# CFD-modellering och fullskaleförsök av brandgasventilation

Daniel Holm Per Johansson

Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden

Brandteknik Lunds tekniska högskola Lunds universitet

Report 5108, Lund 2002

# CFD-modellering och fullskaleförsök av brandgasventilation

Daniel Holm Per Johansson

Lund 2002

Rapporten har finansierats av Räddningsverkets skola Rosersberg

#### CFD-modellering och fullskaleförsök av brandgasventilation

Daniel Holm Per Johansson

Författarna svarar för innehållet i rapporten.

Report 5108 ISSN: 1402-3504 ISRN: LUTVDG/TVBB-5108-SE

Number of pages: 106 Illustrations: Daniel Holm Per Johansson Per Hardestam (Ur "Inomhusbrand" /2/ och "Brandgasventilation" /22/)

Sökord: Backdraft, brand, brandgasventilering, CFD, FDS, fältmodell, övertrycksventilation

**Keywords:** Backdraft, Fire, Smoke ventilation, CFD, FDS, Field model, Positive Pressure Ventilation (PPV)

**Abstract:** The purpose of this report is to compile educational material concerning Positive Pressure Ventilation (PPV) for the Swedish Rescue Services Agency's Rosersberg Collage. By using CFD-modelling the smoke-spread is visualized in a pedagogic way and will hopefully lead to a better understanding concerning the issue. The fire scenarios chosen are equivalent to the type of conditions used when training fire fighters in *brandövningshuset*. The report also includes a survey concerning the functions of Positive Pressure Ventilation and also the risks involved when using it. Verifications and validations on the CFD-simulations have also been performed through sensitivity studies and full scale tests.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2000. Statens Räddningsverk.

> Brandteknik Lunds tekniska högskola Lunds universitet Box 118 221 00 Lund

brand@brand.lth.se http://www.brand.lth.se

Telefon: 046-222 73 60 Telefax: 046-222 46 12 Department of Fire Safety Engineering Lund University P.O. Box 118 SE-221 00 Lund Sweden

brand@brand.lth.se http://www.brand.lth.se/english

Telephone: +46 46 222 73 60 Fax: +46 46 222 46 12

# Förord

En stor del av arbetet på denna rapport bedrevs på Räddningsverkets skola Rosersberg sommaren 2002. Kenneth Wendin är den som gjort det möjligt för oss att arbeta på skolan under denna tid samt hjälpt oss med alla praktiska detaljer som detta inneburit.

Under vår tid på Rosersberg har vi även haft tillgång till handledning. Då problem dykt upp har det alltid funnits någon att diskutera med eftersom vi tilldelats tre handledare. Johan Rigberth och Peder Doverborg har hjälpt oss då det gällt inriktningen på arbetet. För att kunna utföra fullskaleförsök har vi haft stor hjälp av Mats Berglund på skorstensfejarfunktionen som har tillhandahållit den mätutrustning som använts.

Utbildningsstöd har bistått då det handlat om de praktiska försöken på brandövningshuset. De har försett oss med utrustning i form av kläder och byggnadsmaterial samt transporter av tyngre materiel.

Då det handlat om övertrycksventilering har vi haft förmånen att komma i kontakt med Göran Svensson vid Stockholms brandförsvar. Han har på sin fritid tagit sig tid att hjälpa oss med fakta rörande ämnet och varit behjälplig under fullskaleförsöken.

Rapporten behandlar till stor del simuleringsprogram varför vi även haft en handledare från avdelningen för Brandteknik vid Lunds tekniska högskola, Daniel Gojkovic. Han har understött oss då problemen hopat sig i alltför rask takt. Det är också tack vare honom som vi lyckats lära oss grunderna om FDS.

Vid ett flertal tillfällen har det uppstått komplikationer rörande programvaran i FDS 2.2. Eftersom FDS 2.2 är en inofficiell version har hjälp inte gått att få från någon annan än tillverkaren själv, Kevin McGrattan, NIST. Han har svarat omgående på våra frågor och löst de "buggar" vi hittat.

Slutligen skall inte glömmas alla de som på ett eller annat sätt hjälpt oss.

Ett varmt tack till er alla!

Daniel Holm Per Johansson

Lund november 2002

### Summary

In all education good educational material is needed. The purpose of this report, a project founded by the Swedish Rescue Services Agency's Rosersberg Collage, is to compile a new type of educational material that visualize the smoke-spread in a pedagogic way. The basic idea is that temperature, smoke movements and smoke ventilation in a building are to be seen in the theoretical learning. *Brandövningshuset*, also called Luleåhuset, is used as a teaching object. By using simulations from the computer software FDS 2.2 film sequences has been produced. The occurrences in these sequences correspond to training conditions, used when training fire fighters, and scenarios that show what happens when conditions change.

Since the use of Positive Pressure Ventilation (PPV) varies throughout the country there is a need for education in this field. It is the thought of the worst case scenario that causes the scarce use of ventilation. Hopefully, by elucidating the situations that needs a "moment of consideration" better decisions will be made.

Four different scenarios have been used for the simulations. The scenarios show the benefits and drawbacks with PPV and the effect of different ventilation conditions. Validations and verifications have been made to guarantee that the simulations agree with reality and with the purpose. The SFPE-handbook defines these:

- Validation: The process of determining the degree to which a model is an accurate representation of the real world from the perspective of the intended users of the model.
- Verification: The process of determining that a model implementation accurately represents the developer's conceptual description of the model and the solution of the model.

The validation is performed with two chosen scenarios that have been simulated and then compared with the full scale tests. By repeating the tests an acceptable correspondence has been established. The verification is carried out by changing a number of parameters in the simulations. These simulations are then compared with the reference simulation to see if the model is independent of these parameters. The output data, for example temperature and heat release, has also been scrutinised to make sure that they are within reasonable limits. The processes mentioned above establish the fact that the simulations accurately represent the actual course of events.

The simulation results show the desired course of events. Benefits and drawbacks with PPV are elucidated for all scenarios.

The scenarios simulated can be viewed on the CD enclosed.

# Sammanfattning

I all utbildning behövs ett bra utbildningsmaterial. Denna rapport, på uppdrag av Räddningsverkets skola Rosersberg, syftar till att ta fram en ny sorts utbildningsmaterial som på ett pedagogiskt sätt visualiserar brandgasventilering. Tanken är att man i den teoretiska utbildningen ska kunna se hur temperatur och brandgaser kan komma att sprida sig i en byggnad och hur ventilering påverkar detta förlopp. Brandövningshuset, även kallat Luleåhuset, har använts som utbildningsobjekt. Genom simuleringar i datorprogrammet FDS 2.2 har rörliga filmsekvenser producerats. Händelseförloppen på dessa filmsekvenser motsvarar de övningsscenarier som normalt används när man övar rökdykare samt scenarier som visar vad som händer vid ändrade förutsättningar t.ex. vid uppstart av övertrycksventilering och öppnande av frånluftsöppning.

Då användandet av övertrycksventilering (PPV) varierar över hela landet finns behov av utbildning inom ämnet. Det är ofta tanken på de värsta tänkbara scenarierna, t.ex. brandgasexplosion eller backdraft, som bidrar till att ventilering inte används. Genom att belysa de situationer som behöver "en stund till eftertanke" kan förhoppningsvis bättre beslut fattas vid en insats.

Fyra olika scenarier har använts vid simuleringarna. Scenarierna beskriver för- och nackdelar med brandgasventilation, detta för att påvisa effekten vid olika ventilations förhållanden. För att dessa simuleringar skall stämma överens med verkligheten och syftet, har valideringar och verifieringar genomförts. Dessa begrepp definieras enligt SFPE-handboken:

- Validering: Processen som bestämmer i vilken grad simuleringar överensstämmer med verkligheten utifrån användarens perspektiv.
- Verifiering: Processen som kontrollerar att simuleringar överensstämmer med det användaren tänkt sig.

Valideringen är utförd genom att två scenarier valts ut, simulerats och sedan jämförts med fullskaleförsök. Genom upprepade försök har en godtagbar överensstämmelse uppnåtts. Verifieringen är gjord genom att ett antal parametrar ändras i olika simuleringar. Dessa simuleringar jämförs sedan med grundsimuleringen för att se om modellen är oberoende. I verifieringen kontrolleras även att utdata från simuleringarna antar rimliga värden. Temperatur och effektutveckling är exempel på utdata som granskats närmare. Utifrån ovanstående punkter har konstaterats att simuleringarna är korrekta och att händelseförloppen liknar verkligheten enligt användarens perspektiv.

Resultaten från simuleringarna visar väl de önskade händelseförloppen för de fyra scenarierna. De fördelar och nackdelar som skall belysas framgår tydligt för respektive scenario.

De scenarier som simulerats och skall användas i utbildningssyfte finns på medföljande CD.

# Nomenklatur

A	Yta $[m^2]$
$C_p$	Specifik värmekapacitet [J/kg·K]
d	Diameter [m]
$\Delta H_C$	Förbränningsvärme [ <i>J/kg</i> ]
$k_s$	Termisk konduktivitet $[W/m \cdot K]$
т	Massa [kg]
ṁ	Massflöde, massavbrinning [kg/s]
ṁ"	Massflöde per areaenhet, massavbrinning per areaenhet $[kg/m^2 \cdot s]$
Q	Värmeenergi [J]
Ż	Effektutveckling [W]
Ż″	Effektutveckling per areaenhet $[W/m^2]$
$\dot{\mathcal{Q}}^*$	Dimensionslös effektutveckling
t	Tid [ <i>s</i> ]
Т	Temperatur [K]
V	Volym $[m^3]$
α	Tillväxthastighet $[kW/s^2]$
$lpha_{\scriptscriptstyle TD}$	Termisk diffusivitet $[m^2/s]$
ρ	Densitet $[kg/m^3]$

*χ* Förbränningseffektivitet

# Innehållsförteckning

<u>1</u> INLEDNING	12
1.1 BAKGRUND	12
1.2 Syfte	12
<b>1.3 Metod</b>	13
1.4 Avgränsningar	13
2 BESKRIVNING AV BRANDÖVNINGSHUSET	15
2.1 KONSTRUKTION	15
2.2 VERKSAMHET	16
<u>3</u> <u>ÖVERTRYCKSVENTILERING</u>	17
3.1 BRANDGASER	17
<b>3.2</b> Övertrycksfläkt (PPV-fläkt)	17
3.3 Тактік	19
3.3.1 ANVÄNDNING AV PPV-FLÄKT VID BRÄNSLEKONTROLLERAD BRA	ND 20
3.3.2 ANVÄNDNING AV PPV-FLÄKT VID VENTILATIONSKONTROLLERA	D BRAND 21
<b>3.4 RISKER MED OVERTRYCKSVENTILERING</b>	21
3.4.1 BRANDSPRIDNING	22
3.4.2 BRANDGASEXPLOSION	22
3.4.3 BACKDRAFT	22
4 BESKRIVNING AV CFD	25
4.1 ALLMÄNT	25
4.1.1 PREPROCESSOR	25
4.1.2 SOLVER	26
4.1.3 POSTPROCESSOR	26
4.2 VERIFIERING	27
4.3 FDS 2.2 (FIRE DYNAMICS SIMULATOR)	28
4.3.1 IN- OCH UTDATA	28
4.3.2 PROBLEM I FDS 2.2	31 21
4.3.3 ERFARENHETER	51
<u>5</u> <u>SCENARIER</u>	33
5.1 Scenario 1	33
5.2 SCENARIO 2	34
5.3 SCENARIO 3	34
5.4 SCENARIO 4	34
6 SIMULERINGAR	35

	25
0.1 GEOMETRIER OCH FORENKLINGAR	35
6.2 GEOMETRI	35
6.2.1 LÅGDEL	35
6.2.2 TRAPPHUS	36
6.3 MATERIAL OCH VÄRMELEDNING	36
6.3.1 LÅGDEL	36
6.3.2 TRAPPHUS	37
6.4 Gridnät	37
65 BRANDEN	38
6.6 UTDATA	38
CO CIDATA	20
0.7 SIMULERINGSTIDER	39
7 VISUALISERING AV UTDATA	41
7.1 BEHANDLING AV UTDATA	41
7.2 PRESENTATION AV SIMULERINGAR	43
7.2.1 Scenario 1	43
7.2.2 SCENARIO 2	45
7.2.3 SCENARIO 3	45
7.2.4 Scenario 4	46
8 FULLSKALEFÖRSÖK	47
8.1 Förberedelser	47
8.2 UTRUSTNING	<b>48</b>
8.2.1 TINYTAG/TINYTAG PLUS	48
8.2.2 MITEC SATELLITE50-TK/6 OCH TK/12	49
8 2 3 VINDHILI SANEMOMETER	50
8.2.4 Övedtdvcksei äkt ( $PPV_{-EI}$ äkt)	50
8.2.5 ÖVDIC UTDUCTNINIC	51
0.2.5 OVRIGUTRUSTNING	51
8.5 FORSOK 1-5	51
8.3.1 BRANDFORLOPPET	51
8.4 FORSOK 4-6	52
8.4.1 BRANDFÖRLOPPET	52
9 JÄMFÖRELSE MELLAN SIMULERINGAR OCH FULLSKALEFÖRSÖK	55
9.1 SCENARIO 1	55
9.1.1 OBSERVATIONER	55
9.1.1.1 Brandrum	55
9.1.1.2 Mellanrum	56
9.1.1.3 Trapphus	57
917 TEMPERATURIÄMEÖRELSE	58
9121 Brandrum	58
9122 Trannhus	60
0.2 SCENADIO 2	60
7.4 DUENAKIU 2 0.2.1 ODGEDUATIONED	02
9.2.1 UBSERVATIONER	62
9.2.1.1 Brandrum	62

9.2.1.2 Mellanrum	62
9.2.1.3 Trapphus	63
9.2.2 Temperaturjämförelse	63
9.2.2.1 Brandrum	63
9.2.2.2 Trapphus	64
9.3 SLUTSATSER	64
9.3.1 Överensstämmelse	64
9.3.2 FELKÄLLOR	64
10 SLUTSATSER	67
REFERENSER	<u>69</u>
INNEHÅLLSFÖRTECKNING APPENDIX	71
APPENDIX A. RITNINGAR	73
APPENDIX B. VERIFIERING	77
APPENDIX C. JÄMFÖRELSE AV BRANDGASLAGER OCH TEMPERATUR	87
APPENDIX D. EFFEKTBERÄKNINGAR	97
APPENDIX E. TILLUFTSBERÄKNINGAR	99
APPENDIX F. DATABAS	101
APPENDIX G. INDATAFIL	103

# 1 Inledning

Detta är ett projektarbete som utförts av brandingenjörsstuderande vid avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola. Projektarbetet ingår i kursen Problembaserad riskvärdering (PBR) och omfattar 10 akademiska poäng. I kursen skall den studerande använda sig av de kunskaper som förvärvats under utbildningstiden. För att få en bättre helhetsbild rekommenderas läsaren att studera medföljande CD-skiva.

#### 1.1 Bakgrund

Det finns i dagsläget fyra räddningsskolor i Sverige; Revinge, Rosersberg, Sandö och Skövde. Alla dessa har någon form av övningsfält där elever praktiskt kan tillämpa sina färdigheter. Strukturen på fälten är snarlika och alla fyra skolor har ett brandövningshus, även kallat Luleåhus. Dessa övningshus återfinns även hos de kommunala räddningstjänsterna runt om i landet. Brandövningshuset används till att öva rökdykare och som förevisningshus. Brandgasfyllning och ventilering är exempel på sådana förevisningar.

Det kan dock vara problematiskt att visa brandgasspridningen i flera rum samtidigt varför man får koncentrera sig till väl valda delar av huset. Detta problem finns även vid utbildning i övertrycksventilation. För att ge eleverna en bättre förståelse för brandgasspridning och övertrycksventilation, samt att ge läraren ett pedagogiskt utlärningsmaterial, vill Räddningsverkets skola Rosersberg ta fram ett lättarbetat och lättförståligt utbildningsmaterial.

Genom datasimuleringar i programmet FDS 2.2 (Fire Dynamics Simulator), som är en CFDmodell (Computational Fluid Dynamics), kan 3-dimensionella bilder av geometrier presenteras. I dessa geometrier kan sedan olika typer av utdata, t.ex. temperatur och siktbarhet, visas både som 2- och 3-dimensionella konturer vilka kan användas vid teoretiska genomgångar om t.ex. brandgasventilation. Eleven får då en uppfattning om *vad* han/hon kommer att få se och *hur* de typiska inslagen kan observeras. Brandgasspridningen i övriga delar av huset, som oftast inte kan observeras vid fullskaleförsök, har då redan åskådliggjorts på lektionen. Även andra parametrar, som t.ex. temperatur och luftflöde, kan påvisas innan fullskaleförsök utförs.

Det har även framkommit att användandet av övertrycksventilering inom svensk räddningstjänst varierar. Detta grundar sig ofta på rädslan för en s.k. *backdraft*. Jämför man med USA så används övertrycksventilering förhållandevis lite i Sverige. Där är det mer regel än undantag att nyttja en övertrycksfläkt vid t.ex. villabränder /10/. Det har visat sig att detta märkbart underlättar vid insatser. Med anledning av detta, finns det grunder att redovisa en orientering rörande fenomenet backdraft och dess eventuella uppkomst vid övertrycksventilering.

#### 1.2 Syfte

Detta projektarbete syftar till att ta fram ett utbildningsmaterial till Räddningsverkets skola Rosersberg. Utbildningsmaterialet skall kunna användas av lärarna på skolan och det skall vara lättförståeligt. 3-dimensionella bilder skall tas fram genom CFD-simuleringar vilka skall visualisera brandgasspridningen vid typiska förevisningsscenarier. Ventilering av brandgaser med övertrycksfläkt (Positiv Pressure ventilation, PPV) skall ingå för att påvisa dess effekt. I samband med detta presenteras en orientering som berör användandet av, och riskerna med, övertrycksventilering. Simuleringarna presenteras sedan som ett filmmaterial (CD) som skall användas i teoriutbildning.

#### 1.3 Metod

Arbetsgången under detta projektarbete har delats in i tre delmoment; Förarbete, Huvudarbete och Efterarbete.

- □ *Förarbetet* utfördes till stor del vid avdelningen för Brandteknik. I detta moment skaffades kunskaper i simuleringsprogrammet FDS 2.2. Litteraturstudier påbörjades och ett upplägg av arbetsgång utformades.
- □ *Huvudarbetet* bedrevs på Räddningsverkets skola Rosersberg och delades in i tre faser:
  - *Fas 1*: Identifiera relevanta scenarier för att åskådliggöra användandet av brandgasventilation i brandövningshuset samt arbeta upp kunskaperna på simuleringsprogrammet FDS 2.2.
  - *Fas 2*: Simulera aktuella scenarier i FDS 2.2 samt praktiskt verifiera några av dessa i brandövningshuset genom att elda heptan och mäta olika fysikaliska parametrar t.ex. temperatur.
  - *Fas 3*: Presentera resultaten på överskådligt vis.
- □ *Efterarbetet* gjordes på avdelningen för Brandteknik, LTH. Här utarbetades hur den slutgiltiga rapporten skulle presenteras. Finjusteringar av rapporten gjordes.

#### 1.4 Avgränsningar

En stor del av rapporten består i att ta fram bra och överskådliga 3-dimensionella bilder på brandövningshuset. Av de simuleringar som genomförts skall det enkelt framgå vad som händer i de olika brandförloppen. På grund av att gridnätet, inom vilket beräkningarna genomförs, har en bestämd storlek ritar FDS på "egen hand" upp en geometri. Detta kan inverka på den förbestämda geometrin och därför kan mindre objekt se oproportionerliga eller rent av fel ut. Detta medför att eftersom beräkningarna görs efter den geometri som FDS ritar så blir överensstämmelsen inte exakt med indatafilen.

