



Supplement

till SHK:s rapport RO 2001:02

**Brand på Herkulesgatan i Göteborg, Ö län,
den 29–30 oktober 1998**



Supplement

till SHK:s rapport R0 2001:02

**Brand på Herkulesgatan i Göteborg, Ö län,
den 29–30 oktober 1998**

Det står var och en fritt att, med angivande av källan, för publicering eller annat ändamål använda allt material med undantag för supplement 6,
© Institutionen för brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

Illustrationer

Supplement 1: Polismyndigheten i Västra Götaland

Supplement 2–4: Brandskyddslaget i Stockholm

Supplement 5: Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Supplement 6: © Institutionen för brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola

Innehåll:

Supplement 1

Bilddilaga till kapitel 4, i SHK rapport RO 2001:02.

Supplement 2

Datasimulering av utrymningen i Makedoniska föreningens lokaler.
Mikael Lundqvist, Brandskyddslaget

Supplement 3

Litteraturstudie kring olika länders lagstiftning vad gäller brandskydd och säkerhet i samlingslokaler.
Björn Hedskog, Brandskyddslaget

Supplement 4

Resultat från litteraturstudien kring personflöde genom dörröppningar som funktion av dörrbredden.
Björn Hedskog och Staffan Bengtson, Brandskyddslaget

Supplement 5

CFD simulering av diskoteksbranden i Göteborg 1998.
Heimo Tuovinen, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Supplement 6

CFD Modeling of a large complex fire.
Zhenghua Yan, Department of Fire Safety Engineering, Lund University

Supplement 7

Litteraturlörteckning.

Supplement 1

**Bildbilaga till kapitel 4
i SHK rapport RO 2001:02**

Figur 1 b. Trapphusets övre plan



Figur 1 a. Nödutgång mot trapphuset



Figur 1 c. Nedre trappan från vilplanet



Figur 1 d. Trappusets vilplan



Figur 1 e. Trappusets nedre plan



Figur 2 a. Kafédelen mot Backateatern



Figur 2 b. Kafédelen mot ytterväggen

Figur 3 b. Taket i passagen



Figur 3 a. Passage mot kafédelen



Figur 3 c. Passage mot entré



Figur 4. Kontoret



Figur 5. Garderoben



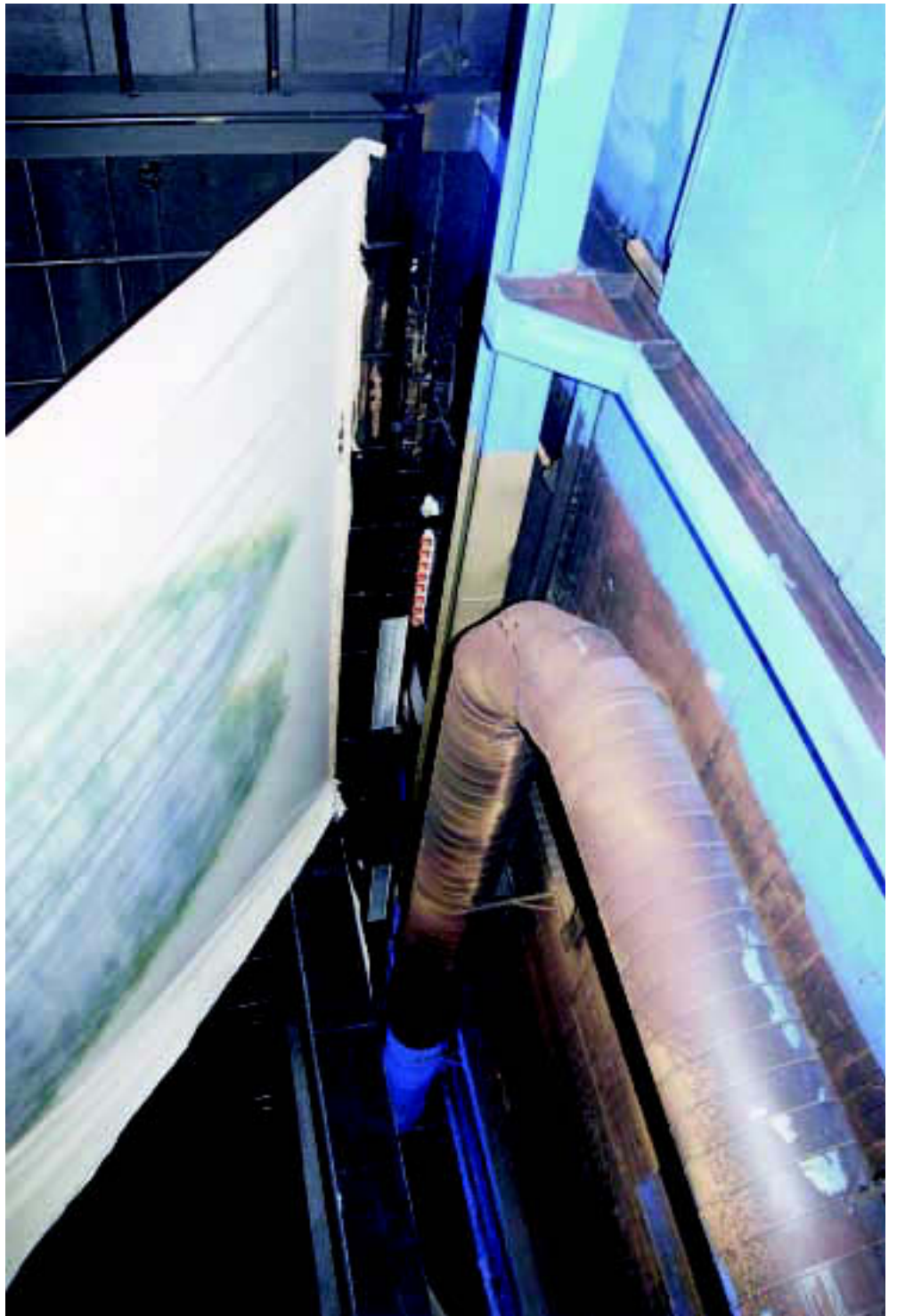
Figur 6 a. Utsidan mot Backateatern (vid danslokalen)



Figur 6 b. Utsidan mot Backateatern (vid danslokalen)



Figur 6 c. Utsidan mot Backateatern (vid köket)



Figur 7. Brandskador i taket på Backateatern

Supplement 2

**Datasimulering av utrymningen
i Makedoniska föreningens lokaler.**

Mikael Lundqvist, Brandskyddslaget

DATASIMULERING AV UTRYMNINGEN I MAKEDONISKA FÖRENINGENS LOKALER

Mikael Lundqvist 2001-03-19

1. Övergripande

Utrymningsberäkningarna har utförts med hjälp av datorprogrammet SIMULEX framtaget vid Universitetet i Edinburgh, Skottland i samarbete med Institutionen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola. SIMULEX beräknar tiden för förflyttning av personer i en byggnad tills det att alla lämnat byggnaden genom anvisade utgångar. Beräkningarna sker genom att avståndskartor till utgångarna skapas utifrån tvådimensionella CAD - underlag. Med hjälp av avståndskartan förflyttar sig sedan personerna mot närmaste utgång. Exempel på parametrar som påverkar personernas utrymningshastighet är person typ (man – kvinna, ung – gammal), avstånd till andra utrymnande personer och föremål runtomkring personen.

För djupare förståelse av programmets beräkningsgång hänvisas till ”*Användarmanual till SIMULEX*” på Institutionen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

2 Begränsningar

De för denna analys främsta begränsningarna med SIMULEX är att:

- Utrymningsförloppet förutsätts ske under normala, lugna förhållanden utan att panik och irrationellt beteende uppkommer. Under extrema situationer med hög grad av oro och panik kommer personer troligtvis att bete sig annorlunda, bland annat kommer personerna att acceptera högre grad av trängsel vilket troligtvis minskar utrymningstiden pga. högre personflöde genom utrymningsdörrar.
- Blockering av en utrymningsväg kan ej modelleras, d.v.s. utrymningen förutsätts ske enligt ovan utan hänsyn till eventuella hinder såsom föremål och/eller personer som faller i trängseln.
- Ingen hänsyn tas till effekter av värme, giftiga brandgaser och/eller begränsad sikt.
- Till de beräknade tiderna ska adderas tid för upptäckt av brand och reaktionstid.

3 Resultat

3.1 Allmänt

Numeriska beräkningar av utrymningsförloppet har genomförts med hjälp av programmet SIMULEX för att jämföras med och utvärdera redogörelser från ögonvittnen. I kombination med detta har även en grov analys genomförts av hur personantal, dörrbredder, biljettbord-placering samt antal tillgängliga utrymningsvägar inverkar på evakueringstiden. Hänsyn till proppbildning har inte tagits.

I tabellen redovisas förutsättningar och hur många som kommit ut efter olika tider.

3.2 Inledande analys av biljettbordets placering samt reaktionstider

Dessa beräkningars syfte var att fastställa hur modellering av ”biljettbordet” i entrén samt fördelning av olika reaktionstider påverkar beräkningsresultatet. Utav dessa beräkningar valdes scenario 5 (bordet placerat mot väggen, nära dörren och ingen reaktionstid) som representativt för övriga analyser (figur 1).

3.3 Analys av olika antal utrymningsvägar och bredd med faktiskt personantal (380 personer)

Med ”scenario 5” från de inledande beräkningarna som grundscenario genomfördes sedan jämförande beräkningar av hur olika dörrbredder samt antal tillgängliga utrymningsvägar påverkar evakueringstiden. Notera att varseblivning samt reaktionstider ej har modellerats här (figur 2).

3.4 Analys av olika antal utrymningsvägar och bredd med tillåtet personantal (150 personer)

Motsvarande jämförelse som i 2.3 genomfördes även med det personantal lokalen var avsedd för, d.v.s. max 150 personer (figur 3).

Som väntat minskar evakueringstiden kraftigt med minskat personantal. Beräknad evakueringstid med endast en 0.8m bred utrymningsväg tillgänglig (entrén) minskade från ca 7 min (380 personer) till ca 2.5 minuter (150 personer).

3.5 Avsaknad av biljettbord

Slutligen genomfördes även beräkningar som representerar de som skulle gjorts vid projektering, dvs utan bord i entréhallen.

Beräkningar genomfördes dels för 380 personer dels för 150 personer, med båda utrymningsvägarna tillgängliga för utrymning. Bredder på både 0.8 m, 1.2 m samt en kombination av dessa i användes i beräkningarna. Någon ”dimensioneringsanalys” av ett trapphus blockerat genomfördes ej (figur 4).

Beräkningarna visar att bordets inverkan på evakueringstiden är relativt begränsad.

Det är dock värt att notera att beroende på genomförda antaganden beträffande personernas val av utrymningsväg, flest personer till entrédörren, påverkar ej totala evakueringstiden då den alternativa utrymningsvägen minskade från 1.2 m till 0.8 m.

Tabell. Förutsättningar och antal som utrymt.

Brand Nov 98

Inledande analys av bordets placering samt reaktionstider																
Personer	No.	T(reaktion)	Bord i entre	Styrning	Bredd	25 sek	0 min	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min
380	1	0	Vinkelrät från vägg	Entré	0,8 m	350	380	315	258	204	149	99	43	06.53		
380	2	0 (1 st 25 sek)	Mot vägg 1	Entré	0,8 m	350	380	313	253	191	131	74	16	06.21		
380	3	0 (1 st 25 sek)	Mot vägg 2	Entré	0,8 m	351	380	319	265	217	162	106	59	07.06		
380	4	0	Mot vägg 1	Entré	0,8 m	348	380	309	249	188	127	71	15	06.18		
380	5	0	Mot vägg 2	Entré	0,8 m	350	380	316	263	216	151	98	51	0	07.00	
380	6	0-2	Mot vägg 2	Entré	0,8 m	374	380	372	350	294	246	193	138	84	25	08.25
380	7	0-5	Mot vägg 2	Entré	0,8 m	NA	380	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
(analyseras ej)																
Analys av olika antal utrymningsvägar och bredd med faktiskt personantal																
Personer	No.	T(reaktion)	Bord i entre	Styrning	Bredd	25 sek	0 min	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min
380	5	0	Mot vägg 2	Entré	0,8 m	350	380	316	263	216	151	98	51	0	07.00	
380	8	0	Mot vägg 2	Entré	1,2 m	348	380	309	248	184	121	58	05.54			
380	9	0	Mot vägg 2	2 st	0,8 m	325	380	253	136	61	8	04.11				
380	10	0	Mot vägg 2	2 st	1,2 m	318	380	236	107	47	03.50					
380	11	0	Mot vägg 2	3 st	0,8 m	304	380	199	45	02.24						
380	11b	0	Mot vägg 2	3 st	0,8 m	299	380	196	80	4	03.03					
Analys av olika antal utrymningsvägar och bredd med tillåtet personantal																
Personer	No.	T(reaktion)	Bord i entre	Styrning	Bredd	25 sek	0 min	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min
150	12	0	Mot vägg 2	Entré	0,8 m	127	150	93	34	02.35						
150	13	0	Mot vägg 2	Entré	1,2 m	126	150	89	26	02.26						
150	14	0	Mot vägg 2	2 st	0,8 m	106	150	39	01.42							
150	15	0	Mot vägg 2	2 st	1,2 m	101	150	35	01.32							
150	16	0	Mot vägg 2	3 st	0,8 m	79	150	0	00.58							
150	16b	0	Mot vägg 2	3 st	0,8 m	82	150	11	01.10							
Analys av bordets effekt																
Personer	No.	T(reaktion)	Bord i entre	Styrning	Bredd	25 sek	0 min	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min
380	17	0	Inget bord	2 st	0,8 m	324	380	254	127	40	03.40					
380	18	0	Inget bord	2 st	1,2 m	310	380	216	80	10	03.12					
380	19	0	Inget bord	2 st	1,2 + 0,8 m	316	380	231	90	3	03.05					
150	20	0	Inget bord	2 st	0,8 m	104	150	31	01.27							

Fig. 1 Inledande analys av bordets placering samt reaktionstider

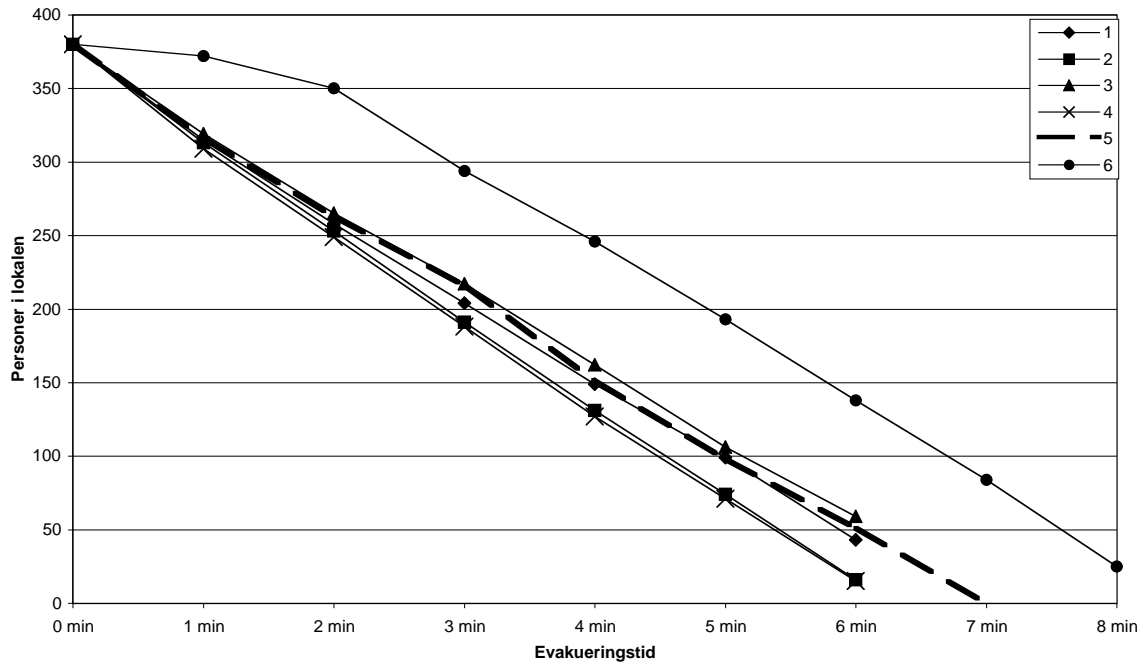


Fig 2. Analys av olika antal utrymningsvägar och bredd med faktiskt personantal

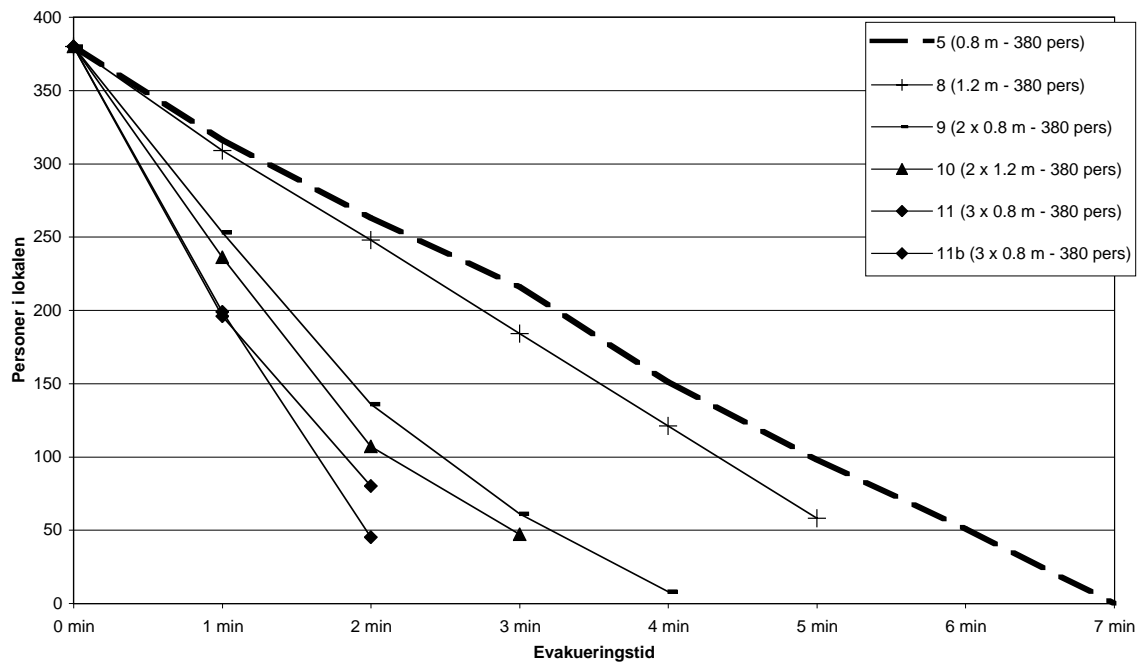


Fig 3. Analys av olika antal utrymningsvägar och bredd med faktiskt personantal

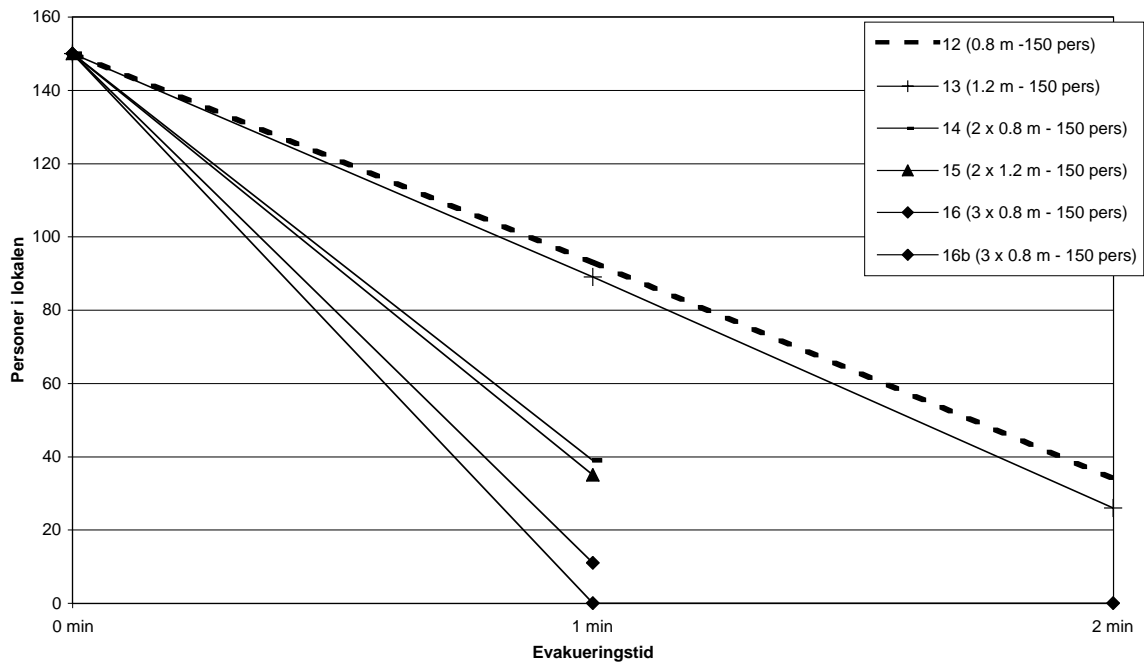
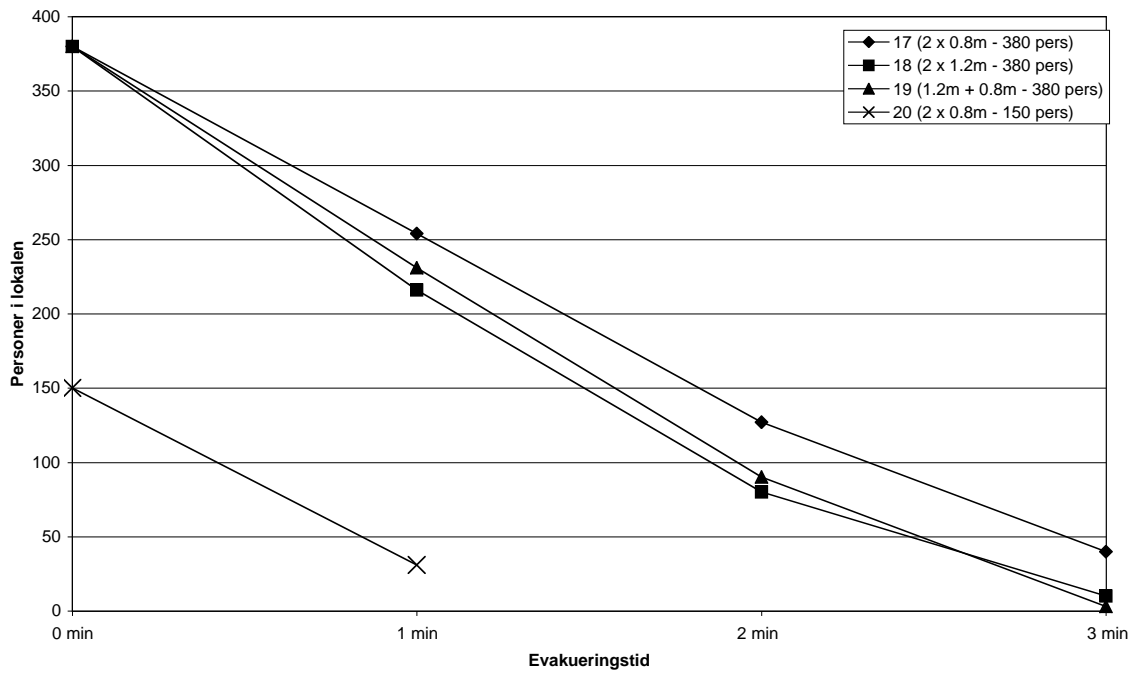


Fig 4. Analys av bordets effekt



Supplement 3

Litteraturstudie kring olika länders lagstiftning vad gäller brandskydd och säkerhet i samlingslokaler.

Björn Hedskog, Brandskyddslaget

Litteraturstudie kring olika länders lagstiftning vad gäller brandskydd och säkerhet i samlingslokaler

Björn Hedskog
Brandskyddslaget
2000-09-27

Sammanfattning

Denna litteraturstudie har utförts på uppdrag av Statens haverikommission. Syftet har varit att få fram fakta om hur olika länders lagstiftning ur brandskyddssynpunkt betraktar det som i Sverige går under definitionen samlingslokaler. Målet med litteraturundersökningen var att hitta likheter och olikheter i olika länders lagstiftning vad gäller brandsäkerheten i samlingslokaler.

Fem centrala frågeställningar formulerades varpå lagstiftningen i ett antal olika länder studerades. Dessa länder är Sverige, Norge, Danmark, Australien, Storbritannien, Nya Zeeland och USA.

Personantal vilket avgör om samlingslokal eller ej

Alla de studerade länderna använder inte ett dimensionerande personantal för att definiera en samlingslokal. Av de länder som använder ett dimensionerande personantal finns Sverige, Danmark, (Norge), Nya Zeeland och USA. Norge står inom parentes då det inte finns angivet i lagstiftningen idag men har funnits tidigare och fortfarande idag används som riktlinje. Det dimensionerande personantalet varierar mellan 50 och 150 personer.

Hur tas det dimensionerande personantalet fram?

I de flesta länderna finns ett antal olika rekommenderade persontätheter som kan ligga till grund för att ta fram det dimensionerande personantalet. Norge och Danmark har endast en rekommenderad persontäthet oberoende av typen på samlingslokalen.

Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd

Samtliga länder förutom Australien ställer krav på minst 2 av varandra oberoende utrymningsvägar. Ofta är det gångavstånd och erforderlig utrymningsbredd som reglerar antalet dörrar.

Vilka krav ställs på golvmaterialet?

Specifika krav på golvmaterial i samlingslokaler ställs endast i Danmark och Australien.

Krav på brand och utrymningslarm?

Det enda land där det inte ställs några som helst krav på larmsystem är Danmark där detta endast är aktuellt vid tekniska byten. Samtliga andra länder har någon form av krav på brand- och utrymningslarm.

Innehållsförteckning

1	Inledning	4
1.1	Syfte och mål	4
1.2	Metod och arbetssätt	4
1.3	Upplägg på rapporten	4
2	Sverige	4
2.1	Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?	4
2.2	Hur tas det dimensionerande personantalet fram?	4
2.3	Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?	5
2.4	Vilka krav ställs på golvmaterial i samlingslokaler?	6
2.5	Ställs krav på brand- och utrymningslarm?	6
3	Norge	6
3.1	Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?	6
3.2	Hur tas det dimensionerande personantalet fram?	7
3.3	Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?	7
3.4	Vilka krav ställs på golvmaterialet?	7
3.5	Ställs krav på brand- och utrymningslarm?	7
4	Danmark	8
4.1	Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?	8
4.2	Hur tas det dimensionerande personantalet fram?	8
4.3	Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?	8
4.4	Vilka krav ställs på golvmaterialet?	8
4.5	Ställs krav på brand- och utrymningslarm?	8
5	Australien	9
5.1	Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?	9
5.2	Hur tas det dimensionerande personantalet fram?	9
5.3	Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?	9
5.4	Vilka krav ställs på golvmaterialet?	10
5.5	Ställs krav på brand- och utrymningslarm?	10
6	Storbritannien	11
6.1	Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?	11
6.2	Hur tas det dimensionerande personantalet fram?	11
6.3	Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?	11
6.4	Vilka krav ställs på golvmaterialet?	12
6.5	Ställs krav på brand- och utrymningslarm?	12
7	Nya Zeeland	13
7.1	Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?	13
7.2	Hur tas det dimensionerande personantalet fram?	13
7.3	Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?	13
7.4	Vilka krav ställs på golvmaterialet?	14
7.5	Ställs krav på brand- och utrymningslarm?	14
8	USA	14
8.1	Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?	14
8.2	Hur tas det dimensionerande personantalet fram?	15
8.3	Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?	15
8.4	Vilka krav ställs på golvmaterialet?	15
8.5	Ställs krav på brand- och utrymningslarm?	15
	Bilaga Krav på aktiva brandskyddssystem för olika typer av funktionsgrupper i Nya Zeeland	16
	Referenser	17

1 Inledning

1.1 Syfte och mål

Litteraturundersökningen är utförd som en del i Statens haverikommissions utredning kring branden i Makedoniska föreningens samlingslokal på Hisingen i Göteborg, den 29–30 oktober 1998. Syftet har varit att få fram fakta om hur olika länders lagstiftning behandlar det som i Sverige betraktas som samlingslokal.

Målet med litteraturundersökningen var att hitta likheter och olikheter i olika länders lagstiftning.

1.2 Metod och arbetssätt

För att ur brandskyddssynpunkt söka klarhet i hur olika länders lagstiftning ser på det som i Sverige definieras som ”samlingslokal” har lagstiftningen i ett antal olika länder studerats. De aktuella länderna är Sveriges grannländer Norge och Danmark samt ytterligare ett antal länder som ligger förhållandevis långt fram i forskning kring brandskyddsfrågor. De frågeställningar som skall besvaras är följande:

- Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?
- Hur tas det dimensionerande personantalet fram?
- Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?
- Antal utgångar från samlingslokaler kopplat till antal personer?
- Vilka krav ställs på golvmaterialet?
- Ställs krav på brand och utrymningslarm?

1.3 Upplägg på rapporten

För att kunna göra en jämförelse mellan den svenska lagstiftningen och de andra ländernas lagstiftning presenteras först hur den svenska lagstiftningen behandlar de ovan nämnda frågorna. Därefter följer hur lagstiftningen i Norge, Danmark, Australien, Storbritannien, Nya Zeeland och USA behandlar samma frågor.

2 Sverige

Den lagstiftning som studerats är ”Boverkets Byggregler 1999”¹ (BBR 99) samt ett antal handböcker^{2,3,4} som förtydligar kraven på brandskydd som finns angivna i BBR 99 samt även anger förslag på accepterade lösningar.

2.1 Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?

De lokaler som skall betraktas som samlingslokal är de lokaler, samt grupper av lokaler inom en brandcell, där ett större antal personer med mindre god lokalkännedom förväntas vistas. I rådtextern anges vidare att en samlingslokal förväntas inrymma fler än 150 personer samt användas som hörsal, biograf, danslokal eller liknande.

2.2 Hur tas det dimensionerande personantalet fram?

I en av rådtexterna anges riktlinjer för hur det dimensionerande personantalet skall tas fram. Rådet anger att för samlingslokaler där det förväntade antalet personer är okänt bör en dimensionerande persontäthet på 1.7 personer/m² användas om lokalen skall inrymma sittande

personer. Skall lokalen användas av både sittande och stående bör en persontäthet av 2,5 personer/m² användas.

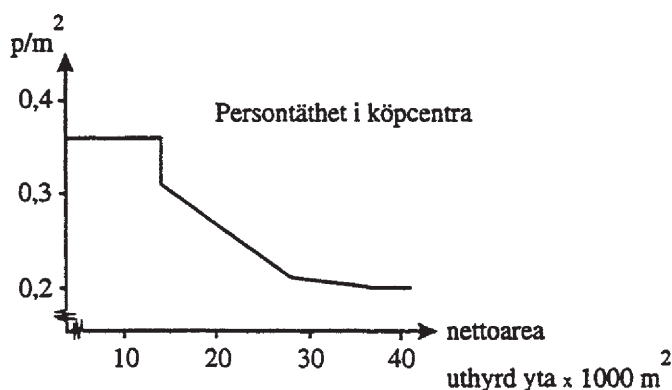
Rekommenderad persontäthet för varuhus anges till 0,5 personer/m² nettoarea för de utrymmen som allmänheten har tillträde till.

Handböckerna^{2,3,4} anger fler dimensionerande persontätheter som kan användas. Dessa finns angivna i tabell 1 samt figur 1.

Byggnadstyp	Persontäthet	
	personer/m ²	m ² /person
Samlingslokal, glest utan fasta sittplatser	0,7*	1,4
Väntutrymme till samlingslokaler	3,5*	0,3
Restaurang	1,0*	1,0
Varuhus:		
• i allmänhet	0,5	2,0
• bottenvåning och källare	0,4	0,7
• övriga våningar	0,2	5,0
Överbyggd affärsgata eller liknande	Se figur 1	

*nettoarean minskas med area som upptas av inredningen

Tabell 1. Dimensionerande persontätheter för olika byggnadstyper^{2,3,4}



Figur 1. Dimensionerande persontätheter för centrumanläggningar²

2.3 Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?

