



Brandingenjörsprogrammet
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet

Brandgasspridning via ventilationssystem

- beräkningsmodeller samt tillämpning på elbyggnaden vid reaktor 3, Ringhals kärnkraftverk



Pia Håkansson
Magnus Petersson

1998

Brandingenjörsprogrammet
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

School of Fire Protection Engineering
Lund Institute of Technology
Lund University
Box 118
S-221 00 Lund
Sweden

BRANDGASSPRIDNING VIA VENTILATIONSSYSTEM

- **beräkningsmodeller samt tillämpning på elbyggnaden vid reaktor 3, Ringhals kärnkraftverk**

SPREAD OF FIRE GASES VIA VENTILATION SYSTEMS

- calculation models and an application to the electrical building of reactor 3, Ringhals nuclear power plant

Pia Håkansson
Magnus Petersson

Lunds Tekniska Högskola

1998

ABSTRACT:

This report describes two models for calculations and simulations of spread of fire gases via ventilation systems. The models are applied on the electrical building of reactor 3 at the nuclear power plant of Ringhals, Sweden. A summary of the present Swedish regulations regarding fire dampers and duct insulation is presented. Suggestions to reduce smoke spread via ventilation systems are given. (Swedish)

KEYWORDS:

Fire damper, Insulation, Nuclear power plant, PFS, RHR, Smoke spread, Ventilation

SAMMANFATTNING

Syftet med rapporten har varit att undersöka risken för brandgasspridning via ventilationssystem. Projektet har fokuserats på FT-system, dvs ventilationssystem med både från- och tilluft. Metodiken har i första hand bestått i att arbeta fram två beräkningsmodeller, i rapporten benämnda **PFS-modellen** och **handberäkningsmodellen**, varav den förstnämnda till största delen bygger på datorprogrammet PFS medan stommen i den sistnämnda hämtas från handberäkningar som kompletteras med tryckmätningar.

Modellerna används för att bestämma storleken på det brandflöde som ventilationssystemet klarar av att transportera bort innan flödet i tilluftskanalen vänder (**gränsfallet för brandgasspridning**). Brandflödet räknas sedan om till motsvarande brandeffekt i gränsfallet för att kunna jämföras med den maximala brandeffekt som, med kännedom om rummets geometri och brandbelastning, bedöms kunna uppkomma i det aktuella rummet. Resultatet av jämförelsen visar hur stor risken är för brandgasspridning från respektive rum.

För att undersöka modellernas giltighet har de testats på ett relativt stort ventilationssystem i elbyggnaden vid reaktor 3, Ringhals kärnkraftverk. Detta eftersom byggnaden innehåller stora mängder PVC-kablar som vid brand ger upphov till korrosiva gaser som i sin tur kan ge allvarliga skador på elutrustningen. **PFS-modellen** har tillämpats på åtta rum medan **handberäkningsmodellen**, som kräver tryckmätningar på plats, tillämpats på ett rum. Resultaten visar att det i vissa fall räcker med en brandeffekt på 1 MW, motsvarande 5 m² brinnande PVC-kablar, för att brandgasspridning via ventilationssystemet skall kunna ske. Denna effekt är förhållandevis låg vilket medför att det vid brand i vissa rum föreligger en uppenbar risk för brandgasspridning.

Modellerna innehåller ett antal osäkerheter som måste beaktas vid tolkning av resultaten. Således utgör uppskattningen av ett rums läckagearea en betydande felkälla eftersom en känslighetsanalys visar att även små variationer av läckagearean resulterar i stora variationer av brandeffekten i gränsfallet. Till detta kommer svårigheten att göra en exakt bedömning av vilken brandeffekt som kan uppkomma i ett specifikt rum. Det bör dock observeras att modellerna är användbara även i de fall man endast grovt kan uppskatta den maximala brandeffekten i rummet. Det går nämligen att konstatera att risk för brandgasspridning föreligger om den maximala brandeffekten är i samma storleksordning som brandeffekten i gränsfallet.

I syfte att verifiera beräkningsmodellerna har ett fullskaleförsök utförts på Ringhals. I detta ersattes brandflödet av en fläkt som blåste in luft i det aktuella rummet. Resultaten från försöket stämmer väl överens med beräknade värden i modellerna.

På Ringhals är brandspjällen i ventilationskanalerna kopplade till detektorer som i sin tur är indelade i brandlarmssektioner. Beroende på vilken brandlarmssektion som löser ut så styrs spjällen olika. En viss uppdatering av styrfunktionerna är nu genomförd och ger möjlighet till en mer differentierad styrning av spjällen. En genomgång har gjorts av tidigare styrningar för att hitta eventuella förbättringar. Av denna kan slutsatsen dras att styrningarna inte är optimala. De förslag på förbättringar som befunnits lämpliga är således att:

- Stänga återluftsspjäll vid brand.
- Stänga samtliga befintliga spjäll som ligger efter brandrummet på tilluftssidan.

FÖRORD

Denna rapport är framtagen i kursen *Problembaserad brandteknisk riskhantering (10 p)* som utgör sista delen av brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola.

Arbetets huvudsakliga syfte har varit att ta fram beräkningsmodeller för beräkning av brandgasspridning i ventilationssystem med från- och tilluft (FT-system). Två modeller har framtagits där den första bygger på datorprogrammet PFS (Program Flow System) i kombination med handberäkningar medan den andra bygger på handberäkningar kombinerat med mätningar. Båda är tänkta att kunna användas på i stort sett alla byggnader med FT-system.

I rapporten tillämpas modellerna på en ventilationstekniskt sett komplicerad byggnad, nämligen elbyggnaden vid reaktor 3, Ringhals kärnkraftverk.

Forskningen på området "*Brandgasspridning via ventilationssystem*" är i dagsläget tämligen begränsad vilket innebär att de framtagna brandgasspridningsmodellerna innehåller vissa osäkerheter. En av dessa är svårigheten att jämföra modellernas beräknade värden med fullskaleförsök, eftersom de senare är relativt sällsynt förekommande. Fullskaleförsök i begränsad omfattning har emellertid genomförts på Ringhals i syfte att verifiera beräkningsresultaten i rapporten.

I **appendix A** görs även en genomgång av vilka regler som finns i dagsläget beträffande upphängningar, spjäll och isolering i ventilationssystem. Detta syftar till att få en överblick över vilka möjligheter som finns att byggnadstekniskt förhindra brand- och brandgasspridning i ventilationskanaler.

Initiativtagare till rapporten är Vattenfall Ringhals som har för avsikt att se över och om möjligt förbättra det interna brandskyddet. Förhoppningen är att denna rapport skall öka brandsäkerheten i byggnader i allmänhet och på Ringhals kärnkraftverk i synnerhet.

Större delen av projektet har genomförts i Lund, dock har sammanlagt sju dagar utgjorts av platsbesök på Ringhals i syfte att få en inblick i verksamheten och de eventuella problem som finns vid tillämpningen av de framtagna modellerna.

Vi vill passa på att framföra ett tack till professor Lars Jensen, (Institutionen för Byggnadskonstruktionslära, LTH), doktor Björn Karlsson, (Institutionen för Brandteknik, LTH) samt brandingenjör Tommy Magnusson (Vattenfall Ringhals) för deras hjälpsamhet och engagemang under hela projektets fortskridande.

Ett tack även till övrig inblandad personal på Lunds Tekniska Högskola och Vattenfall Ringhals för praktisk hjälp och synpunkter på arbetet.

Pia Håkansson

Magnus Petersson

Lund 980911

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING

FÖRORD

1	BAKGRUND	7
1.1	Syfte	7
1.2	Avgränsningar	7
1.3	Objektbeskrivning	8
2	BERÄKNINGSMODELLER	9
2.1	Introduktion	9
2.2	Brandflöde	9
2.3	Hur sprids brandgaser i FT-system?	9
2.4	Beräkningsmodeller för brandgasspridning	11
2.5	Tryck- och flödesberäkningar med datorprogrammet PFS vid brand (PFS-modellen)	12
2.6	Vilket brandflöde krävs för brandgasspridning? (handberäkningsmodellen)	13
2.7	Tryckmätning (handberäkningsmodellen)	15
2.7.1	<i>Approximativ tryckmätning</i>	15
2.7.2	<i>Exakt tryckmätning</i>	16
2.8	Beräkning av läckageareor (PFS-modellen, handberäkningsmodellen)	16
2.8.1	<i>Allmänt</i>	16
2.8.2	<i>Läckageareor på Ringhals</i>	17
2.9	Omräkning av brandflöde till brandeffekt (PFS-modellen, handberäkningsmodellen)	18
2.9.1	<i>Huvudmetod</i>	19
2.9.2	<i>Alternativ metod</i>	19
2.10	Uppskattning av maximal brandeffekt	20
2.11	Sammanfattning av beräkningsmodeller	21
3	TILLÄMPNING AV BERÄKNINGSMODELLER	23
3.1	Introduktion	23
3.2	Resultat	23
3.3	Känslighetsanalys	26
3.4	Brandrisker i elbyggnaden	27
3.5	Bedömning av risk för brandgasspridning	27
4	GENOMGÅNG AV STYRFUNKTIONER PÅ RINGHALS	29
4.1	Introduktion	29
4.2	Skydd mot brandgasspridning via ventilationssystem	30
4.2.1	<i>Separata ventilationssystem</i>	30
4.2.2	<i>Spjäll</i>	30
4.2.3	<i>Fläktar i drift</i>	31
4.2.4	<i>Brandgasspridning genom läckage i spjäll</i>	31
4.3	Styrningar av spjäll	32
4.4	Beräkning av felfrekvenser	38
4.5	Slutsatser	38
5	FULLSKALEFÖRSÖK I ELBYGGNADEN PÅ RINGHALS 3	41
5.1	Försöksbeskrivning	41
5.2	Resultat	44
6	SLUTSATSER OCH ÅTGÄRDSFÖRSLAG	45
6.1	Beräkningsmodeller	45
6.2	Styrfunktioner	46
6.3	Behov av att verifiera modellerna - tankar kring fullskaleförsök	47
7	REFERENSER	49

APPENDIX A: Sammanfattning av krav och råd för byggnadstekniskt brandskydd i ventilationssystem.....	51
APPENDIX B: PFS – användarguide och tillämpning på Ringhals.....	65
APPENDIX C: Styrschema för undersökt ventilationssystem.....	77

1 BAKGRUND

1.1 Syfte

Ringhals är liksom andra kärnkraftverk starkt beroende av ett effektivt och väl fungerande brandskydd. En kontinuerlig uppdatering av skyddsåtgärder pågår därför på många områden, bl.a. gällande brandcellsindelning, tätningar vid genomföringar samt skydd mot brandgasspridning. Ett led i det sistnämnda är att se till att brandgasspridning via ventilationssystem förhindras eller åtminstone försvåras.

Denna rapport syftar således till att ta fram beräkningsmodeller som beskriver hur brandgaser sprids via ventilationskanaler mellan rum i samma brandcell respektive mellan olika brandceller. Brand- och brandgasspridning på traditionellt sätt, dvs genom otätheter och upphettning av omgivande konstruktioner förhindras som bekant genom brandteknisk klassning av byggnadsdelar. För ventilationssystem däremot är kraven och råden betydligt mindre preciserade och för att ge en fingervisning om vad som gäller i dagsläget presenteras därför en översikt av tillämpliga regler i **appendix A**.

Modellerna tillämpas i rapporten på ett ventilationssystem vid en av reaktorerna (Ringhals 3). Det aktuella ventilationssystemet är beläget i elbyggnaden som utgör en del av Ringhals 3. Denna byggnad är intressant att studera ur ett flertal perspektiv, bl.a. eftersom den innehåller en stor mängd brännbart material i form av PVC-kablar som vid brand genererar korrosiva gaser (t.ex. väteklorid) med hög temperatur som är extremt skadliga för ett stort antal komponenter såsom t.ex. reläskåp och fläktar. Skador på dessa skulle kunna leda till att stora delar av reaktorns elproduktion slås ut.

1.2 Avgränsningar

Ett antal avgränsningar har gjorts i rapporten för att hålla projektet inom rimliga tidsramar. De mest betydande kan sägas vara följande:

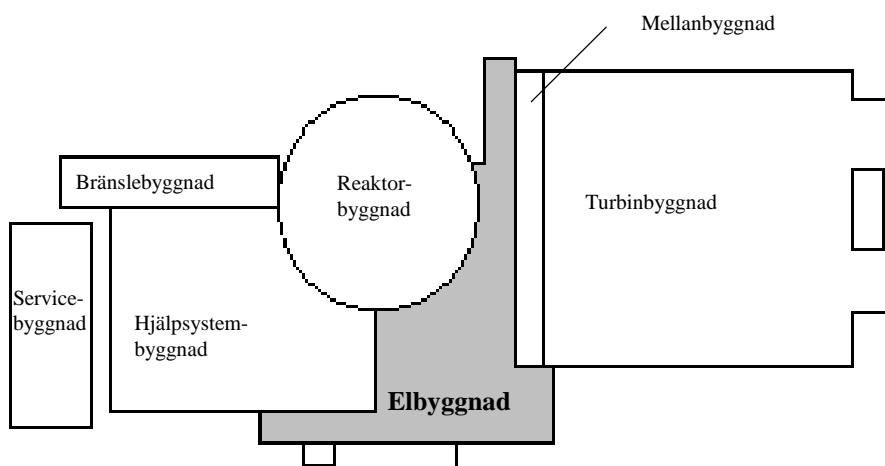
- De framtagna modellerna är endast tillämpliga på från- och tilluftssystem (FT-system). För att användas på andra typer av ventilationssystem måste justeringar göras.
- Modellerna har endast testats på ett ventilationssystem.
- Sprinklers inverkan på brandförloppet och därmed brandgasspridningen har ej beaktats.
- Rökluckors inverkan på brandgasspridning har ej beaktats vid PFS-simuleringarna.
- Fullskaleförsök har utförts endast i ett rum.

1.3 Objektbeskrivning

Ringhals är beläget på Väröhalvön, sex mil söder om Göteborg. Det är Sveriges största kärnkraftverk både vad gäller antalet reaktorer och mängden el som produceras. Nettoeffekten från de fyra reaktorerna varierar från 830 MW till 915 MW och den levererade energimängden varje år är ca. 24 miljarder kWh vilket täcker 16 % av Sveriges totala elenergibehov /14,15/.

Den första Ringhalsreaktorn togs i bruk 1975 (Ringhals 2) och den senaste 1983 (Ringhals 4). Kärnkraftverket sysselsätter sammanlagt 1250 personer och har ca. 25000 besökare varje år.

I rapporten behandlas elbyggnaden vid Ringhals 3 som är belägen enligt **figur 1.1**.



Figur 1.1 Principskiss över Ringhals 3.

Elbyggnaden består till största delen av stora kabelrum och kabelschakt men här finns också bl.a. ställverk och relärum. Dessutom finns det två batterirum som innehåller ett stort antal batterier vilka skall säkerställa nödström till instrumentering samt att reaktorn kan stängas av på ett riktigt sätt även om den externa elförsörjningen slås ut. I servicebyggnaden finns även fyra stora fartygsdieslar för reservström. I elbyggnaden finns kontrollrummet varifrån processerna övervakas.

I rapporten benämns de olika rummen enligt den numrering som tillämpas på Ringhals. Ett rum som benämns 3 E 2-01 innebär; reaktor 3, elbyggnaden, våning 2, lönnummer 01 på den aktuella våningen. Förkortningen 2-01 förekommer också i rapporten. I **appendix C** finns en förteckning över förekommande rumstyper. Där går det t.ex. att utläsa att rum 3 E 2-01 är ett kabelrum.

2 BERÄKNINGSMODELLER

2.1 Introduktion

Kapitlet inleds med en kort definition av brandflöde samt en beskrivning av hur brandgaser sprids i FT-system. Därefter beskrivs de teorier och formler som är nödvändiga för att kunna räkna på brandgasspridningen. Dessa teorier mynnar ut i två beräkningsmodeller för brandgasspridning via ventilationssystem. Den första modellen bygger på datorprogrammet PFS i kombination med handberäkningar medan den andra bygger på handberäkningar i kombination med mätningar.

Anledningen till att en handberäkningsmodell tagits fram är att simuleringar i PFS är relativt tidskrävande om ett större antal rum ska undersökas. Handberäkningsmodellen är mindre noggrann men samtidigt snabbare att använda. Kapitlet är så allmänt skrivet att det skall kunna tillämpas på godtyckligt FT-system.

2.2 Brandflöde

När det brinner ökar temperaturen hos den omgivande luften vilket leder till att den utvidgar sig, s.k. termisk expansion. Som exempel kan nämnas att 1 m^3 luft som värms upp från 20°C till 400°C expanderar till 2.3 m^3 . Om detta sker på t.ex. 10 sekunder så medför det en volymsutvidgning på: $(1.3 \text{ m}^3/10 \text{ s}) = 0.13 \text{ m}^3/\text{s}$. Branden alstrar alltså ett visst flöde, ett **brandflöde**. Det är detta flöde, eller snarare den tryckupbyggnad som blir resultatet om brandflödet alstras inuti en byggnad, som orsakar att brandgaser sprids via ventilationssystemet.

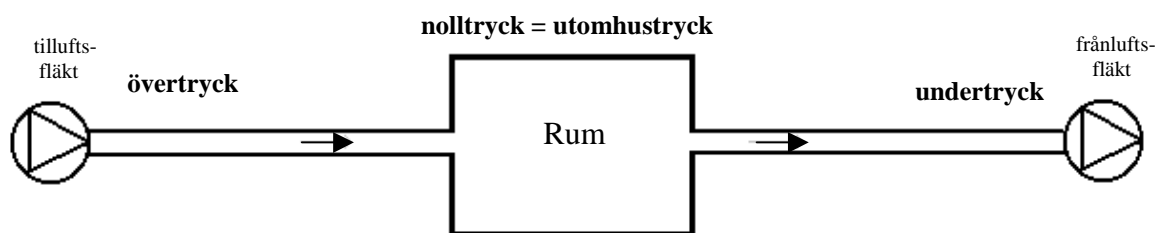
2.3 Hur sprids brandgaser i FT-system?

När en fluid (t.ex. luft) strömmar i ett kanalsystem kommer trycket att variera beroende på var i systemet man mäter. Orsaken till detta är bl.a. att det uppkommer friktion mot kanalens väggar när luften strömmar. Denna friktion orsakar turbulens och därmed ett tryckfall $/l/$, vars storlek bl.a. beror på hur stort luftflödet är samt hur kanalen är utformad i fråga om längd, diameter och tvärsnittets geometri (cirkulärt eller rektangulärt). Även böjar, förgreningar och ändringar i kanalens tvärsnittsarea orsakar tryckfall.

I ett FT-system är trycket som störst precis efter tilluftsfläkten för att sedan successivt sjunka efterhand som kanalsystemet förgrenar sig ut mot de olika rummen i byggnaden. Detta beror på att fläkten skapar en tryckökning som krävs för att generera ett flöde ut i kanalsystemet (**figur 2.1**).

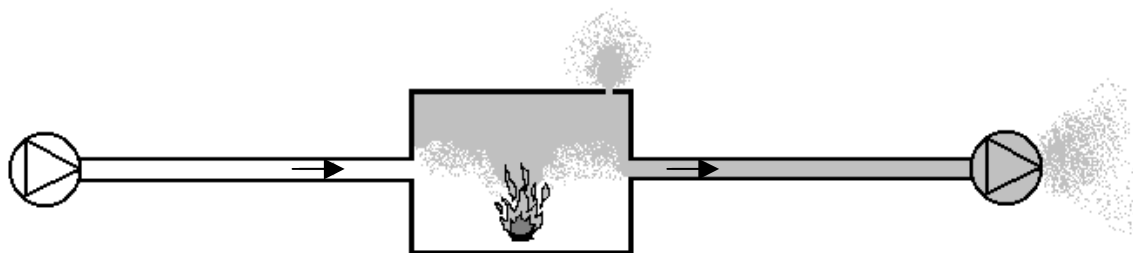
Trycket i rummen är ofta samma som utomhus, dvs inget mätbart över- eller undertryck råder.

Trycket i frånluftskanalen är följaktligen alltid lägre än utomhus och undertrycket är större ju närmare frånluftsfläkten mätningen sker.



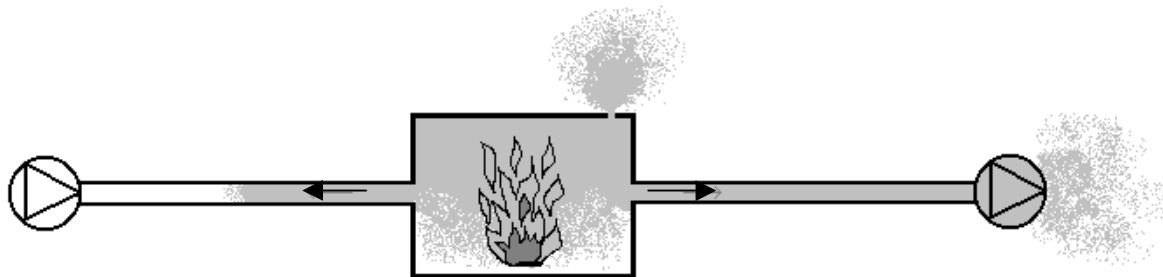
Figur 2.1 Tryckförhållanden i FT-system.

När det brinner i ett rum påverkar det alstrade brandflödet tryck- och flödesförhållandena i ventilationskanalerna. Om branden är liten sugs den största delen av det alstrade brandflödet ut i frånluftskanalen vilket sällan resulterar i brandgasspridning till andra rum. Förutom detta tränger en viss mängd brandgaser ut genom läckageareor i form av små sprickor i konstruktionen och otätheter vid t.ex. fönster och dörrar (figur 2.2).



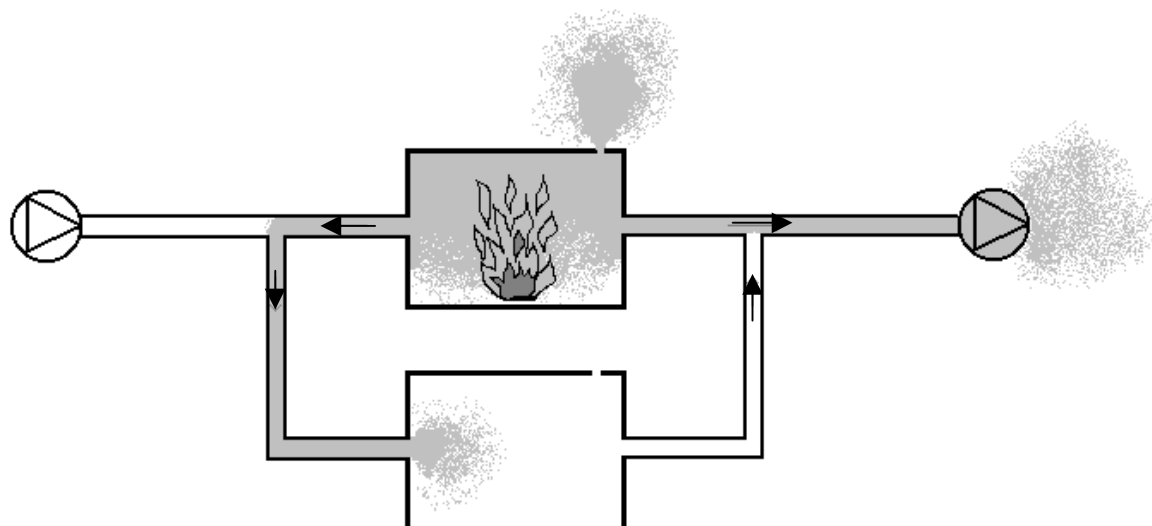
Figur 2.2 Flödesförhållanden vid liten brand.

