



LUND UNIVERSITY

Största brandflöde för given spridningsvolym

Jensen, Lars

2010

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, L. (2010). *Största brandflöde för given spridningsvolym*. (TVIT; Vol. TVIT-7043). Avd Installationsteknik, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Största brandflöde för given spridningsvolym

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2010
Rapport TVIT--10/7043



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rök-spridning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmsystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

Största brandflöde för given spridningsvolym

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2010
ISRN LUTVDG/TVIT--10/7043--SE(39)

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Innehållsförteckning

1	Inledning och problemställning	5
2	Beräkningsmetod	7
3	Resultat från beräkningsfall	9
	Kommentarer fall 1-16 med olika långa rum	10
	Kommentarer fall 17-31 med olika utluftning	13
	Kommentarer fall 32-43 med olika kvadratiska rum	16
4	Modeller för högsta brandflöde och tid	19
5	Brandflöde för given spridningsvolym	27
6	Kall volymspridningsandel	33
7	Sammanfattning och slutsatser	37
	Referenser	39

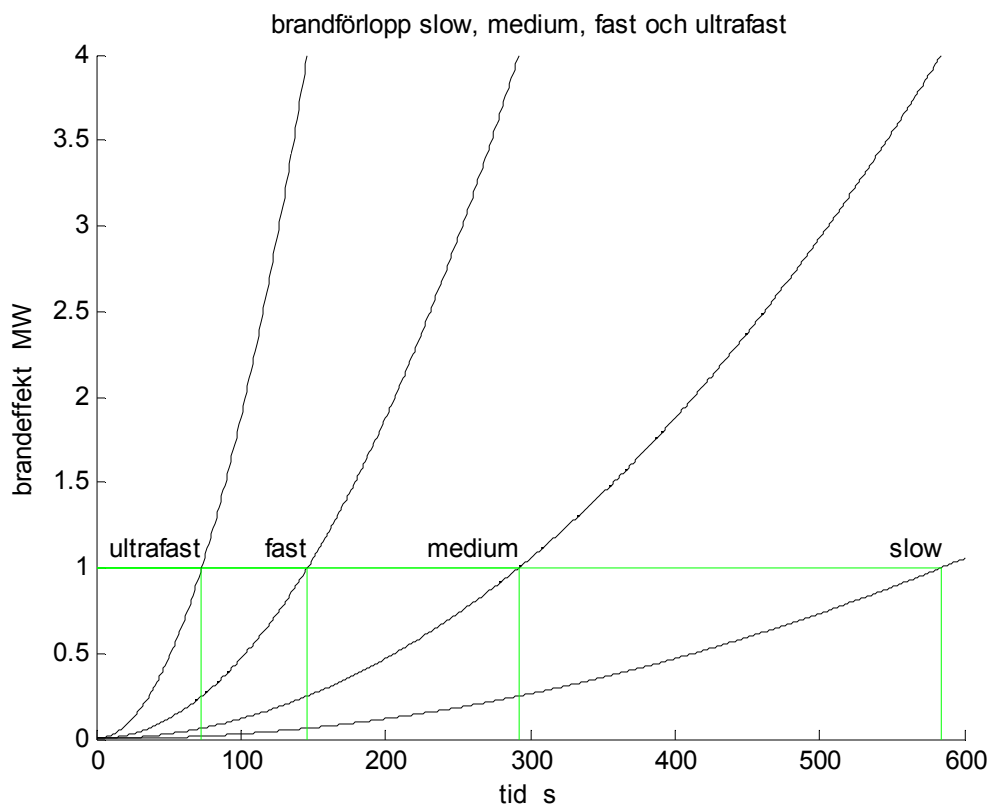
1 Inledning och problemställning

Syftet med denna arbetsrapport är att med CFD-beräkningar med FDS undersöka hur största brandflöde beror på rumvolym, rumgeometri, rumutluftning, tillväxthastighet för t^2 -bränder och spridningsvolym. Jämförelse görs även med äldre beräkningsuttryck för dimensionerande brandflöde framräknat med ett tvåzonsprogram DSLAYV beskrivet i Hägglund (1986).

Brandflöde definieras som brandens volymexpansion. Om brandflödet är något större än det normala ventilationsflödet i FT-system sker brandgasspridning via tilluftsystemet bortsett från ett tillkommande läckageflöde från brandrummet till omgivningen.

Brandgasspridning kan inte förhindras helt och det kan därför vara av intresse att undersöka hur mycket största brandflöde påverkas av en given spridningsvolym. Om en viss spridningsvolym tillåts, blir det dimensionerande brandflödet lägre. Det dimensionerande brandflödet är för fallet utan någon spridning lika med det största förekommande brandflödet.

Brandflödet är proportionellt mot brandeffekten. En enkel tumregel är 1 MW brand ger $1 \text{ m}^3/\text{s}$ brandflöde. Brandeffekten för de fyra grundfallen slow, medium, fast och ultrafast redovisas i Figur 1.1, där brandeffekten 1 MW uppnås efter 595, 293, 146 respektive 73 s.



Figur 1.1 Brandtillväxtkurvor för slow, medium, fast och ultrafast.

Hur brandflödet bestäms redovisas i avsnitt 2.

Beräkningsresultat för tre olika rumgeometrier redovisas i avsnitt 3. De tre rumgeometrierna omfattar en serie med fyra rum med längden 3, 6, 9 och 12 m, en serie med fem olika utluftningar för ett kvadratisk rum med sidan 6 m samt en serie med fyra kvadratiska rum med sidan 6, 9, 12 och 15 m. Det totala antalet FDS-beräkningar som används är fyrtyotre.

Enkla modeller för högsta brandflöde anpassas i avsnitt 4 till beräkningsresultat från avsnitt 3. Även en modell för tidpunkten för högsta brandflöde bestäms sist i avsnitt 4.

Beräkningsresultat från FDS-beräkningar i en D-uppsats, Johannes Olofsson (2009), redovisas och undersöks också i avsnitt 4. Rumgeometrier har motsvarat ett patientrum, ett hotellrum samt en mindre och en större lägenhet. Samtliga fyra fall har en toalett och de två lägenheterna har två respektive tre rum.

Hur mycket högsta brandflöde påverkas av en given spridningsvolym redovisas i avsnitt 5 för en de av beräkningsfallen i avsnitt 3.

Hur stor den kalla volymspridningsandelen är, undersöks i avsnitt 6.

Sammanfattning och slutsatser ges i avsnitt 7.

2 Beräkningsmetod

Brandflödet beräknas inte av FDS direkt utan detta har skett med hjälp av en massbalansfil CHID_mass.csv. Massor för O₂, NO₂, CO₂, CO och H₂O och sot samt förbränningshastigheten lagras i varje tidssteg. Hela brandeffekten och dess olika komponenter lagras i en effektfil CHID_hrr.csv.

Samplingsintervallet för de två filerna CHID_hrr.csv och CHID_mass.csv är 1/1000-del av den angivna simuleringstiden.

Massflödet som lämnar beräkningsvolymen fås direkt genom att beräkna tidsderivatan för beräkningsvolymens massa. Brandflödet beräknas genom att bestämma medeldensiteten för beräkningsvolymen, eftersom massa och volym är kända. Beräkningen av brandflödet har skett med en enkel framåtdifferens av brandvolymens massa $m(t)$ på formen:

$$q(t) = V (m(t+dt) - m(t)) / dt \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.1)$$

En möjlig förbättring är att beräkna medelmassan för intervallet $(t, t+dt)$ eller att använda sig av ett symmetrisk intervall $(t-dt, t+dt)$ för att beräkna massflöde och massa.

Medeltemperaturen har också beräknats genom att utnyttja allmänna gaslagen för varje komponent (här som index x), vilket för varje gas ger sambandet:

$$V_x = m_x R T / p M_x \quad (\text{m}^3) \quad (2.2)$$

Summan av alla gasernas delvolymmer skall vara lika med beräkningsvolymen V , vilket ger sambandet:

$$V = \sum V_x = \sum m_x R T / p M_x = (RT/p) \sum m_x / M_x \quad (\text{m}^3) \quad (2.3)$$

Den sökta temperaturen T kan lösas ut från (2.2). En förenkling är att antaga att hela gasmassan är luft med $M = 28.97$ kg/kmol. Den sökta temperaturen beräknas direkt som:

$$T = p V M / m R \quad (\text{K}) \quad (2.4)$$

Det absoluta trycket antas vara konstant. Beräkningar har skett med en öppning med en storlek av en beräkningsmodul med sidan 0.2 m. Ett utflöde och brandflöde av 2 m³/s sker med en hastighet av 50 m/s över öppningsytan om 0.04 m² under förutsättning att kontraktionen försummas. Om densiteten är 0.6 kg/m³ vid 313 °C (586 K) fås tryckskillnaden som tryckfallet för fri utströmning till 750 Pa. Detta värde är den tryckökning som sker i brandvolymen. Denna ökning skall jämföras med den normala absoluta trycket över 100 000 Pa.

En enkel form för filtrering har använts för att ta bort inverkan av förbränningens slumpmässighet över kort tid. Detta har gjorts genom att använda ett glidande medelvärde med ett tidsfönster om 10 s.

Antalet tidpunkter i de två använda FDS-filerna är alltid 1000. Detta innebär att för den vanligaste simuleringstiden 300 s 33 värden ingår i ett glidande medelvärde för 10 s.

Tidsintervallet om 0.3 s kan jämföras med beräkningssteget, som i utgångsläget är $5(dx dy dz)^{1/3}/(gh)^{0.5}$, där dx , dy och dz är beräkningsmodulernas storlek, g är jordaccelerationen 9.81 m/s² och h är största höjd inom modellen. Beräkningsmodul har varit 0.2 m, vilket ger ett beräkningssteg om $(gh)^{-0.5}$ och med rumshöjden 2.6 m fås 0.2 s.

Beskrivningsfilen gmax06342.txt för FDS för ett fall 24 med ett kvadratisk rum med insidan 6 m och höjden 2.6 m, utluftning på halva rumshöjden och brandfall fast redovisas nedan.

Det som skiljer gentemot övriga fall är rumsgeometrin, utluftningens höjd, brandyta, specifik brandeffekt MW/m² med parametern HRRPUA, tiden till begränsad brandeffekt med parametern TAO_Q och den totala simuleringstiden med parametern TWFIN.

```
&HEAD CHID='gmax06343', TITLE=' Rum 6 m 6 m 2.6 m 0.2 m fast 4 MW '
```

```
&GRID IBAR=32, JBAR=32, KBAR=15 /
```

```
&PDIM XBAR=6.4, YBAR=6.4, ZBAR=3.0 /
```

```
&TIME TWFIN=300 /
```

```
&MISC DATABASE='c:\nist\fds\database4\database4.data',  
RADIATION=.FALSE., SURF_DEFAULT='CONCRETE'/
```

```
&OBST XB=0.0,6.4, 0.0,0.2, 0.0,3.0, SURF_ID='CONCRETE' / sida
```

```
&OBST XB=0.0,6.4, 6.2,6.4, 0.0,3.0, SURF_ID='CONCRETE' / sida
```

```
&OBST XB=0.0,0.2, 0.2,6.2, 0.0,3.0, SURF_ID='CONCRETE' / sida
```

```
&OBST XB=6.2,6.4, 0.2,6.2, 0.0,3.0, SURF_ID='CONCRETE' / sida
```

```
&OBST XB=0.2,6.2, 0.2,6.2, 0.0,0.2, SURF_ID='CONCRETE' / golv
```

```
&OBST XB=0.2,6.2, 0.2,6.2, 2.8,3.0, SURF_ID='CONCRETE' / tak
```

```
&HOLE XB=6.1,6.5, 1.4,1.6, 1.4,1.6 / öppning en modul
```

```
&VENT XB=6.4,6.4, 1.4,1.6, 1.4,1.6, SURF_ID='OPEN' / öppning en modul
```

```
&SURF ID='FIRE', HRRPUA=1000., TAU_Q=-293 / 1 MW/m2
```

```
&OBST XB=1.0,3.0, 1.0,3.0, 0.2,0.4, SURF_IDS='FIRE','INERT','INERT' / brand 4 m2
```

```
&TAIL /
```

3 Resultat för beräkningsfall

Tre olika rumsgeometrier har använts kombinerat med t^2 -bränder med de fyra brandtillväxthastigheterna slow, medium, fast och ultrafast. Den lägre tillväxthastigheten slow har inte kombinerats med alla rumgeometrier.

Beräkningar har skett med FDS. Alla ytmaterial har varit betong 'CONCRETE'. Beräkningsmodul har varit 0.2 m, vilket ger ett beräkningssteg om $(gh)^{-0.5}$ och med rumshöjden 2.6 m fås 0.2 s. Simuleringstid har genomgående varit 300 s utom för långsamma bränder i stora lokaler.

Branden har varit en standardbrandkälla. Brandytan har varit 1 och 4 m² för fall 1-16 respektive fall 17-43. Den kvadratiske brandytan har varit osymmetriskt placerad nära ett hörn med 1 m till rummets sidor. Den specifika brandeffekten i MW/m² har anpassats för att undvika att brandeffekten begränsas.

Rummets utluftning har varit en modul stor placerad på halva rumshöjden utom för fall 17-31 som har haft utluftning på fem olika nivåer motsvarande 2, 5, 8, 11 och 14 moduler. Modul 8 motsvarar den normala utluftningshöjden.

Antalet beräkningsfall var fyrtiotre totalt och sammanställs nedan i Tabell 3.1 och med hänvisning till sammanställningsdiagram för beräknade brandflöden i Figur 3.1-11. De fyra brandfallen slow, medium, fast och ultrafast anges i Tabell 3.1-5 med siffervärden 1, 2, 3 respektive 4. Tumregeln att 1 MW brandeffekt ger ett brandflöde på 1 m³/s har ritats in i samtliga diagram. Notera att diagramaxeln för brandflödet kan vara 1, 2, 3 eller 4 m³/s.

Tabell 3.1 Beräkningsfalls geometri, brandfall och Figur och Tabell för sammanställning.

fall	längd m	bredd m	höjd m	brandfall	Figur	Tabell
1-16	2.6(3.0)11.6	2.6	2.6	1 2 3 4	3.1-4	3.2
17-31	6.0	6.0	2.6	2 3 4	3.5-7	3.3
32-43	6.0(3.0)15.0	6.0(3.0)15.0	2.6	2 3 4	3.8-11	3.4

Kommentarer fall 1-16 med olika långa rum

Fall 1-16 bygger på fyra olika långa rum 2.6(3)11.6 m med samma tvärsnitt med bredd 2.6 m och höjd 2.6 m kombinerat med de fyra brandtillväxthastigheterna slow, medium, fast och ultrafast.

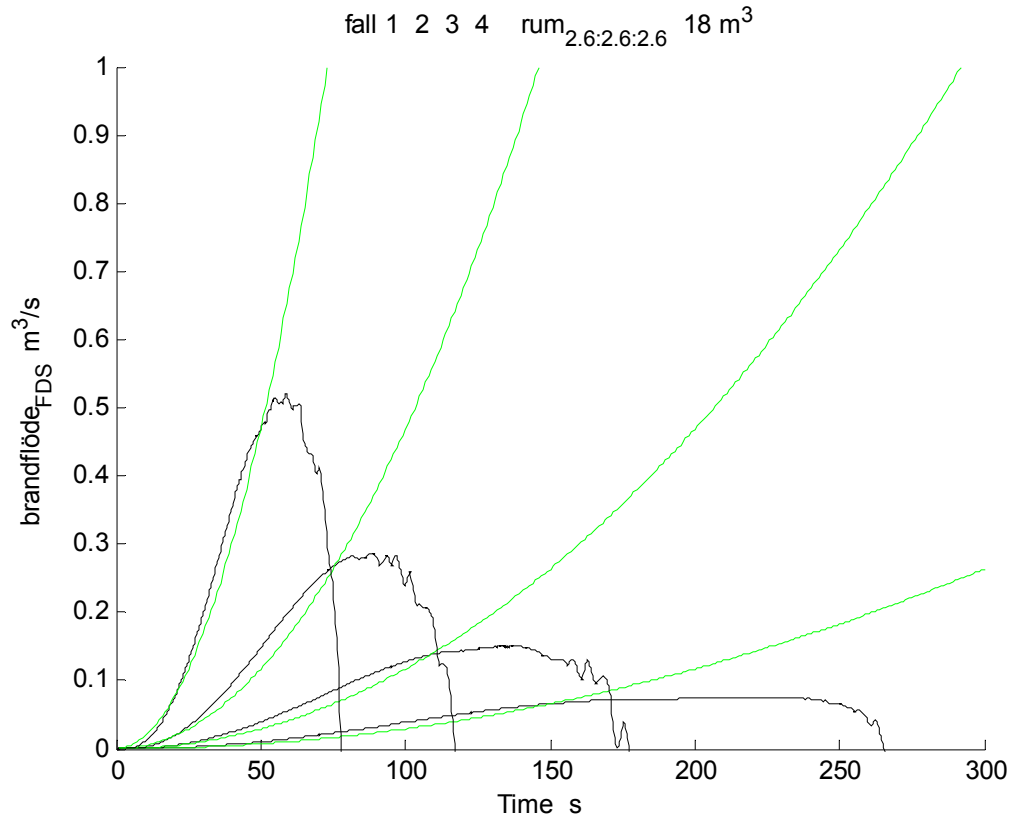
Beräkningsresultatet redovisas i Tabell 3.2 för högsta brandflöde, samtidig brandeffekt, temperatur och tidpunkt. Kvoten mellan brandflöde i m³/s och brandeffekt i MW redovisas också som ett test av tumregeln. Kurvorna i Figur 3.1-4 uppdelade efter rumstorlek visar att brandflödet ökar med både rumstorlek och brandtillväxthastighet.