Lagtexten anger att utrymningsvägarna skall kunna betjäna det antal personer som de är avsedda för. Lokaler där personer vistas mer än tillfälligt skall ha minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. Rådtexten anger att från en samlingslokal bör det dessutom finnas minst tre utrymningsvägar om de är avsedda för fler än 600 personer och minst fyra om de är avsedda för fler än 1000 personer.

Boverkets rapport 1994:10, "Utrymningsdimensionering"² anger även att den sammanlagda dörrbredden skall vara minst 1 meter /150 personer om samtliga dörrar är tillgängliga. Blockeras en av dörrarna ska de övriga ha en sådan bredd att 1 meter motsvarar 300 personer. Råden i BBR anger vidare att bredden i utrymningsvägen inte bör understiga 0,9 meter i allmänhet och 1,2 meter från brandceller som förväntas inrymma fler än 150 personer. Enligt olika handböcker^{2,3,4} skall den fria bredden i dörröppningar vara minst 0,8 meter för en 0,9 meter bredd dörr och 1,2 meter för en 1,2 meters dörr.

2.4 Vilka krav ställs på golvmaterial i samlingslokaler?

De generella kraven i BBR 99 anger att material i byggnadsdelar skall ha sådana egenskaper att de vid brand inte ger upphov till brand eller snabb brandspridning. Materialen får vidare inte snabbt utveckla stora mängder värme eller brandgas alternativt smälta eller droppa utanför brandhårdens omedelbara närhet. De krav som ställs på materialen som används i byggnader beror på byggnadens utformning och vägledande är vilken byggnadsklass som byggnaden tillhör.

I BBR 99 ställs inga speciella krav på golvbeläggningsmaterial i samlingslokaler. De enda utrymnen där specifika krav ställs på golvbeläggningen är i utrymningsvägar där golvbeläggningsmaterial skall utföras som obrännbart material eller material klass G.

2.5 Ställs krav på brand- och utrymningslarm?

Lokaler där det ställs krav på tidig upptäckt av brand finns även krav på automatiskt brandlarm. Detekteringssystemet skall där så är möjligt utgöras av rökdetektorer. Brandlarmet skall ge signal till bemannad plats när personer vistas i byggnaden.

Samlingslokaler skall vidare utrustas med utrymningslarm som aktiveras automatiskt alternativt manuellt från bemannad plats vid indikation på brand. I lokaler där man inte kan förväntas ha kännedom om utrymningslarmet bör detta bestå av två olika signaltyper, exempelvis ljud och ljus. Om utrymningslarmet utgörs av ett talat meddelande bör detta föregås av en tydlig akustisk signal. I lokaler där det under den ordinarie verksamheten spelas musik och belysningen är låg bör musikanläggning och belysning vara kopplade till brandlarmet. På signal från brandlarmet bör musiken tystna och belysningen tändas samtidigt som utrymningslarmet aktiveras.

3 Norge

Den litteratur som studerats är "Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk"⁵ samt "Veiledning til teknisk forskrift til plan-og bygningsloven"⁶. Dessa publikationer kan liknas vid den svenska bygglagstiftningen med tillhörande rådtexter. Regelverket är liksom det svenska regelverket funktionsbaserat.

3.1 Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?

I den norska lagstiftningen, samt vägledningen till denna, finns inte några kriterier för att definiera samlingslokaler. Begreppet samlingslokaler ligger inte heller till grund för dimensionering av utrymningsvägar och dylikt. I Norge tilldelas en byggnad istället en riskklass utifrån fyra frågeställningar vilka det är möjligt att svara ja eller nej på, se tabell 2. Riskklassen ligger sedan till grund för vidare dimensionering.

Riskklass	Vistas personer endast sporadiskt i byggnaden?	Känner personer till utrymningsvägarna och kan de sätta sig i säkerhet själva?	Är byggnaden endast avsedd för vakna personer?	Är det en verksamhet med lite brandfarlig verksamhet?
1	JA	JA	JA	JA
2	JA/NEJ	JA	JA	NEJ
3	NEJ	JA	JA	JA
4	NEJ	JA	NEJ	JA
5	NEJ	NEJ	JA	JA
6	NEJ	NEJ	NEJ	JA

Tabell 2. Riskklasser i den norska lagstiftningen

I den tidigare lagstiftningen fanns en definition av samlingslokaler som sa att dessa var lokaler avsedda för minst 150 personer eller lokaler vilka hade en golvarea över 120 m² (nettoarea). Detta används som riktlinjer även idag trots att definitionen inte är angiven i lagstiftningen eller vägledningen⁷. Enligt vägledningen⁶ är samlingslokaler ett exempel på riskklass 5.

3.2 Hur tas det dimensionerande personantalet fram?

I vägledningen till bygglagstiftningen anges att antalet personer i en samlingslokal utan fasta sittplatser kan dimensioneras utifrån en persontäthet på 0,6 m²/person (ca 1,7 personer/m²). I övrigt finns inga rekommenderade persontätheter.

3.3 Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?

Från en brandcell där det kan förväntas vistas ett *stort* antal personer skall det finnas tillräckligt många, och alltid minst två, utgångar till utrymningsväg.

I vägledningen anges att det utöver två utgångar skall finnas minst en utgång per 300 personer för att undvika köbildning ("opphopning"). Dörr i utrymningsväg skall utföras så att den säkrar en snabb utrymning och undviker köbildning (oppstuvning).

Vägledningen anger att det minsta fria måttet på en dörröppning i utrymningsväg skall vara 0.9 meter men att dörrar i utrymningsväg från byggnader som förväntas inrymma ett stort antal människor skall ha en större bredd. En byggnad i riskklass 5 skall ha dörrar vilka har ett minsta fritt mått om 1,2 meter. Den sammanlagda fria bredden skall utgå från antal personer i lokalen och dimensioneras så att det finns minst 10 mm/person.

3.4 Vilka krav ställs på golvmaterialet?

Enligt bygglagstiftningen skall material och ytbeklädnader inte ge oacceptabla bidrag till brandutvecklingen. Vikten läggs vid tid till övertändning, värmeavgivelse, rökproduktion samt utveckling av giftiga gaser.

I bygglagstiftningen eller vägledningen till denna ställs inga specifika krav på golvbeläggningsen i samlingslokaler, utöver ovanstående. De enda utrymmen där specifika krav ställs på golvbeklädnaden är i utrymningsvägar^{5,6} där golvbeläggningsen skall utföras i klass G.

3.5 Ställs krav på brand- och utrymningslarm?

Om säker utrymning inte kan tryggas enbart byggnadstekniskt skall byggnaden förses med brandtekniska installationer som tillgodoser detta. Byggnader i riskklass 5 skall utrustas med automatiskt brand- och utrymningslarm.

4 Danmark

Det som studerats är den danska bygglagstiftningen, ”Byggningsreglementet”⁸, samt föreskrifter, ”Tekniska forskrifter”⁹, i samband med dessa. De Danska byggreglerna är för nuvarande under omarbetning för att kunna bli funktionsbaserade. En dialog har även förts med en brandingenjör vid räddningstjänsten i Köpenhamn¹⁰.

4.1 Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?

En samlingslokal definieras som en lokal där många människor samlas, ex biograf, teatrar, diskotek m.m. I reglerna finns det dock ett undantag för samlingslokaler avsedda för färre än 50 personer, vilka kan dimensioneras efter reglerna om bostadshus i fler våningar. Resultatet av detta blir att definitionen av samlingslokal blir att lokalen skall inrymma ”många” människor samt att lokalen skall vara godkänd för fler än 50 personer av räddningstjänsten.

I den danska lagstiftningen finns även något som heter ”forsamlingslokaleafsnit” (samlingslokal-savschnitt). Det behandlar flera mindre lokaler som var för sig innehåller mindre än 50 personer och som har gemensamma utrymningsvägar. Enligt lagstiftningen skall personantalet slås samman för dessa lokaler och överstiger detta 50 personer klassas hela avsnittet som samlingslokal även om de enskilda lokalerna var för sig inrymmer färre än 50 personer.

4.2 Hur tas det dimensionerande personantalet fram?

Lagstiftningen anger att en dimensionerande persontäthet på 2 personer/m² (0,5 m²/person) skall ligga till grund då antalet personer i en samlingslokal fastställs. I lokaler som har en ”platsfördelningsplan” dimensioneras personantalet i lokalen efter denna. Platsfördelningsplanen fastställs av den danska räddningstjänsten och innehållet i denna beror av typen av lokal. Dels kan planen innehålla hur många fasta sittplatser som skall finnas, dels kan planen innehålla riktlinjer för hur bord, scener m.m. skall placeras.

Vid fallet med fasta sittplatser bestäms det dimensionerande personantalet efter antalet sittplatser. Innehåller planen riktlinjer för hur bord, scener m.m. skall placeras dimensioneras det efter ovan givna persontäthet i kombination med nettoarean¹⁰.

4.3 Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?

Samlingslokaler skall ha minst två av varandra oberoende utrymningsvägar, placerade i brandcellens motstående ändar.

För lokaler avsedda för färre än 150 personer skall dörröppningar i utrymningsväg vara minst 9M (ett murmått vilket motsvarar ca 0.85 meter fri bredd¹⁰). Lokaler avsedda för fler än 150 personer skall ha en minsta fri bredd om 1 meter. Utöver dessa krav skall den totala utrymningsbredden minst motsvara 10 mm/person.

4.4 Vilka krav ställs på golvmaterialet?

Golvbeläggningen i samlingslokaler skall vara utförd i klass G, vilket innebär att den skall följa standarden DS 1063.2.

4.5 Ställs krav på brand- och utrymningslarm?

I den danska lagstiftningen finns inga krav på utrymningslarm i samlingslokaler. Detta blir aktuellt först vid tekniska byten.

5 Australien

Det som studerats är den australiensiska bygglagstiftningen¹⁰, och kommentarer¹² till denna, som gällde 1990. Efter kontakt med en brandingenjör som arbetar i Australien¹³ har det framgått att de schablonregler som anges i denna upplaga är de som gäller även idag fast det finns en funktionsbaserad lagstiftning. Den funktionsbaserade lagstiftningen började gälla 1996.

5.1 Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?

I den australiensiska lagstiftningen finns inga direkta kriterier som avgör om en lokal klassas som samlingslokal eller inte. Vid dimensionering klassificeras en byggnad utifrån verksamheten som skall bedrivas i byggnaden. Olika delar av byggnaden klassas olika beroende på verksamheten i respektive del. De delar som inrymmer en samlingslokal har klass 9b ”assembly building”. Till denna klass hör byggnader där folk samlas i syfte för utbildning (skolor, dagis o.dyl), underhållning, eller för att resa. Den slutgiltiga klassen på en byggnad bestäms av en byggnadsinspektör

5.2 Hur tas det dimensionerande personantalet fram?

Den dimensionerande persontätheten beror på lokalens användningsområde. Det finns ett antal olika dimensionerande persontätheter av vilka ett antal exempel anges i tabell 3.

Användningsområde/Typ av lokal	Persontäthet	
	personer/m ²	m ² /personer
Konstgalleri, utställningslokaler, museum	0,25	4,0
Barer, kyrkor, middagsrum	2,0	0,5
Domstolslokaler	0,1 där domare och jurister befinner sig	10,0 där domare och jurister befinner sig
	1,0 där åhörarna befinner sig	1,0 där åhörarna befinner sig
Dansgolv	2,0	0,5
Dagis (early childhoodcentre)	0,25	4,0
Gymnastiksal, inomhusarenor	0,1	10,0
Restauranger	1,0	1,0
Terminalbyggnader	0,5	2,0
Teatrar	0,83	1,2
Skolor	0,5 för klassrum	2,0 för klassrum
	1,0 för lokaler med varierande verksamheter	1,0 för lokaler med varierande verksamheter

Tabell 3. Dimensionerande persontätheter i den Australiensiska lagstiftningen.

5.3 Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?

Generellt skall samtliga byggnader ha minst en utgång från varje våningsplan. För vissa typer av lokaler ställs sedan krav på ytterligare utgångar men där finns inte den svenska definitionen på samlingslokaler med. Det som avgör antalet utgångar blir i stället gångavståndet samt erforderlig fri bredd.

Utrymningsvägens bredd, eller bredden på väg till utrymningsväg, får inte understiga 1 meter då våningen eller mellanplanet är avsett för maximalt 100 personer. Undantag från detta är i korridor från klassrum där bredden inte får understiga 2 meter.

För våningar eller mellanplan som inrymmer mellan 101 och 200 personer skall den sammanlagda utrymningsbredden inte understiga 1 meter plus 250 mm för varje 25 personer (eller påbörjat 25 personer) överstigande 100.

Om planet eller mellanplanet inrymmer fler än 200 personer, samt om utrymningen går via trappa eller ramp till ett annat plan, skall den sammanlagda utrymningsbredden inte understiga 2 meter plus 500 mm för varje 60 personer (eller påbörjat 60 personer) överstigande 200.

Då planet eller mellanplanet inrymmer fler än 200 personer men utrymningen inte sker via ramp eller trappa skall den sammanlagda utrymningsbredden inte understiga 2 meter plus 500 mm för varje 75 personer (eller påbörjat 75 personer) överstigande 200.

Dörrar i utrymningsväg skall ha samma mått som den erforderliga utrymningsbredden för de olika fallen ovan, men det fria måttet i dörröppningen får inskränkas med 250 mm. Således skall dörröppningar i utrymningsväg ha en minsta fri bredd om 1 meter. Är lokalen avsedd för mellan 101–200 personer skall dörren vara 1 meter plus 250 mm per 25 personer överstigande 100 personer. Skall lokalen inrymma fler än 200 personer skall dörren vara 2 meter plus 500 mm per 75 (eller 60) personer överstigande 200 personer.

Antalet utgångar regleras av erforderlig utrymningsbredd och gångavstånden i lokalen.

5.4 Vilka krav ställs på golvmaterialet?

De generella kraven på material som används i en byggnad är att vid brand i byggnaden skall materialets förmåga att sprida brand och producera brandgaser vara minimerade.

För byggnader som inrymmer teaterlokaler, ”public halls”, föreläsningssalar, hörsalar, församlingslokaler och liknande ställs krav på ytmaterialet för golv. Material som används på golv, och inte är av ”sarking-type material”, skall ha ett flamspridningsindex som är lägre än 7 och ett rökproduktionsindex som är lägre än 5.

I nämnda typer av lokaler ställs även krav på ytmaterial för fasta sittplatser. Dessa skall ha ett flamspridningsindex som är 0 och ett rökproduktionsindex som är lägre eller lika med 5.

I kommentarerna¹² till bygglagstiftningen anges att ovanstående index skall tas fram genom tester enligt AS 1530.3.

5.5 Ställs krav på brand- och utrymningslarm?

Det ställs krav på utrymningslarm för ett antal olika byggnader. Generellt skall utrymningslarm finnas i byggnader som har en effektiv höjd av minst 25 meter. För byggnader i byggnadsklass 9b skall det finnas utrymningslarm i följande byggnader:

- skola som har en höjd av tre våningar
- teater, ”public hall” eller liknande, som har en golvarea större än 1000 m² eller har fler än två våningar.

6 Storbritannien

Lagstiftning som studerats är ”British Standard 5588: part 6”¹⁴ samt ”Approved document B”¹⁵. Dessa regler är funktionsbaserade men samtidigt finns detaljrika rekommendationer för olika lösningar på samma sätt som i Sverige.

6.1 Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?

I den brittiska lagstiftningen finns det inte angivet något personantal som anger om en lokal klassas som samlingslokal eller inte. Det som utgör grunden för dimensioneringen är vilken användningsgrupp som byggnaden eller del av byggnaden tillhör. Det som ligger närmast det vi i Sverige betecknar samlingslokal är den användningsgrupp som benämns ”Assembly and Recreation”, församling och rekreation. Personantalet i lokaler som tillhör denna grupp varierar kraftigt, från ett fåtal till flera hundra.

Lokaler som ingår i denna grupp är samlingslokaler samt nöjes- eller rekreationslokaler (inklusive bingohallar, film- och inspelningsstudior öppna för allmänheten, kasinon, danslokaler, teatrar, museum, biografier, publika toaletter m.m.).²

6.2 Hur tas det dimensionerande personantalet fram?

För att ta fram det dimensionerande personantalet används en dimensionerande persontäthet som bedöms kunna gälla för den aktuella lokalen. I tabell 4 ges exempel på dimensionerande persontätheter.

Användningsområde	Persontäthet:	
	personer/m ²	m ² /person
Individuella sittplatser	2,0 till 2,5	0,4 till 0,5
Sittplatser på bänkar	3,3	0,3
	om antalet bänkar och bänkarnas längd är känt bör 450 mm/person användas	
Nöjesarkader, samlingslokaler, barer, bingohallar, dansgolv, utrymmen för konserter	2,0	0,5
Barer utan fasta sittplatser	3,3	0,3
Restauranger och liknande bord och stolsplaceringar kring ett dansgolv	0,7 till 0,9	1,1 till 1,5
Läktare för stående	3,3	0,3
Museum och konst gallerier	0,2	5,0
Studior (radio, tv, film och inspelning)	0,7	1,4
Utställningshallar	0,7	1,5

Tabell 4. Dimensionerande persontätheter^{14,15}

6.3 Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?

Förutsättningarna för utrymning¹⁴ är att utgångar skall lokaliseras så att en person som konfronteras av en brand kan vända och fortfarande sätta sig i säkerhet. Grundkravet för detta är att det skall finnas minst två av varandra oberoende utrymningsvägar.

Från lokaler/plan som inrymmer upp till 600 personer skall det finnas minst två av varandra oberoende utrymningsvägar och om lokalen/planet inrymmer fler än 600 personer skall det finnas minst tre av varandra oberoende utrymningsvägar.

Det finns inga bestämda minimikrav på dörrbredder från lokaler i den användningsgrupp som benämns ”Assembly and Recreation”. När man dimensionerar utrymningskapaciteten från lokaler i denna användningsgrupp bör följande förfarande tillämpas:

- Kapaciteten för utgångarna skall bestämmas med hjälp av tabell 5.2.
- För varje lokal, våning eller nivå med sittplatser skall:
 - Om det finns tre eller fler utgångar och samtliga är fullvärdiga utrymningsvägar skall den sammanlagda kapaciteten av utgångarna motsvara antalet personer i lokalen, våningen eller nivå med sittplatser.
 - Om det finns färre än tre utgångar eller om inte samtliga utgångar är fullvärdiga utrymningsvägar skall den sammanlagda kapaciteten av utgångarna motsvara antalet personer i lokalen, våningen eller nivå med sittplatser då den utrymningsväg med högst kapacitet räknas bort.

Kapaciteten för olika bredder ges i tabell 5.

<i>Maximalt antal personer</i>	<i>Bredd [mm]</i>
50	900
110	1000
220	1100
240	1200
260	1300
280	1400
300	1500
320	1600
340	1700
360	1800

Kommentarer:

1. Bredden på en dörr är bredden av dörrbladet eller dörrbladen.
 2. Om ett räcke eller dylikt inkräktar mer än 100 mm på bredden skall utrymningsbredden vid beräkningar minskas med den bredd som överskrider 100 mm.
-

Tabell 5. Kapaciteten för olika bredder på utrymningsvägar

6.4 Vilka krav ställs på golvmaterialet?

I ”Approved document B” finns krav för ytmaterial men dessa kriterier gäller inte för golv. Motiveringen till detta är att det översta skiktet på golv (och trappor) inte anses vara nämnvärt involverade i en brand förrän den är fullt utvecklad. Således anses inte heller golvmaterialet ha någon stor betydelse för brandspridning i brandens tidiga skede, vilket anses vara det viktigaste i beaktande av personsäkerheten.

6.5 Ställs krav på brand- och utrymningslarm?

För den användningsgrupp som samlingslokaler tillhör ges följande rekommendationer¹⁴:

1. Det bör finnas utrustning som varnar människor vid brand.
2. Larmsystemet bör kunna startas genom manuella tryckknappar eller detektorer i enlighet med BS 5839: Part 1.
3. Med undantag av byggnader som inrymmer färre än 300 personer eller där antalet personal är litet bör systemet först ge signal till personal och därefter allmänheten.
4. Alla larm bör gå till bemannad plats.

7 Nya Zeeland

Studerad litteratur är ”Approved Document C2”¹⁶, ”Approved Document C3”¹⁷ samt ”Annex to the fire safety documents”¹⁸. Dessa är råd till den bygglagstiftningen i Nya Zeeland och fungerar som schablonregler.

7.1 Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?

Beroende på typ av aktivitet i byggnaden tilldelas byggnaden en funktionsgrupp. Det är denna funktionsgrupp som ligger till grund för dimensionering av brandsäkerheten. Det som i Sverige går under benämningen samlingslokal skulle i Nya Zeeland tillhöra funktionsgrupp *CL* och i vissa fall även *CM*. C:et i förkortningen står för crowd (folksamling), L:et för large (stor) och M:et för mercantile (handel). Exempel på byggnader som tillhör de olika funktionsgrupperna är:

- *CL*: då personantalet överstiger 100 personer i byggnader av typen biografier, konstgallerier, kyrkor, danslokaler, nattklubbar, restauranger, teatrar, hörsalar m.fl.
- *CM*: Utrymmen för visning eller försäljning av varor, dvs. butiker.

7.2 Hur tas det dimensionerande personantalet fram?

För lokaler och byggnader som inrymmer ovanstående verksamheter finns ett antal olika persontätheter rekommenderade. Ett antal av dessa finns angivna i tabell 6.

Typ av verksamhet	Persontäthet (personer/m ²)
Plats för stående	2,6
Ståplatser i barer	2,0
Utrymme med fasta sittplatser	Antal sittplatser
Utrymme med lösa sittplatser	1,3
Utrymmen utan sittplatser eller mittgångar	1,0
Utställningsytor	0,7
Lobbies och foajéer	1,0
Sittplatser i barer	1,0
Dansgolv	1,7
Utrymmen med lösa stolar och bord	0,9
Restauranger	0,9
Klassrum	0,5
Snabbköp	0,5
Försäljningsytor, bottenvåning och källare	0,4
Försäljningsytor, övriga våningar	0,2

Tabell 6. Rekommenderade persontätheter i Nya Zeeland¹⁷

7.3 Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?

Generellt gäller att samtliga delar av en byggnad skall ha minst två utrymningsvägar. För byggnader som tillhör funktionsgrupp *CL* och *CM* gäller även att:

- Byggnader som förväntas inrymma upp till 500 personer skall ha minst två utrymningsvägar.
- Byggnader som förväntas inrymma upp till 1 000 personer skall ha minst tre utrymningsvägar.

- Byggnader som förväntas inrymma upp till 2 000 personer skall ha minst fyra utrymningsvägar.
- Byggnader som förväntas inrymma upp till 7 000 personer skall ha minst sex utrymningsvägar.
- Byggnader som förväntas inrymma upp till 16 000 personer skall ha minst åtta utrymningsvägar.
- Byggnader som förväntas inrymma fler än 16 000 personer skall ha minst åtta utrymningsvägar plus en för varje 5 000, eller del därav, över 16 000.

Baserat på funktionsgrupp så gäller att det minsta måttet på en passage till en utrymningsväg (korridor) från byggnader och lokaler i funktionsklass CL och CM skall vara minst 850 mm eller 7 mm/person. Går passagen mot en vertikal utrymningsväg (trappa) gäller minimimåttet minst 1000 mm eller 9 mm/person. Detta medför att passagen till utrymningsväg från lokal för 150 personer skall ha måttet 1050 mm om den går mot en korridor och minst 1350 mm om den går mot en trappa. Dörrkarmar får inskränka på detta mått med högst 100 mm när dörren är i öppet läge.

I det studerade materialet skiljer man på bredd inom utrymningsvägen (korridorer och trapphus som leder direkt till det fria) samt bredd i passage mot utrymningsvägen. Inom en utrymningsväg får bredden inte understiga den bredd som är störst av 1000 mm och den bredd som beräknas enligt det tidigare. Dock får bredden inskränkas med vissa hinder såsom skyltar, räcken m.m.

Vid dimensionering skall även risken för att en utrymningsväg slås ut tas i beaktande. Detta kan göras genom att öka bredden på utrymningsvägarna eller öka antalet utrymningsvägar.

7.4 Vilka krav ställs på golvmaterialet?

För byggnader och lokaler i funktionsgrupp CL och CM ställs endast krav på golvmaterial i utrymningsvägar.

7.5 Ställs krav på brand- och utrymningslarm?

De flesta byggnader och lokaler som tillhör funktionsgrupp CL eller CM skall utrustas med någon typ av brand- och utrymningslarm. Omfattningen på larmsystemet bestäms av antal våningar, antal brandceller, dimensionerande personantal. För de olika omfattningarna se bilaga.

8 USA

Får att få en bild av hur dimensioneringen i USA fungerar så har NFPA 101, Life safety code¹⁹, studerats. Detta reglemente är funktionsbaserat men anger även schablonregler för dimensionering.

8.1 Vilket personantal avgör om en lokal är samlingslokal eller ej?

”Assembly occupancy” definieras som en lokal som kan förväntas inrymma 50 eller fler personer. Den planerade aktiviteten i lokalen kan vara allt från underhållning till religionsutövning. Till denna definition hör även byggnader som används som speciella nöjesbyggnader, oavsett personantal.

8.2 Hur tas det dimensionerande personantalet fram?

Det dimensionerande personantalet tas fram med hjälp av angivna persontätheter beroende på typ av lokal. I tabell 7 anges ett antal rekommenderade persontätheter.

Aktivitet i byggnaden/lokalen	Persontäthet	
	Person/m ²	m ² /person
Hög personbelastning (concentrated use), utan fasta sittplatser	1,5	0,65 nettoarea
Mindre hög personbelastning (less concentrated use), utan fasta sittplatser	0,7	1,4 nettoarea
Fasta sittplatser	Dimensioneras efter antalet sittplatser	
Bibliotek	0,1	9,3
Studierum på bibliotek	0,2	4,6 nettoarea
Träningslokaler utan utrustning	0,7	1,4
Kasinon och liknande spelhallar	1,0	1,0
Klassrum	0,5	1,9
Försäljningsytor i markplan	0,4	2,8
Försäljningsytor ovanför markplan	0,2	5,6

Tabell 7. Persontätheter rekommenderade i NFPA, 101 Life Safety Code.

8.3 Antal utgångar och krav på fri öppningsbredd för samlingslokaler?

Från varje lokal skall det finnas minst två utrymningsvägar. Det totala antalet utrymningsvägar och deras bredder skall baseras på personantalet som beräknas med hjälp av de persontätheter som finns angivna i tabell 7. För samlingslokaler gäller att det skall finnas minst tre utgångar om det förväntade antalet personer är fler än 500 men färre än 1000. Är det förväntade personantalet fler än 1000 skall det finnas minst fyra utgångar.

Vidare gäller att samtliga samlingslokaler skall ha tillgång till en huvudentré som skall ha en kapacitet som motsvarar hälften av det förväntade personantalet i lokalen. Resterande utrymningsvägar skall sammanlagt ha en kapacitet motsvarande hälften av det förväntade personantalet.

Den fria bredden i en dörröppning som leder till en utrymningsväg får generellt aldrig understiga 0,81 meter. Vid dimensionering av den totala utrymningsbredden skall en bredd av 5 mm/person användas.

8.4 Vilka krav ställs på golvmaterialet?

Det ställs inga krav på golvmaterial i detta reglementet.

8.5 Ställs krav på brand- och utrymningslarm?

Då det förväntade personantalet överstiger 300 ställs krav på brand- och utrymningslarm. Det mer generella kravet anger att där branden själv inte kan förväntas ge tillräckligt tidig varning skall ett brand- och utrymningslarm installeras.

Table B1/1: Fire safety precautions						Purpose group CS & CL
Occupant load or highest floor level (For both total and max occupant load figures include only the purpose group being considered)	Full floors			Intermediate floors		
	Firecell rating and alarm type	Alternative firecell rating and alarm type	Other protection required	Firecell rating and alarm type	Alternative firecell rating and alarm type	Other protection required
Single floor building						
Occupant load						
up to 50	F0					
51 to 100	F0 1*		16ad*			
101 to 250	F0 2*e		16ad*			
251 to 500	F0 3f		16ad			
501 to 1000	F0 4		16d			
1001 to 2000	F0 6		16d			
over 2000	F0 7		16d			
Two floor building						
Total occupant load on both levels						
Max occupant load on level 2						
up to 50	up to 30	F15 1	F0 4	F15 2e		
51 to 100	31 to 60	F30 2e	F15 4f	F30 2f	F15 4f	10
101 to 250	61 to 125	F30 4f	F15 6	F30 4	F15 6	10,14,16ad
251 to 500	126 to 250	F60 4	F30 6	F60 6	F30 7	11,14,16d
501 to 1000	251 to 500	F60 4	F30 6	F60 7		11,14,16d
over 1000	over 500	F60 6	F30 7	F60 7		11,14,16d
Three floor building						
Total occupant load for 3 levels						
Max occupant load on level 2 or 3						
up to 50	up to 20	F30 1	F15 4	F30 4e	F15 6	
51 to 100	21 to 40	F30 2e	F15 4f	F30 4f	F15 6	10,14,16d
101 to 250	41 to 75	F60 4	F15 6	F60 4	F30 6	10,14,16d
251 to 500	76 to 150	F60 4	F30 6	F60 6	F30 7	11,14,16d
501 to 1000	151 to 300	F60 6	F30 7	F60 7		11,14,16d
over 1000	over 300	F60 7		F60 7		11,14,16d
Building of more than three floors						
Highest floor level containing the purpose group						
7 m not > 16 m		F30 4		F60 4		11,14,16d
16 m not > 25 m		F60 4	F30 6	F60 4		8,11,14,15,16d,18
25 m not > 34 m		F60 6	F30 7	F60 6		8,11,13,14,15,16d,18
34 m not > 46 m		F60 6		F60 7		8,11,13,14,15,16d,18,19
46 m not > 58 m		F60 7		F60 7		8,11,13,14,15,16d,18,19
58 m and greater		F60 7		F50 7		8,11,13,14,15,16d,18,19
Column	1	2	3	4	5	6
						7

Amd 1
Dec '93

Amd 1
Dec '93

Amd 1
Dec '93

Amd 3
Dec '95

Amd 1
Dec '93

Amd 3
Dec '95

Amd 3
Dec '95

* Alarms and emergency lighting required only in cinemas and theatres and any associated corridors and passageways used by the public.

Amd 1
Dec '93

Referenslista

1. Boverket, ”**Boverkets byggregler, BBR**”, Oktober 1998.
2. Boverket, ”**Utrymningsdimensionering**”, rapport 1994:10, Mars 1996.
3. Brandskyddslaget, LTH-Brandteknik, ”**Brandskydd, Teori och praktik**”, Stockholm 1994.
4. Ohlson. H, Genberg. G, Backvik. B, ”**Brandskydd – En handbok i anslutning till Boverkets Byggregler**”, Stockholm, 1997.
5. ”Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk”, <http://www.be.no/beweb/regler/forskrift/tekn97/07sikker.html>
6. ”Veiledning til teknisk forskrift til plan-og bygningsloven”, <http://www.be.no/beweb/regler/veil/teknveil97/000tekveilinnh.html>
7. Sandberg. A., Brandskyddslaget AB, Stockholm 2000-07-20.
8. ”Bygningsreglementet, BR’95”
<http://www.sumnet.dk/br95/reglem/reglement.htm>
9. ”Tekniske forskrifter”
<http://www.brandinfo.dk/>
10. Mattson. M., Köpenhamns Räddningstjänst, 2000-08-04
11. Australian uniform building regulations co-ordinating council, ”**Building Code of Australia, 1990**”, Australien, Canberra, 1990.
12. CSIRO, Division of Building, Construction and Engineering, ”**Commentary on the building code of Australia**”, Australien, 1990.
13. Carlsson. E., Arup Fire, Australien, 2000-08-07.
14. Technical Committee FSH/14, ”British Standard 5588: part 6”, Storbritannien 1996.
15. Y Skyddfa Gymreig Welsh Office, ”Approved document B”, 1991.
16. Building Industry Authority, ”Means of Escape – Approved Document C2”, 1995.
17. Building Industry Authority, ”Spread of Fire – Approved Document C3”, 1995
18. Building Industry Authority, ”Annex to the Fire Safety Documents”, 1995
19. National Fire Protection Association, NFPA 101, Life Safety Code, 1997.