FDS 2.2 har vissa svårigheter att behandla underventilerade bränder. På grund av detta måste brandens syretillförsel säkerställas genom att det finns tillräckligt med öppningar. I simuleringarna har det därför lagts till extra öppningar så att uppkomsten av en ventilationskontrollerad brand minimeras. Detta innebär alltså att risken för brandgas-explosion och backdraft inte kan studeras i simuleringarna.

## 2 Beskrivning av brandövningshuset

Brandövningshuset på Rosersberg består av en lågdel och ett trapphus (*Bild 1*). Lågdelen är indelad i två plan, en undervåning (plan 1) och en övervåning (plan 2), med förbindelse genom trapphuset. Trapphuset fortsätter ytterligare två våningsplan upp till en höjd av närmare 12 meter.



Bild 2-1: Brandövningshuset.

#### 2.1 Konstruktion

Lågdelens väggar är uppbyggda av LECA-block, detta gäller både ytter- och innerväggar. Bjälklaget är platsgjutet i betong och vilar på en prefabricerad betongstomme. Detta kan lätt ses då ytterväggarna ligger "insjunkna" innanför betongpelarna som bär upp huset. Taket på plan 2 består även det av betong. Trapphusets ytterväggar består av prefabricerade betongelement vilka hålls upp av betongpelarna.

Både plan 1 och plan 2 i lågdelen har fönster och dörrar, där de som vetter mot utsidan går att stänga. Även dörrarna från lågdelen ut till trapphuset går att stänga. Geometrierna är däremot inte lika på de två planen (*Appendix A*). Det finns fyra rum på varje våning, men innerväggarna är placerade på olika ställen. Det finns även dragluckor på de båda planen (2 st på plan 1 och 3 st på plan 2). De sitter i golvnivå och kan stängas.

Trapphuset har en dörr ut till det fria från plan 1 och en dörr från plan 2. Det finns även dörrar ut till balkonger belägna på utsidan av trapphuset. Tre fönster finns också i trapphuset, men dessa går inte att öppna.

#### 2.2 Verksamhet

Huvudsakligen används brandövningshuset till rökdykarövningar och förevisningar i brandgasspridning och brandgasventilation. För att fylla huset med brandgaser bränns träpallar. Det maximala antalet som får brännas samtidigt är tre träpallar, detta för att inte belasta väggar och tak med för hög effekt. På detta sätt hoppas man slippa stora sprickbildningar och att putsen släpper. Det finns även bestämda platser där det är tillåtet att elda, dessa är belägna invid innerväggarna.

# 3 Övertrycksventilering

För att kunna tillgodogöra sig denna rapport är det bra om läsaren har en grundläggande kunskap rörande brandgasventilering med hjälp av övertrycksfläkt (PPV-fläkt). Nedan ges en kortfattad teoretisk orientering om varför man använder övertrycksventilering och hur den kan utföras.

#### 3.1 Brandgaser

Vid större bränder, t.ex. i lägenheter eller villor, bildas vanligtvis stora mängder brandgaser. Dessa består av oförbrända samt obrännbara gaser. Eftersom brandgaserna är varma stiger de uppåt p.g.a. den termiska stigkraften och bildar en plym. Brandgaserna expanderar genom att luft sugs in i plymen och blandas med gaserna, ett övertryck bildas i brandgasskiktet. Under brandgaslagret uppstår ett undertryck, som drar in luft till brandhärden (*Bild 3-1*). Genom att utnyttja de tryckskillnader som uppkommer genom den termiska stigkraften och förhindrad termisk expansion kan man genom öppningar, i t.ex. taket, evakuera brandgaserna.



Bild 3-1: I ett öppet rum kan tryckbilden se ut enligt ovan.

Det är heller inte ovanligt att sikten i brandgaserna är mycket dålig vilket försvårar en eventuell räddningsinsats. Ett annat problem med brandgaserna är att de är toxiska. För personer som saknar andningsskydd kan läget snabbt bli kritiskt om miljön i den direkta närheten eller i utrymningsvägen är giftig. Det kan i ovanstående fall underlätta om en ventilering av brandgaserna inleds.

### 3.2 Övertrycksfläkt (PPV-fläkt)

Det finns för närvarande ett antal olika fabrikat på övertrycksfläktar, de skiljer sig något från varandra men är i sin funktion liknande /22/. Fläktarna drivs vanligtvis med bensinmotorer,

men det finns även de som är eldrivna och vattendrivna (*Bild 3-2*). Kapaciteten på en normalstor bensindriven fläkt (ca  $\emptyset$ 61 cm) ligger mellan ca 2-14 m<sup>3</sup>/s. De eldrivna fläktarna används normalt till undertrycksventilering och har en kapacitet på 0,5-2 m<sup>3</sup>/s. Den vattendrivna fläkten kopplas till en släckbil och drivs av trycket från pumpen /10/.



Bild 3-2: Bensindriven övertrycksfläkt (PPV-fläkt).

Ett viktigt moment vid uppstartandet av övertrycksfläkten är att luftströmmen från fläkten täcker hela tilluftsöppningen (*Bild 3-3*). På så vis kan inte brandgaser pressas ut genom öppningen och övertrycket i byggnaden upprätthålls.



Bild 3-3: Hela dörröppningen täcks av övertrycksfläktens luftström /24/.

Misslyckas trycksättningen kan brandgaser komma ut i t.ex. ett trapphus och miljön blir toxisk (*Bild 3-4*). Branden kan få ett oväntat förlopp och räddningspersonal måste avbryta insatsen.



Bild 3-4: Brandgaser kan pressas ut ur byggnaden om det ej är tätt runt dörröppningen /24/.

#### 3.3 Taktik

Idén med övertrycksventilering är att luft skall pressas in i en byggnad med hjälp av en fläkt. Genom att öppna frånluftsöppningar skall sedan brandgaserna evakueras. Att öppna frånluftsöppningar är mycket viktigt för att brandgasevakueringen överhuvudtaget skall fungera. Det är ofta fördelaktigt om dessa frånluftsöppningar är högt placerade då brandgaserna stiger uppåt (Bild 3-5). Om öppningar inte finns att tillgå kan håltagning vara till stor hjälp. Kan inte frånluftsöppningar skapas i taket går det även att använda horisontell ventilering, genom t.ex. fönster /4/. Förhållandet mellan tilluftsöppningen och frånluftsöppningen bör vara 1:2 dvs. om tilluftsöppningen är 2 m<sup>2</sup> bör frånluftsöppningen ha en area på 4 m<sup>2</sup>, detta för att stora mängder brandgaser skall kunna evakueras utan att det läcker ut vid tilluftsöppningen /22/. Avståndet från öppningen till fläkten bör normalt vara mellan 1-3 meter. En tumregel är att man ställer fläkten på samma avstånd från dörröppningen som dörren är hög. Vid större tilluftsöppningar kan ytterligare en fläkt vara att föredra, på så sätt kan man täcka upp hela ytan /23/. Det är också speciellt viktigt att notera vindriktningar och vindhastigheter. Om frånluftsöppningen måste öppnas så att vinden blåser in genom den kan effekten av fläkten utebli. Speciellt om vindhastigheten är högre än den av fläkten genererade hastigheten. Om frånluftsöppningar inte finns att tillgå kan det i vissa fall vara befogat att begränsa brandgasspridning genom att med hjälp av fläkten trycka tillbaka brandgaserna in i brandrummet (*Bild 3-6*, se även *Bild 3-7*)



Bild 3-5: Ventilationsöppningar bör placeras högt och i ett tidigt skede.



Bild 3-6: Att sätta brandrummet under tryck kan motverka brand- och brandgasspridning.

#### 3.3.1 Användning av PPV-fläkt vid bränslekontrollerad brand

Om man vid ankomsten till en byggnad ser att branden är koncentrerad till en specifik del, utan att det väller ut brandgaser från i stort sett hela byggnaden, bör man överväga om branden kan vara bränslekontrollerad. Det betyder att det är bränslet som är den begränsande faktorn för brandförloppet, inte syretillförseln. Om så är fallet är s.k. offensiv brandgasventilering ett alternativ (*Bild 8*). Genom att sätta fläkten så att den blåser in i brandrummet vill man uppnå att branden inte sprider sig i riktning mot fläkten och på samma gång evakuera brandgaserna så att sikten för brandpersonalen blir bättre. På detta sätt slipper man också brandgasspridning i övriga delar av byggnaden, det går snabbare att söka av lokalerna och det blir lättare att lokalisera brandhärden. Det är i detta fall viktigt att det finns en frånluftsöppning i brandrummets direkta närhet så att brandgaserna kan evakueras, annars finns risken att brandgaser trycks in i intilliggande utrymmen.



Bild 3-7: Brandgasventilation kan antingen utföras offensivt (övre) direkt i brandrummet, eller defensivt (nedre) genom att trycksätta angränsande utrymmen.

#### 3.3.2 Användning av PPV-fläkt vid ventilationskontrollerad brand

I detta fall kan det vara befogat att stanna upp och tänka till. Vid en ventilationskontrollerad brand är det tillgången på syre som styr brandförloppet. Detta betyder i de flesta fall att stora mängder oförbrända gaser har ansamlats i byggnaden p.g.a. att byggnaden är förhållandevis tät. I och med detta kommer en stor "kudde" av brandgaser vandra ner mot golvet och neutralplanet hamnar i princip i golvnivå. Om inga brandgaser kan ta sig ut betyder det att det är svårt för syret att komma in vilket försvåras ytterligare av de stora volymerna ansamlade brandgaser. Brandhärden, som nu inte får tillräckligt med syre, kommer att minska i effektutveckling och i vissa fall gå över i en glödbrand. Om syre nu introduceras kommer brandgaserna blandas upp med syret och bli brännbara, i kontakt med t.ex. brandhärden kan detta tända och ett explosionsartat förlopp kan uppstå.

Om man i ovanstående fall inte tillåtit syre att komma fram till brandhärden finns möjligheten att branden självslocknat. Det krävs därför stor försiktighet när övertrycksventilering skall användas vid denna typ av brand. Typiska tecken är, framför allt vid villabränder, att brandgaser pressas ut av övertrycket genom tak och väggpaneler. Dessa skall tåla väder och vind och inte anses som lättgenomträngliga för brandgaserna. En håltagning i t.ex. taket vid en eventuell insats kan vara direkt livsfarlig, då det finns risk att brandgaserna antänds vid kontakt med luft. Det är istället bättre att försöka kyla ner brandgaserna innan något annat görs. Med hjälp av dimspik eller en skärsläckare kan vattendimma introduceras i de varma brandgaserna. På detta sätt inerteras brandgaserna och temperaturen sänks och det behövs därför mer energi för att få dem att antända. Till följd av detta minskar även produktionen av pyrolysgaser då energin åtgår till förångningen av vattendimman. Det är också av stor vikt att skaffa sig en uppfattning om ungefär hur stora volymer brandgaser man har att göra med. Ju större volymen är desto svårare blir det att kyla hela volymen och om det antänds kan en väldig effektutveckling startas. Konstruktionen på objektet är även det en vital del. Består bjälklag och väggar av betong eller trä? Eventuella tryckuppbyggnader kan få byggnaden att rasa och antända brandgaser kan orsaka en övertändning.

Om en ventilationskontrollerad brand uppstår i t.ex. en lägenhet kan man i det inledande skedet avgränsa sig till att övertrycksventilera så kallade hotade och smittade utrymmen (*Bild 3-7*). Detta kallas defensiv övertrycksventilering vilket betyder att man koncentrerar sig på angränsande utrymmen till brandrummet. Om det anses att brandgaserna kan sprida sig till, hota, dessa angränsande utrymmen byggs ett övertryck upp m h a en fläkt så att gaserna inte kan pressas ut av brandtrycket. Om en volym redan har smittats kan man med en fläkt vädra denna och på så sätt underlätta, för brandpersonalen och eventuella utrymmande personer, genom att sikten blir bättre samt att toxiciteten minskar. Det är även i detta fall viktigt att frånluftsöppningen inte angränsar till brandrummet och att brandgaserna inte pressas in i ytterligare utrymmen. Ett exempel på en defensiv övertrycksventilering är trycksättning av ett trapphus med hjälp av en fläkt och en brandgaslucka. I samma exempel kan man, om inte brandgaserna kommit ut i trapphuset, förhindra spridning genom att trycksätta det med en övertrycksfläkt.

#### 3.4 Risker med övertrycksventilering

Övertrycksventilering är mycket användbart när man vill förbättra siktbarheten för att motverka ytterligare försämring av omgivningen /7/. Det krävs dock både erfarenhet och kunskap för att inte råka ut för oväntade händelser. I USA har man anammat övertrycksventilering och den används ofta vid villa- och lägenhetsbränder. Det har på många räddningstjänster blivit en standardrutin att starta övertrycksfläkten i samband med att rökdykare tränger in i en byggnad. Förfarandet kan inte direkt överföras till det svenska systemet, då framförallt konstruktionen av byggnader till stora delar skiljer sig från varandra. I Sverige är husen byggda för att klara kyla och vind och är därför förhållandevis täta. Bränder i USA är av denna anledning mer ofta bränslekontrollerade.

#### 3.4.1 Brandspridning

I de fall då det inte finns tillgång till något fönster för frånluft i ett rum kan det uppstå komplikationer. För att kunna sätta in en övertrycksfläkt måste det ju finnas öppningar som brandgaserna kan evakueras ut ur. Finns det då t.ex. ett fönster i ett intilliggande rum bör man beakta risken för brandspridning. Om det i detta rum finns brännbart material som ännu inte påverkats kan ett öppnande av ett fönster medge en spridning av branden in i detta rum. Branden kommer att dras mot fönstret som öppnats p.g.a. det drag som bildas då fläkten startas.

#### 3.4.2 Brandgasexplosion

Vid bränder uppstår som tidigare nämnts brandgaser vilka delvis består av oförbrända gaser. När det gäller ansamlingen av brandgaser i intilliggande rum finns det i inledningsskedet ett överskott på syre, koncentrationen brandgaser måste alltså höjas. Dessa kan antändas om koncentrationen brandgaser ligger inom brännbarhetsområdet /1/ samt att det finns en antändningskälla (*Bild 3-8*). När en övertrycksfläkt uppbringar ett övertryck i en lokal kan brandgaserna tryckas in i ett intilliggande rum och ansamlas. När brännbar koncentration uppnåtts behövs det bara en gnista för att utlösa en explosion vilken kan leda till en övertändning och brandspridning /2/.



Bild 3-8: Vid en brandgasexplosion läcker brandgaser in i ett angränsande rum och antänds.

#### 3.4.3 Backdraft

Till skillnad från en brandgasexplosion är syrekoncentrationen reducerad vid en backdraft, och den sker inte i ett intilliggande utrymme utan inträffar direkt i brandrummet. För att detta fenomen skall inträffa måste branden vara ventilationskontrollerad, vilket tidigare har beskrivits (*Kapitel 3.3.2*). Kortfattat ansamlas stora mängder brännbara gaser i en byggnad med ett underskott på syre. Koncentrationen på brandgaserna ligger nu över den övre brännbarhetsgränsen. Ett annat typiskt tecken på att en brand är underventilerad är att det i eventuella öppningar ser ut som om brandgaserna pulserar, branden försöker få in så mycket

syre som möjligt genom brandgaserna. Om man i detta skede startar en övertrycksfläkt i offensivt syfte kommer brandgasernas koncentration att sjunka mot den övre brännbarhetsgränsen /9/. När brännbar koncentration uppnås vid den nästintill självslocknande brandhärden tänds brandgaserna i en explosion och slungas mot öppningen som ett stort eldklot, en s.k. backdraft (*Bild 3-9*) /8/. Då en backdraft har inträffat är det troligt att rummet blir övertänt och att en snabb brandspridning sker till intilliggande utrymmen. Här finns också risken för att branden sprids längs fasaden genom eventuella frånluftsöppningar och krossade fönster.



Bild 3-9: Brandgaser blandas med kall luft och blandningen blir antändbar. Vid en eventuell antändning av gaserna slungas ett eldklot ut genom öppningen.

Om det befinner sig personer inuti en byggnad när en backdraft inträffar innebär detta stora risker. Det höga trycket i kombination med de brinnande gaserna bildar en livsfarlig miljö. Känner man dock till riskerna med en ventilationskontrollerad brand samt dess karaktäristiska utseende kan farliga situationer undvikas. Riskerna gäller inte bara övertrycksventilering utan vid alla insatser med en ventilationskontrollerad brand. Man får inte glömma att kyla brandgaserna före insatspersonal sätts in och/eller en övertrycksfläkt startas. Görs detta minskar risken för att överraskas av förödande händelseförlopp.

# 4 Beskrivning av CFD

Att kunna förutse hur en brand utvecklas och sprider sig i en byggnad är ovärderligt vid brandförebyggande arbete och konstruktion av nya byggnader. Av denna anledning har det i takt med att datorerna utvecklats tagits fram ett stort antal modeller för simulering av brandförlopp, brandgasspridning, sprinkleraktivering mm. De grundläggande sambanden för dessa modeller har funnits länge men brandens oberäkneliga natur leder till ett stort antal problem. En brand kan utvecklas på en mängd olika vis beroende på omständigheterna vilket leder till att mycket kraftiga datorer behövs för att utföra de beräkningar som krävs för bl.a. turbulens, förbränning, strålning och värmeledning. Flera av dessa delområden är också, var och ett, föremål för forskning vilket leder till att modellerna hela tiden utvecklas. Här följer en kortfattad beskrivning av CFD-modeller.

#### 4.1 Allmänt

CFD-modeller (Computational Fluid Dynamics models) även kallade fältmodeller är för tillfället de mest avancerade modellerna för simulering av brandförlopp. Det finns ett antal olika modeller på marknaden bl.a. SOFIE, SMARTFIRE och FDS. Dessa modeller skiljer sig på vissa punkter, men de är alla deterministiska och bygger på grundläggande fysikaliska och kemiska samband som t.ex. Navier-Stokes ekvationer. CFD-tekniken används inte bara inom brand utan även inom många andra områden för att simulera t.ex. luftmotstånd för bilar och funktionen hos ventilationssystem. Detta gör att utvecklingen inom CFD-tekniken går fort eftersom den drivs framåt inom olika områden. Mycket av dessa nya rön kan appliceras på brandmodellerna trots att dessa innehåller många områdesspecifika funktioner som måste utvecklas genom forskning inom brand /15/.

Vid CFD-modellering delas den aktuella volymen upp med ett gridnät vilket resulterar i ett stort antal kontrollvolymer i vilka sedan konservationslagarna för bl.a. massa, energi och rörelsemängd löses. Beroende på antalet kontrollvolymer får man en varierande noggrannhet i simuleringarna, men resultatet blir i de flesta fall mycket mera noggrant än vid användande av t.ex. tvåzonsmodeller som delar upp hela volymen i ett övre brandgaslager och ett undre luftlager. Simuleringens noggrannhet är självklart beroende av andra faktorer än gridnätet och bland dessa kan nämnas de ingående beräkningsmodellernas noggrannhet.

