

Funktion av

Brandgasventilation i osprinklade industrilokaler

Projektledare: Erik Almgren
Författare: Emil Berggren & Erik Almgren

Bengt Dahlgren Brand & Risk AB
Malmö 2010-06-23
SBUF projektnummer: 12175
BDAB projektnummer: 407 23 02

Förord

Detta projekt har utförts till största del under 2009 av Bengt Dahlgren Brand & Risk 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 ingenjörsmånader och arbetet har letts av Erik Almgren, brandingenjör och civilingenjör i riskhantering på Bengt Dahlgren Brand & Risk AB. Största delen av arbetet har utförts av Emil Berggren, brandingenjörstudent samt timanställd 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 flertalet andra som hjälpt till med information under projektets gång samt synpunkter på rapportutkast under sluttampen.

Malmö 23 juni 2010

Erik Almgren

Sammanfattning

Idag installeras brandgasventilation för de flesta industribyggnader (annat än mindre lokaler). Brandgasventilationens betydelse för att kunna ventilerar ut värme och rök vid en insats är erkänd världen över inom industrin, räddningstjänsten och försäkringsbranschen. Ur ett bygghelperspektiv är dock den främsta anledningen till att brandgasventilation installeras att det indirekt regleras av BBR. Dagens BBR säger inget specifikt om när brandgasventilation krävs men handböcker har förvaltat tidigare regelverks idé om när brandgasventilation krävs. BBR reglerar därmed indirekt brandgasventilation som en skydds metod för skydd mot brandspridning mellan byggnader.

Dagens stora utmaning och huvudanledning till att denna rapport är framtagen är att gemensam syn på dimensioneringskriterier saknas. Detta skapar en osäkerhet och riskmoment för byggbranschens aktörer. Arbetet har fokuserat på att belysa var vi står idag, ge förslag på lösningar och/eller en idé om vad som ytterligare krävs för att dagens problem skall lösas.

Under 70-80-talen användes ofta en tabellmetod (s.k. SBF-metoden) framtagen baserad på beräkningar och där riskklass (likt sprinklerregler) samt insatstid styrde mängden brandgasventilation. Med tiden har tabellmetoden i stort övergetts till förmån för specifika beräkningar i varje enskilt fall. Trots ett omfattande arbete att hitta och analysera den äldre tabellmetoden har detta visat sig inte vara möjligt. Ingen bakgrunds information finns bevarad och kontakt med författarna har inte heller bringat klarhet i vilka dimensioneringskriterier som ligger till grund för arbetet. Med hänsyn till att bakgrundsmaterial saknas och att metoden bortser från ett antal viktiga parametrar så bedöms denna metod ej längre tillämpbar.

En del av arbetet har utgjorts av beräkningar för detaljerade studier av hur ett par typiska industribränder påverkar möjligheten till insats med och utan brandgasventilation. Brandgasventilationen har i dessa studier dimensionerats med tabellmetoden nämnd ovan men även med ett alternativt angreppssätt. Med utgångspunkt från dagens kravnivåer där brandgasventilation krävs men sprinkler inte krävs har vi fokuserat på två typiska industrilokaler med storlekarna 2 500 m² (hög brandbelastning typ lager) och 5 000 m² (lägre brandbelastning typ produktion).

Vi har även försökt studera vilken nivå på brandgasventilation som krävs för att kunna hantera en tänkt maximal brandtillväxt och maximal effektutveckling som räddningstjänsten förväntas kunna släcka. Detta har bl.a. gjorts med hjälp av en tvåzonsmodell. Tvåzonsmodellen har visat sig otillräcklig för att klara bedöma både brandgaslagrets höjd och/eller temperaturer främst p.g.a. lokalernas storlek. De värden som räknats fram med tvåzonsmodell visade sig vid jämförelse med CFD-beräkningar (stickprov) ej vara tillräckligt säkra för att användas. CFD-analys förordas därmed för denna typ av beräkningar.

Vi har dragit följande huvudsakliga slutsatser av arbetet:

- Boverket skulle kunna spela en viktig roll i att förtydliga syfte och begränsningar samt ange dimensioneringskriterier i form av acceptabel strålning mot räddningstjänstpersonal samt temperatur och lägsta höjd på brandgaslagret. Dessa kriterier avgör sedan mängden brandgasventilation som krävs.
- Vissa industribränder tillväxer så snabbt att räddningstjänsten med normala insatstider endast kan arbeta med att hindra utvärdig spridning. Våra beräkningar tydliggör hur snabbt en lagerbrand kan skapa för svåra insatsförhållanden även med mycket brandgasventilation.

- Gårdagens metoder tog troligtvis inte tillräcklig hänsyn räddningstjänstens förmåga att släcka en industribrand. Därför är dessa metoder inte längre användbara. Tyvärr är den metod som togs fram av SBF på 70-80-talet inte möjlig att värdera då bakgrundsinformation har försvunnit genom åren. Metoden har dessutom ett antal brister utifrån dagens kunskap och anses ej längre lämplig som dimensioneringsunderlag.
- Tvåzonsmodeller är inte ett tillräckligt bra verktyg för aktuella lokaltyper om studie av brandgaslagrets höjd och siktfrågor behöver göras. CFD-analys krävs.

Vi föreslår att Boverket gör följande:

- Tillsammans med MSB diskuterar om det är förenligt med rådande arbetsmiljökrav att förvänta sig en invändig släckinsats i industribyggnader/hallbyggnader vid annat än mindre bränder. Om så inte är fallet så bör nedanstående förslag på dimensionerande brand reduceras.
- Anger de kriterier vi använder i denna rapport som acceptansnivå vid dimensionering. Överväg dock att sätta acceptabel strålning till 4 kW/m^2 istället för 3 kW/m^2 .
- Att ange en dimensionerande brand till följande om inte annat kan påvisas i de enskilda fallet: "fast-brand" med maximal effektutveckling på 17 MW. Detta är den storleken som enligt diskussionen i denna rapport anses vara en rimlig gräns till vad räddningstjänsten kan hantera.
- Anger krav på att acceptabel insatsmiljö skall säkras inom 5 minuter från insatsen påbörjats/brandgasventilationen aktiverats. Insatstid i detta sammanhang föreslås lämnas till en diskussion med aktuell räddningstjänst. För insatstider överstigande 20 minuter anses skyddsmetoden inte relevant utan annat skydd (avstånd/sektionering) tillämpas istället.
- Föreslår, om inte annat kan påvisas, att två portar kan förväntas öppnas manuellt av räddningstjänsten och tillgodoräknas som tilluft i normalfallet.
- För osprinklade lokaler i kategorin $>400 \text{ MJ/m}^2$ eller andra lokaler som förväntas få en brandeffekt på mer än 17 MW inom aktuell insatstid föreslås att ovanstående metod används för att skapa ett visst skydd mot de bränder som kan hanteras.
- För sprinklade lokaler ej ställer krav på brandgasventilation utan lämnar denna fråga om egendomsskydd/utvädring till marknadens aktörer.¹

I dagsläget finns ett stort spann på marknaden av hur dimensionering av brandgasventilation i industrin hanteras. Detta beror främst på att en gemensam bild av vad samhällets kravnivå innebär saknas. Vissa dimensionerar för mindre bränder, andra mycket stora bränder. Vissa dimensionerar för låga temperaturer och god sikt och andra för att undvika övertändning. Detta spann kommer troligt kvarstå tills en tydligare bild av samhällets syfte med aktuell reglering framträder.

Denna rapport är en fristående fortsättning av ett tidigare SBUF-projekt (11958) som fokuserade på användningen av brandgasventilation i sprinklade industrilokaler.

¹ Denna sista punkt är ingen frågeställning som detta arbete aktivt bearbetat. Det är dock en synpunkt som vuxit fram i samband med diskussionerna som förts i detta och föregående oberoende SBUF-projekt vi gjort kring brandgasventilation i sprinklade industrilokaler.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	6
1.1	BAKGRUND.....	6
1.2	SYFTE OCH MÅL.....	7
1.3	METOD.....	7
1.4	AVGRÄNSNINGAR.....	8
2	BRANDGASVENTILATION	9
2.1	REGELVERK OCH DIMENSIONERINGSMETODER.....	9
3	RÄDDNINGSTJÄNSTENS KAPACITET OCH INSATSFÖRMÅGA	13
3.1	KAPACITET.....	13
3.2	INSATSTIDER.....	14
4	ACCEPTANSKRITERIER FÖR BRANDGASVENTILATION	16
5	PROJEKTFÖRUTSÄTTNINGAR	17
5.1	LOKALER.....	17
5.2	BRAND.....	17
5.3	TILL- OCH FRÅNLUFT.....	22
5.4	ÖVRIGT.....	23
6	FDS-ANALYS AV SBF-METOD	24
6.1	DATORMODELLEN FDS.....	24
6.2	SIMULERINGSTIDER.....	24
6.3	ÖVRIGA FÖRUTSÄTTNINGAR.....	25
6.4	SCENARION.....	25
6.5	RESULTAT.....	26
7	ERFORDERLIG BRANDGASVENTILATION – STÖRSTA HANTERBARA BRAND (PRODUKTIONSLOKAL)	32
7.1	DATORMODELLEN ARGOS.....	32
7.2	METOD.....	32
7.3	RESULTAT.....	33
7.4	SBF-METODEN.....	34
7.5	SAMMANSTÄLLNING AV RESULTAT – ARGOS/SBF.....	35
7.6	JÄMFÖRELSE FDS.....	36
8	SLUTSATSER	42
9	DISKUSSION	44
10	FÖRSLAG PÅ VIDARE FORSKNING/UTREDNING	47
11	REFERENSER	48
	BILAGA A. BRANDBERÄKNINGAR	52
	BILAGA B. BERÄKNINGAR AV FRÅNLUFTSAREOR MED SBF-METODEN	56
	BILAGA C. YTTERLIGARE UTDATA – FDS-ANALYS	59
	BILAGA D. FDS (FÄLTMODELL) VERSUS ARGOS (2-ZONSMODELL)	62

1 Inledning

Detta forskningsprojekt är initierat av Bengt Dahlgren Brand & Risk AB tillsammans med NCC Teknik och är huvudsakligen genomfört under år 2009 med ekonomiskt stöd av SBUF (Svenska byggbranschens utvecklingsfond).

Tidigare har ett liknande projekt genomförts av Bengt Dahlgren AB i samarbete med NCC och med SBUF som stödfinansiär, där fokus låg på att studera bränder i sprinklade miljöer (Af Geijerstam, 2008). Då jämfördes traditionell termisk brandgasventilation, i form av luckor, med mekanisk ventilation (fläktsystem) där målet var att finna kostnadseffektiva lösningar när det gäller den praktiska utformningen.

1.1 Bakgrund

Brandgasventilation är en metod för att minska konsekvenserna av en eventuell brand i en större lokal. Den hjälper till att vädra ut sot och varma brandgaser, sänker temperaturen i lokalen, minskar risken för övertändning, bidrar till bättre utrymningsförhållanden etc. Under år 2007 utnyttjades termisk brandgasventilation vid nästan hälften av räddningstjänstens insatser till brand i industribyggnad i Sverige. Vid nästan lika stor andel av insatserna genomfördes också invändig släckning (Räddningsverket, 2007).

Boverket föreskriver om brandgasventilation som en åtgärd för att förhindra brandspridning mellan närliggande byggnader (Boverket, 2008). Samtidigt kan utvädring av brandgaser vara till stor nytta vad gäller egendomsskydd mot brandgaskontaminering och för att underlätta för räddningstjänsten att genomföra en invändig insats. Sett till samhällets krav är brandgasventilation endast nödvändigt när byggnader är placerade så nära varandra att spridningsrisk finns.

I slutet på 1970-talet arbetade SBF, Svenska Brandförsvarsföreningen, med en utredning som skulle ligga till grund för en metod till att dimensionera brandgasventilation (Svenska Brandförsvarsföreningen, 1982). Rekommendationerna gavs ut i början på 1980-talet och innehåller en tabellmetod för bestämning av frånluftsarea som utgår från byggnadens riskklass, insattid och lokalutformning.

Idag används "SBF-metoden" allt mindre då den upplevs föråldrad och konservativ. Istället görs analytiska beräkningar där verktygen blir allt kraftfullare. Utvecklingen till användning av mer och mer avancerade beräkningsmodeller har inte nödvändigtvis inneburit framsteg avseende dimensioneringen av brandgasventilation. Drygt 30 år efter att SBF gav ut sin tabellmetod har räddningstjänsten möjlighet att göra invändiga släckinsatser ökat och kunskapen om dess begränsningar likaså. Dock är det fortfarande valet av dimensionerande brand och systemets syfte och begränsningar som avgör hur mycket brandgasventilation som behövs.

Det saknas en gemensam grundläggande syn inom branschen på en hel del avgörande indata vid dimensionering vilket skapar stora osäkerheter och olika skyddsnivåer för likartade objekt. Tillräcklig ledning från kravställare i form av Boverket saknas också.

1.2 Syfte och mål

Detta forskningsprojekt utgår från Boverkets formulering om brandgasventilation i stora lokaler som alternativ till sektionering för att förhindra brandspridning till närliggande byggnader.

Detta projekt avser att genomlysna utvecklingen av hur brandgasventilation dimensioneras i osprinklade byggnader. Målet är att dra nytta av de framsteg som gjorts de senaste 30 åren vad avser beräkningsmetoder och kunskap om bränder och insatser. Genom detta och med internationella jämförelser avses försöka förbättra den dimensionering som görs idag.

De oklarheter som finns på området idag avses belysas. Rapporten avser också förbättra aktuellt område genom förslag till Boverket hur verifierbarheten kan ökas.

Rapporten har också som avsikt att utgöra stöd för tidiga skeden där de beräkningar som utförts i detta arbete kan användas som grova riktvärden för tidiga kalkyler.

1.3 Metod

Arbetsgången för detta projekt har varit att göra en inledande litteratur- och förstudie. I denna studerades artiklar, rapporter och liknande i syfte att få en övergripande bild av kunskapsläget om brandgasventilationens funktion, syfte och dimensioneringsmetoder. Både svenska och internationella regelverk och standarder har undersökts för att hitta eventuella skillnader i tankarna kring brandgasventilation och dimensioneringsprocessen.

I projektet har en referensgrupp bestående av följande personer utsetts och funnits tillgängliga som sakkunniga under projektets gång:

Staffan Bengtson – Brandskyddslaget
Patrick van Hees – Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, LTH
Claes Josefsson – Skanska
Rolf Jonsson – Wästbygg
Thomas Järphag – NCC
Arben Krasniqi – Volvo
Samuel Nyström – Räddningstjänsten Jönköping
Peter Sjöström – Tetra Pak

I samråd med referensgruppen har bland annat diskuterats upplägget kring de datorsimuleringarna som gjorts. Vidare har referensgruppen bistått med en hel del viktiga tankar kring projektet och erfarenheter av brandgasventilation.

Arbetet har till stor del bestått i att analysera befintliga dimensioneringskriterier med ett kraftfullt rökfyllnadsprogram (FDS). Stor vikt har lagts på att skapa en bild av hur bränder i aktuella industrimiljöer kan se ut.

Vilken omfattning av brandgasventilation som krävs utifrån den kraftigaste brand som en räddningstjänst tros kunna hantera studeras också med hjälp av tvåzonssimuleringar (Argos).

1.4 Avgränsningar

Inom ramen för detta projekt har vi gjort ett antal avgränsningar. Framförallt avser avgränsningarna de beräkningar som gjort. Brandgasventilation som personskydd har inte studerats och är normalt inte aktuellt i de lokaler som studeras.

Vindpåverkan: Ingen hänsyn till vindpåverkan tas.

Sprinkler: Detta projekt utgår ifrån att sprinkler inte finns installerat

Tillförlitlighet: Ingen hänsyn tas till brandgasventilationens tillförlitlighet.

Aktivering av luckor: Räddningstjänsten antas manuellt aktivera brandgasventilationen, därmed bortses från automatisk aktivering på given signal från exempelvis brandlarm eller med hjälp av smältlås. Detta bedöms inte ha en avgörande betydelse för de slutsatser som dras i denna rapport.

Med hänsyn till att vi fokuserat på de lokaler där Boverket indirekt ställer krav på brandgasventilation men inte sprinkler har vi fokuserat på två typiska industrilokaler med storlekarna 2 500 m² (hög brandbelastning typ lager) och 5 000 m² (lägre brandbelastning typ produktion).

2 Brandgasventilation

På grund av de varma gasernas termiska stigningskraft som i sin tur beror på densitetsskillnad mellan brandgaser och omgivande luft, stiger brandgaserna mot taket och det är denna termiska stigningskraft som nyttjas vid naturlig termisk brandgasventilation. Just densitetsskillnaden mellan varma brandgaser och kall luft är också det som ger upphov till tryckskillnader vid öppningar, såsom takventilatorer, och det som driver gaserna ut genom en öppning (Svensson, 2006).

Således är effektiviteten hos naturlig brandgasventilation direkt beroende av temperaturen på de varma gaserna. Ju varmare brandgaser desto effektivare blir ventilatorerna. Det finns dock andra faktorer som också påverkar effektiviteten och funktionen hos brandgasventilationen. Dessa är bland annat mängd tilluft, yttre påverkan såsom vind, utformningen av brandgasventilatorn etc.

Något som är viktigt att ta i beaktande är syftet med att installera brandgasventilatorer som enskilt skyddssystem. I samråd med referensgruppen har tre huvudsakliga tänkbara syften arbetats fram och definierats:

- Underlätta för räddningstjänsten att kunna genomföra en invändig släckinsats
- Förhindra övertändning i lokalen (och därmed bl a fördröja kollaps)
- Skydda egendom mot brandgaskontaminering

I och med att brandgasventilatorer vädrar ut varma brandgaser kan de bidra till att sänka temperaturerna i lokalen och därmed minska risken för övertändning. När det handlar om egendomsskydd gäller det främst att få en så snabb och effektiv utvädring av sot och brandgaser som möjligt innan skyddsvärda materiella ting tar skada. Genom att man förbättrar siktförhållanden och sänker temperaturerna i lokalen kan brandgasventilationen också underlätta, och möjliggöra, för räddningstjänsten att genomföra en invändig släckinsats. Beroende på syftet kan utformningen och dimensioneringen av brandgasventilationen variera.

I detta projekt är räddningstjänstens insats i fokus då det förutsätts vara Boverkets syfte med att föreskriva brandgasventilation som alternativ lösning till att sektionera stora byggnader med brandväggar.

2.1 Regelverk och dimensioneringsmetoder

Detta kapitel redogör kort för hur svenska och internationella lagar och standarder behandlar brandgasventilation. Det finns i stora delar en internationell samsyn kring hur brandgasventilation projekteras. Dock är det genomgående i samtliga studerade länders regelverk att branden inte är standardiserad. Ansvar på att ta fram en representativ brand, som också är direkt avgörande för storleken på brandgasventilationen, vilar på den enskilde ingenjören.

2.1.1 SBF – Brandventilation för industri- och lagerbyggnader

I Svensk Byggnorm från 1980 (SBN, 1980) anges att brandgasventilation bör anordnas för att underlätta brandsläckning i industrilokaler. Det nämns att nettoarean för brandgasluckor kan variera från 0.5 % till 5 % eller mer därtill och att någon generell area inte kan anges. Svenska Brandförsvarsföreningen (SBF) genomförde i slutet av 1970-talet ett arbete som skulle ligga till grund för dimensionering och som kom att komplettera Svensk Byggnorm. Resultatet blev en tabellmetod vars senaste version utgavs 1982. Rekommendationerna innehåller förutom dimensioneringsmetoden även anvisningar för installation av luckor samt räddningstjänstens taktik vid släckarbetet.

Dimensionering med denna metod, som gäller för enplansbyggnader, innebär följande:

1. Brandsektionering – bestäm byggnadens riskklass och sektionering (uppdelning)
2. Dimensionera brandventilatorer med hjälp av indata såsom insatstid, sprinkler, korrektionsfaktorer med avseende på byggnadsmaterial etc.
3. Bestäm placering av brandventilatorer

De kritiska grundvalen för dimensioneringen är byggnadens riskklass (direkt kopplat till typ av verksamhet) samt räddningstjänstens insatstid. Utifrån båda dessa parametrar hämtar man ur tabell den dimensionerande brandarean som sedan avgör brandventilatorernas area. Likt datormodellen ARGOS (se kapitel 3.1) är grunden i denna metod att rummet är indelat i en övre zon med varma brandgaser och en undre zon med kall luft – en tvåzonsmodell.

I detta projekt studerades tidigare utgåvor och bakgrundsrapporter till SBF's rekommendationer med förhoppningen att hitta mer precis metodik för framtagandet av brandarean. Dessvärre påträffades ingenting som klargjorde bakgrunden. Omfattande sökning genomfördes via författarna, SBF och i svenska offentliga bibliotek.

2.1.2 Sverige

Vad gäller nyttjandet av brandgasventilation finns inga direkta krav på i vilka sammanhang det fordras brandgasluckor eller fläktar i industrilokaler. Det är rekommendationen för att förhindra brandspridning mellan byggnader (Brandskydd i Boverkets Byggregler, 2005) som ofta utgör motiveringen för att använda sig av brandgasventilation i större industrilokaler, se tabell 2.1 nedan. Följden av användandet blir då att storleken på brandceller kan göras större och sektionering av byggnaden kan undvikas.

