

Osäkerheter vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem

Nils Johansson

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5194, Lund 2006

**Osäkerheter vid brandteknisk
dimensionering av ventilationssystem**

Nils Johansson

Lund 2006

Osäkerheter vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem

Uncertainties in fire safety design of ventilations systems

Nils Johansson

Report 5194

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5194--SE

Number of pages: 147

Illustrations: Nils Johansson

Keywords:

Ventilation system, smoke spread, uncertainty, uncertainty analysis, risk analysis, incidents, international codes.

Sökord:

Ventilationssystem, brandgasspridning, osäkerheter, osäkerhetsanalys, riskanalys, incidenter, internationella regler.

Abstract:

This masters thesis deals with smoke spread via ventilation systems. One aim of the thesis is to investigate and explain the differences in efforts to prevent smoke spread via ventilation systems in different countries. A second aim of this thesis is to investigate how frequently occurring smoke spread via ventilation systems in Swedish buildings are. A third aim is to investigate how uncertainties in input variables to smoke spread calculations will affect the result of a calculation. To be able to do this the most important input variables are identified and analysed. A calculation example is also conducted in the end of the thesis where a supply and exhaust system is analysed with an event tree and the computer program PFS.

Language:

Swedish

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2006.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

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

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

FÖRORD

Detta examensarbete har utförts i samarbete med WSP brand- och riskteknik i Malmö under sommaren och hösten 2005 och vintern 2006. Arbetet omfattar 20 poäng av examen till Civilingenjör i Riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola.

Under arbetets genomförande har jag fått stor hjälp av ett stort antal människor. Först och främst vill jag tacka mina handledare: professor *Lars Jensen*, avdelningen för installationsteknik, *Håkan Frantzich*, avdelningen för brandteknik, *Erik Hällstorp*, WSP brand- och riskteknik och *Jan Ottosson*, WSP brand- och riskteknik. Ni har alla bidragit med värdefulla synpunkter och svar på frågor som jag inte skulle ha klarat mig utan.

Jag vill även tacka *Nils Olsson*, *Bengt Dahlgren AB* och *Polina Gordonova*, *Carl Bro* som båda har ställt upp på interjuver och svarat på frågor. De personer på räddningstjänster och de brandutredare som svarat på mina frågor kring inträffade incidenter skall också ha tack liksom de yrkesverksamma som tagit sig tid att svara på min enkätundersökning. Dessutom vill jag tacka *Caroline* för sitt stöd och sina synpunkter på mitt arbete. Utöver de nämnda har jag fått stor hjälp från många andra och jag vill därför tacka alla de som bidragit men som inte nämns vid namn ovan. TACK!

Ni som läser detta examensarbetet eller delar av det är hjärtligt välkomna att lämna synpunkter till mig. Arbetet behandlar ett viktigt och inte minst intressant ämne som bör diskuteras vidare.

Nils Johansson

Lund, mars 2006

SAMMANFATTNING

Följande examensarbete behandlar problematiken kring brandgasspridning via ventilationssystem. Arbetet kan delas upp i tre relativt separata delar: regelverk och praxis i Sverige och utomlands, inträffade incidenter samt osäkerhetsanalys vid dimensionering. Även om de tre delarna är skilda så anses de alla viktiga för att förstå innebörden av problemet med brandgasspridning via ventilationssystem. En övergripande del i arbetet har varit den enkätundersökning som genomförts bland personer som ansetts vara insatta på området.

I den första delen av examensarbetet studeras regler och praxis i ett par länder. Syftet med detta är att undersöka hur problemet behandlas utomlands och hur väl svenska kunskaper står sig internationellt. Följande sju länder har studerats: Sverige, Norge, Danmark, Tyskland, England, USA och Nya Zeeland. I samtliga dessa länder finns möjlighet till funktionsbaserade lösningar, vilket innebär att funktionskrav istället för detaljkrav skall uppfyllas, av brandskyddet. I samtliga studerade länder ställs krav på att brandgaser inte får spridas mellan brandceller via ventilationssystemet. Trots det har uppfattningen erhållits att analytiska beräkningsmetoder och beräkningsprogram, för hur brandgasspridning kan undvikas, är bäst utvecklade och flitigast använda i Sverige. Att dessa har utvecklats i Sverige anses beror delvis på att de svenska reglerna, i större utsträckning än andra länders, ger utrymme för system med mekaniska till- och frånluftsfläktar i drift vilka kräver analytiska beräkningar. Att göra en kategorisering av länderna sinsemellan är svårt eftersom det varit svårt att utröna praxis i olika länder. Det kan dock konstateras att uttrycket *avsevärt försvåra* i BBR ger den lägsta kravnivån av de studerade länderna. Att den lägsta kravnivån finns i Sverige kan bero på att medvetenheten om problemet är störst i Sverige. Om den medvetenheten beror på bedriven forskning eller någonting annat är dock svårt att avgöra.

I enkätundersökningen menade de flesta respondenter att vi Sverige är bra på att utforma system för att undvika brandgasspridning via ventilationssystem jämfört med andra länder i Europa och världen. En del påtalade dock att teorin finns men i praktiken är många lösningar bristfälliga. Den funktionsbaserade möjligheten skapar inte bara möjligheter för bra och anpassade lösningar utan även för misstag och feldimensionering. Granskning och kontroll av analytiska lösningar är därför en förutsättning för den funktionsbaserade möjligheten och speciellt då kravnivån i reglerna är låg.

Det är svårt att avgöra hur allvarligt och hur vanligt förekommande brandgasspridning via ventilationssystem är. I den andra delen av examensarbetet studeras därför inträffade incidenter. Vilket har skett genom att kontakt har tagits med ett tjugotal räddningstjänster i Sverige. Inget konkret fall där brandgaser spridits i ett korrekt utformat system med fläktar i drift har hittats. Äldre system som bygger på den s.k. tryckfallsmetoden verkar dock vara ett problem. Hur medvetna fastighetsägare och kommuner är om detta problem har inte undersökts vidare men är något som absolut borde göras i framtiden. Mot bakgrund av studien av incidenter förefaller det inte som om brandgasspridning via ventilationssystemet, i förhållande till andra konsekvenser, utgör en stor fara vid en brand. Men för att kunna stärka denna slutsats krävs det att incidenter rapporteras och dokumenteras. Dokumentationen måste sedan tas tillvara för att ge en lyckad erfarenhetsåterföring som i sin tur kan skapa bättre och säkrare brandskyddslösningar.

Tillförlitliga beräkningar av brandgasspridning via ventilationssystem kräver stor kunskap om det aktuella systemet och den byggnad som systemet skall uppföras i. Om inte denna kunskap finns innebär det att osäkerheter i indatavariablerna uppkommer eftersom subjektiva bedömningar måste göras. I den tredje och största delen av examensarbetet används en riskbaserad metod för att titta på brandgasspridning i ett ventilationssystem och undersöka hur osäkra variabler påverkar resultatet. Ventilationssystemet är baserat på en verklig byggnad med ett till- och frånluftssystem. Systemet fungerar enligt principen fläktar i drift med konverterad tilluft som brandskyddsåtgärd. De osäkra variabler som studerats är: *brandförlopp, forcering av don i brandrummet, tätheten i byggnaden, öppna och stängda fönster, forcering av don i övriga rum* samt *modellösäkerheter*. Analysen av indatavariablerna visar att det finns stora osäkerheter i dem både när det gäller kunskap och naturligvariation. Det konstateras att kunskapsosäkerheterna, för framförallt brandförlopp och tätheten i byggnaden, kan reduceras något med hjälp av statistik och tidigare studier. Trots det krävs det en stor andel subjektivitet i de bedömningar som görs vilket anses kunna skapa problem.

Ett händelsetråd i kombination med datorprogrammet PFS ansågs vara den metod som var bäst lämpad för studien. Två stycken studier, med respektive utan hänsyn till brandskyddsåtgärd, av det aktuella ventilationssystemet genomfördes. Metoden visade sig fungera bra och resultatet kunde åskådliggöras tydligt. Resultatet visade att brandgasspridningen blev omfattande då ingen hänsyn togs till brandskyddet vilket var väntat. Resultatet visade också att brandskyddet fungerade bra men sannolikheten för spridning ansågs fortvarande vara betydande. Detta visar, i motsats till studien av inträffade incidenter, att brandgasspridning via ventilationssystem kan vara ett stort problem vid brand.

I arbetet har en diskussion kring acceptanskriterium vid brandgasspridning via ventilationssystem förts. Slutsatsen av denna diskussion är att det i nuläget inte går att avgöra vad kan ses som acceptabelt utan att det är upp till varje projektör att avgöra. På grund av detta anses det nödvändigt att ta fram ett regelverk eller standard på hur brandteknisk dimensionering av ventilationssystem skall genomföras och hur hänsyn skall tas till de många osäkerheter som finns.

Den övergripande slutsatsen av examensarbetet är att det finns mycket att göra på området. Beräkningsmetoder och datormodeller anses vara välutvecklade men vilka värden som kan användas på indata och hur osäkra dessa indata är finns det fortfarande lite information om.

SUMMARY

This masters thesis deals with smoke spread via ventilation systems. The thesis can be divided into three separate parts: regulations and accepted procedures in Sweden and abroad, occurred incidents and an uncertainty analysis of fire safety design of a ventilation system. Even though the three parts are rather separate, they all contribute to the understanding of the problems with smoke spread via ventilation systems. An overall component of the project has been the questionnaire study that have been conducted among people how regularly deals with these issues.

In the first part of this thesis codes and practise in a couple of countries are studied to investigate how the problem is treated abroad and how well it is understood in Sweden compared to other countries. The following seven countries have been studied: Sweden, Norway, Denmark, Germany, England, USA and New Zealand. There are more or less opportunities for function based design of fire protection in buildings in all the study countries. And it is also clear that smoke is not allowed to spread between fire compartments through the ventilation system in any of the studied countries. Despite that has it come clear that methods for analytical design of how to prevent smoke spread in ventilation system are best developed and most frequently used in Sweden. This is considered to be a result of the Swedish which in greater extent than codes in other countries gives the opportunities for analytical designs such as keeping fans running. It is hard to compare the different countries since it has been difficult to determine used practise. But a simple comparison based on the study of codes and guides concludes that Swedish codes require the lowest level of safety of all the studied countries. That the lowest level of safety is required in Sweden can be a result of higher awareness of the problem but if this is due to conducted research or something else is however hard to conclude.

In the conducted questionnaire most of the respondents believed that engineers in Sweden are better than engineers in other countries in Europe and the world in developing good systems to avoid smoke spread via ventilation systems. However some of the respondents claimed that the theory is well understood but that the practical solutions in many cases are insufficient. This claim hints that the function based alternative not only creates opportunities for good and appropriate solutions but also for mistakes and wrong doing. Review and control of analytical solutions is therefore a prerequisite for the function based opportunity.

It is hard to determine how serious and frequently occurring the problem with smoke spread in ventilation systems really is. Therefore, in the second part of this masters thesis occurred incidents in Sweden has been investigated. This has been done by contacting around twenty rescue services in Sweden and through the earlier mentioned questionnaire. No incidents in a correctly designed system with fans in operation have been found. However older systems that are designed after the so called pressure loss method seems to be a problem. How aware real estate owners and municipals are about this problem has not been studied further but is something that definitely has to be done in the future. It dose not seem, on the basis of the study of occurred incidents, that smoke spread via the ventilation system constitutes a great danger compared to other consequence of a fire. But to be able strengthen this conclusion incidents needs to be reported and documented. And the documentation must be taken care of so that the experience can be used to develop even better and more secure fire safety solutions.

Reliable calculations on smoke spread via ventilation systems demands great knowledge in the system of interest and in the building that the system will be installed in. If this knowledge is not available uncertainties will arise in the subjective estimates that have to be made. And if no concern is taken to inputs that can vary the calculations will be deterministic and even more uncertain. In the third and largest part of this masters thesis a risk based method is used to investigate the risk of smoke spread in a system designed for fans in operation. To be able to do this an uncertainty analysis of some important input variables have been done. This analysis shows that there are large uncertainties due to both variation and lack of knowledge. Knowledge uncertainties could be reduced for some of the variables with the help of statistics and earlier studies. However there is still a great need for subjectivity in the estimation of the studied variables which is considered to create problems.

An event tree in combination with the computer program PFS was considered to be the most appropriate method for this study. Two analysis's, with and without fire safety measure, of the ventilation system was conducted. The risk based method appeared to work fine and the results could be illustrated well. The results showed that there was an extensive smoke spread when the fire safety measure was not used. The results also showed that the fire safety measure worked fine but that the probabilities of smoke spread still were still considered to be significant. This illustrates that, in contrast to the study of occurred incidents, smoke spread via ventilation systems can be a big problem in a fire.

In the thesis a discussion regarding acceptance criteria for smoke spread in ventilation systems has been conducted. The conclusion of this discussion is that no recommendation of acceptable criteria can be done presently. Due to this it is considered important to develop written rules or a standard of how fire safety design of ventilation systems should be done and how uncertainties should be treated.

The all-embracing conclusion of this masters thesis is that there is much more to do in the area. Calculation methods and computer models are considered to be well developed but what values that should be used on input variables and how uncertain these inputs are, are there still little information about.

INNEHÅLL

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problematisering.....	3
1.3 Målsättning	3
1.4 Avgränsningar.....	4
1.5 Disposition	4
2 Metod.....	7
2.1 Vetenskaplig metodik	7
3 Genomförd enkätundersökning.....	9
3.1 Resultat.....	9
3.1.1 Reliabilitet och Validitet	9
4 Allmänt om ventilationssystem	11
4.1 Tidigare arbete på området	11
4.1.1 Osäkerheter och jämförelser mellan olika länder.....	11
4.1.2 Inträffade incidenter	12
4.2 Allmänt om ventilationssystem.....	12
4.2.1 Självdragssystem.....	12
4.2.2 Frånluftssystem	13
4.2.3 Från- och tilluftssystem.....	13
4.3 Mekanismen bakom brandgasspridning	14
4.3.1 Brandflöde.....	14
4.3.2 Läckage genom brandrummets väggar	16
4.3.3 Ventilationssystemets inverkan.....	16
4.4 Metoder för att undvika brandgasspridning	17
4.4.1 Separata ventilationssystem	17
4.4.2 Spjäll	17
4.4.3 Mekaniska till- och frånluftssystem i drift.....	18
4.4.4 Rök- och brandgasutluftning.....	19
4.4.5 Tryckavlastning.....	19
4.4.6 Tryckfallsmetoden	19
4.5 Verktyg vid beräkning av brandgasspridning.....	19
4.5.1 Handberäkningar	19
4.5.2 Datorprogram	20
4.5.3 Vem genomför dessa beräkningar?.....	20
5 Allmänt om riskhantering och osäkerhetsanalys.....	21
5.1 Riskhantering	21
5.1.1 Riskanalys	22
5.1.2 Riskvärdering	25
5.1.3 Riskreduktion/kontroll	27

5.2 Osäkerhetsanalys	27
5.2.1 Metoder för hantering av osäkerheter	28
6 Regelverk och praxis i Sverige och utomlands	31
6.1 Svenska regelverk och praxis	31
6.1.1 Avsevärt försvåra	31
6.1.2 Praxis	32
6.2 Utländska bestämmelser och praxis	32
6.2.1 Norge	32
6.2.2 Danmark	33
6.2.3 Tyskland	34
6.2.4 England	34
6.2.5 USA	35
6.2.6 Nya Zeeland	35
6.3 Diskussion	36
7 Tillfällen då brandgasspridning skett via ventilationssystem	39
7.1 Inträffade incidenter	39
7.1.1 Källarbrand i Jönköping, januari 2001	39
7.1.2 Brand i hyreshus i Karlstad, december 2001	40
7.1.3 Brand i pentry i kontorsbyggnad, februari 2002	41
7.1.4 Brand på St. Sigfridssjukhus i Växjö, augusti 2003	41
7.1.5 Brand i köksfläkt i Norrköping, januari 2005	43
7.1.6 Brand i soprum på servicehus	43
7.2 Brandförsök	43
7.2.1 Brandförsök i Sverige	43
7.2.2 Brandförsök i England	44
7.3 Enkätundersökning	44
7.4 Diskussion	44
8 Förutsättningar för osäkerhets-analys	47
8.1 Beskrivning av tillämpningsexempel	47
8.2 Identifiering av viktiga variabler	48
8.2.1 Tidigare arbete	48
8.2.2 Enkätundersökning	49
8.2.3 Urval	49
9 Metod för osäkerhetsanalys	51
9.1 Lämplig nivå på osäkerhetsanalys	51
9.2 Använd analysmetod	52
9.2.1 Val av riskanalysmetod	52
9.2.2 Händelseträdd	52
10 Kvantifiering av osäkra variabler	55
10.1 Skattning av osäkerheter	55

10.2 Brandförlopp.....	56
10.2.1 Brandeffekt och brandflöde	57
10.2.2 Brandens placering i brandcellen och i byggnaden	62
10.2.3 Brandgastemperatur	63
10.2.4 Begränsande brandtryck.....	65
10.2.5 Slutsats brandförlopp	66
10.3 Forcering av spiskåpan i brandrummet.....	66
10.3.1 Brunnen spiskåpa	67
10.3.2 Diskussion forcering av spiskåpan i brandrummet	67
10.3.3 Slutsats forcering av spiskåpan i brandrummet	67
10.4 Tätheten i byggnaden.....	68
10.4.1 Luftläckage i byggnader.....	68
10.4.2 Flöde genom don och ventiler.....	73
10.4.3 Slutsats täthet	74
10.5 Öppna och stängda fönster	75
10.5.1 Fönsterkollaps	75
10.5.2 Öppna fönster.....	76
10.5.3 Slutsats öppna och stängda fönster	76
10.6 Forcering av don övriga rum.....	76
10.6.1 Diskussion forcering av don i övriga rum.....	77
10.6.2 Slutsats forcering av övriga don.....	78
10.7 Modellosäkerheter	78
10.7.1 Använda verktyg	79
10.7.2 Osäkerheter i PFS.....	79
10.7.3 Slutsats modellosäkerheter.....	79
11 Tillämpning.....	81
11.1 Systemets utformning i PFS	81
11.1.1 Brandfallet.....	81
11.2 Utformning av händelsetråd	82
11.3 Resultat.....	83
11.4 Diskussion	85
11.5 Slutsats	86
12 Diskussion	87
12.1 Regelverk och praxis i Sverige och utomlands	87
12.2 Inträffade incidenter	87
12.3 Osäkra variabler	88
12.4 Områden för fortsatta studier	89
13 Slutsats	91
Referenser	93
Personlig kommunikation	98

Appendix A – räddningstjänster.....	99
Appendix B – Enkät	101
Appendix C – Svar i enkätundersökning	105
Appendix D – Brandtillväxtfaktor	115
Appendix E – Beskrivning av PFS.....	119
Appendix F – Indatafil till PFS	121
Appendix G – Beskrivning av indatafil.....	125
Appendix H – Resultat av Tillämpning.....	129

1 INLEDNING

I detta kapitel beskrivs bakgrunden till examensarbetet och hur denna bakgrund leder fram till en rad frågeställningar. Målsättning, avgränsningar samt arbetes disposition beskrivs också.

1.1 Bakgrund

Ventilationssystem finns i stort sett i alla moderna byggnader i Sverige för att skapa komfort. Vanligen består ett ventilationssystem av ett frånluftssystem eller ett från- och tilluftssystem beroende på verksamheten i byggnaden och den önskade komforten. Eftersom det vanligen inte är kostnads- eller utrymmeseffektivt att bygga separata ventilationskanaler från alla brandteknisk avskiljda rum (brandcell), i en byggnad, kommer kanalsystemet att sammankoppla olika brandceller med varandra. Vid en brand i ett rum är det således möjligt att brandgaser sprids via kanalsystemet till andra rum om ingen åtgärd vidtas för att hindra detta. Till skillnad från då brandgaser sprids genom väggar och bjälklag, då spridningen sker till de närmast omgivande rummen, innebär en spridning via ventilationssystemet att brandgaser kan spridas långa sträckor på kort tid.

Den första januari 1994 fick Sverige funktionsbaserade regler inom brandskyddsprojektering, *Boverkets Byggregler* (BBR). Detta innebar att kravet på schablonmässiga lösningar togs bort för att istället, med funktionskrav, öppna för kreativt tänkande och frihet i val av tekniska lösningar som uppfyller funktionskraven (Backvik et al, 1996) s.k. analytisk dimensionering.

Ett av många områden i BBR som styrs av funktionskrav är brandgasspridning. I avsnitt 5:653, *Skydd mot spridning av brandgas*, står följande:

Luftbehandlingsinstallationer skall utformas så att ett tillfredsställande skydd mot spridning av brandgas mellan brandceller erhålls. (Boverket s. 70, 1994)

Därefter följer ett råd till hur detta kan uppfyllas:

Tillfredsställande skydd mot spridning av brandgaser mellan brandceller kan erhållas genom att:

- ventilationssystemen är separata för varje brandcell ända ut i det fria,
- speciella tryckavlastande anordningar,
- brandgasspjäll med motsvarande brandmotstånd som aktuell brandcellsgräns
- eller att brandgaser tillåts komma in i ventilationssystemet men systemet utformas så att brandgasspridning mellan brandceller förhindras eller avsevärt försvåras beroende på lokalernas utformning och verksamhet. Till utrymningsvägar och lokaler avsedda för sovande bör brandgasspridning förhindras. (Boverket ss. 70-71, 1994)

Punkt ett och tre erbjuder ett relativt säkert skydd men är kostsamma alternativ. För punkt två och fyra finns relativt bra utvecklade beräkningsuttryck och datorprogram framtagna (Backvik et al, 1996; Olsson, 1999; Jensen, 1994a). Problemet är dock att

dessa verktyg kräver många indatavariabler som i flera fall är osäkra. Att använda rätt verktyg är viktigt för att kunna ta fram en bra lösning, men att använda rätt indata är ännu viktigare. Om fel indata används i en modell kommer svaret inte att vara relevant oavsett hur bra modellen speglar verkligheten. Dessutom är få indata kända som diskreta (enstaka) värden vilket gör att osäkerheter och naturliga variationer uppkommer. Ett exempel på en osäker variabel vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem är brandtrycket som bl.a. beror av luftläckaget i rummet. Vanligen förutsätts en byggnad läcka enligt de, av BBR, föreskrivna normerna. Hur byggnader och speciellt lägenheter läcker i verkligheten är det få som har studerat. Det betyder att om en byggnad är tätare än BBR:s krav kommer brandtrycket att underskattas vilket troligen innebär att även brandgasspridningen underskattas. Detta visar att tillförlitliga beräkningar av brandgasspridning i ventilationssystem kräver stor kunskap om det aktuella systemet och den byggnad som systemet skall uppföras i. Om inte denna kunskap finns uppkommer osäkerheter i indatavariablerna eftersom subjektiva bedömningar måste göras. Detsamma gäller då ingen hänsyn tas till att indata till beräkningar kan variera vilket gör beräkningarna enstaka och missvisande.

För att undvika osäkra enstaka beräkningar kan hänsyn tas till osäkerheter i en osäkerhetsanalys. I en osäkerhetsanalys identifieras osäkerheter och dess påverkan på systemet studeras. En osäkerhetsanalys är i många fall väldigt lik en riskanalys, som är ett systematiskt sätt att identifiera och beräkna en risk, eftersom osäkerheters påverkan på systemet i regel studeras på ett likartat sätt. I BBR påpekas det att analytisk dimensionering kan åtföljas av en riskanalys för att verifiera den gjorda dimensioneringen. Men detta är något som sällan görs vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem. Således är det intressant att studera hur en sådan riskanalys kan utformas och vad den kan visa vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem.

I Sverige förs nationell statistik över räddningsinsatser, utförda av landets räddningstjänster, av räddningsverket (SRV, 2005a). Statistiken som samlas in över inträffade bränder behandlar framförallt objekts typ, startutrymme, startföremål och brandorsak. För att söka information om incidenter då brandgaser spridits via ventilationssystem får istället räddningstjänsternas insatsrapporter studeras. Dessa rapporter kan vara mer eller mindre detaljerad men ofta framgår det inte om och i så fall hur brandgaser har spridits. Det är alltså svårt att avgöra hur allvarligt detta problem är och om det är vanligt förekommande.

Eftersom funktionsbaserade byggregler funnits i Sverige i mer än tio år börjar de bli en självklarhet för brandskyddsprojektörer i landet. Utomlands använder många länder fortfarande schablonmetoder. Ingen riktig studie har gjorts på skillnader mellan svenska krav och utländska inom ventilationsbrandskydd. Det som ses som självklarheter i Sverige kan väcka uppståndelse utomlands. Att Sverige bedrivit forskning inom området det senaste årtiondet är säkert men hur vi står i förhållande till våra grannländer och andra länder i världen då det gäller val av metoder och kvalitet vid projektering är mer ovisst.

1.2 Problematisering

Utifrån bakgrundsinformationen i föregående avsnitt uppenbaras en rad problem och frågeställningar. Avseende osäkerheter vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem identifieras följande problem och frågeställningar:

- Vilka osäkra variabler finns vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem?
- Går det att kvantifiera dessa variabler?
- Vilka av dessa variabler har störst inverkan på brandgasspridning via ventilationssystemet?
- Går det att definiera ett acceptanskriterium för spridning av brandgaser via ventilationssystem?
- Kan rekommendationer ges för hur dimensionering bör ske så att hänsyn tas till de identifierade osäkerheterna och riskerna?

När det gäller inträffade incidenter och hur problemet behandlas i andra länder identifieras följande problem och frågeställningar:

- Har det förekommit incidenter där brandgaser spridits mellan brandceller via ventilationssystemet och i så fall varför gjorde de det?
- Hur vanligt är problemet?
- Hur sker brandteknisk dimensionering av ventilationssystem i Sverige och världen?
- Är det möjligt att kategorisera olika länders medvetenhet av problemet och de lösningar som de tillämpar?

1.3 Målsättning

Examensarbetet har fyra huvudmål. Det första målet är att klargöra skillnader och likheter av hur brandteknisk dimensionering av ventilationssystem sker internationellt för att på så sätt avgöra hur behandlingen av problemet skiljer sig åt mellan olika länder.

Det andra målet är att avgöra hur vanligt förekommande brandgasspridning genom ventilationssystem är i Sverige.

Det tredje målet är att avgöra hur stor påverkan osäkra variabler kan ha på ett ventilationssystem utformat med mekaniska till- och frånluftsystem i drift med konverterad tilluft. För att göra detta måste de viktigaste variablerna identifieras, studeras och analyseras.

Det sista målet med examensarbetet är att det skall utformas på ett sådant sätt att det kan ligga till grund för vidare studier inom området och att även förslag på framtida studier ges.

1.4 Avgränsningar

Avgränsningar måste göras för att arbetet inte skall bli för brett och därmed för grunt. Den tid som finns till förfogande gör det därför nödvändigt att avgränsa arbetet. Följande avgränsningar görs:

- Studien av hur brandteknisk dimensionering av ventilationssystem sker i Sverige och världen, begränsas till Sverige, Norge, Danmark, Tyskland, England, USA och Nya Zeeland.
- Undersökningen av inträffade incidenter begränsas till incidenter de senaste fem åren. Vidare begränsas undersökningen till de största räddningstjänsterna i Sverige (se appendix A för lista) och sökning i RIB (SRV, 2005b).
- Undersökningen av osäkerheter begränsas till flerbostadshus.
- De osäkerheter som studeras begränsas till system med mekaniska till- och frånluftsfläktar i drift som brandskyddsåtgärd. Men kan möjligen användas i andra sammanhang.
- De osäkerheter som studeras begränsas till indatavariabler till beräkningar för brandgasspridning via ventilationssystemet. Inga osäkerhet i befintliga beräkningsuttryck eller olika ventilationssystem utformning kommer att beaktas.
- I det typfall som studeras används enbart datormodellen *Program Flow System* (PFS).
- Brandspridning via ventilationssystem behandlas inte i detta examensarbete

1.5 Disposition

För att underlätta läsning och skapa en överblick över examensarbetes innehåll presenteras de ingående kapitlen här.

Kapitel 2 – Metod

I kapitel 2 presenteras de metoder som används i examensarbetet och hur kunskap om vetenskaplig metodik införskaffats.

Kapitel 3 – Genomförd enkätundersökning

I examensarbetet har en enkätundersökning genomförts och den diskuteras kortfattat i kapitel 3. Resultaten från enkätundersökningen presenteras löpande i arbetet och i appendix C.

Kapitel 4 – Allmänt om ventilation

Kapitel 4 ger en introduktion till hur olika ventilationssystem ser ut, hur mekanismen bakom brandgasspridning via ventilationssystem fungerar samt metoder för hur brandgasspridning kan undvikas.

Kapitel 5 – Allmänt om riskhantering och osäkerhetsanalys

För att sätta osäkerheter i ett större sammanhang presenteras teori för riskhantering i kapitel 5, delar av denna teori används sedan i senare kapitel då osäkerheter vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem studeras.

Kapitel 6 - Regelverk och praxis i Sverige och utomlands

I kapitel 6 presenteras en studie av regelverk, föreskrifter och praxis avseende skydd mot brandgasspridning via ventilationssystemet, i Sverige, Norge, Danmark, Tyskland, England, USA och Nya Zeeland.

Kapitel 7 – Tillfällen då brandgasspridning skett via ventilationssystem

Ett par incidenter där det konstaterats att brandgasspridning via ventilationssystemet har förekommit beskrivs i kapitel 7. Dessutom beskrivs två stycken experimentella försök.

Kapitel 8 – Förutsättningar för osäkerhetsanalys

I kapitel 8 börjar studien av osäkra variabler. Förutsättningarna för den tänkta osäkerhetsanalysen presenteras och osäkra indatavariabler identifieras.

Kapitel 9 – Metod för osäkerhetsanalys

I kapitel 9 beskrivs den metod för osäkerhetsanalys som kommer till att användas i examensarbetet.

Kapitel 10 – Kvantifiering av osäkra variabler

De variabler som identifierats i kapitel 8 analyseras i detta kapitel för att senare kunna användas i en osäkerhetsanalys.

Kapitel 11 – Tillämpning

I kapitel 11 tillämpas den beskrivna metoden för osäkerhetsanalys på de, i kapitel 10, beskrivna osäkerheterna i ett tillämpningsexempel.

Kapitel 12 – Diskussion

Resultaten från arbetet diskuteras i kapitel 12.

Kapitel 13 – Slutsats

I kapitel 13 presenteras de slutsatser som dras utifrån examensarbetet.

2 METOD

För att nå de mål som beskrivits i föregående kapitel kommer följande metoder att användas.

För att få en överblick i ämnet genomförs en litteraturstudie. Med litteratur avses böcker, artiklar och rapporter på området. För att söka litteratur används databaserna: *Electronic Library Information Navigator* (ELIN), *Integrerat beslutstöd för skydd mot olyckor* (RIB), *Nationella Biblioteksdatasystemet* (LIBRIS) och *Lunds Universitets Bibliotekskatalog* (LOVISA). Tidigare examensarbeten och rapporter gjorda vid avdelningarna för brandteknik och installationsteknik vid Lunds tekniska högskola (LTH) används också.

Studier av svenska och utländska regelverk genomförs för att undersöka hur brandteknisk dimensionering av ventilationssystem sker i Sverige och utomlands. Handböcker och rekommendationer från olika länder används också. Dessutom tas kontakt med personer som bedöms vara insatta i de olika ländernas regler.

Intervjuer, samtal, RIB samt en enkätundersökning används för att undersöka förekomsten av incidenter där brandgaser spridits via ventilationssystemet i Sverige. Enkätundersökningen visade sig vara övergripande för arbetet och såldes presenteras resultatet av den löpande under arbetet av praktiska skäl.

Enkätundersökningen, samtal och litteratur används för att identifiera de viktigaste variablerna som kan bidra till brandgasspridning via ventilationssystem. Statistik ihopsamlad av räddningsverket är en viktig del i analysen av de osäkra variablerna.

Inverkan av osäkerheter och risker studeras med hjälp av beräkningar och simuleringar. Kalkylprogrammet Microsoft Excel används för att genomföra en osäkerhetsanalys i form av ett händelsetråd och datorverktygen *Program Flow System* (PFS) används för att beräkna konsekvenser av brandgasspridning.

2.1 Vetenskaplig metodik

Ett vetenskapligt arbete skall vara sakligt, objektivt och balanserat (Ejvegård, 2003). Saklighet betyder att de uppgifter som förmedlas är sanna och riktiga, t.ex. bör primärkällor användas i ett vetenskapligt arbete. Objektivitet innebär en skildring inte färgas av författarens eget omdöme. Eftersom detta arbete, till stor del, grundas på samtal och litteratur är det viktigt att informationssökningen är bred, för att undvika enskilda personers värderingar och att objektivitet erhålls. Den tredje termen, balans, innebär att i framställningen i arbetet ger rätt utrymme åt det som behandlas. För att erhålla kunskap om hur arbetet skall utföras och för att följa dessa termer har följande litteratur studerats:

Att skriva en rapport (Björklund och Paulsson, 2003) – En rapport sammanställd vid institutionen för teknisk logistik, LTH. Rapporten behandlar disposition, layout och språk samt hur en rapport bedöms.

Vetenskaplig metod (Ejvegård, 2003) – Boken presenteras vanliga forskningsmetoder och tekniker. Konkreta anvisningar för utformandet av sammanfattning, abstract och

källförteckning presenteras. Boken beskriver också vad handledning och opposition innebär.

Rapporter och uppsatser (Backman, 1998) – Boken handlar om hur vetenskapliga dokument läses och skrivs samt hur litteratur söks i elektroniska referens databaser och vad en sådan bas innehåller.

3 GENOMFÖRD ENKÄTUNDERSÖKNING

I detta kapitel presenteras den enkätundersökning som har gjorts i samband med examensarbetet. Enkäten kan återfinnas i sin helhet i appendix B och samtliga svar finns appendix C. Syftet med enkätundersökningen är att ge inledande information om examensarbetets frågeställningar och att hjälpa till att svara på dem.

En enkät valdes framför intervjuer eftersom enkäter är enklare och mindre tidskrävande. Nackdelen var att frågorna är strukturerade och möjligheten till spontana följdfrågor fanns inte. Enkäten skickades ut med e-post, som ett pdf-dokument, till 28 respondenter. Målgruppen för enkäten var personer som sysslar med brandteknisk dimensionering av ventilationssystem. De flesta respondenter är därför brandingenjörer men även vvs-ingenjörer finns representerade.

Enkäten inleds med ett brev med information om bakgrunden till enkäten, därefter följer åtta frågor med följdfrågor (totalt 15 frågor). Enkäten utformades som öppen d.v.s. respondenterna svarade fritt på frågorna. En öppen enkät anses ge mer uttömmande svar men är svårare att sammanställa statistiskt. Någon djupare statistiskt analys anses dock inte vara lämplig eftersom enkäten skickades ut till relativt få personer. Frågorna i enkäten utformades utifrån frågeställningarna i examensarbetet (se avsnitt 1.2).

3.1 Resultat

Enkäten skickades ut till de 28 respondenterna i mitten av september 2005. Ett andra utskick av samma enkät till dem som inte svarat gjordes tre veckor senare. Antalet respondenter redovisas i tabell 3.1.

	Antal utskick	Antal svar	Antal "ej lämplig"
Första utskicket	28	9	5
Andra utskicket	9	5	2
Totalt	-	14	7

Tabell 3.1: Antal utskick och svar i enkäten.

Tabell 3.1 visar att 21 personer svarade på utskicket, vilket motsvarar 75 % av de som fick utskicket, av dessa svarade sju personer att de inte var lämpade att besvara enkäten. Vilket innebär att fjorton personer svarade på enkäten vilket är 50 % av de tillfrågade.

Resultaten från enkätundersökningen presenteras löpande i arbetet i de avsnitt där de anses höra hemma. Fråga 1 presenteras i avsnitt 4.5.3, fråga 2a i avsnitt 6.3, fråga 3 i avsnitt 5.1.2.1, fråga 4 i avsnitt 6.1.1, fråga 5a och 5b i avsnitt 10.7.1, fråga 6a och 6c i avsnitt 8.2.2 samt fråga 7 och 8 i avsnitt 7.3. Svar på alla frågor i enkäten presenteras inte i arbetet eftersom antalet respondenter på vissa frågor (t.ex. 6d och 6e) ansågs vara för få. De fullständiga svaren finns dock att beskåda i appendix C.

3.1.1 Reliabilitet och Validitet

Reliabiliteten, eller tillförlitligheten, i enkätundersökningen har inte studerats eftersom det är en relativt liten enkät med lite utrymme för kontrollfrågor. Utifrån

antalet svar och kunskapen om respondenternas kompetens gör dock bedömningen att reliabiliteten i enkätundersökningen är tillfredställande

Validitet innebär att det som avses undersökas verkligen undersöks. Validiteten i enkätundersökningen kontrollerades innan första utskicket genom en kvalitetskontroll av professor Lars Jensen och universitetslektor Håkan Frantzich.

4 ALLMÄNT OM VENTILATIONSSYSTEM

I detta kapitel introduceras examensarbete och de studerade problemen genom att presentera tidigare arbete på området, uppbyggnad av ventilationssystem samt mekanismerna bakom brandgasspridning.

4.1 Tidigare arbete på området

För att förankra arbete till tidigare arbeten har en litteraturoversikt gjorts. Inom området har en del tidigare arbete utförts, men de behandlar framförallt beräkningsuttryck och tillvägagångssätt vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem. Olsson listar i sitt examensarbete upp ett antal sådana studier (Olsson, 1999). Olssons lista är fortfarande aktuell eftersom inte mycket arbete har gjorts de senaste åren men följande tillägg, i kronologisk ordning, kan göras:

Brandgasspridning via ventilationssystem (Hielscher & Warelius, 1993) – Detta är ett examensarbete gjort vid avdelningen för installationsteknik vid LTH. I arbetet jämförs datorprogrammet PFS med experimentella försök i liten skala. Resultaten visade att PFS kan användas för att beräkna spridning av brandgaser och att överensstämmelsen mellan programmet och försöken var god.

Brandgasspridning via ventilationssystem – Beräkningsteori och beräkningsexempel för olika typer av lokaler och verksamheter (Olsson, 1999) – Olsson presenterar i sitt examensarbete ett tillvägagångssätt för hur Brandgasspridning via ventilationssystem kan beräknas. Olsson visar i en jämförelse mellan denna beräkningsmetod och ett experimentellt försök att resultaten blir snarlika.

Principles of smoke management (Klote & Milke, 2002) – En amerikansk ventilationshandbok som behandlar brandgaskontroll (eng. *smoke management*). Brandgasspridning via ventilationssystem berörs men kortfattat.

Brandskyddshandboken (Brandskyddshandboken, 2005) – Ett kapitel, av Olsson, om brandskydd i ventilationssystem har tillkommit i den senaste versionen av *Brandskyddshandboken*. Grundläggande teori, beräkningsgång, beräkningsmodeller samt förslag på redovisningskrav av beräkningar tas upp.

4.1.1 Osäkerheter och jämförelser mellan olika länder

Osäkerheter vid beräkning av brandgasspridning via ventilationssystem finns nämnt som ett problem i litteraturen ovan. Väldigt lite har dock gjorts för att studera och kvantifiera dessa osäkerheter. Det samma gäller jämförelser mellan svenska med utländska regler på området. En något inaktuell jämförelse finns dock i:

Rökspridning via ventilationsinstallationer en förstudie (Falk & Malmström, 1984) – Rapporten är gjord vid Kungliga tekniska högskolan och tar upp förhållanden och bestämmelser i Sverige, Danmark, Norge, Finland, Japan, New York, Australien samt England. I studien konstaterades det att tillämpningarna var olika i olika länder men att det fanns en viss trend: att undertryck, i förhållande till omgivningen, skulle skapas i brandrummet. Studien har dock ett par år på nacken och anses inte ge en bild av nuvarande förhållanden eftersom regelverk har ändrats och mer forskning har genomförts.

4.1.2 Inträffade incidenter

Ett fåtal försök har gjorts i att dokumentera incidenter där brandgaser spridits via ventilationssystemet i en byggnad. Sådana studier kan hittas i:

Spridning av rök och brandgaser i ventilationssystem (Jensen, 1993) – I denna rapport utgiven av installationsteknik vid LTH har en relativt omfattande undersökning gjorts för att finna brandfall med spridning av brandgaser via ventilationssystemet. Ett tiotal incidenter beskrivs i rapporten vilket visar att problemet förekommer men någon slutsats om hur vanligt det är görs dras ej.

Skydd mot brand- och brandgasspridning via ventilationssystem (Stenlund, 2001) – I detta examensarbete har intervju med en brandingenjör vid Stockholms brandförsvaret gjorts och ett par inträffade incidenter har identifierats men någon djupare analys av dem görs inte.

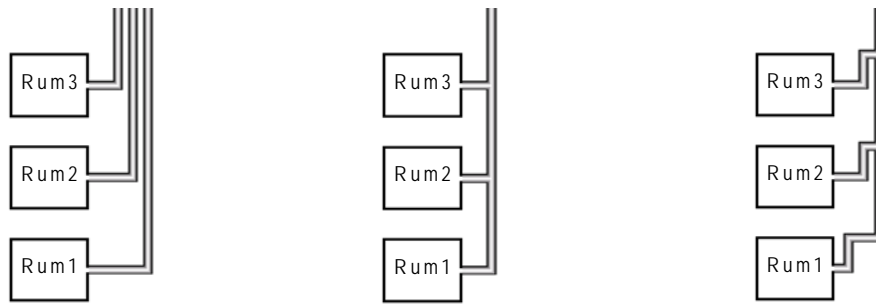
4.2 Allmänt om ventilationssystem

För att senare kunna hänvisa till en ventilationssystemstyp och hur den är uppbyggd presenteras i detta avsnitt en översikt av hur moderna ventilationssystem kan se ut.

