

# **Brandgasventilation – en studie av befintliga metoder samt utveckling av handberäkningsuttryck för beräkning av öppningars storlek**

*Daniel Steijner*

---

Department of Fire Safety Engineering  
Lund University, Sweden

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet

Report 5024, Lund 1999

Brandteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet  
Box 118  
221 00 Lund

Department of Fire Safety Engineering  
Institute of Technology  
Lund University  
Box 118  
S-221 00 Lund

Rapport: 5024

# **Brandgasventilation**

**– en studie av befintliga metoder samt utvecklande av  
handberäkningsuttryck för beräkning av öppningars storlek**

## **Smoke and heat ventilation**

**– a study of existing methods and creating an equation for calculation of the size of  
ventilation openings**

**Utfört av:**  
Daniel Steijner

I kursen Problembaserad Brandteknisk Riskhantering  
Brandingenjörsprogrammet, LTH  
1999

**ABSTRACT:** The new building code was implemented in Sweden in 1994. This building code made it more possible to use solutions, not only standard but also alternative solutions, based upon analytical calculations to show whether the fire safety level in a building is enough or not. With computer programs and equations it is possible to dimension the type and proportions of the selected fire safety equipment. This report focuses on one of those calculation methods - dimension of fire and heat ventilation.

Keywords: Smoke, heat, ventilation, building code, fire engineering, performance based

## Förord

Detta projekt har utförts i kursen Problembaserad Brandteknisk Riskhantering vid Brandteknik under perioden hösten 1998 till våren 1999.

Jag vill härmed ta tillfället att tacka de personer som har varit inblandade på ett eller annat sätt under projektets gång och som har gjort det möjligt att genomföra det hela.

Ett stort tack till Bödvar Thomasson, Fire Safety Design, som tagit sig tid att ge synpunkter och förslag på idéer under arbetets inledande fas. Tack till Robert Jönsson, Brandteknik, som alltid är ett stöd och som ställer upp när det kan behövas. Tack även till min tålmodige handledare Johan Lundin, Brandteknik, som alltid tar sig tid och som har visat vägen fram till målgången.

Ett sista tack vill jag rikta till Caroline som har gett sitt fulla stöd då det känts lite motigt.

## Sammanfattning

Denna rapport ger en översikt av de beräkningshjälpmedel som är vanliga vid dimensionering av brandgasventilation i byggnader i dagsläget samt ger förslag på ytterligare en beräkningsmetod som är tänkt som ett komplement till redan befintliga metoder. Brandgasventilation kan vara ett mycket effektivt hjälpmedel för att minska skadeverkningarna av en brand. Brandgasventilation minskar risken för övertändning, minskar omfattningen av rökskador, förbättrar insatsmöjligheterna för räddningstjänsten m. m.

Arbetet bygger i huvudsak på litteraturstudier och teoretiska beräkningar. Med hjälp av datorsimuleringar har brandgaslagrets höjd studerats i förhållande till brandens tillväxthastighet, ventilationsöppningars storlek och lokalens geometri. Utifrån dessa resultat har sedan ett handberäkningsuttryck tagits fram för bestämning av ventilationsöppningars storlek.

Resultaten i form av handberäkningsuttryck visade sig stämma väl överens med motsvarande datorsimuleringar. Ekvationerna är även enkla och snabba att använda. Dock finns ett avgörande problem för fortsatt arbete och användning av dessa uttryck. Ekvationerna är mycket känsliga för förändringar i indata. Om värden som ligger utanför de undersökta intervallen matas in erhålls resultat som avviker avsevärt från motsvarande simuleringar. Således visar detta på behovet av ett stort antal ekvationer som täcker en betydande mängd kombinationer av brandförlopp, lokalers geometri och ventilationsöppningars storlek för att detta skall kunna vara användbart i stor utsträckning.

En vidareutveckling av detta arbete ses inte som ett alternativ. Arbetet att ta fram ekvationerna motsvarar inte nyttan i form av tidsbesparing i dimensioneringsprocessen. Möjligtvis kan det bli aktuellt med en motsvarighet då mer datorkapacitetskrävande simuleringsmodeller kommer ut på marknaden med exekveringstider som upptar en betydande del av tiden för dimensionering av brandgasventilation.

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b> .....	<b>2</b>
1.1	BAKGRUND .....	3
1.2	SYFTE.....	3
1.3	AVGRÄNSNINGAR.....	4
<b>2</b>	<b>UNDERLAG FÖR DIMENSIONERING</b> .....	<b>5</b>
2.1	DIMENSIONERANDE BRAND.....	5
2.2	RÄDDNINGSTJÄNSTEN .....	7
2.3	VAL AV DIMENSIONERANDE KRITERIER/SKYDDSMÅL.....	8
2.4	VILKA KRAV FÖR TILL-/FRÅNLUFT? .....	10
2.5	STRÖMNINGSKOEFFICIENT ( $C_v$ ) OCH MASSFLÖDE.....	11
2.6	TRYCKSKILLNADEN ÖVER TILL- RESPEKTIVE FRÅNLUFTSÖPPNINGAR.....	13
2.7	OLIKA TAKHÖJDERS INVERKAN FÖR VAL AV AKTIVERINGSMEKANISM.....	14
2.8	SAMVERKAN MELLAN SPRINKLER OCH BRANDGASVENTILATION .....	15
2.9	VINDPÅVERKAN .....	15
2.10	KRAV PÅ DOKUMENTATION.....	18
<b>3</b>	<b>BRANDGASVENTILATION</b> .....	<b>20</b>
3.1	TERMISK BRANDGASVENTILATION .....	20
3.2	MEKANISK BRANDGASVENTILATION .....	22
3.3	DIMENSIONERING AV TERMISK BRANDGASVENTILATION .....	22
3.4	NÄRMEVÄRDE FÖR ÖPPNINGSAREA VID DIMENSIONERING .....	24
3.5	TYPFALL FÖR ANALYS AV $A_E$ OCH $A_D$ .....	25
3.6	PROBLEMITIDENTIFIERING .....	27
<b>4</b>	<b>METOD</b> .....	<b>28</b>
4.1	SIMULERING .....	29
4.2	REGRESSION .....	29
<b>5</b>	<b>RESULTAT</b> .....	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA METODER</b> .....	<b>35</b>
6.1	OBJEKTSBESKRIVNING .....	35
6.2	RESULTAT .....	35
<b>7</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>39</b>
	<b>APPENDIX A: TRYCKBILDER OCH MASSFLÖDEN FÖR VENTILERADE BYGGNADER</b> .....	<b>40</b>
	<b>APPENDIX B: PLYMMODELLER</b> .....	<b>43</b>
	<b>APPENDIX C: TANAKA – YAMANA</b> .....	<b>46</b>
	<b>APPENDIX D: TYPFALL FÖR ANALYS AV <math>A_E</math> OCH <math>A_D</math></b> .....	<b>48</b>
	<b>APPENDIX E: NÄRMEVÄRDE FÖR FRÅNLUFTSÖPPNING</b> .....	<b>52</b>
	<b>APPENDIX F: BERÄKNING AV REGRESSIONSUTTRYCK</b> .....	<b>54</b>

# 1 INLEDNING

Brandgasventilation är en metod som kan minska skador i byggnader som utsätts för brand. Resultatet varierar beroende på en rad faktorer som storlek på till- respektive frånluft, vindpåverkan, i vilket skede branden befinner sig i osv. Om brandgasventilation kan genomföras på ett väl avvägt sätt underlättas släckningsarbetet för räddningstjänsten vid insats samt är det möjligt att undvika övertändning i lokalen.

Det som önskas uppnås med brandventilation är framför allt fyra saker:

- utrymning av personer som befinner sig i byggnaden skall säkerställas,
- sänka temperaturen i det övre brandgaslagret för att minska risk för övertändning,
- underlätta för räddningstjänsten att lokalisera branden vid insats,
- minska omfattningen av rökskador för intilliggande lokaler.

När Boverkets byggregler (BBR)<sup>1</sup> infördes ökades möjligheterna till mer flexibla lösningar på en byggnads brandskydd jämfört med de tidigare preskriptiva föreskrifterna som är samlade i Nybyggnadsreglerna (NR)<sup>2</sup>. Flexibilitet är av vikt då t. ex. byggnader med komplicerat arkitektoniska lösningar önskas uppföras samtidigt som byggnaden skall vara säkert för de människor som skall nyttja lokalen i fråga. Den stora skillnaden mellan BBR och de tidigare Nybyggnadsreglerna (NR) är att i NR finns strikta krav på t. ex. minsta avstånd till utrymningsvägar etc. Om dessa krav efterföljs medför detta att byggnadens brandskydd kan anses acceptabelt. I BBR fastställs istället vilka mål brandskyddet skall uppfylla. Hur målen uppnås är inte specifikt beskrivet men råd ges i anslutning till varje avsnitt. Denna flexibilitet ger utrymme för alternativa lösningar som kan beräknas med hjälp av olika modeller, t. ex. simuleringsprogram som CFAST<sup>3</sup>. Resultaten från dessa beräkningar och simuleringar skall ge bevis på att byggnaden är säker för personer att vistas i och att det är möjligt att säkert utrymma vid brand. Detta ställer höga krav på utförandet av beräkningar och kontroller av de samma.

Varför finns det behov av att utveckla ett beräkningshjälpmedel för brandgasventilation? Bara för att det finns möjligheter att använda sig av analytiska lösningar betyder det inte att sådana används vid 100 % av fallen, snarare tvärtom. På grund av att många byggprojekt forceras fram under pressade tids- och ekonomiska förhållanden och att det fortfarande är godkänt med schablonlösningar blir valet av lösning den som kräver minst tid och resurs av projektören, d.v.s. schablonlösningar. Det finns således behov av att utveckla de analytiska beräkningsmodellerna som finns så att de blir enklare och mindre tidskrävande att använda. Denna rapport inriktar sig på att förenkla dimensionering av öppningars storlek för brandgasventilation.

---

<sup>1</sup> Boverket, "Boverkets byggregler, 1993:57 med ändringar t. o. m. 1998:38", 1999.

<sup>2</sup> Boverket, "Nybyggnadsreglerna, NR".

<sup>3</sup> Peacock R. D., Jones W. W., Forney G. P., Portier R. W., Reneke P. A., Bukowski R. W., Klote J. H., "An update guide for HAZARD I version 1.2", NIST, Building and Fire Research Laboratory Gaithersburg, 1994.

## 1.1 Bakgrund

Dimensionering av en byggnads brandskydd är en process som inte är helt okomplicerad. Många olika aspekter skall tas hänsyn till beroende av vem eller till vad byggnaden i fråga skall användas till. I denna process finns hjälpmedel för att nå de mål som ställs av BBR eller kanske med ännu högre krav från näringsidkaren själv eller från försäkringsbolag. Även aspekter som kan tyckas ligga utanför själva brandskyddet kan ha viss påverkan. Ofta uppkommer konflikter som beror av att olika intressenter har olika ansvarsområden vilka i sin tur styr skydds målen. Räddningstjänsten fokuserar i första hand på att förhindra att personer utsätts för skada samt att hindra att brand sprider sig till grannbyggnad medan ett försäkringsbolag vill undvika att bekosta en nyuppbyggnad av en totalskadad industri. Ett annat exempel är säkerhet mot att obehöriga kan ta sig in i byggnaden. Utrymningsvägar, automatiska öppningsanordningar för brandgasventilation m. m. skapar brister i en byggnads integritet vilket kan utnyttjas i olika avseenden.

Vid projektering kommer många lösningar fram på hur brandskyddet för en byggnad skall lösas och en av dessa lösningar kan vara brandgasventilation. Det är dock inte troligt att hela brandskyddet bygger endast på brandgasventilation men kan vara en viktig punkt för ett bra totalskydd. Hela processen som gäller skapandet av ett bra brandskydd har många steg och vart och ett av dem tar tid. Det är önskvärt att minska denna tid så mycket som möjligt för att i en förlängning hålla sig inom de kostnadsramar som ställs. Den del av processen som utgörs av fastställandet av hur stora öppningar som behövs för att brandgasventilationen skall fungera kan lösas på olika sätt vilket togs upp i inledningen. För att utnyttja de möjligheter BBR ger med avseende på flexibilitet är det önskvärt att minska tidsåtgången för analytiska lösningar vilka är krävande på grund av de beräkningssteg som ingår.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta projekt är att skapa ett hjälpmedel som skall användas vid beräkning av storleken på öppningar för till- och frånluft. Vilken nytta finns det då med att utveckla ytterligare beräkningsmodeller när det redan finns etablerade metoder som t. ex. handberäkningsuttryck framtagna av Tanaka och Yamana<sup>4</sup> och datorsimuleringsmodeller som CFAST<sup>5</sup>? Dessa två modeller är baserade på stationära respektive transienta förhållanden. Den stationära modellen (Tanaka och Yamana) förutsätter att förhållanden som brandgaslagrets höjd, massflöden genom öppningar m. m. håller sig oförändrade vid den specifika tid som önskas undersökas. För en transient modell (ex. CFAST) förändras förutsättningarna för varje beräkningssteg vartefter tiden går. Detta kan vara beroende av olika faktorer som t. ex. tillväxthastigheten för branden, lokalens utformning etc. En fördel med den stationära modellen är att när den väl är framarbetad och testats är den rent beräkningsmässigt lätt hanterbar, d. v. s. det räcker med ett fåtal handberäkningar för att erhålla t. ex. öppningars storlek för till- och frånluft. En fördel med datorbaserade simuleringsprogram är att ett stort antal beräkningar genomförs parallellt vilket medför att förändringar av olika förhållanden tas i beaktande under själva beräkningssekvensen. Således kan ses minst två olika fördelar med de metoder som här kort har presenterats. Den ena fördelen är att endast ett fåtal beräkningar behöver genomföras, d. v. s. tidssparande. Den

---

<sup>4</sup> Tanaka T., Yamana T., "Smoke control in large scale spaces" part 1 & 2, Fire Science and technology, vol 5 No 1, 1985. (31-54)

<sup>5</sup> Se not 3.

andra fördelen är att förändringar under beräkningssekvensen tas i beaktande. Nackdelarna för metoderna är motsatsen för den andra metodens fördel, d. v. s. för den stationära metoden tas inte hänsyn till förändringar i tiden och för den transienta metoden krävs relativt lång tid innan ett färdigt resultat erhållits. Här framträder således ett behov av förbättring/effektivisering av själva beräkningssekvensen. En metod som både är enkel att använda och inte kräver stora beräkningstekniska insatser men som samtidigt tar hänsyn till att ett brandförlopp är föränderligt i tiden.

Arbetet kommer att baseras på litteraturstudier om de metoder som idag används och jämföra deras för- och nackdelar. Därefter kommer ett handberäkningsuttryck att tas fram baserade på datorsimuleringar. Detta medför att det är möjligt att slippa genomföra dessa datorsimuleringar och endast använda sig av handberäkning då öppningars storlek skall bestämmas för en fungerande brandgasventilationslösning.

### **1.3 Avgränsningar**

Endast termisk brandventilation med hjälp av luckor i tak och vertikalt på vägg kommer att behandlas i denna rapport. Lokalerna i fråga utgörs av endast en brandcell i dessa beräkningar. Simuleringar utförs endast med datorprogrammet CFAST.

## 2 UNDERLAG FÖR DIMENSIONERING

Hela dimensioneringsprocessen innehåller ett stort antal steg varav beräkningar av diverse brandtekniska lösningar kan vara en del. Som tidigare beskrivits är målet med denna rapport att försöka effektivisera ett av dessa dimensioneringssteg nämligen beräkning av erforderlig storlek på ventilationsöppningar. Detta skall genomföras genom att ta fram ett handberäkningsuttryck baserat på datorsimuleringar med CFAST. Efter att dessa uttryck tagits fram skall det inte vara nödvändigt att utföra datorsimuleringar utan endast sköta denna del av dimensioneringen genom handberäkning. Således kommer denna modell bli ett mellanting av handberäkningsmetod och datorsimuleringsmetod.

För att beskriva några viktiga delar som tas hänsyn till vid dimensionering av brandgasventilation kommer en genomgång av ett antal punkter göras enligt nedan. Även en jämförelse mellan olika förekommande metoder kommer att presenteras under respektive punkt för att belysa de olikheter som förekommer vid beräkningar.

### 2.1 Dimensionerande brand

Vid analytisk lösning av brandskydd är en viktig del att välja vilken brand som kan tänkas utvecklas. Branden skall inte vara den största möjliga som kan utvecklas i byggnaden vilket skulle ge byggnader med omotiverat stora byggnadskostnader men samtidigt inte en alltför liten brand vilket skulle resultera i ett underdimensionerat brandskydd.<sup>6</sup>

En aspekt som bör finnas i åtanke vid skapandet av tillräcklig dimensionerande brand är hur mycket kraft som bör läggas på denna del av dimensioneringen. Att i detalj gå in på varje material som finns i en lokal och utifrån dessa skapa ett scenario som kan tänkas beskriva verkligheten väl kan ge en falsk trygghet om att problemet är löst om effektutvecklingen kan bestämmas med ”god precision”.

Ett alternativ är att försöka bedöma den effekt som kan tänkas utvecklas och låta en enkel tillväxtfunktion beskriva brandens väg dit. Därefter utföra förändringar i denna effektutveckling och bedöma vilka resultat de har utifrån det tänkta brandskyddet. Härigenom kan utläsas om den valda brandtekniska lösningen är kritisk och ligger på gränsen till att klara av sin uppgift eller om det är sannolikt att det är ett gott val. Således är det kanske bättre att variera ett antal scenarier istället för att lägga all tid på en ”perfekt” effektutvecklingskurva. Detta för att erhålla ett bredare underlag för egna bedömningar huruvida de brandtekniska lösningarna kan accepteras eller ej.

Något som inte heller bör glömmas bort är vilka tidsaspekter som tas hänsyn till när väl en brand antas starta. Det är inte alltid en fullt utvecklad brand med flammor som ligger till grund för ett scenario. En glödbland med ett långsamt förlopp kan vara väl värt att beakta. Det medför ett långsammare tillväxtförlopp där det är större chans för rökdetektorer att detektera brand jämfört med t. ex. värmedetektorer eller flamdetektorer. När sådana aspekter skall tas i beaktande varierar från fall till fall beroende av lagrat material.

---

<sup>6</sup> ISO/CD 13388 "Fire Safety Engineering: Design Fire Scenarios and Design Fires", 1997.

Då beräkning av öppningars storlek för brandgasventilation sker med hjälp av Tanaka och Yamanas metod används endast den maximala effektutvecklingen i lokalen som anses mest sannolik. Denna enkla konstruktion av den dimensionerande branden används på grund av att metoden beskriver det sk. "steady state". Det innebär att branden efter viss tid uppnår en konstant effektutveckling samt att de flöden av luft och brandgaser är i jämvikt.

För SBFs metod<sup>7</sup> uttrycks den dimensionerande branden som brandarea ( $A_f$ ) i varje brandsektion. Brandarean är en funktion av sektionens riskklass och räddningstjänstens insatstid i minuter. Räddningstjänstens insatstid tas endast i beaktande då lokalen i fråga saknar sprinkler. Riskklasserna delas in i två avdelningar, dels för lokaler med varulagring och dels för lokaler med verksamhet. De två avdelningarna är i sin tur uppdelade i fyra respektive sex riskklasser. När väl riskklass och räddningstjänstens insatstid har bestämts ges den dimensionerande branden som en area i  $m^2$ . Genom att beskriva effektutvecklingen som en brandarea ( $A_f$ ) är det svårt att få ett grepp om hur stor brand det rör sig om med de mått som används mer frekvent i dag.

### 2.1.1 Val av dimensionerande brand

Vid val av dimensionerande brand finns ett antal tillvägagångssätt som nämnts tidigare. Ett sätt går ut på att undersöka vilket material som finns i lokalen. Utifrån det beräknas den maximala effektutvecklingen genom att använda sig av försöksdata på tid till att utveckla viss effekt, massavbrinning, bedömd yta involverat i brand och materialets förbränningsvärme. Dessa indata ger en maxeffekt som beskriver det förhållande som kan tänkas råda vid brand. För att beskriva själva tillväxten av branden används en parameter ( $\alpha$ ) som antas ge trolig hastighet på effektutvecklingen i given lokal. Denna parameter har givits vissa riktvärden som är mer vanliga inom olika verksamheter vilket styr valet.