Kurvorna för tumregelns brandflöde visar att det beräknade brandflödet är något högre under ett inledande skede och därefter lägre. Det största brandflödet inträffar när brandflödet är lägre än tumregelns brandflöde. Det högsta brandflödet ligger under tumregelvärdet utom för fall 4.

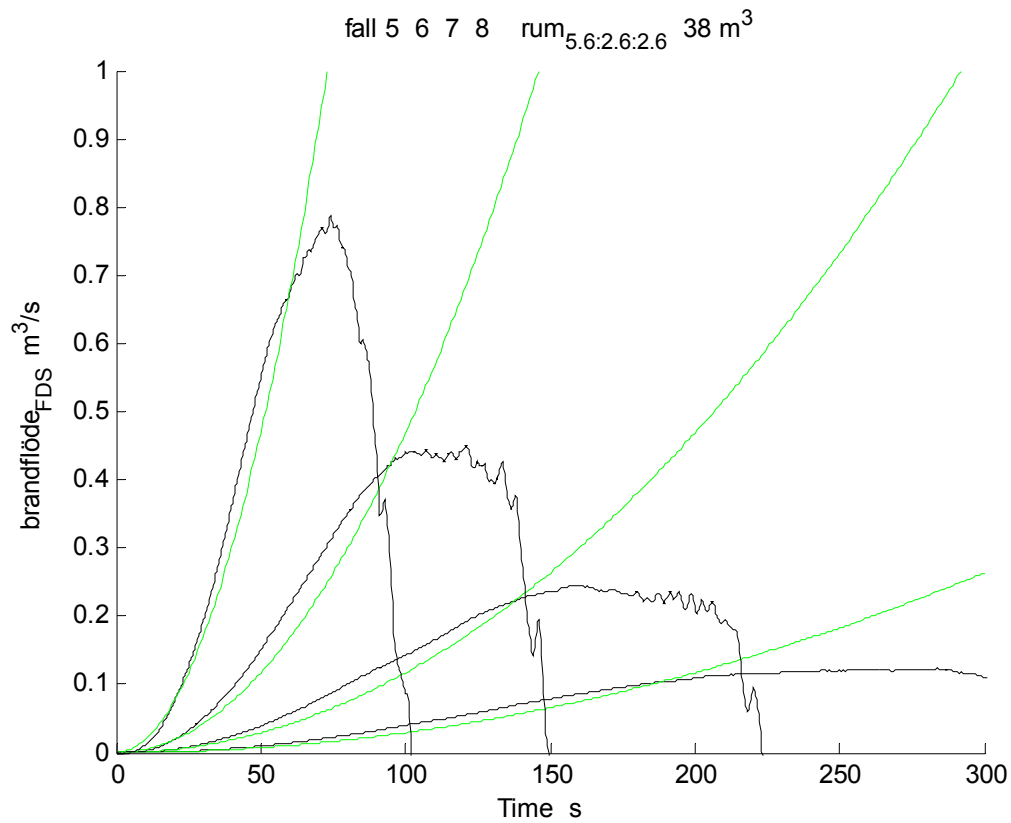
Största brandflöde för fall 5, 9 och 13 med brandtillväxthastigheten slow framgår inte säkert av motsvarande kurva, men simuleringstiden varit 600 s och tidpunkten för högsta brandflöde är lägre än 300 s enligt Tabell 3.2

Tabell 3.2 Största brandflöde och samhörande brandeffekt, temperatur och tidpunkt

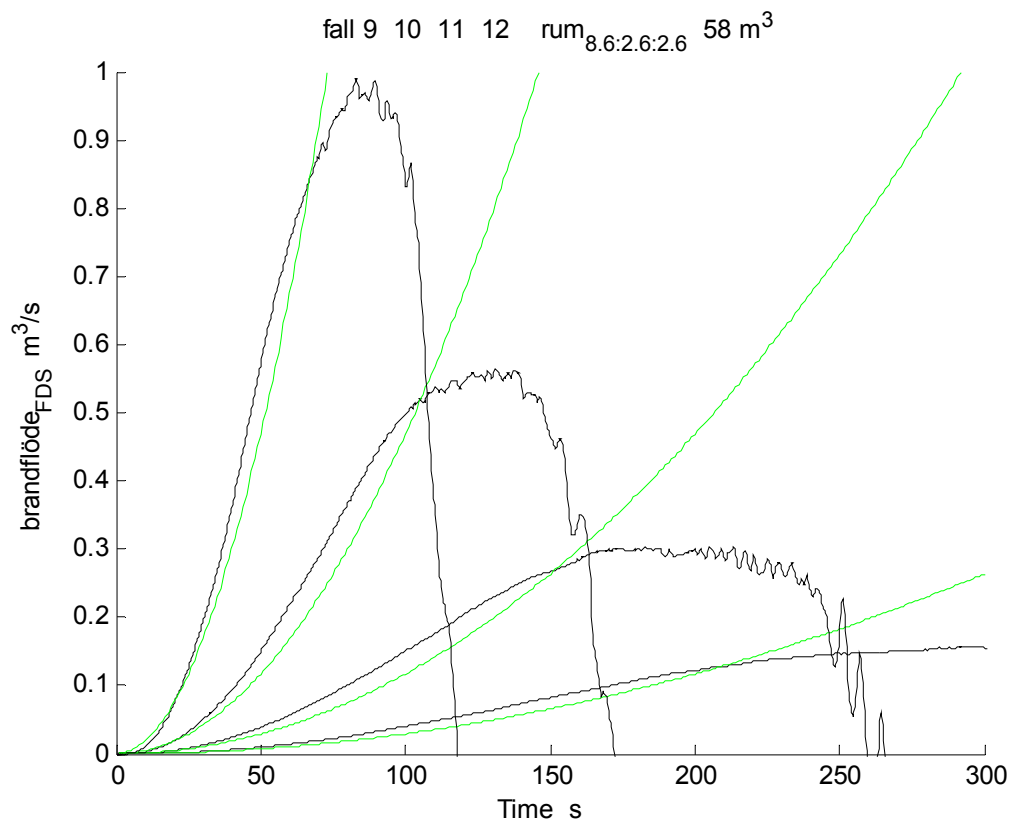
fall	Figur	m ³	α	m ³ /s	MW	-	K	s
1	3.1	18	1	0.075	0.151	0.497	522	233
2	3.1	18	2	0.152	0.207	0.732	535	139
3	3.1	18	3	0.287	0.308	0.931	564	88
4	3.1	18	4	0.520	0.498	1.045	626	59
5	3.2	38	1	0.124	0.228	0.542	491	286
6	3.2	38	2	0.246	0.280	0.878	466	160
7	3.2	38	3	0.450	0.610	0.738	605	121
8	3.2	38	4	0.788	0.840	0.938	581	74
9	3.3	58	1	0.158	0.249	0.633	441	297
10	3.3	58	2	0.304	0.502	0.606	532	214
11	3.3	58	3	0.565	0.726	0.778	542	131
12	3.3	58	4	0.991	1.089	0.910	547	83
13	3.4	78	1	0.184	0.279	0.658	422	297
14	3.4	78	2	0.364	0.532	0.684	484	219
15	3.4	78	3	0.665	0.804	0.827	500	137
16	3.4	78	4	1.133	1.395	0.812	554	94



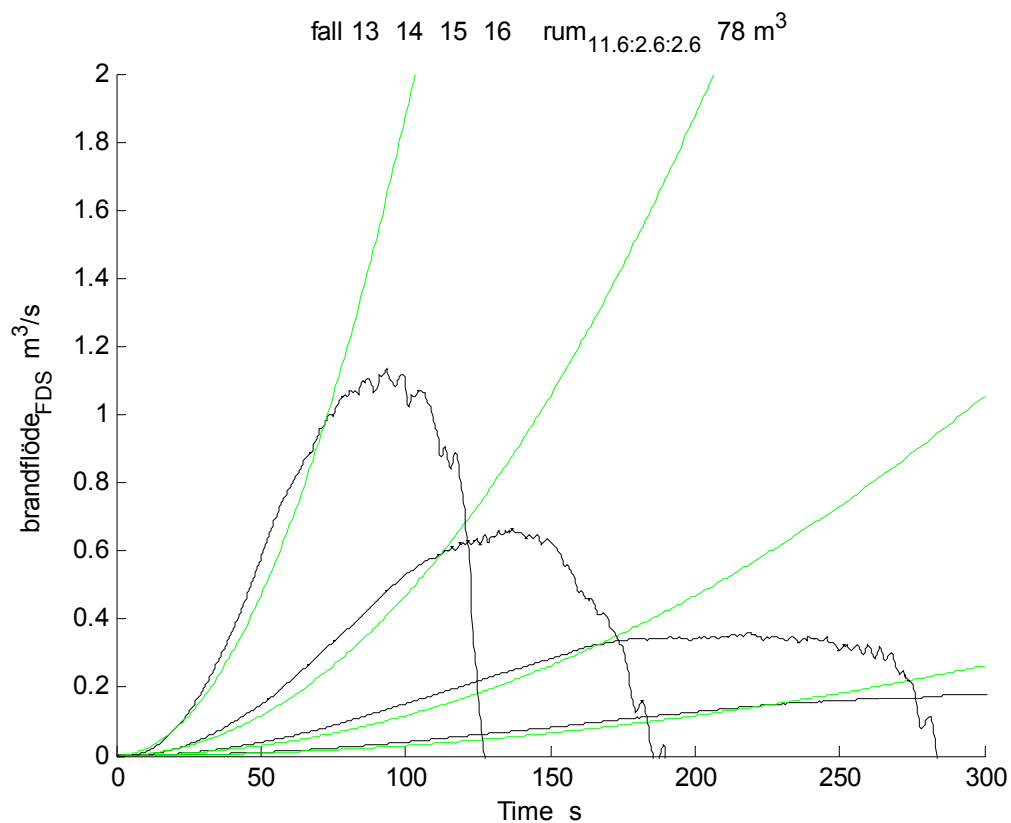
Figur 3.1 Fall 1-4 med rumsvolym 18 m³ och fyra olika brandfall.



Figur 3.2 Fall 5-8 med rumsvolym 38 m³ och fyra olika brandfall.



Figur 3.3 Fall 9-12 med rumsvolym 58 m³ och fyra olika brandfall.



Figur 3.4 Fall 13-16 med rumsvolym 78 m³ och fyra olika brandfall.

Kommentarer fall 17-31 med olika utluftning

Fall 17-31 har alla samma rumsgeometri med längd 6 m, bredd 6 m och höjd 2.6 m, vilket ger en volym om 94 m³. Det som skiljer geometriskt är utluftningens placering i höjddled motsvarande modul 2, 5, 8, 11 och 14 av 15. Modul 8 motsvarar den normala utluftningshöjden för alla beräkningsfall skilt från 17-31.

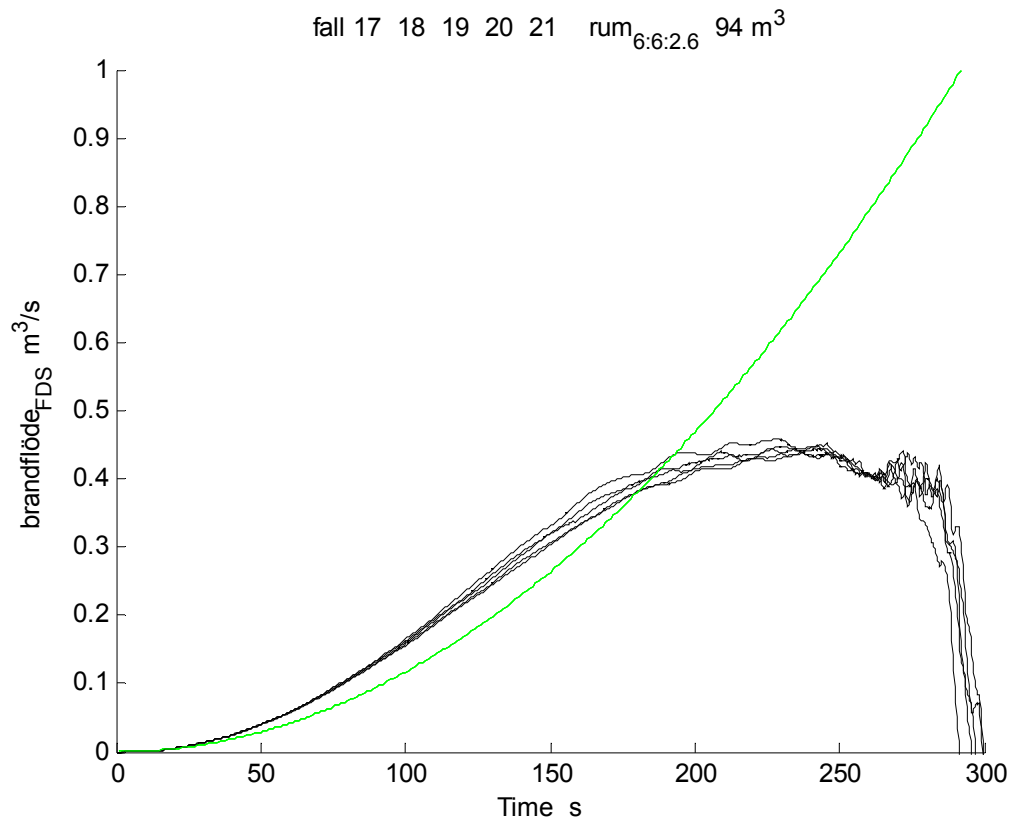
En lågt placerad utluftning medför att brandflödet ut ur rummet utgörs av oförbränd medan en högt placerad utluftning resulterar i motsatsen. Värme-förlusten från rummet blir givetvis större för en högt placerad utluftning, vilket minskar tem-peraturökningen jämfört med fallet med en lågt placerad utluftning.

Beräkningsresultatet redovisas i Tabell 3.3 för högsta brandflöde, samtidig brandeffekt, temperatur och tidpunkt. Kvoten mellan brandflöde i m³/s och brandeffekt i MW redovisas också som ett test av tumregeln. De femton fallen har delats upp efter brandtillväxthastighet, medium, fast och ultrafast, i Figur 3.5, 3.6 respektive 3.7.