Supplement 4

Resultat från litteraturstudien kring personflöde genom dörröppningar som funktion av dörrbredden.

Björn Hedskog och Staffan Bengtson, Brandskyddslaget

**Resultat från litteraturstudien kring
bl.a personflöde genom dörröppningar
som funktion av dörrbredden**

*Björn Hedskog, Staffan Bengtson
Brandskyddslaget 2001-04-11*

Sammanfattning

Denna litteraturstudie har utförts på uppdrag av Statens haverikommission. Målet har varit att ta fram information dels kring personflöden genom dörröppningar som funktion av dörröppningens bredd, dels kring fenomenet *proppbildning* vid dörröppningar. Syftet med litteraturundersökningen är att få fram material som visar om proppbildningen vid branden i Makedoniska föreningens lokaler kunde undvikits.

Det har visat sig att mycket lite forskning har utförts kring ovanstående företeelser på senare år. Mycket av tillgängliga forskningsresultat finns presenterade i Håkan Frantzich rapport "Utrymningsvägars fysiska kapacitet – sammanställning och utvärdering av kunskapsläget". I denna rapport presenteras forskning utförd av Togawa, Predtetschenski och Milinski, Fruin, Pauls med flera. En sammanställning av dörröppningars kapacitet som funktion av dörröppningens bredd finns presenterad i slutet av rapporten.

Togawa anger ett medelvärde på $1,5 \text{ personer}/(m*s)$ ut från diverse byggnader medan Fruin kommit fram till att flödet i vanliga dörrar är mellan $0,67-1 \text{ person/s}$. Pauls utgår från Fruins resultat och anger att för en normaldörr med bredden 0,91 meter (fri bredd 0,864) kan det lägre värdet som Fruin angav sägas representera flödet då personerna är obekanta med byggnaden och dörröppningarnas placering samt då personerna har något nedsatt rörelseförmåga. Det högre värdet gäller för normalt rörliga personer som är bekanta med byggnaden. För dörrar som har en större fri bredd än 0.864 meter kan dörrrens *flödeskapacitet antas öka linjärt med dörröppningens fria bredd*.

Predtetschenski och Milinski anser att flödet beror av persontätheten och har tagit fram en rad uttryck för flöde som är baserade på 3 600 försök. Flödet beror i deras ekvationer av öppningens bredd samt persontätheten.

Fenomenet kring proppbildning finns beskrivet i en rapport av Peschl, vilken utkom 1971. Rapporten är skriven på holländska och har inte gått att få fram under tiden för den utförda litteraturstudien. Dock konstaterar många av ovanstående forskare att flödet avstannar då persontätheten blir för hög, kring $4-5 \text{ personer}/m^2$.

Innehållsförteckning

1. Inledning	5
1.1 Syfte och mål	5
1.2 Metod/arbetssätt	5
2. Resultat från litteraturstudien	5
2.1 Håkan Frantzich	5
2.1.1 Grundläggande flödesmodeller och persontäthet	5
2.1.2 Togawas teorier	6
2.1.3 Predtetschenski och Milinskis teorier	7
2.1.4 Fruins forskning	9
2.1.5 Pauls' forskning	9
2.1.6 Sammanställning av personflöde genom dörrar	10
2.2 Melinek and Booth	10
2.2.1 Korridorers fysiska kapaciteten	10
2.2.2 Dörrars fysiska kapacitet	11
2.3 Teorier presenterade i "The SFPA Handbook of Fire Protection Engineering"	11
2.3.1 Människors förflyttning	11
2.3.2 Personrörelser vid nödsituationer	12
2.4 Köbenhavns Brandvaesen og Trygg i Danmark	14
2.4.1 Allmänt och tidigare kunskap	14
2.4.2 Nya utrymningsförsök	15
2.4.3 Persontäthet	18
2.4.4 Sammanfattning och slutsatser	19
3. Avslutande diskussion	20
Referenslista	21

1. Inledning

1.1 Syfte och mål

Litteraturundersökningen är utförd som en del i Haverikommissionens utredning kring branden i Makedoniska föreningens samlingslokal på Hisingen i Göteborg, den 29–30 oktober 1998. Målet har varit att få fram resultat från forskning och annan litteratur som behandlar dels personflöde genom dörröppningar som funktion av dörröppningens bredd, dels proppbildning vid utrymnings-situationer. Med *proppbildning* avses situationen då personflödet genom en dörröppning avstannat helt trots att många personer vill ta sig ut.

Syftet med litteraturundersökningen är att få fram material som visar om proppbildningen vid branden i Makedoniska föreningens lokaler kunde undvikits om den använda utrymningsvägen hade varit bredare.

1.2 Metod/arbetsätt

För att få in information kring kunskapsläget har e-mail skickats ut till den emailista som IAFSS (The International Association for Fire Safety Science) står bakom. Tanken med detta meddelande var att få fram information kring ny forskning, nya teorier samt eventuella personer som kunde kontaktas för att få ytterligare information. Litteratursökning har skett dels via sökning på Internet och dels via olika bibliotek. Personliga kontakter har även tagits med forskare i Sverige, Japan och Nederländerna. Tyvärr har ingen av dessa kontakter fört arbetet framåt då ingen ytterligare information utöver den som redan fanns framkommit.

2. Resultat från litteraturstudien

Tidigt i litteraturstudien visade det sig att Håkan Frantzich vid institutionen för brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola utfört en sammanställning av kunskapsläget kring utrymningsvägars fysiska kapacitet. Detta arbete presenterades i en rapport /1/ 1993. Efter diskussion bestämdes att fortsatta litteraturstudier framför allt skulle inrikta sig på forskningsresultat som kommit fram efter 1993. Tyvärr visade det sig att det har forskats mycket lite kring personflöde genom dörröppningar som funktion av dörröppningens bredd och proppbildning vid utrymnings-situationer. Nästan allt material som framkommit har publicerats tidigare än 1993. I det följande presenteras ett sammandrag från det Håkan Frantzich kom fram till samt vissa andra källor.

2.1 Håkan Frantzich

Denna rapport /1/ sammanfattar kunskapsläget, vad gäller personförflyttning i utrymnings-situationer, 1993. Det har under litteraturstudien visat sig att detta kunskapsläge till stora delar är detsamma idag, åtminstone vad gäller personflöde genom dörröppningar. Frantzich refererar en rad forskare, däribland Togawa, Predtetschenski och Milinski, Fruin och Pauls. Samtliga av dessa har angivit sin syn på personflöden genom dörröppningar, vilket presenteras nedan.

2.1.1 Grundläggande flödesmodeller och persontäthet

Inledningsvis beskrivs den allmänna flödesekvationen som i en eller annan form oftast används för dimensionering av personflöde.

$$F = D \cdot v \cdot B \text{ [pers/s]} \quad (\text{ekv. 1})$$

I ekvationen står F för flödet, D för persontätheten, v för gånghastigheten och B för utrymningsvägens bredd. Denna ekvation är således praktiskt användbar för samtliga förbindelser i en utrymningsväg. Normalt är hastigheten en funktion av persontätheten. Förutom det nyss definierade flödet nämns även det specifika flödet, F_s .

$$F_s = D \cdot v \text{ [pers/(m*s)]} \quad (\text{ekv. 2})$$

$$F = F_s \cdot B \quad (\text{ekv. 3})$$

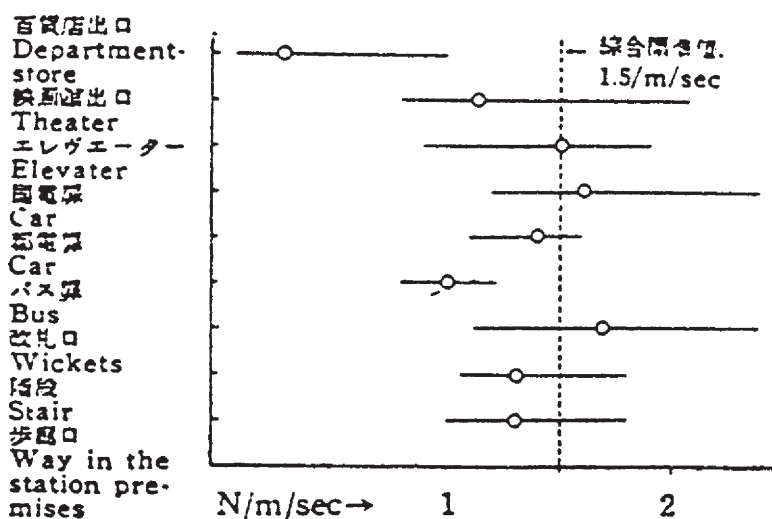
Den bredd som oftast avses i ovanstående ekvationer är den verkliga bredden även fastän någon forskare anser att en effektiv bredd (den del av förbindelsen som faktiskt används) skall användas.

Vad gäller persontäthet är det vanligaste och mest använda sättet att ange detta som antal personer per ytenhet eller dess invers. De ryska forskarna Predtetschenski och Milinski samt den österrikiske forskaren Kendik använde dock en dimensionslös persontäthet. Denna anges som förhållandet mellan den horisontellt projicerade arean personerna tar upp och den totala arean de vistas på.

2.1.2 Togawa:s teorier

Togawa utförde en omfattande studie av hur fort olika människor går i olika situationer som publicerades 1955. Personflöde och hastigheter för trappor, korridorer och genom dörrar från många olika typer av byggnader redovisas. Resultaten från personflöde genom olika dörröppningar visas i figur 1. Det totala medelvärdet för flöde ut genom en dörröppning anger Togawa till $1,5 \text{ personer/(m*s)}$.

Table of out flow of mass from openings of every kind



Figur 1. Personflöden enligt Togawa.

2.1.3 Predtetschenskis och Milinskis teorier

Dessa forskare mätte gånghastigheter genom olika typer av förbindelser totalt ca 3 600 gånger. Från det material som de fick fram har de sedan härlett ett antal uttryck, bland annat hastigheten genom dörröppningar. Samtliga uttryck utgår från den dimensionslösa person-tätheten (D_{pm}) som nämnts tidigare.

$$D_{pm} = (f \cdot n) / (l \cdot b) \quad (\text{ekv. 4})$$

där: f = horisontal area per person

n = antal personer

$l \cdot b$ = måttet på förbindelsen, lokalen

Den generella hastigheten anges sedan som funktion av D_{pm} .

$$v = 112 D_{pm}^4 - 380 D_{pm}^3 + 434 D_{pm}^2 - 217 D_{pm} + 57 \text{ [m/min]} \quad (\text{ekv.5})$$

där v står för hastigheten. För att få hastigheten i den aktuella förbindelsen multipliceras sedan ekv. 5 med en koefficient. Förr dörrar blir då uttrycket :

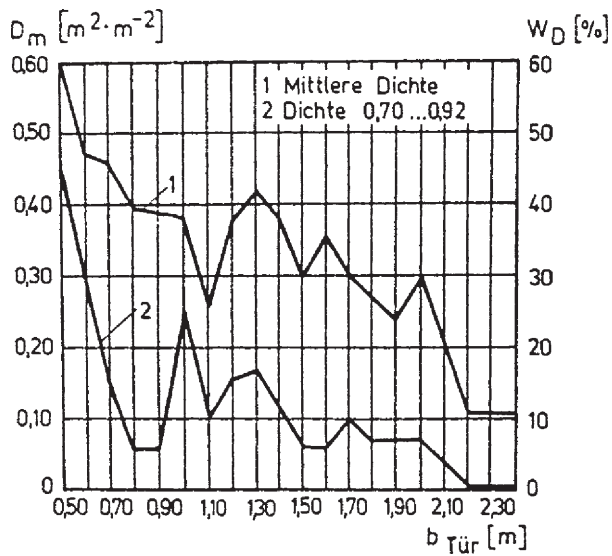
$$v_{dörr} = v \cdot m_{dörr} \text{ [m/min]} \quad (\text{ekv. 6})$$

$$m_{dörr} = 1.17 + 0.13 \sin(6.03 D_{pm} - 0.12) \quad (\text{ekv. 7})$$

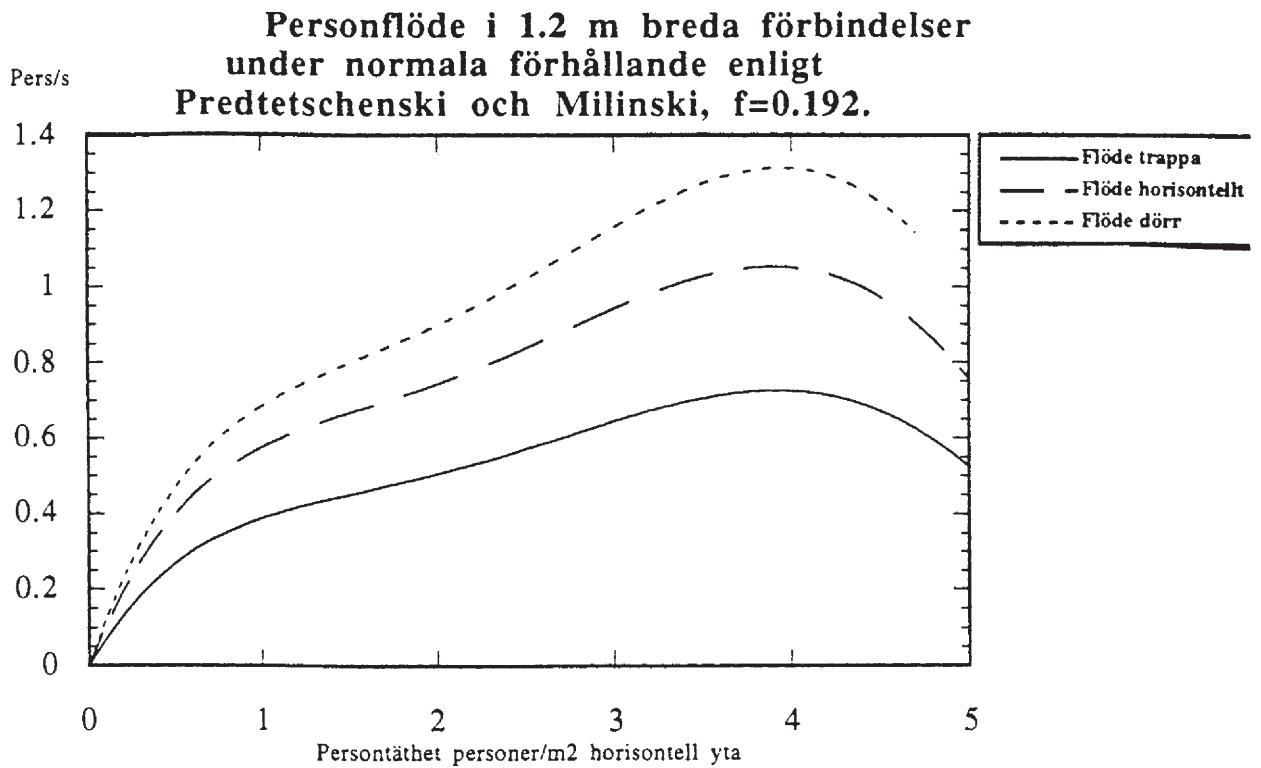
Den hastighet som anges är alltid parallell med gångbanan och vid normala förhållanden, men det finns möjlighet att räkna om värdet så att det gäller för en nödsituation. Utrymningshastigheten beräknas genom att tidigare beräknad hastighet multipliceras med en utrymningskoefficient, μ . Denna koefficient för dörrar är:

$$\mu = 1.49 - 0.36 D_{pm} \quad (\text{ekv. 8})$$

Flödet av personer beräknas sedan med ekv. 1. En omräkning till enheten personer/m² kan göras då den horisontella ytan per person är känd. Från ekvationerna går att utläsa att personflödet är direkt proportionellt mot dörröppningens bredd. Något som ej framkommer då ekvationerna för personflöden betraktas är, att persontätheten framför dörren varierar på ett sätt som beror av dörrbredden. Resultatet från forskningen pekar på en ökning av persontätheten framför dörren med en minskande bredd på dörröppningen. Under förutsättningen att folk hela tiden strömmar till blir det mer trängsel framför smala dörrar än framför breda dörrar, även om den totala dörrbredden är den samma. Detta visas som kurva 1 i figur 2. Kurva 2 i samma figur visar sannolikheten för att höga persontätheter ($D_{pm} > 0.72$) skall uppstå för olika dörrbredder. Personflöden i olika förbindelser enligt dessa forskare visas i figur 3.



Figur 2. Persontäthet och täthetsfrekvens före dörröppningar i förhållande till dörröppningens bredd.



Figur 3. Personflöden i olika förbindelser efter Predtetschenski och Milinski.

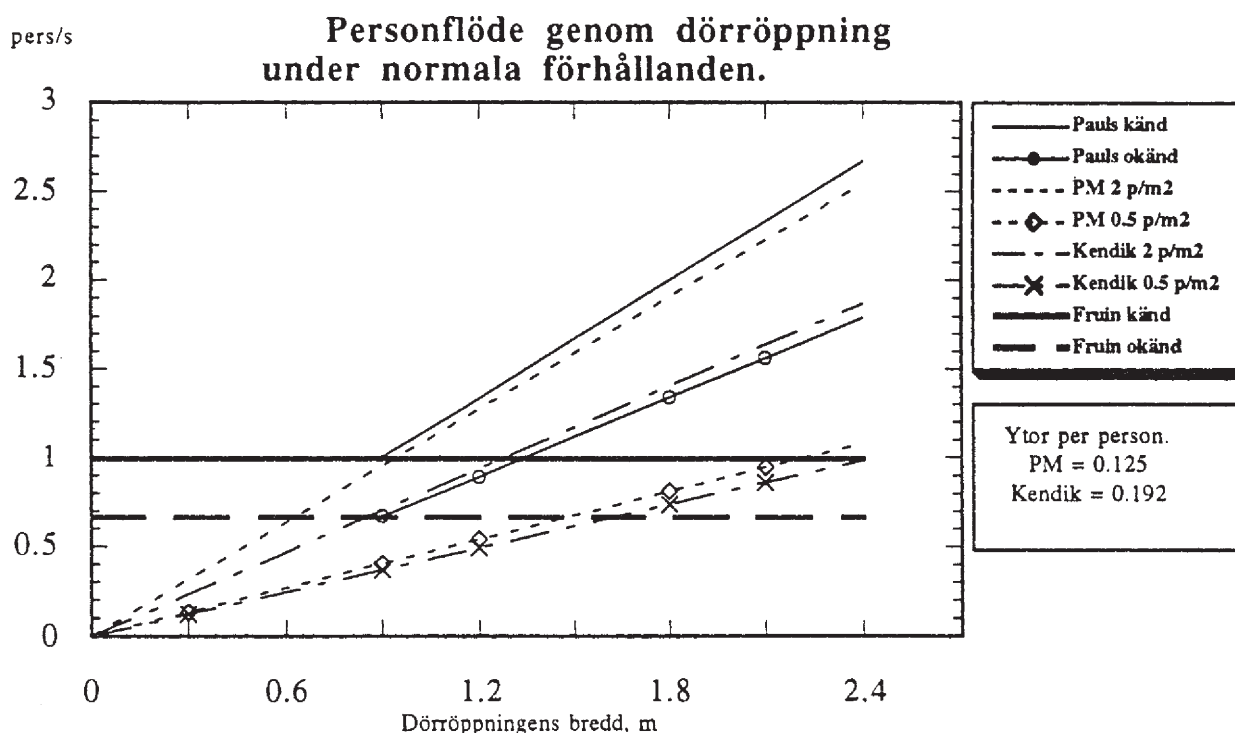
2.1.4 Fruins forskning

Fruin studerade främst personer ute på gatorna samt vid tåg- och busstationer, d.v.s. personer som ej varit utsatta för en nödsituation. De personflöden som Fruin tagit fram grundar sig på den verkliga bredden även om inte hela bredden i en passage utnyttjas. Dörröppningar betraktas som ett specialfall av korridorer och Fruin har samlat information som presenteras som intervall för olika typer av dörröppningar (ex. 40–60 personer/minut för en slagdörr), dock utan att ta hänsyn till dörröppningens bredd. Dörröppningars bredd bör enligt Fruin minst motsvara en normal skulderbredd plus rörelsemån, vilket motsvarar ca 70 cm fri bredd. Resultaten från forskningen visar att personflödet genom en normaldörr med bredden ca 0,91 meter (fri bredd ca 0,864 meter) är 0,67–1 person/sekund.

2.1.5 Pauls' forskning

Jake Pauls anges vara den som troligen forskat mest kring persontransport och evakuering. Det mesta av forskningen har dock rört personflöden i trappor. De flöden som Pauls har tagit fram grundar sig på den effektiva bredden. Den effektiva bredden är den bredd som verkligen används vid en evakuering. Pauls uppmärksammade att det uppstod ett gränsskikt närmast kanterna. Om detta gränsskikt räknas bort erhålls den effektiva bredden.

Tyvärr studerade inte Pauls flöden genom dörröppningar speciellt. Trots detta ger han sin syn på saken baserat på de resultat som Fruin presenterat (ca 40–60 personer/minut för en normaldörr), vilket förutsätter att personer står och köar för att komma ut. Det högre värdet bör användas för normalt rörliga personer som är bekanta med byggnaden. Den bredd som flödet skall baseras på skall för dörrar utgöras av den verkliga bredden då människor tillfälligt går närmare varandra då en dörr passeras. För dörrar som har en större fri bredd än 0,864 meter anser Pauls att kapaciteten konservativt räknat kan antas öka proportionellt med den ökande bredden.



Figur 4. Personflöden genom dörröppningar.

2.1.6 Sammanställning av personflöde genom dörrar

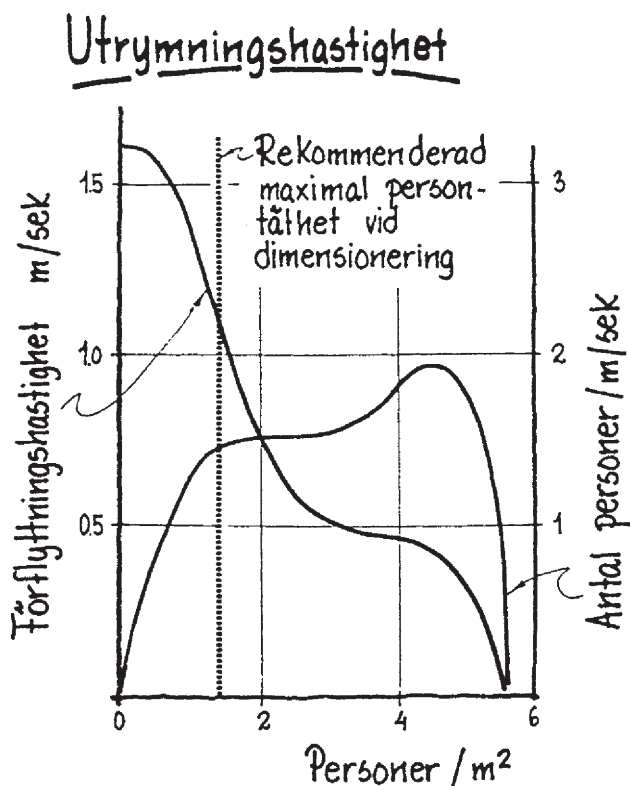
Frantzich avslutar sin rapport med att göra en grafisk sammanställning av bland annat personflöden genom dörröppningar som funktion av dörrbredden. Förutsättningarna är att normala förhållanden råder vilket motsvarar ett normalt användande av dörren. Då Predtetschenski och Melinskis metod ger resultat som är beroende av persontätheten vid förbindelsen redovisas dessa flöden vid två olika tätheter, 0,5 personer/m² samt 2 personer/m². För att beräkna flödet vid dessa tätheter utnyttjar Frantzich data på personernas horisontella yta både från Predtetschenski och Melinski samt Kendik (österrikare som gjorde en studie av den projicerade ytan på en österrikisk population).

2.2 Melinek and Booth

1975 gavs det ut en rapport skriven av Milinek och Booth /2/ som redovisar försök utförda av andra forskare. I rapporten kommenterar författarna de resultat som framkommit.

2.2.1 Korridorers fysiska kapacitet

I rapporten anger författarna bland annat ett grafiskt samband mellan gånghastigheten och persontäthet samt förhållandet mellan flödet och persontätheten för korridorer, vilket visas i figuren nedan. Från figur 5 går det att urskilja tre olika nivåer, vilka bestäms av persontätheten. Vid låga persontätheter (mindre än 1 person/m²) anser författarna att individernas hastighet bestäms av individen själv. Då persontäthet är mellan 1–5 personer/m² når flödet sitt maximum och då persontätheten överstiger 5 personer/m² avstannar flödet helt.



Figur 5. Persontäthetens inverkan på gånghastigheten och personflödet i korridorer (Bengtson Staffan, "Utrymning-Teori och bakgrund", Svenska Brandförsvärsföreningen, Stockholm, 1982.)

2.2.2 Dörrars fysiska kapacitet

För dörrar anger författarna att tiden, t , det tar för N stycken personer att passera en öppning med bredden B anges av följande ekvation:

$$t = N/(B \cdot f) \quad (\text{ekv. 9})$$

där f är det specifika flödet genom dörren.

Denna formel anges här fungera bra tills dörröppningen blir ”överbefolkad”. Ett medelvärde på personflödet genom dörren anges till $1,7 \text{ personer}/(m \cdot s)$ och maxvärdet anges till $ca 2 \text{ personer}/(m \cdot s)$.

Den typ av dörröppning som studerats mest anges vara dörröppningar mot en trappa då denna situation mest anges likna situationen vid en överbefolkad dörröppning där personer försöker ta sig ut. Detta då personer trycker på bakifrån för att de inte kan se toppen av trappan på grund av personerna som blockerar sikten.

Vid höga persontätheter kan dörröppningar bli blockerade då stabila mänskliga valv bildas framför dörröppningen på grund av att flödet till dörröppningen är större än dörröppningens kapacitet. Valven kollapsar därefter för att sedan byggas upp på nytt. Sannolikheten för att valv skall uppstå framför dörröppningen beror av många faktorer såsom underlagets lutning mot dörren, dörrens bredd samt persontätheten. För dörrbredder upp till 1.2 meter anges de bildade valven kunna bli väldigt stabila. Dessa situationer kan bli väldigt allvarliga och leda till att folk trampar på folk som fallit. Uppkomsten av valv blir framstående då personflödet överstiger $1.8 \text{ personer}/(m \cdot s)$. Frekvensen av valvuppbyggnaden anges vara omvänt proportionell mot kvadraten på utgångens bredd.

2.3 Teorier presenterade i ”The SFPA Handbook of Fire Protection Engineering”

De kapitel som rör den här litteraturundersökningen har skrivits av Jake Pauls, ”Movement of people” samt Harold Nelson och Hamish MacLennan, ”Emergency movement”. Pauls sammanfattar kunskapsläget vad gäller förflyttning av människor medan de senare beskriver några metoder för evakuering samt visar en hel del data för förflyttning.

2.3.1 Människors förflyttning

Till att börja med ger Pauls /4/ en historisk tillbakablick där han anger ungefär samma som Frantzych gör i sin rapport /1/. I avsnittet om folkmassors uppträdande och handhavande avslutar Pauls med att säga att det tyvärr finns väldigt lite litteratur som kan fungera som vägledning. Formgivare och konsulter som arbetar med objekt vilka skall användas av större folkmassor bör söka information från händelser som inträffat samt själva utföra observationer på liknande objekt.

Angående relationen mellan gånghastighet, persontäthet och flöde säger författaren att då persontätheten är lägre än $0.5 \text{ personer}/m^2$ rör sig personerna med en hastighet kring $ca 1,25 \text{ m/s}$, vilket är en medelhastighet. Med högre persontätheter minskar hastigheten och vid en persontäthet på $4\text{--}5 \text{ personer}/m^2$ uppstår ett stillestånd. Denna persontäthet kan liknas vid en överbefolkad hiss eller en kö av personer som väntar på att komma ut genom en dörr.

Stora delar av det Pauls skriver rör trappor men han redovisar även flöden vilka han anger vara ”hyfsade” approximationer att använda vid dimensionering. Flödena som anges för dörrar är gällande för en normaldörr, se 2.1.5 ovan.

Folkmassans egenskaper	Persontäthet [personer/m ²]	Hastighet [m/min]	Flöde [personer/(m*min)]
Måttlig	1,1	51,7	55,9
Optimal	2,4	36,5	85,5
Överbefolkning	3,3	<15,2	<49,3

Tabell 1. Egenskaper för en folkmassa vid transport via dörrar enligt Jake Pauls.
(Pauls Jake, "Movement of people", section3, chapter 13, the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd edition.)

2.3.2 Personrörelser vid nödsituationer

Författarna till detta kapitel /5/ redovisar ekvationer för persontäthet, hastighet och flöde samt hur dessa skall användas vid dimensionering. De anger även lämpliga data för gånghastigheter m.m. Ekvationerna som presenteras är baserade på forskning av Fruin, Pauls samt Predtetschenski och Milinski.

Det har visat sig att hastigheten kan bestämmas som en funktion av persontätheten, vilken följer ett linjärt samband. För en persontäthet mellan 0,5 – 3,8 kan följande uttryck användas för att bestämma gånghastigheten:

$$S = k - a * k * D \quad (\text{ekv. 10})$$

där S är hastigheten, D är persontätheten och k är en dimensionslös konstant som varierar beroende på typ av förbindelse (trappa, dörr etc.). Figur 6 visar evakueringshastigheten som funktion av persontätheten.

Flödet anges som tidigare antingen som det specifika flödet eller som det beräknade flödet, men nu baserat på persontätheten.

$$F_s = S * D = (1 - a * D) * k * D$$

$$F_b = F_s * B = (1 - a * D) * k * D * B$$

Där F_s är det specifika flödet [personer/(m*s)] S är hastigheten och D är persontätheten och B är den effektiva bredden. Det specifika flödet som funktion av persontätheten visas i figur 7.

Den tid det tar för en folkmassa att passera en aktuell förbindelse (dörr, trappa etc.) beräknas sedan med ekv. 9.

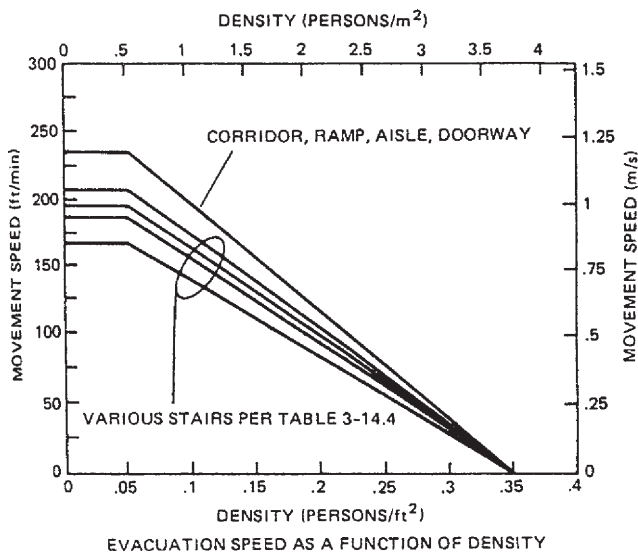
För varje typ av förbindelse finns ett maximalt specifikt flöde som sedan kan användas i de fall då köbildning uppstår eller så länge som det beräknade specifika flödet är mindre än det maximala specifika flödet. Se figur 8.