CFD-modeller består i allmänhet av tre olika komponenter:

- Preprocessor
- Solver
- Postprocessor

#### 4.1.1 Preprocessor

Här definierar användaren alla indata för simuleringen. Dessa består bl.a. av objektets geometri, gridnätets storlek, typ av bränsle, effekt, ytmaterial mm. Här anges också randvilkoren, vilken typ av utdata man vill ha och i vissa fall vilka fysiska och kemiska beräkningsmodeller som skall användas.

#### 4.1.2 Solver

Här utförs beräkningar av ett antal ekvationer. Utifrån givna indata och approximationer av okända variabler itereras en lösning fram. De ekvationer som CFD-modeller bygger på är Navier-Stokes ekvationer där ett antal partiella differentialekvationer behandlar flödesbeteenden. Utöver dessa ekvationer används ett antal modeller som behandlar turbulens, strålning, sot produktion, förbränning mm. Det är den iterativa lösningen av alla dessa ekvationer som gör att CFD-simuleringar kräver stor datorkraft.

#### 4.1.3 Postprocessor

Här utförs efterbehandling av utdata så att det kan presenteras grafiskt som bl.a. 2D-konturer, 3D-konturer, vektorer och partiklar. I detta arbete används SMOKEVIEW /16/ som är speciellt framtaget för att fungera med FDS, men det finns ett flertal liknande program på marknaden.



Figur4-1: Flödesschema för CFD-processen (alla in- och utdata är inte presenterade).

#### 4.2 Verifiering

När man har utfört simuleringar med en CFD-modell måste man göra en verifiering för att kontrollera att modellens lösning är riktig /14//15/. Lösningen är beroende av korrekta fysikaliska och kemiska modeller samt av riktiga utgångsvärden och randvillkor. Verifieringen för simuleringarna i denna rapport finns i *Appendix B*. Verifieringen består egentligen av en kontroll av två problem. Det första gäller korrekt användande av brandfysikaliska modeller och det andra gäller programmets utförande av en korrekt numerisk lösning.

Ett exempel på kontroll av brandfysiken är att beräkna den dimensionslösa effektutvecklingen,  $\dot{Q}^*$  (*Appendix B.1*).  $\dot{Q}^*$  skall för ett normalt brandförlopp ligga i intervallet 0,1<  $\dot{Q}^*$  <2,5 för att branden i en simulering skall motsvara en "verklig" brand. Om  $\dot{Q}^*$  överstiger 2,5 liknar det mer en jetflamma vilket kan bero på att en för liten förbränningsarea i förhållande till effektutvecklingen angetts. Ett högt  $\dot{Q}^*$  kan självklart vara normalt om man simulerar t.ex. ett gasläckage /14/.

Ett exempel på åtgärder för att undvika problem i den numeriska lösningen är att se till att gränsytor som skall ha en konstant tryckprofil inte sammanfaller med öppningar som t.ex. fönster och dörrar. Detta kan nämligen påverka beräkningarna. Det rekommenderas därför att beräkningsdomänen placeras en bit utanför öppningar så att det blir ett antal kontrollvolymer mellan öppningen och tryckgränsen. Andra utdata som kan undersökas för att kontrollera den numeriska lösningen är temperatur, brandgasplym, takjet, brandgaslager och vissa flöden. Normala flamtemperaturer ligger mellan 800-1300°C och temperaturer över 2000°C är direkt felaktiga då de överstiger den adiabatiska flamtemperaturen. Väldigt höga temperaturer överensstämmer inte med den typ av flödes- och turbulensmodeller som används i programmet. Användaren bör för övrigt vara observant på allt som verkar onormalt och kontrollera detta eftersom det kan bero på numeriska fel, men det behöver inte vara så.



Diagram 4-1: Kontroll av flamtemperaturen i simulering av brandövningshuset. Då temperaturerna inte uppnår onormala temperaturer i simuleringen anses detta vara en verifiering.

Nedan följer några exempel på punkter som kan beaktas vid kontroll av CFD-simulering:

#### Brandfysikaliska aspekter

- Använd en förbränningsmodell med korrekta förhållanden mellan luftflöden och avgiven effekt.
- Kontrollera så att  $\dot{Q}^*$  understiger 2,5.
- Kontrollera ventilationsförhållanden: Vad har läckage för inverkan? Kan branden bli underventilerad och klarar programmet i så fall av detta?
- Kontrollera om särskilda åtgärder behövs för att sprinklers och detektorer skall utlösa vid rätt tidpunkt. Till exempel finare gridnät under taket.
- Kontrollera att gränserna i beräkningsdomänen inte påverkar flödet i öppningar.
- Kontrollera flamtemperaturerna. De bör inte överstiga 1300°C och temperaturer över 2000°C måste vara fel eftersom de överstiger den adiabatiska flamtemperaturen.

#### Numeriska aspekter

- Förhållandet längd/bredd/höjd på kontrollvolymerna bör inte överstiga 1:10.
- Kontrollera noggrannheten i resultatet genom att utföra simuleringen med olika storlek på gridnätet.
- Se till att ett tillräckligt fint gridnät används runt branden, öppningar och andra intressanta punkter.
- Vid kontroll av simuleringen bör inte för många parametrar ändras samtidigt då det vid analysen kan bli svårt att veta vilken parameter som har påverkat resultatet.

#### 4.3 FDS 2.2 (Fire Dynamics Simulator)

Programmet som används i detta arbete är NIST Fire Dynamics Simulator (FDS) och har utvecklats av National Institute of Standards and Technology, USA. Fire Dynamics Simulator består egentligen av två program, FDS som innehåller preprocessor och solver samt SMOKEVIEW som är postprocessorn. Dessa program behandlas i denna rapport som en enhet under namnet FDS och kan hämtas gratis på NIST:s hemsida www.fire.nist.gov.

#### 4.3.1 In- och utdata

Geometrin som skall simuleras i FDS var man tidigare tvungen att lägga in block för block utifrån ett koordinatsystem som definieras med den yttre beräkningsdomänen (totala antalet kontrollvolymer). Detta kan bli ett mycket tidskrävande arbete eftersom t.ex. varje trappsteg i

en trappa måste modelleras var för sig. Ytterligare en nackdel vid skapandet av geometrin är att endast vinkelräta objekt kan skapas. Det går alltså inte att modellera kupoler och snedtak på ett enkelt sätt, utan dessa måsta byggas upp som trappor. Geometrin anpassas också efter gridnätets storlek vilket gör att öppningar och väggar kan bli både större och mindre än vad som anges i indatafilen (*Appendix G*). En uppgradering till FDS 2.2 är programmet dxf2fds som kan omvandla 3D-ritningar från CAD-program till rektangulära block som kan läsas in i FDS:s indatafil. Programmet konverterar information från filformatet dxf där alla objekt benämnda 3DFACE kan anpassas till FDS format. Detta underlättar uppbyggandet av geometrin väsentligt men man måste fortfarande ange gridstorlek, materialegenskaper och liknande. Vid enklare geometrier kan det också gå lika fort att lägga in geometrin direkt i FDS som att göra ritningen i CAD. Dxf2fds har inte använts i detta arbete eftersom det blev tillgängligt först efter att geometrin modulerats.

I version FDS 2.2 kan beräkningsdomänen delas upp med flera olika gridnät för att bättre kunna anpassas efter aktuell geometri (*Bild 4-2*). I äldre versioner måste beräkningsdomänen anpassas efter objektets yttre mått vilket kan ge stora ytor med kontrollvolymer som inte behövs för simuleringen (*Bild 4-1*).



Bild 4-1: Gridnätets uppbyggnad i FDS 2, beräkningsdomänen går utanför objektet.



Bild 4-2: Gridnätets uppbyggnad i FDS 2.2. Det finns inga kontrollvolymer utanför objektet.

Ytterligare indata som anges är typ av bränsle, effektutveckling, väggmaterial, hur dörrar öppnas och stängs, fläktars funktion mm. Utöver detta finns ett stort antal parametrar som kan ställas in av användaren men dessa nämns inte närmare här.

Slutligen anges i indatafilen vad som skall presenteras som utdata. Eftersom simuleringarna tar väldigt lång tid vill man försöka begränsa mängden utdata till en minimal mängd, varför antalet förvalda utdataparametrar är få. För att behandla utdata och presentera den grafiskt innehåller FDS programmet SMOKEVIEW. Detta program är framtaget av NIST för att fungera tillsammans med FDS men kan användas för att presentera data från vissa andra CFD-modeller. Programmet presenterar geometrin 3-dimensionellt och objektet kan snurras 360° i alla riktningar.

Resultaten kan visas på ett antal olika sätt i SMOKEVIEW. Exempel på dessa är:

- Slicefiles: 2-dimensionella tvärsnitt kan läggas i x-, y-, och z-led och visa bl.a. temperatur, gas hastighet och effektutveckling.
- **Isosurface:** 3-dimensionella konturer visar en yta som följer *ett* givet värde för t.ex. temperatur, effekt, brännbarhetsgräns och siktbarhet.
- **Boundary files:** Konturer som visar utdata för vägg-, tak- och golvytor. Exempel på utdata är strålning och temperatur.
- **Point Measurements:** Mäter utdata punktvis som en vanlig temperaturmätare. Exempel på utdata är temperatur, densitet, tryck och väggtemperatur.

• **Particle:** Partiklar kan användas för att visa flöde och utbredning. Partiklarna kan vara enfärgade eller färgade efter t.ex. temperatur.

#### 4.3.2 Problem i FDS 2.2

Vid den iterativa lösningen av ekvationerna skall felet i lösningen gå mot noll. För att programmet skall kunna användas i praktiken krävs dock att ett mindre fel (konvergens) i lösningen accepteras för att beräkningstiden inte skall bli allt för lång. Beräkningarna utförs tills en acceptabel konvergens uppnås för det aktuella tidssteget och därefter upprepas samma sak för nästa tidssteg. Dessa konvergenskriterier är förvalda i FDS 2.2.

I FDS 2.2 kan man använda sig av flera gridnät för att kunna modulera komplicerade geometrier. Detta är en nyhet i programmet och kan därför tänkas vara dåligt verifierat då det inte använts i någon större utsträckning. Gridnätets storlek kan också påverka geometrin eftersom denna i vissa fall anpassas efter gridnätet. FDS 2.2 erbjuder också ett antal nya möjligheter som fortfarande är på experimentstadiet och därför inte är fullt verifierade. Bland dessa kan nämnas uppstart av avbruten simulering och användande av vätskebränder med varierande förångningshastighet. FDS 2.2 är fortfarande på utvecklingsstadiet och uppdateras hela tiden varför vissa versioner kan innehålla "buggar".

Den effektutveckling som uppnås i programmet är inte alltid den som har angetts i indatafilen. Detta beror på att allt bränsle som teoretiskt skall brinna inte alltid gör det. Felet beror på numeriska orsaker i programmet och inte på fysikaliska orsaker. Då lösningen till problemet fortfarande är under utveckling måste användaren själv korrigera effektutvecklingen så att önskad effekt uppnås.

#### 4.3.3 Erfarenheter

En stor del av arbetet med simuleringarna har varit att få geometrin rätt. Då geometrin modellerats utan det nya CAD-baserade programmet, dxf2fds, har mycket tid lagts på att kontrollera ritningar och ta fram riktiga koordinater för att underlätta arbetet med indatafilen. Detta rekommenderas då det har varit mycket lätt att göra ändringar i geometrin utifrån dessa koordinater.

En begränsning i FDS är att den modell som används för förbränning inte hanterar ventilationskontrollerade bränder särskilt bra. Detta innebär att användaren måste se till att det finns tillräckligt med tilluftsöppningar för att motverka underventilering. Det finns även andra begränsningar som gör att vissa scenarier måste anpassas efter programmets möjligheter istället för att helt följa användarens önskemål. Som exempel på detta kan nämnas att samma yta inte först kan användas som dörröppning och därefter som fläkt eller att en dörr inte kan öppnas och stängas flera gånger.

Eftersom FDS 2.2 är under utveckling kan problem uppstå p.g.a. "buggar" i programmet. En sådan bugg försvårade detta arbete under en avsevärd tid och ledde senare till en korrigering av FDS 2.2. Av denna anledning har det varit mycket viktigt att hela tiden se till att den senaste versionen av FDS 2.2 har använts.

De utdata som skall hanteras av SMOKEVIEW kan fort bli mycket stor vilket kan leda till problem om resultatet skall brännas till CD eller hanteras på annat sätt för att kunna presenteras på andra datorer. Därför är det viktigt att användaren på ett tidigt stadium analyserar vilka utdata man har användning för och hur ofta man vill att dessa utdata skall sparas för att man skall få ett användbart material.

Det är av största vikt att all indata kontrolleras noggrant så att inga fel visar sig i slutet av en simulering, då simuleringstiden kan uppgå till flera dygn.

# 5 Scenarier

Ett antal grundscenarier har tagits fram för att åskådliggöra olika förlopp och fenomen vid brandgasventilering. Scenarierna har i första hand tagits fram för att passa in i undervisningen av brandpersonal vid Räddningsverkets skola Rosersberg och syftar till att visa grunderna i brandgasventilering. Nedan presenteras de 4 scenarier som har använts, de två första av dessa har också verifierats med praktiska försök. I samtliga scenarier eldas heptan och en maximal effektutveckling på ca 430 kW (*Appendix D*) har använts. Öppningar till brandrummet från omgivningen har modellerats så att branden ej skall bli ventilationskontrollerad (*Appendix E*).



Bild 5-1: Placering av de öppningar som ingår i scenarierna.

#### 5.1 Scenario 1

Branden är belägen på plan 1 och dörrarna från plan 1 till trapphuset och från trapphuset till det fria är öppna under hela förloppet. Dörren mellan plan 2 och trapphus är stängd under hela förloppet. Efter 5 min öppnas brandgasluckan i taket och 1 min senare startas en övertrycks-fläkt i dörröppningen som trycker luft från det fria in i trapphuset.

0 min: Start brand 5 min: Öppnande av brandgaslucka 6 min: Start av fläkt

Detta förlopp används för att visa effekten av att öppna en lucka i taket och därefter starta en fläkt för ventilering av trapphuset. Innan fläkten startas utnyttjas endast brandgasernas termiska stigkraft. Någon ventilation av brandrummet förekommer ej.

#### 5.2 Scenario 2

Branden är belägen på plan 1 och dörrarna från plan 1 till trapphuset och från trapphuset till det fria är öppna under hela förloppet. Dörren mellan plan 2 och trapphuset är stängd under hela förloppet. Efter 5 min öppnas brandgasluckan i taket och 1 min senare startas övertrycks-fläkten. Efter ytterligare 1 min öppnas ett fönster i brandrummet.

0 min: Start brand 5 min: Öppnande av brandgaslucka 6 min: Start av fläkt 7 min: Öppnande av fönster

Detta förlopp används för att visa vad som händer då man först ventilerar trapphuset och därefter ventilerar brandrummet. Här vill man se hur förhållandena ändras i brandrummet då fönstret öppnas.

#### 5.3 Scenario 3

Branden är belägen på plan 1 och dörrarna från plan 1 till trapphuset och från trapphuset till det fria är öppna under hela förloppet. Dörren mellan plan 2 och trapphus är stängd under hela förloppet. Efter 5 min öppnas brandgasluckan i taket och 1 min senare startas övertrycks-fläkten. Efter ytterligare 1 min öppnas ett fönster i brandrummet. Skillnaden mot scenario 2 är att det här blåser 6 m/s mot fönstret som öppnas i brandrummet.

0 min: Start brand 5 min: Öppnande av brandgaslucka 6 min: Start av fläkt 7 min: Öppnande av fönster i vindriktning

Förloppet används för att visa vikten av att välja frånluftsöppningarna på rätt sätt för att inte motverka syftet med ventilationen.

#### 5.4 Scenario 4

Branden är belägen på plan 1 och dörrarna från plan 1 till trapphuset och från trapphuset till det fria är öppna under hela förloppet. Dörren mellan plan 2 och trapphus är stängd under hela förloppet. Efter 5 min startas en övertrycksfläkt mellan det fria och trapphuset och 20 sekunder senare öppnas ett fönster i brandrummet. Brandgasluckan öppnas inte i detta scenario utan ventileringen sker enbart genom fönstret i brandrummet.

0 min: Start brand 5 min: Start av fläkt 5 min 20 sek: Öppnande av fönster

Förloppet används för att visa vad som händer när man koncentrerar ventileringen direkt till brandrummet.

# 6 Simuleringar

Detta kapitel beskriver hur simuleringarna är uppbyggda, vilka indata som har använts och vilka utdata som har valts. Det beskriver också geometri och materialparametrar samt vilka förenklingar som gjorts i samband med detta, problem som uppstått berörs också. Den utförda verifieringen (*Appendix B*) visar att simuleringarna har gett en lösning med tillräcklig noggrannhet.

#### 6.1 Geometrier och förenklingar

För att kunna simulera brandövningshuset i FDS behövs en anpassning av geometrin. Detta kräver att förenklingar görs angående de mått som skall läggas in i programmet. Med tanke på de otätheter som finns i verkligheten kan det också vara befogat att lägga in extra öppningar då det krävs att bränder ej blir ventilationskontrollerade i programmet. I FDS blir väggar och tak helt täta utan tillstymmelse till läckage /18/.

Då man i FDS skriver in en komplicerad indatafil är det viktigt att måtten stämmer. Väggar, tak, golv och öppningar måste placeras i ett koordinatsystem. Det underlättar därför om man har bra ritningar och/eller tillgång till objektet. De geometriska förenklingarna beror till stor del på att det bara går att föra in rektangulära block, runda geometrier måste således förenklas. Men även material och värmeledning kan vara svårt att efterlikna.

Då grundidén med denna rapport är att få fram underlag i utbildningssyfte har mycket tid lagts på att ta fram en geometri som överensstämmer med verkligheten. Detta innebär ibland problem då FDS utjämnar inskrivna mått för att det skall passa med gridnätet. På grund av detta har mindre enheter modifierats så att slutprodukten skall bli mer överskådlig och korrekt.

#### 6.2 Geometri

De ritningar som finns över brandövningshuset på Rosersberg har bedömts vara föråldrade. Ritningarna stämmer inte med hur nuvarande innerväggar är byggda. Omfattande mätningar har därför genomförts, nya ritningar har tagits fram, och det är till största delen efter dessa som geometrin i FDS sedan är konstruerad (*Appendix A*). Nämnas skall att trapphuset stämmer bra överens med ritningarna och har därför inte kontrollerats närmare.

#### 6.2.1 Lågdel

Lågdelens ytterväggar måste man ta särskild hänsyn till. Dessa har nämligen varierande tjocklek på olika sidor. Detsamma gäller innerväggarna, här gör dessutom den enorma värmebelastningen sig påmind. Innerväggarna har på många ställen spruckit och är därför tjockare med luftspalter inuti. Innerväggarna har byggts om sedan huset uppfördes, de består av LECA-block. Tak och golv har en förhållandevis enkel struktur och behöver inte behandlas närmare.

Dörr- och fönsterhöjder varierar, detta beror till stor del på den värmepåverkan som uppkommer vid övningar. Det skiljer dock bara några centimeter mellan öppningarna. Men i FDS kan en centimeter påverka utseendet på en dörr. På grund av gridsystemet kan skillnaden i programmet bli 10-20 centimeter. Det kan därför vara tacksamt att avrunda centimetrarna innan man skriver in dem i programmet så att geometrin i FDS överensstämmer med vad man har tänkt sig. Det kanske är bättre att veta att man gjort en öppning 10 cm för stor och att den ritas 10 cm större, då kan kontroller göras, med t.ex. handberäkningar, på en öppning man säkert vet storleken på. Detta måttsättningsproblem kan naturligtvis uppkomma vid andra geometrier än öppningar.