4.2.1 Självdragssystem

Ett självdragssystem (S-system) är den enklaste typen av ventilationssystem. Varm luft i en byggnad stiger uppåt, p.g.a. termisk stigningskraft, och försvinner ut ur byggnaden genom luftkanaler. Det skapar ett undertryck i byggnaden som bidrar till att ny luft sugas in genom otätheter i fasaden. S-system låter enkelt och bra men fungerar inte i moderna täta hus. Dessutom går det inte att reglera eftersom det är temperaturskillnaden mellan ute- och inneluft som reglerar luftomsättningen. På sommaren kommer således nästan ingen luftomsättning ske och ventilationen måste därför kompletteras med fönstervädring. På vintern, när temperaturskillnaden är hög, kommer kall uteluft att orsaka drag vilket kan bidra till att tätningslister sätts i fönster och dörrar som hindrar att ny luft sugas in i huset och på så sätt motverkas självdragsprincipen. (Svensk Ventilation, 2005)

S-system kan utformas på flera olika sätt, tre vanliga utformningar visas i figur 4.1. Den vänstra figuren visar ett S-system med separata kanaler, d.v.s. varje frånluftsdon betjänas av en egen kanal. Detta är, speciellt för byggnader med flera våningar, väldigt utrymneskrävande och därför kan systemen med gemensam huvudkanal vara bättre lämpade (Jensen, 2002a). Den mittersta och den högra figuren i figur 4.1 visar två system med gemensamma kanaler. Den högra figuren har en liten böj vilket gör att grenkanalen ansluter en bit upp på huvudkanalen. Syftet med denna konstruktion är att luktspridning skall försvåras och är således inte avsedd som en brandskyddsåtgärd.



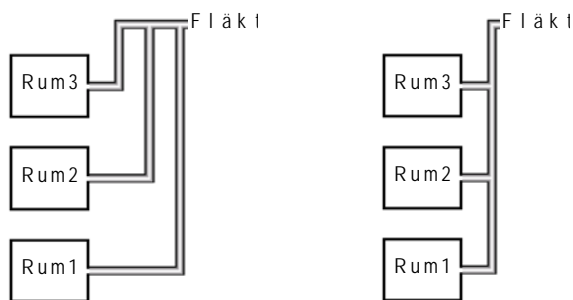
Figur 4.1: Exempel på olika typer av S-system.

S-system var vanligare förr än vad det är idag, men om det används så är det nästan uteslutande i bostäder.

4.2.2 Frånluftssystem

I frånluftssystem (F-system) används en frånluftsfläkt som suger ut luft från byggnaden. Detta skapar ett undertryck i huset vilket gör att uteluft sugs in genom uteluftsdon, ventiler och otätheter (Svensk Ventilation, 2005). Precis som i ett S-system sugs kall uteluft in och varm inneluft tas ut. Detta kan, precis som S-systemet, orsaka drag och leda till att don och ventiler stängs. Till skillnad från S-systemet är ett F-system ganska oberoende av temperaturskillnaden och luftflödet är i stort sett konstant över året (Jensen, 2002a).

Precis som ett S-system kan kanalerna i ett F-system byggas upp på olika sätt (se figur 4.2). Ett alternativ är att frånluften går i separata kanaler fram till en huvudkanal strax före fläkten. Ett annat alternativ är att grenkanalen från frånluften ansluter direkt till en huvudkanal.

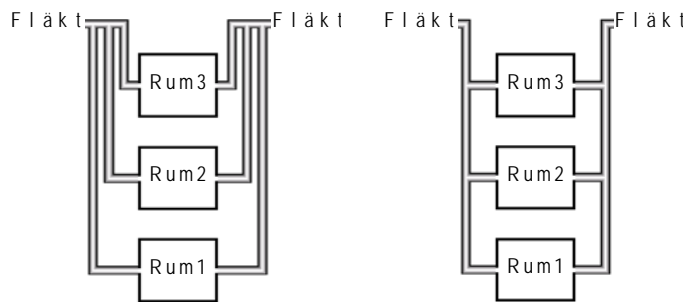


Figur 4.2: Exempel på olika typer av F-system.

F-system är vanligast i bostäder och framförallt i flerbostadshus. I F-system finns ingen möjlighet till värmeåtervinning.

4.2.3 Från- och tilluftssystem

Den mest avancerade typen av ventilationssystem är från- och tilluftssystem (FT-system). Ett FT-system innebär att fläktar styr både till- och frånluften. Det innebär att man har fullkontroll över mängden friskluft som tillförs, vilket man inte har i de båda andra alternativen (Svensk Ventilation, 2005). Byggnader med FT-system kan göras relativt täta eftersom all tilluft skall komma via tilluftsdon. Kanalutformningen på ett FT-system liknar den som finns i F-system men kompletteras med tilluftskanaler (se figur 4.3).



Figur 4.3: Exempel på olika typer av FT-system.

FT-system med värmeåtervinning brukar betecknas FTX-system. Då används den varma luften i frånluftssystemet för att värma upp den kalla luften i tilluftssystemet i en värmeväxlare. Denna typen av värmeåtervinning ger möjlighet till lägre energiförbrukning.

FT-system är normalt sett dyrare än S- och F-system. Därför har de haft svårt att slå igenom för bostäder, men FT-system blir trots det vanligare. FT-system är vanligast på kontor, hotell och i allmänna byggnader. I nyare anläggningar med FT-system är värmeåtervinning oftast en självklarhet. (Svensk Ventilation, 2005)

4.3 Mekanismen bakom brandgasspridning

Om brandgaser sprids genom byggnadstekniska gränser, som väggar och bjälklag, sker det från brandrummet till de närmast omgivande rummen. Sker spridningen via ventilationssystemet kan brandgaser spridas långa sträckor på kort tid, vilket gör problemet mer komplext (Dellgar & Häggbom, 2004). Mekanismen bakom brandgasspridning via ventilationssystem är komplicerad och beror på många variabler.

4.3.1 Brandflöde

I samband med en brand ökar temperaturen i brandrummet. Temperaturökningen kommer att bidra till en termisk expansion av gaserna i rummet vilket kan tolkas som ett flöde, kallat brandflöde. Brandflödet kan räknas fram teoretiskt med hjälp av allmänna gaslagen (se ekvation 4.1) och en enkel energibalans (se ekvation 4.2). Följande uttryck är hämtade från Jensen (2002a).

$$\Delta V = \frac{m \cdot R \cdot \Delta T}{M \cdot p} \quad (\text{Ekvation 4.1})$$

ΔV - volymändring, m³/s

m - luftvolymens massa, kg

R - allmänna gaskonstanten, 8314 J/kmol K

ΔT - temperaturändring, K/s

M - luftens molekylvikt, 28,97 kg/kmol

p - rådande tryck, 101300 Pa (normalt lufttryck)

Ekvation 4.2 beskriver en enkel energibalans för hur den tillförda energin medför en temperaturändring hos en luftvolym vid konstant tryck.

$$\Delta T = \frac{\Delta E}{m \cdot c_p} \quad (\text{Ekvation 4.2})$$

ΔE - tillförd energi, J/s

c_p - värmekapaciteten vid konstant tryck, J/kgK

Genom att använda i ekvation 4.1 i ekvation 4.2 erhålls följande uttryck:

$$\Delta V = \frac{R \cdot \Delta E}{M \cdot c_p \cdot p} \quad (\text{Ekvation 4.3})$$

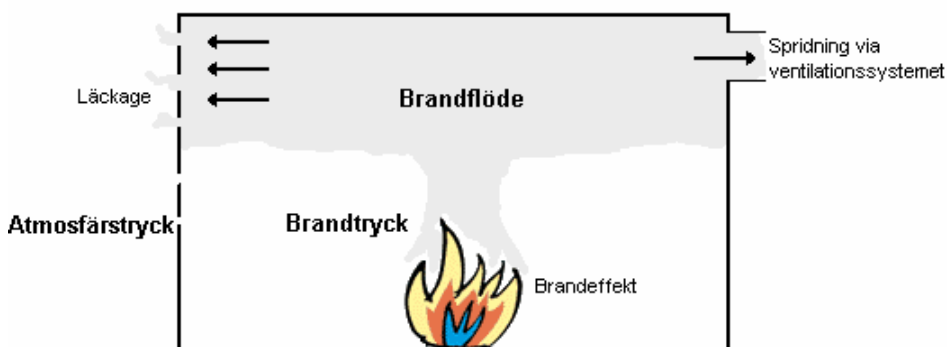
Om volymändring per tidsenhet av en gas sker i ett rum med konstant volym skapas ett flöde, i detta fall ett brandskapat flöde, och eftersom energi per tidsenhet är effekt så kan detta flöde, eller vanligen kallat brandflöde, härledas från brandens effekt:

$$q_b = \frac{R \cdot P}{M \cdot c_p \cdot p} \quad (\text{Ekvation 4.4})$$

q_b - brandflöde, m³/s

P - effekt, J/s

Brandflödet kommer på så sätt att följa effektutvecklingen av branden och fortgå så länge en effekt alstras. Brandflödet kommer att skapa ett tryck eftersom rummets väggar hindrar luftvolymens termiska expansion. Trycket, som vanligen benämns brandtryck, kommer att trycka ut luft och brandgaser ur rummet. Storleken på brandtrycket beror på brandens effekt, rummets täthet och ventilationssystemets uppbyggnad (Jensen, 1993). Således är det inte enbart brandflödet som bestämmer om brandgaser sprids (se figur 4.4).



Figur 4.4: Illustration av faktorer som påverkar brandgasspridningen (efter Hielscher & Ivarsson, 1994).

Så länge det finns en tryckskillnad i systemet kommer luft från brandrummet sträva efter att utjämna brandtrycket. För att beräkna om och hur brandgasspridning sker behövs således ekvationer för hur tryck och flöde förhåller sig. Ventilationstekniska och byggnadstekniska flödessamband kan enligt Jensen (2002) förenklas till följande kvadratisk samband:

$$p = R_n q^2 \quad (\text{Ekvation 4.5})$$

p - tryckfall, Pa
 R_n - motstånd
 q - flöde, m³/s

Om tryckfallet vid ett visst flöde är känt kan således motståndet beräknas. Detta motstånd kan sedan, grovt sagt, användas vid beräkningen av tryckfallet då ett brandflöde alstras. Ekvation 4.5 kan användas för såväl tryckfall i fasaden som i ventilationskanaler men ger endast en förenklad bild av verkligheten, t.ex. bör även effekten av brandgasernas temperatur beaktas. För ytterligare information om hur dessa beräkningar skall utföras rekommenderas Olsson (1999).

4.3.2 Läckage genom brandrummets väggar

Brandtrycket kommer att pressa ut luft genom otätheter i brandrummets klimatskal. Mängden luft som läcker ut beror på formen på öppningarna, d.v.s. motståndet R_n i ekvation 4.5, och storleken på drivkrafterna. Normalt är dessa drivkrafter: tryckskillnaden mellan ute och inne, temperaturskillnaden mellan ute och inne samt, om det finns, flödet i ventilationssystemet (Gordonova, 1998). Om ett fönster kollapsar eller om en dörr lämnas öppen i brandrummet kommer tryckbilderna i rummet ändras och betydelsen av läckage i väggar kommer att minska. Vinden och vindtrycket på fasaden är också en faktor som kommer att påverka läckaget.

Det är väldigt svårt att avgöra hur stora en byggnads läckageytor är eftersom det kommer att bero på en rad faktorer som t.ex. designen av byggnaden, hantverkarnas skicklighet, konstruktionsfel och val av byggnadsmaterial. För att få reda på en specifik byggnads täthet måste hela byggnaden testas. Detta kan göras med den tryckmetod som finns beskriven i *Svensk Standard SS 02 15 51*.

För nya hus och ombyggnad krävs det att byggnadens klimatskal skall vara så tät att det maximala läckaget vid ett övertryck på 50 Pa inte överstiger 0,8 l/s·m² för bostäder och 1,6 l/s·m² för andra lokaler (Boverket, 1994). Ofta används dessa värden vid beräkning av brandgasspridning via ventilationssystem. Om byggnaden är tätare än så innebär det en risk för högre tryckuppbyggnad i brandrummet och således större risk för spridning av brandgaser via ventilationssystemet.

4.3.3 Ventilationssystemets inverkan

Brandgasspridning kan ske mellan olika brandceller via ventilationssystemet eftersom det utgör en öppen förbindelse. Hur och om brandgasspridning sker bero på hur ventilationssystemet är utformat. I ett S-system med separata kanaler (se figur 4.1) kommer inte brandgasspridning via ventilationssystemet att ske, såvida kanalerna inte är otäta. I S-system, där grenkanalerna ansluter till gemensam en huvudkanal (se figur 4.1), finns risk för brandgasspridning och eftersom ingen mekanisk ventilation finns S-system kommer utbredningen av brandgaser styras av branden.

I en byggnad med ett F-system (se figur 4.2) är det normalt ett undertryck mellan 50 till 200 Pa (Olsson, 1999). Då brandflödet blir obetydligt större än det normala ventilationsflödet uppstår ett övertryck i rummet och brandflödet trycks ut genom

uteluftsdon, klimatskalet och ventilationen. Den del av brandflödet som trycks ut i ventilationen kallas kanalbrandflöde. När brandflödet ökar, ökar också trycket och om ingen tryckavlastning sker i brandrummet kan övertrycket spridas in i kanalsystemet. Gränsfallet för brandgasspridning uppkommer då övertrycket når fram till anslutningen mellan anslutningskanal och huvudkanal. Det krävs då bara en liten ökning av brandflödet för att brandgasspridning skall ske till lokaler som ansluter uppströms. (Jensen, 2002a)

I ett FT-system (se figur 4.3) sker brandgasspridningen först via T-systemet, eftersom gränsfallet för spridning i T-systemet inträffar när brandtrycket är lika stort som övertrycket vid förgreningen från samlingskanalen, vilket är cirka 20-100 Pa (Olsson, 1999). Brandflödet behöver alltså inte vara lika stort för att spridning skall ske via ett T-system som i ett F-system. Brandgasspridning i T-system innebär att den normala strömningsriktningen vänds och att brandgasspridning sker till alla rum nedströms brandrummets anslutningspunkt (Jensen, 2002a). Då brandgasspjäll installeras i samtliga kanaler på tilluftssidan i ett FT-system kommer det att, ur spridningssynpunkt, vara ekvivalent med ett F-system (Hielscher & Ivarsson, 1994). Det förutsäger dock att samtliga spjäll är ofelbara och att de är fullständigt täta, vilket inte behöver vara fallet eftersom kvalitetskontroll av spjäll tillåter ett visst läckage (CEN, 1999).

4.4 Metoder för att undvika brandgasspridning

Ett flertal metoder för att undvika brandgasspridning via ventilationssystem finns framtagna. Vilken metod som används i ett visst system beror på typen av system och verksamheten i byggnaden, ofta är det även så att en kombination av metoder används. I detta avsnitt görs en översiktlig presentation av ett par metoder och tekniska lösningar för att undvika brandgasspridning via ventilationssystem. Utförligare beskrivning av metoderna finns i Backvik et al (1996), Stenlund (2001) och *Brandskyddshandboken* (2005).

4.4.1 Separata ventilationssystem

Separata system innebär att varje brandcell har sitt eget system med fläkt, eller aggregat, placerat i brandcellen eller i ett maskinrum. Att använda separata ventilationssystem är ett säkert sätt att undvika brandgasspridning. Det är dock sällan ekonomiskt försvarbart eftersom det kräver mycket utrymme och ett stort antal fläktaggregat (Walmerdahl & Werling, 2002). Separata ventilationssystem ända ut till det fria är en metod som anses förhindra spridning av brandgas (Brandskyddshandboken, 2005)

4.4.2 Spjäll

Brandgasspjäll används för att stänga av en ventilationskanal så att brandgaser inte kan spridas till en annan brandcell. Det finns tre typer av spjäll; brandgasspjäll som förhindrar spridning av brandgas, brand/brandgasspjäll som förhindrar spridning av brand och brandgas samt backspjäll som förhindrar återströmning av gaser.

Brandgasspjäll kan sättas in i både F- och T-kanalen till en brandcell. När brand detekteras stängs spjällen och rummet tryckavlastas (se avsnitt 4.4.5). På så sätt avskiljs resten av ventilationssystemet från brandrummet (Jensen, 2002a). En annan

lösning är att behålla frånluften i drift och stänga tilluften med spjäll för att på så sätt vädra ut brandgaser. Det är dock viktigt att, ur utrymningshänseende, beakta det undertryck som uppstår i rummet (Brandskyddshandboken, 2005). Kraven på brandgasspjäll och brand/brandgasspjäll är höga, för att typgodkännas måste de nämligen motioneras var 48:e timme. Om brandgasspjäll och brand/brandgasspjäll uppfyller de krav som finns och placeras mellan brandceller korrekt sätt anses det vara en åtgärd som förhindrar brandgasspridning.

4.4.3 Mekaniska till- och frånluftssystem i drift

När många brandceller är anslutna till samma aggregat kan det bli kostsamt med införskaffande samt underhåll av spjäll (Ohlsson et al, 2003). Då kan mekaniska till- och frånluftssystem i drift, vanligen benämnt fläktar i drift, vara ett alternativ. Fläktar i drift ställer en rad extra krav på ventilationssystemet när det gäller kanalupphängning, brandisolering m.m. (Hielscher & Ivarsson, 1994). I ett F-system fortsätter i regel fläkten att gå som normalt. I FT-system finns fler lösningar t.ex. att stänga tilluften med spjäll, konvertera tilluftsfläkten till frånluft eller att tryckavlasta i brandrummet. När det gäller konverterade tilluftssystem är det viktigt att beakta tvärströmning d.v.s. då fläktarna suger olika mycket vilket kan medföra att brandgaser sugas mellan det svagare och starkare systemet genom en lokal. För att undvika tvärströmning måste tryckuppbyggnaden mellan frånluftssystemet och det konverterade tilluftssystemet vara ungefär lika stora. En annan viktig aspekt som måste beaktas vid konverterade system är undertrycket i de betjänade lokalerna eftersom det kan medföra att det blir svårt att öppna dörrar.

Fläkt i drift är framförallt att föredra vid anläggningar med F-system som betjänar många men tämligen lika brandceller (Backvik, 1999). Utformningen av kanalsystemet skall göras så att det är svårt för brandgaserna att tryckas in i ventilationssystemet men lätt för de som kommit in att transporteras ut.

Följande grova uppdelning har gjorts av Jensen (1993) för att tydliggöra ventilationssystemets betydelse vid brand.

Fall	Ventilationssystem	Klimatskal	Brandgasspridning
1	i drift	helt	liten
2	i drift	sönder	ingen
3	ur drift	helt	stor
4	ur drift	sönder	måttlig

Tabell 4.1: Brandgasspridning beroende av ventilationssystemet och klimatskalet i brandrummet efter Jensen, 1993).

Slutsatsen av tabell 4.1 är att risken för brandgasspridning är lägst då ventilationssystemet behålls i drift. Tabell 4.1 ger en förenklad bild och skall inte förutsättas stämma i alla situationer. I fall 4 kan t.ex. brandgasspridningen vara *liten* om rummet är helt tryckavlastat, d.v.s. då stora öppningar finns i klimatskalet. Vidare förutsätter ett fungerande system med fläktar i drift att noggrann dimensionering genomförs. I det tillämpningsexempel som görs i kapitel 11 studeras ett system som är dimensionerat för att fungera med fläktar i drift och konverterat tilluftssystem.

System med fläktar i drift kan, med lämpliga metoder, utformas så att brandgasspridning förhindras eller avsevärt försvåras.

4.4.4 Rök- och brandgasutluftning

En annan strategi för att avsevärt försvåra brandgasspridning via ventilationssystem är att de mekaniska fläktarna stoppas vid brand och att avluftningsspjäll i kanalsystemet öppnas till det fria. På så sätt utnyttjas de termiska stigkrafterna och brandgaserna vädras ut. Kanalsystemet skall utformas så att det är svårt för brandgaserna att tryckas in i ventilationssystemet men lätt för de som kommit in att transporteras ut. Vid brandgasutluftning är det för övrigt viktigt att beakta tryckfallet och vindkänsligheten hos avlastningshuven. (Brandskyddshandboken, 2005)

4.4.5 Tryckavlastning

Ytterligare en strategi för att avsevärt försvåra brandgasspridning är att tryckavlasta. Trycket i brandrummet kommer, som beskrivet i avsnitt 4.3.1, att bero av bl.a. rummets täthet. Om rummet är tätt kommer brandtrycket att bli högt och således ökar risken för brandgasspridning. För att eliminera brandtrycket kan en lucka eller ett fönster öppnas till det fria eller till ett schakt. På så sätt undanröjs risken för brandgasspridning via ventilationssystemet (Ohlsson et al, 2003). Det kräver dock att luckan blir dimensionerad på ett riktigt sätt.

Tryckavlastningen bör aktiveras vid ett övertryck mellan 50 och 100 Pa annars finns risk för brandgasspridning i ett eventuellt T-system (jfr. avsnitt 4.3.3). Vid kraftig vind kan dock tryckavlastningen felutlösa och därför bör det finnas luckor på flera sidor av en byggnad (Jensen, 2002a). Tryckavlastning används vanligen i kombination med något av de tidigare nämnda systemen.

4.4.6 Tryckfallsmetoden

Tryckfallsmetoden eller vanligen kallad 5:1 metoden innebär att förhållandet mellan tryckfallet i den del av kanalsystemet som betjänar endast en brandcell och den del av systemet som utgör gemensam samlingskanal ut till det fria minst skall vara än 5:1 (Jensen, 1998). Detta är ett enkelt krav att uppfylla men har visat sig inte ge ett tillfredställande skydd och rekommenderas således inte längre i BBR.

4.5 Verktyg vid beräkning av brandgasspridning

Omständigheterna kring varje ventilationssystem är speciella och därför måste varje enskilt system dimensioneras separat. För att göra detta kan handberäkningsmetoder och/eller datorprogram användas. Dessa används som verktyg för att skapa modeller att analysera.

4.5.1 Handberäkningar

För att få en uppfattning om ett ventilationssystemets funktion vid brand kan förenklade beräkningsmodeller användas. En beräkningsmetod är s.k. Alexanderberäkning. Metoden bygger på att ett flöde eller ett tryck ansätts ytterst i systemet och sedan görs beräkningar genom systemet mot fläkten. Ytterligare beskrivning av metoden finns i Jensen (2002a). En nackdel med *Alexandermetoden* är att den ej tar hänsyn till den termiska stigkraften hos brandgaserna. Kompensation för detta måste göras för att undvika fel. Det är dock så att felaktigt hanterande av handberäkningsmodeller är vanligt förekommande (Brandskyddshandboken, 2005).

En mer avancerade handberäkningsmetod är framtagen av Olsson (1999). Metoden bygger på ett antal ekvationer som används i en itereringsprocess och som lämpligast genomförs i ett kalkylprogram. Metoden är användbar för beräkningar på fläktar i drift och rökavluftning. Ytterligare beskrivning av metoden finns i Olsson (1999) och *Brandskyddshandboken* (Brandskyddshandboken, 2005).

4.5.2 Datorprogram

Det finns ett par olika datorprogram som kan användas för att undersöka ifall brandgasspridning sker i ett ventilationssystem. *Program Flow System* (PFS) är ett sådant program. PFS har sedan slutet av 80-talet utvecklats av professor Lars Jensen vid avdelningen för installationsteknik vid LTH. Programmet fungerar som en enkel text-editor där ventilationssystemet ”ritas” upp. Systemet definieras och justeras så att tryckfallen över till- och frånluftsdon motsvara normalfallet. Systemet utsätts sedan för ett brandflöde och på så sätt kan eventuella brister identifieras (Jensen, 1994a; Jensen, 2002b). Datorprogrammet PFS är beskrivet ytterligare i appendix E.

Ett annat beräkningsprogram är *Flercell*. *Flercell* började som ett beräkningsprogram för utvärdering av energisparprojekt i slutet av 70-talet. Programmet har utvecklats sedan dess och under 90-talet användes det även vid studier av byggnaders luftsystem och de senaste åren har ytterligare funktioner lagts till. *Flercell* kan nu användas till bl.a. spridningsberäkningar, simulering av ventilationssystem, simuleringar av luftspalter i fasader och yttertak och tryckberäkningar i höga byggnader. I programmet kan s.k. expansionsflöden och termiska effekter läggas in vilket gör att brandgasspridning mellan brandceller via ventilationen eller avskiljande väggar kan betraktas. (Häggbom & Dellgar, personlig kommunikation, 12 oktober, 2005)

4.5.3 Vem genomför dessa beräkningar?

Vanligen sköter en ventilationskonsult den brandtekniska projekteringen av ett ventilationssystem. Då problemet blir komplicerat (t.ex. en lösning med fläktar i drift) eller då ventilationskonsult saknar kompetens kan de ta hjälp av en brandingenjör som har kunskap om brandteknisk dimensionering av ventilationssystem.

I den enkätundersökning som genomförts i detta examensarbete ställdes frågan: ”Vilken ingenjörs uppgift är det att studera ventilationssystemet vid brandteknisk dimensionering av en byggnad?”. De svar som erhöles varierade. Ett fåtal respondenter hävdade att det är den ventilationskunniges sak medan andra menade att det är den brandkunniges uppgift. Majoriteten svarade dock att ett kompletterande samarbete mellan de båda teknikområdena behövs. Svaren kan studeras i sin helhet i appendix C.

5 ALLMÄNT OM RISKHANTERING OCH OSÄKERHETSANALYS

Som tidigare nämnts i avsnitt 1.1 utgör riskanalysmetodik en viktig del i en osäkerhetsanalys. Senare i examensarbetet kommer en osäkerhetsanalys avseende risken för brandgasspridning i ett ventilationssystem att genomföras och därför görs en teorigenomgång av riskhantering och osäkerhetsanalys i detta kapitel. Inte all den teori som presenteras i detta kapitel kommer att användas senare men den anses dock nödvändig för att förstå helheten och därför utgör detta kapitel en central del i arbetet.

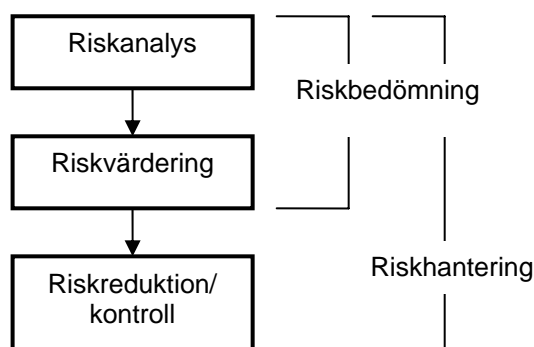
5.1 Riskhantering

Rent teknisk definieras risk relativt okomplicerat, som en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens, dessutom betraktas oftast endast fåtal aspekter som t.ex. dödsfall eller personskada. Begreppet risk kan dock bli mer komplicerat ur ett socialkonstruktivistiskt perspektiv, då t.ex. erfarenhet av risken, möjlighet att kontrollera risken, konsekvensen storlek m.m. betraktas (Nilsson, 2000). Detta innebär dock inte att tekniska riskanalyser är okomplicerade. Ett exempel på detta är subjektiviteten i val av indata som t.ex. Lauridsen et al (2001) visar kan skilja sig markant åt mellan olika bedömare. I detta arbete anses den tekniska definitionen vara tillräcklig och kommer att användas härnäst.

Med det funktionsbaserade alternativet (se avsnitt 1.1) följer det att dimensioneringen kan bli mer eller mindre riskbaserad. Dessutom står det i uttryckligen följande i BBR 10:

“Analytisk dimensionering och vid behov tillhörande riskanalys skall verifiera brand- och utrymningssäkerheten i byggnader där brand kan medföra mycket stor risk för personskador.” (Boverket s. 33, 1994)

BBR ställer alltså inget krav på riskanalys men någon typ av riskhantering kan bli nödvändig vid eftersom de brandtekniska lösningar som görs måste verifieras. *International Electrotechnical Commission (IEC)* har satt upp en standard för hur riskhantering av tekniska system kan bedrivas (IEC, 1995) och enligt den består riskhantering av tre huvuddelar (se figur 5.1).



Figur 5.1: Komponenterna i riskhantering, efter ICE (1995).

En riskanalys innebär att problemet definieras, att farorna identifieras på ett systematisk sätt samt att risken beräknas. Riskvärdering betyder att en värdering görs, på grundval av riskanalysen, om risken kan tolereras och vilka alternativ som finns. Riskreduktion/kontroll innebär att beslut fattas för hur risken skall hanteras och/eller reduceras. Dessa åtgärder skall sedan övervakas och återutvärderas. Då de tre stegen i figur 5.1 genomförs kontinuerligt brukar det sägas att en riskhanteringsprocess genomförs.

5.1.1 Riskanalys

För att få objektivitet och möjligheten att jämföra en riskanalys med andra riskanalyser bör, enligt IEC, en riskanalys utföras enligt följande sex generella punkter:

- Definition av systemet som skall analyseras
- Identifiering av faror (eng. *hazard*) och initial konsekvensvärdering
- Uppskattning av risken
- Verifiering av någon utanför projektet
- Dokumentation
- Återkommande uppdatering

Huruvida IEC:s standard är tillräcklig för att genomföra en bra riskanalys på ett tekniskt system diskuteras inte i detta arbete. Det kan dock konstateras att det vid brandteknisk dimensionering kan vara lämpligt att genomföra en riskanalys enligt de punkter som beskrivits ovan.

Det finns ett antal metoder för att beräkna risken i en riskanalys. Metoderna är olika och lämpar sig för olika ändamål. Vissa metoder är bäst vid övergripande analyser medan andra är mer detaljerade och lämpar sig således vid ingående studier av ett system. Nedan ges en kort beskrivning av ett par vanliga riskanalysmetoder:

Checklistor

Checklistor upprättas mot bakgrund av tidigare erfarenheter och används för att kontrollera att framtagna standarder, för att undvika kända risker, tillämpas. Checklistor kan vara detaljrika och speciellt anpassade för den aktuella verksamheten men de kan även vara mer allmänt utformade och på så sätt passa en rad verksamheter. Checklistor kräver en stor kunskap om den aktuella anläggningen eller processen för att kunna användas på ett riktigt sätt.

What-If

”What-If”-metoden används för att med hjälp av kreativitet och fantasi bedöma verkningarna av oplanerade händelser i det studerade system. Detta görs genom att ställa frågan: ”vad händer om...”. Resultatet presenteras i tabeller där potentiella skadeförlopp och följdverkningar anges tillsammans med eventuella förslag på riskreducerande åtgärder. (Nystedt, 2000)

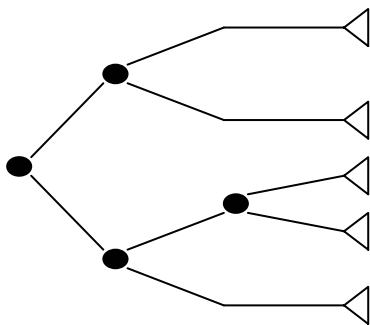
”What-if”-metoden kan användas på ett system som är i drift, i planeringsfasen av ett nytt system eller före uppstarten av ett system. Det är särskilt vanligt att ”What-if”-metoden används i samband med en planerad förändring av en process eller utrustning. Resultaten från en ”What-if”-analys är kvalitativa och några inbördes jämförelser eller kvantitativa värderingarna av riskerna görs inte. (Nystedt, 2000)

Felfunktions-, effekt- och konsekvensanalys

I en felfunktions-, effekt- och konsekvensanalys (FEMAC) studeras olika komponenter i ett system. Komponenternas möjliga felfunktioner studeras och varje felfunktions effekt på systemet analyseras. På så sätt kan en uppskattning över hur kritiska dessa effekter är för systemet och om någon åtgärd måste vidtas. FMECA kan, precis som "What-if"-metoden, användas då systemet är i drift, i planeringsfasen eller före uppstarten. Men metoden identifierar enbart enstaka händelser och är således inte lämplig för att undersöka effekterna av en kombination av felfunktioner. (Nystedt, 2000)

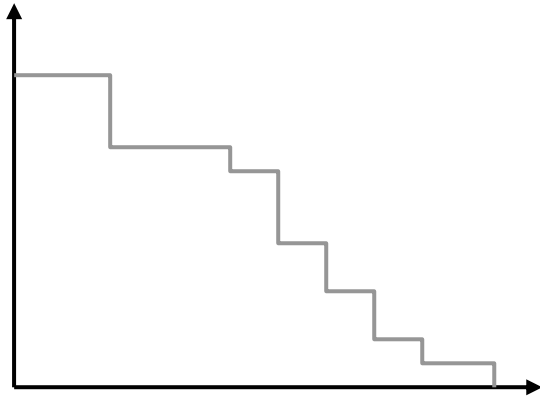
Händelseträdsanalys

En händelseträdsanalys inleds med att en initierande skadehändelse inträffar, t.ex. en brand, som har mer än ett möjligt utfall, t.ex. att branden självslocknar eller sprids, varje utfall kan sedan följas av ytterligare händelser med olika utfall t.ex. att brandlarmet fungerar eller ej. På så sätt byggs händelseträdet upp som en logisk trädstruktur från vänster till höger (se figur 5.2). Varje utfall är sedan kopplat till en sannolikhet och således blir sannolikheten för sluthändelsen summan av grensannolikheterna. Summan av sannolikheterna för samtliga sluthändelser skall alltid bli ett.



Figur 5.2: Exempel på ett händelseträd

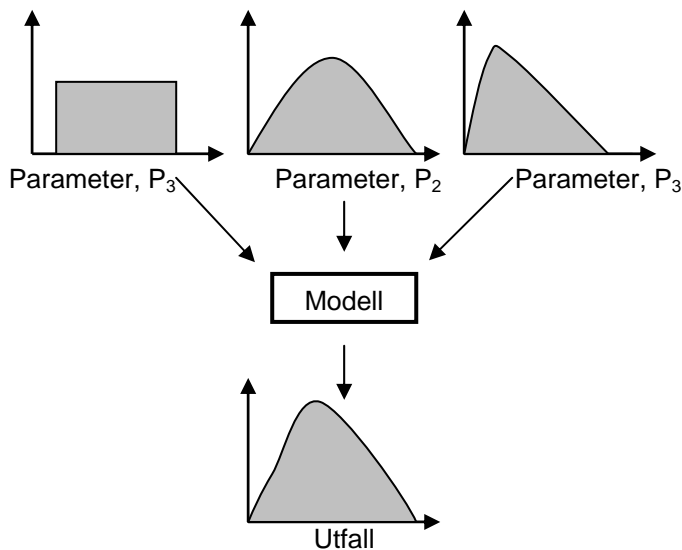
En händelseträdsanalys är i regel kvantitativ vilket innebär att de till skillnad från checklistor och "what-if" analyser är helt numeriska. Det innebär att konsekvensen av att en rad händelser inträffar och dess sannolikhet kan beräknas med ett händelseträd. Detta gör att resultaten kan redovisas i form av en kumulativ komplementär fördelningsfunktion, även kallad riskprofil, vilken beskriver ett förhållande mellan sannolikhet och konsekvens (se figur 5.3).



Figur 5.3: Diskret riskprofil

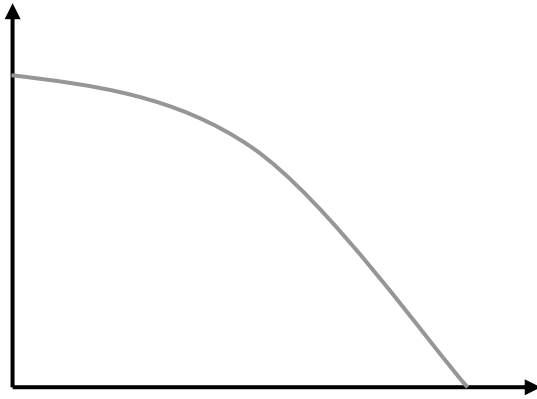
Monte Carlo analys

Monte Carlo är en avancerad probabilistisk riskanalys metod som innebär att en variabel beskrivs av en fördelning istället för med ett enstaka värde. En fördelning innebär att sannolikheten för olika värden på variabeln beskrivs. För att göra detta måste flera tusen värden på variabeln hämtas ur dess fördelning för att sedan användas i lika många beräkningar (se figur 5.4). Utfallet beskrivs sedan i en ny fördelning vilket ger en bild av hur osäkerheter fortplantas i beräkningen (Magnusson, 1997).



Figur 5.4: Illustration av tillvägagångssättet vid Monte Carlo beräkning

Monte Carlo analys kan även användas i kombination med händelseträdsanalys. Då beskrivs sannolikheterna för varje grenhändelserna med en fördelning enligt ovan vilket innebär att flera tusen beräkningar genomförs. På så sätt kan resultatet redovisas i form av en kontinuerlig riskprofil (se figur 5.5).



Figur 5.5: Kontinuerlig riskprofil

För mer information kring riskanalys och olika riskanalysmetoder rekommenderas ICE (1995), Nystedt (2000) och Nilsson (2003).

5.1.2 Riskvärdering

Efter att konsekvensen och sannolikheten beräknats i en riskanalys måste risken värderas (se figur 5.1). Till hjälp vid värderingen kan någon eller några av följande generella principer, som tagits fram av Davidsson et al (1997), användas:

- **Rimlighetsprincipen** innebär att verksamheter inte bör bidra till risker som med rimliga medel kan elimineras eller reduceras.
- **Proportionalitetsprincipen** syftar på att den totala risken för en verksamhet inte bör vara oproportionerligt stor jämfört med de fördelar som verksamheten medför.
- **Fördelningsprincipen** innebär att riskerna bör vara fördelade inom samhället i relation till fördelarna som verksamheten medför.
- **Principen om undvikande av katastrofer** betyder att risker hellre bör mynna ut i olyckor med begränsade konsekvenser som kan hanteras med tillgängliga resurser än i katastrofer.

Davidsson et al menar att några av principerna kan vara motsägelsefulla i vissa fall. Till exempel kan det inte i praktiken vara möjligt att undvika katastrofer utan att använda pengar som skulle ha inneburit en betydligt större riskreduktion om de använts för att förhindra vanligare olyckor med små konsekvenser. Således kan punkt 1 och 4 stå i konflikt med varandra.

5.1.2.1 Kriterium för acceptabel risk

För att det skall vara möjligt att avgöra ifall en risk är acceptabel eller inte efter att den värderats kan den jämföras mot någon typ av kriterium för acceptabel risk. I Sverige finns inga fastlagda kvantitativa nivåer för acceptabel risk även om det presenterats förslag (se t.ex. Davidsson et al (1997)). Dessa förslag syftar dock framförallt på risker i samhället. Att likställa risker i samhället med risker i hemmet eller på arbetsplatsen anses dock inte vara lämpligt utan att ta hänsyn till socialkonstruktivistiska aspekter.

När det gäller brandgasspridning via ventilationssystemet är det kanske istället den som bor eller regelbundet vistas i en brandcell som bör avgöra ifall risken acceptabel

eller inte. Eftersom det dock sällan är samma person som är med och projekterar byggnaden så blir detta praktiskt omöjligt. Det blir alltså upptill projektören att avgöra vad som är acceptabelt. Detta blir speciellt påtagligt när kriteriet *avsevärt försvåra*, i BBR, skall uppfyllas (se avsnitt 1.1).

Vid projektering av brandskydd används vanligen ett acceptanskriterium där brandskyddet anses vara acceptabelt om människorna i en brandutsatt lokal hinner sätta sig i säkerhet innan kritiska förhållanden uppstår. Acceptanskriteriet är definierat i BBR 10 enligt följande:

“Vid dimensionering av utrymningssäkerheten får förhållandena i byggnaden inte bli sådana att gränsvärden för kritiska förhållanden överskrids under den tid som behövs för utrymning.” (Boverket s. 47, 1994)

Att tolka detta krav som allmängiltigt är olämpligt eftersom det anses orimligt att dimensionera så att det uppfylls för samtliga bränder och för samtliga personer. Dessutom står det i kontrast till inledningen av avsnitt 5.3 i BBR där det står att ”Byggnader skall utformas så att *tillfredsställande utrymning* kan ske vid brand”. Uttrycket ”tillfredsställande utrymningen” ger utrymme för tolkningen av kravet. Vilket gör att två olika projektörer kan komma fram till två helt skilda svar. Detta kan innebära att det kan krävas kostsamma riskreducerande åtgärder i en projekterad lösning medan det inte alls är nödvändigt i en annan.

När kritiska förhållanden skall bestämmas beaktas vanligen: temperatur, strålning, brandgaslagrets höjd, sikt och toxicitet. Om risk finns för spridning av brandgaser via ventilationssystemet bör det framförallt vara toxicitet som är aktuellt att studera (Olsson, 1999). I *Brandskyddshandboken* (Brandskyddshandboken, 2002) ges följande värde på när utrymning, avseende toxicitet i brandgaserna, kan utföras säkert:

Kolmonoxid (CO)	< 2000 ppm
Koldioxid (CO ₂)	< 5 %
Syre (O ₂)	> 15%

Dessa värden borde vara de som gäller för när kritiska förhållanden uppträder. I *Brandskyddshandboken* tolkas nämligen kritiska förhållanden som då utrymning inte längre kan ske under acceptabla förhållanden, vilket inte behöver innebära att personer skadas eller dör.

I den enkätundersökning som genomförts (se kapitel 3) ställdes frågan: ”Hur stor spridning av brandgaser (mängd) via ventilationssystemet anser du vara acceptabelt?”. Några respondenter svarade med en andel av den mängd brandgaser som anses ge kritiska förhållanden, men trots det gav få respondenter några kvantitativa svar. I något fall relaterades acceptabel mängd till den mängd som godkända spjäll får läcka. Någon enstaka respondenter menade att ingen brandgasspridning, överhuvudtaget, får ske. Även om det finns menings-skiljaktigheter i svaren anses det vara en självklarhet att brandcellsgränsen skall hålla så att kritiska förhållanden inte uppstår med viss säkerhetsmarginal.

