idag och då det är svårt att bestämma storleken på en osprinklad brand.
<i>Sprinkler i FDS 5</i>	Sprinklerfunktionen i FDS används inte fullt ut då den inte är helt validerad. I simuleringarna används möjligheten att lägga in sprinklerns flöde, spridningsvinkel och aktiveringstid. Funktionen att aktivera sprinklern på RTI-värde används inte, istället används Detact T2. Inte heller branden påverkas av sprinklern i FDS, effektutvecklingskurvorna är framtagna utifrån försök. För övriga parametrar som beskriver sprinklerfunktionen i FDS används programmets default-värden <sup>22</sup> .
<i>Vindpåverkan</i>	Ingen hänsyn tas till vindpåverkan.

---

<sup>22</sup> FDS 5 Users Guide (2007).

## Begränsningar

<i>Datorkapacitet</i>	Mängden celler gör det omöjligt att köra alla beräkningar i riktigt fin grid. Istället görs några kontrollsimuleringar för att kontrollera oberoendet.
<i>Storlek grid</i>	Majoriteten av simuleringarna har körts i 0,5 m-grid. Ju finare grid simuleringarna körs i desto noggrannare blir resultaten men samtidigt ökar också simuleringstiden kraftigt.
<i>Storlek lokal</i>	Precis som gridstorleken är storleken på lokalen avgörande för antalet celler och därmed simuleringstiden. 20 000 m <sup>2</sup> anses vara en rimlig övre storlek med hänsyn till verkligheten och simuleringsmöjligheterna.
<i>Sprinkler i FDS 5</i>	Sprinklerfunktionen i FDS 5 har inte jämförts med verkliga försök i någon större omfattning, se Avgränsningar.
<i>Utdata</i>	I Smokeview finns endast möjlighet att titta på sikt som understiger 30 meter. Det hade varit till stor hjälp av även kunna se mindre siktförändringar.

## 4 Indata

Två huvudtyper av verksamheter studeras, lagerlokaler och produktionslokaler. Beroende på verksamhet varierar en del indataparametrar. För respektive verksamhet studeras tre olika lokalstorlekar: 3000 m<sup>2</sup>, 10 000 m<sup>2</sup> och 20 000 m<sup>2</sup>. Nedan visas en sammanställning för den indata som används för de två typfallen. Den indata som är gemensam för samtliga simuleringar redovisas i avsnitt 4.3. Motiveringar till antaganden och en diskussion kring dessa finns i Bilaga A.

### 4.1 Produktionslokaler

Lokalstorlek	3000 m <sup>2</sup>	10 000 m <sup>2</sup>	20 000 m <sup>2</sup>
Takhöjd	7 m	7 m	7 m
Brandgasluckor	16 m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>	98 m <sup>2</sup>
Tilluft	11 m <sup>2</sup>	36 m <sup>2</sup>	70 m <sup>2</sup>
Sprinkler (se också 4.3.1)	Standardsprinkler Flöde: 100 l/min	Standardsprinkler Flöde: 100 l/min	Standardsprinkler Flöde: 100 l/min
Geometri	Typlokal P3000*	Typlokal P10 000*	Typlokal P20 000*

\* se Bilaga C

### Brand

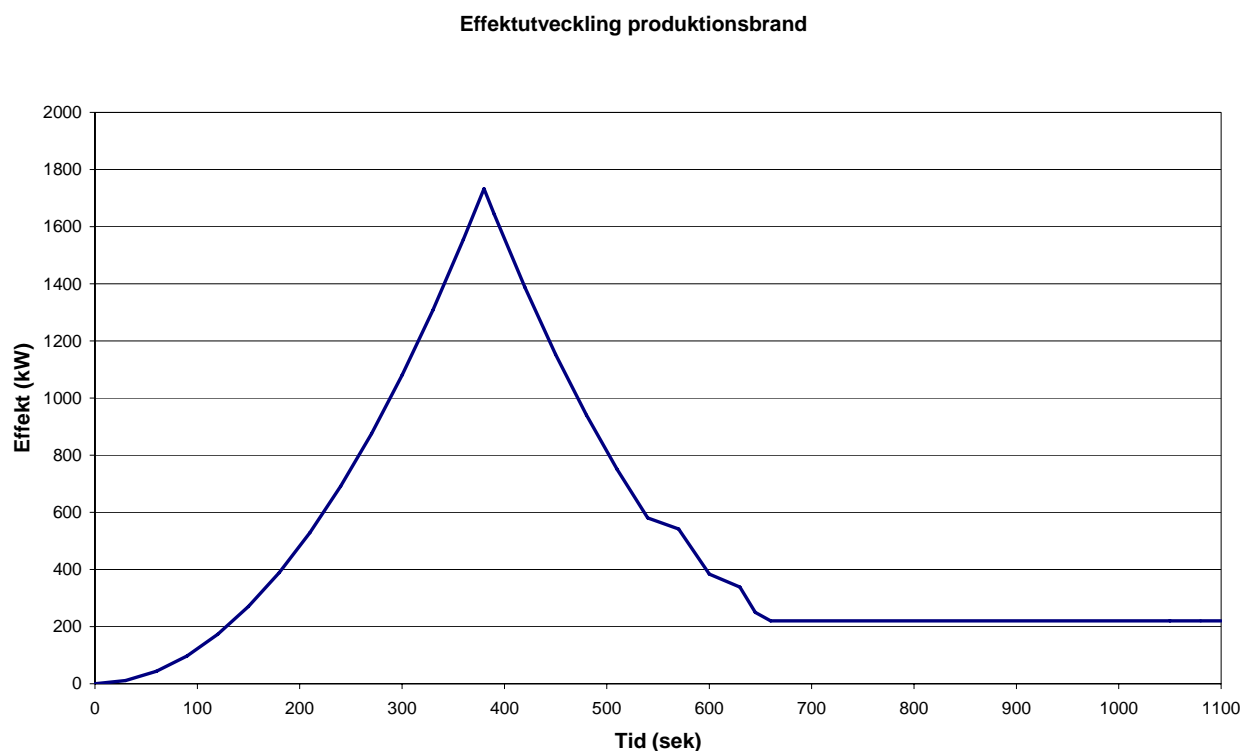
Brandkurvan justeras i förhållande till sprinkleraktiveringstiden, se Bilaga D.

Maximal brandarea: 6 m<sup>2</sup>

Tillväxthastighet: medium (0.012 kW/s<sup>2</sup>)

Aktiveringstid sprinkler: 6 minuter (se Bilaga

F)



Figur 1. Effektutvecklingskurva för brand i produktionslokal.

## 4.2 Lagerlokaler

Lokalstorlek	3000 m <sup>2</sup>	10 000 m <sup>2</sup>	20 000 m <sup>2</sup>
Takhöjd	13 m	13 m	13 m
Brandgasluckor	16 m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>
Tilluft	11 m <sup>2</sup>	36 m <sup>2</sup>	70 m <sup>2</sup>
Sprinkler (se också 4.3.1)	ESFR Flöde: 600 l/min	ESFR Flöde: 600 l/min	ESFR Flöde: 600 l/min
Geometri	Typlokal L3000*	Typlokal L10 000*	Typlokal L20 000*

\* se Bilaga C

### Brand

Brandkurvan justeras i förhållande till sprinkleraktiveringstiden. Se Bilaga D för beräkningar. Effektutvecklingskurvan baseras på försök från SP men anpassas till aktuell takhöjd, lagringsnivå och sprinkleraktiveringstid, se bilaga F.

Maximal brandarea: 15 m<sup>2</sup>.

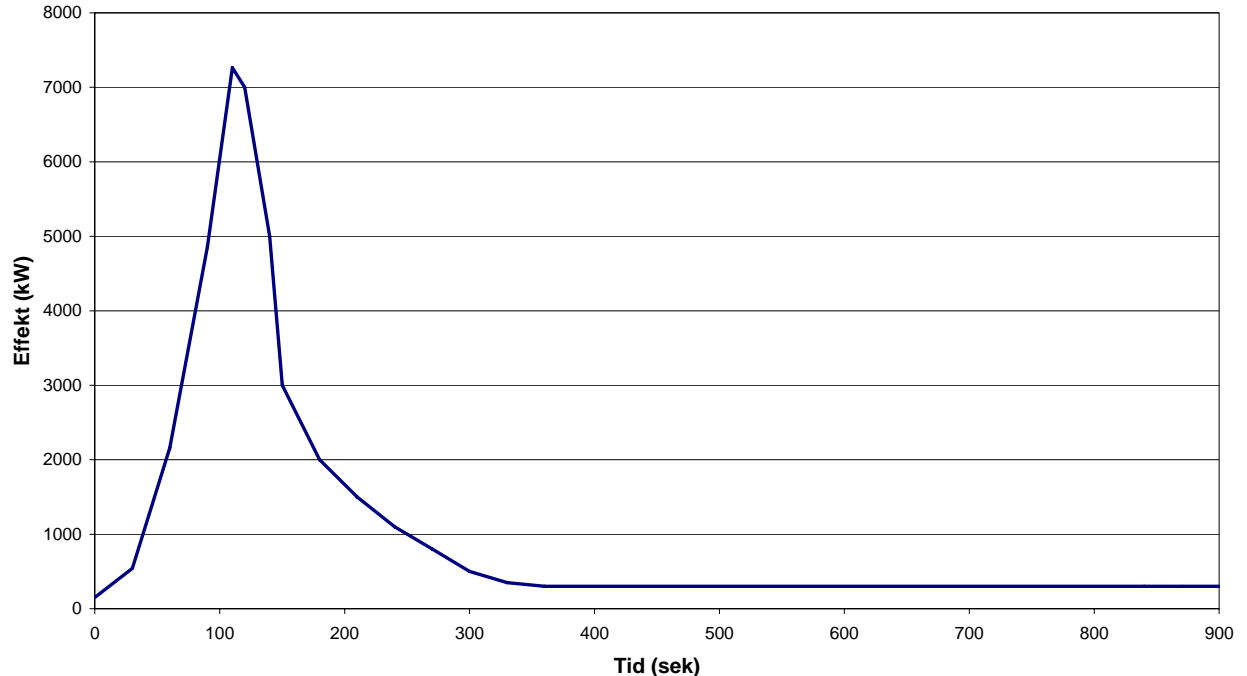
Höjd lagerstapel: 10 meter (fem kuber á 1,5\*1,5\*2 meter staplade på varandra)

Ena sidan på kuberna brinner.

Tillväxthastighet: 0.6 kW/s<sup>2</sup>

Aktiveringstid sprinkler: 90 sekunder (se Bilaga F)

Effektutveckling lagerbrand



Figur 2. Effektutvecklingskurva för brand i lagerlokal.

## 4.3 Generell indata

### 4.3.1 Sprinkler

Olika typer av sprinkler används i produktions- respektive lagerlokal (se avsnitt 4.1 samt 4.2). Sprinklerna aktiveras på tid i FDS och inte efter sitt RTI-värde. I båda typfallen aktiveras sex sprinkler vid samma tidpunkt. Aktiveringstiden är framräknad med Detact T2 och med hjälp av försöksdata, se Bilaga F.

Sprinklerna är placerade över branden men så långt från brandens centrum som möjligt. Spridningsvinkel (vinkel från tak) är 19-20 grader.

### 4.3.2 Byggnadsmaterial

Byggnadsmaterialet i väggar och tak antas vara isolering/plåt. 0.5 mm plåt/499 mm isolering/0.5 mm plåt. För isoleringen räknas ett  $\lambda$ -värde fram som motsvarar konduktiviteten i en 180 mm tjock isolering. Se Bilaga B för beräkningar.

### 4.3.3 Lokalutformning

Lokalerna är så gott som kvadratiska, dock tas hänsyn till att det blir en smidig meshutformning i FDS. Se Bilaga C för mått.

### 4.3.4 Takutformning

Taken är platta med undantag för de simuleringar där brandgasskärmar används. Ingen hänsyn tas till sågtandade tak eller lanterniner.

### 4.3.5 Tilluft

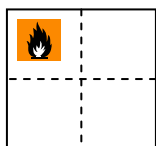
Tilluften motsvarar ca 70 % av brandgasventilationen i de fall sådan finns, se Bilaga C för placering. Tilluften består av portar  $3 \times 3 \text{ m}^2$  där den sista porten justeras i storlek för att motsvara respektive lokals tilluftsarea. T.ex. så har lokaler på  $3000 \text{ m}^2$  en port á  $9 \text{ m}^2$  och en port á  $2 \text{ m}^2$ . Tilluften är i samtliga fall öppen under hela simuleringen.

### 4.3.6 Bränsle

Bränslet antas bestå av 50 % plast (Polyuretan) och 50 % trä (Cellulosa), se Bilaga E för beräkning.

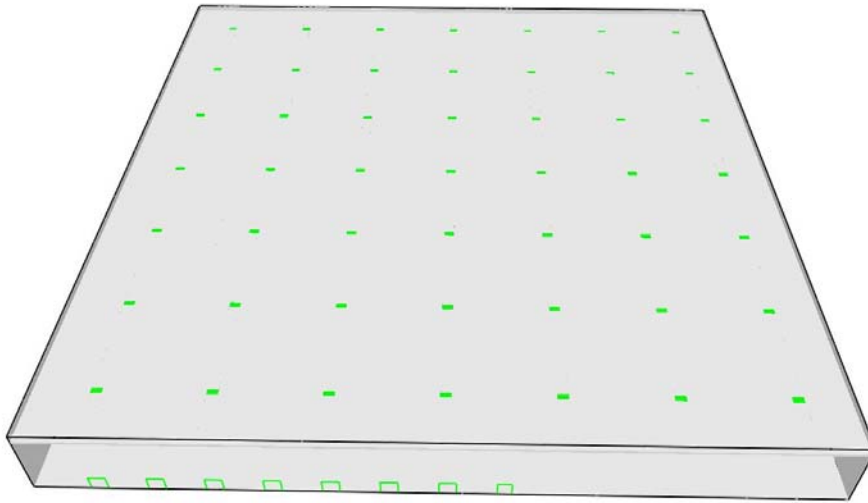
### 4.3.7 Placering av brand

Placeras i mitten av lokalens ena kvadrant.



### 4.3.8 Brandgasventilation

Den totala arean av brandgasventilationen sätts till 0,5 % av golvarean och varje lucka är  $2 \text{ m}^2$ , se exempel i Figur 3. Brandgasventilationen antas aktiveras efter 10 minuter, till exempel av räddningstjänsten.



Figur 3. Utplacering av brandgasventilation i form av luckor i en 20 000 m<sup>2</sup>-lokal.

#### 4.3.9 Brandgasfläktar

Några simuleringar med fläktar genomförs. Storlekar på fläktar varierar mellan 10 m<sup>3</sup>/s och 50 m<sup>3</sup>/s. Simuleringar genomförs med totala fläktflöden på mellan 10 och 100 m<sup>3</sup>/s. Vägglacerade fläktar utplaceras så jämnt som möjligt på väggen mitt emot tilluften. Takplacerade fläktar placeras någon meter ut från väggen mitt emot tilluften och så jämnt fördelade som möjligt. Fläktarna antas aktivera efter samma tid som brandgasventilationen, d.v.s. efter 10 minuter.

#### 4.3.10 Normalventilation

Värden för normalventilation används som jämförelsevärden för fläktar och luckor i diskussionen. Normalt ligger ventilationsflöden på 0,5 l/m<sup>2</sup>s-5 l/m<sup>2</sup>s. För lagerlokaler används ofta flöden kring den nedre gränsen och för produktionslokaler beror flödet på hur mycket föroreningar och människor det finns i lokalen. Flöden i produktionslokaler kan ligga upp mot 10 l/m<sup>2</sup>s.<sup>23</sup>

#### 4.3.11 Brandgasskärmar

Används inte i simuleringarna med typfallen men undersöks separat. Simuleringar har gjorts med olika djup på skärmar och med olika avstånd mellan dessa. Djupen har varierats mellan 1 och 3 meter. Avstånden har varierat mellan 20 och 40 meter.

#### 4.3.12 Meshutformning

De flesta simuleringar har utförts med åtta mesher och beräknats på åtta processorer. Några simuleringar har utförts med en mesh.

#### 4.3.13 Gridstorlek

Generellt används en gridstorlek på 0,5 meter. Några kontrollberäkningar utförs med en gridstorlek på 0,25.

---

<sup>23</sup> Cottman, P. (2007), Eriksson, L-G. (2007), Rehnby, M. (2007)



## 5 Resultat och diskussion

Detta kapitel är indelat i fem delar där resultat och diskussion redovisas för respektive del:

- Temperatur och sikt
- Luckor
- Fläktar
- Luckor kontra fläktar
- Brandgasskärmar

Tyngdpunkten ligger på simuleringarna med luckor och fläktar och en jämförelse mellan dessa båda system görs i avsnittet luckor kontra fläktar.

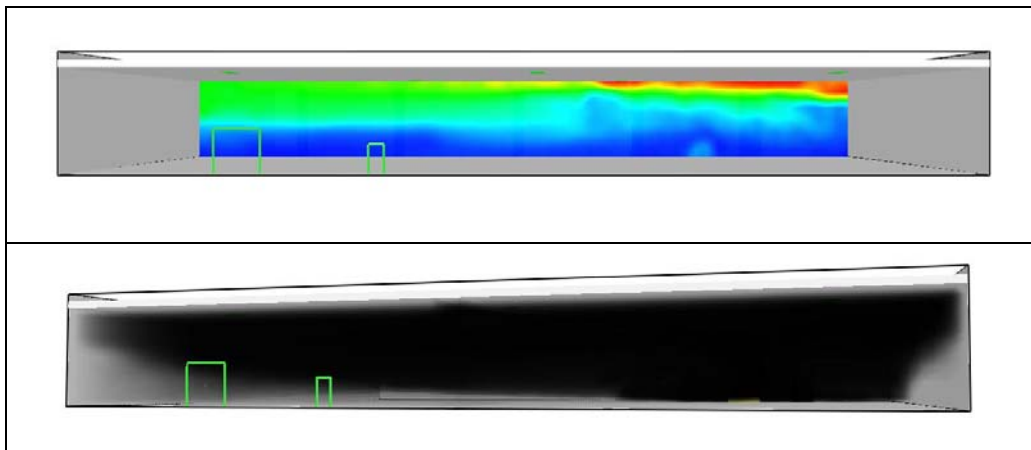
### 5.1 Temperatur och sikt

Tidigt i simuleringarna med termisk brandgasventilation framkom att de stora lokalvolymerna ihop med sprinklernas kylande effekt ledde till att brandgaserna blev kalla, se Tabell 1. Maxtemperatur är den högsta temperatur som har observerats i brandgaslagret (utanför branden och brandplymen) under simuleringarna.