Då FDS bara kan simulera täta väggar måste de otätheter som finns i verkligheten beskrivas på annat sätt. Detta kan påverka tillgången på luft i simuleringen och branden kan då bli ventilationskontrollerad. För att få med otätheterna i simuleringarna, och på så vis få en mer naturtrogen byggnad samt undvika ventilationskontrollerad brand, har en extra ventilationslucka lagts till vid golvnivå (*Appendix E*). Denna extra öppning stängs då fläkten startas för att förlusterna i temperatur och effekt inte skall bli för stora. Om öppningen inte stängs pressas brandgaser till viss del ut denna väg innan fönstret öppnas vilket skulle ge en felaktig bild av ventileringen.

#### 6.2.2 Trapphus

Ytterväggarna består av prefabricerade betongelement. Måttsättningen har i princip gjorts efter ritningar, då betongelementen inte påverkats eller ändrats i samma grad som väggarna i lågdelen. Trapporna består i verkligheten av gallerdurk men har i FDS byggts upp för att få en brandgasspridning som liknar ett riktigt trapphus, dvs. det är tätt mellan trappstegen. I fullskaleförsöken används masonitskivor som för att efterlikna täta trappsteg (*Bild 8-1*). Detta medför att brandgaser kommer att fylla trapphuset "nedifrån och upp" istället för att brandgaserna går genom gallerdurken och direkt upp till taket. Mellan trapporna finns plan som benämns plan 1 till plan 4 (*Appendix A*).

#### 6.3 Material och värmeledning

Brandövningshusets väggar består av en mängd olika material. Det är inte möjligt att i simuleringarna bygga upp en vägg i flera olika skikt varför förenklingar är ett måste. LECAblocken finns inte i FDS databas, de har därför konstruerats efter inhämtande av uppgifter rörande densamma (*Appendix F*).

#### 6.3.1 Lågdel

Ytterväggarna på lågdelen är byggd i LECA-block. På insidan sitter ett lager med värmetålig armerad sprutputs. Innertaket på båda planen är också belagda med LECA-block vilka är fästa i prefabricerade betongplattor (bjälklaget och yttertaket). Innerväggarna är byggda med endast LECA-block. Som en förenklig i FDS har samtliga väggar och tak antagits bestå av dessa block.
### 6.3.2 Trapphus

I trapphuset har väggarna, som består av prefabricerad betong, simulerats i sitt verkliga material. Däremot har trapporna, som i verkligheten är gjorda i gallerdurk, modellerats som riktiga trappor, dvs. täta. På så sett syns brandgasspridningen som den skulle se ut i ett riktigt trapphus, alltså "nedifrån och upp". I fullskaleförsöken (*Kapitel 8*) används träskivor för att påvisa det hinder en trappa är för brandgaserna, men då träskivorna ej tar upp en märkbar mängd värme har dessa i datorsimuleringarna antagits vara inerta dvs. ingen värmeledning sker i trappstegen.

## 6.4 Gridnät

Brandövningshusets geometri, med dess höga trapphus, gör att *ett* gridnät ger många oanvända kontrollvolymer. Av denna anledning har *tre* gridnät, som överlappar varandra, använts (*Bild 14*). Det första gridnätet täcker lågdelen och innehåller branden. Det andra gridnätet täcker lägre delen av trapphuset och överlappar mot lågdelen. Det tredje gridnätet täcker övre delen av trapphuset och överlappar mot trapphusets nedre del. Den överlappande delen är mycket viktig för att beräkningarna i övergången mellan gridnäten skall bli bra. Enligt manualen till FDS 2.2 /18/ är det bäst om gridnäten överlappa varandra så att de sammanfaller med de yttre gränserna. Detta gav dock felaktigheter i simuleringen varför en mindre överlappning har använts. Det är också viktigt att gränsen för överlappningen inte hamnar där man kan förvänta sig många händelser t.ex. i branden eller i inloppet för en fläkt.



Bild 6-1: Gridnätens placeringar i brandövningshuset.

Gridnätets storlek har valts så att kontrollvolymernas storlek blir ca 0,1.0,1.0,1 m<sup>3</sup> vilket ger 376 272 st kontrollvolymer sammanlagt för de tre gridnäten. I efterhand har konstaterats att

kontrollvolymerna runt branden kunde ha gjorts mindre för att uppnå mer noggranna resultat av t.ex. temperaturen i detta område. Det valda gridnätet ger dock en fullt tillräcklig noggrannhet i simuleringarna för det ändamål de skall användas till.

## 6.5 Branden

Förbränningens egenskaper styrs utifrån att bränslet heptan valts från programmets databas (*Appendix F*). På detta sätt regleras t.ex. sot produktion och andel koldioxid som bildas. Effekten regleras genom att  $\dot{Q}''$  (effektutveckling per areaenhet, kW/m<sup>2</sup>) samt önskad förbränningsarea anges i indatafilen. Till en början valdes 1712 kW/m<sup>2</sup> och 0,25 m<sup>2</sup> vilket enligt beräkningar gav 428 kW. Det visade sig dock att effekten i simuleringen bara blev ca 350 kW på grund av ett fel i programmet. Av denna anledning har effekten per areaenhet valts till 2039 kW/m<sup>2</sup> vilket ger en effekt av ca 428 kW i simuleringen (*Appendix D*). Effekten får tillväxa till maxeffekt på ca 60 sekunder för att brandförloppet skall bli mer realistiskt. Detta kallas i fortsättningen "rampning" och baseras på försök utförda av Räddningsverket /21/.

Då en underventilerad brand ej är att föredra har en kontroll på lufttillförseln med avseende på simuleringarna gjorts (*Appendix E*). Kontrollen visar att branden ej blir underventilerad.

## 6.6 Utdata

De utdata som presenteras skall på ett bra sätt åskådliggöra brandgasernas rörelser och egenskaper samt kunna användas vid en jämförelse med de praktiska försöken. Utifrån detta har följande utdata valts:

- Ett antal slicefiles i lågdel och trapphus som visar temperatur. För dessa slicefiles kan även vektorer presenteras.
- Slicefiles i lågdel och trapphus som visar siktbarhet i meter.
- Temperaturmätningar i samtliga rum i lågdelen och i trapphuset. Mätpunkterna placeras i "mätträd" med 5 mätpunkter i lågdelen och 7 mätpunkter i trapphuset. Dessutom mäts väggtemperaturen i en punkt i brandrummet för att kunna avgöra värmeledningen in i väggen.
- Isosurface som visar temperaturen 80°C som är ett vanligt kritiskt kriterie för utrymning.
- Utöver dessa valda utdata presenteras några automatiskt. Dessa är bl.a. isosurface med stökiometrisk mixture fraktion (kg/kg) och isosurface med effektutveckling per volymenhet (kW/m<sup>3</sup>).

Vid bestämning av brandgaslagrets höjd har en siktbarhet på ca 10 m använts vilket har observerats i slicefiles för siktbarhet. För att brandgasernas rörelser skall kunna följas och inte bli för hackiga i animeringen sparas utdata varje sekund. Detta ger en tillräckligt bra animering utan att mängden sparad utdata blir ohanterligt stor.

## 6.7 Simuleringstider

För att genomföra simuleringarna har två olika datorer med följande prestanda använts:

- Processor: AMD Athlon (tm) XP processor 2100+ 1,73 GHz
- RAM: 1,00 GB
- Operativsystem: Microsoft Windows XP Professional
- Processor: Pentium 4 1,73 GHz
- RAM: 768 MB
- Operativsystem: Microsoft Windows 2000 Professional

Då verifieringen består av ett antal simuleringar med olika utseende och antal kontrollvolymer har simuleringstiden varierat. Datorernas olika prestanda har dock inte inverkat på beräkningstiderna. Nedan presenteras beräkningstiderna för scenario 2:

Kontrollvolymstorlek sida (m)	Totalt antal kontrollvolymer	Beräkningstid (Timmar)
0,1	376 272	ca 72
0,2	45 264	ca 9

Tabell 6-1: Beräkningstider för olika antal kontrollvolymer.

Försök med kontrollvolymsstorleken med sidan 0,05 m har även simulerats. Beräkningstiden blir dock alldeles för lång för att ett helt scenario skall kunna simuleras. På ca 72 timmar beräknas bara ca 30 av totalt 600 sekunder.

# 7 Visualisering av utdata

När en simulering har körts i FDS öppnas den förslagsvis i SMOKEVIEW. Här visas geometrin 3-dimensionellt. Genom att välja mellan de olika utdata i menyerna kan sedan olika storheter visas. Nedan ges en liten orientering om vad som kan visas och på vilka sätt detta kan göras. Under bilderna följer en kort redovisning av vad som presenteras. De fyra scenarier som presenterades i *Kapitel 5* finns som filmmaterial på medföljande CD.

## 7.1 Behandling av utdata

I SMOKEVIEW går det att vrida geometrin runt alla axlar (x,y,z). Är det något speciellt som skall visas, t.ex. temperaturen i taket, är det enkelt att vrida geometrin så att taket blir synligt. Det finns också en zoomfunktion som gör det möjligt att titta närmare på t.ex. flödesvektorer.



Bild 7-1: Flödesvektorer i dörröppning.

I *Bild 7-1* har zoomfunktionen använts så att en tydligare bild på flödesvektorer i dörröppningen mellan brandrummet och mellanrummet visas. Vektorerna är färgade efter temperatur och längden på pilarna varierar med flödets storlek. De gula prickarna visar ett "mätträd" med termoelement.



Bild 7-2: Bilden visar en temperaturslicefile vid 290 sekunder med en Isosurface kontur för 340°C (gult) för samma tidpunkt.

Även i detta fall har zoomfunktionen använts på lågdelen. Slicefilen, som är en 2dimensionell kontur, är här av en speciell typ som kan förskjutas i y-led och därmed visa ett större antal temperaturtvärsnitt för given tidpunkt. Isosurface konturen är 3-dimensionell och visar en yta som följer en förvald temperatur för given tidpunkt. I detta fall är temperaturen 340°C.



Bild 7-3: Isosurface kontur för 80°C.

Det är ofta intressant att presentera en bild som visar kritiska förhållanden. Som gräns för den kritiska rumstemperaturen används som regel 80°C. *Bild 7-3* visar en isosurface kontur för just denna temperatur.

## 7.2 Presentation av simuleringar

Nedan presenteras bilder från simuleringar av alla scenarier (*Kapitel 5*). För att åskådliggöra brandgaserna har slicefiles för siktbarhet använts. De första bilderna, *Bild 7-4 till 7-7*, visar brandgasspridningen för scenario 1. *Bild 7-8 till 7-11* presenterar därefter de uppenbara skillnaderna mellan de fyra scenarierna. I samtliga scenarier är de första 300 sekunderna lika. Noteras bör att färgskalan för siktbarhet är tvärtom den färgskala som används för temperatur. Bäst sikt är rödfärgad i figurerna nedan. En siktbarhet på 10 meter har valts för att definiera brandgaslagrets höjd. För temperatur i *Bild 7-1* och *Bild 7-2* svarar röd färg mot de varmaste regionerna. För en helhetsbild av simuleringarna, se medföljande CD-skiva.

## 7.2.1 Scenario 1



Bild 7-4: (Scenario 1) Brandgasfyllnad vid 290 sekunder. Den blå färgen representerar en sikt på under 1 m och den gröna färgen visar var sikten är ca 10-18 m. Det är denna region som definierats som gräns för brandgaslagrets höjd.



Bild 7-5: (Scenario 1) Vid 358 sekunder har brandgasluckan öppnats. Brandgaslagret i trapphuset har höjts något, men detta inverkar bara på plan 1. Den naturliga ventilationen kan inte anses som särskilt effektiv.



Bild 7-6: (Scenario 1) Fläkten startar vid 360 sekunder, efter ytterligare 15 sekunder (bilden) har brandgaslagret höjts markant i trapphuset. Brandgaserna trycks även tillbaka i brandrummet och en omblandning av brandgaserna sker.



Bild 7-7: (Scenario 1) Bilden visar siktbarheten vid 488 sekunder. Fläkten pressar tillbaka brandgaserna i brandrummet och trapphuset helt tömt. Jämfört med scenario 2 (Bild 7-8), där fönstret vid denna tidpunkt är öppet, är sikten sämre i brandrummet.

### 7.2.2 Scenario 2



Bild 7-8: (Scenario 2) Förhållandena i scenario 2 är väldigt lika de i scenario 1 vid 488 sekunder. Till skillnad från scenario 1 har fönstret öppnats i brandrummet vilket medför att brandgaser ventileras ut och en något bättre sikt uppnås.

### 7.2.3 Scenario 3



Bild 7-9: (Scenario 3) Skillnaden mellan detta scenario och scenario 2 är att det nu blåser in genom fönstret i brandrummet med en hastighet av 6 m/s. Brandgaserna pressas av fläkten tillbaka in i lågdelen, men p.g.a. vindens mottryck hålls brandgaserna kvar i mellanrummet. Den ventilerande effekten motverkas alltså av vinden.

### 7.2.4 Scenario 4



Frame: 456 Time: 456.0

a: 456.0 Frame rate:12.6

Bild 7-10: (Scenario 4) Fläkten har startat men brandgasluckan öppnas inte, ventileringen sker endast genom fönstret i brandrummet. Ett "lock" av brandgaser har bildats i övre delen av trapphuset men temperaturen här är bara ca 40°C. I brandrummet hålls brandgaserna tillbaka av fläkten.

# 8 Fullskaleförsök

För att validera simuleringarna i FDS gjordes fullskaleförsök i brandövningshuset på Räddningsverkets skola Rosersberg. Genom att välja ut några av de scenarier som simulerats kan jämförelser göras. För diagram som visar brandförlopp markeras tiderna nämnda i *Kapitel 5* med streckade linjer.

## 8.1 Förberedelser

Under vecka 30 (juli 2002) genomfördes ett antal fullskaleförsök. Några av dessa var för att kontrollera hur bränslet, heptanet, förbränns. Mängden bränsle har beräknats efter en brinntid på 10 minuter för en area på  $0,25 \text{ m}^2$  och en massavbrinning på  $0,047 \text{ kg/m}^2\text{s}$  (*Appendix D*). De uträknade 10 litrarnas brinntid är nästan exakt 10 minuter i fullskaleförsöken. Nämnas bör att i försök i ett 0,5 meter djupt kärl bildades nästan inga sotpartiklar, men med ett 0,1 meter djupt kärl var sotbildningen kraftig. Detta torde bero på att återstrålningen i det djupare kärlet är ringa, då det endast brinner i kärlets topp eftersom de höga väggarna förhindrar syretillförsöken har kontrollerats så att branden inte skall bli ventilationskontrollerad (*Appendix E*).

Övertrycksfläktens kapacitet kontrollerades så att mängden inströmmande luft kunde bestämmas. Med hjälp av en vindhjulsanemometer mättes en genomsnittlig vindhastighet över dörrhålet på 4 m/s.

Termoelement placerades i brandrummet på höjderna 0,3, 0,8, 1,3, 1,8 och 2,3 meter. I trapphuset sattes termoelement på undersidan av varje plan så att temperaturen mättes i taket på planet nedanför. Ett termoelement fästes i taket längs upp i trapphuset /19/(Appendix A).

I simuleringarna i FDS är trapphuset uppbyggt med solida trappor vilket inte är fallet i brandövningshuset. För att uppnå liknande förhållanden lades masonitskivor i trapporna och på planen i trapphuset (*Bild 8-1*). I fasaden finns också en hel del genomföringar som måste tätas med mineralull. Fönstren består i lågdelen av skjutdörrar i plåt, dessa är inte speciellt täta varför mineralull användes som tätning även här. Dörren från trapphuset till plan 2 i lågdelen tätades också så att inte brandgaser skulle kunna sprida sig på detta plan.



Bild 8-1: Masonitskivorna och isolering har lagts i trapphuset.

Två scenarier valdes för fullskaleförsöken. Det ena var scenario 1 där brandgasluckan öppnas efter 5 minuter och övertrycksfläkten startas vid 6 minuter (benämns *Försök 1-3*). Det andra var scenario 2 då brandgasluckan öppnas efter 5 minuter, övertrycksfläkten startas vid 6 minuter och fönstret i brandrummet öppnas efter 7 minuter (benämns *Försök 4-6*). Benämningarnas numrering beror på att tre försök genomfördes på vartdera scenariot.

## 8.2 Utrustning

Utrustning för temperaturmätning vid försöken i brandövningshuset lånades av Skorstensfejarfunktionen på Räddningsverkets skola Rosersberg. Detta inkluderade temperaturloggar av typen Tinytag, Tinytag plus med tillhörande mjukvaruprogram Gemini Data Loggers (GLM) samt Mitec SatelLite50 med tillhörande mjukvaruprogram Winlog. Loggarna fungerar så att en och samma starttid programmeras i dem alla och sedan placeras de ut i byggnaden. När loggarna väl har startat kan man starta branden.

### 8.2.1 Tinytag/Tinytag plus

Tinytag och Tinytag *plus* är två snarlika modeller. Temperaturen mäts med en PT 100-givare som monteras på loggern med en 1 meter lång kabel (*Bild 8-2*). PT 100-givaren sitter i spetsen på ett ca 150 mm långt metallrör ( $\emptyset$  6 mm) och kan vid probspetsen mäta temperaturer i intervallet –50°C till +300°C. Loggern programmeras med en starttid, då mätningarna skall påbörjas, och om man vill så kan även en stopptid läggas in. Då PT 100-givaren inte klarar temperaturer över 250°C under längre perioder, samt att Tinytag och Tinytag *plus* inte får utsättas för högre temperatur än 75°C, används dessa för att mäta temperaturen i trapphuset där det inte blir lika varmt som i brandrummet.



Bild 8-2: Tinytag plus logger med monterad PT 100-givare.

Tinytag och Tinytag *plus* har en osäkerhet /11/ enligt *Diagram 8-1*, men då det i detta fall inte är väsentligt att bestämma temperaturen exakt har denna inte beaktats närmare.



Diagram 8-1: Vid mer exakta temperaturmätningar bör man beakta osäkerheten på mätvärdena enligt diagrammet.

## 8.2.2 Mitec SatelLite50-TK/6 och TK/12

Denna logger programmeras med hjälp av programvaran Winlog. Termoelementen består i detta fall av en speciell termoelementtråd, typ K, för temperaturmätning (*Bild 8-3*). Tråden är lätt att byta ut och den tål höga temperaturer. Av detta skäl drogs långa trådar från Mitec SatelLite50 in i brandrummet, på så sätt kunde loggern ligga på en plats som inte blev utsatt för direkt värmepåverkan då loggern tål max 75°C. Mitec SatelLite50-TK/6 och TK/12 mäter i intervallet –100°C till +600°C respektive –100°C till +1200°C.



*Bild* 8-3: *Mitec* SatelLite50-TK6 logger med monterat termoelement.

### 8.2.3 Vindhjulsanemometer

För att kunna mäta mängden luft som trycks in då övertrycksfläkten startar mättes vindhastigheten i dörrhålet med en vindhjulsanemometer. Den består av en liten propeller som snurrar vid vindpåverkan. En liten mätare registrerar hur många meter luft som passerat. Genom att sedan dividera antalet meter med tiden, under vilken luftflödet mätts, fås vindhastigheten fram. För att få ett medelvärde på vindhastigheten fördes vindhjulsanemometern över hela dörröppningens yta.

## 8.2.4 Övertrycksfläkt (PPV-fläkt)

För att skapa ett övertryck i brandövningshuset användes en övertrycksfläkt. Diametern på fläkten är 61 cm med en bensindriven motor. Fläktens placeringen är ca 2,4 meter från dörröppningen.