Skulle branden bli så stor att frånluftskanalen inte kan ta hand om hela brandflödet uppkommer ett större övertryck i rummet. Om detta övertryck i sin tur blir tillräckligt stort klarar tilluftsfläkten helt enkelt inte av att blåsa in luft i rummet och luften i tilluftskanalen står stilla. Detta benämns i rapporten som **gränsfallet** och motsvarande brandflöde som **kritiskt brandflöde**. Om brandflödet och därmed trycket i rummet ökar ytterligare vänder flödet i tilluftskanalen och brandgaser flödar baklänges i tilluftssystemet (figur 2.3).



Figur 2.3 Flödesförhållanden vid stor brand.

I de fall ventilationssystemet bara försörjer ett enda rum har detta mindre betydelse men om flera rum är anslutna till samma system inträffar nu **brandgasspridning via ventilationssystemet (figur 2.4)**.



Figur 2.4 Brandgasspridning via ventilationssystemet.

I FT-system är det alltid via tilluften som brandgaser sprids först. Så snart brandgaserna nått en knutpunkt på tilluftssidan, dvs en punkt där en kanal till ett annat rum grenar av, kommer brandgaser att tryckas in i detta rum. Alla rum som ligger efter brandrummet på tilluftssidan kommer alltså att smittas av brandgaser.

2.4 Beräkningsmodeller för brandgasspridning

Nedan beskrivs två modeller som går ut på att beräkna vilket maximalt brandflöde och därmed vilken maximal brandeffekt som kan förekomma i ett rum utan att brandgaser sprids via ventilationssystemet.

Båda modellerna bygger på samma beräkningsgång men indata till modellerna har olika ursprung. Den första modellen benämns i fortsättningen **PFS-modellen** eftersom indata kommer från datorprogrammet PFS. I den andra modellen, **handberäkningsmodellen**, kommer indata från faktiska mätningar samt från schablonmetoder.

I **kapitel 2.11** presenteras en utförlig beräkningsgång för respektive modell men för att öka förståelsen för de delmoment som ingår ges nedan en beskrivning av tankegången bakom modellerna.

- I första momentet bestäms det maximala brandflöde som ventilationssystemet klarar av utan att sprida brandgaser till andra rum. Detta bygger på att rummet är helt tätt.
- Nästa steg är att ta reda på övertrycket i rummet precis när brandgaser börjar spridas.
- I verkligheten är rum inte helt täta. Med kännedom om rummets läckagearea beräknas det flöde som läcker ut vid den aktuella branden.
- Ovanstående två flöden, dvs maximalt flöde vid helt tätt rum samt läckageflöde, summeras och ger det maximala brandflöde som kan förekomma i rummet utan att brandgaser sprids via ventilationssystemet.
- Brandflödet omvandlas till motsvarande brandeffekt.
- Med kännedom om rummets geometri och brandbelastning görs slutligen en bedömning om denna brandeffekt kan uppstå. Om så är fallet föreligger risk för brandgasspridning.

Nedan beskrivs de delmoment som ingår i beräkningsmodellerna. Efter varje rubrik anges inom parentes i vilken/vilka av modellerna som delmomentet tillämpas.

2.5 Tryck- och flödesberäkningar med datorprogrammet PFS vid brand (PFS-modellen)

I följande avsnitt beskrivs hur man med hjälp av PFS beräknar kritiskt brandflöde vid helt tätt rum, $q_{tät}$, samt övertrycket i rummet vid gränsfallet, Δp .

I de fall man vet vilket över- respektive undertryck fläktarna skapar, och dessutom vet hur kanalsystemet är utformat kan tryckförändringarna längs systemet beräknas. I enklare fall kan dessa beräkningar göras för hand men i händelse av mer komplexa kanalsystem kan man med fördel använda PFS (Program Flow System). Detta är ett datorprogram som kan användas för att beräkna tryckfall och flöden i fluidsysteem, såväl vätske- som gassystem. Flödes- och tryckberäkningar i samband med brand är exempel på ett av programmets tillämpningsområden /9/.

I PFS beskrivs ventilationssystemet grafiskt, dvs det ritas upp på skärmen. Kanallängder och dimensioner preciseras, likaså beskrivs tryckändringar över fläktar, filter och andra komponenter. Även de olika rummen som försörjs av systemet ritas upp.

I PFS beskrivs brandflödet som en fläkt som blåser in luft i rummet. Simuleringen kan sedan beskrivas som att man frågar datorn följande:

- *Hur stort flöde måste fläkten (= branden) blåsa in i rummet för att luften i tilluftskanalen skall vända?*
- *Hur stort är då övertrycket i rummet?*

Utdatan ger således värden på $q_{tät}$ och Δp .

I **appendix B** beskrivs mera ingående det praktiska tillvägagångssättet vid simuleringar i PFS.

2.6 Vilket brandflöde krävs för brandgasspridning? (handberäkningsmodellen)

I följande avsnitt beskrivs en alternativ metod till simuleringar i PFS för att enkelt kunna uppskatta det kritiska brandflödet för helt täta rum, $q_{tät. /6/}$. Metoden är inte exakt men inga komplicerade och tidskrävande uträkningar behövs.

När en gas strömmar i en kanal kommer trycket i kanalen successivt att minska enligt **ekvation 2.1**. Detta beror på att kanalen har ett visst motstånd.

$$\Delta p = R * q^2 \quad (\text{ekvation 2.1})$$

Δp = tryckfallet i kanaldelen [Pa]

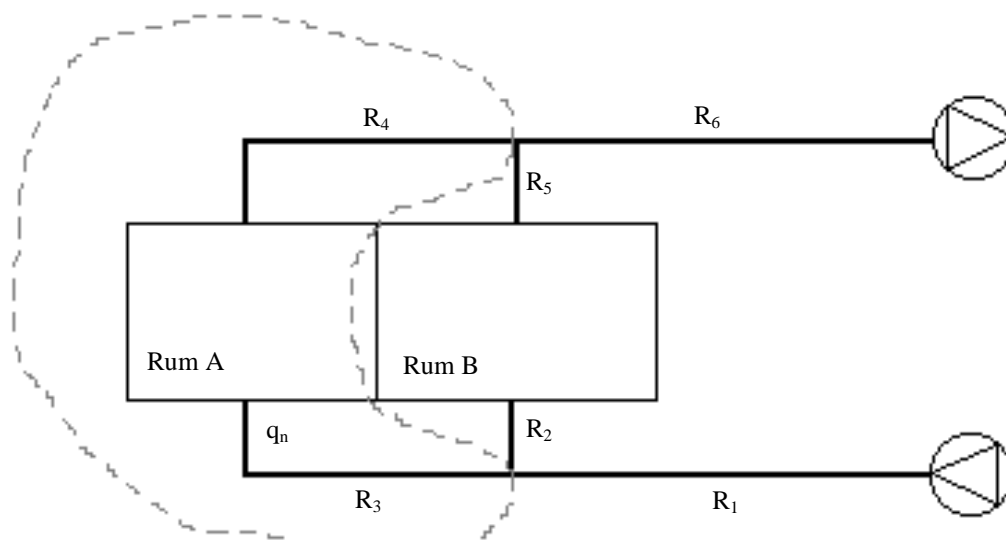
R = motståndet i kanaldelen [$\text{Pa} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^6$]

q = volymflödet [m^3 / s]

Tryckfallet i en kanal sägs vara ett kvadratisk tryckfall eftersom det beror på flödet i kvadrat.

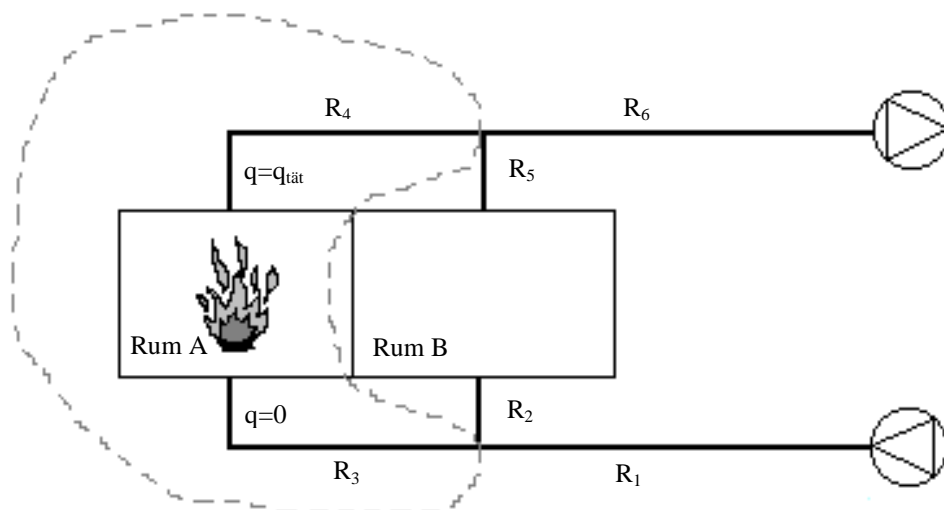
Figur 2.5 beskriver ett FT-system som försörjer två rum, rum A och rum B. $R_1 - R_6$ betecknar motstånden i kanaldelarna och q_n betecknar det normala luftflödet genom rum A.

Vid seriekopplade motstånd är det totala motståndet lika med summan av de ingående motstånd. För den inringade delen av systemet (**figur 2.5**), dvs den del som försörjer rum A, ingår kanaldel 3 och kanaldel 4 och därför blir det totala motståndet $R_3 + R_4$. Tryckfallet för den inringade delen blir alltså $(R_3 + R_4)q_n^2$.



Figur 2.5 FT-system vid normal drift. $R_1 - R_6$ betecknar motstånderna i respektive kanaldel och q_n betecknar det normala tilluftsflödet.

Nu görs antagandet att det brinner i rum A (**figur 2.6**). Den största risken för brandgasspridning är om branden alstrar ett så stort brandflöde att frånluftsdel inte kan ta hand om allt vilket medför att brandgaserna går ut även i tilluftssystemet. När detta sker kommer de snabbt att spridas in till rum B. Precis när gränsfallet nås kommer flödet i kanaldel 3 att vara noll. Så fort trycket ökar ytterligare sker brandgasspridning via tilluftssystemet.



Figur 2.6 Gränsfallet för brandgasspridning via ventilationssystemet.

Det sammanlagda tryckfallet för de kanaldelar som försörjer rum A, dvs kanaldelarna 3 och 4, är lika i **figur 2.5** och **figur 2.6**. Detta tryckfall är, enligt tidigare beskrivning, vid normal drift $(R_3 + R_4)q_n^2$.

I gränsfallet är flödet i tilluftsdelen (kanaldel 3) noll och därmed blir även tryckfallet noll. I frånluftsdel (kanaldel 4) är flödet $q_{tät}$ och tryckfallet blir därmed $R_4q_{tät}^2$.

Tryckfallen i de båda situationerna, dvs vid normal drift och i gränsfallet, antas vara lika. Detta antagande stämmer i de flesta fall väldigt bra, särskilt om ventilationssystemet försörjer många rum.

$$(R_3 + R_4)q_n^2 = R_4q_{tät}^2 \quad \text{(ekvation 2.2)}$$

Ekvationen kan skrivas om som:

$$q_{tät}/q_n = (1 + R_3/R_4)^{0.5} \quad \text{(ekvation 2.3)}$$

Om tryckfallet i tilluftsdelen och frånluftsdel är lika, dvs $R_3 = R_4$, vilket ofta är fallet i praktiken, kan ekvationen skrivas som:

$$q_{tät} = 2^{0.5} q_n \quad \text{(ekvation 2.4)}$$

Detta betyder att man, relativt enkelt, i många fall kan uppskatta vilket brandflöde som krävs för att brandgasspridning ska ske. Det bör dock observeras att tillufts- och frånluftskanalerna måste vara konstruerade på ungefär samma sätt för att detta skall gälla. Denna uppskattning förutsätter helt täta rum, något som sällan förekommer i verkligheten. I de fortsatta beräkningarna kompenseras därför för läckage.

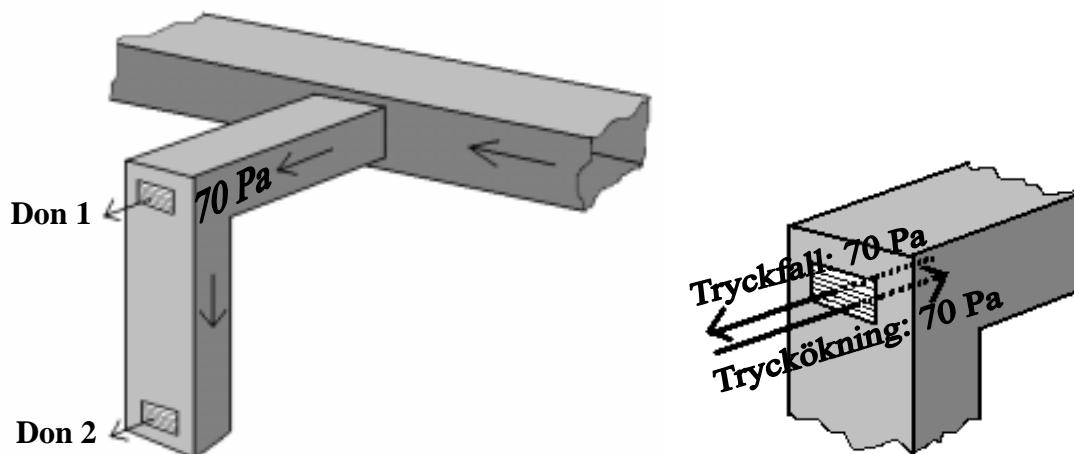
2.7 Tryckmätning (handberäkningsmodellen)

I PFS-modellen erhålls övertrycket i brandrummet vid gränsfallet genom simulering. I handberäkningsmodellen kan detta tryck inte beräknas. Här tillämpas istället antingen en approximativ eller en "exakt" metod för att ta reda på övertrycket, Δp /5/. Den approximativa metoden har fördelen att det normala ventilationsflödet inte påverkas vid mätningen medan den exakta metoden har fördelen att den, bortsett från rena mätfel, ger exakt det tryck som råder vid gränsfallet. Vid den exakta tryckmätningen kommer det normala ventilationsflödet att påverkas under en kort stund vilket i de flesta fall inte har någon betydelse. Dock kan det förekomma fall där detta är olämpligt.

2.7.1 Approximativ tryckmätning

Metoden är approximativ i den bemärkelsen att ingen hänsyn tas till att luft omfördelas mellan de olika rummen vid en brand och att därmed tryckförhållandena i ventilationskanalerna ändras något.

Figur 2.7 föreställer en bit av ett tilluftssystem. Den grova kanaldelen är en huvudkanal medan den mindre kanaldelen är en förgrening från huvudkanalen. Förgreningen är försedd med två don som antas försörja två olika rum med tilluft, rum 1 och rum 2 (rum 2 ligger en våning under rum 1). Övertrycket i systemet har mätts precis innanför don 1 där det visar sig vara 70 Pa. De båda rummen har nolltryck.

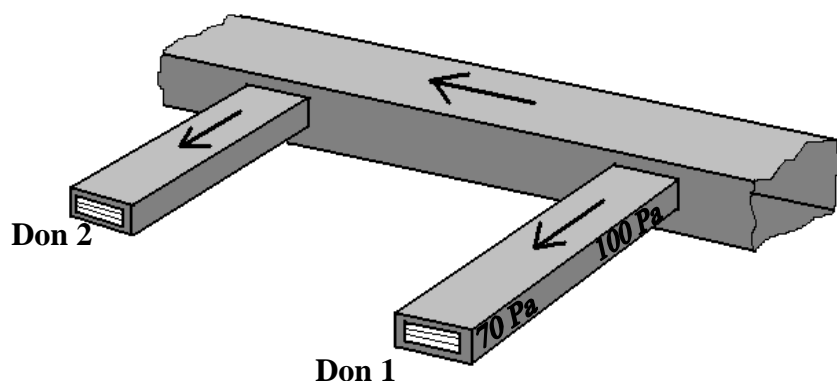


Figur 2.7 Exempel på tryckförhållanden i del av tilluftskanal.

Nu görs antagandet att det brinner i rum 1 och att branden skapar ett övertryck i detta rum. Farhågor finns att brandgaser kommer att tryckas in i kanalen och spridas vidare till rum 2.

En gas strömmar alltid från ett högre tryck till ett lägre och så länge övertrycket i rummet inte uppgår till 70 Pa kommer således luft att strömma ut från donet. Blir övertrycket i rummet högre än 70 Pa kommer istället brandgaser att spridas in genom don 1 och vidare till rum 2. Genom att mäta trycket innanför donet vid normalt luftflöde kan man alltså ta reda på övertrycket i rummet vid gränsfallet.

Figur 2.8 föreställer ett annat fall. Även här antas don 1 försörja rum 1 och don 2 försörja rum 2. I normalfallet antas trycket precis innanför don 1 vara 70 Pa och trycket i knutpunkten mellan huvudkanalen och förgreningen 100 Pa. Här är det senare trycket, dvs trycket i knutpunkten mellan huvudkanalen och förgreningen som skall mätas eftersom det är detta tryck som måste övervinnas i brandfallet för att brandgasspridning skall ske.



Figur 2.8 Exempel på tryckförhållanden i del av tilluftskanal.

Handberäkningsmodellen bygger alltså på att övertrycket i tilluftskanalen vid normalfallet mäts. Som exemplen visar är det viktigt att trycket mäts på rätt ställe i kanalen och detta kräver förståelse för resonemanget ovan.

2.7.2 Exakt tryckmätning

En mätning ger inte exakta resultat eftersom visst mätfel alltid uppkommer. Denna metod kallas ändå exakt eftersom inga approximationer eller antaganden görs utan resultatet visar det tryck som verkligen uppkommer vid brandfallet.

Istället för att som i den ovan beskrivna metoden mäta kanaltrycket vid normal drift täcker man här för det aktuella donet. Detta kan göras mycket enkelt genom att t.ex. tejpa en skiva för donet under själva mätningen. Detta motsvarar gränsfallet vid brand, dvs ingen luft kan längre strömma ut genom donet. I kanaler som liknar kanalsystemet i **figur 2.7** mäts trycket, liksom ovan, precis innanför det aktuella donet. I kanaler som liknar fallet i **figur 2.8** behöver trycket dock inte mätas just i knutpunkten mellan huvudkanal och förgrening utan kan mätas var som helst i förgreningen. Eftersom det inte lägre finns något flöde i kanaldelen kommer inte heller trycket att förändras utan trycket är lika i hela kanaldelen.

2.8 Beräkning av läckageareor (PFS-modellen, handberäkningsmodellen)

2.8.1 Allmänt

Vid en brand bestäms flödet av gaser av de aktuella tryckskillnaderna. När temperaturen stiger strävar luften efter att utvidga sig. Denna s.k. termiska expansion hindras dock till viss del av omslutande konstruktioner vilket resulterar i en tryckupbyggnad i rummet.

I de flesta byggnader förekommer otätheter som tillsammans med tryckskillnaden ovan ger upphov till läckage av gaser mellan olika rum. Arean på otätheterna brukar därför benämnas läckageareor, $A_{läck}$. Storleken på ett visst rums läckagearea varierar beroende på bl.a. byggnadstyp, antal dörrar och fönster samt utformningen av ventilationssystemet.

Mätningar har gjorts i Kanada /12/ i syfte att bestämma läckagearean i förhållande till väggarean för byggnader med olika täthet. Resultaten av mätningarna kan ge en bra vägledning för att kontrollera överensstämmelsen med de resultat som erhöles vid mätningar av läckageareor i aktuellt rum på Ringhals (**kapitel 2.8.2**).

Typiska resultat vid de kanadensiska mätningarna för ”täta” och ”normaltäta” byggnader var läckageareor som varierade mellan 0.1 och 0.4 promille av väggarean och ca. 0.05 promille av golvarean.

2.8.2 Läckageareor på Ringhals

För att de läckageareor som används i modellerna skall stämma överens med aktuell byggnadstyp har försök utförts på Ringhals (se **kapitel 5**). I försöken beräknades läckagearean i ett av rummen (3 E 3-03) på följande sätt:

- Trycket i rummet ökades med hjälp av en fläkt till 90 Pa övertryck (**kapitel 5**), vilket motsvarar gränsvärdet för brandgasspridning, varefter hastigheten på luftflödet ut genom läckagearean beräknades ur sambandet /1/:

$$v_{läck} = (2\Delta p / \rho)^{0.5} \quad (\text{ekvation 2.5})$$

$$v_{läck} = \text{lufthastigheten [m/s]}$$

$$\Delta p = \text{tryckskillnaden [Pa]}$$

$$\rho = \text{luftens densitet [kg/m}^3\text{]}$$

$$\text{Insättning av värden ger: } v_{läck} = (2 \cdot 90 / 1.2)^{0.5} = 12.2 \text{ m/s}$$

- För att brandgasspridning skall ske (**kapitel 2.6**) krävs att branden alstrar ett volymflöde ($q_{läck}$) som är $2^{0.5} \cdot \text{normala tilluftsflödet}$, i det här fallet $2^{0.5} \cdot 97 \text{ l/s} = 137 \text{ l/s}$.
- Vid försöket krävdes 425 l/s för att vända tilluften. Av detta kan man dra slutsatsen att $(425 - 137) \text{ l/s} = 288 \text{ l/s} = 0.288 \text{ m}^3/\text{s}$ läcker ut genom otätheter.
- Eftersom hastigheten räknats ut kan man nu beräkna läckagearean enligt följande:

$$A_{läck} = q_{läck} / (C_d \cdot v_{läck}) \quad (\text{ekvation 2.6})$$

$$A_{läck} = \text{rummets läckagearea [m}^2\text{]}$$

$$q_{läck} = \text{volymflödet [m}^3\text{/s]}$$

$$C_d = \text{flödeskoefficient (0.65) [-]} \quad /12/$$

$A_{\text{läck}} = (0.288 \text{ m}^3/\text{s}) / (0.65 * 12.2 \text{ m/s}) = 0.035 \text{ m}^2$. Läckagearean exklusive dörrar (se **kapitel 5**) är således 0.035 m^2 i det aktuella rummet vilket motsvarar 0.15 promille av rummets totala omslutningsarea. Det bör påpekas att den aktuella byggnaden består av betong och att den därför kan anses som väldigt tät i jämförelse med andra byggnader.

Eftersom läckaget kan finnas i väggar, golv eller tak måste man här räkna på total omslutningsarea. En jämförelse med de kanadensiska försöken visar att de uppmätta läckageareorna ligger i rätt storleksordning.

- Rum 3 E 3-03 har två dubbeldörrar som vid försöken var igentejpade eftersom fläkten inte kunde ge så stort flöde att den kompenserade för detta läckage. Dörrarnas otätheter uppskattades till 1 mm runtom samt 1 mm mellan dörrarna. Storleken på en dubbeldörr är ca $2 * 2 \text{ m}$ vilket ger en läckagearea på 0.01 m^2 . Detta skall alltså adderas till rummets övriga läckage vilket innebär att rum 3 E 3-03 alltså har en total läckagearea på $(0.035 + 0.01 + 0.01) = 0.055 \text{ m}^2$.

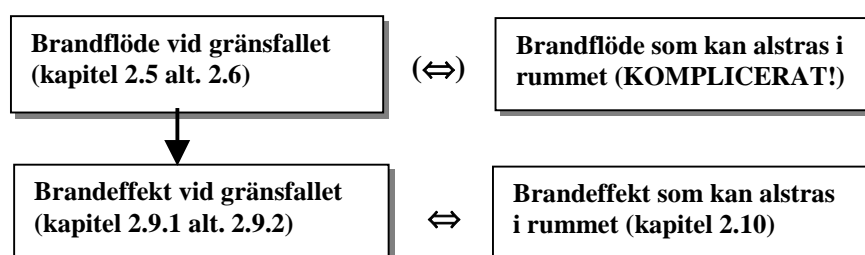
De läckageareor som uppmätts kommer att användas i de fortsatta beräkningarna. Ett rums läckagearea beräknas alltså som 0.15 promille av rummets totala omslutningsarea adderat med ytan av 1 millimeters springa runt varje dörr.