Då brandbelastningen i en lokal inte är möjlig att bestämma genom inventering av material, t. ex. på grund av att de material som ingår ej genomgått test för bestämning av energiinnehåll, kan statistik från inrapporterade tillbud komma att ligga till grund för rekommenderad tillväxthastighet på branden. Detta förfaringssätt är inte fullt utvecklat och en bedömning måste ändå göras om det är möjligt att passa in det aktuella fallet med sådana data.<sup>8</sup>

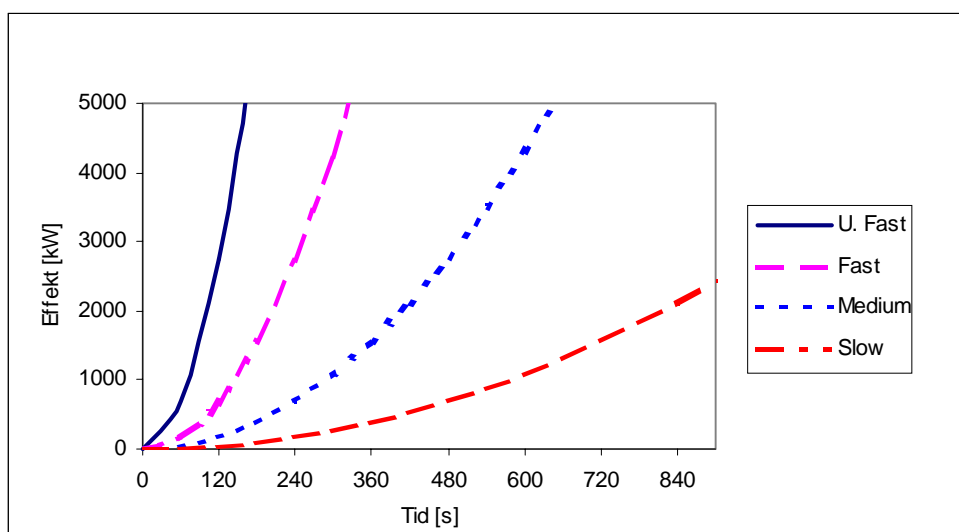
Den sista metoden kräver en begränsning i form av tid för utveckling av branden. Detta kan styras av t. ex. när räddningstjänsten antas vara på plats och påbörjat insats eller om ett sprinklersystem sätter i gång etc.<sup>9</sup>

De  $\alpha$ -värden som nämnts ovan används ofta i USA vid brandteknisk dimensionering.<sup>8</sup> Här beskrivs tillväxtfasen som en funktion av tiden i kvadrat. Parametern erhålls genom att vid försök mäta tiden fram till dess att effektutvecklingen nått 1055 kW och dividera detta med tiden i kvadrat. Fyra  $\alpha$  – värden har blivit vägledande för benämning av effektutvecklingens hastighet. Dessa beskrivs i följande diagram och tabell:

<sup>7</sup> SBFs Rekommendation 5:3, "Brandventilation för industri- och lagerlokaler", Stockholm, 1982.

<sup>8</sup> Karlsson B., Quintiere J. G., "Enclosure Fire Dynamics", Dept. of Fire Safety Engineering, Lund, 1997.

<sup>9</sup> Se not 6.



Figur 6. Diagram över tillväxtfaktorn  $\alpha$ .<sup>10</sup>

Tillväxthastighet	$\alpha$ [kW/s <sup>2</sup> ]	Tid till 1055 kW [s]
Ultra fast	0,19	75
Fast	0,047	150
Medium	0,012	300
Slow	0,003	600

Tabell 1. Värden för tillväxtfaktorn  $\alpha$ .<sup>10</sup>

I denna rapport kommer endast enkla former av dimensionerande bränder att användas. Detta på grund av att varje verkligt dimensioneringsfall har sin unika uppsättning av material vilket kan vara svårt att ge generella värden på. För att erhålla en uppsättning av tillväxtfaktorer som beskriver många olika material måste experimentella försök utföras.<sup>11</sup>

## 2.2 Räddningstjänsten

För att ett system med brandgasventilation skall kunna vara effektivt bör räddningstjänsten vara väl medveten om de förhållanden som föreligger vid varje enskilt objekt med avseende på manövrering av till- och frånluftsöppningar, hur systemet är tänkt att fungera vid t. ex. olika vindförhållanden etc. Beroende på vilka material som finns och hur de lagras i en lokal kommer olika behov att dyka upp då det gäller räddningstjänstens förehavanden vid tillämpning av brandgasventilation. Därför är det av stor vikt att den lokala räddningstjänsten är väl medveten om objektet i fråga. Detta kan t. ex. beskrivas i en insatsplan.

Om en brand utvecklas i golvnivå och materialet är lättantändligt kommer en snabb brandspridning troligen vara fallet. Det ger ett tjockt brandgaslager som måste ventileras ut innan risk för övertändning. Detta kan ge behov av automatiska tilluftsöppningar för att inte

<sup>10</sup> Se not 8.

<sup>11</sup> Ondrus J., "Brandförlopp", Dept. of Fire Safety Engineering, Lund, 1990.

tappa kontrollen redan från början. Det krävs då en genomgång av vad detta innebär i form av larmanordningar, placering av öppningar etc.

Om däremot branden startar t. ex. högst upp på ett pallställ kommer till en början utvecklingen vara som vanligt, d. v. s. bränlekontrollerad. Efter ett tag når brandgaslagret brandhärden. Branden övergår då till ventilationskontrollerad och får ett långsammare förlopp. Branden slutar dock inte att utvecklas utan skapar en stor mängd oförbrända gaser vilka kan vara mycket explosiva om syre tillförs i form av ventilation.

Eftersom det inte är möjligt att i förväg säga vilket slags brandförlopp som råder måste bedömning utföras på plats av ansvarig räddningsledare.

I den insatsplan som varje räddningstjänst bör ha upprättad beskrivs bl. a. vilka insatstider olika objekt har. Detta innebär inom vilka tider räddningstjänsten har bedömt det vara möjligt att släckningsarbetet skall vara påbörjat.<sup>12</sup> Det bästa sättet är även här att fråga den lokala räddningstjänsten när de anser vara möjligt att påbörja släckningsarbetet. SBFs metod är direkt kopplad till insatstiden för osprinklade byggnader. Och vid det analytiska förfarings sättet är det vanligt att låta effektutvecklingen övergå till konstant eller avtagande utveckling vid den tidpunkt då räddningstjänsten kan antas vara på plats och påbörja släckningsarbetet.

## 2.3 Val av dimensionerande kriterier/skyddsmål

I detta arbete kommer i huvudsak två kriterier att beaktas. Dels kommer brandgaslagrets höjd/tjocklek och dels brandgaslagrets temperatur att studeras. Dessa två kriterier är ofta intressanta på grund av att de visar om det föreligger risk för övertändning, om utrymning alternativt räddningstjänstens möjligheter att lokalisera branden försvåras.

Vid analytisk lösning måste brandgaslagrets tjocklek bedömas utifrån vilka skyddsmål som lokalen i fråga bör uppfylla. Med skyddsmål menas här en definierad största skada som en verksamhet kan tänkas klara utan att t. ex. produktionen avstannar helt. Som exempel kan nämnas att för ett lager kan det vara förödande om brandgaslagret hamnar i höjd med lagervaror då risk för utbredd antändning föreligger. Även räddningstjänstens möjlighet för att göra en lyckad insats beror mycket på hur utbrett brandgaslagret är. Om det har nått golvnivå när räddningstjänsten anländer kommer det vara svårt att lokalisera brandhärden och släckningsarbetet kan då fördröjas på grund av detta. Genom beräkningar kan en väl avvägd brandgasventilation minska problem som dessa. Ett mått som ofta används för kritisk höjd med avseende på personsäkerhet är  $H_{krit.} = 1,6 + H_{Lokal} * 0,1$ .<sup>13</sup> I detta kriteriet erhålls även en punkt som är viktig vid egendomsskydd, dvs. möjligheten för räddningstjänsten att snabbt lokalisera och bekämpa branden. Om människor utan skyddsutrustning kan utrymma utan att ådra sig allvarliga skador är det möjligt för räddningstjänsten med sin utrustning att ta sig in i byggnaden i fråga. Vid snabba brandförlopp kan det vara svårt för räddningstjänsten att komma på plats innan höga temperaturer och strålningsnivåer uppnåtts. De varma brandgaserna måste då ventileras ut för att öka möjligheterna till insats.

---

<sup>12</sup> Meddelande 1975:6 från Statens brandnämnd.

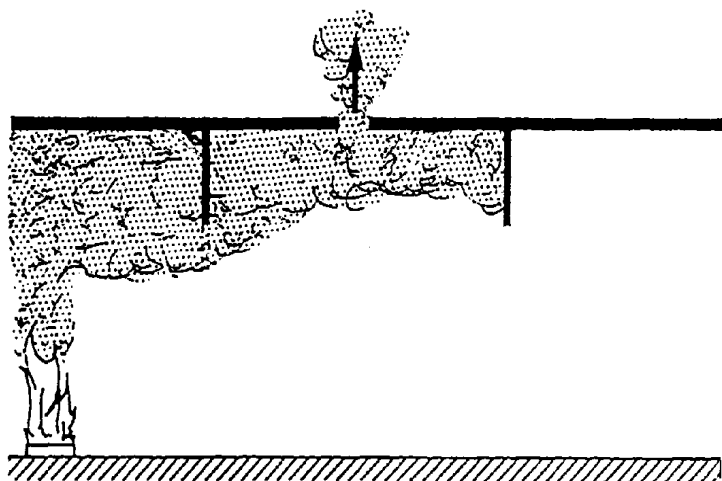
<sup>13</sup> Se not 1.

Även i SBFs metod anges brandgasernas tjocklek som en begränsning. Genom att använda flamskärmar eller naturliga avgränsningar som väggar, takbalkar eller dyl. indelas given lokal i riskzoner där brandgaserna skall hålla sig inom. Skillnad görs mellan djupa och grunda flamskärmar. Djupa flamskärmar bör om möjligt vara två meter höga och ha underkanten minst tre meter över golvnivå medan de grunda skärmarna bör vara minst 0,5 meter höga.

Kriterier för funktionsbaserad dimensionering medger ofta större utbredning av brandgaser i höjddled jämfört med SBFs rekommendationer. Beroende på vad som lagras i lokalen är det möjligt att sätta skarpare krav på hur långt ner brandgaserna får utbreda sig men minimikravet för utrymning bör alltid tillgodoses.

Då det gäller brandgaslagrets temperatur är det intressant huruvida det finns risk för övertändning i lokalen eller ej. Om t. ex. strålningsnivån från brandgaslagret mot golvet är  $15 - 20 \text{ kW/m}^2$  eller att det har en temperatur mellan  $500 - 600 \text{ °C}$  kan det antas att övertändning skett inne i en lokal.<sup>14</sup> Det är alltid bra att göra en inventering av vilket material som lagras då antändningstemperaturer skiljer sig material emellan. Strålningsvärmen från brandgaslagret kan orsaka bred spridning av brand vid andra temperaturer varför individuella bedömningar bör göras från fall till fall.

En annan aspekt är brandgasspridning till andra delar av en byggnad. Om brand uppstår i ett utrymme är det ofta ett önskemål att begränsa spridning av brand och brandgaser till intilliggande byggnadsdelar. I vissa fall löses det med att inte låta brandgaslagret nå under en viss bestämd nivå som kan styras av t. ex. avgränsande flamskärm el. dyl. Se figur 1.

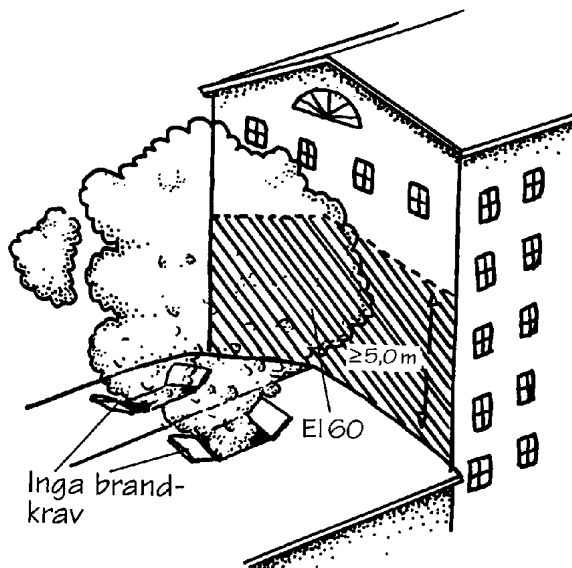


Figur 1. Beskrivning av avgränsning med flamskärmar eller liknande.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Jönsson R., Frantzich H., Karlsson B., Magnusson S. E., Ondrus J., Pettersson O., Bengtsson S., Osterling T., Thor J., "Brandskydd - Teori och praktik", Brandskyddslaget, Stockholm, 1994.

<sup>15</sup> Bengtsson S., "Forskningsbehov, Brandskydd av överglasade gårdar", Brandskyddslaget, Slutrapport 1992 01 20.

Det är inte alltid förhållandena inne i en byggnad som är begränsande. Även där varma brandgaser släpps ut måste en bedömning göras huruvida de kan sprida brand till ovan placerade byggnadsdelar.



Figur 2. Risk vid utsläpp av varma brandgaser.<sup>16</sup>

## 2.4 Vilka krav för till-/frånluft?

Det finns inga egentliga krav för hur till- respektive frånluft skall utformas eller vilka mått de skall ha. I SBFs rekommendationer finns en tumregel som säger att tillluftens yta skall vara lika stor eller större än den beräknade frånluftens yta. Även nämns att tillluftsöppningar skall kunna öppnas manuellt från byggnadens utsida.

För analytiska lösningar är det endast de förbestämda kriterierna som styr vilken storlek brandventilatorerna skall ha. Klarar de antagna öppningarna de ställda kraven är lösningen godtagbar. Något som kan finnas i åtanke är att tillluftsöppningarnas övre kant skall placeras under eller i höjd med den lägsta nivå som brandgaslagret får gå ner till. Enligt avsnittet 3.5 "Typfall för analys av  $A_E$  och  $A_D$ " visade simuleringar att det är viktigare att i ett tidigt stadie få tillgång till maximal frånluft vartefter tillluftsöppningarna kan kompletteras manuellt med hjälp av räddningstjänsten eller vaktstyrka.

För att vara säker på att ventilationen fungerar vid brand bör om möjligt tillräckligt med tillluftsöppningar vara placerade i varje väderstreck. Detta på grund av att rådande vindförhållanden lätt kan få brandgasventilationen ur funktion. Att en sådan lösning skulle genomföras är dock föga troligt då det ger orimliga kostnader, men vid nybyggnation kan det vara möjligt att påverka placeringen av fönster och dörrar utan att kostnaderna blir alltför stora. Vid ombyggnation kan det däremot vara mer problematiskt då nya håltagningar i en befintlig fasad är förknippade med relativt höga kostnader.

<sup>16</sup> Svenska Brandförsvärsföreningen, SBF, "Brandskydd i Boverkets byggregler BBR", Stockholm, 1999.

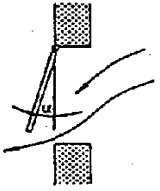
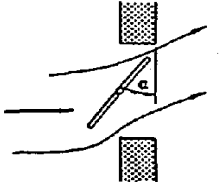
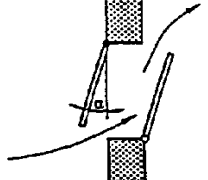
Om tilluftsarean ( $A_D$ ) är relativt liten i förhållande till frånluftsarean ( $A_E$ ) bildas en högre flödes hastighet över  $A_D$  för att kompensera massflödet. Trycket över de dörrar som befinner sig under brandgasskiktets nivå kan då bli så stort att det blir svårt att öppna dem. I BBR ges råd om att kraften för att öppna en dörr i utrymningsväg inte bör överstiga 130 N anbringad på normala öppningsanordningar.

## 2.5 Strömningskoefficient ( $C_v$ ) och massflöde

En viktig del i ventilationens effektivitet är strömningskoefficienten ( $C_v$ ). Den beskriver med vilken andel av bruttoarean det går att räkna som effektiv area av till- respektive frånluft. Beroende av vilka former de tänkta öppningarna har är strömningskoefficienten olika. Vanligtvis brukar  $C_v$  antas vara mellan 0,5 och 0,7.<sup>17</sup>

---

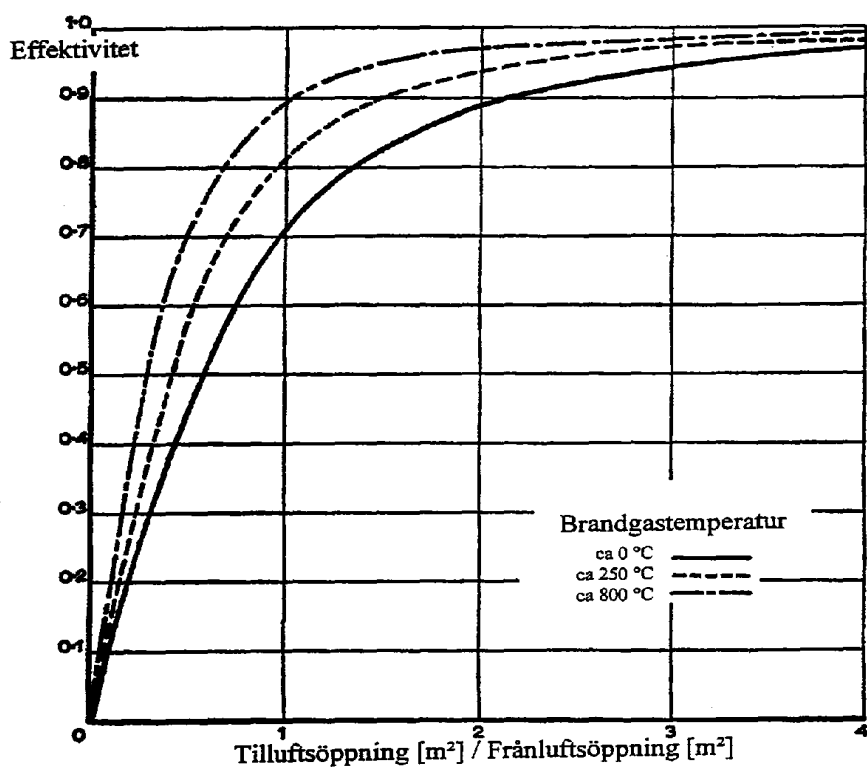
<sup>17</sup> Magnusson S. E., "Rökspridning i byggnader: Kunskapsöversikt och forskningsbehov", Rapport LUTVDG/(TVBB-3013), Lund, 1983.

Fönstertyp	Öppningsvinkel	Normal	Fönster-
		Höjd: Bredd 1:2	band Höjd: Bredd 1:∞
	$\alpha^\circ$	$\phi$	$\phi$
Enkelt fönster Avluft		15	0,18
		30	0,34
		45	0,50 (Ex)
		60	0,55
		90	0,63
Svängbart fönster Luftintag		15	0,13
		30	0,27
		45	0,39
		60	0,56
		90	0,61
Dubbelt fönster Luftintag		15	0,13
		30	0,24
		45	0,34
		60	0,43
		90	0,60

Figur 3.  $C_v$  för olika upphängningar för öppningar i fasad.<sup>18</sup>

<sup>18</sup> Se not 15.

Temperaturen har stor inverkan över massflödet vid termisk stigkraft (buoyancy force). I nedanstående figur visas andelen av massflödets effektivitet som funktion av temperaturen. Massflödet har sitt maximum när temperaturen är ca 270 °C över omgivande temperatur. Då  $\Delta T$  går under 75 °C minskar flödet genom en ventilationsöppning avsevärt. Se figur 4.