Bild 8-4: Övertrycksfläkten är placerad ca 2,4 meter framför dörren in till trapphuset.

## 8.2.5 Övrig utrustning

Förutom mätutrustning användes ett förbränningskar med diametern 0,56 meter och höjden 0,1 meter. Bränslet som använts är industriheptan vars data liknar övrig heptan. Branden är placerad på plan 1 i lågdelen (*Appendix A*). Brandgaslagrets höjd har mätts med graderade stålstänger som placerats i mitten av brandrummet.

## 8.3 Försök 1-3

Dessa försök genomförs enligt scenario 1. Försöket upprepades tre gånger för att säkerställa brandförloppet och brandgasspridningen. Sikten i trapphuset bestämdes genom att ficklampor placerades på olika plan och ljusstyrkans försämring observerades sedan av rökdykare. De tre försöken överensstämmer väl vilket framgår av diagrammet nedan. För fullständiga resultat se *Appendix C*.



#### Repeterbarhet i försök 1-3, brandrum.

Diagram 8-2: Repeterbarheten av temperaturen i brandrummet för försök 1-3. Kurvorna följer varandra på både 0,8 och 1,8 meters höjd.

## 8.3.1 Brandförloppet

Brandgaserna stagnerar på ca 0,8 meters höjd i brandrummet, detta efter ca 3-4 minuter. Sikten i brandgaserna är ca 1-2 meter. Trapphuset fylls med brandgaser, även om brandgaserna inte är så kompakta i hela trapphuset, och sikten är som sämst, ca 4 meter, på plan 2-3 efter ca 5 minuter.

När brandgasluckan öppnas efter 5 minuter lättar brandgaserna i trapphuset och sikten blir något bättre. Däremot, då fläkten startas samlas brandgaserna på plan 4 tills allt har evakuerats ut efter ca 1 minut från det att fläkten startas. Brandrummet påverkas inte nämnvärt av brandgasluckans öppnande, men när fläkten startas blir det kraftig turbulens och branden vänds mot dörren till trapphuset. Bränslet tar slut efter ca 9 minuter och branden slocknar. Detta är ca 1 minut kortare brinntid än vad som beräknats och beror sannolikt på att temperaturen i brandrummet ökar då brandgaserna inte ventileras ut eftersom frånlufts-öppningen (fönstret) är stängt. Återstrålningen blir alltså större och påskyndar förbränningen. Övertrycksfläkten tillför också mer syre till branden vilket kan tänkas öka förbrännings-effektiviteten.

## 8.4 Försök 4-6

Dessa försök genomförs enligt scenario 2. Även här genomfördes tre försök vilka visade sig stämma bra överens, se diagram nedan. Till skillnad från försök 1-3 öppnas här en frånluftsöppning i brandrummet, 1 minut efter det att övertrycksfläkten startats. Sikten bestämdes även här med hjälp av ficklampor. Fullständiga resultat från försöken presenteras i *Appendix C*.



#### Repeterbarhet försök 4-6, brandrum.

Diagram 8-3: Repeterbarheten av temperaturen för brandrummet i försök 4-6. kurvorna följer varandra både på höjden 0,8 m och 1,8 m.

### 8.4.1 Brandförloppet

Efter ca 3-4 minuter befinner sig brandgaslagret på ca 0,8 meters höjd och sikten är då 1-2 meter. Brandgaser fyller trapphuset, men de är inte så kompakta och sikten blir som sämst 4 meter.

När brandgasluckan öppnas efter 5 minuter evakueras brandgaserna i trapphuset, sikten blir bättre men långt ifrån allt evakueras. Den stora skillnaden mellan försök 1-3 inträffar i brandrummet då övertrycksfläkten har varit igång i 1 minut. Turbulensen uppkommer även i detta fall i brandrummet då fläkten startar, men när fönstret öppnas, efter 7 minuter, evakueras brandgaserna. Branden som först vridits mot trapphuset vänds nu mot fönstret. Brandgaserna tunnas ut och sikten förbättras till ca 5-7 meter på ca 1 minut. Luft trycks nu in med större kraft längs golvet från trapphuset. Efter ca 10 minuter slocknar branden, vilket sammanfaller med den tid som beräknats fram.

# 9 Jämförelse mellan simuleringar och fullskaleförsök

Detta kapitel innehåller en jämförelse mellan resultaten från simuleringarna och fullskaleförsöken, se även *Appendix C*. Kontrollerna har utförts på scenario 1 och 2. Först presenteras vad som visuellt har observerats i simuleringen och försöket och därefter följer en jämförelse av temperaturmätningarna. Brandgaslagret i simuleringarna har bestämts utifrån slicefiles för siktbarheten. Gränsen för brandgaslagret dras vid en siktbarhet på 10 m i simuleringarna medan man i fullskaleförsöken kan urskilja en tydlig gräns för brandgaslagret. I detta kapitel presenteras observationer och mätningar vilka sedan följs av en diskussion i en slutsats efter varje underkapitel. För diagram som visar brandförlopp markeras tiderna nämnda i *Kapitel 5* med streckade linjer.

## 9.1 Scenario 1

För scenario 1 utfördes 3 st fullskaleförsök i brandövningshuset (försök 1-3). Anledningen till detta är att resultatens överensstämmelse ville kontrolleras. Under försöken observerades förhållandena i brandrummet och trapphuset av rökdykare och temperaturmätningar utfördes på 5 nivåer i brandrummet och 7 nivåer i trapphuset.

### 9.1.1 Observationer

Vid samtliga försök observerades liknande förhållanden vad gäller brandgaslagrets höjd, brandens utseende, brandgasspridning och ventilationsförhållanden. I simuleringen har slutsatserna dragits utifrån utdata för siktbarhet och temperatur. Nedan följer en jämförelse mellan vad som har observerats vid försök 1-3 och vad som kan observeras i simuleringen för scenario 1.

### 9.1.1.1 Brandrum

Efter 1 min ligger ett distinkt brandgaslager på ca 1 m och sikten är ca 3 m i både försöket och simuleringen. Brandgaserna stannar på ca 0,8 m efter 3 min i försöket och i simuleringen lägger sig brandgaslagret på 0,5-0,6 m efter 1:30 min. Sikten i brandgaslagret är vid dessa tider ca 1-2 m i både försök och simulering.

Vid brandgasluckans öppnande efter 5 min kunde ingen synlig förändring märkas vid försöken. I simuleringen höjs brandgaslagret däremot till ca 1 m.

Då fläkten startas kan en omblandning av brandgaserna observeras i både försöken och simuleringen. I försöken vrider sig flammorna mot trapphuset och går vid vissa tillfällen upp till taket i en "takjet liknande" formation. Utifrån en temperaturslice genom branden kan man se att flammorna även i simuleringen vrider sig mot trapphuset under 1 min. Om flammorna går upp i taket går däremot inte att avgöra. Vad som också visar sig är att fläkten i simuleringen klarar att hålla tillbaka brandgaserna i brandrummet. I försöken kommer brandgaserna ut till dörren mellan lågdelen och trapphuset.



Figur 9-1: Jämförelse av brandrummet för scenario 1. Tidpunkterna svarar för liknande händelser i de båda fallen.

Att brandgaslagret hamnar på en lägre nivå i simuleringen kan bl.a. bero på att brandgaser kan läcka ut vid taknivå i försöken men endast i golvnivå i simuleringarna. En annan orsak kan vara att sot fastnar på väggarna i verkligheten medan detta inte sker i simuleringen vilket ger att brandgaserna innehåller mer sotpartiklar i simuleringen. Bränslets sotproduktion kan också skilja något mellan simuleringen och försöken.

Att brandgaslagret höjs i simuleringen när brandgasluckan öppnas beror troligtvis på att skorstenseffekten i trapphuset via de extra läckageöppningarna i golvnivå skapar ett luftflöde genom brandrummet. Detta luftflöde kan dra med sig brandgaser ut ur brandrummet och på så sätt höja brandgaslagret. Att detta inte kan observeras i försöken beror på att både luftläckaget i brandrummet och den termiska stigkraften i trapphuset är mindre.

Skillnaden i brandgasernas utbredning efter att fläkten startats beror sannolikt på att fläkten i simuleringen inte har några förluster. Den ger alltså fullt flöde in genom hela dörröppningen medan fläkten i försöken ger ett ojämnt flöde där det till och med kan vara utflöde i mindre delar av dörrhålet. Detta beror till stor del på fläktens placering. I försöken bildas även en swirleffekt av fläkten. Med detta menas att luftströmmen in genom dörren "snurrar" runt en tänkt förlängning av fläktens axel. Luftströmmen har alltså en hastighet i x, y och z led medan det i simuleringarna endast är en luftström i en riktning. Hur detta påverkar ventileringen av brandgaserna är svårt att säga med exakthet, men en trolig skillnad torde vara att turbulensen på plan 1 i trapphuset blir större i försöken och att trycket blir lägre p.g.a. förluster.

#### 9.1.1.2 Mellanrum

I simuleringen går brandgaslagret lägre än i försöken. Sikten är ca 1 m i simuleringen och 2-3 m i försöken.

Resultatet beror bl.a. på det som redan nämnts om sotproduktion. En annan anledning är att tilluften i försöken till stor del drar in genom detta rum från trapphuset medan den i simuleringen huvudsakligen tillförs från de extra öppningar som finns i brandrummet.

### 9.1.1.3 Trapphus

I försöken har det varit svårt att få en överblick över brandgasfyllnaden i trapphuset. Detta beror på att det är mycket mörkt i trapphuset samt att alla plan inte kan observeras samtidigt eftersom träskivor har lagts i trapporna.

Brandgaser börjar strömma ut i trapphuset efter ca 40 sek i både försök och simulering. Vad som därefter har observerats i försöken är att tunna brandgaser kommer upp till plan 4 efter ca 2 min. Siktbarheten varierar dock på de olika planen och är 3-4 m på plan 1-2. Vid 5 min är sikten på plan 3,5 och uppåt fortfarande bra medan sikten på plan 3 och nedåt är 3-4m. I simuleringen kan brandgasspridningen följas noggrannare och här är plan 1 och 1,5 i stort sett fyllda efter 1:30 min. Efter ca 2 min är plan 1-3 fyllda med brandgaser och efter 2:20 min börjar plan 4 fyllas. Efter ca 3min är sikten i hela trapphuset 1-2 m.

När brandgasluckan öppnas höjs brandgaslagret i simuleringen till ca 2 m på plan 1 och på de övre planen förbättras sikten så att den är ca 4 m strax innan fläkten startar. I försöken lättar brandgaslagret och tunnas ut på plan 1-1,5. Däremot försämras sikten på plan 3 och 4.

När fläkten startas efter 6 min blir trapphuset helt klart på 20-30 sek i simuleringen. I försöken förbättras sikten fort på de nedre planen medan den tillfälligt försämras på plan 4. Cirka 1 minut efter att fläkten startas är trapphuset helt klart i försöken.



*Figur 9-2: Jämförelse av trapphuset för scenario 1. Tidpunkterna svarar för liknande händelser i de båda fallen.* 

Att brandgasfyllnaden blir mindre i försöken, speciellt på de övre planen, beror på att temperaturen och därmed den termiska stigkraften i brandgaserna är lägre än i simuleringen (*Kapitel 9.1.2.2*). Skillnaderna i sikt beror på det som tidigare nämnts om sot.

När brandgasluckan öppnas rör sig brandgaserna uppåt p.g.a. den termiska stigkraften samtidigt som luft dras in genom dörröppningen och upp genom trapphuset. Det är detta som gör att brandgaserna höjs och späds ut i simuleringen. I försöken har brandgaserna sämre stigkraft p.g.a. den lägre temperaturen och skorstenseffekten blir här sämre. Av denna anledning höjs inte brandgaslagret lika markant och de brandgaser som stiger uppåt ger bara en försämring av sikten på de övre planen istället för att snabbt ventileras ut och ge bättre förhållanden.

Att ventileringen tar längre tid i försöken än i simuleringen beror troligtvis på förlusterna som uppstår p.g.a. fläktens placering och den tidigare nämnda swirleffekten. Att den naturliga ventileringen efter luckans öppnande varit effektivare i simuleringen har troligtvis också haft betydelse.

### 9.1.2 Temperaturjämförelse

Här presenteras en jämförelse mellan temperaturmätningarna i försök 1-3 och simuleringen för scenario 1. Mätningsintervallet har i försöken varit 5 sek och i simuleringen 1 sek. Nedan presenteras bara diagrammen från simuleringen och ett av försöken men i jämförelsen har alla försök och mätpunkter använts. Endast två mätpunkter per jämförelse visas i diagrammen, detta för att få en mer överskådlig bild av skillnaderna mellan simuleringen och försöken. Resterande diagram från försök 1-3 presenteras i *Appendix C*.

#### 9.1.2.1 Brandrum

Mellan 0 och 5 min (0-300 sek) följer kurvornas utseende varandra ganska bra. Temperaturen i simuleringen är dock upp till 100 grader högre än i försöken. Vad som också kan utläsas är att brandtillväxten, i simuleringen kallad rampning, är något långsammare i försöken jämfört med vad som angetts i simuleringen. Skillnaden är ca 30 sek varför jämförelser vid samma tidpunkt blir något missvisande.

Efter brandgasluckans öppnande (300 sek) fortsätter temperaturen att öka på samtliga nivåer i försöken. I simuleringen planar temperaturen ut för de tre översta nivåerna och sjunker för nivå 0,3 och 0,8 m.

När fläkten startar (360 sek) ökar alla temperaturer i försöken. Den största ökningen sker på 0,8 m nivån, men även på 2,3 m ökar temperaturen fortare än på 1,8 och 1,3 m. 20-30 sek efter fläktens start börjar temperaturen sjunka på alla nivåer utom 0,3 m. I simuleringen sker ökningen bara på nivå 0,3 och 0,8 och går fortare än i försöken medan de övriga temperaturerna minskar direkt.



Diagram 9-1: Jämförelse av temperaturen i brandrummet vid FDS-simulering av scenario 1 och försök 3. Temperaturerna jämförs på höjderna 0,8 m och 1,8 m, S=Simulering och F=Fullskaleförsök.



Temperatur-Höjd diagram för brandrum vid t 290s, scenario 1.

Diagram 9-2: Ur diagrammet kan temperaturskillnaderna vid tiden 290 s utläsas. Höjderna motsvarar termoelementens placering.

Anledningen till skillnaderna i temperatur beror bl.a. på att brandtillväxten är olika. Vid jämförelsen kan man se att det i båda diagrammen är en snabb temperaturökning upp till ca 300°C och därefter planar ökningen ut. Skillnaden är att detta sker 30 sek senare i försöken än i simuleringen vilket gör att ökningen i försöken hela tiden ligger efter och inte hinner uppnå samma sluttemperatur som i simuleringen. Andra bidragande orsaker kan vara att materialens ledningsförmåga kan skilja och att det är större läckage i försöken.

Simuleringens temperaturminskning på de lägre nivåerna när brandgasluckan öppnas beror på att brandgaslagret höjs p.g.a. skorstenseffekten i trapphuset. Att detta inte sker i försöken beror på att skorstenseffekten inte har lika stor påverkan p.g.a. lägre temperatur än i simuleringen och att brandgaslagret redan ligger över 0,8 m vilket medför att termoelementet inte påverkas då brandgaslagret stiger.

När fläkten startas blir det en omblandning av brandgaserna som gör att temperaturen stiger på nivå 0,3 och 0,8 m i både simulering och försök (*Appendix C*). Ökningen på nivå 2,3 m i försöken beror på att flamman vänder sig mot trapphuset och går upp i taket. Termoelementens placering gör att denna rörelse ger en temperaturökning på nivå 2,3 m. Den följande temperaturminskningen beror i simuleringen på inblandning av luft och i försöken på inblandning av luft samtidigt som effekten minskar när brännslet tar slut. Även här försämras flödesbilden i försöken p.g.a. swirleffekten från fläkten.

Vid mätningarna i försöken inverkar även mättekniska orsaker som t.ex. tröghet i termoelementen. Detta ger som följd att de uppmätta temperaturökningarna/minskningarna kommer få en tidsförskjutning jämfört med simuleringen.

#### 9.1.2.2 Trapphus

Kurvorna har ett liknande utseende men i simuleringen är ändringarna mer markanta. Temperaturen i simuleringen är mellan 50-75 grader varmare vilket vid vissa tidpunkter är nästan dubbelt så högt. Ur diagrammen i *Appendix C* kan även utläsas att brandgaslagret går under 1,5 m i simuleringen men inte i försöken.

Då brandgasluckan öppnas (300 sek) sjunker temperaturen på plan 2 och 2,5 i både försök och simulering. Sänkningen är dock både snabbare och större i simuleringen. I simuleringen blir det från plan 3 och uppåt en "temperaturpuckel" som för plan 3 följs av en lägre temperatur än tidigare och för plan 3,5 och uppåt följs av en högre temperatur än innan "puckeln".

När fläkten startas (360 sek) sjunker temperaturen i stort sätt omedelbart till 20°C i simuleringen medan sänkningen i försöken tar längre tid. Här får plan 2-3 en ganska omedelbar sänkning medan sänkningen på plan 3,5 startar efter ca 10 sek och på plan 4 och tak efter ca 30 sek.



Diagram 9-3: Jämförelse av temperaturen i trapphuset vid FDS-simulering av scenario 1 och försök 1. Temperaturerna jämförs på höjderna plan 2,5 och plan 3,5, S=Simulering och F=Fullskaleförsök.



Temperatur-Höjd diagram för trapphus vid t 290 s, scenario 1.

Diagram 9-4: Ur diagrammet kan temperaturskillnaderna vid tiden 290 s utläsas. Höjderna motsvarar termoelementens placering. Även om temperaturerna i simuleringen inte är densamma som i försöken ser man tydligt att profilen på kurvorna överensstämmer.

Temperaturskillnaderna beror bl.a. på följdfel från temperaturerna i brandrummet. En annan orsak kan vara olika ledningsförmåga i materialen och att det i verkligheten finns stålbalkar i trapphuset som leder värme. Att brandgaslagret går lägre och att sikten blir sämre i simuleringen beror på att läckaget av brandgaser är större i försöken än i simuleringen och på att mängden sot är större i simuleringen eftersom inget sot kan fastna på väggarna.

När brandgasluckan öppnas blir det en skorstenseffekt som är större i simuleringen eftersom de högre temperaturerna ger en större stigkraft, vilket ger de kraftigare ändringarna i simuleringen. Temperaturpuckeln i simuleringen beror på att brandgaserna stiger uppåt, och den följande temperaturändringen beror på att luft och brandgaser blandas i den uppåtgående rörelsen. Förloppet blir samma i försöken som i simuleringen men långsammare.

Att ventileringen tar längre tid i försöken än i simuleringen när fläkten startar beror på de förluster som blir p.g.a. fläktens placering, swirleffekten samt på det läckage som finns i trapphuset. En annan orsak är att den naturliga ventilationen vid brandgasluckans öppnande har varit sämre vid försöken varför mer brandgaser finns kvar i trapphuset. Mättekniska orsaker såsom tröghet i termoelementen vid försöken inverkar också.

## 9.2 Scenario 2

Även i scenario 2 utfördes 3 st försök (försök 4-6), observationer samt temperaturmätningar utfördes på samma sätt som i scenario1.

### 9.2.1 Observationer

Både i försök och i simuleringar stämmer observationerna överens med scenario 1 fram till fönstrets öppnande vid 7 min (420 sek). Därför kommenteras bara vad som händer efter 7 min.