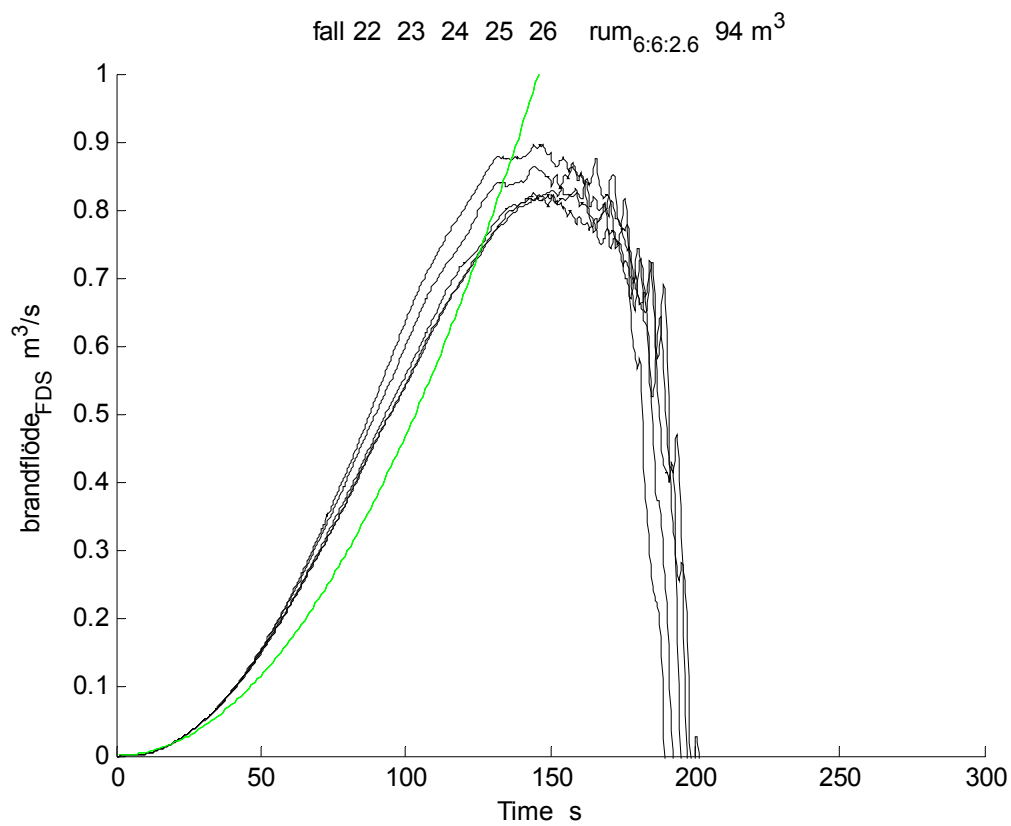
Högsta brandflöde avtar genomgående något med ökande utluftningshöjd för samma brandtillväxthastighet. Förklaring kan vara att temperaturökningen minskar med ökande utluftningshöjd och därmed även brandflödet. Skillnaden i brandflöde för olika utluftning ökar något med ökande brandtillväxthastighet. Det högsta brandflödet ligger genomgående under tumregelvärdet utom för de tre fallen 22, 27 och 28.

Tabell 3.3 Största brandflöde och samhörande brandeffekt, temperatur och tidpunkt

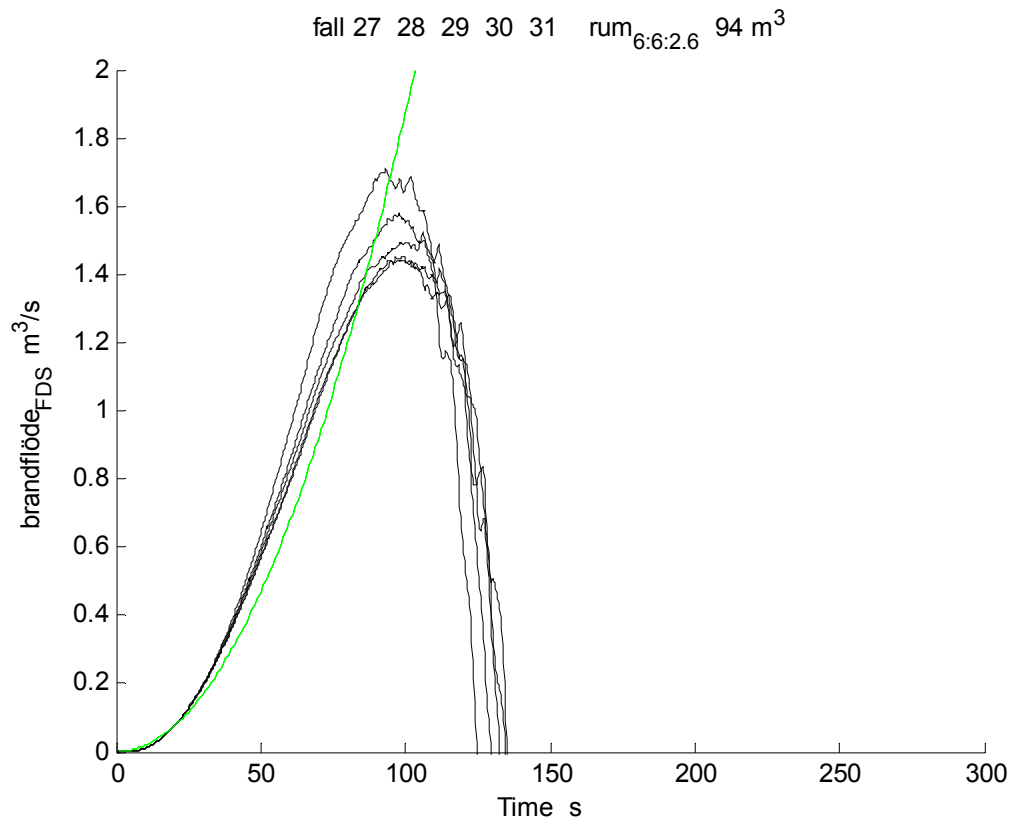
fall	Figur	m ³	α	m ³ /s	MW	-	K	s
17	3.5	94	2	0.460	0.586	0.785	509	229
18	3.5	94	2	0.449	0.655	0.686	532	242
19	3.5	94	2	0.444	0.617	0.719	505	235
20	3.5	94	2	0.437	0.674	0.649	528	245
21	3.5	94	2	0.447	0.597	0.750	502	231
22	3.6	94	3	0.896	0.892	1.005	543	144
23	3.6	94	3	0.876	1.178	0.744	643	166
24	3.6	94	3	0.842	1.134	0.742	601	162
25	3.6	94	3	0.825	0.899	0.917	509	144
26	3.6	94	3	0.827	1.090	0.758	578	159
27	3.7	94	4	1.711	1.427	1.199	588	93
28	3.7	94	4	1.579	1.552	1.017	597	98
29	3.7	94	4	1.519	1.809	0.840	660	106
30	3.7	94	4	1.455	1.619	0.899	580	99
31	3.7	94	4	1.446	1.574	0.919	564	98



Figur 3.5 Fall 17-21 med rumsvolym 94 m³, brandfall medium och fem utluftningsnivåer.



Figur 3.6 Fall 22-26 med rumsvolym 94 m³, brandfall fast och fem utluftningsnivåer.



Figur 3.7 Fall 27-31 med rumsvolym 94 m³, brandfall ultrafast och fem utluftningsnivåer.

Kommentarer fall 32-43 med olika kvadratiska rum

Fall 32-43 är kombinationer mellan brandtillväxthastighet medium, fast och ultrafast och kvadratiska rum med sidan 6, 9, 12 och 15 m och höjden 2.6 m, vilket ger en rumvolym om 94, 211, 374 respektive 585 m³.

Beräkningsresultatet redovisas i Tabell 3.4 för högsta brandflöde, samtidig brandeffekt, temperatur och tidpunkt. Kvoten mellan brandflöde i m³/s och brandeffekt i MW redovisas också som ett test av tumregeln. De tolv fallen har delats upp efter rumstorlek i Figur 3.8, 3.9, 3.10 respektive 3.11.

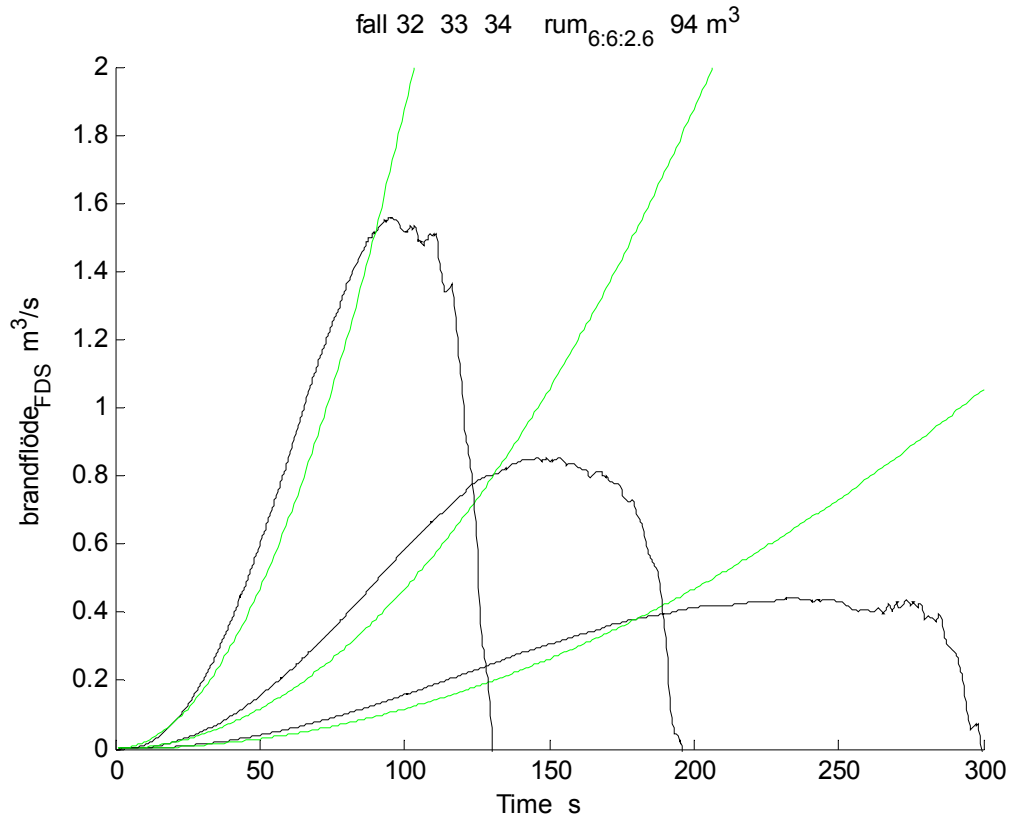
De tre olika brandtillväxthastigheterna, vars parameter ökar med en faktor 4 för varje högre klass, resulterar i att brandflödet fördubblas för varje högre klass.

De fyra rumsvolymererna resulterar att brandflödet ökar förenklat med kvadratroten på rumvolymen. En enkel jämförelse är mellan fall 32-34 och fall 38-40, vars volymer är 94 respektive 374 m³ och förhåller sig som 1:4. Kvoterna mellan de tre brandflödesparen kan skrivas som avrundat till 1:2.1, 1;2.1 och 1:2.0.

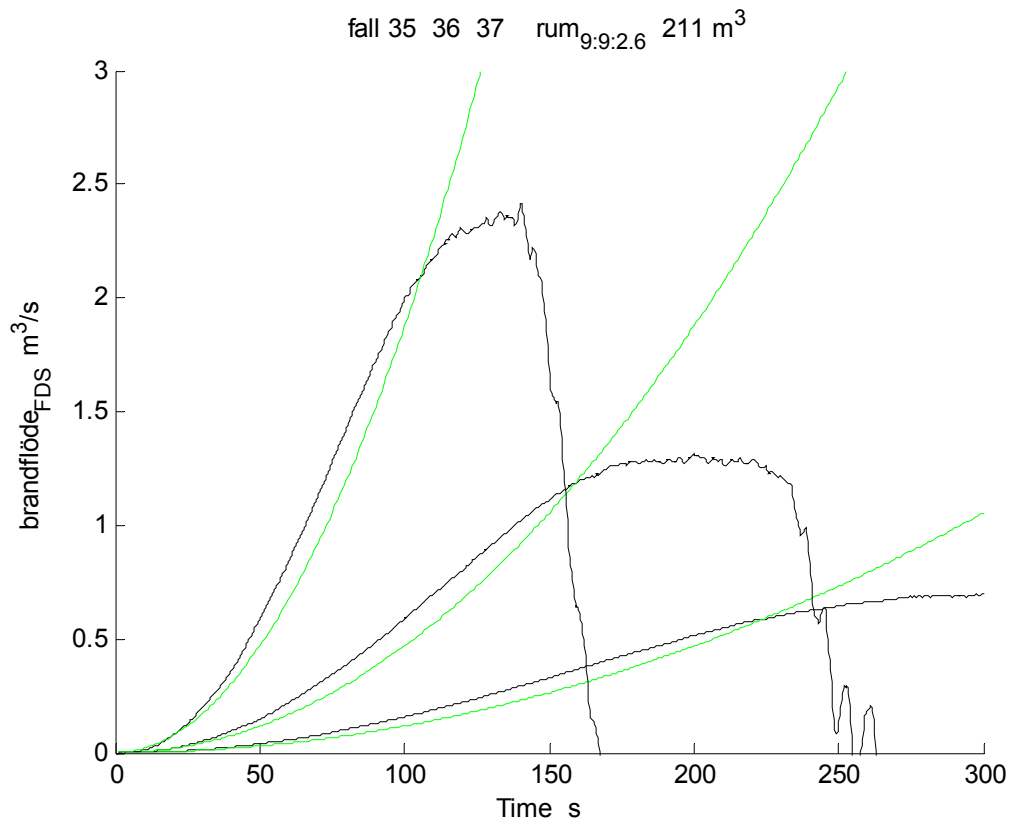
Det högsta brandflödet ligger under tumregelvärdet utom för fall 34.

Tabell 3.4 Största brandflöde och samhörande brandeffekt, temperatur och tidpunkt

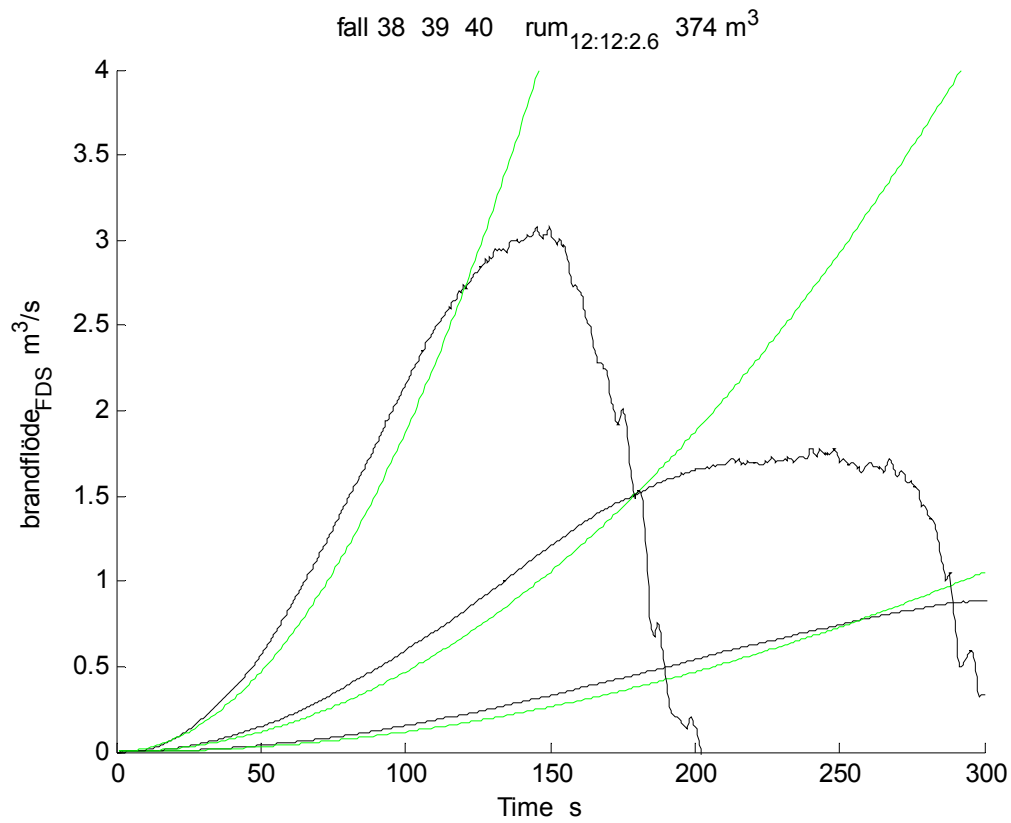
fall	Figur	m ³	α	m ³ /s	MW	-	K	s
32	3.8	94	2	0.444	0.617	0.719	505	235
33	3.8	94	3	0.856	1.013	0.845	570	154
34	3.8	94	4	1.562	1.460	1.069	568	95
35	3.9	211	2	0.704	1.013	0.638	498	313
36	3.9	211	3	1.314	1.755	0.748	533	200
37	3.9	211	4	2.413	3.272	0.738	643	140
38	3.10	374	2	0.948	1.572	0.603	474	372
39	3.10	374	3	1.784	2.551	0.699	509	240
40	3.10	374	4	3.075	3.583	0.858	500	145
41	3.11	585	2	1.118	2.682	0.443	511	486
42	3.11	585	3	2.175	3.090	0.704	465	263
43	3.11	585	4	3.906	6.191	0.631	564	192