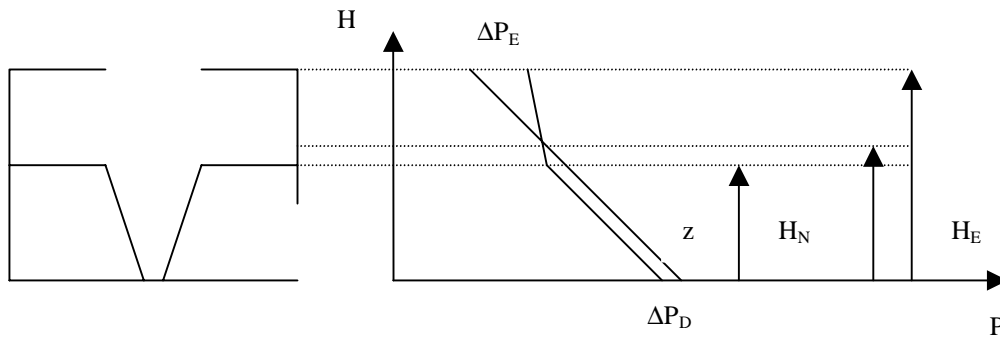


Figur 4. Temperaturens inverkan på massflödet genom ventilationsöppning.<sup>19</sup>

## 2.6 Tryckskillnaden över till- respektive frånluftsöppningar

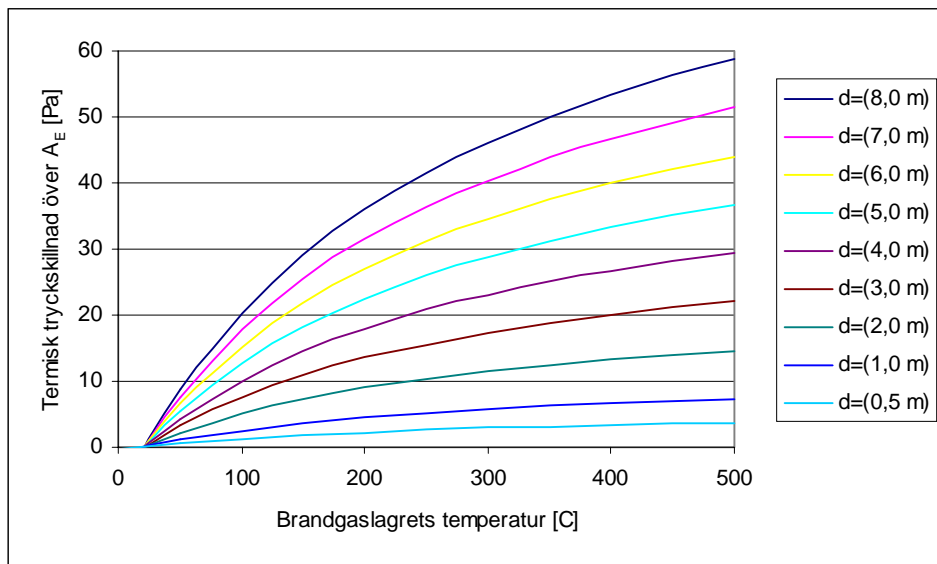
Tryckförhållandena över respektive öppning skiljer sig från varandra. Genom att studera brandgaslagrets tjocklek och temperatur är det möjligt att ge ett teoretiskt uttryck för tryckskillnaden ( $\Delta P_E$ ) över frånluftsöppningen.

<sup>19</sup> Bengtsson L. G., Karlsson B., Särndqvist S., "Brandventilation i teori och praktik", SRV, Karlstad, 1996.



Figur 5. Tryckförhållanden över öppningar för till- och frånluft.  $H_N$  och  $H_E$  –höjd på neutrallager och frånluftsöppning,  $z$  –brandgaslagrets höjd,  $\Delta P_D$  och  $\Delta P_E$  – tryckskillnaden över till- och frånluftsöppning.

Genom att presentera  $\Delta P_E$  som en funktion av brandgaslagrets tjocklek ( $d$ ) och temperatur i ett diagram är det lättare att få en bild över den utveckling som råder under olika förhållanden.



Figur 6. Tryckskillnad över frånluftsöppning vid varierande tjocklek på brandgaslager.

Med hjälp av detta uttryck är det sedan möjligt att beräkna ett approximativt värde för  $A_E$ . I kapitel 3.4 beskrivs denna metod utförligare.

## 2.7 Olika takhöjders inverkan för val av aktiveringsmekanism

I lokaler där takhöjden är relativt stor blir brandgasernas temperatur sällan hög. Det beror på att mycket luft blandas in i plymen när röken stiger mot taket. Vid sådana förhållanden är troligtvis en rökdetektorlösning att föredra framför termisk aktivering för att om möjligt kunna använda sig av brandgasventilation även under icke arbetstid. Om lokalen däremot har relativt låg takhöjd blir brandgaserna varma eftersom luftinblandningen är liten och smältbleck kan då vara ett alternativ till rökdetektion. En annan aspekt på val av utlösningsmekanismer är risk för falsklarm. Låga takhöjder innebär att möjligheten till luftinblandning är mindre. Svetsarbeten ger då en stor risk för falskutlösning. Rökdetektorer

kopplade till två olika system kan då vara att föredra. Om brandgasventilation endast är avsedd för att underlätta utrymning är en rökdetektorstyrd lösning att föredra.

## 2.8 Samverkan mellan sprinkler och brandgasventilation

Samverkan mellan sprinkler och brandgasventilation är ett område som är svårt vid dimensionering. Denna samverkan har debatterats en längre tid utan att några egentligt konkreta svar framkommit. SP-Brandteknik har utfört en serie fullskaleförsök för att utreda samverkan mellan sprinkler och brandgasventilation.<sup>20</sup>

I dagsläget dimensioneras de båda systemen oberoende av varandra. Sprinklersystem regleras efter försäkringsbolagens "Regler för automatisk vattensprinkleranläggning" RUS 120:4 och brandgasventilation utformas t. ex. efter SBFs rekommendationer eller genom analytiska beräkningsmetoder. Dock saknas det en utförlig redovisning av kopplingen mellan de båda brandskydden. Då båda systemen installeras anger RUS 120:4 och SBFs rekommendationer att sprinklern bör utlösa först genom att ha utlösningstemperaturen 20 - 30 °C högre för brandgasventilationen samt ett högre RTI-värde.

Ur säkerhetssynpunkt fungerar de båda systemen bra, separat installerat i byggnader. Det är svårt att säga att fördelen med båda systemen bibehålls om de används samtidigt. Om en fastighetsägare blir rekommenderad installation av både sprinkler och brandgasventilation borde denne kunna kräva redovisning av fördelen av denna kombination. Tyvärr finns inte det utrett i tillräcklig utsträckning för att kunna redovisa samverkan mellan systemen.<sup>21</sup>

Problemställningen som uppstår vid dimensionering är att om sprinklersystemet aktiveras först kommer det att sänka temperaturen på brandgaserna. Det får till följd att ett senare aktiverat system för brandgasevakuering fungerar sämre på grund av att brandgaserna förlorat en del av sin termiska stigningskraft samt att vattenflödet från sprinklerna skapar turbulens och sprider brandgaserna i lokalen i fråga. Om däremot brandgasevakueringen aktiveras först är det stor risk att många av sprinklerhuvudena inte får den temperaturökning som krävs för aktivering. Detta innebär att sprinklersystemet ej får den verkningskraft som dimensionerats för. Kontentan av detta resonemang är att i dagsläget är kunskapen om samtidig användning av sprinkler och brandgasventilation begränsad. Vad som bör tänkas på är vilket skyddsmål varje enskilt objekt skall uppfylla och utifrån det göra bedömningar huruvida sprinkler eller brandgasventilation skall användas.

## 2.9 Vindpåverkan

Vid termisk brandventilation kan förhållandena förändras avsevärt beroende på om byggnaden utsätts för kraftig vind eller ej. De flesta byggnader har någon form av otätheter, t. ex. fönster, dörrar, fasader av korrugerad plåt etc. Dessa otätheter kan ha stor effekt på hur rökspridningen i byggnaden utvecklas.

---

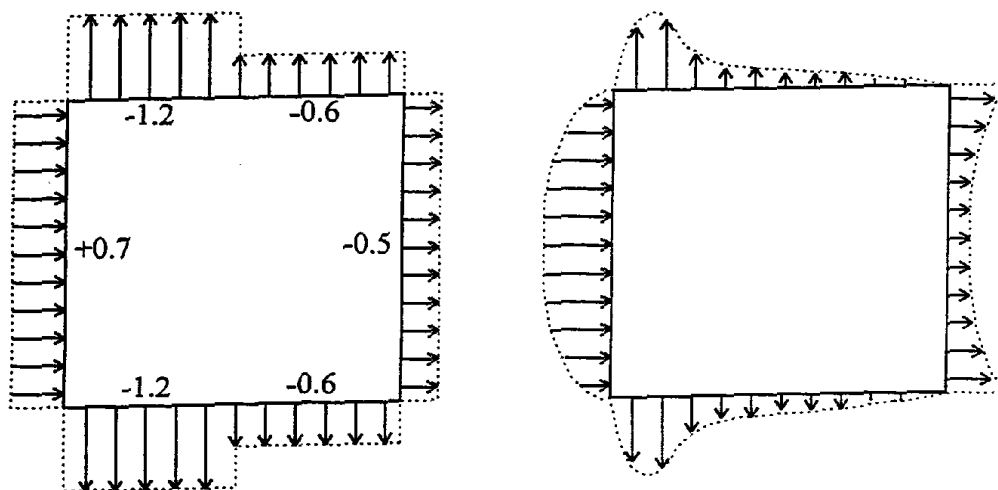
<sup>20</sup> Ingason H., Persson B., "Modelling of interaction between sprinkler and fire vents", SP report 1996:32, Borås.

<sup>21</sup> Se not 20.

Vindriktning och hastighet skiljer sig beroende av omgivningens utseende. Vid öppna landskap blir vindpåverkan relativt jämn över hela fasaden medan i bebyggt område kan turbulens skapa en varierande tryckbild. Vid känsliga byggnationer kan det vara värt att ha detta i åtanke då placeringen av både till- och frånluftsöppningar skall göras.

För att få bästa möjliga effekt av brandventilation bör tilluftsöppningarna sitta på vindsidan, vilket därmed skapar en naturlig tryckökning i byggnaden, och frånluftsöppningarna på läsidan.<sup>22</sup> För att det skall vara möjligt att göra dimensionering med denna valmöjlighet bör tilluftsöppningar placeras så att varje sida har tillräcklig kapacitet i form av öppningar för att klara det första skedet i brandgasevakueringen. En sådan lösning är dock inte vanlig på grund av kostnadsaspekter, men om de finns med i tankegången är det möjligt att påverka i tidigare stadier under projekteringen.

Kompletterande tilluft kan öppnas av räddningstjänsten då de kommer på plats vilket förutsätter goda instruktioner i insatsplaner samt att insattiden inte är alltför lång. För att få ut det bästa av den initierande tilluften kan en analys av den mest sannolika vindprofilen för just det området göras. Detta förfaringsätt är vanligt för spridningsberäkningar för kemiska utsläpp.



Figur 7. Vindpåverkan på byggnader.<sup>23</sup>

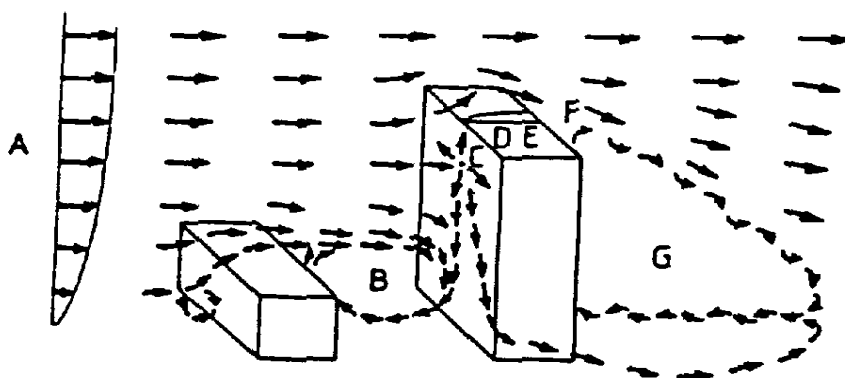
<sup>22</sup> Ingason H., Persson B., "Effects of Wind on Natural Fire Vents", SP Report 1995:04, Borås.

<sup>23</sup> Se not 19.

När det gäller frånluftsöppningar bör de placeras på läsidan eller åtminstone horisontellt på byggnadens tak. Detta för att undvika att övertryck skapas i frånluftsöppningen vid blåst. Om det inte är möjligt att utföra detta bör liksom tidigare nämnt en analys av vindförhållanden på plats göras för att erhålla det effektivaste alternativet.<sup>24</sup> Det tryck som vinden utövar mot en vertikal vägg kan beskrivas som

$$\Delta p = 0,5 c_v \rho_a v^2 \quad (1)$$

$c_v$  är en formfaktor,  $\rho_a$  är luftens densitet och  $v$  är vindens hastighet. Formfaktorn beror av byggnadens geometri och exempel på dimensionerande värden hur den varierar kan utläsas enligt nedanstående figur. Värdet 1 motsvarar fullt övertryck och  $-1$  fullt undertryck. De värden som går utanför dessa gränser (1,2 och  $-1,2$ ) representerar säkerhetsmarginaler som används vid dimensionering. Vindpåverkan skapar nästan alltid undertryck på horisontella ytor vilket är fördelaktigt för takplacerad brandgasventilation. Däremot uppstår både under- och övertryck på vertikala ytor.<sup>25</sup>



Figur 8. Strömningsförhållanden på olika delar av byggnad.<sup>26</sup>

Exempel:

Om en vindhastighet på 2 m/s antas samt att luftens densitet är  $1,2 \text{ kg/m}^3$  kommer tryckskillnaden att uppgå till

$$\Delta p = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 2^2 = 2,4 \text{ kg/ms}^2 = 2,4 \text{ Pa}$$

Således kan tryckskillnaden variera mellan 2,4 och  $-2,4 \text{ Pa}$  för en byggnad då vindhastigheten är 2 m/s. Eftersom trycket är beroende av vindhastigheten i kvadrat kommer en ökning av vindhastigheten med en faktor fem till tio meter per sekund att skapa tryckförhållanden på 60 Pa. Det är 25 gånger mer än det första exemplet.

<sup>24</sup> Se not 22.

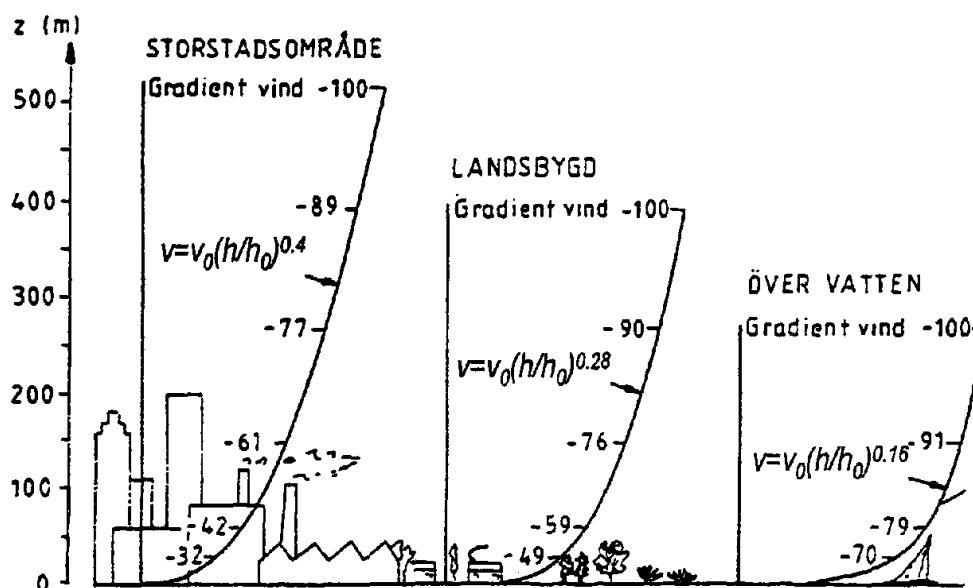
<sup>25</sup> Se not 19.

<sup>26</sup> Se not 17.

Beroende av ytans beskaffenhet varierar vindhastigheten. Friktionen som olika typer av markprofiler skapar har ett visst förhållande mot höjden som vindhastigheten önskas beräknas över. Vindhastigheten på en viss höjd kan beskrivas genom följande förhållande

$$v = v_0 (h/h_0)^n \quad (2)$$

$n$  kan sättas till 0,16 för plana ytor och 0,3 för ytor som utgörs av t. ex. stora byggnader.<sup>27</sup> Hur vindprofilen varierar kan utläsas ur nedanstående figur.



Figur 9. Vindprofilens variation beroende av markytans utseende.<sup>28</sup>

## 2.10 Krav på dokumentation

I och med införandet av funktionsbaserade föreskrifter har möjligheterna till alternativa lösningar för en byggnads brandskydd ökat. Innan BBR infördes fanns dock visst utrymme för lösningar baserade på analytiska beräkningar men föreskrifterna i form av NR begränsade denna möjlighet avsevärt.<sup>29</sup> För att det skall vara möjligt att kontrollera huruvida den alternativa lösningen är likvärdig ur säkerhetssynpunkt framgår ett klart behov av att dokumentationen av lösningen är väl beskriven. Vad en sådan dokumentation skall innehålla finns inte presenterat i klartext utan det är upp till ansvarig ingenjör att se till att vara tillräckligt utförlig. Den instans som godkänner avvikelser från BBR är byggnadsnämnden. Byggnadsnämnden anlitar en fristående sakkunnig, om behov finns, för att bedöma om lösningen kan godkännas eller ej.

Om det skall vara möjligt att utföra en värdering av säkerhetsnivån i byggnaden måste ett antal parametrar finnas representerade i t. ex. en brandskyddsdokumentation. Vilka dessa

<sup>27</sup> Se not 19.

<sup>28</sup> Se not 19.

<sup>29</sup> Boverket, "Utvärdering av ändringar i byggregleringen: Brand", Boverket Rapport 1997:9.

parametrar är måste avgöras från fall till fall och nedan räknas några av de parametrar som är väsentliga för SBFs metod samt för en analytisk lösning upp.

### *SBF*

För att kunna gå tillbaka och kontrollberäkna en dimensionering utförd med SBF:s metod bör följande parametrar vara presenterade i en dokumentation:

- är lokalen sprinklad eller ej,
- om lokalen är osprinklad bör den beräknade insatstiden för räddningstjänsten anges,
- vilken verksamhet används lokalen till (riskklass),
- lagrat material och till vilken höjd lagring sker,
- lokalens höjd.

### *Analytisk lösning*

De faktorer som bör kännas till skiljer sig inte helt från ovanstående metod. Om beräkningar utförts genom simuleringar är det viktigt att känna till följande punkter för att ha möjlighet till kontrollberäkningar:

- lokalens geometri samt vilket material som använts i väggar och tak
- vilken brand som har varit dimensionerande, t. ex. genom tillväxtfaktor, maxeffekt och tid,
- storleken på brandventilatorer,  $A_D$  och  $A_E$ .

Utifrån ovanstående indata är det möjligt att i efterhand göra en bedömning av dels de grundläggande antaganden som genomförts och dels vilka resultat dessa antaganden ger. Detta kan vara användbart vid t. ex. brandorsaksutredningar för att se om de brandskyddsåtgärder som projekterats varit tillräckliga eller ej.

### 3 BRANDGASVENTILATION

Vid brand är det således önskvärt att på ett snabbt och smidigt sätt få bort de varma brandgaserna från objektet för att på så sätt förbättra förhållandena inne i byggnaden. Det finns ett antal sätt detta kan genomföras på och i huvudsak kan metoderna delas upp i två huvudmetoder:

- termisk brandgasventilation,
- mekanisk brandgasventilation.

Den huvudsakliga skillnaden är att vid termisk brandgasventilation utnyttjas brandgasernas termiska stigkraft för att åstadkomma att utrymmet töms på varma gaser. Vid mekanisk ventilation utförs det arbetet av en värmefålig fläkt som för ut den varma röken.