Tabellen härstammar från tidigare regelverk och återfinns i ex SBN (Svensk Byggnorm, 1980). SBN nämner att dess värden är angivna under förutsättning att det inte föreligger någon särskild risk för personskada och att byggnaden vidare är konstruerad så att särskilda svårigheter för att släcka brand inte behöver befaras.

Tabell 2.1. Lämplig storlek på brandcell

Åtgärder	Brandbelastning [MJ/m ²]		
	≤ 50	> 50 ≤ 400	> 400
Inga särskilda åtgärder	2 500	1 200	600
Brandgasventilation	5 000	2 500	1 200
Brandgasventilation och aut. brandlarm ¹⁾	10 000	5 000	2 500
Brandgasventilation och sprinkler ²⁾	-	-	-

¹⁾ Hänsyn ska tas till räddningstjänstens förmåga och insatstid

²⁾ Anslutet till räddningstjänsten

2.1.3 Internationellt

Inom ramen för detta projekt har, förutom svenska metoder, ett antal internationella lagar och standarder studerats från bland annat Australien, Danmark, Finland, Norge, Nya Zeeland och Storbritannien. Metoderna skiljer sig inte mycket åt mellan länderna, men vissa delar är intressanta att belysa och de berörs nedan.

Australien

Building Code of Australia är de byggnadsregler som styr kraven på brandskydd i australiska industrier. Dessa krav varierar med verksamhet och storlek på lokal, ofta krävs sprinkler om byggnaden har hög brandbelastning eller innebär brandfarlig verksamhet. Både mekanisk och naturlig brandgasventilation är tillåtet och specificeras i Specification E2.2b respektive E2.2c. Den sistnämnda, som gäller naturlig ventilation, hänvisar till [AS 2665-2001](#) för dimensionering av brandgasventilationen. Denna baseras på byggnadens area samt brandbelastning. Hög brandrisk innebär en area som motsvarar 3 % av golvarean medan låg brandrisk kräver en area som motsvarar 2 % av golvarean. Någon annan koppling till storleken på en eventuell brand finns alltså inte. Vidare beaktas vid dimensioneringen även tilluftsarean som skall vara minst dubbla frånluftsarean i den största av brandgasventilationszonerna. Building Code of Australia ger också alternativ på permanent ventilation motsvarande 1.5 % av golvarean för både tilluft och frånluft ([Lundqvist, 2009](#)).

Danmark

Danska regelverk belyser vikten av att fastslå syftet och målet med brandgasventilationen innan den projekteras. I [Information om brandteknisk dimensionering, 2004](#), förklaras att man vid dimensionering av brandgasventilation använder branden som en avgörande indataparameter. Något förslag på hur den bestäms och definieras, saknas emellertid. Viktigt att belysa är att det även nämns att brandgasventilationen kan i sig påverka effektutvecklingen hos branden. Vidare gör man normala rökfyllnadsberäkningar för att dimensionera brandgasventilationen.

Finland

I Finland nämner man inte brandgasventilation som en åtgärd för att förhindra brandspridning mellan byggnader utan i huvudsak som ett tilltag för att hjälpa räddningstjänsten. Det gäller då främst hisschakt, källare etc. Så kallad automatisk brandgasventilation kan installeras och då kan brandcellsareor tillåtas vara större samtidigt som kravet hos konstruktionens bärförmåga kan lättas (**Bostads- och byggnadsavdelningen, 2002**).

Norge

I norska regelverk och vägledningar talar man mycket om brandgasventilation som en effektiv lösning i utrymningsvägar för att säkerställa goda siktförhållanden. Det gäller i huvudsak klassade och oklassade trapphus samt överbyggda innergårdar (**Veiledning til Teknisk Forskrift til Plan- og bygningsloven, 2007**). Man klarlägger också att brandgasluckor i trapphus främst är ett system till för räddningstjänsten. Likt i Sverige och Finland motiveras brandgasventilation som en åtgärd vilken kan jämföras med att sektionera en stor lokal. Således kan brandcellens area tillåtas vara större, sektionering undgås, om brandgasventilation installeras. En tabell redogör för detta och det finns tydliga likheter med tabellen i SBF-handboken. Brandgasventilationen dimensioneras utifrån standardiserad metod där man bland annat utgår från en dimensionerande brand. Standarden fokuserar dock på dimensionering för brandgasventilation i utrymningsvägar, garage och källare (**SINTEF, 2009**).

Nya Zeeland

I Nya Zeeland används ibland naturlig brandgasventilation i utrymningsvägar. Enligt The New Zealand Building Code (and Acceptable Solution), som är en kod för förenklad dimensionering, omnämns brandgasventilation som system i just utrymningsvägar samt atrier. Det finns även Nya Zeeländska standarder som på ett eller annat sätt berör brandgasventilation men då det gäller dimensionering hänvisas till europeiska, British Standards, BS-EN 12101 samt BS 7346 (**Department of Building and Housing, 2008**).

Sammanfattningsvis

Varken svenska eller utländska regelverk och standarder anger brandgasventilation som en lämplig brandskyddsåtgärd för industrilokaler i klartext. Däremot förekommer det att brandgasventilation kan motivera ökning av storleken på brandceller samt att dimensioneringen av densamma är beroende av vilken brand som kan antas drabba byggnaden. Studien har inte resulterat i några specifika, kloka tankegångar angående den dimensionerande branden utan, som tidigare nämnt, är det upp till den enskilde projektören/brandingenjören att göra en rimlig uppskattning av effektutvecklingen.

3 Räddningstjänstens kapacitet och insatsförmåga

En av de mest väsentliga faktorerna att ta hänsyn till i detta projekt är räddningstjänstens kapacitet, insatstid och förmåga. Med utgångspunkt från att brandgasventilationen skall hjälpa räddningstjänsten att kunna genomföra en invändig släckinsats ställs krav på att på ett troligt och generellt applicerbart sätt beskriva räddningstjänstens egenskaper. Vidare är räddningstjänstens förmåga av betydelse för brandgasventilationens funktion då det oftast ligger på dem att hantera frånluft och tilluft utifrån rådande förhållanden.

Forskning kring räddningstjänstens kapacitet är ett av områdena som utvecklats sedan ”SBF-metoden” utvecklades.

3.1 Kapacitet

Räddningstjänstens kapacitet att hantera en brand i en industri varierar beroende på brandens karaktär, lokalens utformning och yttre omständigheter (såsom väder etc.). I projektet tas hänsyn till brandens karaktär och lokalens utformning. En komplex geometri med långa och besvärliga angreppsvägar kan försvåra möjligheten för räddningstjänsten att nå brandhärden. Genom att lokalerna som undersöks i detta projekt är förhållandevis enkelt utformade och begränsade i storlek (rektangulära byggnader i ett plan, läs mer i kapitel 4), anses det förhållandevis enkelt att göra en insats i dessa byggnader givet att byggnaderna har många möjliga vägar in, brandens intensitet är begränsad och risken för kollaps bedöms liten. Vad gäller brandens karaktär och storlek har Stefan Särdaqvist resonerat kring en maximal effektutveckling (uttryckt i MW) som räddningstjänsten klarar av att släcka med en rökdykargrupp och så kallade fog-fighter strålrör. Denna maximala effekt ligger på 17 MW (Särdaqvist, 1996).

Idén om att räddningstjänsten inte kan hantera bränder över en viss storlek är mycket central för en del av de resonemang vi för kring problemen med att använda brandgasventilation som enda skyddsmetod i vissa byggnader. Vissa aktörer på dagens marknad väljer att dimensionera brandgasventilationen utifrån denna effektutveckling i brist på bättre underlag och med motiveringen att större bränder ändå inte är relevanta i perspektivet räddningstjänstens insats.

Det finns naturligtvis inget exakt och generellt svar på hur stora bränder som kan hanteras av räddningstjänsten eftersom det styrs av flertalet parametrar som kan variera från byggnad till byggnad och kommun till kommun. Vissa skulle kunna argumentera för att bränder upp mot 17 MW är helt orimligt att hantera vid invändig släckinsats p.g.a. de risker det medför för insatspersonalen och de krav som finns från Arbetsmiljöverket. Andra skulle kunna hävda att ännu större bränder skulle kunna hanteras med mycket god brandgasventilation och korta inträngningsvägar. 17 MW har dock bedömts som en konservativ brand i det övre spannet av vad som kan hanteras vid invändig släckning i denna typen av lokaler. Om en brand av denna storlek sedan blir föremål för invändig släckning är upp till aktuellt brandbefäl att avgöra.

3.2 Insatstider

Vid vilken tidpunkt räddningstjänsten antas ankomma till olycksplatsen är relevant att bedöma i detta projekt. Detta då aktiveringen av brandgasventilation samt öppning av tilluft kommer hanteras av just räddningstjänsten samt påverkar brandens storlek vid insatsens start. Det är av förståeliga skäl mycket svårt att bestämma insatstiden exakt då den dels varierar geografiskt över landet men också beror på olyckans art. En stor olycka kan kräva en stor mobilisering av resurser innan en räddningsinsats kan påbörjas.

Den totala insatstiden spänner från dess att räddningstjänsten får inkommande larm till de är redo att påbörja en släckinsats. I detta projekt bedöms det även vara viktigt att ta hänsyn till det som sker även innan räddningstjänsten får larm, det vill säga detektionstid (upptäckt av brand) samt larmbehandlingstid. Vidare tar det en viss tid för räddningstjänsten att förbereda insatsen på plats, och som tidigare nämnt, ibland mobilisera tillräckligt med resurser för att kunna påbörja insatsen. Vid ungefär 60 % av alla utryckningar är insatstiden 10 minuter eller kortare, sett över hela landet. I en storstadsregion, som till exempel Malmö, är insatstiden 10 minuter eller mindre för nästan 90 % av alla utryckningar ([Räddningsverket¹, 2009](#)).

Vid industribränder där det tar tid att lokalisera aktuell byggnad samt bestämma insatsväg och taktik kan dock den faktiska tiden tills brandbekämpningen påbörjas bli avsevärt längre. För vissa enklare objekt centralt placerade kan insatstiden bli kortare än 10 minuter.

Det var vanligare förekommande förr, men även idag finns på vissa industrier egna räddningsstyrkor som förhållandevis snabbt kan påbörja en aktiv släckinsats mot en brand. Enligt ett allmänt råd, ([SRVFS 2004:8](#)) utgivet av Räddningsverket, ges förslag på industribrandkår som en beredskapsåtgärd för farliga verksamheter, det vill säga verksamheter som lyder under 2 kap. 4 § lagen om skydd mot olyckor ([SFS 2003:778](#)). Därmed kan antas att de flesta industribrandkårer som existerar idag finns på sådana anläggningar och i Sverige finns idag totalt 680 stycken anläggningar som lyder under ovan nämnd paragraf ([Räddningsverket², 2009](#)). För sådana industrier kan insatstiden antas kort, ända ned mot fem minuter eller ännu mindre. Antal industribrandkårer i Sverige är i nuläget ungefär 115 stycken ([Eurosafety, 2009](#)).

Valda insatstider – senare simuleringar

Då anläggningar med industribrandkårer inte anses representativa för industrier i landet är insatstider ner mot fem minuter troligtvis sällsynt. Det är mer rimligt att insatstiden är drygt 10 minuter, med förberedelsetid på olycksplatsen kanske upp emot 15-20 minuter i praktiken. Ska man även ta hänsyn till detektionstid och larmbehandlingstid tillkommer ytterligare ett par minuter vilka i detta projekt hanteras genom att kvittas mot brandens förbrinntid² som i detta projekt inte beaktas i övrigt vid simuleringar.

Två typindustrier kommer att behandlas i projektet och dessa är produktionslokal och lagerlokal. Brandbelastningen i en lagerlokal kan vara mycket hög och om ingen begränsande åtgärd sätts in mot branden (läs: manuella tidiga släckförsök eller automatiska släcksystem, sprinkler eller liknande) kan effektutvecklingen bli mycket hög och dess tillväxt vara mycket

² Förbrinntid är den tid det kan ta från att en brand börjar utveckla en mindre mängd rök och värme till dess att branden påbörjar den mer kraftiga exponentiella tillväxt som ofta är aktuell. Detta fenomen kan göra att en detektion av branden kan ske innan den påbörjar sin kraftiga tillväxt.

snabb. Skulle insatstiden där vara 15 minuter har branden troligen redan blivit så stor att det är osäkert om brandgasventilationen har någon nytta överhuvudtaget (se beräkningar och slutsatser längre fram).

Vid de beräkningar som gjorts har insatstiden satts till 15 minuter för produktionslokalen. Det anses representera den troliga insatstiden för stor del av Sveriges industrier idag. För lagerlokalen används dock endast 5 minuters insatstid utifrån att en brand efter 15 min inte längre är möjlig att släcka för att visa på effekten av brandgasventilationen vid exempelvis en insats från en industribrandkår. Antalet industribrandkårer med så kort insatstid som krävs och med kunskap och utrustning att hantera en mycket snabbt tillväxande brand är dock troligt lätträknade.

4 Acceptanskriterier för brandgasventilation

Det är svårt att exakt definiera vad som krävs av luckorna för att dessa skall lyckas eller misslyckas i sin funktion. Givetvis är det direkt kopplat till syftet med luckorna. För att kunna göra en bedömning av resultatet har ett par kriterier ställts upp. Arbetet bakom dessa är dels en studie ([Gradén & Liljedahl, 2007](#)) och kriterierna har även arbetats fram inom referensgruppen för detta projekt. Om kriterierna uppfylls bedöms risken för övertändning i lokalen vara mycket liten och säkerheten för räddningstjänstpersonal vid invändig släckinsats vara acceptabel. Därmed har luckornas funktion att upprätthålla ett visst egendomsskydd bortsetts från i detta projekt. Kriterierna är som följer:

1. **Brandgaslagrets nivå skall överstiga 3 meter ovan golv**
2. **Temperaturen i brandgaslagret skall understiga 250°C**
3. **Strålningen från brandgaslagret mot golv skall understiga 3 kW/m²**

Ovanstående är vad som kontrolleras från resultatet av de genomförda simuleringarna. Det skall dock påpekas att dessa endast är projektbaserade kriterier som inte nödvändigtvis är tillämpliga för alla typer av scenarion och lokaler. Det finns även andra faktorer som spelar in, framförallt när det gäller att värdera om räddningstjänsten i praktiken kan genomföra ett invändigt släckinsatsförsök eller inte. Dessa är bland annat sikten, färg på brandgaserna, avstånd från inträngningsväg till brand etc. men ingen hänsyn har tagits till dem i detta projekt då de är svåra att värdera med ett generellt angreppssätt.

I avsnitt 7 görs en utredning kring hur SBF-metodens luckareor matchar erforderliga luckareor vid värsta troliga brand räddningstjänsten kan släcka. En studie görs även av hur känsliga ovanstående acceptanskriterier är för resultatet vid dimensionering med rökfyllnadsberäkningar. Där kan ses att kriterie 3 ovan är dimensionerande och är mycket avgörande för resultatet.

5 Projektförutsättningar

Under detta kapitel redovisas de grundförutsättningar som detta projekt täcker in. Projektet avgränsas till en viss typ och storlek av industrilokaler. Typisk utformning av industrilokaler i aktuell kategori definieras och används senare i de beräkningar som görs. Bränder som kan inträffa eller är relevant för vidare studier har analyserats och redogörs för. Ytterligare ett antal parametrar diskuteras och definieras för det vidare arbetet.

5.1 Lokaler

För stora lokaler med relativt hög brandbelastning anger Boverket i tabell 2.1 att det skall installeras automatisk sprinkleranläggning³. En lagerlokal har normalt hög brandbelastning och en produktionslokal lägre. Generellt kan sägas, enligt tabell 2.1, att produktionslokaler inte bör vara större än 5 000 m² utan att sprinklerförses, och för lagerlokaler gäller 2 500 m². Med utgångspunkt från tabellen och det faktum att detta projekt inte innefattar sprinklade lokaler görs en avgränsning till att studera följande tre lokaltyper:

Produktionslokal:	2 500 m ² golvyta och 7 meter invändig takhöjd
Produktionslokal:	5 000 m ² golvyta och 7 meter invändig takhöjd
Lagerlokal:	2 500 m ² golvyta och 13 meter invändig takhöjd

Lokalerna antas vara rektangulärt utformade med ett ungefärligt förhållande mellan kortsida och långsida om 2:3.

Väggar och tak antas bestå av plåt/obrännbar isolering/plåt i dimensionerna 1/190/1 mm likt i det föregående projektet (Af Geijerstam, 2008).

Byggnaderna förutsätts ligga så nära andra byggnader att skydd mot brandspridning mellan byggnader måste anordnas och luckor därmed kan vara aktuellt.

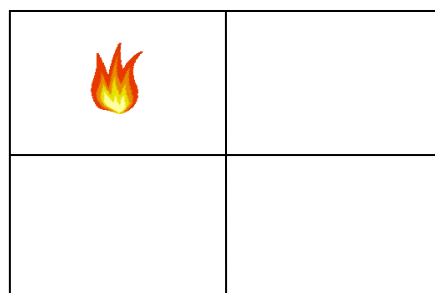
5.2 Brand

En kritisk och avgörande parameter för detta projekt, och för brandgasventilation i stort, är branden. Beroende på brandens storlek, tillväxthastighet och varaktighet skiftar behovet av brandgasventilation. Det är därför viktigt att definiera en representativ, dimensionerande brand utifrån faktiska förutsättningar. I detta kapitel samt i Bilaga A redovisas förutsättningar och beräkningar som ligger till grund för de typbränder som framtagits för respektive lokal.

Omfattningen av en industribrand är beroende av vilken typ av verksamhet som bedrivs i lokalen, dess potentiella brandbelastning och vilken typ av material som där finns och förvaras. En typisk produktionslokal skiljer sig från en typisk lagerlokal.

Branden antas vara placerad i mitten av en av lokalens kvadranter, både för produktionslokalen och för lagerlokalen, enligt figur 5.1 nedan.

³ Den tabellen som vi hänvisar till återfinns inte i dagens BBR men tillämpas fortfarande som ett aktuellt krav i branschen och förvaltas i aktuella handböcker.



Figur 5.1. Principskiss över brandens placering

En brand kan många gånger beskrivas med en tillväxtfas, en maximal stationär del av förloppet samt en avsvalningsfas. Beroende på om en industribrand är mycket lokalt begränsad med liten mängd energisnålt bränsle eller en brand nära övertändningsstadiet varierar den maximala effektutvecklingen stort från någon MW till flera hundra MW (Särdqvist, 1996). Som tidigare nämnt kan räddningstjänstens kapacitet att släcka en brand med en styrka uttryckas som en brand med effektutvecklingen 17 MW.

En brand kan föregås av en så kallad förbrinntid där pyrolys sker utan synliga flammor. Under förbrinntiden avges pyrolys-/brandgaser vilket innebär att ett detektionssystem kan upptäcka branden innan den hunnit bryta ut. Förbrinntiden är beroende av vilket material som brinner samt syretillgången i brandrummet. Den kan vara svårbestämd och har i detta projekt bestämts till lika stor som detektionstid och larmbehandlingstid tillsammans och därmed kvittas dessa tider mot varandra. Räddningstjänstens totala insatstid blir något kortare, likväl som brandens utveckling sker något snabbare.

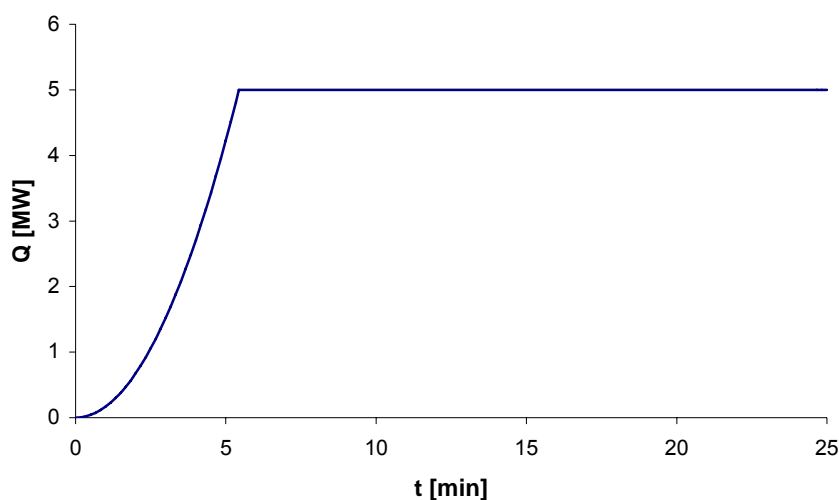
I kapitel 4.2.1 – 4.2.3 nedan redovisas dels de troliga bränderna för respektive typlokal och dels den brand som räddningstjänsten maximalt kan hantera med en rökdykargrupp.