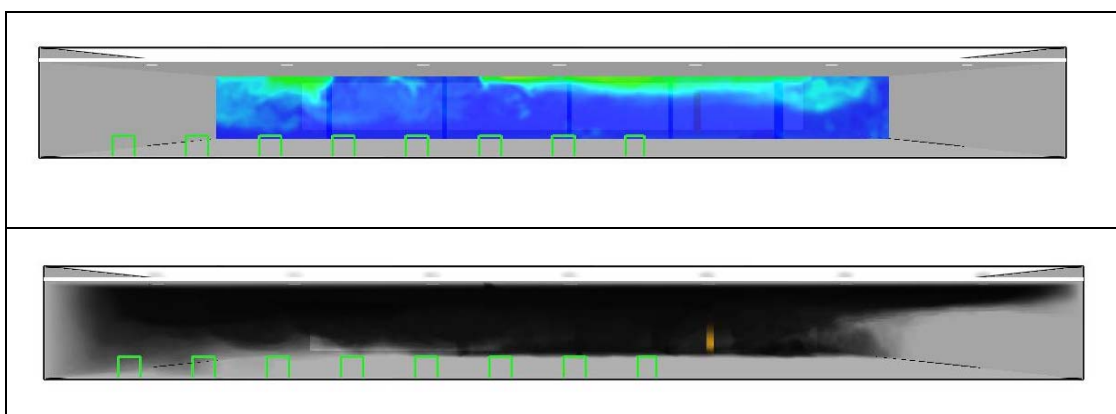
Lokal	Maximal temperatur °C
<b>Produktion</b>	
3000	40
10 000	30
20 000	30
<b>Lager</b>	
3000	35
10 000	30
20 000	25

Tabell 1. Maxtemperaturer i de olika lokalerna. Värden är avrundade till närmsta femtal.

Viss skiktning mellan brandgaslagret och den kallare omgivande luften går att se, tydligast syns det i de mindre lokalerna (Figur 4). I de större lokalerna är temperaturen nästan homogen (Figur 5).

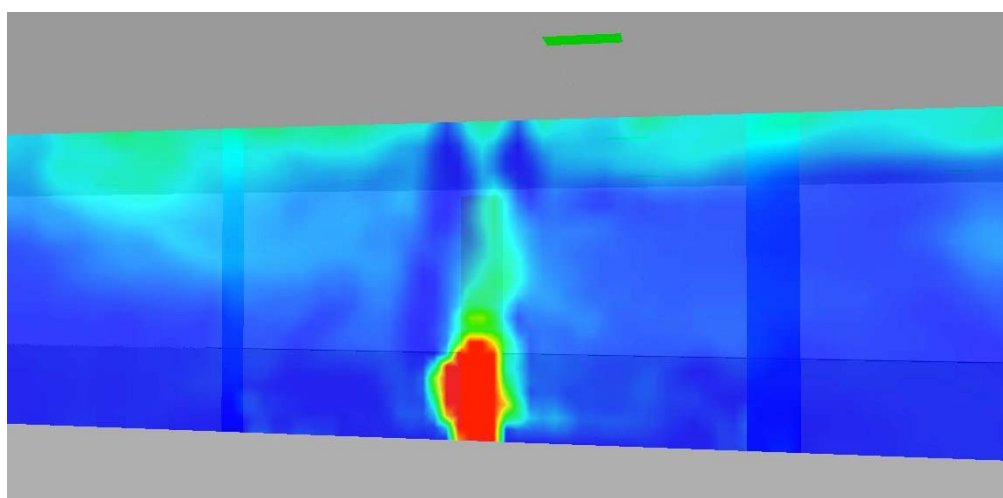


Figur 4. Temperatur och brandgasspridning efter ca 450 sekunder i 3000 m<sup>2</sup> produktionslokal. Rött motsvarar 40 °C, blått är 20 °C.



Figur 5. Temperatur och brandgasspridning efter ca 450 sekunder i 20 000 m<sup>2</sup> lagerlokal. Grönt motsvarar 22 °C, blått 20 °C.

I Figur 6 kan man se sprinklernas kyleffekt på brandgaslagret ovanför branden.



Figur 6. Sprinklernas kyleffekt syns som blå fält under taket ovanför branden.

Att temperaturerna skulle bli låga i lokalerna var väntat men inte att de skulle bli så låga som de faktiskt blev. Skillnaden mellan brandgasernas temperatur och den omgivande luften är i några fall obefintlig. Simuleringarna visar dock att även en liten temperaturskillnad påverkar brandgasernas stigkraft och fördelning i lokalen. Till och med i de största lokalerna med mycket små temperaturskillnader går det att se skiktningar på temperaturbilder, se Figur 5.

Sikten i de studerade lokalerna understiger aldrig 30 meter utom i brandens omedelbara närhet. Tyvärr är det i FDS 5 inte möjligt att studera sikt-försämringar som är mindre än detta vilket hade varit intressant då luckor och fläktars effektivitet jämförs.

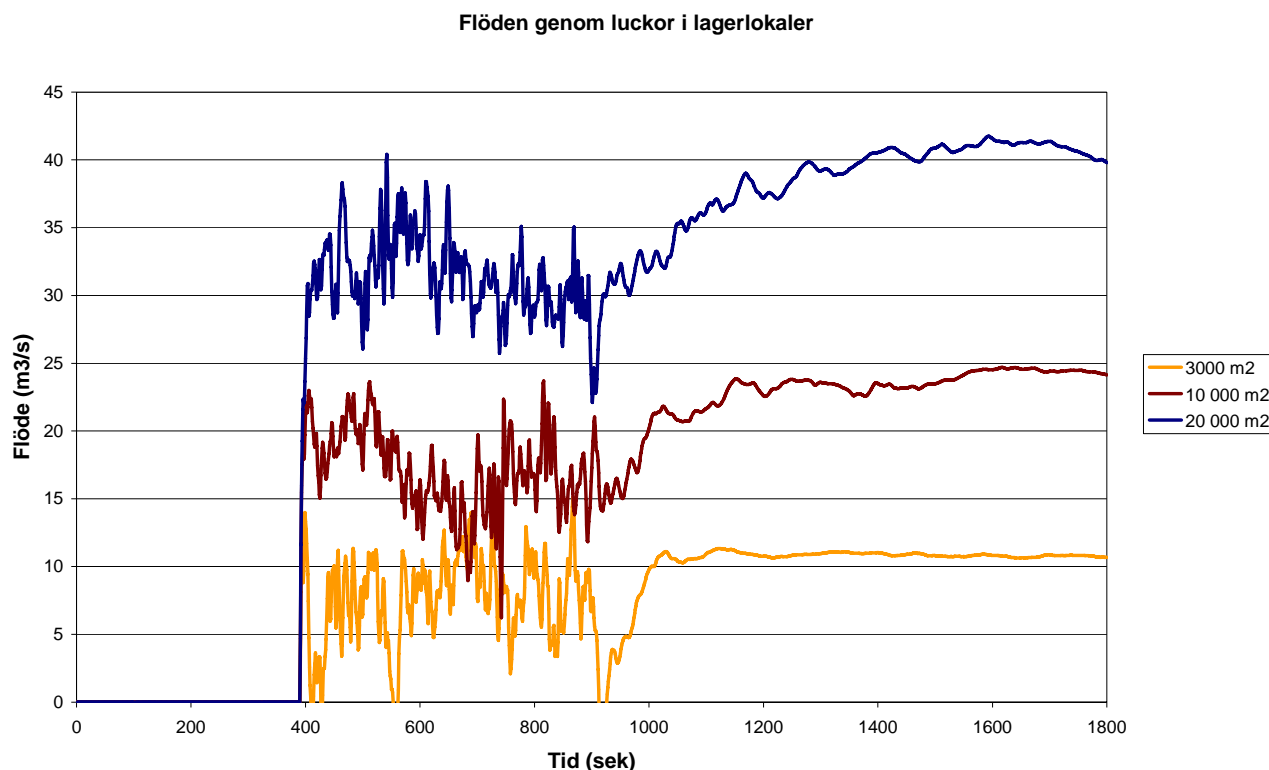
## 5.2 Luckor

Alla storlekar på lokaler simulerades med en area på brandgasventilationen som motsvarade 0,5 % av golvarean. I simuleringarna mättes flödena över luckorna, se *Tabell 2*. Med hjälp av flödena har luftomsättningen i lokalerna räknats ut. Detta kan fungera som ett jämförelsemått mot normalventilationens kapacitet.

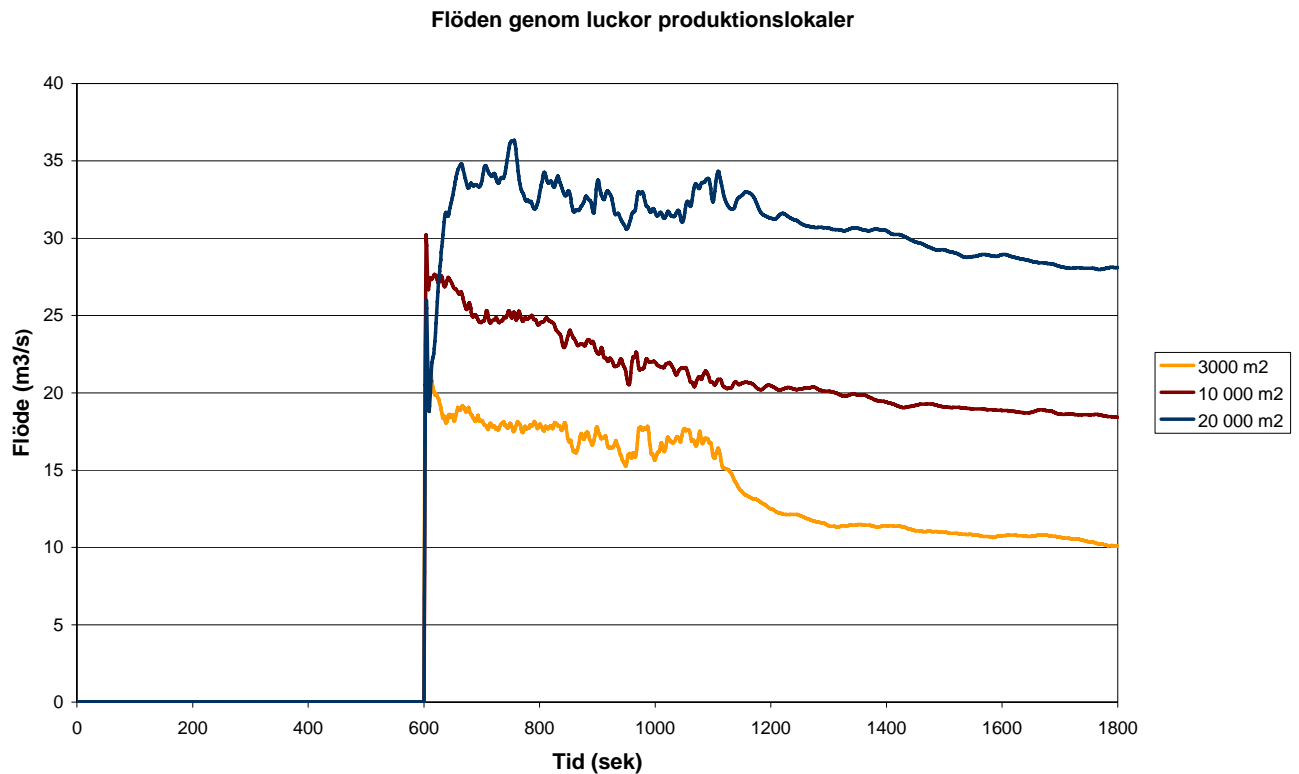
Lokalarea (m <sup>2</sup> )	Produktion			Lager		
	3000	10 000	20 000	3000	10 000	20 000
Totalt flöde genom brandgasluckor (m <sup>3</sup> /s) med sprinkler aktiverade	15-20	20-27	30-35	5-10	16	30-35
Luftomsättningar/timme	2.5-3.4	1-1.4	0.9-1	0.45-0,9	0.45	0,4-0,5

*Tabell 2. Totala flöden genom luckor och motsvarande luftomsättningar per timme i de olika lokal-typerna då sprinkler är aktiverad. Tilluftens area motsvarar 70 % av luckornas area.*

I Figur 7 och

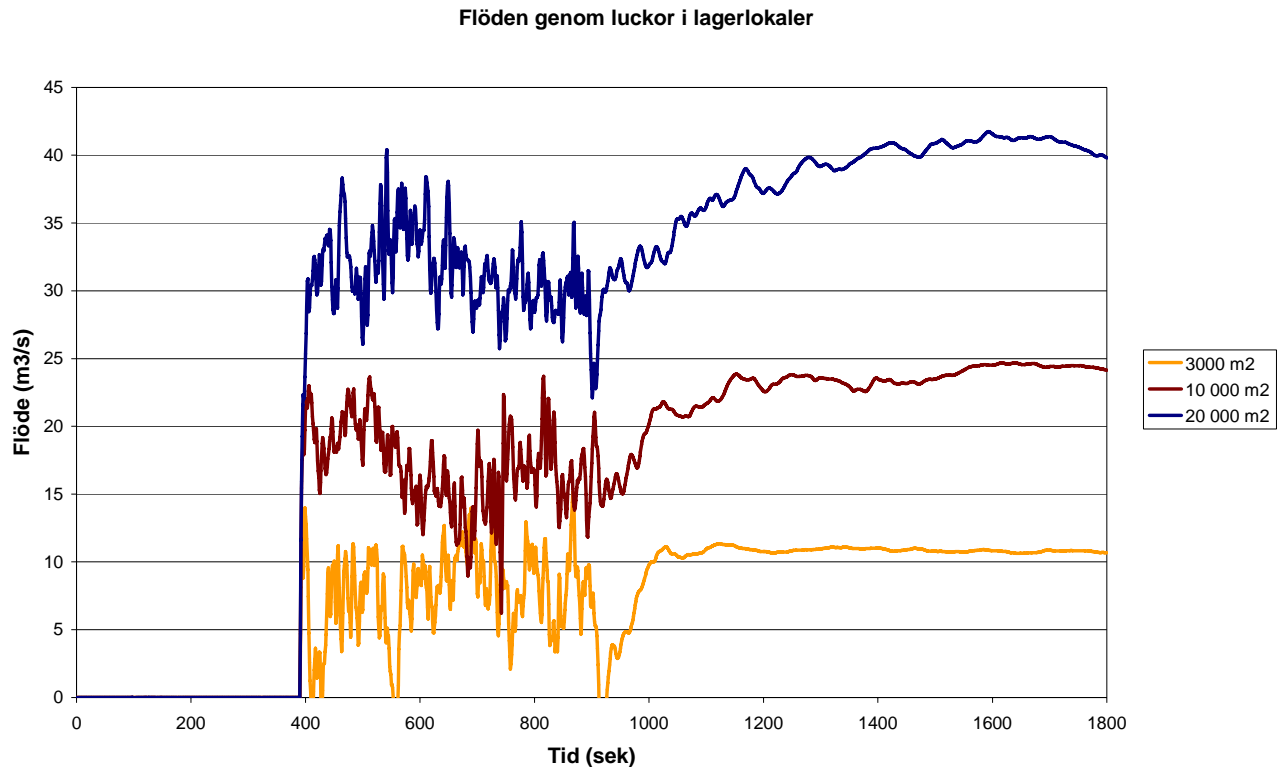


Figur 8 visar flödena över tid för de sex olika lokalerna. Brandgasluckorna öppnas efter 10 minuter. Efter ca 15-20 minuter är branden släckt och sprinklerna stängs i simuleringarna av för att undersöka effekten av avstängd sprinkler på brandgasventilationen.



Figur 7. Flöden genom brandgasluckorna i produktionslokalerna. Ventilation öppnar/startar efter 600 sekunder. Branden släcks och sprinkler stängs av efter 1110 sekunder.

När brandkurvan för lagerlokalen tas fram bortses från förbrinntiden på 210 sekunder, se Bilaga D. Eftersom brandgasventilationen antas öppna tio minuter efter brandstart dras dessa 210 sekunder ifrån 600 sekunder när simuleringarna utförs. Detta innebär att brandgasventilationen i simuleringarna öppnas efter 390 sekunder för lagerlokalerna. För att sprinklerna ändå ska vara igång under lika lång tid i båda lokalerna sätts olika sluttid för sprinklerna, 900 sekunder för lagerlokalerna och 1110 sekunder för produktionslokalerna.

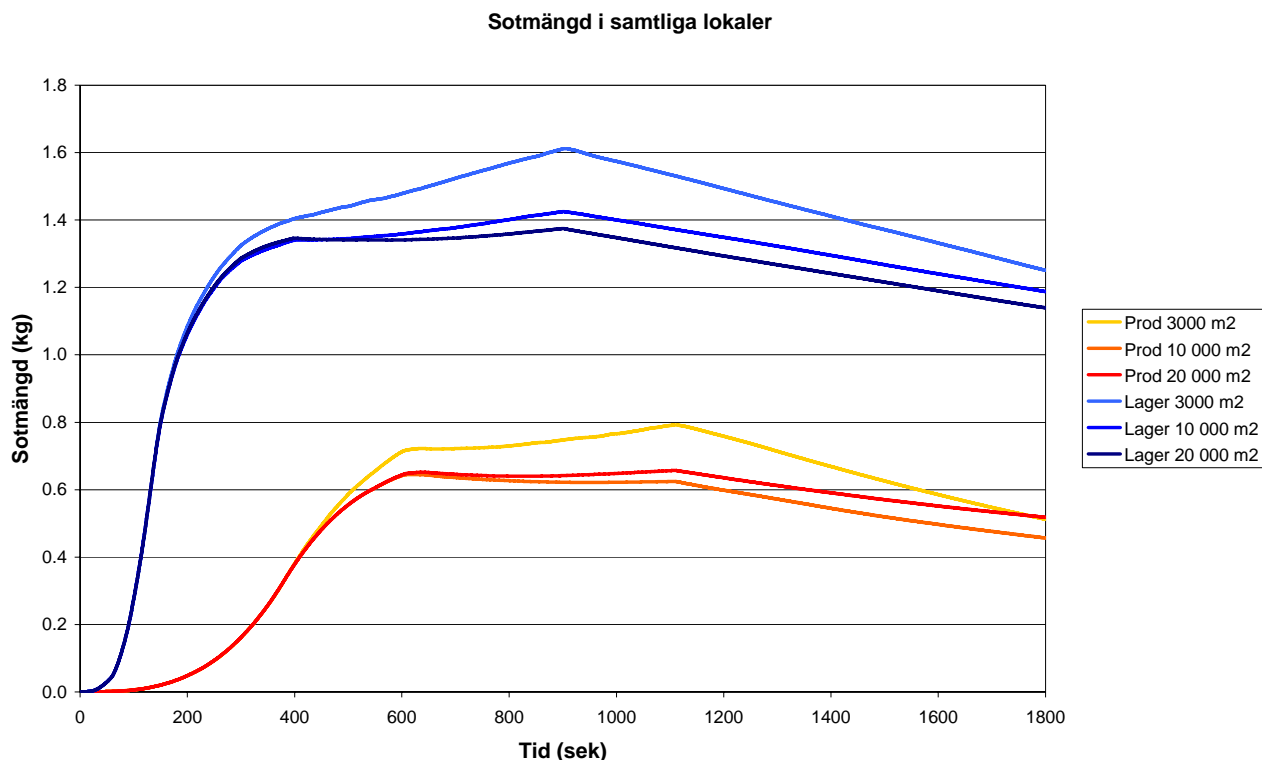


Figur 8. Flöden i lagerlokalerna. Ventilation öppnar/startar efter 390 sekunder. Branden släcks och sprinkler stängs av efter 900 sekunder.

Under förutsättning att sprinklersystemet fungerar i större lokaler kommer brandgasventilation genom luckor ha begränsad effekt. Brandgaserna blir för kalla. Detta stämmer också med en del erfarenheter från verkliga bränder där brandgaserna i princip har varit jämnt fördelade i lokalen.<sup>24</sup> I simuleringarna med produktionslokaler minskar flödet med tiden vilket det också skulle göra i lagerlokalerna om simuleringarna hade pågått under en längre tid.