TABLE 3-14.5 Maximum Specific Flow, F_{sm}

Exit route element	Maximum specific flow		
	(persons/min/ft of effective width)	(persons/s/m of effective width)	
Corridor, Aisle, Ramp, Doorway	24.0	1.3	
Stairs	Tread		
Riser (inches)	(inches)		
7.5	10	17.1	0.94
7.0	11	18.5	1.01
6.5	12	20.0	1.09
6.5	13	21.2	1.16

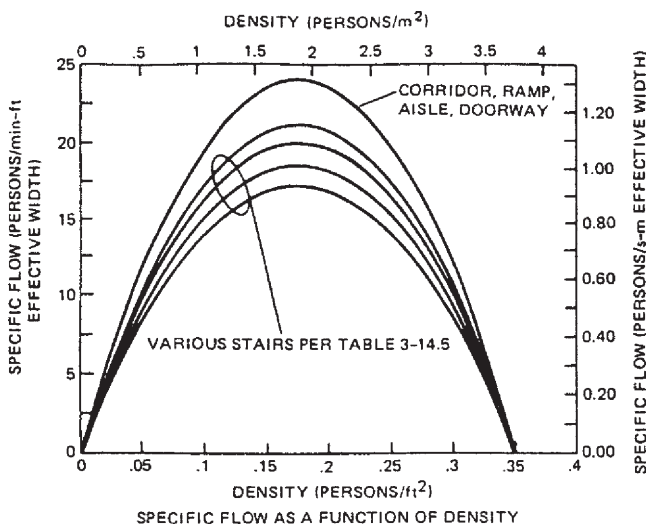
Figur 6. Det maximala specifika flödet för olika förbindelser

(Pauls Jake, "Movement of people", section 3, chapter 13, the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd edition.)



Figur 7. Evakueringshastigheten som funktion av persontätheten

(Pauls Jake, "Movement of people", section 3, chapter 13, the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd edition.)



Figur 8. Specifika flödet som en funktion av persontätheten.

(Pauls Jake, "Movement of people", section 3, chapter 13, the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd edition.)

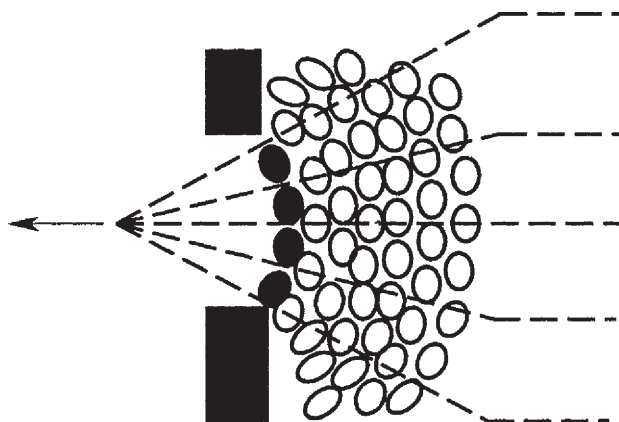
2.4 Köbenhavns Brandvaesen og Trygg i Danmark

I ”Brand og brandsikkerhet i forsamlingslokaler – et fælles ansvar” utgiven 2000 av Köpenhamns brandförsvär och försäkringsbolaget Trygg i Danmark, redovisas tillgänglig kunskap vad gäller utrymningstrygghet. Dessutom beskrivs resultatet av nyligen genomförda utrymningsförsök med militärer. Härvid har bl.a. personantalet, antalet dörröppningar och fri bredd i dem varierats. Den omfattande publikationen har initierats av branden på Makedoniska föreningen i Göteborg.

I det här referatet presenteras i huvudsak resultatet av de danska utrymningsförsöken med koncentration på inverkan av fri dörröppningsbredd, köbildning och proppbildning. Vid tolkning av resultaten måste beaktas att försöken gjorts med fysiskt välutvecklade ungdomar och att de dessutom i förväg var informerade.

2.4.1 Allmänt och tidigare kunskap

Dörröppningar skapar ofta problem vid utrymning genom att de ofta utgör en förträngning eller att dörröppningsbeslag kan vara svårt att förstå. Ska endast få människor använda öppningen går man igenom en och en och således skapas inget hinder. Vid större personantal kan en situation enligt figur 9 uppstå.

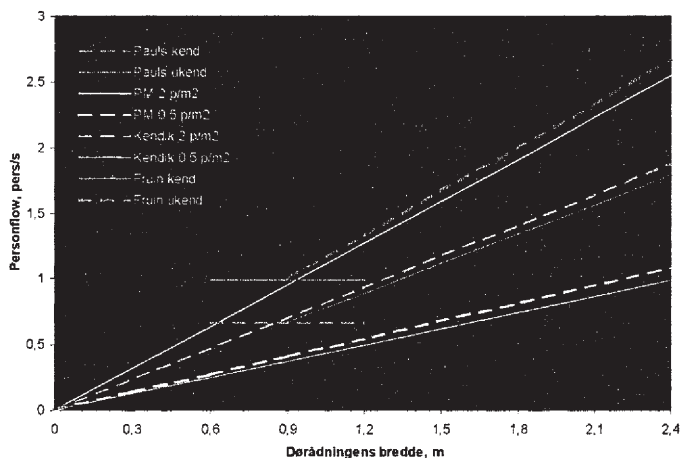


Figur 9. Typiskt gångmönster framför en dörr.

(Köbenhavns Brandvaesen og Trygg i Danmark, Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler – ell felles ansvar – Köpenhamn, maj 2000.)

Människor rör sig sidledes genom öppningen och en större passagehastighet blir följden. Det är dock svårt att utgående från tidigare försök se eller mäta några förändringar i flödet vid ändrat gångmönster.

I figur 10 visas data från olika försöksserier representerat som personflöde genom en dörröppning med olika bredd.



Figur 10. Personflöde som funktion av öppningsbredd enligt olika undersökningar.
(Köbenhavns Brandvæsen og Trygg i Danmark, Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler – ell felles ansvar – Köpenhamn, maj 2000.)

Av figuren framgår att spridningen är stor och att flödet är linjärt. Om man tar hänsyn till de olika förutsättningarna för försöken så är resultaten rimligt ensartade. Det ska påpekas att det inte har varit kö framför öppningarna vid de olika försöken. Det finns endast få studier som haft som syfte att undersöka köbildningens betydelse. De resultat som finns är primärt hämtade från erfarenhet från försök där målsättningen varit en annan. Det är också svårt att göra realistiska försök med mycket människor eftersom skador kan uppstå.

Vid utrymningsdimensionering ska man försöka undvika köbildning, men det leder ofta till orealistiskt breda dörröppningar.

Två typer av köer finns, dynamiska och stabila. Den förra typen är den som normalt förekommer varvid kortvariga bågar uppstår. Dessa upplöses fort och medför inte köbildning. När persontätheten ökar i gången eller utrymmet innanför dörren kan det uppstå en stabil kö. Härvid är rörelsemöjligheten liten. Om pressen inte blir för stor upplöses kön med jämna mellanrum.

En tysk undersökning som refereras till anger att det inte kan uppstå kö om den fria dörröppningsbredden överstiger 1,8 m, en pulserande kö kan uppstå vid en fri öppning mindre än 1,2 m och en stabil kö om bredden är mindre än 1,0 m.

Annan litteratur anger att det minst måste vara 8 personer/m² innanför dörren för att flödet helt ska stoppas. Dessutom medför större personflöde större risk för att man ramlar varvid en propp som helt stoppar flödet kan uppstå.

2.4.2 Nya utrymningsförsök

Köbildningens betydelse har diskuterats mycket under senare år, speciellt efter branden på Makedoniska föreningen i Göteborg 1998. Vid denna uppstod kraftig köbildning och press på dörren.

Därför har ett antal utrymningsförsök gjorts med danska militärer. Resultaten ska värderas mot den bakgrunden med en fysiskt och psykiskt god population. Dessutom har deltagarna varit medvetna om att det varit en övning i förväg. Resultaten visar alltid ”best-case”.

Försöksbeskrivning:

I de danska undersökningarna ville man studera inverkan av dörröppningen, trappbredder sambandet mellan fri bredd och personalantalet samt få en visuell bild av olika persontäthet. I det här referatet behandlas inte trappans inverkan.

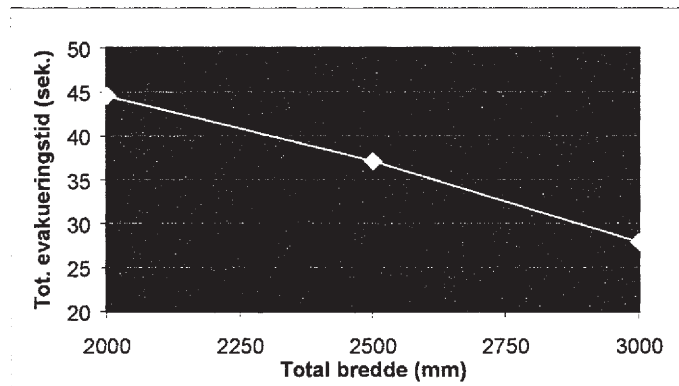
Dörrförsök:

Vid dessa var syftet att undersöka:

- gånghastighet genom olika fria öppningar
- om en bred dörr är bättre än flera smalare vid samma totalbredd
- eventuell köbildning och
- om förhållandet mellan öppningsbredd och flöde är linjärt.

Vid försöken byggde man upp en kuliss så att det var möjligt att ändra antalet mellan 1–4 dörrar som låg bredvid varandra och med totala fria öppningsbredden 100, 200, 300 och 400 cm. Vid försöken deltog 238 personer i samtliga fall.

Figur 11 visar att högre flöden uppstod än vid tidigare undersökningar. Detta beror förmodligen på den utvalda populationen.



Figur 11. Personflöde vid olika dörröppningsbredder.

(Köbenhavns Brandvæsen og Trygg i Danmark, Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler – ell felles ansvar – Köpenhamn, maj 2000.)

Försöken visar att det inte råder ett linjärt samband mellan flöde och öppningsbredd.

Försöken visar att det inte finns någon grund att antaga att en bred dörröppning är bättre än flera smala vid samma totala bredd om man betraktar den totala utrymningstiden. Vid de smalare dörrarna (750, 833 och 1000 mm) var det dock tendens att stabila köer bildades. Man observerade dock inte proppar i några försök. I undersökningen har inte behandlats det förhållandet att det är mindre risk för blockering av utrymningsmöjligheter vid flera dörrar.

Köbildning:

Utgående från visuella observationer kunde man se skillnad mellan dörrar med mindre bredd än 1,25 m, mellan 1,25 m och 2,0 m och större än 2,0 m. Skillnaden var att vid de smala (750, 833 och 1000 mm) var det endast möjligt för en person att röra sig genom dörren på bredden medan andra pressade sig sidledes igenom. Detta ledde till kraftig pulsering i flödet och att det skapade en halvcirkel framför dörren.

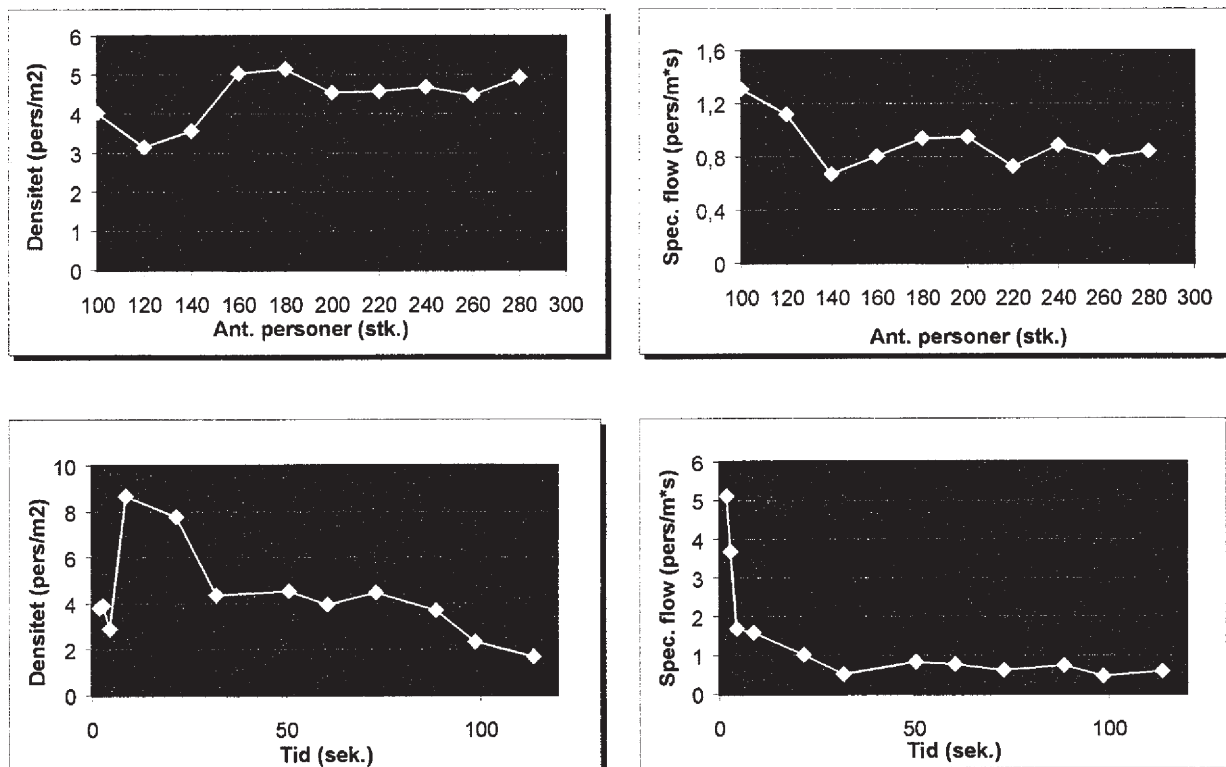
När bredden ökade till 1,25 m eller mer blev det möjligt för två att passera i bredd. Pulseringarna blev därför betydligt mindre.

Den starkt pulserande rörelsen är kännetecknande för en stabil kö. Det gick inte att se om båg bildning uppstod som kännetecknar en dynamisk kö. Observationer om gångmönster i kön i förhållande till öppningsbredd understöder rekommendationer från Müller och Predtenschenski, som anser att det snabbt uppstår en stabil kö vid en öppningsbredd mindre än 1.0 m och att det vid mindre bredd än 1,2 m uppstår kraftig pulsering.

Mot bakgrund av det nämnda bör det rekommenderas att öppningsbredden ska vara minst 1,2 m om man ska undvika köbildning.

(Observera att man i de danska försöken hade "obegränsad" area innanför dörren. Så var inte fallet i Göteborg, där det fanns en gång.)

I figur 12 visas att det specifika flödet genom en dörr med fri öppningsbredd 1,0 m minskar från ca 1,3 till 0,6 pers/m, sek när antalet personer som ska igenom dörren ökar från 100 till 140 personer. (Det uppstår dock inte någon propp ens vid 280 personer, Staffan Bengtsons anmärkning.) Vid en belastning över ca 150 personer är flödet i stort konstant.



Figur 12. Personflöde vid olika personantal som ska igenom en dörröppning.

(Köbenhavns Brandvaesen og Trygg i Danmark, Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler – ell felles ansvar – Köpenhamn, maj 2000.)

Försöken visar att om personantalet ökar med 50% över det minimum som är tillåtet i Danmark vid en öppningsbredd om 1.0 m så är sannolikheten stor för en stabil kö, och därför mindre flöde. Försöksresultat pekar på att flödet minskar med ca 40–50%.

Författarna till rapporten rekommenderar att minsta bredd ska vara 1,2 m för att undvika stabil köbildning uppstår.

2.4.3 Persontäthet

För att visuellt visa hur olika persontäthet ser ut så fotograferade man förhållandena mellan 0,33 person/m² och 5 personer/m² (fig 13).



Figur 13. Fotografier på olika persontäthet

(Köbenhavns Brandvaesen og Trygg i Danmark, Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler – ell felles ansvar – Köpenhamn, maj 2000.)

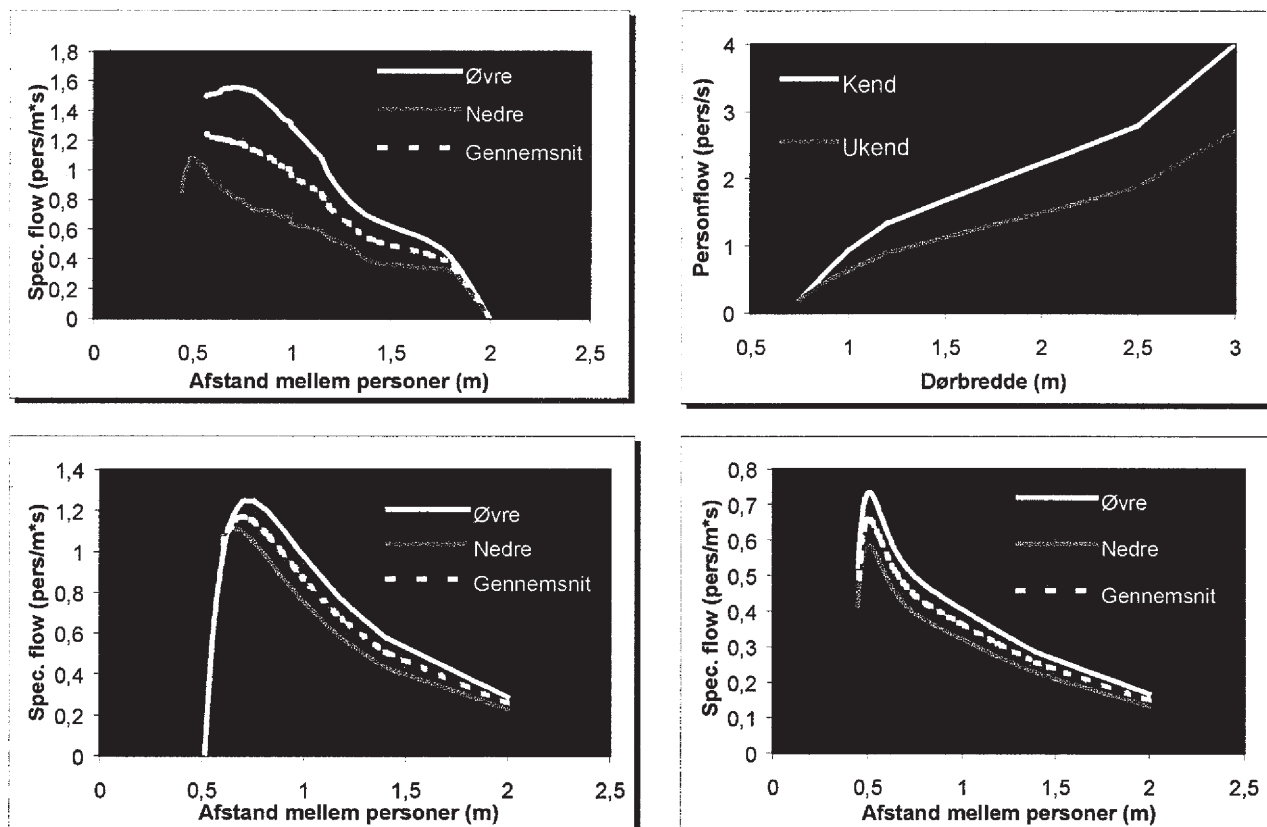
Vid upp till 3,5–4,0 personer/m² så upplevde deltagarna att skillnad i trängsel var liten. Vid fler än 4,0 personer/m² upplevdes att det kändes för tätt. Man kunde då inte röra sig individuellt (Vid Göteborgsbranden var tätheten 1,5–2,0 personer/m².)

Man sammanfattar denna delundersökning på följande sätt:

- Den maximala tätheten är beroende av aktivitet. Man kan till exempel acceptera större täthet vid konserter än till exempel i en möteslokal.
- Den maximala tätheten vid konserter och på dansgolv kan uppgå till 4,0–5,0 personer/m².
- I möteslokaler är maximal täthet 2,0 personer/m².

2.4.4 Sammanfattning och slutsatser

- Den tillgängliga bredden i Göteborg var inte tillräcklig varför belastningen blev så hög på öppningen att flödet stoppades helt (man visste dock inget om bordet, Staffan Bengtsons anmärkning).
- Den grundläggande filosofin vid dimensionering ska vara att det inte ska uppstå kö.
- I figur 14 visas rekommenderat personflöde (person/sek) vid olika breda öppningar.
- Det är svårt att fastlägga dimensionerande värden för öppningsbredder eftersom köbildning har stor betydelse (Varför kan man inte acceptera kö? Staffan Bengtsons kommentar).
- Vid mindre än 1,2 m ska passagehastighet väljas mycket konservativt.
- När persontäthet framför dörren överskrider 8 personer/m² stoppas flödet helt.
- Bredden på området innanför dörren har betydelse. Mest fördelaktigt är det om förhållandet mellan öppningsbredd och areans bredd är ca 0,75 m. Är ”arean” bredare erhålls en större och mer komplicerad kö!



Figur 14. Rekommenderat personflöde.

(Köbenhavns Brandvaesen og Trygg i Danmark, Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler – ell felles ansvar – Köpenhamn, maj 2000.)

3. Avslutande diskussion

Utöver den litteratur som nämnts och sammanfattats ovan har en rad andra källor studerats. Bland dessa finns förhandlingar från de 3:e–5:e internationella symposierna arrangerade av IAFSS, förhandlingar från det första internationella symposiet för mänskligt beteende vid brand, Predtetschenski och Milinskis rapport kring personflöden i byggnader, "Fire Protection Handbook-eighteenth edition" samt ett antal artiklar i vetenskapliga tidskrifter.

De sammanfattningar som presenterats ovan har varit något som kommit igen i de flesta av de källor som studerats. Svaren på de förfrågningar som gjorts till personer verksamma i brand- och utrymningsområdet antyder dessutom att mycket lite forskning har utförts kring personflöden genom dörrar som funktion av dörröppningens bredd på senare tid. Forskningen kring *proppbildning* verkar inte ha utförts sedan Peschl publicerade sin rapport "Flödes kapacitet genom dörröppningar vid paniksituationer" (fri översättning) 1971. Denna rapport är skriven på holländska och har inte återfunnits i de bibliotek som besökts under den utförda litteraturstudien. Förfrågningar kring rapporten har sänts till en kontaktperson i Holland men denne har vid dagens datum inte besvarat förfrågningarna.

Det verkar inte heller som om fenomenet kring "proppbildning" vilket Peschl presenterade 1971 uppmärksammats närmare. Detta kan kanske bero på att schablonmåttet 1.2 meter fri bredd på dörröppningar från samlingslokaler redan användes då Peschl presenterade sina forskningsresultat /6/. Detta mått angav han vara den undre gränsen innan stabila "mänskliga" valv kunde bildas /2/.

I litteraturen anges att personflödet blir 0 då persontätheten överstiger 4–5 personer/m² /2,4,7/. Det kan antas att det är då den verkliga "proppbildningen" börjar. Folk pressar på bakifrån vilket kan få folk att falla och blockera den dörröppning som finns. Ackumuleringen av personer framför dörröppningen kan beskrivas med en enkel ekvation /7/:

Akkumulering av personer = flödet i korridoren – flödet genom dörren.

Med hjälp av denna ekvation och tidigare nämnda ekvationer går det att förutsäga om persontätheten framför dörren blir så stor att ett stillestånd uppstår. Normalt innebär inte detta stillestånd mer än att personer ställer sig i kö för att komma ut men vid en kaotisk situation kan det innebära att folk ramlar och att dörren blockeras.

De personflöden genom dörröppningar som används vid utrymningsdimensionering i Sverige idag är oftast de flöden som finns angivna i Boverkets rapport "Utrymningsdimensionering" /8/. Dessa kurvor är de som Pauls presenterat med utgångspunkt från Fruins forskning. Då dessa används tas ingen hänsyn till persontätheten före dörröppningen. Således fås alltid ett jämnt flöde genom dörren oavsett om persontätheten ökar väldigt mycket precis innan dörren.

Då rapporten som Peschl gav ut inte har studerats i sig utan bara referat från denna är det svårt att uttala sig vidare kring fenomenet "proppbildning". Det verkar dock som om vidare forskning inom området är nödvändig för att kunna förutsäga när proppbildning kan uppkomma.

Referenslista

- /1/ Frantzich Håkan, **”Utrymningsvägars fysiska kapacitet – Sammanställning och utvärdering av kunskapsläget”**, Lund, januari 1993.
- /2/ Melinek. S J, Booth. S, **”An analysis of evacuation times and the movement of crowds in buildings”**, Building Research Establishment, Borehamwood, 1975.
- /3/ **Bengtson Staffan**, **”Utrymning – Teori och bakgrund”**, Svenska Brandförsvars-föreningen, Stockholm, 1982.
- /4/ Pauls Jake, **”Movement of people”**, section 3, chapter 13, the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd edition.
- /5/ Nelson. Harold, Maclennan. H, **”Emergency movement”**, section 3, chapter 14, the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd edition.
- /6/ Statens Planverk, **”Svensk Bygg Norm 1967”**, 1967.
- /7/ Frantzich Håkan, **”En modell för dimensionering av förbindelser för utrymning utifrån funktionsbaserade krav”**, Lund, 1994.
- /8/ Boverket, **”Utrymningsdimensionering”**, Rapport 1994:10,1994.
- /9/ Köbenhavns Brandvaesen og Trygg i Danmark, **”Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler – ell felles ansvar ”**, Köpenhamn, maj 2000.

Supplement 5

CFD simulering av diskoteksbranden i Göteborg 1998.

Heimo Tuovinen, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Heimo Tuovinen
SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
Brandteknik
Box 857
501 15 BORÅS

CFD simulering av Diskoteksbranden i Göteborg 1998

1. Inledning

Sveriges svåraste brandkatastrof i modern tid var diskoteksbranden i Makedoniska föreningens lokaler i Göteborg hösten 1998. Katastrofen krävde 63 ungdomarnas liv och många fler skadades.

Brandscenariot har rekonstruerat och testats i 1:4 skala i brandlaboratoriet på SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. I rekonstruktion av branden har man utgått från vittnenas iakttagelser den aktuella natten samt polisens spaningsarbete.

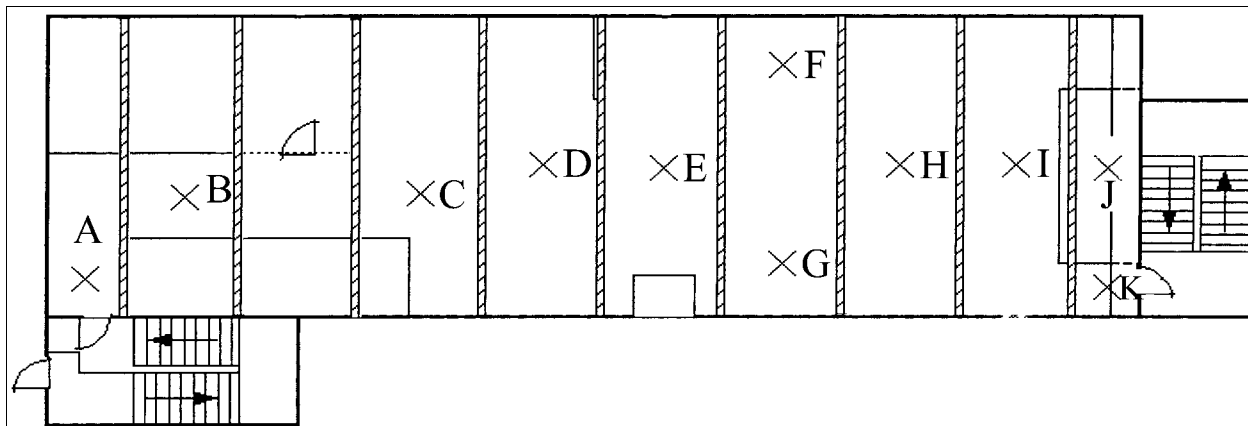
Branden startade i trapphuset. Brandkällan bestod mestadels av staplade stolar. Eftersom det endast var en dörr öppen på marknivå och branden startade på högre höjd än dörröppningens överkant uppstod det snart en underventilerad situation. Med andra ord blev det snabbt syrebrist som ökade med tiden. Underventilerad brand producerar mer rök och ofullständiga förbränningsprodukter som är giftiga och explosiva i händelse då de blandas med syrerik luft än välventilerade bränder. Det var detta som hände när dörren till festlokalen öppnades.

Det här scenariot har simulerats med CFD modellen SOFIE (Simulation of Fires in Enclosures) i både modellskala (dvs i samma skala som laboratorietesterna på SP) och fullskala. Man valde att utföra CFD simuleringarna i både fullskala och modellskala för att verifiera skaleffekterna. Förutsatt att man får likartade lösningar från båda CFD simuleringarna, kan man anta att resultaten från brandförsöken återspeglar verkligheten.

2. Simuleringar

2.1 Scenario

Modellen byggdes så att den efterliknade det verkliga diskoteket så långt som möjligt, dvs alla trappor, skåp, takbalkar var skalenligt placerade. Av praktiska skäl användes Promatec som byggnadsmaterial i skalmodellen. Promatec antas inte skilja sig märkbart i egenskaper som påverkar temperaturen inne i modellbyggnaden från det verkliga materialet i diskoteksbyggnaden. Då man hade för avsikt att genomföra ett flertal brandförsök ansågs det också vara viktigt att själva byggnaden inte skulle förstöras av branden. En skiss av modelldiskot visas i Figur 1.



Figur 1: Skiss av diskoteksmodellen och tillhörande trapphuset. Kryssen med tillhörande bokstäver visar temperaturmätpunkter som redovisas i sektion 3.1.

2.1.1 Förenklingar och approximationer för CFD simuleringar

För att simulera med CFD är man tvungen att göra approximationer och förenklingar. Dessa görs på ett sådant sätt att det påverkar huvudsakliga strömningsmönster inom byggnaden så lite som möjligt. Vissa ändringar har gjorts för att underlätta genereringen av den matematiska beskrivningen av lokalen som gridden utgör. I gridden begränsas antalet kontrollvolym (dvs antalet celler) av storleken på datorkapacitet och tidsåtgången man bedömer som rimlig för att genomföra simuleringar.

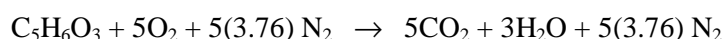
Till förenklingarna hörde bl a att dimensionera väggarna tjockare (10 cm i stället för 12 mm). SOFIE kräver att man ska ha minst två celler genom väggar för att kunna lösa transportekvationen för entalpi i väggen. Således, skulle den minsta cellen ha varit endast 6 mm om man använt skalenliga väggar. Eftersom den matematiska gridden ska vara så jämn som möjligt skulle tunna väggar ha krävt ett stort antal celler i hela beräkningsområdet för att undvika konvergensproblem. Genom att använda 10 cm tjocka väggar i modellskala (motsvarande 40 cm i fullskala) kunde man bygga en grid med ca 180 000 kontrollvolym som var tillräckligt jämn för att klara konvergens. Om gridden innehållit fler celler skulle man inte kunnat genomföra beräkningarna inom rimlig tid.

För att någorlunda väl beräkna värmeförluster genom väggarna ändrades materialegenskaperna så att tiden för värmevägen att nå baksidan av väggen blev ungefär densamma i beräkningarna som i experimenten.

2.1.2 Bränslemodell för trä

För att efterlikna laborietesterna, i vilka tre stycken träribbstaplar användes, modellerades brandkällan med tre stycken brännare. Effekten varierades så att pyrolysgaserna matades genom övre ytan av brännaren i den takt som motsvarade den aktuella effekten. Själva brännarkroppen modellerades som en inaktiv box. Detta innebar att boxen var helt opåverkad av värmen; den uppvärmdes inte och brann inte. Bara det kontrollerade inflödet bidrog till effektutvecklingen.

Kemiska formeln för trä antogs vara $C_5H_6O_3$ som ska ge nära lika förhållanden mellan kol, väte och syreatomerna i förbränningsprodukter. Nettoreaktionen i luft kan beskrivas enligt följande:



där bränslet direkt konverteras till huvudförbränningsprodukter CO_2 och H_2O . SOFIE kräver som input vissa värden som exempelvis "heat of formation". Dessa saknas i tabellverk för fasta material. Motsvarande värden kan dock uppskattas baserat på bl a bindningsenergi.