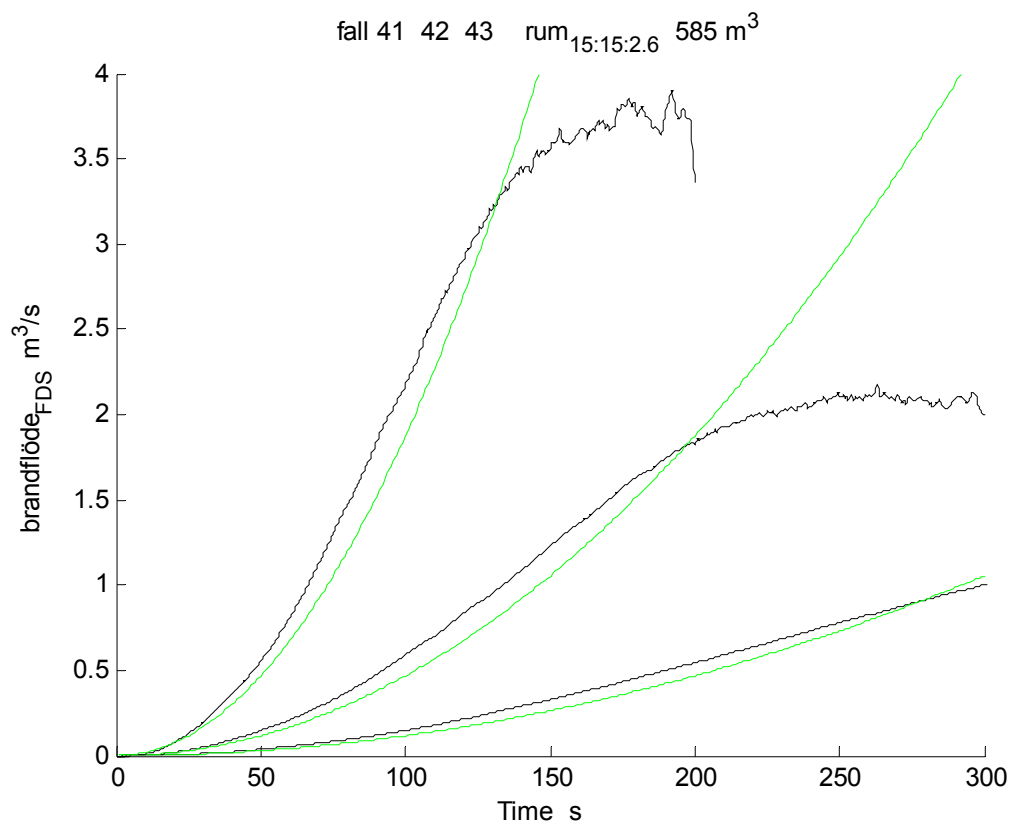
Figur 3.8 Fall 32-34 med rumsvolym 94 m³ och tre brandfall, medium fast och ultrafast.



Figur 3.9 Fall 35-37 med rumsvolym 211 m³ och tre brandfall, medium fast och ultrafast.



Figur 3.10 Fall 32-34 med rumsvolym 374 m³ och tre brandfall, medium fast och ultrafast.



Figur 3.11 Fall 32-34 med rumsvolym 585 m³ och tre brandfall, medium fast och ultrafast.

4 Modeller för högsta brandflöde och tid

Modeller för största brandflöde och tid till högsta brandflöde undersöks och jämförs i detta avsnitt. Alla modeller kan skrivas på formen:

$$q = a V^b \alpha^c \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4.1)$$

Modellparametrarna a , b och c och rotmedelkvadratfel redovisas i Tabell 4.1 nedan för sex modeller. Modell 1, 4, 5 och 6 har anpassats till data från beräkningar med FDS, medan modell 2 och 3 har anpassats till beräkningar med DSLAYV, en enkel tvåzonsmodell.

Den första modellen använder sig av linjär regression för att bestämma de tre modellparametrarna a , b och c genom att logaritmera (4.1), vilket ger en linjär modell att bestämma med linjär regression. Det redovisade rotmedelstelet beräknas för modellen enligt (4.1) och inte för den logaritmerade modellen. Detta förklarar varför modell 2 och 3 anpassade på andra data kan ge ett bättre resultat än modell 1 anpassad till dessa data. Modellerna 4 och 5 med endast en fri parameter är också bättre än modell 1. Modell 6 är givetvis bäst, eftersom den har tre fria parametrar och minimerar just rotmedelkvadratfelet direkt med funktionsminimering.

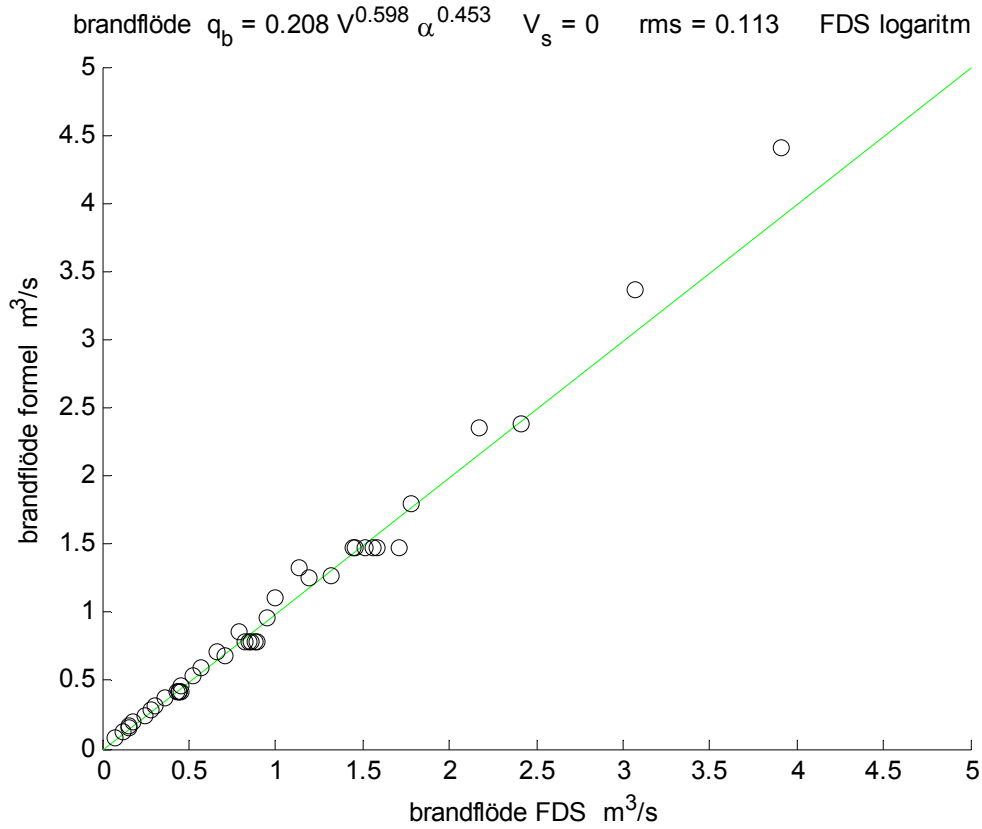
Hur väl de olika modeller beskriver mätdata från FDS redovisas i Figur 4.1-6 för de sex modellerna. Skillnaderna är relativt små mellan de olika modellerna bortsett från modell 5 som bygger på en enkel modell för t^2 -bränder och utan värmeförluster.

Notera att det finns tre horisontella följder av fem ringar för fallen med fem olika utluftningar, vilka ger samma beräknade brandflöde, eftersom rumvolym och brandtillväxthastighet är lika.

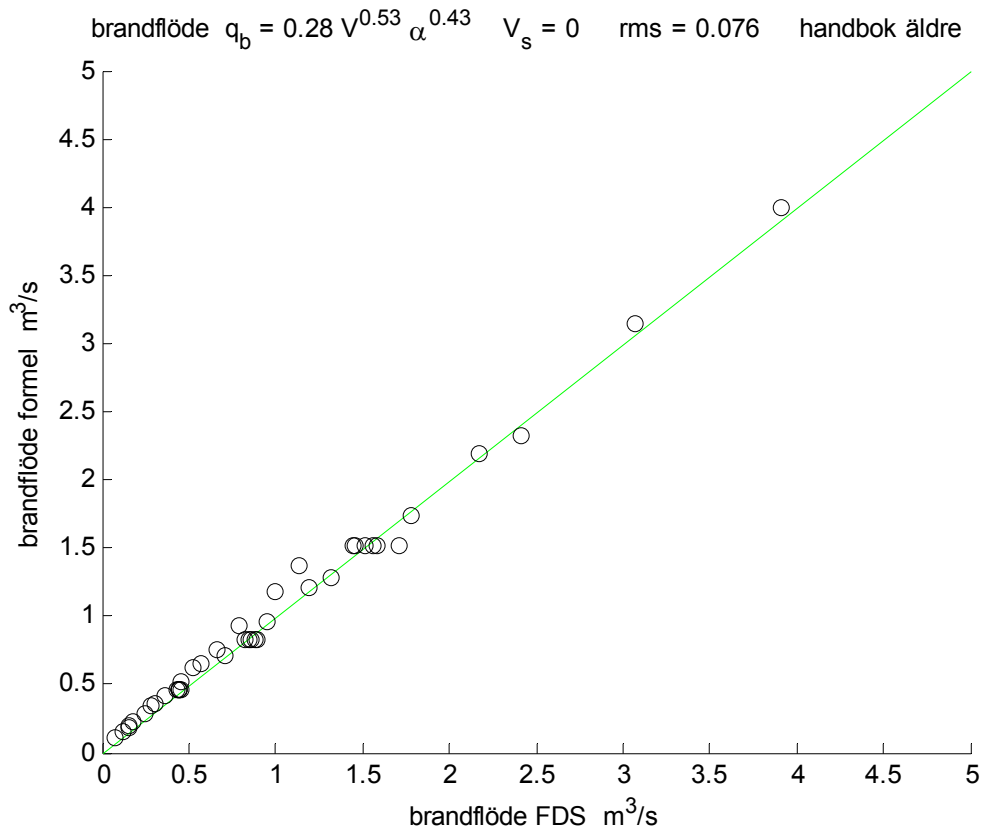
Tabell 4.1 Modellparametrar a , b och c samt rotmedelkvadratfel för sex olika modeller.

modell	Figur	a	b	c	rms m^3/s	
1	FDS logaritm	4.1	0.208	0.598	0.453	0.113
2	Handbok äldre	4.2	0.280	0.530	0.430	0.076
3	Handbok yngre	4.3	0.253	0.546	0.414	0.087
4	Kvadratrot	4.4	0.376	0.500	0.500	0.112
5	Teori t^2 -brand	4.5	0.103	0.667	0.333	0.185
6	FDS direkt	4.6	0.259	0.542	0.430	0.073

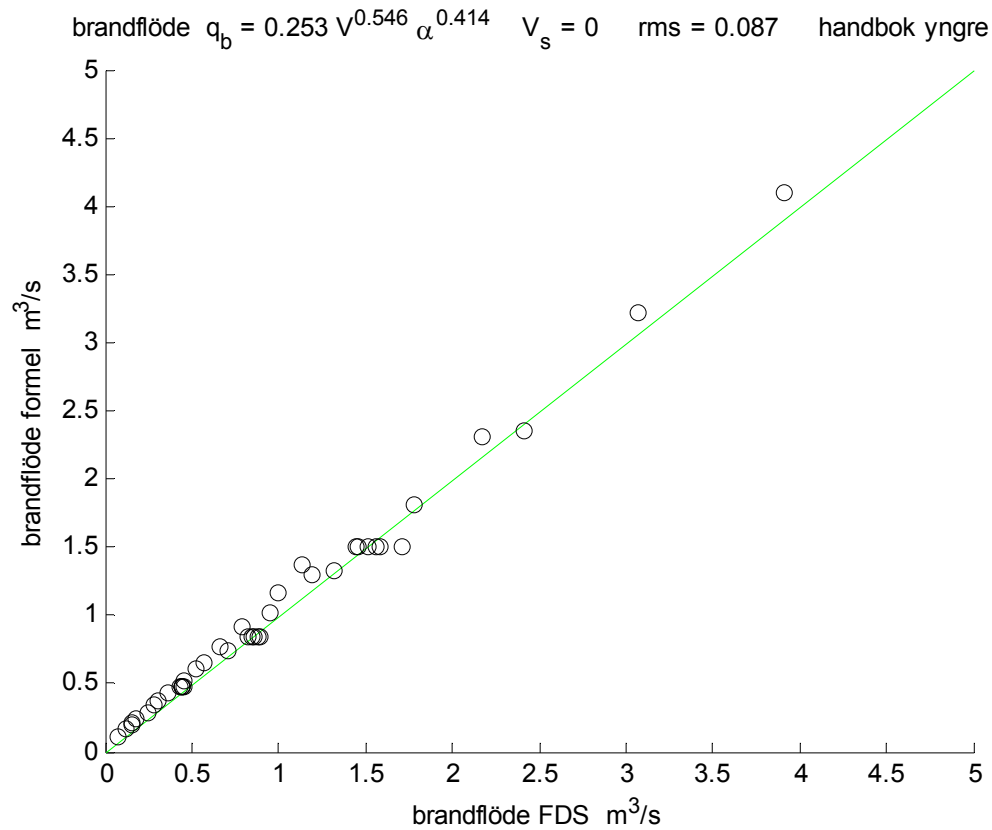
En slutsats, som kan dras för de redovisade modellerna i Tabell 4.1, är att modell 2 den äldre formeln från handboken som bygger på beräkningar med ett tvåzonsprogram DSLAYV ger ett mycket bra resultat. Vinsten med att använda modell 6 är obetydlig.



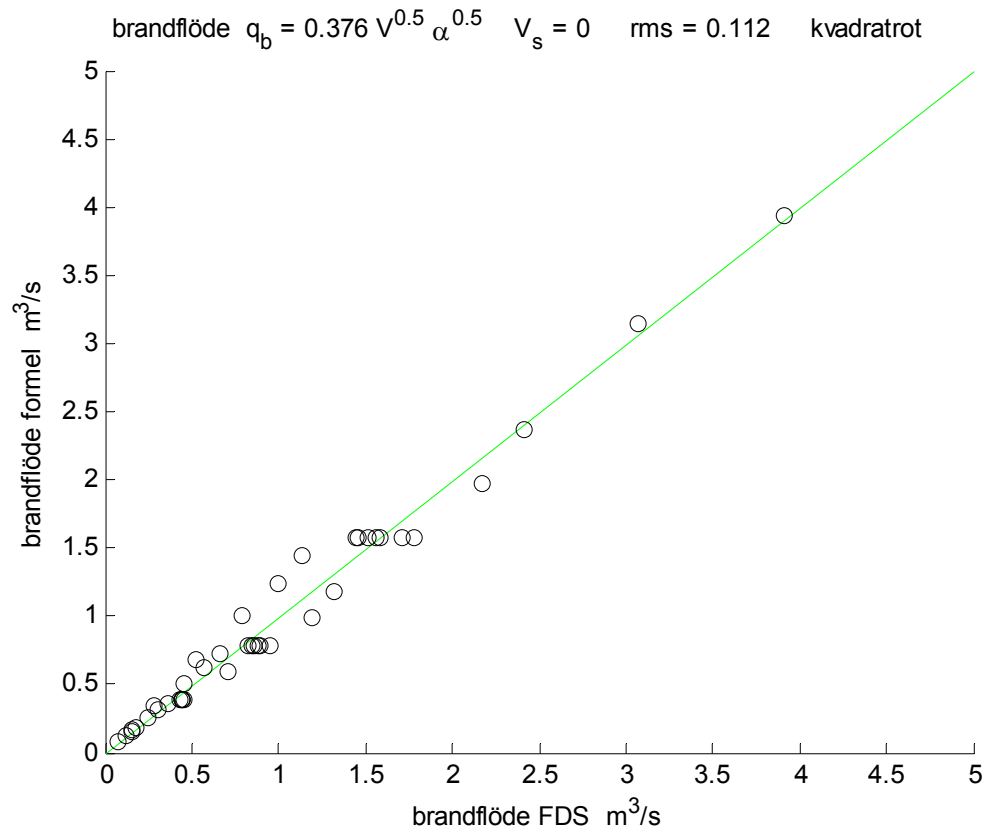
Figur 4.1 Beräknat brandflöde för modell 1 som funktion av brandflöde enligt FDS.