5.2.1 Trolig brand i produktionslokal

Den representativa branden för en produktionslokal bedöms bli lokalt begränsad med tanke på de avstånd från potentiella bränslekällor som normalt förekommer. Branden tillväxer enligt at^2 -teorin med tillväxthastigheten *fast* till 5 MW varefter stationära förhållanden inträder. Effektutvecklingskurvan illustreras i figur 5.2. Vidare hänvisas till Bilaga A1 för beräkningar och beskrivningar av branden. Branden antas kunna utveckla maximal effektutveckling under de 25 minuter som erfordras för simuleringarna (läs mer i kapitel 5.2). Detta bedöms rimligt med avseende på den mängd bränsle som potentiellt kan finnas samt att inga åtgärder för att släcka eller begränsa branden görs, enligt avgränsningarna för detta projekt.

Större bränder än 5 MW kan naturligtvis också uppstå i produktionslokaler men vår bedömning är att vald brand täcker in många av de förväntade bränderna vi identifierat i denna typ av lokaler.

Effektutveckling produktionslokal



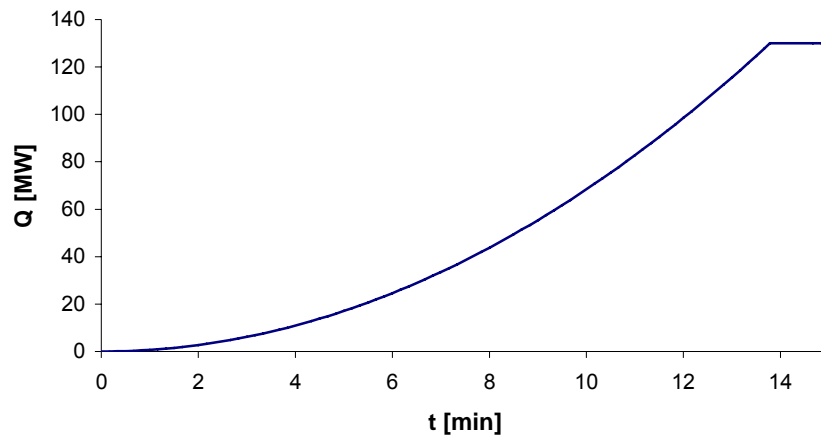
Figur 5.2. Effektutvecklingskurva för produktionslokal

5.2.2 Trolig brand i lagerlokal

I en typisk lagermiljö förekommer ofta stora mängder brännbart material lagrat i ställage. Genomförda försök (Ingason, 2001; Ingason & Lönnemark, 2005) visar att tillväxthastigheten för en brand i pallställage är mycket hög. Representativ brand för detta projekt ansattes med tillväxthastigheten *ultra-fast* enligt at^2 -teorin. Med tanke på stor spridningsrisk inom ställaget och till viss del även till andra ställage har maximal effektutveckling bedömts styras av syretillgången och därför kunna uppgå till 130 MW. Denna typ av extremt stora bränder finns begränsad dokumentation och forskning kring då de är svåra att utföra mätningar på. Försök utförda i Runehamartunneln i Norge år 2003 (Ingason & Lönnemark, 2004) med brand i en trailerlast gav maximal effektutveckling på mellan 70 och 200 MW och är ett exempel på definierade bränder i denna storleksordning. Brandbelastningen i en lastbilstrailer bedöms kunna vara likvärdig med brandbelastningen i ett större pallställage även om återstrålningsfenomenen skiljer sig åt. I figur 5.3 kan effektutvecklingskurvan ses. För närmare beskrivningar och beräkningar, se Bilaga A2 och A3.

Det är av framförallt två anledningar olämpligt att simulera lagerbranden längre än 15 minuter. Till att börja med är effektutvecklingen då redan så stor att räddningstjänstens möjlighet att nyttja brandgasventilationen efter detta bedöms som liten. Vidare är brandförloppet efter denna tidpunkt svårt att bedöma då bland annat syremängden kan vara begränsande och ventilationskontroll kan uppstå.

Effektutveckling lagerlokal



Figur 5.3. Effektutvecklingskurva för brand i lagerlokal

Problemet med en brand i lagerlokalen är att branden på förhand kan bedömas som för stor och för svår för räddningstjänsten att hantera. Dock är det emellertid så, att med en kort insatstid (läs: 5 minuter) har branden inte hunnit växa sig så stor att övertändning är närstående. Därför är det intressant att studera hur miljön i lokalen påverkas av brandgasventilationen kort efter aktivering. Den kan då eventuellt möjliggöra en invändig släckinsats.

5.2.3 Största brand som kan hanteras utifrån räddningstjänstens förmåga

Som tidigare nämnts (avsnitt 3.1) anses den maximala effektutveckling som räddningstjänsten normalt kan hantera med en rökdykargrupp uppgå till 17 MW. I figur 5.5 presenteras effektutvecklingskurvan för denna brand där tillväxthastigheten sätts till *fast* enligt at^2 -teorin. Redan vid denna tillväxthastighet krävs att räddningstjänsten får vatten på elden efter 10 minuter eller att branden inte utvecklas förbi toppeffekten 17 MW.

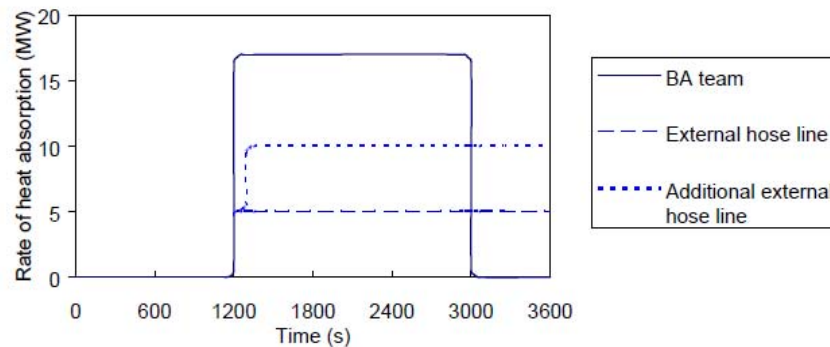
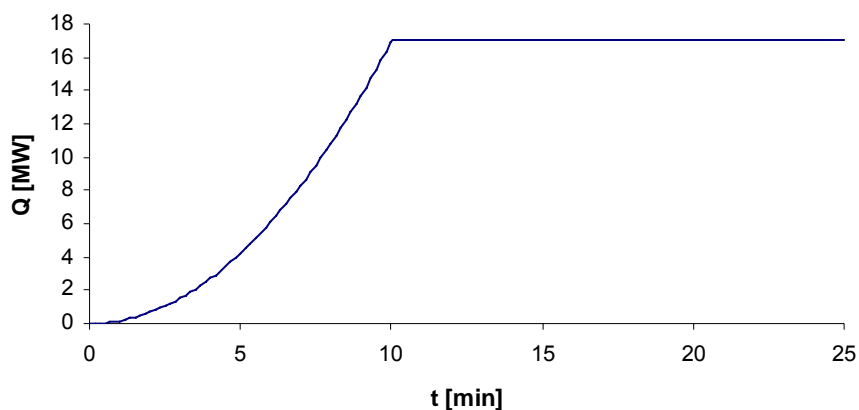


Figure 25. The rate of heat absorption of the fire brigade can be described in the same units as the rate of heat release.

Figur 5.4. Idé kring släckkapacitet (från *Särdqvist, 1996*). "BA Team" = Rökdykarpar.

I avsaknad av andra dimensioneringskriterier bedöms detta idag vara ett vanligt förekommande tillvägagångssätt för att bestämma storleken på en brand vid analytisk dimensionering av brandgasventilation inom industrin.

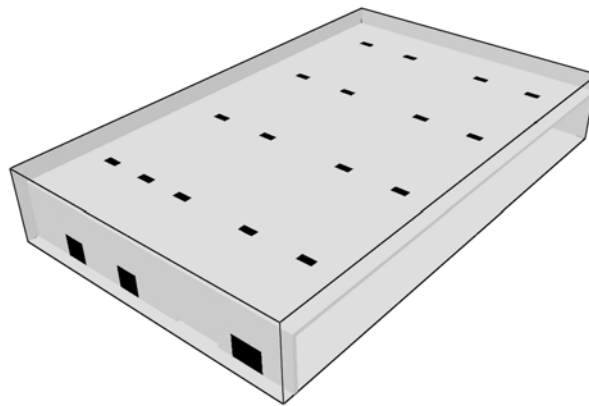
Effektutveckling baserat på räddningstjänstens förmåga



Figur 5.5. Effektutvecklingskurva för brand 17 MW

5.3 Till- och frånluft

Här presenteras förutsättningarna för utformning och dimensionering av brandgasventilation och tilluftsöppningar för detta projekt. Brandgasluckor är ofta rektangulära med en faktisk area på $1 \times 2 \text{ m}^2$ och med en aerodynamisk koefficient på 0.7. Bättre effektivitet erhålls med flera mindre öppningar istället för ett få antal större (Svensson, 2006). Fördelningen av luckorna i en industrilokal bör därför vara så jämn som möjligt se figur 5.6 för exempel. För simuleringarna i detta projekt, läs kapitel 5, görs dock en viss anpassning med hänsyn till andra parametrar såsom brandens och tilluftens placering med mera.



Figur 5.6. Exempel på brandgasluckors fördelning i produktionslokal 2 500 m²

För att kunna göra en bedömning av brandgasventilationens funktion jämförs typlokalerna med brandgasventilation för samma lokaler men utan brandgasventilation. Endast ett visst läckage, som motsvarar en byggnads normala otätheter, antas finnas.

Faktisk area för brandgasventilationen i detta projekt beräknas med den metod som finns beskriven i SBF's rekommendationer (Svenska Brandförsvarsförbundet, 1982). Se tabell 5.1 för beräknade areor och Bilaga B för närmare beräkningsbeskrivning. Notera att denna metod utifrån en s.k. riskklass och insatstid utgår från en maximal brandstorlek. Tyvärr saknas bakgrundmaterialet kring hur brandeffekten togs fram och metoden är idag en "black box".

En effektiv frånluft kräver emellertid en effektiv tilluft (Lindahl, 2001). Att föredra är ett förhållande mellan till- och frånluft om minst 1:1, men i praktiken är det inte alltid möjligt för räddningstjänsten att skapa tillräckligt med tilluftsöppningar. Därför behandlas två separata fall, ett där till- och frånluftförhållandet är 1:1 samt ett där endast en port om 12 m^2 är möjlig att öppna. Tilluften antas vara placerad i golvnivå och ha en höjd på tre meter.

Aktivering av luckor i taket kan ske automatiskt, med hjälp av smältlås eller att aktiveringen är sammankopplad med automatiskt brandlarm. Dock antas både brandgasluckor och tilluftsöppningar i detta projekt öppnas manuellt av räddningstjänsten. Aktiveringen för samtliga till- och frånluftöppningar sker efter 15 minuter (5 minuter för lagerbranden).

I tabell 5.1 presenteras till- och frånluftsareor framtagna med hjälp av SBF's tabellmetod (Svenska Brandförsvarsföreningen, 1982).

Tabell 5.1. Totala verklig area för frånluften enligt SBF

Verksamhet	Golvarea	Insattid	Frånluft	% av golvarea
Produktion	2 500 m ²	15 min	34 m ²	1.4
Produktion	5 000 m ²	15 min	52 m ²	1.0
Lager	2 500 m ²	5 min	71 m ²	2.8

5.4 Övrigt

Brandgasskärmar: I föregående projekt (Af Geijerstam, 2008) genomfördes en studie på funktionen hos brandgasskärmar. Resultatet därifrån tyder på att skärmarna bör vara relativt djupa, upp emot tre meter, för att fördröja brandgasspridning mellan avskärmade sektioner i lokalen. Då effekten visade sig vara förhållandevis liten samt det faktum att få industrilokaler idag har brandgasskärmar bortses dessa ifrån i detta projekt.

Tak: Taken antas vara platta vilket är en god generalisering för industrilokaler i Sverige.

Bränsle: Bränslet består av 50 % trä och 50 % plast.

Normalventilation: Precis som i det föregående projektet antas normalventilationen ha en liten inverkan på resultatet och avgränsas därmed från i simuleringarna.

6 FDS-analys av SBF-metod

I detta avsnitt redogörs för en analys med hjälp av FDS hur ett antal definierade typiska bränder för industrin (se avsnitt 5.2) hanteras av en byggnad dimensionerad enligt SBFs tabellmetod.

6.1 Datormodellen FDS

Utvecklat av NIST (National Institute of Standards and Technology) är FDS en av de CFD-modeller som används mest frekvent för att beräkna flöden av exempelvis brandgaser.

Till skillnad från den ovan nämnda tvåzonsmodellen delar FDS upp lokalen i ett stort antal små, kubiska kontrollvolymmer (grider, celler) över vilka programmet gör beräkningar. En sådan modell kräver mycket mer datorkapacitet än en tvåzonsmodell vilket är en av de begränsningarna som programvaran har (NIST, 2007).

FDS är en datormodell som är lämplig att använda för att studera brandgasspridning, flöden och temperaturer i samband med brand. Att beräkna flamspridning och värmetransport på detaljnivå är begränsat för programvaran vilket innebär att det ligger på användaren att definiera en representativ brand för det specifika fallet.

Simuleringar med FDS tar mycket datorkraft i anspråk och simuleringstiderna är betydligt längre än vad de är med ARGOS.

För detta projekt användes FDS 5.0.3 Parallel.

6.2 Simuleringstider

Som tidigare nämnts i kapitel 3.2 antas insatstiden (tillika aktiveringstiden för brandgasventilationen) för räddningstjänsten, inom ramarna för detta projekt, till 15 minuter för produktionslokalen och 5 minuter för lagerlokalen. För att sedan kunna granska effekten av brandgasventilationen pågår simuleringarna i ytterligare 10 minuter, det vill säga 25 respektive 15 minuter totalt.

Längre tider är möjligt i praktiken, både vad gäller insatstider och simuleringstider, det ligger dock utanför projektets avgränsning. En återkoppling till detta görs i diskussionskapitlet, kapitel 9.

6.3 Övriga förutsättningar

Gridstorlek: Ju finare gridstorlek som används vid beräkningarna i FDS desto noggrannare återges brandgasflöden och blir resultatet. I detta projekt har storleken valts till 25 cm.

Meshutformning: I samtliga simuleringar med FDS har geometrin delats in i åtta, så gott som likformiga, ”mesher”.

6.4 Scenarion

Simulering 1-4 representerar brand i produktionslokal medan simulering 5-6 representerar brand i lagerlokal. Var och en av typlokalerna har även simulerats utan brandgasventilation för att utgöra referensfall vilket underlättar jämförelser. Dessa simuleringar är 7-9.

Tabell 6.1. Scenarion som simuleras för studie av brandgasventilationens effekt.

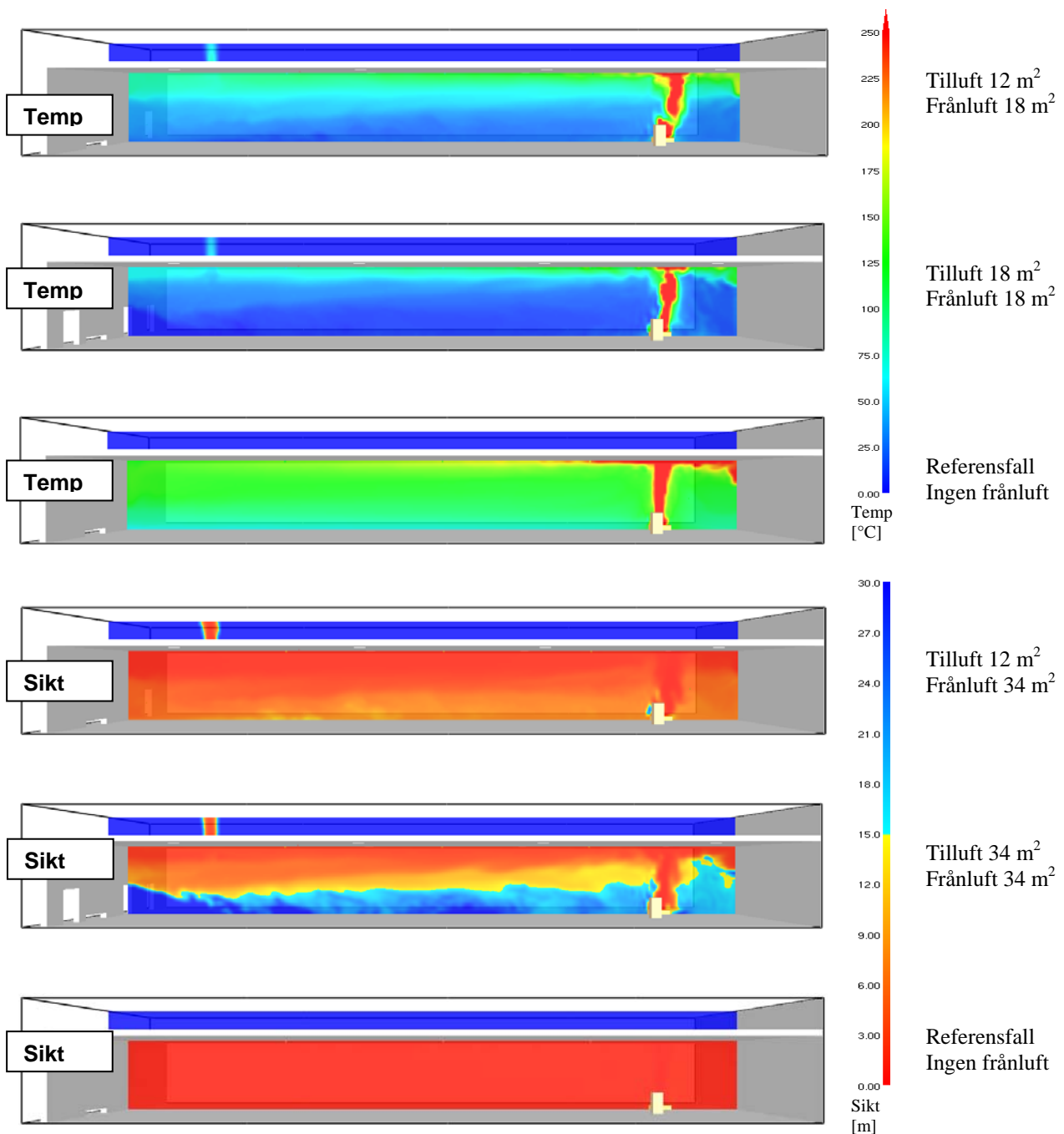
Sim	Verks.	Golvnya	Takhöjd	Brand	Tilluft	Frånluft	Insatstid
1	Prod.	2 500 m ²	7 m	5 MW fast	12 m ²	34 m ²	15 min
2	Prod.	2 500 m ²	7 m	5 MW fast	34 m ²	34 m ²	15 min
3	Prod.	5 000 m ²	7 m	5 MW fast	12 m ²	52 m ²	15 min
4	Prod.	5 000 m ²	7 m	5 MW fast	52 m ²	52 m ²	15 min
5	Lager	2 500 m ²	13 m	130 MW ultrafast	12 m ²	70 m ²	5 min
6	Lager	2 500 m ²	13 m	130 MW ultrafast	70 m ²	70 m ²	5 min
7	Prod.	2 500 m ²	7 m	5 MW fast	Läck.	-	-
8	Prod.	5 000 m ²	7 m	5 MW fast	Läck.	-	-
9	Lager	2 500 m ²	13 m	130 MW ultrafast	Läck.	-	-

6.5 Resultat

I detta kapitel redovisas de resultat som erhållits vid FDS-simuleringarna.

6.5.1 Brandgasventilation produktionslokal 2 500 m²

Figur 6.1 nedan redovisar temperatur och sikt i den mindre produktionslokalen i form av tvärsnitt.



Figur 6.1. Temperaturprofiler samt sikt i mindre produktionslokal, bild tagen efter 20 minuter (brandvent öppnas vid 15 min)

Med lång insatstid är mängden brandgaser som hunnit produceras stor och det tar en viss tid för luckorna att evakuera brandgaserna. Oavsett hur mycket till- och frånluft som finns tillgängligt kommer insatsmiljön vara mycket rik på brandgaser tidigt efter aktivering av luckor. Däremot erhålls en uppenbar sänkning av temperaturerna i lokalens undre del, närmast golvet. Utdata visar också att brandgaslagrets höjd ovan golv överstiger tre meter under hela simuleringstiden om brandgasventilation finns, oavsett tillgången på tilluft. Brandeffekten i bilderna ovan är 5 MW och har varit det sen ca 5 min (se även avsnitt 5.2.1)

I tabell 6.2 nedan återges strålningsnivåerna mot en person som befinner sig ungefär 10 meter från branden. Inte i någon av simuleringarna närmar sig nivån de kritiska 3 kW/m^2 som definierats som acceptanskriterium. Strålningen har mätts som den infallande rakt ovanifrån, ej direkt framifrån mot branden. Detta bl a för att kunna jämföra med resultaten från tvåzonsmodeller.