Att ingen spridning av brandgaser får ske via ett ventilationssystem med fläktar i drift anses vara ett ologiskt krav eftersom brandgaser till viss del får läcka genom andra byggnadselement som t.ex. brandgasspjäll (CEN, 1999). Men hur stor säkerhetsmarginalen till kritiskförhållanden skall vara är svårt att kvantifiera utan ytterligare studier, dessutom kommer den troligen att variera mellan olika toxiska ämnen och mellan olika typer av byggnader. Detta gör att det anses omöjligt att i nuläget kunna fastställa något generellt acceptanskriterium för brandgasspridning via ventilationssystem. Detta innebär att varje projektör måste ta fram ett lämpligt acceptanskriterium vid varje ny dimensionering för att kunna avgöra om det behövs några riskreducerande åtgärder och huruvida dessa i så fall uppfyller kravet. Vilket givetvis inte är bra eftersom det inte finns något som talar för att alla projektörer är kapabla att göra detta. Projektören är dessutom anställda av byggherren och kan på så sätt inte förmodas vara opartisk.

5.1.3 Riskreduktion/kontroll

Den sista delen i riskhantering är riskreduktion/kontroll (se figur 5.1). Om risken visat sig ligga på fel sida av vad som anses vara acceptabelt måste någon åtgärd vidtas så att den hamnar på rätt sida. Det kan ske antingen genom att risken reduceras eller elimineras. I fallet med brandgasspridning via ventilationssystemet kan risken i stort sätt elimineras genom att använda separata kanaler i ett ventilationssystem (se avsnitt 4.4). Kostanden är dock hög och lösningen kräver mycket utrymme. För att spara pengar och utrymme används andra metoder med spjäll och/eller fläktar i drift. Dessa lösningar kan inte anses vara lika säkra vilket innebär att risken enbart reduceras.

5.2 Osäkerhetsanalys

En osäkerhetsanalys kan sägas vara en analys där hänsyn tas till att variabler i en beräkning varierar. I regel är de flesta variabler i ingenjörsmässiga problem behäftade med någon typ av osäkerhet vilket skapar behov av osäkerhetsanalyser.

En riskanalys är en typ av osäkerhetsanalys eftersom osäkerheter undersöks och bedöms i den. Det som karakteriserar en riskanalys är dock i regel att det är negativa utfall som studeras något som inte är nödvändigt i en osäkerhetsanalys. Ytterligare en typ av osäkerhetsanalys är känslighetsanalys. I en känslighetsanalys varierar flera variabler samtidigt, eller enskilt, inom ett troligt område. Känslighetsanalysen ger ett mått på hur känslig en beräkning är av variationer i variablerna men däremot inte hur osäkerheterna fortplantas i analysen och påverkar resultatet. För att göra detta kan en probabilistisk osäkerhetsanalys användas. Det betyder att en variabel beskrivs av en fördelning istället för med ett enstaka värde (Frantzich, 1998). En fördelning innebär att sannolikheten för olika värden på variabeln beskrivs. För att göra detta måste flera tusen värden på variabeln hämtas ur dess fördelning för att sedan användas i lika många beräkningar (se figur 5.4). Utfallet beskrivs sedan i en ny fördelning vilket ger en bild av hur osäkerheter fortplantas i beräkningen (Magnusson, 1997). Detta är i stort precis samma sak som Monte Carlo beräkning som beskrevs i avsnitt 5.1.1 vilket visar att gränsen mellan riskanalys och osäkerhetsanalys är glidande.

5.2.1 Metoder för hantering av osäkerheter

Hantering av osäkerheter kan ske kvantitativt eller kvalitativt, d.v.s. i matematiska termer eller beskrivande. I *Brandskyddshandboken* (Brandskyddshandboken, 2002) beskrivs tre olika grader att hantera av osäkerheter på.

	Grad av hantering	Förklaring
1	Ingen hänsyn till osäkerheter	I regel bör det inte vara acceptabelt att inte ta hänsyn till osäkerheter.
2	Grov uppskattning av osäkerheter	Kvantitativa eller kvalitativa metoder kan användas för att identifiera vilka osäkerheter som är relevanta. Genom att undersöka vilka osäkra variabler som ger betydelsefull påverkan på resultatet, kan det avgöras hur dessa osäkerheter skall hanteras och om de måste undersökas ytterligare.
3	Detaljerad analys av osäkerheter	Genom att genomföra en kvantitativ undersökning och analys av osäkerheterna kan påverkan på resultatet och den totala effekten av osäkerheterna avgöras. Ofta är det svårt att göra en så detaljerad analys av osäkerheterna vid brandteknisk dimensionering.

Tabell 5.1: Tre sätt att hantera osäkerheter.

I en artikel av Paté-Cornell (1996) görs samma indelning men mer detaljerat i sex nivåer, där nivå 0 är enklast och nivå 5 är mest avancerad. De lägre nivåerna är generellt grova och lätta att tillämpa men studerar inte osäkerheterna i samma detalj som de högre nivåerna, som i sin tur är svårare att tillämpa och kräver mer av de som utför analysen. För att genomföra osäkerhetsanalyser enligt Paté-Cornell kan flera av de tidigare beskrivna riskanalysmetoderna användas.

5.2.1.1 Nivå 0 – Möjliga faror och felfunktioner identifieras.

Nivå 0 innebär att möjliga faror och felfunktioner identifieras. Ett exempel på en nivå 0 analys är checklistor (se avsnitt 5.1.1). Analyser av denna typ kan på så sätt vara till hjälp för att identifiera riskkällor, något kvantitativt mått på eller inbördes rangordning av riskkällorna erhålls dock inte.

5.2.1.2 Nivå 1 – Värsta tänkbara scenario

Nivå 1 bygger på det värsta tänkbara scenario, d.v.s. inga sannolikheter för olika variabler beaktas. I praktiken är nivå 1 svår att använda eftersom när ett värsta tänkbara scenario valts är det ofta möjligt att hitta ett ännu värre och i många fall osannolikare scenario.

5.2.1.3 Nivå 2 – Trolig maximal skada

Osäkerhetshantering enligt nivå 2 innebär att trolig eller rimlig maximal skada beaktas. Denna nivå är lämplig att använda då sannolikheten för värsta tänkbara scenario (nivå 1) saknar betydelse. I regel beaktas enbart konsekvensen och inte sannolikheten för olika variabler eller utfall men det kan förekomma, konstruktioner kan t.ex. dimensioneras så att skall klara en viss vindstrycka som enligt statistik återkommer regelbundet.

5.2.1.4 Nivå 3 – Troligaste värde på sannolikhet och konsekvens

Nivå 3 innebär att en bedömning av troligaste värde utnyttjas. I fallet med brandgasspridning via ventilationssystem innebär detta att medel eller median värden på variablerna används i beräkningarna. Detta ger ett deterministiskt resultat som enligt Johansson (2000) kan vara missvisande eftersom händelseutvecklingen givet att brand uppkommer troligen kommer att leda till att branden blir relativt begränsad och att inga större skador uppstår. Nivå 3 kan dock vara lämplig när två olika skyddsalternativ skall jämföras. Medelvärdet eller medianen av en fördelning är dock svårt att bestämma utan att använda metoder från nivå 4 och 5 menar Johansson. Hur som helst kommer nivå 3 enbart ge en uppfattning om medlet av möjliga utfall och inte någon information om utfallets fördelning eller extremvärden. Osäkerhetsanalys enligt nivå 3 kan genomföras med en "What-if"-analys (se avsnitt 5.1.1).

5.2.1.5 Nivå 4 – Probabilistisk riskbedömning, en riskprofil

I föregående nivåer har analyserna begränsats till enstaka värde. På nivå 4 används sannolikheter för olika variabelutfall, d.v.s. en probabilistisk metod används för att studera osäkerheter. Det finns en rad olika metoder för hur osäkerhetshantering enligt nivå 4 kan genomföras ett exempel är händelsetråd (se avsnitt 5.1.1). Resultatet från en analys på nivå 4 presenteras i regel i en diskret riskprofil (se figur 5.3) (Johansson, 2000).

Nackdelen med Nivå 4 är att den inte ger någon möjlighet att ta hänsyn till eventuella osäkerheter i värdena på sannolikhet och konsekvens som ingår.

5.2.1.6 Nivå 5 – Probabilistisk riskbedömning, flera riskprofiler

Skillnaden mellan nivå 4 och 5 är att kunskapsosäkerheter och stokastiska osäkerheter separeras. Kunskapsosäkerheterna beskrivs i variationerna mellan riskprofilerna och de stokastiska osäkerheterna beskrivs av varje enskild riskprofil. Det råder alltså osäkerheter i kunskapen om vilken av riskprofilerna som är den rätta, detta kan uttryckas som en fördelning och alltså med en sannolikhet för en viss riskprofil. (Johansson, 2000). Denna typ av analys ger information om hur osäker den som har genomfört analysen är på sina antagande. Osäkerhetsanalys enligt nivå 5 kan genomföras med hjälp av Monte Carlo metodik (se avsnitt 5.1.1).

6 REGELVERK OCH PRAXIS I SVERIGE OCH UTOMLANDS

Ett mål med examensarbetet är att undersöka hur brandteknisk dimensionering av ventilationssystem sker i Sverige och i utlandet. För att uppfylla detta mål besvaras följande frågeställningar i detta kapitel:

- Hur sker brandteknisk dimensionering av ventilationssystem i Sverige och världen?
- Är det möjligt att kategorisera olika länders medvetenhet av problemet och de lösningar som de tillämpar?

För att svara på frågeställningarna studeras olika länders regelverk och praxis på området. Den jämförelse som görs utgår från svenska regler och praxis, därför inleds kapitlet med en beskrivning hur det ser ut i Sverige.

6.1 Svenska regelverk och praxis

Det traditionella tänkandet kring ventilationssystem i Sverige är att det skall stanna vid brand och så fungerar det, i vissa fall, även idag. Den nuvarande inställningen är dock att beakta ventilationssystemet som en resurs i en byggnads totala brandskydd (Ohlsson et al, 2003).

Det är i avsnitt 5:653 i BBR som de svenska reglerna på området står (se avsnitt 1.1). Föreskrifterna tillåter alla typer av lösningar bara det med säkerhet kan visas att tillfredställande skydd mot spridning av brandgas mellan brandceller finns. Den, till föreskriften, efterföljande rådstexten ger exempel på hur det kan göras. Målet med reglerna är att brandgasspridningen inte sker inom det brandtekniska tidskravet som t.ex. för en Br1 byggnad, en byggnad med den högsta brandtekniska kraven, normalt är 60 minuter. I en del fall kan det tänkas att ett system av något skäl inte klarar av det brandtekniska tidskravet och då måste, enligt Ohlsson et al (2003), i varje fall utrymningstiden klaras. När detta gäller och huruvida det är godtagbart eller ej är inget som tas upp i detta arbete men det bör hur som helst ses som ett undantag.

6.1.1 Avsevärt försvåra

Under den fjärde punkten i rådstexten ges två olika skyddsnivåer, *förhindra* och *avsevärt försvåra*. Förhindra spridning av brandgas tolkas i *Brandskyddshandboken* (Brandskyddshandboken, 2002) gälla för objekt som hotell, vårdanläggningar, sjukhus, bostäder och utrymningsvägar. Rådet *avsevärt försvåra* tolkas i *Brandskyddshandboken* gälla för kontor, skolor och affärer där det kan antas att personerna är vakna och rörliga så att utrymning kan genomföras eller att människors säkerhet kan tryggas på andra sätt. Vad *avsevärt försvåra* innebär rent kvantitativt är dock oklart.

I den genomförda enkätundersökningen (se kapitel 3) ställdes frågan: ”Hur tolkar du uttrycket *avsevärt försvåra*?”. Svaren som erhöles på frågan var av blandad karaktär. Många relaterade till att kritiska förhållanden inte skall uppstå och att det skall finnas en viss säkerhetsmarginal för detta (för diskussion kring kritiska förhållanden se avsnitt 5.1.2.1). Andra menade att brandcellsgränsen bör hålla sin avsedda tid innan

personer är i fara. En grupp respondenter relaterade till utrymning och att utrymningsförhållanden skall vara tryggad.

6.1.2 Praxis

Vid brandteknisk dimensionering och projektering i Sverige används ofta någon typ av handbok. Exempel på ofta använda handböcker är *Brandskyddshandboken* (Brandskyddshandboken, 2005) och *En handbok om brandskyddsteknik för ventilationssystem* (Backvik et al 1999). Utifrån resultaten från enkätundersökningen (se Appendix C) har uppfattningen erhållits att datorverktyget PFS (se avsnitt 4.5.2) eller något förenklat beräkningsuttryck eller en kombination av dessa två vanligen används vid beräkning av brandgasspridning via ventilationssystem.

6.2 Utländska bestämmelser och praxis

Följande länder har valts vid den internationella jämförelsen (länderna är ordnade efter det geografiska avståndet till Sverige):

- Norge
- Danmark
- Tyskland
- England
- USA
- Nya Zeeland

Tre av Sveriges grannländer, Norge, Danmark och Tyskland, studeras p.g.a. likheter i kultur och klimat. England studeras eftersom landet sedan en tid, precis som Sverige, har funktionsbaserad regler. För att ta undersöka innebörden av bl.a. klimatskillnader och byggtradition har även USA och Nya Zeeland studerats. I avsnitt 6.2.1-6.2.6 görs fri översättning och tolkning av respektive lands regler.

6.2.1 Norge

De norska föreskrifterna om brandskydd återfinns i *Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk* (TEK) utgiven av Kommunal- og arbeidsdepartementet og Miljøverndepartementet (Kommunaldepartementet et al, 2003). I § 7 behandlas säkerhet vid brand och under punkt 3 i § 7-24 står det att byggnader skall delas upp i brandsektioner och brandceller så att brand och brandgasspridning inom byggnaden kan reduceras eller hindras. Vidare står det under punkt 4, i samma paragraf, att installationer som skall ha en funktion vid brand skall vara utformade och byggda så att deras funktion upprätthålls i nödvändig tid.

Till dessa funktionsbaserade föreskrifter finns det en vägledning med accepterade lösningar, *Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven* (VTEK) (Statens bygningstekniske etat, 2003), som vanligen används vid projektering (Sorthe, personlig kommunikation, 29 juni, 2005). I VTEK står det att ventilationsanläggningar skall utföras så att de inte bidrar till brand- och brandgasspridning. Det innebär bland annat att brandgaser inte får spridas i kanalnätet, vilket kan anses motsvara skyddsnivån *förhindra* i svenska BBR. Vidare står det att genomförningar mellan brandceller skall undvikas men om det är

nödvändigt skall kanalerna utformas så att väggens brandmotstånd inte försvagas. Detta kan enligt VTEK uppnås med följande medel:

- Kanalen utrustas med brandspjäll som har motsvarande brandmotstånd som den brandcellsgräns spjället penetrerar.
- Kanalen utrustas med brandspjäll (med brandmotstånd motsvarande minst hälften av brandcellsgränsens brandmotstånd) i kombination med brandisolering. Summan av brandmotståndet och isoleringen skall minst motsvara brandmotståndet på brandcellsgränsen.

För system med naturlig ventilation används, enligt § 9-31 i VTEK, röklås för att förhindra brandgasspridning. Grenkanaler från separata lägenheter skall då föras upp till nästa våning innan de ansluter till huvudkanalen.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) har gett ut en vägledning som heter *Veiledning om ventilasjonsanlegg og brannfare* (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 1998). I vägledningen står det att brandspjäll vanligen används för att hindra spridning av brand och rökgaser genom ventilationssystemet. Vidare står det att spjällen utlöses oftast med smältsäkringar som exponeras för en given temperatur men att det även kan förekomma spjäll som utlöser automatiskt efter en impuls från en rökdetektor. I avsnittet *Sikring mot spredning av brann- og røykgasser i bygning* står det att även ventilationssystemet kan användas i vissa fall för att hindra brandgasspridning men det kräver att:

- Ventilationssystemet behålls i drift efter att branddetekteras och att strömförsörjningen till ventilationsaggregatet kan säkras under den tid som brandgasspridningen skall förhindras.
- Att eventuella återluftsspjäll stängas vid detektering av brandgaser.

I samma avsnitt i vägledningen står det att balanserad från- och tilluftsventilation, som är i full drift vid brand, kommer att reducera möjligheten för spridning av brandgaser i en byggnad. Undertrycket i frånluftskanalen kommer att föra ut brandgaserna till det fria och övertrycket i tilluftskanalen kommer att hindra att brandgaser trycks in i systemet. Vilket står i kontrast till hur man tänker om brandgasspridning i Sverige. Men uppfattningen i Norge är att brandgasspridning via ventilationssystem, utifrån gällande krav, inte är ett problem (Sorthe personlig kommunikation, 29 juni, 2005).

6.2.2 Danmark

Danmark har sedan ett par år en funktionsbaserade regler för att kunna tillgodose tillräckligt bra säkerhet i nya komplexa byggnader (Levy, personlig kommunikation, 28 juni, 2005). De aktuella reglerna återfinns i *Bygningsreglement for erhvervs- og etagebyggeri* (BR) (Erhvervs- og byggestyrelsen, 2005). I kapitel 6.5 behandlas brand- och brandgasspridning. I det första stycket står det att spridning av brand och brandgas till andra brandceller skall förhindras under den tid som är nödvändig för evakuering och räddningstjänstens insats. Vidare står det i de allmänna råden, som hör till BR, att ventilationsanläggningar skall utföras så att de inte medför någon fara för spridning av brand eller brandgas. De danska reglerna tolkas kräva en skyddsnivå för brandgasspridning via ventilationssystem motsvarande *förhindra* i BBR.

6.2.3 Tyskland

I Tyskland har varje delstat stort inflytande på hur regelverket i den egna staten skall se ut. Landsomfattande byggregler finns dock i *Müsterbauordnung* (Bauministerkonferenz 2002) och i § 14 i denna behandlas brandskydd. Där står det att byggnader skall vara utformade så att brand- och brandgasspridning förebyggs och att räddning av människor och djur samt effektivt släckningsarbete skall vara möjlig. Ventilationssystem behandlas i § 41. Kraven varierar något beroende på byggnads-klass men generellt står det att luftbehandlingssystem skall vara tillförlitliga och brandsäkra. Vidare står det att ventilationskanaler och dess isolering skall utföras i obrännbara material om det finns anledning att befara att ventilationen kan påverka brandförloppet. Ventilationssystemet skall dessutom utformas så att rök och lukt inte kan spridas till andra rum (brandceller).

I guiden *Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen in Gebäuden* (LüAR, 2002) ges en rad detaljerade riktlinjer för hur brandskyddet i luftbehandlingssystem skall utformas. I avsnitt fem står det bl.a. att ventilationskanaler där brännbart material kan ansamlas (t.ex. kanaler från köksfläkt) skall hållas separata från andra kanaler om inte brandspjäll finns. Vidare står det att tilluftsinsuget skall tas på ett sådant sätt att brand- och brandgaser inte kommer in i systemet. Avsnitt tio tar upp nödvändig dokumentation vid bedömning av brandskydd i ventilationssystemet. I slutet av guiden finns det ett antal illustrationer på schablonlösningar.

De tyska reglerna på området tolkas ge mindre utrymme för funktionsbaserad dimensionering än de skandinaviska även om möjligheten finns så länge brandgasspridning förhindras.

6.2.4 England

England har precis som Sverige ett funktionsbaserat regelverk. I England används vanligen de typgodkända schablonlösningar som finns i *Approved Document B* (Office of Deputy Prime Minister, 2000). När det gäller ventilation refererar *Approved Document B* dock till de rekommendationer som finns i *British Standard: Fire precautions in the design, construction and use of buildings – Part 9* (BS 5588-9) (BSI, 1999). I BS 5588-9 står det att potentiella faror i varje projekt först skall identifieras innan den lämpligaste skyddsmetoden vidtas. Ett par olika säkerhetsåtgärder beskrivs i BS 5588-9. Framförallt rekommenderas brandgasspjäll och tre olika metoder för hur de kan installeras beskrivs i kapitel 6.3.4 i BS 5588-9. Frånluften i lägenheter i badrum, toaletter och eventuellt i kök kan klara sig utan spjäll. Då rekommenderas det dock att:

- grenkanalen ansluter till huvudkanalen minst 900 mm ovanför frånluftsdonet i badrummet och 1800 mm i köket (d.v.s. en typ av röklåst).
- frånluftsdonet utrustas med ett backspjäll.
- huvudkanalen och den vertikala delen av grenkanalen ligger i ett brandklassat schakt.

Vad dessa rekommendationer bygger på eller om det finns några lämpliga beräkningsuttryck använda för verifikation framgår inte av BS 5588-9.

I England finns det byggnadskontrollanter (eng. *building control officer*) i varje provins. Det är dessa som godkänner en brandteknisk lösning på t.ex. ventilationssystemet. Om en tvist uppstår mellan kontrollanten och ingenjören kan beslutet om godkännande hamna hos inrikesdepartementet (eng. *Secretary of State*). Om en lösning är godkänd och när överklagandeperioden har gått ut är fastighetsägaren ansvarig för brandskyddet. (Harrison, personlig kommunikation, 23 augusti, 2005).

6.2.5 USA

I USA regleras byggnadsreglerna på en lokal nivå. De flesta bygger dock mer eller mindre på standarder framtagna av stora privata organisationer. När det gäller brandskydd hänvisar många av dem till en standard utgiven av *National Fire Protection Association* (NFPA), *NFPA 1 Uniform Fire Code*. *NFPA 1* hänvisar i sin tur till *NFPA 101 Life Safety Code* (NFPA, 2003). *NFPA 101* ger utrymme för både schablonlösningar och funktionsbaserade lösningar. Det ”funktionsbaserade alternativet” kräver dock att en rad kriterier uppfylls och att en förutbestämd mall följs. *NFPA 101* kräver att brandgasspjäll används vid genomföringar genom brandcellsgränser. Det finns dock ett par undantag som står omnämnda i avsnitt 8.3.5, brandgasspjäll behövs t.ex. inte i kanaler som är en del av ett speciellt utformat brandgaskontrollsystem (eng. *smoke control system*). Eftersom det i USA är vanligt med luftkonditionering och luft som recirkulerar används dessa system ofta för att kontrollera spridningen av brandgaser.

Vanligen dimensioneras ventilationssystem efter en särskild standard, *NFPA 90A*, som kräver rökdetektorer i kanalsystemet. När detektorn reagerar skall åtgärder för att hindra cirkulation av brandgaser i ventilationssystemet vidtas. Brandskyddet i luftbehandlingssystem designas vanligen av en ventilationsexpert (eng. *mechanical engineer*). Om en analytisk lösning görs, vilket sällan händer, kontrolleras den av en brandingenjör eller liknande (Milke, personlig kommunikation, 12 augusti, 2005).

I boken *Principles of Smoke Management* (Klote & Milke, 2002), finns rekommendationer till analytisk dimensionering. Vid användning av ventilationssystemet, för ventilering av brandgaser, rekommenderas det att stänga tilluften till brandrummet och frånluften från samtliga opåverkade brandceller, knutna till samma samlingskanal som brandrummet, med spjäll. Att endast stänga tilluften till brandrummet rekommenderas inte eftersom tryckskillnaden i frånluftskanalen inte blir tillräcklig.

6.2.6 Nya Zeeland

Nya Zeeland har funktionsbaserade regler i *Building Regulations* (Department of building and housing, 1992). I den tredje paragrafen i *Building Regulations* står det att brandcellsgränser skall finnas i byggnader för att undvika brand- och brandgasspridning till: andra brandceller, utrymmen där personer kan tänkas sova, hushåll i byggnaden eller andra intilliggande byggnader samt annan fastighet. Vidare står det i samma paragraf att luftkonditionering och mekaniska ventilationssystem skall konstrueras så att spridning av brand- och brandgaser mellan brandceller förhindras.

I *Approved Document for New Zealand Building Code Fire Safety* (Building Industry Authority, 2003) finns det exempel på lösningar, beroende på byggnadens

användningsområde (eng. *purpose group*) som uppfyller kraven i *Building Regulations*. I avsnitt 6.23.2, *Air-handling systems*, står det att försiktighetsåtgärder skall vidtas där det är nödvändigt att undvika spridning av brandgaser i ventilationssystemet. Detta kan enligt bilagan till skriften göras med detektion och inneslutning av brandgaser eller med detektion och modifiering av ventilationssystemet för rökavluftning. Till det senare alternativet finns rekommendationer för hur ventilationssystemet skall utformas. Det ställs även krav på att beräkningar måste ta hänsyn till brandgasernas temperatur och stigeffekt. Likaså skall beräkningar grunda sig på trolig brandeffekt i den aktuella byggnaden.

Nya Zeeland har även en gemensam standard med Australien (Standards Australia & Standards New Zealand, 1998) som behandlar luftbehandlingssystem översiktligt. I avsnitt 6.3.1 står det att luftbehandlingssystem som inte tillhör brandskyddet skall stängas av vid brand. Det står dock i kapitel 5, i samma standard, att mindre till- och frånluftssystem kan vara i drift vid brand.

6.3 Diskussion

I de länder som studerats finns det mer eller mindre möjlighet till funktionsbaserade lösningar av brandskyddet. Det är dock inte bara detta som bestämmer hur brandtekniska problem löses. Tradition och praxis kommer också att vara av betydelse.

Det framgår i samtliga länders regler att brandgaser inte får spridas mellan brandceller via ventilationssystemet. Vidare har uppfattningen erhållits att beräkningsmetoder och beräkningsprogram, för fläktar i drift, verkar vara bäst utvecklade och flitigast använda i Sverige. Utomlands är det i regel vanligare med schablonlösningar med spjäll. Att dessa metoder och program utvecklats i Sverige anses bero delvis på att de svenska reglerna, i större utsträckning än andra länders, ger utrymme för system med mekaniska till- och frånluft fläktar i drift vilket kräver metoder och program för validering.

I enkätundersökningen (se kapitel 3) ställdes frågan: ”Tror du att vi i Sverige är bra på att utforma system för att undvika brandgasspridning via ventilationssystem jämfört med andra länder i Europa och världen?”. De flesta respondenter svarade jakande på denna fråga. En del påtalade dock att teorin finns men i praktiken är många lösningar bristfälliga. Om fallet är så är det ett problem. Med de funktionsbaserade alternativen som finns skapas inte bara möjligheter för bra och anpassade lösningar utan även för misstag och feldimensioneringar. I detta avseende kan skyddet mot brandgasspridning via ventilationssystemet i svenska byggnader ses som lägre än i andra länder. Granskning och kontroll av analytiska lösningar är därför en förutsättning för den funktionsbaserade möjligheten.

Att göra en kategorisering av länderna sinsemellan är svårt eftersom det varit svårt att utröna praxis i olika länder. Utifrån studien av regler, föreskrifter och guider har dock en sammanställning i tabell 6.1 gjorts.

Land	Funktionsbaserade krav	Kravnivåer
Sverige	Ja	Förhindra och avsevärt försvåra
Norge	Ja	Förhindra

Danmark	Ja	Förhindras under nödvändig tid
Tyskland	Nja	Ingen spridning
England	Ja	Förhindra
USA	Ja	Förhindra
Nya Zeeland	Ja	Förhindra

Tabell 6.1: Jämförande tabell mellan de studerade länderna.

Tyskland anses ha den högsta kravnivån eftersom de kräver att ingen spridning sker, därefter följer Norge, Danmark, England, USA och Nya Zeeland (utan inbördesordning). Den lägsta kravnivån anses Sveriges *avsevärt försvåra* vara.

Att den lägsta kravnivån finns i Sverige kan bero på att medvetenheten om problemet är störst i Sverige. Om den medvetenheten beror på bedriven forskning eller någonting annat är svårt att avgöra. Efter Sverige anses England och Nya Zeeland komma i grad av medvetenhet. Den engelska standarden BS 5588-9 (BSI, 1999) ger nämligen en detaljerad förklaring av problemet och hur det kan lösas med ett antal schablonlösningar. Detsamma gäller för *Approved Document for New Zealand Building Code Fire Safety* i Nya Zeeland.

7 TILFÄLLEN DÅ BRANDGASSPRIDNING SKETT VIA VENTILATIONSSYSTEM

Ett mål med examensarbetet är att undersöka hur vanligt förekommande brandgasspridning via ventilationssystem är i Sverige. För att uppfylla detta mål besvaras följande frågeställningar i detta kapitel:

- Har det förekommit incidenter där brandgaser spridits, mellan brandceller, via ventilationssystemet och i så fall varför gjorde de det?
- Hur vanligt är problemet?

För att svara på dessa frågeställningar görs en studie och analys av fall i Sverige där brandgasspridning via ventilationssystem förekommit samt en studie av två experimentella fullskaleförsök.

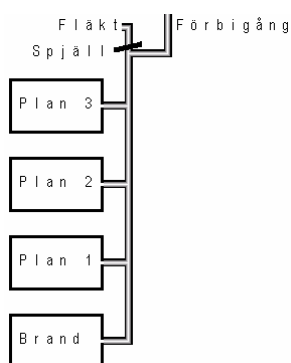
7.1 Inträffade incidenter

I avsnitt 7.1.1-7.1.5 återges kortfattat händelseförloppet och konsekvenserna av brandgasspridningen vid sex incidenter. Incidenterna återges i kronologisk ordning.

7.1.1 Källarbrand i Jönköping, januari 2001

Räddningstjänsten i Jönköping fick larm om brand i flerbostadshus. Vid framkomsten kunde brand i källarförråd konstateras, branden var häftig och det skulle senare visa sig att den var anlagd. Brandgaser spreds till en lägenhet på källarplanet och ut i källarkorridoren och vidare till trapphuset. Dessutom spreds brandgas till en lägenhet på plan tre och i flera andra lägenheter kändes röklukt.

Byggnaden, som är byggd på 70-talet och renoverad i början av 90-talet, rymmer tjugo lägenheter i tre plan. Brandgasspridningen i källarplanet och till lägenheter direkt ovanför brandrummet kan förklaras med att byggnadskonstruktionen var otät. Brandgasspridningen till lägenheten på plan tre skedde dock genom ventilationssystemet. Källaren hade endast frånluftsventilation och tilluften togs genom ett uteluftsdon. Vid brand var det tänkt ett spjäll stänga, vilket det även gjorde, så att frånluften passerade förbi aggregatet genom förbikoppling för att sedan ventileras ut med självdrag. I figur 7.1 visas en principskiss över hur systemet uppfattats utifrån Jonsson (2001).



Figur 7.1: Principskiss.

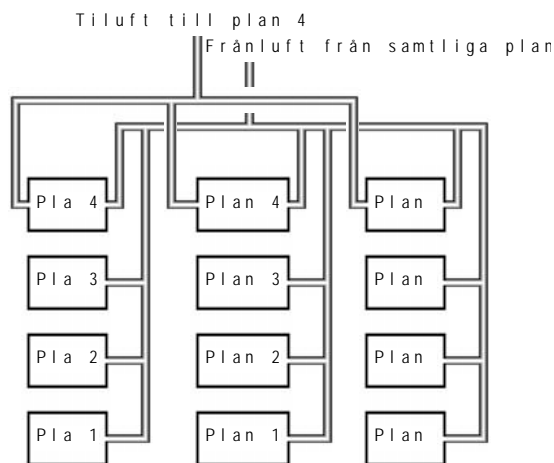
Enligt brandutredningen (Jonsson, 2001) hade tilluftssystemet en kanaldiameter på 500 mm vilken förbikopplades med en 160 mm kanal och frånluftssystemet förbikopplades med en 160 mm kanal från en 630 mm kanal. Förbikopplingen var således för liten och klarade inte av att evakuera all brandgas utan den gick baklänges via frånluftssystemet till lägenheten på tredje våningen. Att just denna lägenhet drabbades kan bero på att köksfläkten varit forcerad eller att ett fönster i lägenheten varit öppet, vilket underlättade för spridning eftersom mottrycket i den lägenheten i så fall var lägre än i de övriga.

Denna incident är intressant ur flera aspekter. Branden i källaren bidrog till en kraftig tryckuppbyggnad vilket troligen är en följd av en tät konstruktion och en häftig brand. Designen av skyddet mot brandgasspridning via ventilationssystemet är också intressant. Den använda metoden byggde på att flödesmotståndet i kanalerna till lägenheterna skall vara större än motståndet i kanalen som leder till det fria. Denna, s.k. tryckfallsmetoden (se avsnitt 4.4.6), rekommenderades i tidigare byggregler och var vanlig vid dimensionering ända fram till början av 90-talet. Men visade sig nu, i kombination med den förklara förbikopplingen, inte vara tillräckligt bra.

7.1.2 Brand i hyreshus i Karlstad, december 2001

Natten den fjärde december 2001 utbröt en brand på översta våningen i ett fyravånings flerbostadshus i Karlstad. Branden spreds snabbt till vinden och taket i den brandhärjade lägenheten rasade in. Eftersom inga resurser fanns att begränsas eller bekämpa branden under utrymningen stod hela den 160 meter långa vinden i lågor efter 45 minuter. Mellan våning tre och fyra fanns ett betongbjälklag som användes som begränsningslinje. För att undvika vattenskador från släckinsatsen på våning ett till tre tilläts branden brinna ut till begränsningslinjen. (Malmqvist, 2002)

Bygganden uppfördes i slutet av 60-talet som ett trevåningshus med betongbjälklag och en låg krypvind. På 90-talet gjordes en påbyggnad av ytterligare en våning. Huskroppen är knappt 110 meter lång och 12 meter bred, byggd i vinkel, där vinkeldelen är ca 60 meter lång. Vid tillbyggnaden försågs fjärde våningen med ett FT-system. Frånluftskanalerna från de övriga våningarna drogs då upp i en samlingskanal till ett fläktrum på vinden. Samlingskanalen passerade en brandcellsgräns i klass EI 60. I genomföringen fanns inget brand- eller brandgasspjäll. Dessutom var isoleringen av ventilationskanalerna bristande och på vissa ställen var kanalplåten i direkt kontakt med brännbart material. I figur 7.2 visas en principskiss över hur systemet uppfattats utifrån Malmqvist (2002).



Figur 7.2: Principskiss av ventilationssystemet

Ventilationssystemet var utrustat med rökavluftning som skulle aktiveras av en rökdetektor i frånluftssystemet. Men rökdetektor var placerad vid fläkten vilket ledde till att frånluften blev utspädd som i sin tur innebar att rökavluftningen troligen aktiverades för sent. För att undersöka hur stor en eventuell brandgasspridning var genomförde Bengt Dahlgren AB en utredning. Utredningen visade med simuleringar att spridning av brandgas nedströms i tilluftssystemet förekom vare sig rökavluftningen aktiverades eller ej. Spridningen av brandgaser blev dock större än vad som, av Bengt Dahlgren AB, ansågs vara acceptabelt då detektorn inte aktiverade (Malmqvist, 2002). Vid branden uppgav flera boende att rök kommit in deras lägenheter via ventilationen, vilket bekräftar de utförda simuleringarna. Enligt Bengt Dahlgren AB är det dock inte troligt att den snabba brand- och brandgasspridningen berodde på ventilationssystemet. Vilket naturligtvis inte anses kunna försvara det faktum att brandgasspridning skedde via ventilationen.

7.1.3 Brand i pentry i kontorsbyggnad, februari 2002

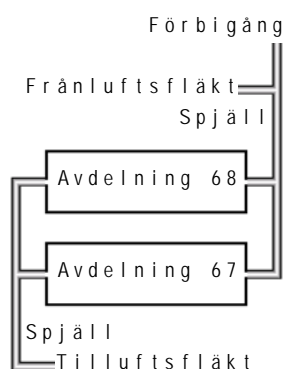
Räddningstjänsten i Södertörn får larm om brand i en kontorsbyggnad. Byggnaden hade sex våningar. Branden bröt ut i ett pentry på plan fyra och brandgaser spreds till nästan 5000 kvadratmeter och både plan fem och sex fick rökskador. Den totala saneringskostnaden uppgick till cirka fyra miljoner kronor. (Edstam, personlig kommunikation, 24 juli 2005)

Orsaken till den omfattande spridningen var att brandlarmet stängde av ventilationsanläggningen som var designat att hindra brandgaser från att spridas genom låta fläktarna vara igång och på så sätt dra ut brandgaserna. Detta tyder på att systemet troligen var rätt dimensionerat men felkonstruerat. Vilket visar på hur viktigt det är med uppföljning av hur väl den färdiga lösningen överensstämmer med projekteringen.

7.1.4 Brand på St. Sigfridssjukhus i Växjö, augusti 2003

Den första augusti 2003 startade en brand i ett patientrum på regionpsykiatriska sjukhuset, Sankt Sigfrid, i Växjö. Branden var troligen anlagd av en patient som under tumult kunde föras till säkerhet, dörren till rummet lämnades dock öppen vilket ledde till att brandgaser spreds ut i korridoren. När räddningstjänsten kom till platsen kunde branden slås ner ganska omgående men det efterföljande räddningsarbetet blev intensivt.

Byggnaden uppfördes under 1950-talet och hade två våningar samt källare och vind. De båda våningarna bestod av varsin avdelning (67 och 68) med vårdrum. Flera väggar samt mellanbjälklag var gjorda i betong, medan mellanväggar, som uppförts på senare tid, var gjorda av gipsplattor på regler av trä. Byggnaden hade ett FT-system, med värmeåtervinning, som hade ändrats och förbättrats flera gånger. I både till- och frånluftskanaler fanns, vid brandtillfället, rökdetektorer som vid detektion stängde av ventilationsaggregaten och stängde ett spjäll så att brandgaserna leddes förbi aggregaten. Ventilationsanläggningen och dess brandfunktioner fungerade, enligt en utredning (Eriksson, 2003), som avsett vid branden. I figur 7.3 visas en principskiss över hur systemet uppfattats utifrån Eriksson (2003) och Erlandsson (2003).



Figur 7.3: Principskiss

I och med att dörren till patientrummet lämnades öppen blev spridningen av brandgaser kraftig. Men att spridning även skett via ventilationssystemet kan misstänkas då det framgår av polisens tekniska utredning att det funnits sotbeläggningar runt både till- och frånluftsdon i rum på avdelningen. Det är dock svårt att säga om spridningen skett under själva branden eller då räddningstjänsten använt sig av övertrycksventilation i korridoren (Erlandsson, 2003). Om spridningen skett p.g.a. branden har det troligen berott på att förbigångarna haft för klena dimensioner precis som vid incidenten i Jönköping (se avsnitt 7.1.1)

Det är möjligt att spridningen i ventilationssystemet hade varit kraftigare om dörren till brandrummet varit stängd p.g.a. den tryckuppbyggnad som hade uppstått. Det är dock svårt att säga definitivt eftersom effektutvecklingen troligen blivit begränsad p.g.a. syrebrist. Denna typen av patientrum är hur som helst intressanta eftersom, de ofta förekommande, säkerhetsglasen kan stå emot brand bättre än ett vanligt fönster. Vilket innebär att rummet tryckavlastas senare och ett högre brandtryck kan uppstå.

BBR kräver inte någon avskiljning mellan vårdrum på samma avdelning, vilket betyder att brandgasspridning via ventilationssystemet kan ske obehindrat. Kriminalvårdsstyrelsen (2004) har dock givit ut nya riktlinjer för utformning av slutna anstalter. I dessa står det bl.a. att brand- och brandgasspridning mellan bostadsrum och eventuellt andra brandtekniskt avskilda utrymme inom brandceller på slutna anstalter skall försvåras. Detta ger en högre skyddsnivå än för vanliga vårdanläggningar men inte lika hög som mellan brandceller med sovande, enligt BBR 5:653 (se avsnitt 1.1).

7.1.5 Brand i köksfläkt i Norrköping, januari 2005

Räddningstjänsten i Norrköping får i januari 2005 larm om brand i köksfläkt i en trerumslägenhet i ett flerbostadshus. Branden släcks enligt standardrutiner men efter insatsen ber en boende, en trappa upp, brandmännen undersöka hennes lägenhet eftersom hon känt röklukt. Det visade sig att brandgaser hade spridits, genom en läckande imkanal, till den ovanliggande lägenhetens underskåp vid spis och diskbänk.

Det visade sig senare i en utredning (Månsson, 2005) att värme och brandgas spreds väldigt snabbt mellan lägenheterna eftersom isoleringen av kanalen inte var tillräcklig. Detta medförde att trädetaljer i underskåpet i lägenheten en trappa upp började förkolna. Månsson (2005) påpekar att när ventilationskanaler i betong gjuts, som i detta fall, finns det risk att den föreskrivna tjockleken på betongen inte följs. Därför menar Månsson att regler och efterlevnad av ventilationskanalers utformning kan ifrågasättas.

Brandgasspridningen i detta fall är intressant men har orsakats av otätheter i frånluftskanalen och förkolning av detaljer i närheten av kanalen och inte av att brandgaser har gått genom ventilationssystemet.

7.1.6 Brand i soprum på servicehus

Flera boende i ett servicehus i Huddinge området ringer på sina trygghetslarm och talar om att det luktar rök. När räddningstjänsten kommer till platsen konstateras det att det brinner i ett soprum och att brandgaser har spridits till en boendekorridor på plan ett. Inga människor är dock direkt hotade av röken eftersom de boende är i dagrummet. Rökdykarna kan konstatera en lätt rökdis i korridoren och en relativt kraftig rökfyllnad ovan undertaket. Eftersom dörren till korridoren varit stängd måste den stå i förbindelse med soprummet troligtvis via ventilationen. Någon ytterligare undersökning av detta gjordes dock ej. (Edstam, personlig kommunikation, 24 juli 2005)

7.2 Brandförsök

I avsnitt 7.2.1 och 7.2.2 återges två fullskaleförsök där brandgasspridning via ventilationssystemet studerats.

7.2.1 Brandförsök i Sverige

Vid *Försvarets Forsknings Anstalt* (FOA), nuvarande *Totalförsvarets Forskningsinstitut* (FOI), genomfördes 1998 en experimentell studie kring brandgasspridning via ventilationssystem. Syftet med studien var att studerar inverkan av tryckuppbyggnad i ett brandrum på spridningen av brandgaser till andra rum via ventilationssystemet. Ytterligare ett syfte var att erhålla experimentella data för att kunna göra jämförelser med datormodeller. Tre försök utfördes på ett rum i fullskala med ett FT-system. I det första försöket var ventilationssystemet avstängt, i det andra var enbart frånluftssystemet inkopplat och i det tredje var både till- och frånluftssystemet i drift. Brandgaser spreds via ventilationen i det första och det tredje försöket men i försök tre skedde det enbart via tilluften. I systemet med enbart frånluft skedde ingen brandgasspridning. (Hägglund et al, 1998)

Jämförelser mellan detta brandförsök och förenklade beräkningsuttryck har gjorts i ett tidigare examensarbete vid LTH (Olsson, 1999). Beräkningsuttrycken visade sig ge snarlika resultat med de i brandförsöket.