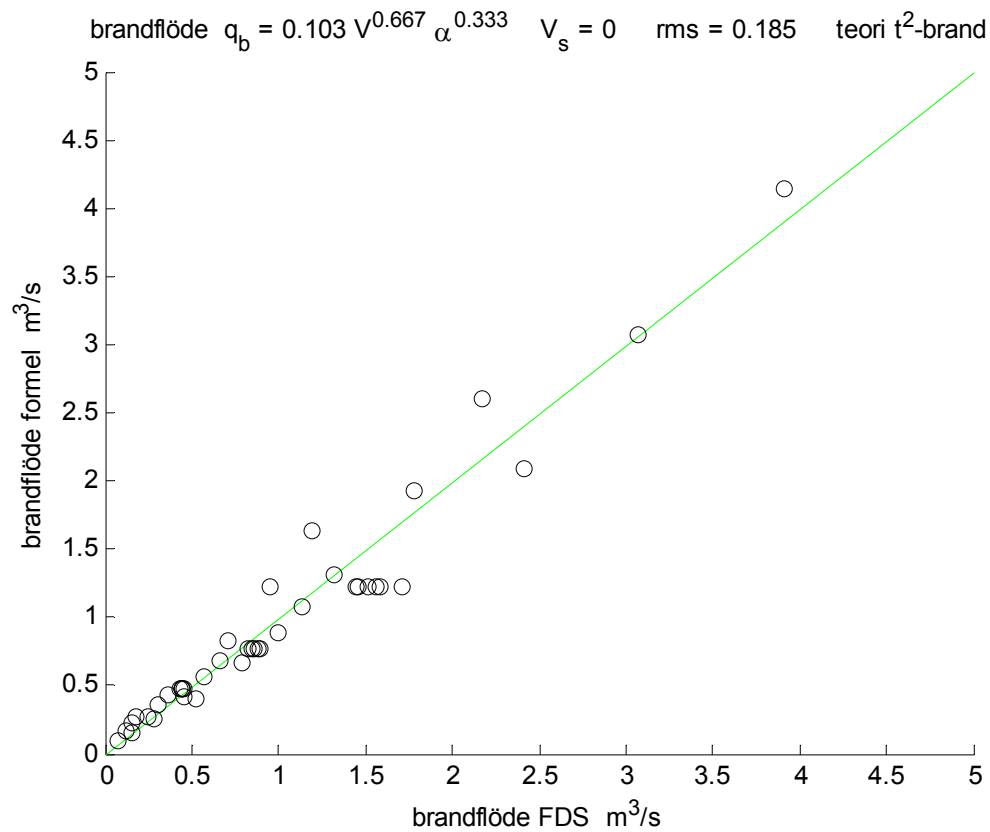
Figur 4.2 Beräknat brandflöde för modell 2 som funktion av brandflöde enligt FDS.



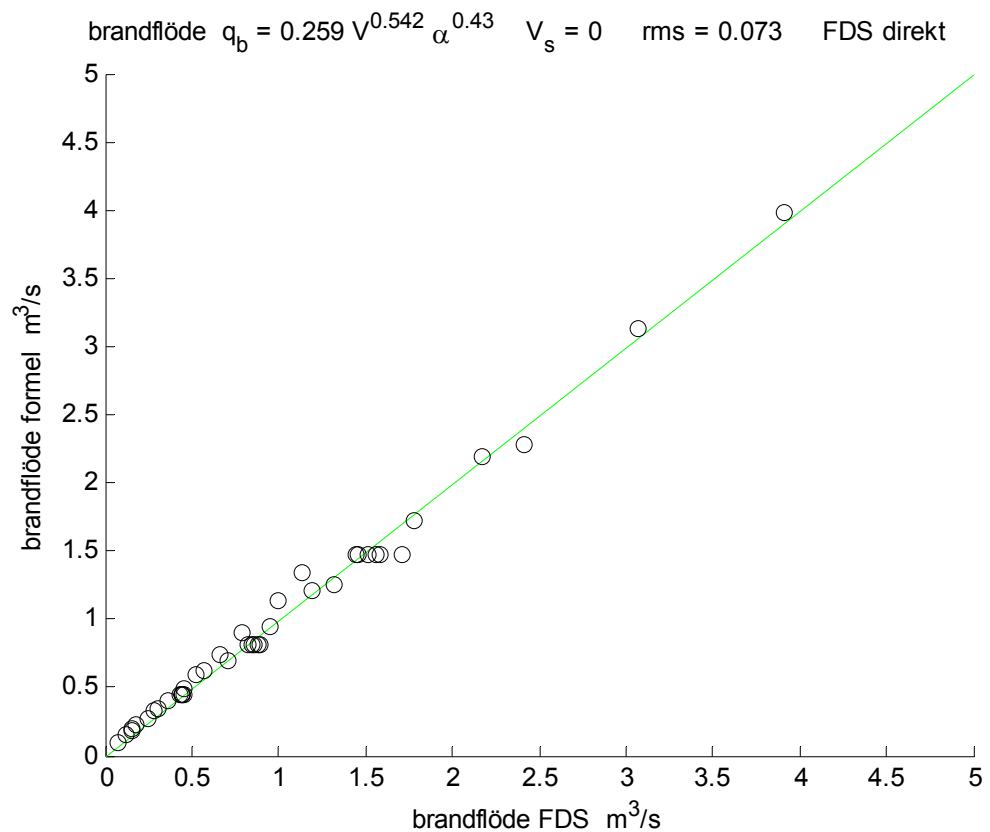
Figur 4.3 Beräknat brandflöde för modell 3 som funktion av brandflöde enligt FDS.



Figur 4.4 Beräknat brandflöde för modell 4 som funktion av brandflöde enligt FDS.



Figur 4.5 Beräknat brandflöde för modell 5 som funktion av brandflöde enligt FDS.



Figur 4.6 Beräknat brandflöde för modell 6 som funktion av brandflöde enligt FDS.

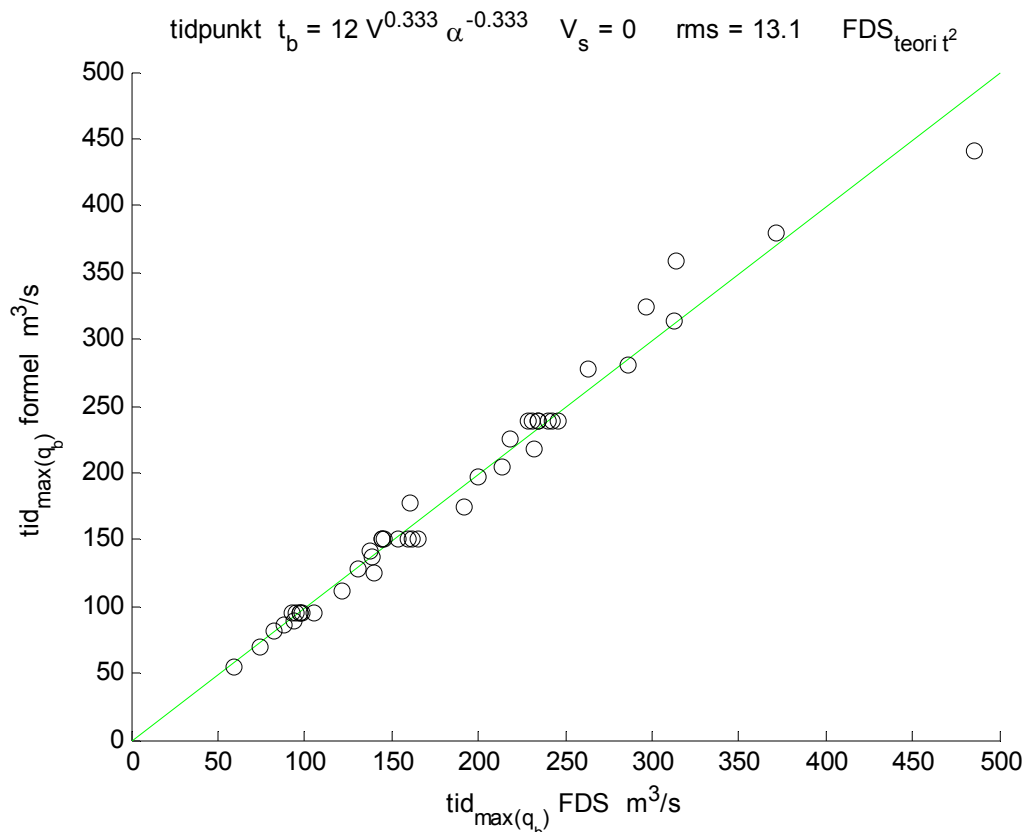
De använda t^2 -bränderna har varit utan en övre effektgräns, vilket kan vara orealistiskt i en del fall. Om brandeffekten är begränsad, kan detta kontrolleras genom att bestämma ett samband för när i tiden som högsta brandflöde inträffar. Tiden till högsta brandflöde är också av intresse om fönstersprängning hinner inträffa eller inte. Om tiden är för kort till fönstersprängning, måste högsta brandflöde beaktas annars blir högsta brandflöde lägre. Tiden till högsta brandflöde kan skrivas på samma form som (4.1) och enligt enkel teori för t^2 -bränder gäller att parametrarna b och c är lika med $1/3$ respektive $-1/3$.

$$t = a V^b \alpha^c \quad (s) \quad (4.2)$$

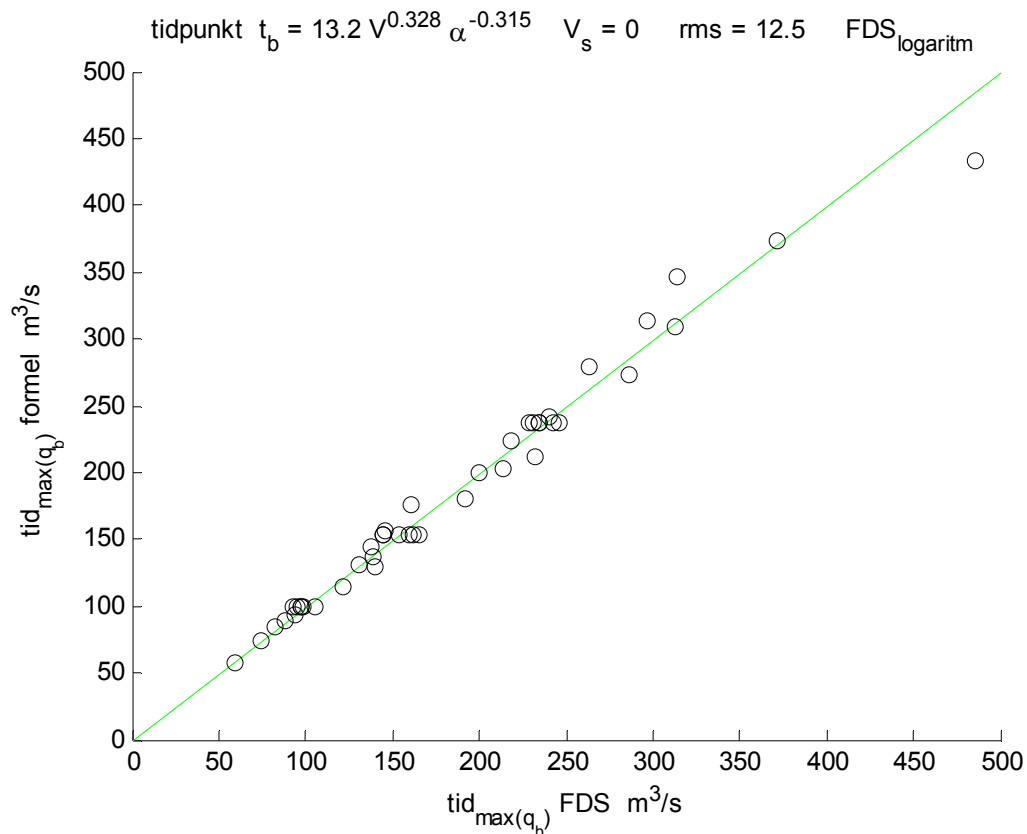
Modellparametrarna a , b och c och rotmedelkvadratfel redovisas i Tabell 4.2 nedan för de tre modeller 7-9. Endast parametern a bestäms för modell 7. Parametrarna för modell 8 och 9 bestäms med logaritmering och linjär regression respektive direkt funktionsminimering. Rotmedelkvadratfelet beräknas för icke logaritmerade värden för modell 8 för att kunna jämföras med modell 7 och 9. Slutsatsen är att modellparametrarna för modellerna 7, 8 och 9 är ytterst lika. Modell 7 med endast en fri parameter a är fullt tillräcklig.

Tabell 4.2 Modellparametrar a , b och c samt rotmedelkvadratfel för tre olika modeller.

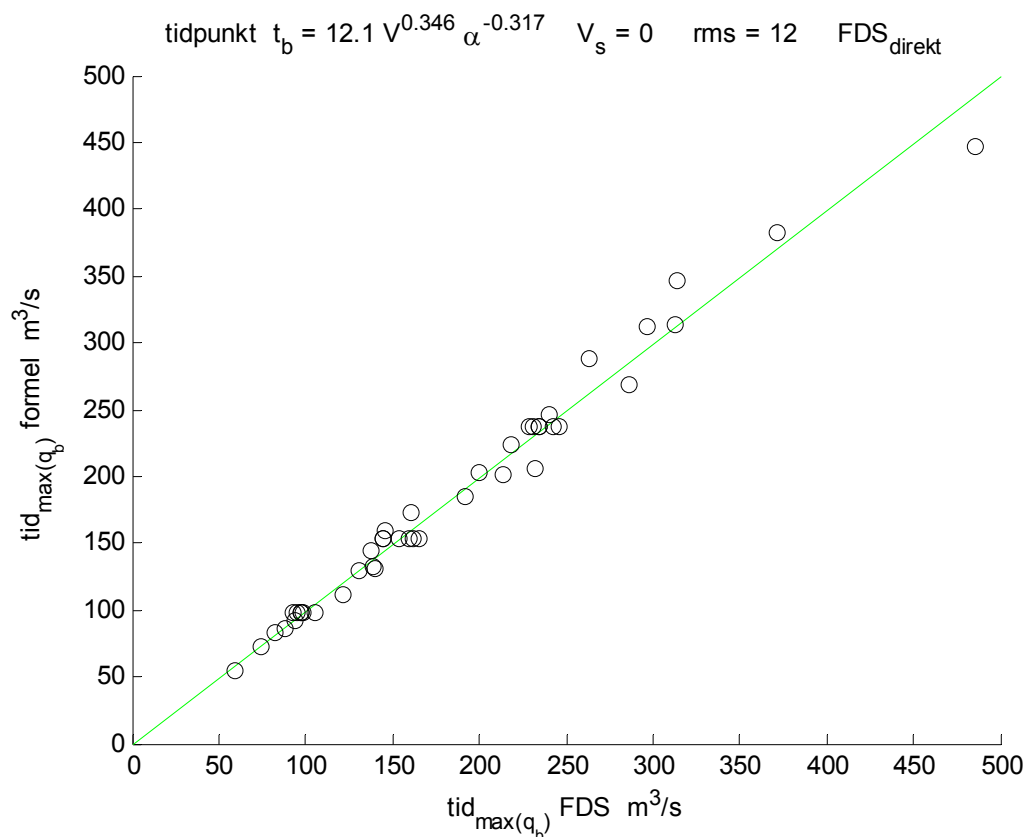
modell	Figur	a	b	c	rms s
7	FDS teori t^2	12.0	0.333	-0.333	13.1
8	FDS logaritm	13.2	0.328	-0.315	12.5
9	FDS direkt	12.1	0.346	-0.317	12.0



Figur 4.7 Tid till högsta brandflöde enligt modell 7 som funktion av tid enligt FDS.



Figur 4.8 Tid till högsta brandflöde enligt modell 8 som funktion av tid enligt FDS.