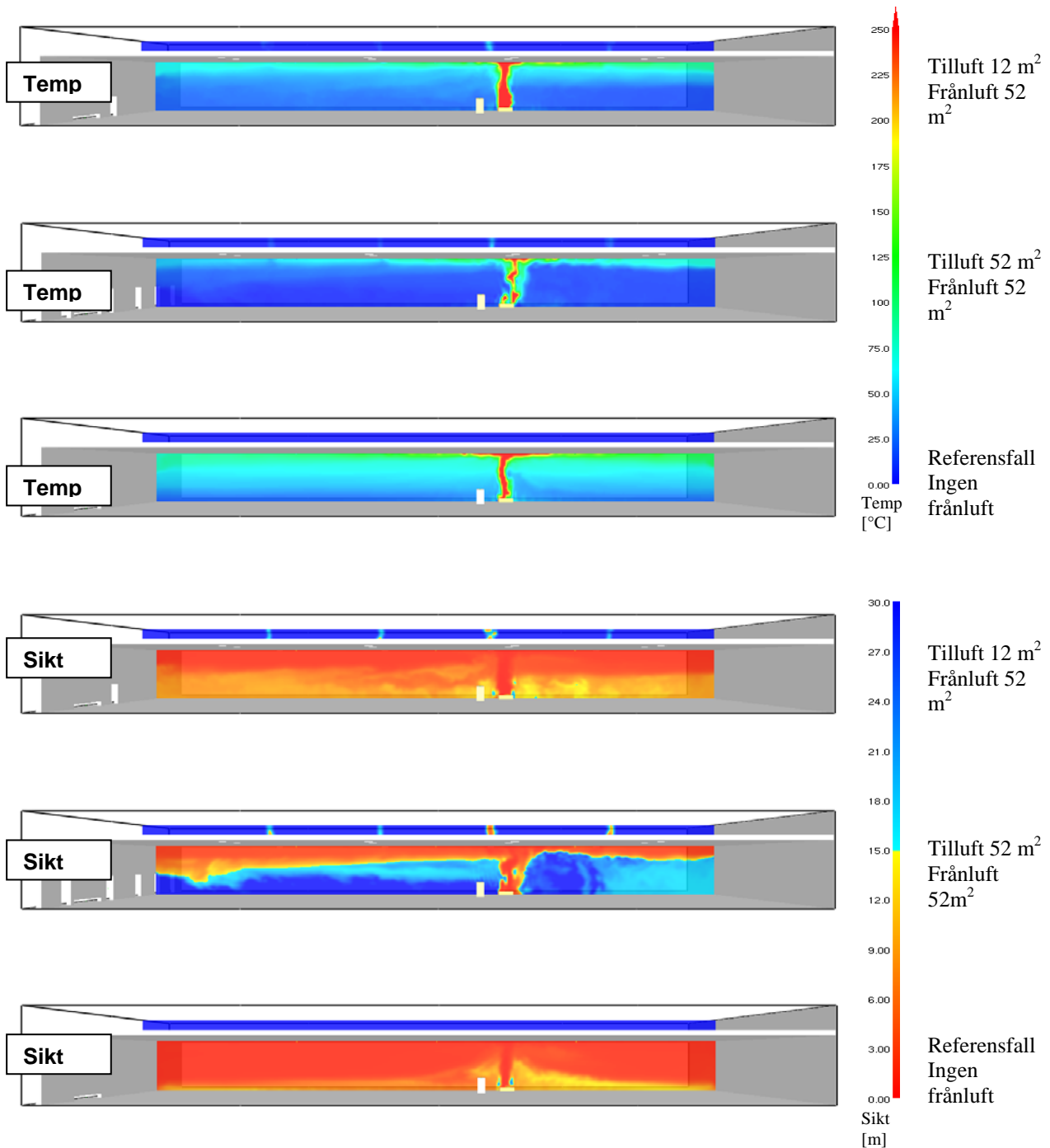
Tabell 6.2 Strålning mot person

Simulering	20 min	25 min
Sim 1	1.1 kW/m ²	1.3 kW/m ²
Sim 2	1 kW/m ²	1.1 kW/m ²
Sim 7	1.6 kW/m ²	2 kW/m ²

Det är rimligt att anta att med denna brands lokala begränsning och låga spridningsrisk så föreligger knappast någon fara för övertändning i lokalen. Detta oberoende av om luckor finns eller inte. Bedömningen är ändå att brandgasventilationen uppenbart förbättrar insatsmiljön för räddningstjänsten och kan påskynda en invändig släckinsats.

6.5.2 Brandgasventilation produktionslokal 5 000 m²

I figur 6.2 nedan visualiseras temperatur- och siktförhållanden i den större produktionslokalen.



Figur 6.2. Temperaturprofiler samt sikt i större produktionslokal, bild tagen efter 20 minuter (brandvent öppnas vid 15 min)

Likt för den mindre produktionslokalen kan en märkbar effekt på evakueringen av brandgaser noteras beroende på mängden tilluft. Skillnaden gentemot den mindre lokalen är i första hand att mängden brandgaser är mindre i förhållande till rummets volym vilket gör att rummet i

referensfallet inte är totalfyllt med brandgaser. Vidare visar tabell 6.3 att strålningsnivåerna mot en person blir ännu lägre än för den mindre produktionslokalen, direkt beroende på brandens storlek i förhållande till lokalen vilken ger lägre temperaturer i den större lokalen. Brandeffekten i bilderna ovan är 5 MW och har varit det sen ca 5 min (se även avsnitt 5.2.1)

Tabell 6.3 Strålning mot person

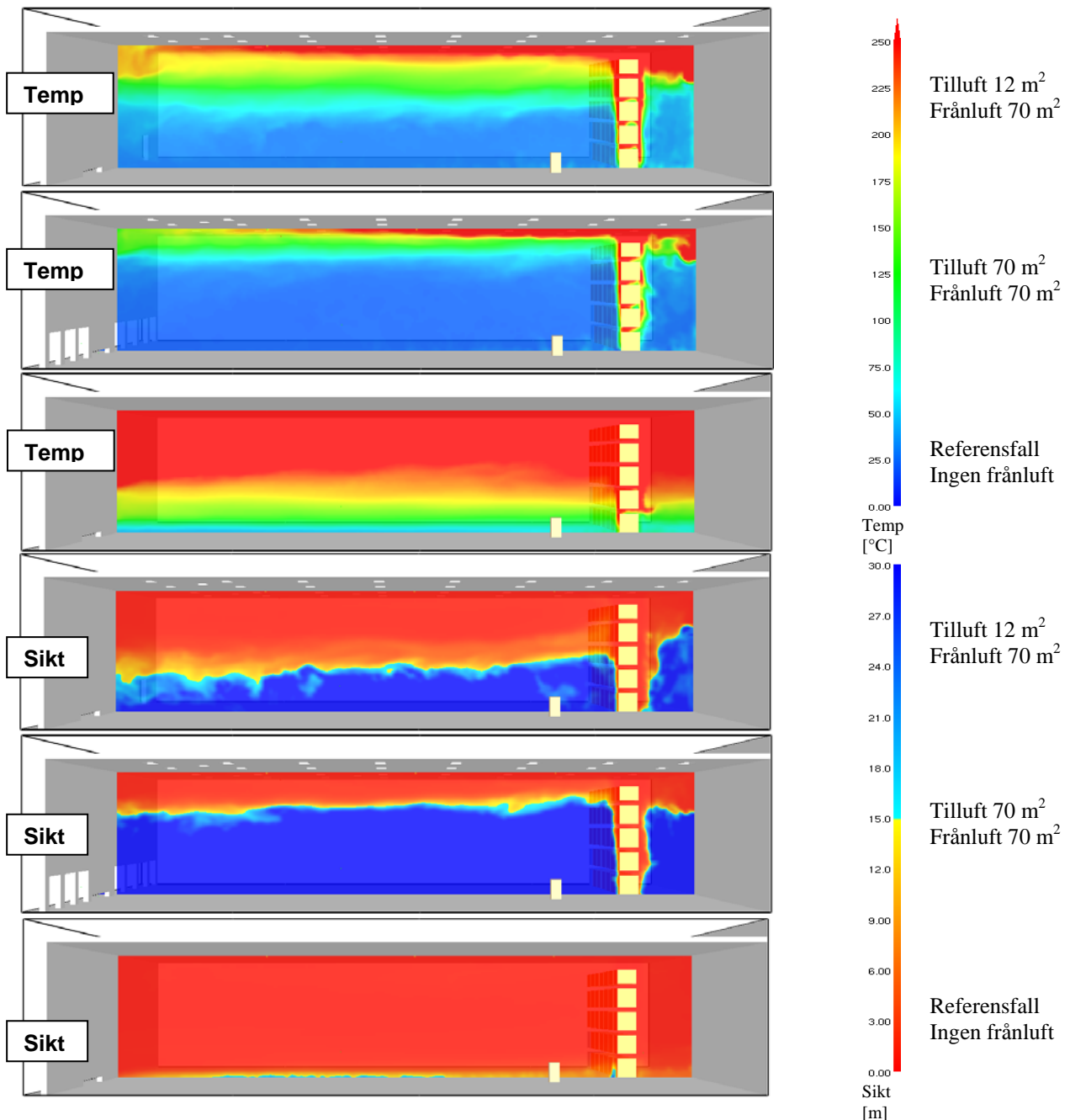
Simulering	20 min	25 min
Sim 3	0.7 kW/m ²	0.7 kW/m ²
Sim 4	0.8 kW/m ²	0.8 kW/m ²
Sim 8	0.8 kW/m ²	0.9 kW/m ²

Sammanfattningsvis för produktionslokalen kan nämnas:

- Storleken på lokalen har betydelse för brandgasventilationen. I detta projekt valdes samma brand för olika lokalytor. Temperaturerna blir lägre i den större lokalen men effekten för evakuering av brandgaser ungefär densamma, detta då antalet luckor för den större lokalen är nästan dubbelt så många som i den mindre. Temperaturer och strålningsnivåer blir dock lägre i den större produktionslokalen.
- I produktionslokalerna uppstod inga kritiska förhållanden avseende temperatur eller strålning under någon av simuleringarna. Sikten i lokalen är dock undermålig om aktiveringstiden är lång och tilluftstillgången är liten. Även för de fall där ingen brandgasventilation och tilluft finns (endast läckage) anses insatsmiljön vara tillräckligt god om insattiden inte är för lång.

6.5.3 Brandgasventilation lagerlokal 2 500 m²

För lagerlokalen är situationen annorlunda. Branden är våldsam och genom att granska utdata från simuleringarna kan ses att syrenivån i lokalen är kritisk och troligen inträder ventilationskontrollerade förhållanden om ingen brandgasventilation finns tillgänglig. Detta bekräftas också av utdata från referenssimuleringen. Risken för total övertändning är överhängande inom ca 10-15 minuter och därmed även faran för brandspridning till närliggande byggnad. Figur 6.3 illustrerar skillnaderna för miljön i lokalen beroende på om brandgasventilation finns eller inte.



Figur 6.3. Temperaturprofiler samt sotmängd i lagerlokal, bild tagen efter 10 min (brandvent öppnas vid 5 min)

Situationen blir bättre med brandgasventilation, temperaturerna sjunker och brandgaslagrets nivå ovan golv stiger. Dock är det inte troligt att tro att branden kommer att avta i intensitet och redan efter 5 min passeras gränsen för vad som är möjligt för räddningstjänsten att släcka (17 MW).

Den stora mängd varma brandgaser som finns i rummet evakueras förhållandevis effektivt i lagerlokalen. Primärt beror detta på att just brandgaserna är så varma att temperaturskillnaden mellan brandgaser och uteluft ger upphov till hög hastighet, och stort flöde, ut genom öppningarna. Trots att brandgaserna evakueras relativt effektivt är temperaturen i lokalen fortfarande hög och strålningsnivåerna mot en person likaså. Inte så förvånande med tanke på den kraftiga branden så är insatsmiljön inte betryggande.

Brandeffekten i bilderna ovan efter 10 minuter är ca 70 MW (se även avsnitt 5.2.2).

Tabell 6.4 Ungefärlig strålning mot person

Simulering	10 min	15 min
Sim 5	3 kW/m ²	4.5 kW/m ²
Sim 6	3.5 kW/m ²	9 kW/m ²
Sim 9	3 kW/m ²	20 kW/m ²

Strålningen i simulering 6 är högre än i simulering 5 på grund av att flammans strålning inte blockeras av brandgaslagret på samma sätt som i simulering 5. I simulering 9 är hela brandgaslagret så varmt att det ger en mycket hög strålning.

Det är alltså aktuellt att ställa sig frågan om räddningstjänsten har kapacitet att genomföra en släckinsats mot denna brand med enbart brandgasventilation som skyddssystem och om det ens är troligt att riskera personalens liv och hälsa om inte livräddande insatser krävs. Brandgasventilationen kan vid stora mängder fördröja en övertändning men både strålning och risk för strukturell kollaps p.g.a. lokal brandpåverkan gör att en insats inte är aktuell.

Det är svårt att dra någon annan slutsats än att brandgasventilation som enskilt skyddssystem för en lagerlokal med en brand av denna dignitet inte räddar byggnaden trots att den förbättrar insatsmiljön avsevärt. Insatsmiljön är för svår oavsett brandgasventilation med denna typ av brandeffektutveckling.

7 Erforderlig brandgasventilation – största hanterbara brand (produktionslokal)

I detta avsnitt har aktuella lokaler analyserats utifrån den maximala effektutveckling som räddningstjänsten kan hantera och släcka vid en invändig insats. Erforderlig brandgasventilation bestäms utifrån uppsatta acceptanskriterier (se avsnitt 4). Acceptanskriteriernas känslighet på slutresultat har samtidigt studerats. Analysen har skett med tvåzonsmodellen Argos. En FDS-jämförelse av ett scenario görs dock också sist i detta avsnitt.

Resultaten skall läsas med reservationen att tvåzonsmodellen inte i alla avseenden är ett tillräckligt verktyg för denna typ av lokalerna, se vidare under bilaga D, avsnitt 7.6 samt diskussion/slutsatser.

Endast produktionslokalen undersöks i denna del, d.v.s. endast en takhöjd på 7 m används för de två lokalstorlekarna.

7.1 Datormodellen Argos

Vid en brand produceras varma brandgaser som med sin termiska stigkraft stiger mot taket och kan forma ett lager av brandgaser. ARGOS är en så kallad tvåzonsmodell som genom att dela in lokalen i två zoner/kontrollvolym, en övre zon där varma brandgaser ansamlas och en undre zon där kall luft finns, genomför beräkningar för rökfyllnad, temperatur, strålning, sikt etc (DIFT, 2003). ARGOS är utvecklat av Dansk Brand- og Sikringsteknisk Institut.

Simuleringar med ARGOS kräver liten datorkapacitet och det är möjligt att genomföra ett stort antal simuleringar på kort tid. En nackdel med modellen är att den inte är tillräckligt nyanserad för att kunna hantera eventuella komplexa och lokala temperatur- och flödesfenomen.

7.2 Metod

Ett antal simuleringar genomförs i ARGOS där branden och lokalen är densamma. Här studeras de tre acceptanskriterierna för brandgasventilationens funktion som definierats i kapitel 4.

För att undersöka vilket av acceptanskriterierna som blir dimensionerande samt hur känsligt resultatet är för en variation av dessa kriterier görs följande. Varje kriterium testas var för sig med en kontroll av hur många luckor som behövs om det enda kravet vore att; hålla brandgaslagret på en viss nivå ovan golv, tillåta en maximal temperatur eller tillåta en maximal strålningsnivå mot golvet.

7.2.1 Antaganden

Två olika fall gällande tilluften förekommer likt tidigare. Antingen är tilluften lika stor som frånluften alternativt antas endast en port om 12 m² finnas tillgänglig för tilluft. Aktiveringstiden antas vara 15 minuter. Ett annat antagande är att det får gå maximalt fem

minuter från aktivering till dess att acceptanskriteriet uppnås. Detta antagande är gjort eftersom hela denna studie syftar på att brandgasventilationen skall hjälpa räddningstjänsten att kunna genomföra en invändig släckinsats. Det är därmed inte rimligt att räddningstjänsten skall behöva vänta en lång tid innan dess att insatsen kan påbörjas.

7.3 Resultat

7.3.1 Tilluften lika stor som frånluften

Skulle endast brandgaslagrets höjd ovan golv vara dimensionerande, d.v.s., 3 meter och temperatur och strålning inte begränsas, blir resultatet enligt tabell 7.1 nedan.

Tabell 7.1 Beräknad frånluft om hänsyn endast tas till brandgaslagrets höjd.

Lokalyta	Frånluft	T_{max}	Q_{max}	Z
2 500 m ²	20 m ²	<220°C	<2.8 kW/m ²	> 3 m
5 000 m ²	30 m ²	<170°C	<2.1 kW/m ²	> 3 m

Skulle endast temperaturen vara dimensionerande, d.v.s., 250°C och brandgaslagrets höjd ovan golv och strålning inte begränsas, blir resultatet enligt tabell A.3. Det skall noteras att strålningen mot golvet då överstiger 3 kW/m² samt brandgaslagret är för nära golv.

Tabell 7.2 Beräknad frånluft om hänsyn endast tas till temperaturen.

Lokalyta	Frånluft	T	Q_{max}	Z
2 500 m ²	15 m ²	< 250°C	3.5 kW/m ²	2.4m@20min, 3.2m@30 min
5 000 m ²	5 m ²	< 250°C	3.8 kW/m ²	~1 m

Skulle endast strålningen vara dimensionerande, d.v.s., 3 kW/m² och temperatur och brandgaslagrets höjd ovan golv inte begränsas, blir resultatet enligt tabell A.4. I detta fall uppfylls även kriteriet för temperatur men inte brandgaslagrets höjd.

Tabell 7.3 Beräknad frånluft om hänsyn endast tas till strålningen.

Lokalyta	Frånluft	T_{max}	Q	Z
2 500 m ²	20 m ²	220°C	< 3 kW/m ²	3.5m@20min, 3.8m@30 min
5 000 m ²	10 m ²	220°C	< 3 kW/m ²	~1 m

7.3.2 Tilluften alltid 12 m²

Skulle brandgaslagrets höjd ovan golv vara dimensionerande (3 meter) så går uppgiften inte att lösa med brandgasventilation enligt Argos. Det tar för lång tid att lyfta brandgaslaget oberoende av frånluften med så begränsad tilluft. Nedan visas övriga kriterier vid 15 m² frånluft. Efter denna storlek så påverkas resultatet inte avsevärt avseende rökfri höjd även om frånluften ökas radikalt.

Tabell 7.4 Beräknad frånluft om hänsyn endast tas till brandgaslagrets höjd.

Lokalyta	Frånluft	T _{max}	Q _{max}	Z
2500 m ²	Ej möjligt ⁴	250°C	3.7 kW/m ²	1.8m@20min, 2.8m@30 min
5000 m ²	Ej möjligt ⁵	200°C	2.5 kW/m ²	1.8m@20min, 2.5m@30 min

Skulle endast temperaturen vara dimensionerande, d.v.s., 250°C och brandgaslagrets höjd ovan golv och strålning inte begränsas, blir resultatet enligt tabell 7.5 nedan. Det ska förtydligas att strålningen mot golvet överstiger 3 kW/m². och brandgaslagrets höjd är för låg.

Tabell 7.5 Beräknad frånluft om hänsyn endast tas till temperaturen.

Lokalyta	Frånluft	T	Q _{max}	Z
2500 m ²	15 m ²	< 250°C	3.7 kW/m ²	1.8m@20min, 2.8m@30 min
5000 m ²	2 m ²	< 250°C	3.8 kW/m ²	~1 m

Skulle endast strålningen vara dimensionerande, d.v.s., 3 kW/m² och temperatur och brandgaslagrets höjd ovan golv inte begränsas, blir resultatet enligt tabell 7.6 nedan. I detta fall uppfylls även kriterierna för temperatur men inte för brandgaslagrets höjd.

Tabell 7.6 Beräknad frånluft om hänsyn endast tas till strålningen.

Lokalyta	Frånluft	T _{max}	Q	Z
2500 m ²	40 m ²	220°C	< 3 kW/m ²	2.2m@20min, 3.5m@30 min
5000 m ²	10 m ²	220°C	< 3 kW/m ²	1.4m@20min, 1.8m@30 min

7.4 SBF-metoden

Samma scenarion som redovisas i kapitel A.6 appliceras även på SBF's tabellmetod för att kunna jämföra dem båda. Som riskklass faller valet på N3. Insatstiden är den parameter som sedan skall fastställas och har betydelse för resultatet. 15 minuter har valts likt för simuleringarna i ARGOS.

Med en 15 minuter lång insatstid blir brandarean 145 m² enligt tabell. Detta leder slutligen till en faktisk area på 34 m² för den mindre produktionslokalen och 51 m² för den större.

⁴ Värderna i tabellen th bygger på 15m² frånluft. Viss förbättring sker vid fördubbling till 30m² men inte mycket. Max 3,5m rökfri höjd och 3m rökfritt vid ca 23 min. Ytterligare fördubbling till 60m² ger endast marginell förändring.

⁵ Värderna i tabellen th bygger på 20m² frånluft. Fördubbling till 40m² ger endast marginell förändring.

7.5 Sammanställning av resultat – Argos/SBF

Simuleringarna i ARGOS som presenteras i kapitel 7.3 vittnar om att det, bland de valda kriterierna, är kravet på brandgaslagrets höjd som kräver flest luckor följt av strålningen. Klaras strålningen klaras även temperaturen.