2.9 Omräkning av brandflöde till brandeffekt (PFS-modellen, handberäkningsmodellen)

Simuleringarna i PFS (**kapitel 2.5 och appendix B**), alternativt beräkningarna i den förenklade metoden (**kapitel 2.6**), visar hur stort brandflöde som krävs i varje rum för att brandgasspridning via ventilationssystemet skall ske. I beräkningarna undersöks värsta fallet, dvs när brandflödet är maximalt, vilket inträffar samtidigt som effektutvecklingen når sitt högsta värde.

Storleken på det alstrade brandflödet beror på en mängd faktorer, såsom brandrummets storlek och geometri, material i omslutande konstruktioner samt bränslets typ, geometri och placering.

Att ta hänsyn till samtliga ovanstående faktorer för att kunna beräkna vilket brandflöde som kan uppkomma i ett rum skulle vara både komplicerat och tidskrävande. Istället blir nästa steg att räkna ut brandeffekten i gränsfallet. Denna jämförs sedan med den effekt som bedöms kunna uppkomma i brandrummet (**kapitel 2.10**), varvid den senare måste vara lägre för att brandgasspridning skall kunna undvikas. Ovanstående resonemang åskådliggörs i **figur 2.9**.



Figur 2.9 Metod för bedömning av risk för brandgasspridning.

2.9.1 Huvudmetod

I det följande används en helt ny metod från rapporten ”*Spread of Smoke and Fire Gases via the Ventilation System*” /5/. Ekvationerna, som har framtagits genom simuleringar i datorprogrammet CFAST, är mycket enkla och innebär att brandflödet divideras med det s.k. *k-värdet*, som beror på rumsvolymer enligt nedan, för att erhålla motsvarande brandeffekt:

$$\text{Rumsvolym} < 100 \text{ m}^3: \quad Q_{\text{brand}} = q_{\text{brand}} / 1.0 \quad (\text{ekvation 2.7})$$

$$\text{Rumsvolym } 100 - 250 \text{ m}^3: \quad Q_{\text{brand}} = q_{\text{brand}} / 1.6 \quad (\text{ekvation 2.8})$$

$$Q_{\text{brand}} = \text{brandeffekten [MW]}$$

$$q_{\text{brand}} = \text{brandflödet [m}^3/\text{s]}$$

Ekvationerna gäller som synes endast för rumsvolymer upp till 250 m³. För att metoden skall vara användbar även i större rum görs följande *antagande*:

$$\text{Rumsvolym} > 250 \text{ m}^3: \quad Q_{\text{brand}} = q_{\text{brand}} / 2.0 \quad (\text{ekvation 2.9})$$

2.9.2 Alternativ metod

Metoden i föregående avsnitt är relativt ny och oprövad. En jämförelse av resultaten kan därför göras genom denna alternativa metod som bygger på **ekvation 2.10** /10/:

$$Q_{\text{brand}} = m_{\text{gas}} * c_p * T_{\text{gas}} \quad (\text{ekvation 2.10})$$

$$Q_{\text{brand}} = \text{brandeffekten [kW]}$$

$$m_{\text{gas}} = \text{massa gas som strömmar ut ur rummet [kg/s]}$$

$$c_p = \text{värmekapacitiveteten [kJ/kg*K]}$$

$$T_{\text{gas}} = \text{temperaturen hos utströmmande gas [K]}$$

Här förutsätts att trycket har uppnått sitt maximala värde och är konstant, dvs tryckökningen till följd av uppvärmning och tryckminskning till följd av utströmmande gas tar ut varandra.

Den energimängd som tillförs gaserna per tidsenhet, Q_{brand} , försvinner också ut ur rummet på samma tid i form av uppvärmda gaser, $m_{\text{gas}} * c_p * T_{\text{gas}}$.

Värmeförlusterna till omslutande konstruktioner försummas alltså, något som ej låter sig göras i verkligheten. Det framräknade värdet på Q_{brand} kommer således att vara på säkra sidan eftersom den effekt som värmer upp omslutande konstruktioner inte bidrar till den termiska expansion som orsakar brandgasspridning.

2.10 Uppskattning av maximal brandeffekt

Den beräknade effektutvecklingen i gränsfallet (**kapitel 2.9**) jämförs nu med den effekt som kan alstras i det aktuella rummet. För att kunna uppskatta den senare krävs en approximativ metod som t.ex. bygger på resultat från relevanta fullskaleförsök.

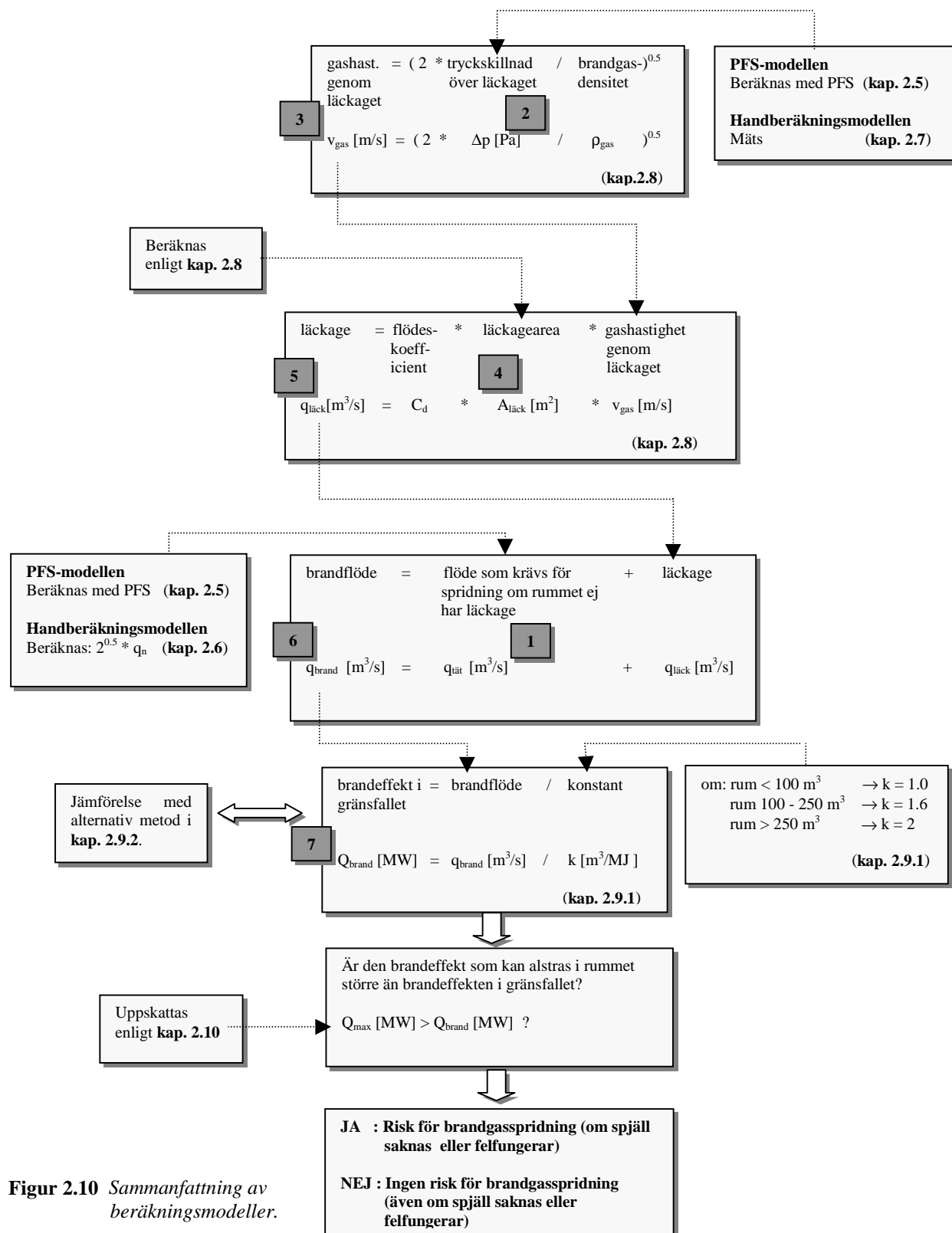
Detta innebär att man för det rum man vill undersöka först måste ta reda på mängd och typ av det brännbara materialet, t.ex. brandfarliga vätskor, träinredning eller elkablar.

Den maximala brandeffekten i ett rum kan trots detta vara svår att precisera eftersom den beror på ett flertal faktorer som inte alltid går att ta hänsyn till i fullskaleförsök (t.ex. komplicerade rumsgeometrier, syretillgång och värmeförluster). Det är dock inte tänkt att man vid bedömningen av maximal brandeffekt skall ta fram några exakta siffror utan det räcker oftast att uppskatta storleksordningen (1MW?, 5MW?, 10MW?) för att kunna göra en jämförelse med brandeffekten i gränsfallet.

2.11 Sammanfattning av beräkningsmodeller

Nedan beskrivs den beräkningsgång som används i de båda modellerna. Numreringen

1 - **7** hänvisar till **kapitel 3** där modellerna tillämpas på Ringhals.



Figur 2.10 Sammanfattning av beräkningsmodeller.

3 TILLÄMPNING AV BERÄKNINGSMODELLER

3.1 Introduktion

Beräkningsmodellerna som beskrivs i **kapitel 2** tillämpas i följande kapitel på ett av totalt 21 olika ventilationssystem i elbyggnaden vid Ringhals 3. Det utvalda systemet försörjs av tilluftsfläktarna *SBSF-01/02* samt frånluftsfläktarna *SBEF-01/02*.

Anledningen till att detta system valts ut är att det försörjer ett flertal rum av varierande storlek och utformning, vilket ger större möjlighet att testa modellernas giltighet. Totalt försörjer systemet tretton olika rum och på åtta av dessa har modellerna testats.

Tre rum (3 E 2-08, 3 E 2-01 och 3 E 01-05) har valts bort p.g.a. komplicerade rumsgeometrier samt att de är inbördes sammankopplade. Ytterligare två rum (3 E 3-08 och 3 E 3-09) har valts bort eftersom de har separata frånluftsfläktar. De stora osäkerheterna gör att modellerna anses mindre användbara i dessa rum.

3.2 Resultat

Tabell 3.1 visar allmänna data för de undersökta rummen. Beräkningar av k-värdet redovisas i **kapitel 2.9.1** och läckageareorna i **kapitel 2.8.2**. Brandgastemperaturen antas vara 400°C vilket ger en brandgastensitet på 0.52 kg/m³.

Rum nr.	Rums- volym	k-värde	Omslut- ningsarea	Läckage- area rum	Antal dörrar	Läckagearea dörrar	Total läckage- area	Normalt tilluftsflöde	Brandgas- temp.
	V_{rum} [m ³]		A_{rum} [m ²]	$A_{\text{läck,rum}}$ [m ²]	enkla + dubbla	$A_{\text{läck,dörr}}$ [m ²]	$A_{\text{läck}}$ [m ²]	q_n [m ³ /s]	T_{gas} [°C]
3 E 2-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 E 01-07	825	2	766	0.115	1+1	0.016	0.131	1.11	400
3 E 3-05	231	1.6	262	0.039	0+2	0.020	0.059	0.83	400
3 E 3-17	896	2	736	0.110	1+1	0.016	0.126	5.00	400
3 E 3-16	144	1.6	192	0.029	2+1	0.022	0.051	0.56	400
3 E 3-04	663	2	302	0.045	1+1	0.016	0.061	3.47	400
3 E 01-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 E 3-03	198	1.6	234	0.035	0+2	0.020	0.055	0.10	400
3 E 2-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 E 3-02	726	2	682	0.102	0+2	0.020	0.122	1.32	400
3 E 3-01	774	2	1302	0.195	3+19	0.208	0.403	0.57	400
3 E 3-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 E 3-09	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabell 3.1 Data för de undersökta rummen samt uppskattad brandgastemperatur vid gränsfallet.

De åtta rum där modellerna ansetts tillämpliga har alla testats med PFS-modellen. Ett av rummen, 3 E 3-03, har även testats med handberäkningsmodellen. Anledningen till att endast ett rum testats med denna modell är att den kräver tryckmätningar på plats och sådana har endast gjorts i detta rum.

I **tabell 3.2** redovisas beräkningarna. Numreringen **1** - **7** hänvisar till motsvarande numrering i **kapitel 2.11** och är till för att det skall vara lättare att följa beräkningarna.

Rum nr.	Flöde som krävs för spridning om rummet ej har läckage	Övertryck i gränsfallet	Gas-hastighet genom läckaget	Total läckagearea	Läckageflöde	Brandflöde i gränsfallet	Brandeffekt i gränsfallet
	$Q_{\text{tät}}$	Δp	v_{gas}	$A_{\text{läck}}$	$Q_{\text{läck}}$	Q_{brand}	Q_{brand}
	[m ³ /s]	[Pa]	[m/s]	[m ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[MW]
	1	2	3	4	5	6	7
3 E 2-08	-	-	-	-	-	-	-
3 E 01-07	1.37	205	28.1	0.131	2.39	3.76	1.88
3 E 3-05	0.96	169	25.5	0.059	0.98	1.94	1.21
3 E 3-17	7.34	405	39.5	0.126	3.24	10.58	5.29
3 E 3-16	0.73	160	24.8	0.051	0.82	1.55	0.97
3 E 3-04	4.77	329	35.6	0.061	1.41	6.18	3.09
3 E 01-05	-	-	-	-	-	-	-
3 E 3-03	0.15	81	17.7	0.055	0.63	0.78	0.49
1)	0.14	70	16.4	0.055	0.59	0.73	0.46
3 E 2-01	-	-	-	-	-	-	-
3 E 3-02	1.68	184	26.6	0.122	2.11	3.79	1.90
3 E 3-01 2)	0.61	140	23.2	0.403	6.08	6.69	3.35
	1.25	257	31.4	0.403	8.23	9.48	4.47
3 E 3-08	-	-	-	-	-	-	-
3 E 3-09	-	-	-	-	-	-	-

Tabell 3.2 Beräkningar enligt PFS-modellen för de undersökta rummen på Ringhals. För rum 3 E 3-03 har även handberäkningsmodellen använts.

1) beräknat enligt handberäkningsmodellen

2) vid det lägre flödet sker brandgasspridning till enbart rum 3 E 3-02 medan det vid det högre sker brandgasspridning till ett stort antal rum

För de utvalda rummen har brandeffekterna i **tabell 3.2**, där huvudmetoden för omräkning av brandflöde till brandeffekt (**kapitel 2.9.1**) använts, jämförts med motsvarande effekter, beräknade med den alternativa metoden (**kapitel 2.9.2**).

Jämförelsen redovisas i **diagram 3.1** och visar att brandeffekten i gränsfallet beräknad med den alternativa metoden för samtliga rum är lägre än motsvarande brandeffekt beräknad med huvudmetoden.

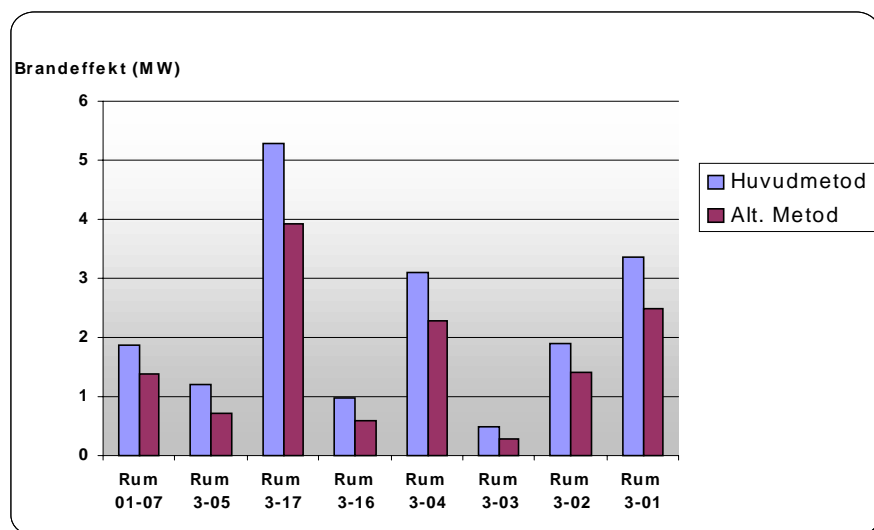


Diagram 3.1 Jämförelse mellan två metoder för beräkning av brandeffekten i gränsfallet.

För rum 3 E 3-03 har jämförelser gjorts mellan PFS-modellen, handberäkningsmodellen och fullskaleförsök. Resultatet redovisas i **diagram 3.2**. I fullskaleförsöket fanns ingen läckagearea vid dörrar (igentjejpade) och läckageflödet genom dessa har därför beräknats enligt **kapitel 2.8.2** och adderats till det uppmätta värdet. I **diagram 3.2** är detta läckage inräknat.

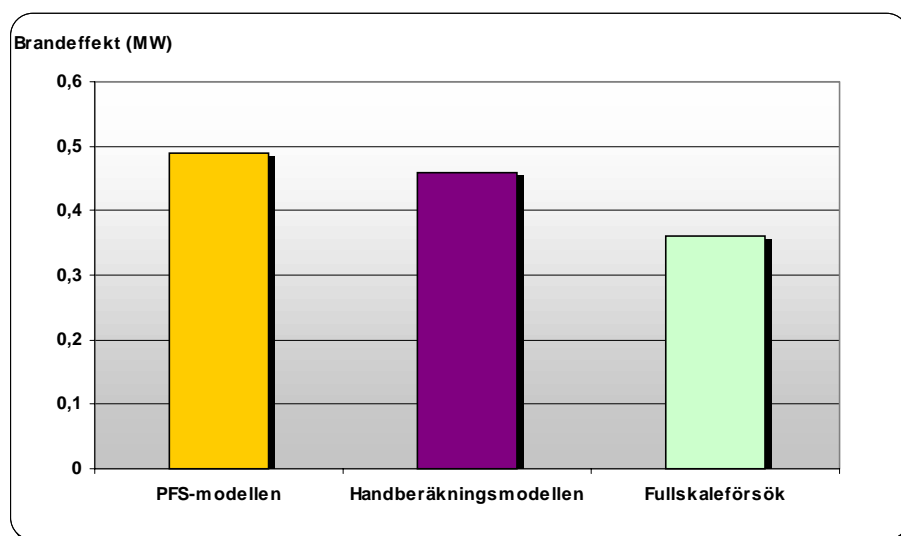


Diagram 3.2 Jämförelse mellan tre olika metoder att uppskatta brandeffekten i gränsfallet för rum 3 E 3-03.

Vid tryckmätning i handberäkningmodellen tas ingen hänsyn till de ändrade tryckförhållanden som uppkommer i brandfallet. Vid PFS-simuleringarna tas sådan hänsyn och det i PFS beräknade trycket ligger därför något närmare det verkliga trycket. Detta leder till att handberäkningsmodellen ger ett något lägre värde på brandeffekten i gränsfallet, vilket är önskvärt eftersom man då hamnar närmare värdet från fullskaleförsöket.

3.3 Känslighetsanalys

I de ovan redovisade beräkningarna finns stora osäkerheter, bl.a. i själva modellerna eftersom verkligheten ofta är mer komplex än vad dessa kan ta hänsyn till. Osäkerheter finns även i de indata som används i modellerna. Dessa indata bygger i vissa fall ($q_{tät}$ och Δp) på schablonmetoder. I andra fall bygger de på resultat från fullskaleförsök ($A_{läck}$), eller på antaganden (T_{gas}). För att kontrollera hur stor betydelse för det slutgiltiga resultatet, som variationer i dessa parametrar har, görs här en s.k. känslighetsanalys.

En känslighetsanalys betyder att man låter de olika parametrarna variera mellan vissa bestämda värden. Endast en parameter i taget varieras.

I den känslighetsanalys som görs här får parametrarna variera mellan 50% och 150 % av sitt ursprungliga värde. Resultatet av beräkningarna, dvs Q_{brand} , jämförs sedan för att ge en känsla för hur stor betydelse varje enskild parameter har för slutresultatet.

Känslighetsanalysen har gjorts för rum 3 E 3-03 och bygger på handberäkningsmodellen. Resultaten redovisas i **diagram 3.3**. Temperaturen har varierats mellan 200 °C och 600 °C (dvs ej i K).

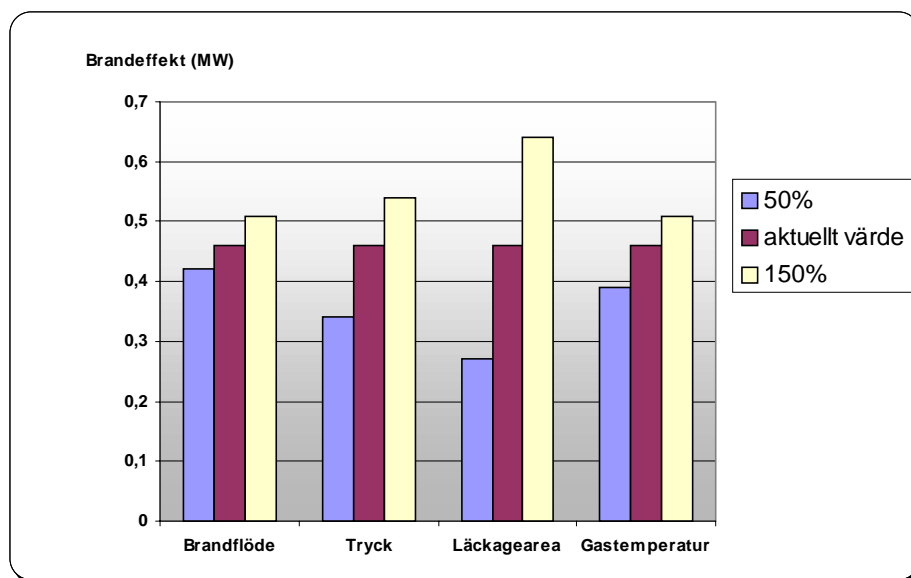


Diagram 3.3 Känslighetsanalys av olika parametrars betydelse för brandeffekten i gränsfallet.

Som synes är det storleken på läckagearean som är mest utslagsgivande för brandeffekten i gränsfallet. Beträffande de övriga parametrarna kan effekten däremot sägas vara relativt okänslig för förändringar.

3.4 Brandrisker i elbyggnaden

Vid ett kärnkraftverk skiljer sig förekomsten av brännbara ämnen i viss mån från övriga industri typer /13/. Exempel på brännbara ämnen som utgör en potentiell risk vid kärnkraftverk är motorbrännolja till reservkraftaggregat, hydraulolja, vätgas för generatorernas rotorkylning, aktivt kol i filter samt PVC i elkablar.

Eftersom beräkningsmodellerna tillämpas på elbyggnaden vid Ringhals 3 fokuseras i detta avsnitt på de risker som är specifika för just elbyggnader vid kärnkraftverk.

Av ovanstående är det elkablarna som bedöms utgöra den huvudsakliga risken för brand och skador till följd av brand. Detta p.g.a. dels den stora mängden kablar som förekommer och dels de korrosiva gaser (främst HCl) som brand i PVC-kablar ger upphov till. Dessa gaser kan ge omfattande skador på viktig elektrisk utrustning.

I **tabell 3.3** presenteras vad som händer med PVC-kablar vid olika temperaturer /13/ :

<u>Temperatur (°C)</u>	<u>Konsekvens</u>
80	Mjukning börjar
100	HCl börjar avgå
160	50 % av HCl har avgått
210	Smältning börjar

Tabell 3.3 Konsekvenser av värmepåverkan på PVC-kablar.

Det krävs som synes inte särskilt höga temperaturer för att materialet i elkablarna skall ändra karaktär och därmed generera skador på omgivningen.