Figur 4.9 Tid till högsta brandflöde enligt modell 9 som funktion av tid enligt FDS.

I en D-uppsats 2009:110 av Johannes Olofsson redovisas högsta brandflöde för FDS-beräkningar av tolv olika fall. Arbetet har genomförts vid Luleå tekniska universitet.

Högsta brandflöde redovisas i Tabell 4.4 för tolv beräkningar, vilka är kombinationer av fyra olika rumgeometrier med 20, 40, 60 respektive 100 m² bruttogolvyta och tre brandtillväxthastigheter medium, fast och ultrafast. Rumshöjden är 2.5 m. Nettovolymen är 47, 97, 144 och 241 m³ för de fyra rumfallen efter reduktion för olika innerväggar. Ett toaletterum har ingått i samtliga fyra modeller.

Tabell 4.4 Högsta brandflöde för tolv fall beräknat med FDS från Johannes Olofsson (2009)

beskrivning	antal rum	bruttoyta m ²	nettovolym m ³	medium m ³ /s	fast m ³ /s	ultrafast m ³ /s
patientrum	1	20	47	0.217	0.392	0.842
hotellrum	1	40	97	0.312	0.614	1.136
mindre lägenhet	2	60	144	0.373	0.699	1.241
större lägenhet	3	100	241	0.471	0.875	1.527

Anpassning till FDS-data har skett med hjälp av logaritmering och linjär regression samt direkt funktionsminimering till samma beräkningsuttryck för brandflödet enligt (4.1). Resultatet redovisas i Tabell 4.5. De två modellernas högsta brandflöde redovisas som funktion av brandflödet enligt FDS i Figur 4.10 och 4.11.

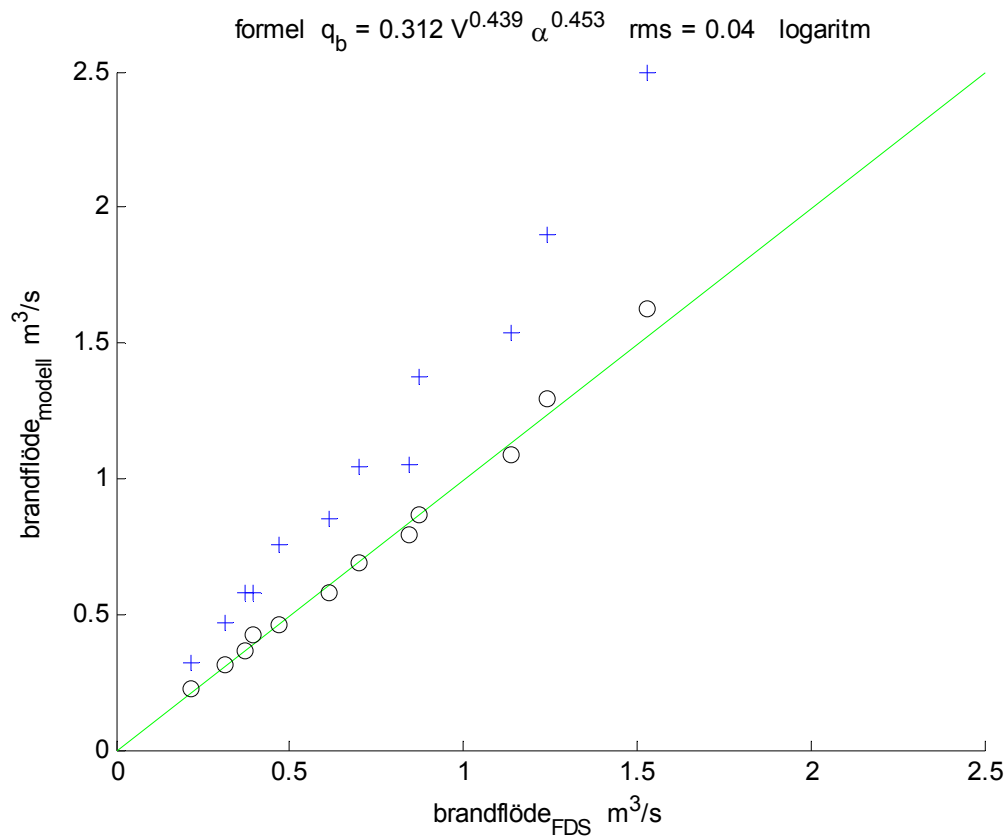
Tabell 4.5 Modellparametrar a , b och c samt rotmedelkvadratfel för två modeller.

modell	Figur	a	b	c	rms m ³ /s
10 FDS logaritm	4.10	0.312	0.439	0.453	0.040
11 FDS direkt	4.11	0.392	0.384	0.438	0.028

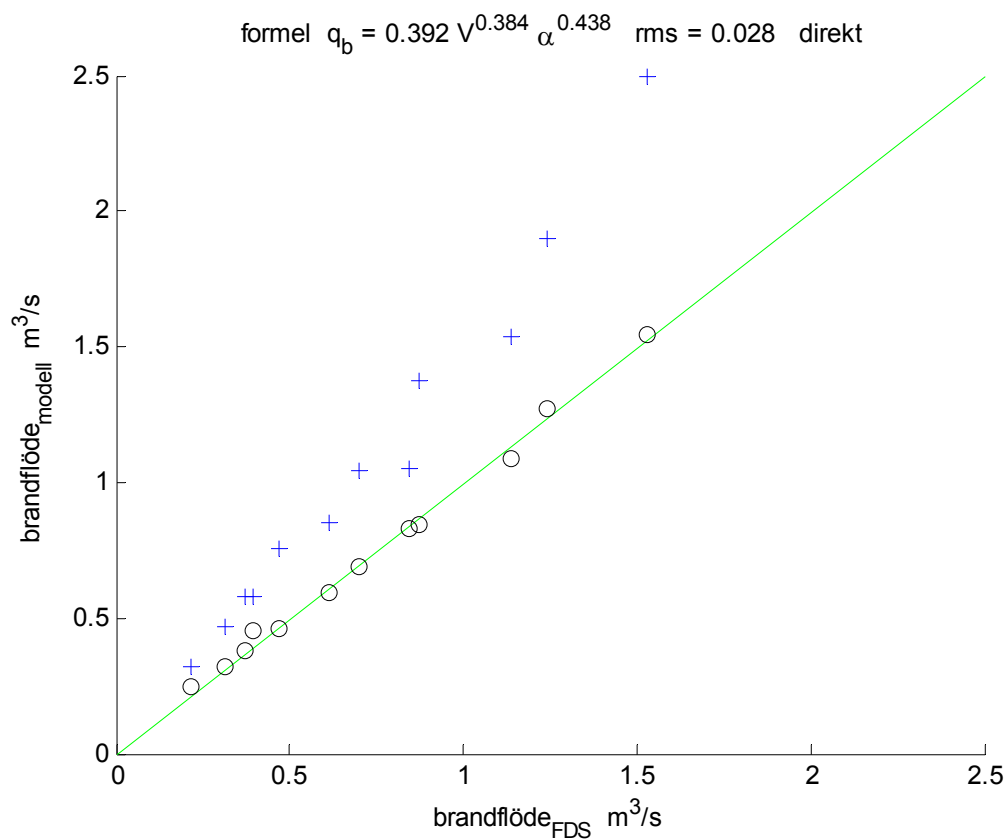
En enkel jämförelse av ett befintligt beräkningsuttryck från handboken enligt (4.1) och modell 2 redovisas med + plustecken i både Figur 4.10 och 4.11. Avvikelse är stora jämfört med de tidigare FDS-beräkningar som undersökts i detta avsnitt. Rotmedelkvadratfelet är 0.412 och 427 för modell 10 respektive 11 och FDS-beräknade högsta brandflöden enligt Tabell 4.4.

En enkel direkt jämförelse kan göras mellan modellfall 17-31 som avser ett rum med volymen 94 m³ enligt Tabell 3.3 jämförbart med hotellrummet med volymen 97 m³ enligt Tabell 4.4. Medelflödet för fall 17-31 uppdelat efter brandtillväxthastighet är 0.447, 0.853 och 1.542 m³/s mot motsvarande värde från D-uppsatsen är 0.312, 0.614 respektive 1.136 m³/s.

Kvoterna mellan de två FDS-beräkningarnas brandflöden blir 1.43, 1.39 och 1.36 för de tre brandtill-växthastigheterna medium, fast respektive ultrafast. Avvikelsen är stor. Vad den stora skillnaden beror på har ännu inte kunnat klargöras.



Figur 4.10 Beräknat brandflöde för modell 10 o och äldre formel + som funktion av FDS dito.



Figur 4.11 Beräknat brandflöde för modell 11 o och äldre formel + som funktion av FDS dito.

5 Brandflöde för given spridningsvolym

Spridningsvolymens storlek har betydelse för förhållanden i den mottagande volymen. Om överföring sker under en förhållandevis kort tid i förhållande till den normala ventilationens luftomsättning och antagande om fullständig omblandning, kan föroreningsnivån i den mottagande volymen relativt den i brandrummet beräknas som kvoten mellan spridd volym och mottagande volym. Den totala kalla spridningsvolymen redovisas i nästa avsnitt 6.

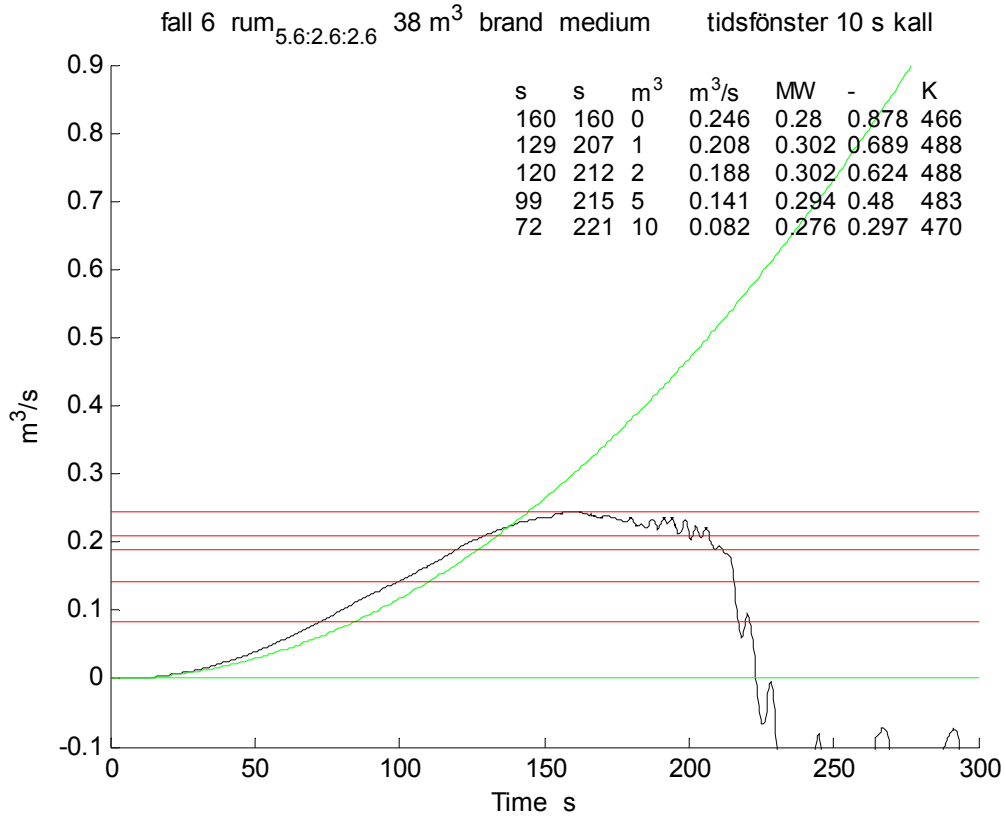
Den totala spridningsvolymen kan minskas med den volym som den normala ventilationen kan klara av innan spridning sker. Spridning sker över ett visst brandflöde. Det går också att vända på frågeställning och bestämma vilket brandflöde som ventilationssystemet måste klara av för en given spridningsvolym. Detta fall undersöks. Största brandflöde har beräknats åtta fall med olika rumvolym och brandtillväxthastigheterna medium och fast för olika spridningsvolymerna från 0, 1, 2, 5 och 10 m³. Resultatet redovisas i Tabell 5.1 och i Figur 5.1-8. Spridningsvolymen har räknats som till normal temperatur.

Fall 7 kan kommenteras med att om en kall spridningsvolym på 5 m³ tillåts, minskar högsta brandflöde från 0.450 m³/s till 0.270 m³/s.

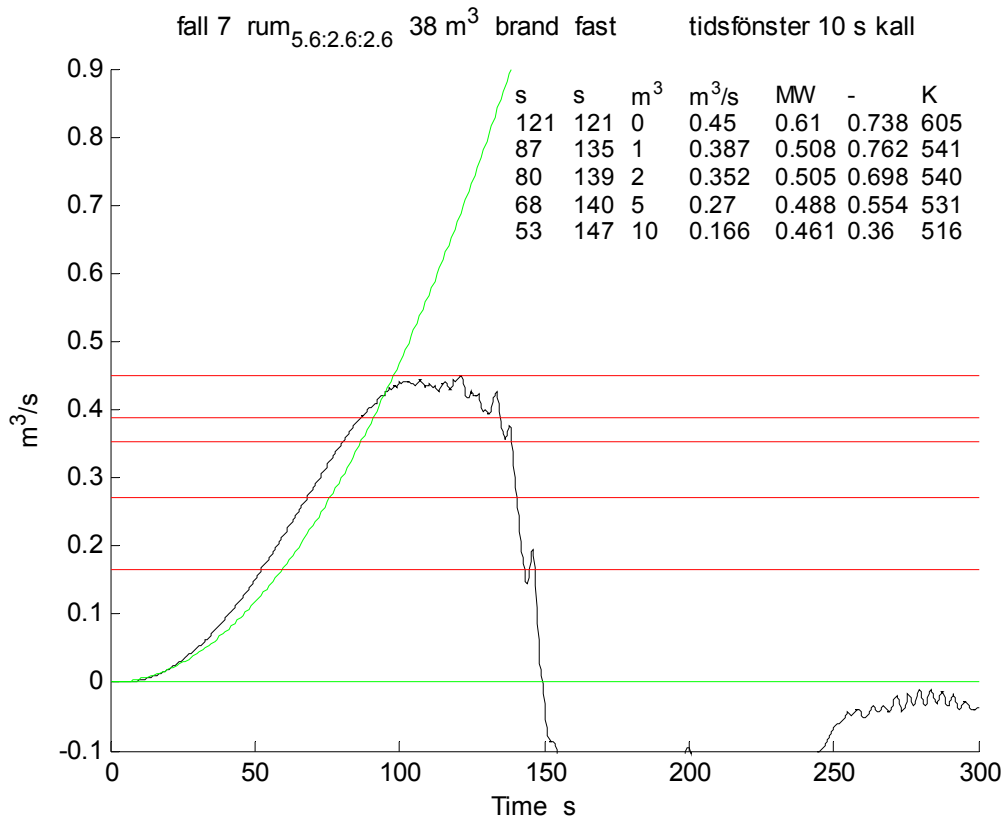
Siffrorna i Tabell 5.1 visar att reduktionen av största brandflöde givetvis blir störst för en mindre rumvolym än för en stor rumvolym. En högre brandtillväxthastighet medför ett högre brandflöde, men den relativa reduktionen vid olika spridningsvolym blir grovt densamma. Detta beror på att en högre brandtillväxthastighet medför en kortare spridningstid, vilket kompenseras med en absolut sett större reduktion i brandflöde.