7.2.2 Brandförsök i England

På the Queen's Medical Centre i Nottingham, England gjordes brandförsök för ett par år sedan av *Fire Research Station* (FRS). Försöken gjordes för att avgöra vilken strategi, fläktar i drift eller att stänga fläktarna, som var lämpligast i byggnaden. Försöken gjordes med rent brinnande flammor och med teaterrök eftersom sjukhuset var i drift. Resultatet blev varierande men i flera fall spreds rök till brandceller långt bort från källan. Ventilationssystemet bestod av ett relativt komplicerat FT-system som visad sig fungera bäst då frånluften fick gå och tilluften konverterades till frånluft. Försöken visade också att spjäll var en nödvändighet för att undvika brandgasspridning. Dokumentationen kring försöket är inte officiell vilket gör att det inte varit möjligt att göra någon djupare analys av resultatet. (Harrison, personlig kommunikation, 23 augusti, 2005).

7.3 Enkätundersökning

I den genomförda enkätundersökningen (se kapitel 3) ställdes frågan: "Känner du till något fall där brandgasspridning via ventilationssystemet förekommit?". Mindre än hälften av respondenterna, svarade jakande på frågan. Av dem som svarade ja var det ett fåtal som gav mer än ett exempel och endast en person uppgav att händelsen var dokumenterad. För att samla information kring inträffade incidenter sändes samma fråga ut till ett 20-tal personer på olika räddningstjänster i Sverige. En något större andel av dem som svarade, svarade ja. Det var dock bara i ett fåtal fall som någon utredning gjorts och i dessa utredningar nämndes bara ventilationssystemets inverkan på brand- och brandgasspridningen i förbigående.

I enkätundersökningen ställdes även frågan: "Tycker du att brandgasspridning via ventilationssystemet är ett stort problem vid en eventuell brand?". En övervägande majoritet svarade ja på frågan. En del av dessa kommenterade att det särskilt är ett problem i lokaler med sovande. Någon av respondenterna hävdade att det är ett överdrivet problem eftersom så få incidenter inträffat.

7.4 Diskussion

Inget konkret fall där brandgaser spridits i ett korrekt utformat system med fläktar i drift har hittats. Äldre system som bygger på 5:1-metoden (se avsnitt 4.4.6) verkar dock vara ett problem. Hur medvetna fastighetsägare och kommuner är om detta problem har inte studerats närmare men är något som absolut bör göras

I många fall är det troligen så att brandgasspridning via ventilationssystem sker i samband med bränder där konsekvenserna av detta är liten i förhållande till de övriga konsekvenserna av branden. Det gör att det inte alltid uppmärksammas och kommer således inte med i räddningstjänsternas insatsrapporter. Därför är det också svårt att avgöra hur vanligt förekommande problemet är. Sannolikheten för att brandgasspridning via ventilationssystemet skall utgöra en stor fara vid en brand förefaller, mot bakgrund av detta kapitlet, dock vara liten. Men för att vara säker på detta och

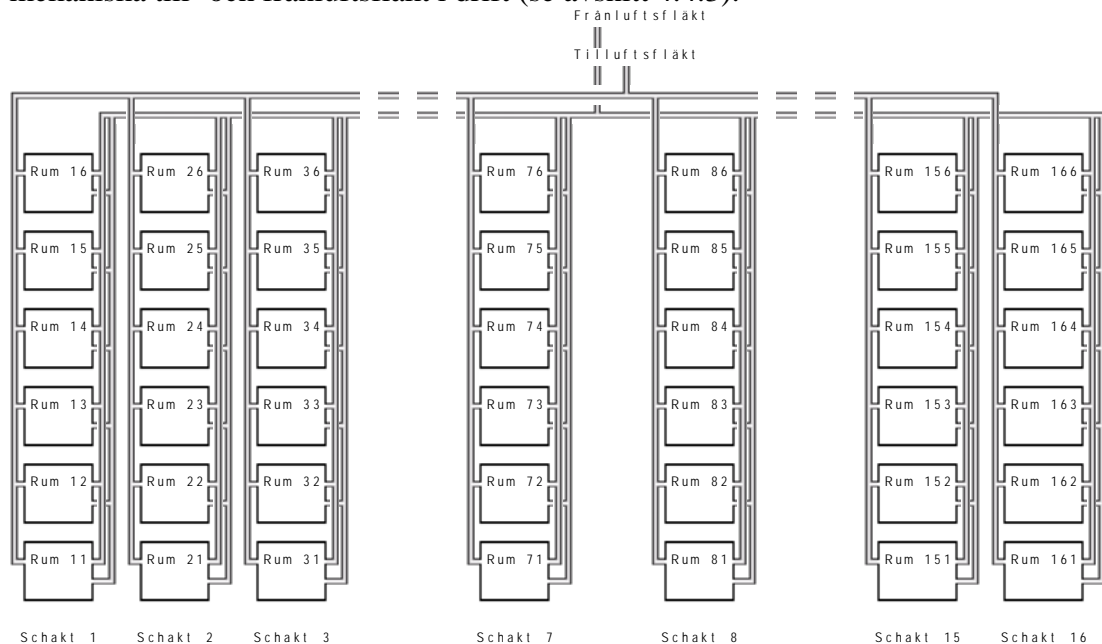
kunna skapa bättre och säkrare brandskyddslösningar krävs det att incidenter rapporteras och dokumenteras. Dokumentationen måste sedan tas tillvara för att ge en lyckad erfarenhetsåterföring som i sin tur kan skapa bättre brandskyddslösningar.

8 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR OSÄKERHETSANALYS

I detta kapitel beskrivs den modell som skall analyseras i osäkerhetsanalysen och mot bakgrund av denna modell görs en identifiering av osäkra variabler som anses vara viktiga vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem.

8.1 Beskrivning av tillämpningsexempel

Den modell som har valts för att studeras är baserad på ett verkligt ventilationssystem som uppförs i samband med en nybyggnation av studentlägenheter i Lund. Modellen består av ett FT-system som betjänar sex våningar, med vardera 16 lägenheter, enligt figur 8.1. Från- och tilluftsaggregaten, som båda är kammarfläktar från Fläkt Woods (ELCK-06, $e = 5$) med maximalt varvtal på lägst 2331 rpm respektive 1913 rpm (Fläkt Woods, 2006), är placerade i ett fläktrum på vinden. Om brand detekteras konverteras tilluften till frånluft, samtidigt som den ordinarie frånluften fortsätter gå, vilket innebär att systemet fungerar enligt principen mekaniska till- och frånluftsfläkt i drift (se avsnitt 4.4.3).



Figur 8.1: Skiss över systemets utformning.

Modellen har förenklats genom antagandet att alla schakt ser likadana ut, d.v.s. de har lika stora flöde in i tilluftskanalen och ut ur frånluftskanalerna. Detta innebär att ingen hänsyn har tagits till tvättstuga eller dyligt i källare. Samtliga lägenheter består av ett rum med frånluft i pentry (10 l/s oforcerat och 35 l/s forcerat) och på toaletten (15 l/s) och tilluft mitt i rummet (25 l/s). Lägenheterna har en area på 20 m² och en takhöjd på 2,4 meter, vilket innebär en luftvolym på 50 m³.

Modellen har valts av följande anledningar:

- Det är ett FT-system vilket, enligt avsnitt 4.3.3, innebär att risken för brandgasspridning är större.
- Ventilationssystemet serverar många små lika stora rum vilket gör att systemet påverkas i högre grad av tryckändringar.

-
- Ventilationssystemet är relativt symmetriskt vilket gör det enklare att studera och presentera.

Med hjälp av modellen analyseras ett antal osäkra variabler och deras inverkan på om brandgasspridning sker i systemet och i så fall till hur många lägenheter. För att genomföra detta kommer följande att behandlas i kommande avsnitt och kapitel i arbetet:

- Identifiering av viktiga variabler (avsnitt 8.2).
- Beskrivning av lämplig analysmetod (kapitel 9).
- Kvantifiering av viktiga variabler (kapitel 10).
- Genomförande av tillämpningsfall (kapitel 11).

8.2 Identifiering av viktiga variabler

Det förefaller vara omöjligt att inom detta examensarbets ramar genomföra en fullkomlig identifiering och analys av alla osäkra variabler som kan förekomma i den presenterade modellen (se avsnitt 8.1). Därför avgränsas undersökningen till osäkra variabler i och i den närmaste omgivningen kring brandceller kopplade till ventilationssystemet (modellen). Det vill säga variabler utanför brandceller förutsätts inte vara osäkra om ventilationssystemet uppförs och brukas enligt projekteringen.

Ytterligare en avgränsning är att det förutsätts att brand bryter ut d.v.s. inga studier om osäkerheterna kring en brands uppkomst behandlas. För diskussion kring detta rekommenderas Johansson (1999).

8.2.1 Tidigare arbete

Tidigare i examensarbetet (se avsnitt 4.3.1) konstaterades det att det, enligt Jensen (1993), finns ett par generella variabler som kommer att påverka om och i vilken omfattning brandgasspridning via ventilationssystemet sker.

- Brandeffekt
- Byggnadens täthet
- Ventilationssystemets uppbyggnad

Den tredje variabeln faller utanför arbetets ramar eftersom den anses vara känd i och med presentationen av modellen. De två första variablerna kan däremot betraktas som osäkra.

I Olsson (1999) görs ett antal analyser avseende brandgasspridning via ventilationssystem på ett par typfall. I analyserna varierades en mängd variabler, dock bara en åt gången, för att se vilken inverkan de hade på brandgasspridning i olika F- och FT-system som var utrustade med rökavluftning eller fläktar i drift. De studerade variablerna delades in i tre grupper beroende på hur stor inverkan de hade på systemets förmåga att hindra brandgasspridning. Beroende av typfall varierade inverkan av olika variabler följande variabler hade dock ”stor inverkan” i flera fall:

- Kanaldiameter på samlingskanal
- Tryckfall över injusteringspjäll
- Öppet fönster

-
- Tryckfall över fönsterventiler
 - Temperatur i brandgaser
 - Tryckfall över don och kanal

Kanaldiametern på samlingskanal och tryckfall över injusteringspjäll är faktorer som ligger utanför avgränsningarna (se avsnitt 8.2) och behandlas således inte vidare.

8.2.2 Enkätundersökning

I den genomförda enkätundersökningen (se kapitel 3) ställdes frågan: ”Ser du några osäkerheter avseende brandtekniska beräkningar av ventilationssystem?”. Frågan besvarades med ”ja” av samtliga respondenter. Följdfrågan lød: ”Vilka osäkerheter ser du i beräkningarna?”. Följande punkter är exempel på de faktorer som angavs. Talet i parantes anger hur många av respondenterna som angivet respektive svar.

- Brandflöde/brandförlopp (5)
- Byggnaders täthet/läckage (4)
- Tryckfallsbedömningar (3)
- Uppskattat brandtryck (3)
- Modellosäkerheter (3)
- Laminär/turbulent strömning (2)
- Påverkan av framtida ombyggnad (2)
- Spispkåpor (2)
- Systemets utformning (1)
- Avkylning i kanaler (1)
- Otätheter i kanalsystemet (1)
- Temperaturutveckling (1)
- Tidsberoende (1)
- Öppna fönster (1)

Flera av dessa faktorer hänger ihop med varandra eller beror på något sätt av varandra, dessutom ligger några av dem utanför de avgränsningar som gjorts.

8.2.3 Urval

Mot bakgrund av det som framkom i enkätundersökningen och studien av tidigare arbete i detta kapitel har följande variabler, utan inbördesordning, valts ut:

- Brandeffekt och brandflöde
- Luftläckage i byggnader
- Forcering av don
- Fönsterkollaps och öppna fönster
- Brandens placering i brandcellen och i byggnaden
- Flöden genom don och ventiler
- Brandgastemperatur
- Brandtryck
- Modellosäkerheter

Det är dessa variabler som bedöms vara av störst betydelse för problemet och som dessutom anses vara möjliga att analysera djupare. Det skall dock påpekas att dessa variabler enbart utgör ett urval av osäkra variabler vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem.

9 METOD FÖR OSÄKERHETSANALYS

För att kunna undersöka de variabler som identifierades i kapitel 8 behövs en analysmetod. I detta kapitel beskrivs den analysmetod som används i detta examensarbete.

9.1 Lämplig nivå på osäkerhetsanalys

För att välja lämplig nivå på osäkerhetsanalysen används Paté-Cornells (1996) teori om nivåer för osäkerhetsanalys (se avsnitt 5.2.1).

I de flesta fall kan det krävas analyser på nivå 4 eller 5 för att kunna hantera osäkerheter på ett tillräckligt bra sätt. Johansson (2000) talar dock om situationer i riskanalyser där analyser på lägre nivåer kan vara fullt tillräckliga. Till exempel då en viss händelse absolut inte får inträffa skulle en analys på nivå 0 vara tillräcklig eftersom alla möjliga risker eller felfunktioner identifierades och eliminerades.

Johansson (2000) skriver att osäkerhetshantering på nivå 2, d.v.s. skattningen av en rimlig maximal skada, är tillräcklig i byggändan som involverar personsäkerhet, vilket kan tolkas gälla även vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem. Uppfattningen att det i verkligheten även är så har erhållits under arbetet. I vissa fall förekommer det dock att känslighetsanalyser utförs som komplement till dessa analyser. Johansson skriver att känslighetsanalyser på denna nivå i praktiken endast speglar den rimliga maximala skadans variation och inte den faktiska skadan. Vilket innebär att endast osäkerheternas inverkan på den rimliga maximala skadan studeras.

Osäkerhetshantering på nivå 3 kan vara användbart vid ett val mellan två skyddsmetoder. Men det kan vara svårt att avgöra hur bra en skyddsmetod är eftersom ingen hänsyn tas till variationerna i ingående variabler. Med en analys på nivå 4 ges däremot en bra bild av hur osäkerheterna fortplantas till resultatet. Johansson (2000) rekommenderar dock att en känslighetsanalys av de variabler som har störst betydelse för slutresultatet bör studeras i en känslighetsanalys. Om känslighetsanalysen visar att kunskapsosäkerheter kan påverka resultatet är inte nivå 4 tillräcklig. Betydelsen av kunskapsosäkerheter skall då studeras på nivå 5.

För att studera osäkerheter vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem anses nivå 4 och nivå 5 vara lämpliga. Även nivå 3 kan vara lämplig om variationen i variablerna är liten, för att veta detta förutsätts det dock att osäkerheterna studerats på minst nivå 4. Att direkt genomföra en analys på nivå 5 anses vara olämpligt eftersom det innebär ytterligare arbete och resultaten kan bli svårtolkade. En känslighetsanalys för att utreda betydelsen av kunskapsosäkerheter och behovet av en analys på nivå 5 rekommenderas dock.

De osäkerheter, som tidigare identifieras i detta arbete (se kapitel 8), och deras fortplantning i beräkningarna kommer således att analyseras och beskrivas enligt nivå 4 d.v.s. sannolikheten för olika värden tas fram så att en diskret fördelning för variabeln kan erhållas.

9.2 Använd analysmetod

För att kunna hantera de osäkra variabler som har beskrivits i kapitel 8 och visa hur de kommer att påverka resultatet vid en riskanalys av ett ventilationssystem behövs det en analysmetod.

9.2.1 Val av riskanalysmetod

I avsnitt 9.1 konstaterades det att en osäkerhetshandling på nivå 4 är lämplig vid osäkerhetsanalys av ett ventilationssystem avseende brandgasspridning. För att göra detta behövs en lämplig riskanalysmetod. Det är önskvärt att använda en kvantitativ metod som är så generell som möjligt och inte begränsar sig till ett scenario.

Ett händelsetråd (se avsnitt 5.1.1) är den riskanalysmetod som anses uppfylla dessa villkor bäst, för det studerade problemet. I ett händelsetråd räknas sannolikhet och konsekvens för ett antal scenario fram och ger på så sätt en uppfattning om hur stor risken är. Med kunskap om sannolikheter för de olika händelserna kan sannolikheterna för respektive scenario beräknas.

9.2.2 Händelsetråd

Händelsetrådet begränsas till ett antal scenario vilket leder till att en diskret riskprofil (se figur 5.3) med ett antal ”trappsteg” kommer till att erhållas. När mängden variabler eller möjliga utfall hos variablerna ökar kommer händelsetrådet att bli större och svårare att hantera vilket innebär att antalet grenhändelser måste begränsas.

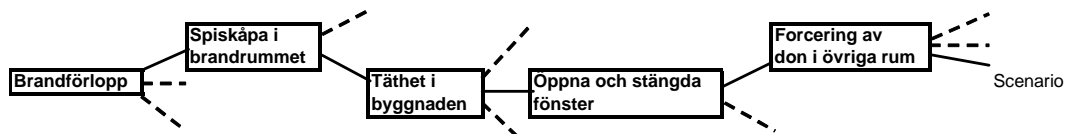
I kapitel 8 gjordes följande urval av osäkra variabler som bedömdes påverka brandgasspridning via ventilationssystem:

- Brandeffekt och brandflöde
- Luftläckage i byggnader
- Forcering av don
- Fönsterkollaps och öppna fönster
- Brandens placering i brandcellen och i byggnaden
- Flöden genom don och ventiler
- Brandgastemperatur
- Brandtryck
- Modellosäkerheter

För att kunna undersöka dessa variabler i ett händelsetråd, som inte är för stort och svårhanterligt, delas dessa nio variabler in i sex stycken grupper med de osäkra variablerna ovan inom parantes:

- **Brandförlopp** (*brandeffekt och brandflöde, brandens placering i brandcellen och i byggnaden, brandgastemperatur och brandtryck*).
- **Forcering av spiskåpan i brandrummet** (*forcering av don*).
- **Tätheten i byggnaden** (*luftläckage i byggnader och flöden genom don och ventiler*).
- **Öppna och stängda fönster** (*fönsterkollaps och öppna fönster*).
- **Forcering av don i övriga rum** (*forcering av don*)
- **Modellosäkerheter** (*modellosäkerheter*).

Hur dessa grupper användas i händelseträdet illustreras i figur 9.1.



Figur 9.1: Illustration av uppbyggnaden av händelseträdet.

Den osäkra variabeln *forcering av don* delas upp i två grupper: *öppen eller stängd spiskåpa i brandrummet* och *forcering av don i övriga rum*. Den sjätte gruppen, *modellosäkerheter*, ingår inte i figur 9.1 eftersom det inte anses vara en typisk grenhändelse och måste således beaktas utöver händelseträdet. Innan händelseträdet kan byggas upp och appliceras på ett verkligt ventilationssystem måste de olika variablerna studeras djupare så att antalet utfall för varje variabel och sannolikheterna för dessa kan bestämmas, vilket görs i kapitel 10.

10 KVANTIFIERING AV OSÄKRA VARIABLER

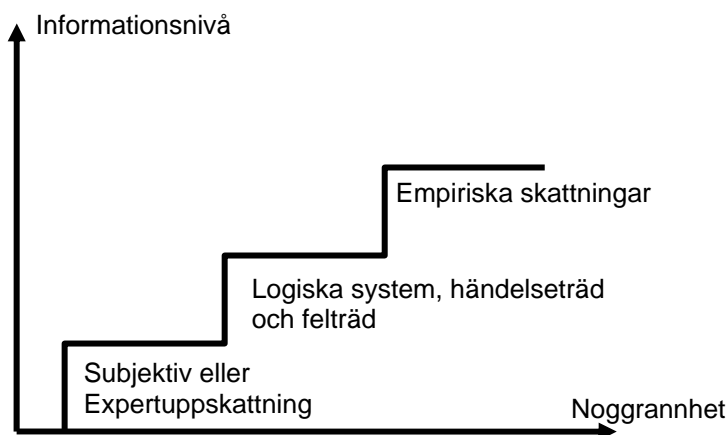
Ett mål med examensarbetet är att analysera och studera de osäkra indatavariabler som förekommer vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem. För att uppfylla detta mål besvaras följande frågeställning i detta kapitel:

- Går det att kvantifiera dessa osäkerheter?
- Vilka osäkerheter kan accepteras?

När osäkerheterna kvantifierats kan de användas i det, i avsnitt 9.2.1, föreslagna händelseträdet. Händelseträdet utnyttjas sedan i ett tillämpningsexempel på det i avsnitt 8.1 presenterade ventilationssystem. Eftersom det studerade ventilationssystemet finns i ett flerbostadshus har analysen av variablerna gjorts med utgångspunkt från bostäder.

10.1 Skattning av osäkerheter

Att använda sannolikheter är allmänt sett det bästa sättet för att kvantifiera osäkerheter. Det råder dock stor oenighet kring hur dessa sannolikheter skall inhämtas och vilka osäkerheter som skall kvantifieras (Magnusson, 1997). I Grimvall et al (1998) illustreras det hur sannolikheter för olika utfall kan skattas i en s.k. skattningstrappa (se figur 10.1). Skattningstrappa anses även kunna fungera som en tankemodell för hur skattningen av osäkerheter kan ske.



Figur 10.1: Skattningstrappan, efter Grimvall et al (1998)

Skattningstrappan består av tre steg men bör inte betraktas som diskret. Trappan följer en relation mellan noggrannhet och informationsnivå, d.v.s. om lite information finns blir även noggrannheten liten. Givetvis är det önskvärt att befinna sig högst upp i trappan. Det är inte alltid möjligt eftersom det kräver stabila dataserier och statistik som inte alltid är lätt att få tag på.

Magnusson (1997) skriver att det i regel är osäkerhetens natur som bestämmer hur kvantifieringen av dem lämpligast sker. Magnusson menar också att någon av följande situationer oftast förekommer i en riskanalys.

-
- Omständigheterna kring en risk är så välförstådda att funktionella förhållandena kring viktiga variabler kan antas. Värdena på vissa variabler är dock okända.
 - Kunskapen om fysiken, kemin, biologin eller andra vetenskapliga aspekter av en risk är så dålig att inget kan antas vara känt om de viktiga ingående variablerna.

När det gäller brandgasspridning via ventilationssystemet anses omständigheterna i den första situationen vara aktuell eftersom det för de flesta variabler anses vara möjligt att hitta ett troligt medelvärde. Variansen kan dock vara stor vilket medför att hänsyn måste tas till variabelns fördelning. I den mån det är möjlig så kommer därför max- och minimivärde att tas fram för de i avsnitt 8.2.3 presenterade variablerna. Vid skattningen av dessa värden används i första hand data från experimentella studier och statistik men då det inte finns att tillgå måste uppskattningar göras, d.v.s. en lägre nivå i skattningstrappan (se figur 10.1).

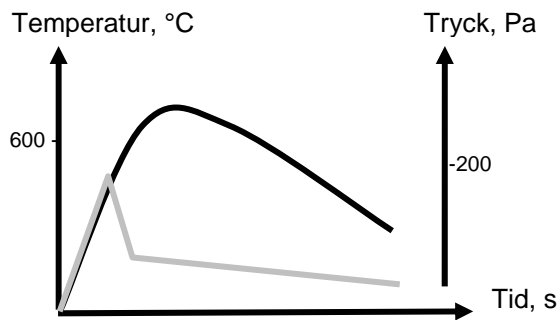
Samtliga osäkra variabler, från urvalet i avsnitt 8.2.3, studeras i följande avsnitt. De delades dock in i följande sex grupper för att lättare kunna relateras till händelseträdet i avsnitt 9.2.1:

- Brandförlopp
- Forcering av spiskåpan i brandrummet
- Tätheten i byggnaden
- Öppna och stängda fönster
- Forcering av don i övriga rum
- Modellosäkerheter

10.2 Brandförlopp

I detta avsnitt behandlas variablerna brandeffekt och brandflöde, brandens placering i brandcellen och i byggnaden, brandgastemperatur och brandtryck.

Ett brandförlopp kan delas upp i tre faser: tillväxtfas, fullt utvecklade brand och avsvälningsfas. Innan en brand blir fullt utvecklade sker övertändning. Övertändning innebär att allt i rummet är involverat i branden och att temperaturen under tak är över 600°C (Bengtsson, 1998). När övertändning inträffar kommer, om de inte redan gjort det, fönstren i brandrummet att gå sönder (se figur 10.2). Det innebär att rummet tryckavlastas och brandtrycket sjunker vilket betyder att risken för brandgasspridning via ventilationssystemet minskar. Det är alltså brandflödet innan övertändning som bör studeras.



Figur 10.2: Illustration av ett tänkbart brandförlopp. Den mörkare kurvan illustrerar temperaturen och den ljusare trycket i rummet.

Det är inte alltid så att en brand når övertändning. Om syret i brandrummet tar slut eller trycks undan av brandgaser innan nya ventilationsöppningar skapas, t.ex. genom fönsterkollaps, kan branden kväva sig själv. Syretillgången beror på geometri, öppningar, läckage och ventilation i brandrummet, dessa faktorer är alltså viktiga att beakta för att avgöra hur stor brandeffekten kan bli.

10.2.1 Brandeffekt och brandflöde

I avsnitt 4.3.1 beskrivs det hur brandflödet bero av effekten, brandeffekten i sin tur beskrivs med ekvation 10.1.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta H_{eff} \quad (\text{Ekvation 10.1})$$

\dot{Q} - effektutveckling, kW

\dot{m} - förbränningshastighet, kg/s

ΔH_{eff} - effektiv förbränningsvärme, kJ/kg

Eftersom det är brandeffekten innan övertändning som är intressant att beakta enligt resonemanget ovan kan följande ekvation som *National Fire Protection Association* (NFPA) tagit fram, för effektutvecklingen från en brand under dess tillväxt, användas.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad (\text{Ekvation 10.2})$$

α - tillväxtfaktor (alfavärde), kW/s²

t - tiden, s

NFPA har också tagit fram generella alfavärden för fyra typiska brandförlopp (se tabell 10.1).

Brandförlopp	Alfavärde (kW/s ²)	Tid till 1 MW (s)	Exempel på material
Ultra Fast	0,190	73	Bensin
Fast	0,047	146	Kartong
Medium	0,012	289	Träpall
Slow	0,003	577	Brandskyddat tyg

Tabell 10.1: Brandtillväxt enligt NFPA.

Vid dimensionering av brandskydd används ofta något av dessa tillväxtvärde. Huruvida denna uppdelning är lämplig eller ej kan diskuteras men det är inget anses vara möjligt att göra i detta arbete. Det skall dock påpekas att ekvation 10.2 representerar en grov metod som har sina begränsningar. Det är t.ex. inte givet att alla bränder följer en kvadratisk tillväxt utan någon initial långsam tillväxt, s.k. förbrinntid, som ekvationen förutsätter.

I Gordonova (1998) presenteras förhållanden mellan tillväxtfaktorn och brandflödet för olika byggnads typer. Dessutom redovisar Gordonova en generell ekvation framtagen genom regressionsanalys:

$$q = 0,28 \cdot V^{0,53} \cdot \alpha^{0,43} \quad (\text{Ekvation 10.3})$$

q - brandflöde, m³/s
 V - rummets volym, m³

Ekvation 10.3 ger enkel relation mellan brandflöde och tillväxtfaktorn. Ekvationen kan sägas beskriva det maximala brandflödet i ett rum med given volym vilket innebär att den inte användbar för att beskriva brandflödet under ett fullständigt brandförlopp. Men eftersom det, ur brandgasspridnings synpunkt, är brandens tillväxt som är intressant att studera (se avsnitt 10.2) anses ekvationen vara godtagbar. Det bör dock poängteras att ekvationen är framtagen med hjälp av simuleringsresultat från en s.k. tvåzonsmodell, som presenteras i Backvik et al (1996), vilket innebär att den är en approximation av en förenklad verklighet.

För att använda ekvation 10.3 räcker det alltså att känna till troliga brandtillväxtvärden för den undersökta lokaltypen. I den engelska guiden *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings* (PD 7974 Part 1) (BSI, 2003) ges rekommendationer för brandförlopp för olika byggnads typer (se tabell 10.2).

Typ av byggnad	Brandförlopp
Galleri	Slow
Bostad	Medium
Kontor	Medium
Hotellreception	Medium
Hotellrum	Medium
Affär	Fast
Industriellt lager eller tillverkning	Ultra Fast

Tabell 10.2: Tillväxtfaktor för olika typer av byggnader enligt BSI (2003).

Brandförloppen i tabell 10.2 kan relateras till NFPA:s alfavärden och på så sätt kvantifieras. Vilket är något som *Nordisk komité for byggbestemmelser* (NKB) har gjort i sina rekommendationer (se tabell 10.3).

Typ av byggnad	Alfavärde (kW/s ²)	Motsvarande NFPA brandförlopp
A (bostäder)	0,012	Medium
B (hotell)	0,050	~Fast
C (affärer)	0,190	Ultra Fast
D (skolor, kontor)	0,050	~Fast
E (industrier eller stora brandrisker)	Inte användbar	-

Tabell 10.3: Tillväxtfaktor för olika typer av byggnader enligt NKB (1994).

Vid en jämförelse mellan tabell 10.2 och tabell 10.3 framgår det att NKB:s värden ligger något högre än de i PD 7974. Vilket visar att värden från andra länder kan vara olämpliga att använda troligen eftersom material i lösegendom kan variera. På grund av detta anses en djupare analys med hjälp av lämplig svensk statistik vara nödvändig. I Andersson och Wadensten, (2002) beskrivs två metoder för hur detta kan göras.

10.2.1.1 Metoder för undersökning av statistik

Den första metoden (i detta arbete benämnd inventeringsmetoden) bygger på en inventering av vilken typ av material/lös inredning (brandbelastning) som finns i en lokal. Med hjälp av testdata över den aktuella brandbelastning kan en fördelning över tillväxtfaktorn för lokalen göras. Metoden tillämpas i Johansson (1999) och Angerd (1999). Den andra metoden (i detta arbete benämnd statistikmetoden), som Andersson och Wadensten (2002) tillämpar, bygger på undersökning av statistik. Räddningsverket (SRV) ger varje år ut statistik över startföremål i bränder (SRV, 2005a). Statistiken är hämtad från insatsrapporter från landets räddningstjänster. Genom att sätta ett alfavärde på varje typ av startföremål kan en sannolikhetsfördelning för brandtillväxten erhållas. Alfavärdet för startföremålen erhållas genom undersökning av lämpliga testdata.

Båda metoderna har fördelar och nackdelar. Om inventeringsmetoden tillämpas rätt ger den en bra bild över vad som finns i lokalen och hur en brand kommer att utvecklas. Nackdelen är att den byggd på befintliga förhållanden vilket betyder att den framtagna tillväxtfaktorn inte gäller om brandbelastningen förändras. Ytterligare en nackdel är att en ännu ej uppförd byggnad inte kan analyseras. I statistikmetoden är sannolikheterna knutna till uppkomna bränder istället för förekomsten av material. Användningen av statistik gör att metoden är lämplig att använda där det är svårt erhålla en generell uppskattning av tillväxthastigheten som t.ex. vid nybyggnation. En nackdel med statistikmetoden är att den bygger på statistik över startföremål vilket gör att den främst gäller för brandens tidigaste skede. (Andersson & Wadensten, 2002)

Statistikmetoden förefaller var den mest tilltalande för syftet att ta fram en sannolikhetsfördelning över tillväxtfaktorn för en byggnadstyp. Statistikmetoden är betydligt enklare än inventeringsmetoden dessutom är resultatet bättre tillämpbart.

Det är dock troligt att branden kommer att sprida sig till andra föremål under tillväxtfasen vilket troligen kommer att medföra en förändrad effektutveckling.

I Andersson och Wadensten (2002) används statistikmetoden för att ta fram en fördelning över tillväxtfaktorn för allmän byggnad mellan 1996 och 2000. I denna rapport studeras statistik för allmän byggnad och bostäder mellan 1998 och 2004. Statistiken i sig anses vara aktuell eftersom inga större förändringar i svenska byggnader avseende brandbelastning och dylikt bedöms ha skett de senaste åren. Samman metod för behandling av statistiken som i Andersson och Wadensten (2002) tillämpas därför i detta arbete.

10.2.1.2 Fördelning av brandtillväxthastighet

Resultatet redovisas i form av två diagram med den kumulativa frekvensen för tillväxtfaktorn samt brandflödet för fyra olika volymer enligt ekvation 10.3. Resultatet och tillvägagångssättet vid analysen av statistik redovisas också i appendix D.

Allmän byggnad

Allmän byggnad innebär bl.a.: handel, sjukhus, äldreomsorg, övrig vårdbyggnad, teater, biograf, museum, restaurang, danslokal, skola och studenthem.

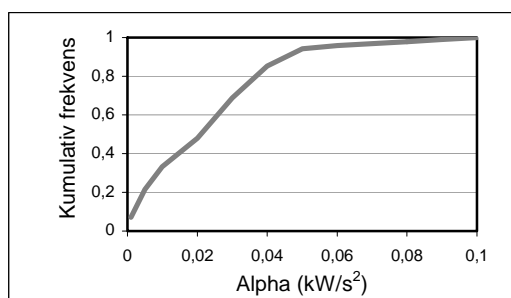


Diagram 10.1: Kumulativ frekvensen över brandtillväxt i startföremål i allmänbyggnad 1998-2004.

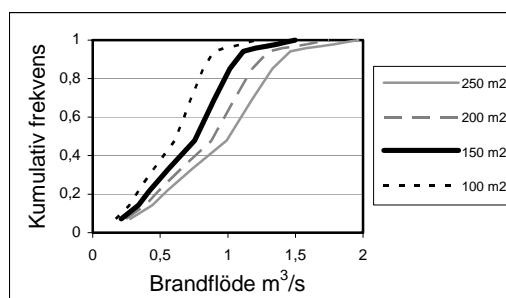


Diagram 10.2: Kumulativ frekvens över brandflöde i startföremål i allmän byggnad 1998-2004.

Värde	Alfavärde (kW/s ²)	Brandflöde (m ³ /s)
Medelvärde	0,026	0,85
Minimivärde	0,010	0,56
Maxvärde	0,100	1,50

Tabell 10.4: Väntevärde på brandtillväxten och brandflödet för ett rum på 150 m³ i allmän byggnad.

Bostäder

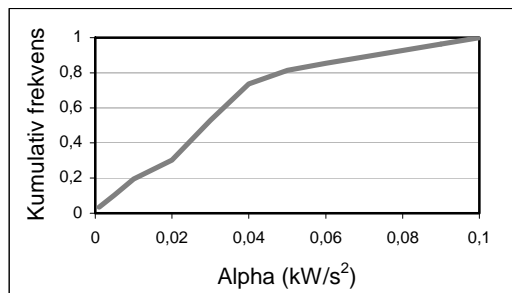


Diagram 10.3: Kumulativ frekvensen över brandtillväxt i startföremål i bostäder 1998-2004.

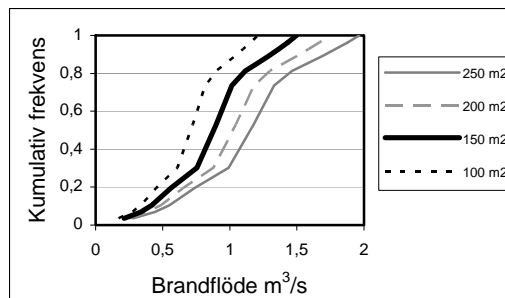


Diagram 10.4: Kumulativ frekvens över brandtillväxt i startföremål i bostäder 1998-2004.

Värde	Alfavärde (kW/s ²)	Brandflöde (m ³ /s)
Medelvärde	0,035	0,96
Minimivärde	0,005	0,42
Maxvärde	0,100	1,50

Tabell 10.5: Väntevärde på brandtillväxten och brandflödet för ett rum på 150 m³ i bostäder.

10.2.1.3 Diskussion brandeffekt och brandflöde

De framtagna resultaten grundar sig på antaganden och är således behäftade med kunskapsosäkerheter. Byggnadskategorin allmän byggnad är generell och innebär en mängd verksamheter med skilda förutsättningar, spridningen i resultatet är således stor. Andersson och Wadensten menar dock att resultatet kan, såvida inte brandbelastningen avviker från det normala, användas som en första uppskattning på trolig brandeffekt. Att använda väntevärdet rakt av är däremot inte att rekommendera.

Tillförlitligheten i resultaten för tillväxtfaktorn i allmän byggnad (se diagram 10.1) anses vara bra eftersom de överensstämmer med de som Andersson och Wadensten erhöll. Någon liknande slutsats om tillförlitligheten för tillväxtfaktorn i bostäder kan inte ges eftersom Andersson och Wadensten inte tillämpade metoden på bostäder. Men eftersom det rör sig om samma klasser av startföremål anses det inte behövas. Vidare diskussion kring lämpligheten och osäkerheterna i metoden kan studeras i Andersson och Wadensten (2002).

Alfavärdena i tabell 10.2 och tabell 10.3 förefaller vara lägre än de förväntade värdena i avsnitt 10.2.1.2. I statistikmetoden tas ingen hänsyn till byggnadens geometri eller hur syrehalten påverkar branden. Någon hänsyn tas inte heller till brandförloppets fortsatta utveckling vilket kan vara viktigt att studera. Branden kan nämligen släckas/slockna ganska omgående eller växa till övertändning och eventuellt sprida sig till andra brandceller. För vidare diskussion kring detta hänvisas till Johansson (1999).

10.2.1.4 Slutsats brandeffekt och brandflöde

Att använda en brandtillväxt motsvarande *Fast* enligt tabell 10.1 anses täcka in de flesta fall med en viss säkerhetsmarginal, förutsatt en normal brandbelastning. En

finare indelning måste dock göras (se avsnitt 10.2.5) för att kunna undersöka inverkan av osäkerheter.

10.2.2 Brandens placering i brandcellen och i byggnaden

Brandens placering i en byggnad beror på naturliga variationer och är svår att avgöra. Vid dimensionering är det därför lämpligt att välja den, ur spridningssynpunkt, sämsta placeringen.

Osäkerheterna kring startutrymmet i en lägenhet kan däremot reduceras genom att studera lämplig statistik.

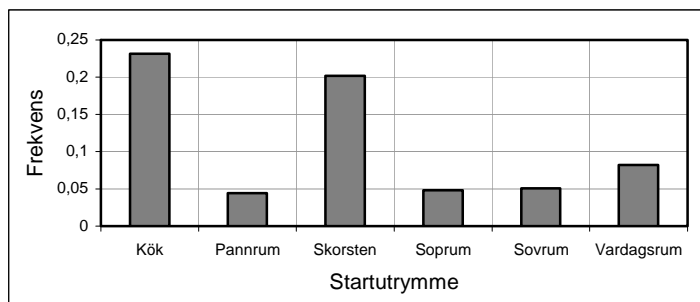


Diagram 10.5: Startutrymme för bostadsbränder under 1998-2003.

Diagram 10.5 visar de vanligaste startutrymmena för bränder i bostäder. Statistiken bygger på information från insatsrapporter (SRV, 2005a). Köket är, enligt statistiken, det vanligaste startutrymmet för bränder. I de flesta kök finns det frånluft över spisen i form av en fläkt vilket är en potentiell spridningsväg för brandgaser.

Brandens placering i rummet kommer också att ha en avgörande betydelse på hur branden utvecklar sig eftersom tillväxten och brandeffekten kommer att vara olika beroende på om branden startar i mitten av rummet, vid en vägg eller i ett hörn (Karlsson & Quintiere, 2000). När det gäller brandens placering i förhållande till don bedöms risken för brandgasspridning, via ett F-system, vara mindre för en brand i ett sovrumsrum eller i ett vardagsrum än i ett kök eller på en toalett eftersom frånluftsdon vanligen finns i kök och toalett. I ett FT-system är fallet annorlunda. Tilluft måste, enligt BBR, finnas i rum för vilande och/eller sovande och med tanke på att brandgaser sprids lättare via tilluftssystemet än frånluftssystemet (se avsnitt 4.3.3) kommer en sovrumsbrand i en lägenhet med FT-system innebära en högre risk för brandgasspridning än en brand i något annat rum.

10.2.2.1 Läckage genom avlopp

I *Brandskyddshandboken* (Brandskyddshandboken, 2005) hävdas det att avloppen i en lägenhet kan verka tryckavlastande. Flödet genom avloppet startar då övertrycket i rummet överstiger mottrycket i vattenlåset. I ett vattenlås med 5 cm vatten innebär det ett mottryck på 500 Pa. I en brandcell med dusch eller toalett betyder detta, enligt *Brandskyddshandboken*, att ett övertryck över 2000 Pa normalt inte kan uppstå.

Om en brand uppstår på en toalett och det finns tillräckliga förutsättningar för att ett kraftigt brandflöde kan utvecklas borde vattenlåsen kunna tryckas ut. Brandbelastningen på toaletter är inte så stor, men volymen är liten vilket innebär att

det finns potential för ett högt tryck förutsatt att syretillgången är tillräcklig. Det är dock tveksamt om avloppens diameter är tillräcklig för att tryckavlasta eller att toalettlocket kan förutsättas vara öppet. Statistiken (SRV, 2005a) visar dessutom att bränder på toaletter är relativt ovanliga.

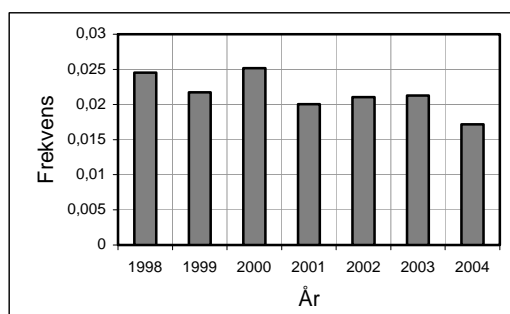


Diagram 10.6: Bostadsbränder med toalett som startutrymme 1998-2004

Mindre än 2,5 % av alla bostadsbränder uppges börja i badrum/toalett/bastu (se diagram 10.6). I köket finns också avlopp och vattenlås och andelen bränder som börjar i köket är betydligt större än i badrummet (se diagram 10.5). Antalet avlopp i kök är dock i regel färre och anses ha klenare dimensioner vilket talar emot möjligheten till tryckavlastning även där.