3.5 Bedömning av risk för brandgasspridning

Då de studerade rummens huvudsakliga innehåll är elutrustning och kablar antas här att det är plasterna PE/PVC (polyeten, polyvinylklorid) som brinner. Effektutvecklingen för PE/PVC-bränder är 0.186 MW/m^2 /11/.

Den tidigare bestämda brandeffekten vid gränsfallet, Q_{brand} , har i **tabell 3.3** räknats om till motsvarande yta PE/PVC-brand. Risken att denna yta samtidigt skall kunna brinna i det aktuella rummet, dvs risken för brandgasspridning, har sedan bedömts enligt skalan; *stor*, *medelstor* och *liten*.

Bedömningen har gjorts med kännedom om rummets storlek och huvudsakliga innehåll som grund (**tabell 3.3**) /16/. I ett stort rum antas att branden kan växa sig större innan den blir ventilationskontrollerad, dvs begränsad av syretillgången, än den kan göra i ett litet rum. Att en viss brandeffekt skall uppkomma i ett stort rum antas därför som mera troligt än att samma brandeffekt skall uppkomma i ett litet rum. Ingen hänsyn har tagits till inverkan av eventuell sprinkleranläggning.

Rum	Funktion	Golv- yta [m ²]	Brandbelastning	Brandeffekt i gränsfallet Q _{brand} [MW]	Motsvarande yta PE/PVC- brand [m ²]	Risk för brand- gasspridning
3 E 2-08	Kabelrum B	-	-	-	-	-
3 E 01-07	Kabelrum B	275	Kabelstegar	1.88	10.1	<i>Stor</i>
3 E 3-05	Säk. vakt B 6.6 kV	77	Elskåp, kablar	1.21	6.5	<i>Medelstor</i>
3 E 3-17	Säk. vakt B, 500 V	224	Kablar, skåp, papper, plast	5.29	28.4	<i>Liten</i>
3 E 3-16	Ställverk, belysn.B	36	Elskåp, kablar	0.97	5.2	<i>Medelstor</i>
3 E 3-04	Ställverk B, 500 V	91	Elskåp, kablar	3.09	16.6	<i>Medelstor</i>
3 E 01-05	Kabelrum B	-	-	-	-	-
3 E 3-03	Elutrustning	66	Batterier, elskåp, kablar, skräp	0.49	2.6	<i>Stor</i>
3 E 2-01	Kabelrum B	-	-	-	-	-
3 E 3-02	Ställverk B, 6.6 kV	242	Kabelskåp, kablar	1.90	10.2	<i>Stor</i>
3 E 3-01	Korridor	258	Liten brandbelastning	3.35	18.0	<i>Liten</i>
3 E 3-08	Kylrum A	-	-	-	-	-
3 E 3-09	Kylrum B	-	-	-	-	-

Tabell 3.3 Bedömning av risk för brandgasspridning.

4 GENOMGÅNG AV STYRFUNKTIONER PÅ RINGHALS

4.1 Introduktion

Brandgasspridning via ventilationssystemet kan förhindras på ett flertal olika sätt, och som visats i **kapitel 3** är det ofta nödvändigt. Skyddet kan utgöras av t.ex. spjäll, rökluckor eller fläktar i drift. På Ringhals tillämpas alla dessa alternativ på olika ställen och ibland kombineras de. I **kapitel 4.2** görs därför en genomgång av dessa skyddsåtgärder och när de är tillämpliga.

Precis som i de flesta stora byggnader är detektorerna i elbyggnaden uppdelade i brandlarmssektioner. Spjällen är kopplade till detektorerna och beroende på vilken brandlarmssektion som löser ut öppnas och stängs olika spjäll. Kompletta styrschema för det undersökta ventilationssystemet redovisas i **appendix C**.

En ombyggnad av brandlarmssektionerna är genomförd och denna ger större möjlighet till en differentierad styrning av spjällen. I **kapitel 4.3** görs således en genomgång av hur spjällen i det tidigare beskrivna ventilationssystemet styrs beroende på i vilket rum det brinner. Detta görs för att hitta eventuella förslag på förbättringar i styrningen.

Genomgången görs så att styrningen vid brand diskuteras för respektive brandlarmssektion. Här tas hänsyn till såväl brandgasspridning mellan olika brandceller som mellan olika rum inom samma brandcell. Det senare eftersom de olika rummen inom samma brandcell i vissa fall är brandtekniskt avskilda och det är därför önskvärt att även hindra brandgasspridning via ventilationssystemet.

Det bör påpekas att samtliga bedömningar i **kapitel 4.3** är gjorda med antagandet att komponenterna fungerar som de skall. Skulle t.ex. ett spjäll inte fungera vid en brand så blir brandgasspridningen troligen betydligt mer omfattande i många fall.

Vid en brand är det viktigt att man kan lita på funktionen hos de brandskyddskomponenter (rökluckor, brandspjäll, rökdetektorer etc.) som finns i byggnaden. Felfungerande komponenter kan nämligen orsaka stora problem om de inte lokaliseras och därefter repareras alternativt byts ut efterhand.

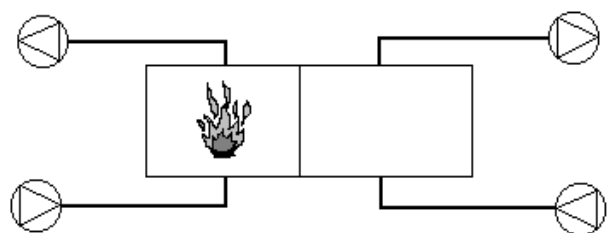
På Ringhals testas och bokförs varje år funktionen hos ett stort antal brandskyddskomponenter vilket medför att felfrekvensen för respektive komponent kan beräknas. I **kapitel 4.4** redovisas en kort sammanställning av felfrekvenser för några olika typer av brandskyddskomponenter på Ringhals.

4.2 Skydd mot brandgasspridning via ventilationssystem

Det finns i dagsläget flera olika alternativ för att förhindra brandgasspridning via ventilationssystem. Nedan presenteras några av de alternativ som är aktuella för Ringhals, antingen för att de redan förekommer eller för att de är tänkbara i framtiden.

4.2.1 Separata ventilationssystem

Det säkraste sättet att undvika brandgasspridning mellan brandceller via ventilationssystem är att ha **separata ventilationssystem** för varje brandcell (**figur 4.1**). I elbyggnaden på Ringhals 3 tillämpas denna lösning på bl.a. datorrum, relärum samt batteri- och likriktarrum.

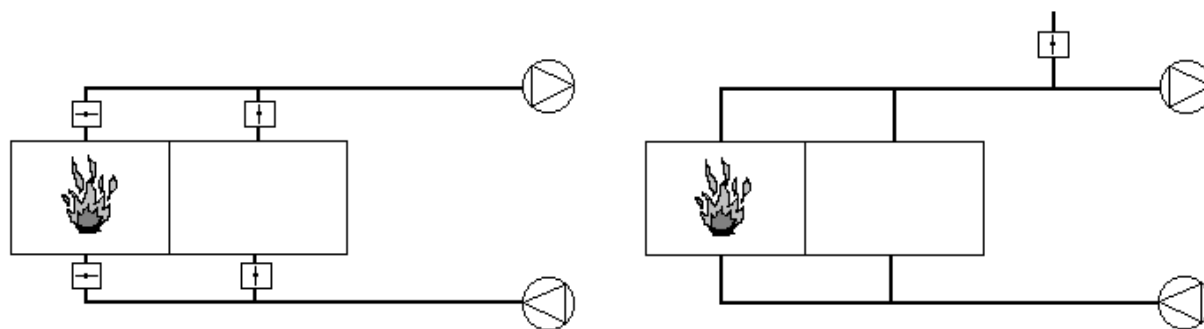


Figur 4.1 Separata ventilationssystem för varje brandcell.

I praktiken är det inte alltid genomförbart att samtliga brandceller har eget ventilationssystem eftersom det då skulle krävas ett orimligt stort antal fläktaggregat och fläktrum. Därför ansluter man ofta två eller flera brandceller till samma ventilationssystem vilket medför att skyddet mot brandgasspridning måste lösas på annat sätt. Så är bl.a. fallet för det ventilationssystem som undersökts tidigare i rapporten.

4.2.2 Spjäll

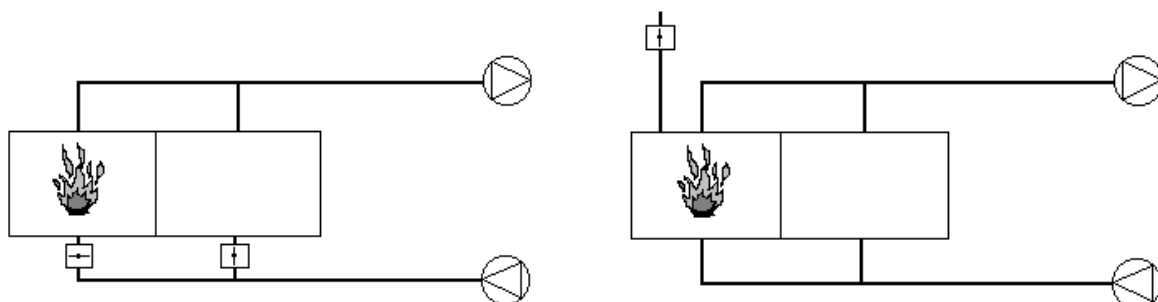
Ett alternativ är att använda **spjäll** (**appendix A.3**). Spjällen kan antingen sitta i ventilationskanalen mellan två brandceller (**figur 4.2**) eller som förbigång för att slippa motståndet i frånluftsfläkten och dess kanaler (**figur 4.3**).



Figur 4.2 och 4.3 Spjäll mellan brandceller respektive som förbigång. Figuren visar spjällstyrningar i brandfallet.

4.2.3 Fläktar i drift

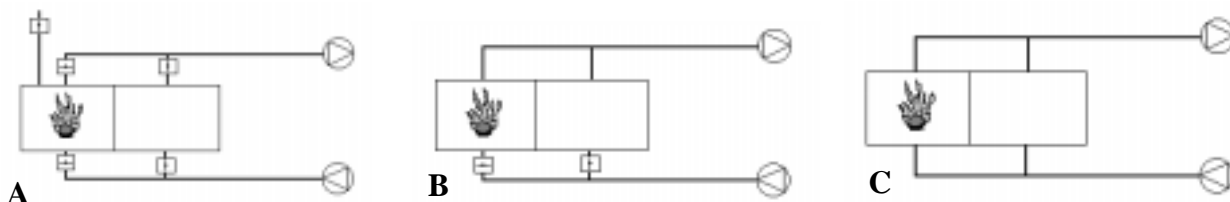
En metod för att förhindra brandgasspridning är det som kallas **fläktar i drift** vilket innebär att fläktarna inte stoppas vid brand och att brandgaserna därmed vädras ut /4/. Denna lösning tillämpas på det ventilationssystem som behandlas i rapporten. Förutsättningarna för att detta skall fungera är att frånluftsfläkten tål förhöjd temperatur samt att brandgaser inte sprids in i tilluftssystemet. För att lösa detta kan antingen tilluften blockeras med spjäll (**figur 4.4**) eller så kan brandrummet tryckavlastas ut i det fria m.h.a. rökluckor (**figur 4.5**).



Figur 4.4 och 4.5 Principen för fläktar i drift. Brandgasspridning i tilluften förhindras genom att tilluften stängs med spjäll respektive tryckavlastning av brandrummet. Figuren visar spjällstyrningar i brandfallet.

4.2.4 Brandgasspridning genom läckage i spjäll

Ett brandspjäll är sällan helt tätt utan släpper igenom en viss mängd brandgaser (**appendix A.3**). Om brandspjäll stänger både tillufts- och frånluftsflödet till brandrummet finns risken att ett högt tryck byggs upp (**figur 4.6A**). Brandgaser kommer då att spridas genom spjällens otätheter såväl i tilluften som i frånluften, vilket medför risk för viss brandgasspridning till övriga brandceller. Tryckavlastas rummet med rökluckor kan detta dock vara ett bra alternativ. Den sistnämnda metoden tillämpas i elbyggnadens stora kabelkällare (rum 3 E 2-01, 3 E 2-08, 3 E 01-05).



Figur 4.6 Alternativa metoder för att förhindra brandgasspridning genom läckage i spjäll. Figuren visar spjällstyrningar i brandfallet.

Finns inga rökluckor som tryckavlastning kan ett bra alternativ vara att endast stänga spjäll i tilluftskanalen. Tryckuppbyggnaden blir då betydligt mindre eftersom brandgaser kan transporteras bort i frånluftsdelens (**figur 4.6B**). Ett tredje alternativ kan vara att inte stänga brandspjäll till brandrummet överhuvudtaget (**figur 4.6C**). Detta kräver dock att det maximala trycket vid en brand inte överstiger trycket i gränsfallet (**kapitel 2.3**).

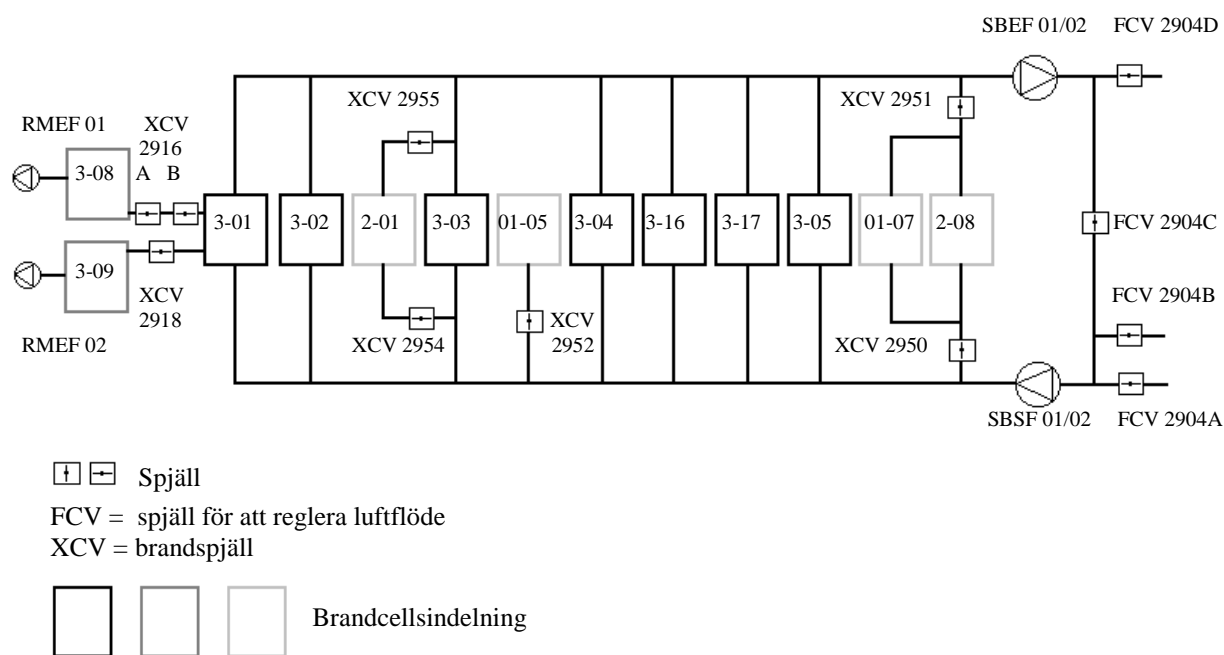
4.3 Styrningar av spjäll

I detta avsnitt görs en genomgång av det tidigare studerade ventilationssystemet i avsikt att kontrollera hur spjällen styrs beroende på i vilket rum det brinner. Denna genomgång görs för att hitta eventuella förslag på förbättringar i styrningen med utgångspunkt från det gamla styrsystemet. Genomgången görs så att styrningen vid en brand diskuteras för varje brandlarmssektion i anslutning till **figur 4.8 - 4.12**. De brandlarmssektioner som studeras benämns E2a+E2b, E3, E6, E7 och E17. Här tas hänsyn till såväl brandgasspridning mellan olika brandceller som mellan olika rum inom samma brandcell. Efter att varje rum behandlats ges förslag på förbättringar om sådana finns.

För vissa rum går det direkt att se om brandgasspridning kan ske eller ej medan det för andra blir nödvändigt att jämföra med beräkningarna i **kapitel 3.2** och **3.5**. En av brandskyddsstrategierna för detta ventilationssystem är **fläktar i drift** och det förutsätts att fläktarna ej utsätts för en temperatur över 70°C samt att styrningen av spjällen fungerar. Ingen hänsyn tas till att brandgaser kan spridas genom läckage i spjäll.

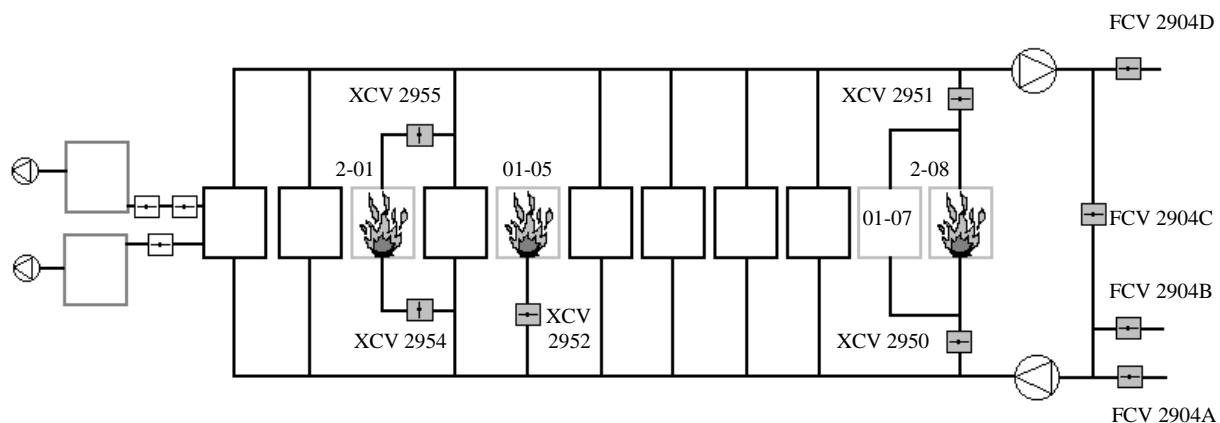
Figur 4.7 föreställer ett flödesschema för det undersökta ventilationssystemet, dvs det system som försörjs av tilluftsfläktarna *SBSF-01* och *02* respektive frånluftsflyktarna *SBEF-01* och *02*. Vissa förenklingar som inte bedöms påverka resultaten har gjorts i flödesschemat, såsom att flera mindre kanaler slagits samman till en kanal samt att den inbördes ordningen mellan rummen på frånluftssidan är något annorlunda gentemot verkligheten.

Det bör påpekas att det mellan rum 2-01, 01-05 och 2-08 finns öppna förbindelser som inte har med ventilationen att göra. Eventuella brandgaser kan därför fritt passera mellan dessa rum. I anslutning till dessa rum som på Ringhals tillsammans kallas kabelkällare B finns två rökluckor som öppnar på smältbleck vid 70°C. Det bedöms därför inte kunna förekomma någon betydande tryckuppyggnad i dessa rum.



Figur 4.7 Förenklat flödesschema för det undersökta ventilationssystemet.

Brand i brandlarmssektion E2a + E2b



Figur 4.8 Spjällstyrningar vid brand i brandlarmssektion E2a + E2b.

Brandlarmssektion E2a + E2b innehåller rum: 3 E 01-05, 3 E 2-01, 3 E 2-08

Nuvarande styrningar: Stänger: XCV 2950-2952, 2954, 2955
FCV 2904 C

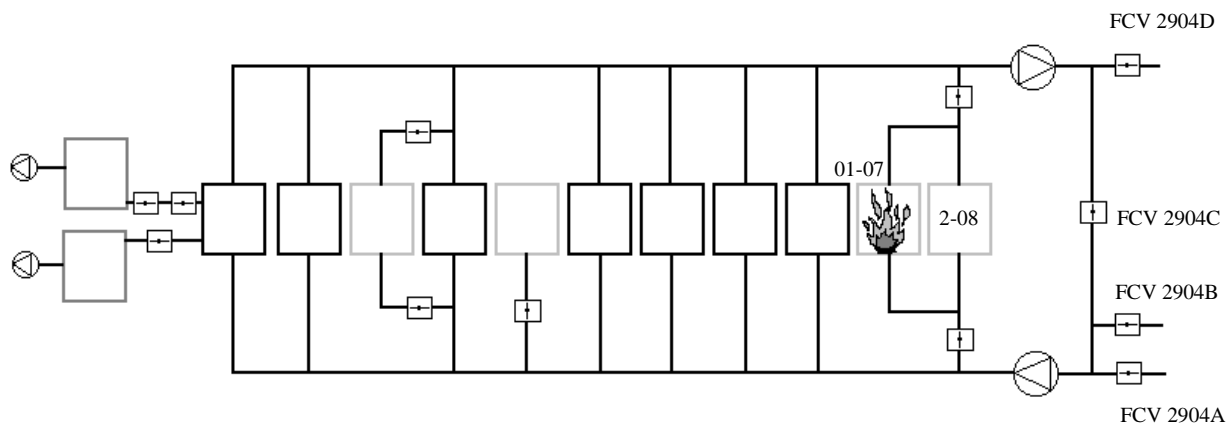
Öppnar: FCV 2904 A/B/D
2 st rökluckor öppnas av smältlås eller manuellt

Brandgasspridning till annan brandcell: Brandspjäll förhindrar brandgasspridning till annan brandcell.

Brandgasspridning mellan rum inom samma brandcell: Eftersom både 2-01 och 2-08 har förbindelse med 01-05 kan brandgaser att spridas mellan dessa rum. Vid brand i 2-08 föreligger viss risk för brandgasspridning till 01-07, dock är denna risk mycket liten. 2-08 är ett stort rum och har därför även stor läckagearea. Dessutom finns två rökluckor som öppnar på smältbleck. Det blir därför svårt att uppnå erforderligt tryck.

Åtgärdsförslag: *Inga.*

Brand i brandlarmssektion E3



Figur 4.9 Spjällstyrningar vid brand i brandlarmssektion E3.

Brandlarmssektion E3 innehåller rum: E 3 01-07

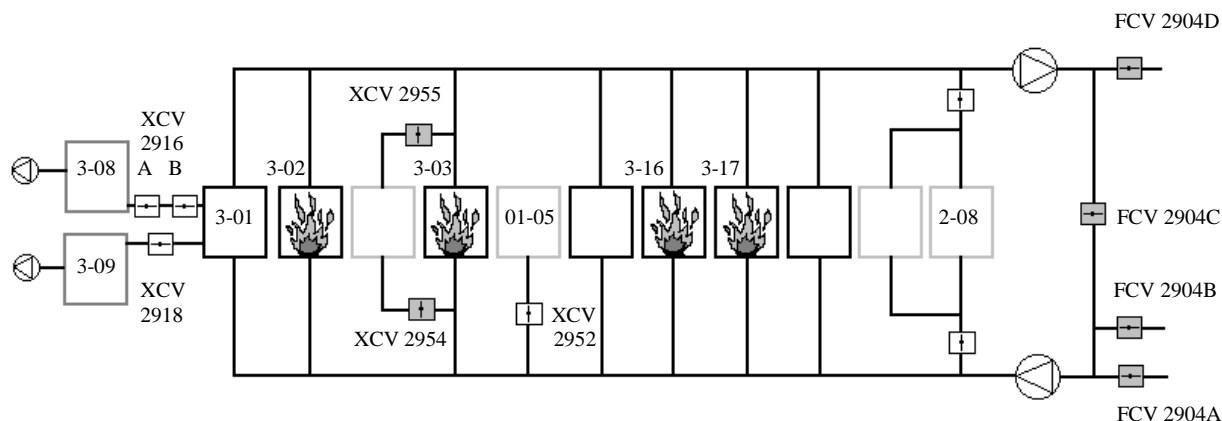
Nuvarande styrningar: Inga

Brandgasspridning till annan brandcell: Eftersom återluftsspjäll FCV 2904 C inte stänger kommer en brand med stor säkerhet att leda till brandgasspridning till samtliga rum inom ventilationssystemet även om tryckuppbyggnaden blir liten.