Tabell 5.1 Största brandflöde för olika spridningsvolym

fall	Figur	m ³	α	0 m ³ m ³ /s	1 m ³ m ³ /s	2 m ³ m ³ /s	5 m ³ m ³ /s	10 m ³ m ³ /s
6	5.1	38	2	0.246	0.208	0.188	0.141	0.082
7	5.2	38	3	0.450	0.387	0.352	0.270	0.166
32	5.3	94	2	0.444	0.403	0.384	0.340	0.280
33	5.4	94	3	0.856	0.785	0.749	0.662	0.551
35	5.5	211	2	0.704	0.663	0.645	0.604	0.550
36	5.6	211	3	1.314	1.247	1.216	1.144	1.043
38	5.7	374	2	0.948	0.901	0.885	0.850	0.802
39	5.8	374	3	1.784	1.680	1.652	1.585	1.495

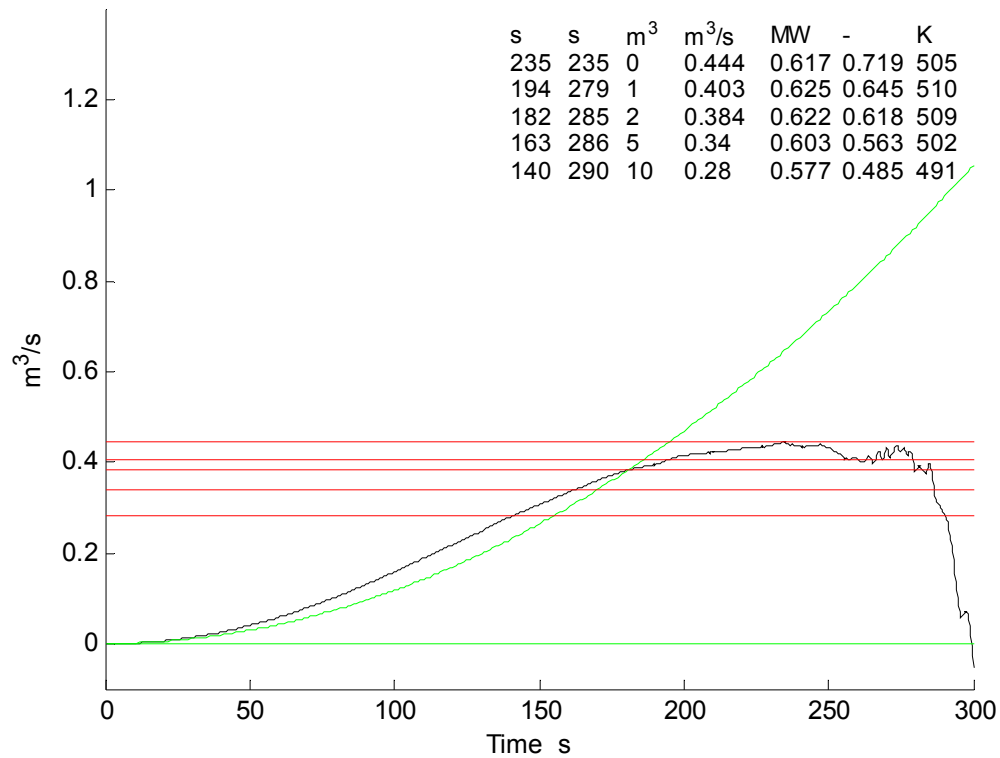


Figur 5.1 Brandflöde för beräkningsfall 6 och olika spridningsvolym.



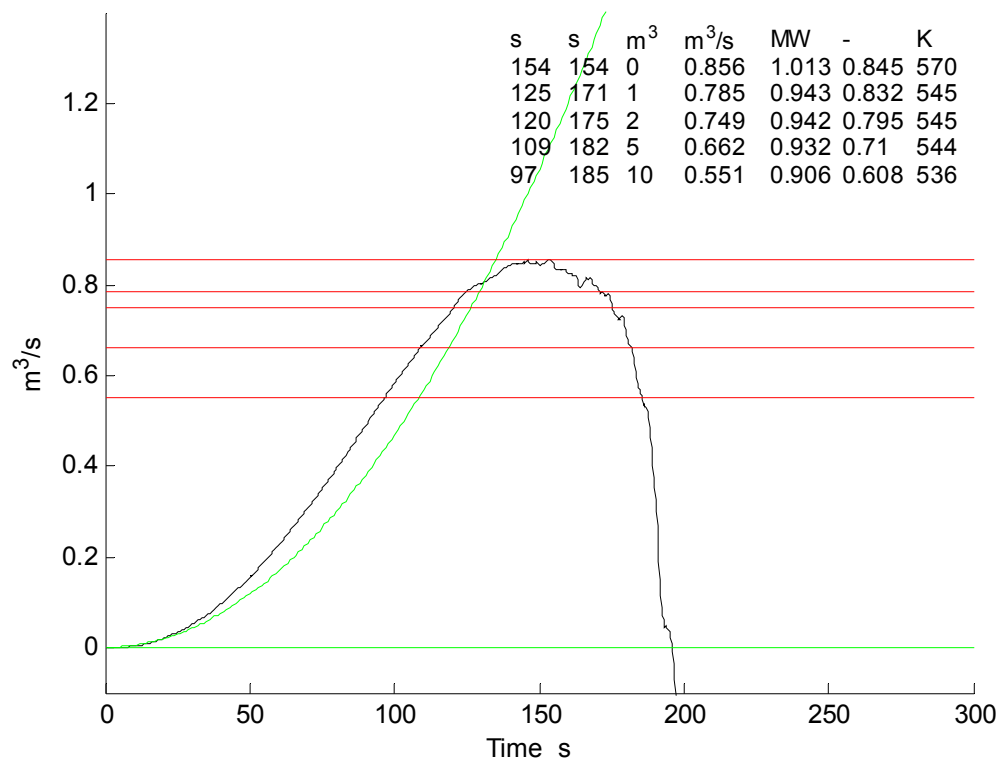
Figur 5.2 Brandflöde för beräkningsfall 7 och olika spridningsvolym.

fall 32 rum_{6:6:2.6} 94 m³ brand medium tidsfönster 10 s kall

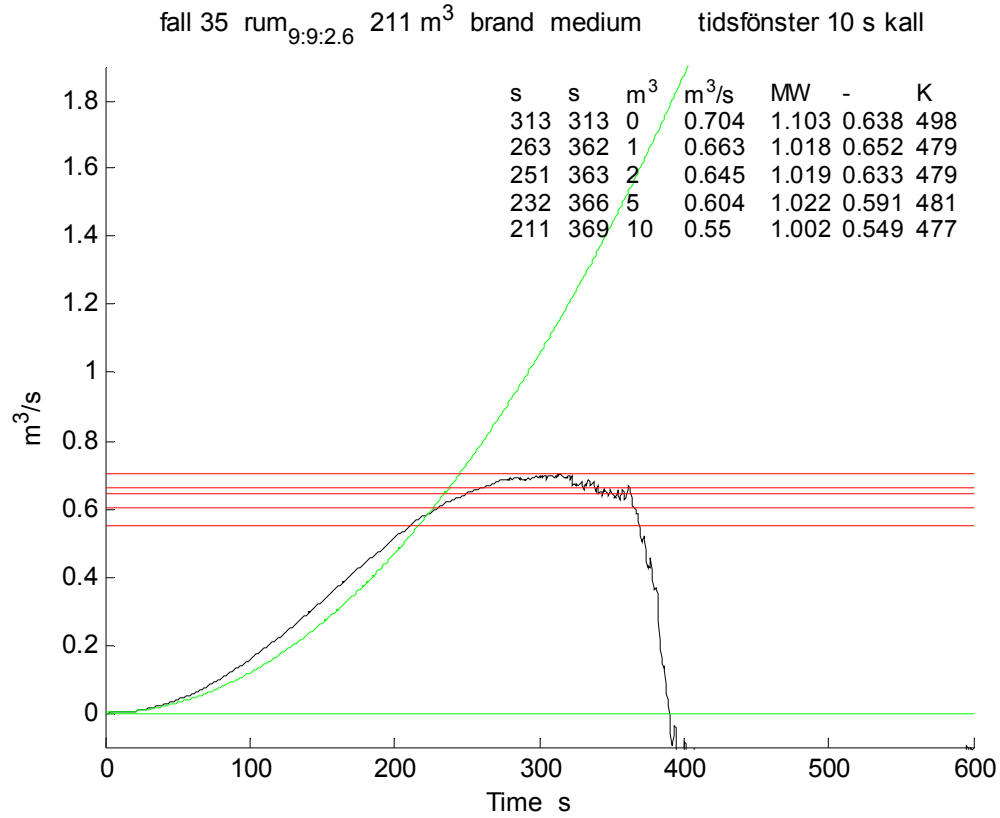


Figur 5.3 Brandflöde för beräkningsfall 32 och olika spridningsvolym.

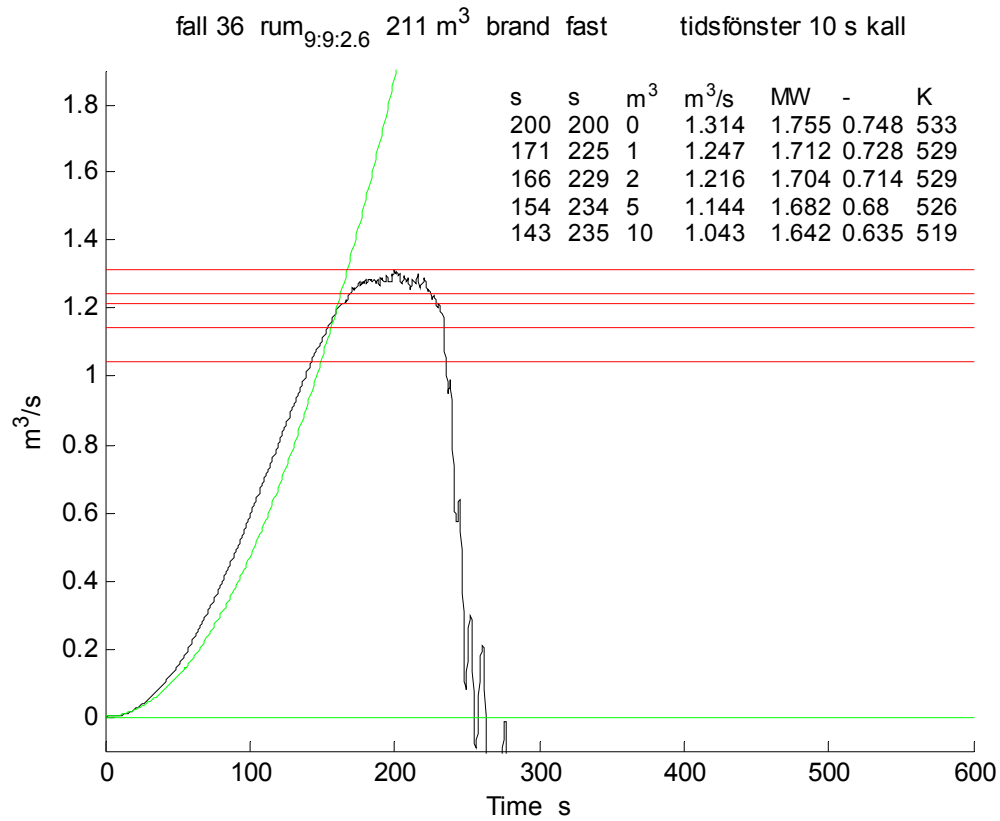
fall 33 rum_{6:6:2.6} 94 m³ brand fast tidsfönster 10 s kall



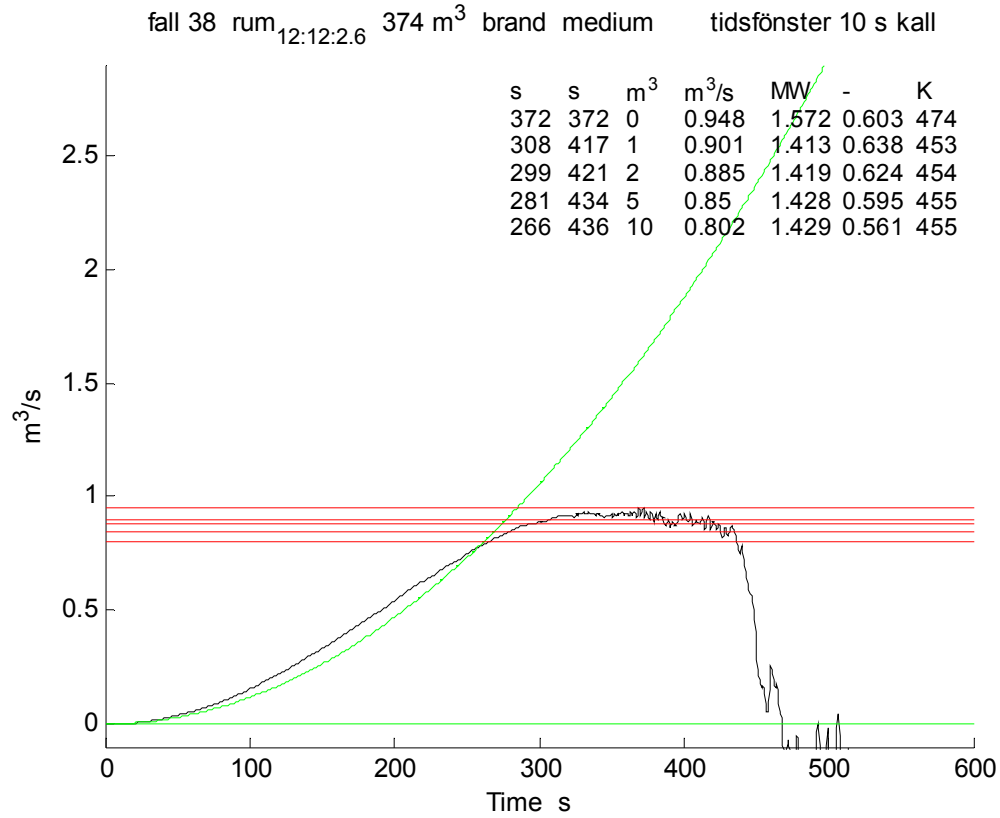
Figur 5.4 Brandflöde för beräkningsfall 33 och olika spridningsvolym.



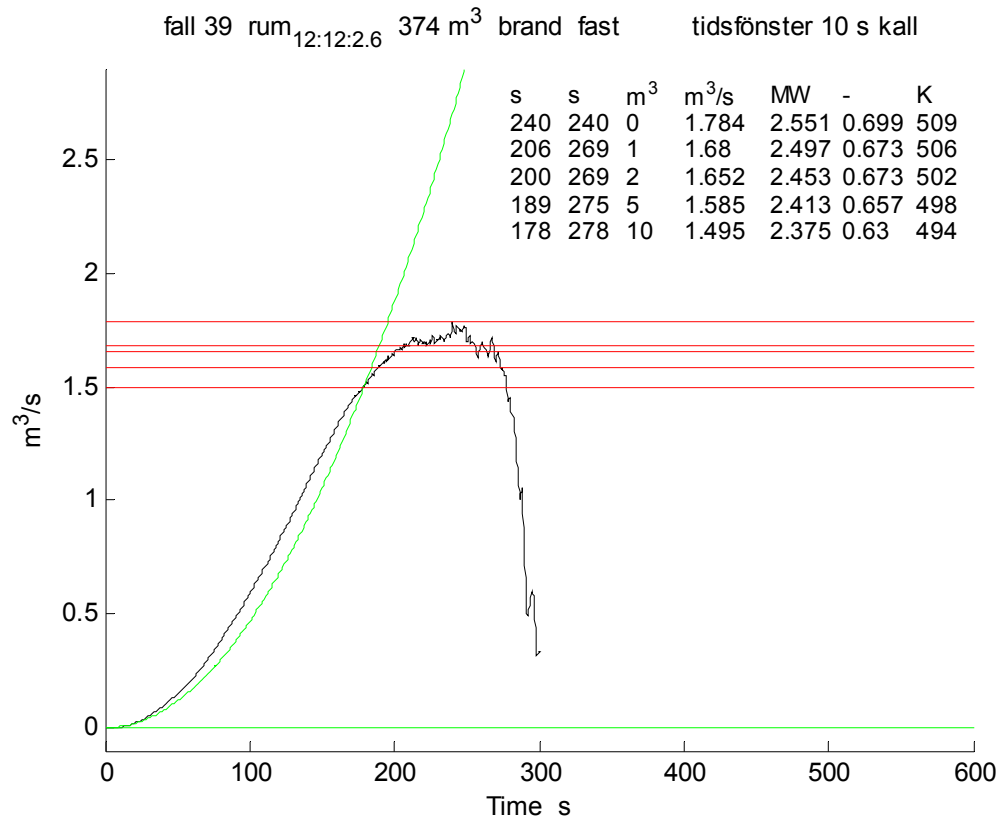
Figur 5.5 Brandflöde för beräkningsfall 35 och olika spridningsvolym.



Figur 5.6 Brandflöde för beräkningsfall 36 och olika spridningsvolym.



Figur 5.7 Brandflöde för beräkningsfall 38 och olika spridningsvolym.