10.2.2.2 Slutsats brandens placering i brandcellen och i byggnaden

Brandens placering i en byggnad beror alltså på naturliga variationer och är svår att avgöra. Vid dimensionering är det därför lämpligt att välja den, ur spridnings-synpunkt, sämsta placeringen.

Brandens startutrymme kommer att ha avgörande betydelse för hur branden utvecklas och vilket brandtryck som uppstår. Statistiken visar att bränder i kök är vanliga medan bränder på toaletter är förhållandevis ovanliga. Brandbelastningen på toaletter bedöms dessutom vara låg vilket innebär att sannolikheten för att ett vattenlås skall kunna tryckas ut av ett brandinducerat tryck anses vara låg och är inget som kan förutsättas.

10.2.3 Brandgastemperatur

En högre temperatur leder till ett mindre tryckfall och därmed ett större flöde (Olsson, 1999). Således kan det vara viktigt att känna temperaturen på de brandgaser som trycks in i ventilationssystemet.

10.2.3.1 Handberäkningsuttryck

Brandgastemperaturen kan beräknas med alltifrån handberäkningsuttryck eller avancerade datormodeller. Ekvation 10.4 är ett exempel på ett handberäkningsuttryck.

$$\Delta T = 6,85 \left(\frac{\dot{Q}^2}{A_0 \sqrt{H_0} h_k A_T} \right)^{1/3} \quad (\text{Ekvation 10.4})$$

-
- \dot{Q} - brandeffekt, kW
 A_0 - area på öppningar, m²
 H_0 - öppningarnas höjd, m²
 h_k - effektiv värmeledningskoefficient, W/m²K
 A_T - Total omslutande area i rummet (minus öppnings area), m²

Ekvation 10.4 grundar sig på experimentella försök och regressionsanalys gjorda av bl.a. MacCaffrey (Karlsson & Quintiere, 2000). Ekvationen gäller för välventilerade bränder vilket talar mot dess lämplighet vid beräkningar av brandgasspridning via ventilationssystem som förutsätter relativt täta utrymme.

10.2.3.2 Datormodeller

Det finns två typer av datormodeller som är vanliga vid brandberäkningar, tvåzonsmodeller och fältmodeller. Tvåzonsmodeller bygger på att brandrummet innan övertändning kan delas in i två stycken zoner, en övre varm zon bestående av brandgaser och en undre kall zon med brandgasfriluft. En vanligt använd tvåzonsmodell är CFAST. (Brandskyddshandboken, 2002)

Fältmodellerna är lite mer sofistikerade. I en fältmodell delas beräkningsrymden in i ett en stor mängd kontrollvolym. I varje kontrollvolym löses kontinuitetsekvationer för massa, energi och rörelse. FDS och SOFIE är två vanligt använda fältmodeller. (Brandskyddshandboken, 2002)

Både zonmodeller och fältmodeller har sina för- och nackdelar vilket ställer krav på användarens kunskaper om programmet och hur bränder beter sig. Datormodellerna kräver i de flesta fall mer indata än handberäkningsuttrycken och eftersom lämpliga indata kan vara svår att erhålla kan osäkerheter fortplantas i beräkningarna.

10.2.3.3 Genomförda studier

I diskussionen om fönsterkollaps (se avsnitt 10.5.1) presenteras en rad studier av temperaturen i ett rum vid då fönstren går sönder. Resultaten från studierna varierade mellan 200 och 400°C. Eftersom brandtrycket avlastas när fönstren kollapsar borde brandgaserna som trycks in kanalsystemet inte vara varmare än så. Men om fönstren antas kollapsa då övertändning sker bör, enligt en definition av övertändning (se avsnitt 10.2.1), inte brandgaserna vara varmare än 600°C. Om systemet är uppbyggt med fläktar i drift kommer varma brandgaser sugas in i ventilationssystemet och transporteras bort och ut genom frånluftsfläkten även efter fönsterkollaps. Vid en fullt utvecklad brand kan dessa brandgaser bli uppemot 1000°C varma (Karlsson & Quintiere, 2000). Värmeförluster och luftinblandning i kanalsystemet kommer sänka temperaturen men den kommer trots det att bli hög vid fläkten, vilket är viktigt att beakta för att kunna garantera att fläktens funktion bibehålls.

I Hägglund et al (1996) och Hägglund et al (1998) presenteras ett antal försök i ett 22 m² stort rum med varierad effekt och olika ventilationsförhållanden,. Resultaten visade att temperaturerna vid taket i brandrummet låg mellan 300 och 400°C. Dessa resultat skall dock inte tolkas som allmängiltiga eftersom de anses vara strakt beroende av förutsättningar som gällde under försöken.

10.2.3.4 Diskussion brandgastemperatur

Att använda handberäkningsuttryck och datormodeller är lämpligt så länge användaren känner till dess begränsningar och har erforderliga indata. Alternativet är att använda data från experimentella försök. Det har framkommit under arbetet att en temperatur på 350°C verkar vara mer eller mindre praxis vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem, dessutom verkar värdet inte ifrågasättas nämnvärt vilket anses vara konstigt. I och för sig visar resultaten i de, i avsnitt 10.2.3.3, beskrivna studierna på temperaturerna mellan 300 och 400°C. Det skall dock poängteras igen att dessa värden är framtagna för ett särskilt rum och ventilationssystem vilket inte kan anses ge generellt tillämpbara resultat.

10.2.3.5 Slutsats brandgastemperatur

Temperaturen på de brandgaser som trycks in ett ventilationssystem är en stokastisk osäkerhet. Om en känslighetsanalys visar att brandgasernas temperatur kommer att påverka spridningen bör en osäkerhetsanalys göras. I tillämpningsexemplet, som görs i kapitel 11, används 400°C i kombination med en känslighetsanalys.

10.2.4 Begränsande brandtryck

Många av de variabler som beskrivs i detta kapitel måste studeras för att kunna räkna fram brandtrycket. Om brandtrycket är känt från början blir problemet lättare. Men att utreda brandtrycket vid en brand innan den uppstått anses vara omöjligt p.g.a. de många naturliga variationerna. Om en projektör ändå vill använda brandtrycket anses det därför lämpligare att använda maximalt brandtryck och således genomföra osäkerhetshantering på nivå 1 (se avsnitt 5.2.1.2).

Olika förslag och rekommendationer på maximalt brandtryck går att finna i litteraturen. Jensen (2002a) bedömer att normala byggnadskonstruktioner inte klarar brandtryck över 2000 Pa. Hielscher och Ivarsson (1994) föreslår att det tryck vid vilket brandrummets klimatskal går sönder skall vara dimensionerande, men om inga förutsättningar är kända kan, enligt Hielscher och Ivarsson, det dimensionerande brandtrycket schablonmässigt sättas till 1000 Pa. I *Brandskyddshandboken* (2005) bedöms det begränsande brandtrycket vara 2000 Pa p.g.a. möjligheten till tryckavlastning genom avloppet.

När det gäller byggnadsdelars kollaps klarar ett enkelglas fönster mellan 5,4 och 12,4 kPa beroende på glastjocklek (Jensen, 1993). Brandtrycket kommer troligen inte bli så högt p.g.a. för klen syretillgång eller fönsterkollaps till följd av hög temperaturen, vilket gör att denna bedömning mindre trovärdig. Tryckavlastning via avloppet, som tidigare diskuterat i avsnitt 10.2.2.1, anses också vara för osannolik för att användas vid ett dimensioneringsförfarande.

10.2.4.1 Genomförda studier

I Hägglund et al (1996) och Hägglund et al (1998) studerades brandtrycket i ett antal försök i ett 22 m² stort rum. I försöken varierades brandtillväxten och storleken på läckageöppningen. Tre typer av ventilationssystem studerades: F-system, FT-system och inget alls. Brandtrycken som uppmättes varierade mellan 100 och 1200 Pa. I flera fall var det troligen syrehalten som var begränsande eftersom inte de syrefattiga brandgaser kunde transporteras bort och ersättas med syrerik luft i tillräckligt snabb takt.

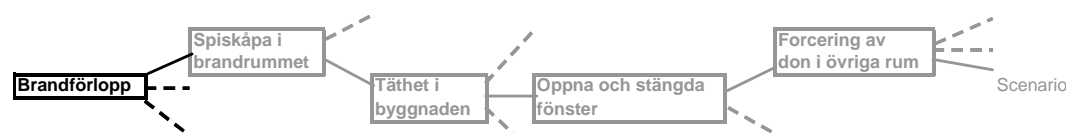
10.2.4.2 Slutsats brandtryck

I den studerade litteraturen anges olika värden på begränsande brandtryck men i många fall anses de inte vara tillräckligt underbyggda. I många fall kan säkert dessa värden vara lämpliga att använda men bör absolut inte ses som definitiva eller generella innan fler studier har gjorts. De genomförda försöken ger en idé om hur stora brandtryck som kan uppstå men resultaten bör inte överföras direkt till andra byggnader och geometrier utan noggranna övervägande.

Eftersom PFS används i tillämpningsexemplet i kapitel 11 räknas brandtrycket fram automatiskt. Det framräknade brandtrycket jämförs med resultaten från de genomförda försöken, som presenterats i detta avsnitt, för att avgöra hur realistisk simuleringen är.

10.2.5 Slutsats brandförlopp

Utifrån resonemanget i detta avsnitt skapas grenhändelsen *brandförlopp* med tre grenar i händelseträdet enligt figur 10.3.



Figur 10.3: Brandförlopp delas upp i tre grenar.

Utifrån diagram 10.3 skapas tre grupper med tillväxtintervall och frekvens enligt tabell 10.6. De olika tillväxtklasserna skall inte blandas ihop med typiska brandförlopp som NFPA tagit fram (se tabell 10.1). Det skall också poängteras att dessa tillväxtklasser enbart gäller för bostäder eftersom det är ett flerbostadshus som skall studeras i tillämpningsexemplet (se avsnitt 8.1).

Tillväxtklass	Tillväxtintervall (kW/s ²)	Medelvärde (kW/s ²)	Frekvens
Långsam	0,000-0,010	0,005	0,20
Medel	0,010-0,040	0,025	0,55
Snabb	0,040-0,100	0,070	0,25

Tabell 10.6: Frekvens för specifika tillväxthastigheter för bostäder.

För att räkna fram brandflödet används medelvärdet i tillväxtintervallet, i tabell 10.6, och ekvation 10.3. Rumsvolymen i de lägenheter som studeras i kapitel 11 är 48 m³ (se avsnitt 8.1) vilket, enligt ekvation 10.3, innebär brandflöden på 230, 450 och 700 l/s för de tre olika tillväxtklasserna.

Brandgastemperaturen bedöms vara 400°C men dess betydelse kontrolleras i en känslighetsanalys. Brandens placering i brandcellen beaktas inte men däremot beaktas brandens placering i byggnaden genom att välja den sämsta tänkbara platsen ur brandgasspridningssynpunkt. Dessutom kontrolleras brandtrycket så att det inte överstiger 2000 Pa vilket, enligt avsnitt 10.2.4, bedöms vara orealistiskt.

10.3 Forcering av spiskåpan i brandrummet

Vid en brand kommer forcering av don att vara av intresse eftersom det leder till ett större flöde genom ventilationssystemet. I ett F-system innebär därför en ökad

forcering i brandrummet att risken för brandgasspridning ökar. I ett FT-system minskar däremot risken eftersom det krävs en större brandeffekt för att skapa ett lika stort brandtryck som när donet är oforcerat.

Osäkerheterna kring hur ofta ett don är forcerat i en lägenhet bedöms kunna reduceras med ökad kunskap. För att erhålla sådan kunskap krävs det dock en omfattande undersökning av hur frekvent de boende i en byggnad forcerar sina don. Inga undersökningar på detta har hittats och troligen finns det väldigt få eller inga gjorda.

10.3.1 Brunnen spiskåpa

Vid en brand i köket kan spiskåpan ”brinna av”. Detta innebär, precis som när spisdonet är forcerat, att motståndet minskar och flödet ut ur brandrummet ökar. Vilket bör betyda att risken för brandgasspridning minskar i ett FT-system men ökar i ett F-system enligt resonemanget ovan.

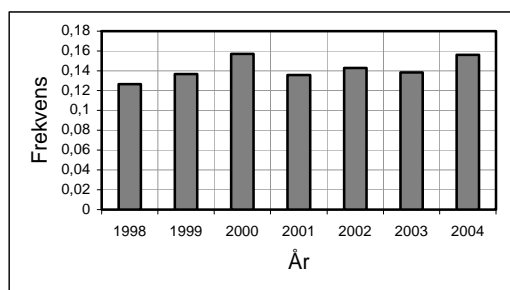


Diagram 10.7: Bostadsbränder med spis som startföremål 1998-2004.

Diagram 10.7 visar att mellan 12 och 16 % av samtliga bostadsbränder startar vid spisen (SRV, 2005a). Att en brand startar vid spisen är dock ingen förutsättning för att spiskåpan kommer att brinna av. Brandens storlek och det material kåpan är gjord av kommer att ha betydelse för hur mycket motståndet minskar. Men i brist på information om detta anses det vara ett rimligt konservativt antagande att förutsätta att spiskåpan brinner av vid 10 % av alla bostadsbränder.

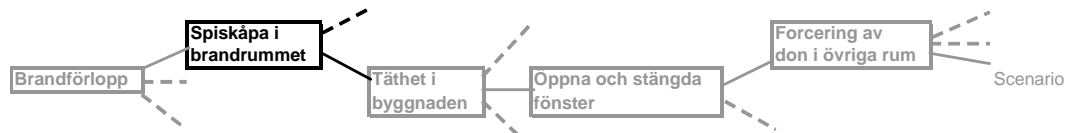
10.3.2 Diskussion forcering av spiskåpan i brandrummet

Eftersom det är mycket svårt att avgöra hur ofta en specifik spiskåpa är forcerad måste en bedömning göras. Det studerade systemet fungerar som ett mekaniska till- och frånluftssystem i drift med konverterad tilluft (se avsnitt 8.1). Därför anses en konservativ och rimlig bedömning vara att anta att spiskåpan i brandrummet är forcerad i samtliga fall utom då den brinner av.

Att spiskåpan brinner av i 10% av fallen ses inte som orimligt eftersom spisbränder är relativt vanliga och eftersom det bör finnas en positiv korrelation mellan öppen spiskåpa och brand på spisen.

10.3.3 Slutsats forcering av spiskåpan i brandrummet

Effekterna av forcerade don i brandrummet bör studeras i en osäkerhetsanalys. Utifrån resonemanget i detta avsnitt skapas en grenhändelse med två grenar, enligt figur 10.4.



Figur 10.4: Illustration av händelsen forcering av spiskåpan i händelseträdet.

Sannolikheterna för de två grenar från grenhändelsen *spiskåpa i brandrummet* presenteras i tabell 10.7.

Läge	Sannolikhet
Öppen	0,90
Brunnen	0,10

Tabell 10.7: Sannolikhet för spiskåpans läge i den brandutsatt lägenhet.

10.4 Tätheten i byggnaden

I detta avsnitt behandlas luftläckage i byggnader och flöden genom don och ventiler.

10.4.1 Luftläckage i byggnader

Tätheten hos väggarna i ett brandrum kommer att påverka brandgasspridningen i ventilationssystemet. Om rummet läcker mycket kommer inte tryckuppbyggnaden i rummet bli lika stor förutsatt att brandflödet är det samma. Således är läckageflödet en viktig, men osäker, variabel vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem.

Med läckage i en lägenhet syftas det på läckage ut ur klimatskalet, till trapphuset samt mellan lägenheter. Alla byggnader har sprickor och okända öppningar som kan uppstå och förändras med tiden (Herrlin, 1992). Både projekteringen och arbetsutförandet kommer att påverka lufttätheten. Att det är praktiskt möjligt att utföra konstruktionerna som de projekterats är en förutsättning för att de skall bli täta. I en del konstruktioner kan materialen, t.ex. betong, i sig vara tillräckligt lufttäta utan att speciella tätningsskikt behövs. I konstruktioner där sådana material saknas måste lufttätheten tillgodoses genom pappskikt, folier, dukar och/eller skivmaterial etc. (Sikander, 1997)

Luftläckage kan delas upp i två delar internt och externt vilket innebär läckage inom en byggnad respektive genom en byggnads klimatskal. I svenska regler står det att det externa läckageflödet inte får vara mer än $0,8 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ för bostäder och $1,6 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ för andra utrymmen (Boverket, 1994). Dessa täthetskrav härstammar från uppskattningar på hur tät ett hus kan byggas. Tidigare fanns det även krav i svenska byggregler (Svensk Byggnorm 1967) på det interna läckageflödet, men de har tagits bort. I Levin (1991) redovisas resultat från tryckprovningar av lägenheter där det interna läckaget står för mellan 12 och 33 % av det totala läckaget. Stora variationer uppmättes dock, i något fall stod det interna läckageflödet för 50 % av det totala.

Det är framförallt vid energiberäkningar som det är intressant att dela upp läckaget i internt och externt. För att undersöka brandtrycksuppbyggnad i en lägenhet spelar det ingen större roll vart läckaget sker utan enbart hur stort det är. Därför sker fortsättningsvis ingen uppdelning i externt eller internt luftläckage.

Luftläckage från en lägenhet kan ske till trapphus, angränsade lägenheter och till det fria. Läckaget kan ske vid genomföringar, som t.ex. el, tele och ventilation, vid skarvar mellan byggnadselement, kring fönster och dörrar, sprickor och brevinkast. I byggnader där lägenhetsskiljandeväggar och väggar mellan trapphus och lägenheter är av betong sker i princip inget läckage mellan dessa annat än via genomföringar. Genomföringar kan skapa läckage antingen genom en otillräcklig tätning eller genom röret som passerar genomföringen. Hur bra en tätning utförs är svårt att avgöra eftersom det kommer att bero på hantverkaren (Levin, 1991). Dessutom kan projekteringen vara bristfällig och då måste mycket av täthetsutförandet lösas på byggarbetsplatsen, vilket inte alltid blir bra (Sikander, 1997).

10.4.1.1 Tryckmetoden

Mätning av luftläckage sker oftast med hjälp av tryckmetoden som finns beskriven i *Svensk Standard SS 02 15 51*. Tryckmetoden innebär att huset eller lägenheten sätts i övertryck. Alla öppningar, t.ex. ventiler, fönster och don, skall vara stängda eller igentejpade. Luftflödena som krävs för att nå det önskade trycket noteras. Sedan vänds fläkten så att ett flöde vid motsvarande undertryck erhålls. Ett medelvärde av luftflödena för att uppnå trycket är ett mått på byggnadens täthet. Då ett antal flöden vid olika tryck erhållits skapas en täthetskurva.

En nackdel med tryckmetoden är att den tidskrävande och omständlig dessutom är den bäst lämpad för friliggande hus (Nilsson, 2003). När det gäller individuella lägenheter finns ingen standardiserad metod för mätning av luftläckage (Levin, 1991). Vilket kan vara en anledning till att få täthetsprovningar har gjorts på individuella lägenheter.

10.4.1.2 Genomförda undersökningar och tidigare dokumentation

Nilsson har i sin licentiatavhandling (Nilsson, 2003) studerat energianvändningen i tio fastigheter på Bo01-området i Malmö. Som en del i arbetet studerades läckageflödet i åtta lägenheter med hjälp av tryckmetoden. Lägenhetsväggarna var konstruerade av regelverk med isolering, betong och tegel. Husen var s.k. energisnåla hus vilket troligen innebär att de var tätare än normala lägenheter. Medelvärdet för de åtta lägenheterna var $1,2 \text{ l/sm}^2$ med maximum på $2 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ och minimum på $0,7 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$. I de uppmätta resultaten antogs den läckande arean endast bestå av ytterväggar.

Ytterligare undersökningar har gjorts av hus på Bo01. I Irminger Street och Johansson (2003) studeras termisk komfort och energianvändning i Sundshuset. Sundshuset konstruerades av en stålstomme med prefabricerade betongbjälklag och utfackningsväggar. Utfackningsväggarna bestod av träreglar, gips, isolering samt puts på utsidan. Trapphus- och gavelväggar bestod av betong. Irminger Street och Johansson gjorde bl.a. provtryckning av två lägenheter där ett luftläckage på $2,1 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ och $1,1 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ uppmättes. I undersökningen har det förutsatts att allt läckage sker externt via ytterväggarna. I själva verket läcker även väggar, golv och tak mot angränsande lägenheter vilket även påtalas i Carlsson (2004). Carlsson studerar också inomhusklimatproblem i Sundshuset i sitt examensarbete och i sin undersökning gör Carlsson en provtryckning av ytterligare en lägenhet. Medelläckageflödet vid 50 Pa blev 238 l/s (se tabell 10.8).

Omslutande area	Area (m ²)	Läckfaktor (l/s·m ²)
Enbart ytterväggar	174	1,37
Alla vertikala väggar	223	1,07
Alla omslutande ytor	405	0,59
Ytterväggar samt tak	205	0,99

Tabell 10.8: Läckfaktorer vid 50 Pa i en lägenhet i Sundshuset (Carlsson, 2004).

Carlsson genomförde tester med rök vid provtryckningen. Det noterades då att luft kom in via eldoser, telefonuttag, datoruttag samt vid fönster och dörrar. Efter att entreprenören Skanska åtgärdat de täthetsbrister som blivit kända i lägenheten gjordes en ny tryckprovning. Läckfaktor till alla omslutande areor blev då 0,46 l/s·m², vilket innebar en sänkning på 22%.

AB Sunda Hus Rådgivning är ett företag i Stockholmsområdet som bl.a. genomför täthetsprovningar. De har vid sina provningar på lägenheter sett att de läcker, både internt och externt, mellan 0,3 och 1,6 l/sm². Medelvärdet vid mätningarna ligger mellan 0,6 och 0,7 l/sm². (Häggbom, personlig kommunikation, 20 september, 2005).

I Levins avhandling (Levin, 1991) presenteras en undersökning av tryckskillnaden mellan lägenheter. I ett femtiotal lägenheter, fördelade på sju olika byggnader, användes tryckmetoden för att undersöka det totala läckaget. De undersökta byggnaderna ingick i det s.k. *Stockholm Project*. Konstruktionen och uppförningstekniken, som framgår av tabell 10.9, skilde sig åt mellan byggnaderna.

Använd byggnadsteknik för externa väggar	Luftläckage (n ₅₀)	Antal mätningar
Lättbetongblock ihop limmade på plats	0,35	7
Lättbetongelement gjutna på plats	0,9	15
Utfackningsvägg byggda på plats	1,4	15
Prefabricerade sandwich element av betong	0,8	7
Prefabricerade sandwich element av betong med extern isolering	0,9	1
Prefabricerad utfackningsvägg	0,6	8

Tabell 10.9: Använd byggnadsteknik för de externa väggarna samt medel läckageflödet för lägenheterna (Levin, 1991).

I tabell 10.9 visas medelvärdet för det totala läckageflödet, angivet som luftomväxlingar per timme (n₅₀), från lägenheter i de undersökta byggnaderna. Läckageflödet för varje lägenhet finns också presenterade i avhandlingen.

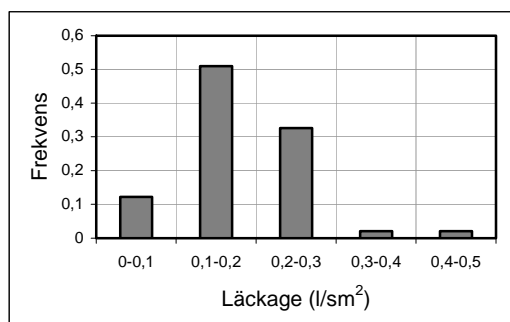


Diagram 10.8: Frekvens av luftläckaget i lägenheter i Levin (1991).

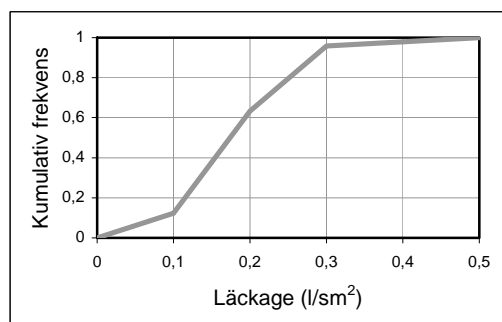


Diagram 10.9: Kumulativ frekvens av luftläckaget i lägenheter i Levin (1991).

Det läckageflöde som presenteras i diagram 10.8 innebär läckaget över hela den omslutande arean. Den kumulativa frekvensen (se diagram 10.9) visar att 95% av de undersökta lägenheterna läcker 0,35 l/s·m² eller mindre, vilket är förvånansvärt lite. Diagrammen är framtagna med hjälp av de knappa beskrivningarna av rummens geometri som finns att tillgå. Vilket betyder att tillförlitlighet för dessa värden kan diskuteras. Det skall dock påpekas att dessa lägenheter var byggda som speciellt energieffektiva och kan därför vara något tätare än vanliga byggnader, vilket till viss del kan förklara de låga värdena.

Det finns andra metoder att studera läckageflödet på än tryckmetoden. Herrlin använder i sin doktorsavhandling (Herrlin, 1992) av en metod som bygger på tryckprovning av individuella byggnadskomponenter, där de olika komponenternas läckage adderas till ett totalt läckageflöde. I Backvik et al (1996) presenteras ett liknande tillvägagångssätt där läckage arean för olika byggnadselement är angivna i en tabell. Tabellen är från början framtagen av *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*.

Byggnadselement	Tight	Average	Loose	Very Loose
Ytterväggar inkl. sprickor och sprickor kring dörrar och fönster.	$0,70 \cdot 10^{-4}$	$0,21 \cdot 10^{-3}$	$0,42 \cdot 10^{-3}$	$0,13 \cdot 10^{-2}$
Trapphusväggar inkl. sprickor i konstruktionen men inte kring dörrar och fönster.	$0,14 \cdot 10^{-4}$	$0,11 \cdot 10^{-3}$	$0,35 \cdot 10^{-3}$	-
Väggar i hisschakt inkl. sprickor i konstruktionen men inte kring dörrar och fönster	$0,18 \cdot 10^{-3}$	$0,84 \cdot 10^{-3}$	$0,18 \cdot 10^{-2}$	-
Golv inkl. sprickor i konstruktionen och otillräckliga tätningar.	-	$0,52 \cdot 10^{-4}$	-	-

Tabell 10.10: Läckagearea (%), modifierad efter Backvik (1996).

Tabell 10.10 visar kvoten mellan läckage arean (A) och vägg arean (A_w) respektive golv arean (A_f). Den angivna läckage arean gäller vid 75 respektive 25 Pa övertryck för väggar respektive golv. Genom att använda ekvation 10.5 kan flödet, q , genom en area vid ett visst tryck beräknas. (Backvik, 1996)

$$q = C_d A_1 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (\text{Ekvation 10.5})$$

- C_d - utströmningkoefficient, vanligen mellan 0,4-0,8 (Mattsson, 2004)
 A_1 - area, m²
 Δp - tryckskillnad, Pa
 ρ - densiteten för de strömmande gaserna, kg/m³

Med hjälp av ekvation 10.5 och tabell 10.10 kan följande värde på flödet i l/s·m², vid 50 Pa och $C_d = 0,6$, sättas upp i tabell 10.11.

Byggnadselement	Tight	Average	Loose	Very Loose
Ytterväggar	0,38	1,15	2,30	7,12
Trapphusväggar	0,08	0,60	1,92	-
Väggar i hisschakt	0,99	4,60	9,86	-
Golv	-	0,28	-	-

Tabell 10.11: Läckage (l/s·m²) i byggnadselement vid 50 Pa.

Värdena i tabell 10.11 är ungefärliga eftersom det är svårt att bestämma C_d . Det är dessutom tvivelaktigt om ekvation 10.5 överhuvudtaget är tillämpbar på läckageöppningarna i byggnader eftersom de ofta är små i förhållande till sin längd (Mattsson, 2004). Dessutom är det osäkert ifall värdena i tabell 10.10 och tabell 10.11, som kommer från USA, kan överföras direkt till svenska byggen eftersom byggnadstradition och klimat skiljer sig mellan länderna. En jämförelse av värdena i svenska studier och de i tabell 10.11 tyder på att svenska hus är förhållandevis täta jämfört med amerikanska. Något som även påpekas i Mattsson (2004) och Persily (1999).

10.4.1.3 Diskussion luftläckage i byggnader

Addering av värden på byggnadselements eller detaljers otätheter kan vara olämpligt eftersom de mätdata på otätheter som finns för enskilda detaljer inte kan förklara otätheten i en hel byggnad (Mattsson, 2004). Att använda mätdata från täthetsprovningar av hela lägenheter anses därför vara lämpligare.

För spridning av brandgaser via ventilationssystemet är det tryckuppbyggnaden i brandrummet som är av intresse. Att separera luftläckaget i ett internt och externt flöde är därför inte nödvändigt. Det anses istället vara lämpligare att anta att väggarna i ett flerbostadshus läcker lika mycket såvida inget är känt om läckageöppningarnas fördelning.

Persily (1999) hävdar att lufttätheten i kommersiella byggnader inte försämras med tiden och att äldre byggnader generellt inte är otätare än nya. I Mattsson (2004) hävdades dock motsatsen då ett par studier omnämns där det konstaterats att lufttätheten i en byggnad försämras med tiden. Det är svårt att avgöra vad som är rätt eftersom det är inte är lätt att dra några generella slutsatser. Det förefaller dock troligt att en byggnad blir otätare med tiden p.g.a. sprickbildningar och slitage, men i vilken utsträckning är svårt att avgöra.

Eftersom det idag inte finns många publicerade studier på hur mycket flerbostadshus läcker används ofta normerna för externt läckage i BBR vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem. Resten av den omslutande arean anses vara tät. För att illustrerar hur detta kan bli fel används data från en verklig tryckprovning vid Bo01 (se tabell 10.12).

Omslutande area	Area (m ²)	Använt läckage (l/s·m ²)	Läckage (l/s)
Enbart ytterväggar	174	0,8	139
Alla vertikala väggar	223	0,8	178
Alla omslutande ytor	405	0,8	324
Ytterväggar samt tak	205	0,8	164

Tabell 10.12: Luftläckage i en lägenhet i Sundshuset förutsatt ett läckage på 0,8 l/s·m².

I detta exempel erhålls ett mindre läckage än i verkligheten, som var 238 l/s vid 50 Pa (se tabell 10.8), då enbart ytterväggarna beaktas. Vilket innebär att användningen av normerna i BBR ger ett värde med tämligen stor säkerhetsmarginal. Men det kunde ha varit tvärtom om t.ex. ytterväggarna varit större, i förhållande till hela den omslutande arean, eller om huset varit tätare.

10.4.1.4 Slutsats luftläckage i byggnader

Att använda ett läckage runt 0,3 l/s·m² för hela den omslutande arean bör, mot bakgrund av de i avsnittet presenterade undersökningarna, ses som ett rimligt antagande men stora osäkerheter finns dock. Dessutom förutsätter värdet att otätheter finns jämt fördelade över hela ytan vilket självklart inte är fallet i verkligheten. Därför är det ej att rekommendera att blint använda dessa värden utan att även beakta antalet fönster och dörrar, byggnadsmaterial och konstruktionen. Typen av ventilationssystem bör också beaktas eftersom byggnader med FT-system i regel är tätare än med F-system. Även brandcellens placering i byggnader kan ha inverkan på tätheten eftersom en brandcell på bottenplan eller i källaren rimligtvis bör vara tätare än en längre upp i huset.

10.4.2 Flöde genom don och ventiler

Flöden genom don och ventiler i en specifik lägenhet är variabel som kan bestämmas genom ökad kunskap om de specifika ventilerna och donen. Drag från uteluftsdon kan vara obehagligt vilket gör att de tätas igen, något som är mycket svårt att ta hänsyn till utan att själv inventera byggnaden. Eftersom detta skulle kräva många mätningar, som dessutom är omöjliga att göra vid nybyggnation, är det önskvärt att få en mer generell bild som kan tillämpas på mer än en byggnad.

I BBR finns det krav på luftflöden, minsta tilluftsflöde i rum i bostäder, avsedda för sömn och vila, är t.ex. 4 l/s. Tidningen *Råd & Rön* (Lagergren, 2003) beskriver en undersökning gjord av *Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut* på fönsterventiler. Undersökningen gjordes på tio uteluftsdon och endast två av dem klarade fyralitersgränsen. Överlag låg flödet genom ventilerna lägre, i vissa fall mycket lägre, än vad tillverkaren specificerade. Undersökningen visar att de krav som ställs i BBR kanske inte alltid uppfylls i verkligheten.

När en brand startar i en byggnad med F-system kommer luft ganska omgående tryckas ut ur uteluftsdon i brandrummet. Flödet kommer således inte gå i den normala riktningen genom ventilen. Det samma gäller brandgasspridning via tilluften i ett FT-system. Riktningen på flödet genom ett don kommer troligen att påverka tryckfallet. Att inte ta hänsyn till detta innebär att brandtrycket i lägenheten underskattas samtidigt som spridningen ut genom tilluften i brandrummet överskattas. Inga studier eller undersökningar av detta har dock hittats och det är tveksamt ifall några genomförts.

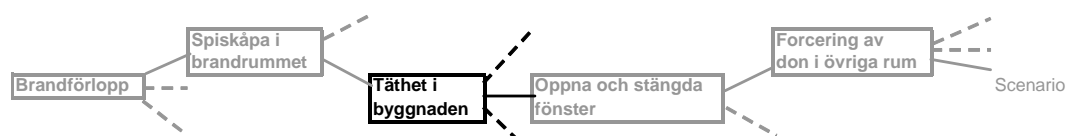
Typen av don bör uppmärksammas vid projektering. Då vinden ligger på en byggnad skapas ett tryck och luft trycks in genom tilluftsventilen. Om lägenheten är genomgående kommer ett undertryck att skapas på den motsatta fasaden och luft kan sugas ut. För att undvika det drag som bildas finns det don som är utrustade med en backventil. En sådan ventil kommer inte att tillåta läckage vid en brand vilket troligen komma att innebära ett högre brandtryck. I Carlsson (2004) testas funktionen av en sådan backventil vid normala förhållanden. Inga studier på dess funktions vid brand har hittats.

10.4.2.1 Slutsats flöden genom don och ventiler

Många faktorer kommer att påverka flödena genom don och ventiler. Att dra någon generell slutsats eller ge någon rekommendation har inte varit möjlig. Därför behandlas inte innehållet i detta avsnitt vidare i arbetet.

10.4.3 Slutsats täthet

Utifrån resonemanget i detta avsnitt skapas en grenhändelse, *Täthet*, med tre grenar i händelseträdet enligt figur 10.5.



Figur 10.5: Tätheten i byggnaden delas upp i tre grenar.

Eftersom den modell som skall studeras (se avsnitt 8.1) är ett FT-system utan uteluftsdon så beaktas enbart tätheten i fasaden och utifrån diagram 10.8 skapas tre klasser med läckageintervall och sannolikhet enligt tabell 10.13. Det anses inte finnas någon anledning att anta att läckaget kommer att skilja sig nämnvärt mellan lägenheterna därför antas de övriga lägenheterna läcka lika mycket som den brandutsatta såvida de inte har något fönster öppet (se avsnitt 10.5).

Täthetsklass	Läckageintervall (l/s·m ²)	Medelvärde (l/s·m ²)	Sannolikhet
Liten	0,1-0,2	0,15	0,125
Medel	0,2-0,4	0,30	0,75
Stor	0,4-0,6	0,50	0,125

Tabell 10.13: Sannolikhet för läckage i bostäder.

Byggnaden antas läcka lika mycket över alla omslutande väggar, för de undersökta rummen innebär detta, enligt avsnitt 8.1, en yta på 48 m². Läckagen blir då 7, 14 och 24 l/s.

10.5 Öppna och stängda fönster

I detta avsnitt behandlas fönsterkollaps till följd av brand och öppna fönsters påverkan på brandgasspridningen.

10.5.1 Fönsterkollaps

När ett fönster kollapsar kommer brandrummet att tryckavlastas vilket leder till att brandtrycket sjunker och risken för brandgasspridning via ventilationssystemet sjunker (se tabell 4.1). I Bergström (1995) genomförs en studie av brandpåverkan på glaskonstruktioner. I studien konstateras det att det inte är enkelt att dra slutsatser om hur glaskonstruktioner kommer att påverkas under en brand.

Vid en brand kan ett fönster kollapsa på grund av trycket i rummet eller temperaturskillnaden mellan den skuggade och exponerade ytan av glaset. I Jensen (1993) omnämns ett laboratorieförsök av Jonsson där brottrycket för ett 1 m² fritt upplagt enkelglas med olika tjocklekar testades. Medelbrottrycken, vid rumstemperatur, varierade mellan 5,4 och 12,4 kPa för glastjocklekar mellan 3 och 6 mm. När det gäller temperaturen konstaterar Bergström (1995) i sin litteraturstudie att vanligt sodaglas klarar en temperaturskillnad mellan 60 och 80°C över glasytan. Gordonova (1998) skriver att glas klarar en temperaturskillnad mellan 58 och 100°C vilket sker då temperaturen i brandrummet ligger mellan 200 och 400°C. Backvik et al (1996) anger en temperaturskillnad på 70°C som uppnås då temperaturen i brandgaslagret är 250-350°C. Eftersom dessa temperaturer vanligen uppnås före brandtryck på fler kPa antas det fortsättningsvis att fönstren kollapsar p.g.a. spänningar till följd av hög temperaturen och inte p.g.a. högt brandtryck.

Som tidigare nämnts (se avsnitt 10.2) kommer fönstren i ett rum att gå sönder, om de inte redan gjort det, i samband med övertändning. För att övertändning skall ske krävs det att branden får tillräckligt med syre. Syretillförseln genom ventiler och läckage i byggnadselement kommer troligen inte att vara tillräcklig i en vanlig lägenhet, vilket innebär att övertändning kommer att inträffa först efter att fönstren kollapsat.

I experimentella studier anges det sällan hur mycket av fönstret som fallit ut eftersom det vanligen är tiden till brott studeras. Om ett fönster går sönder men inte faller ut är det svårt att avgöra hur detta kommer att påverka trycket i rummet. Att förutsätta att ett brandrum blir helt tryckavlastat då fönstret går sönder kan bidra till underskattning av brandgasspridning via ventilationssystemet. De brottemperaturer som har diskuterats gäller vanligt enkelglas. Förhållandena blir troligen annorlunda för två och treglasfönster eller för speciella glas typer som t.ex. säkerhetsglas vilket i så fall bör beaktas.

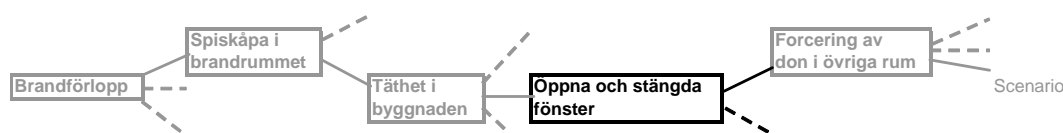
Eftersom brandgasspridningen via ventilationssystem upphör då klimatskalet går sönder kommer temperaturen då det inträffar att vara den maximala brandgastemperatur som kan spridas till andra brandceller via ventilationssystemet. Mot bakgrund av detta bedöms slutsatsen, att brandgastemperaturen rimligen blir runt 400°C, i avsnitt 10.2.3 kunna styrkas.

10.5.2 Öppna fönster

Hur många brandceller i ett hus som har ett fönster öppet vid en viss tid är svårt att avgöra och ingen undersökning eller statistik på det har hittats. För en befintlig byggnad går det att undersöka genom att studera vanorna hos människorna i byggnaden. För nyprojektering är det svårare eftersom klimat, årstid och ventilationsförhållanden anses kunna påverka antalet öppna fönster. Om det dessutom inte finns några liknande byggnader i omgivningen blir det ännu svårare.

10.5.3 Slutsats öppna och stängda fönster

Med tanke på de naturliga variationer som finns i tiden till fönsterkollaps anses det bäst att använda det konservativa antagandet att fönstren är intakta under brandens tillväxtfas. Effekterna av öppna fönster i andra brandceller än brandrummet bör däremot studeras. Utifrån resonemanget i avsnitt 10.5.2 skapas grenhändelsen *Fönster* med två stycken grenar enligt figur 10.6.



Figur 10.6: Fönster beskrivs in den nästa sista grenhändelsen.

Med öppna respektive stängda fönster syftas det att fönster i alla brandceller, utom brandrummet, är öppna respektive att alla fönster är stängda inklusive fönstren i brandrummet. Troligen är det mycket osannolikt att minst ett fönster i alla lägenheter i en byggnad är öppna samtidigt, möjligen skulle det kunna inträffa under högsommaren då det är väldigt varmt ute. Sannolikheten för öppna fönster bedöms därför vara 5 % något som anses vara väldigt konservativt. Om betydelsen av öppna fönster visar sig vara stor bör dock denna bedömning utredas noggrannare eftersom den i sig är väldigt osäker.

Fönster	Sannolikhet
Stängt	0,95
Öppet	0,05

Tabell 10.14: Antagna sannolikheter för öppet respektive stängt fönster i bostäder.

Öppna fönster kommer att påverka den efterföljande strukturen av händelseträdet. Om fönstret förutsätts vara öppet kommer rummet att vara helt tryckavlastat och således behöver ingen hänsyn tas till läckaget i rummet.