Sotmängden i lokaler med brandgasventilation i form av luckor visas i Figur 9. Sotmängden ökar i samtliga lagerlokaler ända till dess att branden slocknar och sprinklern stängs av då sotmängden istället börjar minska. För produktionslokaler ligger sotmängden på en relativt jämn nivå fram till dess att branden slocknar och sprinklern stängs av.

<sup>24</sup> Frank, J.A. (2005), Natanaelsson, T. (2007), Tornberg, C. (2007)

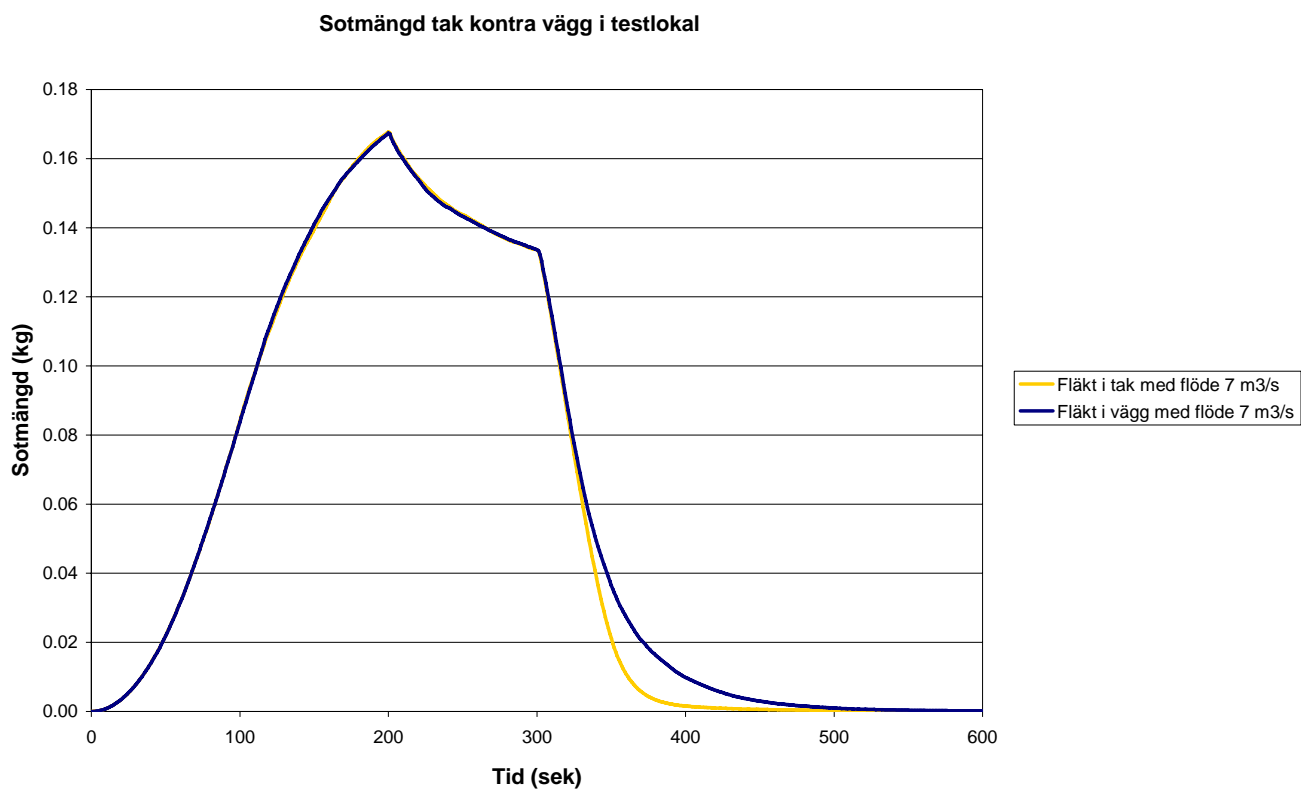


Figur 9. Den totala sotmängden i de olika lokalerna vid användning av luckor, de tre lagerlokalerna överst.

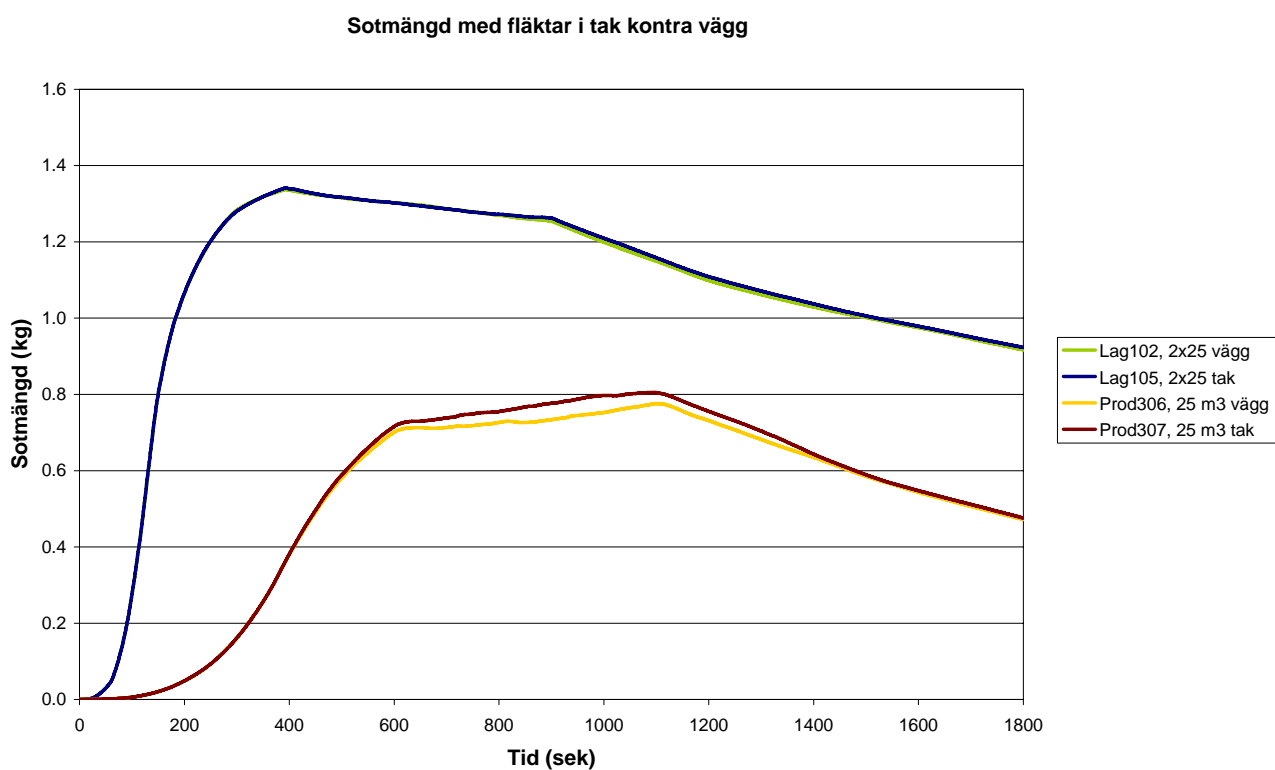
Sprinkler försämrar luckornas effekt ganska kraftigt vilket går att se utifrån både flödesdiagrammen och sotdiagrammen. I en 3000 m<sup>2</sup> lagerlokal ökar till exempel det totala flödet genom luckorna från ca 8 m<sup>3</sup>/s till ca 14 m<sup>3</sup>/s då sprinklerna stängs av. De luckor som ligger i närheten av sprinkler ger negativt flöde så länge sprinklerna är på men ger sedan positiva flöden. Sprinklerna påverkar flödet mer i lagerlokalerna eftersom ESFR-sprinklern har ett betydligt högre flöde än standardsprinklern som används i produktionlokalen (600 l/min istället för 100 l/min). När sprinklern stängs av kommer det inte längre finnas några sprinklerflöden som drar luften nedåt.

### 5.3 Fläktar

Simuleringar har gjorts där fläktar placerats i vägg respektive tak. Fläktar i tak har något bättre effekt än de som är väggplacerade, detta trots att de väggplacerade fläktarna sätts nära taket. Skillnaden är dock ganska liten. Resultat från provsimuleringar med vägg- och takplacerade fläktar visas i Figur 10. I Figur 11 visas några resultat från de vanliga simuleringarna och där är skillnaden mellan tak- och väggplacerade fläktar ännu mindre. För lagerlokalerna syns knappt skillnaden.



Figur 10. Sotmängden i en liten testlokal då fläktar placeras i tak respektive i vägg.



Figur 11. Sotmängd i lagerlokal 10 000 m<sup>2</sup> samt produktionslokal 3000 m<sup>2</sup> med vägg- respektive tak-placerade fläktar.

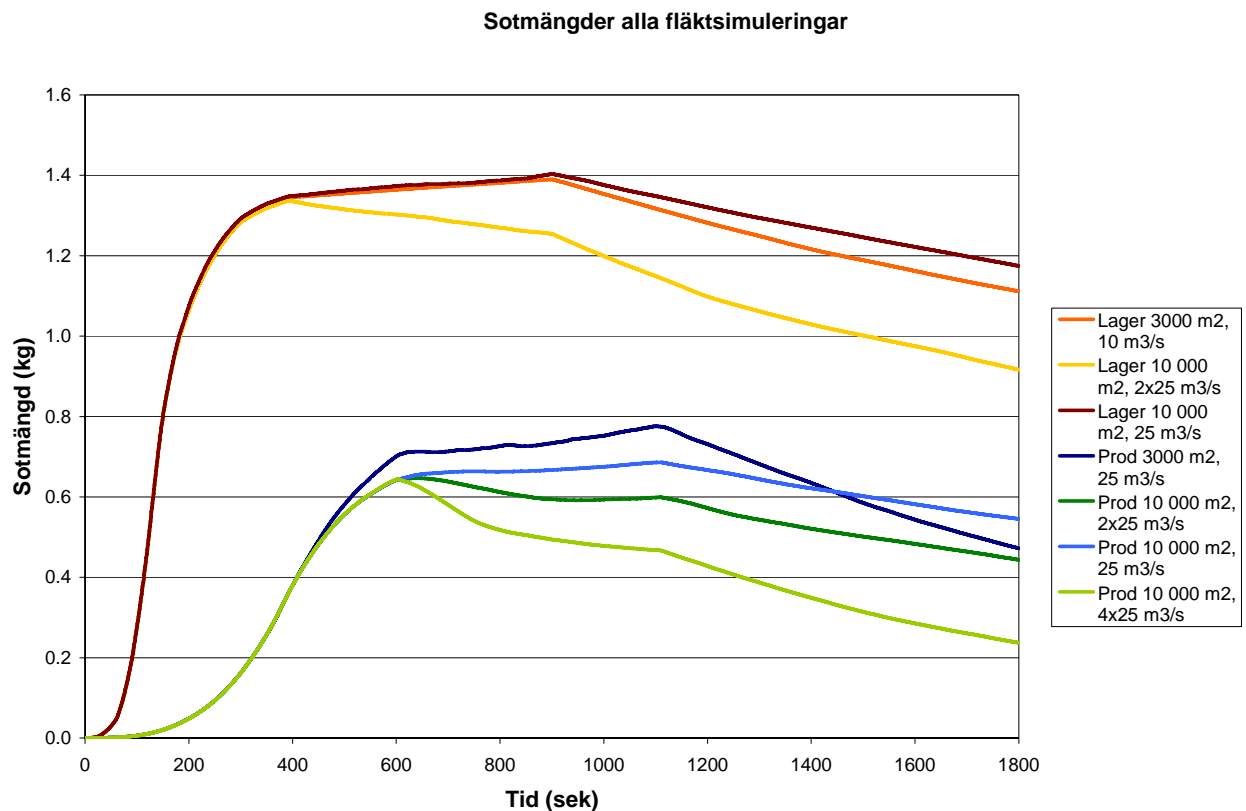
Simuleringar med fläktar gjordes med flöden på mellan 10-100 m<sup>3</sup>/s, bland annat beroende på resultat från simuleringarna med luckor. Simuleringar har gjorts antingen med fläktar placerade i taket ett par meter ut från väggen eller placerade i vägg en meter under tak. Fläktarna placeras på väggen motsatt tilluftsöppningarna. Fläktarna har en total area på 2 m<sup>2</sup> (2x1 m<sup>2</sup>) och är alltid utplacerade så jämnt som möjligt, se Bilaga C för exakt placering.

Följande fläktsimuleringar har utförts:

- Lagerlokal 3000 m<sup>2</sup> – fläkt 10 m<sup>3</sup>/s
- Lagerlokal 10 000 m<sup>2</sup> – fläkt 25 m<sup>3</sup>/s, fläktar 2x25 m<sup>3</sup>/s
- Produktionslokal 3000 m<sup>2</sup> – fläkt 25 m<sup>3</sup>/s
- Produktionslokal 10 000 m<sup>2</sup> – fläkt 25 m<sup>3</sup>/s, fläktar 2x25 m<sup>3</sup>/s, fläktar 4x25 m<sup>3</sup>/s

Inga simuleringar med fläktar gjordes på 20 000 m<sup>2</sup>-lokalerna men utifrån simuleringarna från de övriga lokalerna kan även slutsatser om dessa dras.

Sotmängder för samtliga simuleringar visas i Figur 12.



Figur 12. Sotmängder för samtliga simuleringar med fläktar.

Fläktar med högre flöde ger tydligt större minskning av sotmängden i lokalen, se Figur 12. Procentuellt sett ger fläktar av samma storlek ungefär samma resultat i lager- och produktionslokalerna.

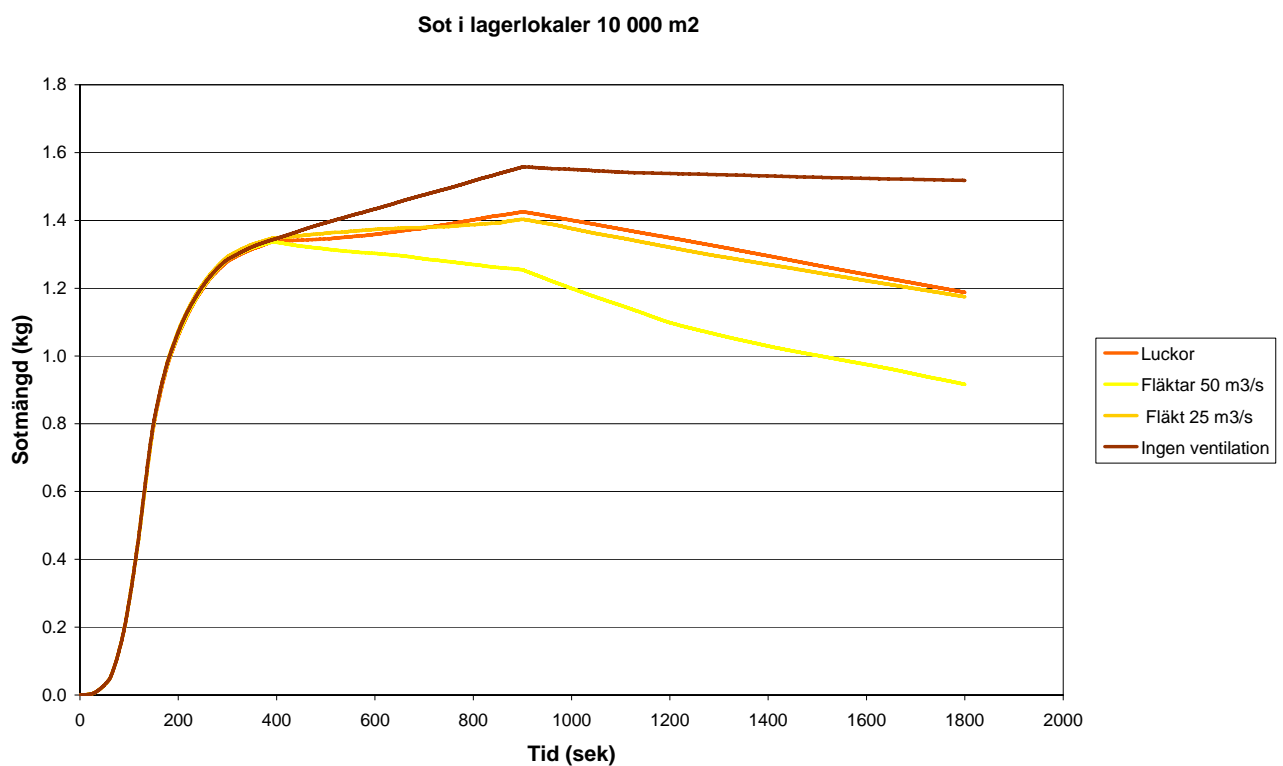


Med fläktar finns en möjlighet att styra flödet oavsett brandgasernas temperatur. Det är också lättare att beräkna hur lång tid det tar för att få ut brandgaserna. En annan fördel med fläktar är att de är vindoberoende.

## 5.4 Luckor kontra fläktar

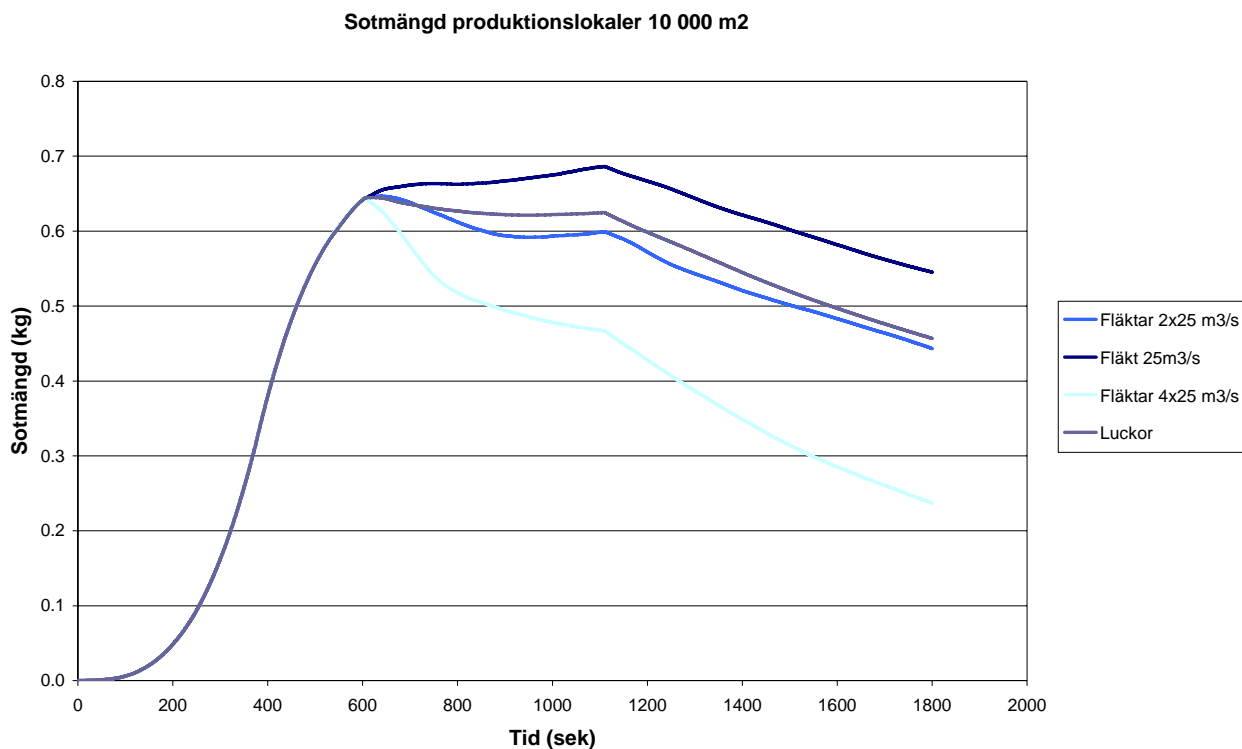
Om man jämför bilderna i Bilaga H är det svårt att se några tydliga skillnader på temperatur- och brandgasbilder mellan simuleringar med fläktar och luckor. För att jämföra luckornas och fläktarnas effektivitet är massan sot i lokalen det bästa måttet.