Brandgasspridning till rum inom samma brandcell: *Stor risk* för spridning till 2-08 även om FCV 2904 C stänger.

Åtgärdsförslag: *Stänga FCV 2904 C och öppna FCV 2904 A,B,D.*

Brand i brandlarmssektion E6



Figur 4.10 Spjällstyrningar vid brand i brandlarmssektion E6.

Brandlarmssektion E6 innehåller rum: 3 E 3-02, 3 E 3-03, 3 E 3-16, 3 E 3-17

Nuvarande styrningar: Stänger: XCV 2954, 2955
FCV 2904 C

Öppnar: FCV 2904 A/B/D

Brandgasspridning till annan brandcell: Vid brand i 3-02 eller 3-03 föreligger *stor risk* för brandgasspridning till 3-08 och 3-09 via korridoren.

Vid brand i 3-16 eller 3-17 föreligger *medelstor risk* respektive *liten risk* för brandgasspridning. Vid eventuell spridning i tilluftssystemet kommer brandgaser dock med all säkerhet att spridas till 01-05 som i sin tur har öppen förbindelse med både 2-01 och 2-08. De kan även spridas via korridoren (3-01) till 3-08 och 3-09. Kommenteras bör att 3-01 är utrymningsväg och därför är extra känslig för brandgas.

Brandgasspridning till rum inom samma brandcell: Vid brand i 3-02 föreligger *stor risk* för brandgasspridning till 3-01 och därmed vidare till 3-08 och 3-09.

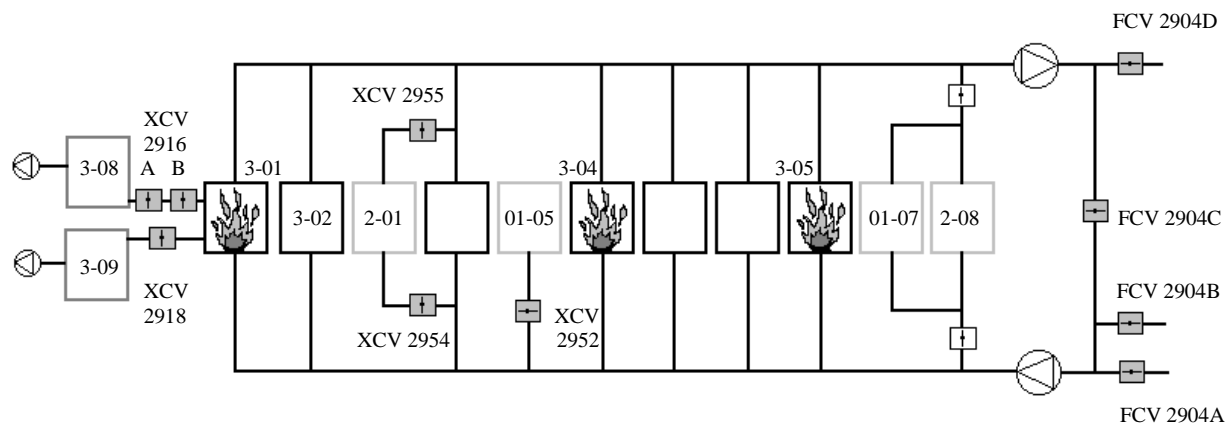
Vid brand i 3-03 föreligger *stor risk* för brandgasspridning till de rum som ligger efter 3-03 i tilluftssystemet.

Vid brand i 3-16 föreligger *medelstor risk* för brandgasspridning till de rum som ligger efter 3-16 i tilluftssystemet.

Vid brand i 3-17 föreligger *liten risk* för brandgasspridning till de rum som ligger efter 3-17 i tilluftssystemet.

Åtgärdsförslag: Stänga XCV 2916 A och B samt XCV 2918 vid brand i 3-02, 3-03, 3-16 eller 3-17. Stänga XCV 2952 vid brand i 3-16 eller 3-17.

Brand i brandlarmssektion E7



Figur 4.11 Spjällstyrningar vid brand i brandlarmssektion E7.

Brandlarmssektion E7 innehåller rum: 3 E 3-01, 3 E 3-04, 3 E 3-05

Nuvarande styrningar: Stänger: XCV 2916 A/B, 2918, 2952, 2954, 2955

Öppnar: FCV 2904 A/B/D

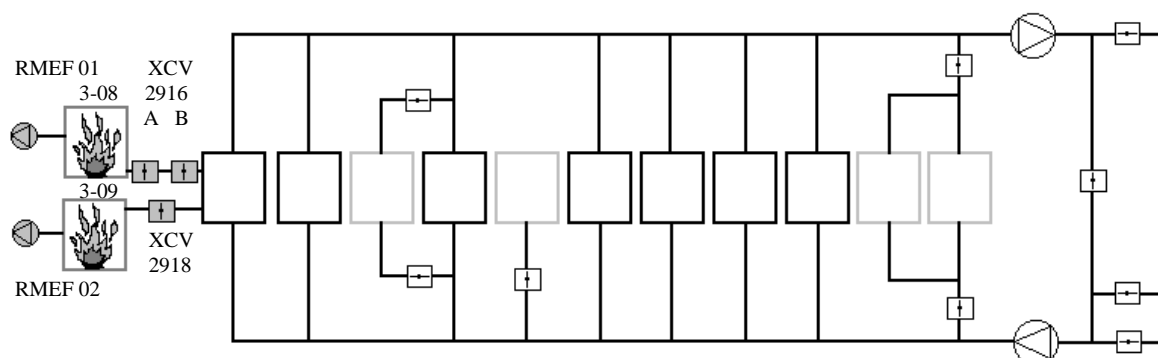
Brandgasspridning till annan brandcell: Rum 2-01, 01-05, 3-08 och 3-09 skyddas av brandspjäll. Det är inte troligt att en brand kan alstra ett så stort brandflöde att brandgaser går baklänges in till 01-07 och 2-08.

Brandgasspridning till rum inom samma brandcell: Vid brand i 3-04 eller 3-05 föreligger *medelstor risk* för brandgasspridning till de rum som ligger efter brandrummet i tilluftssystemet.

Vid brand i 3-01 föreligger *liten risk* för brandgasspridning till 3-02.

Åtgärdsförslag: *Inga*

Brand i brandlarmssektion E17



Figur 4.12 Spjällstyrningar vid brand i brandlarmssektion E17.

Brandlarmssektion E17 innehåller rum: 3 E 3-08, 3 E 3-09

Nuvarande styrningar: Stänger: XCV 2916 A/B, 2918

Stoppas: RMEF 01/02 (stoppas manuellt)

Brandgasspridning till annan brandcell: Ingen risk.

Brandgasspridning till rum inom samma brandcell: Ingen risk

Åtgärdsförslag: *Stoppa inte RMEF 01 och 02 vid brand. Det är bättre att få ut brandgaserna eftersom trycket då minskar i rummet.*

4.4 Beräkning av felfrekvenser

I följande avsnitt redovisas felfrekvenser för ett antal olika brandskyddskomponenter på Ringhals.

Beräkningarna har gjorts genom att studera fyra års (1993-1996) brandskyddsstatistik för de fyra blocken. I denna går det att utläsa dels antalet komponenter som testats vid de olika tidpunkterna och dels hur många av dessa som inte fungerat på ett tillfredsställande sätt. Eftersom man varje år testar ett stort antal brandskyddskomponenter blir det statistiska urvalet omfattande och därmed också tillförlitligt.

<u>Komponent</u>	<u>Felfrekvens</u>	<u>Antal tester</u>
<i>Brandspjäll</i>	<i>0.024</i>	<i>2157 tester (719 brandspjäll testade 3 gånger)</i>
<i>Röklucka</i>	<i>0.065</i>	<i>1220 tester (305 rökluckor testade 4 gånger)</i>
<i>Branddetektor</i>	<i>0.090</i>	<i>334 tester (334 detektorer testade 1 gång)</i>

Tabell 4.1 Felfrekvenser för brandskyddskomponenter på Ringhals 1993-1996.

Det är viktigt att ha i åtanke att det i vissa fall räcker att t.ex. ett brandspjäll inte fungerar för att brandgasspridning i ventilationssystemet skall ske. **Tabell 4.1** visar således att man inte alltid kan utgå från att brandskyddskomponenter fungerar som de skall.

Målet med testerna är givetvis att felfrekvensen för samtliga brandskyddskomponenter skall ligga så nära noll som möjligt. Ett tänkbart sätt att uppnå detta skulle kunna vara att testa funktionen flera gånger per år men nyttan av detta måste i så fall ställas mot den kostnad i form av tid och pengar som detta skulle ta i anspråk.

4.5 Slutsatser

Av ovanstående kan följande slutsatser dras:

- Styrningarna är i dagsläget inte optimala utan förbättringar kan göras.
- Vid en brand bör alltid återluftsspjäll stänga och spjäll i anslutning till fläktarna (motsvarande FCV 2904 A,B och D) öppna fullt.
- Samtliga befintliga spjäll till rum belägna efter brandrummet, på tilluftssidan räknat, bör stänga vid en brand.
- Vid fläktar i drift är det inte meningsfullt att ur brandgasspridningssynpunkt stänga frånluftsspjället till brandrummet.
- Om det finns möjlighet bör fläktarna forceras vid en brand.
- Felfrekvenserna för såväl rökluckor som branddetektorer är inte försumbara. Detta medför att risken för brandgasspridning ökar.

Att stänga samtliga spjäll som är belägna efter brandrummet på tilluftssidan räknat får såväl positiva som negativa konsekvenser. Det positiva är att brandgasspridning till dessa rum förhindras medan det negativa är att rummen blir utan ventilation. Detta påverkar t.ex. rummens temperatur som riskerar stiga (många elkomponenter producerar värme). Frågan är hur känsliga rummen är för en sådan temperaturstegring. I de fall reaktorn snabbstoppas kan kanske en sådan temperaturstegring accepteras. Om reaktorn inte snabbstoppas kan det vara av betydelse att inte påverka rummens normala ventilation allt för mycket och då kan en sådan generell spjällstyrning vara mindre lämplig.

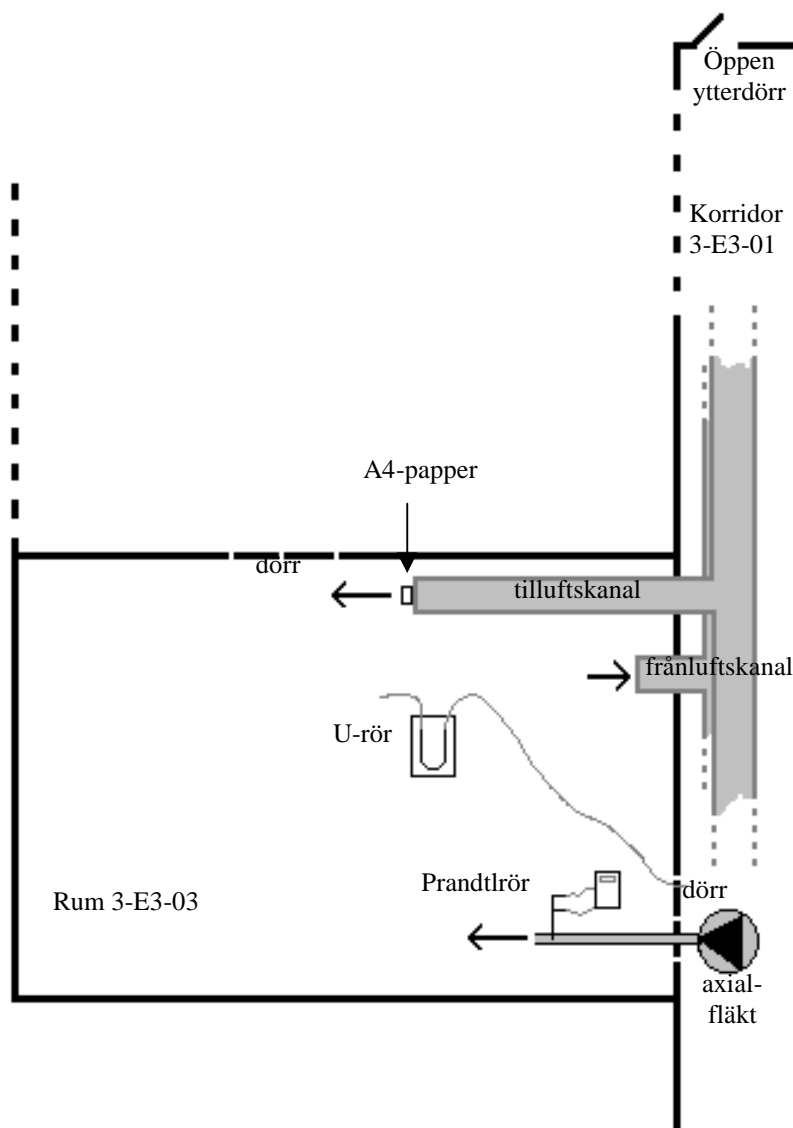
Att stänga frånluftsspjället till brandrummet har små positiva effekter ur brandgasspridnings-synpunkt. Effekten blir istället en tryckuppbyggnad i rummet som riskerar sprida brandgasen genom otätheter i spjället på tilluftssidan. Dock finns vissa fördelar ur *brandspridnings*-synpunkt. Stänger man inte spjället kommer varma brandgaser att transporteras i frånluftskanalen som därmed värms upp och riskerar antända material i närheten av kanalen utanför brandrummet. Hur stor denna risk är beror bl.a. på hur väl kanalen är isolerad. Ur denna aspekt bör alltså även frånluftsspjället stängas. Vilken risk som är störst är en bedömningsfråga och kanske måste vidare utredningar göras.

Att forcera fläktarna vid en brand, dvs öka varvtalet, leder till ett större flöde genom ventilationssystemet. Detta minskar risken för brandgasspridning genom att det krävs en större brandeffekt för att brandgaser skall tryckas ut i tilluftssystemet.

5 FULLSKALEFÖRSÖK I ELBYGGNADEN PÅ RINGHALS 3

5.1 Försöksbeskrivning

I syfte dels att kontrollera beräknade värden på brandflöden och övertryck vid gränsfallet och dels att ta fram underlag för beräkning av läckageareor utfördes ett fullskaleförsök i elbyggnaden på Ringhals 3. Försöket utfördes i rum 3 E 3-03 som ligger i direkt anslutning till korridoren (**figur 5.1**). Rummet är 6 x 11 x 3 m och innehåller till största delen batterier och annan elektrisk utrustning. Rummets ventilationskanaler ansluter från huvudkanalerna i korridoren, går genom rummet som försörjs av ett tilluftsdon och ett frånluftsdon, och fortsätter sedan genom golvet till våningen under. Försöksrummet och korridoren tillhör samma brandcell medan rummet under tillhör annan brandcell.



Figur 5.1 Rum 3 E 3-03 med försöksuppställning.

I försöksrummet finns två brandklassade dubbeldörrar som mäter ca 2 x 2 m. Dessa dörrar är relativt otäta med ca. 1 mm springa runt om. Elgenomföringar är mycket väl tätade. Genomföringarna av ventilationskanalerna mot korridoren är svåra att kontrollera men bedöms som relativt otäta liksom kanalernas skarvar medan genomföringarna till underliggande rum är mycket väl tätade. Inga andra genomföringar eller synbara otätheter finns i rummet som består av omslutande konstruktioner i betong.

Brandflödet simulerades med en fläkt placerad i korridoren. Dörren mot korridoren var öppen och luften leddes in i försöksrummet genom ett rör med diametern 160 mm. Dörröppningen tätades noga med byggplast som tejpades fast. I röret från fläkten mättes lufthastigheten i ett borrar hål m.h.a. ett Prandtl-rör. Denna lufthastighet räknades sedan om till ett luftflöde. I början av röret fanns ett regleringsspjäll och luftflödet från fläkten kunde därför varieras. Försöksupställningen redovisas i **figur 5.2**.



Figur 5.2 Försöksupställning sedd inifrån försöksrummet.

Korridoren försörjs av samma ventilationssystem som rum 3 E 3-03 och för att inte påverka luftflödet i korridoren togs luften från början utifrån och leddes genom en slang fram till fläkten. Detta gav dock så stora tryckförluster att fläkten inte kunde ge tillräckligt flöde. Istället togs luften direkt från korridoren. För att påverka ventilationsflödet så lite som möjligt öppnades en ytterdörr längst bort i korridoren.

Från början var det tänkt att inget läckage från rummet skulle tätas. Dock visade det sig att läckaget var så stort att fläkten inte kunde ge tillräckligt stort flöde. Därför tätades båda dörrarna noggrant med tejp varvid läckaget från dessa uppskattades bli mycket litet.

För att mäta övertrycket användes ett U-rör vars ena skänkel var kopplad till korridoren och den andra till försöksrummet. Korridoren antogs ha nolltryck eftersom dörren ut var öppen och den avlästa tryckskillnaden motsvarade därför övertrycket.

Brandgasspridning sker precis när luften i tilluftsdonet vänder, dvs när luftflödet i brandrummet trycker på lika mycket utifrån som tilluften från ventilationskanalen trycker på inifrån.

För att indikera när flödet i tilluftskanalen var noll tejpades ett A4-papper fast i ovankant framför tilluftsdonet (**figur 5.3**). I normalfallet blåste papperet ut som en följd av luftströmmen från donet.

Axialfläkten ställdes in på maximalt flöde varvid papperet pressades mot donet, dvs flödet var större än vad som krävs för brandgasspridning. En successiv minskning av flödet skedde därefter tills papperet precis släppte från donet. Flödet samt övertrycket i rummet noterades och redovisas i **tabell 5.1**. Försök utfördes två gånger för att få ett tillförlitligare resultat.



Figur 5.3 Rum 3 E 3-03. Till vänster syns den vertikala tilluftskanalen.

I **kapitel 2.8.2** redovisas de läckageareor som beräknats m.h.a. försöket och i **diagram 3.2** jämförs resultatet från försöket med beräknade värden.

De felkällor som kan ha påverkat resultatet av fullskaleförsöket är:

- Luften till fläkten tas från korridoren som tillhör samma ventilationssystem som 3 E 3-03.
- Det är svårt att avgöra precis när flödet i tilluftsdonet är noll, dvs när papperet hänger rakt ner.
- Ventilationskanalerna är otäta och det är svårt att avgöra hur mycket detta påverkar tryck och flöde.
- Mätningen av lufthastigheten med Prandtlröret gav ej några exakta värden vilket medförde att flödet från axialfläkten ej heller kunde bestämmas exakt.

5.2 Resultat

Beskrivning	Flöde från fläkten [l/s]	Övertryck i försöksrummet jämfört med korridoren [Pa]	Läge på papper
Flödet större än gränsfallet	481	100	tryckt mot donet
Gränsfall	420	90	hänger rakt ner
Gränsfall	428	90	hänger rakt ner

Tabell 5.1 *Flödet från fläkten samt uppmätt övertryck i rummet vid fullskaleförsöken (vid normal drift har korridoren (3 E 3-01) ett övertryck på ca. 4 Pa jämfört med 3 E 3-03).*

I fullskaleförsöket uppmättes övertrycket i gränsfallet till 90 Pa (**tabell 5.1**). När mätningen upprepades noterades samma värde på övertrycket vilket innebär att försöket kan sägas vara relativt tillförlitligt. I PFS-modellen beräknades detta övertryck till 81 Pa och i handberäkningsmodellen användes det tryck som uppmättes i kanalen precis innanför tilluftsdonet i normalfallet (**kapitel 2.7**), dvs 70 Pa.

Slutsatsen är att oavsett vilken av modellerna som används är skillnaden gentemot fullskaleförsöket relativt liten. Känslighetsanalysen (**kapitel 3.3**) visar att skillnaden i trycket har relativt liten påverkan på slutresultatet, dvs brandeffekten. Vilken metod som väljs för att beräkna alternativt mäta övertrycket har därför mindre betydelse.

6 SLUTSATSER OCH ÅTGÄRDSFÖRSLAG

Efter beskrivningen av de båda beräkningsmodellerna samt tillämpningen på Ringhals tidigare i rapporten följer nu de slutsatser och åtgärdsförslag som arbetet resulterat i.

Kapitlet inleds med en diskussion kring beräkningsmodellerna i fråga om tillämpningsområden samt vilka osäkerheter modellerna är behäftade med. Därefter följer ett resonemang kring det utförda fullskaleförsöket samt kring de förslag på ändringar i styrfunktioner som bedöms höja skyddet mot brandgasspridning via ventilationssystemet. Avslutningsvis presenteras några funderingar kring vilket behov som finns att verifiera modellerna med fullskaleförsök i framtiden.

6.1 Beräkningsmodeller

De två framtagna beräkningsmodellerna för brandgasspridning i ventilationssystem, **PFS-modellen** och **handberäkningsmodellen** skall ses som komplement till varandra. Vilken modell man väljer att använda i ett visst fall beror på ett flertal faktorer. Generellt kan sägas att resultaten från respektive modell har vid jämförelser i rapporten befunnits överensstämma mycket väl. Med anledning av detta kan det tyckas självklart att företrädesvis använda den betydligt enklare **handberäkningsmodellen**. Man måste dock ha i åtanke att det finns ett antal nackdelar även med denna modell, bl.a. krävs det att man mäter trycket i de kanaler man vill undersöka. Det är även nödvändigt att från- och tilluftssystemet är konstruerat på ungefär samma sätt för att modellen skall fungera. Dock är denna modell, p.g.a. sin enkelhet, en förutsättning om många ventilationssystem ska undersökas. **PFS-modellen** skulle här bli alltför tidskrävande.

Jämförelserna mellan de två metoderna för omräkning av brandflöde till brandeffekt (**diagram 3.1**) visar på en relativt bra överensstämmelse. I de fall den alternativa metoden används är det viktigt att ha i åtanke att energiförluster till omslutande konstruktioner försummas. Denna försummade del kan i verkligheten utgöra en stor del av den utvecklade brandeffekten vilket i modellerna skulle ge ett högre värde på brandeffekterna i gränsfallet.

Känslighetsanalysen i **diagram 3.3** visar att valet av brandflöde, övertryck och brandgastemperatur i gränsfallet har liten betydelse för det slutgiltiga resultatet. Variationer av dessa parametrar leder till små ändringar av brandeffekten i gränsfallet.

Läckagearean däremot har stor betydelse för resultatet. Denna area är dessutom svår att mäta och varierar från rum till rum, även inom samma byggnad. För att hamna på säkra sidan i beräkningarna är det bättre att underskatta läckagearean än att överskatta den.

Fullskaleförsöket innehöll vissa felkällor men kan trots detta ge en bra fingervisning om tryck och flöden vid gränsfallet. Jämförelserna mellan beräkningsmodellerna och fullskaleförsöket visar på relativt god överensstämmelse. Jämförelsen har dock bara gjorts för ett enda rum. Den brandeffekt som beräknats med fullskaleförsöket som grund är något lägre än de brandeffekter som beräknats med modellerna. Detta tyder på att modellerna överskattar brandeffekten vid gränsfallet något, dvs rummet klarar inte en så hög brandeffekt som modellerna antyder. Det är därför viktigt att ha en säkerhetsmarginal när modellerna används.

En svårighet i modellerna är att uppskatta den maximala brandeffekt som kan uppkomma i rummet. Detta har i rapporten gjorts endast genom att uppskatta risken för att den beräknade brandeffekten i gränsfallet ska uppkomma. Risken har bedömts enligt skalan; *stor*, *medelstor* eller *liten*.