Vid endast 12 m² tilluft går det överhuvudtaget ej att lösa 3 m rökfri höjd vid 20 minuter och mängden frånluft måste för strålning i den mindre lokalen ökas relativt kraftigt för att klara kriteriet.

Resultaten från ARGOS och SBF sammanställs i tabell 7.7 för 2 500 m²-lokalen samt i tabell 7.8 för 5 000 m²-lokalen.

Tabell 7.7 Resultat för lokal 2 500 m² golvyta

Metod	Tilluft	Kriterium	Frånluft	% av golvarea
ARGOS	Frånluft	Z	20 m ²	0.8
ARGOS	Frånluft	T	15 m ²	0.6
ARGOS	Frånluft	Q	20 m ²	0.8
ARGOS	12 m ²	Z	- m ²	-⁶
ARGOS	12 m ²	T	15 m ²	0.6
ARGOS	12 m ²	Q	40 m ²	1.6
SBF 15 min	-	?	34 m ²	1.4

Tabell 7.8 Resultat för lokal 5 000 m² golvyta

Metod	Tilluft	Kriterium	Frånluft	% av golvarea
ARGOS	Frånluft	Z	30 m ²	0.6
ARGOS	Frånluft	T	5 m ²	0.1
ARGOS	Frånluft	Q	10 m ²	0.2
ARGOS	12 m ²	Z	- m ²	-⁷
ARGOS	12 m ²	T	2 m ²	0.05
ARGOS	12 m ²	Q	10 m ²	0.2
SBF 15 min	-	?	51 m ²	1.0

För den större lokalen så ger ej branden inom aktuella tider upphov till så hög strålning eller temperatur att så stora mängder brandgasventilation krävs. Därav att dessa kriterier ger mycket låga krav på brandgasventilation för den större lokalen.

Som kan ses ur tabell 7.7 och 7.8 så finns det inte någon tydlig koppling mellan de utförda beräkningarna och SBF-metoden. SBF-metoden visar generellt på högre nivåer av brandgasventilation och en relativt stor ökning av behovet av brandgasventilation i den större jämfört med den mindre lokalen. Skillnaderna är ologiska eftersom båda metoderna tillhör samma familj av beräkningsmodell (tvåzonsmodeller). Tyvärr kan detta bara konstateras och inte analyseras vidare eftersom SBF-metodens bakomliggande beräkningar inte finns tillgängliga.

⁶ Ej möjligt att uppnå med valda kriterier, se avsnitt 7.3.

⁷ Ej möjligt att uppnå med valda kriterier, se avsnitt 7.3.

7.6 Jämförelse FDS

För att jämföra ovanstående resultat med det mer kraftfulla verktyget FDS har ett par simuleringar genomförts för produktionslokaler med 2 500 och 5 000 m² yta.

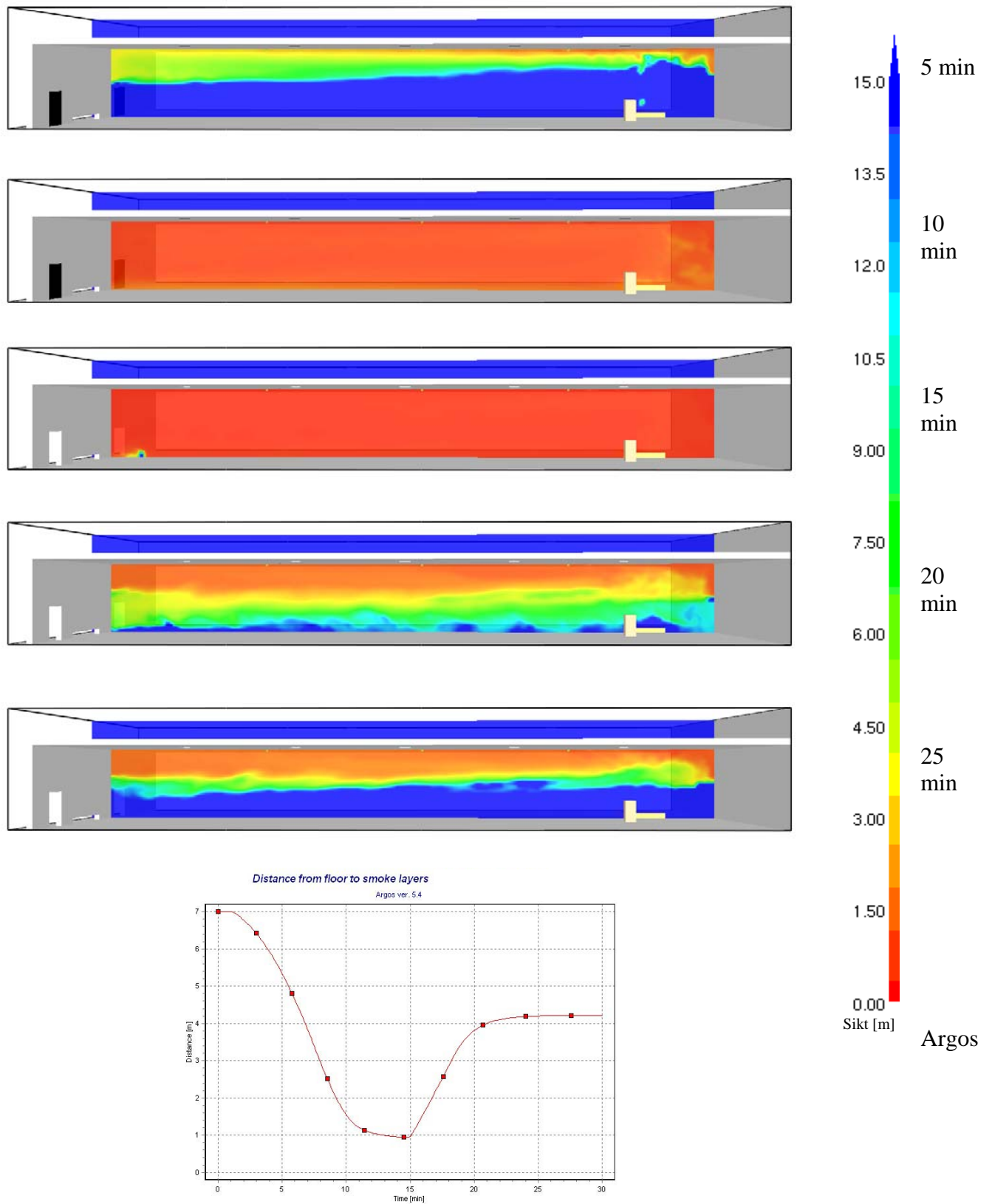
Slutsatsen när resultaten från FDS-simuleringarna i avsnitt 6 jämfördes med Argosimuleringar var att Argos underskattar hur snabbt brandgaslagret sjunker och överskattar hur snabbt det lyfter igen vid aktivering av brandgasventilation. Läs mer om detta i bilaga D. Av denna anledning har antalet luckor ökats något utifrån slutsatserna i 7.3 och 7.5.

Vidare konstaterades att scenariot med endast en port öppnad vid insats gav brandgasventilationen alltför dålig effekt. Även om detta bedöms vara en utmaning vid insats testades här att två portar öppnas istället för endast en port.

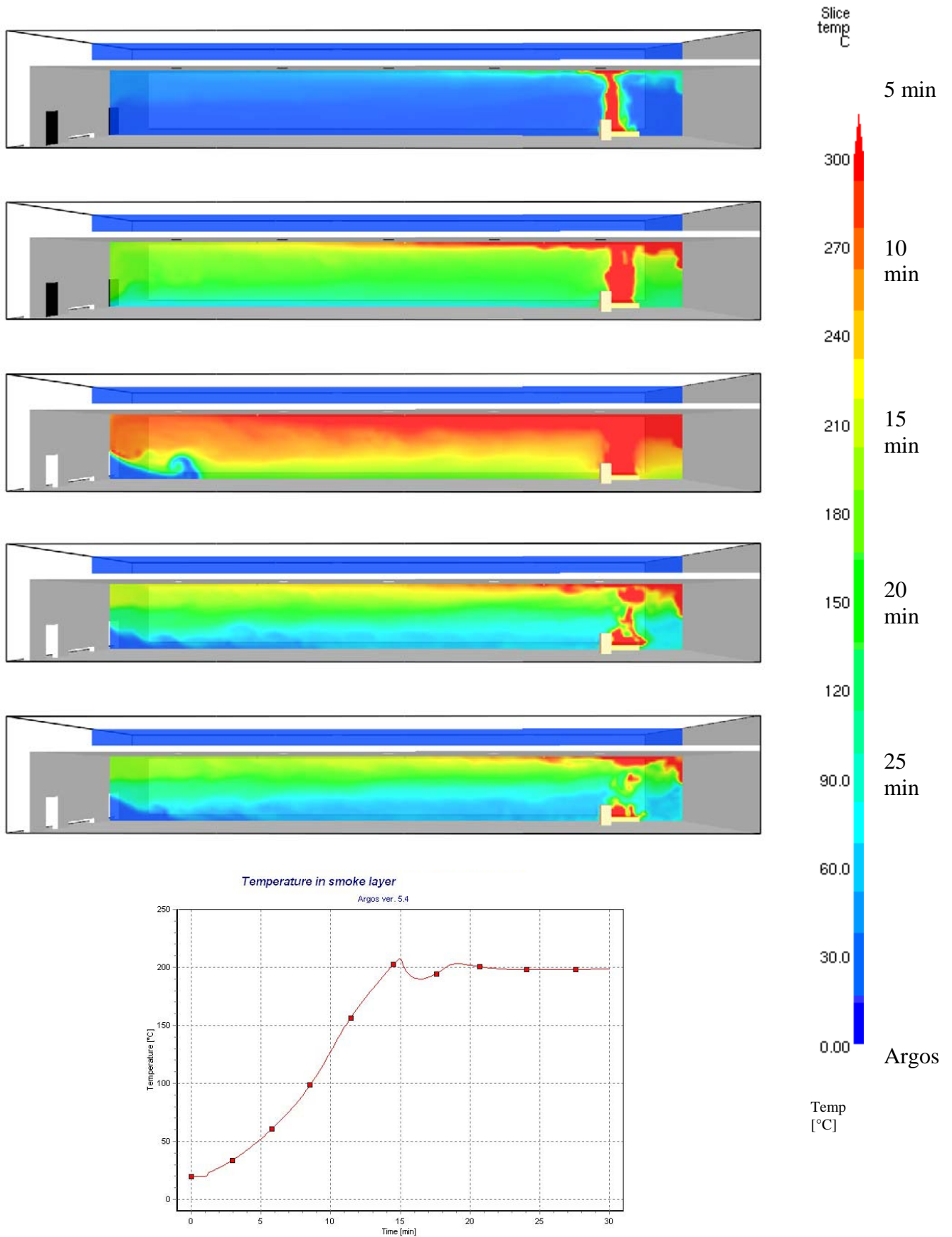
Tabell 7.9 Specifik indata för aktuella simuleringar.

Lokal	Tilluft	Frånluft	% av golvarea
2 500 m ²	24 m ²	24 m ²	~1 %
5 000 m ²	24 m ²	40 m ²	0,8 %

7.6.1 Den mindre lokalen

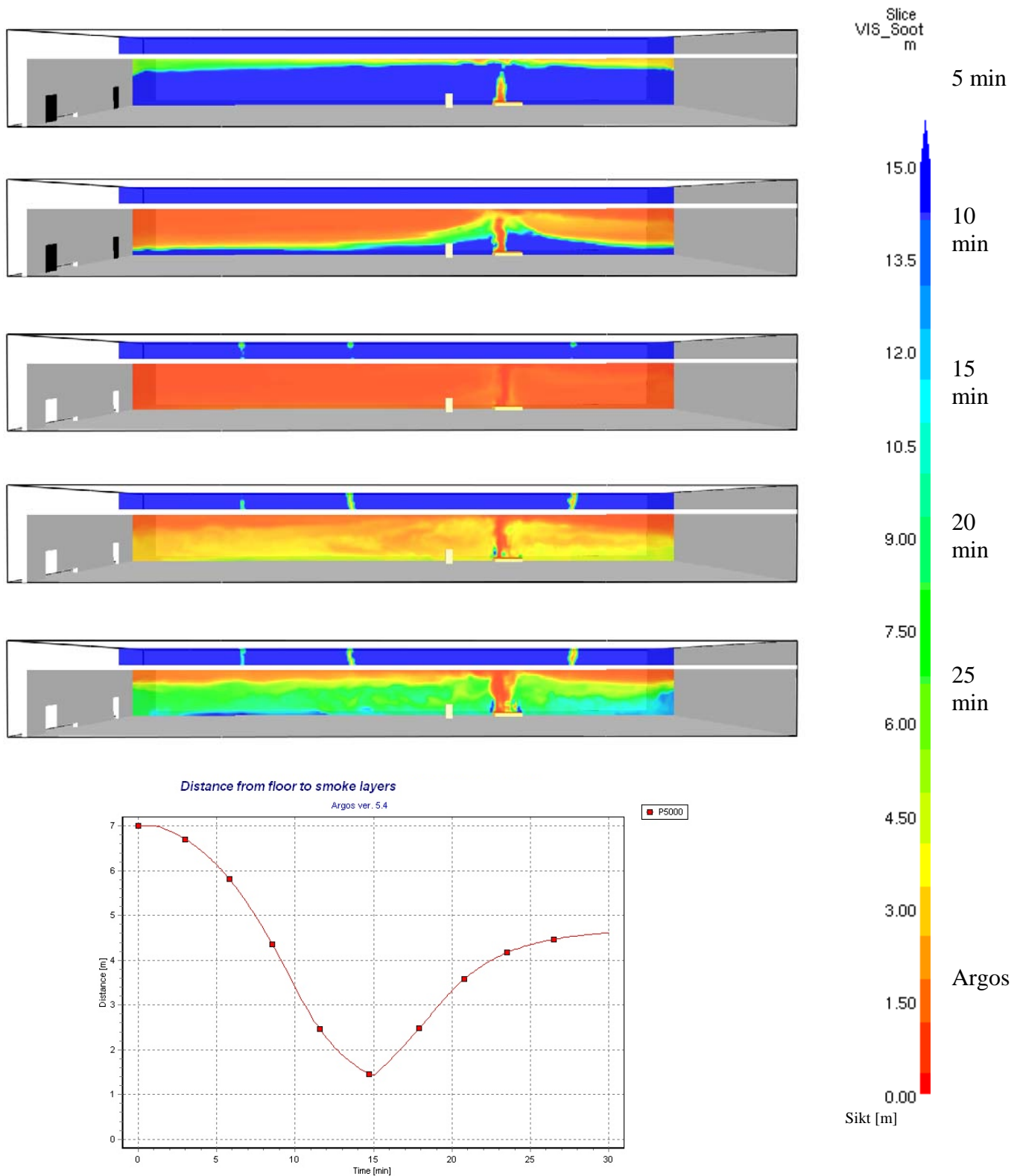


Figur 6.3. Siktförhållanden vid 5 tidpunkter i produktionslokal 2 500 m², enligt FDS och Argos.

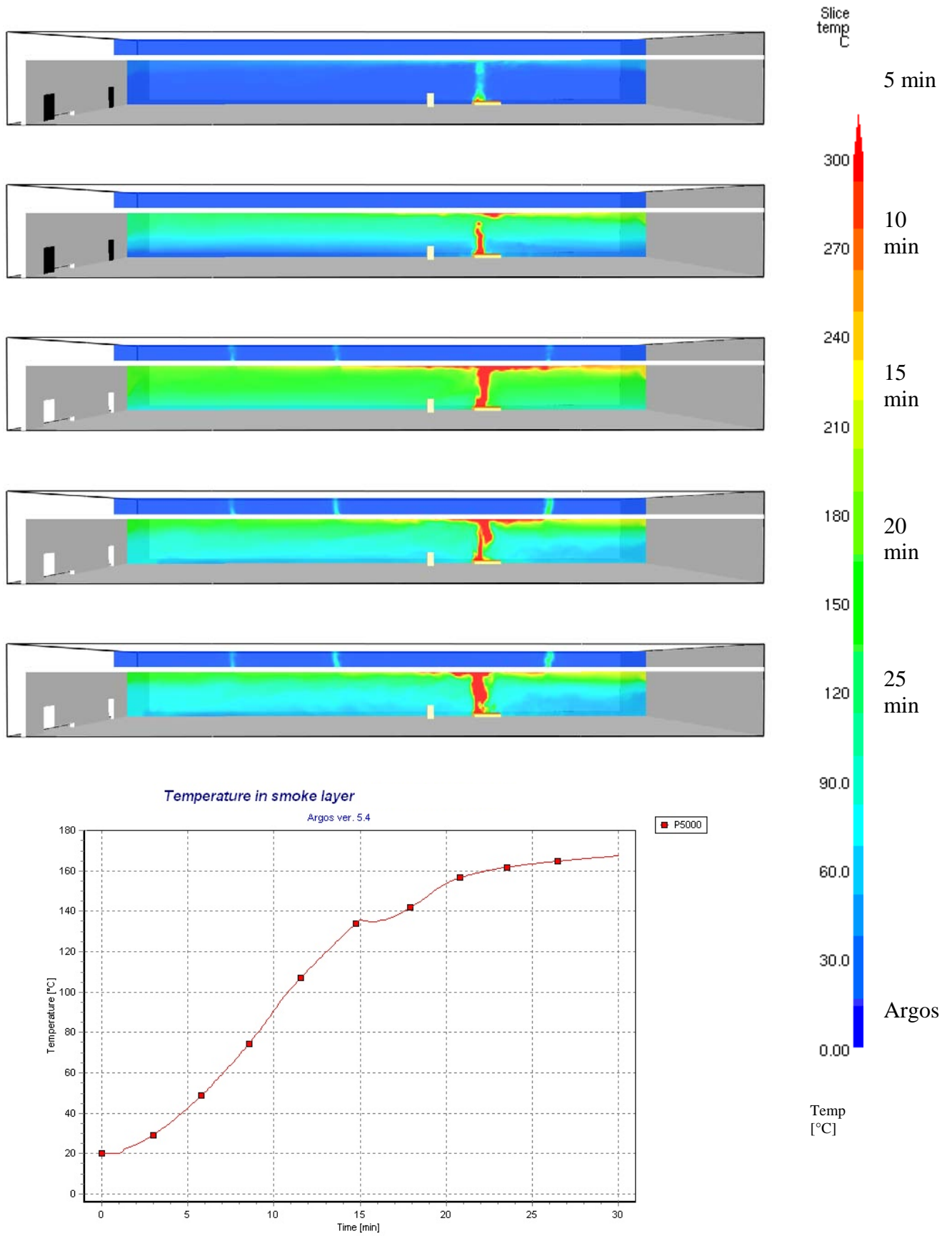


Figur 6.3. Temperaturförhållanden vid 5 tidpunkter i produktionslokal 2 500 m², enligt FDS och Argos.

7.6.2 Den större lokalen



Figur 6.3. Siktförhållanden vid 5 tidpunkter i produktionslokal 5 000 m², enligt FDS och Argos.



Figur 6.3. Temperaturförhållanden vid 5 tidpunkter i produktionslokal 5 000 m², enligt FDS och Argos.

7.6.3 Slutsatser av jämförelsen

Trots ökad brandgasventilation jämfört med ”tidigare” så visar dessa simuleringar att ännu mer brandgasventilation skulle krävas för att uppfylla uppsatta kriterier. Tvåzonsmodellen ger dock en mycket mer optimistisk bild och ger intrycket av att brandgasventilationen är tillräcklig.

Bilderna talar mycket för sig själva och det är tydligt att tvåzonsmodellen inte är kapabel att användas för dimensionering av brandgasventilationen. Se även vidare fördjupning i bilaga D.

Fältmodellen visar den skiktning som sker i djupled och som tvåzonsmodellen inte kan fånga. Framförallt sikten blir i dessa simulering avgörande utifrån acceptanskriterierna i denna studie. Ännu mer brandgasventilation än studerat ovan krävs för att skapa 3 m rökfri höjd inom 5 minuter från insatsens start om insatstiden som här är 15 minuter.

8 Slutsatser

Generellt

För dryga trettio år sedan dimensionerades brandgasventilation nästan uteslutande med hjälp av SBF's rekommendationer, det fanns en direkt hänvisning, rekommendation, till dimensioneringsmetoden i byggreglerna. Idag dominerar datormodellerna som snabbt och enkelt gör beräkningar på rökfyllnad, beräkningar som är starkt kopplade till den enskildes kunskaper och antaganden.

Vår bild från branschen idag är att SBFs metod är konservativ jämfört med många av de beräkningar som görs. Kopplingen mellan en byggnads riskklass, dess verksamhet, och brandgasventilationen har betydelse och är intressant. Dock saknas bakomliggande information kring hur den kopplingen faktiskt gjordes under slutet av 1970-talet då metoden togs fram. Således kan inte direkt något specifikt från den metoden värderas eller tas tillvara för att använda i dagens dimensioneringsmetoder vilket är mycket synd.

Räddningstjänstens kapacitet

En dimension som inte var lika klar för 30 år sedan som idag är hur stora bränder som räddningstjänsten klarar av att släcka. Den begränsning de har med att kunna släcka en brand av en viss storlek (här resoneras kring knappt 20 MW) är något som påverkar synen på och dimensioneringen av brandgasventilation. För bränder över en viss tillväxthastighet och toppeffekt är brandgasventilationen inte ett tillräckligt verktyg.