Simuleringarna visar att fläktar ger störst effekt jämfört med luckor i lagerlokaler. Vid simulering av 10 000 m<sup>2</sup> lagerlokal med fläktar på 25 m<sup>3</sup>/s samt 50 m<sup>3</sup>/s ger den lägre fläktkapaciteten ungefär samma resultat som luckorna. Med högre fläktkapacitet är skillnaden betydligt större, se Figur 13.



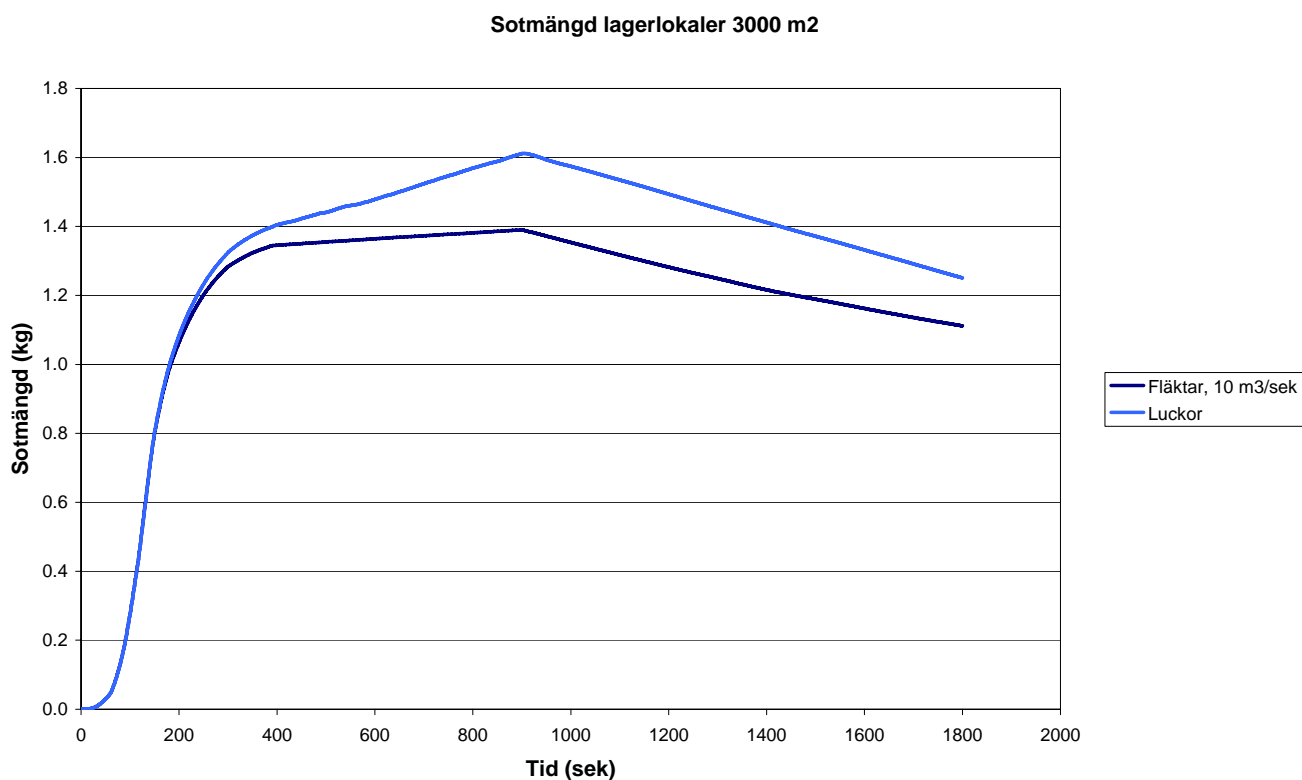
Figur 13. Sotmängd i 10 000 m<sup>2</sup> stor lagerlokal med fläktar respektive luckor.

I produktionslokaler behöver fläktarnas flöde sättas högre för att skillnaden mot luckorna ska bli tydlig, se Figur 14.



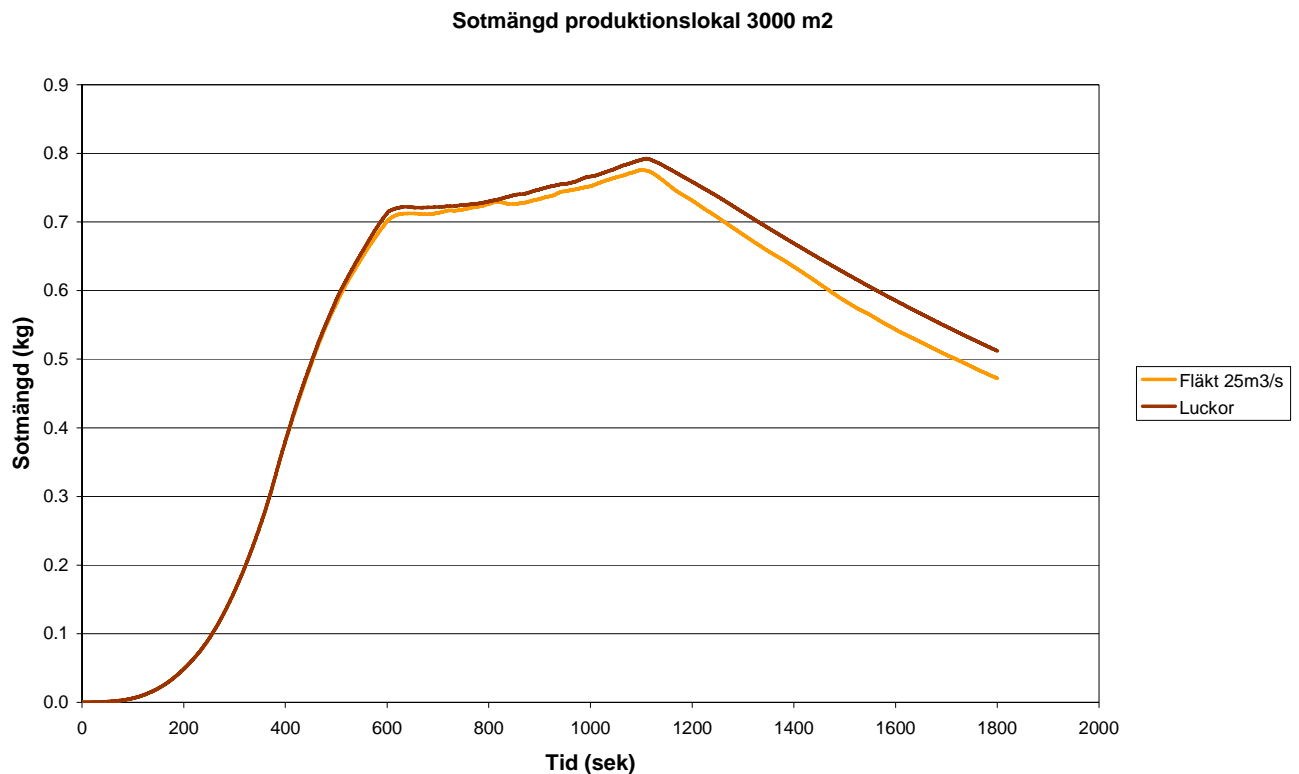
Figur 14. Sotmängd i produktionslokal, 10 000 m<sup>2</sup>.

I den mindre lagerlokalen är den fläkt på 10 m<sup>3</sup>/s tillräcklig för att skapa effektivare utvädring av sot än med luckorna, se Figur 15.



Figur 15. Sotmängd i lagerlokal, 3000 m<sup>2</sup>.

För produktionslokal krävs en fläkt på 25 m<sup>3</sup>/s för att skapa effektivare utvädring av sot än med luckor, se Figur 16.



Figur 16. Sotmängd i produktionslokal, 3000 m<sup>2</sup>.

Att det krävs större fläktkapacitet i produktionslokalerna antas bero på att fläktarna där drar in luft med större inblandning av friskluft.

Gränsen för när det blir effektivare att använda fläktar istället för luckor beror på flera faktorer. I mindre lokaler har luckorna bättre effekt än i större eftersom de varma brandgaserna bidrar till högre termisk effekt och dessutom samlas under taket i större omfattning. Detta går också att se utifrån värdena från luftomsättningar i *Tabell 2*. Samtidigt är det lättare att höja effektiviteten av utvädringen i små lokaler eftersom det krävs mindre fläktkapacitet. För att få 2 luftomsättningar/timme i den minsta produktionslokalen krävs en fläktkapacitet på ca 12 m<sup>3</sup>/s. För att få samma luftomsättning i den största lagerlokalen krävs en total fläktkapacitet på ca 150 m<sup>3</sup>/s.

Vilket system man väljer och hur man utformar det handlar också om vilka krav man har på utvädringen. Luckor kommer inte att kunna vädra ut alla brandgaser men sett över en längre tid kommer majoriteten av brandgaserna försvinna ur lokalen. Resterande kan man till exempel vädra ut med normalventilationen. Det är dock svårt att säga hur lång tid utvädringen kommer att ta, flödet genom luckorna kommer hela tiden minska. Med fläktar har man ett jämnt volymflöde som är oberoende av temperaturen inne i och utanför lokalen.

Genom att jämföra de flöden som fås för luckor och som används för fläktar kan också en uppfattning kring normalventilationens effekt på brandgaser fås. I en lagerlokal är ett normalt

ventilationsflöde ca  $0,5 \text{ l/m}^2\text{sek}^{25}$ . Detta motsvarar ca  $10 \text{ m}^3/\text{sekund}$  i en  $20\,000 \text{ m}^2$ -lokal, d.v.s. ca en fjärdedel av det man får med luckorna. I en produktionslokal kan ett normalt flöde ligga på ca  $4 \text{ l/m}^2\text{sek}^{26}$ . Det motsvarar i sin tur  $80 \text{ m}^3/\text{sek}$  i en  $20\,000 \text{ m}^2$ -lokal vilket betyder ca dubbelt så stort flöde som erhållits i simuleringarna. Detta borde innebära att normalventilation i vissa fall kan fungera minst lika bra som brandgasventilation som luckor eller speciella fläktar för brandgasventilation. Normalventilationen måste dock dimensioneras för att kunna klara av den nedsmutsning som en brand innebär.

Det är framför allt i de stora lokalerna som pengar kan sparas genom att installera fläktar istället för luckor. För att ha brandgasluckor motsvarande 0,5 % av golvytan i en  $20\,000 \text{ m}^2$  stor lokal skulle det krävas ca 50 luckor vilket uppskattningsvis kostar ca  $750\,000 \text{ kr}^{27}$ . Motsvarande flöde på fläktar kostar ca  $100\,000 \text{ kr}^{28}$ .

+ Fläktar	+ Luckor
Mindre underhåll	Ökad effektivitet vid ökad temperatur
Driftsäkrare	Kräver inte elstyrning vid brand
Byggnadstekniskt smidigare i många fall	
Ej vindkänsliga	
Samma flöde oavsett temperatur i lokalen	
Kan stoppas	

## 5.5 Brandgasskärmar

Simuleringar med brandgasskärmar har inte gjorts på samtliga lokalstorlekar. Framför allt har kortare provsimuleringar med brandgasskärmar genomförts. Provsimuleringar har genomförts på lokalstorlekar mellan  $3000\text{-}25\,000 \text{ m}^2$  där lokaler och bränder inte riktigt motsvarat de lokaler som studeras i denna rapport. Resultaten från de olika simuleringarna anses ändå ge en bra bild av effekterna.

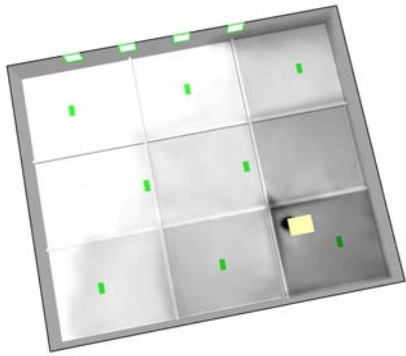
Brandgasskärmar mellan en halvmeter upp till tre meter har testats. Om brandgasskärmar är relativt djupa, upp mot 3 meter, ger de effekt på brandgasernas spridning en stund. Till exempel så visar simuleringar i lokaler på  $25\,000 \text{ m}^2$  med 3 meter djupa brandgasskärmar som är placerade på ca 40 meters avstånd mellan varandra ger en fördröjning av brandgas-spridningen på ca 1 minut. Grundare brandgasskärmar har betydligt sämre effekt. Figur 17-19 visar brandgasspridningen i en ca  $3000 \text{ m}^2$  stor lokal med tre olika djup på brandgasskärmar. Lokalerna i detta fall är osprinklade och branden är en mediumbrand (växer med  $0,012 \text{ kW/s}^2$ ).

<sup>25</sup> Rehnby, M. (2007)

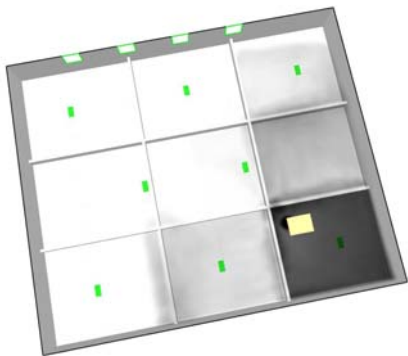
<sup>26</sup> Eriksson, L-G. (2007)

<sup>27</sup> Järphag, T. (2007).

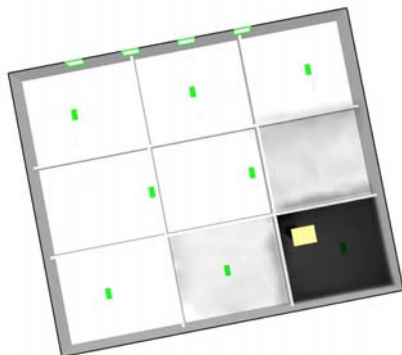
<sup>28</sup> Hering, T. (2008) och Jäderholm, C. (2007) Pris baserat på en klassad fläkt å  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  och styrning med brandsäkra kablar.



Figur 17. Brandgasskärmar 1 m djupa, 4 min från brandstart. Lokalen sedd underifrån.

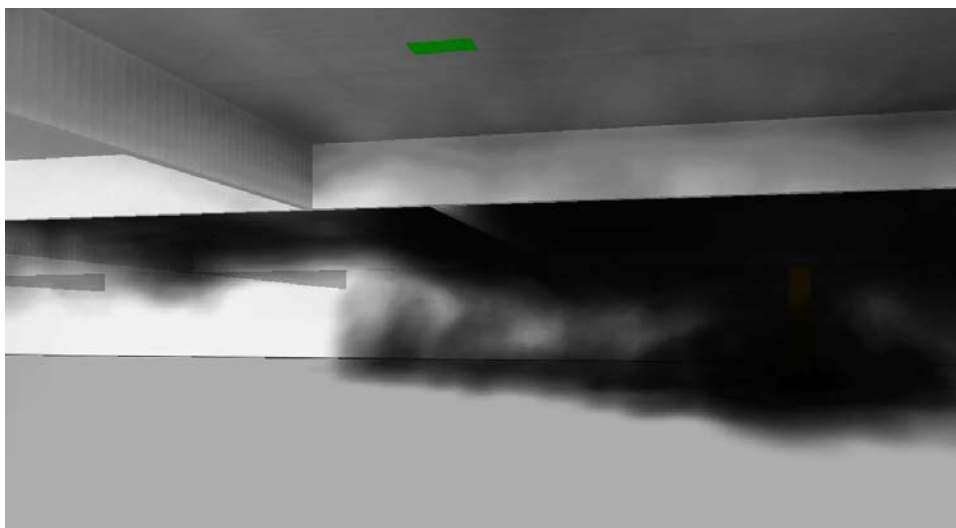


Figur 18 Brandgasskärmar 2 m djupa, 4 min från brandstart. Lokalen sedd underifrån.



Figur 19 Brandgasskärmar 3 m djupa, 4 min från brandstart. Lokalen sedd underifrån.

I sprinklade lokaler kommer brandgasskärmar att få ytterligare försämrade effekt. Figur 20 visar hur brandgaserna kryper under brandgasskärmen när de pressas ner av sprinklern och blir kalla då brandgasskärmen är 3 meter djup.



Figur 20. Skärmar med 3 meters djup och på ca 40 meters avstånd vid sprinkleraktivering.

I de luckor som sitter inom ett område begränsat av brandgasskärmar och som blir utsatt för brandgaser går det att se ett lite högre utflöde men det totala flödet genom luckorna i lokalen förändras inte.

Brandgasskärmar ger väldigt liten effekt vid sprinklade lokaler. Däremot kan brandgasskärmar övervägas när lokalen inte är sprinklad och har någon typ av brandgasventilation som är anpassad till placeringen av brandgasskärmar. Enligt de simuleringar som gjorts inom projektet och några mindre simuleringar krävs dock att brandgasskärmarna är ca 3-4 meter djupa för att ge någon mer långvarig effekt. Brandgasskärmarns effekt är dock också beroende av flera andra parametrar, bland annat dimensionerande brand samt placering av och mängd brandgasluckor.

## 5.6 Osäkerheter

Alla simuleringar bygger på de antaganden som görs om indatan (se kapitel 4) och resultaten är därför beroende av dessa. Dock har indatan valts med utgångspunkt att resultaten ska bli så generella som möjligt. En del av indatan har redan diskuterats. I Bilaga A finns ytterligare diskussion kring parametrar som på olika sätt kan påverka resultaten, t.ex. gridstorlekens betydelse och hur storleken på branden påverkar resultaten.

CFD-modellering kommer att utvecklas de närmsta åren och möjligheterna att fortsätta utvecklingen med beräkningar av sprinkler och brandgasventilation i stora lokaler kommer att förbättras. Idag finns en del osäkerheter, främst när det gäller sprinklerfunktionen i FDS 5 och klusterberäkningar. Beräkningskapaciteten är fortfarande också till viss del begränsad.

Även om sprinklerns funktion i FDS 5 inte är helt verifierad så är vi övertygade om att det ger bättre och mer verklighetstroga resultat att ha med sprinkler än att ta bort dem helt. I simuleringarna har sprinklerns flöde, spridningsvinkel och aktiveringstid matats in i FDS 5. Aktiveringstiden baseras på beräkningar från Detact T2<sup>29</sup>. Detta innebär att sprinkleraktiveringen inte är beroende av miljön som uppstår i lokalen. Sprinklern påverkar inte heller brandeffektkurvorna, de är istället framtagna utifrån forskningsresultat (se Bilaga D). För

---

<sup>29</sup> Detact T2 (1986).