#### 3.1 Termisk brandgasventilation

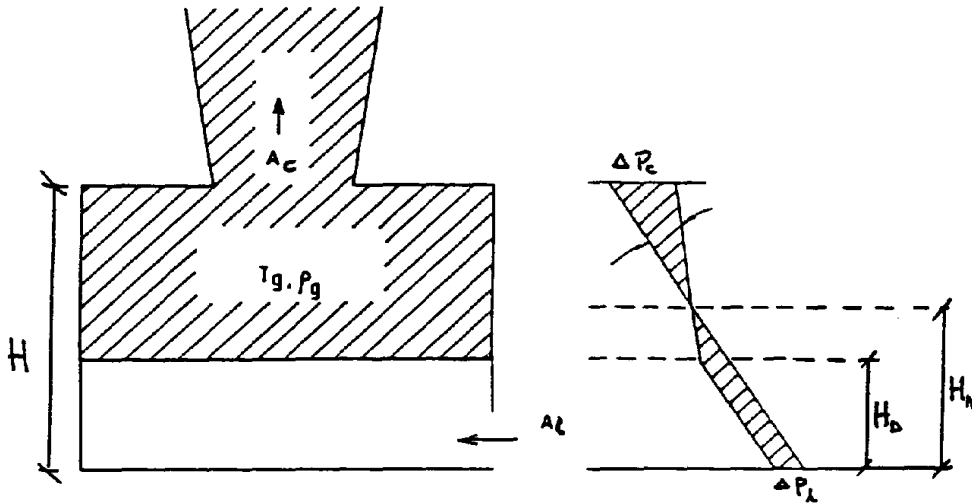
Vid utformandet av en byggnads brandskydd väljs brandtekniska skyddsanordningar av olika orsaker, beroende på vad lokalen i fråga används till. I en lagerlokal är kanske inte personsäkerheten det som dimensioneringen skall vara avsedd för, utan där gäller i stället egendomsskydd. Vid sådana tillfällen är det möjligt att en lösning som bygger på termisk ventilation är fullt tillräcklig för att uppnå den säkerhetsnivå som önskas. Det är även möjligt att den är mer kostnadseffektiv då det inte behövs en investering i ett fläktsystem.

Vid bränder i lagerlokaler utvecklas ofta en stor mängd energi på grund av den stora mängd brännbart material som finns tillgänglig. För att minska förödelsen av branden är behovet att ventileras bort de varma brandgaserna stort. Även för att undvika spridning till närliggande bebyggelse genom strålning behövs ventilering av byggnaden. För att det skall vara möjligt att genomföra en lyckad ventilering av en stor brand behövs det väl tilltagna öppningar både för tilluft ( $A_D$ ) och frånluft ( $A_E$ ).

En annan aspekt är att säkra utrymningen av en lokal eller för att förhindra övertändning. Även då måste de varma brandgaserna ventileras ut. För att hålla brandgasskiktet på en bestämd nivå måste massflödena in genom tilluftsöppningarna (t. ex. portar, dörrar, fönster m. m.) vara samma som ut genom taköppningarna vilket även gäller för masstransporten mellan de två lagren. Då en viss höjd önskas på brandgaslagret är det vanligt att beräkna vilket massflöde som sker i plymen vid den höjden. Lika stor mängd brandgas som transporteras i plymen vid den höjden måste transporteras ut genom taköppningar för att undvika en nettoökning av brandgaslager.

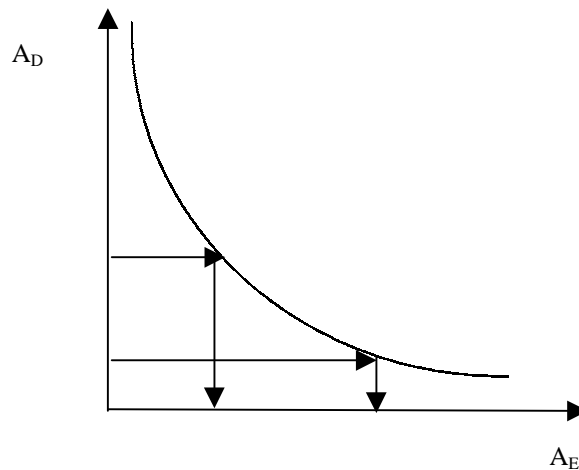
Termisk brandgasventilation bygger på de tryckskillnader som uppstår i den lokal som är utsatt för brand. Skillnader i tryck uppkommer på två sätt. I ett tidigt stadie av branden tar de varma gaserna i lokalen upp större volym på grund av termisk expansion. Detta orsakar att både kall och varm luft pressas ut ur lokalen. Detta stadie tas ofta inte hänsyn till då det har ett kort tidssteg. I ett senare skede då t. ex. öppningar har skapats i taket uppstår en jämvikt mellan till- och frånluft. Massbalansen ger då att massflödet in till lokalen i fråga ( $m_D$ ) skall vara lika som massflödet ut från samma lokal ( $m_E$ ), d.v.s.  $m_D = m_E$ , se figur 1. För att det skall vara möjligt att definiera ett uttryck för massflöden genom öppningar måste först rådande

tryckförhållanden redogörs för. Utförligare genomgång av tillvägagångssättet finns i t. ex. Enclosure Fire Dynamics<sup>30</sup> samt i appendix A.



Figur 10. Tryckfördelning över öppningar i ett brandrum.<sup>30</sup>

Vid jämförelse mellan till- och frånluft visar det sig att inom vissa områden hjälper det inte hur mycket t. ex. tilluften ökas, förhållandet i lokalen blir ändå inte något bättre. För att få det mest avvägda och effektiva måttet bör storleken på de båda öppningarna ligga i ett visst område där de är relativt lika i storlek. Se figur nedan:



Figur 11. Förhållandet mellan tilluft ( $A_D$ ) och frånluft ( $A_E$ ).

<sup>30</sup> Se not 8.

Några av de nackdelar som kan nämnas med termisk ventilation är bl. a.:

- vindförhållanden skapar övertryck/undertryck vid de öppningar som är tänkta till att ventilera ut brandgaser genom alternativt släppa in tilluft genom,
- för små öppningar för till-/frånluft gör att effektiviteten av ventilationen minskar,
- takplacerade luckor som skall fungera på avsett sätt även under vintertid då snö kan ställa till problem.

## 3.2 Mekanisk brandgasventilation

Mekanisk brandventilation kan också vara en lösning för vissa byggnaders brandskydd. Den största skillnaden mellan mekanisk- och termisk brandventilation är på vilket sätt brandgaserna transporteras ut. Som beskrevs i tidigare avsnitt transporteras brandgaserna med hjälp av den termiska stigkraften för termisk ventilation. Vid mekanisk ventilation skapas ett undertryck i berörd del av byggnaden med hjälp av ett fläktsystem istället. Likheten metoderna emellan är att tillgång på tilluft måste finnas för att anordningarna skall fungera.

Fördelen med en mekanisk lösning är att den kräver mindre utrymme med avseende på frånluftsöppningar för att fungera på önskat sätt. Det kan vara en viktig aspekt vid dimensionering. Nackdelen är att det är relativt kostsamt att installera ett sådant system. Det finns även en svaghet i att inga driftstörningar får uppstå på fläktsystemet. Det medför att strömförsörjningen måste säkras genom någon form av brandteknisk åtgärd, t. ex. att strömförsörjningen sker från annan brandcell med klassad elkabel. Dock kommer inte mekanisk brandgasventilation vidare behandlas i detta projekt.

## 3.3 Dimensionering av termisk brandgasventilation

Genom åren har utvecklandet av ett antal beräkningshjälpmedel i form av handberäknings- och datormodeller gjort att det finns större chans att utnyttja de möjligheter till alternativa lösningar som funktionsbaserade föreskrifter ger. Med dessa hjälpmedel är det nu möjligt att med analytiska beräkningar skapa ett brandskydd som uppfyller de mål som ges i BBR. Tidigare utfördes brandskyddet på ett lite annorlunda sätt. Genom preskriptiva regler styr Nybyggnadsreglerna utformningen av brandskyddet vilket resulterar i en konstruktionslösning som skall klara en viss säkerhetsnivå. Det är inte otillåtet att använda sig av NR men föreskrifterna är oflexibla vilket medför att de i nuläget i stort sett aldrig tillämpas vid nybyggnationer.<sup>31 32</sup>

Vid utformandet av brandgasventilation som lösning styrs dimensioneringen av öppningarnas storlek av ett antal kriterier. Dessa kriterier beskriver t. ex. hur långt ned brandgaslagret kan tillåtas nå, vilken temperatur som brandgaslagret får ha m. m. Sådana kriterier beskrevs i ett tidigare kapitel (kapitel 2.3) varför de inte diskuteras närmare här. När väl dessa kriterier är

---

<sup>31</sup> Karlsson B., Magnusson S. E., Frantzich H., "Brandteknisk dimensionering utifrån funktionsbaserade regler", NKB Utskotts- och arbetsrapporter 1996:05, ISBN 951-53-0922-0.

<sup>32</sup> Se not 29.

bestämda ligger sedan beräkningar till grund för mått och placering av öppningar i byggnaden. Det förekommer handberäkningsmetoder, schablonmetoder och datorbaserade metoder. För att få en bild av vad de innebär beskrivs nedan i korthet några av dessa.

#### *Handberäkningsmetoder*

En av dessa metoder baseras på en handberäkningsmodell framtagen av Tanaka och Yamana<sup>33</sup>. Denna bygger på ekvationer som gäller för det s k "steady state", d. v. s. då brandgaslagret stabiliserat sig på en bestämd nivå över markplanet. Med hjälp av dessa ekvationer beräknas storleken på till- respektive frånluft som krävs för de valda förhållandena. Något som bör finnas i åtanke vid användandet av denna modell är att stationära förhållanden antas, dvs effektutvecklingen hålls konstant och att jämvikt råder mellan de massflöden som figurerar i lokalen. Detta medför att brandgaslagret befinner sig på en konstant nivå över golvet. Eftersom ett brandförlopp i allra högsta grad inte är stationärt kompenseras ekvationerna något i Tanakas och Yamanas metod genom ett iterativt förfaringssätt där förändringar i t. ex. brandgaslagrets höjd och temperatur ändrar öppningarnas storlek, se appendix C.

#### *Schablonmetoder*

En schablonmetod kan kort beskrivas som att t. ex. viss andel (i procent) av utrymmets nettoarea skall vara rökluckor vid viss brandbelastning. Om sprinkler installeras kan andelen rökluckor minskas.<sup>34</sup> Denna form av dimensionering är givetvis mycket tidseffektiv men snabbt inses även att den kanske är alltför generell.

Även en metod framtagen av SBF används vid dimensionering av brandgasventilation.<sup>35</sup> Den är upplagd som ett tabellunderlag där givet objekt passas på in bästa sätt för att erhålla ett dimensionerande mått på yta för frånluft ( $A_E$ ). Metoden bygger till viss del på de sprinklerregler som gällde vid tidpunkten för utformandet. Det som talar för detta förfaringssätt är att det är relativt enkelt att följa och det tar inte lång tid att genomföra en dimensionering. Nackdelen är att det är svårt att få en överblick över vad som sker under beräkningsgången.

#### *Datorsimuleringsmetoder*

Ett antal datorbaserade beräkningsprogram finns också att tillgå vid dimensionering av öppningars storlek. Vanligt förekommande är CFAST som är utarbetat av National Institute of Standards and Technology, NIST.<sup>36</sup> Det bygger på en tvåzonsmodell där det övre lagret är varmt och det undre lagret är rumstempererat. För en enkel beskrivning av denna modells beräkningsgång kan sägas att ekvationer för massbalansen och energins bevarande löses parallellt under alla de tidssteg som är önskat att utvärdera. För att erhålla måtten på till- respektive frånluft måste passningsräkning utföras till dess att önskad nivå på brandgaslagret erhållits. Detta sätt att bearbeta dimensioneringsförfarandet skiljer sig avsevärt från ovan beskrivna handberäkningsmodeller där varje beräkning måste utföras som ett fixt värde i tiden. Datorbaserade modeller tillåter fler komplexa beräkningar under varje tidssteg vilket ger större precision på beskrivningen av det fiktiva brandförloppet.

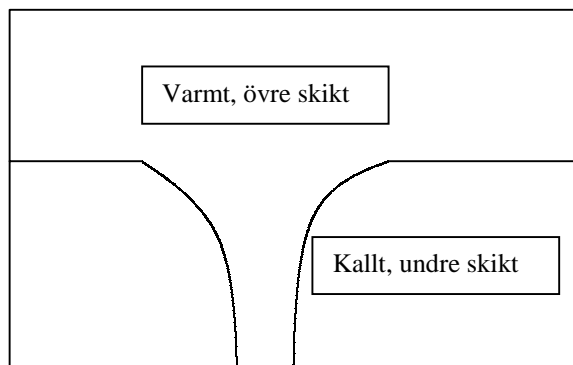
---

<sup>33</sup> Se not 4.

<sup>34</sup> Se not 1.

<sup>35</sup> Se not 7.

<sup>36</sup> Se not 3.



Figur 12. Två-zonsskiktning i rum.

Då det gäller datorbaserade simuleringsprogram är det viktigt att ha i åtanke på vilket sätt de är jämförbara med verkliga förhållanden. De är konstruerade för att beskriva det förlopp som utvecklas i en rumsbrand. Genom att jämföra simuleringsresultat med fullskaleförsök kunde det konstateras att modellerna beskriver förloppet bra jämfört med verkligheten.<sup>37</sup> Fullskaleförsöken utfördes dock inte i stora lokaler som det ofta rör sig om vid lagerbyggnader. Därför är det viktigt att kritiskt bedöma de resultat som faller ut från körda simuleringar. Dock skall det påpekas att det är det mest användarvänliga hjälpmedel som finns att tillgå för närvarande och det kommer att användas i detta projekt.

Några begränsningar som är viktiga att komma ihåg vid användandet av CFAST är att programmets modeller inte ger tillförlitliga resultat efter att t. ex. övertändning uppstått i brandrummet. Kriterier för övertändning är bl. a. att temperaturen i det övre brandgaslagret uppnår 500 – 600 °C och att strålningsintensiteten mot golvet är mellan 15 – 20 kW/m<sup>2</sup>.<sup>38</sup> De resultat som erhålls efter att dessa kriterier uppstått skall användas med stor försiktighet. Om branden bedöms vara liten i förhållande till lokalen finns det risk att tvåzonsskiktning inte bildas och att brandgaserna stannar på halva lokalens höjd eller blandas homogent i lokalen. Det kan innebära att brandgasventilation inte fungerar. Detta fenomen tar inte CFAST hänsyn till utan ger resultat som om det bildas en perfekt tvåzonsskiktning. Stora takytor bör sektioneras i ett jämt antal delar med fiktiva balkar för att skapa en tidsram som bättre stämmer överens med verkligt förlopp. Detta beror på att brandgasspridningen i datormodellerna sker momentant från brandhärden upp till taket och sedan vidare ut mot angränsande väggar. I ett verkligt fall tar det en viss tid för brandgaserna att transporteras mellan golvnivå och tak samt ut mot befintliga väggar varför det kan vara på sin plats med en viss tidsförskjutning.

### 3.4 Närmevärde för öppningsarea vid dimensionering

När dimensionering med analytiska handberäkningar skall utföras måste, som tidigare beskrivits, passningsräkning ske fram till de ytor som skall utgöra till- och frånluft. I det första skedet antas därför ett mått på till- och frånluften. Resultaten utifrån detta första antagande får sedan ligga till grund för efterföljande simuleringar fram till mått på öppningar

<sup>37</sup> Se not 3.

<sup>38</sup> Se not 14.

som klarar de tidigare ställda kriterierna. Detta sätt kan ta tid om det första antagandet ligger långt utanför de mest riktiga dimensioneringsalternativen. Således är det önskvärt att ha ett sätt som ger en bra första "gissning".

Genom att studera de teoretiska uttrycken för tryckskillnaden över  $A_E$  och kombinera dessa med Tanaka och Yamanas metod är det möjligt att erhålla den area på  $A_E$  som bör klara ett stationärt förhållande med en viss tjocklek och temperatur på brandgaslagret. I appendix E presenteras ett diagram över den termiska tryckskillnaden över taköppning. Det är konstruerat ur ekvationen

$$\Delta P_E = 353 \cdot g \cdot (H_E - H_N) \left( \frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_g} \right) \quad (8)$$

Från Tanaka och Yamanas teori förhåller sig massflödet genom taköppning som

$$\dot{m}_E = C_d \cdot A_E \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_g \cdot \Delta P_E} \quad (9)$$

Massflödet kan uttryckas med det plymflöde branden skapar och beskrivas med t. ex. en plymekvation av Zukoski<sup>39</sup>

$$\dot{m}_p = 0.071 \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad (10)$$

Ur dessa ekvationer löses  $A_E$  ut vilket medför att ett uttryck för taköppningens area som funktion av tryckskillnad över densamma erhålls.

$$A_E = \frac{\dot{m}_p}{C_d \cdot \sqrt{(2 \cdot \rho_g \cdot \Delta P_E)}} \quad (11)$$

I dessa beräkningar är det antaget att tilluftsöppningarna är stora, dvs.  $\Delta P_D \approx 0$ . Men metoden skall endast användas för att ge ett närmevärde för  $A_E$  och inte för ren dimensionering.

### 3.5 Typfall för analys av $A_E$ och $A_D$

Det är även intressant att ta reda på vilka förhållanden mellan till- och frånluft som mest effektiva ventilationsförhållanden. Genom att använda sig av ett fiktivt objekt och utifrån det göra jämförelser på vilket sätt olika förändringar i grundförutsättningarna ger resultatmässigt är det möjligt att dra slutsatser som kan vara användbara vid dimensionering. Det som söks är vilka förändringar på brandgaslagrets höjd det blir om både till- och frånluft ändras i olika variationer.

Det objekt som kommer att studeras är ett möbellager. Fullständig redovisning av beräkningar presenteras i appendix D. Analysen utförs med hjälp av CFAST.

---

<sup>39</sup> Se not 8.

### 3.5.1 Objektsbeskrivning

Utrymmet antas vara en lokal som lagrar möbler av trä vilka i sin tur är inpackade delvis i papp. Lokalen har en bredd av 43 m, längd av 50 m och höjd av 9 m. Lagringen sker i pallställage till en höjd av 7 m. Avstånden mellan lagerhyllorna är 4,5 m. Frånluften utgörs av minst 8 takluckor med en total area på 16 m<sup>2</sup>. Tilluften skall ordnas via dörrar och/eller portar i vägg och placeras på två motsatta sidor av lokalen.

### 3.5.2 Metod

Den dimensionerande branden utgörs i detta typfall av en s. k.  $\alpha t^2$  brand för enkelhetens skull. I det tidigare skedet antas att brandspridningen i huvudsak sker i vertikalt led. Vertikal brandspridning är förhållandevis snabb varför ett stort  $\alpha$  antas. Efter en tid övergår spridningen i horisontellt led vilket antas ske något långsammare och ett mindre  $\alpha$  tar över brandens tillväxthastighet. Den maximala effekten branden uppnår har antagits till ca. 26 MW. Därefter övergår branden till konstant utveckling.

För att kunna bedöma vilka parametrar som är känsliga för förändringar ändrades den maximala effektutvecklingen med  $\pm 50\%$ .

### 3.5.3 Resultat

Simuleringarna (appendix D) visar att temperaturen på brandgaslagret i stora utrymmen inte är direkt känslig för förändringar av varken effektutvecklingen eller brandventilatorernas storlek. Det beror framförallt på de stora volymer luft som blandas in i brandplymen och kyler brandgaserna innan de når takhöjd.

Vad avser brandgaslagrets höjd är det mer känsligt för förändringar. Ökad effekt ger mer brandgaser vilket i sin tur skapar tjockare brandgaslager.

Vad som är mest viktigt att ha tillgång till vid jämförelse mellan från- och tilluft är möjligt att se i detta scenario. En minskning av frånluften med 50% ger sämre förhållande än om motsvarande minskning sker av tilluften. Orsaken till det är att tryckskillnaden över tilluftsöppningen är mer känslig för öppningens storlek jämfört med tryckskillnaden över frånluftsöppningen som mer beror av vilken tjocklek och temperatur brandgaslagret har.

Det här exemplet visar att det är viktigare att se till att full tillgång på frånluft finns i ett tidigt skede av branden vartefter tilluftsöppningarna kan kompletteras med hjälp av räddningstjänsten eller en vaktstyrka.

### 3.6 Problemidentifiering

För att en beräkningsmodell skall vara användbar vid ett stort antal olika fall måste de ingående parametrarna täcka relativt breda intervall med avseende på indata. De parametrar som skall ingå i analysen är brandens tillväxthastighet, geometri för lokal och ventilationsöppningarnas storlek.