### 9.2.1.1 Brandrum

I försöken förbättras sikten successivt så att man efter ca 1 min ser fönstret från dörröppningen. Flamman vänder sig mot fönstret efter att först ha fluktuerat och virvlat runt i rummet i ca 1 min. I simuleringen förbättras sikten i hela brandrummet men blir bäst vid fönstret. 1 min efter det att fönstret har öppnats är sikten 5-7 m och förblir så resten av simuleringen. Flamman i simuleringen vänder sig också mot fönstret.

#### Slutsats

Några större skillnader mellan försök och simulering efter fönstrets öppnande kan inte observeras. Att sikten inte förbättras ytterligare i de två fallen beror på att branden producerar så mycket brandgaser att allt inte hinner ventilera ut.

#### 9.2.1.2 Mellanrum

Här finns inga brandgaser i vare sig försök eller simulering efter 7 min.

### 9.2.1.3 Trapphus

Trapphuset innehåller inga brandgaser efter 7 min i varken försök eller simulering.

### 9.2.2 Temperaturjämförelse

Försök 5 skiljer sig något från försök 4 och 6, annars följer försöken och simuleringen ungefär vad som har nämnts i scenario 1 fram till 7 min (420 sek). Här redovisas därför bara det som skiljer från scenario 1. Precis som i scenario 1 presenteras här bara ett diagram från försöken men samtliga diagram har använts vid jämförelsen. Diagrammen innehåller bara två mätpunkter för att jämförelsen skall bli så överskådlig som möjligt. Resterande diagram från försök 4-6 finns i *Appendix C*.

### 9.2.2.1 Brandrum

I simuleringen sjunker temperaturen fort för att sedan plana ut vid ca 120-160°C efter 460 sekunder. I försöken tar det 10-30 sekunder innan temperaturen börjar sjunka och när den väl gör det går det mycket långsammare än i simuleringen. Temperaturen hinner aldrig bli konstant innan bränslet har tagit slut och förbränningen upphör.



Diagram 9-5: Jämförelse av temperaturen i brandrummet vid FDS-simulering av scenario 2 och försök 6. Temperaturerna jämförs på höjderna 0,8 m och 1,8 m, S=Simulering och F=Fullskaleförsök.

#### Slutsats

Skillnaden i ventilering beror åter igen på att fläkten är "effektivare" i simuleringen. En annan, om ändå liten, påverkan kan vara att fönstret öppnas omedelbart i simuleringen medan det i försöken tar tid att öppna fullt.

### 9.2.2.2 Trapphus

Temperaturen i trapphuset påverkas ej av att fönstret öppnas och liknar scenario 1.

## 9.3 Slutsatser

Nedan presenteras en sammanställning av vad som framkommit vid valideringen av simuleringarna.

### 9.3.1 Överensstämmelse

Överensstämmelsen mellan försök och simulering ansens vara bra trots att temperaturskillnaden i trapphuset, och vid vissa tillfällen i brandrummet, är hög.

Förloppet i simuleringen följer i stort det som har observerats i försöken. Den största skillnaden är att vissa förändringar sker snabbare samt att sikten blir något sämre i simuleringen.

Vad gäller temperaturerna i brandrummet är skillnaden mellan försök och simulering som störst ca 30 % (försök 1) vilket är något över det förväntade värdet på 20 % /17/. Vid fönstrets öppnande i scenario 2 går evakueringen av brandgaser mycket snabbare i simuleringen vilket inledningsvis ger ca 50 % temperaturskillnad. I trapphuset är skillnaden mellan 35 % och 50 %. Simuleringen har alltså beräknat för höga temperaturer i förhållande till försöken. Möjliga orsaker till detta har nämnts i kap 9.1.2 och 9.2.2.

Slutligen skall nämnas att överensstämmelsen är fullt tillräcklig för simuleringens ändamål, dvs. att visa förloppet vid brandgasventilation.

### 9.3.2 Felkällor

Att utföra jämförelser mellan simuleringar och praktiska försök är ofta mycket svårt eftersom resultaten påverkas av en mängd olika faktorer som är mer eller mindre lätta att förutse och påverka. Mycket små skillnader, som vind eller en något lägre tillväxthastighet för bränslet, kan ge skillnader som gör att resultaten varierar kraftigt. Nedan redovisas några av de felkällor som beaktats vid fullskalförsöken:

- Brandens tillväxthastighet var vid fullskaleförsöken inte lika snabb som i simuleringarna vilket medför att maxeffekten uppnås senare. Detta ger en förskjutning i temperaturökningen som påverkar hela förloppet.
- Den mänskliga faktorn: Öppnande av luckor, start av fläkt mm sker inte vid exakta tidpunkter och tar i verkligheten tid, medan det i simuleringen sker omedelbart.
- Fläktens placering kan vara något olika mellan försöken, trots noggrann utmätning. Den ger inte heller ett jämt flöde i hela dörröppningen vilket är fallet i simuleringarna.
- Den så kallade swirleffekten från fläkten ger en försämrad flödesbild i försöken jämfört med simuleringarna. I simuleringarna är luftflödet jämnt och har endast en riktning.

- Sotpartiklar fastnar på väggar och tak i verkligheten men inte i simuleringen. Sotproduktionen kan också skilja något mellan bränslet i verkligheten och i simuleringen.
- Alla läckageareor går inte att täta, varför det i verkligheten sker förluster genom läckage som inte sker i simuleringen.
- Vind- och temperaturförhållanden påverkar resultaten i försöken.
- Värmeledningen i materialen kan skilja mellan indata i simuleringarna och det verkliga värdet.
- De extra öppningarna i simuleringen tillåter ett annat flöde av tilluften än vad som sker i försöken.
- Utgångstemperaturen varierar i försöken eftersom väggar och tak värms upp.
- Mättekniska orsaker såsom tröghet i termoelementen innebär en tidsförskjutning vid temperatur ökningar/minskningar.
- Under den sista minuten i försöken avtar branden successivt då bränslet börjar ta slut. Detta tas inte med i simuleringarna, kurvorna fortsätter därför konstant tills simuleringarna är slutförda.

De genomförda simuleringarna har i verifieringen visat sig ha en tillräcklig noggrannhet för de aktuella fallen. Den valda gridstorleken ger en tillfredsställande upplösning för att åskådliggöra händelseförloppen i de olika scenarierna och gränsytornas placering ger ingen nämnvärd påverkan på resultaten. Utifrån denna verifiering har de simuleringar som presenteras i rapporten ansetts uppfylla kraven på riktig numerisk lösning.

En stor del av arbetet på denna rapport har varit att utföra validering av simuleringarna genom fullskaleförsök. Resultaten från dessa visar att temperaturen är lägre i försöken än i simuleringarna. Trots att temperaturskillnaden i flera fall överstiger den förväntade skillnaden på 20 % /17/ har kurvorna ett liknande utseende. En starkt bidragande orsak till temperaturskillnaderna torde vara skillnaden på brandens inledande tillväxthastighet. I simuleringarna har branden en snabbare tillväxthastighet än i verkligheten vilket medför att kurvorna förskjuts ca 30 sekunder. Att flamman i fullskaleförsöken vänder sig mot trapphuset då fläkten startar är också en bidragande faktor till att temperaturen i brandrummet är annorlunda än den i simuleringarna. Flamman värmer de övre termoelementen i "mätträdet" vilket förklarar temperaturökningen då fläkten startas. Mättekniska orsaker, så som tröghet i termoelementen, inverkar också. Vad gäller brandgasernas spridning har simuleringarna bara jämförts med visuella observationer. Dessa påvisar att brandgasspridningen i stort sett överensstämmer mellan simuleringar och försök. De mindre skillnader som trots allt finns rörande brandgaslagret tas mindre hänsyn till då syftet är att ge en allmän överblick av brandgasventilering. Av denna anledning anses simuleringarna uppfylla de krav som ställs för ändamålet.

Resultaten från simuleringarna visar väl de önskade händelseförloppen för de fyra scenarierna (för scenarier se *Kapitel 5*). De fördelar och nackdelar som skall belysas framgår tydligt för respektive scenario (se CD-skiva).

- Scenario 1: Då brandgasluckan öppnas ger den termiska stigkraften ingen effektiv evakuering av brandgaserna. Då fläkten startar blir trapphuset snabbt fritt och brandgaserna hålls tillbaka i lågdelen.
- Scenario 2: Även i detta fall sker den effektiva evakueringen först då fläkten startats. Fönstret öppnas i brandrummet, temperaturen sjunker och sikten förbättras. Detta kunde gärna vara ännu tydligare i simuleringen för att klargöra fördelarna.
- Scenario 3: Fram till tidpunkten då fönstret öppnas är brandförloppet det samma som i de två ovanstående scenarierna. Då fönstret öppnas klargörs nackdelen med att frånluftsöppningen ligger i vindriktningen. Brandgaserna trycks ut mot trapphuset istället för att evakueras genom fönstret. Detta kan i värsta fall helt motverka övertrycksventileringens syfte.
- Scenario 4: När fläkten startas och fönstret öppnas så förbättras sikten i brandrummet. I trapphuset visar sig nackdelen med att bara ventilera brandrummet, här samlas nämligen brandgaserna på de övre planen och stannar där.

Då resultaten från simuleringarna antas överensstämma med en tänkt verklighet kan dessa användas i utbildningssyfte. Viktigt är dock att det alltid framgår att simuleringarna *inte är* verkligheten, utan att de beskriver den på det för tillfället bästa tänkbara vis.

## Referenser

- /1/ Bengtsson, L-G. (1998), Övertändning, backdraft och brandgasexplosion sett ur räddningstjänstens perspektiv. Statens Räddningsverk. ISBN 91-88891-66-6.
- /2/ Bengtsson, L-G (2001), *Inomhusbrand*. Statens R\u00e4ddningsverk, Tryckeri Knappen AB, Karlstad. ISBN 91-7253-103-7.
- /3/ Bengtsson, L-G & Karlsson, B. (1997), *Fenomenen övertändning, backdraft och brandgasexplosion*. Statens Räddningsverk. ISBN 91-88890-87-2.
- /4/ Bengtsson, L-G. et. al. (1998), *Brandventilation i teori och praktik*. Statens Räddningsverk. ISBN 91-88890-27-9.
- /5/ Carlsson, J. (1999), Fire Modelling Using CFD An introduction for Fire Safety Engineers. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, Sweden. Report 5025.
- /6/ Drysdale, D. (1999), An Introduction to Fire Dynamics, 2<sup>nd</sup> Edition. University of Edinburgh, UK. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England. ISBN 0-471-97290-8.
- /7/ Fallberg, R. & Ingason, H. (2000), *Erfarenheter med övertrycksventilation*. Statens Räddningsverk. ISBN 91-7253-051-0.
- /8/ Gojkovic, D. (2001), *Initial Backdraft experiments*. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, Sweden. Report 3121.
- /9/ Gojkovic, D. & Bengtsson, L-G. (2001), "Some Theoretical and Practical Aspects on Fire Fighting Tactics in a Backdraft Situation", in Interflam 2001, vol. 2. Interscience communications limited, London, England. ISBN 0-9532312-9-1.
- /10/ Grimwood, P.T. (1992), Fog Attack: Firefighting Strategy & Tactics An International View. The Graphic Group, Burgess Hill, England. ISSN 0966-8500.
- /11/ Intab Interface- Teknik AB<sup>©</sup>, *Tinytag Hårdvara*. Rev. D, maj-96.
- /12/ Karlsson, B. & Stenblom, L-G. (1996), Datorsimulering av brandventilation. Statens R\u00e4ddningsverk. ISBN 91-88890-28-7.
- /13/ Karlsson, B. & Quintiere J.G. (2000), Enclosure Fire Dynamics. CRC Press LLC, Boca Raton, USA. ISBN 0-8493-1300-7.
- /14/ Kumar, S. & Cox, G. (2001), "Some Guidance on "Correct" Use of CFD Models for Fire Applications with Examples", in Interflam 2001, vol. 1. Interscience communications limited, London, England. ISBN 0-9532312-8-3.
- /15/ Kumar, S. & Cox, G. (2002), "Modeling Enclosure Fires Using CFD", in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3<sup>rd</sup> Edition. Society of Fire Protection Engineers. Courier, Westford, USA. ISBN 087765-451-4.

- /16/ McGrattan, K.B. & Forney, G.P. (2001), User's Guide for smokeview Version 2.0 A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data. National Institute of Standards and Technology, USA. NISTIR 6761. www.fire.nist.gov/fds
- /17/ McGrattan, K.B. et. al. (2002), Fire Dynamics Simulator (Version 2) Technical Reference Guide. National Institute of Standards and Technology, USA. NISTIR 6783, Rev. 1. www.fire.nist.gov/fds
- /18/ McGrattan, K.B. et. al. (2002), Fire Dynamics Simulator (Version 2) User's Guide. National Institute of Standards and Technology, USA. NISTIR 6784, Rev.1. www.fire.nist.gov/fds
- /19/ Olsson, S. (1988), *Mätteknik för brandtekniker Mätning av temperatur, tryck och flöde*. Brandforsk projekt 020-82-1, SP. Rapport 1988:34.
- /20/ Rockwool<sup>®</sup>, Teknisk isolering: Isolerteori. Rekv. nr: 809.
- /21/ Svensson, S. (1996), *Försök med brandgasventilation i en liten lägenhet*. Statens Räddningsverk. ISBN 91-88890-49-X.
- /22/ Svensson, S. (2000), *Brandgasventilation*. Statens R\u00e4ddningsverk. Sjuh\u00e4radsbygdens Tryckeri AB. ISBN 91-7253-066-9.
- /23/ Särdqvist, S. (1998), Övertrycksventilation: Förstudie över brandgasventilation med mobila fläktar. Statens Räddningsverk. Beställningsnummer P21-092/94.
- /24/ www.Firetactics.com (2002-07-15)

# Innehållsförteckning Appendix

APPENDIX A. RITNINGAR	
A.1 LÅGDEL, PLAN 1	73
A.2 LÅGDEL, PLAN 2	74
A.3 TRAPPHUS	75
APPENDIX B. VERIFIERING	77
<b>B.1 KONTROLL AV DIMENSIONSLÖS KONSTANT OCH TEMPERATUR</b>	77
<b>B.2 EFFEKTUTVECKLING</b>	78
<b>B.3 KONTROLL AV GRIDNÄT</b>	80
<b>B.4 KONTROLL AV GRÄNSYTORS PÅVERKAN</b>	82
B.4.1 KONTROLL AV DÖRRÖPPNING	82
B.4.2 KONTROLL AV BRANDGASLUCKA	84
B.4.3 KONTROLL AV FÖNSTER	85
<u>APPENDIX C. JÄMFÖRELSE AV BRANDGASLAGER OCH</u>	
TEMPERATUR	87
C.1 SCENARIO 1	87
C.1.1 BRANDRUM	87
C.1.2 TRAPPHUS	89
C.2 SCENARIO 2	91
C.2.1 BRANDRUM	91
C.2.2 TRAPPHUS	94
APPENDIX D. EFFEKTBERÄKNINGAR	97
D.1 VOLYM HEPTAN	97
D.2 AVBRINNINGSHASTIGHET	98
APPENDIX E. TILLUFTSBERÄKNINGAR	99
APPENDIX F. DATABAS	101
APPENDIX G. INDATAFIL	103
# Appendix A. Ritningar

# A.1 Lågdel, plan 1



Figur A-1: Planritning på plan 1 i lågdelen. Samtliga dörrhöjder är ca 2 meter.

# A.2 Lågdel, plan 2



Figur A-2: Planritning på plan 2 i lågdelen. Samtliga dörrhöjder är ca 2 meter.

## A.3 Trapphus



Figur A-3: Trapphuset sett från sidan (vänster). Benämningen på planen är utsatta på bilden och termoelementen i trapphuset, som hänger ca 10 cm ner under varje plan, har samma benämning som planen. Termoelementen befinner sig ca 0,5 m in i djupled i bilden, förutom termoelementet på plan 1,5 som är ca 1,7 m in. Brandgasluckan (höger) öppnas knappt rill hälften p.g.a. att luckan är nedsänkt i taket ca 1 meter. Samtliga dörrhöjder är ca 2 meter.

# Appendix B. Verifiering

Här utförs en verifiering på scenario 2 för att kontrollera att simuleringen kan betraktas som korrekt. För att göra detta har värdet för  $\dot{Q}^*$  beräknats och temperaturerna har kontrollerats så att de inte överstiger trovärdiga värden. Vidare har effektutvecklingen samt skillnaderna vid användande av olika gridstorlekar kontrollerats. Det har i de aktuella simuleringarna varit nödvändigt att frångå rekommendationen att öppningar och gränsytor med konstant tryckprofil inte skall sammanfalla. Detta har gjorts för att geometrin på detta sätt blir mer lättöverskådlig vilket är nödvändigt för att uppfylla syftet med simuleringarna. För att kontrollera att detta inte påverkar resultatet har flera simuleringar utförts där tryckgränsen och öppningen har separerats från varandra. Dessa kontroller tillsammans med resultaten från valideringen (*Appendix C*) bedöms vara tillräckliga för att kunna avgöra om lösningen är godtagbar. För diagram som visar brandförlopp markeras tiderna nämnda i *Kapitel 5* med streckade linjer.

### B.1 Kontroll av dimensionslös effektutveckling och temperatur

 $\dot{Q}^*$  är en dimensionslös effektutveckling kallad Froude tal som beräknas för att kontrollera att förbränningsarean inte är olämplig i förhållande till effektutvecklingen, ett värde på över 2,5 innebär att det mer liknar en jetflamma vilket inte är representativt för de valda scenarierna. Temperaturen kontrolleras därför att väldigt höga temperaturer inte är representativt för den typ av flödesmodeller som används.

 $\dot{Q}^*$  skall ligga i intervallet 0,1 <  $\dot{Q}^*$  < 2,5 /14/ och beräknas enligt följande:

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty}c_p T_{\infty} d^2 \sqrt{gd}}$$
EFD 4:1
$$\dot{Q} = 0.428 MW$$

$$\rho_{\infty} = 1.2 kg / m^3$$

$$c_p = 1.0 J / kgK$$

$$T_{\infty} = 293 K$$

$$d = 0.56 m$$

Med ovanstående värden blir  $\dot{Q}^* = 1,66$  vilket är inom det tillåtna intervallet.

Om flamtemperaturen överstiger 1300°C bör denna undersökas närmare och om den överstiger 2000°C är den troligtvis högre än den adiabatiska flamtemperaturen vilket är omöjligt. Temperaturerna i simuleringen överstiger dock inte 1000°C (*Diagram B-1*).



Diagram B-1: Flamtemperaturen överstiger inte 1000 °C för någon höjd. Att temperaturen sjunker då fläkten startat beror på turbulensen som bildas, ena sekunden är temperaturen 800 °C, andra sekunden 100 °C i en viss punkt.

## B.2 Effektutveckling

Då FDS inte är komplett vad gäller effektutveckling (*Kapitel 4.3.2*) är det av stor vikt att kontrollera denna. Effekten i en simulering kan ofta bli lägre än den man angivit. Det är då befogat att höja brandens effektutveckling i indatafilen så att önskat värde uppnås. Då det gäller branden i brandövningshuset blev den uträknade effekten på1712 kW/m<sup>2</sup> för låg i simuleringen. Den höjdes därför till 2039 kW/m<sup>2</sup>. Resultatet blev en konstant effektutveckling på ca 430 kW vilket var det beräknade värdet (*Appendix D*). Den sista minuten, innan branden slocknar, är inte anpassad efter verkliga förhållanden. Här börjar nämligen bränslet ta slut i försöken och effektutvecklingen minskar, detta har inte simulerats.