Modellering av trä var viktig för att få rätt förhållande mellan förbrukat syre och förbränningsprodukter i brandgaserna (dvs. rätt stökiometri).

2.2 Trapphussimuleringar

I de inledande simuleringarna betraktade enbart trapphuset. Eftersom det var endast en öppen dörr i marknivå och branden skedde i högre nivå än dörrens övre kant förväntades branden bli starkt underventilerad. Underventilation medför att datorsimulering blir extremt svårt. Trapphussimuleringarna gjordes för att få en första indikation av problemets komplexitet och en uppfattning av tidsåtgång för beräkningen av starkt underventilerade bränder. När branden börjar slockna blir det konvergensproblem. Det innebär att lösningen kräver fler iterationer per tidsteg. Vanligtvis krävs också att tidsteget förkortas och vissa konvergensrelaterade lösningsparametrar (under-relaxationsparametrar) måste ändras i SOFIE under körningen, beroende på huruvida branden får problem att underhålla förbränning. Eftersom trapphuset är en mindre del av det totala scenariot kunde man använda en mycket finare matematisk grid för beräkningarna. Med totalt ca 200 000 celler kunde man använda cellstorlekar av 2-10 cm. Detta inkluderade ett friskluft område ungefär lika stor som trapphuset självt framför den öppna dörren.

Resultaten från dessa beräkningar redovisas inte i denna rapport då de endast var orienterande.

2.3 Disko och trapphus

Simuleringarna utfördes i tre olika faser enligt laboratorietesterna:

- Inledande brand, dörren till festlokalen stängd, branden i mittersta brandkällan
- Dörren till festlokalen öppen, branden i mittersta brandkällan
- Fönstren öppnas, alla brandkällor aktiverade

Modellskalesimuleringen gjordes upp till tiden 720 s efter brandens start, som är ca två minuter efter att effektkurvan stabiliserats till ett konstant värde. Fullskalesimulering avbröts efter att dörren till festlokalen öppnats. Anledning till avbrottet var att körningen skulle ha tagit ytterligare flera veckor att köras färdigt och att dessa simuleringar huvudsakligen var att testa skaleffekter. Det ansågs vara en tillräckligt gedigen test av skaleffekterna genom modellering fram till kort tid efter dörröppningen.

Geometrin för fullskalesimuleringarna är exakt lika med den för småskalesimuleringar men alla dimensioner är 4 gånger större. Massflödet av bränslet och därmed effekten har skalats upp 32 gånger enligt formeln (Ingason):

$$\dot{m}_{f_F} = \dot{m}_{f_s} \left(\frac{L_F}{L_s} \right)^{5/2}$$

Där \dot{m}_{f_F} och \dot{m}_{f_s} är massflödet av bränsle för full respektive småskala och L_F är $4L_s$. Tiden skalas med en faktor 2, dvs. 1 sekund i modellskala motsvarar 2 sekunder i fullskala.

2.3.1 Modellskala

Fas 1 - inledande brand, dörren till festlokalen stängd, branden i mittersta brandkällan

Inledningsvis liknar denna simulering trapphussimuleringarna. Branden sker i trapphuset med stängd dörr till festlokalen. En dörr är öppet mot uteluft. Branden ligger högre än dörröppningens överkant. Långt innan öppning av dörren till festlokalen ($t = 5:10$ min, enligt tidskalan i modell försöken) kommer en underventilerad situation uppstå.

I början användes längden på tidsteget lika med 1 sekund. Brandeffekten varierar i SOFIE som konstanta steg (trappstegsform) av praktiska skäl på ett sådant sätt att integralen $\int \dot{Q}(t)dt$ är samma som i mätningarna, vilket motsvarar att den totala tillförda energin in i brandrummet är samma som i mätningarna. I simuleringarna användes en enkel "Eddy Break Up" modell för att beskriva förbränningen. I denna modell sker ingen koppling mellan minskande syrekoncentration och reduktion av utvecklad effekt. Vid kraftig underventilerad förbränning kan man därför förvänta sig att den beräknade effekten blir större än den verkliga, vilket kan leda framförallt till att den beräknade temperaturen blir för hög. Dessutom sjunker syrehalten orimligt lågt i sådana beräkningar och med följden att CO₂ halten blir något förhöjd.

Fas 2 - Dörren till festlokalen öppen, branden i mittersta brandkällan

Eftersom SOFIE saknar rutiner för förändringar av blockeringar under körning utfördes öppningen av genom att starta ett nytt scenario efter dörröppningen som var exakt lika med den före dörröppningen förutom att den delen av väggen som upptas av dörren definierades som öppning. Antalet gridlinjer och deras positioner var exakt samma för båda scenarierna, vilket är kravet för att lösningen från det första scenariot kan kopieras till det andra. Antalet cellytor (s k "face" variabler) ändras efter öppningen, vilket gör att face vektorer för de olika lösningarna har olika dimension. Dessa skall således inte kopieras till den nya lösningen, eftersom SOFIE inte kan läsa vektorer som har ändrade dimensioner.

Vissa problem uppstod vid övergången till scenario med öppen dörr. Detta på grund av de starka transienter som uppstår vid dörröppningen då öppningen sker momentant. Problemen kunde bemästras genom att välja lämpliga tidsteg som gav rimliga gradienter i dörröppningen. Man kan notera att dessa problem klingar av efter några få sekunder då ett stabilt strömningsfält etablerats.

Fas 3 - Fönstren öppnas, alla brandkällor aktiverade

Vid tidpunkten $t = 450$ s (enligt tidskalan i modell körningarna) öppnades tre fönster i festlokalen. På grund av att temperatur- och tryckskillnaderna mellan festlokalen och ute var betydligt mindre än tryckskillnaderna mellan trapphus och festlokalen vid tiden för dörröppningen, blev öppningen av fönstren mindre problematisk än öppningen av dörren. Transienterna i samband med fönster öppningen avklingade snabbt. På grund av enkelriktat inflöde av frisk luft till trapphuset beräknas ventilationen bättre i SOFIE än då både inflöde och utflöde skedde genom samma öppning.

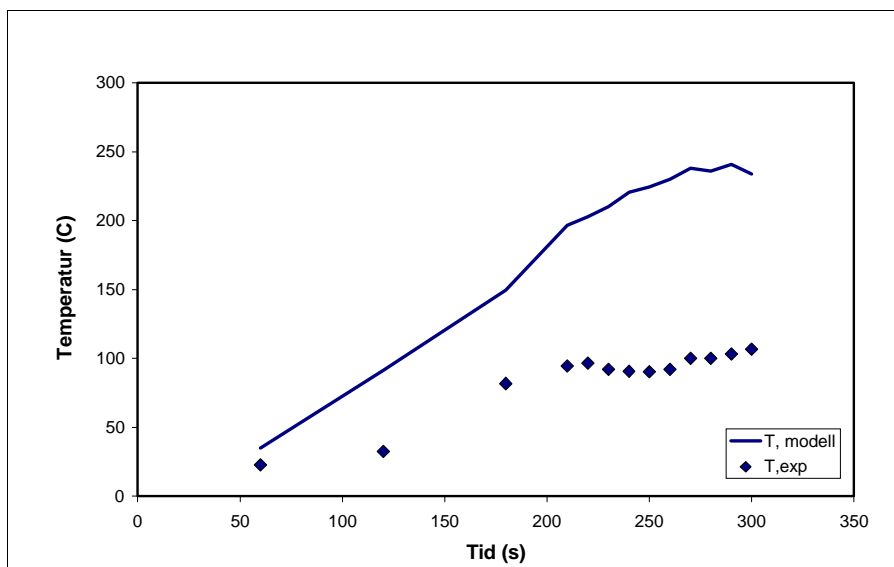
2.3.2 Fullskala

Simulering av fullskala utfördes i stort sett lika som i modellskala bortsett från litet olika val av tidsteg och relaxationsparametrar. Detta gjordes för att skapa jämförbara beräkningar.

3 Resultat

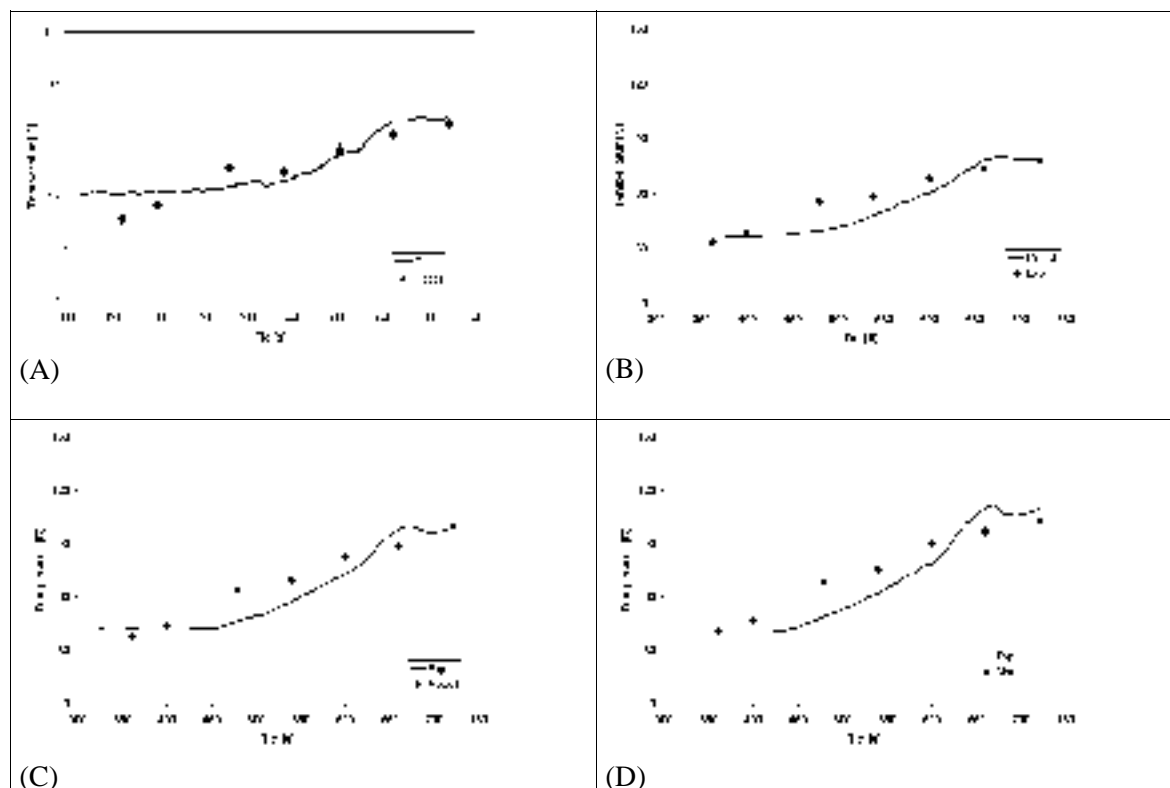
3.1 Jämförelse mellan beräkningar och experiment

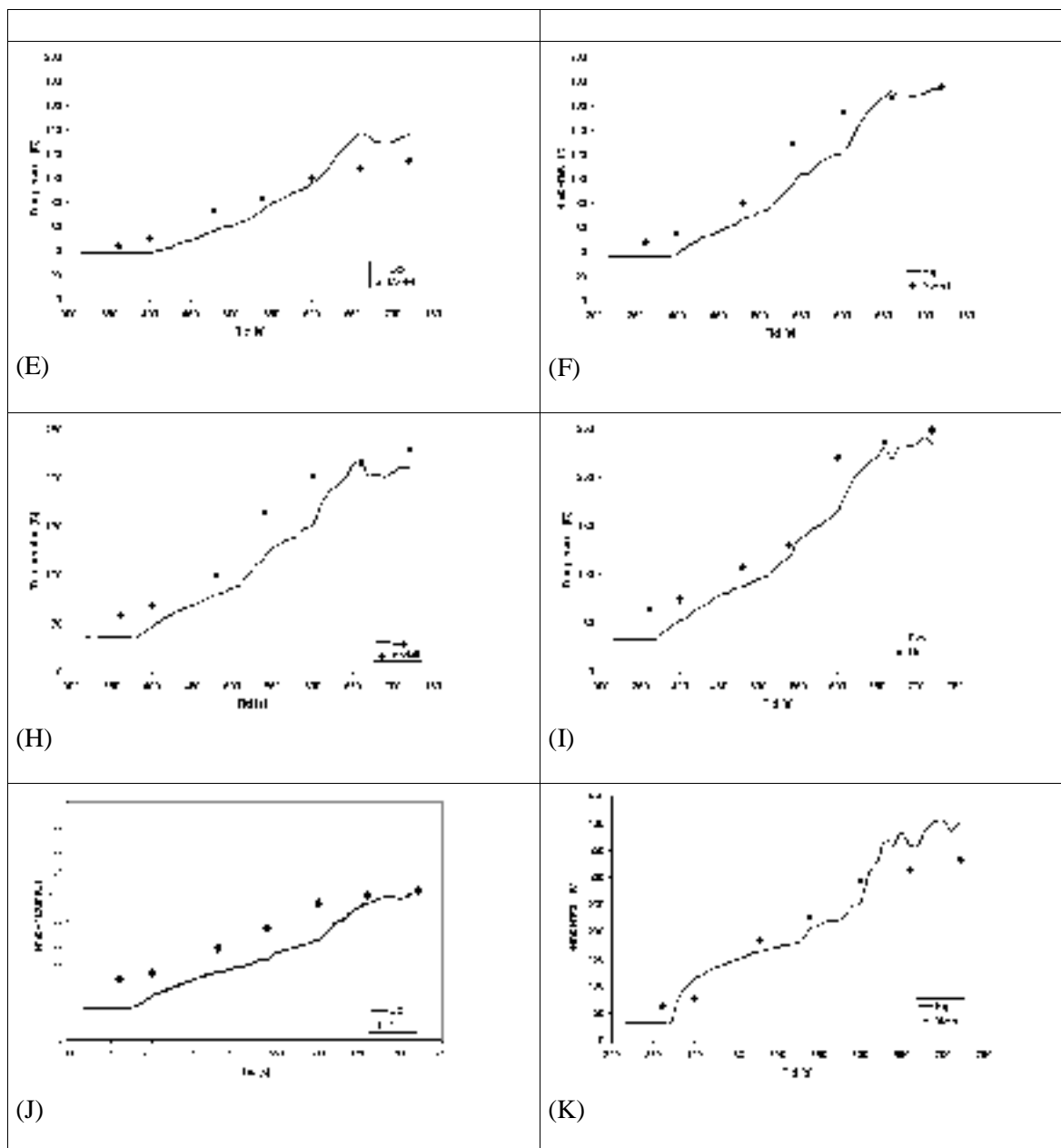
I Figur 2 visas jämförelse av gastemperaturer mellan experiment och beräkningar i trapphuset. Som man ser överskattar beräkningarna temperaturen. Detta beror till stor del på att Eddy Break Up modellen inte tar hänsyn till att förbränningseffektiviteten förändras av att branden blir underventilerad. Dessutom påverkas den beräknade temperaturen av att värmeförlusterna genom väggarna har underskattats och att man haft något högre (några %) bränsleinflöde genom brandkällan i beräkningarna relativt experimenten. För att undvika alltför små kontrollvolymmer användes enbart två celler genom väggarna. Detta gör att värmeledning in i väggar blir sämre vilket höjer den beräknade temperaturen inne i lokalerna.



Figur 2: Jämförelse mellan experimentella värden och modellskal beräkningen. Punkten ligger i trapphuset vid dörren in till diskoteket, 60 cm från golvet (33 cm från taket).

Dessutom ligger mätpunkten nära den neutrala planen mellan heta gaslagret och kallare gaser vid golvnivån. Detta leder till att temperaturgradienten i detta område är stor. En liten ändring av mätpunktens läge kan därför leda till en stor förändring i den uppmätta respektive beräknade temperaturen. Detta kan också bidra till att försämrade överensstämmelsen mellan försöksvärdena och beräkningen. För att ytterligare belysa detta har man presenterat en jämförelse mellan den uppmätta temperaturen och den beräknade temperaturen vid 10 olika punkter i diskoteksk lokalen, se . Dessa punkter ligger endast 9 cm under taket och därför inte i ett område med stor temperatur gradient. Som synes av jämförelsen stämmer temperaturen i experimenten väl överens med beräkningarna. Notera att tidsskalan startar vid 300 sekunder då dörren till trapphuset öppnades.

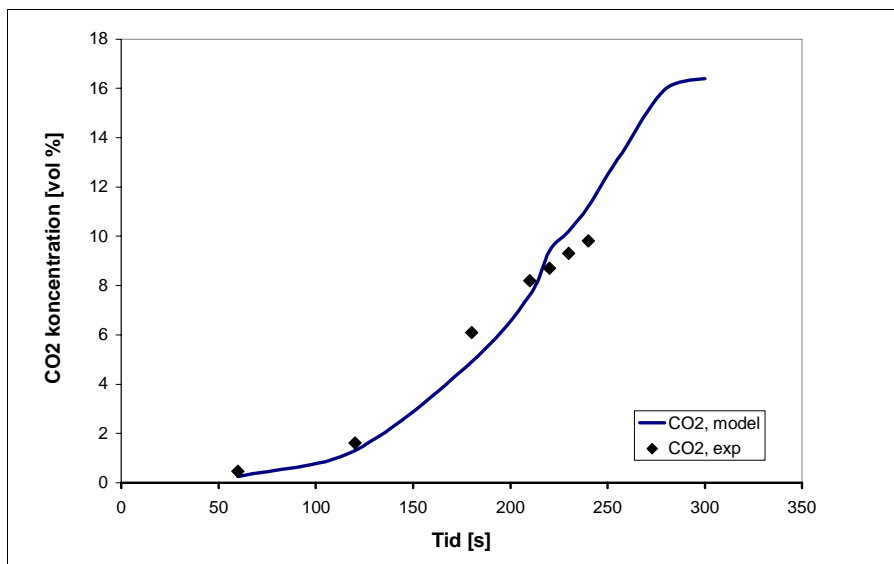




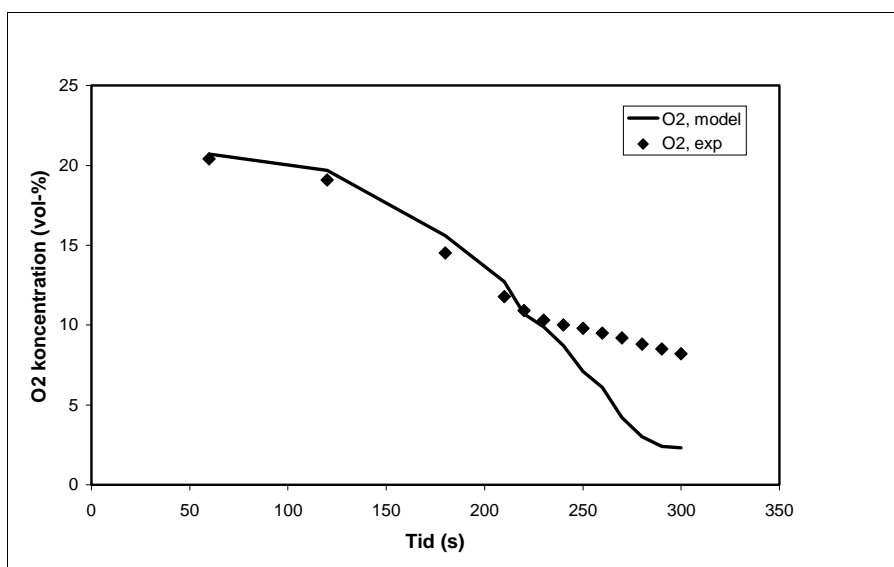
Figur 3: Jämförelse mellan experimenten och beräkningar vid olika punkter genom diskotekslokalen. Punkterna ligger alla 9 cm under taket och är placerat enligt placeringen av tillhörande bokstaven i Figur 1.

Figur 4 och Figur 5 visar en jämförelse mellan beräkningarna i modellskala och experiment för O_2 respektive CO_2 . Både beräknade O_2 och CO_2 koncentrationer stämmer mycket väl med experiment upptill tiden ca 4 minuter efter brandens start. Därefter blir simulerade O_2 koncentrationen lägre än uppmätta och skillnaden ökar linjärt med tiden till dörröppningen. Vid tiden 5 min är den uppmätta O_2 koncentrationen 8 % medan simulerade är ca 2.5 %. Beräkningsmodell ger alltså lägre syrekoncentrationen vilket kan tolkas som att modellen inte tar hänsyn till att förbränningen minskar då den blir underventilerad.

Mätning av CO_2 koncentration har stannat vid ca 4 minuter pga att mätinstrumentet var då utanför sitt mätområde. Fram till den punkten stämmer simulerade värden väl överens med de uppmätta.



Figur 4: Jämförelse mellan beräkningar i modellskala och experiment av CO_2 koncentrationen i trapphuset före dörröppningen till festlokalen.

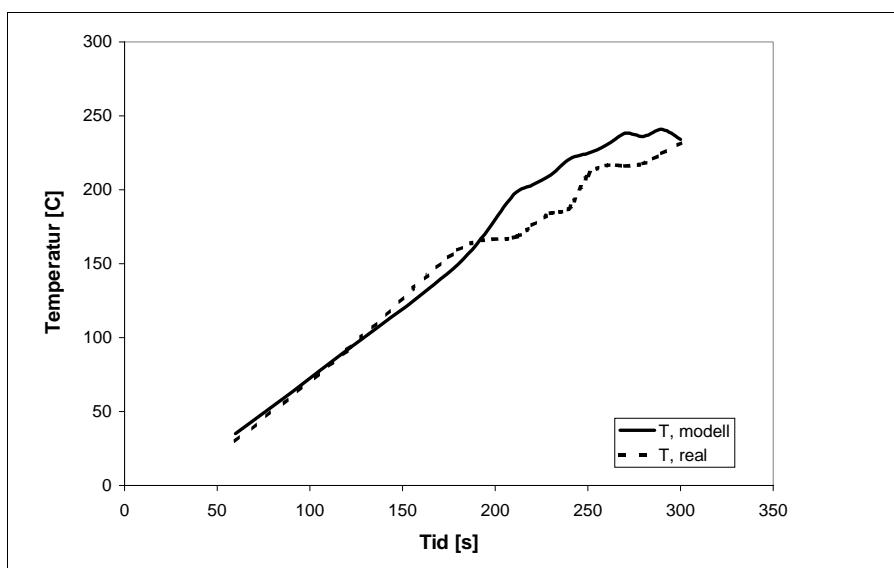


Figur 5: Jämförelse mellan beräkningar i modellskala och experiment av O_2 koncentrationen i trapphuset före dörröppningen till festlokalen.

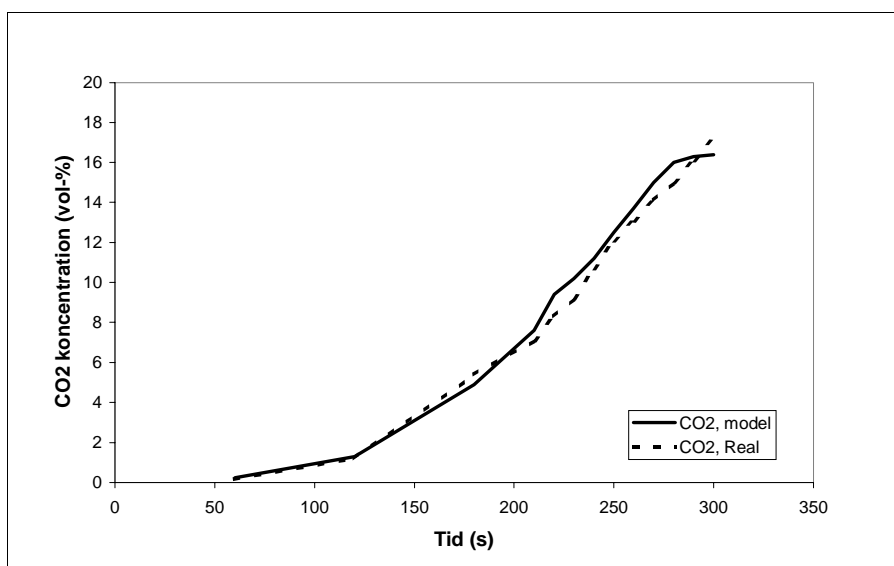
3.2 Jämförelse mellan modellskala och fullskala

Figur 6 visar jämförelser mellan beräknade temperatur för modellskala respektive realskala i samma mätpunkt där jämförelse redovisade mellan experimenten och beräkningarna (se Figur 2 till Figur 5, ovan). Figur 7 och Figur 8 visar en liknande jämförelse för CO_2 respektive O_2 koncentrationer. Vidare görs en jämförelse av temperatur, CO_2 och O_2 koncentrationer i två dimensioner i trapphuset för $t=120$ s, 240 s och 300 s (enligt modelltidsskalan) i Figur 9 till Figur 11. Den plan som visas i dessa figurer

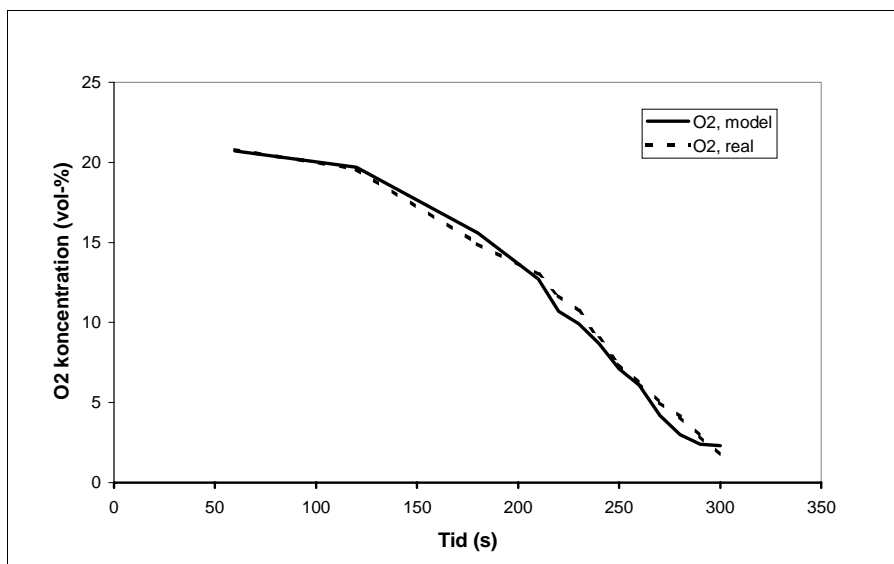
innehåller den mätpunkten som redovisas i övriga figurer. Dessutom visar Figur 12 och Figur 13 en tvådimensionell jämförelse mellan gashastigheterna respektive siktlängder för denna plan.



Figur 6: Jämförelse av beräknade temperaturer mellan modellskala och fullskala i mätpunkten. Tidsaxeln gäller för modellskalan. För fullskala gäller dubbla tider.

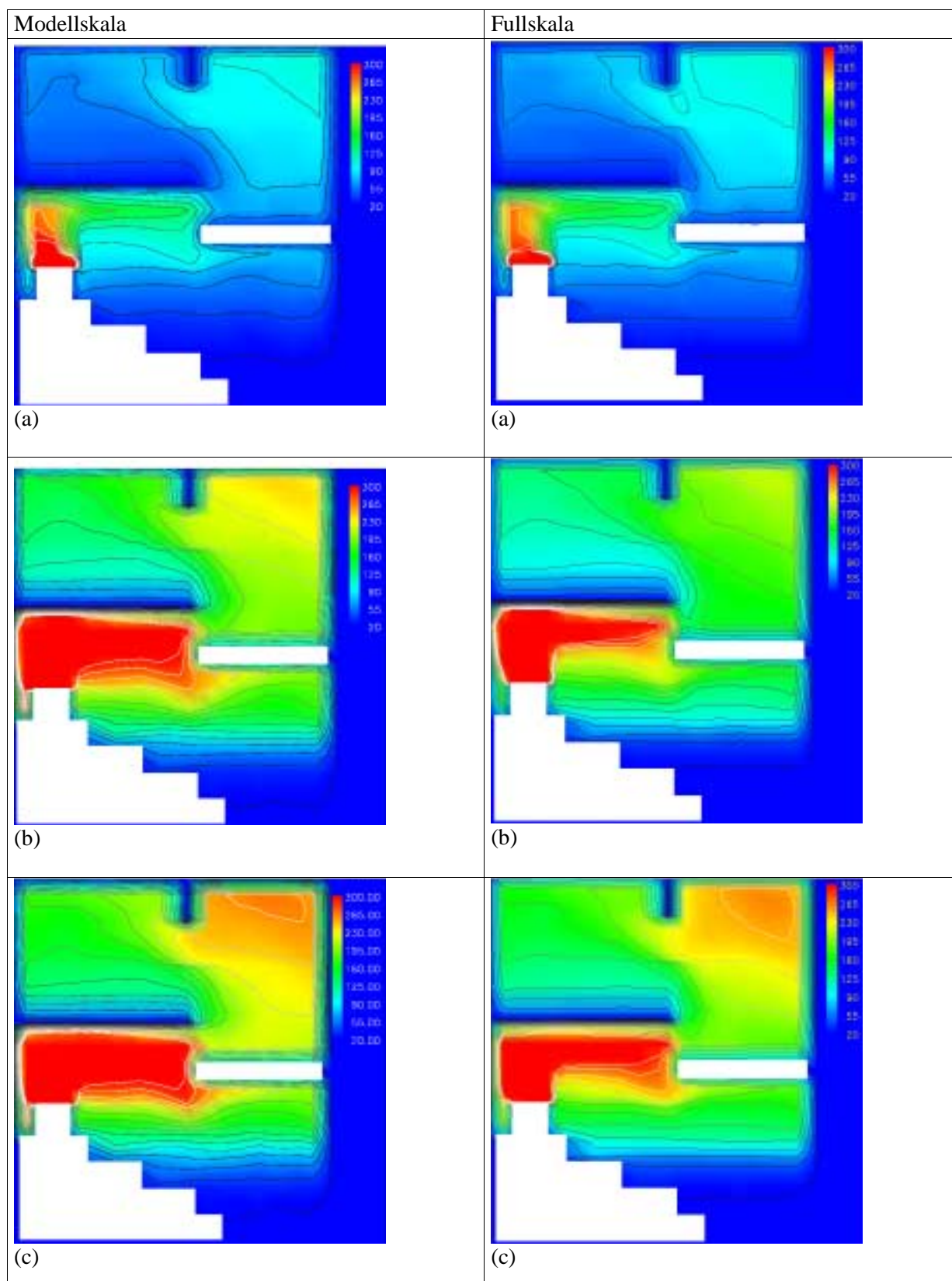


Figur 7: Jämförelse av beräknade CO₂ koncentrationer mellan modellskala och fullskala i mätpunkten. Tidsaxeln gäller för modellskalan. För fullskala gäller dubbla tider.