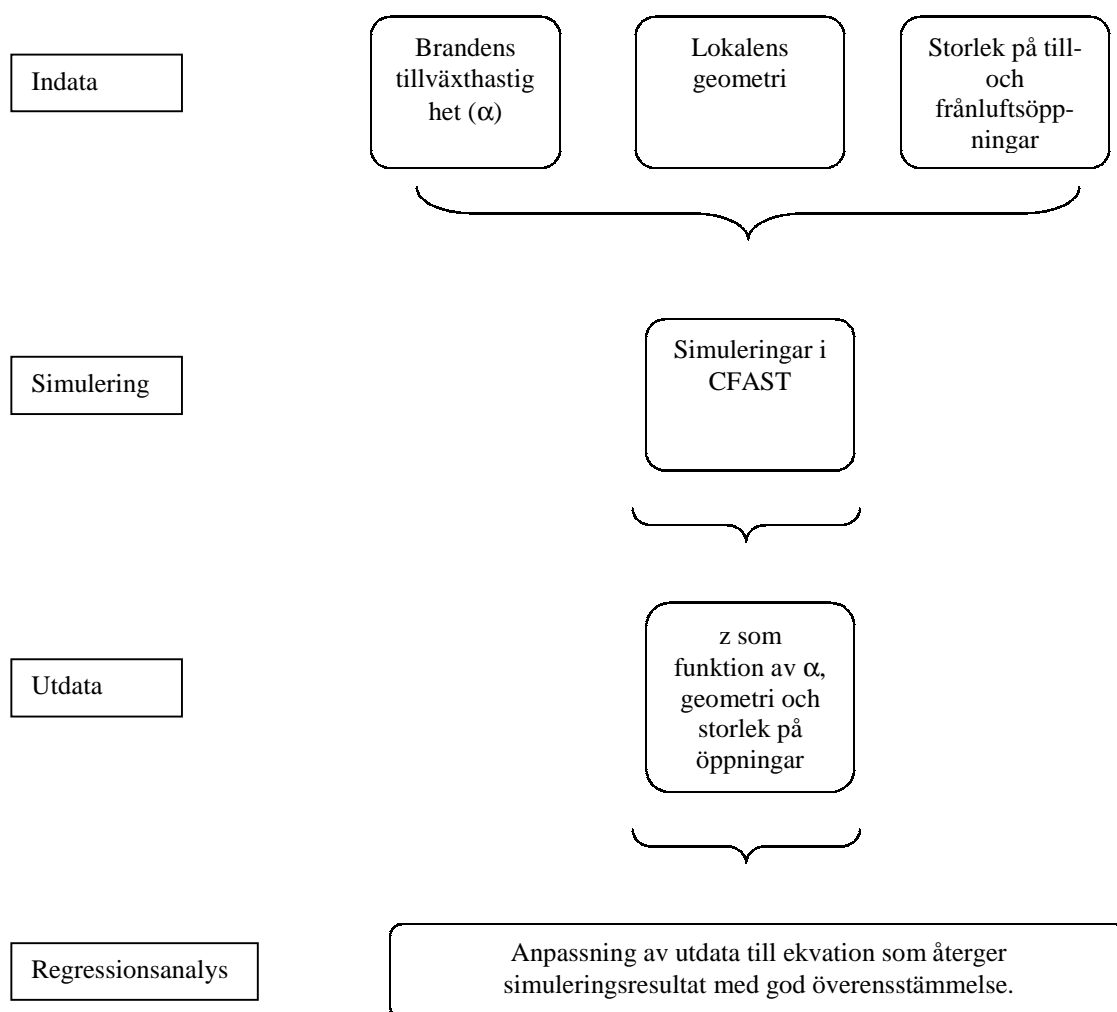
När val av dessa parametrar genomförs uppstår frågor som ”Vilka typer av material som skall tas hänsyn till?” etc. Det är svårt att inrikta sig på ett antal material och samtidigt utveckla en beräkningsmodell som skall kunna appliceras på många olika fall. Därav säljs ett antal enkla  $\alpha^2$ -bränder som bas. Vid användandet av slutligt beräkningsuttryck måste en bedömning föras huruvida det konkreta fall man ställs inför passar in i ekvationen i fråga.

Om nu målet med detta arbete är att utveckla en ekvation innehållande olika parametrar, varför ökas då inte detta antal så att den täcker alla möjliga kombinationer av indata? Fara med ett sådant resonemang är att en sådan ekvation blir okänslig för förändringar i enskilda parametrar.

En annan aspekt som är nog så viktig är datorprogrammet CFASTs begränsningar. CFAST är framtaget och testat med geometrier och brandförlopp som är långt mindre än de som här kommer att undersökas. Problemet är känt och beaktas genom att lokalen i fråga delas in i mindre enheter med fiktiva avgränsningar i taket om ca. 0,10 meter. Detta för att skapa en tidsfördröjning av brandgasspridningen så att den mer skall överensstämma med ett verkligt brandförlopp.

## 4 METOD

För att det skall var möjligt att uppnå ställda mål skall modellen vara enkel att använda, ta lite tid i anspråk vid användandet samtidigt som den skall ta hänsyn till att ett brandförlopp är transient, d. v. s. föränderligt i tiden beroende av ändrade förutsättningar. Att koppla samman dessa punkter är således huvudsyftet. Med hjälp av en metod som kallas regressionsanalys är det möjligt att skapa ett förhållandevis enkelt handberäkningsuttryck som i sin tur är baserat på resultat erhållna från redan tidigare genomförda datorsimuleringar. Nedanstående flödesschema beskriver översiktligt arbetsgången vid framtagandet av regressionsuttrycket:



I flödesschemat kan studeras vilka parametrar som tagits hänsyn till vid skapandet av indata till regressionsanalysen.

## 4.1 Simulering

Den del av arbetet som ligger till grund för utvecklandet av handberäkningsuttryck består av fyra delar. Dessa är följande:

1. Bestämning av brandförlopp
2. Bestämning av geometri för lokaler
3. Bestämning av storleken på till- och frånluft
4. Simulering i CFAST

Med hjälp av CFAST och indata enligt punkter 1-3 simuleras ett antal scenarier. För varje scenario antecknas sedan höjden av brandgaslagret ( $z$ ). När samtliga kombinationer har simulerats sammanfogas både indata och resultat i ett kalkylblad i Excel<sup>®</sup>. Exempel på detta ges nedan:

$z$	$A(E)=A(D)$	alfa	$z$	$A(E)=A(D)$	alfa	$z$	$A(E)=A(D)$	alfa
12	90	0,19	12,2	90	0,047	12,1	90	0,025
11,3	75	0,19	11,7	75	0,047	11,8	75	0,025
10,7	65	0,19	11,5	65	0,047	11,3	65	0,025
10	55	0,19	11	55	0,047	10,9	55	0,025
8,4	40	0,19	10,2	40	0,047	10,1	40	0,025
7	30	0,19	9,2	30	0,047	9,3	30	0,025
6,2	25	0,19	8,2	25	0,047	8,6	25	0,025
5,2	20	0,19	7,2	20	0,047	8,1	20	0,025
4,7	18	0,19	6,8	18	0,047	7,8	18	0,025
4	16	0,19	6,2	16	0,047	7,2	16	0,025
3,2	14	0,19	5,5	14	0,047	6,7	14	0,025
2,8	12	0,19	4,8	12	0,047	6	12	0,025
2,1	10	0,19	4,8	10	0,047	5,2	10	0,025
1,5	8	0,19	3,2	8	0,047	4,3	8	0,025
1,1	6	0,19	2,2	6	0,047	3,5	6	0,025

Beroende av vilken typ av samband de ingående parametrarna har (linjärt samband, andragradssamband, exponentiellt samband) väljs vilken typ av regression som skall genomföras. Då det kan vara problematiskt att visuellt bestämma gällande samband måste bästa möjliga överensstämmelse testas fram. Se även följande kapitel 4.2.

## 4.2 Regression

Följande avsnitt beskrivs väl i Frantzych<sup>40</sup> och Körner<sup>41</sup>. Regressionsanalys används då det är intressant att undersöka om det finns samband mellan ett antal variabler i ett händelseförlopp, t. ex. mellan ett brandgaslagrets höjd, effektutveckling för brand samt öppningars storlek i den

<sup>40</sup> Frantzych H., "Uncertainty and Risk Analysis in Fire Safety Engineering", Dept. of Fire Safety Engineering, Report LUTVDG/(TVBB-1016), Lund, 1998.

<sup>41</sup> Körner S., Wahlgren L., "Praktisk statistik", andra upplagan, Lund, 1996.

brandutsatta lokalen i fråga. Några frågor som är intressanta att ställa vid dessa undersökningar är:

- Finns det något samband mellan variablerna?
- Hur ser i så fall detta samband ut?
- Hur starkt är sambandet?

Efter insamling av data presenteras detta i form av ett spridningsdiagram enligt figur 13. Ur detta diagram är det möjligt att utläsa huruvida det finns samband, hur det ser ut samt om det kan antas vara starkt eller ej. Den sista frågan avseende sambandets styrka har i denna rapport endast utgjorts av visuella bedömningar av resultaten.

Sambanden kan även de vara av olika former. Några av dessa är:

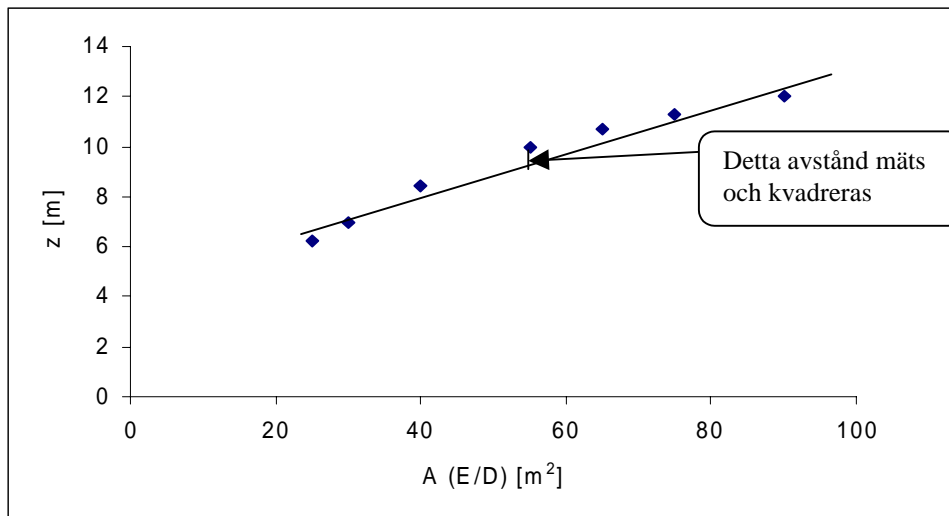
- linjära samband, beskrivs av en linje av typen  $y = kx + m$ ,
- andragradssamband, beskrivs av ett andragradspolynom av typen  $y = a + b \cdot x + c \cdot x^2$ ,
- exponentiellt samband, beskrivs av en exponentialfunktion av formen  $y = a \cdot b^x$ .

#### 4.2.1 Minsta kvadratmetoden

Om det antas, efter insamling av data till ett spridningsdiagram, att det finns ett samband mellan ingående variabler är det möjligt med hjälp av minsta kvadratmetoden att anpassa en linje till dessa resultat. Denna metod fungerar enligt följande:

- Antag en punktlinje genom de punkter som representerar utdata från simuleringar, se figur 13 (modifierad version).
- För varje punkt mäts avståndet, parallellt med y-axeln, till linjen.
- Dessa avstånd kvadreras och summeras.
- Slutligen bestäms konstanterna a och b i linjens ekvation så att denna kvadratsumma blir så liten som möjligt.

Detta skulle ge en ekvation på formen  $y = bx + a$ . Det är dock inte alltid sambanden är linjära och att anpassa linjer efter andra utseenden, ex. exponentiella funktioner, är beräkningstekniskt krävande. I denna rapport har detta genomförts i Excel<sup>®</sup> för att få det mer hanterbart.



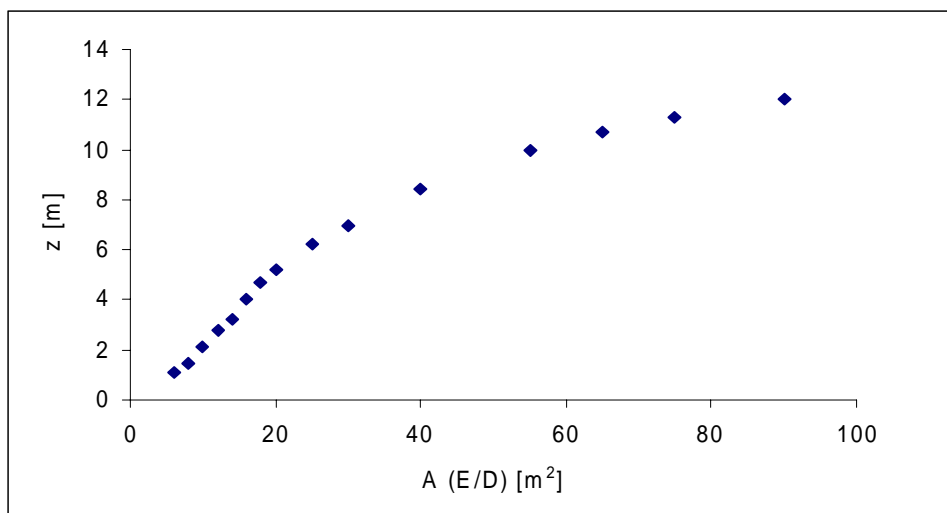
Figur 13. Modifierad bild av brandgaslagrets höjd som funktion av öppningars storlek presenterat i form av spridningsdiagram,  $A_E = A_D$ .

## 5 RESULTAT

I följande kapitel skall förutsättningar och resultat presenteras. En mer utförlig genomgång finns i appendix F.

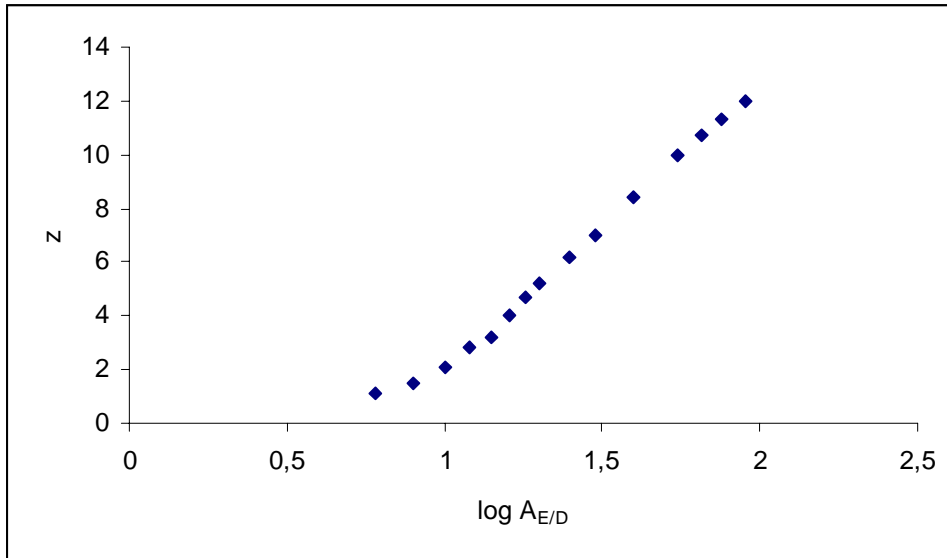
De geometrier som studerats är lokaler med 2500 m<sup>2</sup> och 5000 m<sup>2</sup> golvarea samt med en takhöjd om 14 m. Simuleringar har genomförts med datorprogrammet CFAST. Variationer av brandens utvecklingshastighet ( $\alpha$ ) och till- och frånluftsöppningarnas storlek har givit de resultat på brandgaslagrets höjd som eftersökts. För fallet med golvarea på 2500 m<sup>2</sup> användes  $\alpha$ -värdena 0,19, 0,047 samt 0,025 kW/s<sup>2</sup> medan till- och frånluftsöppningarnas storlek varierades mellan 90 och 6 m<sup>2</sup>. För fallet med golvarea 5000 m<sup>2</sup> användes  $\alpha$ -värdena 0,19, 0,047 samt 0,025 kW/s<sup>2</sup>. Till- och frånluften har lika areor och varierades mellan 100 och 10 m<sup>2</sup>.

Utdata i form av brandgaslagrets höjd från CFAST-simuleringarna jämförs med de förhållanden som råder för till- och frånluftsöppningarnas storlek. Se nedanstående figur:



Figur 13. Brandgaslagrets höjd som funktion av öppningars storlek presenterat i form av spridningsdiagram.

För att det skall vara möjligt att anpassa en rät linje till utdata enligt figur 13 måste resultaten modifieras så att de erhåller ett mer linjärt utseende. Detta kan genomföras genom att logaritmera någon av de ingående parametrar alternativt samtliga parametrar, d. v. s.  $z$ ,  $A_{E/D}$  och  $\alpha$ . I detta fall logaritmerades tillväxthastigheten ( $\alpha$ ) och öppningarnas storlek ( $A_{E/D}$ ) och jämfördes sedan mot brandgaslagrets höjd som inte logaritmerades. Den kurva som då erhålls har ett utseende som är till största delen linjär på formen  $y = kx + m$  vilket är önskvärt. I följande diagram finns ett exempel av hur denna överensstämmelse har sett ut:



Figur 14. Exempel på jämförelse mellan logaritmerade värden för öppningar och brandgaslagrets höjd.

Sambandet är inte helt linjärt i början men kan ändå anses vara användbart varför detta utseende antogs. En ekvation som skall beskriva detta förhållande har formen:

$$z = C + n \log A_{E/D} + m \log \alpha \quad (3)$$

Resultaten av regressionsanalysen, som presenteras i appendix F, är följande ekvationer för de två fallen med golvareor 2500 och 5000 m<sup>2</sup>:

**2500 m<sup>2</sup>:**

$$z_{\text{reg}} = -7,74 + 8,75 \log A_{E/D} - 2,51 \log \alpha \quad (4)$$

**5000 m<sup>2</sup>:**

$$z_{\text{reg}} = -12,00 + 10,02 \log A_{E/D} - 4,21 \log \alpha \quad (5)$$

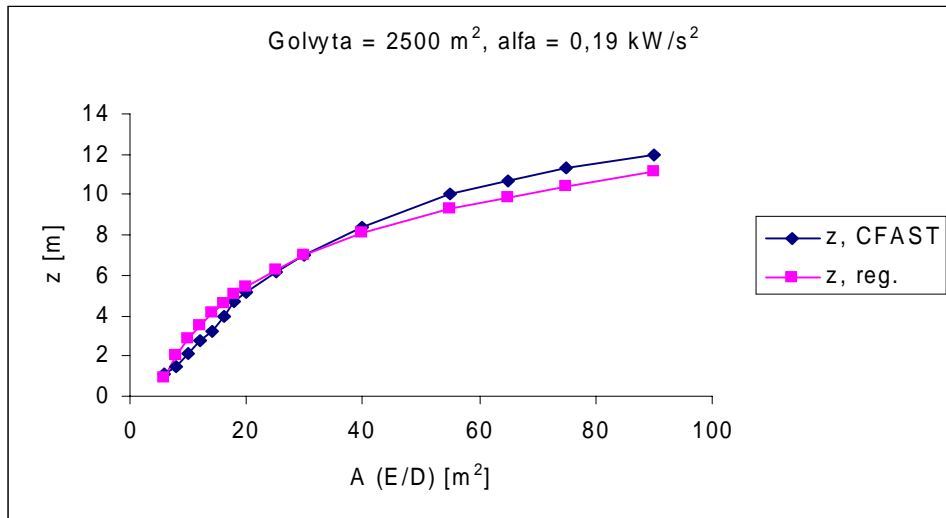
Ur ekvation (4) löses parametern för öppningarnas storlek och resulterar i ekvationen:

$$A_{E/D} = 10^{\frac{(z+2,51 \cdot \log \alpha + 7,74)}{8,75}} \quad (6)$$

På samma sätt erhålls öppningarnas storlek för lokaler med golvarea 5000 m<sup>2</sup> genom:

$$A_{E/D} = 10^{\frac{(z+4,21 \cdot \log \alpha + 12,00)}{10,02}} \quad (7)$$

Ett exempel på jämförelse mellan CFAST-resultat och resultat från regressionsekvationen ges i figur 15. Regressionsekvationen ger i det här fallet relativt goda resultat och de avvikande värdena ligger på den säkra sidan. För resterande jämförelser hänvisas till appendix F.