Diagram B-2: Effektutvecklingen är i princip konstant under hela simuleringen (ca 430 kW).

I scenario 1 ökar, rampas, effektutvecklingen under den första minuten och stagnerar sedan på ca 430 kW. Detta värde är sedan konstant under hela förloppet, även vid brandgasluckans öppnande (300 sek) och start av fläkt (360 sek). Branden slocknade efter 9 min (540 sek), tiden därefter ingår därför inte i jämförelsen.

#### Effektutveckling, scenario 2.



Diagram B-3: Effektutvecklingen är i princip konstant under hela simuleringen (ca 430 kW), den fluktuerar dock lite efter att fönstret öppnats i brandrummet.

Även i scenario 2 rampas effektutvecklingen under 1 minut och följer sedan scenario 1 till utseende fram tills det att fönstret öppnas i brandrummet (420 sek). Vid denna tidpunkt ökar effektutvecklingen något och fluktuerar något mera kraftigt under de återstående minuterna av simuleringen. Denna ökning beror på att det blir ett genomdrag av luft och branden tillåts mer syre. En viss turbulens uppstår också i brandrummet vilket ger upphov till mindre svängningar i effektutvecklingen.

## B.3 Kontroll av gridnät

Nedan utförs granskning för att kontrollera att det använda gridnätet ger en tillräcklig noggrannhet och för att kontrollera att resultatet inte varierar allt för mycket med ändringar i gridstorlek. Helst bör denna kontroll genomföras genom simuleringar med både större och mindre grid. I detta fall har endast ett större grid  $(0,2*0,2*0,2 \text{ m}^3)$  kunnat användas beroende på att det finare gridnätet  $(0,05*0,05*0,05 \text{ m}^3)$  ger så många kontrollvolymer att simuleringen inte är praktiskt genomförbar.

Kontrollen har gjorts genom visuell jämförelse av brandgaslagret. Temperaturerna har kontrollerats genom diagram. Resultaten visar att en tillräcklig överensstämmelse finns mellan simuleringarna.







Temperaturjämförelse, Brandrum.

Diagram B-3: Temperaturen i brandrummet beskrivs för höjderna 0,8 m och 1,8 m. Grundsimuleringen fluktuerar inte lika mycket som det större gridnätet, men de följer varandra till utseendet.





Diagram B-4: Även i trapphuset kan större fluktuationer i det större gridnätet observeras.

### Resultat

Brandgaslagret och temperaturen överensstämmer mellan de båda gridsystemen. Viss variation i temperaturer förekommer men skillnaden blir aldrig större än ca 40°C vilket motsvarar ca 25 % skillnad. Från ovanstående jämförelse kan sägas att simuleringen inte är gridberoende.

## B.4 Kontroll av gränsytors påverkan

En granskning har utförts för att kontrollera att resultatet inte ändras beroende på var öppningar och gränsytor med konstant tryckprofil placeras. Detta har gjorts genom att simuleringar utförts med beräkningsdomän och gränsyta utdragen utanför öppningen. Tre simuleringar har körts där dörr, brandgaslucka och fönster har utvärderats var för sig. Resultaten har sedan jämförts visuellt och i diagram vilket har visat att inga större skillnader uppstår. För att kunna jämföra verifieringens simuleringar har en bild från grundsimuleringen satts in till vänster i nedanstående bildserie.

### B.4.1 Kontroll av dörröppning



Bild B-2: Utdrag av beräkningsdomän vid dörröppningen



Bild B-3: Kontrollvolymen är utdragen på baksidan av trapphuset (höger). Brandgasspridning och siktbarhet är i det närmaste identiska. Bilden visar förhållandena vid tidpunkten 101 sekunder.



Temperaturjämförelse, Brandrum.

Diagram B-5: Simuleringen är 200 sek. eftersom dörren på baksidan är öppen hela tiden. Syretillförseln och brandgaserna påverkas alltså från början av öppningen varför 200 sek. är fullt tillräckligt vid en jämförelse.



#### Temperaturjämförelse, Trapphus.

Diagram B-6: I trapphuset följer kurvorna varandra på ett tillfredsställande sätt.

### B.4.2 Kontroll av brandgaslucka



Bild B-4: Ett utdrag av kontrollvolymen vid brandgasluckan (höger) medger en analys av öppningens inverkan på brandgasspridningen. Bilden visar förhållandena vid 355 sekunder.



#### Temperaturjämförelse, Brandrum.

Diagram B-7: Temperaturen på höjderna 0,8 m och 1,8 m jämförda för de två simuleringarna. En större fluktuation i verifieringen kan utläsas, även om kurvorna följer varandra på att liknande sätt. Simuleringen har körts i 420 sek. eftersom brandgasluckan öppnas vid 360 sek.

Temperaturjämförelse, Trapphus.



Diagram B-8: Temperaturkurvorna från de båda simuleringarna följer varandra fullgott



B.4.3 Kontroll av fönster

Bild B-5: Brandgasspridningen påverkas inte nämnvärt av att fönstret ligger i kontrollvolymens gräns. Bilden till höger visar en verifiering med utdragen kontrollvolym. Bilden visar förhållandena vid 430 sekunder.



Temperaturjämförelse, Brandrum.

Diagram B-9: Temperaturen i brandrummet varierar inte märkbart förutom strax efter det att fläkten startats.



#### Temperaturjämförelse, Trapphus.

Diagram B-10: Temperaturkurvorna följer varandra nästintill exakt.

#### Resultat

Från de tre ovanstående verifieringarna urskiljs viss variation i temperaturerna. Ibland blir skillnaderna upp emot 50°C. Verifieringarna fluktuerar något kraftigare än grundsimuleringen men i det stora hela överensstämmer de bra. Slutsatsen är att grundsimuleringen inte påverkas märkbart av att öppningarna är lokaliserade i gränsytorna.

# Appendix C. Jämförelse av brandgaslager och temperatur

För scenario 1 och 2 har fullskaleförsök utförts. På så vis får man en uppfattning om hur bra FDS 2.2 stämmer överens med verkligheten, en så kallad validering. Nedan presenteras temperaturerna i brandrummet och trapphuset, för de två scenarierna, samt samtliga genomförda fullskaleförsök. Intervallet mellan mätningarna i simuleringarna är 1 sekund och i fullskaleförsöken 5 sekunder. För diagram som visar brandförlopp markeras tiderna nämnda i *Kapitel 5* med streckade linjer.

## C.1 Scenario 1

I detta scenario öppnas brandgasluckan efter 5 minuter (300 s), fläkten startas vid 6 minuter (360 s) och branden slocknar efter ca 9 minuter (540 s). Dessa tidpunkter är markerade i diagrammen.

### C.1.1 Brandrum

Temperaturmätningarna i brandrummet har gjorts på fem olika höjder: 0,3, 0,8, 1,3, 1,8 och 2,3 meter.



#### Brandrum, simulering.

Diagram C-1: Temperaturen i brandrummet vid FDS-simulering av scenario 1.

Den simulerade branden visar på kraftigare utslag vid förändringar än vad fullskaleförsöken gör. Detta beror på en rad olika förutsättningar och förenklingar som skiljer dem åt. En synbar skillnad i diagrammen är tiden efter det att branden slocknat. Branden i fullskaleförsöken slocknar men fortsätter i simuleringen under avsvalningsfasen. Denna del av diagrammet kan därför inte jämföras. I fullskaleförsöken har logger av typen Mitec SatelLite50 använts för temperaturmätning, dock har mätningar på höjden 0,3 gjorts med Tinytag.



Brandrum, försök 1.

Diagram C-2: Temperaturen i brandrummet vid fullskaleförsök 1.



#### Brandrum, försök 2.

Diagram C-3: Temperaturen i brandrummet vid fullskaleförsök 2. Branden slocknar i detta fall efter 9:30 min.

Brandrum, försök 3.



Diagram C-4: Temperaturen i brandrummet vid fullskaleförsök 3.

### C.1.2 Trapphus

I denna del av brandövningshuset har sju mätpunkter använts. Varje punkt svarar mot en viss höjd enligt: plan 1,5=1,5 m; plan2=3,1 m; plan 2,5=4,7 m; plan 3=6,3 m; plan 3,5=7,9 m; plan 4=9,5 m; tak=11.8 m.

#### Trapphus, simulering.



Diagram C-5: Temperaturen i trapphuset vid FDS-simulering av scenario 1.

Liksom i brandrummet kan inte tiden efter det att branden slocknat jämföras eftersom detta ej sker i simuleringen. I fullskaleförsöken har loggarna Tinytag och Tinytag *plus* använts för att mäta temperaturen i trapphuset. För en mer genomgående jämförelse se *Kapitel 9*.



Trapphus, försök 1.

Diagram C-6: Temperaturen i trapphuset vid fullskaleförsök 1.



Trapphus, försök 2.





Trapphus, försök 3.

Diagram C-8: Temperaturen i trapphuset vid fullskaleförsök 3.

## C.2 Scenario 2

I detta scenario öppnas brandgasluckan efter 5 minuter (300 s), fläkten startas vid 6 minuter (360 s), fönstret i brandrummet öppnas efter 7 minuter. Dessa tidpunkter är markerade i diagrammen. Branden slocknar efter ca 10 minuter (600 s).

### C.2.1 Brandrum

Temperaturmätningarna i brandrummet har gjorts på fem olika höjder: 0,3, 0,8, 1,3, 1,8 och 2,3 meter.



Brandrum, simulering.

DiagramC-9: Temperaturen i brandrummet vid FDS-simulering av scenario 2.



Brandrum, försök 4.

Diagram C-10: Temperaturen i brandrummet vid fullskaleförsök 4



Brandrum, försök 5.

Diagram C-11: Temperaturen i brandrummet vid fullskaleförsök 5





Diagram C-12: Temperaturen i brandrummet vid fullskaleförsök 6





Trapphus, simulering.

Diagram C-13: Temperaturen i trapphuset vid FDS-simulering av scenario 2.



#### Trapphus, försök 4.

Diagram C-14: Temperaturen i trapphuset vid fullskaleförsök 4.





Diagram C-15: Temperaturen i trapphuset vid fullskaleförsök 5.





Diagram C-16: Temperaturen i trapphuset vid fullskaleförsök 6.

## Appendix D. Effektberäkningar

I brandövningshuset får maximalt brännas tre träpallar åt gången. Detta för att byggnaden inte skall ta för stor skada. För att ta fram den maximala effektutvecklingen beräknas nedan effekten på tre träpallar samt hur mycket heptan som kan förbrännas för att inte överstiga den maximala effektutvecklingen.

Tre träpallar staplade ovanpå varandra har en höjd på ca 0,8 meter. Effektutvecklingen per areaenhet vid en medium tillväxthastighet ( $\alpha$ -värde) är 1,42 MW/m<sup>2</sup> /15/. En träpalls area är ungefär 1 m<sup>2</sup> vilket ger en maximal tillåten effekt på 1,42 MW. För att kontrollera att heptanbranden, med en diameter på 0,56 m, inte överstiger denna effekt beräknas dess effektutveckling enligt följande /13/:

$$\dot{Q} = A_f \cdot \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_C$$
 EFD 3:5  

$$A_f = \frac{D^2 \pi}{4} = \frac{0.56^2 \pi}{4} = 0.25 m^2$$
  

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} \cdot (1 - e^{-k\beta D}) = 0.101 \cdot (1 - e^{-1.1 \cdot 0.57}) = 0.047 kg / m^2 s$$
 EFD 3:6  

$$\chi = 0.8$$
  

$$\Delta H_c = 44.6 MJ / kg$$

Heptanets totala effektutveckling  $(\dot{Q})$  blir 428 kW. Detta är mindre än den maximalt tillåtna effekten.

## D.1 Volym heptan

Den mängd heptan som behövs för en effektutveckling på 428 kW och en brinntid på 600 s (t) kan beräknas enligt:

$$m = \dot{m}'' \cdot A_f \cdot t = 0,047 \cdot 0,25 \cdot 600 = 7,05 \, kg$$

$$V = \frac{m}{\rho_{hep\,tan}} = \frac{7.05}{675} = 0.01 \, m^3$$

För att brinntiden skall bli 10 minuter (600 s) behövs ca 10 liter heptan (Densitet för heptan hämtat ur /6/).

## D.2 Avbrinningshastighet

Genomsnittlig massavbrinningshastighet  $(\dot{m}_{av})$  kan beräknas enligt:

$$\dot{m}_{av} = \dot{m}'' \cdot A_f = 0,047 \cdot 0,25 = 0,012 \, kg \, / \, s$$

Under fullskaleförsöken förbrändes 10 liter heptan per försök, och den genomsnittliga massavbrinningshastigheten för försök 4-6 följer de teoretiskt beräknade värdena. Massavbrinningshastigheten under försök 1-3 kan inte jämföras på liknande vis då branden slocknade efter ca 9 minuter (9,15 min = 549 s). Den verkliga genomsnittliga massavbrinningshastigheten blir istället:

$$\dot{m}''_{f\"{o}rs\"{o}k1-3} = \frac{m}{A_f \cdot t} = \frac{7,05}{0,25 \cdot 549} = 0,051 kg / m^2 s$$

$$\dot{m}_{f \ddot{o} r s \ddot{o} k 1 - 3} = \dot{m}''_{f \ddot{o} r s \ddot{o} k 1 - 3} \cdot A_f = 0,051 \cdot 0,25 = 0,013 \, kg \, / \, s$$

# Appendix E. Tilluftsberäkningar

Eftersom beräkningsmodellen för förbränning i FDS inte hanterar underventilerade bränder särskilt bra har extra öppningar lagts till i simuleringarna. För att inte inverka för mycket på brandövningshusets verkliga geometri har de befintliga dragluckorna med höjden 0,2 m gjorts bredare i simuleringen. Vid fullskaleförsöken tillgodoses lufttillförseln genom alla läckageareor som finns i byggnaden.

#### Beräkning av tilluftöppningar:

Önskad effekt (Appendix D):

$$\dot{Q} = 428 kW = 0,428 MW$$

Erforderlig mängd syre kan nu beräknas utifrån att 1 kg syre kan utveckla 13,1 MJ /13/.

$$\dot{m}_{O_2} = \frac{\dot{Q}}{13,1} = \frac{0,428}{13,1} = 0,033 \, kg \, / \, s$$

Luft innehåller 23 vol% syre vilket ger att följande mängd luft skall delta i förbränningen:

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_{O_2}}{0.23} = \frac{0.033}{0.23} = 0.143 \, kg \, / \, s$$

Detta ger följande tilluftsarea:

$$A_0 = \frac{\dot{m}_a}{0.5 \cdot \sqrt{H_0}} = \frac{0.143}{0.5 \cdot \sqrt{0.2}} = 0.64 \, m^2$$
 EFD 5:24

Med höjden 0,2 m blir bredden:

$$B = \frac{A}{H_0} = \frac{0.64}{0.2} = 3.2 \,m$$

Detta är den sammanlagda bredden på dragluckorna som använts i simuleringen. Tillsammans med den luft som kan komma från trapphuset in till brandrummet säkerställer dessa tillgången på syre.

Nedan redovisas maximal möjlig effekt med 3,2 m dragluckor och lufttillförsel genom halva dörren från trapphuset:

$$A_0 = A_1 + A_2 = (0, 2 \cdot 3, 2) + (1, 0 \cdot 0, 8) = 1,44 m^2$$
 EFD, s129  
 $A_1 = \text{Area dragluckor (m}^2)$   
 $A_2 = \text{Area dörr (m}^2)$ 

$$H_{0} = \frac{(A_{1} \cdot h_{1} + A_{2} \cdot h_{2})}{A_{0}} = \frac{(0, 2 \cdot 3, 2 \cdot 0, 2) + (1, 0 \cdot 0, 8 \cdot 1, 0)}{1, 44} = 0,64 m$$
 EFD, s129  
$$\dot{m}_{a} = 0, 5 \cdot A_{0} \cdot \sqrt{H_{0}} = 0, 5 \cdot 1,44 \cdot \sqrt{0,64} = 0,58 kg/s$$
 EFD 5:24  
$$\dot{m}_{O_{2}} = \dot{m}_{a} \cdot 0,23 = 0,58 \cdot 0,23 = 0,13 kg/s$$
  
$$\dot{Q} = \dot{m}_{O_{2}} \cdot 13,1 = 0,13 \cdot 13,1 = 1.7 MW$$

Denna effekt ligger klart över 428 kW varför sannolikheten för en underventilerad brand är liten.

För att kontrollera att lufttillförseln tillgodoses i fullskaleförsöken har följande beräkningar utförts. Öppningarna som används i beräkningen är 0,8 m av dörrens höjd, dvs. brandgaslagrets höjd över golvet, och de dragluckor som finns i golvnivå. Förutom dessa finns läckageareor runt fönster och dörrar men de tas inte med i beräkningen eftersom deras storlek är svår att uppskatta. Då läckageareorna inte tas med i beräkningarna kan detta anses som konservativt. Alltså, ger de beräknade tilluftsöppningarna tillräckligt med luft så är risken liten att branden skall bli underventilerad.

$$\begin{aligned} A_0 &= A_1 + A_2 = (0,58 \cdot 0,15) + (0,8 \cdot 0,8) = 0,73 \, m^2 \end{aligned} \qquad \text{EFD, s129} \\ H_0 &= \frac{(A_1 \cdot h_1 + A_2 \cdot h_2)}{A_0} = \frac{(0,58 \cdot 0,15 \cdot 0,15) + (0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8)}{0,73} = 0,72 \, m \text{ EFD, s129} \\ \dot{m}_a &= 0,5 \cdot A_0 \cdot \sqrt{H_0} = 0,5 \cdot 0,73 \cdot \sqrt{0,72} = 0,31 \, kg \, / \, s \end{aligned} \qquad \text{EFD 5:24} \\ \dot{m}_{O_2} &= \dot{m}_a \cdot 0,23 = 0,23 \cdot 0,31 = 0,071 \, kg \, / \, s \end{aligned}$$

Eftersom den använda effekten i fullskaleförsöken inte blir högre än ca 430 kW är lufttillförseln fullt tillräcklig.

# **Appendix F. Databas**

Nedan presenteras delar ur den databas som använts i simuleringarna. Ur denna hämtar FDS 2.2 data såsom bränsle (REAC) och väggmaterial (SURF). Databasen har kompletterats med LECA-block då detta material inte fanns från början (Data inhämtad från AB Svensk leca).

```
Database file for FDS 2 (Version 2.00, December, 2001)
&REAC ID='PROPANE'
     FYI='Propane, C_3 H_8'
     MW FUEL=44
     NU 02=5.
     NU CO2=3.
      NU H2O=4.
     SOOT YIELD=0.01 /
&REAC ID='METHANE'
     FYI='Methane, C H 4'
     MW FUEL=16
     NU 02=2.
     NU_CO2=1.
     NU H2O=2.
     RADIATIVE FRACTION=0.15
      SOOT YIELD=0.01 /
&REAC ID='HEPTANE'
      FYI='Heptane, C 7 H 16'
     MW FUEL=100.
     NU_02=11.
     NU_CO2=7.
      NU H2O=8.
      CO YIELD=0.010
      SOOT YIELD=0.037 /
&REAC ID='WOOD'
     FYI='Ritchie, et al., 5th IAFSS, C_3.4 H_6.2 O_2.5'
      SOOT YIELD = 0.01
      NU O2
              = 3.7
     NU CO2
                = 3.4
      NU H2O
                = 3.1
      MW FUEL
                = 87.
      EPUMO2
                = 8850. /
          = 'CONCRETE'
&SURF ID
     FYI = 'Quintiere, Fire Behavior'
     ALPHA = 5.7E-7
     KS
           = 1.0
     DELTA = 0.2 /
&SURF ID
          = 'LECA BLOCK'
     FYI
           = 'LECA AB'
 \alpha_{TD} ALPHA = 3.1E-6
 k.
      KS = 0.20
      DELTA = 0.2 /
```

## Appendix G. Indatafil

Nedan presenteras indatafilen till scenario 2.