övriga parametrar som beskriver sprinklerna i FDS 5 har default-värdena i programmet använts. Detta anses inte påverka simuleringarna i sådan omfattning att resultaten ändras. Simuleringarna ger rimliga resultat när det gäller påverkan på temperaturer och flöden av sprinklerna. När det gäller flöden används i lagerlokalen ett flöde på 600 l/min och i produktionslokalen ett flöde på 100 l/min. Ökningen av flödet genom brandgasluckorna är betydligt större i lagerlokalen än i produktionslokalen när sprinklern stängs av vilket innebär att flödet på 600 l/min har tryckt ner brandgaserna i större omfattning än flödet på 100 l/min.

## 6 Slutsats och riktlinjer

Det finns inget självklart svar på hur man ska dimensionera brandgasventilationen i de olika lokalerna. Vilket system som är mest effektivt att använda beror på flera olika faktorer.

Avgörande faktorer för vilket system man väljer är:

- Storlek på lokal
- Sprinklat eller inte
- Hur snabbt brandgaser ska vädras ut

Simuleringarna ger värden som kan fungera som riktlinjer på hur effektiv brandgasventilationen är och på så sätt ges möjlighet att jämföra effektiviteten hos brandgasluckor och fläktar.

Resultaten visar att fläktar framför allt är fördelaktiga i sprinklade lagerlokaler. I lagerlokaler gör brandgasluckor liten nytta om sprinklerna fungerar. Om sprinklerna inte fungerar kommer branden förmodligen att utvecklas så fort att luckorna inte fyller någon funktion. Hur stora fläktar som bör användas bestäms till stor del av tidsfaktorn, d.v.s. hur fort brandgaserna ska vädras ut. Om normalventilationen klarar den nedsmutsning som brandgaser innebär är tidsfaktorn också avgörande för om normalventilationen kan användas eller inte.

Även för större produktionslokaler kan fläktar vara ett bra alternativ. För de mindre produktionslokalerna är resultaten inte lika tydliga, det krävs relativt stor flätkapacitet för att uppnå samma resultat som med luckor. Beroende på brandens utveckling skulle luckorna också kunna vara till hjälp om sprinklern inte fungerar.

Lokalarea (m <sup>2</sup> )	Produktion			Lager		
	3000	10 000	20 000	3000	10 000	20 000
Totalt flöde genom brandgasluckor (m <sup>3</sup> /s) med sprinkler aktiverade	15-20	20-27	30-35	5-10	16	30-35
Luftomsättningar/timme	2.5-3.4	1-1.4	0.9-1	0.45-0,9	0.45	0,4-0,5
Kostnad luckor <sup>30</sup>	120 000	375 000	750 000	120 000	375 000	750 000
Kostnad fläktar <sup>*,31</sup>	70 000	70 000	140 000	<70 000 ***	70 000	140 000
Kostnad fläktar <sup>**</sup> , <sup>31</sup>	70 000	140 000	-	<70 000	70 000	-

\* totalt flöde som ungefär motsvarar luckornas (avrundat till 25 m<sup>3</sup>/s eller 50 m<sup>3</sup>/s)

\*\* totalt flöde som ger ungefär samma sotmängd (effektiva utvädring) i lokalen som luckorna, (avrundat till 25 m<sup>3</sup>/s eller 50 m<sup>3</sup>/s)

\*\*\* I detta fall en mycket konservativ kostnadsuppskattning då ett fläktflöde på ca 10 m<sup>3</sup>/s hade räckt.

Kostnadsuppskattningen för fläktarna är grov och bedöms konservativ utifrån väggmonterade axialfläktar. Vi har utgått ifrån 1 eller 2 fläktar med flöde 25 m<sup>3</sup>/s. Kostnaden avser temperaturklassad fläkt även om vi inte behöver detta med avseende på uppmätta temperaturer. Anledningen är uppfattningen hos de leverantörer vi pratat med att dessa fläktar är mer robusta produkter där flödet på ett annat sätt säkerställs. Kostnaden skulle minska något vi oklassade fläktar. Klassat kablage är inte inräknat då det är uppenbart obehövligt med

<sup>30</sup> Järphag, T. (2007)

<sup>31</sup> Jäderholm, C. (2007) och Hering, T. (2008)



tanke på redovisade temperaturer om kablage dras på rätt sätt. En fläkt på 50 m<sup>3</sup>/s skulle också bli billigare än 2x25 m<sup>3</sup>/s men vi har utgått från antagandet att fler mindre fläktar ger en bättre utvädring. Detta har dock inte undersökts inom ramarna för detta arbete.

Simuleringar med fläktar har inte utförts i lokalerna på 20 000 m<sup>2</sup>. Dock finns det inte någon anledning till att de inte skulle uppvisa liknande resultat som simuleringarna för övriga lokaler. Tendensen visar att fläktarna blir ett alltmer kostnadseffektivt teknikval ju större lokalen är.

Ovanstående värden skall inte ses som färdiga resultat att använda vid detaljprojektering. Med utgångspunkt från att luckor i omfattningen ca 0,5 % av golvarean är relevant i sprinklade byggnader ges här dock tydliga indikatorer att använda i tidiga skeden då fläktar som brandgasventilation kan vara ett intressant alternativ.

## Vidare forskning

Utifrån denna forskningsrapport har ett antal områden identifierats där vi anser att det behövs vidare forskning:

- **Tilluft**  
Hur mycket tilluft krävs för att brandgasventilationen ska ha önskad effekt? Är detta rimligt i förhållande till lokalen och verksamheten? Vilka praktiska lösningar finns för att hantera tilluft? Tilluft är en avgörande parameter för brandgasventilationens funktion och det vore därför värdefullt att skapa underlag till byggbranschen och industrin på bra lösningar.
- **Brandgasventilation i form av luckor**  
Hur ska brandgasventilation med luckor dimensioneras i osprinklade lokaler? Hur ser insatsmiljön ut med och utan luckor? T.ex. kan SBF:s metodik från 1982 analyseras med tvåzonsmodeller och CFD-beräkningar för att utvärdera dagens riktlinjer utifrån nya beräkningsverktyg. Detta skulle kunna vara ett värdefullt första steg för att kunna skapa en dialog kring brandgasventilationens nytta i osprinklade lokaler.
- **Brandgasskärmar i osprinklade lokaler**  
Resultaten från simuleringarna i denna rapport pekar på att brandgasskärmar har begränsad effekt även i osprinklade lokaler. Detta skulle dock behöva undersökas mer omfattande för att kunna ge ordentliga svar.
- **Dimensionering av fläktar**  
I denna rapport har konstaterats att fläktar kan vara ett bra alternativ till luckor. Dock skulle det behövas ytterligare forskning för att kunna säga något om hur många fläktar som krävs och hur dessa bör placeras för att ge bäst resultat till lägst kostnad.

## Källförteckning

Källförteckningen är uppdelad i två huvuddelar:

- *Refererat material* - det material och de personer som det refereras direkt till i rapporten.
- *Övrigt material* – det material som har använts för att skapa förståelse för problemet och ge en internationell överblick men som det inte hänvisas enskilt till någonstans i rapporten.

### Refererat material

#### Tryckt material

BCA (2007), *Building Code of Australia 2007*, Australian Building Codes Board, Canberra, Australia.

Beyler, L. och Cooper, L.Y. (1999), *Interaction of sprinklers with smoke and heat vents*, Hughes Associates, Inc.-Fire Science and Engineering, Baltimore, Maryland.

Burström, P-G. (2001), *Byggnadsmaterial*, Lund, s.50

*Byggboken* (2006), Paroc AB, Skövde.

Drysdale, D. (2000), *An Introduction to Fire Dynamics*, John Wiley and Sons.

Edwards, A.P.R. m.fl. (2007), *Effective Passive Roof Venting in the Event of a Fire - Literature Review*, Study Report No.165, Branz, Nya Zeeland.

*FDS 5 Technical Guide* (2007), National Institute of Standards and Technology, USA, finns att hämta på: <http://fire.nist.gov/fds/documentation.html> [2008-02-22].

*FDS 5 User's Guide* (2007), National Institute of Standards and Technology, USA, kan hämtas på: <http://fire.nist.gov/fds/documentation.html> [2008-02-22].

Frank, J. A. (2005), *Incident Command – Depends on Pre-Planning*, Industrial Fire World, Vol.20, No.5.

IBC (2006), *International Building Code (IBC)*, International Code Council, USA.

Ingason, H. och Arvidson, M. (2001), *Samtidig användning av sprinkler och brandgasventilation*, Kunskapssammanställning Brandforsk projekt 608-971, SP Rapport 2001:17, Borås.

Karlsson, B. och Quintere, J.G. (2000), *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press.

Persson, H. (1991), *Evaluation of the RDD-measuring technique*, SP rapport 1991:04, Borås.

Persson, H. (1993), *Commodity Classification – A more objective and applicable methodology*, SP rapport 1993:70, Borås.

SBF (1982), *Brandventilation för industri- och lagerbyggnader*, Svenska brandförsvarsföreningen.

SFPE (2002), *The SFPE Handbook of fire protection engineering*, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, USA, 2002

## **Elektroniska källor och datorprogram**

Detact T2 (1986), mjukvara utvecklad av D.W. Stroup, National Institute of Standards and Technology.

FDS 5.0.1-5.0.3 (2007), mjukvara utvecklad av K. Mc Grattan m.fl., National Institute of Standards and Technology, kan hämtas på: <http://fire.nist.gov/fds/downloads.html> [2008-02-22].

Smokeview 5.0.5 (2007), mjukvara, National Institute of Standards and Technology (NIST), kan hämtas på: <http://fire.nist.gov/fds/downloads.html> [2008-02-22].

SRV (2007), Rapporter från bränder, Räddningsverkets statistik 1998-2006, [http://www.srv.se/templates/SRV\\_AreaPage\\_\\_\\_\\_365.aspx](http://www.srv.se/templates/SRV_AreaPage____365.aspx) [2008-02-22].

## **Muntliga referenser**

Ahmed, V. (2007), Holmes Fire and Safety, New Zealand, maildiskussion ang. brandgasventilation i stora industrier, augusti.

Arvidsson, M. (2007), Arup Storbritannien, maildiskussion ang. byggpraxis och regelverk i Storbritannien, september.

Cottman, P. (2007), Bengt Dahlgren AB Göteborg, normalventilation, telefonsamtal augusti-oktober.

Eriksson, L-G. (2007), Bengt Dahlgren AB Göteborg, normalventilation, telefonsamtal augusti-oktober.

Erlandsson, U. (2007), SRV, erfarenheter från bränder, mailkontakt augusti.

Hering, T. (2008), Bengt Dahlgren AB Göteborg, styrsystem fläktar, februari.

Holmberg, K. (2007), Bengt Dahlgren AB Göteborg, sprinkler, intervju september.

Jäderholm, C. (2007), Gebhardt fläktteknik AB, fläktar, telefonsamtal november.

Järphag, T. (2007), NCC teknik, referensgruppen.

Lundqvist, M. (2007), Defire, Sydney, Australien, maildiskussion ang. byggpraxis i Australien, augusti.

McGrattan, K. (2007), NIST, USA, simuleringsfrågor FDS, september.

Natanaelsson, T. (2007), Brandingenjör, Bengt Dahlgren AB, erfarenheter från bränder, telefonsamtal oktober.

Rehnby, M. (2007), Bengt Dahlgren AB Göteborg, normalventilation, telefonsamtal september.

Roberts, C. (2007), Arup, Sydney, Australien, maildiskussion ang. byggpraxis i Australien, augusti.

Svensson, H. (2007), Arup, Sydney, Australien, byggpraxis och regelverk i Australien, mailkontakt augusti.

Tornberg, C. (2007), f.d. brandutredare räddningstjänsten Göteborg, erfarenheter från bränder, telefonsamtal september.

Vinberg, D. (2007), RJA Group, Chicago, USA, byggpraxis i USA, mail- och telefonkontakt augusti.

## **Övrigt material**

### **Standarder, regler etc.**

BS 7974:2001(2001), *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings-Code of practice*, BSI British Standards, Storbritannien.

Communities and Local Government (2007) , *The Building Regulations 2000, Volume 2 – Buildings other than dweelinghouses*, 2006 edition, Storbritannien.

FM Global (1998), *FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 1-10*.

FM Global (2000), *FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 1-19*.

NZBC (2007), *New Zealand Building Code Handbook*, Third Edition, Department of Building and Housing, Wellington.

NFPA 92 B (2005), *NFPA 92 B - Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Spaces*, National Fire Protection Association, USA.

NFPA 101 (2003), *NFPA 101- Life Safety Code*, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, USA.

NFPA 204 (2007), *NFPA 204-Standard for Smoke and Heat Venting*, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, USA.

PD 7974-2 (2002), *PD 7974-2:2002 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Spread of smoke and toxic gases within and beyond the enclosure of origin (Sub-system 2)*, BSI British Standards, Storbritannien.

SBF 126:5 (2001), *Regler för brandskydd i höglager*, Svenska brandförsvarsförningen.

### **Artiklar och rapporter**

Battrick, P. (1986), *Venting plus sprinklers - the case against*, *Fire International*.

Cooper, L.Y. (1988), *Estimating the Environment and the Response of Sprinkler Links in Compartment Fires with Draft Curtains and Fusible Link-Actuated Ceiling Vents – Part I: Theory*, U.S. Department of Commerce, Gaithersburg, USA.

Gordonova, P. (2004), *Smoke and Fire Gases Venting in Large Industrial Spaces and Stores*, Lunds Tekniska Högskola.

Heselden (1985), *Taking a New Look at Combining Sprinklers Systems With Venting*, Fire Technology.

Hinkley, P.L. (1986), *The effect of venting on the opening of Sprinklers*, Technical paper.

Hinkley, P.L. (1989), *The effect of smoke venting on the operation of sprinklers subsequent to the forst*, *Fire Safety Journal*.

Hinkley, P.L. (1992), *Experiments at the multifunctioneel trainingcentrum, Ghent, on the interaction between sprinklers and smoke venting*, BRE, Building Research Establishment, 1992.

Hinkley, P.L. (1992), *Spinklers and vents interaction-experiments at Ghent*,1992.

- Hinkley, P.L. (1993), Large scale experiments with roof vents and sprinklers part 1: temperature and velocity measurements in immersed ceiling jets compared with a simple model, *Fire Technology*.
- Hinkley, P.L. (1993), Large scale experiments with roof vents and sprinklers part 2, *Fire Technology*.
- Hume, B.P. (2003), *Water mist suppression in conjunction with displacement ventilation*.
- Johansson, H. (1998), *Brandfrekvenser och typbränder i industrianläggningar*, Lund.
- McGrattan, K. (1999), *Large scale test of sprinkler, vent, draft curtain interaction*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA.
- McGrattan, K., Hamins, A., Stroup, D. (1998), *Sprinkler, Smoke and Heat Vent, Draft Curtain Interaction - Large Scale Experiments and Model Development*, NISTIR 6196-1, National Institute of Standards and Technology.
- McGrattan, K. och Stroup, D. (1998), *Large eddy simulations of sprinkler, vent and draft curtain performance*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA.
- Milovancevic M. och Persson, H. (1997), *Förvaring av brandfarlig vara i försäljningslokaler-referensförsök*, SP AR 1997:35, Borås.
- Sheppard, D.T. och Steppan, D.R. (1997), *Sprinkler, heat and smoke vent, draft curtain project - phase I scoping tests*, Technical report.
- Talbert, J.H. (1987), *Automatic heat and smoke venting in sprinklered buildings*.
- Waterman, T.E. (1984), Fire venting of sprinklered buildings, *Fire Journal*.
- Loddbyförsöken (1986), *Skandiatips*, nr 1 och 2.
- He Y. m.fl. (2000), *Smoke venting and fire safety in an industrial warehouse*, University of Science and Technology of China.
- Paulsen Husted, B. (2007), *Experimental measurements of water mist systems and implications for modelling in CFD*, Lund universitet, Lund.

### **Övrigt tryckt material**

- Buchanan A.H. (2001), *Fire Engineering Design Guide*, Centre for Advanced Engineering, University of Canterbury, Christchurch.
- Brandskyddshandboken* (2005), Brandskyddslaget och Brandteknik vid LTH, Brandteknik, Lunds tekniska högskola.
- Buchanan A.H. (2001), *Structural Design for Fire Safety*, Wiley, Chichester.
- Fallqvist K. och Klippberg A. (2006), *Brandskydd i Boverkets byggregler*, Svenska brandskyddsföreningen.
- Funktionsanpassad brandförsäkringsmodell för lätta industri- och hallbyggnader* (1995), Stålbyggnadsinstitutet.
- Klote, J.H. och Milke, J.A. (2002), *Principles of smoke management*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- Lindahl, H. (2001), *Brandventilation*.
- Svensson, S. (2006), *Brandgasventilation*, Räddningsverket.

Zalosh, R.G. (2003), *Industrial Fire Protection Engineering*, Wiley, Chicester.

### **Elektroniska källor**

FDS Discussion Group, <http://groups.google.com/group/fds-smv>, diskussionsforum för datorprogrammen FDS och Smokeview.

National Fire Protection Association (NFPA), [www.nfpa.org](http://www.nfpa.org).

National Institute of Standards and Technology (NIST), [www.nist.gov](http://www.nist.gov).

### **Film- och bildmaterial**

*Loddbby 3*, film från Loddbbyförsöken med sprinkler och handbrandsläckare, Brandskyddslaget.

*FVLR-försöken*, film från sprinkler- och ventilationsförsök, Smoke Control/Brakel, Australien/Holland/Belgien.

### **Muntliga referenser**

Andreasson, B. (2007) Brandingenjör, Bengt Dahlgren, industrier och brandskydd, telefonsamtal augusti-september.

Arvidson, M. (2007), Statens Provningsanstalt, Borås, sprinkler och FDS, mailkontakt oktober.

Husted, B. (2007), Brandteknik LTH, sprinkler och FDS, mailkontakt oktober.

Jonsson, R. (2007), Wästbygg, referensgruppen.

Johansson, H. (2007), Brandteknik LTH, referensgruppen.

Josefsson, C. (2007), Skanska teknik, referensgruppen.

Krasniqi, A. (2007), Volvo, Göteborg, referensgruppen.

Nyström, S. (2007), Räddningstjänsten Jönköping, referensgruppen.

Person, H. (2007), SP Borås, sprinkler och branddimensionering, mailkontakt september.

Schwartz, T. (2007), GM Europa, referensgruppen.

## **Bilaga A. Antaganden och osäkerheter**

I denna bilaga tas följande parametrar upp:

1. Byggnadsarea
2. Material
3. Lokalutformning
4. Takhöjd
5. Takutformning
6. Tilluft
7. Brand
8. Bränsle
9. Placering av brand
10. Sprinkler
11. Brandgasventilation
12. Brandgasfläktar
13. Normalventilation
14. Brandgasskärmar
15. Meshutformning
16. Gridstorlek
17. Detact T2
18. Vind

### **1. Byggnadsarea**

Storlekarna som simulerats representerar ett stort antal av de industrilokaler som byggs idag<sup>32</sup>. Andra storlekar på lokaler skulle förmodligen följa samma mönster. Flödet i större lokaler kommer att bli förhållandevis mindre och flödet i mindre lokaler kommer att öka i förhållande till antalet luckor.