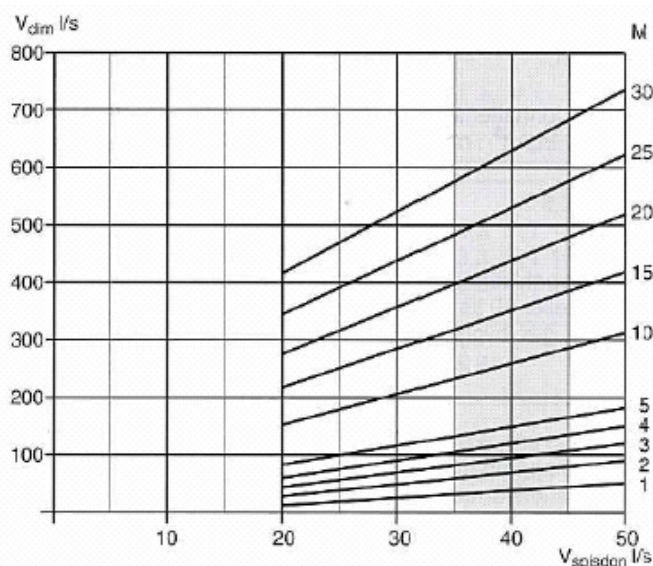
10.6 Forcering av don övriga rum

Risken för brandgasspridning ökar om en lägenhet, annan än den brandutsatta, har don forcerade eftersom mottrycket i den lägenheten minskar (se exempel i avsnitt 7.1.1).

I BBR ställs det krav på minsta frånluftsflöde från bl.a. kök och badrum. Köket skall ha ett minsta frånluftsflöde på 10 l/s med forceringsmöjlighet som upptar 75 % av luftföroreningar. I bad- eller duschrutrum skall flödet vara minst 10 l/s. Om golvet överstiger 5 m² ställs högre krav. Forceringen av köksfläkten styrs av de boende och

kommer att bero av deras vanor. I enpersonshem används antagligen fläkten mindre än i ett familjehem där fler måltider lagas. Att anta att forceringsfrekvensen är korrelerad med lägenhetsstorleken bör därför vara rimligt. Det är dock svårt att avgöra hur många don i en byggnad som är forcerad samtidigt.

I en föregångare till BBR fanns en metod för hur det sammanlagda flödet från en byggnads köksfläktar kunde tas fram. Detta var framförallt menat som hjälp vid dimensionering av kanalsystemet. I Enberg (2004) presenteras ett diagram (se figur 10.7) där flödet för olika antal spisdon kan avläsas.



Figur 10.7: Sammanlagt luftflöde (V_{dim}) som funktion av forceringsflöde/spisdon inkl. konstant flöde 10 l/s ($V_{spisdon}$) med antalet spisdon (M) som variabel. Efter Enberg (2004).

Figur 10.7 ger värden på V_{dim} i tabell 10.15 om flödet vid forcering är 30 l/s, som är fallet i den modell som skall studeras (se avsnitt 8.1)

Antal spisdon (M)	Sammanlagt flöde (V_{dim})	Antal forcerade spisdon	Andel forcerade spisdon
5	110	3	0,60
15	290	7	0,47
30	520	11	0,37

Tabell 10.15: Exempel på andelen forcerade spisdon enligt figur 10.7..

Tabell 10.15, som är en tolkning av figur 10.7, visar att andelen forcerade don sjunker med antalet spisdon i systemet.

10.6.1 Diskussion forcering av don i övriga rum

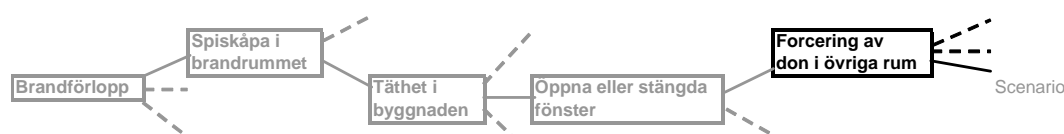
Brandgasspridning till en brandcell med forcerat don kommer i regel att vara lättare än då donet inte är forcerat eftersom motståndet minskar. Av konservativa skäl bör spisdonet i brandrummet förutsättas vara forcerat i F-system och konverterade FT-system (se avsnitt 10.3) eftersom brandgaser lättare kan ta sig in i kanalsystemet då.

Temperaturen vid fläkten kommer att påverkas av graden av forcering. Om en stor mängd frånluftsdon är forcerade vid en brand kommer brandgaserna att späddas ut av det större flödet i kanalerna vilket leder till att temperaturen på gaserna sjunker. För att undersöka hur hög temperaturen kan bli vid fläkten bör därför en beräkning genomföras där inga don förutom i brandrummet är forcerade.

När det gäller forcering i normalfallet anses värden som används vid dimensionering av ventilationssystem, som t.ex. de i figur 10.7, vara rimliga, de bör dock övervägas nog. Variationen i andelen forcerade don kommer troligen att vara stor över dygnet och mellan olika byggnader och bör beaktas i en osäkerhetsanalys.

10.6.2 Slutsats forcering av övriga don

Till den sista grenhändelsen i händelseträdet, *forcering av don i övriga rum*, skapas tre grenar (se figur 10.8) med utfallssannolikheter enligt tabell 10.16.



Figur 10.8: Illustration av en del i händelseträdet.

Forceringsklass	Andel forcerade don	Sannolikhet
Ingen	0	0,33
Medel	0,25	0,33
Stor	0,5	0,33

Tabell 10.16: Sannolikheter för antal forcerade don i bostäder.

I tillämpningsexemplet finns det 90 lägenheter (se avsnitt 8.1) det innebär, om en extrapolation av figur 10.7 görs, att systemet skall dimensioneras så cirka 25 % av donen är forcerade samtidigt. Osäkerheterna är dock stora liksom variationerna därför görs bedömningen att likväl 0 och 50 % av donen kan vara forcerade med samma sannolikhet.

10.7 Modellosäkerheter

Modellosäkerheter ingår inte i den händelseträdsanalys som görs i kapitel 11 eftersom det inte är själva ventilationsmodellen som analyseras i händelseträdet. Modellosäkerheter tas dock upp eftersom det anses vara viktigt att beakta i en osäkerhetsanalys.

En modell är en förenklad beskrivning av verkligheten och skall vara anpassad till det problem som skall behandlas. Det viktiga med en modell är inte att den beskriver verkligheten så noga som möjligt utan att dess tillämpning ger resultat som är relevanta för den problemställning som den är avsedd att användas för. En komplicerad modell kan i många fall vara mindre lämplig än en enkel modell eftersom många sofistikerade modeller kräver detaljerade indata som i praktiken inte är tillgänglig (Isaksson et al, 2005). Vid brandteknisk dimensionering av ventilationssystem används regel någon form av verktyg (se avsnitt 4.5) för att skapa en modell av systemet.

10.7.1 Använda verktyg

I den genomförda enkätundersökningen (se kapitel 3) ställdes frågan: ”Använder du någon beräkningsmodell (handberäkningar/dator) för att titta på brandgasspridning via ventilationssystem? I så fall vilken?”. En majoritet svarade att den använde en kombination av handberäkningar och datorprogrammet PFS. Ett fåtal svarade att de använde handberäkningar enligt Olsson (1999). Följdfrågan löd: ”Känner du tillförlitlighet till denna modell?”. Svaren varierade mycket men en majoritet svarade jakande. Några respondenter angav att man känner större tillförlitlighet till modellen än i de indata man använder.

Att många använder PFS är väntat eftersom en majoritet av respondenterna har använt programmet vid sin utbildning till brandingenjörer. Att tillförlitligheten bedöms vara hög är givetvis bra men få av respondenterna har gett en tydlig förklaring till varför vilket gör det svårt att tolka hur den har bedömts.

10.7.2 Osäkerheter i PFS

Osäkerheterna i en modell bedöms vara uppdelbara i två punkter:

- Osäkerheter i verktyget
- Osäkerheter i skapandet av modellen

Osäkerheterna i verktyget PFS finns eftersom det är en förenklad modell av verkligheten, validering av programmet har dock gjorts och de visar att programmet överensstämmer bra med verkliga försök (Hielscher & Warelius, 1993). Allvarligare fel kan uppstå till följd av dålig kunskap om programmet. Exempel på detta är temperaturskiktningen i brandrummet som i regel uppstår innan övertändning. PFS räknar med en homogen temperatur i brandrummet, vilket innebär att lågt placerade don kommer få ett lägre motstånd än i verkligheten (Brandskyddshandboken, 2005). En annan osäkerhet rör typen av strömning. Om inte användaren specificerar något annat kommer PFS att förutsätta att det är turbulent strömning i systemet vilket inte behöver vara fallet även om laminär strömning sällan förekommer i ett ventilations-system. Ytterligare en osäkerhet är de motstånd som PFS räknar fram över don vid användning av funktionen *trix* (Jensen, 2002b). Dessa är nämligen inte de samma som då flödet går åt motsatt håll över donet (se avsnitt 10.4.2). Användaren kan dock ta hänsyn till detta genom att använda den asymmetri funktion som finns.

Punkt två ovan anses vara allvarligare och mer beroende av användaren eftersom fel kan införas då modellen skapas. Vilket kan bero på slarv, felaktig avläsning av ritningar och dylikt.

10.7.3 Slutsats modellosäkerheter

Det är viktigt att känna till sitt verktyg eller den modell man använder och de begränsningar den har. Kontroll och granskning av genomförd projektering är lika viktigt inom detta område som andra. Men eftersom det är relativt få som har kunskap om de verktyg som används vid brandteknisk projektering av ventilations-system är det viktigt att projektörerna ser till arbete granskas av kunniga personer som vet modellens begränsningar. I de fallen där verktyg och modeller tas fram av projektören själv är detta givetvis extra viktigt.

11 TILLÄMPNING

I detta kapitel genomförs ett tillämpningsexempel för fläktar i drift. Exemplet skall demonstrera hur den tidigare föreslagna riskanalysmetoden (se avsnitt 9.2) kan användas och hur de osäkra variablerna i kapitel 10 påverkar resultaten.

11.1 Systemets utformning i PFS

Modellen av ventilationssystemen, som presenterades i avsnitt 8.1, byggs upp med datorprogrammet PFS. Först byggs systemet upp och simuleras så att normalförhållande, d.v.s. då det inte brinner, beskrivs. Detta kallas injustering och görs för att kunna räkna ut de motstånd som finns i systemet. I samband med injusteringen görs ett antal antagande:

- Vid injusteringsfallet finns det minst ett tryckfall på 50 Pa kvar vid lägenhetsdonen längst bort från fläkten. Inga don är forcerade då systemet justeras in.
- Fläktarna i systemet representeras av en fläktkurva (se avsnitt 8.1)
- Ingen hänsyn tas till eventuella injusteringsspjäll (se avsnitt 8.2).
- Varje lägenhet kopplad till ventilationssystemet antas vara ett rum.

Minsta resterande tryckfall, mellan rum och kanal, sätts till 50 Pa eftersom ett tryckfall i den storleksordningen vanligen eftersträvas.

11.1.1 Brandfallet

Brandfallet simuleras genom att ett brandflöde, i form av ett flöde med en förhöjd temperatur, ansätts i brandrummet. Brandrummet antas vara beläget på den, ur brandgasspridningssynpunkt, sämsta platsen i ventilationssystemet d.v.s. rum 162 i figur 8.1 (se vidare diskussion i avsnitt 10.2.2.2). I brandfallet tillkommer även andra störningar, som t.ex. forcering och öppna fönster, i systemet.

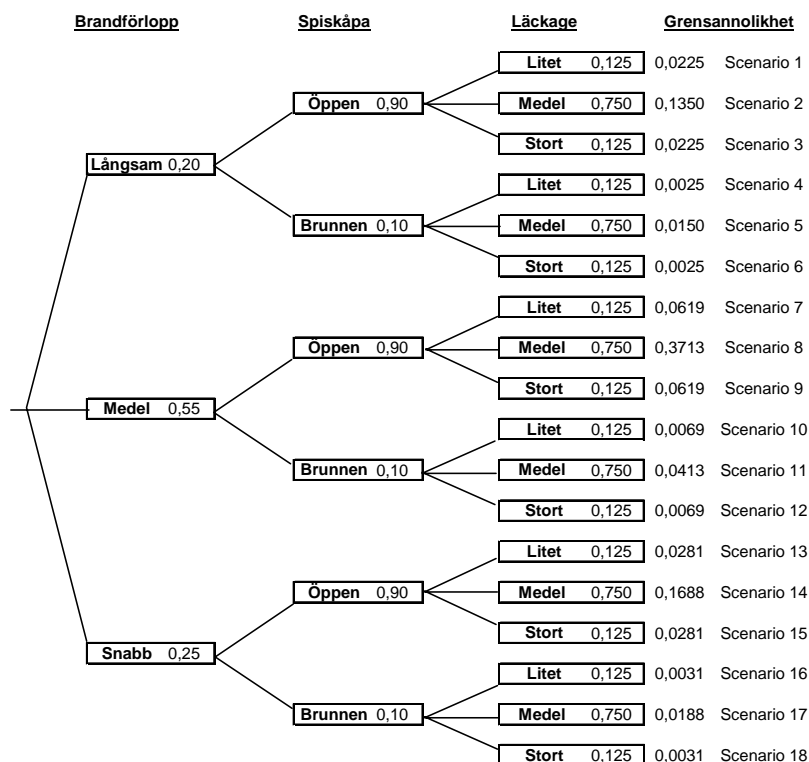
Den konsekvens som räknas fram i PFS är om spridning av brandgaser sker eller ej och i så fall till hur många rum (lägenheter). Konsekvensen begränsas på detta sätt eftersom det rör sig om lokaler avsedda för sovande vilket, enligt BBR, innebär att brandgasspridning *bör förhindras* (se avsnitt 1.1). Dessutom begränsas undersökningen av spridningen av brandgaser till det aktuella schaktet eftersom det kommer att styra huruvida brandgaser sprids vidare i systemet. Systemets utförande, indata samt en förklaring av indata filen presenteras i appendix F och appendix G.

I avsnitt 10.2.3 diskuterades brandgastemperatur slutsatsen av diskussionen var att 400°C ansågs som ett lämpligt värde men att känsligheten borde testas i en känslighetsanalys. Därför har även simuleringar med brandgastemperaturen på 300 och 500°C genomförts. Resultatet av denna känslighetsanalys presenteras, precis som övriga resultat, i en diskret riskprofil.

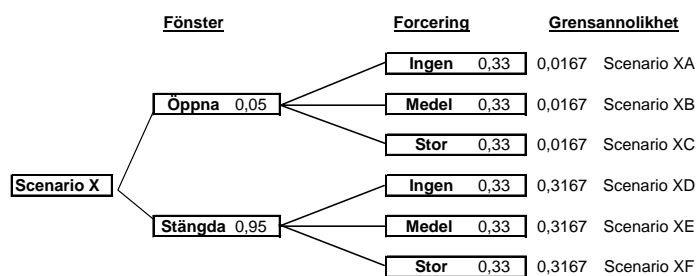
Det aktuella systemet studeras i två fall. I det först fallet studeras systemet då brandskyddet, d.v.s. konvertering av tilluften till frånluft, är ur drift. I det andra fallet studeras systemet då konverteringen sker. Syftet med att göra detta är att undersöka hur stor betydelse brandskyddsåtgärden har för brandgasspridningen och se om det är en lämplig brandskyddsåtgärd för det aktuella systemet.

11.2 Utformning av händelseträd

I avsnitt 9.2 presenterades den metod som används i osäkerhetsanalysen. Metoden innebär att ett händelseträd används. Denna metod i kombination med de fem osäkra variabler som presenterades i kapitel 10 medför 108 stycken olika scenarier. För att göra problemet lättöverskådligt delas händelseträdet in i två delar (se figur 11.1 och figur 11.2).



Figur 11.1: Händelseträd över brandrummet.



Figur 11.2: Händelseträd över övriga lägenheter.

För att erhålla rätt antal scenarier måste figur 11.1 och figur 11.2 kombineras ihop d.v.s. figur 11.2 tar vid där figur 11.1 slutar. Sannolikheten för t.ex. scenario 1A blir således $0,0225 \cdot 0,0167 = 3,76 \cdot 10^{-4}$. Sannolikheterna för samtliga scenarier finns redovisade i appendix H.

11.3 Resultat

Eftersom studien begränsas till ett schakt med fem ej brandutsatta rum kan brandgasspridningen maximalt ske till $108 \cdot 5 = 540$ rum, d.v.s. antalet simuleringar multiplicerat med antal rum i schaktet. I simuleringarna utan och med brandfunktion skedde brandgasspridning till 405 (75 %) respektive 49 (9 %) rum vilket innebär en betydlig reduktion. När det gäller den konverterade tilluften har dock tvärströmning (se avsnitt 4.4.3) stor betydelse. I drygt 20 av de 49 fallen förekommer tvärströmning vilket skulle kunna undvikas genom förfinad dimensionering.

I diagram 11.1 visas en riskprofil över resultatet från simuleringarna och händelseträdet.

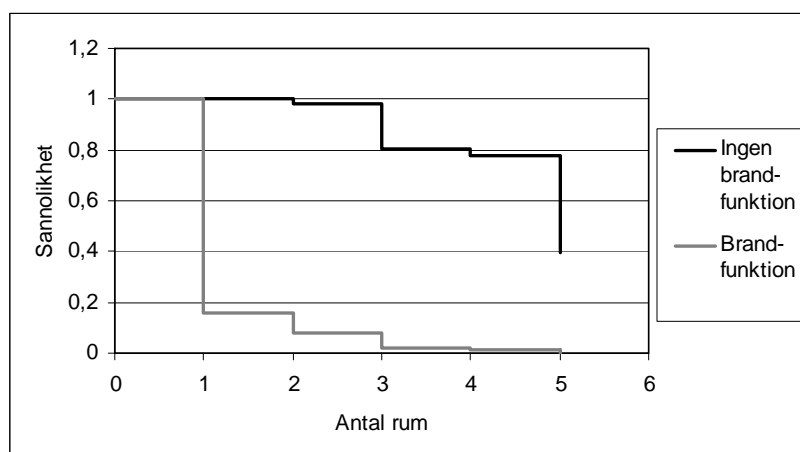


Diagram 11.1: Riskprofil

Den övre linjen i diagram 11.1 visar hur stor brandgasspridningen kommer till att bli om ingen hänsyn tas till brandskyddet d.v.s. då den mekaniska till- och frånluften går som vanligt. Den undre linjen visar storleken på brandgasspridningen om hänsyn tas till att tilluften konverterar till frånluft.

I diagram 11.2-11.6 visas det hur de olika utfallen av de fem osäkra variablerna påverkar brandgasspridningen.

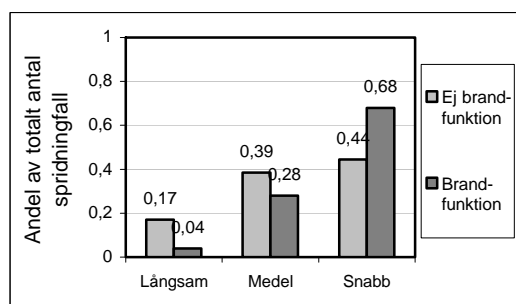


Diagram 11.2: Andelen av det totala antalet spridningsfall uppdelat på utfallen för variabeln brandförlopp.

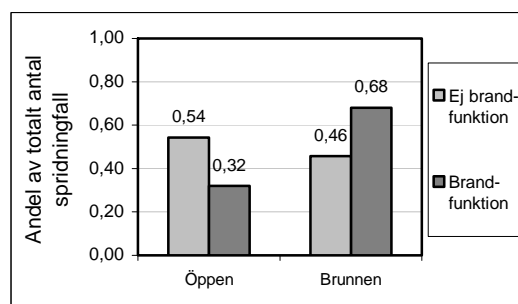


Diagram 11.3: Andelen av det totala antalet spridningsfall uppdelat på utfallen för variabeln forcering av spiskåpan i brandrummet.

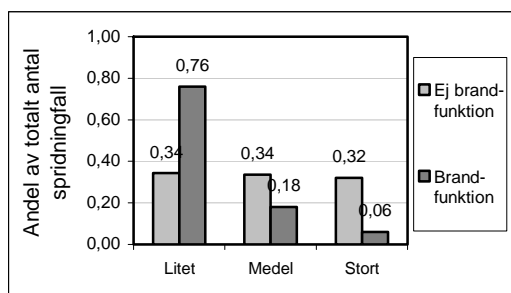


Diagram 11.4: Andelen av det totala antalet spridningsfall uppdelat på utfallen för variabeln täthet i byggnaden.

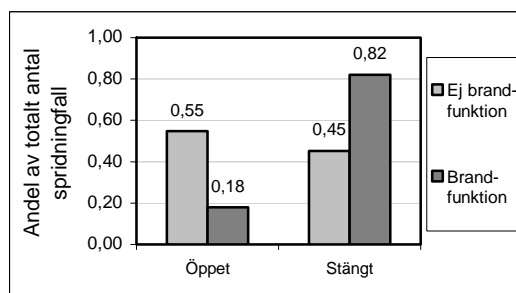


Diagram 11.5: Andelen av det totala antalet spridningsfall uppdelat på utfallen för variabeln öppna och stängda fönster.

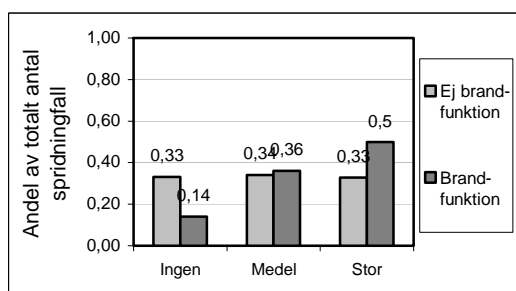


Diagram 11.6: Andelen av det totala antalet spridningsfall uppdelat på utfallen för variabeln forcering av don i övriga rum.

Diagrammen skall tolkas som hur stor andel av det totala antalet rum som brandgasspridning skedde till ett utfall kan relateras till. Om t.ex. alla staplar är lika höga, som t.ex. de för *ej brandfunktion* i diagram 11.6, tolkas det som att samtliga utfall har ungefär samma betydelse för brandgasspridningen. Alltså desto jämnare staplarna är i diagram 11.2-11.6 desto mindre betydelse har variabeln för brandgasspridningen.

Diagram 11.7 och diagram 11.8 visar resultatet av känslighetsanalysen av brandgastemperaturen.

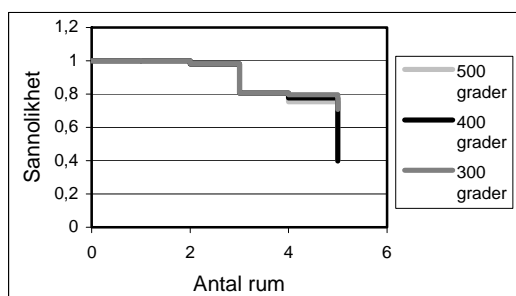


Diagram 11.7: Utan brandfunktion

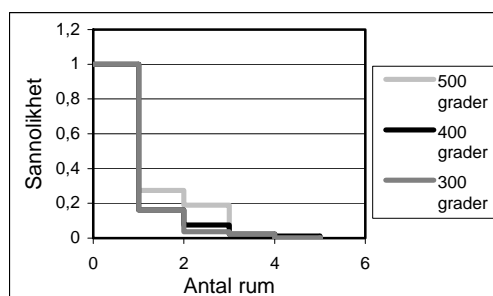


Diagram 11.8: Med brandfunktion

Samtliga resultat från PFS simuleringarna, med sannolikheter från händelseträden, kan studeras i appendix H.

11.4 Diskussion

Riskprofilen i diagram 11.1 visar att brandgasspridning kommer att ske i samtliga fall om ingen brandfunktion finns. Om enbart en konvertering av tilluftssystemet till frånluft används som riskreducerande åtgärd kommer risken för brandgasspridning sjunka markant, men trots det är sannolikheten för brandgasspridning, till minst ett rum, fortfarande ungefär 15 %. I exemplet har det enbart studerats ifall spridning förekommer eller ej och inte hur stor mängd som sprids. Dock är det så att det rör sig om lokaler avsedda för sovande vilket innebär att spridning av brandgaser, enligt BBR, *bör förhindras*. Eftersom den resterande risken, i detta exempel, anses vara betydande bör ytterligare riskreducerande åtgärder (se avsnitt 4.4) övervägas.

Spridningen av brandgaser blir förutsägbar då ingen konvertering av tilluftssystemet sker. Brandgaserna tränger i samtliga fall först ut via tilluften och ner till plan 1. Beroende på i stort sett enbart brandförloppet (se diagram 11.2) tränger brandgaserna vidare upp i systemet och sprids till ett rum i taget. Utfallen för de övriga variablerna är mindre betydelsefulla, vilket antagligen beror på att brandgasspridningen är starkt beroende av brandflödet.

Då konvertering av tilluftssystemet sker blir spridningen mer komplicerad och mer beroende av de olika variablerna (se diagram 11.2-11.6) vilket troligen delvis beror på att tvärströmning förekommer. I vissa fall blir betydelsen av olika utfall den motsatta till vad de var då brandskyddet inte beaktades. Ett exempel på det är utfallen på variabeln *forcering av spiskåpan i brandrummet* (se diagram 11.3). En brunnen spiskåpa bidrar till färre spridningsfall än en öppen spiskåpa om brandskyddet ej beaktas, det beror på att brandrummet har större möjlighet att tryckavlastas och således blir inte brandgasspridning via tilluften lika stor. När hänsyn tas till brandskyddet finns det dock ingen mekanisk tilluft vilket innebär att brandgasspridning enbart kan ske via frånluften. Den brunna spiskåpan gör att flödet ut i frånluftssystemet blir större och således även risken för brandgasspridning.

Betydelsen av utfallet på variablerna *täthet i byggnaden och öppna och stängda fönster* (se diagram 11.4 och diagram 11.5) blir stor då brandskyddet beaktas. Detta beror troligen på att det i ett rum som är tätt skapas ett drag över lägenheten d.v.s. då den ena fläkten vänder flödet i den grenkanal som betjänas av en svagare fläkt. På så sätt kan luft från en frånluftskanal sugas in i ett rum genom tvärströmning. En konvertering av en tilluftsfläkt till frånluft bidra på så sätt till brandgasspridning vilket gör att en utvärdering och analys av konverterad tilluft är nödvändig för att kontrollera att den inte skapar oförutsedda problem.

Den känslighetsanalys som gjorts av brandgastemperaturen (se diagram 11.7 och diagram 11.8) visar att inverkan av temperaturen inte kommer att vara speciellt stor, betydelsen blir dock större då tilluften konverteras. Känslighetsanalysen visar då att en högre brandgastemperatur kommer att medföra en större spridningsrisk.

De värden som har använts vid beräkningarna i detta tillämpningsexempel grundas till stor del på subjektiva bedömningar eftersom det varit svårt att hitta tillförlitliga

data. Detta gäller särskilt för de grensannolikheter som tagits fram. Om större noggrannhet i denna typ av riskbedömningar av ventilationssystem efterstävas krävs det att fler studier görs kring de osäkra variablerna.

11.5 Slutsats

Det tillämpningsexempel som har genomförts visar att olika variabler är olika viktiga för brandgasspridning. Någon generalisering av resultaten anses dock inte vara lämplig. De visar dock tydligt att de osäkerheter som har identifierats kommer att spela en betydande roll för om och hur brandgasspridning sker i det aktuella exemplet. Tillämpningsexemplet visar också att konvertering av tilluftsfläkten till frånluft kommer att fungera som en riskreducerandeåtgärd men den resterande risken för brandgasspridning anses, i detta exempel, ändå vara betydande vilket gör att ytterligare åtgärder bör vidtas.

12 DISKUSSION

Examensarbetet kan delas in i tre relativt separata delar: regelverk och praxis i Sverige och utomlands (kapitel 6), inträffade incidenter (kapitel 7) samt osäkra variabler (kapitel 8-11). Även om de tre delarna är skilda anses de alla viktiga för att förstå innebörden av och problemen med brandgasspridning via ventilationssystem.

12.1 Regelverk och praxis i Sverige och utomlands

I de länder som studerats finns det, i de gällande reglerna, mer eller mindre möjlighet till funktionsbaserade lösningar på brandskyddet. Det är dock inte bara detta som bestämmer hur brandtekniska problem löses. Tradition och praxis kommer också att vara av betydelse.

I den genomförda enkätundersökningen svarade de flesta jakande på frågan om vi i Sverige är bra på att utforma ventilationssystem för att undvika brandgasspridning. Någon sådan slutsats kan tyvärr inte dras utifrån litteraturstudien. Det framgår dock i samtliga länders regler att brandgaser inte får spridas mellan brandceller via ventilationssystemet. Om brandgaser tillåts komma in i ventilationssystemet men inte får spridas så förutsätter detta dock någon typ av avluftning eller ett system med fläktar i drift. Beräkningsmetoder och beräkningsprogram för sådana lösningar verkar vara bäst utvecklade och flitigast använda i Sverige medan man utomlands oftare använder schablonlösningar med spjäll. Att metoder för att räkna på detta utvecklats i Sverige anses till stor del bero på de svenska reglerna, som i större utsträckning än andra länders ger utrymme för denna typ av lösningar, och en större medvetenhet om problemet. Om medvetenhet i Sverige beror på bedriven forskning eller det faktum att analytiska lösningar kan spara pengar är svårt att avgöra men troligen är det en kombination av dessa två.

Enkätundersökningen visade att det råder oenighet om vad *avsevärt försvåra* i BBR innebär. Flera av respondenterna relaterade *avsevärt försvåra* till kritiska förhållanden genom att säga att kritiska förhållanden inte får uppstå med en viss säkerhetsmarginal. Hur stor denna säkerhetsmarginal skall vara eller hur den skall definieras rådde det dock skilda meningar om. Vilket gör det uppenbart att *avsevärt försvåra*, i dagsläget, tolkas olika av olika projektörer. I enkätundersökningen påtalades det också av några respondenter att Sveriges krav är låga internationellt sett, något som anses bli bekräftat av den studie av olika länders regelverk som gjorts. Skyddsnivån *förhindra* eller högre finns i samtliga länders regler men det är bara Sverige som har skyddsnivån *avsevärt försvåra* tillåts för vissa verksamheter. Huruvida det är klokt att tillåta en skyddsnivå vars innebörd det råder oenighet kring bör diskuteras och utvärderas vidare.

12.2 Inträffade incidenter

Inget konkret fall där brandgaser spridits i ett korrekt utformat system med fläktar i drift har hittats. Äldre system som bygger på tryckfallsmetoden, liksom felkonstruerade och feldimensionerade system, verkar dock vara ett problem. Eftersom tryckfallsmetoden rekommenderades tidigare i svenska byggregler finns det antagligen många ventilationssystem som är dimensionerade efter den. Vilket anses vara ett problem som bör belysas (se vidare avsnitt 12.4).

Studien av inträffade incidenter har visat att brandgasspridning via ventilations-system är ett problem men att antalet rapporterade incidenter är relativt få. Att antalet rapporterade incidenter är litet kan beror på att det finns ett stort mörkertal. I många fall är det troligen så att brandgasspridning via ventilationssystem sker i samband med bränder där konsekvensen av brandgasspridning via ventilationssystemet är marginell i förhållande till de övriga konsekvenserna av branden. Vilket gör att det inte alltid uppmärksammas och kommer således inte med i räddningstjänstens insatsrapport, detta gör det svårt att avgöra hur vanligt förekommande brandgasspridning i ventilationssystemet är. Sannolikheten för att brandgasspridning via ett ventilationssystem skall utgöra en stor fara vid en brand förefaller dock vara liten. Men för att vara säker på detta och kunna skapa bättre och säkrare brandskyddslösningar krävs det att incidenter rapporteras och dokumenteras. Dokumentationen måste sedan tas tillvara för att ge en lyckad erfarenhetsåterföring annars kommer nyttan med insatsrapporterna försvinna.

12.3 Osäkra variabler

De studerade variabelernas betydelse för brandgasspridning kommer att påverkas av ventilationssystemets uppbyggnad och storlek. Det anses, generellt sett, vara riskabelt att sätta kvantitativa värden på variabler eftersom de kan uppfattas som definitiva värden, vilket kan skapa förutsättningar för fel. Det tillämpningsexempel som gjorts har dock visat att det är möjligt att göra en analys av ett ventilations-system där hänsyn tas till de osäkerheter som finns med hjälp av ett händelsetråd.

En förutsättning för att kunna genomföra en sådan analys är att sannolikheter för olika variabelutfall är kända. Studien av indatavariabler, i kapitel 10, visar att det finns stora osäkerheter i dem både när det gäller kunskap och naturligvariation. Det konstateras att kunskapsosäkerheterna, för framförallt brandförlopp och täthet i byggnaden, kan reduceras något med hjälp av statistik och tidigare studier. Trots det finns det fortfarande mycket osäkerheter kvar eftersom subjektiva bedömningar, i många fall, använts för att ta fram de värden som använts i tillämpningsexemplet. I nuläget anses det dock vara nödvändigt att göra kvalificerade subjektiva bedömningar för att kunna genomföra en analys som den i kapitel 11. Nästa steg för att reducera osäkerheterna i indata variabler ytterligare anses vara genom experimentella försök (se vidare avsnitt 12.4).

Tillämpningsexemplet visar att olika variabler är olika viktiga för brandgasspridning. Utfallen av variabeln *brandförlopp* hade störst betydelse för brandgasspridning då konverteringen av tilluften inte beaktades. Utfallen för de övriga variablerna var mindre betydelsefulla vilket antagligen beror på att betydelsen av brandflödet var väldigt dominerande. Då hänsyn togs till konverteringen byte flödet i tilluftssystemet riktning vilket innebar att risken för brandgasspridning reducerades betydligt samtidigt som den skapade några enstaka nya spridningsfall genom tvärströmning. Dessutom ökade betydelsen av utfallen på de övriga studerade variablerna och då speciellt *tätheten i byggnaden* och *öppna och stängda fönster*. Någon generalisering av dessa resultat anses dock inte vara lämplig men de visar tydligt de osäkerheter som har identifierats kommer att påverka om och hur brandgasspridning sker i det aktuella exemplet.

Idag finns det ingen erkänd norm eller standard för hur brandteknisk dimensioneringen av ett ventilationssystem skall se ut i Sverige. För andra tekniska system, som t.ex. sprinklersystem och brandlarmanläggningar, finns det framtagna normer (SBF 120:6 och SBF 110:5). Dessa har ursprungligen tagits fram av försäkringsbolag men sköts numera av *Svenska Brandskyddsföreningen*. För ventilationssystem finns inte några sådana normer eller standarder vilket gör att utformningen av skyddssystemet kommer att styras helt av den person som dimensionerar det. I den senaste versionen av *Brandskyddshandboken* (Brandskyddshandboken, 2005) har dock ett försök gjorts att sätta upp riktlinjer för hur dimensionering kan ske och vad som bör redovisas i genomförda beräkningar. En ytterligare bearbetning av detta skulle kunna mynna ut i en standard för lämplig brandtekniskutformning av ventilationssystem vilken skulle kunna ställa ett krav på att hänsyn skall tas till osäkerheter och att ett visst acceptanskriterium skall uppfyllas. Med en sådan standard skulle även olika lösningar kunna jämföras och kontrolleras vilket underlättar för kvalitetskontroll. Det finns dock en risk att en eventuell standard utformas på ett sätt så att analytiskt tänkande övergår till schablonmässiga lösningar vilket inte anses önskvärt.

12.4 Områden för fortsatta studier

Under detta examensarbets genomförande har en rad frågeställningar kommit upp som inte direkt faller inom detta arbetes ramar, men som anses vara viktiga och bör därför nämnas som områden lämpliga för fortsatta studier.

- Uttrycket *avsevärt försvåra* i BBR har berörts delvis i detta arbete. Inga konkreta slutsatserna om uttryckets innebörd har dock dragits. Vad *avsevärt försvåra* innebär och ifall det är möjligt att bestämma en kvantitativ risknivå som kan motsvara uttrycket är något som bör undersökas vidare. Det kan göras genom att i detalj studera vilka risker som tillåts vid verklig brandtekniskprojektering av ventilationssystem.
- Olika typer av ventilationssystem kostar olika mycket och i många fall innebär ett billigare system en högre risk för brandgasspridning. Detta kan innebära att det finns ett samband mellan kostnadsminskning och riskökning. Om det finns ett samband och hur det i så fall ser ut är ett intressant område för framtida studier.
- Inget konkret fall där brandgaser spridits i ett korrekt utformat system med fläktar i drift har hittats i den studie av inträffade incidenter som genomförts. Äldre system som bygger på tryckfallsmetoden (5:1) verkar dock vara ett problem. Hur medvetna fastighetsägare och kommuner är om detta problem har inte studerats närmare men är något som absolut bör göras. Liksom om och i så fall hur dessa system bör modifieras för att anses vara godtagbart säkra.
- När det gäller osäkra variabler finns de mycket som kan göras för att reducera de kunskapsosäkerheter som finns. Detta bör lämpligen göras genom laboratorie- och fullskaleförsök. En studie av befintliga byggnader och de vanor som de boende har är lämpligt att studera för att t.ex. utvärdera hur byggnader läcker och hur don är forcerade under en tidsperiod. De osäkra

variabler som studerats i detta arbete omfattar bara lägenheter. Ytterligare osäkerheter finns i kanalsystemet och i andra typer av byggnader än bostäder.

- Flöden genom don och ventiler är en osäker variabel som bör studeras vidare. Riktningen på flödet genom ett don kommer troligen att påverka tryckfallet. För närvarande tas igen hänsyn till detta vilket innebär att brandtrycket i lägenheten troligen underskattas samtidigt som spridningen ut genom tilluften i brandrummet överskattas.
- Den metod för undersökning av brandgasspridning via ventilationssystem som gjorts i detta arbete är skapad för det tillämpningsexempel som redovisas i kapitel 11. En vidareutveckling av generella riktlinjer för hur analytisk dimensionering av ventilationssystem, där hänsyn tas till osäkerheter, bör göras och anses vara nödvändig för att lämplig granskning av projektering skall kunna genomföras. En utformning av normer eller en standard, liknande de som finns för sprinklersystem och brandlarmanläggningar, är sedan nästa steg.

13 SLUTSATS

Utifrån det arbete som genomförts i detta examensarbete dras följande slutsatser.

- I de länder som studerats finns det mer eller mindre möjlighet till funktionsbaserade lösningar på brandskyddet i de gällande reglerna. Det är dock inte bara detta som bestämmer hur brandtekniska problem löses. Tradition och praxis kommer också att vara av betydelse.
- Beräkningsmetoder och beräkningsprogram, för fläktar i drift, verkar vara bäst utvecklade och flitigast använda i Sverige vilket anses beror den svenska reglerna, som i större utsträckning än andra länders ger utrymme för denna typ av lösningar.
- Av de studerade länderna är det *avsevärt försvåra* som tillåts för vissa verksamheter i Sverige som anses ge den lägsta skyddsnivån. I en enkätundersökning visade det sig råda oenighet kring innebörden av begreppet *avsevärt försvåra* vilket gör att formuleringen anses något olämplig.
- Incidenter där brandgaser spridits via ventilationssystemet mellan brandceller förekommer. I de fall som hittats har brandgasspridning skett i system som baserats på den tidigare rekommenderade tryckfallsmetoden eller som varit feldimensionerade.
- I många fall är det troligen så att brandgasspridning via ventilationssystem sker i samband med bränder där konsekvensen av brandgasspridning i ventilationssystemet är marginell i förhållande till de övriga konsekvenserna av branden. Det gör att incidenterna inte alltid uppmärksammas och på så sätt hamnar utanför räddningstjänstens insatsrapporter. För att säkert kunna avgöra hur vanligt brandgasspridning via ventilationssystem är måste incidenter rapporteras och dokumenteras bättre än vad de gör idag.
- Beräkningsmetoder och datormodeller anses vara välutvecklade men vilka värden som kan användas på indata och hur osäkra dessa indata är finns det lite information om. En rad olika variabelosäkerheter har identifierats i examensarbetet och de har till stor del visats sig vara möjliga att reducera. Kvantifieringen har skett med empiriska data som grund men det har funnits ett stort behov av subjektiva bedömningar. De bedömningar som gjorts anses därför vara osäkra och ytterligare studier av osäkra variabler anses nödvändiga.
- I ett tillämpningsexempel har betydelsen av de identifierade variablerna studerats. Någon generalisering av de resultat som erhållits i tillämpningsexemplet anses dock inte vara möjlig eftersom inverkan av ventilationssystemets utformning anses vara stor. Tillämpningsexemplet visar dock att det varit möjligt att genomföra en osäkerhetsanalys på ett ventilationssystem och att variabelosäkerheterna kommer att ha betydelse för resultatet.
- I tillämpningsexemplet har det även visats hur en vanligen använd brandfunktion reducera risken för brandgasspridning. Osäkerhetsanalysen visar dock att denna åtgärd inte är tillräckligt för att helt eliminera risken vilket tydligt demonstrerar vikten av att följa upp de riskreducerande åtgärder som genomförs.
- Vad som är acceptabel risk vid brandgasspridning via ventilationssystemet är svårt att utreda men bör lämpligen baseras på de kriterier för kritiska förhållanden som för närvarande används vid annan brandteknisk projektering.

REFERENSER

Andersson, Marcus & Wadensten, Katarina (2002). *Brandteknisk riskanalys - indata, metodik och osäkerhetsanalys*. Rapport 5080, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. Lund.

Anger, Magdalena (1991). *Är utrymningschablonerna vid brandteknisk dimensionering säkra?* Rapport 5028, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet. Lund.

Backman, Jarl (1998). *Rapporter och uppsatser*. Studentlitteratur, Lund.

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

Bauministerkonferenz (2002). *Münsterbauordnung*. Tyskland.
<http://www.bauministerkonferenz.de/lbo/VTMB100.pdf> hämtad 2005-10-05

Bengtsson, Lars-Göran. (1998) *Övertändning, backdraft och brandgasexplosion sett ur räddningstjänstens perspektiv*. ISBN 91-88891-66-6. Räddningstjänstavdelning, Räddningsverket, Karlstad.

Björklund, Maria & Paulsson, Ulf (2003) *Att skriva en rapport*. Teknisk Logistik Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. Lund

Boverket (1994). *Boverkets Byggregler BFS 1993:57 med ändringar till och med 2002:19*. Boverket. Karlskrona.