Ett flertal utrymmen inom Ringhals är sprinklade, vilket leder till lägre brandeffekter och därmed lägre tryckuppbyggnad. Att i beräkningsmodellerna inkludera inverkan av sprinkler skulle bli mycket komplicerat vilket medför en stor osäkerhet i resultaten. Istället undersöks värsta fallet, dvs sprinkler saknas eller fungerar ej.

En vanlig uppfattning i litteraturen är att brandgasspridning via ventilationssystemet inte sker. Detta p.g.a. att trycket i brandrummet inte antas bli tillräckligt högt då största delen av brandflödet försvinner genom läckageareor. De beräkningar som gjorts i rapporten visar att denna uppfattning stämmer för vissa rum, där det med stor säkerhet går att säga att brandgasspridning inte kommer att ske.

Beräkningarna och fullskaleförsöket visar emellertid också att risk för brandgasspridning föreligger i vissa fall. I flera av rummen är den krävda tryckökningen relativt liten. I rum 3 E 3-03 är t.ex. övertrycket i gränsfallet bara 90 Pa, och motsvarande brandeffekt ca. 0.5 MW. Även i flera av de andra rummen är den erforderliga brandeffekten för brandgasspridning relativt låg. Slutsatsen är att brandgasspridning via ventilationssystemet är något man måste ta hänsyn till.

6.2 Styrfunktioner

Den genomgång av styrfunktioner som gjorts visar att dessa inte är optimala och i flera fall kan förbättringar göras. Vid brand i rum 3 E 01-07 stänger, enligt tillgängligt styrschema, inte det återluftsspjäll (FCV 2904 C) som finns mellan till- och frånluftsfläkten

Situationen kan därför bli mycket allvarlig vid en brand i 3 E 01-07, då brandgaser kommer att spridas till samtliga rum i det aktuella ventilationssystemet. En kontroll av att återluftsspjäll alltid stänger vid brand bör göras för samtliga ventilationssystem på Ringhals.

Även vid brand i övriga rum kan förbättringar i styrningen göras. Allmänt kan sägas att samtliga spjäll som sitter efter brandrummet på tilluftssidan bör stänga vid en brand. I dagsläget görs detta inte i samtliga fall. Detta är en onödig risk eftersom de beräkningar och fullskaleförsök som gjorts visar att brandgasspridning via tilluften kan ske vid brand i flera av rummen. Eftersom spjällen redan finns så borde de också stänga.

Brandgasspridning mellan olika brandceller förhindras med spjäll. Vid risk för brandgasspridning mellan rum inom samma brandcell finns inte detta skydd. Frågan är i vilken grad brandgasspridning inom samma brandcell accepteras. Anses det acceptabelt är förbättringar kanske inte aktuella.

Under arbetets gång har frågan om backspjäll som komplement till övriga spjäll dykt upp. Backspjällen uppfyller sällan de täthetskrav som finns och är därför inte aktuella som skydd mot brandgasspridning mellan brandceller. Dock skulle de kunna utgöra ett effektivt skydd mellan rum inom samma brandcell. Detta vore ett sätt för Ringhals att höja sin säkerhetsnivå utöver de myndighetskrav som ställs. Fördelen med sådana backspjäll gentemot andra spjäll är att de inte kräver samma underhåll och testförfarande.

Slutsatsen av den genomgång av styrfunktioner som gjorts är att övriga ventilationssystem på Ringhals också bör kontrolleras. De spjäll som finns kostar, både i form av tid och pengar, och de måste därför utnyttjas optimalt. På Ringhals finns ett stort antal ventilationssystem varför denna genomgång i första hand bör inriktas på de system som försörjer rum som innehåller känsliga komponenter eller funktioner.

Felfrekvenserna för brandspjäll, rökluckor och branddetektorer som redovisas i rapporten bygger på brandskyddsstatistik för flera år och därmed på ett stort underlag. I statistiken är det i vissa fall svårt att avläsa hur allvarligt felet är. Det kan således variera från dåligt underhåll till att komponenten inte alls fungerar. Dock måste felfrekvenserna för rökluckor (0.065) och branddetektorer (0.09) anses som höga eftersom en enda felfungerande komponent kan leda till allvarliga konsekvenser för stora delar av byggnaden. Detta uppmanar till noggrannare kontroll och underhåll.

6.3 Behov av att verifiera modellerna - tankar kring fullskaleförsök

Skall beräkningsmodellerna användas i större omfattning föreligger ett stort behov av att verifiera dem med fullskaleförsök. Under arbetets gång har ett antal försök diskuterats. Bland dessa är de viktigaste:

Mätning av läckageareor: I det fullskaleförsök som gjorts i rapporten bygger beräkningen av läckageareor på det antagande om brandflöde i gränsfallet som görs i handberäkningsmodellen. Fullskaleförsök och beräkningsmodell är därför inte oberoende av varandra, vilket borde varit fallet. Ett fullskaleförsök där läckagearean mäts oberoende av beräkningsmodellerna är relativt enkelt och snabbt att genomföra. Försöksuppställningen kan vara samma som i det i **kapitel 5** beskrivna försöket med det undantaget att båda ventilationsdonen tätas.

Mätning av det brandflöde en viss brandeffekt alstrar: Detta försök skulle kunna utföras i ett mycket tätt rum med t.ex. en ventilationskanal med väl definierade dimensioner. Både brandflödet och brandeffekten kan dock bli svåra att mäta och således ges här inga förslag på hur försöket bör genomföras.

Brand i ventilerat rum: Detta är ett försök där hela modellen testas. Försöket bör göras i någon typ av brandövningshus där läckageareorna mäts enligt ovanstående metod. Någon form av FT-system installeras. Detta bör kunna göras med portabla fläktar med reglerbart flöde. Branden måste ha en känd effektutveckling, t.ex. en vätskebrand med känd area. Det skall dessutom gå att mäta eller kontrollera när luften i tilluftssystemet vänder samt vilken temperatur brandgaserna har.

7 REFERENSER

- /1/ Appelqvist, B., Frössling, N.: **Grundläggande strömningslära**. Institutionen för Termo- och Fluidodynamik, Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg, 1977.
- /2/ Backvik, B. m.fl.: **En handbok för brandskyddsteknik för ventilationssystem**. Ventilationsbrandskydd i Stockholm AB. Stockholm, 1996.
- /3/ Boverket: **BBR 94**. Stockholm, 1995.
- /4/ Boverket: **Skydd mot brandgasspridning via ventilationssystem med fläktar i drift (Rapport 1994:13)**. Karlskrona, 1994.
- /5/ Gordonova, P.: **Spread of Smoke and Fire Gases via the Ventilation System (Report TABK--97/1011)**. Institutionen för Byggnadskonstruktionslära, Lunds Universitet. Lund, 1998.
- /6/ Jensen, L.: **Spridning av rök och brandgaser i ventilationssystem (Rapport TABK--93/3011)**. Institutionen för Byggnadskonstruktionslära, Lunds Universitet. Lund, 1993.
- /7/ Jensen, L.: **Beskrivningspråk för PFS (Rapport TABK--95/7020)**. Institutionen för Byggnadskonstruktionslära, Lunds Universitet. Lund, 1994.
- /8/ Jensen, L.: **Arbetsbänk för PFS (Rapport TABK--95/7021)**. Institutionen för Byggnadskonstruktionslära, Lunds Universitet. Lund, 1995.
- /9/ Jensen, L.: **Undersökning av rökspridning via ventilationssystem med PFS (Rapport TABK--96/7035)**. Institutionen för Byggnadskonstruktionslära, Lunds Universitet. Lund, 1996.
- /10/ Magnusson, S-E.: **Rökspridning i byggnader: Kunskapsöversikt och forskningsbehov (Report LUTV DG/(TVBB-3013))**. Institutionen för Brandteknik och Styrelsen för svensk brandforskning. Lund, 1983.
- /11/ Olsson, F.: **Rutiner för rökventilering i Elbyggnaden, Barsebäcksverket**. Malmö, 1997.
- /12/ **The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. National Fire Protection Association. Quincy. USA, 1995.
- /13/ Svenska Brandförsvarföreningen: **Anvisningar angående brandförsvaret vid kärnkraftverk**. Ystad, 1972.
- /14/ Vattenfall: **Ringhalsverket, teknisk information**. Falköping, 1991.
- /15/ Vattenfall: **Ringhals ett stort kärnkraftverk! Teknisk information om Vattenfall Ringhals**, 1996.

APPENDIX A

SAMMANSTÄLLNING AV KRAV OCH RÅD FÖR BYGGNADSTEKNISKT BRANDSKYDD I VENTILATIONSSYSTEM

A.1 Introduktion

A.2 Röklås

A.3 Spjäll

A.3.1 Allmänt

A.3.2 Brandspjäll

A.3.3 Brandgasspjäll

A.3.4 Kombinerat brand- och brandgasspjäll

A.3.5 Backspjäll

A.3.6 Evakueringspjäll

A.4 Upphängningar

A.4.1 Allmänt om krav och regler

A.4.2 Kanalbrott vid brand

A.5 Genomföringar

A.5.1 Isolering, I

A.5.2 Täthet, E

A.6 Isolering

APPENDIX A

SAMMANSTÄLLNING AV KRAV OCH RÅD FÖR BYGGNADSTEKNISKT BRANDSKYDD I VENTILATIONSSYSTEM

A.1 Introduktion

I följande avsnitt presenteras en sammanställning av gällande krav och råd för byggnadstekniskt brandskydd i ventilationssystem. Ingen kontroll har gjorts av om Ringhals uppfyller kraven och råden utan syftet är endast att visa vilka möjligheter som finns att förhindra brand- och brandgasspridning via ventilationssystem.

Sammanställningen bygger till stora delar på BBR 94 /3/ samt ”*En handbok för brandskyddsteknik för ventilationssystem*” /2/. I den sistnämnda finns preciserade beskrivningar av kraven och råden vilket kan vara tillhjälp för den som praktiskt ska tillämpa dem. Här finns även ett stort antal exempel på dimensionerande beräkningar.

A.2 Röklås

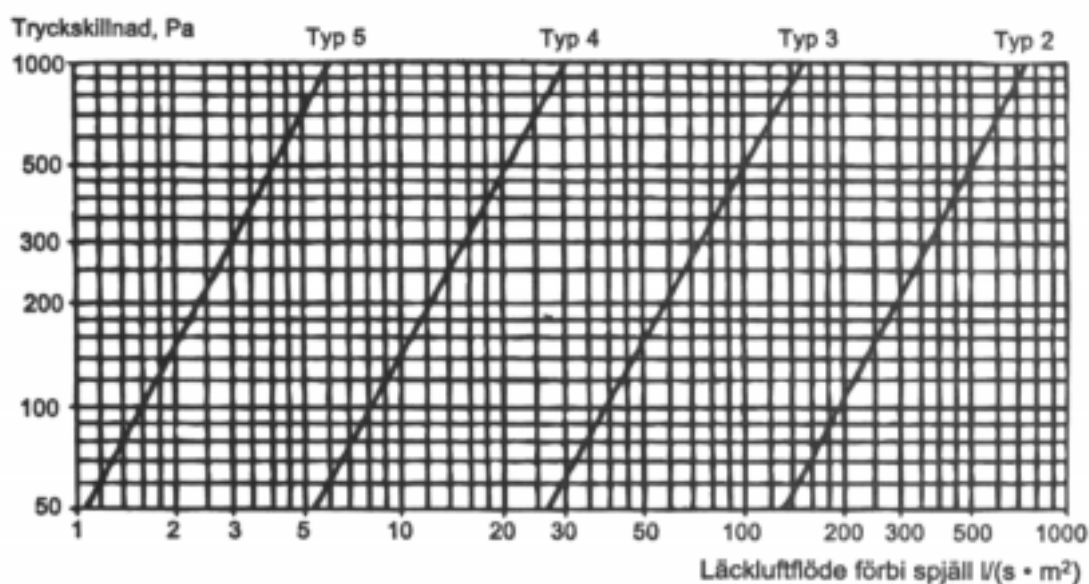
Röklås är ett begrepp som förekom i tidigare byggregler men numera har tagits bort. Genom att böja ner anslutningskanalen och placera donen i golvnivå, där det vid en brand ofta är undertryck, skulle inträngningen av brandgaser begränsas på ett tillfredsställande sätt. Alla olika slag av kanalutformning för att åstadkomma dessa röklås anses numera inte tillförlitliga och det finns heller inga lösningar på sikt. Det vore önskvärt att byta ut aktiva komponenter mot passiva men att i dagsläget ersätta spjäll med röklås är inte möjligt eftersom de senare ej finns på marknaden /2/.

A.3 Spjäll

A.3.1 Allmänt

I BBR 94 (§ 5:653) anges att ”*Luftbehandlingsinstallationer skall utformas så att ett tillfredsställande skydd mot spridning av brandgas mellan brandceller erhålls*”. I rådtexen anges vidare att brandgasspridning kan förhindras genom att backspjäll eller brandgasspjäll installeras mellan brandcellerna och att spjäll bör ha ett högsta läckluftflöde om 40 l/s m² spjällarea vid trycket 100 Pa.

Spjäll som är avsedda att förhindra brand- och brandgasspridning delas in i 5 st täthetsklasser (**figur A.1**). Det läckluftflöde som anges i BBR 94 motsvarar täthetsklass 3. Dock är tryckskillnaderna ofta större än 100 Pa i brandfallet och det är därför lämpligt att välja ett spjäll med högre klass. Det är t.ex. önskvärt att välja ett spjäll av lägst klass 4 om tryckskillnaden i brandrummet uppgår till 1000 Pa eller mer.



Figur A.1. Tillåtna läckluftflöden för stängda spjäll av typ 2-5.

Det finns en mängd spjäll med olika funktioner, men då man talar om skydd mot brand- och brandgasspridning är det fem typer av spjäll som är aktuella; brandspjäll, brandgasspjäll, brand/brandgasspjäll, backspjäll och evakueringspjäll.

A.3.2 Brandspjäll

Ett brandspjäll är ett spjäll i en ventilationskanal som är avsett att hindra spridning av brand. Det är vid normal drift helt öppet och stänger då temperaturen överstiger 70°C .

Brandspjäll består ofta av enkel stålplåt utan särskilda tätningar och får därför bara svara för maximalt halva brandmotståndet hos den genombrutna byggnadsdelen, resten av brandmotståndet förutsätter t.ex. att ventilationskanalen isoleras. Av denna anledning är användningen av dessa spjäll i dagsläget mycket begränsad.

Spjället skall vara provat enligt NT FIRE 010 och uppfylla följande krav:

- Stängningsförmåga vid lufthastigheten 15 m/s.
- Spjället skall vara helt stängt 20 s efter att det löst ut.

Dessutom kan följande råd tjäna som riktmärken:

- Spjällets brandtekniska klass bör vara EI eller E. Om klassen är EI så får den genomsnittliga temperaturstegringen bli högst 140°C och den maximala temperaturstegringen i enstaka punkt 180°C på den icke brandutsatta sidan.
- Spjället bör stänga vid 70°C och detektorn bör vara placerad på en för ändamålet lämplig plats.

Det finns ett antal typgodkända brandspjäll som får motsvara byggnadsdelens hela brandtekniska klass men en förutsättning för detta är att spjället är motordrivet och funktionsprovas minst en gång per 48 timmar via ett övervaknings- och kontrollsystem.

A.3.3 Brandgasspjäll

Ett brandgasspjäll är ett spjäll i en ventilationskanal som är avsett att hindra spridning av brandgaser. Det är i normala fall helt öppet men stänger vid indikering av brandgaser.

Spjället skall vara provat enligt NT FIRE 010 och uppfylla följande krav:

- Stängningsförmåga vid lufthastigheten 15 m/s.
- Spjället skall vara helt stängt 20 s efter att det löst ut.

Dessutom kan följande råd tjäna som riktmärken:

- Enligt BBR 94 bör högsta läckluftflödet vara 40 l/s m² spjällarea vid trycket 100 Pa.
- Spjällets brandtekniska klass bör vara E.
- Spjället styrs av rökdetektorer som placeras på ett för ändamålet lämpligt sätt.

A.3.4 Kombinerat brand- och brandgasspjäll

Ett brand-/brandgasspjäll är ett spjäll i en ventilationskanal som är avsett att hindra spridning av både brand och brandgaser.

Spjället skall vara provat enligt NT FIRE 010 och uppfylla följande krav:

- Stängningsförmåga vid lufthastigheten 15 m/s.
- Spjället skall vara helt stängt 20 s efter att det löst ut.

Dessutom kan följande råd tjäna som riktmärken:

- Enligt BBR 94 bör högsta läckluftflödet vara 40 l/s m² spjällarea vid trycket 100 Pa.
- Spjällets brandtekniska klass bör vara EI. Medeltemperaturstegringen får bli högst 140°C och den maximala temperaturstegringen i enstaka punkt 180°C på den icke brandutsatta sidan.
- Spjället styrs av rökdetektorer som placeras på ett för ändamålet lämpligt sätt.

A.3.5 Backspjäll

Ett backspjäll är ett spjäll i en ventilationskanal som förhindrar att luftflödet i kanalen vänder och går baklänges. Dessa spjäll är inte motordrivna utan fungerar rent mekaniskt. Det är tveksamt om de backspjäll som finns i dagsläget klarar de krav som ställs vid en brandpåverkan.

Spjället skall vara provat enligt NT FIRE 010 och uppfylla följande krav:

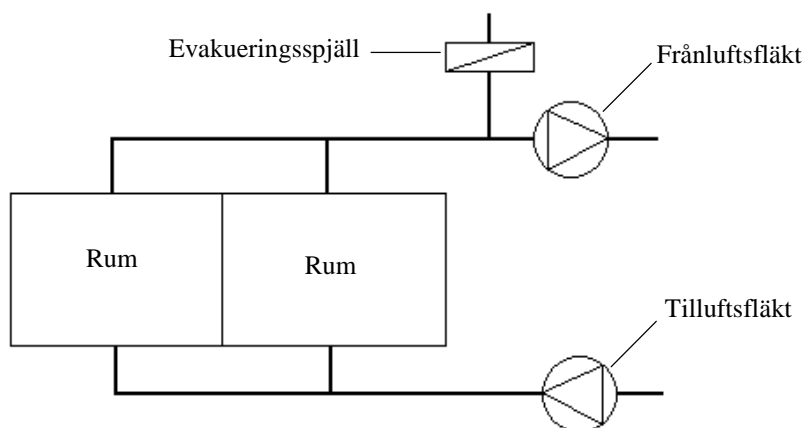
- Spjället skall vara helt stängt 20 s efter uteblivet öppningstryck.

Dessutom kan följande råd tjäna som riktmärken:

- Enligt BBR 94 bör högsta läckluftflödet vara 40 l/s m² spjällarea vid trycket 100 Pa.
- Spjällets brandtekniska klass bör vara E.
- Spjället bör vara anslutet till ett övervaknings- och kontrollsystem.

A.3.6 Evakueringsspjäll

Ett evakueringsspjäll är ett spjäll i en ventilationskanal eller ett röschakt som vid brand öppnar och släpper ut brandgaserna i det fria. Evakueringsspjället kan sitta som förbigång för att man skall slippa tryckfallet i fläkten när det brinner (**figur A.2**).



Figur A.2 Ett evakueringsspjäll kan användas för att släppa ut brandgaser utan att de behöver passera genom fläkten.

Ett evakueringsspjäll skall vid provning uppfylla följande krav:

- Spjället skall vara helt öppet 20 s efter att det löst ut.
- Spjället skall klara att öppna vid en tryckdifferens av 1000 Pa.

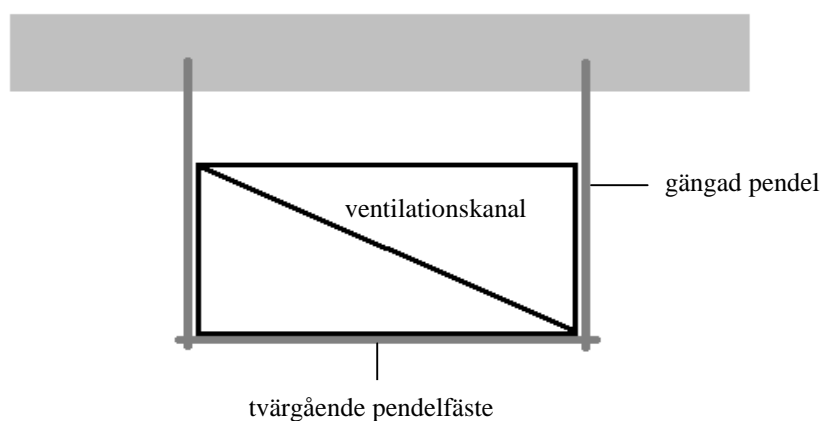
Dessutom kan följande råd tjäna som riktmärken:

- Spjället bör ha ett läckluftflöde motsvarande typ 4 vid en tryckdifferens av 1000 Pa.
- Det finns inget krav på brandteknisk klass eftersom spjället öppnar vid brand.
- Spjället styrs av rökdetektor som placeras på ett för ändamålet lämpligt sätt.

A.4 Upphängningar

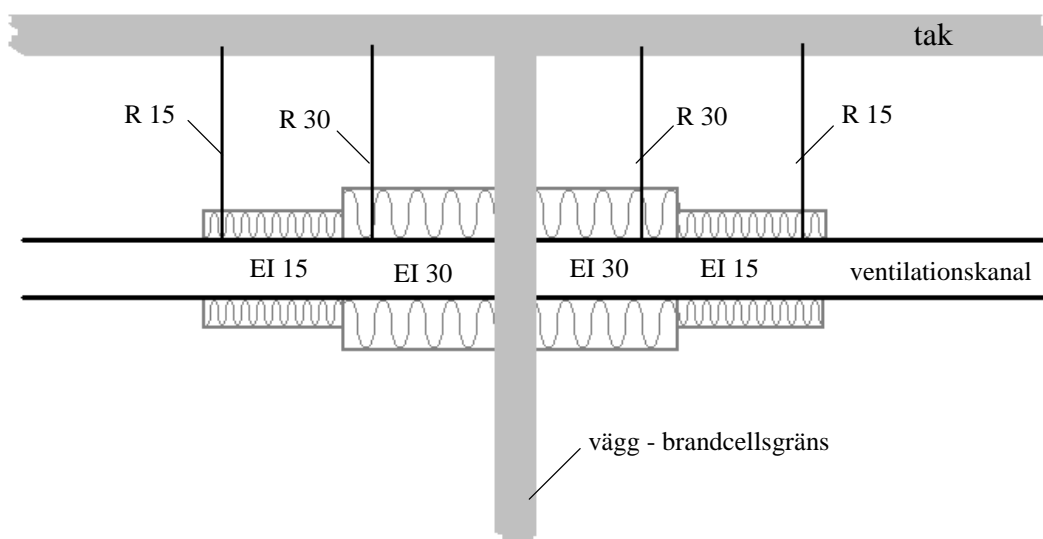
A.4.1 Allmänt om krav

Ventilationskanalerna fästs i byggnaden med hjälp av upphängningsanordningar. En vanligt förekommande typ (bl.a. i elbyggnaden på Ringhals 3) av upphängningsanordning, bestående av en gängad pendel och ett tvärgående pendelfäste, redovisas i **figur A.3**.



Figur A.3 Schematisk beskrivning av upphängning av rektangulär kanal med gängad pendel och tvärgående pendelfäste.

Enligt kravet skall upphängningen generellt ha motsvarande brandklass som kanaliseringen på aktuell kanaldel (**figur A.4**).



Figur A.4 Upphängningen skall generellt ha motsvarande brandklass som kanaliseringen på aktuell kanaldel.

Infästningsdons bärlighetsförmåga bedöms efter provning enligt SP BRAND 118 med krav på bärförmåga R av aktuell last. Upphängningsanordning för ventilationskanaler bör för kanaler i brandteknisk klass EI 15 och EI 30 bära 0,5 kN och i EI 60 1,0 kN under motsvarande brandpåverkan. Med brandpåverkan avses temperaturer enligt SIS 02 48 20 utgåva 2.