### **2. Material**

Simuleringarna har gjorts med stål och isolering som väggmaterial. Industribyggnader byggs även i betong och att göra en självklar generalisering går inte. Isolering/plåt kommer leda bort värme sämre än betong och därmed ge högre temperaturer i lokalen. Detta kommer i sin tur göra att nyttan med brandgasventilationen förstärks i dessa simuleringar. Skillnaden är dock förmodligen försumbar då det handlar om relativt små temperaturskillnader och stora luftvolymmer.

### **3. Lokalutformning**

Geometrin spelar bara en avgörande roll för brandgasernas beteende om den är komplex eller t.ex. har ett väldigt avlångt utseende och detta är ovanligt. De flesta lokaler utformas med ett förhållande mellan längd och bredd på max 2:1. Att lokalerna i simuleringarna är kvadratiska anses inte spela någon roll.

### **4. Takhöjd**

Takhöjderna anses representera de byggnader som oftast byggs. Högre takhöjd leder till kallare brandgaser och lägre flöden.

---

<sup>32</sup> Holmberg, K. (2007).

## 5. Takutformning

Variationer i takets struktur anses inte påverka simuleringsresultaten i någon större omfattning vilket också mindre försökssimuleringar med brandgasskärmar visar.

## 6. Tilluft

50-100 % av brandgasventilationens area fungerar ofta som riktmärke vid projektering. I simuleringarna har 70 % använts. Tilluft antas finnas i tillräcklig omfattning i industrierna, dels med hänsyn till läckage men också till att det ofta finns stora portar som är öppna eller går att öppna. Mindre tilluft kommer att ge lägre flöden genom luckorna. Mer tilltagen tilluftsarea ger därmed konservativa värden på flöden.

## 7. Brand

Bränderna har antagits utifrån vad som kan anses vara rimligt i respektive lokal. Sprinklerns effekt på bränderna baseras på resultat från olika sprinklerförsök<sup>33</sup>.

Variationer i brandstorlek påverkar luckornas effektivitet men inte fläktarnas. Större bränder höjer temperaturen vilket gör luckorna effektivare och fläktarna mindre effektiva.

## 8. Bränsle

Bränslet kommer givetvis variera mycket beroende på vad som tillverkas eller lagras i lokalen. Typ av bränsle påverkar bland annat sotproduktionen. Bränsle med högre sotproduktion kommer bland annat ge sämre sikt. Slutresultatet bedöms vara relativt oberoende av denna parameter.

## 9. Placering av brand

Speciella fenomen som fås vid väggar och i hörn kan undvikas genom att branden placeras mitt i en kvadrant. Placeringen kan ändå ge en mer varierad spridning jämfört med vad en brand placerad i mitten skulle göra. Vi bedömer att slutresultatet är relativt oberoende av hur branden placeras.

## 10. Sprinkler

Sprinklerna för respektive typ av lokal är framtagna efter verklighetsbaserade generaliseringar.<sup>34</sup> I verkligheten kommer sprinklerna att aktivera vid något olika tidpunkter, denna tidsskillnad anses dock vara försumbar och inte påverka resultaten.

Sprinklerns kyleffekt i FDS är inte helt klarlagd. Vissa förenklingar görs i FDS vid sprinklerberäkningarna. Bland annat beräknas inte varje enskild droppe utan en beräkning utförs så att dropparna ändå ska motsvara mängden vatten. Det är heller inte möjligt att återskapa den verkliga spridningsbilden exakt. Sprinklerna i FDS aktiverar på tid (inte på RTI) och sprinklerns effekt på branden beräknas utifrån forskningsförsök vilket gör simuleringsresultaten mindre beroende av sprinklerna. Förenkningarna som görs i FDS bedöms inte påverka simuleringarna på ett sätt som påverkar resultaten och slutsatserna. Sprinklerresultatet i FDS bör ligga tillräckligt nära verkligheten och dessutom ger ett mer sanningsenligt resultat än om sprinkler inte skulle användas alls.

---

<sup>33</sup> Persson, H. (1991) och Persson, H. (1993).

<sup>34</sup> Holmberg, K. (2007).



Sprinklerna i SP's försök<sup>35</sup> är ESFR-sprinklern men exakt vad de har för spridningsvinkel, RTI-värde m.m. framgår inte av rapporten. Dock borde variationerna av detta vara ganska små och det bör inte påverka resultatet.

### **11. Brandgasventilation**

Omfattningen av brandgasluckor har utgått från 0,5 % av golvarean. Den verkliga omfattningen är projektspecifik men vald omfattning har bedöms vara relevant för ett stort antal verkliga fall. Vid användning av rapportens slutsatser är det upp till användaren att bedöma om 0,5 % är relevant för aktuellt projekt. 10 minuter anses vara en rimlig tid innan t.ex. räddningstjänst eller någon i personalen öppnar luckorna.

### **12. Brandgasfläktar**

Fläktar har använts för att kunna jämföra effektiviteten med luckors. Fläktstorlek har valts med hänsyn till vad marknaden har att erbjuda.

### **13. Normalventilation**

Rimliga generaliseringar i förhållande till hur normalventilationen dimensioneras i verkligheten.<sup>36</sup>

### **14. Brandgasskärmar**

Några olika simuleringar anses ge tillräckligt bra resultat för att slutsatser ska kunna dras utan att simuleringar behöver genomföras på alla lokaler i alla olika utformningar.

### **15. Meshutformning**

Görs så beräkningssmidig som möjlig för att korta ner beräkningstider och anpassas till tillgänglig datorkapacitet.

### **16. Gridstorlek**

Begränsad datorkapacitet gör det svårt att köra alla simuleringar i fin grid varför gridoberoende för alla simuleringar inte har kunnat visas. Gridoberoende innebär att resultaten blir desamma oavsett om simuleringen körs i finare grid. Dock visar enstaka kontrollsimuleringar att en gridstorlek på 0,5 meter ger tillräckligt bra resultat.

Simuleringar för att visa gridoberoende har av praktiska skäl inte varit möjligt att genomföra på samtliga simuleringar. Dock har ett par simuleringar med finare grid gjorts och dessa har visat på gridoberoende när det gäller temperatur och sikt. Det som skulle kunna påverkas om simuleringarna inte är gridoberoende är framför allt brandgasspridningen och temperaturerna. En större grid kan leda till att brandgaserna sprids längre ner än vad de egentligen skulle ha gjort och att brandgaserna tunnas ut. En icke oberoende grid leder också till att temperaturerna blir lägre.

En finare grid visar att flödet genom luckorna inte är helt gridoberoende. Flödet blir ca 20 % lägre när finare grid används vilket innebär att de värden vi redovisar i rapporten är något överskattade. En högre detaljnivå på resultaten än så används inte när slutsatser dras i rapporten.

---

<sup>35</sup> Persson, H. (1991) och Persson, H. (1993).

<sup>36</sup> Cottman, P. (2007), Eriksson, L-G. (2007), Rehnby, M. (2007)

## **17. Detact T2**

Eftersom programmet antar att det bara är takbrandplymen som värmer sprinklerbulben kommer värdet för aktiveringstiden vara konservativt. Vid ett verkligt scenario skulle aktiveringstiden förmodligen bli kortare. Detta bidrar till att det blir mer brandgaser i simuleringarna och en något högre temperatur vilket borde gynna luckorna.

## **18. Vind**

Ingen hänsyn tas till vindpåverkan. Vinden är normalt en viktig faktor att ta hänsyn till vid dimensionering av tilluft och brandgasventilation eftersom den kan påverka ett flöde. Att studera detta ligger dock inte inom ramarna av detta projekt.

## Bilaga B. Materialberäkning

På grund av att cellerna i de flesta simuleringar är 0,5 meter måste också väggarna ha denna tjocklek. För att väggen ändå ska representera en normaltjock vägg när det gäller värmeledningsförmågan räknas ett anpassat  $\lambda$ -värde för väggen fram.

En normal vägg består av ca 0,5 mm plåt, ca 180 mm isolering och 0,5 mm plåt<sup>37</sup>. I FDS läggs detta in som 0,5 mm plåt, 499 mm isolering och 0,5 mm plåt.

För plåt används värden för stål<sup>38</sup>:

$$\lambda=60 \text{ W/mK}$$

$$\rho=7850 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Specifik värmekapacitet}=0,46 \text{ J/kgK}$$

För isolering används normala siffror för densitet och värmekapacitet men ett nytt  $\lambda$ -värde beräknas:

$$\lambda=0,0144 \text{ W/mK}$$

$$\rho=100 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Specifik värmekapacitet}=0,75 \text{ J/kgK}$$

$\lambda$ -värdet beräknas enligt följande:

Normalt  $\lambda$ -värde för isolering är ca 0,04 W/mK<sup>39</sup>. För 180 mm tjock vägg motsvarar detta  $7,2 \times 10^{-3}$  W/K.

$$7,2 \cdot 10^{-3} / 0,499 \approx 0,0144 \text{ W / mK}$$

Den specifika värmekapaciteten antas påverka materialet så pass lite att ingen anpassning av denna görs.

---

<sup>37</sup> Byggboken (2006).

<sup>38</sup> Burström, P-A. (2001)

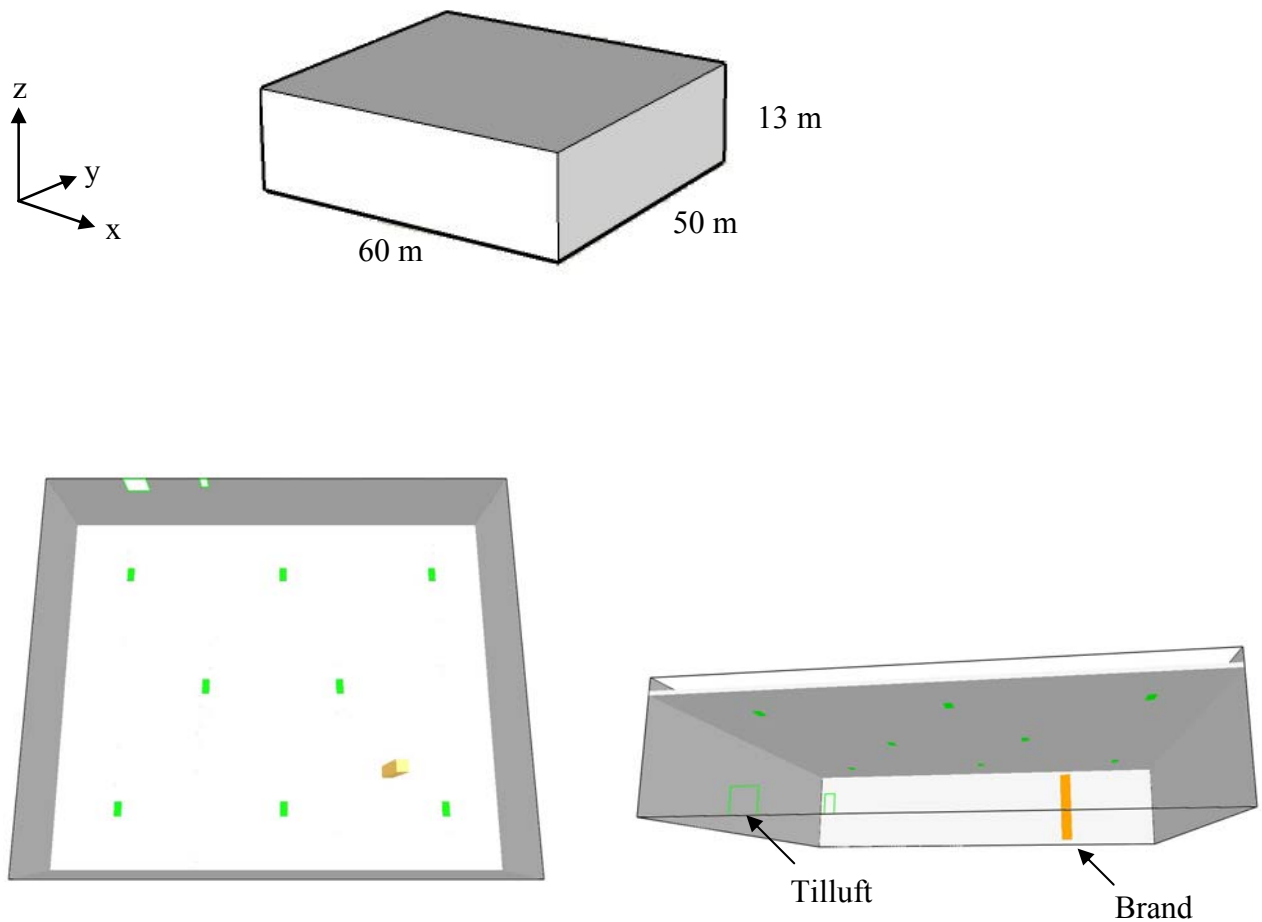
<sup>39</sup> Burström, P-A. (2001)

## **Bilaga C. Geometrier för typlokalerna**

Här redovisas geometrier för de sex typlokaler som behandlas i rapporten:

- L3000 - Lagerlokal 3000 m<sup>2</sup>
- L10 000 - Lagerlokal 10000 m<sup>2</sup>
- L20 000 - Lagerlokal 20000 m<sup>2</sup>
- P3000 - Produktionslokal 3000 m<sup>2</sup>
- P10 000 - Produktionslokal 10000 m<sup>2</sup>
- P20 000 - Produktionslokal 20000 m<sup>2</sup>

## L3000 - Lagerlokal 3000 m<sup>2</sup>



Figur C-1: Lokalen sedd underifrån och från sidan, brandgasventilationsluckorna syns som gröna rektanglar. Ev. fläktar placeras på väggen motsatt tilluften eller i taket ovanför denna vägg.

### Placering av brand:

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 44, 45.5, 36.5, 38, 0, 10

### Placering av sprinkler:

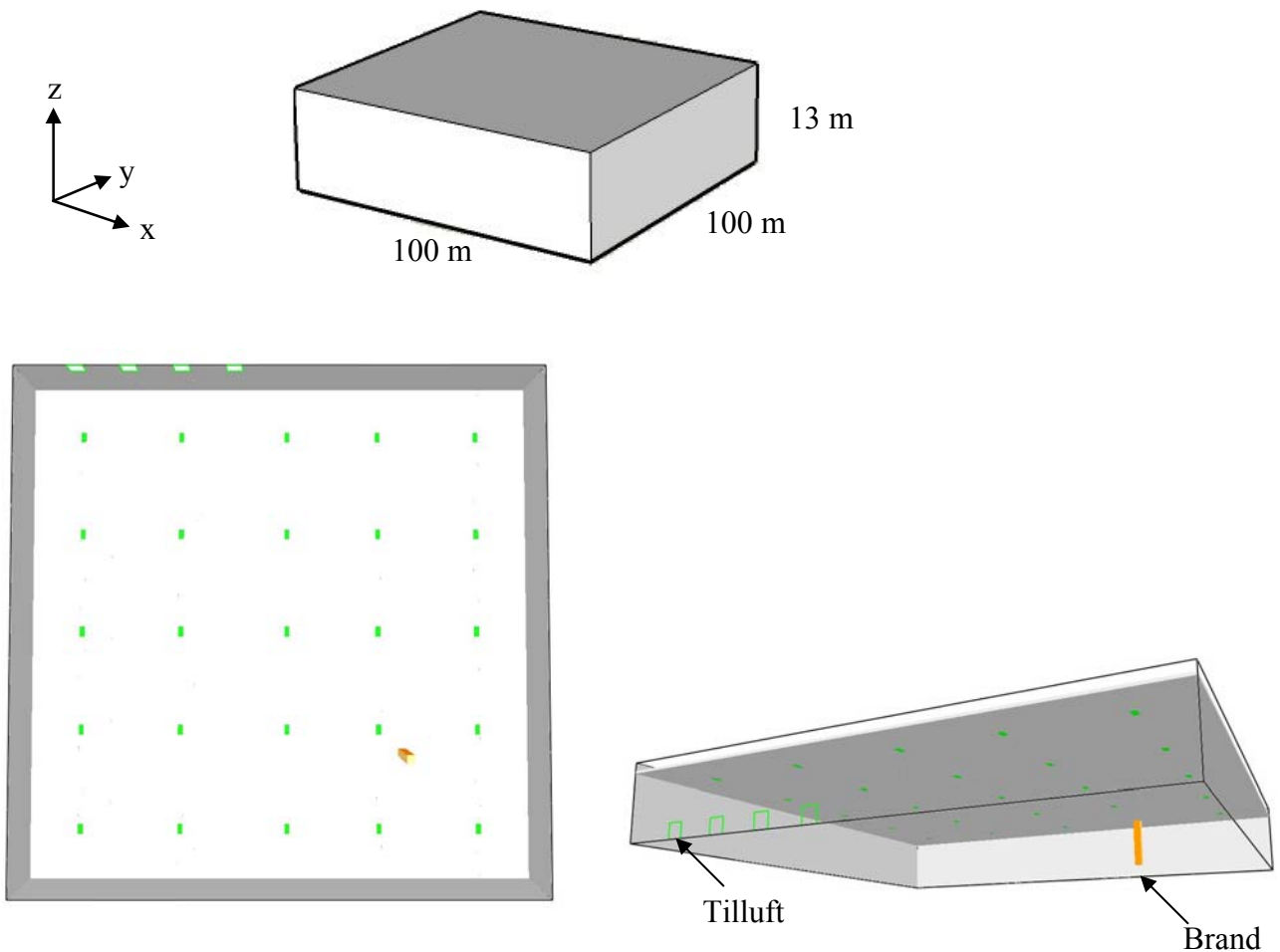
x: 43, 46 y: 33, 36, 39 z: 12.7

### Placering av fläkt:

1. 10 m<sup>3</sup>/s tak

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 28, 30, 45, 47, 13, 13

## L10 000 - Lagerlokal 10 000 m<sup>2</sup>



Figur C-2: Lokalen sedd underifrån och från sidan, brandgasventilationsluckorna syns som gröna rektanglar. Ev. fläktar placeras på väggen motsatt tilluften eller i taket ovanför denna vägg.