Figur 15. Jämförelse mellan CFAST-resultat och utdata erhållna från regressionsekvation.

## 6 JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA METODER

I princip har fyra metoder för beräkning av brandgasventilation berörts i denna rapport. Metoderna är:

- SBFs rekommendationer för brandgasventilation i industri- och lagerlokaler,
- analytiska beräkningar med hjälp av CFAST,
- handberäkningar med hjälp av Tanaka och Yamanas metod,
- handberäkningar med hjälp av regressionsuttryck.

I detta avsnitt kommer en jämförelse mellan dessa metoder att genomföras för att se om de ger skillnader i resultat och i så fall hur stor skillnaden är. Objektet som kommer att studeras är samma objekt som användes i kapitel 3.5 "Typfall för analys av  $A_E$  och  $A_D$ ". En kort objektsbeskrivning ges här. För utförligare beskrivning hänvisas till nämnt kapitel.

### 6.1 Objektsbeskrivning

Lokalen har måtten 43 x 50 x 9 m, möbler lagras i pallställage till en höjd av 7 m och den maximala effektutvecklingen har bedömts till 26 MW efter 10 minuter då räddningstjänsten förväntats påbörja insats. För SBFs metod har brandarean ( $A_f$ ) beräknats med hjälp av  $0,5 \text{ MW/m}^2$  [9] och maxeffekt på 26 MW, dvs  $A_f = 52 \text{ m}^2$ . De kriterier som anges som dimensionerande är den kritiska höjden ( $H_{\text{krit}}$ ) samt kritisk temperatur ( $T_{\text{krit}}$ ).  $H_{\text{krit}}$  beräknas som tidigare och blir då 3 m.  $T_{\text{krit}}$  sätts till  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  för det övre brandgaslagret då det finns risk för övertändning om temperaturen blir högre.

### 6.2 Resultat

Endast resultaten och antaganden bakom beräkningarna kommer här att presenteras. För själva beräkningsgången hänvisas till referens.

#### *SBF*

Brandarean  $52 \text{ m}^2$  ger tillsammans med höjden på brandgaslagret ( $z = 5 \text{ m}$ , maximalt avläsningsbara) och tak en effektiv brandventilatorarea på  $15 \text{ m}^2$ . För utströmningkoefficient ( $C_v = 0,6$ ) och korrektionsfaktorer för rökutveckling ( $R = 1,3$ ), omslutande byggnadsmaterial ( $B = 1,0$ ) samt avstånd till utrymningsvägar ( $L = 1,1$ ) ges den totala verkliga arean för brandventilatorer till ca  $36 \text{ m}^2$ . Enligt tumregel ges även tilluften samma yta.

Det är i huvudsak två punkter som bör betraktas lite extra. Dessa två är dels höjd och dels temperatur för brandgaslagret. Höjden går endast att välja inom ett begränsat intervall. I detta fallet mellan 7 - 5 m. Problem uppstår då en annan höjd önskas vara dimensionerande. Även då det gäller temperaturen på brandgaslagret är det inte möjligt att direkt utifrån den utföra några begränsningar. Dock kan en koppling ses mellan brandgaslagrets höjd och temperatur,

dvs tunt brandgaslager ger relativt låg temperatur. Det ger således slutsatsen att då det önskas flexibilitet är denna metod begränsande.

### *CFAST*

Motsvarande fall finns i avsnittet ”Typfall för analys av  $A_E$  och  $A_D$ ”. Där ger simulering nummer 1.5 förhållandet  $A_E = 16 \text{ m}^2$  och  $A_D = 8 \text{ m}^2$ . Temperaturen för brandgaslagret visar sig ligga relativt lågt ( $T_{RGL} = 265 \text{ °C}$ ) vilket kan tydas som att risk för övertändning är liten. Här ses att det är lättare att gå efter de skyddsmål som ställs i fråga om höjd och temperatur på brandgaslager och utifrån dessa dimensionera rökluckornas storlek. Givetvis går det inte att här jämföra SBFs metod med CFAST angående rökluckornas ytor då SBF sätter ett högre skyddsmål i form av mindre tjockt brandgaslager men skillnaden i flexibilitet framträder dock tydligt.

### *Tanaka och Yamana*

De tre olika plymekvationerna som presenterades tidigare ger olika resultat beroende av styrkan på branden. Det är att rekommendera att genomföra beräkningar med alla tre för att det skall vara möjligt att jämföra de resulterande luckstorlekarna. Tilluften ( $A_D$ ) har antagits vara  $16 \text{ m}^2$  då det ligger  $\pm 50 \%$  mellan CFAST och SBF. Resultatet redovisas nedan.

$$\begin{array}{lll} m_{p, \text{Zukoski}} = 9,3 \text{ kg/s} & \text{ger} & T_{RGL} = 257 \text{ °C och } A_E = 2,5 \text{ m}^2, \\ m_{p, \text{Thomas}} = 19,3 \text{ kg/s} & \text{ger} & T_{RGL} = 237 \text{ °C och } A_E = 5,0 \text{ m}^2, \\ m_{p, \text{Heskestad}} = 47,8 \text{ kg/s} & \text{ger} & T_{RGL} = 195 \text{ °C och } A_E = 15 \text{ m}^2. \end{array}$$

Det är relativt stora skillnader i utdata och det är inte helt lätt att välja rätt modell. De nämnda plymekvationerna ger olika bra överensstämmelse för olika storlek på bränder. Det är således viktigt att ta reda på inom vilka gränser varje ekvation ger bäst resultat. Detta finns väl beskrivet i EFD<sup>42</sup>. Genom att jämföra resultaten från Tanaka och Yamanas metod med CFAST är det möjligt att få en viss bekräftelse om lösningen går att använda eller ej.

### *Regressionsekvation*

Redan i startskedet kommer ett av de stora problemen med användandet av denna typ av metod fram. Intervallet som ekvationerna kan användas i stämmer inte överrens med det problem som ställs. Detta är ingen tillfällighet eftersom det finns ett stort antal variationer av lokalers utseende vilket är viktigt att påpeka. Om detta skall vara en enkel metod att använda skall det finnas ett brett register av ekvationer som skall täcka ett stort antal olika variationer av lokalers utseende.

För att ändå försöka tillämpa denna metod kommer beräkningar att utföras med båda ekvationerna.  $\alpha$ -värdet beräknas genom att dividera effekten med tiden i kvadrat då branden övergått till konstant utveckling vilket ger  $\alpha = 0,072 \text{ kW/s}^2$ . Jämförelse både mellan ekvationerna och mellan metoderna kommer att redovisas, se nedan.

Ekvation (7), framtagen för 70x70x14 m:

$$A_{E/D} = 10^{\frac{(z+4,2136 \cdot \log \alpha + 11,997)}{10,016}} = 10 \text{ m}^2$$

---

<sup>42</sup> Se not 8.

Ekvation (6), framtagen för 50x50x14 m:

$$A_{E/D} = 10^{\frac{(z+2,511 \cdot \log \alpha + 7,7404)}{8,7463}} = 8 \text{ m}^2$$

	SBF	CFAST	T&Y (Zuk.)	T&Y (Tho.)	T&Y (Hes.)	Reg. (70x70)	Reg. (50x50)
A <sub>E</sub>	36 m <sup>2</sup>	16 m <sup>2</sup>	2,5 m <sup>2</sup>	5,0 m <sup>2</sup>	15 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	8 m <sup>2</sup>
A <sub>D</sub>	36 m <sup>2</sup>	8 m <sup>2</sup>	16 m <sup>2</sup>	16 m <sup>2</sup>	16 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	8 m <sup>2</sup>

Enligt ovanstående sammanställning går det att utläsa att det är stor variation mellan de olika beräkningsmodellerna. SBFs metod ger värden som är klart mest tilltagna och Tanaka och Yamanas metod samt regressionsuttrycket för 50 x 50 m ger öppningsytor som är upp till 14 gånger mindre än SBFs metod. Vad är då det mest riktiga att använda? Om SBFs metod används är det sannolikt att brandgaser ventileras ut på ett effektivt sätt medan beräkningar enligt Tanaka och Yamanas metod med plym av Zukoski sannolikt ger för små öppningar för att klara av att ventileras ut brandgaserna. Om SBFs metod används finns det risk för att onödigt mycket pengar läggs på brandgasventilation eftersom varje installation av ventilationsluckor innebär en ökad kostnad. Om Tanaka och Yamanas metod med plym av Zukoski används blir kostnaden mindre för antalet takluckor men man risker att förlora stora delar av verksamheten om ventilationen inte klarar sin uppgift. Således är allt en avvägning från fall till fall beroende av vilka risker alternativt kostnader man är beredd att ta.

## 7 DISKUSSION

Att dimensionera brandgasventilation för t. ex. en lagerlokal kan genomföras genom ett flertal olika metoder. I denna rapport har tre stycken etablerade metoder berörts, en schablonmetod och två analytiska. Schablonmetoden som studerats är SBFs rekommendationer för brandgasventilation i industribyggnader. Den ena av de analytiska metoderna är Tanaka och Yamanas handberäkningsmetod och den andra analytiska metoden är ett datorbaserat simuleringsprogram kallat CFAST. Dessa tre metoder har olika fördelar t. ex. mindre tidskrävande beräkningar och möjlighet till att ta hänsyn till ändrade förhållanden under beräkningssekvensen.

För att förbättra möjligheterna att använda sig av analytiska lösningar måste den del som innebär beräkningar minskas i två avseenden, antalet beräkningssteg och tiden det tar att genomföra beräkningarna. Dessa två bitar är givetvis starkt sammankopplade men styr ändå valet av metod.

Varför då ta fram ytterligare handberäkningsuttryck när Tanaka och Yamanas metod redan finns och är väletablerad? Tanaka och Yamanas metod är enkel att använda men bygger på stationära förhållanden, d.v.s. brandgaslagret antas stanna på en viss nivå i lokalen. Detta innebär även att branden måste vara stationär. Ett brandförlopp är inte stationärt vilket är möjligt att ta hänsyn till i datorbaserade beräkningshjälpmedel. Således finns en kombination som är önskvärd att utveckla. Kombinationen med handberäkningsuttryckets enkelhet och datorberäkningarnas möjlighet till att ta hänsyn till brandens transienta förhållanden.

Med hjälp av CFAST genomfördes ett antal simuleringar med olika kombinationer av lokalens geometri, brandens tillväxthastighet och storlek på ventilationsöppningar. Resultat från dessa simuleringar i form av brandgaslagrets höjd låg sedan till grund för framtagandet av handberäkningsuttryck. På så sätt var det möjligt att i en enkel ekvation ta hänsyn till ett brandscenarios transienta utveckling.

Resultaten i form av ekvationer från beskriven metod stämde väl överrens med genomförda simuleringar. Dock visade det sig att ekvationerna var känsliga för förändringar och när indata avvek från intervallen gavs resultat som låg relativt långt ifrån ursprungliga CFAST-simuleringar. Andra begränsningar visar sig redan i ett inledande skede av beräkningar. Om objektet i fråga t. ex. har andra golvytor än i rapporten presenterade går det inte att påstå att beräknade resultat kan användas med någon tillförlitlighet. Således framträder behovet av ett stort antal ekvationer allt mer.

En annan viktig frågeställning som bör ställas är i vilken omfattning det är rimligt att utveckla metoder ur andra teoretiska modeller utan jämförelser med fullskaleförsök? Varje teoretisk modell är ett försök att beskriva ett verkligt fall på bästa sätt. Men eftersom modellerna inte exakt kan beskriva verkligheten ingår alltid ett mått av avvikelser. Dessa avvikelser riskerar att öka eftersom inga experimentella försök genomförs för att kontrollera hur väl en modell som t. ex. utvecklats i denna rapport stämmer överrens med verkliga förhållanden. Det är således möjligt att detta ytterligare steg, från CFAST till handberäkningsuttryck, inte är meningen att tas på grund av att CFAST inte ger tillräckligt tillförlitliga resultat för de geometrier på lokaler som berörs i denna rapport.

## 8 SLUTSATSER

Under arbetets gång har det visat sig att de uttryck som skapades gav god överensstämmelse med CFAST- simuleringar vilket var önskvärt. Dock gäller att om modellen skall vara effektiv måste den dels ge god överensstämmelse med datorsimuleringar och dels omfatta ett brett spann av byggnader och bränder. De uttryck som tagits fram visar att skillnaden är relativt stor mellan ekvationer och datorsimuleringar när beräkningar genomförts för lokaler med andra villkor än de som behandlas i denna rapport, se kapitel 6. Detta är en viktig punkt att beakta eftersom det visar på vilka problem som måste överbryggas innan en väl fungerande modell kan färdigställas. Det som kan diskuteras är då användbarheten i en sådan modell baserad på zon-modeller.

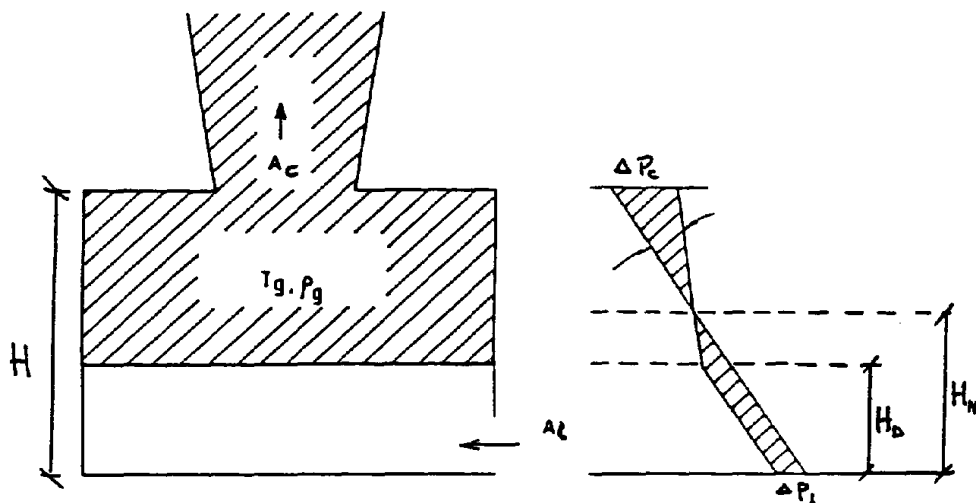
SBFs och Tanaka och Yamanas metoder är i sitt utförande enkla att använda. En väl beskriven beräkningsgång i båda fallen medför att de hellre väljs vid beräkningar i stället för t. ex. ett antal CFAST- simuleringar om tid för beräkningar är knapp. Ett problem med SBFs metod är dock att det är svårt att få en känsla för de beräkningar som genomförs. De ingående parametrarnas bakgrund framgår inte klart hur de har antagits. Det är skillnad med Tanakas och Yamanas metod där hela beräkningsgången är möjlig att härleda fram och på så sätt få en känsla för de beräkningar som utförs.

Med dagens kapacitet på datorer är CFAST- simuleringar inte längre ett tidskrävande moment vid dimensionering. Särskilt inte då det gäller industrilokaler där det oftast rör sig om relativt enkla geometrier. För att den metod som presenterats i detta arbete skall vara användbar i stor utsträckning måste som tidigare nämnts ett stort antal regressionsuttryck skapas för att ha ett brett register som täcker många olika storlekar på lokaler och tillika många olika brandscenarier. Då det är relativt tidskrävande att skapa dessa regressionsuttryck kan det te sig som ett något onödigt steg eftersom en CFAST- simulering klaras av på kort tid. Därför framträder inte nyttan för det arbete det tar att skapa dessa uttryck. Däremot kan det vara användbart att på ett tidigt stadi i beräkningar av öppningars storlek genomföra en överslagsberäkning baserad på den tjocklek av brandgaslagret som är önskat enligt appendix E ekvation (38).

Med utvecklandet av mer användarvänliga CFD-modeller kommer kanske denna diskussion upp igen. Detta på grund av att dessa för närvarande kräver relativt stor datorkapacitet och simuleringstiderna är långa. Således ses ett behov av enklare uttryck baserade på datorsimuleringar av dessa modeller.

## APPENDIX A: TRYCKBILDER OCH MASSFLÖDEN FÖR VENTILERADE BYGGNADER

I detta appendix presenteras den grundläggande teorin för tryckfördelningar och massflöden i en byggnad som är väl ventilerad. Teorin är i det här fallet hämtad från Enclosure Fire Dynamics<sup>43</sup> men finns även beskriven i andra texter.



Figur 16. Tryckförhållanden över öppningar för brandrum.

En lokal med höjden  $H_E$  är rökfylld till höjden  $z$  med ett neutralplan vid  $H_N$ . Tryckskillnaden över respektive öppning beskrivs då som

$$\Delta P_E = (H - H_N) \cdot (\rho_a - \rho_g) \cdot g \quad (12)$$

$$\Delta P_D = (H_N - H_D) \cdot (\rho_a - \rho_g) \cdot g \quad (13)$$

Uttryck för flödes hastigheter härrör från kända uttryck

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (14)$$

Vilket med ekvation (1) och (2) ger flödes hastigheterna genom respektive öppning

$$v_E = \sqrt{\frac{2 \cdot (H - H_N) \cdot (\rho_a - \rho_g) \cdot g}{\rho_g}} \quad (15)$$

<sup>43</sup> Se not 8.

$$v_D = \sqrt{\frac{2 \cdot (H_N - H_D) \cdot (\rho_a - \rho_g) \cdot g}{\rho_a}} \quad (16)$$

Som figuren visar är tryckskillnaderna över respektive öppning konstant vilket medför att massflödet kan beskrivas genom

$$\dot{m} = C_d \cdot A \cdot v \cdot \rho \quad (17)$$

Flödet genom taköppningen blir då

$$\dot{m}_E = C_d \cdot A_E \cdot \rho_g \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (H - H_N) \cdot (\rho_a - \rho_g) \cdot g}{\rho_g}} \quad (18)$$

och flödet genom tilluftsöppningarna

$$\dot{m}_D = C_d \cdot A_D \cdot \rho_a \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (H_N - H_D) \cdot (\rho_a - \rho_g) \cdot g}{\rho_a}} \quad (19)$$

I ovanstående ekvationer finns det två okända variabler, (z) och (H<sub>N</sub>). För att det skall vara möjligt att lösa dessa ekvationer måste minst en av dessa vara kända. Vanligt vid dimensionering skall höjden på brandgaslagret (z) hållas på en viss nivå vilket ger en av de okända variablerna.