Brandskyddshandboken (2002). *Brandskyddshandboken*. Rapport 3117, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet. Lund.

Brandskyddshandboken (2005). *Brandskyddshandboken*. Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet. Lund.

BSI (1999). *British Standard Fire precautions in the design, construction and use of buildings – Part 9: Code of practice for ventilation and air conditioning ductwork (BS 5588-9)*. Environment Sector Committee. London.

BSI (2003). *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Part 1: Initiation and development of fire within the enclosure of origin (Sub-system 1) (PD 7974)*. Technical Committee FSH/24, Fire safety engineering. London.

Building Industry Authority (2003). *Approved Document for New Zealand Building Code Fire Safety*. Wellington.

Carlsson, Mikael (2004). *Inomhusklimatproblem i Sundshuset i Malmö*. Rapport TVIT-05/5001, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.

CEN (1999). *Fire resistance tests for service installations Part 2: Fire dampers* (EN1366-2). European committee for standardization, Bryssel, Belgien.

Davidsson, Göran, Lindgren, Mats & Mett, Liane. (1997). *Värdering av Risk*. Risk- och miljöavdelningen. ISBN 91-88890-82-1. Statens räddningsverk, Karlstad.

Dellgar, Uno & Häggbom, Sune (2004). *Byggnader och Luft*. Svensk byggtjänst. Intellecta DocuSys, Sollentuna.

Department of building and housing (1992). *The Building Regulations*. Nya Zeeland. <http://www.building.dbh.govt.nz/e/uploads/1992150.pdf> hämtad 2005-10-05

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (1998). *Veiledning om ventilasjonsanlegg og brannfare*. Danmark. <http://www.dsb.no/dynaweb/dbelover/belovrigedokumenter/> hämtad 2006-03-19

Ejvegård Rolf (2003). *Vetenskaplig metod*. ISBN 914402763X. Studentlitteratur, Lund.

Erhvervs- og byggestyrelsen (2004). *Eksempelsamling om brandsikring af byggeri*. Köpenhamn.

Erhvervs- og byggestyrelsen (2005). *Bygningsreglement for erhvervs- og etagebyggeri*. Köpenhamn.

Eriksson, Jan-Åke. (2003). *Branden avd 67, hus M59 Sigfridsområdet. Utredning om fstighetens teknik och brandskydd*. Länstingsfastigheter. Växjö.

Fläkt Woods (2006). Produktkatalog <http://flaktwoods.devainvision.se/dokument/meny/index.asp?hhc=katalog> hämtad 2006-01-10

Frantzych, Håkan (1998). *Uncertainty and Risk analysis in Fire Safety Engineering Report 1016*. Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University. Lund.

Sveriges Riksdag (2003). *Lag (2003:778) om skydd mot olyckor*. [http://rixlex.riksdagen.se/htbin/thw/?\\${BASE}=SFST&\\${THWIDS}=8.12|11368973521072&\\${HTML}=SFST_DOK&\\${TRIPSHOW}=format=THW&\\${THWURLS AVE}=12|11368973521072](http://rixlex.riksdagen.se/htbin/thw/?${BASE}=SFST&${THWIDS}=8.12|11368973521072&${HTML}=SFST_DOK&${TRIPSHOW}=format=THW&${THWURLS AVE}=12|11368973521072) hämtad 2006-01-10.

Gordonova, Polina (1998). *Spread of Smoke and Fire Gases via the Ventilation System*. Report TABK-97/1011, Department of Building Science, Lund Institute of Technology, Lund University. Lund.

Grimvall, Göran, Jacobsson, Per & Thedéen, Torbjörn (1998). *Risker i tekniska system*. ISBN: 91-26-98200-5. Tryckeri AB Primo, Oskarshamn. Sveriges Utbildningsradio AB, Stockholm.

Hielscher, Tobias & Warelius, Björn (1993). *Brandgasspridning via ventilationssystem*. Rapport TABK-93/5005, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund

Hielscher, Tobias & Ivarsson Curt. (1994). *Skydd mot brandgasspridning via ventilationssystem med fläktar i drift*. Rapport 94:13. Boverket, Karlskrona.

Hägglund, Bengt, Nireus, Kjell & Werling, Per. (1996). *Pressure rise due to fire growth in a closed room*. SRV projekt: B 4.10. Defence research establishment. Stockholm.

Hägglund, Bengt, Nireus, Kjell & Werling, Per. (1998). *An experimental study of the smoke spread via ventilation ducts*. Brandforsk projekt: 305-971. Defence research establishment, Tumba, Sweden.

Isaksson, Tord, Mårtensson, Annika & Thelandersson, Sven (2005) *Grunder i byggnadskonstruktion*. Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. Studentlitteratur, Lund.

Irminger Street, Christopher & Johansson, Martin (2003). *Termisk komfort, vindpåverkan och energianvändning för två lägenheter i Västra hamnen, Bo01*. Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Helsingborg.

Jensen, Lars (1993). *Spridning av rök och brandgaser i ventilationssystem*. Rapport TABK-93/3011, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund. KF-Sigma AB, Lund.

Jensen, Lars (1994a). *PFS reference manual*. Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.

Jensen, Lars (1994b). *Beskrivningsspråk för PFS*. Rapport TABK-95/7020, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.

Jensen, Lars (2002a). *Brandgasspridning via ventilationssystem*. Rapport TABK-98/7050, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.

Jensen, Lars (2002b). *PFS program extension*. Rapport TABK-02/7066, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.

Johansson, Henrik (1999). *Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering*. Rapport 3105, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.

Johansson, Henrik (2000) *Osäkerhetshantering i byggnader avseende brandskydd*. Rapport 3113, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.

Jonsson, Fredric (2001). *Undersökningsprotokoll, brand i källare*. Larmnummer 010124-00049. Räddningstjänsten. Jönköping.

Karlsson, Björn & Quintiere, James (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. ISBN 0-8493-1300-7. CRC Press. Boca Raton.

Klote, John H. & Milke James A. (2002). *Principles of smoke management*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta.

Kommunal- og Arbeidsdepartementet og Miljøverndepartementet (1997). *Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK)*.
<http://www.lovddata.no/for/sf/kr/xr-19970122-0033.html#7-24> hämtad 2005-08-03

Kriminalvårdsstyrelsen (2004). *Slutna anstalter, referens- och erfarenhetsdokumentation för utformning av slutna anstalter*.

Lauridsen, Kurt. Christou, Michalis. Amendola, Aniello. Markert, Frank. Kozine, Igor. Fiori Monica (2001). *Assessing the uncertainties in the process of risk analysis of chemical establishments*. Risø National Laboratory. Roskilde.

Magnusson, Sven Erik, Frantzich Håkan & Harada, Kazunori. (1995). *Fire Safety Design based on Calculations, Uncertainty Analysis and Safety Verification*. Report 3078, Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University. Lund.

Magnusson, Sven Erik (1997). *Uncertainty analysis: Identification, Quantification and Propagation*. Report 7002. Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology Lund University. Lund.

Malmqvist, Claes (2002). *Brand i hyreshus Karlstad december 2001*. ISBN 91-7253-165-7. Räddningsverket. Karlstad.

Mattson, Bengt (2000). *Riskhantering vid skydd mot olyckor – problemlösning och beslutsfattande*. ISBN: 91-7253-073-1. Sjuhärhadsbygdens Tryckeri. Räddningsverket. Karlstad.

Mattsson, Björn (2004). *Lufiläckage i bostäder – litteraturstudier, modellering och mätningar*. Institutionen för byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola. Göteborg.

Bauministerkonferenz (2002). *Musterbauordnung*. Bauministerkonferenz.
<http://www.bauministerkonferenz.de/lbo/VTMB100.pdf> hämtad 2005-10-05

Månsson, Lennart. (2005). *Brand i köksfläkt*. Brandutredning. Larmnummer 2005/00085. Räddningstjänsten. Norrköping

National Fire Protection Agency (2003). *NFPA 101 Life Safety Code*. Quincy.

Nilsson, Jerry (2003). *Introduktion till riskanalysmetoder*. Rapport 3124, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. Lund.

Nordiska kommittén för byggbestämmelser (NKB), brandutskottet (1994). *Funktionsbestemte Brandkrav og Teknisk Vejledning for beregningsmessig eftervisning*. ISBN 9551-53-0024-X, NKB Utskotts- och arbetsrapporter 1994:07. Helsingfors.

Nystedt, Fredrik (2000). *Risikanalysetoder*. Rapport 7011, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. Lund.

Office of Deputy Prime Minister (2000). *Approved Document B*. Office of Deputy Prime Minister. London.

Ohlsson, Hans. Genberg, Håkan & Backvik, Bo (2003). *Brandskydd – en handbok i anslutning till Boverkets byggregler*. AB Svensk Byggtjänst. Wallin & Dalholm Boktryckeri AB, Lund.

Olsson, Nils (1999). *Brandgasspridning via ventilationssystem*. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. Rapport 5038, Lund.

Sikander, Eva (1997). *Eva Sikander på Sveriges Provnings- och forskningsinstitut SP AB redogör för innehållet i sin rapport 1997:3*.
<http://www.ekofiber.se/Images/user/Eva%20Sikander%20p%C3%A5%20Sveriges%20Provnings.doc> hämtad 2006-01-10

SRV (2005a). Statens Räddningsverks hemsida. *Statistikdatabaser*.
http://www.srv.se/templates/SRV_ExternalPage_1098.aspx hämtad 2005-10-19

SRV (2005b). *RIB (Integrerat beslutsstöd för skydd mot olyckor)*. Version 1-2005. Räddningsverket. Karlstad.

Standards Australia & Standards New Zealand (1998). *The use of ventilation and air-conditioning in buildings Part 1: Fire and smoke control in multi-compartment buildings*. AS/NZS 1668.1:1998. Standards Australia/Standards New Zealand. Wellington.

Statens bygningstekniske etat (2003). *Veiledning til forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk*.
<http://www.be.no/beweb/regler/veil/REN2003/00innledning.html> hämtad 2005-08-03

Stenlund, Håkan. (2001) *Skydd mot brand- och brandgasspridning i luftbehandlingssystem*. Rapport 5067, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. Lund.

Sunda Hus Rådgivning (2005) *Sunda Hus Rådgivning*.
<http://www.sundahusradgivning.se/> hämtad 2005-10-12

Svensk Ventilation (2005). *Andnöd – en handbok om luften i våra bostäder*. Svensk Ventilation och VVS tekniska föreningen. Trycksaker AB. Växjö.

Paté-Cornell, M.E (1996). *Uncertainties in risk analysis: six levels of treatment*. Reliability Engineering and System Safety, Vol. 54, pp.95-111.

Persily, Andrew K. (1999) *Myths About Building Envelopes*. ASHRAE Journal, Marsnumret.

LüAR (2002). *Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen in Gebäuden*.
<http://www.umwelt-online.de/recht/bau/laender/lisa/labs.htm> hämtad 2005-09-14

Lagergren Monica (2003). *Spaltventiler*. Råd & Rön, nummer 1.

Walmerdahl, Per & Werling Per. (2002). *Rökspridning i anläggningar en lägesrapport*. Total försvarets forsknings institut - FOI, Tumba.
<http://www2.foi.se/rapp/foir0698.pdf> hämtad 2005-08-19

Personlig kommunikation

Edstam, Anders. Brandingenjör. Södertörns brandförsvarsförbund, Huddinge. 2005-07-24

Harrison, Roger. Fire Safety Engineer, Fire Research Station, England. 2005-08-23

Häggbom, Sune. Sundahus Rådgivning. 2005-09-20.

Häggbom, Sune. & Dellgar Uno. Sundahus Rådgivning respektive Uno Dellgar rådgivning. Förmiddagsseminarium på Hilton Malmö City, Malmö. 2005-10-12

Levy, Kristian. Brandingenjör. Sagsbehandler. Københavns Brandvæsen. Köpenhamn, Danmark. 2005-06-28

Milke, James. Associate Professor and Associate Chair Department of Fire Protection Engineering University of Maryland, USA. 2005-08-12

Sorthe, Lars-Erik. Master of Science Fire Protection Engineering. Rådgiver brann og sikkerhet. Multiconsult, Oslo, Norge. 2005-06-29

APPENDIX A – RÄDDNINGSTJÄNSTER

Undersökningen av inträffade incidenter begränsades enligt avsnitt 1.4 till de största räddningstjänsterna i Sverige. I detta appendix redovisas vilka räddningstjänster (i alfabetisk ordning) som har kontaktats, med e-post, för att få information om incidenter där brandgaser spridts i ventilationssystemet.

Attunda Brandkår
Gästriked Räddningstjänst
Helsingborg Brandförsvaret
Jönköping Räddningstjänst
Kristianstad Räddningstjänst
Københavns Brandvæsen
Linköpings Räddningstjänst
Luleå Räddningstjänst
Lund Brandförsvaret
Malmö Brandkår
Nacka Brandförsvaret
Norrköping Brandförsvaret
Storgöteborgs Räddningstjänst
Stockholms Brandförsvaret
Sundsvall-Timrå Räddningstjänst
Södertörns Brandförsvaresförbund
Södra Roslagens Brandförsvaresförbund
Umeå Brandförsvaret
Uppsala Brandförsvaret
Växjö Räddningstjänst

Utöver dessa räddningstjänster kontaktades även Svenska Brandskyddsföreningen och brandutredare vid Räddningsverket.

Det e-post som skickades ut såg ut som följer:

Hej [namn],

Jag heter Nils Johansson och studerar till brandingenjör/civ ing. riskhantering vid LTH. Jag håller för närvarande på att startat upp mitt examensarbete som kommer att behandla brandgasspridning via ventilationssystem. Som en bakgrundstudie och inledning till mitt arbete vill jag kolla med räddningstjänster runt om i Sverige om det finns dokumenterat fall där det har konstaterats att brandgasspridning via ventilationssystem har förekommit. Därför hör jag av mig till dig och undrar ifall du känner till något sådant fall eller kan sätta mig i kontakt med någon på [namn på räddningstjänst] som kan göra det? tacksam för svar.

Med vänliga hälsningar
Nils Johansson Bi01/Rh04

APPENDIX B – ENKÄT

I detta appendix presenteras den enkätundersökning som skickades ut till 28 personer med kunskaps om brandteknisk dimensionering av ventilationssystem.

Enkät – Brandgasspridning via ventilationssystem

Hej,

Jag heter Nils Johansson och studerar till brand- och civilingenjör i riskhantering vid LTH. Jag håller för närvarande med mitt examensarbete som kommer att behandla osäkerheter vid dimensionering av skydd mot brandgasspridning via ventilationssystem.. Som en del i mitt examensarbete genomför jag denna enkäten. Syftet med enkäten är att kartlägga hur problemet med brandgasspridning via ventilationssystem betraktas och hanteras av personer som arbetar inom området.

Jag skulle vara mycket tacksam om du ville delta. Svaren du ger kommer inte att kunna kopplas till dig.

För att underlätta hanteringen ber jag dig fylla i dina svar direkt i pdf-dokumentet (klicka på linjerna och skriv ditt svar) spara och e-posta enkäten tillbaka det till mig.

Tack på förhand

Nils Johansson

nils.johansson.204@student.lth.se

Om du inte arbetar inom detta område ber jag dig returnera enkäten till mig med uppgifter om vem i ditt företag som gör det.

1. Vilken ingenjör's uppgift är det att studera ventilationssystemet vid brandteknisk dimensionering av en byggnad?

2a. Tror du att vi i Sverige är bra på att utforma system för att undvika brandgasspridning via ventilationssystem jämfört med andra länder i Europa och världen.

2b. Tycker du att forskningen och kunskapen om brandgasspridning via ventilationssystem är tillfredställande?

3. Hur stor spridning av brandgaser (mängd) via ventilationssystemet anser du vara acceptabelt?

4. I *Boverkets byggregler* (BBR) står det i rådet till kapitel 5:653:

...systemet utformas så att brandgasspridning mellan brandceller förhindras eller avsevärt försvåras beroende på lokalernas utformning och verksamhet. Till utrymningsvägar och lokaler avsedda för sovande bör brandgasspridning förhindras.

Hur tolkar du uttrycket "avsevärt försvåra"?

5a. Använder du någon beräkningsmodell (handberäkningar/dator) för att titta på brandgasspridning via ventilationssystem? I så fall vilken?

5b. Känner du tillförlitlighet till denna modell? Utveckla gärna ditt svar!

6a. Ser du några osäkerheter avseende brandtekniska beräkningar av ventilationssystem? Av vilken typ är de?

6b. Gör du några kompensationer för att ta hänsyn till eventuella osäkerheter? Om ja, hur ser dessa kompensationer ut?

6c. Vilka osäkerheter ser du i beräkningarna? Rangordna dem efter hur viktigt du anser det är att de reduceras (1 är viktigast)

6d. Tror du att det går att reducera dessa osäkerheter?

6e. Om du svarade jakande i 6d. Tror du att du skulle kunna reducera dessa osäkerheter?

7. Tycker du att brandgasspridning via ventilationssystemet är ett stort problem vid en eventuellt brand? Utveckla gärna.

8. Känner du till något fall där brandgasspridning via ventilationssystemet förekommit? I så fall när och var? Finns det dokumentation på detta?

Är du intresserad av att ta del av examensarbetet (som pdf) när det är färdigt (prel. Jan. 2006):

JA

NEJ

Tack för din medverkan!

Spara dina svar och skicka dem till:
nils.johansson.204@student.lth.se

Alternativ som papperskopia till:
Nils Johansson
Högbovägen 1F
227 31 Lund

APPENDIX C – SVAR I ENKÄTUNDERSÖKNING

I detta appendix presenteras de svar som erhöles i enkätundersökningen. Svaren är återgivna utan någon tolkning. På några ställen har dock svaren justeras så det inte för att det inte skall vara möjligt att identifiera respondenten. Svaren till frågorna har blandats så att det inte skall vara möjligt att följa en respondents svar. Detta gäller dock inte för 2a och 2b, 5a och 5b samt 6a, 6b, 6c, 6d och 6e eftersom det i dessa frågor kan vara intressant att följa respondenternas resonemang.

Fråga 1 – Vilken ingenjörs uppgift är det att studera ventilationssystemet vid brandteknisk dimensionering av en byggnad?

Som regel blir det brandingenjörens eftersom vent-konsult inte kan hantera eller ta ansvar för bedömning av brandförlopp (brandflöde mm).
Jag tycker att ventilationskonsulten bör göra detta. De saknar dock ofta kompetensen då hjälper vi till (brand alltså)
Flerbostadshus - enkel historia - vent konsult. Brandingenjör vid system med fläkt i drift
Jag anser att det är brandingenjörens. Men ofta utförs det av en vent konstruktör
VVS-konstruktören tillsammans med brandkonsulten
En ingenjör med grundutbildning bygg eller installationer. Det är viktigt med kännedom om hur ett ventilationssystem fungerar för att förstå hur brandskyddsproblem kan angripas, t ex påverkan av vindkraft och termiska stigkrafter.
Det är ventilationskonsultens ansvar att systemet uppfyller BBR. Han bör ta hjälp av brandkonsult för att dimensionera efter rätt brandförlopp etc. Men det är ventilationskonsulten som borde ha bäst kontroll på tryckfall i systemet, entreprenadbesiktning m.m.
Traditionellt är det Brandkonsulten, men det hade varit bättre om Vent kunde göra det själva.
Brandingenjörens
Projektering sker tveklöst av VVS konsult/entreprenör. Brandsakkunnig måste studera lösningen i sådan omfattning att denna kan stå för att den projjade uppfyller de principer som erfordras. Brandsakk. Måste förvissa sig om att VVSk. förstår vad som gäller
VVS-projektören dimensionerar systemet. I våra projekt utför vi, dvs brandprojektören oftast beräkningarna. Det kan dock förekomma att en VVS-projektör utför beräkningar som vi sedan kontrollerar.
Brandansvarig ansvarar för dim förutsättningar + ev beräkningar i avseende på brandflöden mm VVS ansvarar för detaljdimensionering + ev detaljberäkningar När vi är inne i projekteringsskedet finns normalt endast enklare systemhandlingar framme
Den vars kunskaps- och kompetensnivå är tillräcklig för att hantera det aktuella skyddssystemet. I de flesta fall innebär detta brandingenjör med goda kunskaper om ventilationssystem.

Någon med mycket goda teoretiska och praktiska kunskaper i V-teknik, det handlar om tryck- och värmepåverkan av system. Givetvis krävs även goda kunskaper i brand och branddynamik.

Fråga 2a – Tror du att vi i Sverige är bra på att utforma system för att undvika brandgasspridning i ventilationssystem jämfört med andra länder i Europa och världen.

Ja, bättre än de flesta länder. Över genomsnittet

Ja

Vi har en markant högre kravnivå, men också högre andel "felprojekterade" anläggningar som ej når upp till de ibland tveksamma kraven.

Jag tror Sverige ställer överdrivet stora krav på spjäll, vilket har lett till känsliga lösningar såsom fläkt i drift för att begränsa driftkostnaderna. Enklare spjäll hade troligen varit det mest effektiva.

Jag tror vi ligger i framkant jfr med Danmark är vi före!

Om nått är beror väl på vem som frågar. Däremot tror jag att vi i Sverige har högre normkrav än många andra. Jag tror oxå att vi utformar system som ger tillräckligt bra skydd och som inte kostar alltför mycket. Ex frånluftssystem med fläkt i drift i bostadshus.

Jag skulle tro det. Vi har tätare byggnader i Sverige vilket ställer något annorlunda krav jämfört med andra länder. Vår sparsamhet när det gäller sprinkling påverkar också kraven på ventilationsbrandskyddet.

Relativt bra

Ingen uppfattning i denna fråga.

Ja

Nej kraven lägre

I teorin har vi nog tex bättre lagstiftning men verkligheten är ofta bristfällig.

Jag tror att vår teknik för problemlösning är mer varierad än på de flesta håll och att vi bättre anpassar lösningen till det aktuella fallet och till ventilationssystemets funktion och uppbyggnad

Ja

Fråga 2b – Tycker du att forskningen och kunskapen om brandgasspridning i ventilationssystem är tillfredställande?

Nej, allt bygger i princip på en mans antagande/modell.

Ganska bra tror jag

Nej

Dynamiken är till stor del känd, yttre förhållanden finns det dock ingen som har koll på.

Allmänt låg kunskapsnivå, forskning vid LTH av L Jensen ok

Dokumenterad kunskap om vad som händer i verkliga livet är noll och intet.

Forskningen är absolut inte tillräcklig. Vi behöver veta mycket om vad som sker i verkliga fallet. Det finns kanske positiva faktorer som vi inte tar hänsyn till i våra analyser t.ex.
Det finns luckor som behöver täppas igen. Framför allt finns det en relativt stor osäkerhet om hur höga tryck det verkligen kan uppstå i en brandutsatt brandcell.
Nej
Forskningen håller en acceptabel nivå. Kunskapsnivån ute i verkligheten är dock allt för låg bland framförallt ventilationskonstruktörer.
Nej
På en del ställen. Men kunskaperna är inte utbredda
Forskning ja, kunskap bland projektörer/ventkonsulter nej
Nej - det finns flera teknikområden som uppvisar kunskapsluckor. Tyvärr anses våra forskningsönskemål ligga alltför långt från "riktig" brandskyddsforskning. Har sökt anslag utan framgång.
Ja, vi är på rätt spår.

Fråga 3 – Hur stor spridning av brandgaser (mängd) via ventilationssystemet anser du vara acceptabelt?

Går ej att generalisera, beror på mängd som sprids till viss rumsstorlek och dess verksamhet.
Beror på skyddsnivå. Nivån förhindra, i princip nolltolerans eller mycket liten volym. Avseende nivån avsevärt försvåra anser jag att detta kan kopplas till utrymningen av lokalerna. Farliga förhållanden avseende framförallt siktbarhet får inte ske innan lokalen är utrymd.
Normalt ingen mellan b-celler (detta gäller då de b-celler som tillkommit pga normkrav, b-celler som frivilligt egendomsskydd är det upp till ev best att bedöma skyddsvärdet för)
Tillåten spridning baseras på lokalens volym, dvs koncentrationen i den brandutsatta lokalen är avgörande. Det får inte bli kritiskt för personer som vistas i lokalen.
Vid förhindra är det i princip 0. Men spridning kan ju ske andra vägar också. En vis mängd som inte utgör fara för liv borde kunna tillåtas i scenarier som är extrema.
Beror på typ av lokal vissa typer av lokaler (t.ex. vård) är det nolltolerans
Under gränsvärde för en timmes vistelse, detta går dock aldrig att verifiera med beräkningar, pga systemets känslighet.
Man bör skilja på spridning när allt funkar och när enskilda komponenter felfungerar (t.ex. sprinkler). Generellt tycker jag att cirka 2 000 liter brandgas under 60 minuter kan vara ok spridning till en normalstor lägenhet. Huvuddelen av spridningen kan ske under kanske 10 minuter med maximalt 2 000 liter på en timme. Glasklart? Eventuellt kan "kritiska förhållanden" i den mottagande lägenheten i form av FED eller liknande införas.
Beror på verksamhet, 0-5% för boende och utrymningsvägar, 0-30% för övriga
Avsev. försvåra = ca 50% av krit. nivå avseende co2. Förhindra = ca 10% istället

Detta är en sådan fråga som skulle må väl av att läggas ut som forskningsprojekt. Man är medveten om att viss spridning kan accepteras men att gå till kvantifiering.....!?! Därför är det många som tror sig kunna åstadkomma en ”nollvisionslösning” (0 spridning!) med system, som betjänar olika brandceller - detta kan i praktiken aldrig uppnås!

Ingen

Beror på objekt. Följer BBR där nolltolerans ibland krävs.

Fråga 4 – Hur tolkar du uttrycket ”avsevärt försvåra”?

Så mycket spridning att kritiska förhållanden inte uppstår i annan brandcell. Avsev. försvåra = ca 50% av krit. nivå avseende co2. Förhindra = ca 10% istället.

Upp till ca 30% kan vara en acceptabel mängd

Man bör skilja på spridning när allt funkar och när enskilda komponenter felfungerar (t.ex. sprinkler). Generellt tycker jag att cirka 2 000 liter brandgas under 60 minuter kan vara ok spridning till en normalstor lägenhet. Huvuddelen av spridningen kan ske under kanske 10 minuter med maximalt 2 000 liter på en timme. Glasklart? Eventuellt kan ”kritiska förhållanden” i den mottagande lägenheten i form av FED eller liknande införas.

Att kostnad/nytta aspekten måste finnas med i någon mening. Utrymningsförhållandena skall tryggas till varje pris, men utöver det bör det till stor del vara egenkrav att snäppa upp skyddet. Räddningstjänstens säkerhet och insatsmöjlighet skall också beaktas.

Svår fråga, Någon typ av system ska i sannolika fall kunna förhindra brandgasspridning, Tex sprinkler i kombination med överslagsberäkning eller reglerande standardspjäll. Jag anser dock att brandspridning ska förhindras i brandcellsgräns, oavsett sprinkler eller inte, annars är katastrofskyddet punkterat.

Viss mängd så att utrymning ej förhindras svårt att kvantifiera

I princip är det motsvarande den tidigare 1:5 metoden. Ser man det funktionellt så borde det vara att en brandgasspridning kan ske men inte ge upphov till kritiska förhållanden under viss tid. Således relativt mycket. Dock dit man kan förvänta sig ex. inte från en lägenhet på 7:e våningen ned till garaget.

Att en begränsad mängd brandgas får spridas men att denna mängd inte får leda till att personer i lokalerna utsätts för fara. Man skall kunna vistas i den miljön som man utsätts för under en relativt lång tid utan att få problem, själv brukar jag räkna med 60 minuter.

Att det vid sannolika förhållanden inte sker brandgasspridning mellan brandceller. Om speciell dimensionering verifierat att så är möjligt med hänsyn till personsäkerhet mm kan man kanske se det annorlunda

Spridning av brandgas får ske, dock ej i okontrollerbara mängder. Kravet på en säker utrymning innan farliga förhållanden inträffar måste uppfyllas med marginal.

Finns nog ingen bra tolkning, är subjektivt. Funktionskravet är betydligt bättre. Att till 100% alltid hindra brandgasspridning via ventilationssystemet är orimligt och heller inte nödvändigt.

De vanliga kriterierna för säker utrymning skall kunna användas.
Hela texten borde skrivas om t ex ”.....mellan brandceller avsevärt försvåras eller väldigt avsevärt försvåras beroende på.....” Vad jag vill ge uttryck för (se även 3) är ”att förhindra” i praktiken bara är möjligt med alternativet separat system för varje brandcell men inte vid gemensamma system. Man borde på något annat sätt försöka tolka eller kvantifiera vad som ligger i funktionskravet (BBR 5:653) ”tillfredsställande skydd”.
Att det kan förekomma brandgasspridning efter en viss tid

Fråga 5a – Använder du någon beräkningsmodell (handberäkningar/dator) för att titta på brandgasspridning i ventilationssystem? I så fall vilken?

PFS
Överslagsberäkningar för hand, i viss mån PFS
Jag förmodar att frågan gäller för system med fläkt(ar) i drift. Jag använder flera olika handberäkningsmodeller som kan bedömas uppfylla funktionskravet ”tillfredsställande skydd”. Det handlar i huvudsak om olika varianter av ”Alexanderberäkning”, som ju är grundläggande för att förstå problematiken med brandgasspridning via ventilationssystem. PFS är ett bra datorprogram men är lite knepigt att hantera för den som inte använder det ofta (kontinuerligt).
Vi använder en del handberäkningsuttryck (från PBR 5038) samt datormodellen PFS.
Ja PFS
PFS och enkel handberäkningsmodell enl Jensen
Huvudräkningsöverslag enligt ”Alexanderhugget” och PFS.
Handberäkningar enligt PBR 5038 samt PFS
PFS
Handberäkningar i form av överslagsberäkningar av flöde och tryck skapat av branden och vad som läcker ut/kan borttransporteras av ventilationskanaler. Om detta inte fungerar kör jag en PFS-beräkning.
Överslag och ibland PFS.
Flera olika handberäkningar enl Backviks gula och Jensen
PFS
Alexanderberäkningar samt PFS

Fråga 5b – Känner du tillförlitlighet till denna modell? Utveckla gärna ditt svar!

Ja i programmet som sådant. Mindre i modellerna som är bakgrund till programmet.
Skulle vilja ha en enklare modell (light version) av PFS
Ja den utgår från grundläggande begrepp och bygger ju på välkänd beräkningsmetodik som tillämpas av ventilationskonstruktörer. Metodiken kan anpassas till alla former av kanalsystem om man börjar med att ”översätta” kanalsystemet till ett översiktligt ”Alexander”-schema. Kompletterande information

<p>som krävs för beräkning avser t ex brandförloppet, dess karaktär och utveckling.</p>
<p>Ja. Programmet räknar generellt sett rätt, men gör ju bara vad vi säger åt det. Programmet har dock problem vid låga flöden, vilket gör det svårt att smidigt hitta gränsvärden för spridning.</p>
<p>Jag anser att modellens tillförlitlighet är hög i förhållande till indata</p>
<p>PFS, ok</p>
<p>Svar ja. Det gäller ju dock alltid att förstå vad som händer och varför. PFS är ju inte en känsla för att vilket håll felen i underlag och modell slår så kan man lita tillräckligt tycker jag.</p>
<p>Ja det gör jag. Jämförelser har gjorts mellan handberäkningar och PFS och de stämmer väl överens. Jämförelser har även gjorts med ventilationsprojekteringsprogram som MagiCad (applikation till AutoCad).</p>
<p>Handhavandet kunde vara bättre/enklare så man blir säkrare på in/utdata</p>
<p>Ja, i bägge fallen. Handberäkningarna är grova och ger svar på "rätta sidan". PFS kräver mer av användaren, men med korrekt inmatade modeller och indata ger programmet en mycket nyanserad bild av tryck, temperatur och flödesbilden i systemet.</p>
<p>Ja. Resultaten är tillförlitliga. Tolknigen är desto svårare</p>
<p>Jag känner själv tillförlitlighet till metoderna efter att jag själv vidareutvecklat dem</p>
<p>-</p>
<p>ja men osäkerheterna är stora vid beräkningar tidigt i ett projektering skede.</p>

Fråga 6a – Ser du några osäkerheter avseende brandtekniska beräkningar av ventilationssystem? Av vilken typ är de?

<p>vet ej</p>
<p>ser vad som är rimligt, beräkningsmodellerna rimliga</p>
<p>Modellen beräkningarna bygger på. Bedömning av tryckfall i fasad, väggar o.d.</p>
<p>Byggnaders täthet som är svårt att bedöma, i synnerhet befintliga.</p>
<p>För alla slag av beräkningar gällande ventilationssystem måste man göra antaganden - input - t ex antaganden för att bestämma flödeskapacitet, antaganden för att optimera tilluftstemperatur, antaganden för att nå ljudkomfort, antaganden för att inte överskrida hygieniska gränsvärden mm. Dessa antaganden är på sitt sätt lika säkra eller osäkra som antaganden för brandskyddstekniska beräkningar t ex brandförlopp, termisk expansion, temperaturutveckling, densitetsberoendet för strömmande medier etc. Ett antagande är en för beräkning vald förutsättning - om jag väljer brandutvecklingshastighet medium enligt NFPA - är det att betrakta som ett säkert eller ett osäkert antagande? Det raka svaret är – JA - det finns osäkerheter.</p>
<p>Osäkerheterna är främst om vi skall dimensionera för alla tänkbara bränder och scenarier eller om vi skall försöka täcka in 50, 80 % eller 95% av bränderna. Typiska faktorer som är svåra att ta hänsyn till idag är antalet möjliga kombinationer av 1. forcering av spiskåpor (hur många?), 2. dimensionerande brandflöde 3. vindpåverkan mot takhuvar m.m., 4. tryckförluster i bortförenklade delar av systemet, 5. Hur vet vi</p>

att uppgifterna från ventilationskonsulten stämmer med verkligheten? T.ex. om det sägs att minsta tryckfall över don skall vara 60 Pa vid 15 l/s, hur vet vi att den verkliga driften inte ligger på 50 Pa vid 12 l/s? 6. Hur fungerar fläkten vid förhöjda temperaturer när få tillverkare vågar garantera drift?
Riskenivå för negativ påverkan såsom öppna spiskåpor, öppna fönster, brunna spiskåpor, sannolika brandförlopp, Graden av förbränning av lokalens tillgängliga syre, (maximalt brandflöde), Täthet i fasad i innerdörrar, Systemets överrensstämmelse med ritning, påverkan av framtida förändringar vid ombyggnad. Maximalt brandtryck i praktiken. friskluftsventilers grad av öppnande.
Ja, läckage i byggnaden, dim brandflöde, systemets utformning
Jag tror att osäkerheterna främst ligger i indata. Ex läckage i byggnaden. Vilket brandförlopp är det egentligen som är realistiskt och det som är dimensionerande. En faktor som helt bortses ifrån är det omvända brandflöde som uppstår i det tidiga förloppet när övertryck finns. Brandgaserna skall ju värma upp hela kanalsystemet. Det får till följd att dessa dra ihop sig dvs omvänt flöde.
Det finns luckor som behöver täppas igen. Framför allt finns det en relativt stor osäkerhet om hur höga tryck det verkligen kan uppstå i en brandutsatt brandcell.
Massor PFS förutsätter att man gör förenklingar av systemet väljer vi att studera rätt del av systemet 1.Är brandtekniska indata korrekta (dörrar öppna/stängda inom lgh, brantillväxt mm rätt) 2.Har vi knappat in rätt värden i PFS 3.Tolkar vi utdata korrekt
Branden, overifierade indata i form av tryckfall mm
Det finns många. Exempelvis brandförlopp och läckage.

Fråga 6b – Gör du några komparationer för att ta hänsyn till eventuella osäkerheter? Om ja, hur ser dessa komparationer ut?

antaganden på säkra sidan
hängsle och livrem, brangasfläkt, springventil, väsentligt högre brandgasflöde
Snabbare brandfall (högre brandflöde) än dimensionerande för att se känslighet.
Under beräkningens gång gör jag inga komparationer. Resultatet skall bedömas och vid behov görs en ny ansats med ändrat antagande och en ny beräkning. Med beräknings vana kan detta lätt göras - med handberäkning såväl som med dator.
Vi kompenserar genom att försöka räkna på forcerade spiskåpor (dock med något sänkt brandflöde) och genom att försöka ha en säkerhetsmarginal vid tryckstyrda fläktar
Relativt stor brand (FAST), Och sedan sämsta tänkbara förhållanden (ej brunnen spiskåpa men öppen,
ja, påslag på flätkapacitet
Ofta tror jag att osäkerheter är på den positiva sidan dvs de i sig ger en marginal.
Ser till att indata är på säkra sidan, t.ex. avseende tryck som kan uppstå i brandutsatt lokal.
Man försöker köra med en hög säkerhetsmarginal vilket troligen medför överdimensionering av skyddet

Jag gör känslighetsanalyser på allt jag inte är säker på. Om inte alla osäkerheter faller inom ramen för det acceptabla utfallet skall ytterligare skyddsåtgärder vidtas.

Tiden och mängden.

Fråga 6c – Vilka osäkerheter ser du i beräkningarna? Rangordna dem efter hur viktigt du anser det är att de reduceras (1 är viktigast)

Minns ej

PFS bättre, osäkerheter i ett aktivt system, inbyggda osäkerheter

1. Modellosäkerhet / 2. Tryckfallsbedömningar

Byggnaders täthet, uppskattat brandtryck, tryckförluster i kanalsystem

I beräkningarna är de viktigaste osäkerheterna resultatet av det ofta bristfälliga underlaget om systemet som krävs för en fullständig tryckfallsberäkning. Även tidsberoendet är en osäker faktor. Om det kan vara ok att sprida lite brandgas blir det ju intressant att fundera på hur brandflöde och temperatur varierar med tiden. Särskilt om sprinkler är en del av ventilationslösningen.

Brandtrycket (max) Flera osäkra faktorer påverkar, Dagens Maximalt 1000 Pa som vissa tillämpar anser jag vara dåligt underbyggt och borde verifieras. Sedan är frågan om man behöver ta hänsyn till spiskåpor

jfr a

1. Brandförlopp/scenario är överdrivet. 2. Kylning dvs omvänt brandflöde 3.Läckage underskattas. 4.Flöde genom läckage kan vara mer laminärt.

1. Högsta möjliga tryck i brandutsatt lokal.

enl a

Handberäkningarna ger inte hela sanningen, men det är de inte tänkta att göra. Vad gäller PFS är det framförallt komponenter och otätheter i kanalsystemet som ej är redovisade samt om det är laminär eller turbulent strömning som är osäkert.

1) Brandförlopp. Dimensionerande sådant.

Fråga 6d – Tror du att det går att reducera dessa osäkerheter?

-

-

Ja, forskning kring modeller samt mer praktiska försök för att verifiera modellerna.

Svårt!

Genom att fylla våra kunskapsluckor med meningsfull forskning och utveckling.

-

ja,

Systemutformning genom platsbesök och flitiga ritningsstudier

JA

Svårt med tanke på att utförda försök har stor differens i övertryck.

med bättre och tydligare beräkningsmodell kan 2 och 3 reduceras , 1 är svårare att komma tillrätta med.
Ja, genom att vara noggrann när man väljer sina indata och förutsättningar.
Möjligt

Fråga 6e – Om du svarade jakande i 6d. Tror du att du skulle kunna reducera dessa osäkerheter?

-
-
Inte mycket inom ramen för mitt arbete (konsult).
-
Jag kan tänka mig att ställa mina mångåriga kunskaper till förfogande i projekt för forskning och utveckling.
-
Delvis genom mer forskning kring frekvenser av förhållanden som ger högt brandtryck, (koll på risk för snabb brand, med samtidigt stängda fönsterventiler, öppen spiskåpa mm)
ja
Ja om forskning kan finansieras.
Genom att studera fler utförda försök så kan jag givetvis komma närmare sanningen.
Nej
Delvis
-

Fråga 7 – Tycker du att brandgasspridning via ventilationssystemet är ett stort problem vid en eventuellt brand? Utveckla gärna.

Ja, särskilt vid verksamhet med sovande (bostäder, äldreboende, sjukhus etc)
Ja. I det inledande skedet, ja. Knappast efter fullt utvecklat brand
ja
vet ej
vet ej
bevisligen inte
Ja. om ett system är felprojekterat
Ja. Det är ett stort problem för dem som drabbas av kritiska förhållanden när man t:ex sover
Ja, eftersom vi vet att många ventilationssystem är dimensionerade att sprida brandgas på grund av för låg kunskapsnivå hos konstruktörer.
Kan bli om man inte tänker överhuvudtaget. Tror dock att problemet till viss del är överdrivet.

Ja, i bef objekt är det bedrägligt
Ja, dåligt underhållet fläkt i drift
Nja, jag har en känsla av att många p g a bristande kunskaper gör det till ett svårt problem. Jag har också träffat på personer som tror sig kunna hantera ventilationsbrandskydd som en exakt vetenskap med decimalnoga beräkningar! Ventilationsbrandskydd handlar mer om förståelse, sunt förnuft och en lagom portion beräkningar!
Ja, Ventilationskanaler som bryter brandcellsgräns innebär ett hål i tänkt brandcell.

Fråga 8 – Känner du till något fall där brandgasspridning i ventilationssystemet förekommit? I så fall när och var? Finns det dokumentation på detta?

nej
nej
nej
Ja, St. Görans sjukhem
nej
Ja, källare och vindsbrand
Ja, brand i karlstad
nej
nej
Ja, sekretess
Ja, händelser har inträffat då jag jobbat på räddningstjänsten
nej
Nja, en enkät vid LTH
nej

APPENDIX D – BRANDTILLVÄXTFAKTOR

I Andersson och Wadensten (2002) används statistik från SRV för att studera brandtillväxten. Samma metod (kallad statistikmetoden i avsnitt 10.2.1.1), utan större modifikation, används i detta examensarbete.