Upphängningsanordning dimensioneras för kanalens egentygnd och en punktlast av 1 kN för att bära en person som ställer sig på kanalen. Denna extra punktlast gäller enbart för dimensionering av upphängningsanordning i kallt tillstånd och inte i brandfallet.

Den byggnadsdel i vilken kanalen infästs skall ha minst lika god bärförmåga som den aktuella kanaldelen. För horisontella kanaler får avståndet mellan två på varandra följande infästningar vara maximalt 2,4 m (rektangulära kanaler) respektive 3,0 m (cirkulära kanaler). Vid vertikala kanaler i schakt är motsvarande avstånd 3,0 m för såväl rektangulära som cirkulära kanaler.

Endast godkända infästnings- och upphängningsdon bör användas. Sammanställningar över de produkter som är godkända finns i "*Godkännandelista B1 (brand)*" som utges av Svensk Byggtjänst samt "*Riktlinjer för upphängning av brandtekniskt klassificerade ventilationskanaler*" (1983:1) utgiven av föreningen VENTILATION-KLIMAT-MILJÖ.

I BBR 94 anges inte några krav eller råd angående kanalupphängningar, endast att "*luftbehandlingsinstallationer skall utföras så att ett tillfredsställande skydd mot spridning av brandgas mellan brandceller erhålls*".

De flesta större kanaler i elbyggnaden är rektangulära och som tidigare nämnts består infästningarna av gängad pendel och ett tvärgående pendelfäste. De krav som enligt "*Riktlinjer för upphängning av brandtekniskt klassificerade ventilationskanaler*" gäller för denna typ av upphängning finns i **tabell A.1**.

Bärförmåga	Max belastning per infästningspunkt	Infästningsdon i tak	Upphängningsdon	Infästningsdon i kanal
R 30	1 kN	Don som är brandprovade med avseende på erforderlig bärförmåga, R	Gängad pendel M10 i material enl. SIS 1311 eller M8 enl. SIS 2265	Kanal vilande på tvärgående pendelfästen utförd som U-profil 30x30x3 mm i material enl. SIS 1311
R 60	1 kN	Don som är brandprovade med avseende på erforderlig bärförmåga, R	Gängad pendel M10 i material enl. SIS 1311	Kanal vilande på tvärgående pendelfästen utförd som U-profil 30x30x3 mm i material enl. SIS 1311

Tabell A.1 Godkända upphängningsanordningar för rektangulära kanaler med gängad pendel och pendelfäste.

A.4.2 Kanalbrott vid brand

Under förutsättning att ventilationskanalen i brandrummet faller ner kan två fall urskiljas:

1. Ventilationskanalens skydd mot spridning av brand och brandgaser påverkas.

Detta inträffar när kanalen skyddas av brandskyddsisolering istället för spjäll. Om kanalen faller ner i brandrummet återstår då inget skydd mot spridning.

På Ringhals är ovanstående aktuellt i de fall då ventilationskanaler dras rakt igenom brandceller som inte försörjs av det aktuella systemet.

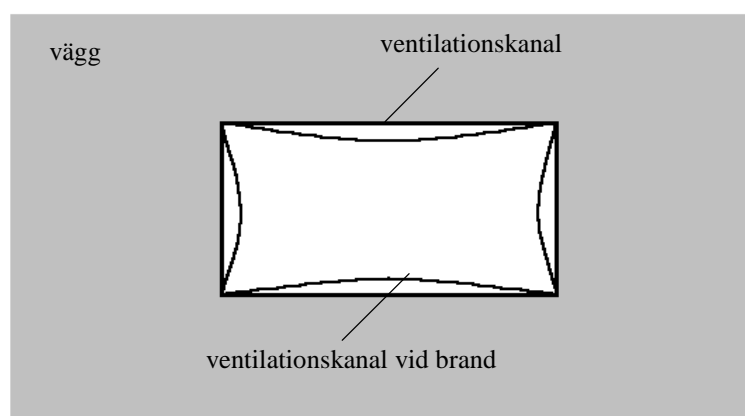
I detta fall måste upphängningsanordningen klara en bärförmåga som motsvarar minst hela byggnadsdelens brandmotståndstid. En ventilationskanal som går igenom en vägg i brandteknisk klass E 60 eller EI 60 måste alltså hålla klass R 60 längs hela sin sträckning på båda sidor väggen.

2. Ventilationskanalens skydd mot spridning av brand och brandgaser påverkas inte.

Detta är det vanligaste fallet på Ringhals och motsvarar att det sitter ett spjäll i kanalen där den går igenom en brandcellsgräns.

A.5 Genomföringar

Då kanalen dras genom en brandcellsgräns måste genomföringen utformas så att den håller samma brandtekniska klass som byggnadsdelen. Dels skall genomföringen i sig själv klara krav på täthet och isolering och dels skall hänsyn tas till att ventilationskanalen kan slå sig då plåten utvidgar sig vid brand vilket ger ett mellanrum mellan kanal och byggnadsdel och därmed läckage av brandgaser (**figur A.5**).



Figur A.5 Deformation av ventilationskanal vid brand

Följande krav ställs på genomföringen (provning enligt SIS 02 48 20 utgåva 2):

A.5.1 Isolering, I

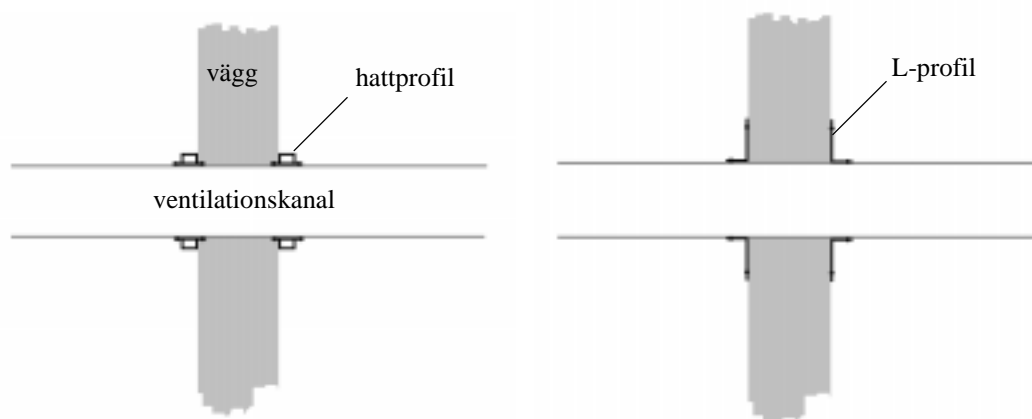
Medeltemperaturstegringen får bli högst 140°C och den maximala temperaturstegringen i enstaka punkt 180°C. Temperaturerna skall mätas på den icke brandutsatta sidan av byggnadsdelen dels på genomföringens yta och dels på kanalens yta 20 mm från genomföringen. Det bör observeras att i de fall byggnadsdelen håller enbart klass E ställs inte heller några temperaturkrav på genomföringen.

Det bör även observeras att metall är en god ledare av värme och då genomgående metalldelar används kan det bli nödvändigt att överisolera dessa.

A.5.2 Täthet, E

- Genomföringen får ej släppa genom mer än enstaka lågor med en varaktighet på max 10 s.
- Den får inte heller släppa genom varma gaser eller rök som kan antända en bomullstuss. Vid provning av konstruktioner vars medeltemperatur på den från branden vända sidan överstiger 300°C bedöms genomsläppligheten för varma gaser efter mätning av uppkomna springor och dylikt enligt mättningsförfarande angivet i British standard BS 476: Part 20:1987.
- Genomföringen får inte kollapsa.

För att förhindra att läckage av brandgaser genom byggnadsdelen uppstår då kanalen p.g.a. värmepåverkan längdutvidgas och ändrar form bör genomföringen i vissa fall stagas. Hur stagningen skall göras beror på kanalens storlek och utformning samt på byggnadsdelens konstruktion. Förslag på godkända stagningar finns i Ventilation - Brandskydd - Nybyggnadsregler, typgodkännandebevis 2996/90. Vanligt exempel på stagning är s.k. hattprofiler och L-profiler av plåt på båda sidor om den genombrutna byggnadsdelen (**figur A.6**).



Figur A.6 Stagning med hattprofil respektive L-profil.

I nedanstående fall krävs ingen stagning:

- Då spjäll är monterat i byggnadsdelen. Spjället skall vara provat i specifik byggnadsdel och montage skall redovisas i leverantörens monteringsanvisning.
- Cirkulära ventilationskanaler.
- Rektangulära ventilationskanaler med största kanalsidan $\leq 0,25$ m.

A.6 Isolering

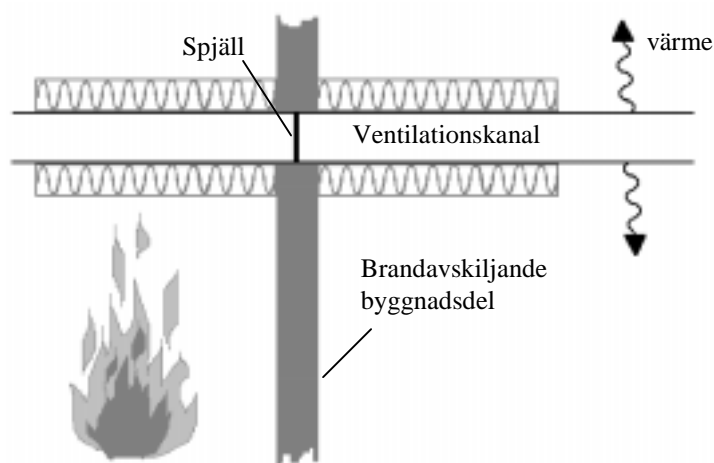
När varma brandgaser transporteras i en ventilationskanal värms kanalen upp och riskerar att antända närliggande material och byggnadsdelar. För att förhindra detta måste kanalen isoleras alternativt måste skyddsavstånd tillämpas.

Ventilationskanaler kan isoleras med antingen värmeisolering eller brandisolering. Medan isolermaterialet vid värmeisolering tål temperaturer på ca 250°C tål brandisolering ca 700°C. Om temperaturen överstiger dessa värden kommer isolermaterialet att påverkas. Värmeisolering kan tillämpas för högst brandteknisk klass EI 30 medan högre klasser kräver brandisolering. Isolermaterial provas enligt SIS 02 48 20 utgåva 2.

Det kan tyckas att ju tjockare isolering en kanal har ju bättre är det. Dock kommer onödigt tjock isolering att leda till att längre del än nödvändigt av kanalen måste isoleras. Vid tjock isolering kommer brandgaserna att behöva längre sträcka för att kylas av till en temperatur där isolering inte längre är nödvändig. Isoleringen av ventilationskanaler bör därför inte vara tjockare än nödvändigt.

Det finns olika fall där isolering av ventilationskanaler är aktuellt.

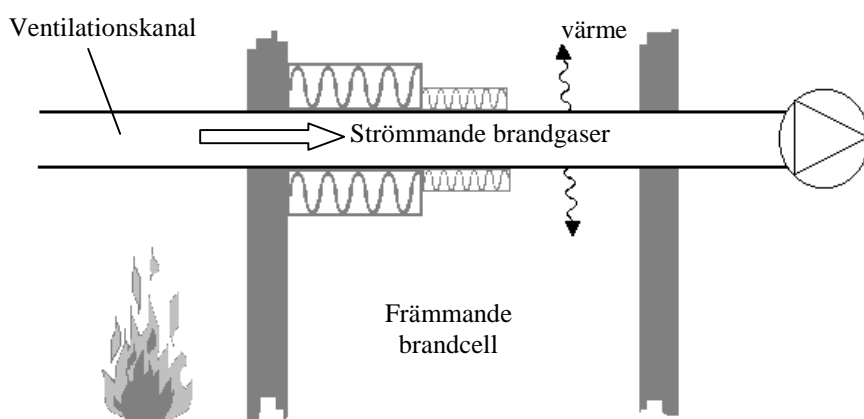
- **Ventilationskanal genombryter brandavskiljande byggnadsdel.**



Figur A.7 Ventilationskanalen genombryter brandavskiljande byggnadsdel.

När det finns ett spjäll i ventilationskanalen kan brandgaser inte transporteras mellan brandcellerna (**figur A.7**). Detta fall ger därför de lägsta kraven på isolering. Målet bör vara att placera isoleringen symmetriskt på båda sidor om bygnadsdelen och vid denna placering skall isoleringen lägst motsvara bygnadsdelens brandtekniska klass.

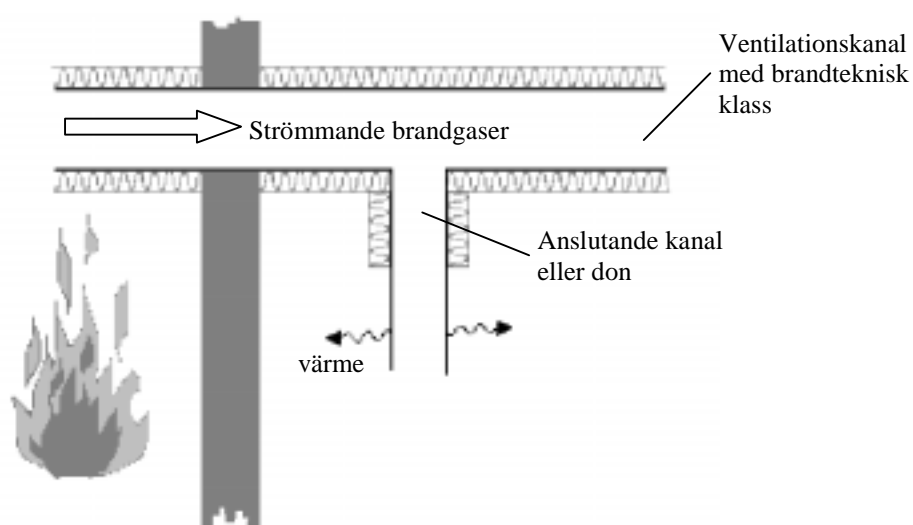
- **Ventilationskanal transporterar brandgaser genom främmande brandcell.**



Figur A.8 Brandgaser transporteras genom främmande brandcell.

Då brandgaser transporteras genom en främmande brandcell måste kanalen isoleras enligt **figur A.8**. Denna lösning tillämpas vid fläktar i drift och för att veta var isoleringen skall placeras måste man veta brandgasernas strömningsriktning.

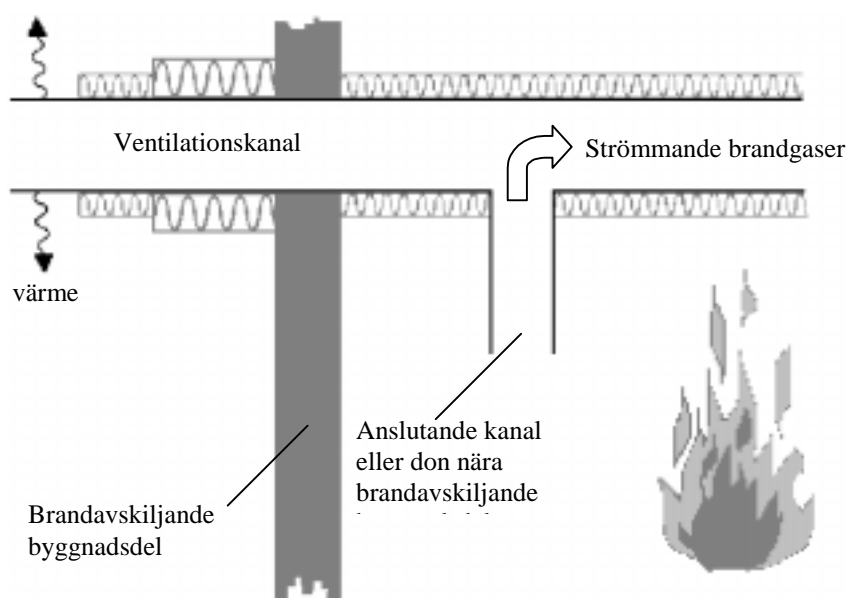
- **Ventilationskanal och/eller don ansluter till kanal med brandteknisk klass.**



Figur A.9 Isolering av anslutande kanaldel.

Eftersom huvudkanalen håller viss brandteknisk klass är denna isolerad. Det krävs därför att även den anslutande kanaldelen isoleras. Är denna tillräckligt lång är detta inget problem men är den anslutande kanalen kort kan inte tillräcklig isolerlängd åstadkommas. Då måste istället skyddsavstånd tillämpas vilket betyder att brännbart material inte får finnas i närheten av kanaldelen.

- **Ventilationskanal och/eller don ansluter till kanal nära brandavskiljande byggnadsdel**



Figur A.10 Anslutande kanaldel eller don nära brandavskiljande byggnadsdel.

Ledning och strålning i kanalen ger risk för uppvärmning av den kanaldel som går genom byggnadskonstruktionen och därmed brandspridning till främmande brandcell. Ju närmare den brandavskiljande byggnadsdelen som anslutningen sker desto större är denna risk. Om den anslutande kanaldelen eller donet sitter tillräckligt långt från den brandavskiljande byggnadsdelen kan nödvändig isolering läggas på huvudkanalen innan anslutningen. I vissa fall krävs det också att en bit av den anslutande kanalen isoleras. Om den anslutande kanalen sitter mycket nära den brandavskiljande byggnadsdelen och dessutom är mycket kort, så kort att tillräcklig isolerlängd inte kan åstadkommas, varken på huvudkanalen eller den anslutande kanalen, måste istället skyddsavstånd tillämpas, eller måste isoleringen på den icke brandutsatta byggnadsdelen utökas (**figur A.10**).

APPENDIX B

PFS – ANVÄNDARGUIDE OCH TILLÄMPNING PÅ RINGHALS

B.1 Användarguide för PFS vid brandsimuleringar

- B.1.1 Introduktion**
- B.1.2 Underlag för simuleringar i PFS**
- B.1.3 Simuleringar i PFS**
- B.1.4 Dimensionerande simulering**
- B.1.5 Testsimulering vid normal drift**
- B.1.6 Simuleringar vid brand**

B.2 Tillämpning på Ringhals

- B.2.1 Indatafil**
- B.2.2 Utdatafil**

APPENDIX B

PFS – ANVÄNDARGUIDE OCH TILLÄMPNING PÅ RINGHALS

B.1 Användarguide för PFS vid brandsimuleringar

B.1.1 Introduktion

PFS är ett datorprogram som skapats av professor Lars Jensen (Institutionen för byggnadskonstruktionslära, Lunds Tekniska Högskola) för att beräkna bl.a. olika tryckfall och flöden i fluidsysteM. Ett av programmets tillämpningsområden är beräkningar av kritiskt brandflöde.

I **avsnitt B.1.2** beskrivs det underlag som är nödvändigt för att kunna genomföra simuleringar och i **avsnitt B.1.3-6** beskrivs det praktiska tillvägagångssättet.

B.1.2 Underlag för simuleringar i PFS

För att kunna genomföra simuleringar i PFS krävs att man har tillgång till viss dokumentation. Denna kan se lite olika ut för olika byggnader men det underlag som använts i rapporten kan tjäna som riktmärke och redovisas därför nedan:

- **Brandcellslayout:** Denna visar hur de olika brandcellerna är placerade i förhållande till varandra vilket kan ge en fingervisning om var risk för brandgasspridning finns. Det går även att identifiera vilka rum som ingår i de olika brandcellerna.
- **Flödesritningar:** Det finns ofta en flödesritning för varje ventilationssystem. Ritningen visar vilka rum som tillhör respektive ventilationssystem samt luftflöden mellan rummen. Ritningen beskriver också var olika komponenter finns. Det är lämpligt att på flödesritningarna identifiera vilka rum som tillhör vilken brandcell, t.ex. genom att alla rum som tillhör samma brandcell får en gemensam beteckning i form av en färgkod eller dylikt. Detta gör flödesritningarna mer lättöverskådliga och det blir lättare att se till vilka rum brandgasspridning måste förhindras.
- **Installations-/Ventilationsritningar:** Dessa ritningar visar ventilationskanalernas placering i byggnaden samt kanaldelarnas dimensioner. Dessa data används sedan vid PFS-simuleringarna. Eftersom kanaler tillhörande olika ventilationssystem ofta är dragna mycket nära varandra är det lämpligt att de olika ventilationssystemen färgkodas på ritningarna eftersom det då blir lättare att följa kanalerna. Installationsritningarna visar även flödet i de olika kanaldelarna och det är dessa flöden som sedan matas in i PFS.

- **Komponentdata:** Fläktar har en viss tryckökning vid ett visst flöde medan övriga komponenter har ett tryckfall. Dessa tryckökningar och tryckfall används vid simuleringarna i PFS. Ofta finns datablad över fläktar, spjäll, filter och värmeaggregat samt ibland även resultat från tryckmätningar i olika delar av systemet.
- **Tryckuppgifter för rummen:** I de flesta fall har rummen nolltryck, dvs det råder varken över- eller undertryck. Det är dock viktigt att kontrollera att så verkligen är fallet eftersom trycken i rummen måste anges i PFS.

B.1.3 Simuleringar i PFS

Nedan beskrivs tillvägagångssättet för att använda PFS vid beräkning av kritiskt brandflöde samt övertryck i rummet vid gränsfallet. Som exempel används ett fiktivt FT-system som försörjer tre rum. Kanalsystemet är uppbyggt på enklast möjliga sätt men metoden kan även användas på betydligt mer komplicerade system. Kapitlet är skrivet så allmänt att det kan tillämpas på ett godtyckligt FT-system. Beskrivningen är även så pass detaljerad att också en mindre erfaren PFS-användare skall kunna följa den och kapitlet är tänkt att fungera som en lärobok för den som vill använda PFS för att simulera kritiska brandflöden. Hur programmet används ritningstekniskt beskrivs inte men förklaringar ges till de använda uttrycken i simuleringarna. För mer detaljerad information om funktionerna i PFS hänvisas till /7,8,9/.

För varje ventilationssystem som skall undersökas i PFS krävs först två simuleringar, dels en **dimensionerande simulering (appendix B.1.4)** och dels en **testsimulering vid normal drift (appendix B.1.5)**. Därefter behövs ytterligare en **simulering vid brand (appendix B.1.6)** för varje rum som skall undersökas i brandfallet.

B.1.4 Dimensionerande simulering

I den dimensionerande simuleringen ritas ventilationssystemet för första gången upp i PFS och kanaldimensioner specificeras. De kanaldelar som är belägna inne i rummen är ofta relativt komplicerade med ett flertal förgreningar och don. Det vore möjligt att geometriskt beskriva även dessa delar i PFS och på så vis få fram tryckfallet, men för att förenkla indatafilerna görs istället denna s.k. **dimensionerande simulering**.

De kanaldelar som grenar ut från huvudkanalen och endast försörjer ett enda rum beskrivs i den dimensionerande simuleringen endast som en ogrenad kanal med ett okänt tryckfall och ett känt flöde. PFS beräknar sedan tryckfallet över kanaldelen. Detta tryckfall används sedan i de fortsatta simuleringarna (**appendix B.1.5 och B.1.6**) och anges där som ett kvadratisk tryckfall (**kapitel 4.2**).