Eftersom tryckskillnaden över tilluftsöppningen är konstant kan massflödet beskrivas med ekvationen

$$\dot{m}_D = C_d \cdot A_D \cdot v_D \cdot \rho_a \quad (20)$$

där C<sub>d</sub> är flödeskonstanten (vanligtvis 0,6)<sup>44</sup> och v<sub>D</sub> är flödeshastigheten av luften som tränger in. För att kunna beskriva tryckskillnaden över öppningen med hjälp av massflödet (m<sub>D</sub>) används ΔP = ½ ρ<sub>g</sub> · v<sub>D</sub><sup>2</sup> från Bernoullis flödesekvationer vilket ger v<sub>D</sub> = (2 · ΔP / ρ<sub>a</sub>)<sup>1/2</sup>. Om detta sätts in i ekvation (20) erhålls

$$\Delta P_D = \frac{\dot{m}_D^2}{2 \cdot \rho_a \cdot (C_d \cdot A_D)^2} \quad (21)$$

Liksom för tilluftsöppningen kan massflödet genom frånluftsöppningen ges av

$$\dot{m}_E = C_d \cdot A_E \cdot v_E \cdot \rho_g \quad (22)$$

Tryckskillnaden över öppningen kan beskrivas som ΔP = (δ<sub>a</sub> - δ<sub>g</sub>) · g · (H<sub>E</sub> - H<sub>N</sub>). Eftersom H<sub>N</sub> är okänd kan ett uttryck för den totala tryckskillnaden över båda öppningarna kringgå detta utan att slutresultatet blir annorlunda. Tryckskillnaden över frånluftsöppningen blir då

---

<sup>44</sup> Se not 15.

$$\Delta P_E = (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (H_E - z) - \Delta P_D \quad (23)$$

Genom ekv (22), (23) och förhållandet  $v_E = (2 \cdot \Delta P / \rho_g)^{1/2}$  erhålls uttrycket för massflödet genom frånluftsöppningen som

$$\dot{m}_E = C_d \cdot A_E \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_g [-\Delta P_D + (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (H_E - z)]} \quad (24)$$

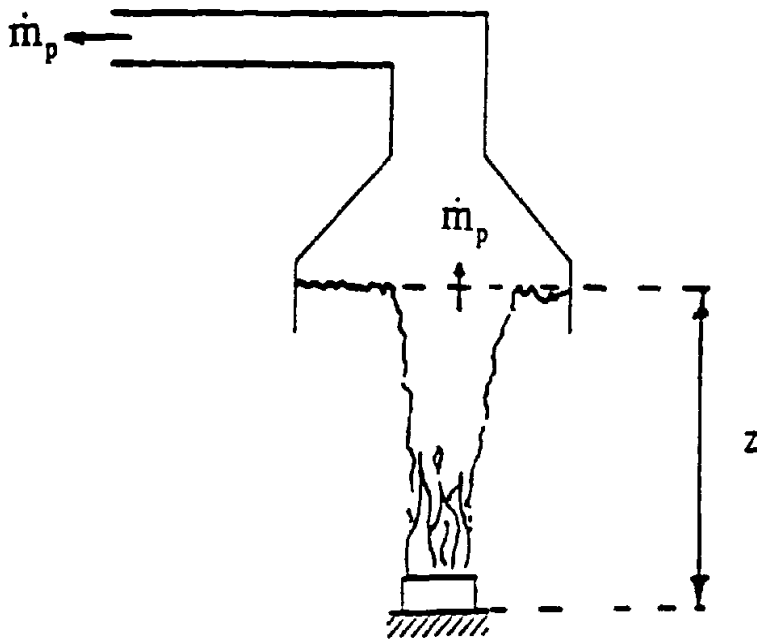
I tidigare avsnitt gavs uttryck för massflöde genom frånluftsöppningar ( $m_E$ ) ekvation (24). Då en viss höjd på brandgaslagret är önskad är det brukligt att använda plymflödet vid den höjden som riktvärde. Olika plymmodeller presenteras i appendix B.

## APPENDIX B: PLYMMODELLER

I följande appendix presenteras ett antal plymmodeller som är baserade på experiment och teoretiska resonemang. Endast en kortare beskrivning kommer här att genomföras och för utförligare genomgång hänvisas till givna referenser.

### Zukoski

Zukoskis plymmodell är framtagen genom att jämföra olika höjder på brandgaslagret ( $z$ ) vid olika massflöden. Försöken utfördes under en huv vilket möjliggjorde mätningar av olika plymflöden.<sup>45</sup>



Figur 17. Försöksupställning vid mätning av plymflöden.

Den erhållna plymekvationen kom att se ut enligt följande:

$$\dot{m}_p = 0,21 \left( \frac{\rho_\infty^2 \cdot g}{c_p \cdot T_\infty} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad (25)$$

Om egenskaperna för omgivande luft sätts till  $T = 293 \text{ K}$ ,  $\rho = 1,1 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_p = 1,0 \text{ kJ/(kg K)}$  och  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  kan ekvation (25) ges på formen:

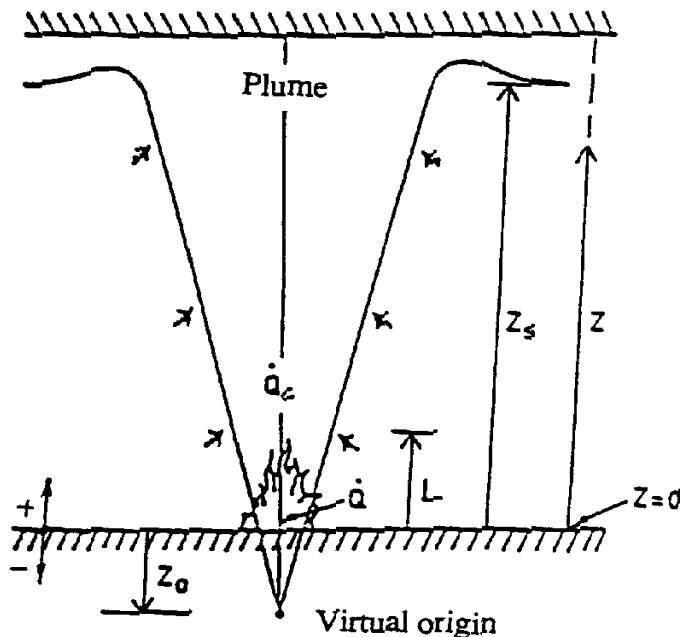
$$\dot{m}_p = 0,071 \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad (26)$$

<sup>45</sup> Se not 8.

Försök med tre olika brännarstorlekar gav att Zukoskis ekvation gav något lägre värden jämfört med försöksresultaten.<sup>46</sup>

### Heskestad

Även Heskestad har presenterat en plymmodell vilket beskrivs väl i Enclosure Fire Dynamics.<sup>47</sup> Denna modell beskriver mer starka plymer. Det finns vissa skillnader mellan Heskestads modell jämfört med t. ex. Zukoskis.



Figur 18. Beskrivning av plymmodell av Heskestad.

Virtuell kärna: Brandens ursprungspunkt ( $z_0$ ) kommer inte alltid att sammanfalla med golvnivån i denna modell. Beroende av brandens yta och totala effektutveckling kommer  $z_0$  att erhålla olika värden. Detta tas hänsyn till genom följande ekvation:

$$z_0 = 0,083 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D \quad (27)$$

där  $D$  är brandens diameter och  $Q$  den totala effektutvecklingen i kW. Om  $z_0$  är negativt är det en indikation på att effektutvecklingen är liten i förhållande till bränslets yta. Då  $z_0$  är positivt är förhållandena de omvända.

Medelflamlängd: En flamma har en oscillerande utbredning i höjdlid. Genom att säga att den längd flammen har i 50 % av fallen är medelflamlängden ( $L$ ) har ett uttryck tagits fram för beräkning av denna. Flamlängden har betydelse för vilken ekvation som senare skall användas för plymflödet.

$$L = 0,235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D \quad (28)$$

<sup>46</sup> Se not 8.

<sup>47</sup> Se not 8.

I själva plymekvationerna använder Heskestad inte den maximala effektutvecklingen  $Q$  utan den konvektiva effektutvecklingen  $Q_c$  [kW] eftersom det är den som skapar densitetsflöde (buoyancy flow). Vanligt är att anta  $Q_c = 0,6-0,8 Q$ .

Plymflöden: Då flödet av luft in i flamregionen respektive plymen skiljer sig från varandra finns behov av att skilja dessa från varandra. Beroende om plymflödet skall beräknas för höjder över medelflamlängden eller under densamma finns två ekvationer att tillgå.

$z > L$ , plymflödet över medelflamlängden

$$\dot{m}_p = 0,071 \cdot \dot{Q}_c^{1/3} \cdot (z - z_0)^{5/3} + 1,85 \cdot 10^{-3} \cdot \dot{Q}_c \quad (29)$$

$z < L$ , plymflödet under eller i flamhöjd

$$\dot{m}_p = 0,0056 \cdot \dot{Q}_c \cdot \frac{z}{L} \quad (30)$$

### Thomas

För större bränder, där medelflamlängden är betydligt mindre än brandens utbredning, kan plymflödet beskrivas med hjälp av följande ekvation:

$$\dot{m}_p = 0,188 \cdot P \cdot z^{3/2} \quad (31)$$

Thomas visade att plymflöden under medelflamlängden var i stort sätt oberoende av effektutvecklingen utan mer beroende av brandens omkrets ( $P$ ) och höjden över brandkällan ( $z$ ). De plymflöden Thomas tagit fram gäller endast till flammans topp, dock har försök visat att ekvationen även ger resultat som stämmer ganska bra överrens för höjder över flamtoppen. Ett riktvärde för när ekvationen kan användas är  $L/D < 1$ .<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> Se not 8.

## APPENDIX C: Tanaka – Yamana

Denna modell beskriver förhållandet då det sk "steady state" har infunnit sig, dvs då massflödena in respektive ut ur en lokal är lika och brandgaslagret befinner sig på en konstant nivå. Metoden går till så att höjden (z) på brandgaslagret sätts till önskad nivå, ekvationerna för mass- och energibalansen löses separat och sedan beräknas ett värde på erforderliga storlekar på till- och frånluftsöppningar fram.<sup>49</sup>

Tanaka och Yamanas beräkningsgång beskrivs som följer:

1. Antag ett värde på brandgaslagrets höjd (z) inom det intervall som önskas.
2. Beräkna massflödet i plymen vid höjden (z)

### Zukoski:

$$\dot{m}_p = 0,21 \left( \frac{\rho_\infty^2 \cdot g}{c_p \cdot T_\infty} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad (25)$$

### Heskestad:

$z > L$ , plymflödet över medelflamlängden

$$\dot{m}_p = 0,071 \cdot \dot{Q}_c^{1/3} \cdot (z - z_0)^{5/3} + 1,85 \cdot 10^{-3} \cdot \dot{Q}_c \quad (29)$$

$z < L$ , plymflödet under eller i flamhöjd

$$\dot{m}_p = 0,0056 \cdot \dot{Q}_c \cdot \frac{z}{L} \quad (30)$$

### Thomas:

$$\dot{m}_p = 0,188 \cdot P \cdot z^{3/2} \quad (31)$$

3. Beräkna tryckskillnaden vid tilluftsöppningarna

$$\Delta P_D = \frac{\dot{m}_p^2}{2 \cdot \rho_a \cdot (C_d \cdot A_D)^2} \quad (21)$$

4. Beräkna temperaturen i brandgaslagret

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot \dot{m}_E + h \cdot A_w} \quad (32)$$

---

<sup>49</sup> Se not 8.

5. Beräkna brandgaslagrets densitet

$$T = \frac{353}{\rho} \quad (33)$$

6. Beräkna massflödet genom frånluftsöppningarna

$$\dot{m}_E = C_d \cdot A_E \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_g [-\Delta P_D + (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (H_E - z)]} \quad (24)$$

7. Kontrollera att  $m_p = m_E$ , återgå annars till punkt 1.

I steg 4. där temperaturen i brandgaslagret skall beräknas är uttrycket härlett från värmeförlusterna till omgivningen. Där ingår värmeledningskoefficienten ( $h$ ) och arean av brandgaslagret som är i kontakt med väggar och tak ( $A_w$ ).  $h$  beror av vilket material väggar och tak är utförda i och beräknas genom

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} \quad \text{för } t < t_p \quad (34)$$

$$h_k = \frac{k}{\rho} \quad \text{för } t \geq t_p \quad (35)$$

$t_p$  är en faktor som beskriver hurvida värmeledningen kan betraktas som stationär eller ej efter påverkanstiden  $t$  [s]. Den beräknas genom

$$t_p = \frac{\delta^2}{4 \cdot \alpha} \quad (36)$$

där  $\delta$  är materialets tjocklek [m] och  $\alpha$  är dess termiska diffusivitet [ $m^2/s$ ]. Om byggnaden är utförd i olika material måste detta tas hänsyn till genom att vikta  $h$  med respektive areaandel.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> Se not 8.

## APPENDIX D: TYPFALL FÖR ANALYS AV $A_E$ och $A_D$

I detta exempel kommer olika parametrar att studeras och ändras för att undersöka vilka som har störst betydelse för att brandventilationen skall fungera på bästa sätt. Dessa parametrar är i första hand effektutvecklingen och storleken på till- respektive frånluft i olika förhållanden till varandra.

### Objektsbeskrivning

Utrymmet antas vara en lokal som lagrar möbler av trä vilka i sin tur är inpackade delvis i papp. Lokalen har en bredd av 43 m, längd av 50 m och höjd av 9 m. Lagringen sker i pallställage till en höjd av 7 m. Avstånden mellan lagerhyllorna är 4,5 m. Frånluften utgörs av minst 8 takluckor med en total area på 16 m<sup>2</sup>. Tilluften skall ordnas via dörrar och/eller portar i vägg och placeras på två motsatta sidor av lokalen.

### Metod

För att skapa ett förhållande som kan tänkas uppstå i lokalen har brandscenariot uppdelats i tre faser. I första fasen antas att en brand startat i golvnivå och sprider sig uppåt i vertikalt led. Spridning i denna riktning är snabb vilket gör att valet av  $\alpha$  – värde är 0,19 kW/s<sup>2</sup>.

Detta skeende antas fortlöpa tills en yta av 28 m<sup>2</sup> pappersemballage brinner vilket motsvarar ca 12 MW. I andra fasen antas den horisontella spridningen beskriva förloppet vilket ger en långsammare effektutveckling med ett  $\alpha$  – värde på 0,012 kW/s<sup>2</sup>. Denna utveckling fortlöper tills en insats av räddningstjänsten rimligtvis har satts igång vilket beskriver den tredje fasen. Tiden till detta antas vara tio minuter. Därefter kontrollerar räddningstjänsten branden vilket ger en konstant effektutveckling om inte dalande. Den maximala effekten är då ca 26 MW.

Den höjd som kommer att bedömas som dimensionerande är  $H_{krit.} = 1,6 + H_{Lokal} \exists 0,1 = 2,5$  m. Då det gäller brandgaslagrets temperatur är det intressant huruvida det finns risk för övertändning i lokalen eller ej. Här är 500 – 600 °C en vanlig gräns.<sup>51</sup>

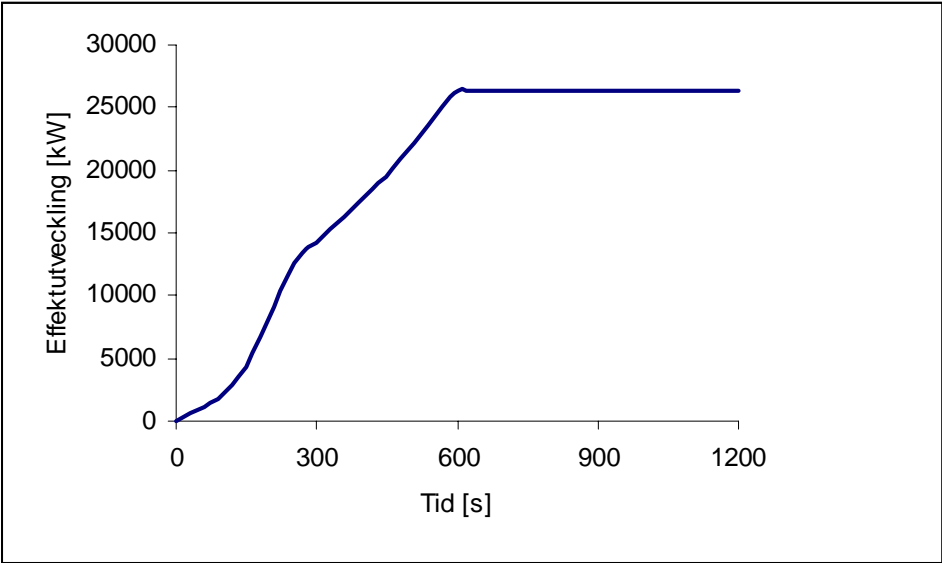
Brandförloppet kommer att simuleras i programmet CFAST utgivet av NIST.<sup>52</sup>

---

<sup>51</sup> Se not 1.

<sup>52</sup> Se not 3.

Effektkurvan som används i simuleringarna redovisas nedan:



## Resultat

Simuleringarna kommer att redovisas i form av nedanstående tabell och slutsatser dras sedan utifrån de givna resultaten.

Fall	Max eff. utv. (MW)	Temperatur (°C)	Höjd (m)	Tilluft (m <sup>2</sup> )	Frånluft (m <sup>2</sup> )
1.1	26	255	3.85	16	16
1.1.1	26	265	<b>2.85</b>	12 (-25 %)	12 (-25 %)
1.2	26	250	4.6	16	24 (+50%)
1.3	26	272	<b>2.0</b>	16	<b>8 (-50%)</b>
1.3.1	26	260	<b>2.7</b>	16	10 (-38 %)
1.4	26	252	4.3	24 (+50%)	16
1.5	26	265	<b>2.6</b>	<b>8 (-50%)</b>	16
1.6	26	246	5.0	24 (+50%)	24 (+50%)
1.7	26	276	<b>1.7</b>	<b>8 (-50%)</b>	<b>8 (-50%)</b>
2.1	39	310	<b>2.8</b>	16	16
2.2	39	300	3.7	16	24 (+50%)
2.3	39	333	<b>1.45</b>	16	<b>8 (-50%)</b>
2.3.1	39	320	<b>2.5</b>	16	14 (-13 %)
2.4	39	306	3.14	24 (+50%)	16
2.5	39	324	<b>1.93</b>	<b>8 (-50%)</b>	16
2.5.1	39	360	<b>2.5</b>	12 (-25 %)	16
2.6	39	294	4.39	24 (+50%)	24 (+50%)
2.7	39	338	<b>1.22</b>	<b>8 (-50%)</b>	<b>8 (-50%)</b>
3.1	13	178	4.9	16	16
3.2	13	173	5.24	16	24 (+50%)
3.3	13	188	3.57	16	8 (-50%)
3.4	13	177	5.12	24 (+50%)	16
3.5	13	183	4.06	8 (-50%)	16
3.6	13	174	5.61	24 (+50%)	24 (+50%)
3.7	13	189	3.04	8 (-50%)	8 (-50%)

Tabell 2. Resultat i form av brandgaslagrets höjd beroende av olika öppningsförhållanden.

Som tabellen visar är temperaturökningen inte direkt känslig för förändringar varken vad avser ändringar av effektutveckling eller öppningsförhållanden. Det kan bero på att vid stora volymer som det handlar om här kyls brandgaserna av den stora mängd luft som tränger in i brandplymen då den transporterar brandgaser upp mot taket.

Vad avser brandgaslagrets höjd är det lite skillnad på känslighet. Ökad effekt ger mer brandgaser vilket resulterar i att den rökfyllda volymen blir större. Vid en effektökning med 50 % och oförändrade öppningsförhållanden kommer brandgaslagrets höjd att ligga i området som kan anses kritiskt.

Om frånluften minskas till 50 % av tilluften erhålls ett sämre förhållande än om tilluften minskas med motsvarande värde. Detta gäller för alla de tre variationer av effektutveckling som presenterats ovan. **Det är således viktigare att se till att full tillgång på frånluft sker i ett tidigt stadie vartefter tilluftsöppningarna kan kompletteras med hjälp av räddningstjänsten eller en vaktstyrka.** Det kan vara en viktig punkt att ha i åtanke då det gäller risk för inbrott vid falskutlösning av brandlarm. Hälften av tilluftsöppningarna kan således placeras och utformas på sådant sätt att de klarar de första kritiska minuterna innan räddningstjänsten kommer och startar släckningsarbetet utan att öppningarna skapar ett alltför attraktivt sätt att göra inbrott.