### Placering av brand

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 73.5, 75, 73.5, 75, 0, 10

### Placering av sprinkler

x: 73, 76 y: 72, 75, 78 z: 12.7

### Placering av fläktar:

1. 50 m<sup>3</sup>/s vägg

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 30, 32, 100, 100, 11.5, 12.5 samt 60, 62, 100, 100, 11.5, 12.5

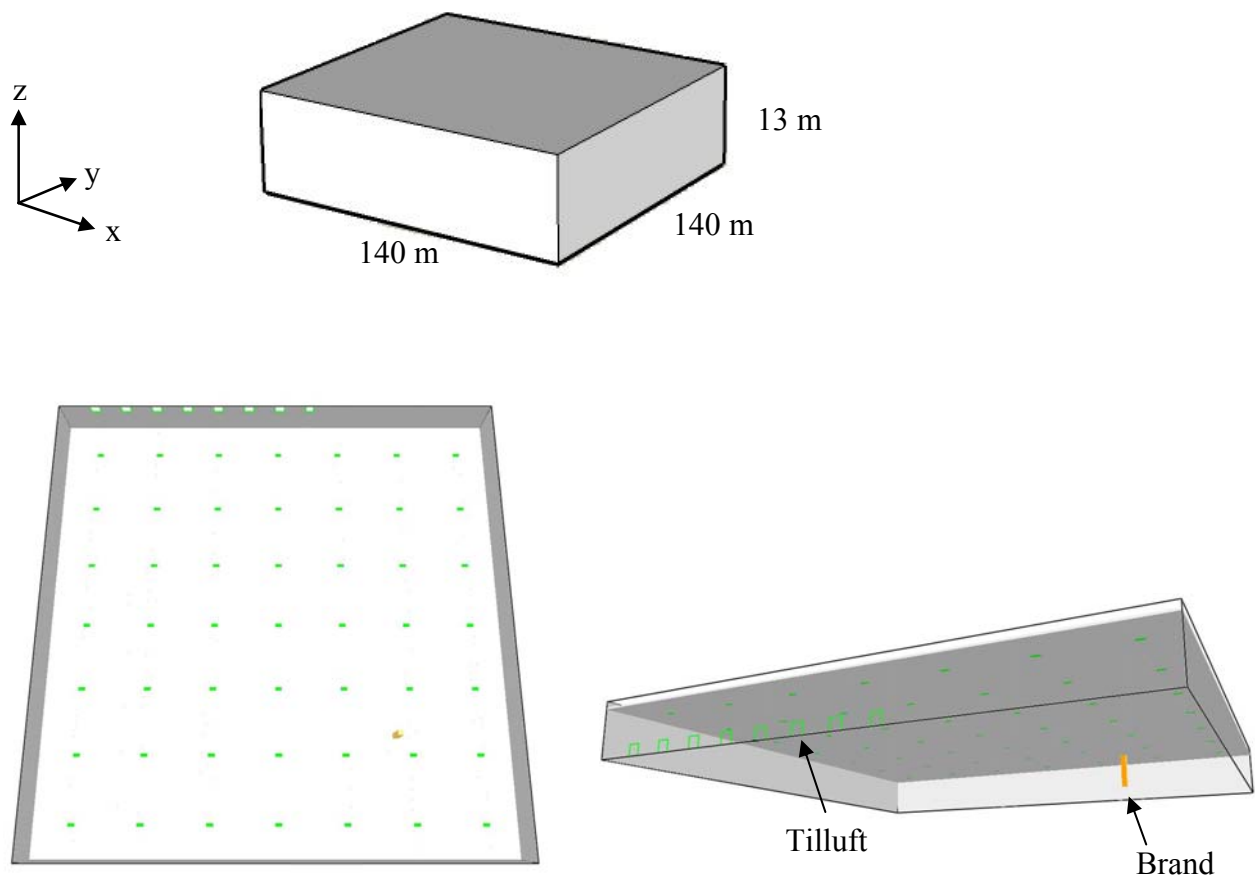
2. 25 m<sup>3</sup>/s tak

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 30, 32, 97, 98, 13, 13

3. 50 m<sup>3</sup>/s tak

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 30, 32, 97, 98, 13, 13 samt 60, 62, 97, 98, 13, 13

## L20 000 - Lagerlokal 20 000 m<sup>2</sup>



Figur C-3: Lokalen sedd underifrån och från sidan, brandgasventilationsluckorna syns som gröna rektanglar. Ev. fläktar placeras på väggen motsatt tilluften eller i taket ovanför denna vägg.

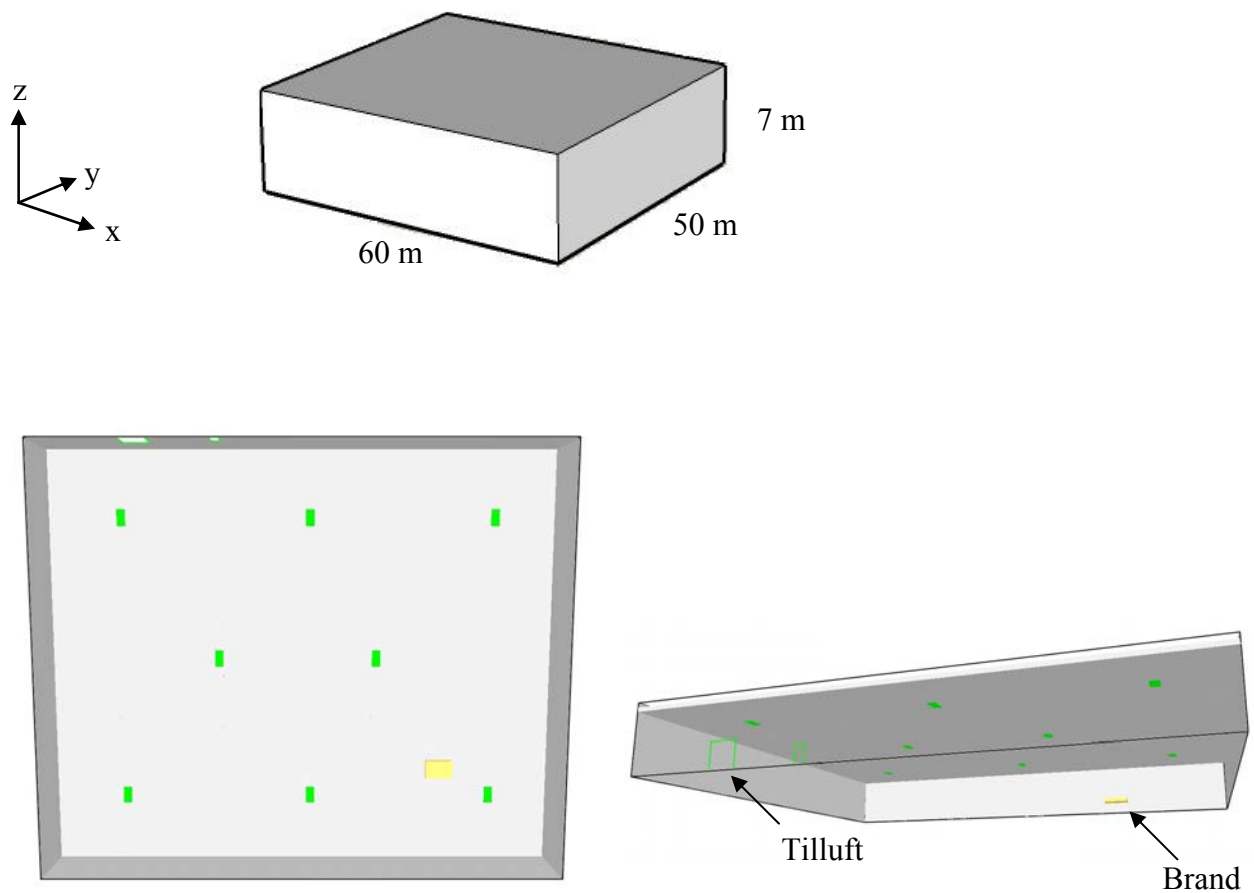
### Placering av brand

( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $z_1$ ,  $z_2$ ): 104.5, 106, 104.5, 106, 0, 10

### Placering av sprinkler

x: 104, 104, 110 y: 104, 107 z: 12.7

## P3000 - Produktionslokal 3000 m<sup>2</sup>



Figur C-4: Lokalen sedd underifrån och från sidan, brandgasventilationsluckorna syns som gröna rektanglar. Ev. fläktar placeras på väggen motsatt tilluften eller i taket ovanför denna vägg.

### Placering av brand

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 44, 47, 36, 38, 0, 0.5

### Placering av sprinkler

x: 44, 47, 50 y: 36, 39 z: 6.7

### Placering av fläktar:

1. 25 m<sup>3</sup>/s vägg

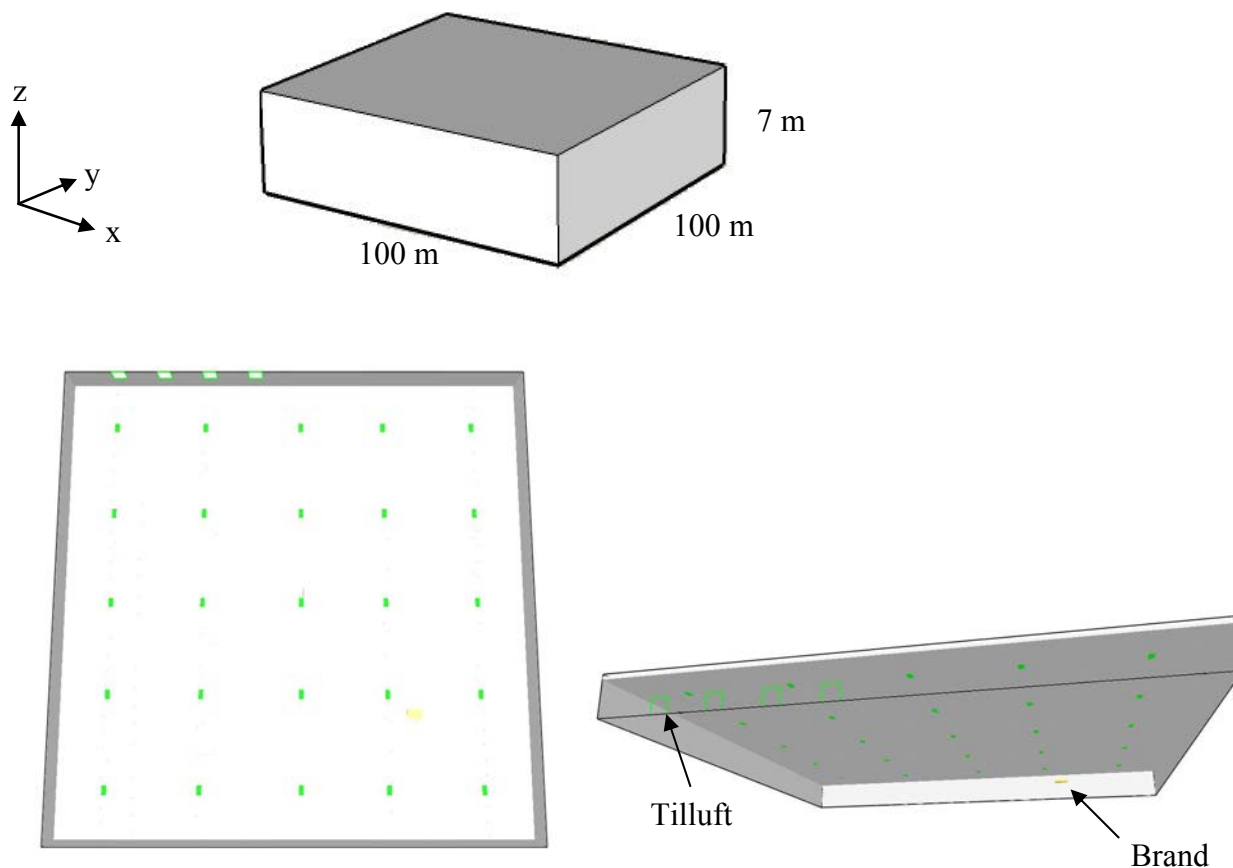
( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 15, 17, 50, 50, 5.5, 6.5

2. 25 m<sup>3</sup>/s tak

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 15, 17, 47, 48, 7, 7



## P10 000 - Produktionslokal 10 000 m<sup>2</sup>



Figur C-5: Lokalen sedd underifrån och från sidan, brandgasventilationsluckorna syns som gröna rektanglar. Ev. fläktar placeras på väggen motsatt tilluften eller i taket ovanför denna vägg.

### Placering av brand

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 73, 76, 73, 75, 0, 0.5

### Placering av sprinkler

x: 73, 76 y: 72.5, 75.5, 78.5 z: 6.7

### Placering av fläktar:

1. 50 m<sup>3</sup>/s vägg

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 30, 32, 100, 100, 5.5, 6.5 samt 60, 62, 100, 100, 5.5, 6.5

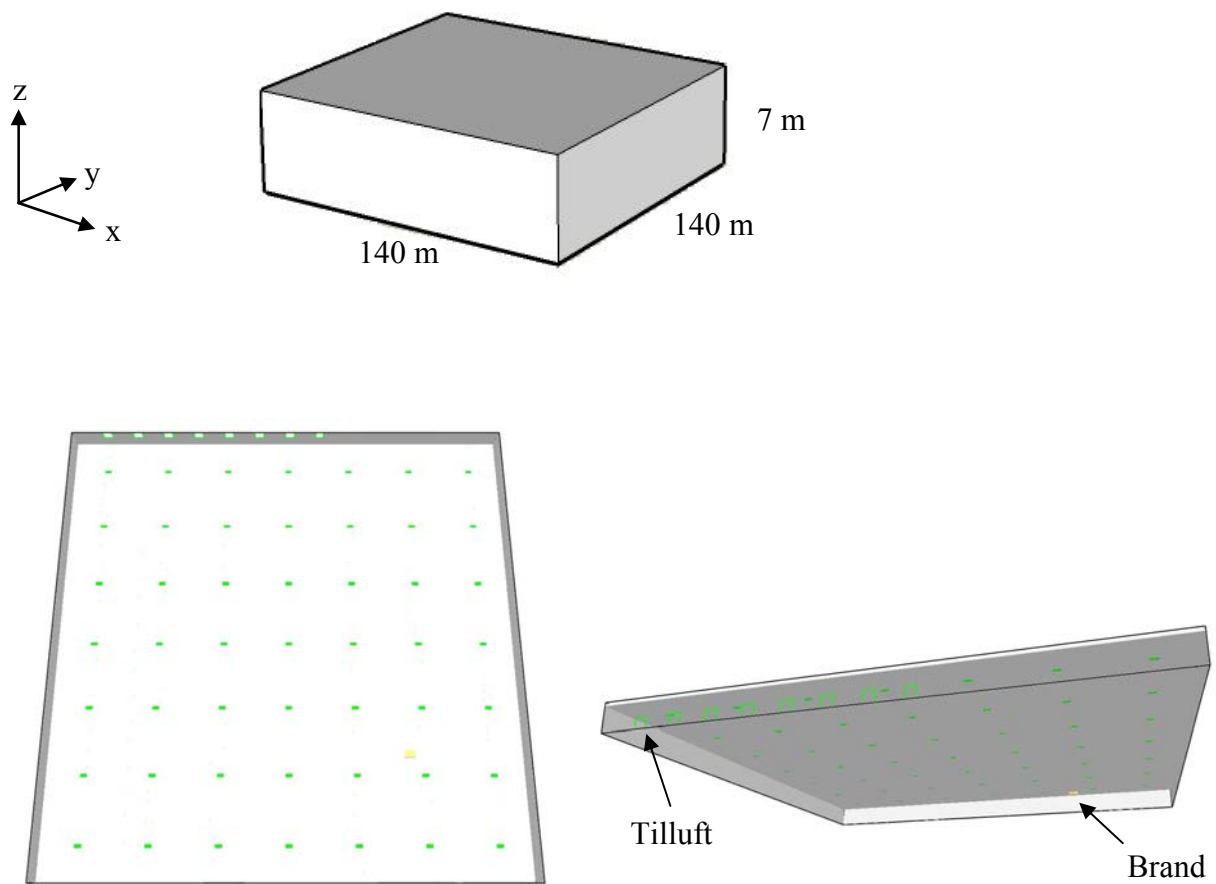
2. 25 m<sup>3</sup>/s tak

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 30, 32, 97, 98, 7, 7

3. 100 m<sup>3</sup>/s vägg

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 20, 22, 100, 100, 5.5, 6.5  
40, 42, 100, 100, 5.5, 6.5  
60, 62, 100, 100, 5.5, 6.5  
80, 82, 100, 100, 5.5, 6.5

## P20 000 - Produktionslokal 20 000 m<sup>2</sup>



Figur C-6: Lokalen sedd underifrån och från sidan, brandgasventilationsluckorna syns som gröna rektanglar. Ev. fläktar placeras på väggen motsatt tilluften eller i taket ovanför denna vägg.

### Placering av brand

( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ): 104, 107, 104, 106, 0, 0.5

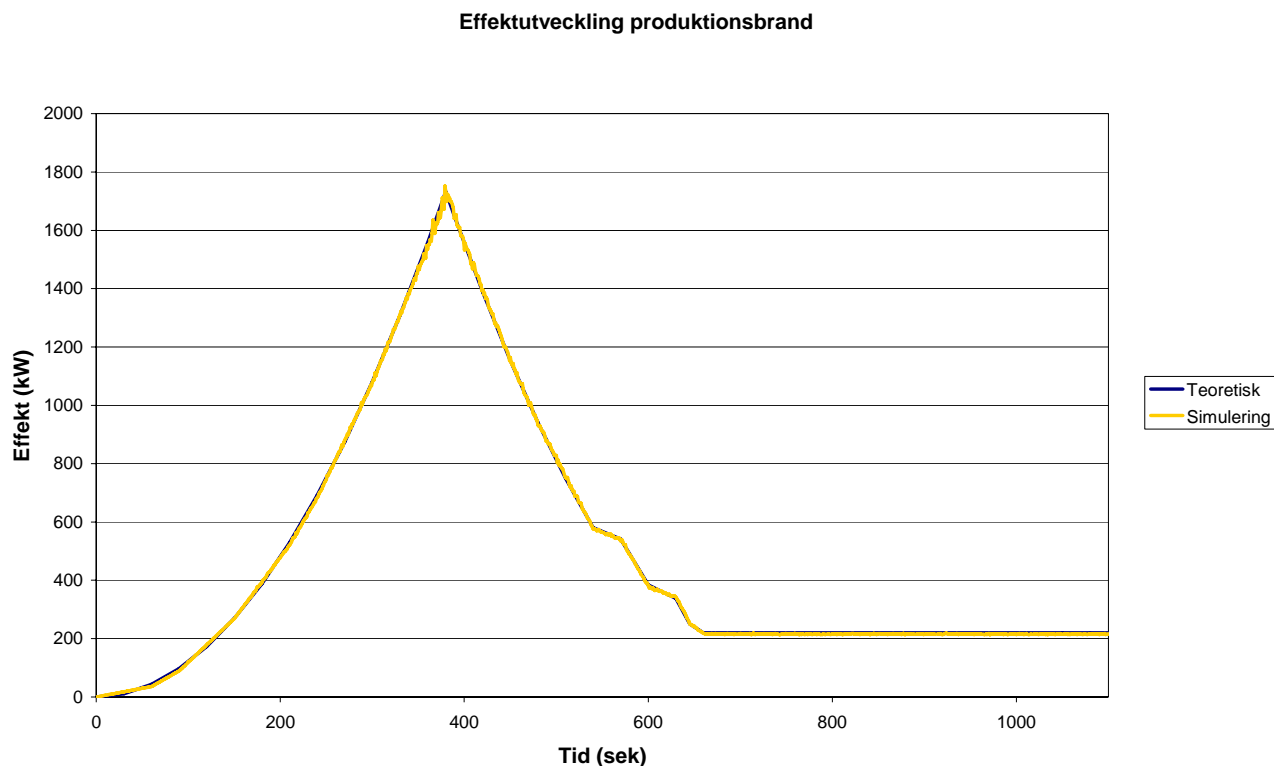
### Placering av sprinkler

x: 104, 104, 110 y: 104, 107 z: 6.7

## Bilaga D. Effektkurvor

### Brand i produktionslokal

Branden baseras på en effektkurva med tillväxthastigheten medium ( $0,012 \text{ kW/s}^2$ ). När sprinklern löser efter 6 minuter enligt Detact T2 tillåts branden växa i ca 20 sekunder till innan den minskar på ungefär samma sätt som den växte, detta enligt tester gjorda på SP<sup>40</sup>. Se Figur D-1 och Tabell D-2 för effektutvecklingen. Branden är  $6 \text{ m}^2$  stor och ”rampas upp” jämnt över hela ytan i FDS.