I figur B.1 ges exempel på hur en indatafil för den **dimensionerande simuleringen** kan se ut:

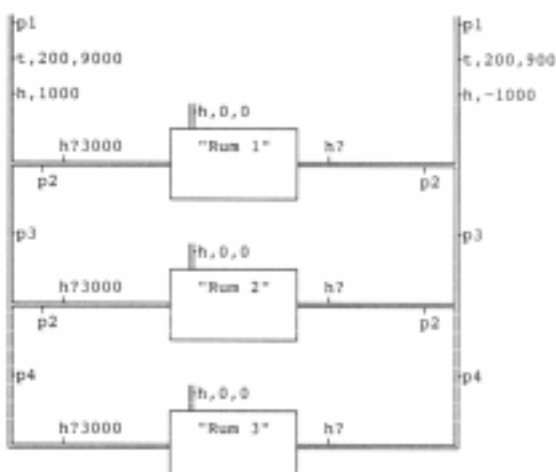
```

begin      " c:\brprog\pfa\ditest.dat           02/21/98  20:52:08  "
flow m3/h
pressure Pa
control duct=1 con=1 dim=1 bend=1
set  p1=d,600,500,5 p2=d,400,5 p3=d,400,8 p4=d,400,10

p1
t,200,9000
h,1000
h?3000
p2
"Rum 1"
h?
p2
h?3000
p3
"Rum 2"
h?
p2
p4
h?3000
"Rum 3"
h?
p4

end

```

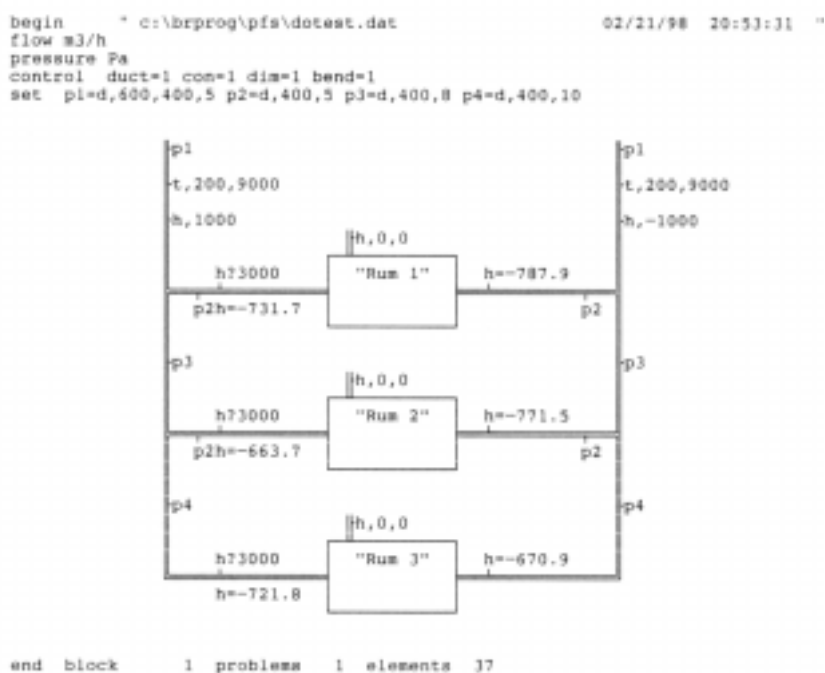


Figur B.1 Exempel på indatafil för den dimensionerande simuleringen.

- begin :** Anger beräkningsblockets början.
- flow m3/h :** Beskriver att luftflödet skall uttryckas i enheten m^3/h .
- pressure Pa :** Beskriver att trycket skall uttryckas i enheten Pa.
- control :** Kommando som sätts framför nedanstående fyra funktioner.
- duct=1 :** Anger att hänsyn tas till tryckfall i kanalerna.
- con=1 :** Anger att hänsyn tas till tryckfall i T-stycken.
- dim=1 :** Anger att hänsyn tas till tryckfall i övergångar mellan olika dimensioner.
- bend=1 :** Anger att hänsyn tas till tryckfall i böjar.
- set :** Kommando som sätts framför angivande av förkortningar.
- p1=d,600,500,5 :** Beskriver att p1 är en rektangulär kanal med dimensionerna 600mm x 500mm och 5m lång.
- p2=d,400,5 :** Beskriver att p2 är en cirkulär kanal med diametern 400 mm och längden 5 m.
- t,200,9000 :** Anger det sammanlagda tryckfallet i komponenterna som sitter innan tilluftsfläkten, dvs spjäll, filter, värme- resp. kylaggregat. Tryckfallet är kvadratisk med avseende på flödet och uttrycks därför som t . Tryckfallet är 200 Pa vid flödet $9000 \text{ m}^3/\text{h}$.
- h,1000 :** Anger att tryckökningen i tilluftsfläkten är 1000 Pa vid aktuellt flöde.

- h?3000 :** Frågar efter resterande tryckfall i kanaldelen vid flödet 3000 m³/h. Resultatet skrivs ut i utdatafilen.
- h? :** Frågar efter resterande tryckfall i kanaldelen (flödet preciseras i antingen till- eller frånluftsdelen, ej i båda). Resultatet skrivs ut i utdatafilen.
- h,0,0 :** Anger att trycket i rummet är noll (h,0,0) vilket resulterar i att flödet in eller ut ur rummet genom läckage (h,0,0) är noll.
- end :** Anger beräkningsblockets slut.

Simuleringen görs nu genom att trycka Alt+R. Om inga fel upptäcks kommer utdatafilen (**figur B.2**) att visas. Tryckfallen i de enskilda kanaldelarna används vidare i nästa simulering.



Figur B.2 Exempel på utdatafil för den dimensionerande simuleringen

- h=-787.9 :** Tryckfallet i aktuell kanaldel.

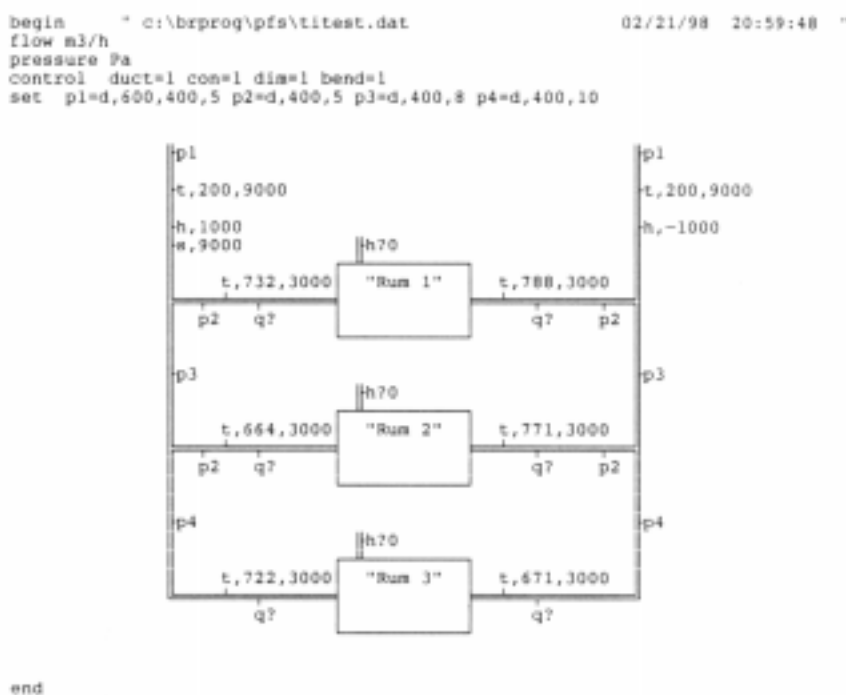
B.1.5 Testsimuleringar vid normal drift

För att kontrollera att det inlagda systemet fungerar som i verkligheten görs en simulering vid normal drift. Dimensioner, längder och böjar beskrivs som tidigare för huvudkanalerna medan förgreningarna in till de enskilda rummen beskrivs genom de tryckfall som beräknats tidigare.

Om resultatet från den dimensionerande simuleringen visar att tryckfallet (h) för en viss kanaldel är t.ex. 787.9 Pa (ovanstående exempel), så matas detta värde in som ett kvadratisk tryckfall $t,787.9,3000$. Detta innebär att trycket sjunker med 787.9 Pa vid flödet $3000 \text{ m}^3/\text{h}$ men det betyder inte automatiskt att det aktuella flödet är $3000 \text{ m}^3/\text{h}$.

I de kanaldelar där tryckfallet är bestämt skall nu flödet beräknas. Detta görs genom att skriva $q?$ eller $:q$. En kontroll sker nu att lagom mycket stryps bort, dvs att rätt t -värden matats in. Utdatafilen visar i så fall samma flöden som flödesritningarna.

Enklast görs indatafilen till testsimuleringen (**figur B.3**) genom att indatafilen från den dimensionerande simuleringen (**figur B.1**) sparas under annat namn och sedan modifieras.



Figur B.3 Exempel på indatafil för testsimuleringen.

- s,9000 :** Anger ett startflöde. Flödet anges positivt om det är riktat nedåt eller åt höger och negativt om det är riktat uppåt eller åt vänster. Det är lämpligt att ange normalt flöde som startflöde för att PFS skall få ett värde att börja räkna på.
- t,732,3000 :** Anger att aktuell kanaldel har ett tryckfall på 732 Pa vid flödet $3000 \text{ m}^3/\text{h}$.
- q? :** Frågar efter flödet i aktuell kanaldel. Resultatet anges i utdatafilen.
- h?0 :** Frågar efter trycket i rummet då flödet genom läckageareor är noll. Resultatet skrivs ut i utdatafilen.

I utdatafilen skall, som tidigare beskrivits, flödet vara ungefär samma som tidigare matats in. I **figur B.4** skall alltså flödet 2999.6 jämföras med det i den dimensionerande simuleringen inmatade flödet, 3000. Att flödet inte blir exakt det som matades in beror på att t inte angavs med samtliga decimaler. Här är överensstämmelsen således mycket god. Bli skillnaden stor beror detta på fel i inmatningen som därför måste kontrolleras och korrigeras.

```

begin      " c:\brprog\pfa\totest.dat          02/21/98  21:00:58  "
flow m3/h
pressure Pa
control duct=1 con=1 dim=1 bend=1
set  p1=d,600,400,5 p2=d,400,5 p3=d,400,8 p4=d,400,10

          p1
          t,200,9000
          h,1000
          w,9000
          |h70
          |h=-0.107
          |"Rum 1"
          t,732,3000
          p2 q:2999.6
          |h70
          |h=-0.365
          |"Rum 2"
          t,664,3000
          p2 q:3000.2
          |h70
          |h=-0.039
          |"Rum 3"
          t,722,3000
          q:2999.8
          |h70
          |h=-0.107
          |"Rum 1"
          t,788,3000
          q:2999.6
          |h70
          |h=-0.365
          |"Rum 2"
          t,771,3000
          q:3000.2
          |h70
          |h=-0.039
          |"Rum 3"
          t,671,3000
          q:2999.8
          p4
          p1
          t,200,9000
          h,-1000

end block      1 problems 1 elements 44

```

Figur B.4 Exempel på utdatafil för testsimuleringen.

q=2999.6 : Anger flödet i aktuell kanaldel.

h=-0.107 : Anger trycket i rummet. Trycket bör ligga nära det tryck som matades in i den dimensionerande simuleringen, dvs i detta fall nära noll.

B.1.6 Simuleringar vid brand

I brandfallet kan brandgaser tryckas ut i tilluftskanalen. Spridningen till andra rum sker när trycket i knutpunkten mellan huvudkanalen och rummets kanaldel är lika med noll. Genom att i PFS sätta flödet i de enskilda tilluftskanaldelarna lika med noll beräknar programmet vilket brandflöde som krävs för att brandgasspridning skall ske.

Figur B.5 är en indatafil för det fall då det brinner i rum 2. En motsvarande indatafil måste göras för brand i rum 1 och rum 3.

```
begin      " c:\brprog\pfs\bitest.dat          02/21/98  21:08:42  "
flow m3/h
pressure Pa
control duct=1 con=1 dim=1 bend=1
set  p1=d,600,400,5 p2=d,400,5 p3=d,400,8 p4=d,400,10

p1
t,200,9000
h,1000
s,9000
t,732,3000
p2 q?
"Rum 1"
t,788,3000
q? p2

p3
h?:q
t,664,3000
p2 q,0
"Rum 2"
t,771,3000
q? p2

p4
h?:0
t,722,3000
q?
"Rum 3"
t,671,3000
q?

end
```

Figur B.5 Exempel på indatafil för brandsimuleringen.

h?:q : Frågar efter brandtrycket i och brandflödet in i rummet. Resultatet skrivs ut i utdatafilen.

q,0 : Anger att flödet i tilluftskanalen till brandrummet skall vara noll. Detta inträffar precis då flödet vänder och börjar gå baklänges i kanalen.

I utdatafilen kan det kritiska brandflödet och motsvarande tryck i brandrummet avläsas (**figur B.6**). Den aktuella simuleringen visar alltså att det kritiska brandflödet är 4242.5 m³/h och motsvarande tryck 866.09 Pa.

```

begin      " c:\brprog\pfs\botest.dat                02/21/98  21:09:04  *
flow m3/h
pressure Pa
control duct=1 con=1 dim=1 bend=1
set  p1=d,600,400,5 p2=d,400,5 p3=d,400,8 p4=d,400,10

  p1
  t,200,9000
  h,1000
  w,9000
  t,732,3000
  p2 q:3078.1
  h70
  h=98.202
  "Rum 1"
  t,788,3000
  q:3078.1
  p3
  t,664,3000
  p2 q,0
  h866.09
  q:4242.5
  "Rum 2"
  t,771,3000
  q:4242.5
  p4
  t,722,3000
  h70
  h=135.82
  "Rum 3"
  t,671,3000
  q:3034.1

end block      1 problems 1 elements 44

```

Figur B.6 Exempel på utdatafil för brandsimuleringen.

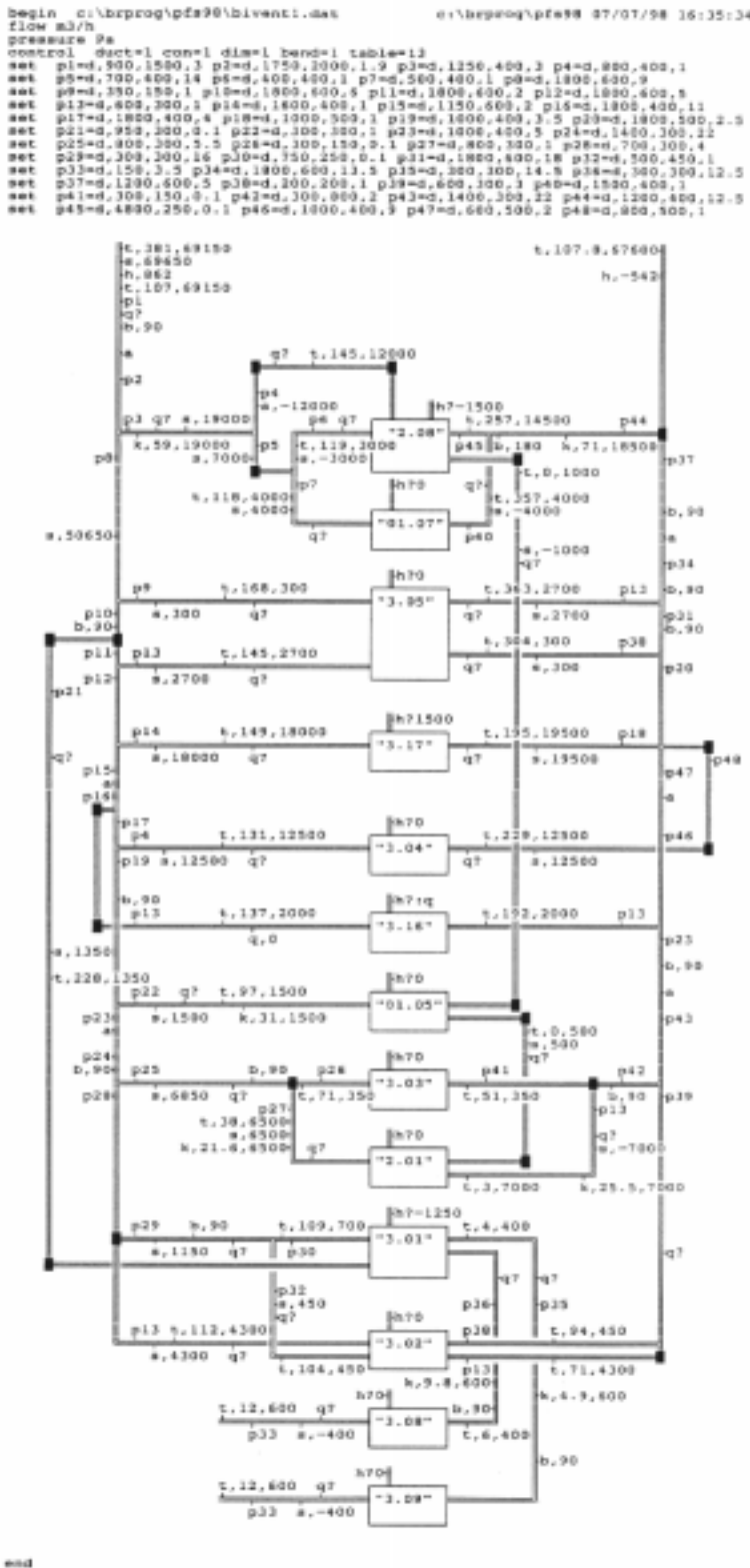
h=866.09 : anger att trycket i brandrummet vid gränsfallet är 866.09 Pa

q=4242.5 : anger att det kritiska brandflödet är 4242.5 m³/h.

B.2 Tillämpning på Ringhals

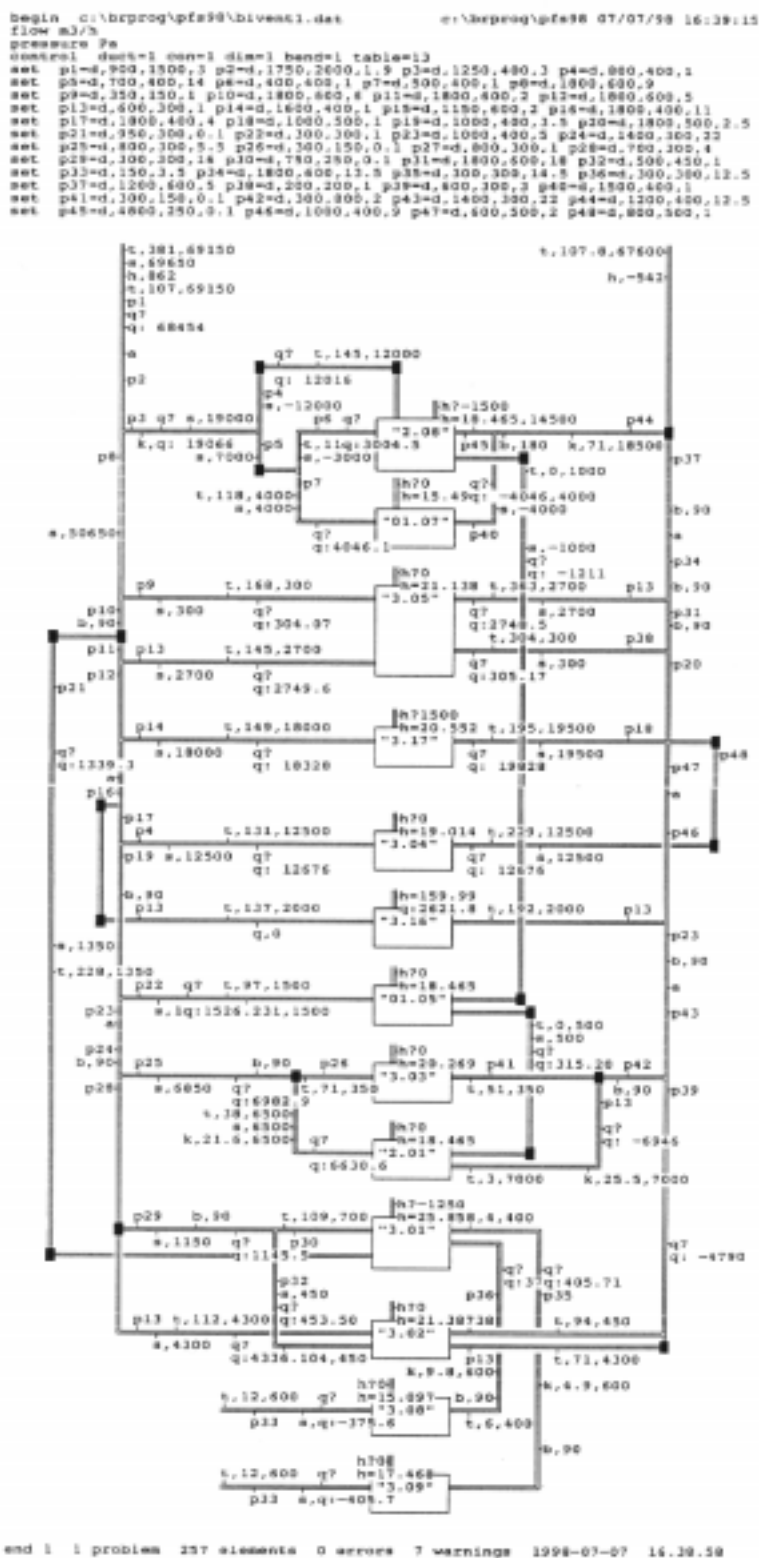
På Ringhals har PFS-simuleringar gjorts för det tidigare beskrivna ventilationssystemet. Tryckmätningar i kanalerna har legat till grund för det tryck som matats in vid simuleringarna. Ventilationssystemet försörjer 13 rum vilket innebär att ett stort antal simuleringar har gjorts. In- och utdatafilerna är relativt skrymmande och det vore omöjligt att redovisa samtliga. Här visas endast exempel på en in- och en utdatafil (**figur B.7 och figur B.8**), båda för simulering i brandfallet, med branden belägen i rum 3 E 3-16. Resultaten från samtliga simuleringar går dock att avläsa i **kapitel 3.2**.

B.2.1 Indatafil



Figur B.7 Indatafil för undersökt ventilationssystem.

B.2.2 Utdatafil



Figur B.8 Utdatafil för undersökt ventilationssystem.

APPENDIX C

STYRSHEMA FÖR UNDERSÖKT VENTILATIONSSYSTEM

APPENDIX C

STYRSKEMA FÖR UNDERSÖKT VENTILATIONSSYSTEM

Undersökt ventilationssystem drivs av tilluftsfläktarna *SBSF-01* och *02* samt frånluftsläktarna *SBEF-01* och *02*. Dessa är i drift även vid brand.

Rum	Plan	Beskrivning	Brand-cell	Utlöst sektion	Spjäll	Åtgärd	Övrigt
3 E 2-08	108	Kabelrum B	E4	E2a + E2b	XCV 2950-52 XCV 2954-55 FCV 2904C FCV 2904A/B/D *	Stänger Stänger Stänger Öppnar	Rökluckor XCV 2990 XCV 2991 öppnar vid 70°C
3 E 01-05	101	"-	E4				
3 E 2-01	108	"-	E4				
3 E 01-07	101	Kabelrum B	E4	E3	Ingen styrning		
3 E 3-02	111	Ställverk B	E14	E6	XCV 2954-55 FCV 2904C FCV 2904A/B/D	Stänger Stänger Öppnar	
3 E 3-03	111	Elutrustning	E14				
3 E 3-16	111	Ställverk, belysning B	E14				
3 E 3-17	111	Säkerhetsvakt B, 500 V	E14				
3 E 3-04	111	Ställverk B, 500V	E14	E7	XCV 2916A/B XCV 2918/2952 XCV 2954-55 FCV 2904C FCV 2904A/B/D *	Stänger Stänger Stänger Öppnar	
3 E 3-05	111	Säkerhetsvakt B, 6kV	E14				
3 E 3-01	111	Korridor	E14				
3 E 3-08	111	Kylrum A	E17	E17	XCV 2916 A/B XCV 2918 *	Stänger Stänger	
3 E 3-09	111	Kylrum B	E19				

Tabell C.1 Styrskema för undersökt ventilationssystem.

* Här innefattar styrningen även fläktar, t.ex. trapphusfläktar, som startar eller stannar då brandlarmssektionen löser ut. Dessa styrningar redovisas ej i denna tabell.