Brandgasventilation i lagerlokal och produktionslokal

Resultatet från detta projekt visar tydligt att brandgasventilation som enskilt skyddssystem inte är tillräckligt för att kunna upprätthålla en acceptabel insatsmiljö för räddningstjänsten i lagerlokaler. För att hantera bränder i denna typ av lokaler krävs en vattensprinkleranläggning. Som jämförelse ger SBF's tabellmetod att man hamnar utanför tabellerna, och dess giltighet upphör vid hög riskklass, lång insatstid och/eller hög lagringshöjd. Eftersom detta inte framstår som ett stort befintligt samhällsproblem är dock vår rekommendation att kravnivå läggs så att endast de bränder som räddningstjänsten kan släcka skall hanteras. I övrigt anses det rätt att samhällsriskerna accepteras med lagerbränder som leder till fullt övertända industribränder och kan hota grannbyggnader. Detta med utgångspunkt i att frågan inte bedöms ha utgjort ett historiskt problem.

För den brand vi ansett vara typisk för en produktionslokal kan dock brandgasventilationen ensamt förbättra insatsmiljön mycket. Sikten blir dålig även om branden har en relativt begränsad storlek. Brandgasventilationen ger då räddningstjänsten bättre förutsättningar att kunna släcka branden innan den sprider sig ytterligare. Viktigt är dock att mycket tilluft kan tillskapas.

Dimensionering

Underlaget för dimensionering av brandgasventilation är idag förhållandevis tunt och detta blir ett direkt problem för byggbranschen då det är svårt att värdera dimensioneringen och dess giltighet. Vid dimensionering av brandgasventilation med beräkningar är det viktigt att ha väldefinierade acceptanskriterier. För att upprätthålla en acceptabel miljö för räddningstjänsten har vi i denna utredning utgått från det förslag som fanns i ett exjobb i ämnet ([Gradén & Liljedahl, 2007](#)):

- Temperaturen får maximalt uppgå till 250°C
- Strålningen mot person/golv får maximalt uppgå till 3 kW/m²
- Brandgaslagrets höjd ovan golv skall minst vara 3 meter

Se dock under diskussion avseende strålningskriteriet.

Val av beräkningsverktyg

En tvåzonsmodell kan inte fånga den parameter som blir styrande för mängden brandgasventilation; att ge en tillräcklig rökfri höjd. Tvåzonsmodellen ger för optimistiska resultat. För att göra en grov bedömning av strålning och temperatur kan tvåzonsmodellen ge en vink men skiktningfenomen både i sidled och höjddled gör tvåzonsmodellen trubbig. Även om tvåzonsmodellen kan delas upp i ett flertal mindre rum och då ger en helt annan bild så ges inte rätt bild och tvåzonsmodellen anses utgöra ett för svagt verktyg för aktuell applikation.

Detta arbetes slutsats blir därmed att dimensionering av brandgasventilation i denna typ av lokaler kräver fältmodeller, t ex FDS.

Tilluft

Att endast öppna en port som tilluft vid insats bedöms som en rimlig hantering. Det visar sig dock att denna lilla mängd tilluft inte är tillräcklig för att brandgasventilationen skall ge en bra effekt. Flera portar är nödvändigt att öppna för att få systemen att fungera som avsett.

9 Diskussion

Angående insatsmiljö

Vi har delvis utgått från det förslag som tagits fram i ett exjobb (Gradén & Liljedahl, 2007) kring acceptanskriterier (vad gäller strålning). En reflektion som gjorts är dock att strålningskriteriet bedöms väldigt konservativt satt. Exjobbet nämner också att insatspersonal kan klara 10 kW/m^2 i 5 minuter och 5 kW/m^2 i 10 minuter. Med hänsyn till att utrymmande får utsättas för $2,5 \text{ kW/m}^2$ känns det mer rimligt att räddningstjänsten skulle klara 4 kW/m^2 än 3 kW/m^2 . Detta överrensstämmer också bättre med det temperaturkriterium som valts, 250°C .

En viktig ingångsparameter i diskussionen kring räddningstjänstens insats i industrimiljö är att de inte går in i en byggnad om det inte är aktuellt med livräddning eller de bedömer att risken för insatspersonalen är låg. Industribyggnader har normalt en icke brandklassad stomme vilket gör att kraftigare bränder riskerar att leda till kollaps. En övertändning i en industrilokal är inte möjlig att hantera för rökdykare och innebär en omedelbar fara insatspersonalens liv.

Diskussionerna i referensgruppen behandlade detta och vi förutsatte utifrån ovanstående att en fri sikt (3 m rökfri höjd), en låg temperatur (i praktiken en subjektiv bedömning av insatsledare) är förutsättningar utöver den rent objektiva kapaciteten av att arbeta i en varm och siktnedsatt miljö.

Tilluft

Vi har i detta arbete valt att analysera två situationer. Dels att insatspersonalen lyckas tillskapa tilluft i samma omfattning som brandgasventilationens yta och dels att insatspersonalen endast öppnar en yta motsvarande en industriport. Vi har inte haft tid och möjlighet att detaljstudera erfarenheter från praktiken men vår bild är att det är mycket utmanande i en insatssituation för insatspersonalen att ha möjlighet och tid att tillskapa stora tilluftsytor. Antagandet att ytan av en port öppnas bedöms mer praktiskt rimligt. Tyvärr har detta dock visats sig otillräckligt för många fall.

Med utgångspunkt från att endast en port öppnad ger en stor begränsning i brandgasventilationens effekt föreslås att normalfallet vid dimensionering utgörs av att två portar öppnas. Detta måste prioriteras av räddningstjänsten vid en insats.

Lösningar med automatisk eller centralt styrd och brandsäkert utformad öppning av tilluft skulle innebära att brandgasventilationen får mycket bättre funktion. Av praktiska skäl finns dock inte många exempel på den typen av lösningar i praktiken idag. Skulle sådana lösningar tillskapas så innebär det att en dimensionering skulle kunna visa på ett mindre behov av brandgasluckor med likvärdig funktion.

Rekommendationer till Boverket

Vi har valt i detta arbete att ge konkreta förslag till Boverket om vad de kan göra för att förbättra hanteringen i branschen av detta område idag. Rekommendationerna är tänkta att fungera som underlag för beräkningar.

En tanke som analyserats är att föreslå att krav på brandgasventilation skulle utgå i lagermiljöer eftersom vår slutsats är att systemet inte är tillräckligt kraftfullt för att fungera för denna typ av bränder. Detta bedömdes dock inte vara rätt väg att gå eftersom det kan inträffa

mindre kraftfulla bränder som kan hanteras även i dess miljöer. Utifrån dagens praxis så utförs dessa lokaler med brandgasventilation i någon omfattning (projektörs- och myndighetsberoende) utifrån de krav som ställts avseende skydd mot brandspridning mellan byggnader.

Ett annat alternativ hade varit att istället introducera ett skyddsalternativ (t.ex. sprinkler) som bättre klarar av att hantera de bränder vi bedömt kan vara aktuella. Det innebär dock en höjning av ambitionsnivån och kostnaderna för aktuella lokaler. Detta anses inte relevant utifrån endast slutsatserna i denna rapport. Det skall i så fall bygga på ett konstaterat behov utifrån inträffade händelser.

Med ovanstående skapas brandgasventilation i en omfattning som kan hantera den kraftigaste brand som räddningstjänsten kan hantera även för lagerlokaler. Begränsningen i lokalstorlek får då antas skapa det skydd samhället behöver för de troliga kraftfullare bränderna som kan vara aktuella i lagermiljöer.

Om det blåser

Vindpåverkan har inte beaktats inom ramarna för detta projekt. Normalt kan detta ha en betydande roll framförallt vad gäller funktionen för tilluft då öppningarna oftast är vertikala. Hur detta skulle ha kunna påverkat resultatet i projektet är inte fastställt. Det kan i praktiken vara svårt att hantera tilluften med hänsyn till aktuella vindförhållanden i ett pressat insatsläge. Även om denna fråga är viktig så har den inte rymts inom ramarna för detta projekt. Frågan påverkar dock inte de huvudsakliga slutsatserna i detta projekt.

SBF-metoden

Eftersom bakgrunden till denna metod ej längre går att finna så går metoden inte att värdera med dagens kunskaper. Därför rekommenderas ej att använda denna metod. Det finns ett flertal aspekter som gör metoden tveksam utifrån dagens kunskap:

- Tvåzonsmodellen är inte applicerbar fullt ut.
- Räddningstjänsten kan endast hantera bränder upp till en viss storlek.

Tidsaspekter

Insatstider, dvs tid från att en brand startar till dess att en släckinsats kan påbörjas, är en komplex fråga som beror på många parametrar. Att Boverket via sin tabell indirekt ställer krav på brandgasventilation för vissa lokaler utan krav på vidarekopplat brandlarm gör inte frågan lättare ur ett dimensioneringsperspektiv. Det normala förfarandet bör vara att förutsätta att en brand börjar tillväxa exponentiellt samtidigt som räddningstjänsten larmas. Tid till insats kan påbörjas är rimligtvis den normala insatstiden som kommunen anger plus eventuell tid för svårighet att orientera sig och förbereda insats i aktuell industribyggnad.

En annan viktig aspekt vad gäller tidsförloppet vid brand som inte berörs djupare i detta projekt är förbrinntider. Förbrinntid är den tiden det tar från att en brand börjar pyra med mer eller mindre lukt och rökutveckling till dess att branden kraftigt börjar tillväxa. Är denna tid lång så ökar chanserna radikalt att förloppet skall få en lycklig utgång. Detta genom att personal upptäcker branden eller att ett brandlarm kallar dit räddningstjänsten innan branden påbörjar sin kraftiga tillväxt. Slutsatserna i detta arbete påverkas inte av denna fråga i det jämförande perspektivet så därför lämnas frågan utan djupare diskussion även om den är mycket viktig.

Hur detta arbete avses användas

Vår förhoppning är att detta arbete skall bidra till att skapa diskussion kring detta område som anses eftersatt och med för lite tolkningsstöd från myndigheter. Vi hoppas vidare att materialet skall ge underlag till Boverket att kunna ge marknaden ett bättre stöd kring vad samhället avser att reglera och varför.

Vissa dimensionerar idag för mindre bränder, andra för mycket stora bränder. Vissa dimensionerar för att skapa låga temperaturer och en god sikt medan andra dimensionerar för att undvika övertändning. Detta spann kommer troligt kvarstå tills en tydligare bild av samhällets syfte med aktuell reglering framträder. Detta arbete visar en möjlig väg att sätta ribban för vad samhället avser uppnå. Arbetet gör inte anspråk på att utgöra en absolut och vetenskaplig sanning kring hur brandgasventilation skall regleras ur ett samhällsperspektiv.

10 Förslag på vidare forskning/utredning

Inom aktuellt område finns relativt mycket gjort. Det som av naturliga skäl är svårt att forska kring med hjälp av provning är storskaliga bränder inom industrin. Det kostar för mycket i form av pengar och miljöförstöring med stora bränder.

Om det finns behov att förstå mer av hur bränder utvecklas och beter sig i stor skala finns främst två vägar framåt:

- Olycksundersökning och dokumentation av de bränder som tyvärr uppstår.
- Brandutvecklingsförsök med skalmodeller och öppen forskning av brandutveckling för halvstora bränder⁸. Detta för att kunna skapa en bättre förståelse för brandscenariers utveckling inom industrin.

Det stora incitamentet att skapa en större förståelse kring detta område borde dock ligga inom industrin och inte inom byggbranschen eller samhällsbyggnadssektorn.

För samhällsbyggandets del handlar mycket om politik i det avseendet att det gäller att sätta en acceptabel nivå i form av vad samhället skall reglera med kopplingat till det grundskydd samhället vill ha. För brandgasventilation i industrilokaler bör detta handla om risken för storskaliga ”stadsbränder” som drabbar en större del av ett samhälle och blir kostsamt/svårt för kommuner att hantera. Det vore intressant att studera troliga konsekvenser om kravet på brandgasventilation helt slopades från samhällets sida.

Vindpåverkan vid brandgasventilation är dock en viktigt pusselbit som i detta och flera andra sammanhang kring brandgasventilation kräver mer kunskap. Vi har dock inte haft avsikt eller möjlighet att studera detta inom ramarna för aktuellt projekt.

⁸ Mycket görs idag som industriforskning och är därmed konfidentiell.

11 Referenser

- Af Geijerstam, K. (2008), *Optimering av Brandgasventilation i Stora Industrier*, SBUF-projekt, Bengt Dahlgren AB, Malmö
- Arvidson, M., Lönnermark, A. (2002), *Commodity Classification Tests of Selected Ordinary Combustible Products*, Brandforsk Project 620-001, SP, Borås
- Bostads- och byggnadsavdelningen (2002), *Miljöministeriets förordning om byggnaders brandsäkerhet*, Helsingfors
- Boverket (2008), *Regelsamling för byggande, BBR 2008*, Karlskrona
- Brandskyddslaget och Brandteknik LTH (2005), *Brandskyddshandboken*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- Burström, P-G. (2001), *Byggnadsmaterial*, Lund
- Danish Institute of Fire and Security Technology – DIFT, 2003, *Argos User's Guide*, Copenhagen
- Department of Building and Housing (2008), *Compliance Document for New Zealand Building Code, Clauses C1, C2, C3, C4, Fire Safety* (2008), Wellington
- Department of Communities and Local Government (2006), *Approved Documents B, Volume 2 – Buildings other than dwellinghouses*, London
- Drysdale, D. (1998), *An introduction to Fire Dynamics*, Wiley, West Sussex
- National Institute of Standards and Technology - NIST, (2007), *Fire Dynamics Simulator - version 5*, NIST Special Publication 1019-5, Washington
- Gradén, M., Liljedahl, J., (2007), *Räddningsmanskapets säkerhet under insats – kriterier för analytisk dimensionering*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- Hasegawa H. K., Alvares N. J., White J. A. (1999), Fire tests of packaged and palletized computer products, *Fire Technology*, Vol 35, No 4
- Erhvervs- og Boligstyrelsen (2004) *Information om brandteknisk dimensionering*, Köpenhamn
- Ingason, H. (2001a), Heat Release Rate of Rack Storage Fires, *INTERFLAM*, Edinburgh, September
- Ingason, H. (2001b), *An Experimental Study of Rack Storage Fires*, Brandforsk Project 602-971, SP, Borås

- Ingason, H. (2002), Effects of Flue Spaces on the Initial In-Rack Plume Flow, *Fire Safety Science – Proceedings of the Seventh International Symposium*, Worcester, 235-246, 16-21 juni
- Ingason, H., Lönnemark, A. (2004), *Sammanställning av Runehamar försöken*, SP Arbetsrapport 2004:33, SP, Borås
- Ingason, H., Lönnemark, A. (2005), *Fire Spread in Large Industrial Premises and Warehouses*, SP Report, Borås
- Johansson, H. (1998), *Brandfrekvenser och typbränder i industrianläggningar*, Lund
- Karlsson, B., Quintiere, J G. (2000), *Enclosure Fire Dynamics*, CRC, Boca Raton
- Larsson, P. (2008), Linus Eriksson, Räddningstjänsten Syd – Instämmer i kritiken, *Sirenen*, nr 8
- Lindahl, H. (2001), *Brandventilation*, Malmö
- Malm, D., Pettersson, A-I. (2008), *Tillförlitlighet för automatiska vattensprinkleranläggningar - en analys av befintlig statistik*, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- Paroc AB (2006), *Byggboken*, Skövde
- Räddningsverket (numera Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap) (2007), *Tabellbilaga – kommunala räddningsinsatser, 2007*, Karlstad
- SBN, Svensk Byggnorm (1980)
- SFS 2003:778, *Lag om skydd mot olyckor*
- SRVFS 2004:8, *Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om skyldigheter vid farlig verksamhet*
- Statens Bygningstekniske Etat (2007), *Veiledning til Teknisk Forskrift til Plan- og bygningsloven*, 4:e utgåvan
- Svenska Brandförsvarsförbundet (1982), *Brandventilation för industri- och lagerbyggnader*, Stockholm
- Svenska Brandskyddsförbundet (2005), *Brandskydd i Boverkets Byggregler*, Stockholm
- Svensson, S. (2006), *Brandgasventilation*, Räddningsverket
- Särdqvist, S. (1996), *An Engineering Approach to Fire-Fighting Tactics*, Lund
- Wade, C.A., Robbins, A.P. (2008), *Smoke filling in large spaces using BRANZFIRE, Study Report 195*, BRANZ Ltd., Judgeford, New Zealand.

Zalosh, R. (2003), *Industrial Fire Protection Engineering*, Wiley, West Sussex

Internetkällor

Eurosafety (2009), <http://www.eurosafety.se/brand/indbrand.html>, [hämtad 2009-11-03]

Räddningsverket¹ (numera Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap) (2009), *IDA* - <http://ida.msbmyndigheten.se/port61/main> [hämtad: 2009-03-16]

Räddningsverket² (numera Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap) (2009), http://www.raddningsverket.se/templates/SRV_Page_____22117.aspx [hämtad: 2009-11-03]

SINTEF (2009), <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&nodeId=341&level=2&documentId=321> [hämtad: 2009-09-03]

E-post konversation

Lundqvist M (Nov 2009), Director / Accredited Fire safety engineer, Defire, Sydney, *e-post konversation*

Bilaga A. Brandberäkningar

A.1 Produktionsbrand

En typisk lokal med produktion som primär verksamhet innefattar ofta stationer med maskiner, robotar eller dylikt vid vilka delmoment i processen utförs. I anslutning till sådana stationer finns ofta mindre närlager, bestående av komponenter till den färdiga produkten. En brand i ett sådant närlager blir förhållandevis begränsad. Spridningsrisken i en traditionellt utformad svensk produktionslokal är relativt liten beroende på att avstånden mellan närlager (bränslekällor) ofta är för stora för att spridning skall kunna ske. Därmed antas branden starta i ett närlager bestående av några pallar med gods och brinna till dess att bränslet tar slut.

Brandens tillväxthastighet har definierats som *fast*, vilket är representativt för bränsletyp och konfiguration. Försök, bland andra av SP (Ingason & Lönnemark, 2005), visar att effektutvecklingen för en liknande uppställning tillväxer med ungefär *fast*. Resultat från dessa försök visar också att maximal effekt ofta uppgår till ungefär 5 MW. I huvudsak testades då pallar med kartonger innehållandes olika typer av plaster.

A.2 Lagerbrand

Något som markant specificerar en lagerlokal, och skiljer den från en produktionslokal, är den många gånger höga brandbelastningen för den förstnämnda. Potentiellt kan i en lagerlokal enorma mängder brännbart material förvaras, ofta med stora ekonomiska värden. Av den anledningen förser man idag ofta lagerlokaler med automatisk vattensprinkleranläggning. Det kan dock tänkas att anläggningen inte fungerar som den ska, eller att sprinkleranläggning inte finns installerat och då är det relevant att bedöma om befintlig brandgasventilation kan ha någon påverkan på brandförloppet.

Då det gäller brandspridning och effektutveckling i pallställage finns idag inte mycket arbete genomfört. Vissa studier har dock genomförts vid vilka det framkommit att typen av lagringsgods, lagringshöjd, termisk tröghet i materialet och geometrisk utformning av lagret har betydande roll för brandens utveckling (Ingason, 2001b). Även avståndet från lagrat gods till taknivå har uppenbar betydelse, framförallt för spridning mellan ställage. SP (Ingason, 2001a) har sammanställt ett antal storskaliga försök och teorier och kommit fram till att tillväxthastigheten i en ställagekonstruktion är mycket hög. Andra försök (Hasegawa, Alvares, White, 1999) tyder på att tillväxthastigheten för lagermaterial, i huvudsak då förpackade datorprodukter, motsvarar *ultra-fast*.

Effektutvecklingen antas därmed tillväxa med hög hastighet till dess att flammorna når taknivå. Spridningen kommer sedan att ske längs med taket och antända lagergodset ovanifrån i takt med den horisontella spridningshastigheten. Den maximala effektutvecklingen för ett sådant här brandförlopp styrs egentligen bara av brandbelastningen i lokalen och syretillgången. Finns mycket bränsle tillgängligt och samtidigt tillräckligt med syre för att underhålla branden är begränsningarna i princip obefintliga och branden kommer att bli mycket omfattande. Då brandgaslagrets temperatur uppnår ca 500 – 600°C och strålningsnivån mot golvet uppgår till storleksordningen 15 – 20 kW/m² bedömer man att övertändning har inträffat (Brandskyddslaget och Brandteknik LTH, 2005). En annan definition på att övertändning har inträffat är att allt brännbart material i rummet brinner. Att

genomföra en invändig släckinsats i en övertänd lokal är i det närmaste omöjligt. Vidare ökar brandspridningsrisken till närliggande byggnader kraftigt om övertändning inträffat.

Den slutliga bedömningen vad gäller brand i lagermiljö är att tillväxthastigheten troligen motsvarar *ultra-fast*. Den maximala effekten är som tidigare nämnt enligt teorin bara begränsad av tillgång på syre och mängd brännbart material i lokalen. Detta förutsatt att inget släckningsförsök genomförs, vare sig av aktiva system (ex. sprinkler) eller människa.