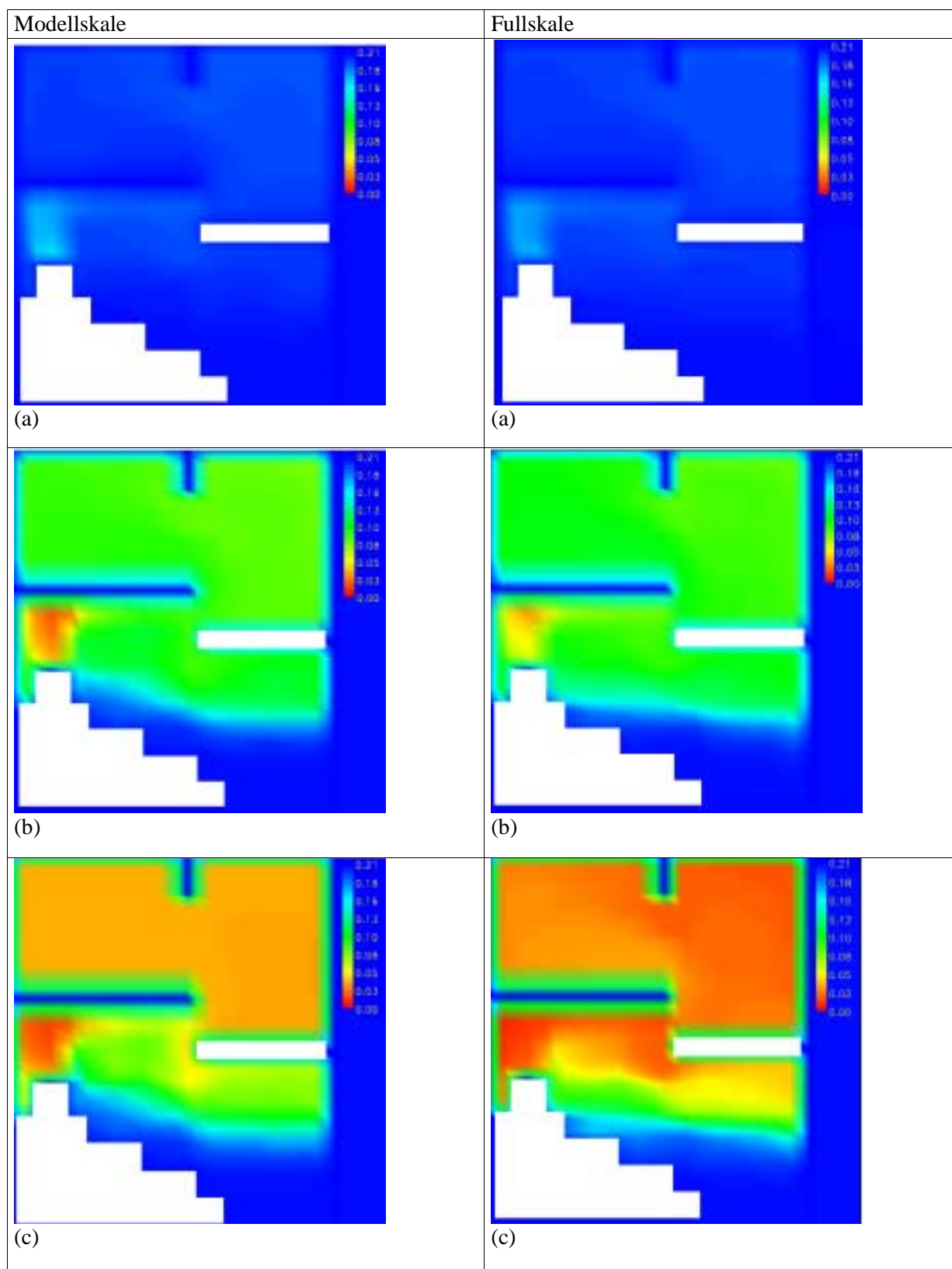


Figur 8: Jämförelse av beräknade O_2 koncentrationer mellan modellskala och fullskala i mätpunkten. Tidsaxeln gäller för modellskalan. För fullskala gäller dubbla tider.

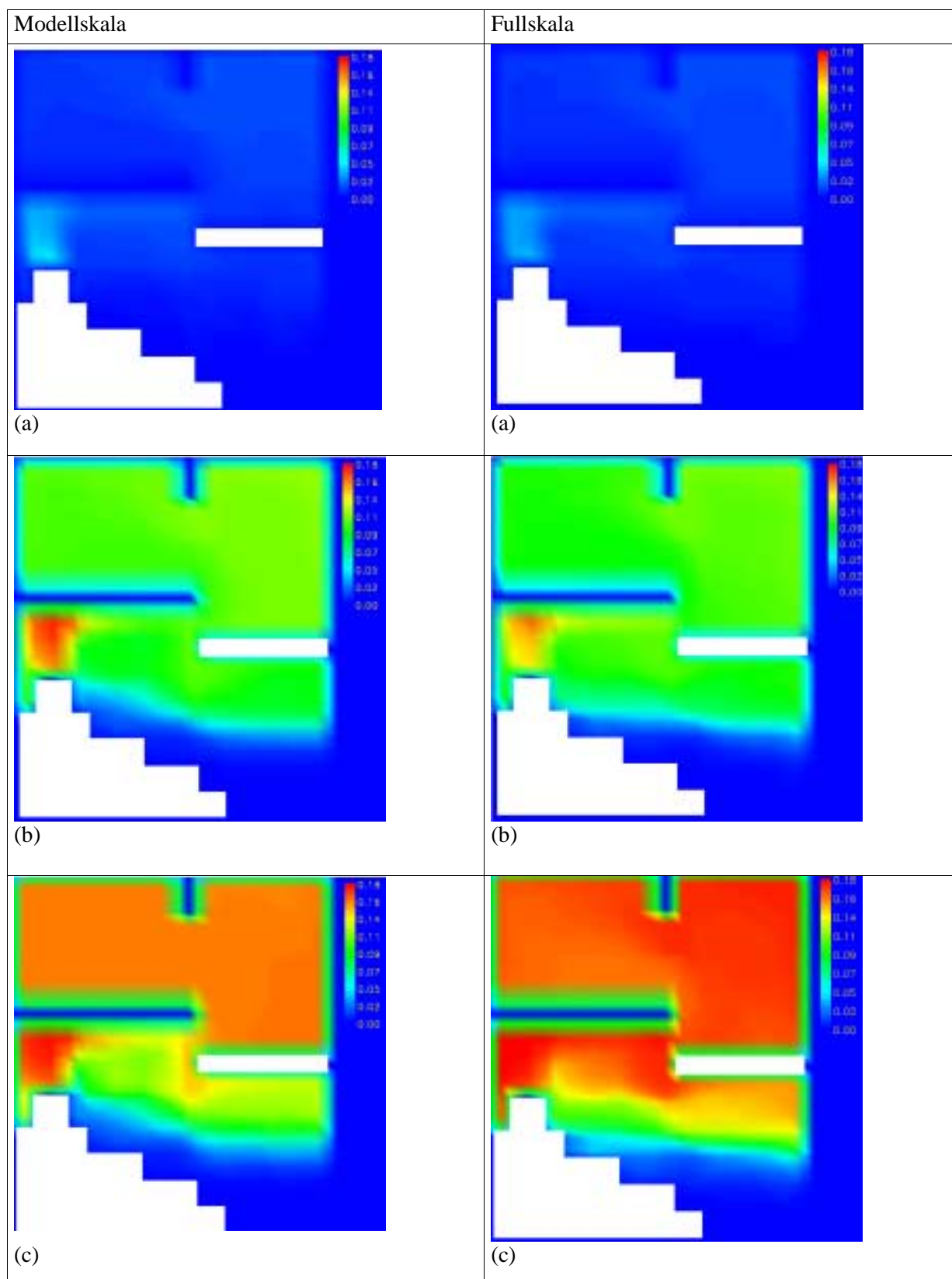
Som synes i figurerna är skaleffekterna mycket små. Skillnaderna beror snarare på något olika konvergensbeteende i de två beräkningarna än på skaleffekter, t ex har inte brandeffekten kunnat hållas exakt lika i både simuleringar.



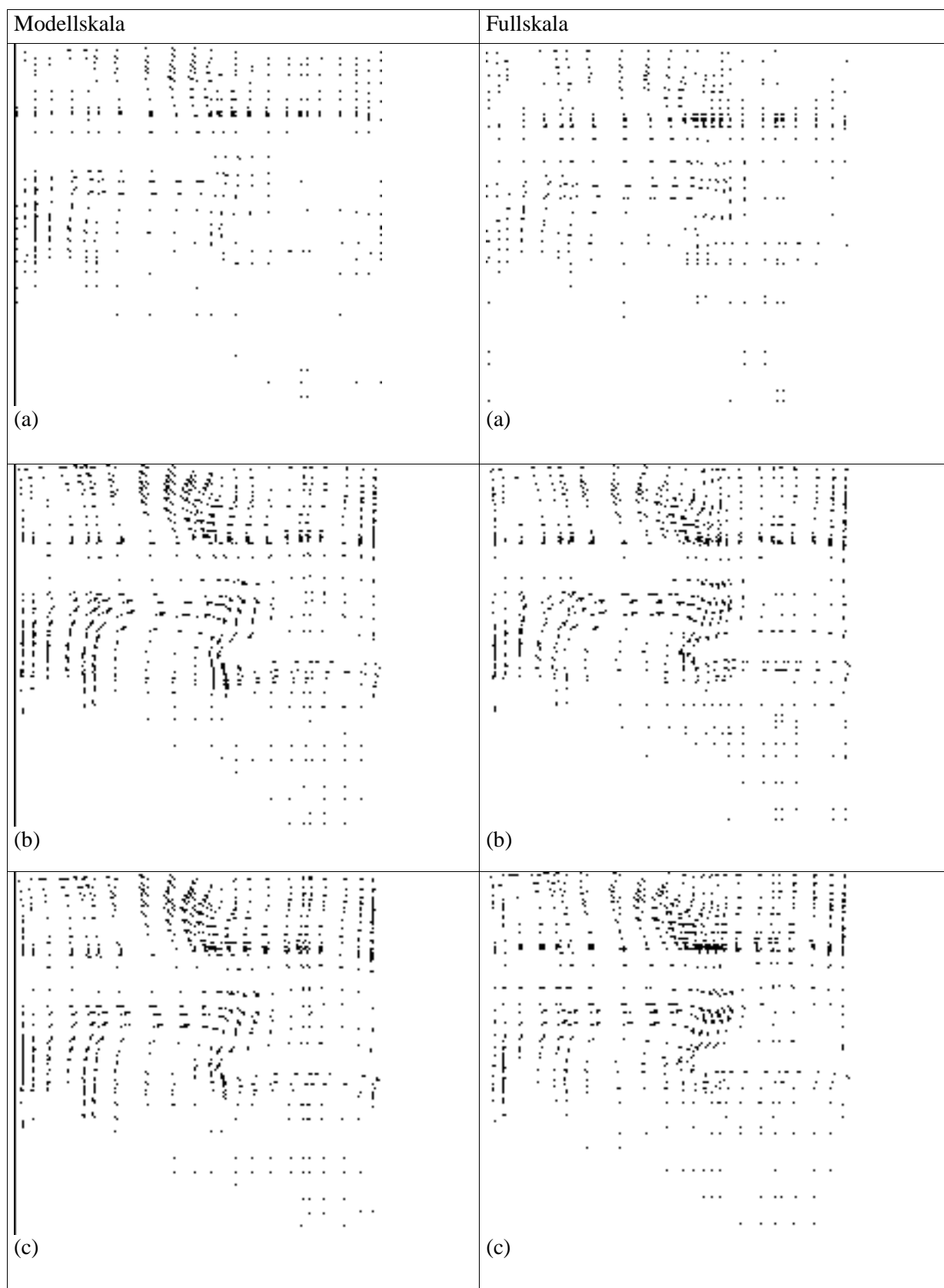
Figur 9: Jämförelse av beräknade gastemperaturer mellan modell- och fullskala på ett snitt genom brandkällan i trapphuset vid tiderna (a)120s, (b) 240s och (c) 300s.



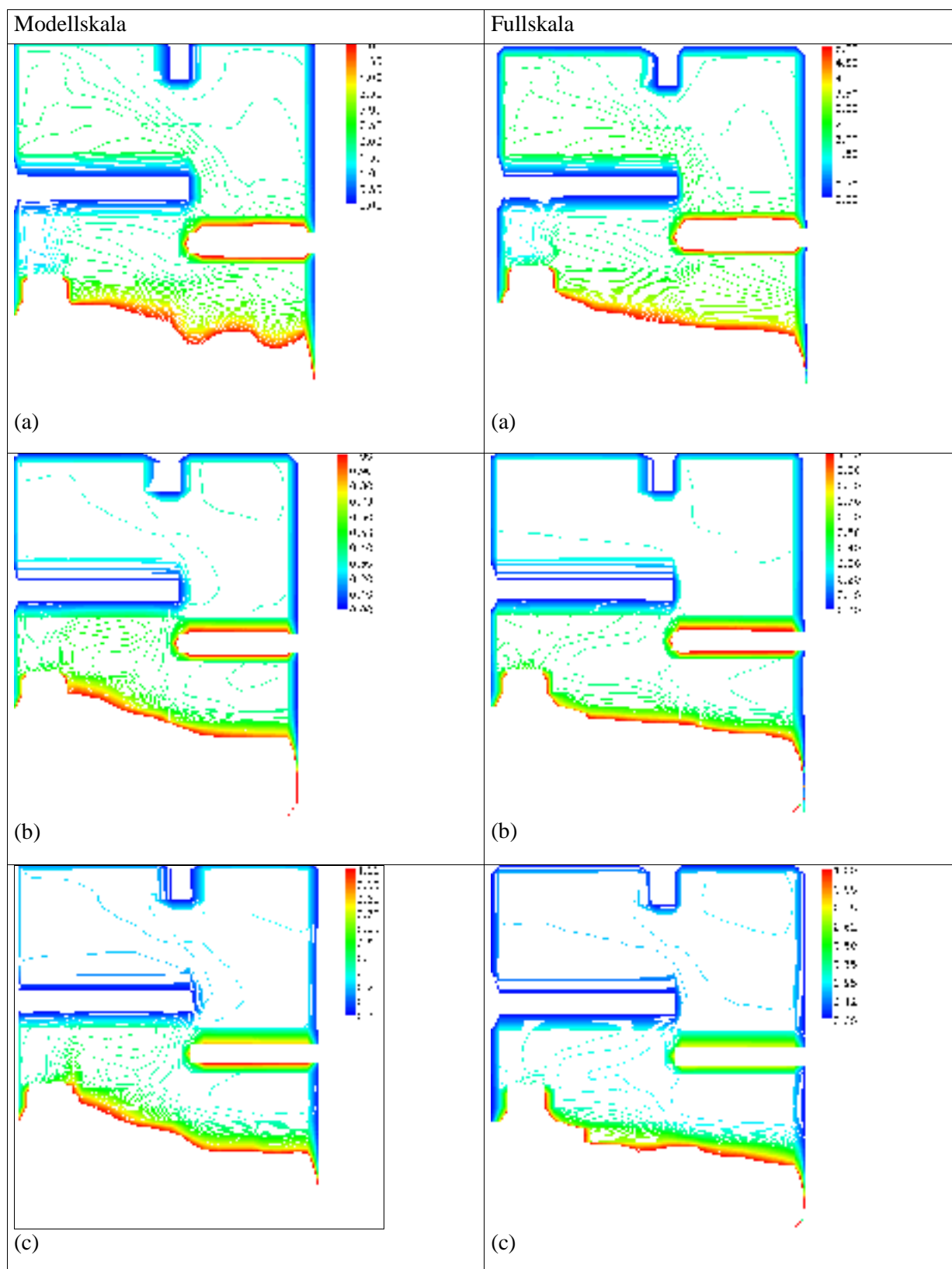
Figur 10: Jämförelse av beräknade syrekoncentrationer mellan modell- och fullskala på ett snitt genom brandkällan i trapphuset vid tiderna (a) 120s, (b) 240s och (c) 300s.



Figur 11: Jämförelse av beräknade CO_2 koncentrationer mellan modell- och fullskala på ett snitt genom brandkällan i trapphuset vid tiderna (a) 120s, (b) 240s och (c) 300s.



Figur 12: Jämförelse av beräknade gashastigheter mellan modell- och fullskala på ett snitt genom brandkällan i trapphuset vid tiderna (a) 120s, (b) 240s och (c) 300s.



Figur 13: Jämförelse av beräknade sikt-längder (i meter) mellan modell- och fullskala på ett snitt genom brandkällan i trapphuset vid tiderna (a) 120s, (b) 240s och (c) 300s.

4 Diskussion och slutsatser

Underventilerade bränder är mycket svåra att simulera med CFD. På grund av syrebristen får man problem med att beräkna effekten. Detta ledde till att temperaturen överskattades i beräkningarna men eftersom detta inte påverkade produktion av bl a CO_2 i någon större utsträckning ansågs beräkningarna generellt stämma väl överens med modellskaleförsöken.

Koncentrationer av syre och CO_2 stämmer mycket bra med uppmätta värden. Upp till 240 s i modellskala, vilket motsvarar 480 s i fullskala, är uppmätta och beräknade värden praktiskt taget samma. Vid 300s/600s är dock beräknad syrekonzentration mycket lägre än den uppmätta. Mätvärden på CO_2 koncentrationen är inte redovisade efter 240s/480s eftersom det aktuella mätinstrumentet hade då överstigit sitt mätområde.

Syftet med dessa beräkningar var dels att bekräfta att man med CFD beräkningar kan modellera brandutvecklingen vid den här typen av brand. Detta är viktigt eftersom det kan vara svårt att genomföra försök för alla tänkbara randvillkor av t ex säkerhetsskäl. De randvillkoren som inte kan hanteras experimentellt skulle då kunna prövas genom beräkningar. Dessutom var det inte praktiskt genomförbart att göra försöken i fullskala. Däremot kunde man genomföra beräkningar i full skala. Det som presenteras här bekräftar att fullskaleberäkningarna stämmer väl överens med informationen man fått via försök i reducerad skala med undantag av temperaturen.

Supplement 6

CFD Modeling of a large complex fire.

Zhenghua Yan, Department of Fire Safety Engineering, Lund University

CFD Modeling of A Large Complex Fire

Zhenghua Yan

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Report 3120, Lund 2000

Zhenghua Yan

Report 3120

ISRN: LUTVDG/TVBB--3120--SE

Number of pages: 21

Illustrations: Zhenghua Yan

Abstract

Numerical simulation of turbulent combustion and flame spread in a large complex fire has been carried out using a self-developed CFD code SMAFS to investigate the well-known Göteborg fire accident [1]. This comprehensive computation includes modeling of turbulence, turbulent combustion, sooting, radiation, heat conduction and pyrolysis of solid fuel. In order to reduce the wall clock time to an acceptable limit, the computation was parallelized based on domain and angle decompositions and performed using 8 processors on a SGI Origin 2000 super computer. The results, including the transient development of the smoke profile, heat flux distribution and flame spread over combustible material, etc., are presented and analyzed. It is found the simulation is in a good agreement with the real fire accident observation and helps explain the real fire phenomena.

© Copyright: **Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, 2000**

CFD Modeling of A Large Complex Fire

YAN Z. H.

*Fire Safety Engineering Dept.
Lund University, Box 118
S-22100, Lund, Sweden*

ABSTRACT

Numerical simulation of turbulent combustion and flame spread in a large complex fire has been carried out using a self-developed CFD code SMAFS to investigate the well-known Göteborg fire accident [1]. This comprehensive computation includes modeling of turbulence, turbulent combustion, sooting, radiation, heat conduction and pyrolysis of solid fuel. In order to reduce the wall clock time to an acceptable limit, the computation was parallelized based on domain and angle decompositions and performed using 8 processors on a SGI Origin 2000 super computer. The results, including the transient development of the smoke profile, heat flux distribution and flame spread over combustible material, etc., are presented and analyzed. It is found the simulation is in a good agreement with the real fire accident observation and helps explain the real fire phenomena.

CASE DESCRIPTION

One-fourth Scale Simulation

Both one-fourth and full scales simulations were carried out. In the one-fourth scale simulation, the scenario was constructed largely based on the one-fourth experiment performed at SP [1], with some differences which are believed unimportant (except the heat release history) as far as the simulation is concerned. Figure 1 shows different views of the considered building. Initially, all the windows and doors were closed except the exit door at the stairwell (see Fig. 1(a)) and the backside door (see Fig 1(b)). Fire started at the stairwell and then penetrated into the dance hall through the connecting doorway, which was opened at 6 minutes after the fire started. Two and half more minutes later, several heated windows (marked by the green color in Fig. 1(d)) were assumed broken. It would be worth to note that the procedure of opening the door and windows is not exactly the same as that in the SP's experiment. Due to the strong oscillation and uncertainty of the experimental heat release curve, it is extremely difficult, if not impossible, to follow the actual heat release in the numerical modeling. Therefore, a modeled heat release history was used in the simulation instead, as shown in Fig. 2. The difference between the modeled and the actual heat release histories makes the comparison between computation and measurement rather groundless. With the growth of fire, the area of the fire source was modeled to expand until it reached the same area of wood crib used in the experiment [1].

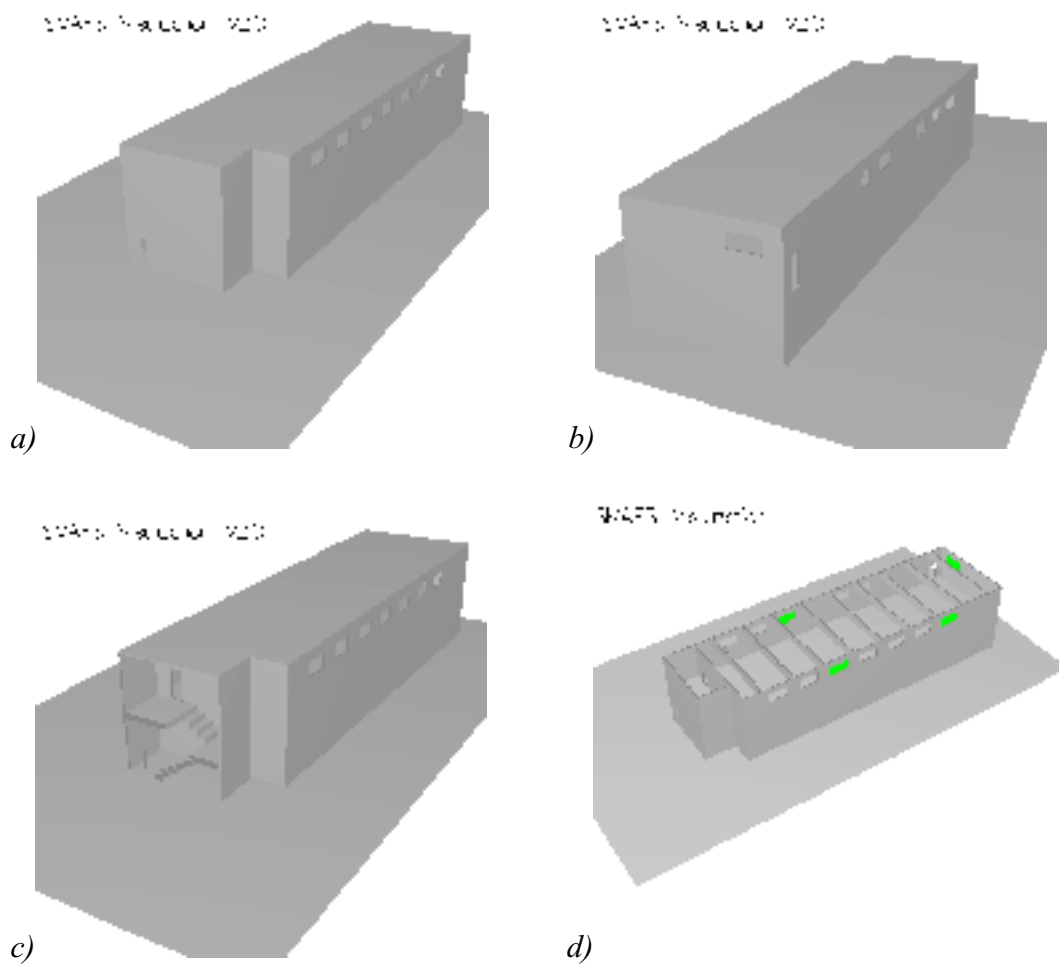


Fig. 1 Different views of the one-fourth scale building

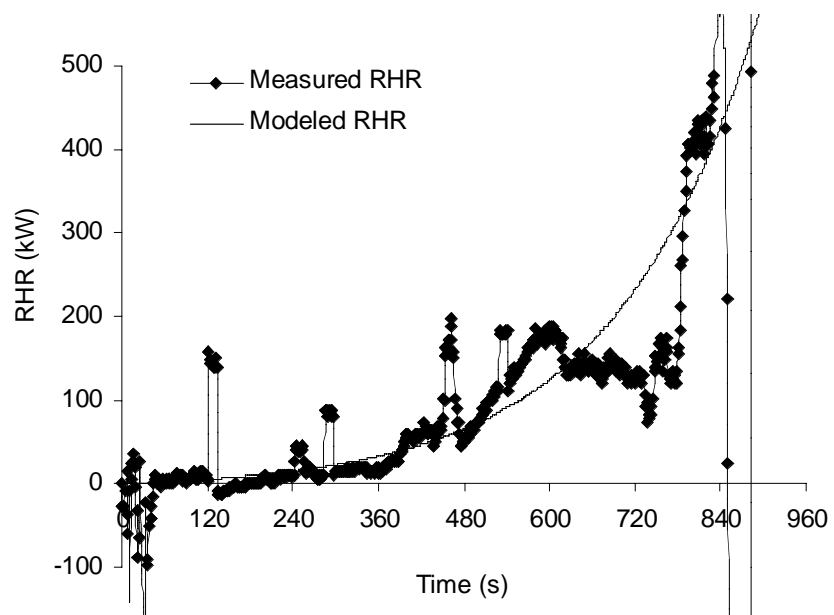


Figure 2 Heat release histories in the one-fourth scale fire

Full Scale Simulation

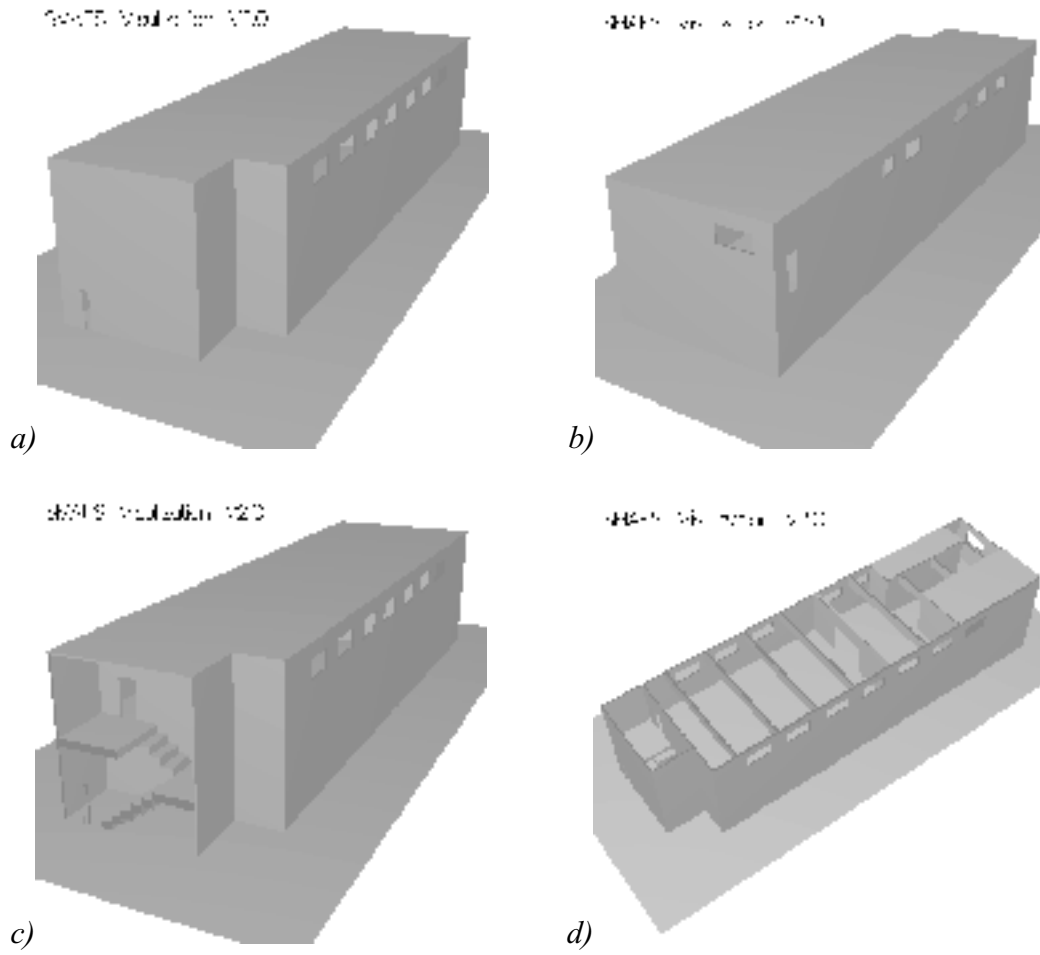


Fig. 3 Different views of the full scale building

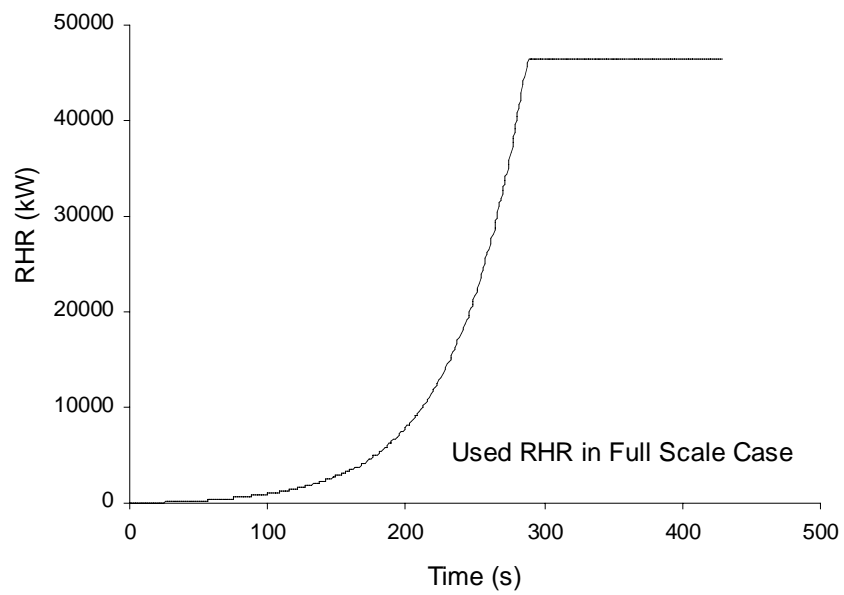


Figure 4 Heat release history used in the full scale fire simulation

The full-scale building came from the scaling of the one-fourth scale building by a factor of 4 in all three spatial dimensions and has a slightly different internal structure as shown in Fig. 3. Fire also started at the stairwell and then penetrated into the dance hall through the connecting doorway, which was opened during the fire. Since the object is to capture the major features of the fire accident, to reduce the computing labor to a reasonable limit, the whole fire process was somehow compressed on the time coordinate. As a result, the start fire was assumed to grow quicker than in the one-fourth scale case. Fig. 4 shows the start fire heat release history used in the computation. This used heat release history is based on a simple scaling of the heat release of the one-fourth scale fire by a factor of $16\sqrt{2}$, but with time coordinate compressed. The connecting door and all the windows were opened respectively at 3.5 and 4.5 minutes after fire started.

In this full scale simulation, as indicated by the wood color in Fig. 5, the side walls of the connecting doorway and the floor in the large dance hall were set combustible as they were in reality, although they were assumed to be particle board in material. The investigation was then made in the computation to study the possible flame spread.

In both simulations, the fuel in the starting fire was assumed to be propane.