## APPENDIX E: NÄRMEVÄRDE FÖR FRÅNLUFTSÖPPNING

I appendix A beskrevs tryckskillnaden över taköppningen ( $A_E$ ) som en funktion av densitetsskillnad och brandgaslagrets tjocklek, dvs

$$\Delta P = (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (H_E - H_N) \quad (12)$$

Denna ekvation kan med hjälp av allmänna gaslagen skrivas om från densitetsberoende till temperaturberoende. Allmänna gaslagen ger

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \quad (37)$$

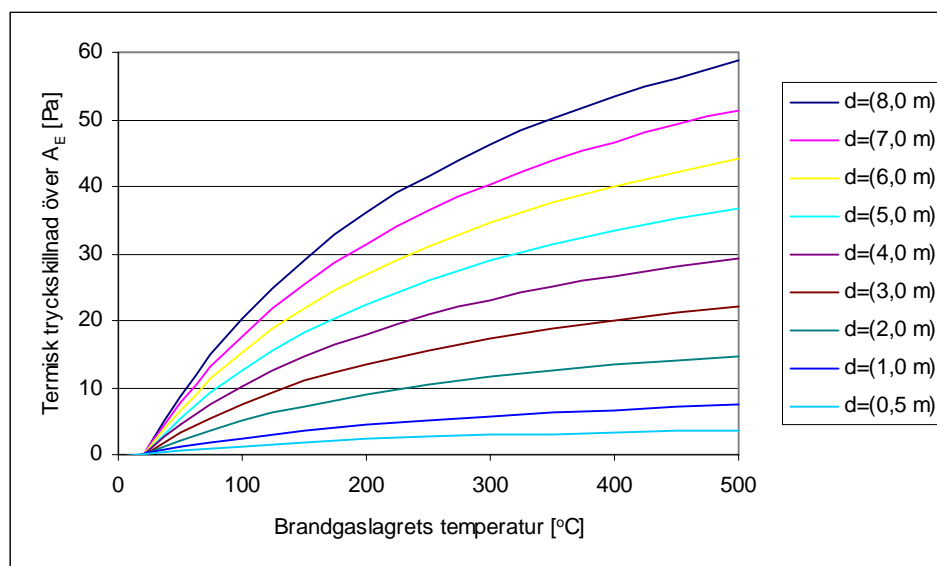
Med kända värden för p, R och M kan uttrycket förenklas till:

$$\rho = \frac{353}{T} \quad (33)$$

Tryckskillnaden över  $A_E$  beräknas sedan ur

$$\Delta P_E = 353 \cdot g \cdot (H_E - H_N) \left( \frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_g} \right) \quad (8)$$

Funktionen visar hur tryckskillnaden över frånluftsöppning varierar med brandgastemperaturen och brandgaslagrets tjocklek, se figur 19.<sup>53</sup>



Figur 19. Den termiska tryckskillnadens variation med brandgaslagrets tjocklek och brandgastemperaturen.<sup>51</sup>

<sup>53</sup> Se not 19.

Om ovanstående förhållanden kopplas samman med uttryck för dels plymekvation vid en viss önskad höjd  $z$  (26) och dels med uttryck för frånluftsöppning ( $A_E$ ) (24) kan ett startvärde för frånluften erhållas, dvs

$$\dot{m}_p = 0.071 \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad (26)$$

$$\dot{m}_E = C_d \cdot A_E \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_g [-\Delta P_D + (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (H_E - z)]} \quad (24)$$

ger uttrycket för frånluftsöppningen som

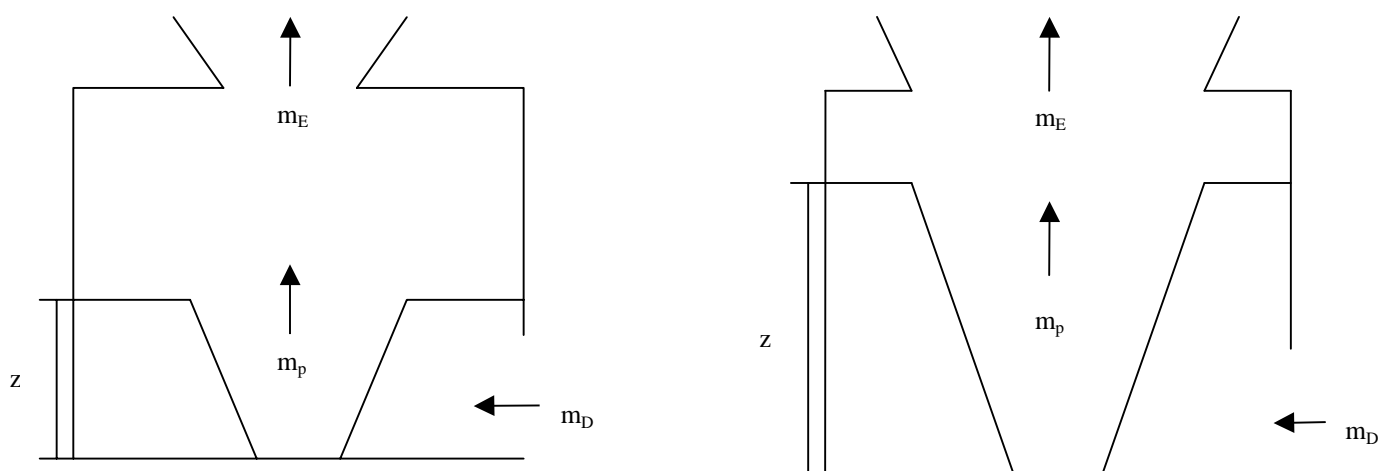
$$A_E = \frac{\dot{m}_p}{C_d \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_g \cdot \Delta P_E}} \quad (38)$$

med  $\Delta P_E$  erhållet från figur 19.

Något som bör observeras är att brandgaslagrets tjocklek är definierat från neutrallagrets placering i rummet i denna framställning. Brandgaslagrets placering ligger egentligen något under neutralplanet men skillnaderna dem emellan anses inte nödvändigt att ta hänsyn till eftersom metoden endast skall användas för en approximativ bestämning av  $A_E$  och inte i ett rent dimensioneringssyfte.

När storleken på öppningen ( $A_E$ ) studeras för olika fall kan arean till en början tyckas vara liten. Dock är dessa värden inte alltför missvisande om de jämförs med plymflödet in i det övre gaslagret vid den önskade höjden ( $z$ ). Då  $z$  liten hinner inte mycket omgivande luft tränga in i plymen vilket medför litet plymflöde. Brandgaslagret som bildas får däremot relativt hög temperatur just på grund av att det inblandande luftflödet är litet.

Då brandgaslagret däremot befinner sig på hög höjd hinner mycket av den omgivande luften att tränga in i plymen vilket medför ett stort totalflöde av brandgaser samt att temperaturen på de samma är relativt låg. För att kunna stabilisera brandgaslagret på denna höga höjd måste  $A_E$  vara betydligt större än om brandgaslagret skall stabiliseras på låg höjd. Detta beror på vad som tidigare sagts om att respektive massflöde är lika, dvs.  $m_D \approx m_p \approx m_E$ .



## APPENDIX F: BERÄKNING AV REGRESSIONSUTTRYCK

Genom att jämföra en mängd resultat från t. ex. en simuleringsserie för höjd på brandgaslager och sammanställa dessa till ett regressionsuttryck är det möjligt att senare beräkna höjden på brandgaslagret utan att använda sig av det datorprogram som skapat nämnda serie. Detta sätt är tidseffektivt efter att själva simuleringsserierna är sammanställda till ekvationer. Förfaringssättet kallas även att skapa en responsyta och beskrivs av Frantzych<sup>54</sup>.

När beräkning av ett regressionsuttryck skall genomföras ökar antalet simuleringar med samma antal variationer för varje ny parameter som önskas studeras. I detta fall studeras hur brandgaslagrets höjd beror av både brandtillväxtens ( $\alpha$ ) och till- och frånluftens storlek. Då brandtillväxten varieras med låt oss säga tre alternativ och till- och frånluftens storlek med 15 kommer antalet simuleringar att uppgå till  $3 \times 15 = 45$  stycken. Därför är det inte praktiskt möjligt att ta med alltför många parametrar utan att få en ohanterbar mängd resultat.

För att erhålla en viss bredd på de ekvationer som skapas och ändå inte erhålla en otymplig mängd simuleringresultat har en uppdelning av geometri på lokalen i fråga genomförts. Två lokaler har studerats med golvytor mellan 2500 och 5000 m<sup>2</sup> och takhöjden har satts till 14 m för båda. För den lokal med golvyta 2500 m<sup>2</sup> har till- och frånluft varierats mellan 90 m<sup>2</sup> och 6 m<sup>2</sup> och  $\alpha$  mellan 0,19 kW/s<sup>2</sup> och 0,025 kW/s<sup>2</sup>. Resultaten i form av höjd på brandgaslagret ( $z$ ) hamnade mellan 12,2 m och 1,1 m. För lokalen med 5000 m<sup>2</sup> varierades till- och frånluft mellan 100 m<sup>2</sup> och 10 m<sup>2</sup> och  $\alpha$  mellan 0,19 kW/s<sup>2</sup> och 0,047 kW/s<sup>2</sup>. Brandgaslagrets höjd varierade mellan 12,5 och 1,8 m.

När väl utdata finns tillgänglig från simuleringar skall de bearbetas för att slutligen presenteras i form av en ekvation. Denna ekvation kan ha lite olika former beroende av hur de ingående parametrarna är beroende av varandra. Efter undersökning visade det sig att en ekvation på formen enligt nedan anpassade sig väl efter utdata från CFAST.

$$z = C + n \log A_{E/D} + m \log \alpha \quad (3)$$

Med hjälp av minsta kvadratmetoden anpassas de logaritmerade resultaten till en kurva. Detta kan ske antingen genom handberäkning eller med datorprogram. I detta fall har programmet Excel<sup>®</sup> använts. De beräknade konstanterna för 2500 respektive 5000 m<sup>2</sup> presenteras nedan.

### 2500 m<sup>2</sup>:

m	n	C
-2,5110	8,7463	-7,7404

### 5000 m<sup>2</sup>:

m	n	C
-4,2136	10,016	-11,997

---

<sup>54</sup> Se not 40.

De konstanter (C, n och m) som erhålls sätts sedan in i (3). Den regressionsekvation som beskriver fallet med golvyta på 2500 m<sup>2</sup> ges då av:

$$z_{\text{reg}} = -7,7404 + 8,7463 \log A_{E/D} - 2,5110 \log \alpha \quad (4)$$

Och för fallet med golvyta på 5000 m<sup>2</sup> ges ekvationen:

$$z_{\text{reg}} = -11,997 + 10,016 \log A_{E/D} - 4,2136 \log \alpha \quad (5)$$

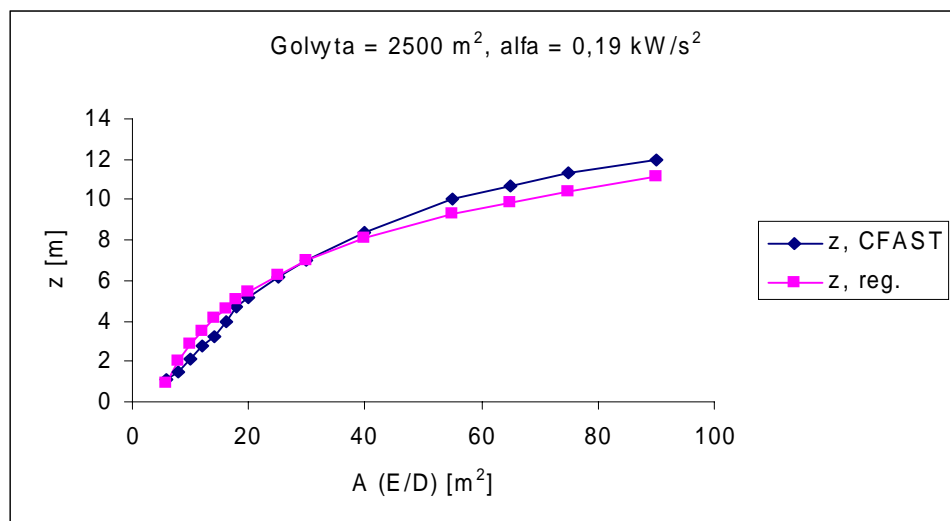
Ur ekvation (4) löses parametern för öppningarnas storlek och resulterar i ekvationen:

$$A_{E/D} = 10^{\frac{(z+2,511 \cdot \log \alpha + 7,7404)}{8,7463}} \quad (6)$$

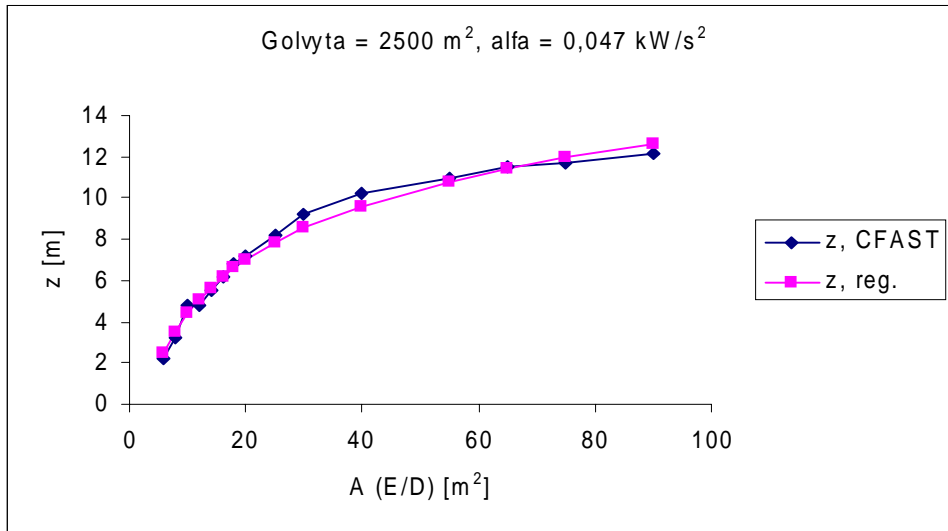
På samma sätt erhålls öppningarnas storlek för lokaler med golvarea 5000 m<sup>2</sup> genom:

$$A_{E/D} = 10^{\frac{(z+4,2136 \cdot \log \alpha + 11,997)}{10,016}} \quad (7)$$

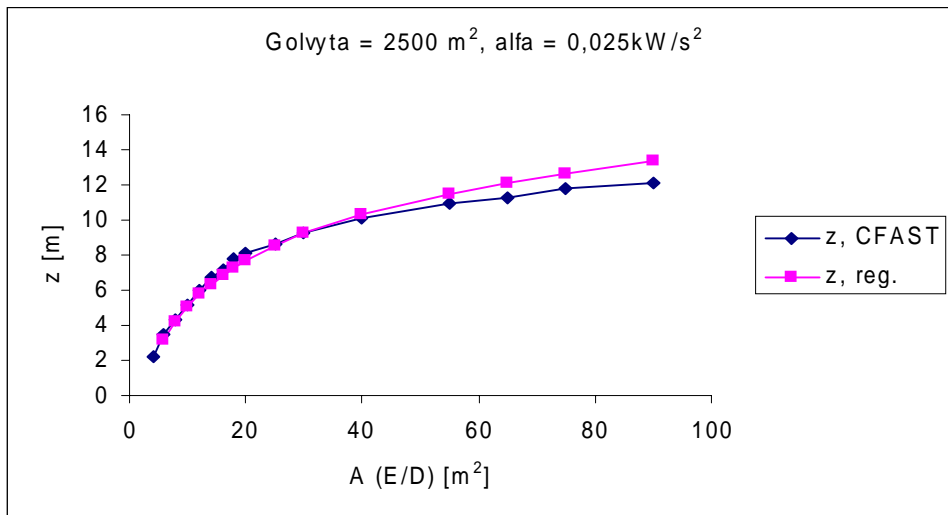
Resultaten av regressionsekvationerna har jämförts med de ursprungliga resultaten som simuleringarna med CFAST givit. Detta för att bedöma huruvida de stämmer överrens med varandra och på så sätt se om det är möjligt att använda sig av dessa ekvationer. Nedan ges resultaten i diagramform:



Figur 20. Jämförelser mellan CFAST och regressionsuttryck för golvarea = 2500 m<sup>2</sup>.

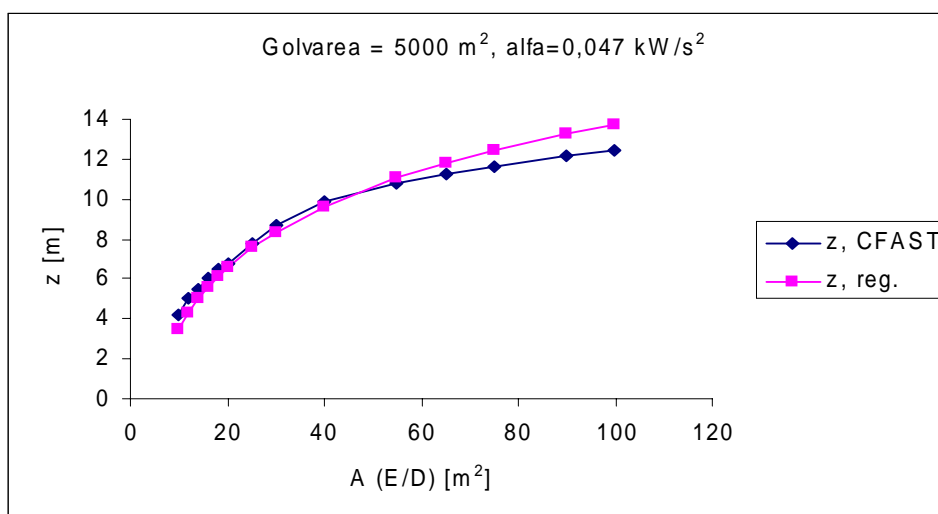
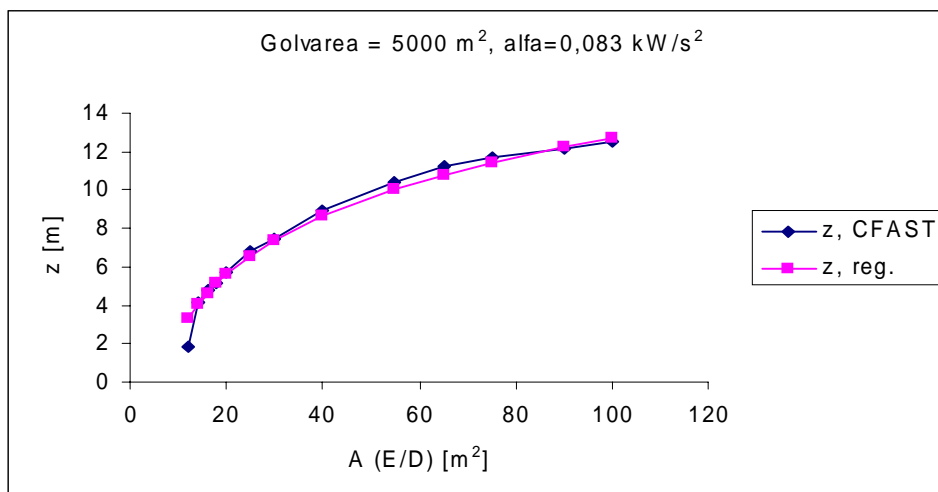
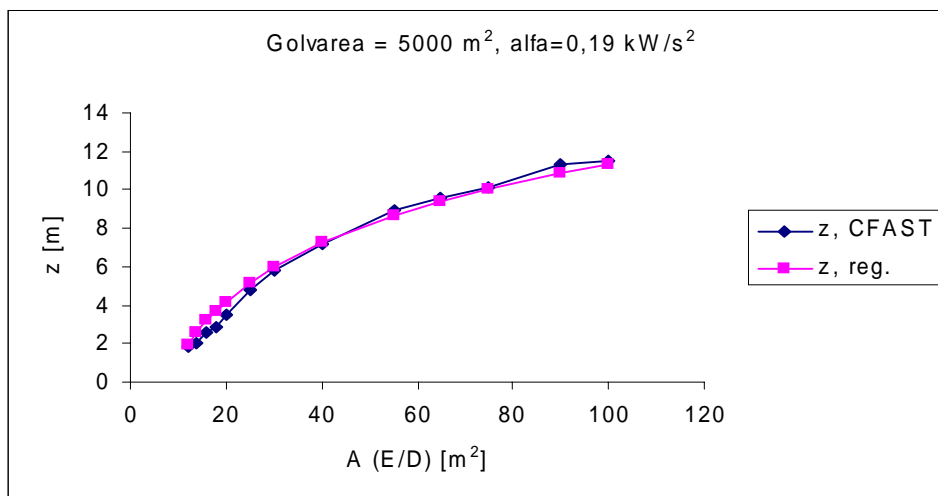


Figur 21. Jämförelser mellan CFAST och regressionsuttryck för golvyta = 2500 m<sup>2</sup>.



Figur 22. Jämförelser mellan CFAST och regressionsuttryck för golvyta = 2500 m<sup>2</sup>.

På samma sätt jämförs resultaten som tagits fram för lokaler med golvarea 5000 m<sup>2</sup> enligt nedan:



Figur 23-25. Jämförelser mellan CFAST och regressionsuttryck för golvarea = 5000 m<sup>2</sup>.

De digram som presenterats visar att regressionsuttrycken stämmer relativt väl överrens med de CFAST-simuleringar som ligger till grund. Detta kan tolkas att valet av det ursprungliga antagandet med  $z = C + n \log A_{E/D} + m \log \alpha$  kan accepteras.