Genom att beräkna den totala mängd syre som finns i den aktuella typlokalen för lager och dessutom anta att förbränning inte längre kan ske om syrehalten understiger 15 % kan effektutvecklingen uppgå till ungefär 130 MW, se bilaga A.3. För *ultra-Fast* tillväxthastighet är tiden till denna effekt ungefär 14 minuter. Vid denna effekt finns för lite syre tillgängligt, förbränningen avtar och upphör kanske helt och hållet fram till dess att tillräckligt syre tillförs lokalen, till exempel om dörr mot omgivningen öppnas. Branden kan då återigen tillväxa. I detta projekt har antagits att branden uppnår maximal effekt efter 14 min pga syrebrist och då branden är så våldsamt har simuleringstiderna begränsats till dessa 14 min. I praktiken skulle en sådan brand ge lokal kollaps av byggnaden vilket skulle skapa nytt syre till branden och leda till total övertändning. Dessa fenomen studeras dock ej djupare i denna utredning.

Många småskaleförsök på lagringsgods har gjorts och data från dessa finns ofta tillgängligt. Exempel på maximal effektutveckling för vissa typer av gods följer av tabellen nedan. Försöken är gjorda av SP ([Arvidson & Lönnermark, 2002](#)).

Tabell B.1 Sammanställning av maximal effekt vid försök ([Arvidson & Lönnermark, 2002](#))

Godstyp	Godsmängd vid försök	Max HRR [kW]
Korrugerad kartong med stålinsats	412 kg tot 4 pallar	2 900
Korrugerad kartong med innehåll	196 kg tot 4 pallar	3 500
Korrugerad kartong med oexp. plast	228 kg tot 4 pallar	5 900
EUR standard commodity (plast)	324 kg tot 4 pallar	5 100
Korrugerad kartong med 25 % exp. plast	216 kg tot 4 pallar	5 100
Korrugerad kartong med 40 % exp. plast	236 kg tot 4 pallar	5 700

Resultaten från dessa försök visar att en sådan konfiguration inte sällan överstiger 5 MW i maximal effektutveckling. Med tanke på att ett stort lager med många meter av ställage innehåller många gånger mer brännbart material är det inte svårt att konstatera att maximal effekt teoretiskt kan uppgå till de 130 MW som omnämns tidigare.

A.3 Beräkningar syrehalt

Brandens effektutveckling antas följa:

$$Q = \alpha t^2$$

Först integreras brandens energimängd per tidssteg fram enligt följande ekvation:

$$E_{dt} = \left(\frac{\alpha t_b^2 - \alpha t_a^2}{2} \right) \cdot (t_b - t_a)$$

Genom att summera energimängden för varje tidssteg erhålls total energimängd för brandförloppet.

Varje kilogram syre som förbrukas i förbränningen ger 13.1 MJ i energi. Därför används följande ekvation för att beräkna hur mycket syre som krävs för att erhålla den energi som förbränningen kräver:

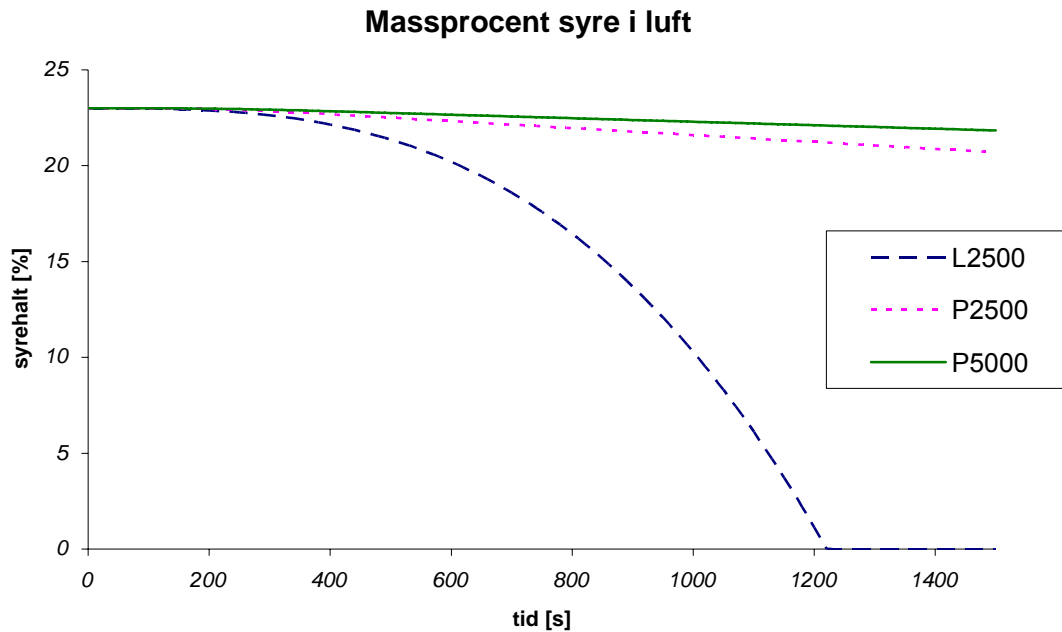
$$m_{O_2} = \frac{E_{dt}}{13.1} = \frac{(0.5 \cdot (\alpha t_b^2 - \alpha t_a^2) \cdot (t_b - t_a))}{13.1}$$

Genom att anta att massfraktionen syre i luften initialt är 23 % och beräkna den totala massan luft som finns i lokalen kan sedan minskningen av massfraktionen beräknas kontinuerligt.

$$m_{O_2,0} = V \cdot \rho \cdot \chi_{O_2}$$

$$\chi_{O_2} = 0.23 \cdot \left(\frac{m_{O_2,0} - m_{O_2}}{m_{O_2,0}} \right)$$

Med tio sekunder långa tidssteg har beräkningar utförts för de tre olika typlokalerna, och dess definierade bränder, med följande diagram som resultat:



Figur B.1 Syrehalten som funktion av tiden

Med antagandet om att syrehalten bör överstiga en nivå om 15 % för att branden inte skall bli ventilationskontrollerad kan i figur B.1 ses att för brand i produktionslokalen kommer syremängden att vara tillräcklig under hela brandförloppet. Det skall förtydligas att maximal effektutveckling för beräkningarna för de två kurvorna antagits till 5 MW innan beräkningarna. Dock uppstår bekymmer i lagerbranden där syrehalten understiger 15 % efter ca 830 sekunder. Då är brandens storlek ungefär 130 MW. Med tanke på att det kommer att finnas läckage som tillför syre till lokalen och tilluftsöppningar kommer troligen förr eller senare att öppnas är det sannolikt att denna effekt kommer att kunna uppnås. Vidare antas att effektutvecklingen stannar vid dessa 130 MW. Detta dels beroende på att det är svårt att bedöma hur branden betar sig efter detta och dels eftersom simuleringarna bara pågår i ytterligare en minut.

Bilaga B. Beräkningar av frånluftsareor med SBF-metoden

B.1 P2500

Indata

Golvytan är på totalt 2 500 m² med en invändig takhöjd på 7 meter. Önskad nivå på brandgaslagret är minst 3 meter ovan golv. Riskklassen har betydelse för vilken area som brandventilatorerna får. För verksamhet/produktion anges klasserna L, N1-N3S, HP.

Tabell C.1 Exempel på verksamheter per riskklass

Exempel på N2
Bageri
Bilverkstad
Mejeri
Allmän trämassafabrik
Exempel på N3
Affär
Cellulosafabrik
Färghandel
Gummifabrik
Kartongfabrik
Kylskåpsfabrik
Skofabrik
Exempel på N3S
Oljeslageri
Spånskivefabrik
Tändsticksfabrik
Exempel på HP
Färg- och fernissfabrik
Pyroteknisk fabrik
Skumgummitillverkning
Tjädestillationsverk

Valet av riskklass för produktionsverksamhet i detta projekt faller på N3.

Beräkningar (Svenska Brandförsvarsföreningen, 1982)

Insatstid 15 min: Riskklass N3 och insatstid 15 min ger enligt tabell 4.4.2 a. en brandarea på 145 m². Steg två är att bestämma Brandventilatorns effektiva area i tabell 4.4.2 b. Denna interpoleras fram till 12.0 m². I tabell 4.4.2 c. finns korrektionsfaktorer som dock förbises i detta projekt. Emellertid tas hänsyn till den aerodynamiska koefficienten på ventilatorerna. Den bestäms till 0.7 och ger då att den verkliga arean blir 17.2 m². Genom en titt i tabell 4.4.2 d. ses att om dimensionerande brandsektionens golvarea är lika med eller överstiger 2 500 m² skall den totala verkliga arean dubbleras. Således blir alltså erforderlig area **34.4 m²**.

Insatstid 5 min: Riskklass N3 och insatstid 5 min ger enligt tabell 4.4.2 a. en brandarea på 41 m². Steg två är att bestämma Brandventilatorns effektiva area i tabell 4.4.2 b. Denna interpoleras fram till 6.4 m². I tabell 4.4.2 c. finns korrektionsfaktorer som dock förbises i

detta projekt. Emellertid tas hänsyn till den aerodynamiska koefficienten på ventilatorerna. Den bestäms till 0.7 och ger då att den verkliga arean blir 9.1 m². Genom en titt i tabell 4.4.2 d. ses att om dimensionerande brandsektionens golvarea är lika med eller överstiger 2 500 m² skall den totala verkliga arean dubblas. Således blir alltså erforderlig area **18.2 m²**.

B.2 P5000

Indata

Golvytan är på totalt 5 000 m² med en invändig takhöjd på 7 meter. Önskad nivå på brandgaslagret är minst 3 meter ovan golv. Det uppstår ett problem då golvarean överstiger 2 500 m² då man överstiger rekommenderad största golvarea för dimensionerande brandsektion. Vi gör dock antagandet att det är ok att korrigera arean enligt tabell 4.4.2 d. i SBFs rekommendationer. Riskklassen har betydelse för vilken area som brandventilatorerna får. För verksamhet/produktion anges klasserna L, N1-N3S, HP.

Tabell C.2 Exempel på verksamheter per riskklass

Exempel på N2
Bageri
Bilverkstad
Mejeri
Allmän trämassafabrik
Exempel på N3
Affär
Cellulosafabrik
Färghandel
Gummifabrik
Kartongfabrik
Kylskåpsfabrik
Skofabrik
Exempel på N3S
Oljeslageri
Spånskivefabrik
Tändsticksfabrik
Exempel på HP
Färg- och fernissfabrik
Pyroteknisk fabrik
Skumgummitillverkning
Tjädestillationsverk

Valet av riskklass i detta projekt faller på N3.

Beräkningar (Svenska Brandförsvarsföreningen, 1982)

Insatstid 15 min: Riskklass N3 och insatstid 15 min ger enligt tabell 4.4.2 a. en brandarea på 145 m². Steg två är att bestämma Brandventilatorns effektiva area i tabell 4.4.2 b. Denna interpoleras fram till 12.0 m². I tabell 4.4.2 c. finns korrektionsfaktorer som dock förbises i detta projekt. Emellertid tas hänsyn till den aerodynamiska koefficienten på ventilatorerna. Den bestäms till 0.7 och ger då att den verkliga arean blir 17.2 m². Genom att titta i tabell 4.4.2 d. ses att om dimensionerande brandsektionens golvarea är lika med eller överstiger

5 000 m² skall den totala verkliga arean multipliceras med tre. Således blir alltså erforderlig area **51.6 m²**.

Insattid 5 min: Riskklass N3 och insattid 5 min ger enligt tabell 4.4.2 a. en brandarea på 41 m². Steg två är att bestämma Brandventilatorns effektiva area i tabell 4.4.2 b. Denna interpoleras fram till 6.4 m². I tabell 4.4.2 c. finns korrektionsfaktorer som dock förbises i detta projekt. Emellertid tas hänsyn till den aerodynamiska koefficienten på ventilatorerna. Den bestäms till 0.7 och ger då att den verkliga arean blir 9.1 m². Genom en titt i tabell 4.4.2 d. ses att om dimensionerande brandsektionens golvarea är lika med eller överstiger 5 000 m² skall den totala verkliga arean multipliceras med tre. Således blir alltså erforderlig area **27.3 m²**.

B.3 L2500

Indata

Golvytan är på totalt 2 500 m² med en invändig takhöjd på 13 meter. Önskad nivå på brandgaslagret är minst 3 meter ovan golv. Lagringsnivån är ca 1.5 meter under tak. Riskklassen har betydelse för vilken area som brandventilatorerna får. För varulagring anges riskklass K1-K4. I tabell C.3 visas exempel på verksamheter inom respektive riskklass, då avses K3-K4.

Tabell C.3 Exempel på verksamheter per riskklass

Exempel på K3
Brandfarliga vätskor i burkar/flaskor av glas/plast
Cellplast, bearbetad eller ej
Gummivaror
Lastpallar av trä eller plast (utan gods)
Möbler av cellplast
Skumgummivaror i kartong eller ej
Varor med emballage av cellplast eller skumgummi
Exempel på K4
Cellplast – avfall och oregelbundna bitar
Cellplast – rullar av cellplastskivor
Skumgummivaror – avfall och oregelbundna bitar
Skumgummivaror – rullar med skumgummiskivor

Valet av riskklass i detta projekt faller på K3.

Beräkningar (Svenska Brandförsvarsföreningen, 1982)

Insattid 5 min: Riskklass K3 och insattid 5 min ger enligt tabell 4.4.2 a. en brandarea på 85 m². Steg två är att bestämma brandventilatorns effektiva area i tabell 4.4.2 b. Det skall tilläggas att enligt denna tabell är det lägsta kravet att brandgaserna går ned till en nivå på 7 meter ovan golv. Arean interpoleras fram till 24.7 m². I tabell 4.4.2 c. finns korrektionsfaktorer som dock förbises i detta projekt. Emellertid tas hänsyn till den aerodynamiska koefficienten på ventilatorerna. Den bestäms till 0.7 och ger då att den verkliga arean blir 35.3 m². Genom att titta i tabell 4.4.2 d. ses att om dimensionerande brandsektionens golvarea är lika med eller överstiger 2 500 m² skall den totala verkliga arean multipliceras med två. Således blir alltså erforderlig area **70.6 m²**.

Bilaga C. Ytterligare utdata – FDS-analys

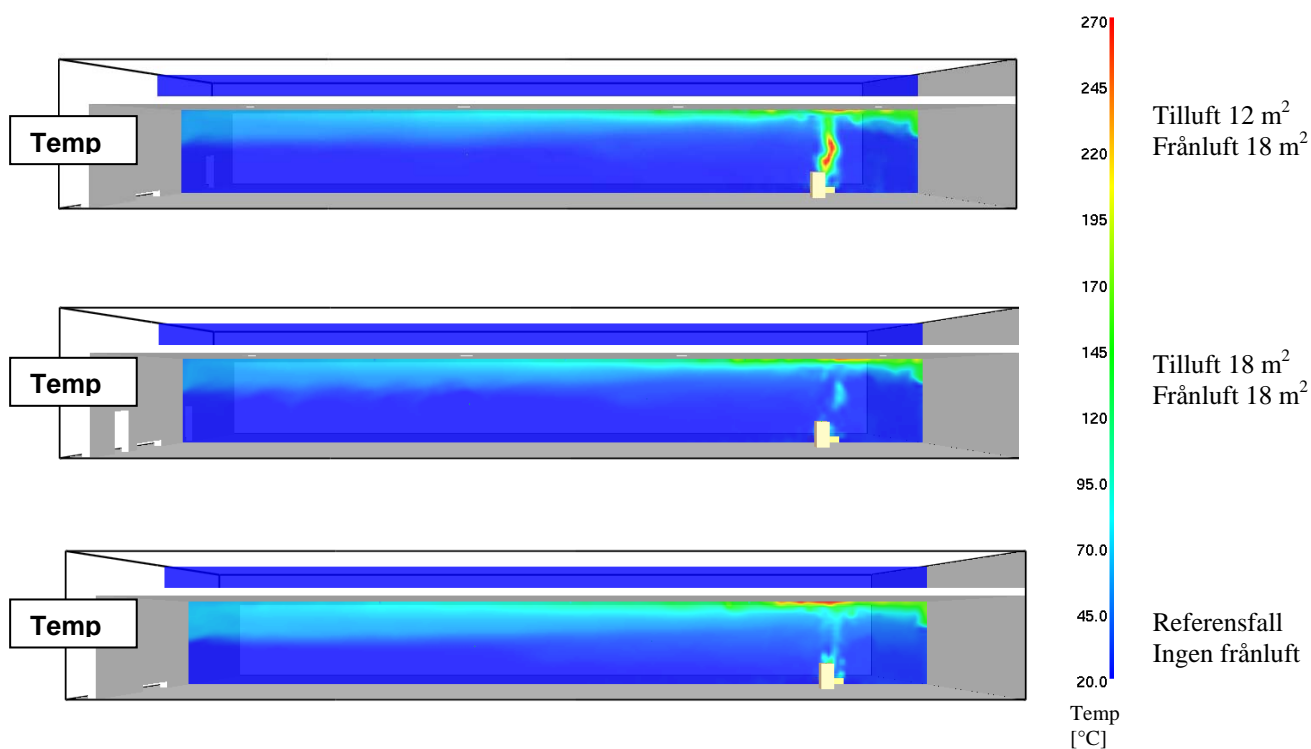
Under denna bilaga samlas utdata från brand i produktionslokalerna vid mycket kort insatstid (5 min). Detta är en fördjupning för den intresserade och kan ge en ytterligare tydligare bild av simuleringarnas resultat.

Tabell C1. Scenarion som visas nedan.

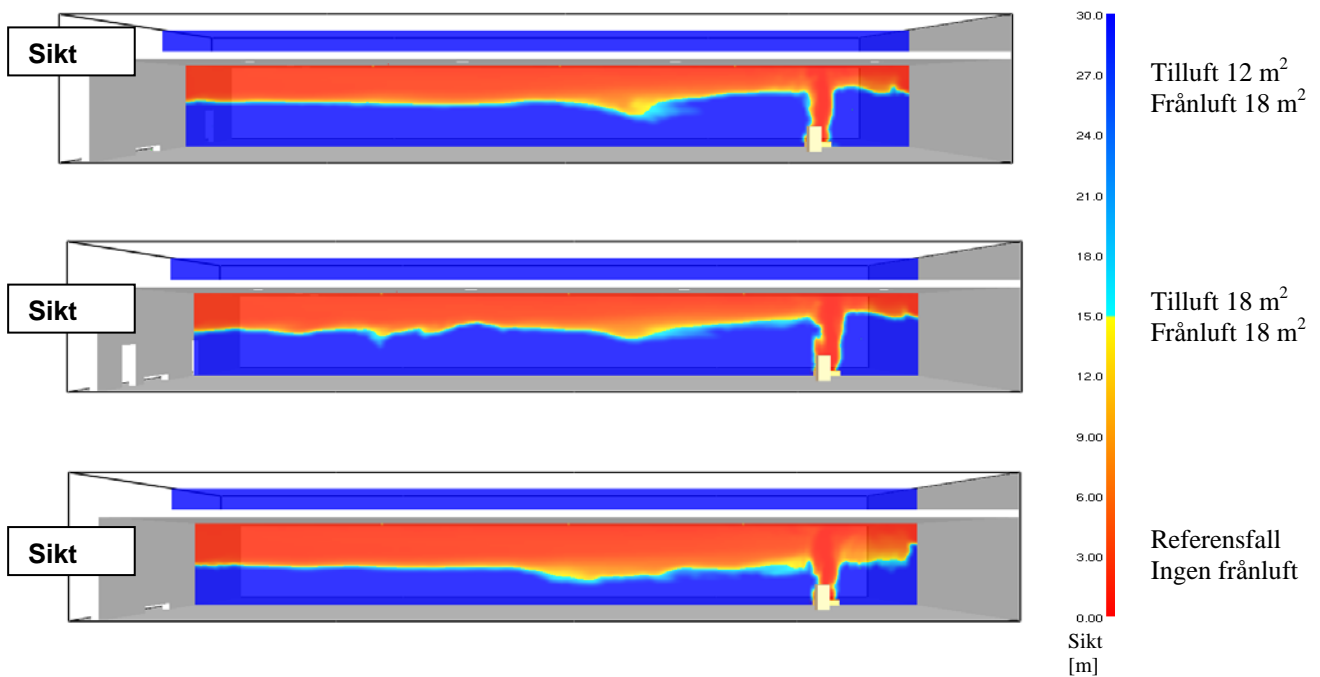
Verks.	Golvarea	Brand	Tilluft	Frånluft	Insatstid
Prod.	2 500 m ²	5 MW fast	12 m ²	18 m ²	5 min
Prod.	2 500 m ²	5 MW fast	18 m ²	18 m ²	5 min
Prod.	5 000 m ²	5 MW fast	12 m ²	28 m ²	5 min
Prod.	5 000 m ²	5 MW fast	28 m ²	28 m ²	5 min

För den mindre produktionslokalen visar figur C1 och C2 miljön avseende temperatur och sikt då insatstiden är 5 minuter. Figurerna är ögonblicksbilder tagna 2 minuter efter aktivering av brandgasventilationen. Till skillnad från tidigare kortas tiden då bilden visas från 5 min till 2 min efter aktivering av brandgasventilation. Detta då förhållandena vid så här kort insatstid är så goda att det bedöms rimligt att insatsen kan bli mycket snabb.