Figur 5.8 Brandflöde för beräkningsfall 39 och olika spridningsvolym.

6 Kall volymspridningsandel

Avsikten med detta avsnitt är redovisa beräknad kall volymspridningsandel och bestämma ett enkelt samband mellan spridningsandel och rumvolym och brandtillväxthastighet.

Hur stor del av rumvolymen som sprids är av intresse för att beräkna spridningens effekter för olika föroreningar i brandgaserna. Detta har behandlats i Jensen (2007). Den kalla spridningsandelen s_V kan alltid uppskattas med formeln:

$$s_V = 1 - T_n / T_b \quad (-) \quad (6.1)$$

där de två temperaturerna T_n och T_b båda med sorten K anger den normala rumsmedeltemperaturen respektive rumsmedeltemperaturen när brandgasspridning slutar innan ett pulserande förlopp fortsätter. Sluttemperaturen T_b måste bestämmas på något sätt. Direkt beräkning med något lämpligt program kan vara en metod eller att använda sig av erfarenhetsvärden från tidigare beräkningar. Temperaturen T_b kan också bestämmas av när tryckavlastning sker med fönstersprängning eller när ett sprinklersystem löser ut och begränsar branden och dess brandflöde.

Spridningsvolymen har beräknats för samtliga fyrtiotre fall, omräknat till normal rums-temperatur. Den framräknade kalla volymspridningsandel redovisas i Figur 6.1 och 6.2 som funktion av rumsvolymen respektive de fyra brandtillväxtfallen med siffervärdena 1, 2, 3 och 4 för slow, medium, fast respektive ultrafast.

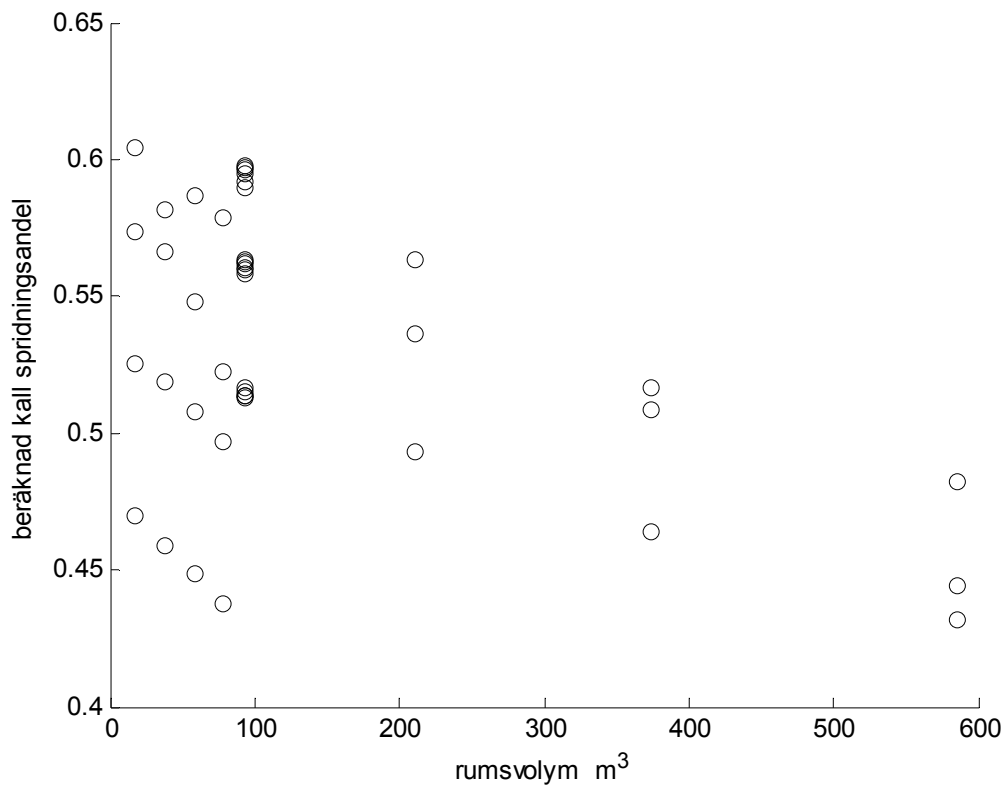
Värdena i Figur 6.1 och 6.2 visar att spridningsandelen avtar något med ökande volym respektive ökar med ökande brandtillväxthastighet. Siffermässigt varierar spridningsandelen från 0.43 till 0.61 och omräknat till högsta temperatur T_b fås 514 K (241 °C) respektive 751 K (478°C).

Modellanpassning har skett en och samma modell enligt (6.2) för den kalla spridningsandel som funktion av rumsvolym och brandtillväxthastighet med logaritmering och linjär regression samt funktionsminimering. Modellparametrarna redovisas med rotmedelkvadratfel i Tabell 6.1 nedan.

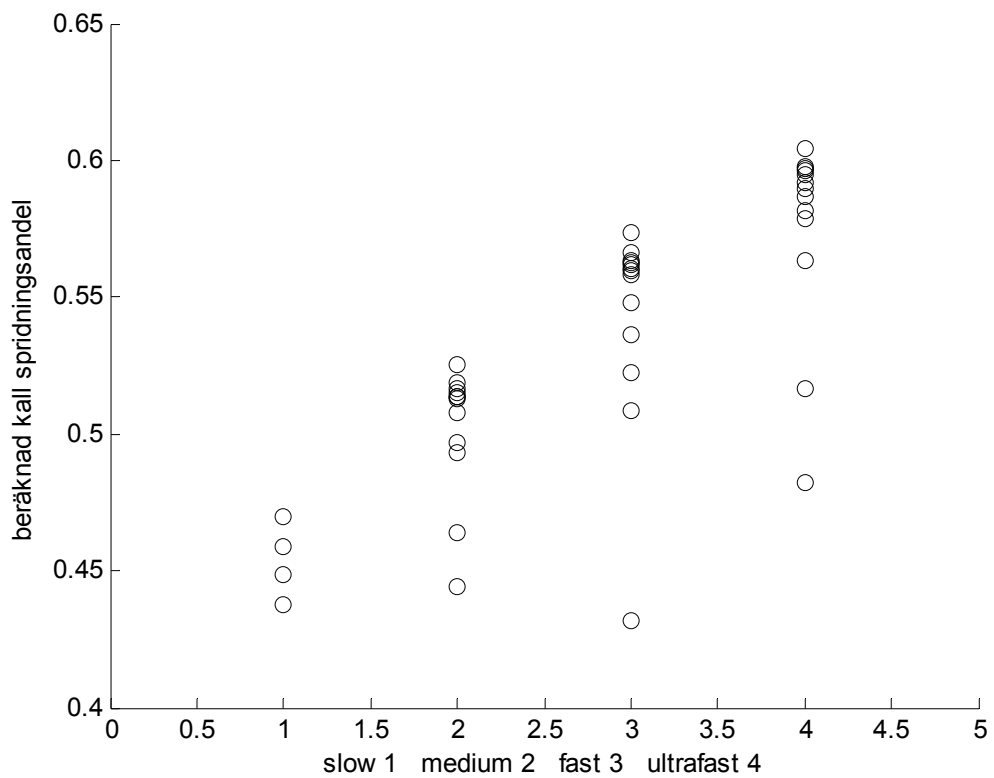
$$s_V = a V^b \alpha^c \quad (-) \quad (6.2)$$

Tabell 6.1 Modellparametrar a , b och c samt rotmedelkvadratfel för två modeller enligt (6.2).

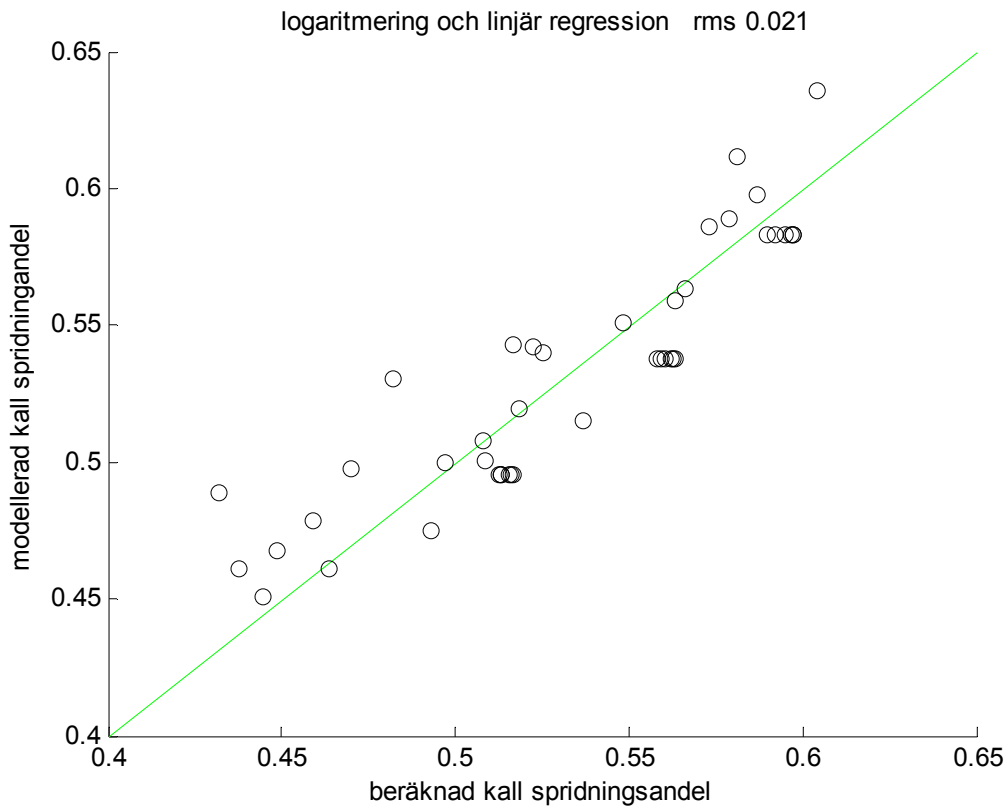
modell	Figur	a	b	c	rms -
12 FDS logaritm	6.3	0.802	-0.049	0.058	0.021
13 FDS direkt	6.4	0.814	-0.052	0.059	0.021



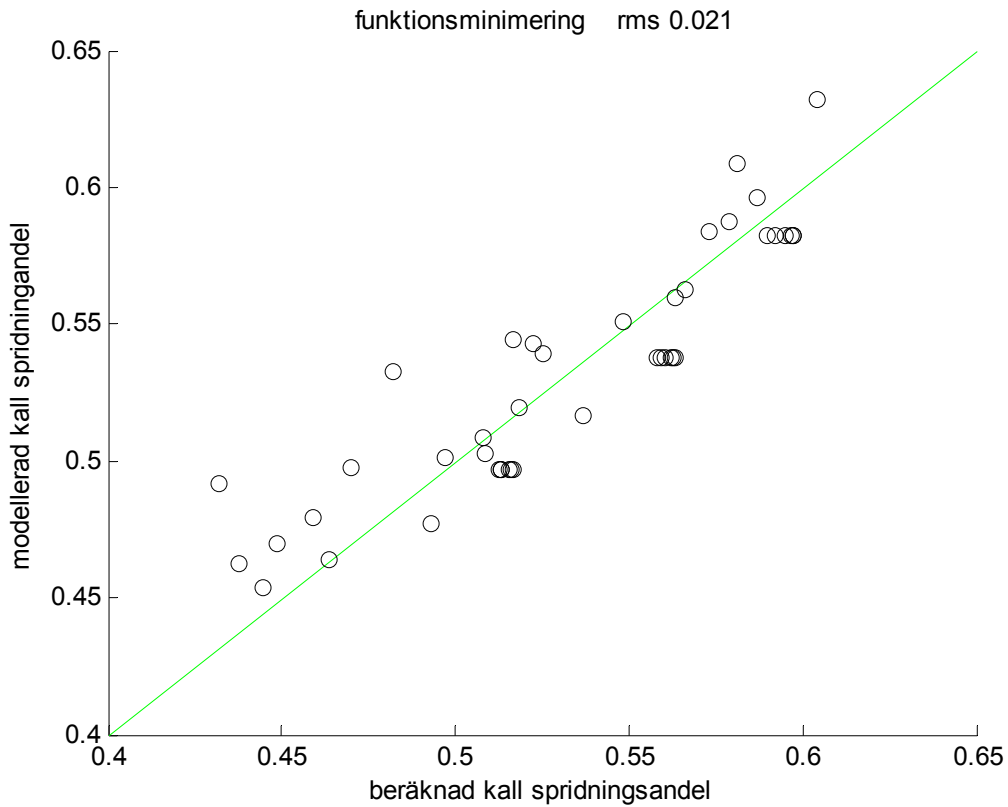
Figur 6.1 Kall volymspridningsandel som funktion av rumsvolym.



Figur 6.2 Kall volymspridningsandel som funktion av brandtillväxthastighetsklass.



Figur 6.3 Modellerad kall volymspridningsandel som funktion av beräknad dito



Figur 6.4 Modellerad kall volymspridningsandel som funktion av beräknad dito

7 Sammanfattning och slutsatser

Resultaten för de med FDS genomräknade och undersökta brandfallen kan sammanfattas med följande avgränsningar och slutsatser enligt nedan.

- Alla bränder har varit t^2 -bränder och inte brandeffektkurvor från verkliga brandförsök med olika föremål såsom sängar, fåtöljer och soffor.
- Endast brandgasspridning för det inledande förloppet med ett ständigt utflöde beaktas innan branden kvävs av syrebrist och övergår i ett pulserande förlopp.
- Det beräknade brandflödet är ett medelbrandflöde bestämt av medeldensiteten, vilken kan räknas om till en medeltemperatur. Andra temperaturer ger andra brandflöden.
- Högsta brandflöde ökar med rumvolym och brandtillväxthastighet.
- Högsta brandflöde stämmer ganska väl formeln enligt modell 2 i Tabell 4.1 och som återfinns i Backvik m fl (2008). Denna formel bygger på tjugotvå framräknade värden med ett tvåzonsprogram DSLAYV redovisade i en tidigare handbok av Backvik (1996).
- Högsta brandflöde framräknade och redovisade i en D-uppsats av Olofsson (2009) ger betydligt lägre värden än formeln enligt modell 2 i Tabell 4.1. Vad skillnaden beror på är inte klarlagt.
- Tiden till högsta brandflöde har modellerats och den stämmer väl överens med en teoretisk modell för t^2 -bränder när det gäller inverkan av rumvolym och brandtillväxthastighet bortsett från en konstant.
- Högsta brandflöde med hänsyn till en given spridningsvolym minskar som väntat betydligt för mindre rumvolym än för större rumvolym. Den relativa reduktionen är den samma för en högre brandtillväxthastighet, eftersom varaktigheten för spridningsförloppet är kortare.
- Enkla modeller för högsta brandflöde utan eller med en given spridningsvolym, tid till högsta brandflöde och kall volymspridningsandel kan beskriva vad som är de viktiga parametrarna och deras påverkan.
- Ett alternativ till formler kan vara att beräkna ett givet fall med FDS för en några verkliga brandföremål och den verkliga geometrin. Detta ger ett svar för det enskilda fallet och inte några övergripande resultat.
- Egna FDS-beräkningar kan alltid jämföras med de här redovisade formlernas värden för högsta brandflöde och tid till högsta brandflöde.

Referenser

Bo Backvik, Staffan Bengtsson, Tomas Fagergren, Olle Granberg och Lars Jensen (1996)
En handbok om brandskyddsteknik för ventilationssystem
Ventilationsbrandskydd i Stockholm AB

Bo Backvik, Tomas Fagergren och Lars Jensen (2008)
Installationsbrandskydd – Ventilation – Rör – El
Brandskyddslaget

Polina Gordonova (1997)
Spread of Smoke and Fire Gases via the Ventilation System
Report TABK—97/1011

Bengt Hägglund (1986)
Simulating Fires in Natural and Forced Ventilated Enclosures.
FOA report C 20637-2.4
National Defence Research Institute

Lars Jensen (2007)
Funktionskrav mot brandgasspridning
Arbetsrapport TVIT—2007/7010

NIST (2005)
Fire Dynamics Simulator (version 4) User`s Guide
NIST Special Publication 1019 September 2005

Johannes Olofsson (2009)
Brandgasspridningsvolym i ventilationssystem med fläkt i drift med fläkt i drift
D-uppsats 110:2009 Luleå tekniska universitet