Allmän byggnad

Grupp	Föremål	Bedömt alfavärde (kW/s ²)	Intervall (kW/s ²)	Summa mellan 1998 och 2004	Andel av totala	Andel av de betraktade föremålen	Bedömt alfavärde • andel
A	Lös inredning	0,0300	0,01-0,06	2392	0,1864	0,4848	0,0145
B	Bastuaggregat, TV, stereo/video, fläkt/ventilationsanl., transformator, maskin	0,0270	0,01-0,04	735	0,0573	0,1490	0,0040
C	Rökkanal, eldstad, torktumlare, torkskåp	0,0370	0,01-0,1	351	0,0274	0,0711	0,0026
D	Diskmaskin, kaffebryggare, spis, kyl/frys, - tvättmaskin, strykjärn, glödlampa, lysrör	-	-	2451	0,1910	-	-
E	Skräp i container	0,0520	0,02-0,1	318	0,0248	0,0645	0,0034
F	Personbil, övriga vägfordon, tåg	0,0500	0,01-0,1	75	0,0058	0,0152	0,0008
G	Explosivt-/sprängämne, brandfarlig vätska, brandfarligas	0,1900	-	227	0,0177	-	-
H	Uppvärmningsanordning, andra elinstallationer	0,0030	0,001- 0,005	1063	0,0828	0,2154	0,0006
I	Annat	-	-	5219	0,4067	-	-
	Summa	-	-	12831	1	1	0,0260

Tabell D.1: Tabell över grupper och alfavärden.

De grå områden (se tabell D.1) markera grupper som inte tas med i analysen. Föremålen i grupp D anses inte innehålla tillräckligt med brännbart material för att kunna ges ett alfavärde. Grupp G infattar explosiva föremål som normalt inte bör förekomma i allmänna byggnader. Gruppen I beaktas inte på grund av osäkerheterna kring vad annat innebär.

Alfavärde	H	B	C	A	F	E	summa	H	B	C	A	F	E	summa	andel	alfavärde • andel
0,001	0,333						0,333	354						354	0,0718	7,18E-05
0,003	0,333						0,333	354						354	0,0718	0,000215
0,005	0,333						0,333	354						354	0,0718	0,000359
0,01		0,250	0,063	0,150	0,160		0,623	184	22	359	12			576	0,1168	0,001168
0,02		0,250	0,063	0,200	0,160	0,083	0,756	184	22	478	12	27		723	0,1464	0,002929
0,03		0,250	0,250	0,300	0,160	0,083	1,043	184	88	718	12	27		1028	0,2083	0,006248
0,04		0,250	0,250	0,200	0,160	0,167	1,027	184	88	478	12	53		815	0,1652	0,006606
0,05			0,063	0,150	0,160	0,167	0,539			22	359	12	53	446	0,0903	0,004517
0,06			0,063		0,040	0,167	0,269			22		3	53	78	0,0158	0,000948
0,07			0,063		0,040	0,083	0,186			22		3	27	51	0,0104	0,000730
0,08			0,063		0,040	0,083	0,186			22		3	27	51	0,0104	0,000834
0,09			0,063		0,040	0,083	0,186			22		3	27	51	0,0104	0,000938
0,1			0,063		0,040	0,083	0,186			22		3	27	51	0,0104	0,001043
Summa	1	1	1	1	1	1	6	1063	735	351	2392	75	318	4934	1	0,026608

Tabell D.2: Tabell över grupperna uppdelade alfavärden.

Med hjälp av värdena i tabell D.2 kan den kumulativa fördelningen över brandtillväxt i allmän byggnad tas fram (se avsnitt 10.2.1.2).

Bostäder							
Grupp	Föremål	Bedömt alfavärde (kW/s ²)	Intervall (kW/s ²)	Summa mellan 1998 och 2004	Andel av totala	Andel av de betraktade föremålen	Bedömt alfavärde • andel
A	lös inredning bastuaggregat, TV, stereo/video, fläkt/ventilationsanl., transformator,	0,030	0,01-0,06	5395	0,1217	0,2396	0,0072
B	maskin	0,027	0,01-0,04	1885	0,0425	0,0837	0,0023
C	röckkanal, eldstad, torktumlare, torkskåp	0,037	0,01-0,1	11607	0,2618	0,5155	0,0191
D	diskmaskin, kaffebryggare, spis, kyl/frys, tvättmaskin, strykjärn, glödlampa, lysrör	-	-	8346	0,1883	-	-
E	skräp i container	0,052	0,02-0,1	1062	0,0240	0,0471	0,0025
F	personbil, övriga vägfordon, tåg explosivt-/sprängämne, brandfarlig	0,050	0,01-0,1	210	0,0047	0,0093	0,0005
G	vätska, brandfarligas uppvärmningsanordning, andra	0,190	-	410	0,0092	-	-
H	elinstallationer	0,003	0,001- 0,005	2355	0,0531	0,1046	0,0003
I	Annat	-	-	13059	0,2946	-	-
	Summa	-	-	44329	1	1	0,0318

Tabell D.3: Tabell över grupper och alfavärden.

De grå områden (se tabell D.3) markera grupper som inte tas med i analysen. Föremålen i grupp D anses inte innehålla tillräckligt med brännbart material för att kunna ges ett alfavärde. Grupp G infattar explosiva föremål som normalt inte bör förekomma i bostäder. Gruppen I beaktas inte på grund av osäkerheterna kring vad annat innebär.

Alfavärde	H	B	C	A	F	E	summa	H	B	C	A	F	E	summa	andel	alfavärde • andel
0,001	0,333						0,333	785	0	0	0	0	0	785	0,0349	3,49E-05
0,003	0,333						0,333	785	0	0	0	0	0	785	0,0349	0,000105
0,005	0,333						0,333	785	0	0	0	0	0	785	0,0349	0,000174
0,01		0,250	0,063	0,150	0,160		0,623	0	471	725	809	34	0	2040	0,0906	0,000906
0,02		0,250	0,063	0,200	0,160	0,083	0,756	0	471	725	1079	34	89	2398	0,1065	0,002130
0,03		0,250	0,250	0,300	0,160	0,083	1,043	0	471	2902	1619	34	89	5114	0,2271	0,006814
0,04		0,250	0,250	0,200	0,160	0,167	1,027	0	471	2902	1079	34	177	4663	0,2071	0,008284
0,05			0,063	0,150	0,160	0,167	0,539	0	0	725	809	34	177	1745	0,0775	0,003876
0,06			0,063		0,040	0,167	0,269	0	0	725	0	8	177	911	0,0405	0,002427
0,07			0,063		0,040	0,083	0,186	0	0	725	0	8	89	822	0,0365	0,002557
0,08			0,063		0,040	0,083	0,186	0	0	725	0	8	89	822	0,0365	0,002922
0,09			0,063		0,040	0,083	0,186	0	0	725	0	8	89	822	0,0365	0,003287
0,1			0,063		0,040	0,083	0,186	0	0	725	0	8	89	822	0,0365	0,003653
Summa	1	1	1	1	1	1	6	2355	1885	11607	5395	210	1062	22514	1	0,037170

Tabell D.4: Tabell över grupperna uppdelade alfavärden.

Med hjälp av värdena i tabell D.4 kan den kumulativa fördelningen över brandtillväxt i bostäder tas fram (se avsnitt 10.2.1.2).

APPENDIX E – BESKRIVNING AV PFS

Program Flow System (PFS) är ett program som kan användas vid beräkning av ett statiskt flödessystem. Programmet har sedan slutet av 80-talet utvecklats av professor Lars Jensen vid avdelningen för installationsteknik vid LTH. och fungerar som en enkel text editor där ventilationssystemet ”ritas” upp. Dubbla linjer används för att beskriva olika flödesvägar och dess egenskaper. Enkla linjer beskriver volymer som ansluter till flödesvägarna. Det strömmande mediet kan vara luft, vatten, andra fluider eller gaser under tryck.

Grundtankarna med PFS är enligt Jensen (1994b) att programmet:

- Skall kunna användas för både dimensionering och undersökning.
- Skall kunna användas på godtyckliga installationstekniska flödessystem.
- Inga begränsningar vad det gäller flödessystemets struktur.
- Flödessystemets struktur och egenskaper skall beskrivas halvgrafiskt med en vanlig textfil.
- Skall kunna köras på IBM-PC kompatibel dator med matematik processor.
- Skall vara lätta att lära och att använda.
- Godtyckligt sortval.
- Skall kunna användas i grundutbildningen.

Beräkningssätt

Programmet löser enligt Jensen ett problem i tre steg:

- Kontroll och översättning av halvgrafiken
- Uppställning av ekvationssystemet
- Lösning av ekvationssystemet

Varje ekvation i ekvationssystemet utgörs av en slinga i det ”uppritade” ledningsnätet för vilken tryckfallet skall vara noll. För att kunna lösa ekvationssystemet krävs lika många ekvationer som obekanta variabler. Utifrån de startflöden som specificerats sker en iterativ sökning genom att derivera alla fria variabler så att ekvationssystemet kan linjäriseras.

Den iterativa beräkningen kan misslyckas av följande fyra olika orsaker:

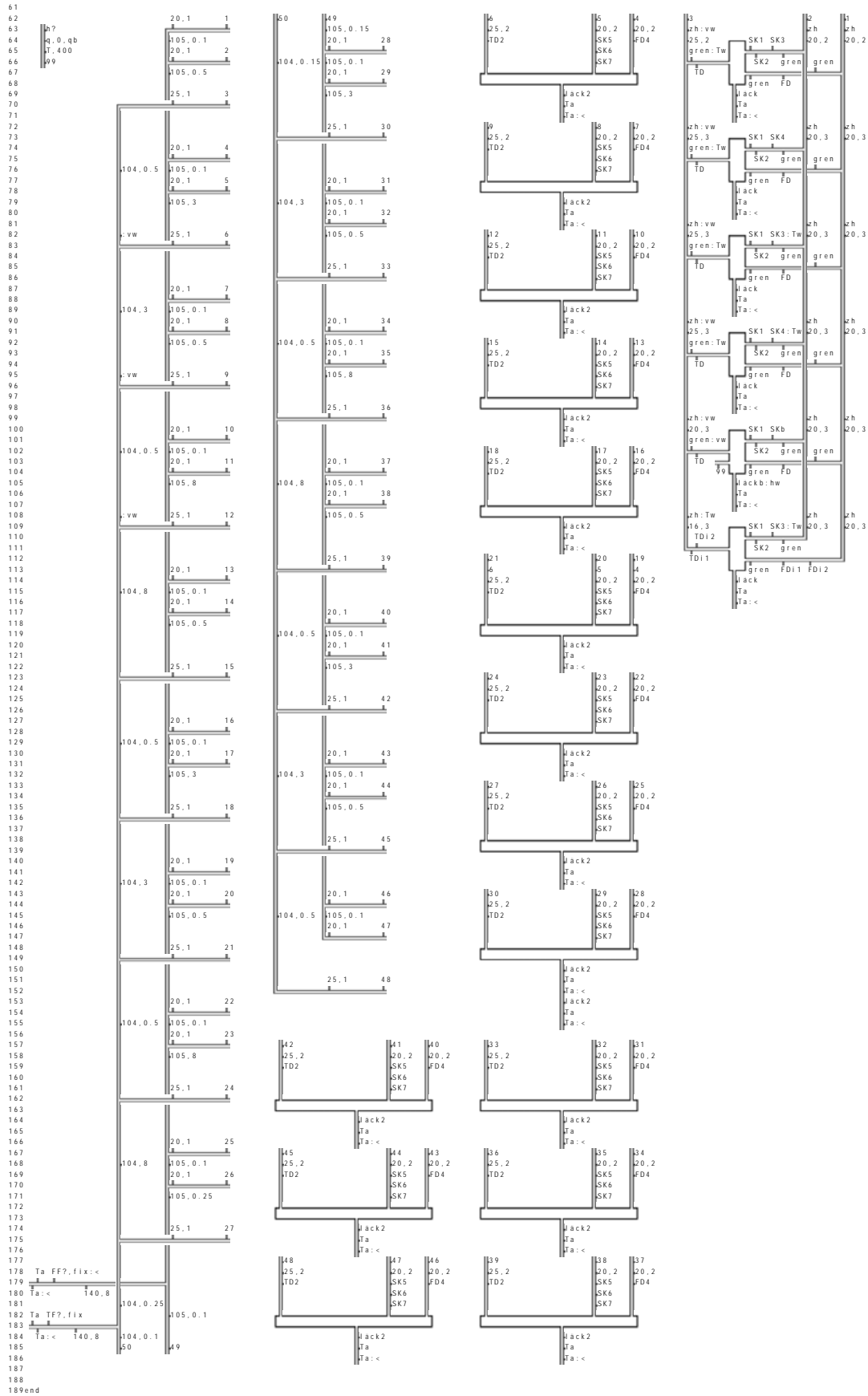
- Alla derivator kan bli noll för en fri variabel då går det inte att lösa det linjära ekvationssystemet.
- Numeriken gör att det inte går att lösa det linjära ekvationssystemet.
- Den linjära lösningen är missvisande vilket leder till att den linjära sökningen misslyckas.
- Att någon lösning inte har erhållits efter det högsta antalet tillåtna iterationer, vilket kan t.ex. inträffa då om startflöden är olämpliga.

APPENDIX F – INDATAFIL TILL PFS

I detta appendix visas två av de 18 indata filer som använts i tillämpningsexemplet. Skillnaderna mellan filerna är inte stora. För simuleringarna då ingen hänsyn tas till brandskyddet d.v.s. då den mekaniska till- och frånluften går som vanligt. (se figur F.1) så ser de likadana ut förutom på rad 3-8 där variablerna definieras, detsamma gäller då hänsyn tas till brandskyddet (se figur F.3). Indata filerna skiljer sig dock åt om brandskyddet beaktas eller ej (se figur F.2 och figur F.4) vilket är anledningen till att ett exempel av var visas i detta appendix.

```
1 table 16 16 1 0
2
3 program qb l/s 0 230 "Brandflöde"
4 program qlb l/s 0 7 "Läckage"
5 program ql l/s 0 7 1000 "Läckage, fönster öppet"
6 program fo1 Pa 0 50 4 "Spiskåpa i lägenheter - stängd, öppen"
7 program fo2 Pa 0 50 4 "Spiskåpa i lägenheter - stängd, öppen"
8 program fob Pa 0 4 0.5 "Spiskåpa i brandrum - öppen, brunnen"
9
10 result
11 result
12 result
13 result
14 result
15 result
16 result
17 result
18 result
19 result
20 result
21 result
22 result
23 result
24 result
25 result
26 result
27 result
28
29 export langsaml.txt 16 6 18
30
31 begin
32 version
33 flow l/s
34 pressure Pa
35 format - - - 1
36 control bend=1 con=1 duct=1 dim=1 dencase=1 denz=1.2 trix=3
37
38 if fo1 eq 4 and fo2 eq 4
39 parameter fo3=10 "50% öppna"
40 else
41 if fo1 eq 4 or fo2 eq 4
42 parameter fo3=20 "25% öppna"
43 else
44 parameter fo3=50
45 endif
46 endif
47
48 compute "läckage" ql1=6*ql "läckage i övriga schakt"
49
50 set "läckage" lack=t,50,ql lack2=t,50,ql1 lackb=t,50,qlb
51 set "kanaler" 20=d,200 25=d,250 16=d,160 10=d,100 gren=10,1 105=d,1000,500 104=d,1000,400 140=d,1400,400
52 set "höjdskillnad" zh=2,-3
53 set "Donflöde" FD=t?15 TD=t?25:q FD4=t?-90 TD2=t?150
54 set "Donflöde" TD1=t,q,25,fpv TDi2=t,50,25 FDi1=q,15,fpv FDi2=t,50,15
55 set "spiskåpor" SK1=q,10,fpv:q SK2=h,fpv,0 SK3=o,0.01,fo1,10 SK4=o,0.01,fo2,10 SKb=o,0.01,fob,10
56 set "spiskåpor" SK5=q,-60,fpv:q SK6=h,fpv,0 SK7=o,0.01,fo3,60
57 set "temperaturer" Ta=T,20
58 fan "ELCK-06, e=5" FF 1750 1200 1100 3000 300 4000 100
59 fan "ELCK-06, e=5" TF 1150 1000 800 2450 200 3250 100
60
```

Figur F.1: Den övre halvan av indata filen till simuleringarna 1 A-F och 4 A-F utan hänsyn till brandfunktion.



Figur F.2: Den övre halvan av indata filen till simuleringarna 1 A-F och 4 A-F utan hänsyn till brandfunktion.

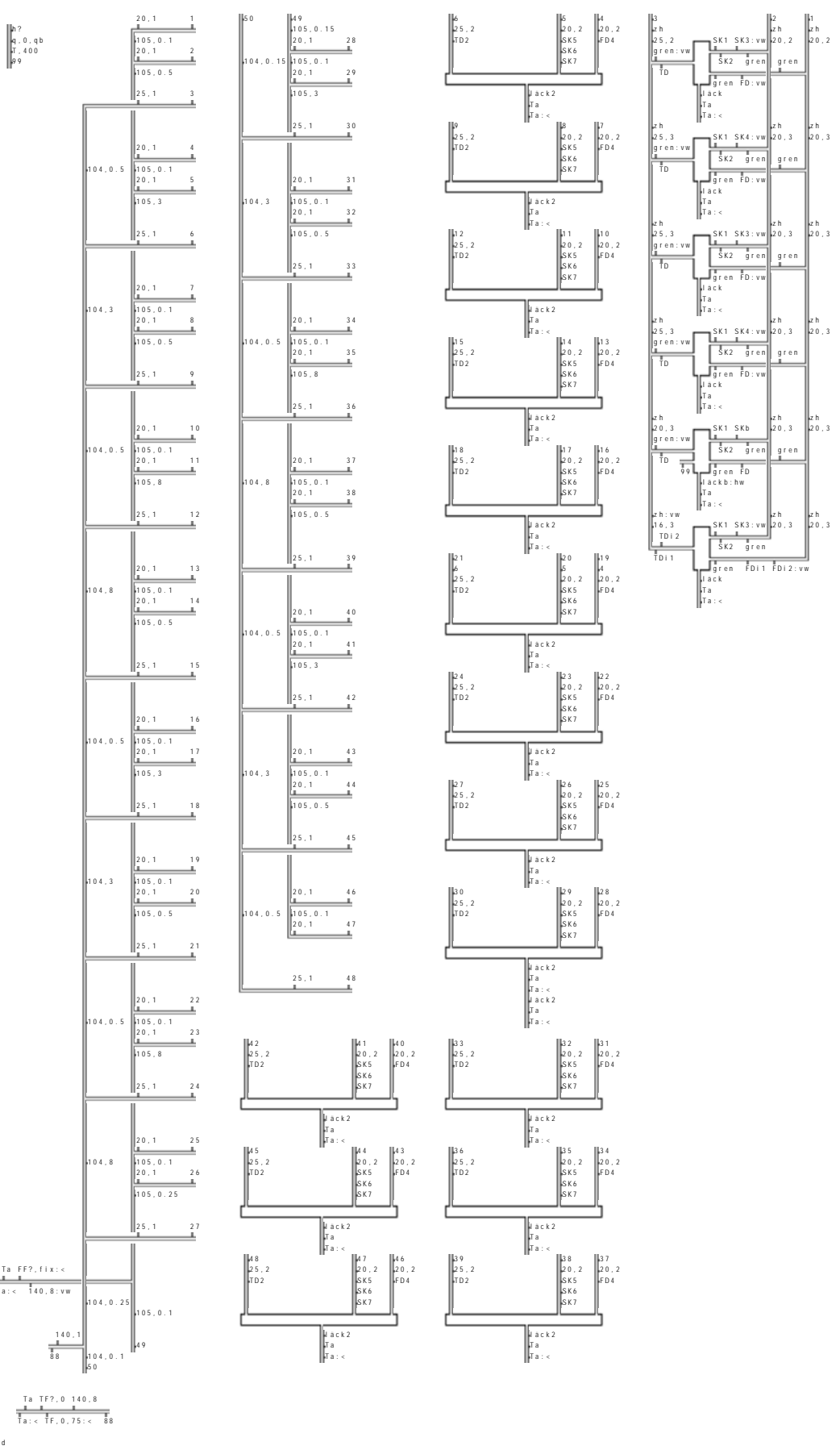

```

1 table 16 16 1 0
2
3 program qb l/s 0 450 "Brandflöde"
4 program qlb l/s 0 14 "Läckage"
5 program ql l/s 0 14 1000 "Läckage, fönster öppet"
6 program fo1 Pa 0 50 4 "Spiskåpa i lagenheter - stängd, öppen"
7 program fo2 Pa 0 50 4 "Spiskåpa i lagenheter - stängd, öppen"
8 program fob Pa 0 4 0.5 "Spiskåpa i brandrum - öppen, brunnen"
9
10 result
11 result
12 result
13 result
14 result
15 result
16 result
17 result
18 result
19 result
20 result
21 result
22 result
23 result
24 result
25 result
26 result
27 result
28
29 export langsamt.txt 16 6 18
30
31 begin
32 version
33 flow l/s
34 pressure Pa
35 format - - - 1
36 control bend=1 con=1 duct=1 dim=1 dencase=1 denz=1.2 trix=3
37
38 if fo1 eq 4 and fo2 eq 4
39 parameter fo3=10 "50% öppna"
40 else
41 if fo1 eq 4 or fo2 eq 4
42 parameter fo3=20 "25% öppna"
43 else
44 parameter fo3=50
45 endif
46 endif
47
48 compute "läckage" ql=6*ql "läckage i övriga schakt"
49
50 set "läckage" lack=t,50,ql lack2=t,50,ql lackb=t,50,qlb
51 set "kanaler" 20=d,200 25=d,250 16=d,160 10=d,100 gren=10,1 105=d,1000,500 104=d,1000,400 140=d,1400,400
52 set "höjdskillnad" zh=z,-3
53 set "Donflöde" FD=t?15 TD=t?25:q FD4=t?-90 TD2=t?150
54 set "Donflöde" TD1=t,q,25,fpv TD12=t,50,25 FD11=q,15,fpv FD12=t,50,15
55 set "spiskåpor" SK1=q,10,fpv:q SK2=h,fpv,0 SK3=o,0.01,fo1,10 SK4=o,0.01,fo2,10 SKb=o,0.01,fob,10
56 set "spiskåpor" SK5=q,-60,fpv:q SK6=h,fpv,0 SK7=o,0.01,fo3,60
57 set "temperaturer" Ta=T,20
58 fan "ELCK-06, e=5" FF 1750 1200 1100 3000 300 4000 100
59 fan "ELCK-06, e=5" TF 1150 1000 800 2450 200 3250 100
60

```

Figur F.3: Den övre halvan av indata filen till simuleringarna 8 A-F och 11 A-F med hänsyn till brandfunktion.

61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194 end



Figur F.4: Den övre halvan av indata filen till simuleringarna 1 A-F och 4 A-F F med hänsyn till brandfunktion.

APPENDIX G – BESKRIVNING AV INDATAFIL

I detta appendix genomförs en beskrivning av de indata filer som använts vid tillämpningsexemplet. Indata filen till PFS kan sägas bestå av två delar, en inledande (se figur F.1 och figur F.3) där olika uttryck definieras och en senare (se figur F.2 och figur F.4) där kanalsystemet beskrivs.

Ventilationstekniska och byggnadstekniska flödessamband kan, enligt Jensen (2002), förenklas tillföljande kvadratisk samband:

$$p = R_n q^2 \quad (\text{Ekvation G.1})$$

p - tryckfall, Pa

R_n - motstånd

q - flöde, m³/s

Detta samband har använts för att räkna fram tryckfall vid forcering av spiskåpor. I normaltläge skall flödet genom spiskåpor vara 10 l/s och i forcerat läge skall det vara 35 l/s (se vidare avsnitt 8.1).

Genom att använda ekvationen ovan kan det tryckfall som krävs för att skapa ett givet flöde räknas fram. Med ekvation G.1 räknas tryckfallen i tabell G.1 och tabell G.2 fram.

Läge	Flöde (l/s)	Tryckfall (Pa)	Resultande flöde vid 50 Pa (l/s)
Normal	10	50	10
Forcerad	10	4	35
Brunnen	10	0,5	100

Tabell G.1: Tryckfall för att skapa resulterande flöde från lägenheter vid 50 Pa.

Läge	Flöde (l/s)	Tryckfall (Pa)	Resultande flöde vid 50 Pa (l/s)
0 % forcerade	60	50	60
25 % forcerade	60	20	95
50 % forcerade	60	10	135

Tabell G.2: Tryckfall för att skapa resulterande flöde från schakt vid 50 Pa.

De tryckfall som anges i tabell G.1 och tabell G.2 används på rad 6-8 i indata filerna, se figur F.1 och figur F.3 i appendix F. Den fortsatta beskrivningen av strukturen i indata filer till PFS görs mot bakgrund av figur F.1. I tabell G.3 beskrivs den inledande delen av indata filen.

Rad	Beskrivning
1	<i>Table</i> funktionen i PFS gör det enklare att simulera samma system med varierande indata för ett par variabler. Det första efterföljande talet anger hur många kombinationer som simuleras. Det andra talet anger antalet utskrifter. Det tredje talet anger antalet program steg (default = 1). Det fjärde talet bestämmer huruvida det skall vara någon slutgiltig resultatutskrift (default = 0).
3-8	<i>Program</i> funktionen skapar en parameter med betydelsen, id, enhet, antal decimaler, värde 1, värde 2 etc. I den aktuella indata filen (se figur F.1) kan

-
- de olika värden på rad 3-8 kombineras på 16 olika sätt vilket motsvara vad *table* funktionen, på rad 1, specificerade.
- 10-27 På de rader där *result* funktionen skrivs utdata som senare kan exporteras.
- 29 *Export* gör det möjligt att exportera utdata till t.ex. en txt fil. Först skrivs namnet på filen sedan antalet kombinationer följt av antalet variabler och utdata punkter.
- 31 Vid *begin* börjar varje PFS block, d.v.s. varje kombination.
- 32 *Version* talar om vilken version det är av mjukvaran.
- 33 *Flow* definierar flödes enheten.
- 34 *Pressure* definierar tryck enheten.
- 35 *Format* funktionen bestämmer det aktuella exemplet antalet decimaler
- 36 *Control* funktionen används för att definiera olika kontrollvariabler som används för att bl.a. kontrollera den numeriska lösningen. *Bend = 1* innebär att motstånd i böjar räknas som för luft. *Con = 1* innebär att motstånd i knutpunkter räknas som för luft. *Duct = 1* innebär att flöden i kanaler räknas som för luft. *Dim = 1* innebär att dimensionsövergångar räknas för luftkanaler. *Dencase* är en kontrollvariabel för densiteten. *Denz* är densiteten vid det nominella trycket. *Trix* funktionen styr om brandfallet skall studeras. *Trix = 1* innebär att injustering körs då alla motstånd i systemet beräknas. *Trix = 3* innebär att brandfallet körs med de motstånd som beräknats i *Trix = 1*.
- 38-46 *If-then-else* funktionen är en logisk funktion som i det aktuella exemplet används för att se till att forceringen i blir den samma i hela systemet.
- 48 *Compute* innebär att en beräkning genomförs. I detta fall innebär beräkningen att läckaget för övriga schakt räknas ut.
- 50 *Set* funktionen definierar element som senare används i den grafiska uppställningen. Elementet *läck* innebär ett motstånd som definieras med funktionen *t* på 50 Pa vid flödet *ql*.
- 51 Funktionen *d* skapar en cirkulär kanal med diameter *i* mm följt av längden *m*. Om *d* följs av tre värden innebär det en rektangulär kanal med höjd och bredd, *i* mm, följt av längd *m*.
- 52 Funktionen *z* talar om att det finns en höjdskillnad.
- 53 Funktionen *t?* innebär ett flöde med okänt motstånd.
- 54 Funktionen *q* innebär ett flöde vid ett givet tryckfall. *fpv* står för *free parameter value* och innebär ett fri parameter som kan ta vilket värde som helst.
- 55 Funktionen *h* innebär ett fixt tryckfall vid ett fixt flöde. *O* funktionen eller *general switching resistance element* som det också kallas hänger ihop med *Trix* funktionen på rad 36. Som uppställningen är gjord i figur F.1 innebär *o,0,01,fo1,10* ett motstånd *t,0,01,10* för *trix 1* och ett motstånd *o,fo1,10* för *trix 3*.
- 57 Funktionen *T* definierar temperatur.
- 58-59 *Fan* innebär att en fläkt skapas med *id* följt av tryck och flödes par.
-

Tabell G.3: Beskrivning av figur F.1.

I den andra delen av indata filen (se figur F.2) beskrivs ventilationssystemets uppbyggnad grafiskt. På grund av svårigheter med att få plats med hela systemet på den begränsade ytan har olika delar kopplats samman med nummer. Enbart schakt 16, där brandrummet finns, är utritad i fulldetalj, övriga schakt är förenklad för att bespara beräkningstid. Förenklingen kommer dock inte medföra några större

skillnader för resultaten i schakt 16. Branden, som är utritad till vänster på rad 63-67, kopplas in till brandrummet med 99. figur F.4 ser något annorlunda ut vid fläktarna, rad 179-184, jämfört med figur F.2 eftersom brandskyddet studeras, detta är dock den ända skillnaden mellan dessa båda figurer.

För mer ytterligare information om hur en indatafil i PFS sätts upp hänvisas till Jensen (1994a) och Jensen (2002b).

APPENDIX H – RESULTAT AV TILLÄMPNING

I detta appendix redovisas resultatet från PFS simuleringarna av tillämpningsexemplet. Resultatet redovisas som en konsekvens i form av antalet rum som spridning sker till (0-5) och sannolikheten för respektive scenario.

Scenario	Brandförlopp	Spiskåpa	Läckage i brandrum	Fönster/läckage	Forcering	Sannolikhet			Konsekvens, antal rum spridning sker till	
						Brandrummet	Öriga lägenheter	summa	Ej brand-funktion	Brand-funktion
1 A	Långsam	Öppen	Litet	Öppna	Ingen	0,0225	0,01667	0,00038	5	0
1 B	Långsam	Öppen	Litet	Öppna	Medel	0,0225	0,01667	0,00038	5	0
1 C	Långsam	Öppen	Litet	Öppna	Stor	0,0225	0,01667	0,00038	4	0
1 D	Långsam	Öppen	Litet	Litet	Ingen	0,0225	0,31667	0,00713	2	0
1 E	Långsam	Öppen	Litet	Litet	Medel	0,0225	0,31667	0,00713	2	0
1 F	Långsam	Öppen	Litet	Litet	Stor	0,0225	0,31667	0,00713	2	0
2 A	Långsam	Öppen	Medel	Öppna	Ingen	0,1350	0,01667	0,00225	2	0
2 B	Långsam	Öppen	Medel	Öppna	Medel	0,1350	0,01667	0,00225	5	0
2 C	Långsam	Öppen	Medel	Öppna	Stor	0,1350	0,01667	0,00225	3	0
2 D	Långsam	Öppen	Medel	Medel	Ingen	0,1350	0,31667	0,04275	2	0
2 E	Långsam	Öppen	Medel	Medel	Medel	0,1350	0,31667	0,04275	2	0
2 F	Långsam	Öppen	Medel	Medel	Stor	0,1350	0,31667	0,04275	2	0
3 A	Långsam	Öppen	Stort	Öppna	Ingen	0,0225	0,01667	0,00038	2	0
3 B	Långsam	Öppen	Stort	Öppna	Medel	0,0225	0,01667	0,00038	2	0
3 C	Långsam	Öppen	Stort	Öppna	Stor	0,0225	0,01667	0,00038	2	0
3 D	Långsam	Öppen	Stort	Stort	Ingen	0,0225	0,31667	0,00713	2	0
3 E	Långsam	Öppen	Stort	Stort	Medel	0,0225	0,31667	0,00713	2	0
3 F	Långsam	Öppen	Stort	Stort	Stor	0,0225	0,31667	0,00713	2	0
4 A	Långsam	Brunnen	Litet	Öppna	Ingen	0,0025	0,01667	4,2E-05	1	0
4 B	Långsam	Brunnen	Litet	Öppna	Medel	0,0025	0,01667	4,2E-05	2	0
4 C	Långsam	Brunnen	Litet	Öppna	Stor	0,0025	0,01667	4,2E-05	2	0

4 D	Långsam	Brunnen	Litet	Litet	Ingen	0,0025	0,31667	0,00079	1	0
4 E	Långsam	Brunnen	Litet	Litet	Medel	0,0025	0,31667	0,00079	1	1
4 F	Långsam	Brunnen	Litet	Litet	Stor	0,0025	0,31667	0,00079	1	1
5 D	Långsam	Brunnen	Medel	Öppna	Ingen	0,0150	0,01667	0,00025	1	0
5 A	Långsam	Brunnen	Medel	Öppna	Medel	0,0150	0,01667	0,00025	1	0
5 E	Långsam	Brunnen	Medel	Öppna	Stor	0,0150	0,01667	0,00025	1	0
5 B	Långsam	Brunnen	Medel	Medel	Ingen	0,0150	0,31667	0,00475	1	0
5 E	Långsam	Brunnen	Medel	Medel	Medel	0,0150	0,31667	0,00475	1	0
5 B	Långsam	Brunnen	Medel	Medel	Stor	0,0150	0,31667	0,00475	1	0
6 D	Långsam	Brunnen	Stort	Öppna	Ingen	0,0025	0,01667	4,2E-05	1	0
6 A	Långsam	Brunnen	Stort	Öppna	Medel	0,0025	0,01667	4,2E-05	2	0
6 E	Långsam	Brunnen	Stort	Öppna	Stor	0,0025	0,01667	4,2E-05	1	0
6 B	Långsam	Brunnen	Stort	Stort	Ingen	0,0025	0,31667	0,00079	1	0
6 E	Långsam	Brunnen	Stort	Stort	Medel	0,0025	0,31667	0,00079	1	0
6 B	Långsam	Brunnen	Stort	Stort	Stor	0,0025	0,31667	0,00079	1	0
7 D	Medel	Öppen	Litet	Öppna	Ingen	0,06188	0,01667	0,00103	5	0
7 A	Medel	Öppen	Litet	Öppna	Medel	0,06188	0,01667	0,00103	5	0
7 E	Medel	Öppen	Litet	Öppna	Stor	0,06188	0,01667	0,00103	5	0
7 B	Medel	Öppen	Litet	Litet	Ingen	0,06188	0,31667	0,01959	4	0
7 E	Medel	Öppen	Litet	Litet	Medel	0,06188	0,31667	0,01959	4	2
7 B	Medel	Öppen	Litet	Litet	Stor	0,06188	0,31667	0,01959	4	2
8 D	Medel	Öppen	Medel	Öppna	Ingen	0,37125	0,01667	0,00619	5	0
8 A	Medel	Öppen	Medel	Öppna	Medel	0,37125	0,01667	0,00619	5	0
8 E	Medel	Öppen	Medel	Öppna	Stor	0,37125	0,01667	0,00619	5	0
8 B	Medel	Öppen	Medel	Medel	Ingen	0,37125	0,31667	0,11756	5	0
8 E	Medel	Öppen	Medel	Medel	Medel	0,37125	0,31667	0,11756	4	0
8 B	Medel	Öppen	Medel	Medel	Stor	0,37125	0,31667	0,11756	4	0
9 D	Medel	Öppen	Stort	Öppna	Ingen	0,06188	0,01667	0,00103	5	0
9 A	Medel	Öppen	Stort	Öppna	Medel	0,06188	0,01667	0,00103	5	0

9	E	Medel	Öppen	Stort	Öppna	Stor	0,06188	0,01667	0,00103	5	0
9	B	Medel	Öppen	Stort	Stort	Ingen	0,06188	0,31667	0,01959	4	0
9	E	Medel	Öppen	Stort	Stort	Medel	0,06188	0,31667	0,01959	4	0
9	B	Medel	Öppen	Stort	Stort	Stor	0,06188	0,31667	0,01959	4	0
10	D	Medel	Brunnen	Litet	Öppna	Ingen	0,00688	0,01667	0,00011	5	0
10	A	Medel	Brunnen	Litet	Öppna	Medel	0,00688	0,01667	0,00011	5	0
10	E	Medel	Brunnen	Litet	Öppna	Stor	0,00688	0,01667	0,00011	5	1
10	B	Medel	Brunnen	Litet	Litet	Ingen	0,00688	0,31667	0,00218	3	1
10	E	Medel	Brunnen	Litet	Litet	Medel	0,00688	0,31667	0,00218	3	2
10	B	Medel	Brunnen	Litet	Litet	Stor	0,00688	0,31667	0,00218	3	3
11	D	Medel	Brunnen	Medel	Öppna	Ingen	0,04125	0,01667	0,00069	5	0
11	A	Medel	Brunnen	Medel	Öppna	Medel	0,04125	0,01667	0,00069	5	0
11	E	Medel	Brunnen	Medel	Öppna	Stor	0,04125	0,01667	0,00069	5	1
11	B	Medel	Brunnen	Medel	Medel	Ingen	0,04125	0,31667	0,01306	4	0
11	E	Medel	Brunnen	Medel	Medel	Medel	0,04125	0,31667	0,01306	4	0
11	B	Medel	Brunnen	Medel	Medel	Stor	0,04125	0,31667	0,01306	3	1
12	D	Medel	Brunnen	Stort	Öppna	Ingen	0,00688	0,01667	0,00011	5	0
12	A	Medel	Brunnen	Stort	Öppna	Medel	0,00688	0,01667	0,00011	5	0
12	E	Medel	Brunnen	Stort	Öppna	Stor	0,00688	0,01667	0,00011	5	0
12	B	Medel	Brunnen	Stort	Stort	Ingen	0,00688	0,31667	0,00218	3	0
12	E	Medel	Brunnen	Stort	Stort	Medel	0,00688	0,31667	0,00218	3	0
12	B	Medel	Brunnen	Stort	Stort	Stor	0,00688	0,31667	0,00218	3	0
13	D	Snabb	Öppen	Litet	Öppna	Ingen	0,02813	0,01667	0,00047	5	0
13	A	Snabb	Öppen	Litet	Öppna	Medel	0,02813	0,01667	0,00047	5	1
13	E	Snabb	Öppen	Litet	Öppna	Stor	0,02813	0,01667	0,00047	5	0
13	B	Snabb	Öppen	Litet	Litet	Ingen	0,02813	0,31667	0,00891	5	1
13	E	Snabb	Öppen	Litet	Litet	Medel	0,02813	0,31667	0,00891	5	3
13	B	Snabb	Öppen	Litet	Litet	Stor	0,02813	0,31667	0,00891	5	4
14	D	Snabb	Öppen	Medel	Öppna	Ingen	0,16875	0,01667	0,00281	5	0
14	A	Snabb	Öppen	Medel	Öppna	Medel	0,16875	0,01667	0,00281	5	1

14	E	Snabb	Öppen	Medel	Öppna	Stor	0,16875	0,01667	0,00281	5	0
14	B	Snabb	Öppen	Medel	Medel	Ingen	0,16875	0,31667	0,05344	5	0
14	E	Snabb	Öppen	Medel	Medel	Medel	0,16875	0,31667	0,05344	5	0
14	B	Snabb	Öppen	Medel	Medel	Stor	0,16875	0,31667	0,05344	5	1
15	D	Snabb	Öppen	Stort	Öppna	Ingen	0,02813	0,01667	0,00047	5	0
15	A	Snabb	Öppen	Stort	Öppna	Medel	0,02813	0,01667	0,00047	5	0
15	E	Snabb	Öppen	Stort	Öppna	Stor	0,02813	0,01667	0,00047	5	1
15	B	Snabb	Öppen	Stort	Stort	Ingen	0,02813	0,31667	0,00891	5	0
15	E	Snabb	Öppen	Stort	Stort	Medel	0,02813	0,31667	0,00891	5	0
15	B	Snabb	Öppen	Stort	Stort	Stor	0,02813	0,31667	0,00891	5	0
16	D	Snabb	Brunnen	Litet	Öppna	Ingen	0,00313	0,01667	5,2E-05	5	0
16	A	Snabb	Brunnen	Litet	Öppna	Medel	0,00313	0,01667	5,2E-05	5	0
16	E	Snabb	Brunnen	Litet	Öppna	Stor	0,00313	0,01667	5,2E-05	5	1
16	B	Snabb	Brunnen	Litet	Litet	Ingen	0,00313	0,31667	0,00099	5	4
16	E	Snabb	Brunnen	Litet	Litet	Medel	0,00313	0,31667	0,00099	5	5
16	B	Snabb	Brunnen	Litet	Litet	Stor	0,00313	0,31667	0,00099	5	5
17	D	Snabb	Brunnen	Medel	Öppna	Ingen	0,01875	0,01667	0,00031	5	0
17	A	Snabb	Brunnen	Medel	Öppna	Medel	0,01875	0,01667	0,00031	5	0
17	E	Snabb	Brunnen	Medel	Öppna	Stor	0,01875	0,01667	0,00031	5	1
17	B	Snabb	Brunnen	Medel	Medel	Ingen	0,01875	0,31667	0,00594	5	0
17	E	Snabb	Brunnen	Medel	Medel	Medel	0,01875	0,31667	0,00594	5	2
17	B	Snabb	Brunnen	Medel	Medel	Stor	0,01875	0,31667	0,00594	5	2
18	D	Snabb	Brunnen	Stort	Öppna	Ingen	0,00313	0,01667	5,2E-05	5	1
18	A	Snabb	Brunnen	Stort	Öppna	Medel	0,00313	0,01667	5,2E-05	5	0
18	E	Snabb	Brunnen	Stort	Öppna	Stor	0,00313	0,01667	5,2E-05	5	0
18	B	Snabb	Brunnen	Stort	Stort	Ingen	0,00313	0,31667	0,00099	5	0
18	E	Snabb	Brunnen	Stort	Stort	Medel	0,00313	0,31667	0,00099	5	0
18	B	Snabb	Brunnen	Stort	Stort	Stor	0,00313	0,31667	0,00099	5	1
Summa:							6	18	1	405	49