**Figur D-1:** Effektutvecklingskurva för produktionslokal. Den blå kurvan visar den teoretiska kurvan som använts som indata. Den rosa kurvan visar utvecklade effekt i en av simuleringarna.

Tid (sek)	Effekt (kW)	Tid (sek)	Effekt (kW)	Tid (sek)	Effekt (kW)
0	0	330	1306.8	630	338
30	10.8	360	1555.2	645	250
60	43.2	380	1732.8	660	220
90	97.2	390	1642.8	690	220
120	172.8	420	1387.2	720	220
150	270	450	1153.2	750	220
180	388.8	480	940.8	780	220
210	529.2	510	750	810	220
240	691.2	540	580.8	840	220
270	874.8	570	541.5	870	220
300	1080	600	384	900	220

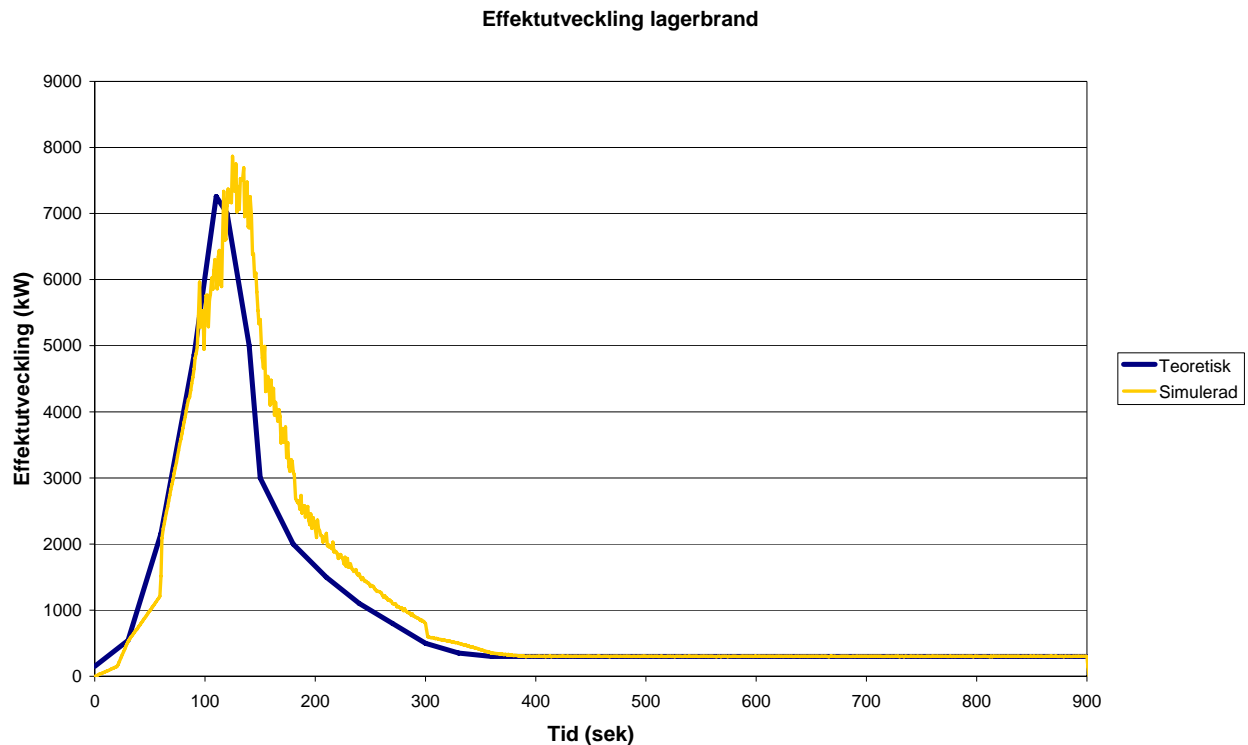
**Tabell D-1:** Effektutvecklingen för produktionskurvan.

<sup>40</sup> Persson, H. (1991) och Persson, H. (1993)

## Brand i lagerlokal

Branden baseras på försökskurvor från SP<sup>41</sup>. För att spara simuleringstid och för att få ett rimligt värde på tillväxthastigheten tas förbrinntiden på ca 210 sekunder bort. Sedan räknas en tillväxthastighet fram utifrån kurva från SP (0,6 kW/s<sup>2</sup>). Denna tillväxthastighet läggs in i Detact T2, sprinklern aktiverar efter 90 sekunder. Kurvan får växa i ytterligare ca 20 sekunder innan den avtar ungefär som den växte.

Lagerbranden består av fem kuber (1,5x1,5x2 m). Kuberna rampas i omgångar så att de tillsammans bildar en effektutveckling motsvarande kurvan, se Figur D-2. Effektutvecklingen sker enligt Tabell D-2.



**Figur D-2:** Effektutveckling för lagerbrand. Den blå kurvan visar den teoretiska kurvan som använts som indata. Den rosa kurvan visar utvecklade effekt i en av simuleringarna.

Tid (sek)	Effekt (kW)	Tid (sek)	Effekt (kW)	Tid (sek)	Effekt (kW)
0	150	270	800	600	300
30	540	300	500	630	300
60	2160	330	350	660	300
90	4860	360	300	690	300
110	7260	390	300	720	300
120	7000	420	300	750	300
140	5000	450	300	780	300
150	3000	480	300	810	300
180	2000	510	300	840	300
210	1500	540	300	870	300
240	1100	570	300	900	300

**Tabell D-2:** Effektutvecklingen för lagerkurvan.

<sup>41</sup> Persson, H. (1991)

## Bilaga E. Beräkning av bränsletyp

Branden baseras på trä men sotproducering och  $\Delta H_c$  beräknas utifrån 50 % plast och 50 % trä enligt följande:

Sotproducering:

Polyuretan sotproduktion=0,05625 (genomsnitt "flaming polyurethan")

Trä=0,0041 (genomsnitt på "fiberboard" och "hard board")

Detta ger sotproduktion=0,03

Heat of combustion:

Polyurethan=23,9 MW/kg

Trä=16 MW/kg

Detta ger  $\Delta H_c = 20\ 000$  kW/kg.

Värden är hämtade från SFPE (2001).

## Bilaga F. Sprinkleraktivering

### Produktionslokaler

Sprinkleraktiveringen för produktionslokaler har beräknats med hjälp av Detact T2.

#### Indata i Detact T2

Omgivande lufts temperatur: 20 °C

Tillväxthastighet brand: Medium (ca 0,012kW/s<sup>2</sup>)

RTI-värde sprinkler: 100

Avstånd sprinkler: 3 meter

Takhöjd: 7 meter

Aktiveringstid i Detact T2 blir ca 6 minuter.

### Lagerlokaler

Sprinkleraktiveringen beräknas med hjälp av kurvor från SP samt en körning i Detact T2.

#### Indata i Detact T2

Omgivande lufts temperatur: 20 °C

Tillväxthastighet brand: 0,6 kW/s<sup>2</sup>

RTI-värde sprinkler: 50

Avstånd sprinkler: 3 meter

Takhöjd: 13 meter

Aktiveringstiden i Detact T2 blir ca 2 minuter. Då Detact T2 inte tar hänsyn till att lagerbranden växer på höjden görs även en simulering med halva takhöjden. Dessutom jämförs värdena med försökskurvor från SP<sup>42</sup>. Med utgångspunkt från detta sätts aktiveringstiden till 90 sekunder.

---

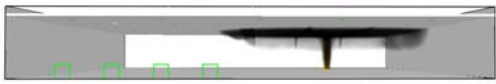
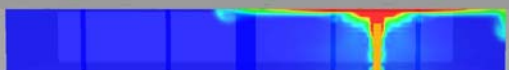
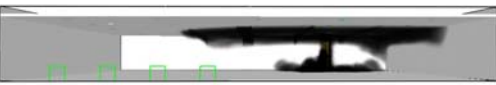
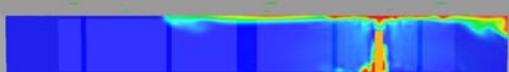


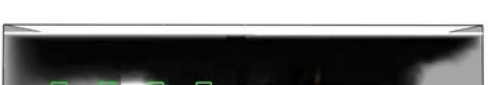
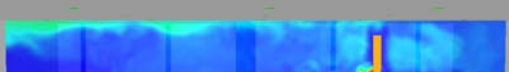

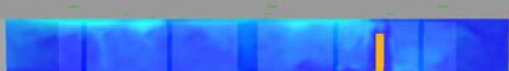

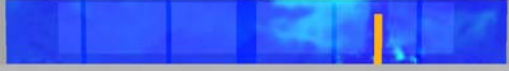




<sup>42</sup> Persson, H., *Evaluation of the RDD-measuring technique*, 1991 och Persson, H., *Commodity Classification – A more objective and applicable methodology*, 1993.

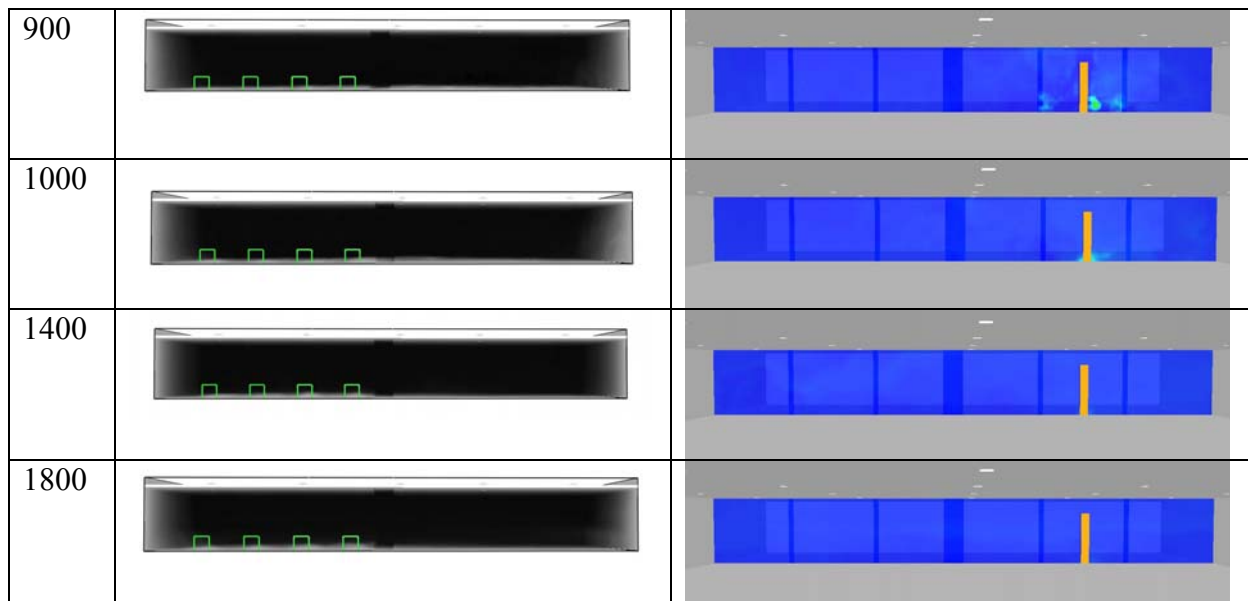
## Bilaga G. Resultat från simuleringar

Här redovisas ett par tidsserier från två av simuleringarna. Den första visar en 10 000 m<sup>2</sup> stor lagerlokal men brandgasventilation i form av luckor. Den andra tidsserien visar samma lokal men med fläktar med ett flöde på 50 m<sup>3</sup>/sek istället för luckorna.

### Lagerlokal 10 000 m<sup>2</sup>, luckor

■ = 20°C   ■ = 25-26°C   ■ = 30°C

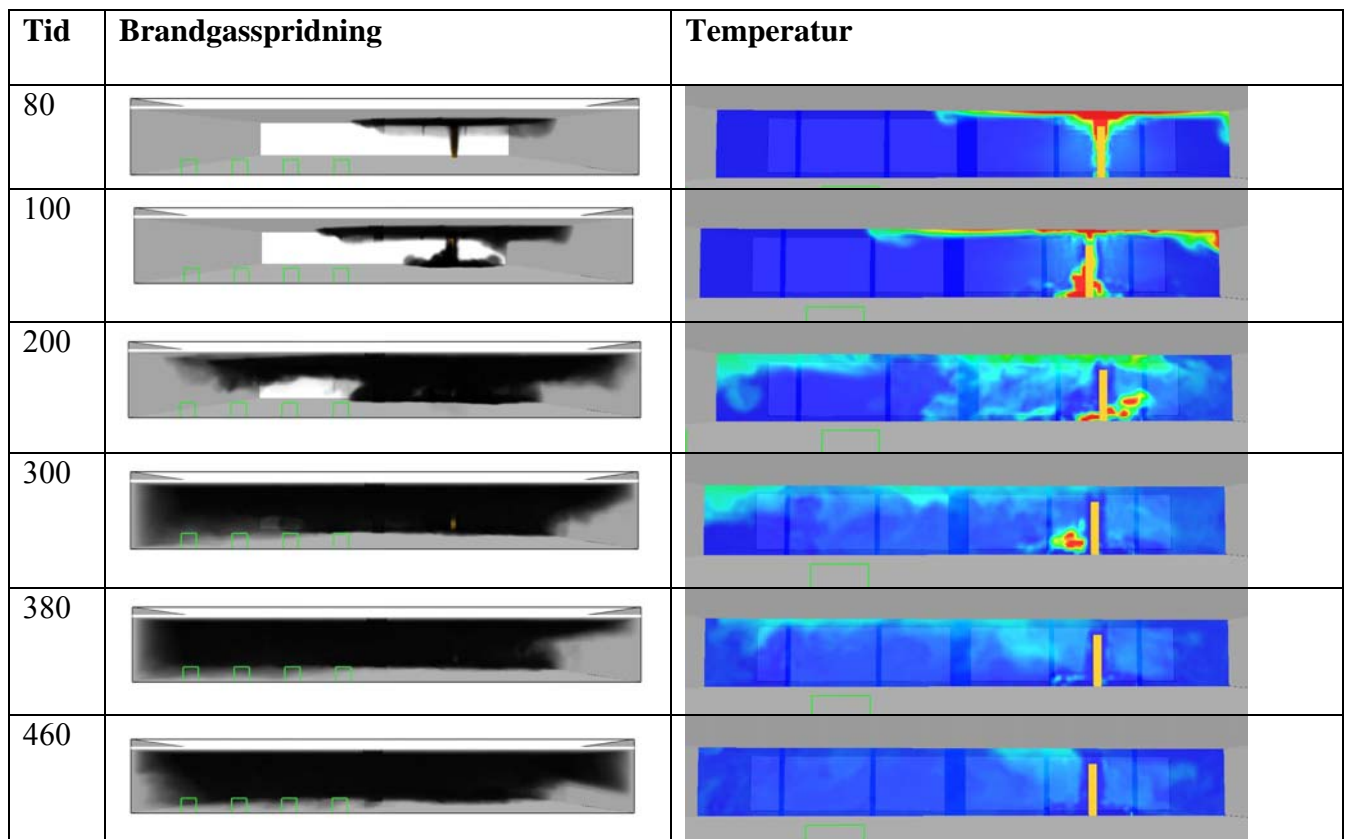
Tid	Brandgasspridning	Temperatur
80		
100		
200		
300		
380		
460		
600		
700		



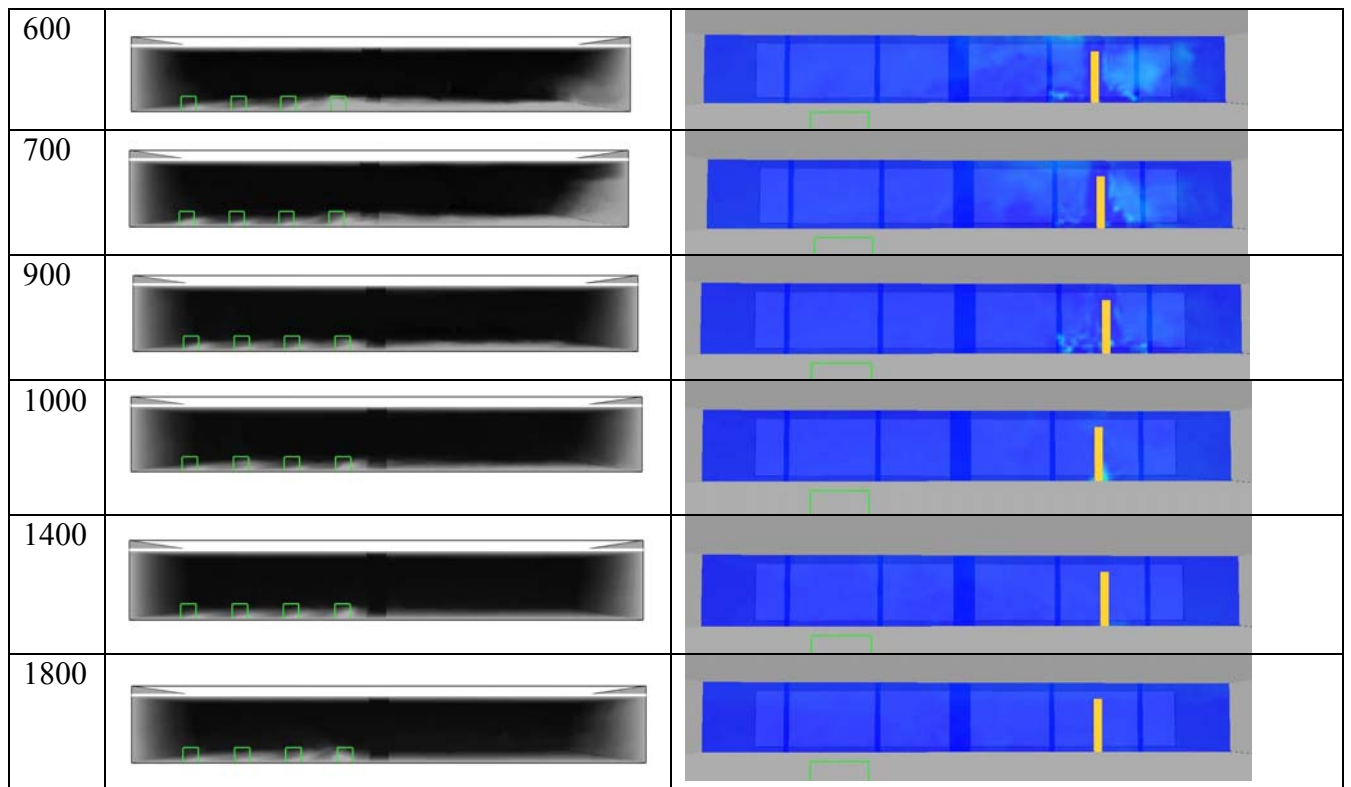
Figur H-1: Brandgasspridning och temperaturspridning i 10 000 m<sup>2</sup> lagerlokal med luckor.

### Lagerlokal 10 000 m<sup>2</sup>, fläktar

■ = 20°C   ■ = 25-26°C   ■ = 30°C







Figur H-2: Brandgasspridning och temperaturspridning i 10 000 m<sup>2</sup> lagerlokal med fläktar.