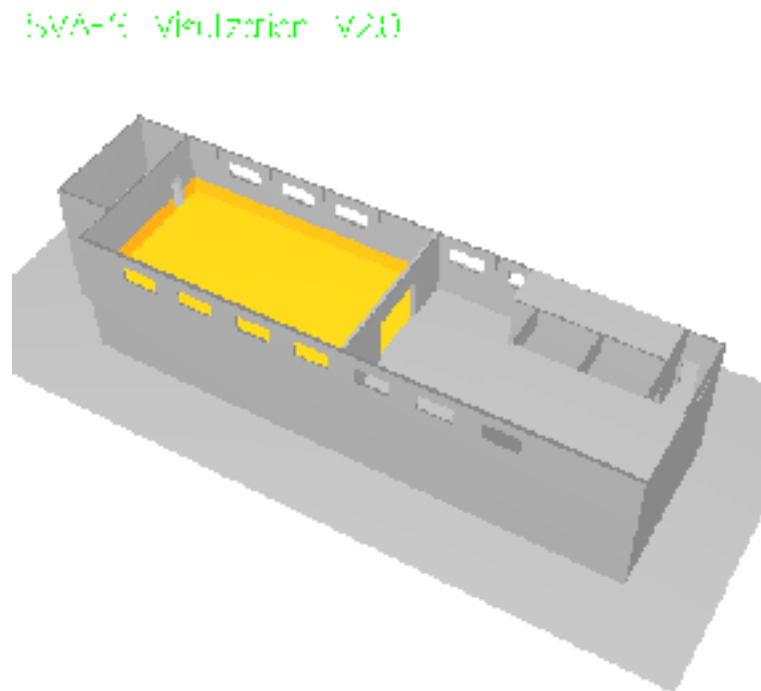


Fig. 5 Internal combustible floor and walls of the building

NUMERICAL COMPUTATION

Comprehensive computations were carried out to study the fire process, using about half million gas phase nodes, half million solid phase nodes, 16 radiation rays, and time steps varying from 0.25 to 2.0 seconds. Considering the physical difference of the processes in the gas and solid phases, two separate grids were adopted so that both

phases could be properly and economically resolved. The used gas phase grid for the full scale is illustrated in Fig. 6. The models activated in these two applied computations are: the standard buoyancy-modified $k - \varepsilon$ two-equation turbulence model [2], eddy dissipation turbulent combustion model [3], discrete transfer radiation model [4], an integral radiation property evaluation model [5], a simple empirical soot model and solid fuel pyrolysis model [6].

In order to reduce the wall clock time, the computation was run in parallel using 8 processors on the SGI Origin 2000 super computer named Embla in Lund University, Sweden. The parallelization was based on domain and angle decompositions.

SVAFS visualization

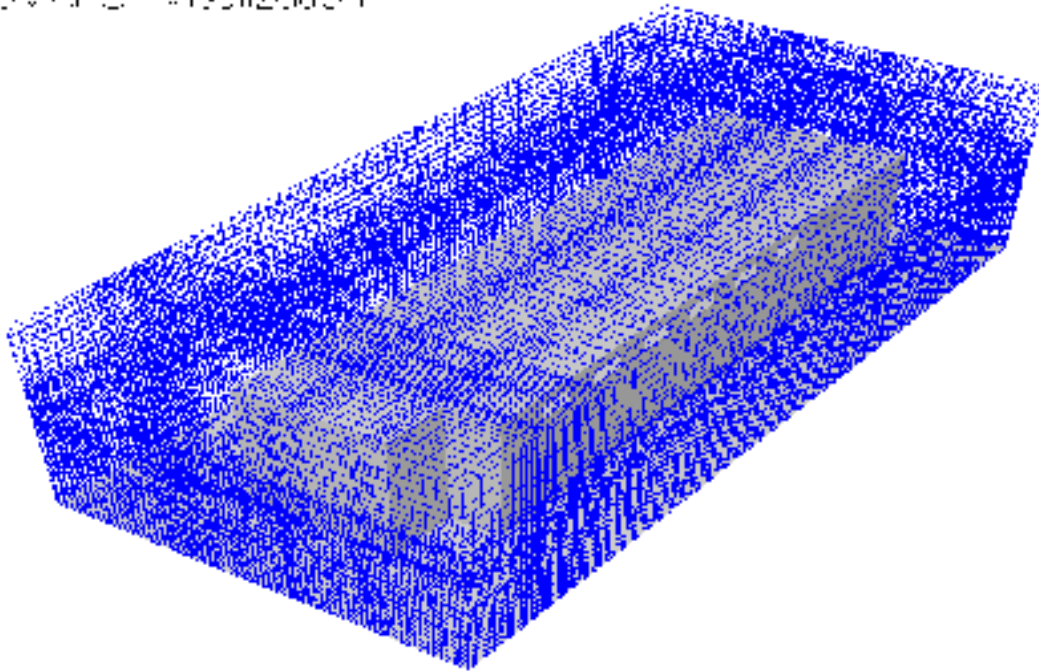


Fig. 6 Gas phase grid for full scale simulation

INITIAL AND BOUNDARY CONDITIONS

The whole system was assumed to stand initially still in an environment of uniform temperature of $300K$. The solid boundaries, including the wall surface and the floor, were assumed to be non-slip boundaries. As an approximation, the standard wall function treatment was used to calculate the convection heat transfer.

The computation domain was extended to the region where the free boundary condition was employed.

RESULTS AND DISCUSSIONS

One-fourth Scale Simulation

As mentioned earlier in the case description, due to practical difficulties, the simulation's setup did not map exactly with that of the referred experiment and consequently the comparison between the computation and measurement is not well grounded. As a result, the results of the one-fourth scale simulation shown below are only for reference although they are presented together with the available measurements.

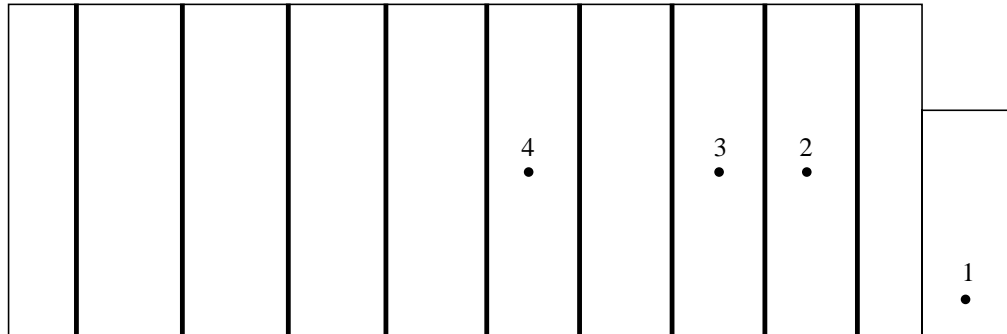


Fig. 7 Horizontal locations of four particular measurement points

Figure 7 shows horizontal positions of four particular temperature measurement points of the SP's experiment. Among these four points, point 1 was at 0.6 m above the upper floor of the stairwell and the other points were at 0.09 m below the ceiling. The predicted and measured transient temperature profiles of these four points are shown in Figs. 8-11.

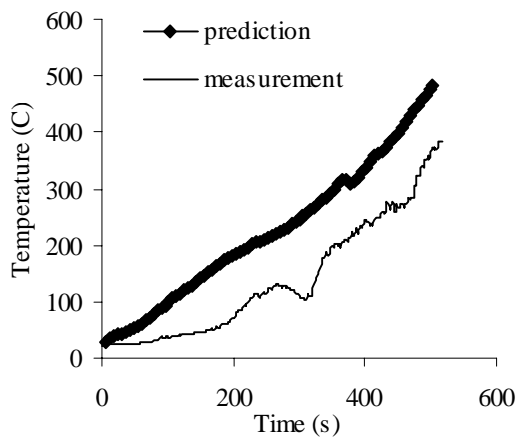


Fig. 8 Temperature vs time (point 1)

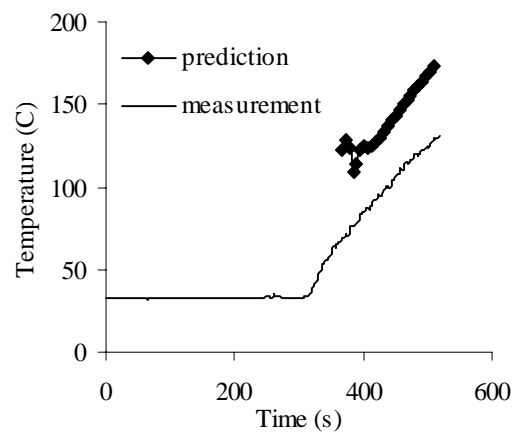


Fig. 9 Temperature vs time (point 2)

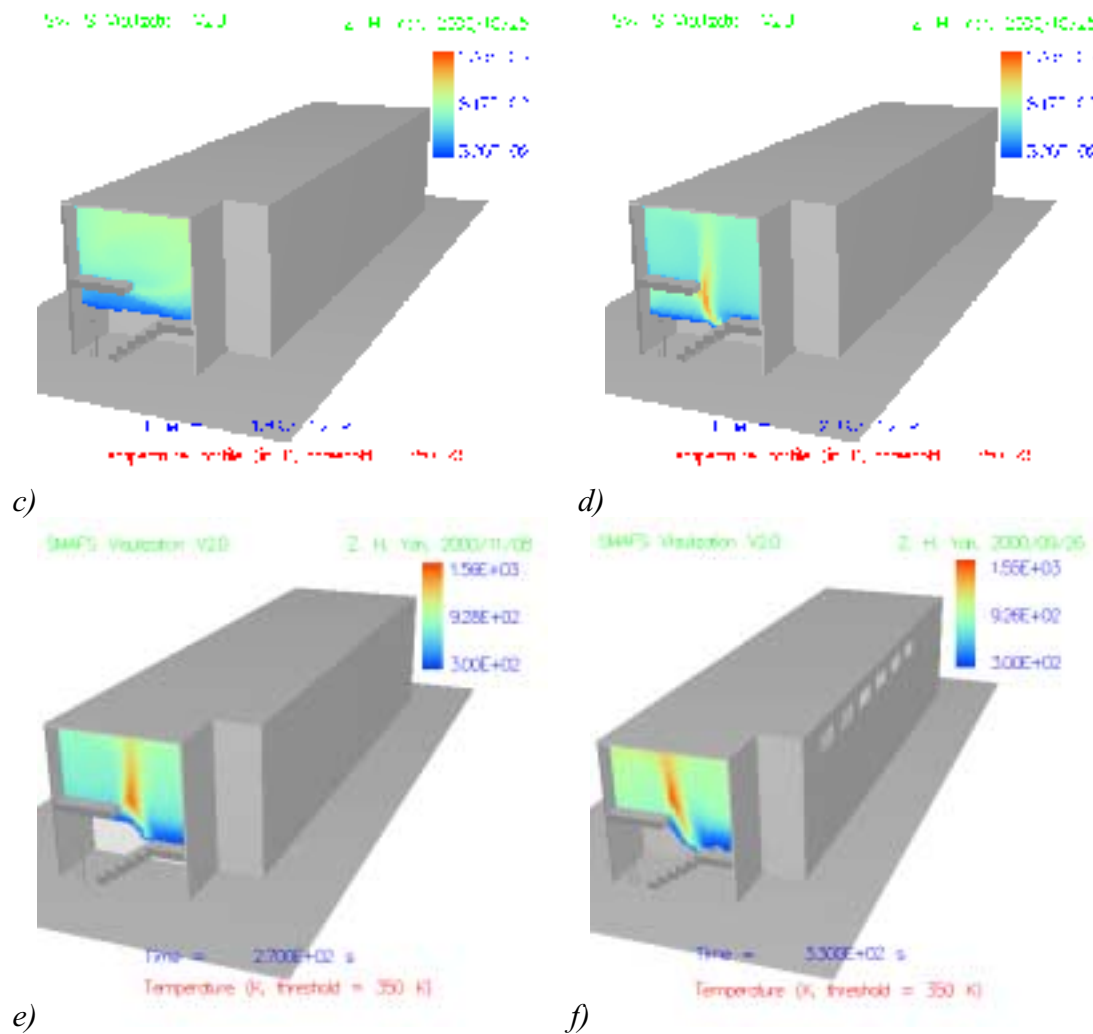


Fig. 12 Predicted transient developing of an example temperature profile in stairwell

Due to the quick growth in fuel release of the fire source and the limited ventilation, the combustion in the stairwell was incomplete and a large amount of fuel was accumulated. Once the connecting door is open, the accumulated hot fuel went into the dance hall through the connecting doorway and mixed there with oxygen. As a result, fire penetrated into the dance hall. A typical temperature profile sequence in the dance hall after the connecting door was opened is shown in Fig. 13. This sequence presents clearly the hot gas filling process and the shift of the flame front (indicated by the high temperature) from the connecting door to the back of the dance hall. After the windows were opened (at time = 270 s), the flow field changed accordingly in such a way that the back part of the dance hall was partly cleared by the fresh air sucked in from the backside door (compare Fig. 13 (d) with Figs. 13(e-f)). This phenomenon will be discussed in more detail later when the flow field is presented. In order to give a direct representation of the flame front, a plot of the fuel consumption rate is presented in Fig. 14.

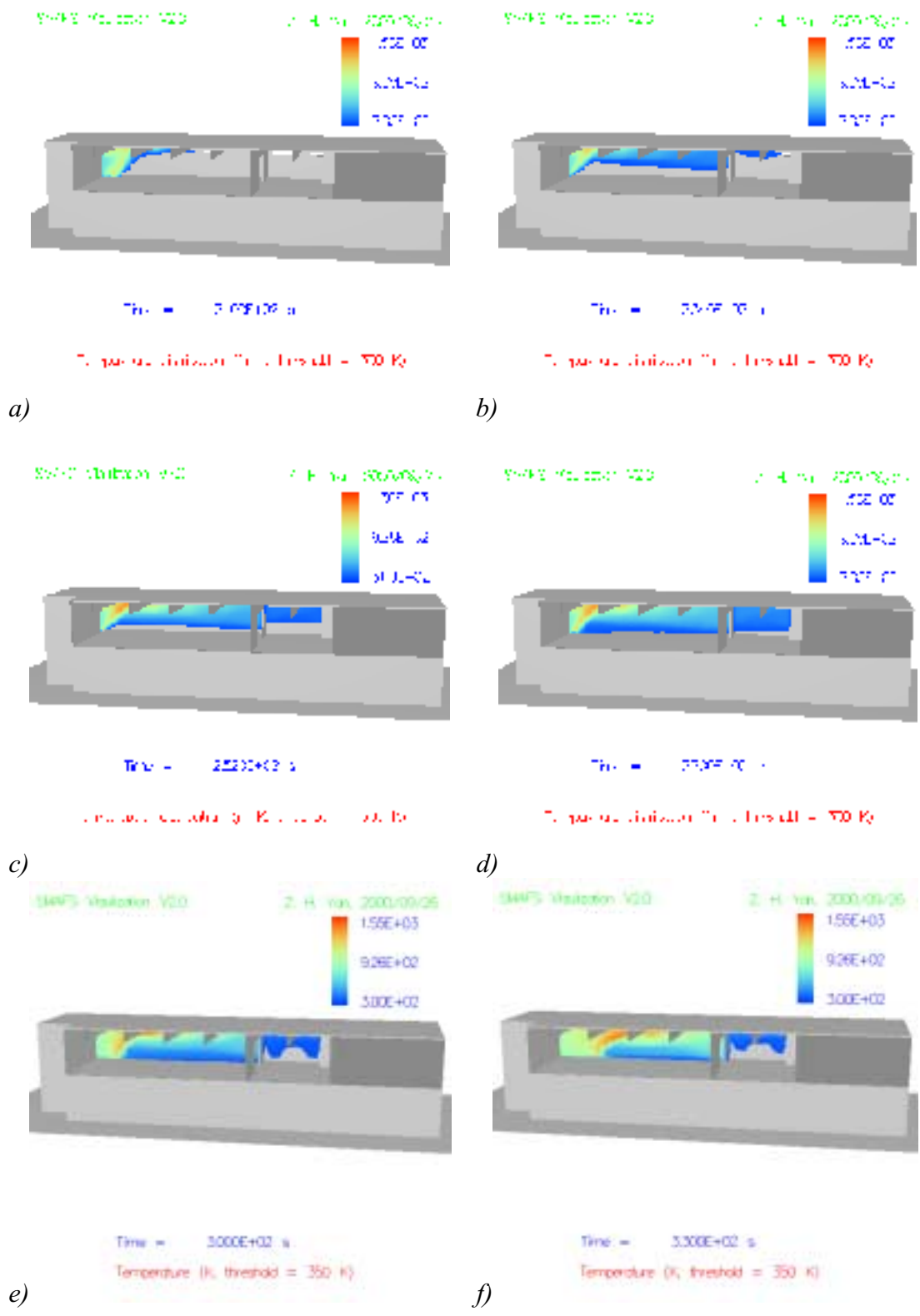


Fig. 13 Predicted transient developing of an example temperature profile in dance hall

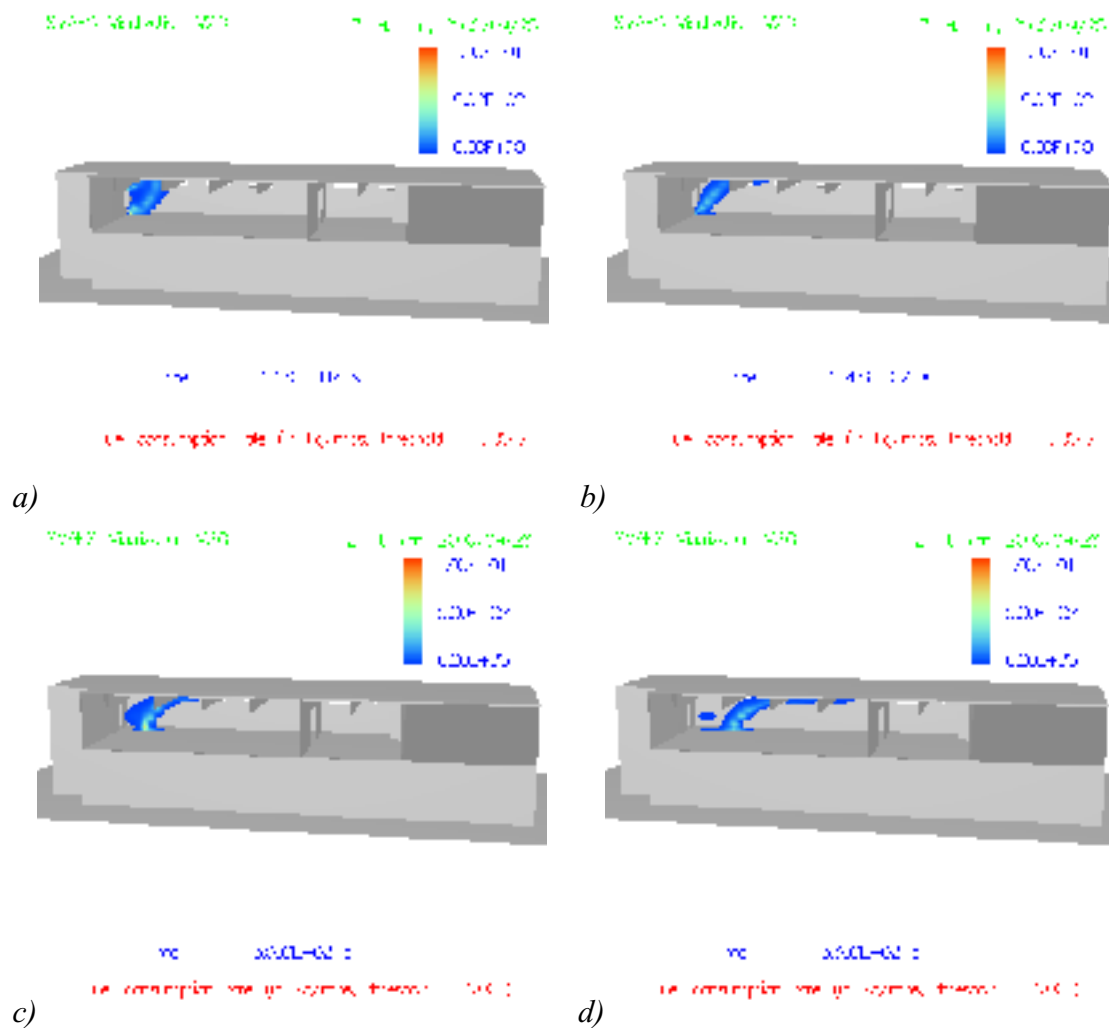


Fig. 14 Predicted fuel consumption rate in dance hall

The big flame in the dance hall imposed an intensive heating to its surrounding and presented a substantial potential of flame spread over combustible materials. Figure 15 shows the predicted net radiation flux distribution in the dance hall. Due to the strong heating, the combustible side walls and floor were ignited and flame spread over, as shown in Fig 16, where the predicted transient developing of the char layer on the combustible side walls and floor is presented. The ignition of solid combustible material could produce quite amount of smoke and toxic gases and thus increase the severity of the fire accident. It would be worth to mention that flame spread was also observed in the real fire accident.

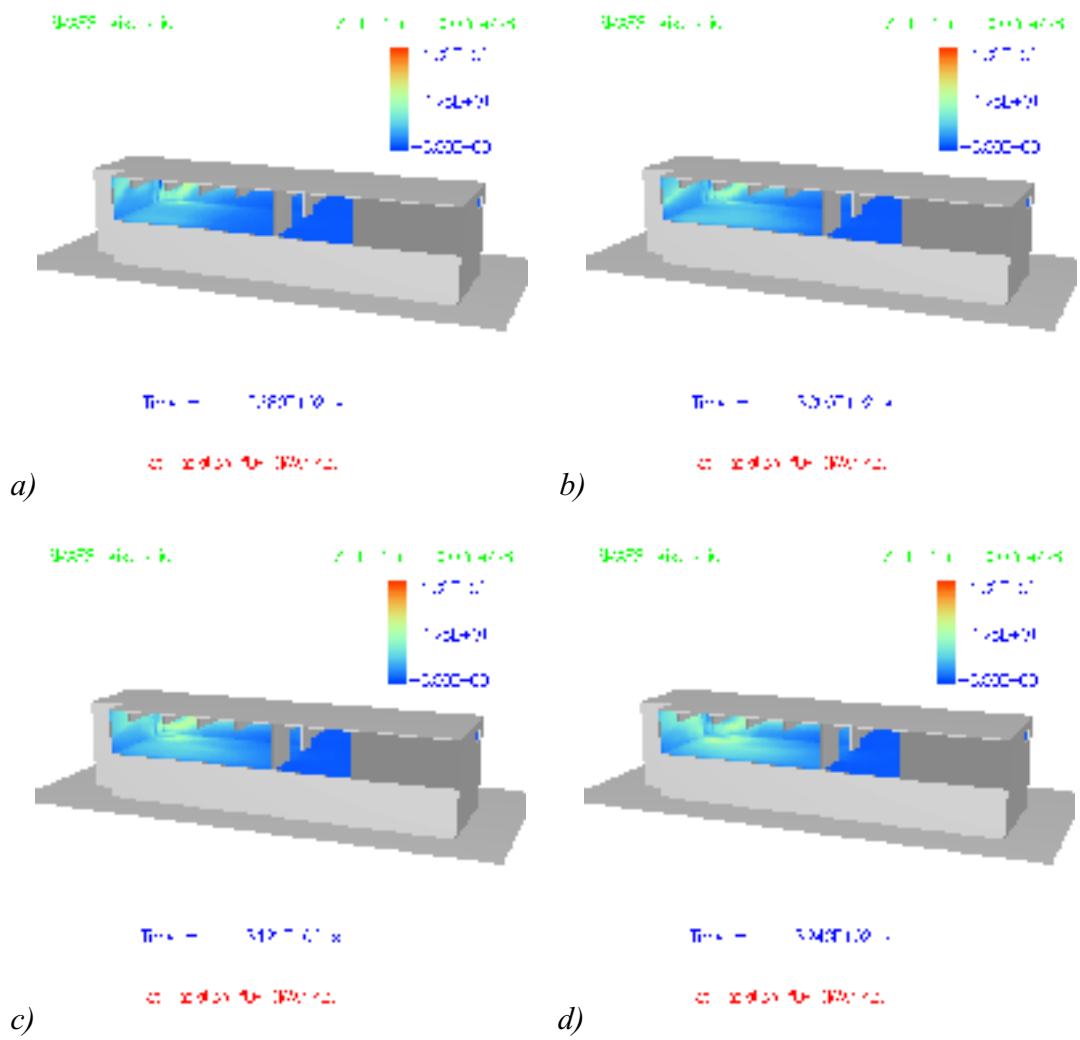
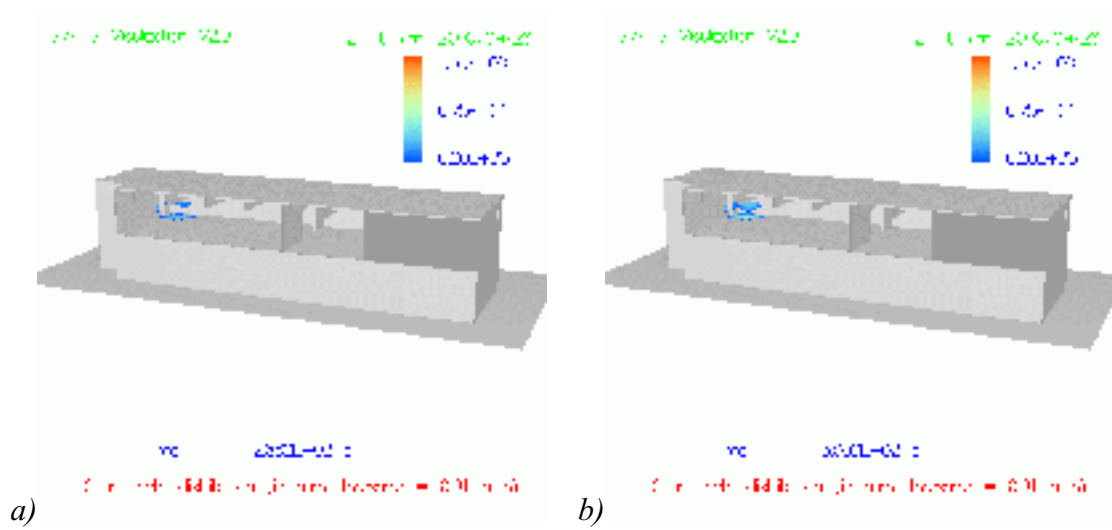


Fig. 15 Predicted transient developing of net radiation flux



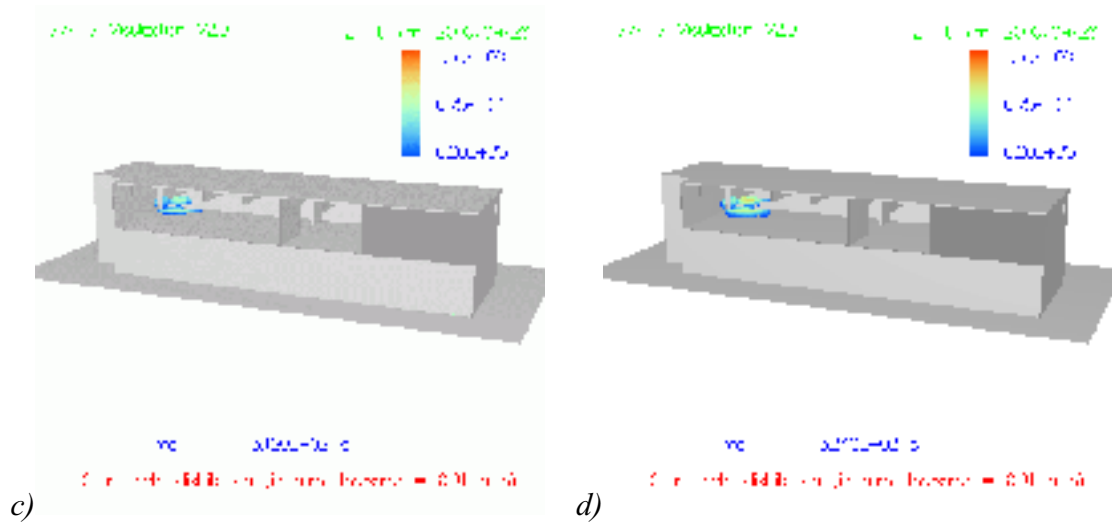


Fig. 16 Predicted transient developing of char layer

Due to the strong uneven heating, a substantial thermal stress could be generated in the glass windows and consequently these glass windows might break. Due to the insufficient supply of oxygen, an under ventilation condition was quickly reached in the dance hall. Therefore, once the windows were broken, flame came out from the windows and an intensive combustion extended outside of the building, as shown in Fig. 17. This big window flame, together with the combustion inside the fire building, imposed some strong heating and thus a considerable danger to the neighboring buildings. Fig. 18 shows the predicted radiation heat flux to a surface of building which was assumed to be located 3.3 meters away from the fire building.