&HEAD CHID='L2',TITLE='Grid 1,tak300,fläkt&lucka360,fönster420'/ &GRID IBAR=81, JBAR=48, KBAR=54/ Lågdel &GRID IBAR=75, JBAR=24, KBAR=54/ Trapphus nedre &GRID IBAR=45, JBAR=24, KBAR=64/ Trapphus &PDIM XBAR=8.32, YBAR=4.95, ZBAR=5.60/ Lågdel &PDIM XBAR0=5.84, XBAR=13.59, YBAR0=1.23, YBAR=3.73, ZBAR0=0.00, ZBAR=5.60/ Trapphus nedre &PDIM XBAR0=9.17, XBAR=13.59, YBAR0=1.23, YBAR=3.73, ZBAR0=5.40, ZBAR=12.00/ Trapphus &TIME TWFIN=600.0/ &MISC REACTION='HEPTANE', SURF DEFAULT='LECA BLOCK', NFRAMES=600, DTCORE=3600., DATABASE='c:\nist\fds\database2\database2.data'/ &SURF ID='FAN', VEL=-4.00/ &SURF ID='BURNER', HRRPUA=2093., TAU Q=-60./ &OBST XB=1.65,2.15,2.20,2.70,0.00,0.10,SURF IDS='BURNER','INERT','INERT'/ OBST Golv och tak lågdel &OBST XB=0.00,8.32,0.00,4.95,2.40,3.20/ Bjälklag &OBST XB=0.00,8.32,0.00,4.95,5.60,6.05/ Tak &OBST XB=8.32,9.17,1.03,3.93,5.60,6.05/ Tak trappa Plan 1 lågdel &OBST XB=7.97,8.32,2.85,4.95,0.00,2.40/ y10 &OBST XB=7.97,8.32,2.05,2.85,1.90,2.40/ y11ö &OBST XB=7.97,8.32,0.00,2.05,0.00,2.40/ y12 &OBST XB=0.00, 3.07, 2.85, 3.27, 0.00, 2.40/ i1 &OBST XB=3.07,4.07,2.85,3.27,1.98,2.40/ i2ö &OBST XB=4.62,4.91,3.27,4.95,0.00,2.40/ i3 &OBST XB=4.07,6.34,2.85,3.27,0.00,2.40/ i4 &OBST XB=6.34,7.34,2.85,3.27,1.98,2.40/ i5ö &OBST XB=7.34,7.97,2.85,3.27,0.00,2.40/ i6 &OBST XB=5.50, 5.84, 1.64, 2.85, 0.00, 2.40/ i7 &OBST XB=5.50,5.84,0.64,1.64,1.98,2.40/ i8ö &OBST XB=5.50,5.84,0.00,0.64,0.00,2.40/ i9 Plan 2 lågdel &OBST XB=7.97,8.32,2.93,4.95,3.20,5.60/ y10 &OBST XB=7.97,8.32,2.03,2.93,5.20,5.60/ y11ö &OBST XB=7.97,8.32,0.00,2.03,3.20,5.60/ y12 &OBST XB=0.00,3.34,1.58,2.03,3.20,5.60/ i1 &OBST XB=3.34,4.34,1.58,2.03,5.20,5.60/ i2ö &OBST XB=4.58,4.91,4.36,4.95,3.20,5.60/ i3 &OBST XB=4.58,4.91,3.40,4.36,5.25,5.60/ i4ö &OBST XB=4.58,4.91,2.03,3.40,3.20,5.60/ i5 &OBST XB=4.34,7.97,1.58,2.03,3.20,5.60/ i6 &OBST XB=4.58,4.91,1.36,1.58,3.20,5.60/ i7 &OBST XB=4.58,4.91,0.40,1.36,5.20,5.60/ i8ö &OBST XB=4.58,4.91,0.00,0.40,3.20,5.60/ i9

Plan 1 Trapphus &OBST XB=8.32,9.17,3.73,3.93,0.00,5.60,SURF ID='CONCRETE'/ y1 &OBST XB=9.17,10.17,3.73,3.93,0.00,12.00,SURF ID='CONCRETE'/ y2 till tak &OBST XB=10.17,13.59,3.73,3.93,0.00,12.00,SURF ID='CONCRETE'/ y3 till tak &OBST XB=13.59,13.59,1.23,3.73,0.00,12.00,SURF ID='CONCRETE'/ y4 till tak &OBST XB=9.17,13.59,1.03,1.23,0.00,12.00,SURF ID='CONCRETE'/ y5 &OBST XB=8.32,9.17,1.03,1.23,0.00,5.60,SURF ID='CONCRETE'/ y6 Plan 2 Trapphus &OBST XB=8.97,9.17,1.03,3.93,6.05,12.00,SURF ID='CONCRETE'/ y7ö till tak Dörrar &OBST XB=8.22,8.32,2.03,2.255,3.20,5.20,BLOCK COLOR='WHITE'/ y11ö Plan2 &OBST XB=8.22,8.32,2.255,2.48,3.20,5.20,BLOCK COLOR='WHITE'/ y11ö Plan2 &OBST XB=8.22,8.32,2.48,2.705,3.20,5.20,BLOCK COLOR='WHITE'/ y11ö Plan2 &OBST XB=8.22,8.32,2.705,2.93,3.20,5.20,BLOCK COLOR='WHITE'/ y11ö Plan2 Trappor &OBST XB=10.39,10.64,1.23,2.43,0.00,0.20,SURF ID='INERT'/ Trappa 1-1.5 

 &OBST XB=10.64,10.89,1.23,2.43,0.20,0.40,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1-1.5

 &OBST XB=10.89,11.14,1.23,2.43,0.40,0.60,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1-1.5

 &OBST XB=11.14,11.39,1.23,2.43,0.60,0.80,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1-1.5

 &OBST XB=11.14,11.39,1.23,2.43,0.60,0.80,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1-1.5

 &OBST XB=11.39,11.64,1.23,2.43,0.80,1.00,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1-1.5 &OBST XB=11.64,11.89,1.23,2.43,1.00,1.20,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1-1.5 &OBST XB=11.89,12.14,1.23,2.43,1.20,1.40,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1-1.5 &OBST XB=12.14,12.39,1.23,2.43,1.40,1.60,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1-1.5 &OBST XB=12.39,13.59,1.23,3.73,1.55,1.60,SURF ID='INERT'/ Plan 1.5 &OBST XB=12.14,12.39,2.53,3.73,1.60,1.80,SURF ID='INERT'/ Trappa 1.5-2 &OBST XB=11.89,12.14,2.53,3.73,1.80,2.00,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1.5-2 &OBST XB=11.64,11.89,2.53,3.73,2.00,2.20,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1.5-2 &OBST XB=11.39,11.64,2.53,3.73,2.20,2.40,SURF ID='INERT'/ Trappa 1.5-2 &OBST XB=11.14,11.39,2.53,3.73,2.40,2.60,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1.5-2 &OBST XB=10.89,11.14,2.53,3.73,2.60,2.80,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1.5-2 &OBST XB=10.64,10.89,2.53,3.73,2.80,3.00,SURF\_ID='INERT'/ Trappa 1.5-2 &OBST XB=10.39,10.64,2.53,3.73,3.00,3.20,SURF ID='INERT'/ Trappa 1.5-2 &OBST XB=8.32,10.39,1.23,3.73,3.00,3.20,SURF ID='INERT'/ Plan 2 Modifierad &OBST XB=10.39,10.64,1.23,2.43,3.20,3.40,SURF ID='INERT'/ Trappa 2-2.5 &OBST XB=10.64,10.89,1.23,2.43,3.40,3.60,SURF ID='INERT'/ Trappa 2-2.5 &OBST XB=10.89,11.14,1.23,2.43,3.60,3.80,SURF ID='INERT'/ Trappa 2-2.5 &OBST XB=11.14,11.39,1.23,2.43,3.80,4.00,SURF ID='INERT'/ Trappa 2-2.5 &OBST XB=11.39,11.64,1.23,2.43,4.00,4.20,SURF ID='INERT'/ Trappa 2-2.5 &OBST XB=11.64,11.89,1.23,2.43,4.20,4.40,SURF ID='INERT'/ Trappa 2-2.5 &OBST XB=11.89,12.14,1.23,2.43,4.40,4.60,SURF ID='INERT'/ Trappa 2-2.5 &OBST XB=12.14,12.39,1.23,2.43,4.60,4.80,SURF ID='INERT'/ Trappa 2-2.5 &OBST XB=12.39,13.59,1.23,3.73,4.70,4.80,SURF ID='INERT'/ Plan 2.5 &OBST XB=12.14,12.39,2.53,3.73,4.80,5.00,SURF ID='INERT'/ Trappa 2.5-3 &OBST XB=11.89,12.14,2.53,3.73,5.00,5.20,SURF ID='INERT'/ Trappa 2.5-3 &OBST XB=11.64,11.89,2.53,3.73,5.20,5.40,SURF ID='INERT'/ Trappa 2.5-3 &OBST XB=11.39,11.64,2.53,3.73,5.40,5.60,SURF ID='INERT'/ Trappa 2.5-3 &OBST XB=11.14,11.39,2.53,3.73,5.60,5.80,SURF ID='INERT'/ Trappa 2.5-3 &OBST XB=10.89,11.14,2.53,3.73,5.80,6.00,SURF ID='INERT'/ Trappa 2.5-3 &OBST XB=10.64,10.89,2.53,3.73,6.00,6.20,SURF ID='INERT'/ Trappa 2.5-3 &OBST XB=10.39,10.64,2.53,3.73,6.20,6.40,SURF ID='INERT'/ Trappa 2.5-3 &OBST XB=9.17,10.39,1.23,3.73,6.35,6.40,SURF ID='INERT'/ Plan 3 &OBST XB=10.39,10.64,1.23,2.43,6.40,6.60,SURF ID='INERT'/ Trappa 3-3.5 &OBST XB=10.64,10.89,1.23,2.43,6.60,6.80,SURF ID='INERT'/ Trappa 3-3.5 &OBST XB=10.89,11.14,1.23,2.43,6.80,7.00,SURF ID='INERT'/ Trappa 3-3.5

&OBST XB=11.14,11.39,1.23,2.43,7.00,7.20,SURF ID='INERT'/ Trappa 3-3.5 &OBST XB=11.39,11.64,1.23,2.43,7.20,7.40,SURF ID='INERT'/ Trappa 3-3.5 &OBST XB=11.64,11.89,1.23,2.43,7.40,7.60,SURF ID='INERT'/ Trappa 3-3.5 &OBST XB=11.89,12.14,1.23,2.43,7.60,7.80,SURF ID='INERT'/ Trappa 3-3.5 &OBST XB=12.14,12.39,1.23,2.43,7.80,8.00,SURF ID='INERT'/ Trappa 3-3.5 &OBST XB=12.39,13.59,1.23,3.73,7.95,8.00,SURF ID='INERT'/ Plan 3.5 &OBST XB=12.14,12.39,2.53,3.73,8.00,8.20,SURF ID='INERT'/ Trappa 3.5-4 &OBST XB=11.89,12.14,2.53,3.73,8.20,8.40,SURF ID='INERT'/ Trappa 3.5-4 &OBST XB=11.64,11.89,2.53,3.73,8.40,8.60,SURF ID='INERT'/ Trappa 3.5-4 &OBST XB=11.39,11.64,2.53,3.73,8.60,8.80,SURF ID='INERT'/ Trappa 3.5-4 &OBST XB=11.14,11.39,2.53,3.73,8.80,9.00,SURF ID='INERT'/ Trappa 3.5-4 &OBST XB=10.89,11.14,2.53,3.73,9.00,9.20,SURF ID='INERT'/ Trappa 3.5-4 &OBST XB=10.64,10.89,2.53,3.73,9.20,9.40,SURF ID='INERT'/ Trappa 3.5-4 &OBST XB=10.39,10.64,2.53,3.73,9.40,9.60,SURF ID='INERT'/ Trappa 3.5-4 &OBST XB=9.17,10.39,1.23,3.73,9.55,9.60,SURF ID='INERT'/ Plan 4 VENTS/FANS/OPENINGS Plan 1 lågdel &VENT XB=0.00,0.00,0.20,1.50,0.00,0.20,SURF ID='OPEN',T CLOSE=360./ y2 Hål Extra &VENT XB=0.00,0.00,1.91,2.85,0.74,1.94 ,SURF ID='OPEN',T\_OPEN=420./ y3 Fönster &VENT XB=1.15,2.15,4.95,4.95,0.00,0.20,SURF ID='OPEN'/ y6 Hål Modifierad &VENT XB=4.91,5.81,4.95,4.95,0.78,2.00/ y8 Fönster &VENT XB=4.03,5.13,0.00,0.00,0.00,0.20,SURF\_ID='OPEN'/ y14 Hål Modifierad &VENT XB=0.72,2.45,0.00,0.00,0.00,1.90/ y16 Dörr Plan 2 lågdel &VENT XB=0.00,0.00,2.03,2.94,3.98,5.20/ y3 Fönster &VENT XB=0.95,1.51,4.95,4.95,3.20,3.39,SURF ID='OPEN'/ y6 Hål &VENT XB=4.96,5.86,4.95,4.95,3.20,5.12/ y8 Dörr &VENT XB=6.06,6.91,0.00,0.00,3.20,3.40,SURF ID='OPEN'/ y14 Hål &VENT XB=3.98,4.58,0.00,0.00,3.20,3.40,SURF\_ID='OPEN'/ y16 Hål &VENT XB=0.75,2.48,0.00,0.00,3.20,5.10/ y18 Dörr Trapphus &VENT XB=9.17,10.17,3.73,3.73,0.00,2.12,SURF ID='OPEN',T CLOSE=360./ y2undre Dörr

&VENT XB=9.17,10.17,3.73,3.73,3.20,5.31,SURF\_ID='OPEN',T\_OPEN=600./ y2övre Dörr &VENT XB=13.59,13.59,1.98,2.98,4.73,6.83/ y4undre Dörr &VENT XB=13.59,13.59,1.98,2.98,7.78,9.88/ y4övre Dörr &VENT XB=10.99,12.79,1.88,2.38,12.00,12.00,SURF\_ID='OPEN',T\_OPEN=300./ Taklucka &VENT XB=10.20,11.20,3.73,3.73,0.00,2.12,SURF\_ID='FAN',T\_OPEN=360./ y2undre Fläkt

#### UTDATA

Lågdel &SLCF XB=0.20,0.20,0.00,2.85,0.00,2.40,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE./y1-i1 &SLCF XB=4.00,4.00,0.00,4.95,0.00,5.60,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE./y7-y15 &SLCF XB=5.30,5.30,0.00,2.85,0.00,2.40,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE./y13-i4 &SLCF XB=0.00,9.17,2.40,2.40,0.00,5.60,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE./y3-y4t &SLCF XB=0.00,7.97,0.00,4.95,2.30,2.30,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE./ Takp1.1 &SLCF XB=5.95,5.95,0.00,2.85,0.00,2.40,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE./y13-i4 &SLCF XB=7.90,7.90,0.00,2.85,0.00,2.40,QUANTITY='VISIDILITY'/ y1-i1 &SLCF XB=0.20,0.20,0.00,2.85,0.00,2.40,QUANTITY='VISIDILITY'/ y1-i1 &SLCF XB=4.00,4.00,0.00,4.95,0.00,5.60,QUANTITY='VISIDILITY'/ y1-i4 &SLCF XB=5.30,5.30,0.00,2.85,0.00,2.40,QUANTITY='VISIDILITY'/ y13-i4 &SLCF XB=0.00,9.17,2.40,2.40,0.00,5.60,QUANTITY='VISIDILITY'/ y13-i4 &SLCF XB=0.00,9.17,2.40,2.40,0.00,5.60,QUANTITY='VISIDILITY'/ y3-y4t &SLCF XB=0.00,7.97,0.00,4.95,2.30,2.30,QUANTITY='VISIDILITY'/ Takp1.1

&SLCF XB=5.95,5.95,0.00,2.85,0.00,2.40,QUANTITY='visibility'/ y13-i4 &SLCF XB=7.90,7.90,0.00,2.85,0.00,2.40,QUANTITY='visibility'/ y13-i6 &THCP LABEL='tree1-030',XYZ=5.10,2.50,0.30,IOR=-2,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree1-080',XYZ=5.10,2.50,0.80,IOR=-2,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree1-130',XYZ=5.10,2.50,1.30,IOR=-2,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree1-180',XYZ=5.10,2.50,1.80,IOR=-2,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree1-230',XYZ=5.10,2.50,2.30,IOR=-2,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree2-030',XYZ=7.00,0.60,0.30,IOR=2,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree2-080',XYZ=7.00,0.60,0.80,IOR=2,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree2-130',XYZ=7.00,0.60,1.30,IOR=2,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree2-180',XYZ=7.00,0.60,1.80,IOR=2,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree2-230',XYZ=7.00,0.60,2.30,IOR=2,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree3-030',XYZ=5.81,4.55,0.30,IOR=1,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree3-080',XYZ=5.81,4.55,0.80,IOR=1,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree3-130',XYZ=5.81,4.55,1.30,IOR=1,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree3-180',XYZ=5.81,4.55,1.80,IOR=1,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree3-230',XYZ=5.81,4.55,2.30,IOR=1,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree4-030',XYZ=2.45,4.55,0.30,IOR=1,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree4-080',XYZ=2.45,4.55,0.80,IOR=1,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree4-130',XYZ=2.45,4.55,1.30,IOR=1,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree4-180',XYZ=2.45,4.55,1.80,IOR=1,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree4-230',XYZ=2.45,4.55,2.30,IOR=1,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='wall',XYZ=5.60,2.50,1.30,IOR=-1,QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/ Trapphus &SLCF XB=9.17,13.59,2.40,2.40,0.00,12.00,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE./y7-y4t &SLCF XB=9.50,9.50,1.23,3.73,0.00,12.00,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE./y6t-y1t &SLCF XB=9.17,13.59,2.40,2.40,0.00,12.00,QUANTITY='visibility'/ y7-y4t &SLCF XB=9.50,9.50,1.23,3.73,0.00,12.00,QUANTITY='visibility'/ y6t-y1t &THCP LABEL='tree5-060',XYZ=12.90,3.00,0.60,IOR=-1,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree5-280',XYZ=9.67,2.00,2.80,IOR=-3,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree5-455',XYZ=12.90,2.00,4.55,IOR=-3,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree5-620',XYZ=9.67,2.00,6.20,IOR=-3,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree5-775',XYZ=12.90,2.00,7.75,IOR=-3,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree5-935',XYZ=9.67,2.00,9.35,IOR=-3,QUANTITY='TEMPERATURE'/ &THCP LABEL='tree5-1180',XYZ=9.67,2.00,11.80,IOR=-3,QUANTITY='TEMPERATURE'/

```
Allmänt &ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=80./
```