Brandeffekten i bilderna nedan är 5 MW och har varit det sen ca 5 min (se även avsnitt 5.2.1)



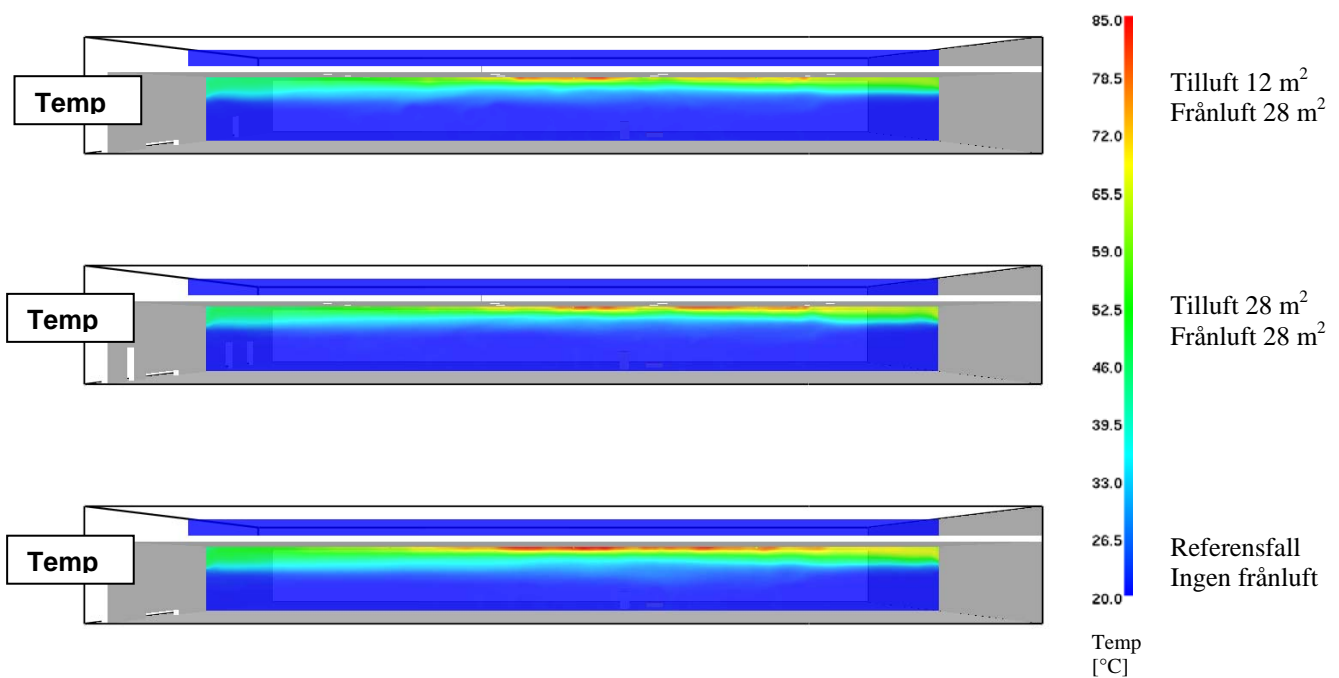
Figur C1. Temperatur i mindre produktionslokal, brandvent öppnas 5 min, bild tagen efter 7 min



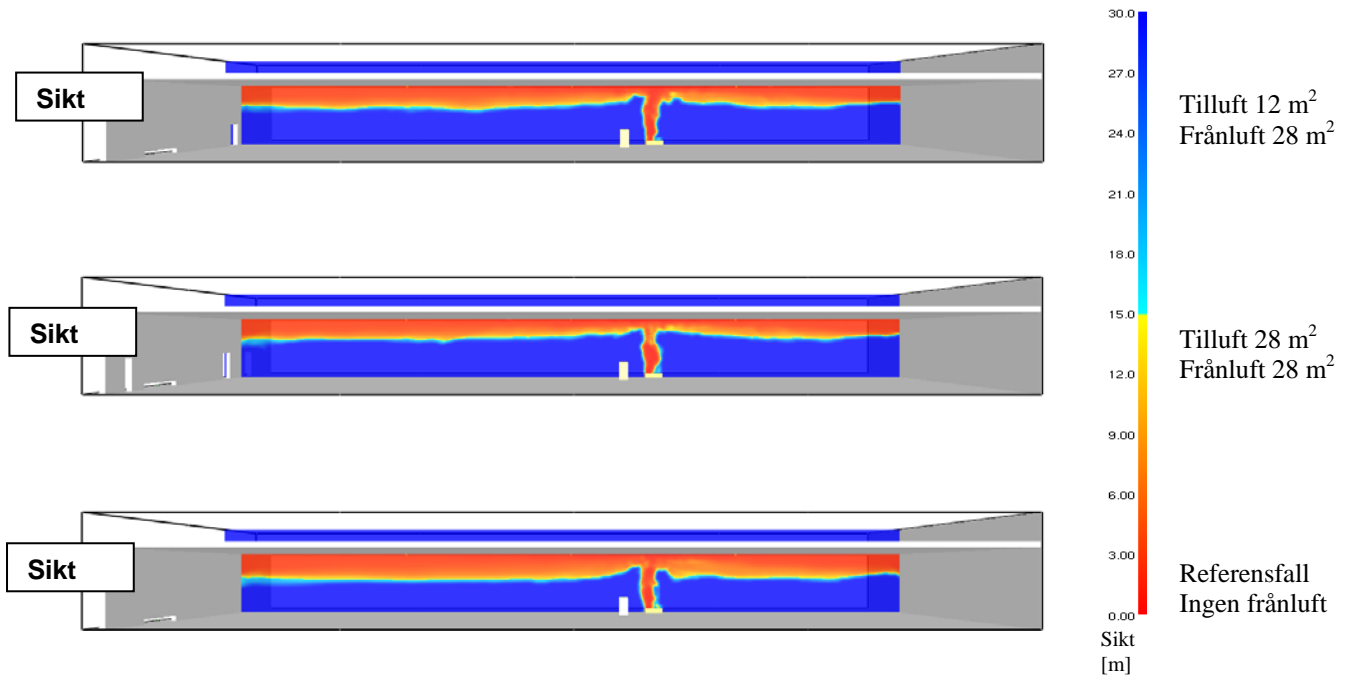
Figur C2. Sikt i mindre produktionslokal, brandvent öppnas 5 min, bild tagen efter 7 min

En viss höjning av brandgaslagrets höjd kan ses om man jämför fallen med och utan brandgasventilation. Skillnaden är dock begränsad. Den korta insatstiden gör att brandgasventilationen inte är avgörande för lyckad insats.

Nedan visas resultatet också för den större produktionslokalen, 5 000 m². I figur C3 och C4 visas temperatur respektive sikt. Notera annan temperaturskala.



Figur C3. Temperatur i större produktionslokal, brandvent öppnas 5 min, bild tagen efter 7 min



Figur C4. Sikt i större produktionslokal, brandvent öppnas 5 min, bild tagen efter 7 min

För den större produktionslokalen är det ännu mer uppenbart att effekten med brandgasventilation blir relativt liten. Delvis spelar lokalens storlek in i förhållande till storleken på branden. Insatsmöjligheterna är även utan brandgasventilation goda.

Bilaga D. FDS (fältmodell) versus Argos (2-zonsmodell)

En fördel med att använda FDS för brandsimuleringar är detaljupplösningen. Istället för förenkla scenariot genom att dela upp brandrummet i en varm och en kall zon, vilket är fallet i en tvåzonsmodell, delas rummet upp i ett stort antal kontrollvolymmer. Utdata från FDS kan göras grafisk samt överskådlig och det är lätt att få en bra bild över det totala förloppet. Vidare kan komplexa geometrier användas i FDS.

Nackdelen med användandet är att dagens simuleringstider ofta gör det oekonomiskt att använda FDS som dimensioneringsverktyg för iterering. Det skulle innebära väldigt många simuleringar för att optimera antalet luckor för ett specifikt scenario.

Samtliga simuleringar som gjorts i FDS för att utreda brandgasventilationens effekt och funktion har också simulerats i ARGOS. En intressant slutsats är att resultaten överensstämmer mellan programmen vad gäller brandgaslagrets höjd, temperatur och strålningsnivåer.

De simuleringar som gjorts i FDS har även simulerats i ARGOS för att jämföra utdata. Resultaten är relativt lika om man jämför temperatur och strålning för den senare delen av brandförloppet.

Utifrån dagens datorkapacitet och simuleringstider görs därför bedömningen att FDS inte bör användas som dimensioneringsverktyg utan snarare som verifiering av beräknad brandgasventilation för aktuell tillämpning och lokaltyper. ARGOS är ett lämpligt verktyg då geometrierna är förhållandevis enkla likt aktuella fall.

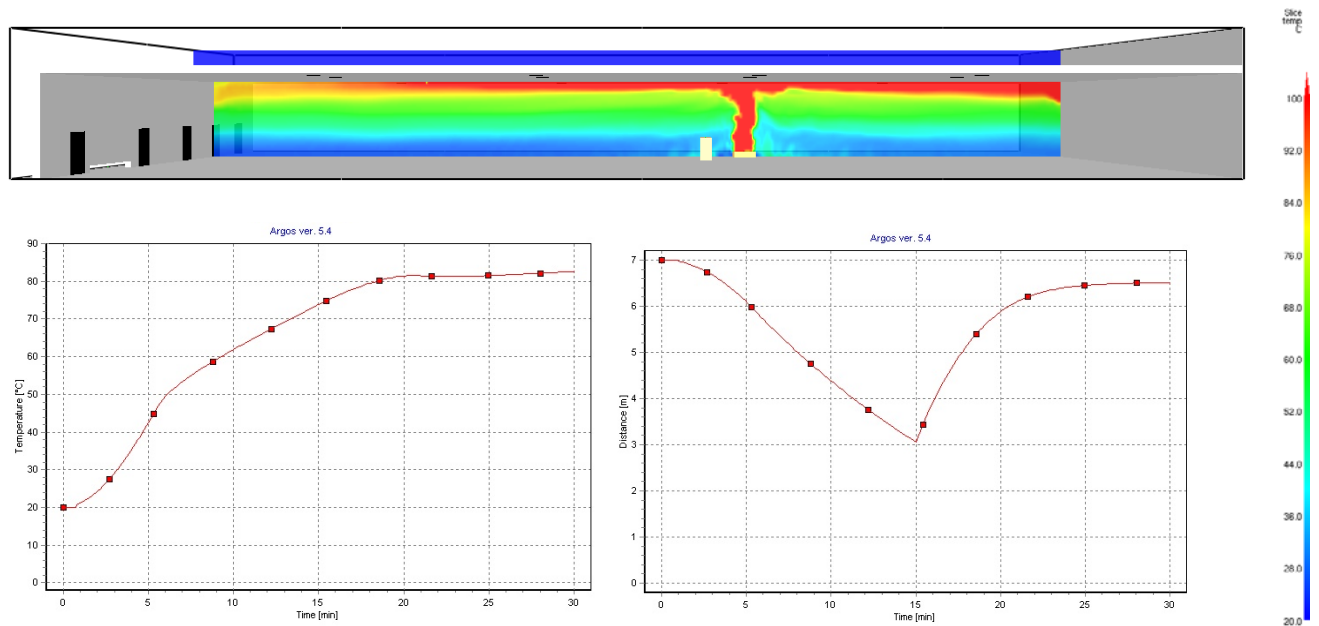
Tabell D1. Scenarion som jämförs nedan.

Sim	Verks.	Golvyta	Takhöjd	Brand	Tilluft	Frånluft	Insatstid
1	Prod.	2 500 m ²	7 m	5 MW fast	12 m ²	34 m ²	15 min
2	Prod.	2 500 m ²	7 m	5 MW fast	34 m ²	34 m ²	15 min
3	Prod.	5 000 m ²	7 m	5 MW fast	12 m ²	52 m ²	15 min
4	Prod.	5 000 m ²	7 m	5 MW fast	52 m ²	52 m ²	15 min
5	Lager	2 500 m ²	13 m	130 MW ultrafast	12 m ²	70 m ²	5 min
6	Lager	2 500 m ²	13 m	130 MW ultrafast	70 m ²	70 m ²	5 min
7	Prod.	2 500 m ²	7 m	5 MW fast	Läck.	-	-
8	Prod.	5 000 m ²	7 m	5 MW fast	Läck.	-	-
9	Lager	2 500 m ²	13 m	130 MW ultrafast	Läck.	-	-

Tabell D2. Jämförelse Argos/FDS

Sim	Sikt	Temperatur
1	FDS visar att brandgaserna blandas upp mer än vad som fångas i en tvåzonsmodell när de träffar sidoväggarna och tvingas nedåt innan takplymen går in mot mitten igen. Argos överskattar således brandgaslagrets höjd.	Programmen är relativt överrens om temperaturerna fram till att brandgasventilationen aktiveras. Efter aktivering av brandgasventilationen visar FDS på en liten sänkning av temperaturen medan Argos visar på en liten ökning. En tes till detta är att FDS ger ett högre utflöde ur de luckor som är i närheten av branden vilket mer effektivt ventilerar branden.
2	Samma som i 1 ovan så sjunker brandgaslagrets höjd snabbare i FDS. När brandgasventilationen öppnas fås en stor omblandning vilket medför att brandgaslagret inte höjs lika snabbt som Argos förespår. När "steady state" närmar sig (ca 25 min) är de dock relativt överrens.	Återigen är programmen relativt överrens fram till brandgasventilationens aktivering. Efter detta så visar FDS att det är varmare nära branden och kallare längre ifrån (ca 40 graders spann). Argos medelvärdesbildar.
3	Lika 3 & 4 visar FDS på större uppblandning och lägre höjd på brandgaslagret. Metoderna är relativt överrens om brandgaslagrets höjd vid "steady state" bortsett från att FDS visar på 10 m sikt i det undre brandgaslagret.	Innan aktivering visar FDS på två zoner i det varma brandgaslagret där medelvärdet stämmer relativt väl mot Argos. Efter aktivering så visar FDS på ännu större skiktning/uppblandning vilket då ger lägre temperaturer än vad Argos förutspår i sin tunnare varma zon.
4	Argos underskattar brandgaslagrets höjd lika tidigare. Relativt överrensstämmande resultat visas dock vid steady state. Det mesta vädras ut.	Återigen ger FDS något lägre temperaturer generellt och med en skiktning i sidled som Argos inte klarar att visa.
5	God överrensstämmelse fram till aktivering av brandgasventilation. Sedan visar FDS på bättre utvädring, dock undre zon med ca 15m sikt.	God överrensstämmelse men FDS visar på fler nyanser och skillnader nära och längre ifrån branden.
6	FDS ger en större effekt av brandgasventilationen än vad Argos gör. Med dessa mycket stora effekter är det dock svårt att jämföra modellerna då de behandlar brandens yta på helt olika sätt.	Relativt överrens, dock visar FDS på en tvåzons-skiktning av det varma brandgaslagret. Detta beror på att takplymen går bort från branden närmast taket och sedan efter att ha träffat väggarna åter går mot branden på en lägre nivå och med lägre temperatur.
7	Efter 15 minuter när Argos fortfarande tror att det är 1,5 m frisk luft ovan golv visar FDS att sikten är nära 0 från golv till tak.	Relativt överrens, dock viss skiktning i FDS.
8	FDS visar att dålig sikt når golvet efter ca 20 min och att sikten är mycket dålig från golv till tak efter 30 minuter. Argos visar felaktigt att det fortfarande finns friskluft ca 1,5 m över golv efter 30 minuter. Återigen beror diskrepansen på att geometrin inte ger en perfekt tvåzonsindelning.	Relativt överrens (inom ca 30 grader) men FDS visar på en ganska tydlig skiktning i brandgaslagret som ger en varmare zon närmast taket.
9	Modellerna visar på rökfyllnad till golv inom 1-1,5 min från varandra där Argos snabbast predikterar helt rökfyllt. Bra med tanke på de stora osäkerheterna brandens storlek och yta innebär.	FDS visar bättre den temperaturskiktning som är aktuell. Efter ca 12-13 min börjar respektive modell hamna klart utanför sina begränsningar när Argos stryper effektutvecklingen pga syrebrist och FDS visar på förbränning i brandgaslagret långt från branden.

Exempel på skillnaden mellan FDS och Argos visas i nedanstående bild tagen i scenario 4 precis innan brandgasventilationen aktiveras vid 15 minuter. För fler FDS-bilder att jämföra Argos-diagrammen med se avsnitt 6.5.2 (från- och tilluft 52 m²).



Figur D1. Jämförelse mellan Argos och FDS (FDS temp @ 15 min).

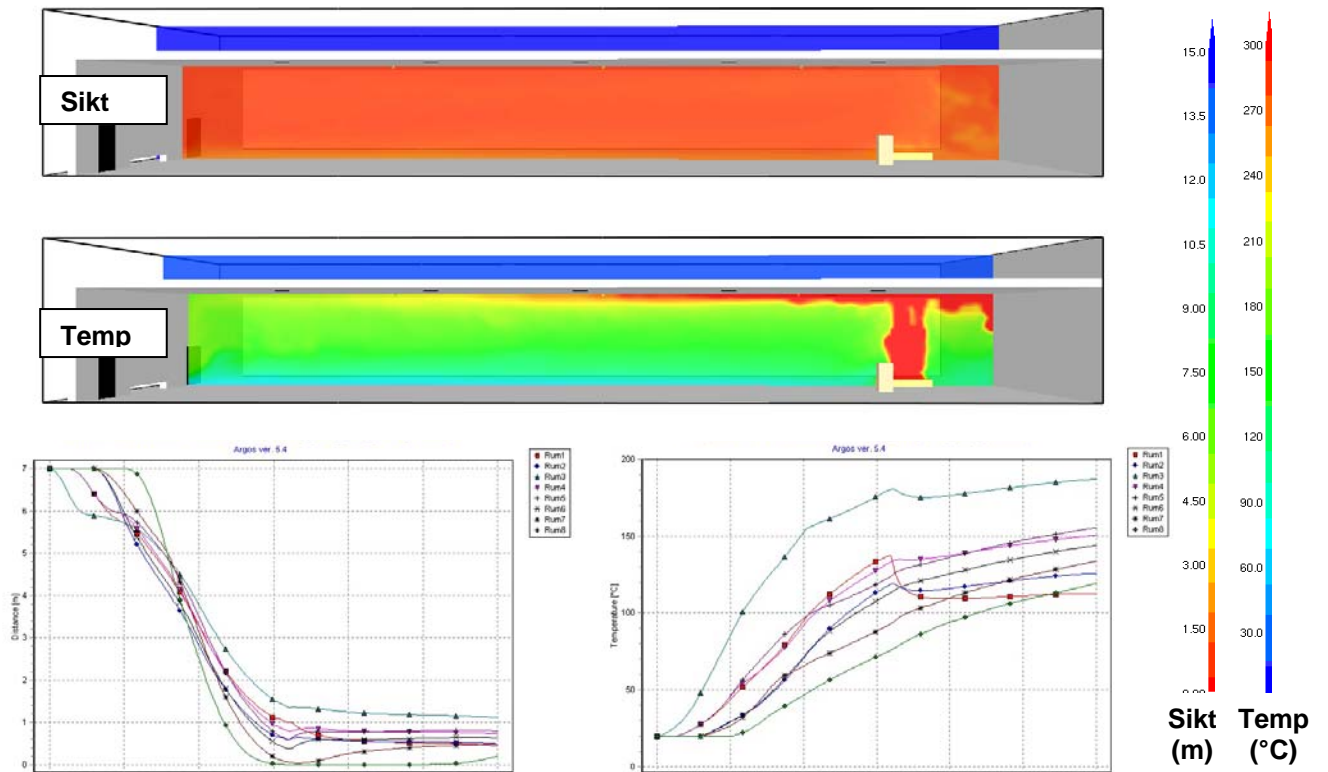
En invändning mot ovanstående jämförelse är att tvåzonsmodellerna inte kan användas för lokaler av aktuell storlek utan en indelning i flera mindre rum, se t ex (Wade, 2008). Att använda en tvåzonsmodell indelad i mindre rum har därmed också studerats inom ramarna för detta projekt men som redovisas nedan så har detta inte gett goda resultat.

I nedanstående jämförelse delades lokalen upp i 8 lika stora rum som länkades samman med öppningar längs hela rummets bredd och en höjd på 6,5 m av lokalens totala rumshöjd på 7m. Branden placerades i rum 3. Lokalens totala volym och övriga parametrar var oförändrade.

1	3	5	7
2	4	6	8

Figur D2. Rummens placering i förhållande till varandra i Argos-simulering nedan.

För att jämföra Argos-diagrammen nedan med fler FDS-bilder vid fler tidpunkter så hänvisas till avsnitt 7.6.1.



Figur D3. Jämförelse mellan Argos och FDS (FDS temp & sikt @ 10 min).