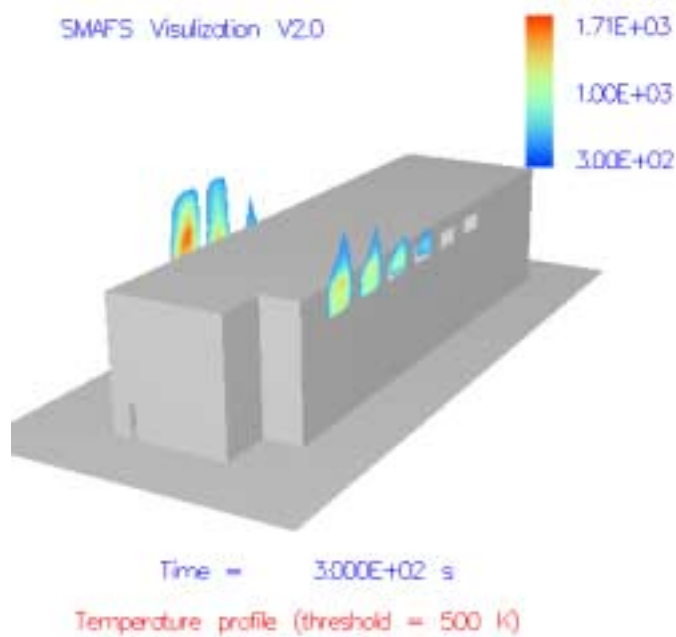


Fig. 17 Temperature profile of the window flame

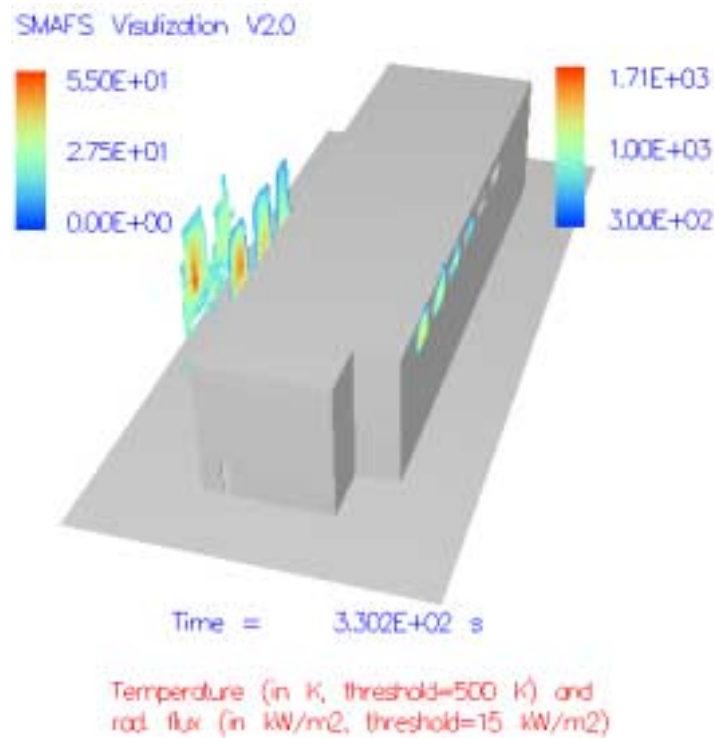
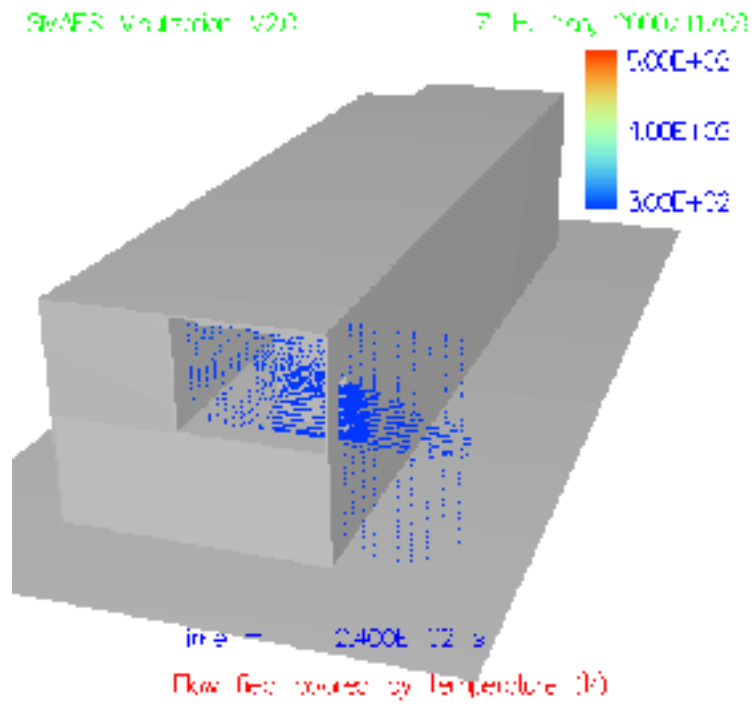
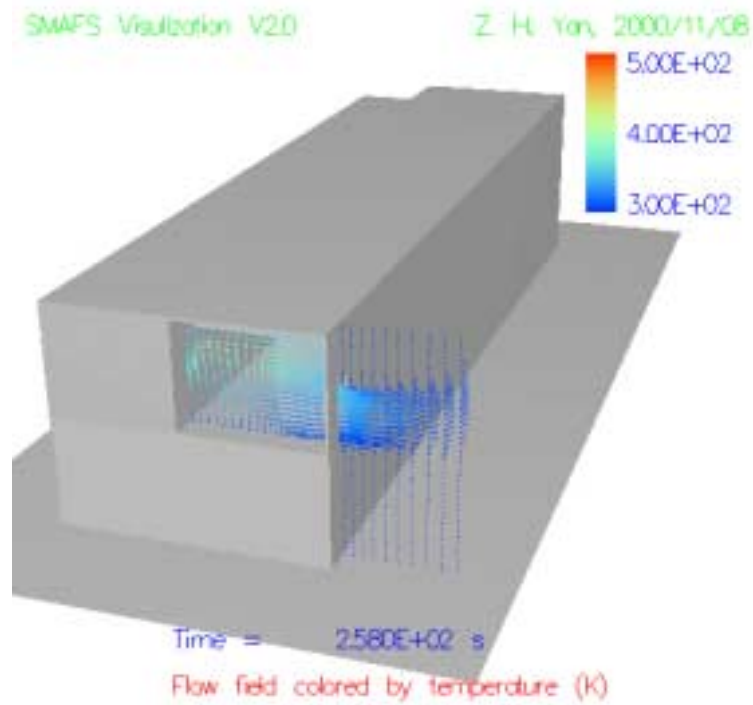


Fig. 18 Radiation flux to a solid surface 3.3 meters away from fire building

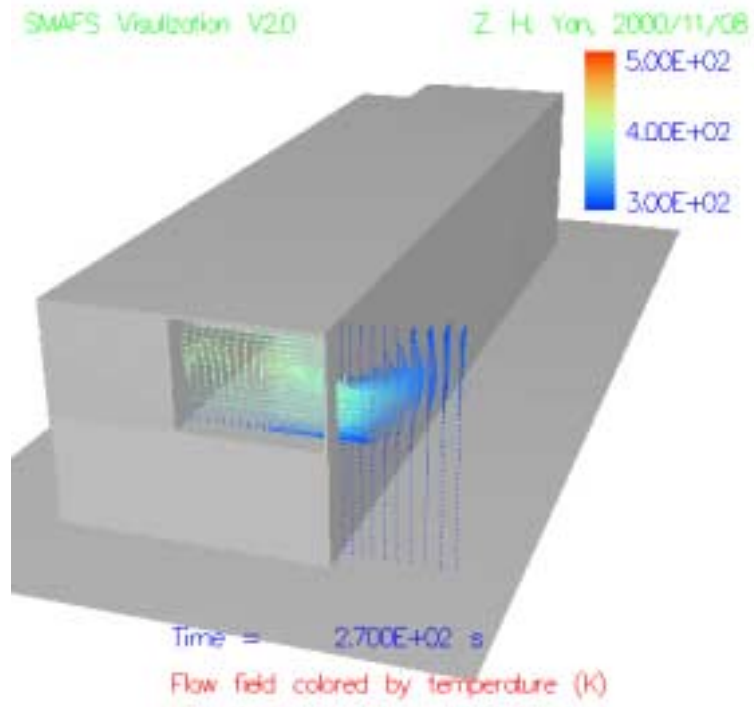
The breakage of windows also created significant influence on fluid dynamics. Driven by the pressure mainly generated by thermal expansion, the smoke came out of the building from the backside door of the building when the windows were closed. Once these windows were broken, some large smoke exits were created. At these exits, the path length is shorter and thus pressure-gradient is higher than at the backside doorway. As a result, smoke started to come out of the building mainly from the broken windows. With additional strong influence of buoyancy, flow at the backside door changed its direction and consequently the backside door became a route for the entrainment of fresh air. Due to the entrained fresh air, the backyard of the building became relatively safer. The transient flow pattern during this process is illustrated in Fig. 19. This predicted flow dynamics lies in an agreement with the observation of fire fighters.



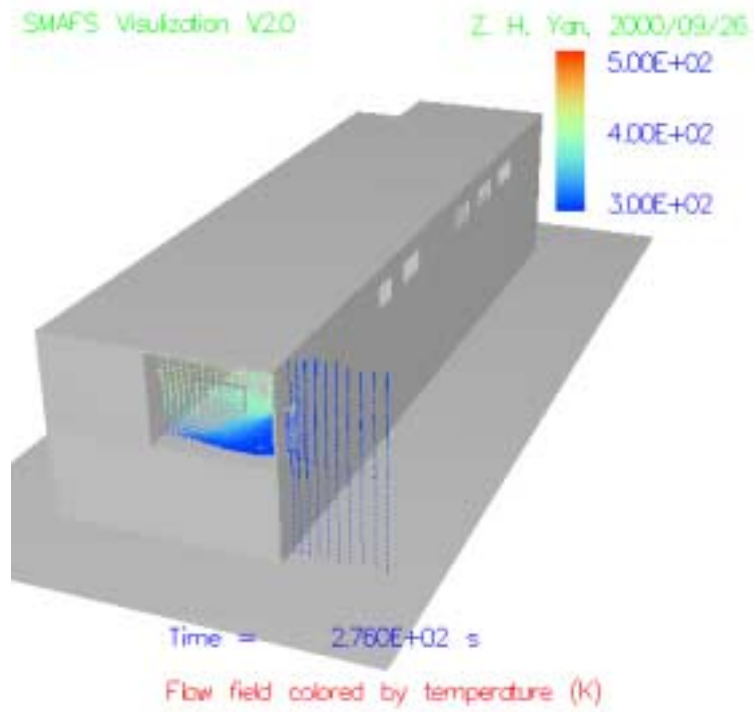
a)



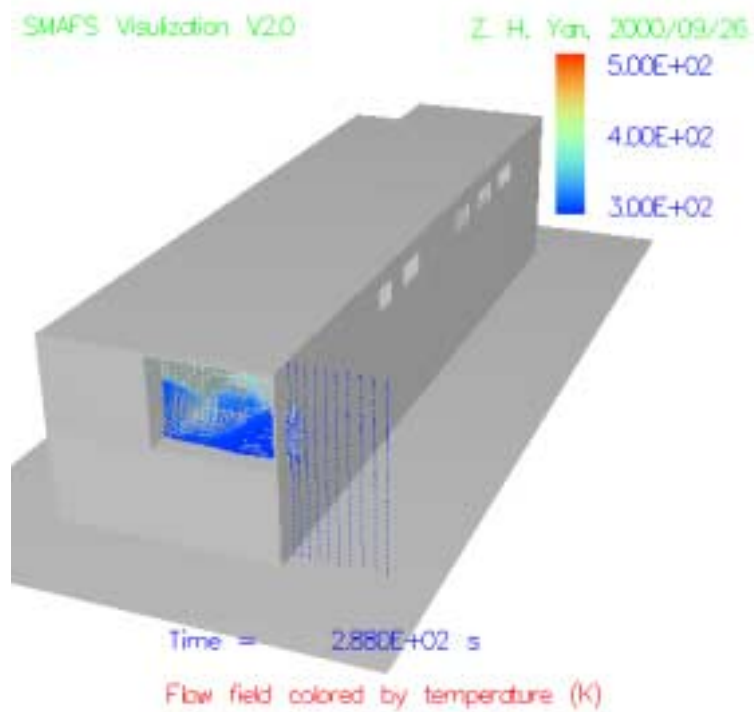
b)



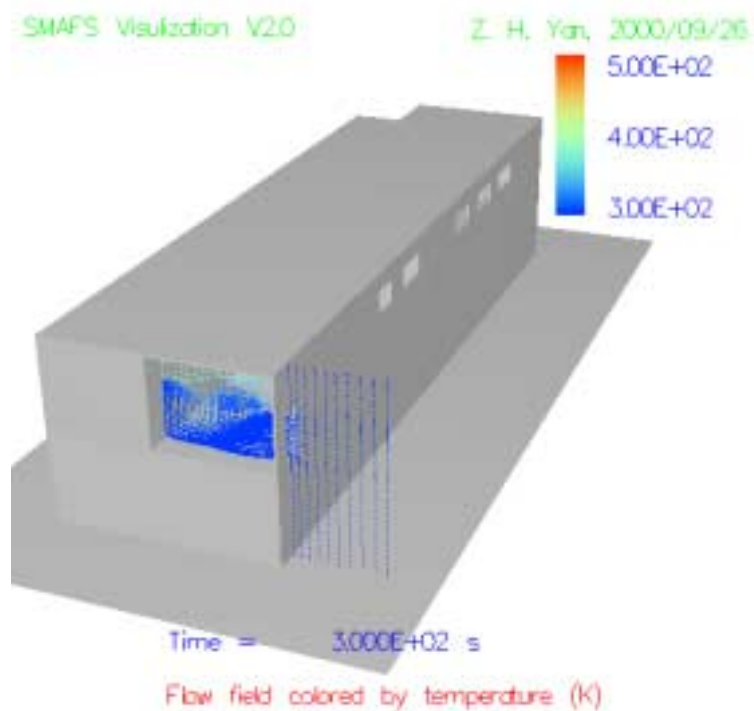
c)



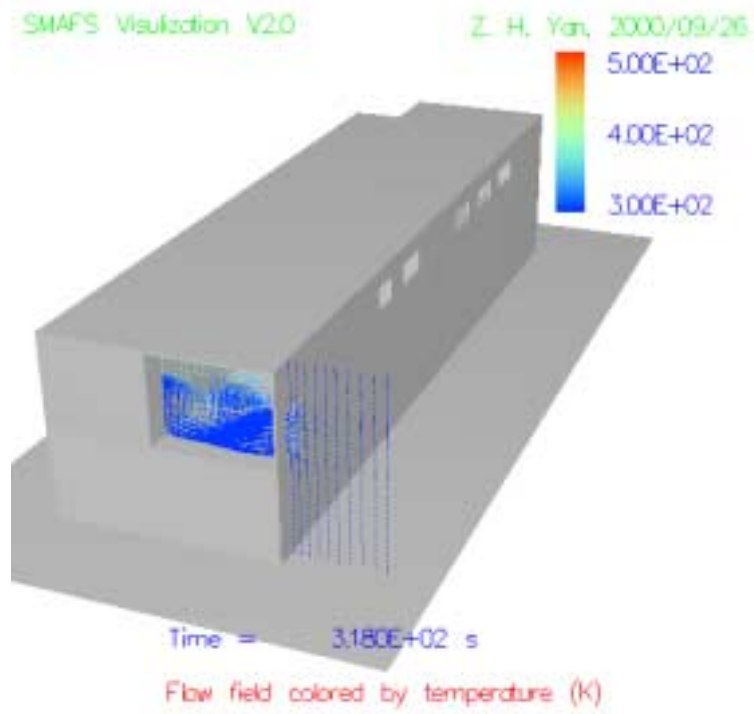
d)



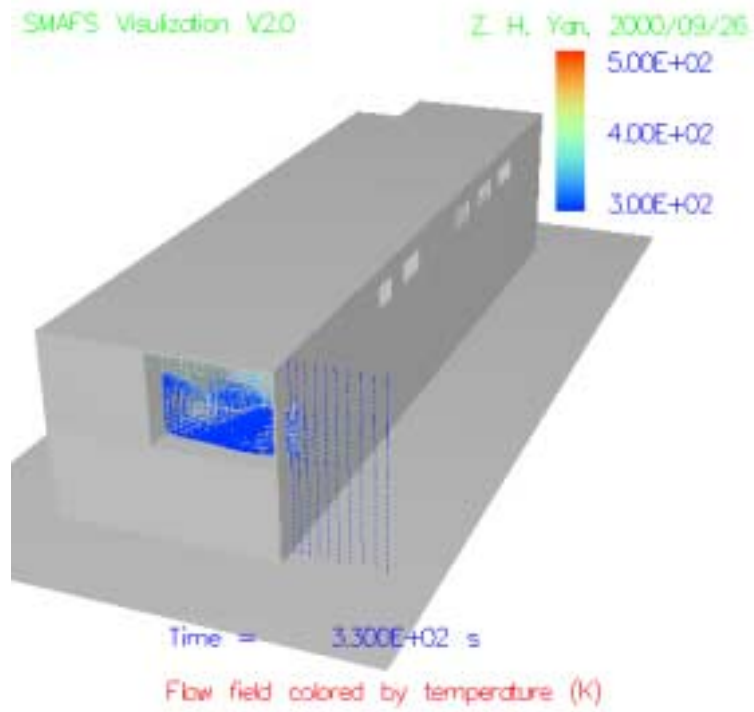
e)



f)



g)



h)

Fig. 19 Transient development of flow field close to the backside door

To provide more detail information of the simulated fire process, some typical plots of heat flux in the stairwell, CO₂ and soot volume fraction profiles are given below in Figs 20-22. Since the fuel of the starting fire source was assumed to be propane in the simulation, the predicted soot volume fraction can be lower than the soot volume fraction in the real fire.

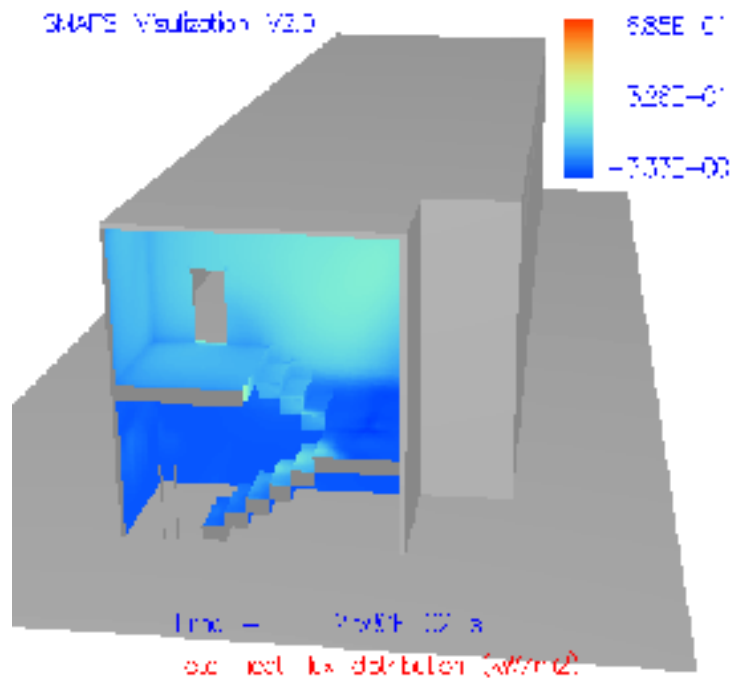
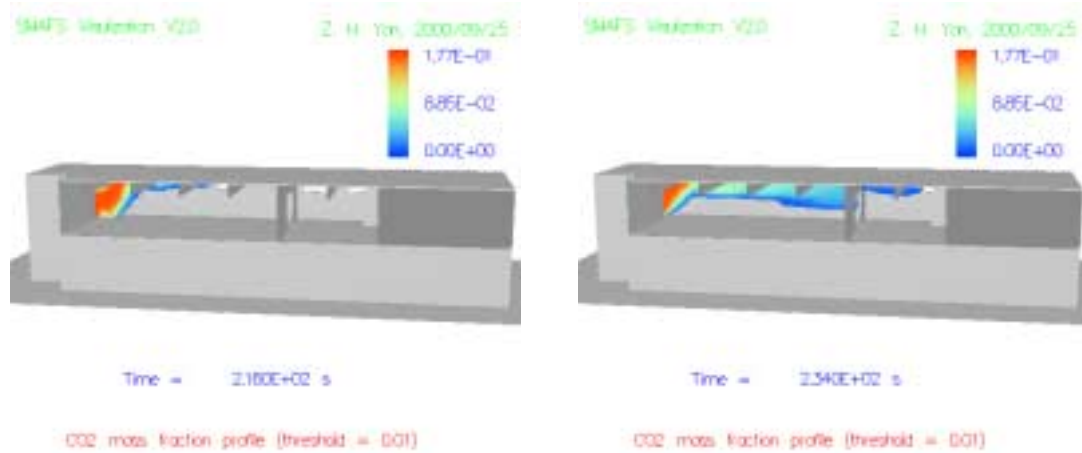
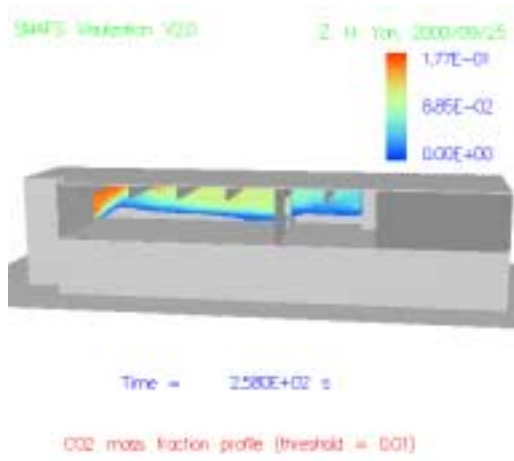


Fig. 20 Heat flux distribution in the stairwell at t= 258 s

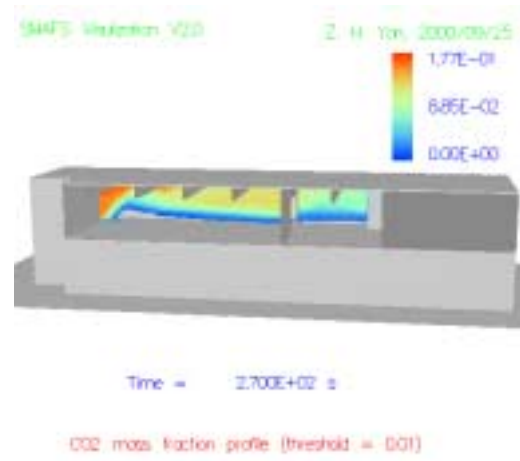


a)

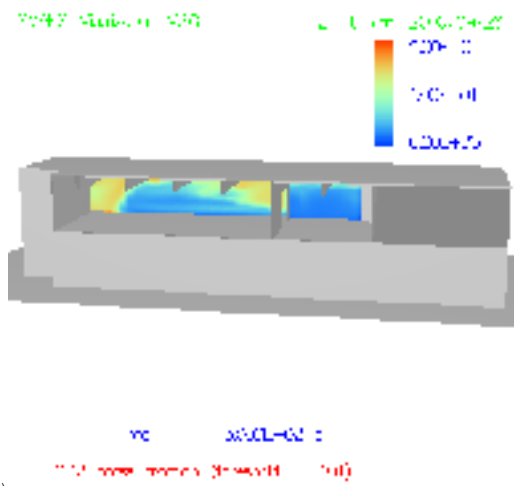
b)



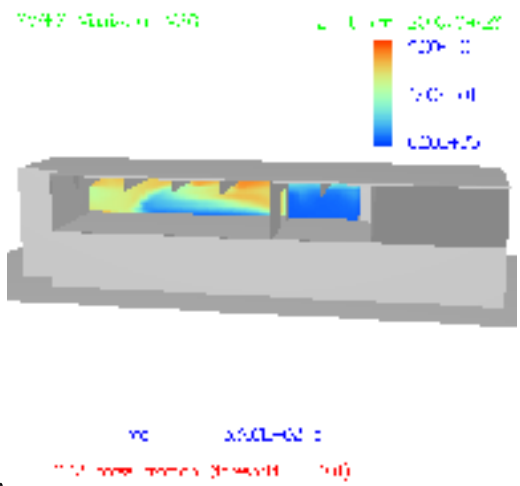
c)



d)

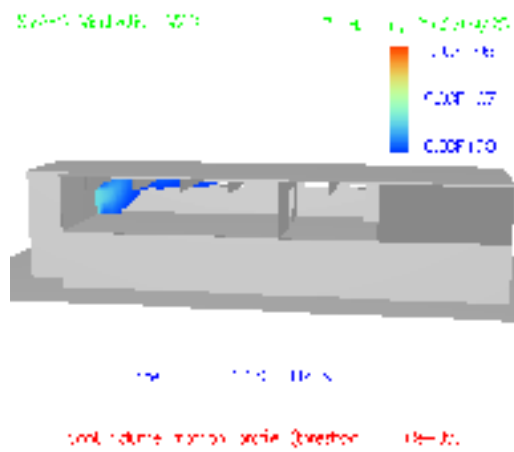


e)

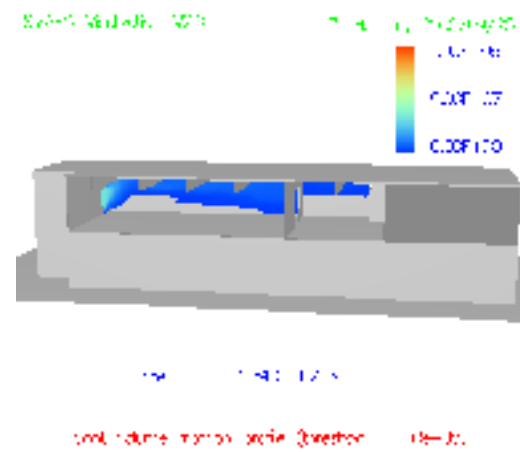


f)

Fig. 21 Predicted transient developing of an example CO2 profile in dance hall



a)



b)

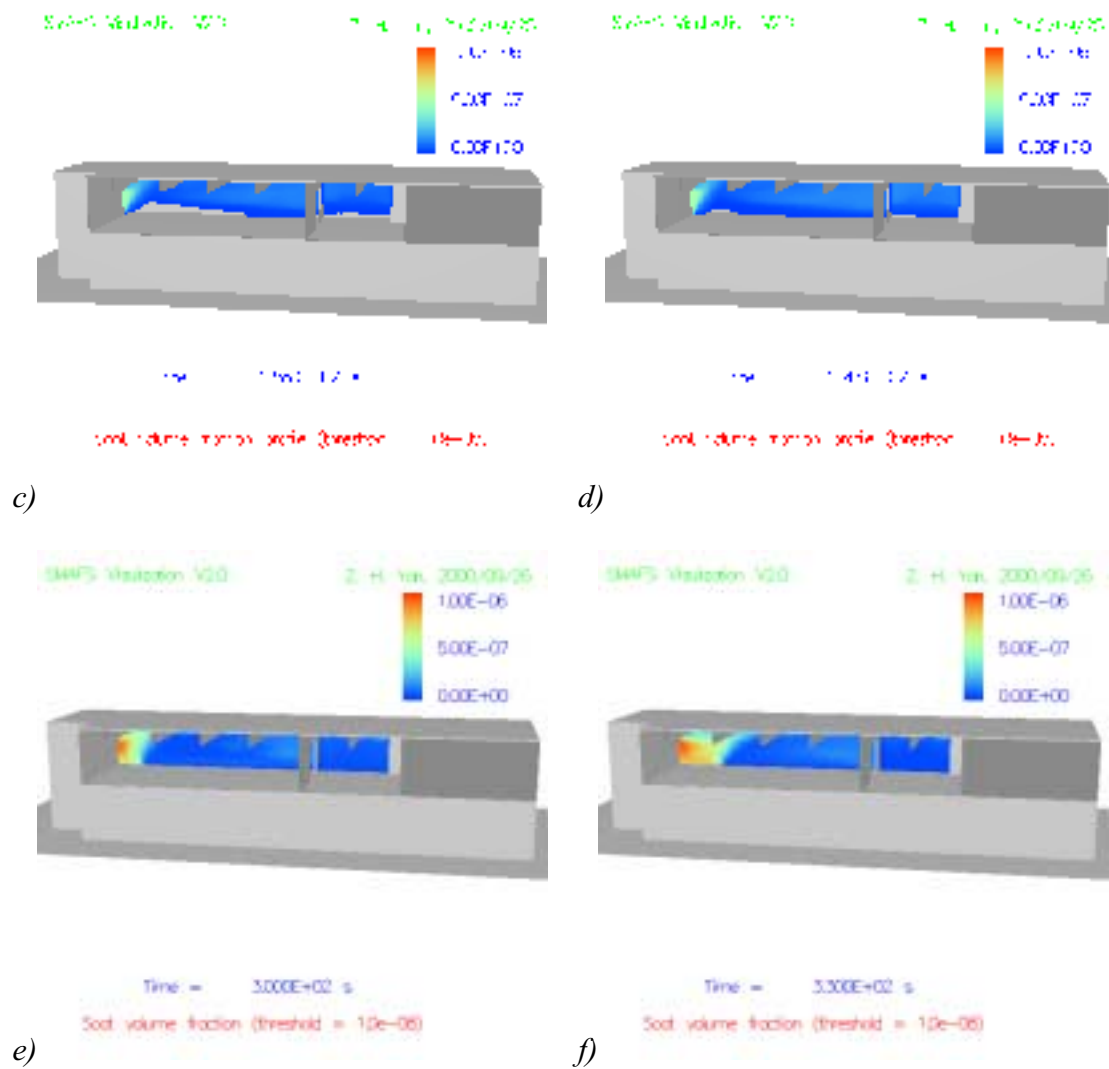


Fig. 22 Predicted transient developing of soot volume fraction profile in dance hall

CONCLUSIONS

Numerical simulation of turbulent combustion and flame spread in a large complex fire has been carried out to investigate the well-known Göteborg fire accident. This comprehensive computation includes modeling of turbulence, turbulent combustion, sooting, radiation, heat conduction and pyrolysis of solid fuel. The results of this simulation show a good agreement with the available observation of the real fire accident. With the obtained detail information on the fire dynamic and flame spread processes, the simulation helps explain the observed fire phenomena.

The accomplishment of this applied computation demonstrates the capability of the available modeling technology in fire safety design and fire accident investigation, and thus indicates a great potential usage of the modeling in practical applications.

ACKNOWLEDGEMENT

This applied computation was financially supported by SRV and SHK, which are gratefully acknowledged. The administrating board of the super computer Embla in Lund University is highly appreciated for providing the access to the computing resource.

REFERENCE

1. Haukur Ingason, Modellförsök av Diskteksbrände i Makedoniska Föreningens Lokaler, Report BRs1079, SP, Sweden, 2000
2. W. Rodi, Turbulence Models and Their Application in Hydraulics - A State of The Art Review, SBF Report 80/T/125, University of Karlsruhe (1980)
3. B. F. Magnussen and B. H. Hjertager, On Mathematical Modeling of Turbulent Combustion with Special Emphasis on Soot Formation and Combustion, 16th Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, pp. 719-729, 1976
4. F. C. Lockwood & N. G. Shah, A New Radiation Solution Method for Incorporation in General Combustion Prediction Procedures, Eighteenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, pp. 1405-1414, 1981
5. A. T. Modak, Radiation from Products of Combustion, Fire Research, vol. 1, pp. 339-361, 1978/1979
6. Z. H. Yan, Numerical Modeling of Turbulent Combustion and Flame Spread, Ph.D. thesis, Lund University, 1999

Supplement 7

Litteraturförteckning

Litteraturförteckning

Brandförloppet

- 4.1 Diariern K173191-98 Polismyndigheten i Västra Götaland
- 4.2 SP-Rapport 99E2 2545 Provning av luftläckning i transportgång.
- 4.3 SMHI Rapport 1999-10-21
- 4.4 SP-Rapport 99R3 1038 Bilaga B1– Antändningsförsök med små och medelstora tändkällor.
- 4.5 SP-Rapport 99R3 1038 Bilaga B2 – Provningsresultat från småskalig brandprovning samt kemisk analys av material från trapphus och samlingslokal.
- 4.6 SP-Rapport 99R3 1038 – Branden i Makedoniska föreningens lokaler i Göteborg. Modellskaletförsök av branden i trapphuset, antändningsförsök mm.
- 4.7 SP-Rapport BRs1079 Modellförsök av diskoteksbranden i Makedoniska föreningens lokaler.
- 4.8 CFD simulering av Diskoteksbranden i Göteborg 1998. Av Heimo Tuovinen, Brandteknik, SP 2000-11-30
- 4.9 CFD Modelling of a Large Complex Fire. By Zhenghua Yan, Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology

Räddningstjänst

- Andréasson, N., Frid, S. R., Hedström, K., Wikström, P-O. (1999). Lagkommentar räddningstjänst. Svenska Brandförsvarsföreningen.
- Fredholm, L. (1990). Utveckling av räddningstaktik – analyser och metodförslag. FOA- rapport E-50006-5.3.
- Fredholm, L. (1994). Räddningsledarens och räddningsstabens kvalitet. FOA-rapport R-94—00032-5.3—SE.
- Fredholm, L. (1995). Taktik vid räddningsinsatser – Begreppsanalyser och begreppsuppbyggnad. FOA-rapport R—95-00128-5.3—SE.
- Klein, G. (1998). Sources of Power. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Räddningsverket. (1992). Räddningstaktik – påverkan och utformning. U29-385/92.

Räddningsverket. (1997). Att leda stora insatser – svagheter och utvecklingsmöjligheter. P21-190/97.

Räddningsverket. (1998). Ledningsuppbyggnad i räddningsinsatsens initialskede – problematik och bemästringsmöjligheter. P21-223/98.

Räddningverket. (1998). Grunder för ledning. U14-569/98.

Räddningsverket. (2000). Åtta slutsatser om ledning. P21-357/00.

Psykologiska aspekter

Ayres, T., Gross, M.M., Wood, C.T., Horst, D.P., Beyer, R.R., Robinson, J.N. (1994). What is a warning and when will it work?. Human Factors Perspectives on warning. Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, CA.

Bryant, J.L. (1980). An examination and analysis of the dynamics of human behaviour in the MGM Grand Hotel fire. National fire protection association.

Canter, D. (red.) (1980). Fires and Human Behaviour. New York: John Wiley.

Cox, T. Stress. (1978). London: Macmillan.

Dyregrov, A. Katastrofpsykologi. (1992). Lund: Studentlitteratur.

Hale, A.R., and Glendon, A.I. (1987). Individual behaviour in the Control of Danger. Amsterdam: Elsevier.

Hewstone, M. & Stroebe, W (red.). (2001). Introduction to Social Psychology. Oxford: Blackwell.

Hodgkinson, P.E. & Stewart, M. (1998). Coping with Catastrophe. A Handbook of Post-Disaster Psychosocial Aftercare. London: Routledge.

Janis, I.L. & Mann, L. (1977). Decision making. A psychological analysis of conflict, choice, and comittment. New York: Free Press.

Proulx, G. (1993). A stress model for people facing a fire. *Journal of Environmental Psychology*, 13:137-147.

Schachter, D.L. (1996). *Searching for memory*. New York: Basic books.

Turner, B.A. and Pidgeon, N. (1997). *Man-made disasters*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Trumbull, R. & Appley, M.H. (1986). A Conceptual Model for the Examination of Stress Dynamics. In M.H. Appley & R. Trumbull (Eds.), *Dynamics of Stress*. New York: Plenum.

Währborg, P. (2000). *Stress – en folksjukdom*. Stockholm: Merck Sharp & Dohme (Sweden).

Statens haverikommission (SHK)

Wennerbergsgatan 10, Box 12538, 102 29 Stockholm

Telefon 08-441 38 20, *Fax* 08-441 38 21

E-post info@havkom.se, *Internet* www.havkom.se

ISSN 1400-5751